

Université de Limoges
Ecole Doctorale « Sciences de l'Homme et de la Société (S.H.S) »
Faculté des Lettres et des Sciences Humaines
U.M.R-C.N.R.S 6042 Geolab

Thèse
Afin d'obtenir le grade de
Docteur de l'Université de Limoges
Discipline : Géographie

Présentée et soutenue publiquement par

Mr. Nicolas LHÉRITIER

Le 05 Janvier 2012

**Les têtes de bassin :
de la cartographie aux échelles mondiale et
française
à la caractérisation des ruisseaux limousins**

Thèse dirigée par Monsieur Laurent TOUCHART

JURY :

Rapporteurs

Monsieur Jean-Paul BRAVARD

Professeur des Universités émérite en géographie ; Université de Lyon 2 Lumière et IUF

Monsieur Alain GIRET

Professeur des Universités émérite en géographie ; Université de Paris 13 Nord

Examineurs

Madame Françoise ARDILLIER-CARRAS

Professeur des Universités en géographie ; Faculté LLSH de l'Université d'Orléans

Madame Véronique MALEVAL-DEFEUILLAS

Maître de conférences en géographie ; Faculté des lettres et sciences humaines de
l'Université de Limoges

Monsieur Laurent TOUCHART

Professeur des Universités en géographie ; Faculté LLSH de l'Université d'Orléans

Remerciements :

Si une thèse de doctorat est le résultat d'un long travail de recherche, elle ne pourrait pas voir le jour sans les collaborations et l'aventure humaine qui l'accompagnent.

C'est pour cela que je tiens à remercier en premier lieu Laurent TOUCHART, mon directeur de Thèse et de Master pour ses qualités humaines et professionnelles. Durant ces sept années d'études en géographie environnementale, il a toujours fait preuve de dévouement à mon égard. Il m'a parfaitement orienté dans mes choix et axes de recherche et su ralentir l'eau quand elle empruntait le mauvais bief. Véritable bassin de connaissances, il fut indispensable à la structuration de ce réseau d'idées. Au sortir de chaque réunion de travail, la thèse se trouvait grandie par de nouveaux courants de connaissances, et de nouvelles sources de motivation.

Emilie, ma compagne souvent immergée dans les tourbillons de mes recherches qui m'a soutenu du terrain à la rédaction. Elle m'a apporté son réconfort lorsqu'à mon retour je lui narraï mes journées de terrain : les durs moments passés dans les chablis et ronciers inhospitaliers pour enfin rejoindre un joli ruisseau aux éclats rieurs s'écoulant dans l'ambiance douce et fleurie d'une mégaphorbiaie. Pendant ces sept ans, elle m'a encouragé pour franchir les cascades et m'extirper des embâcles les plus fournis.

Cécilia QUIGNARD technicienne rivière, collègue et amie pour avoir apporté de l'intérêt à mes travaux et pour m'avoir permis d'effectuer un travail de recherche appliquée au sein du Syndicat mixte Monts et Barrages. D'une grande aide sur le terrain, comme pour l'anecdotique prospection du ruisseau de Grigeas : territoire des loutres qui se frayent énergiquement des chemins dans les chablis avec la volonté de conquérir de nouveaux espaces et de nouvelles connaissances.

Ma famille et surtout : mon père, mon frère, Bernard qui m'ont apporté la couverture protectrice et les racines nécessaires au bon soutien moral que demande la rédaction d'une thèse de doctorat ; ma mère, qui en plus de tout cela s'est offert sans relâche à l'édition, de la relecture à la reprographie. Tous mes aïeux disparus qui m'ont donné la passion pour ces petits ruisseaux paysans. J'avais forcément une pensée pour eux, me rappelais *lou Per* Thomas magner le taille-pré et le *fessou*, lorsque je prospectais les levades et rigoles graveleuses vestiges d'une sage ingéniosité.

Mon compère pêcheur Charles, solide roc d'amitié pour sa précieuse aide technique lors de la mise en place des incubateurs -à œufs de truite-, et la longue réalisation des transects sur la *Bedaine*. François et Benoit avec qui nous avons randonnée deux jours parfois périlleusement sur les rives de la *Maronne* du *Cayrou* et de la *Bedaine* et malheureusement découvert qu'il ne fallait pas faire confiance à l'eau des ruisseaux à l'allure préservée. *Cayrou* nous ne boirons plus de ton eau !

Mes collègues de GEOLAB pour leurs idées et échanges divers qui furent autant de pierres rythmant l'écoulement de ce travail, et plus particulièrement Mathieu CARLINI, pour sa précieuse aide dans mes premiers pas en géomatique, Pierre PAPON et Benoit SAVY, pour leur conseils en Limnologie.

Mes collègues et amis du Syndicat Monts et Barrages sous la présidence de M. Hervé VALADAS, pour leur soutien chaleureux : Isabelle, Sandrine, Anne, Edith, Emilie, Philippe, Guillaume, Julie. Ces « demoiselles » et joyeux « cincles » m'ont apporté la gaité lorsqu'ils surgissaient en virevoltant des dossiers buissonneux. Mes collègues du Conservatoire Régional des Espaces Naturels du Limousin sous la présidence de M Henri Skrobot et la direction de Pierre Séliquer et Joël Boeufgras. A leur contact, les plus petits écoulements avant qu'ils ne deviennent ruisseaux et les sources ont réellement pu être approchés. Erwan qui me forme à la botanique, à l'étude des lichens et des oiseaux nicheurs des ripisylves du ruisseau des Agneaux.

Pierre DESVILETTE et Damien JAMBON stagiaires au Syndicat Mixte Monts et Barrages pour leur précieuse participation dans l'exploration et la connaissance des *ruisseaux*.

La Fédération des AAPPMA de la Haute-Vienne, les agents de l'ONEMA Haute-Vienne et particulièrement Stéphanie CHARLAT, Mathieu DAVID, Frédéric FAUBERT et Bernard THEILLAUMAS pour leur travail de « martin-pêcheur » dans des fonds de vallées à l'accès difficile.

Les membres actifs de l'AAPPMA de Châteauneuf-la-Forêt et plus particulièrement leur président M. Jacques LAUDOUEINEIX. Il m'a fait confiance pour animer les assemblées générales de son association et y exposer la richesse du patrimoine aquatique des ruisseaux.

Cédric LEON et Florian ROZANSKA, messieurs truite et écrevisse, stagiaires à la FDAAPPMA de la Haute-Vienne, pour cette complémentarité et complicité entre hydrobiologistes et géographes au grès des prospections de recensement des frayères et de comptage d'écrevisses. Que d'échanges constructifs, à déranger les bécasses dans l'ambiance hivernale du ruisseau de la *Roche*, ou à découvrir « des pattes blanches » de nuit, dans de lugubres broussailles.

Tous mes amis : Bertrand, Sébastien, David, Etienne, qui m'ont procuré ces moments de détente partagés dans les contre-courants du *saut de la Virolle* ou d'ailleurs, et le ravissement à contempler les sursauts de leur petites « mouches de mai » : Alix, Gabrielle, Firmin, Zoé. Egalement : Damien, Vincent, Pierrick, Manu, Cédric et tous ceux que j'oublie.

Le ruisseau existe avec son indispensable bassin versant qui collecte les pluies puis transmet l'eau aux sources. Il se forme par les confluences de ruisselets ; les végétaux riverains, les berges et les pierres de son lit le protègent et le façonnent ; ces habitants le rendent vivants. C'est aussi l'histoire de l'aventure humaine de cette thèse. J'espère voir couler indéfiniment cette eau sous les ponts. Encore merci à tous.

SOMMAIRE

Introduction générale :	3
PARTIE 1 : Histoire des ruisseaux et devenir de la « tête de bassin » ; perceptions, enjeux sociétaux et éléments de définition	10
1. Les ruisseaux, la partie des hydrosystèmes encore non « reconnue »	14
2. Enjeux et risques des petits cours d'eau et des régions à l'amont des bassins versants	80
3. État des connaissances sur les éléments propres aux ruisseaux et petites zones humides des têtes de bassin tempérées	115
PARTIE 2 : Méthodologie géomatique et de terrain pour la cartographie et la caractérisation des régions de tête de bassin	148
1. Présentation des échelles d'étude et de recherche	151
2. Méthodes géomatiques pour la quantification linéaire et surfacique des têtes de bassin, la typologie hydromorphologique et les relations biogéographiques	168
3. Application de méthodes descriptives de terrain aux petits cours d'eau : adaptation, validation, extrapolation	190
PARTIE 3 : Les petits cours d'eau de l'hydrosystème mondial au Limousin : un changement d'échelle nécessaire à la détermination de la qualité et à une meilleure gestion des têtes de bassin	227
1. Une nouvelle conception cartographique des têtes de bassin du globe	230
2. Typologie Hydromorphologique des régions à petits cours d'eau : croisement de données hydrologiques et topographiques	260
3. Biogéographie de l'environnement des têtes de bassin françaises et interaction avec les sociétés.....	304
4. Qualité de l'eau en tête de bassin	335
5. État Écologique des têtes de bassin	360
6. Gestion des ruisseaux et zones humides et approche du risque environnemental en tête de bassin	384
Conclusion générale	432

Introduction générale :

À l'amont des réseaux hydrographiques, au plus près des interfluves s'écoulent ce que l'on peut appeler des petits cours d'eau, très petits cours d'eau, ruisseaux, petits oueds, petits torrents, rus, rigoles, écoulements élémentaires, suintements. Les régions englobant cette partie de l'hydrosphère sont vastes et comprennent la source la plus éloignée de l'embouchure d'un fleuve. **Le premier écoulement, qui jaillit, suinte ou s'extirpe de cette source est immédiatement fleuve de par son nom, la source doit alors être connue, recherchée, et cartographiée**, surtout pour connaître la longueur du fleuve dans un certain esprit de compétition. Telle est la pensée hydrographique ayant motivé les premières recherches en hydrographie et potamologie obsédée par la grandiosité et délaissant les petits cours d'eau. Cette pensée est dénoncée par Élisée Reclus en 1869, qui y voyait surtout la cupidité des sociétés occidentales à s'intéresser aux fleuves pour les seuls services économiques rendus, **cupidité qui se vérifie par les premières études ichtyologiques pour optimiser la productivité piscicole des ruisseaux**. À l'inverse, il développait que pour les sociétés du sud et d'orient où la ressource en eau est rare, la moindre petite source est vénérée, l'eau est économisée. Pour les sociétés rurales d'occident, les sources ont également des vertus et suscitent toutes sortes de croyances. **La perception urbaine du XIXe siècle l'emporte finalement et confond le caniveau et le ruisseau, confusion encore bien visible dans les définitions actuelles du ruisseau des dictionnaires de la langue française**. Depuis le Moyen Âge, pour les paysans habitant des régions reculées, où les petites zones humides et les petits cours d'eau sont omniprésents, la nécessité de la maîtrise de l'eau pour une irrigation qu'elle soit de « nécessité » ou « d'intensification » (Cabouret M., 1999) mais aussi l'évacuation d'une eau excédentaire ont engendré un vocabulaire très technique et riche dans les langues occitanes. Ainsi, les petits écoulements se retrouvent sous différentes appellations, selon leurs usages. Ceci suggère **une anthropisation importante, ancienne et sociétale des petits cours d'eau**.

Pourtant enfants des ruisseaux, **les fleuves imposent également leur gouvernance dans les classifications hydrographiques, jusqu'à ce que Horton en 1945 puis Strahler en 1952 décident d'inverser la logique d'ordination des cours d'eau en partant des sources**. Cette révolution dans la logique hydrographique a alors permis aux naturalistes et hydrobiologistes de fixer des limites et localiser des **écotones ancrés sur les changements de rangs** pour élaborer peu à peu et au coude à coude le concept de continuum fluvial. Mais encore une fois, les petits cours d'eau se voient allouer un fonctionnement simple et un **flux de matières et d'énergie unidirectionnel amont - aval, les excluant de « l'hydrosystème fonctionnel » de Petts et Amoros (1993)**. Du point de vue hydrobiologique, c'est certainement parce qu'ils constituent les nurseries naturelles d'une des espèces les plus génétiquement et géographiquement modifiée par l'homme : la truite commune, dont les connaissances se sont étoffées, surtout en ce qui concerne les paramètres influençant cette espèce. Mais la zone à truite n'est pas présente sur l'intégralité du globe et **bien des paramètres variant selon la latitude et l'altitude comme la température annihileront les espoirs d'une**

régionalisation écologique universelle des eaux courantes qu'elle soit basée sur les poissons ou les invertébrés aquatiques. De ce fait, **l'isolement du ruisseau par des paramètres hydrobiologiques est impossible à l'échelle du globe**, il n'en émerge pas de critères définitoires transposables. Certes, selon le principe du continuum fluvial les écosystèmes évoluent de l'amont vers l'aval, mais ils n'abritent pas les mêmes biocénoses à l'échelle du globe. Depuis les travaux de Shumm jusqu'aux travaux récents du laboratoire d'ichtyologie quantitative du Cemagref, il est admis que les petits cours d'eau des régions tempérées d'Europe occidentale ont généralement des pentes plus fortes que les grands, ce qui est prépondérant dans leur hydromorphologie et les qualifie de **fournisseurs de matière et d'énergie**. **Les alternances fréquentes des « unités hydromorphologiques »** ou « faciès d'écoulement » font que les fréquentes transitions radiers - mouilles **optimisent les échanges avec la nappe d'accompagnement**, les échanges sont également favorisés par **la rugosité importante de leur lit, les faibles hauteurs et volumes d'eau permettent également des échanges avec l'atmosphère, et notamment thermiques**. Cela ne peut pas pour autant valider le schéma classique que l'on se fait de la tête de bassin hydrographique. En effet, en fonction de la topographie de leur vallée, ils sont plus ou moins enrichis par les processus géomorphologiques se produisant sur les versants. Les réseaux hydrographiques antécédents à la formation des reliefs peuvent traverser des régions planes puis vallonnées, ce qui joue sur la position des régions denses en petits cours d'eau au sein d'un bassin versant et ne les positionnent pas forcément à l'opposé géographique de l'exutoire du bassin. Si l'on peut affirmer que **l'amplitude thermique des cours d'eau augmente de l'amont vers l'aval pour tous les cours d'eau du monde** du fait de la sensibilité des faibles volumes d'eau à celle de l'atmosphère hors limnosystèmes, **les extrêmes thermiques générant cette amplitude varient en fonction de la latitude, de la longitude et de l'altitude**. **Des éléments définitoires sont alors transposables et d'autres non**. Le cycle de l'eau terrestre commence toujours par les précipitations puis par les phénomènes complexes d'infiltrations, de ruissellements qui se concentrent peu à peu pour enfin constituer et alimenter les hydrosystèmes. Cela est un fait transposable, en revanche, l'éloignement des sources des interfluves dépend des volumes d'eau précipités et de la nature des sols et sous-sols.

Les surfaces drainées ou irriguées par le linéaire considérable de petits cours d'eau occupent la majorité d'un bassin versant et d'un réseau hydrographique. Face à cette immensité et apparente banalité, la cartographie réseau est inachevée, interrompue ou abandonnée. **Les carences cartographiques sont dès lors importantes comme les scientifiques le constatent en Europe ou aux États-Unis**. De plus ces petits cours d'eau facilement aménageables et traditionnellement aménagés ne se trouvent plus nécessairement dans leurs talwegs. **La cartographie d'écoulement « naturel » selon une entrée topographique serait inexacte mais nécessaire pour évaluer leur linéaire naturel réel**. Difficile alors en l'absence d'élément sociologique, hydrographique sûr ni cartographique d'avoir une transposition juridique claire. La définition juridique française du cours d'eau n'est que jurisprudentielle, car sa limite définitoire à l'amont est complexifiée par la diversité morphologique, hydrologique, physicochimique et écologique des petits cours d'eau. **Ce cadre**

définitoire semble alors insurmontable lorsque l'on aborde l'étude des petits cours d'eau et l'appellation récente de « tête de bassin » avec tout ce qu'elle implique dans la gestion des milieux aquatiques soumise à la Directive Cadre Européenne sur l'eau. Afin de définir ces zones de « têtes de bassin », certaines agences de l'eau les assimilent à des zones en meilleur état écologique que le reste des réseaux hydrographiques sans les cartographier, d'autres génèrent une cartographie sélectionnant des critères hydrographiques et topographiques strictes après avoir tenté une définition pluridisciplinaire comme l'Agence de l'eau Loire-Bretagne. Malheureusement, en s'appuyant notamment sur le rang de Strahler, la cartographie est basée sur un référentiel cartographique national (la BD Carthage) faux, incomplet et sans logique hydrographique. **Les têtes de bassins des SDAGE, d'après leurs définitions cartographiques et terminologiques inspirées des savoirs scientifiques sur les petits cours d'eau et les régions à l'amont des bassins versants seront-elles réellement et uniquement celles qui en bénéficiant d'une attention particulière participeront à l'atteinte du bon état des eaux si proche ?**

Quoi qu'il en soit, **la préservation des « têtes de bassin » est désormais un enjeu majeur pour préserver la ressource en eau en quantité et en qualité dans tous les SDAGE français** sans pour autant avoir pu y être autant développée que la plupart des autres objectifs. La logique hydrographique veut, que les ruisseaux composent la majorité de l'hydrosystème terrestre, il est donc légitime de mener des actions sur cette partie des hydrosystèmes pour atteindre le bon état des eaux. En Europe, **la Directive Cadre Européenne sur l'eau en imposant l'atteinte du bon état des eaux aux états membres contraint la recherche à reconsidérer cette partie des hydrosystèmes.** La mise en application de la DCE, les actions locales des gestionnaires halieutiques et des collectivités territoriales ayant la compétence de gestion de cours d'eau, les programmes spécifiques comme le LIFE « Ruisseaux de têtes de bassins et faune patrimoniale associée » porté par le Parc Naturel Régional du Morvan ou encore les associations de protection et de conservation de l'environnement constituent une prise de conscience européenne. **Outre-Atlantique où le terme de Headwater est plus ancien, des scientifiques se sont regroupés suite à un désengagement des États-Unis d'Amérique dans la préservation des régions de têtes de bassin. Le manifeste : "Were river are born : a scientific imperative for defending small streams and wetlands" est alors publié en 2007.** En France, bien avant la mise en place de la DCE, des études par **les syndicats de rivière, les gestionnaires de la pêche et les physicochimistes voulant comprendre les causes conduisant à des catastrophes écologiques comme les marées vertes ou le déclin d'espèces emblématiques comme la truite commune ont recensé les causes de dégradations des petits cours d'eau.** Mais ce sont des initiatives ayant un caractère d'urgence pour mettre des actions rapidement en place. Le temps étant compté, **aucun travail de synthèse de ces travaux n'a à ce jour été réalisé. Nous nous appuyons sur ces études pour illustrer les interactions entre les activités humaines et les ruisseaux, mais aussi pour évaluer les coûts de leur restauration dans divers contextes.**

Ce sont surtout ces prises de conscience des acteurs de terrain qui ont fait émerger récemment des travaux scientifiques pour améliorer la connaissance des ruisseaux et des régions à l'amont des bassins versants, et surtout pour préserver un enjeu écologique. Bien qu'étant surtout étudiés sous cet angle, **les petits cours d'eau sont également très importants vis-à-vis de la ressource en eau qu'ils fournissent**, par l'eau de consommation des hommes et des animaux qu'ils élèvent. Cet enjeu n'est pas nécessairement évident, car l'eau potable en tête de bassin est en majeure partie captée après quelques dizaines de mètres de zone humide encore peu ou pas impactée par l'homme et ses activités. En région d'élevage, l'abreuvement direct au cours d'eau est une évidence alors que les cheptels augmentent. Les zones humides ont des valeurs économiques considérables. Ce sont des points d'abreuvement pour le bétail mais aussi des zones de production de fourrages en période de sécheresse. Si les zones de « tête de bassin » sont réputées peu peuplées, elles le sont suffisamment pour que des catastrophes hydrologiques marquent les esprits comme les crues cévenoles à l'instar de celle de Vaison-la-Romaine en septembre 1992. **Les crues sont destructrices, car elles résultent de phénomènes hydromorphologiques, c'est-à-dire d'une combinaison de flux d'eau et de matières solides. Cela nous amène à considérer ce risque hydromorphologique, mais aussi tous les autres comme le colmatage du lit des cours d'eau, souvent appréhendé dans les études de la disparition d'habitats piscicoles, mais qui peut sérieusement affecter la qualité de l'eau à l'aval, augmenter le coût des traitements d'eau de surface, en limitant les capacités autoépuratoires du cours d'eau.** Alors que la communauté scientifique est unanime face aux changements climatiques globaux, le risque thermique est réel sur les petits cours d'eau très soumis à la température atmosphérique. La température joue un rôle sur la santé des biocénoses, mais aussi sur la qualité des eaux pouvant être potabilisées, car elle augmente les réactions physicochimiques néfastes. En l'absence de perturbation externe, l'eau transitant par ces petits cours d'eau prend alors des caractéristiques particulières qui dépendent de la nature du réceptacle : le sol et le substrat, mais aussi des interactions entre ce réceptacle et son environnement atmosphérique et biogéographique. L'occupation humaine complexifie largement ces processus. Même si l'union de ces petits organismes hydrographiques peut faire leur force, la généralisation de certaines activités, et la spécialisation des sols de leurs bassins versants influencent considérablement les caractéristiques de ces cours d'eau et zones humides à l'échelle d'une région entière. **L'amplification des aléas et de la vulnérabilité par l'anthropisation est à intégrer pleinement dans l'étude des risques propres aux secteurs de l'amont des bassins versants.**

Dans un contexte sociétal où les risques et enjeux liés aux têtes de bassin sont certainement sous-estimés du fait de la méconnaissance de l'étendue de cette zone géographique d'une part, mais aussi parce que les facteurs de risque et la valeur des petits cours d'eau et petites zones humides sont encore à ce jour que partiellement connus et non gratifiés dans la conscience collective, les objectifs de cette thèse de doctorat sont :

- de participer à l'évaluation des enjeux liés à la tête de bassin à l'échelle mondiale en estimant son étendue aussi bien surfacique qu'en matière de linéaire de cours d'eau,
- de cartographier les têtes de bassin françaises selon une autre méthode que celle employée par l'agence de l'eau Loire-Bretagne en intégrant l'aspect de densité de drainage et de hiérarchisation de l'importance des cours d'eau dans des zones hydrographiques à une plus grande échelle,
- de mieux cerner les risques, aléas, vulnérabilités et enjeux spécifiques aux têtes de bassin,
- d'accroître les connaissances sur le fonctionnement des petits cours d'eau et des relations qu'ils ont avec leur environnement d'une manière générale en France et plus en détail en Limousin.

En préalable, il sera nécessaire de recenser les définitions terminologiques, et les indices de définition spatiale de la tête de bassin et du ruisseau selon les différents auteurs et dans différentes disciplines. En corrélant les caractéristiques multithématiques des cours d'eau avec leur position dans le réseau hydrographique, nous verrons si une transition commune est perceptible entre la tête de bassin et le reste de l'hydrosystème. Les catégories d'enjeux pour la ressource en eau globale et les risques de dégradation de ces régions de sources devront également être listées.

L'importance des enjeux mondiaux européens et français ne sera perceptible et justifiée que si la surface de tête de bassin et le linéaire de ruisseau sont quantifiés. Le traitement géomatique de données existantes, mais aussi la création de nouveaux référentiels hydrographiques à différentes échelles sont indispensables pour aboutir à une cartographie rendant compte de l'importance géographique des ruisseaux de tête de bassin, nous en exposerons les méthodes.

Sans pouvoir prétendre apporter une définition complète et généralisable du ruisseau et de la région de tête de bassin, estimer leur importance spatiale et linéaire, semble indispensable pour en percevoir véritablement les enjeux. Des bases de données hydrographiques à l'échelle mondiale élaborées par l'USGS, européenne du JRC, nationale de l'IGN, locale destinées à représenter le réseau hydrographique réel, nous permettrons d'estimer les linéaires de ruisseaux et les surfaces qu'ils drainent à différentes échelles et pour différentes marges d'erreurs. **Cela constituera une définition cartographique des régions à petits cours d'eau, et constituera la base de leur étude typologique.**

La géographie s'attache à vouloir définir des termes, synthétiser des connaissances pluridisciplinaires pour essayer d'en dégager une logique géographique, c'est un travail de typologie. Les supports géomorphologiques des petits bassins versants, ruisseaux, zones humides sont extrapolables une fois que l'on a pu élaborer une typologie sur un terrain de recherche représentatif. Nous effectuerons ce travail en choisissant d'extrapoler les typologies topographiques des zones riveraines des petits cours d'eau français au reste du globe. Parce que les zones ainsi cartographiées ne correspondront à cet instant qu'aux zones propices aux petits écoulements de par leur topographie, nous leur affecterons la typologie hydrologique d'Alain Giret. Ainsi, **une typologie et une cartographie de zones homogènes en matière de contribution de flux liquides, solides et énergétiques permettront de connaître en proportion les différents types de petits cours d'eau dans lesquels s'inscrivent les terrains de recherche de moyenne échelle.** Il se dégage alors des régions ayant des caractéristiques orogéniques permettant de faire précipiter l'eau de l'atmosphère plus abondamment, et qui ont des lithologies imperméables permettant à cette eau précipitée de ruisseler majoritairement en surface et de ne s'infiltrer que temporairement et en faible profondeur dans les sols. C'est le cas des petits cours d'eau des massifs cristallins se trouvant dans des régions marquées par le méga et le mésoréisme d'Alain Giret, 2006. Ces régions sont alors énormément contributives en termes de ressource en eau, matières et énergie, et d'autant plus pour ces deux derniers si les pentes topographiques y sont fortes. **Caractéristiques de l'écoulement fluvial et pentes topographiques semblent être deux éléments fondamentaux pour dégager une typologie hydromorphologique des petits cours d'eau. Or cette hydromorphologie est de plus en plus considérée comme un paramètre déterminant fortement les capacités autoépuration d'un cours d'eau, donc sa qualité physicochimique, et la santé des milieux aquatiques par la quantité des microhabitats.**

Nous rassemblerons et adapterons des outils méthodologiques permettant d'étudier les relations entre les sociétés et les ruisseaux, et d'analyser leur fonctionnement thermique et écologique. Nous appliquerons ces outils à une région de tête de bassin de la Vienne et de la Loire : Le Pays Monts et Barrages abritant à la fois des ruisseaux de la Montagne limousine et du plateau Limousin. Nous pourrons alors quantifier les surfaces des ruisseaux et régions de tête de bassin à l'échelle mondiale, à l'échelle nationale, les linéaires de ruisseaux seront estimés et les têtes de bassin cartographiées pour ensuite en connaître l'occupation des sols. Des corrélations de cet état des lieux géographique avec la qualité écologique des petits cours d'eau nous permettront de dégager des tendances entre activités humaines et santé écologique des ruisseaux. Nous illustrerons les relations les plus communes d'exemples régionaux. Plus modestement à l'échelle régionale, nous essaierons d'approfondir la connaissance du fonctionnement des ruisseaux et zones humides associées et d'analyser les relations société - ruisseau.

Le bassin de la Loire bien décrit géomorphologiquement dans les travaux de régionalisations hydroécologiques du Cemagref ainsi que la cartographie hydromorphologique des cours d'eau

Les têtes de bassin de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins

français constitueront une étape pour aborder les terrains de recherche instrumentale et par arpentement. La facilité d'aménagement par l'homme nous incite également de bien resituer le bassin amont de la Vienne dans une situation biogéographique française. **Une analyse de l'occupation des sols riverains des petits cours d'eau sera alors réalisée. Les activités demandeuses d'espace seront alors connues et le bassin amont de la Vienne s'avérera alors être représentatif d'une part non négligeable des ruisseaux français du point de vue biogéographique et hydromorphologique. À cette échelle nationale, nous utiliserons l'indicateur truite commune pour étudier la santé des écosystèmes en relation avec leur environnement, nous nous appuyerons sur les nombreux exemples disponibles par les études locales des acteurs de terrain pour illustrer ces relations. Nous étudierons également les profils physicochimiques amont - aval des cours d'eau du bassin de la Loire, pour comprendre quel est le rôle des petits cours d'eau dans la qualité des hydrosystèmes.**

À l'échelle du bassin amont de la Vienne, plus particulièrement **dans le Pays Monts et Barrages**, nous étudierons les relations entre les espèces de la zone à truite avec la qualité physicochimique des eaux, la température, l'hydromorphologie naturelle et anthropique. Étant également immergé professionnellement dans ce territoire, il sera également possible de développer des aspects de gestion des zones humides et petits cours d'eau, et montrer que **cette gestion influence fortement la qualité des milieux aquatiques**. Nous espérons alors que les mécanismes des risques propres aux têtes de bassin seront alors mieux compris, **la similitude et les recoupements avec d'autres régions françaises de petits cours d'eau nous permettront de suggérer des mises en garde face à des risques hydromorphologiques, physicochimiques, thermiques et écologiques.**

PARTIE 1 : Histoire des ruisseaux et devenir de la « tête de bassin » ; perceptions, enjeux sociétaux et éléments de définition

Introduction de la partie 1 :

L'hydrosphère mondiale représente un volume de 1,5 milliard de Km³ d'eau (Veyret Y., Vigneau J.P., 2002), dont plus de 95 % se trouvent dans les mers et océans sur une surface couvrant 71 % de la planète. Si l'hydrosystème terrestre est bien modeste par rapport à l'immensité des océans, le volume des fleuves, des lacs et de leurs tributaires reste curieusement méconnu dans certaines publications récentes, alors même que des estimations peuvent être trouvées dans des travaux plus anciens. Effet d'une baisse d'intérêt à leur égard ?

Tableau 1 : Volumes d'eau de chaque élément de l'hydrosphère d'après VEYRET Y. et VIGNEAU J.P.

	Mers et Océans	Glaciers et Inlandsis polaires	Nappes souterraines	Lacs, fleuves rivières et ruisseaux	Zones humides étangs	Total
Volumes en Milliards de Km ³	1,425	0,05625	0,01875	?	?	1,5
En pourcentage du total	95%	3,75%	1,25%	?	?	100%

Que dire alors des premiers écoulements qui vont former les fleuves et les rivières, beaucoup plus difficiles à cartographier du fait de leur immense linéaire. Les lacunes scientifiques concernent également leur fonctionnement hydrologique, hydromorphologique, physicochimique et ont inévitablement entraîné une sous-estimation du rôle déterminant que les premiers maillons du cycle de l'eau terrestre jouent dans les fonctionnements globaux des hydrosystèmes. Quelques ordres de grandeur plus anciens nous permettent d'appréhender leurs volumes et enjeux.

Tableau 2 : Composantes de l'hydrosphère et cycles de renouvellement, in Lambert R., 1996

	1	2	3	4	5
	Volume V en 1000 km ³ (ou 10 ¹² m ³)	%	lame d'eau en m	durée du cycle en années	mm/an
océan mondial	1 370 000	93,9	2 600	3 000	900
nappes souterraines	60 000	4,1	120	5 000	24
dont nappes vives	4 000	0,27	8	330	25
glaciers	26 000	1,65	50	8 300	6
dont Antarctique	24 000	1,52			
Lacs	230	0,016	0,4	10	40
rivières	1,2	0,0001	0,0025	0,032	80
eau dans le sol	82	0,005	0,16	1	160
vapeur d'eau atmosphérique	14	0,001	0,025	0,027	900
	1 460 000	100		2 800	

(3) = $\frac{V}{S}$ avec S = 510.10⁶ km²
cf. L'VOVIČ : le bilan hydrique du globe

(5) = $\frac{(3)}{(4)} = V/S/\text{durée du cycle}$
Annales de géographie 1968

Lambert R. en 1996 reprend les chiffres de L'Vovic qui a estimé l'eau du cycle à 1, 46 milliards de Km³, dont 230 000 Km³ alloués aux lacs, et 1200 Km³ aux rivières. L'eau écoulee dans l'hydrosystème courant se renouvellerait tous les 11 jours, presque aussi vite que la vapeur d'eau atmosphérique (10 jours), tous les 10 ans pour les lacs, tous les ans pour l'eau du sol. Les échanges avec l'atmosphère s'effectuent donc à chaque instant. Seulement 11 jours pour que les eaux courantes soient renouvelées, mais le cycle de l'eau est bien plus complexe car ces eaux rajeunissent les eaux des sols, zones humides et lacs en les irrigant, renouvelant, et vieillissent elles-mêmes en les drainant, en les recevant. La potamologie et la limnologie étudient des phénomènes mesurables à l'échelle de temps d'une vie humaine, cela présage de très fortes interactions entre sociétés et milieux aquatiques continentaux liquides de surface et un fort potentiel d'empreinte des sociétés en ces lieux et instants du cycle.

De tous les composants de l'hydrosphère continentale, les eaux courantes constituent le plus grand fournisseur sédimentaire avec un débit spécifique solide d'environ 18 000 millions de tonnes par hectare et par an. Ces débits spécifiques solides comme les débits liquides sont inégaux en fonction des bassins versants fluviaux. Depuis les travaux de Schumm, il est admis que les principaux agents de transports sont les fleuves, les petits cours d'eau et leur bassin versant auraient un rôle de production sédimentaire. Les connaissances des phénomènes hydromorphologiques internes aux petits cours d'eau sont pourtant limitées, l'hydromorphologie étant un phénomène de plus en plus étudié sur les grands cours d'eau dynamiques.

Sans que nous ne puissions véritablement parler de désintéressement envers les petits cours d'eau, le nombre de publications les concernant est faible. Leur étude est souvent diluée dans des travaux plus généraux sur les hydrosystèmes. Les petits cours d'eau ont surtout été étudiés pour leur rôle dans la production halieutique des hydrosystèmes, et dans les tentatives de régionalisations écologiques des eaux courantes. Même si le but de ces travaux est la connaissance écologique, certains paramètres abiotiques étudiés renseignent sur bien plus de fonctions que la simple fonction écologique. À cela, nous pouvons également ajouter les travaux sur la géographie de la température des eaux, et les travaux de connaissances hydro-géo-morphologiques effectués pour mettre en place la Directive Cadre Européenne sur l'Eau.

Élisée Reclus en écrivant « Histoire d'un ruisseau » a décrit les ruisseaux et la tête de bassin sous un angle physique et sociétal, mais depuis, peu de géographes se sont intéressés spécifiquement à cette partie des hydrosystèmes. Les définitions du terme ruisseau sont alors floues, et souvent par défaut, c'est-à-dire que l'on qualifie de ruisseau, ce qui n'est pas assez imposant pour être rivière.

Pourtant, des caractéristiques propres aux petits cours d'eau les différencient des rivières et fleuves. Les hydrosystèmes sont souvent comparés au réseau vasculaire humain, les ruisseaux pourraient alors en être le réseau de capillaires échangeant avec l'organe bassin versant en multipliant les surfaces de contact du réseau avec son environnement. Ce sont évidemment ces possibilités d'échange qui donnent aux ruisseaux un fonctionnement unique par rapport au reste de l'hydrosystème.

Avons-nous à ce jour bien mesuré les enjeux que représentent ces petits organismes hydrographiques pour nos sociétés ? Les enjeux et risques liés à ces petits cours d'eau ne sont pas évidents, la perception que l'on a des ruisseaux n'est pas équivalente à tout ce qu'ils apportent aux sociétés.

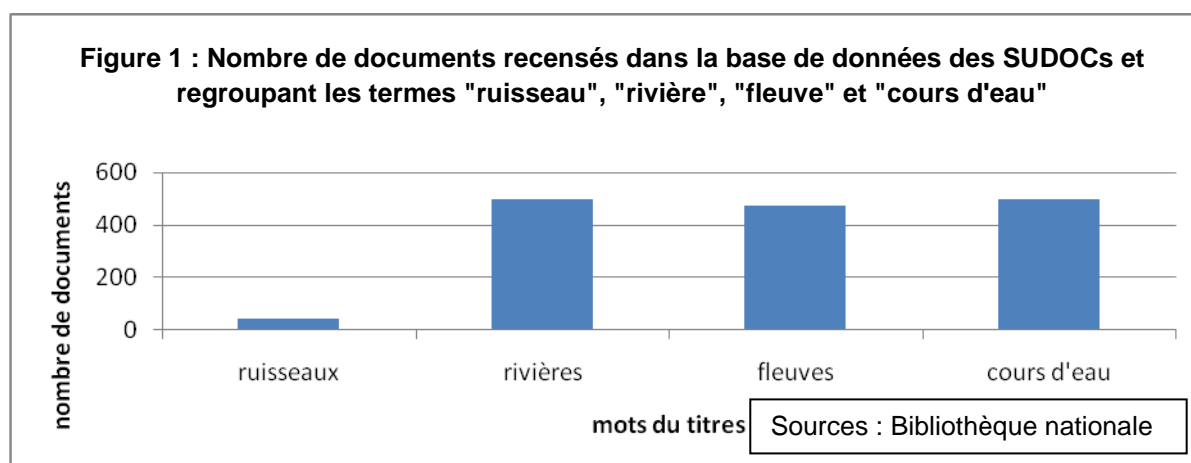
Après une entrée en matière géographique par l'étude du texte d'Élisée Reclus « Histoire d'un ruisseau », qui nous a amené à considérer la fascination de certaines sociétés et de certaines corporations vis-à-vis de ces petits cours d'eau et des sources, nous retracerons l'histoire scientifique pour enfin aboutir à la prise de conscience actuelle qui se concrétise peu à peu dans les politiques publiques de gestion de l'eau et des milieux aquatiques. Les enjeux et risques spécifiques pour les sociétés de tête de bassin seront abordés, ainsi que les facteurs abiotiques qui participent à la définition du ruisseau.

1. Les ruisseaux, la partie des hydrosystèmes encore non « reconnue »

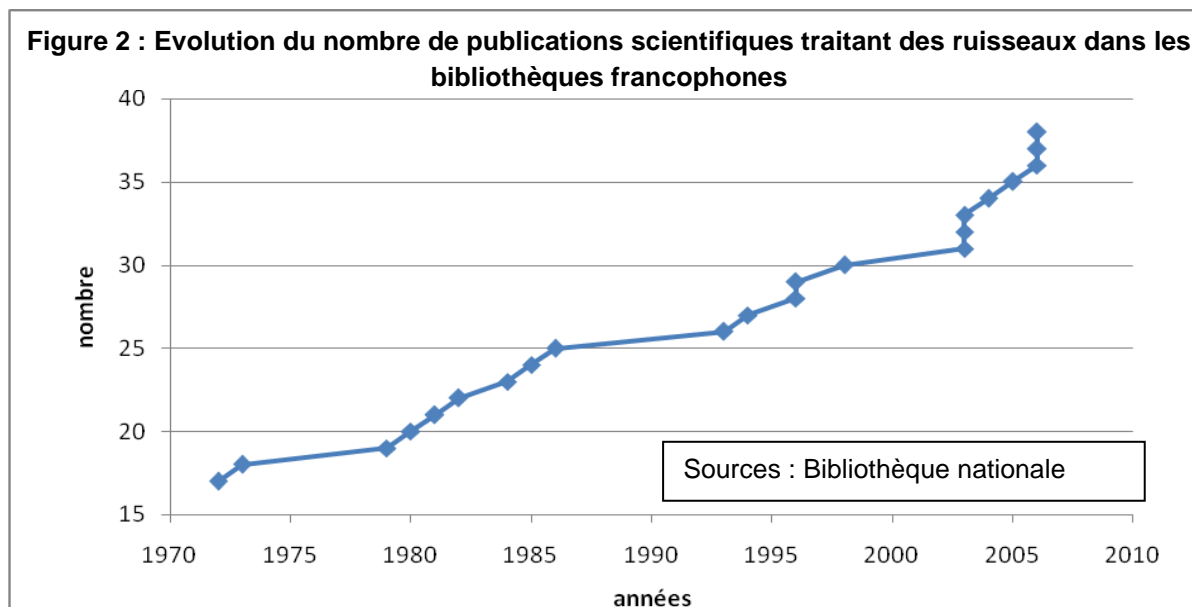
1.1. Ruisseaux, sociétés et territoires

1.1.1. Les définitions et perceptions héritées

Les ouvrages scientifiques traitant spécifiquement des ruisseaux sont peu nombreux lorsque l'on effectue une recherche dans les bibliothèques nationales. En consultant le catalogue de la bibliothèque nationale, on s'aperçoit qu'il existe dix fois plus de documents traitant des cours d'eau en général des rivières et des fleuves que traitant spécifiquement des ruisseaux.



Depuis les années 2000, le nombre de publications est en nette augmentation, ce qui révèle un engouement récent pour l'étude des ruisseaux.



Dans les dictionnaires généraux de la langue française, le ruisseau est soit un petit cours d'eau, soit un écoulement dans un chenal artificiel. Encore aujourd'hui, la distinction n'est pas faite entre les écoulements naturels et artificiels dans la définition. Les sources l'alimentant peuvent être hydrogéologiques ou domestiques.

Le constat est identique dans les dictionnaires géographiques français. Dans : « Les mots de la géographie » de Roger Brunet, le ruisseau est « un petit cours d'eau plus ou moins permanent » mais également « le canal d'écoulement des eaux usées et pluviales dans la rue ». « Jadis, le ruisseau était au centre de la rue et les bourgeois circulaient sur

Photographie 2 : Un ru dans le massif du Carlit (Pyrénées orientales), L'héritier N.



Photographie 1 : La rue des Cloîtres et ses caniveaux ; www.mairie-eymoutiers.fr



le « haut du pavé », moins sale ». L'auteur rajoute « un peu oublié depuis qu'aux ruisseaux ont succédé deux caniveaux, des trottoirs, et parfois le tout-à-l'égout ». Dans ce même ouvrage, et de manière bien plus poétique, le ru est un « petit ruisseau qui murmure et chante sans accent ».

Ces définitions rendent bien compte de la perception que l'on peut avoir des premiers écoulements. Également assimilé à un caniveau, le terme de ruisseau désigne également les effluents évacués hors de la zone habitée et de ce fait a une connotation plutôt négative, tout du moins jusqu'au XIXe siècle. En ce qui concerne sa définition en tant que cours d'eau, celle-ci est floue et imprécise.

Pour Pierre George et Fernand Verger, le ruisseau est « un cours d'eau plus petit qu'une rivière, mais déjà plus grand que les rus qui l'alimentent ». Quant au ru, il s'agit « d'un cours d'eau élémentaire qui n'a pas encore reçu d'affluent ou plus généralement qui ne mérite pas encore le nom de ruisseau ».

Dans les dictionnaires plus spécialisés, comme le dictionnaire d'hydrologie de l'Unesco une différence est faite entre « creek » et « brook » du point de vue de leur écoulement, le « brook » ayant pour caractéristique un écoulement plus turbulent. Le terme de « upstream », le cours d'eau supérieur, est également employé, il s'agit d'un cours d'eau de source.

C'est le dictionnaire français d'hydrologie qui en donne la définition la plus précise en distinguant le ru et le ruisselet de la rigole et du ruisseau. Tandis que le ru et le ruisselet se trouvent en tête de bassin, le ruisseau est un petit affluent d'une rivière, d'un lac ou d'un étang, c'est donc un tributaire, et c'est cette fonction qui le définit.

Tableau 3 : Différentes définitions et termes employés par les dictionnaires et institutions

terme	source	Définition langue originelle	Définition en français
Ru, ruisselet	Dictionnaire français d'hydrologie	Petit cours d'eau, souvent en tête de bassin, démarrage de l'écoulement	
Rigole	Comité national français des sciences hydrologiques commission terminale (CNFSH)	Filet d'eau qui s'écoule sur une surface	
Ruisseau	français des sciences hydrologiques commission terminale (CNFSH)	Petit cours d'eau d'importance relativement peu considérable et souvent affluent d'une rivière, d'un lac ou d'un étang	
Ruisseau	Le Robert	1. Petit cours d'eau ; 2 Eau qui coule le long des trottoirs ; caniveau destiné à la recevoir.	
Ru, ruisselet		Petit ruisseau	
Ruisseau	Larousse	Petit cours d'eau, rigole dans une rue pour l'écoulement des eaux pluviales ou ménagères.	
Ru, ruisselet		Petit ruisseau	
Upstream	United States Geological Survey (USGS)	Toward the source or upper part of a stream; against the current. In relation to water rights, refers to water uses or locations that affect water quality or quantity of downstream water uses or locations.	Vers les sources ou la partie supérieure d'un cours d'eau ; contre le courant. Relatif aux droits d'eau, aux utilisations qui affectent la qualité ou la quantité d'eau à l'aval.
Creek	Glossaire international d'hydrologie de l'Unesco	Natural stream of water, normally smaller than, and often tributary to, a river.	
Brook		Small, shallow stream usually in continuous flow in a somewhat turbulent manner.	
		Petit cours d'eau peu profond, en général à écoulement permanent et quelque peu turbulent.	

1.1.2.Élisée Reclus : « Histoire d'un ruisseau »

Le premier géographe qui a décrit la naturalité du ruisseau mais aussi expliqué les rapports entre les sociétés de son époque, les ruisseaux et les sources est Élisée Reclus dans « Histoire d'un ruisseau » en 1869. Il y dénonce le fait que le ruisseau soit pollué par les sociétés, et développe un argumentaire visant à bannir les images négatives renvoyées par cette partie des hydrosystèmes.

La première phrase de son texte « *L'histoire d'un ruisseau, même de celui qui naît et se perd dans la mousse, est l'histoire de l'infini* » relate le défi scientifique de l'époque qu'il portait peut-être seul : comprendre et décrire les écoulements élémentaires et les sources. Il décrit tout d'abord la source, puis l'eau du désert, le torrent de la montagne, la grotte, le gouffre, le ravin, les fontaines de la vallée, les rapides et les cascades, les sinuosités et les remous pour enfin faire la part belle à la puissance mutuelle de ces ruisseaux anodins dans « *l'inondation* ».

Il commence par évoquer les différents types de sources : « *Que la fontaine semble dormir dans une prairie comme une simple flaque entre les joncs, qu'elle bouillonne dans le sable en jonglant avec les paillettes de quartz ou de mica, qui montent, descendent et rebondissent en un tourbillon sans fin, qu'elle jaillisse modestement entre deux pierres, à l'ombre discrète des grands arbres, ou bien qu'elle s'élève avec bruit d'une fissure de la roche, comment ne pas se sentir fasciné par cette eau qui vient d'échapper à l'obscurité et reflète si gaiement la lumière ?* » L'auteur poursuit en précisant « *Sans doute, cette eau se souillera plus loin ; elle passera sur des roches en débris et sur des végétaux en putréfaction ; elle délayera des terres limoneuses et se chargera des restes impurs déversés par les animaux et les hommes ; mais ici [...] ce fluide si clair est bien de l'eau, comme le sont nos grands fleuves bourbeux.* »

En sublimant la source, E. Reclus évoque par la même occasion et en géographe social le fait que dans toutes les civilisations, l'eau pure et limpide a de tout temps fasciné les esprits. Cette eau ne reste pas longtemps limpide pure, car elle prendra bientôt les caractéristiques des terrains sur lesquels elle s'écoule et rencontrera bientôt la civilisation, et ses « restes impurs ». Dès ces premières lignes, l'auteur soulevait un fait fondamental du cycle de l'eau terrestre, la source et les premiers écoulements qui n'échangent qu'avec l'atmosphère, la roche et le sol dans les premiers mètres à l'aval, vont se trouver rapidement souillés par l'homme.

Pourtant, l'homme doit à la nature les bases de ses sociétés, « *c'est aux nymphes, ou pour mieux dire, c'est aux sources, aux forêts, aux montagnes, qu'à l'origine de toute civilisation les hommes ont dû leurs mœurs et leurs lois.* » Lorsque E. Reclus écrivait ces lignes, il regrettait ce temps où l'homme était en adoration devant « *les eaux jaillissantes* », et condamnait au contraire les craintes développées par les religions monothéistes à leur égard « *que de « fonts du diable » et de « gours d'enfer [...] évités par le paysan superstitieux* ».

Dans ce contexte où s'affrontaient religion chrétienne et mysticismes locaux, Élisée Reclus lançait alors un appel à « *tous les hommes qui aiment à la fois la poésie et la science, à tous ceux aussi qui veulent travailler de concert au bonheur commun, qu'il appartient de lever le sort jeté sur les sources par le prêtre ignorant du Moyen Âge* » pour l'étude et l'aménagement¹. Plus loin, l'auteur clarifie ces propos « *il (le torrent sans nom) est charmant ; mais quel ruisseau ne l'est pas, à moins qu'il ne coule à travers des marécages rendus fétides par les égouts des villes, ou que ses rives n'aient été gâtées par une culture sans art ?* » La connaissance et l'aménagement seraient comme une délivrance permettant aux sociétés de renouer avec les sources et les ruisseaux, mais aussi de les dépolluer des eaux usées domestiques. « *Quand nous aurons enfin compris entièrement la source et qu'elle sera devenue notre associée fidèle dans l'œuvre de l'embellissement du globe, alors nous en apprécierons d'autant mieux le charme et la beauté [...].* »

La seconde partie du texte : « *L'eau du désert* » est un argumentaire géographique pour convaincre le lecteur de l'époque que les régions occidentales bien arrosées par des dépressions océaniques sont privilégiées vis-à-vis de la quantité de la ressource, et que bien souvent, abondance rime avec dédain². Malheureusement, cet argument est encore fondé un siècle et demi plus tard. L'argumentaire est poursuivi en relatant des joies des populations boliviennes lorsqu'il pleut, ou du mortier réalisé en Aragon avec du vin pour économiser l'eau et bien d'autres constats géographiques sociaux s'en suivent. Il ne cesse de condamner le peu d'intérêt que portent les sociétés occidentales de l'époque à la ressource et ces organismes hydrographiques si précieux³.

¹ « *Il est vrai que nous n'adorerons plus, [...] l'eau qui jaillit [...] pour la remercier de la vie et des richesses qu'elle dispense aux sociétés, [...] ; mais nous ferons plus en l'honneur de la source. Nous l'étudierons dans son flot, dans ses rides, dans le sable qu'elle roule et la terre qu'elle dissout ; malgré les ténèbres, nous en remonterons le cours souterrain jusqu'à la première goutte qui suinte à travers le rocher ; sous la lumière du jour, nous la suivrons de cascade en cascade, de méandre en méandre jusqu'à l'immense réservoir de la mer où elle va s'engouffrer ; nous connaissons le rôle immense que par son travail incessant elle joue dans l'histoire de la planète. En même temps, nous apprendrons à l'utiliser d'une manière complète pour l'irrigation de nos campagnes et pour la mise en œuvre de nos richesses, nous saurons la faire travailler pour le service commun de l'humanité, au lieu de la laisser ravager les cultures et s'égarer dans les marécages pestilentiels.* »

² « *Dans l'intérieur de l'Asie, dans la péninsule Arabique, dans les déserts du Sahara et de l'Afrique centrale, sur les plateaux du Nouveau Monde, même dans certaines régions de l'Espagne, chaque source est plus que le symbole de la vie, c'est la vie elle-même [...]. Les Orientaux, lorsqu'ils rêvent de bonheur, se voient toujours au bord des eaux ruisselantes, et leurs chants célèbrent surtout la beauté des fontaines. Tandis que dans notre Europe bien arrosée, on s'aborde bourgeoisement en se demandant des nouvelles de la santé ou des affaires.* »

³ « *Barbares qui voyons seulement les avantages du trafic, nous admirons les fleuves surtout en proportion du nombre de sacs ou de tonneaux qu'ils transportent dans l'année, et nous nous soucions médiocrement des cours d'eau secondaires qui les forment et des sources qui les alimentent. Parmi les millions d'hommes qui habitent les bords de chacun de nos grands cours d'eau de l'Europe occidentale, quelques milliers à peine daignent, dans une promenade ou dans un voyage, se détourner de quelques pas pour aller contempler l'une des sources principales du fleuve qui arrose leurs campagnes, met leurs usines en mouvement et porte leurs embarcations. [...] Vivant d'une vie artificielle, ils (les bourgeois de la ville voisine) ont perdu de vue la nature, ils ne savent pas même ouvrir leurs yeux pour contempler l'horizon, ils ne se baissent même pas pour regarder à leurs pieds. Que nous importe ! Ce qui les entoure est-il moins beau parce qu'ils y sont indifférents ? Parce qu'ils ne les ont jamais remarquées, sont-elles donc moins charmantes, la petite fontaine qui ruisselle au milieu des fleurs et la puissante source qui s'échappe à bouillonnements des cavernes du rocher ?* »

³ « *Presque en face d'un petit torrent babillard qui bondit avec joie de pierre en pierre pour se mêler à la masse déjà considérable du ruisseau, s'ouvre un ravin très incliné, le plus souvent à sec. Il est probable que ce ravin, creusé dans un sol poreux, est superposé à un lit souterrain où coule un ruisseau permanent ; mais il n'est lui-même parcouru des eaux qu'après les averses d'orage ou les longues pluies. Comme tous les vallons latéraux, il est tributaire de la vallée centrale, mais tributaire*



La pérégrination le long du « Torrent de la montagne » et « *du Ravin* » affluent, est une description des résurgences et exurgences des montagnes calcaires ainsi que de la temporalité des écoulements de certains ruisseaux. Lorsqu'il décrit un ruisseau affluent rejoignant le torrent, E. Reclus décrit un cours d'eau intermittent, qui sans le moindre doute est un ruisseau.

E. Reclus a décrit les différents types de sources et fontaines : froides, tièdes et thermales, salines, calcaires, ferrugineuses, résurgences et exurgences calcaires dans « *la Grotte* » et « *le Gouffre* ». « *Les fontaines de la vallée* » naturelles ou artificialisées sont des endroits d'où l'eau jaillit dans un second temps, après avoir effectué un détour souterrain, le plus souvent par le karst.

Il décrit aussi l'hydromorphologie des ruisseaux et nomme les différents faciès d'écoulements de cascadelles, rapides, cascades. Le bruit de l'eau en fonction des types d'écoulement est quasiment

intermittent. D'ailleurs, il est d'autant plus curieux à visiter, car en se promenant sur le lit desséché, on peut étudier tout à son aise l'action de l'eau courante. »

toujours un élément de description à part entière apportant la dynamique aux descriptions morphologiques. La puissance érosive, les transports sédimentaires et les classements granulométriques laissés après les crues sont progressivement expliqués⁴.

Les crues sont décrites comme soudaines, torrentielles, et dévastatrices⁵. La description des crues amène l'auteur à s'interroger sur la géomorphologie de la vallée, et sur les conditions hydrologiques ayant pu façonner ce relief⁶.

Une chose est certaine pour E. Reclus, c'est que le plus petit ruisseau n'a rien à envier aux fonctionnalités transversales et aux relations que les cours d'eau de grande taille peuvent avoir avec leur environnement riverain. « *Aussi bien que le ruisseau de la vallée et les grands fleuves de la plaine, le petit ravin a ses bords ombragés d'arbres* ». « *Sous ces voûtes d'ombre, dans les profondeurs du ravin, la température est toujours fraîche, même au plus fort de l'été ; les rameaux entrecroisés empêchent l'atmosphère humide de s'échapper dans l'espace et, grâce à la moite vapeur, les fougères aux grandes feuilles retombantes, les champignons groupés fraternellement en petites assemblées croissent et prospèrent sur toutes les berges.* » Lorsque le géographe social, humaniste et engagé décrit la zone humide riveraine, il ne peut s'empêcher de rapprocher ce que l'on

⁴ « *près de la source, il murmurait à peine ; même, en certains endroits, il fallait coller son oreille contre terre pour entendre le frémissement de l'eau contre ses rives et la plainte des brins d'herbe froissés ; mais voici que le petit courant parle d'une voix claire, puis il se fait bruyant, et quand il bondit en rapides, et s'élançe en cascates, son fracas réveille déjà les échos des roches et de la forêt* ». « *Il ne poussait d'abord que ces petits grains de sable ; puis, devenu plus vigoureux, il mettait en mouvement les cailloux ; maintenant il roule dans son lit des blocs de pierre qui s'entrechoquent avec un sourd fracas, il mine à la base les parois de rochers qui le bordent, fait ébouler les terres et les pierrailles, et déracine parfois les arbres qui l'ombragent.[...] Autour de la prairie et du fourré se développe en demi-cercle une plage de sable blanc dont tous les matériaux, ténus ou grossiers, se sont déposés en ordre suivant la force du courant qui les entraînait.* »

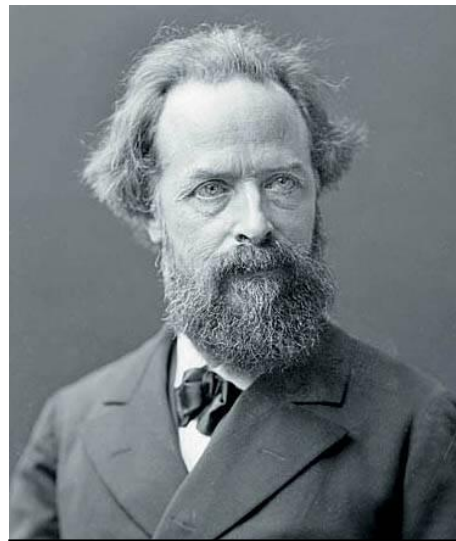
⁵ « *À l'eau de pluie ou même aux amas de neige à demi fondue que la tiède averse a détaché des pentes, se mêlent les débris fangeux, les pierrailles, les quartiers de roche tombés des flancs de la montagne ; dans le lit où d'ordinaire un petit torrent d'eau pure bondit en cascates argentines coule maintenant avec fracas une sorte de bouillie, à demi liquide, à demi solide, qui est en même temps un déluge et un écroulement. Ce sont là les phénomènes qui, dans la série des temps, abaissent peu à peu les montagnes et les étendent en alluvions horizontales sur les plaines et sur le fond des mers. Ces fontaines de torrents finissent par avoir raison des plus hautes cimes ; elles renverseront les Andes et l'Himalaya, comme elles ont déjà renversé des crêtes non moins élevées, que les géologues nous disent avoir existé jadis. Heureusement ces crues soudaines que l'on devrait nommer des avalanches d'eau, changent d'allure à la base des montagnes. Dans la plaine, où la déclivité du sol est relativement faible et même tout à fait inappréciable au regard, la masse liquide du ruisseau perd de sa force d'impulsion et cesse de pousser devant elle les débris écroulés des escarpements : les blocs de rochers s'arrêtent les premiers, puis les grosses pierres et les cailloux ; à la fin, le torrent devenu ruisseau, ne fait plus rouler que le gravier sur le fond du lit et ne porte en suspension que le sable fin et l'argile ténue.[...] les cultures de l'homme sont dévastées et couvertes de fange. Pour le «dur laboureur», qui a concentré tout son amour sur la semence germant dans le sol et sur la tige verte frémissant au soleil, l'inondation, si belle, si majestueuse aux yeux de l'artiste, est le spectacle le plus terrible qu'il soit forcé de contempler* »

⁶ « *quant à notre ruisseau, il fut certainement jadis une large et profonde rivière. La vallée, dont les prairies et les champs occupent aujourd'hui toute la largeur, était remplie par les eaux et, sur les pentes opposées des collines se voient encore d'anciennes berges, sculptées par le courant. L'espace aérien dans lequel les arbres de la rive balançaient librement leurs têtes était occupé, jusqu'à vingt ou trente mètres du sol, par une masse liquide énorme roulant vers la mer avec une vitesse de dix kilomètres à l'heure. C'est là du moins ce que nous ont dit les géologues, après avoir fait remuer le sol par des paysans et regardé longtemps dans la plaine et sur le versant du coteau les sables, les cailloux et les argiles charriés autrefois par le courant.* »

appellerait aujourd'hui des groupements phytosociologiques à l'organisation idéale des sociétés humaines⁷.

C'est en décrivant « le torrent des montagnes » qu'Élisée Reclus apporte incontestablement la première

définition géographique de la « tête de bassin » : « Parmi les innombrables ruisseaux qui courent à la surface de la terre et se jettent dans l'océan ou se réunissent pour former rivières ou grands fleuves, celui dont nous allons suivre le cours n'a rien qui le signale particulièrement à l'attention des hommes.[...] Les monts d'où s'épanchent les premières eaux du ruisseau sont d'une élévation moyenne : verts jusqu'aux sommets, ils sont veloutés de prairies dans tous les vallons, touffus de forêts sur tous les contreforts, et des pâturages, à demi voilés par les vapeurs bleuâtres de l'air, tapissent les hautes pentes. Une cime aux larges épaules domine les autres sommets, qui s'alignent en une longue rangée en projetant des chaînons de collines entre toutes les vallées



Photographie 4 : Jean-Jacques Élisée Reclus, écrivain et géographe

Paris, médiathèque de l'architecture et du patrimoine, archives photographiques
© CMN

latérales. Les brusques escarpements, les promontoires avancés ne permettent pas de comprendre d'un regard l'ordonnance du paysage : on ne voit d'abord qu'une sorte de labyrinthe où dépressions et hauteurs alternent sans ordre : mais si l'on planait comme l'oiseau, ou si l'on se balançait dans la nacelle d'un ballon, on verrait que les limites du bassin s'arrondissent autour de toutes les sources du ruisseau comme un amphithéâtre et que tous les vallons ouverts dans la vaste rondeur s'inclinent en convergeant l'un vers l'autre et se réunissant en une vallée commune. La chaîne principale des hauteurs forme le bord le plus élevé du cirque ; deux autres côtés sont des chaînons latéraux qui s'abaissent graduellement en s'éloignant de la grande arête, et quelques collines basses se rapprochent pour fermer le cirque parallèlement aux montagnes ; mais elles laissent une issue, celle par laquelle échappe le ruisseau. » Sans outil cartographique perfectionné, Élisée Reclus voyait et décrivait l'amont des bassins versants par le haut comme nous le faisons aujourd'hui en consultant des cartes topographiques ou notre indispensable SCAN 25000 de l'IGN. Il décrivait graduellement les différentes parties de l'amont des bassins en signalant leurs banalités qui les rendent à priori inintéressantes et les interfluves. Pourtant, il s'agissait bien d'une

⁷ « nul désordre dans cette étonnante diversité ! Au contraire, les plantes groupées librement, suivant leurs affinités secrètes et la nature du terrain qui les porte, constituent par leur ensemble un spectacle emplissant l'âme d'une impression singulière d'harmonie et de paix. Là, rien d'artificiel ni d'imposé comme dans un régiment de soldats au geste mécanique, au costume uniforme, mais le pittoresque, le charme poétique, la liberté d'attitude et d'allure, comme dans une foule d'hommes de tous les pays où chacun se rapproche des siens. Il est vrai, dans ce ravin aussi bien que sur la terre entière, la bataille de la vie pour la jouissance de l'air, de l'eau, de l'espace et de la lumière ne cesse pas un instant entre les espèces et les familles végétales ; mais cette lutte n'a pas encore été régularisée par l'intervention de l'homme, et l'on croirait, au milieu de ces plantes si diverses et si gracieusement associées, se trouver dans une république fédérative où chaque existence est sauvegardée par l'alliance de toutes. »

description de géographie physique réaliste ; certes appliquée à un type de tête de bassin, plutôt de montagne ou de moyenne montagne, mais fédérée et validée finalement par le ruisseau exutoire.

Par une approche géographique sociétale, il nous est montré que l'eau a une importance capitale dans ces territoires, elle est un pilier fondateur de nombreuses civilisations qui ont d'ailleurs vénéré un grand nombre de sources. « Nos ancêtres [...] savaient utiliser tous les torrents d'eau claire pour les diviser en d'innombrables canaux et transformer ainsi les campagnes en jardins ; mais s'ils invoquaient les fontaines, s'ils leur offraient les sacrifices, ce n'est point seulement parce que l'eau fait pousser les gazons et les arbres, abreuve les peuples et les troupeaux, c'est aussi, disaient-ils, parce qu'elle rend les hommes purs, parce qu'elle équilibre les passions et calme les « désirs déréglés » [...] l'histoire des nations nous montre la source et le ruisseau contribuant directement aux progrès de l'homme plus que l'océan et les monts et toute autre partie du grand corps de la terre. Mœurs, religions, état social dépendent surtout de l'abondance des eaux jaillissantes. [...] tel ruisseau qui coule dans les prairies a souvent plus fait que des armées pour le salut d'un peuple. »

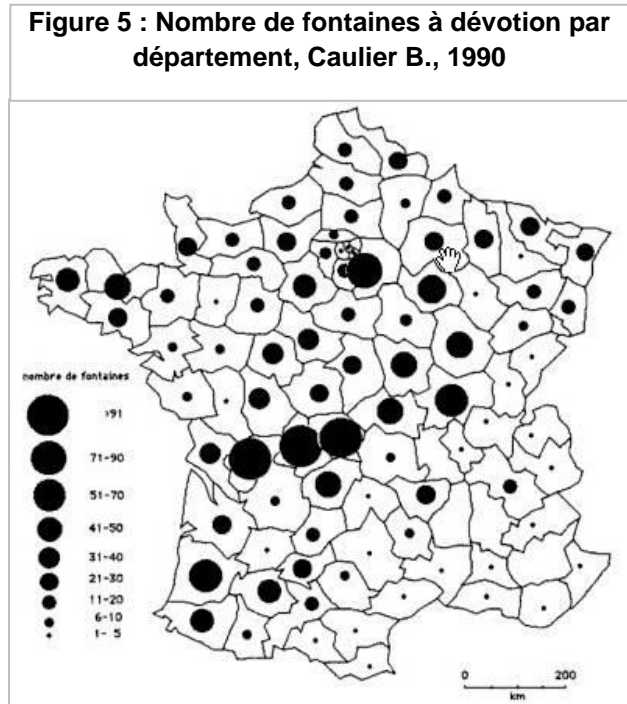
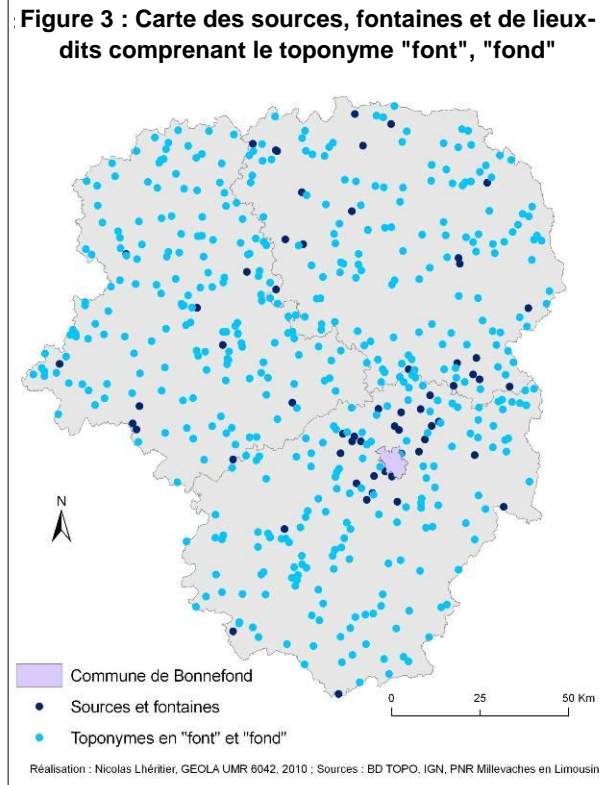
En géographe social anarchiste, E. Reclus fait un parallèle entre la pureté, la jouvence incarnée par les sources et la volonté des hommes à éduquer leurs jeunes comme ils le feraient pour domestiquer le ruisseau. « Dans nos écoles et nos lycées, nombre de professeurs, sans trop le savoir et même croyant bien faire, cherchent à diminuer la valeur des jeunes gens en enlevant la force et l'originalité à leur pensée, en leur donnant à tous même discipline et même médiocrité ![...] Que le collégien sorti de la prison, sceptique et blasé, apprenne à suivre le bord des ruisseaux, qu'il contemple les remous, qu'il écarte les feuilles ou soulève les pierres pour voir jaillir l'eau des petites sources, et bientôt il sera redevenu simple de cœur, jovial et candide ».

Dans son texte, É. Reclus a décrit les fonctionnements hydromorphologiques des ruisseaux, et exposé les enjeux qu'ils représentent pour les sociétés. Les parallèles entre les dysfonctionnements sociétaux qu'il dénonce, et les particularités des ruisseaux et zones humides à être tous différents, fascinants et beaux par cela, ont classé ses pensées dans le politiquement incorrect de l'époque, dans d'autres textes, il franchira la limite du politiquement interdit. Ceci a certainement nuit à ce que l'on poursuive son travail.

Au-delà de l'engagement politique qui émane de ce texte, Élisée Reclus nous a apporté des connaissances de base essentielles. Tout d'abord, sa description du fonctionnement hydrologique, hydromorphologique des ruisseaux de montagne est inédite pour son époque. À cette période, les ruisseaux français étaient pollués par les eaux usées des villes. Les ruisseaux et les sources sont à la base de nombreuses sociétés. L'amont des bassins versants est également décrit, ainsi que les notions d'interfluves et du fonctionnement karstique. Le peu

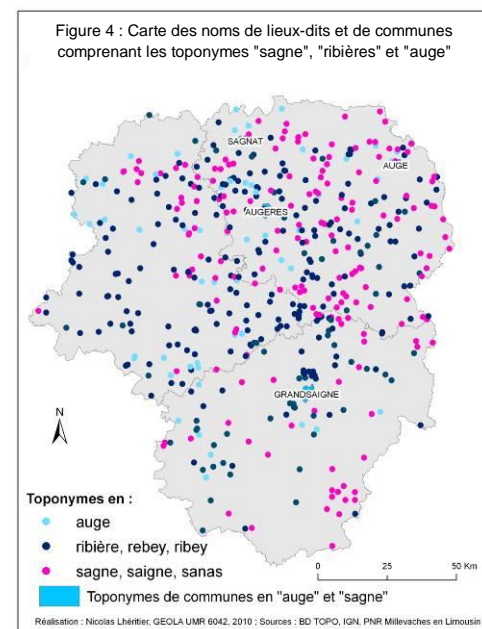
d'intérêt porté aux ruisseaux et aux sources était présenté comme une menace pour leur avenir.

1.1.3. Sources, ruisseaux paganisme et paysannerie



Les ruisseaux ont de tout temps eu une place importante dans la culture et l'agriculture des

régions rurales. Indispensable à la vie végétale et animale, l'eau des sources et des ruisseaux des régions aux denses réseaux hydrographiques fut donc naturellement assimilée à la vie et un grand nombre de croyances furent associées aux fontaines. Les régions où les sources sont nombreuses sont prédestinées à accueillir un grand nombre de « bonnes fontaines ». C'est le cas du Limousin et de la Bretagne qui détiennent le plus de fontaines à dévotion. Le département de la Haute-Vienne détient à lui seul plus de 120 fontaines. Cependant, l'abondance de sources n'est pas l'unique facteur pour expliquer qu'une région a beaucoup de fontaines sacrées, l'importance de la religion chrétienne dans les microsociétés est souvent un facteur limitant du nombre de points d'eau sacrés.



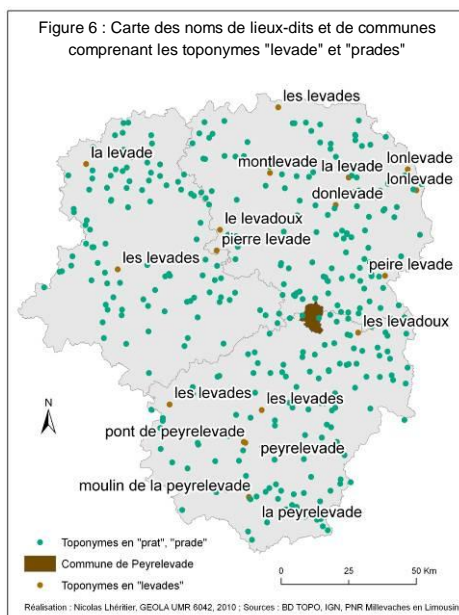
Les ruisseaux agricoles étaient largement utilisés pour l'irrigation, aussi bien en régions arides que sèches. En effet, ils ont joué un rôle important dans l'agriculture, de l'Europe occidentale, centrale et septentrionale. En effet, en déviant une partie de leurs eaux dès le Moyen Âge les cultures et les prairies étaient irriguées. Michel Coubaret en 1999 distingue deux grands types d'irrigation en Europe. L'irrigation de nécessité qui était surtout dédiée à combler le manque d'eau dans les reliefs à influence méditerranéenne et l'irrigation « d'intensification » fourragère qui servait à accroître les rendements des prairies fauchées ou pâturées dans les régions d'élevage comme le Limousin, les Vosges, ou encore en Scandinavie. Les paysans irriguaient les prairies dans ces zones tempérées en climat océanique dégradé où les précipitations permettent pourtant une bonne production de fourrages.

Photographie 5 : Les ruisseaux de prairie insignifiants et isolés réservent au pêcheur, souvent, de grandes surprises, Stochl, S., 1970, cliché de l'auteur



C'est pour cela que les patois locaux paysans apportent bien des connaissances définitives et étymologiques sur la diversité des ruisseaux. En occitan, la rivière et le cours d'eau se disent *riu*, le ruisseau se dit *rèc*, et désigne les « fossés de chaque côté d'une voie de circulation » ou *rial* pour désigner une très petite rivière. Le *recmòrt* désigne le « collecteur d'égout » ou le « ruisseau à

écoulement souterrain ». Le *recmairal* désigne le « ruisseau d'écoulement principal ». *Reguier* correspond au « ruisseau de rue ». Les termes *gandòla*, *cola* (désignant aussi la colline), *rèc* ou encore *valadet* désignent la rigole. Les termes composés sont nombreux selon la fonction et la taille de cet écoulement. *Aigairòl* ou *aigarèl* sont des petites rigoles bâties sur la racine *aiga* eau, et la *besala* est une rigole d'arrosage (*besalada* signifiant « éclusée » et *besal*, le bief) le verbe *besalar* signifie creuser des rigoles, *viòla*, est une « rigole de prairie ». La rigole ayant une fonction d'irrigation est *ragierà*, l'*escalussada* est une « rigole de drainage ». Plus localement, le *riau* désigne le ruisseau, *levado* signifie la rigole et *lèvo*, la grande rigole



d'irrigation. Le *moular* désigne le *marécage*.

En Occitanie le « marécage » où les terres humides se disent *sanha moliéras* ou encore *moissa* qui donneront les toponymes de « sagne », des « mouillères ou moulières » ou de « Moissannes ».

En Limousin, les prades, prat, pradelles, pradeaux, pradille, pradal perçus encore dans le langage des agriculteurs par l'appellation pradage sont des toponymes faisant référence à la présence de prés bien souvent de fauche et tirés du latin *pratum* signifiant pré. L'importance spatiale de ces prés a pu donner des noms de commune comme Pradines, irriguée par la Corrèze de Pradines. Eigadis tiré de l'occitan (aiga : eau) signifie la partie du pré irriguée par l'eau amenée par les levades. Ce toponyme n'est recensé que sur les plans cadastraux.

Levada, signifie digue en occitan et le verbe *levadar* signifie réparer les rigoles d'arrosage. Les levades étaient construites ou creusées sur les versants en contre haut des prairies de fauche, ce qui permettait de les irriguer par gravité. Afin de contenir l'eau sur les versants, des pierres certainement prises dans les ruisseaux servaient à construire par endroits des sortes de digues qui permettaient de consolider l'ouvrage. Bien des toponymes limousins, et surtout creusois et corrèziens associent la pierre et la levade, comme la commune de Peyrelevade, ou encore des lieux dits en *peire levade*. Dans la région de Châteauneuf-la-Forêt (Monts et Barrages, Haute-Vienne), une distinction est faite entre la *levado qui* signifie la rigole et *lèvo*, la grande rigole d'irrigation.

**Photographie 6 : Une lève sur le bassin versant du ruisseau de Lauzat (Beaumont-du-Lac, 87),
Lhéritier N., 2007**



Dans les meilleures prairies irriguées, les rendements de foin pouvaient atteindre 7,5 tonnes à l'ha, et 1,5 tonne de regain en seconde coupe. Les meilleures prairies étaient légèrement pentues, car elles étaient drainées naturellement du fait de la pente et du sol. Elles avaient un caractère mésohygrophyle. Dans les prairies humides, les rendements de foin étaient moindres : 5 tonnes à l'ha au mieux, et après la première coupe, elles étaient pâturées.

En Haute-Vienne, en 1886, les prairies occupaient 143 000 ha, ce qui plaçait le département en deuxième position au niveau national derrière le Cantal du point de vue de cette occupation des sols.

Même si les lèves et levades sont associées à l'irrigation, le fait de dévier l'eau permettait également de limiter l'excès d'eau en déconnectant la zone humide du ruisseau. En effet, lorsqu'une prise d'eau dévie le cours naturel de l'eau d'un talweg, elle permet d'assécher plus facilement les fonds de vallon par le drainage. L'eau s'écoule alors en bord de parcelle. En sortie de parcelle, l'eau regagne alors le lit par l'intermédiaire d'un chenal pentu. Mais aussi paradoxale que cela puisse paraître, ils étaient également irrigués afin de les enrichir en fertilisant, et augmenter les rendements. En Limousin, le faible PH de l'eau permet une teneur de matière organique dans l'eau supérieure à 1 % et des teneurs en silice et chlorure de sodium supérieures à 5 %. Véritable fertilisant, l'eau des ruisseaux avait pour fonction celle des engrais azotés d'aujourd'hui.

Figure 7 : Photographie interprétée d'une lève, d'une rigole de drainage et du talweg naturel d'un affluent du ruisseau d'Alesmes (Champnétery, 87), Lhéritier N., 2009



L'homme n'a donc pas attendu l'invention de la rigoleuse et du drain PVC pour rendre les zones hydromorphes exploitables. L'eau débordant des levades avait un triple rôle. Le premier était de rendre la repousse de l'herbe plus précoce en réduisant la période de gel des prairies. En effet, la présence d'une pellicule d'eau sur la prairie de versant permettait de limiter le gel qui est le premier facteur de retard de la reprise de la photosynthèse. Le second permettait une fertilisation par les minéraux contenus dans l'eau. Enfin, lors des périodes de sécheresse, on utilisait ces levades pour irriguer. Ces levades étaient soit des prises d'eau directes sur le cours d'eau, soit des prises d'eau sur

de petites mares qui étaient également utilisées pour le rouissage du chanvre et la production de cresson.

En 1949, Filliol J. écrivait dans « *L'irrigation dans la montagne limousine* » : « *Renoncer totalement à l'irrigation, ce serait non seulement abandonner les prairies naturelles, mais encore ruiner les exploitations puisque l'élevage constitue la principale ressource du montagnard limousin. Nous n'en sommes pas encore là. Dans l'état actuel des choses, on peut dire que l'irrigation continue à jouer un rôle primordial dans l'économie rurale de la montagne, et plus encore, puisqu'elle est par voie de conséquence le principal adversaire de la dépopulation qui sévit si cruellement dans cette région par ailleurs déshéritée.* »

L'agriculture a connu des changements radicaux en ½ siècle. Le drainage est désormais mécanisé, et l'irrigation des prés a disparu. En ce qui concerne la ruine des exploitations, l'auteur n'avait à cette époque pas connaissance de ce qui allait découler des politiques agricoles communes, les spécialisations qu'elles allaient entraîner, avec les déséquilibres socio-économiques qui y sont associés. Ceci se traduit par des restructurations foncières, un agrandissement des exploitations et une baisse du nombre d'agriculteurs. L'agriculture et surtout l'élevage en région de montagne et de moyenne montagne doivent être largement soutenus par des aides financières.

L'irrigation des prairies ayant disparu, elle ne joue plus un rôle économique pour l'éleveur moderne, nous allons voir que les exploitations ne sont plus autosuffisantes en ce qui concerne la ressource fourragère herbe, nécessitant ainsi la production de plantes fourragères autres comme le maïs d'ensilage pouvant être irrigué.

Pour ce qui est du réseau hydrographique, le drainage peu profond participe à sa réduction. En Limousin ces outils étaient le taille-pré et le *fessou* (large et solide houe). Le taille-pré permettait de tracer la rigole en découpant la prairie sur une faible profondeur (moins de 20 cm), à l'aide du *fessou* les mottes de prairies étaient extirpées. Les pratiques étaient tellement répandues qu'elles

Photographie 7 : Un paysan traçant une rigole au taille-pré, Louradour S., 1994, clichés de l'auteur



faisaient l'objet d'accords écrits lorsqu'une même rigole d'irrigation passait d'un pré à l'autre. De ce

Les têtes de bassin de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins

fait, avant la révolution agricole des années 1950 l'homme participait à la densification des réseaux hydrographiques par la création de rigoles, l'eau était son alliée pour bien des activités. Les rigoles de drainage et les levades d'irrigation étaient autant de petits rus qui présentaient des caractéristiques tout à fait intéressantes pour remplir la fonction d'habitat de reproduction de la truite commune. La technique manuelle utilisée pour réaliser ces petits canaux favorisait la mise en place d'une granulométrie adaptée à la construction des nids par les truites. Les témoignages des pêcheurs vétérans précisent que beaucoup de truites étaient prises lors de l'ouverture de la pêche dans ces petits cours d'eau de rang 1. Les actes de braconnage par la dérivation totale des eaux du ruisseau dans la lève et le ramassage des truites et écrevisses étaient chose courante.

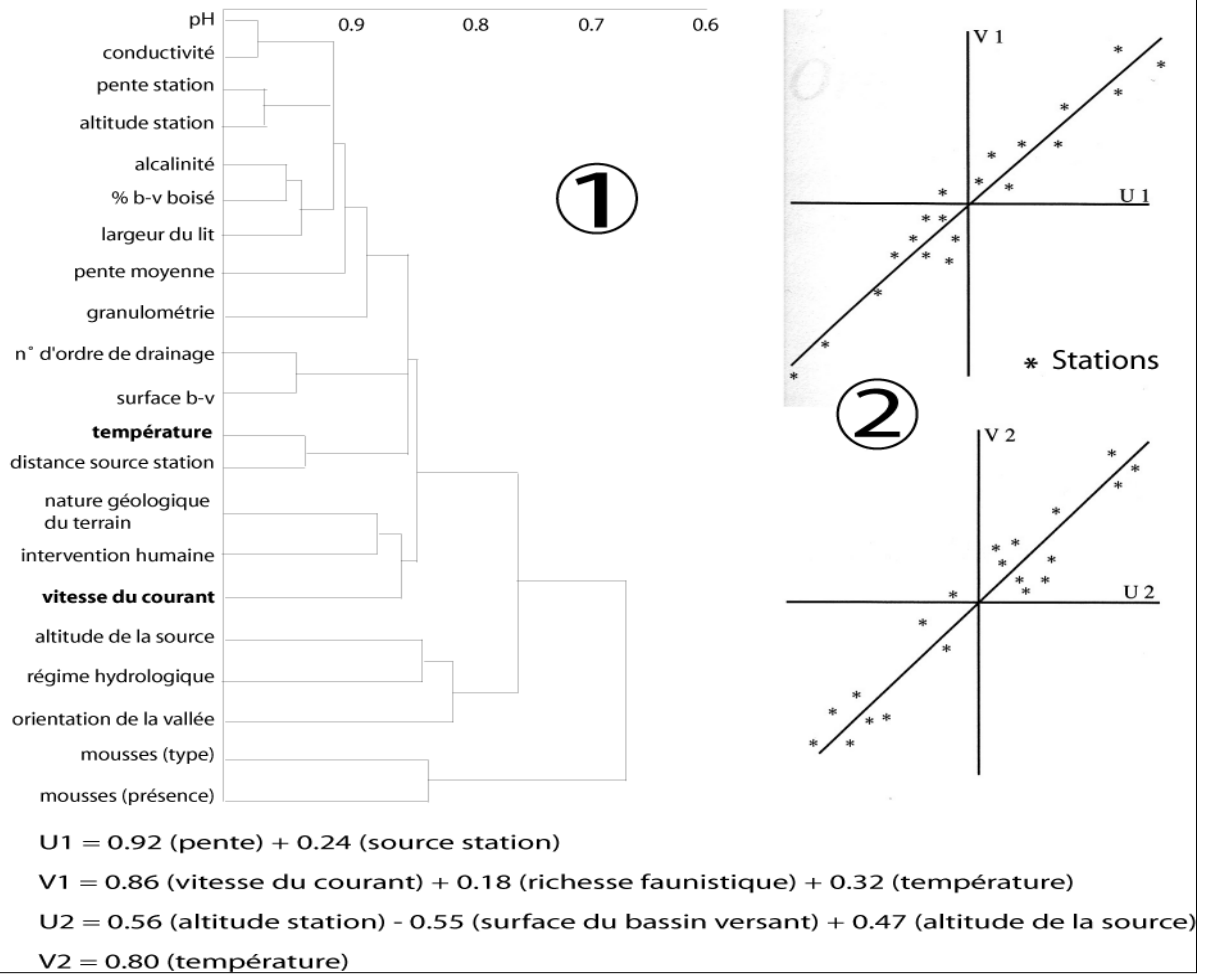
1.2. Les ruisseaux dans une science sélective

Malgré l'appel lancé par Élisée Reclus pour l'étude des ruisseaux, son travail ne sera pas poursuivi. Il s'en suit une période où les scientifiques, y compris les géographes préféreront consacrer leurs recherches aux fleuves du fait de leurs usages beaucoup plus évidents pour les sociétés, car au cœur de l'économie de l'époque. Les propos tendant à dire que les sociétés occidentales du XIXe siècle ne se préoccupent pas des ruisseaux du fait qu'ils ne sont pas directement des vecteurs de développement économique (surtout vis-à-vis des transports et de l'énergie) se retrouvent encore au XXe siècle, il s'agit même d'un élément de différenciation entre la rivière et le ruisseau pour les géographes. Roger Lambert (1990, p. 202) écrivait « c'est à partir du point où il est capable de porter un bateau, disait-on, qu'un cours d'eau cesse d'être *ruisseau* pour devenir *rivière* ». Les usages liés aux ruisseaux sont jugés comme étant simples de mise en œuvre et, de ce fait, il n'est pas considéré comme indispensable d'étudier ces cours d'eau : « Aucune [des fonctions] n'est spécifiquement liée aux grands fleuves : il suffit d'un ruisseau pour faire tourner la roue d'un moulin. Mais, là encore, la dimension joue un rôle essentiel, le principe étant que, en dehors des usages les plus simples, la complexité de toute mise en œuvre des ressources hydrauliques croît avec le débit du fleuve » (Bethemont, 1999, pp. 14-15).

Les principaux éléments de différenciation entre les ruisseaux et le reste des hydrosystèmes se trouvent donc dans les études écologiques visant à comprendre les régionalisations écologiques des cours d'eau. Comme la plupart des écosystèmes les milieux aquatiques sont répartis dans de grandes typologies qui correspondent à une zonation climatique, à l'altitude, à la continentalité et l'orientation. Les effets qu'ont ces éléments sur les températures vont bien entendu se répercuter sur les températures de l'eau. Le premier facteur responsable de la mise en place des saisons solaires et thermiques de l'eau est la latitude.

Figure 8 : Corrélations entre les variables physiques et physicochimiques avec l'écologie des eaux courantes Angelier E. et M.L, Lauga J., 1985

- 1 Classification hiérarchique des paramètres de quelques rivières des Pyrénées centrales et des coteaux de Gascogne. Corrélations entre les paramètres évoluant dans le même sens de l'amont vers l'aval
- 2 Corrélations entre deux ensembles de paramètres, topographiques et écologiques, par l'analyse canonique



La vitesse d'écoulement intimement liée à la pente, mais aussi la température de l'eau liée à l'altitude sont les paramètres qui dominent dans la répartition des espèces aquatiques et vont être largement étudiés dans le but de comprendre et modéliser ces régionalisations dans la deuxième moitié du XXe siècle. Avant cette étape de modélisation, les premiers scientifiques appréhendaient surtout l'explication de la répartition des espèces par la description de leurs milieux de vie. Par ce travail, le rôle des ruisseaux vis-à-vis des espèces commençait à être perçu.

1.2.1. Les ruisseaux et les scientifiques de la première partie du XXe siècle

Bien que depuis l'époque d'Élisée Reclus, à la fin de la première moitié du XXe siècle, il n'y eût pas ou très peu de publications consacrées spécifiquement aux ruisseaux, certains travaux naturalistes et de potamologie les ont pris en considération. Certes, il s'agit de connaissances diluées dans des travaux cherchant à régionaliser l'ensemble d'un hydrosystème, mais en explorant les premières tentatives de biotypologies des eaux courantes, nous recensons des descriptions scientifiques qui constituent les premiers savoirs de l'écologie des ruisseaux, et de différenciation entre les rivières et les ruisseaux. Si nous trouvons des éléments scientifiques sur l'écologie des ruisseaux au début du XXe siècle, c'est qu'ils sont surtout réalisés dans des buts de gestion piscicole. Ce que nous enseigne Élisée Reclus sur leur non-considération du fait des faibles enjeux économiques directs (transports, énergie) qu'ils représentent n'est donc pas remis en question, l'homme les a alors étudiés pour ses intérêts en matière de ressource halieutique.

Ainsi, Léger en 1909 propose une évaluation de « la capacité biogénique » des cours d'eau au sens de la productivité piscicole. Cette évaluation tient compte de la pente, largeur et profondeur, mais aussi de la morphologie des berges et du lit, de la végétation rivulaire, de la ressource trophique en insectes aquatiques et terrestres, pondérés avec les prélèvements par la pêche ou le braconnage, les pollutions, les obstacles à la libre circulation piscicole. Aucun des paramètres ne sera réellement quantifié et mis en relation avec les densités de poissons. Une amélioration sera apportée par Vibert en 1948, bien connu des gestionnaires halieutiques pour ses petites boîtes. Cette amélioration aboutira à l'évaluation du nombre d'alevins à déverser dans un cours d'eau pour une production optimale, mais aussi pour calculer le montant de l'indemnisation à verser aux sociétés de pêche après une pollution (Trocherie, 1984).

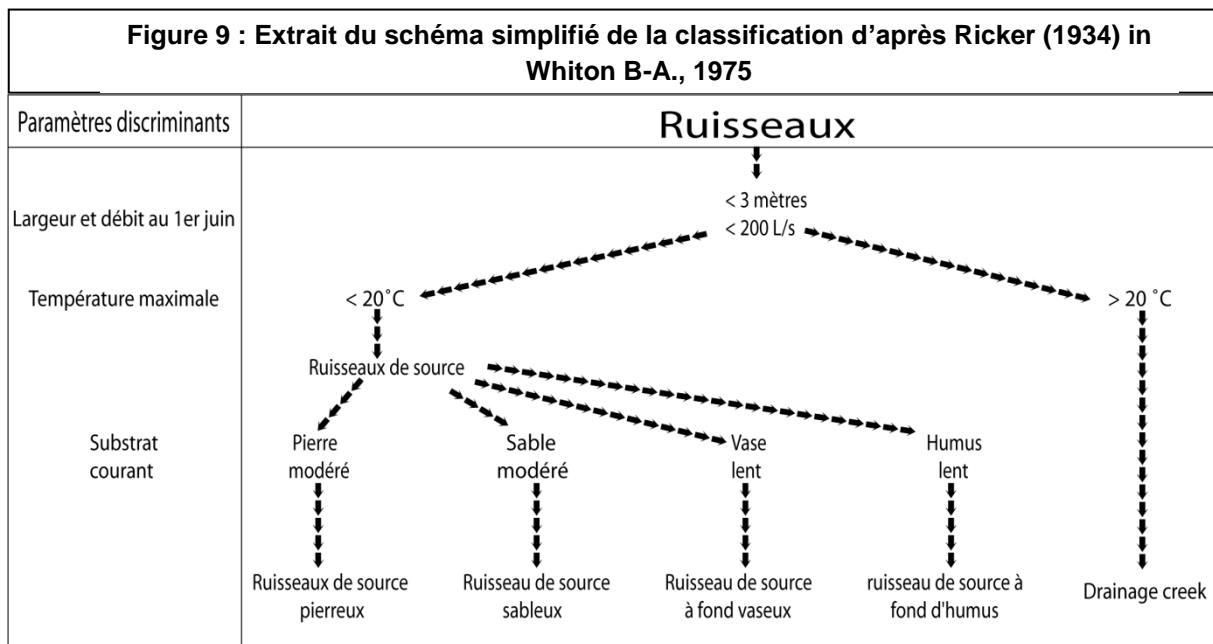
Les premiers éléments détaillés de description écologique des ruisseaux sont apportés par Carpenter en 1928 qui différencie les cours d'eau en deux niveaux. Le premier niveau correspond aux « Highlands brooks » des « Lowland courses ». À l'intérieur des ruisseaux des hautes terres, il différencie les « Head streams », les « Trout Becks » et les « Minnow reaches ».

Les têtes des cours d'eau sont décrites comme étant des cours d'eau à faible débit, ils sont présents dans les hautes altitudes, ils sont alimentés par les glaciers et peuvent avoir des écoulements torrentiels lors de la fonte des glaces au printemps et en été. Ils sont généralement peu profonds et leur écoulement et leur tracé ne sont pas fixes. Leurs eaux sont en intime relation avec le terrain, elles sont froides, oligotrophiques, sténothermales et saturées en oxygène. Des macrophytes sont présentes dans les « pool » (mouilles) rocheux. Les diatomées et les bryophytes sont les principaux éléments de la flore. La faune est dominée par les microphages vivant parmi les mousses, ou les invertébrés capables de s'accrocher sur les rochers dans une fine pellicule d'eau. Les seuls poissons présents dans ces cours d'eau sont les truites et les saumons en période de reproduction.

Les « Trout becks » sont formés par l'union des « headstreams » pour donner un cours d'eau qui a un écoulement (tracé) mieux défini (dessiné), un débit plus important et un écoulement plus rapide et plus uniforme. Leur lit est composé de roches érodées. Le fond est occupé par des végétaux épars. Les eaux sont froides, sténothermales et saturées en oxygène. Le courant fort empêche le développement du plancton et les vitesses d'écoulement fortes ne permettent que la présence des bons nageurs comme la truite. Le neuston (organismes vivant à l'interface eau/air) est également exclu. Ce sont les organismes lithophyles qui sont les plus représentés, car ils disposent de beaucoup d'habitats. C'est le cas du chabot (*Cottus gobio*), de la loche franche (*Neimacheilus barbatula*) et de *Ecdyonnurus* (genre d'éphéméroptère).

Le cours à vairon (*Phoxinus phoxinux*) est marqué par une réduction des vitesses d'écoulement et, de ce fait, une réduction du pouvoir érosif. Des dépôts de matières peuvent se faire entre la granulométrie grossière permettant le développement de callitriches et de renoncules. Même si le vairon est la nouvelle espèce présente dans cette zone, les poissons des « trout becks » sont également présents, et surtout dans les courants les plus rapides. Les taux d'oxygène dissous y sont encore importants, et les variations de température y sont plus importantes limitant ainsi la présence de certaines sténothermes d'eau froide comme *Crenobia alpina*. Les limons et la faune et flore associées sont également présents. Le cours à vairon marque une transition entre les cours supérieurs des sténothermes d'eau froide marquée par les écoulements rapides, et les eurythermes des cours d'eau lents de plaine. Des organismes représentant les deux zones y sont présents.

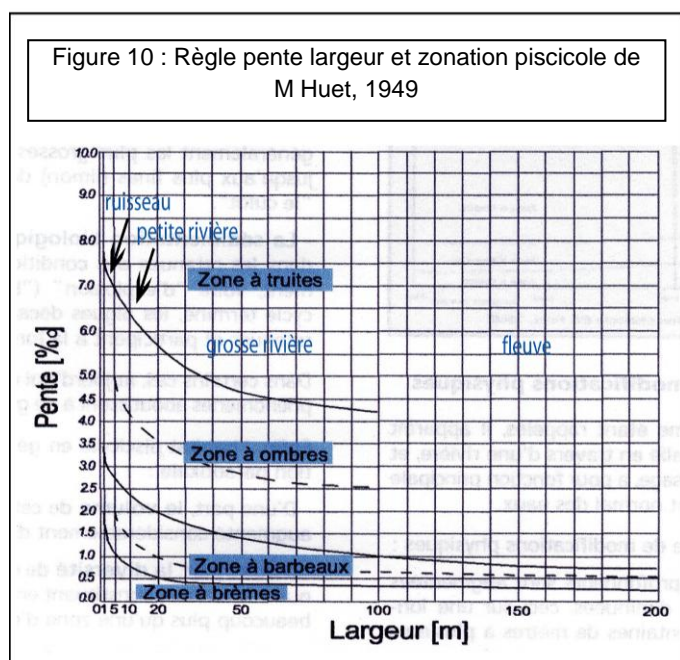
Ricker en 1934 lorsqu'il étudie les cours d'eau de l'Ontario fixe la limite entre la rivière et le ruisseau en fonction de paramètres hydrologiques thermiques et morphologiques. Un cours d'eau cesse d'être ruisseau lorsque sa largeur excède trois mètres et que son débit est supérieur à 200 litres par seconde au 1^{er} juin. Il caractérise ensuite les ruisseaux en fonction de leur température maximale. Les ruisseaux de source « spring creeks » ont une température maximale inférieure à 20°C. Les ruisseaux dont l'eau dépasse les 20°C sont classés en « drainage creek ». Les ruisseaux de source sont eux-mêmes subdivisés en fonction de leur écoulement et des compositions granulométriques de leur lit. En revanche, les « drainage creek » sont peu étudiés, et cette terminologie restera confuse.



La définition, ou plutôt la clé de détermination de Ricker est certainement une des plus précises du début du XXe siècle, pourtant, elle n'a pas été reprise par la plupart des scientifiques (Wasson G., 1989). Ricker a certainement défini ce qu'était un ruisseau de l'Ontario, région qui a des caractéristiques climatiques, pluviométriques, géologiques, géomorphologiques conditionnant tous les critères choisis. Il est compréhensible que cette clé de détermination ne soit pas transposable à l'ensemble du globe.

En reprenant les travaux de Carpenter, Huet 1949, montre que la répartition de la faune piscicole est fonction de la largeur du lit mineur du cours d'eau et de sa pente. Il a pu déterminer quatre zones caractérisées par ces deux facteurs, auxquelles sont associées des populations de poissons.

Il considère le seuil de 20°C comme étant la limite thermique de la zone à truite. D'un point de vue géomorphologique, cette zone est marquée par des ruptures de pente fortes, des rapides et des écoulements torrentiels.



La granulométrie est composée de rochers, de pierres, et de cailloux avec de petites zones de sable et de graviers. Les profondeurs sont variables et peuvent être très faibles localement. L'eau y est aérée.

La zone à ombre est composée de cours d'eau larges avec des mouilles excédant 2 mètres de profondeur, avec une pente plus faible que la zone à truite. Cette zone est marquée par la succession radier - mouille, et par les courants plutôt que par les rapides. La granulométrie y est plus fine que dans la zone à truite, et souvent de graviers roulés. En été, l'eau est moins oxygénée que dans la zone à truite mais reste satisfaisante. Les rapides sont habités par les salmonidés, et les « pools » (mouilles) par les cyprinidés.

1.2.2. Les ruisseaux dans les classifications hydrographiques

Le désintéressement affectant les cours d'eau élémentaires est également perceptible dans la branche de la géographie visant à étudier l'organisation des réseaux hydrographiques. En effet, il a fallu attendre 1945 et les travaux d'Horton pour que l'approche hydrographique et la hiérarchisation des hydrosystèmes se fassent enfin de l'amont vers l'aval, selon la logique que les ruissellements diffus constituent peu à peu des ruissellements concentrés pour enfin devenir des cours d'eau élémentaires.

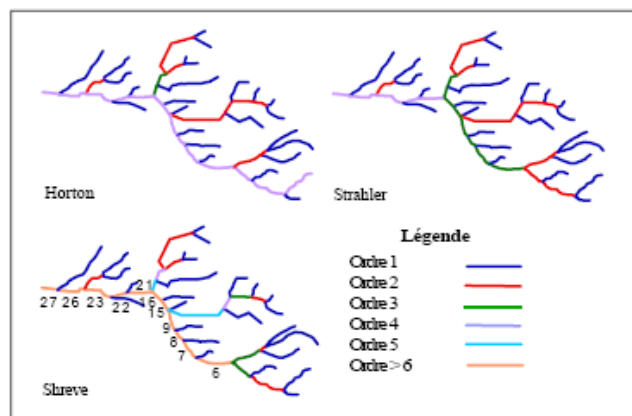


Figure 11 : Les différents types de hiérarchisation des réseaux hydrographiques, Le Pape S., 1998

C'est en 1914 que Gravelius expose une première théorie de classification des cours d'eau. Il prend alors les océans comme niveau de référence. "According to this system, the largest river is considered to be a first order from source to mouth. The tributaries flowing directly into it are of second order, all streams flowing into a second order tributary are of third order, and so one down to the smallest stream". Le fleuve ou la rivière en amont de son estuaire ou de son delta correspondent donc à un ordre 1 les affluents de ce cours d'eau sont d'ordre 2, les tributaires des ordres 2 sont des ordres 3 et ainsi de suite jusqu'aux sources.

Duffar améliore cette hiérarchisation : le rang du cours d'eau est alors égal au nombre de confluences dénombrées de l'aval vers l'amont + 1.

Si « les petits ruisseaux font les grandes rivières », ce n'est pas la logique de ces classifications. En effet, un petit ruisseau côtier breton a le même ordre qu'un fleuve comme la Loire, mais peut avoir les mêmes dimensions transversales et longitudinales qu'un cours d'eau de source bien plus enfoncé dans le continent.

Il faut attendre 1945 pour que Horton révolutionne cette classification en l'inversant. Le niveau de base cesse d'être l'océan, il sera désormais les sources. Ainsi, ce sont les petits cours d'eau de sources qui se voient attribuer le plus petit nombre. La classification s'effectue comme suit. Dans un premier temps, elle s'opère d'amont vers l'aval. Tout tronçon sans affluent est d'ordre 1, en aval d'une confluence de deux ordres 1, le cours d'eau est d'ordre 2. Plus généralement toute confluence d'ordre identique donne un segment d'ordre supérieur. Dans un second temps, les ordres sont redistribués en fonction de la longueur des segments en procédant d'aval vers l'amont. Ainsi, le cours d'eau principal du réseau hydrographique aura le même ordre de son embouchure jusqu'à sa source la plus éloignée.

En 1952, Strahler supprime la deuxième étape de la classification d'Horton. Lorsque deux cours d'eau d'ordre différent confluent, le segment aval garde l'ordre le plus élevé. Il s'agit de la classification ayant le « monopole » aujourd'hui, et Roger Lambert (1996), propose une définition des différents composants d'un réseau hydrographique en fonction du rang de Strahler et de la surface du bassin versant, il réalise ainsi le tableau suivant :

Tableau 4 : Proposition d'une hiérarchie hydrographique pour préciser le vocabulaire relatif au mot « cours d'eau » – Roger Lambert 1996

Ordre	Désignation	Ordre de grandeur de la surface du bassin versant
1 - 2	ru	< 10 Km ²
3 - 4	ruisseau	10 - 100 Km ²
5 - 6	rivière simple	100 – 1000 Km ²
7 - 8	grande rivière	1000 – 10 000 Km ²
9 - 10	fleuve	10 000 – 100 000 Km ²
11 - 12	grand fleuve	100 000 – 1 000 000 Km ²
13 - 14	très grand fleuve	> 1 000 000 Km ²

Cette définition relative aux dimensions spatiales reste à ce jour la seule de géographie physique française. Elle étend le ruisseau des rangs 1 à 4 pour un bassin versant allant jusqu'à 100 Km². Cette transition entre rivière et ruisseau reste large en matière de dimensions des bassins versants, car la surface collectrice nécessaire à la formation des écoulements est différente selon le substrat et les précipitations de la zone.

Qu'il s'agisse de la classification d'Horton ou de celle de Strahler, elles ont pour effet de négliger les apports quantitatifs des affluents d'ordre faible dans les grands cours d'eau. C'est pour

cela qu'en 1960, Rhyaniatsin reprend la hiérarchisation de Strahler et propose une nouvelle classification. Lorsqu'un cours d'eau d'ordre i reçoit consécutivement deux affluents d'ordre n , tel que $n < i$ alors le cours d'eau principal devient, en aval du second affluent, d'ordre $i + 1$. Ainsi, lorsqu'un ordre 3 reçoit deux ordres 2, il devient ordre 4.

Dans la même logique, Scheiddegger en 1965 additionne les ordres des affluents à chaque confluence. Cette classification est uniquement composée de nombres pairs. Les habituels rangs 1 correspondent à des rangs 2.

Shreve en 1967 s'inspire des travaux d'Horton et Strahler. Il propose une classification avec une arborescence de segments qui peuvent être intérieurs et extérieurs. Tous les premiers écoulements, c'est-à-dire lorsqu'ils relient une source à une première confluence sont dits extérieurs. Les tronçons intérieurs sont donc ceux qui relient deux confluences successives dans l'arborescence. Pour attribuer une magnitude (Shreve préfère le terme magnitude aux termes rang ou ordre) au segment de cours d'eau, il attribue une magnitude 1 aux tronçons extérieurs, et lorsqu'un tronçon est formé d'un cours d'eau de magnitude n et n' , il se voit attribué la magnitude $n + n'$. Finalement, la magnitude de l'exutoire correspond au nombre de sources du bassin versant.

Ces deux dernières classifications tiennent compte des apports quantitatifs des petits cours d'eau dans la rivière principale. Cela est très important si l'on veut classer les cours d'eau en vue d'analyses hydrologiques quantitatives ou qualitatives puisque le phénomène de dilution physicochimique dépend de la quantité d'eau.

Sur un bassin hydrogéologiquement homogène, une longueur de tronçon de cours d'eau est liée à une quantité d'eau écoulee (exception faite des transferts de bassins et des tronçons à débit réservé), il s'agit du débit spécifique intimement lié aux caractéristiques géomorphologiques du bassin versant qui conditionne la densité de drainage (linéaire de cours d'eau / surface du bassin). Plus un tronçon est long plus il va drainer de surface ; ce phénomène va se ressentir sur sa dimension propre, mais également sur celle du tronçon à son aval. À l'heure actuelle, des outils logiciels de géomatique permettent de calculer avec précision les longueurs des tronçons de cours d'eau.

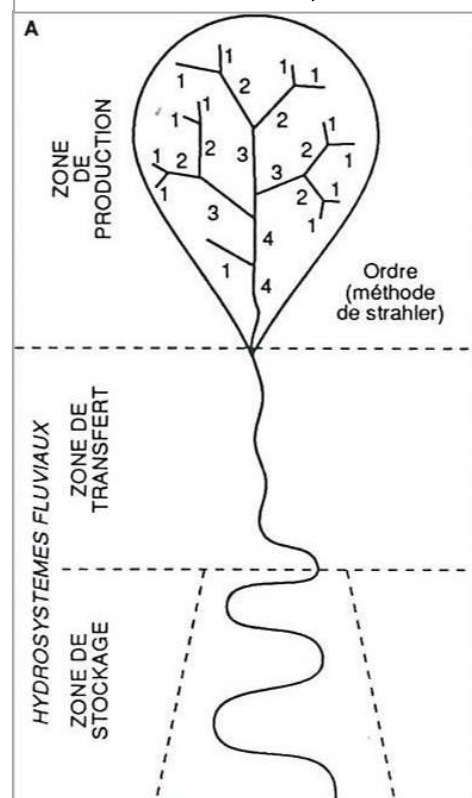
Les géographes en s'intéressant à l'organisation des réseaux hydrographiques se sont attachés à trouver des logiques mathématiques dans les hydrosystèmes, A.N. Strahler et Horton démontrèrent des corrélations concernant les rapports entre les successions de segments de cours d'eau dans les élaborations des classements en rang. D'après Strahler A.N., il faut en moyenne 4,5 cours d'eau de rang 1 pour former un cours d'eau de rang 2 et autant de cours d'eau de rang 2 pour former un rang 3. Ce rapport correspond au rapport des bifurcations, il a en numérateur les segments de cours d'eau de rang x et en dénominateur les

cours d'eau de rang $x + 1$. Il y a donc une logique hydrographique dans la constitution des hydrosystèmes qui part de l'amont.

1.2.3. Les ruisseaux dans les régionalisations hydrobiologiques récentes

La première moitié du XXe siècle fut consacrée à des descriptions locales des cours d'eau en relation avec la faune aquatique présente. Les travaux des précurseurs comme Carpenter et Ricker sont repris pour finalement aboutir au concept de continuum fluvial de Vannote en 1980. Ce concept tente d'expliquer les différentes régions écologiques des cours d'eau de l'amont vers l'aval selon plusieurs paramètres internes et externes aux cours d'eau. C'est en considérant plusieurs hydrosystèmes dans leur ensemble que les relations entre les biocénoses des cours d'eau et leur environnement vont permettre de dégager des régions écologiques qui seront toujours très proches selon les travaux, mais dont les transitions seront constamment discutées et disputées par les hydrobiologistes. L'élaboration des ordinations hydrographiques partant de l'amont va permettre de fixer les limites transitoires à ces régions écologiques. Avant les classifications d'Horton et de Strahler, il n'était pas possible de trouver des limites communes et transposables à plusieurs cours d'eau. De plus, ces travaux apportent des connaissances sur la géomorphologie des hydrosystèmes entrant dans les régionalisations écologiques.

Figure 12 : Fonctions sédimentaires des différentes parties des réseaux hydrographiques selon Schumm in Petts et Amoros, 1993



Les petits cours d'eau localisés en « tête du réseau hydrographique » introduisent l'eau et les sédiments dans le système fluvial à partir des versants. Ils constituent la « base du paysage » et sont conçus comme un « système de drainage » (Horton, 1945), il s'agit de la « zone de production » ou « zone d'alimentation » (Schumm, 1977). Les flux de matières et d'énergie unidirectionnels de l'amont vers l'aval sont favorisés par des pentes fortes induisant des courants forts qui sont responsables de l'érosion, malgré de faibles débits et des largeurs réduites. Ces cours d'eau de « tête de bassin » présentent donc des caractères de torrent, et d'eaux turbulentes, fraîches et bien oxygénées. Les ruisseaux ont donc un rôle primordial dans l'hydromorphologie des réseaux hydrographiques, puisqu'ils constituent la zone de production sédimentaire (du rang 1 jusqu'au rang 4). Ainsi, les alluvions et colluvions fournies par les ruisseaux et les versants constituent une part importante des sédiments des rivières apparentées à la zone de transfert. Les fleuves quant à eux sont des zones de stockage.

Selon le concept de continuum fluvial qui s'attache aux entrées et flux de matières et d'énergie le long d'un gradient longitudinal, l'énergie solaire est bien souvent interceptée par un dense couvert végétal, avant d'atteindre les milieux aquatiques, le privant de cette énergie nécessaire à l'installation de végétation aquatique. Seules quelques mousses recouvrent les blocs, les principaux apports organiques sont donc extérieurs au système, il s'agit essentiellement de débris végétaux, et de cadavres et déjections d'animaux terrestres. La faune y est peu abondante,

adaptée aux forces de cisaillement et exigeante en oxygène comme les salmonidés. Ces petits cours d'eau apparaissent donc comme étant extrêmement dépendants de leur environnement.

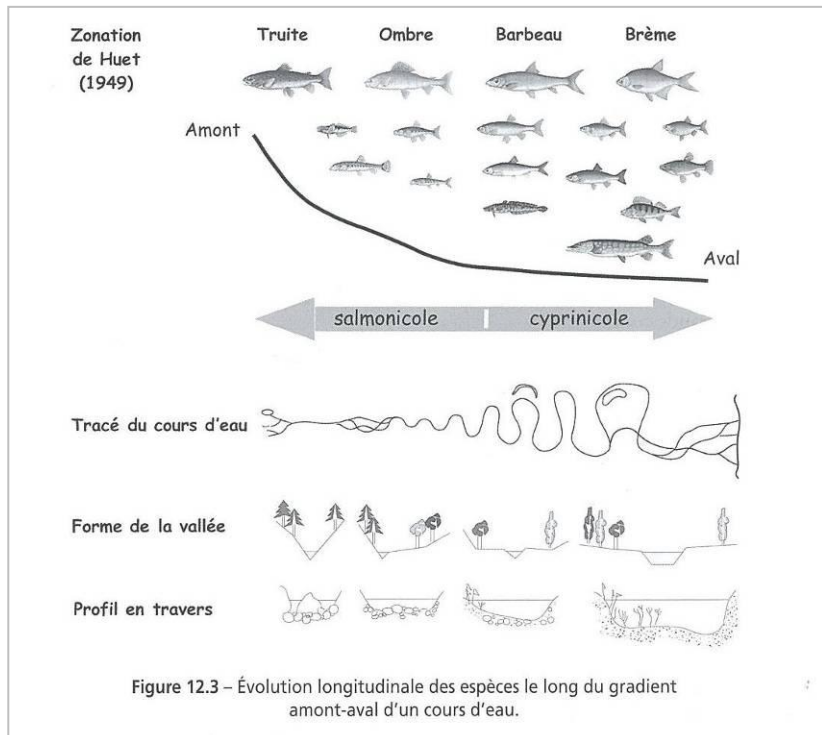


Figure 13 : Evolution longitudinale de la morphologie des vallées, cours d'eau et de la répartition des espèces, Boët P., in Le Fustec E. et al, 2000

Si les transferts de matières et d'énergie évoluent de l'amont vers l'aval, il en est de même pour les écosystèmes d'eau courante qui ont fait l'objet de nombreuses tentatives de régionalisations écologiques. Ainsi, il est possible de corréliser la zonation de Huet (1949), une des plus anciennes, avec la forme du tracé des cours d'eau, indissociable des morphologies de la vallée et des profils en travers des cours d'eau.

Carpenter, Ricker et Huet se doutaient de l'importance de la température de l'eau dans la répartition des espèces, et notamment le seuil des 20°C, les faibles moyens pour la mesurer à l'époque avaient contraint ce paramètre à être uniquement pressenti comme étant un facteur de la répartition des espèces.

Illies et Botosaneanu (1963) font entrer les températures dans leur zonation biotypologique. Ils valident leurs résultats en montrant que les peuplements ou plutôt les groupements de macroinvertébrés se répartissent selon une logique tenant compte des critères qu'ils ont choisis (critères initialement utilisés par Huet auxquels ils ajoutent la température). Des termes écologiques

Les têtes de bassin de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins

apparaissent alors comme crenon, rhithron, potamon. Le rhithron correspond aux petits cours d'eau à pente forte (supérieure à 0.15%), à vitesse de courant et forces de cisaillement élevées. La température moyenne mensuelle y est toujours inférieure à 20°C. La granulométrie est grossière, composée de blocs dans les parties les plus amont, et de graviers et galets vers la limite aval. C'est le domaine des invertébrés et des poissons sténothermes d'eau froide à l'instar des salmonidés. Le plancton est absent de cette zone. Le potamon correspond alors aux cours d'eau de plaine, les eaux y sont plus turbides, et la granulométrie plus fine composée de sables, de limons et de vases. Les débits sont élevés, mais les largeurs et les profondeurs participent à des forces de cisaillement plus faibles que dans le rhithron. La température de l'eau peut dépasser les 20°C et les teneurs en oxygène sont plus faibles. C'est le domaine des cyprinidés, et du plancton végétal et animal.

Pour délimiter ces zones, les auteurs choisissent de se fier aux points de confluence en considérant que l'apport hydrologique d'un affluent est suffisant pour modifier les paramètres conditionnant la répartition de la macrofaune. Pour les créateurs de cette typologie, ceci permet des rapprochements plus qu'évidents avec la classification de Strahler. Pour délimiter les zones, Illies et Botosaneanu se sont rattachés aux délimitations géographiques existantes comme l'ordination Strahler. Ainsi, les rangs 1 correspondent à l'hypocrénon, les rangs 2 à l'épirhitron etc.

Le tableau suivant présente les zonations de Illies et Botosaneanu ainsi que celle de Huet avec la classification de Strahler.

Tableau 5 : Zonations d'Illies et de Botosaneanu, et de Huet, et ordre de drainage sur un bassin versant (d'après J.Illies et L. Botosaneanu, 1963) in Angelier E., 2000

rang de Strahler	zonation écologique d'Illies et Botosaneanu	zonation écologique de Huet
sources	Eucrénal	
1	Hypocrénal	
2	Epirhitral	TRUITE
3	Métharhitral	
4	Hyporhitral	OMBRE
5	Epipotamal	BARBEAU
6	Métopotamal	BREME

Cependant, certains auteurs à la recherche d'une méthode de zonation universelle critiquent cette méthode en expliquant que du fait de la température de l'eau, plus on se rapproche de

l'équateur, plus le potamon est étendu vers l'amont, et que plus on se rapproche des pôles plus le rithron s'étend vers l'aval et que la correspondance avec les rangs de Strahler n'est plus valable.

En effet, le paramètre thermique est délicat à employer dans une régionalisation universelle, car l'amplitude thermique journalière de l'eau est régie par la dimension du cours d'eau et la somme totale des températures annuelles est quant à elle régie par le climat (altitude et latitude) (Vannote et Sweeney, 1980). Par conséquent, il est impossible de voir évoluer selon la même logique la température et la morphodynamique d'un cours d'eau à l'échelle du globe. Malgré une volonté de Illies et Botosaneanu de fonder une régionalisation universelle, cette biotypologie reste uniquement valable à l'échelle d'une région climatique.

D'après Calow la latitude fait augmenter l'amplitude thermique et fait baisser les moyennes thermiques de l'eau des cours d'eau. En plus de conditionner les saisons solaires, la latitude rend également les variations des températures annuelles et journalières plus marquées qu'en milieu tempéré. La température de l'eau des ruisseaux, rivières, fleuves et lacs obéit à une régionalisation zonale.

Figure 14 : relation entre la moyenne des températures, l'amplitude de la fonction harmonique et la latitude pour différents cours d'eau de la côte est des USA, Calow et al. 1992, in Lebreton D., 1995

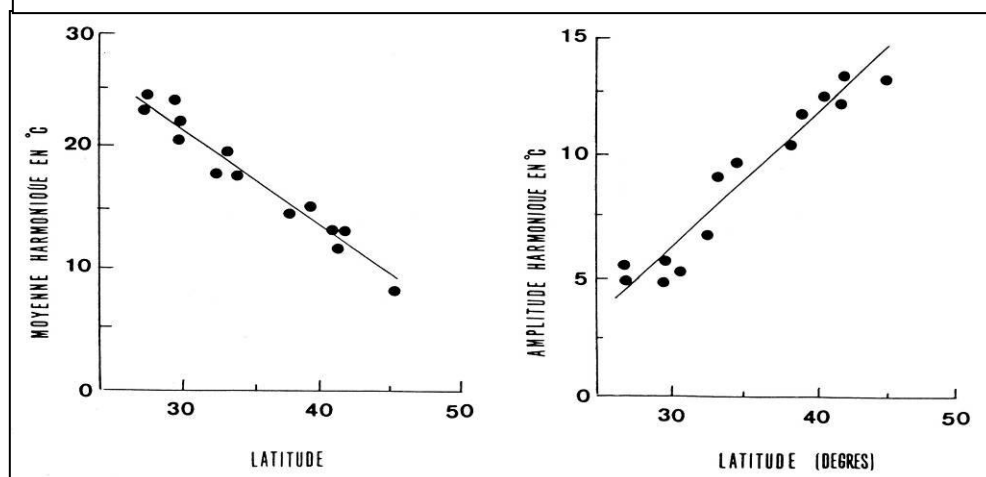
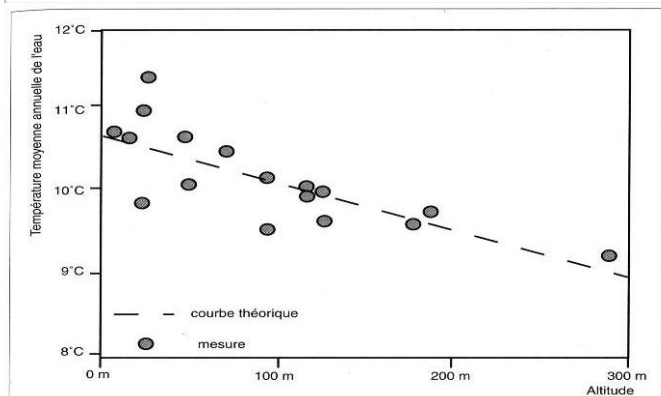


Figure 15 : Zonation thermique d'un cours d'eau du sud-ouest de l'Angleterre : l'Exe, in Touchart L., 2003, d'après Webb et al., 1996



Réalisation L. Touchart, d'après B.W. Webb et al., 1996.

À latitudes égales, la température de l'eau est modifiée par l'altitude. L'altitude peut influencer le régime thermique d'un cours d'eau en un endroit précis comme le montre la relation linéaire ci-contre. La température de l'eau dans une zone climatique de par sa latitude peut être une nouvelle fois influencée par

l'altitude. Il existe donc une sous-régionalisation azonale de la température de l'eau qui est fonction de l'altitude des sources.

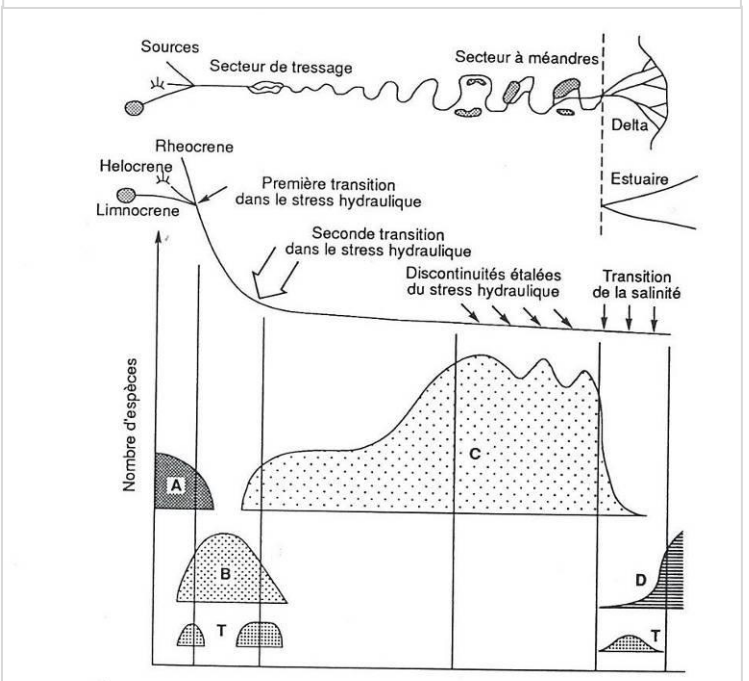
Les températures des eaux étant liées à l'altitude et à la latitude, les limites des régions écologiques décrites tenant compte de ce paramètre vont nécessairement être variables selon les régions du globe.

D'autres n'approuvent pas la confluence comme étant une rupture entre deux zones, les ruptures de pente et les changements de l'environnement riverain pouvant également être des causes de changement biotypologiques. Comme le montrent Statzner et Higler en 1986, les successions écologiques ne sont pas nettes, et il existe des communautés transitoires entre les différentes zones. La présence de ces écotones complexifie la théorie de zonation amont aval.

Espèces	Zones biogéographiques			
	Truite	Ombre	Barbeau	Brème
saumon de fontaine : <i>Salvelinus fontinalis</i>				
Chabot : <i>Cottus gobio</i>				
Truite fario : <i>Salmo trutta fario</i>				
Truite arc en ciel : <i>Salmo irideus</i>				
Vairon : <i>Phoxinus phoxinus</i>				
oche franche : <i>Noemacheilus barbatulus</i>				
Ombre commun : <i>Thymallus thymallus</i>				
Huchon : <i>Hucho hucho</i>				
Blageon : <i>Leuciscus souffia</i>				
Hotu : <i>Chondrostoma nasus</i>				
Soffie : <i>Chondrostoma toxostoma</i>				
Vandoise : <i>Leuciscus leuciscus</i>				
Chevaîne : <i>Leuciscus cephalus</i>				
Spirin : <i>Alburnoides bipunctatus</i>				
barbeau méridional : <i>Barbus meridionalis</i>				
Goujon : <i>Gobio gobio</i>				
Barbeau : <i>Barbus fluviatilis</i>				
Epinoche : <i>Gasterosteus aculeatus</i>				
Gardon : <i>Rutilus rutilus</i>				
Brochet : <i>Esox lucius</i>				
Ablette : <i>Alburnus alburnus</i>				
Perche : <i>Perca fluviatilis</i>				
Sandre : <i>Stizostedion lucioperca</i>				
Loche de rivière : <i>Cobitis taenia</i>				
Carpe : <i>Cyprinus carpio</i>				
Carassin : <i>Carassius auratus</i>				
Rotengle : <i>Scardinius erythrophthalmus</i>				
Poisson-chat : <i>Ictalurus melas</i>				
Brème bordelaise : <i>Blicca bjoerkna</i>				
Brème : <i>Abramis brama</i>				
Bouvière : <i>Rhodeus amarus</i>				
Epinocette : <i>Pygosteus pungitius</i>				
Lotte : <i>Lota lota</i>				
Tanche : <i>Tinca tinca</i>				
Grémille : <i>Gymnocephalus cernuus</i>				
Perche soleil : <i>Lepomis gibbosus</i>				
Black-bass : <i>Micropterus salmoides</i>				
Loche d'étang : <i>Misgurnus fossilis</i>				
Anguille : <i>Anguilla anguilla</i>				

Figure 17 : Zonation longitudinale des peuplements de poissons d'Europe Occidentale, in Petts et Amoros, 1993, (adapté d'après Huet 1959 et Arrignon 1976)

Figure 16 : Distribution schématique des communautés faunistiques le long du profil longitudinal d'un fleuve, in Petts et Amoros, 1994, d'après Statzner et Higler, 1986



A) communautés des sources ; B) communautés des courants rapides ; C) communautés des courants plus lents ; D) communautés marines ; T) communautés de transition

Verneaux en 1973 suit la même démarche que Illies et Botosaneanu en se préoccupant de 3 ordres d'insectes (*Ephemeroptera*, *Plecoptera*, *Trichoptera*) et des poissons sur 125 stations du réseau hydrographique du Doubs pour mettre en place une biotypologie. Il procède à des

groupements statistiques d'espèces pour aboutir à un découpage du réseau hydrographique en neuf zones.

Tableau 6 : Typologie ichtyologique de Verneaux, 1978 in Lascaux et al. 2004

Type écologique	Développements spécifiques		
	optimaux	moyens	faibles
B0 - B1	présence sporadique de truitelles et de chabots		
B2	omble de fontaine	chabot	truite, vairon
B3	chabot	truite, vairon, omble de fontaine	loche franche, ombre
B4	vairon, truite	chabot, loche franche, ombre	blageon, apron, omble de fontaine, goujon
			chevesne
B5	loche franche, ombre	chabot, vairon, truite, apron, blageon, chevesne, goujon	toxostome, hotu, lotte, vandoise, spirilin, barbeau
B6	blageon, apron, toxostome, hotu	vairon, ombre, truite, loche franche, goujon, chevesne, lotte, vandoise, spirilin, barbeau	chabot, perche, brochet, bouvière, gardon, tanche
B7	spirilin, goujon, lotte, vandoise, barbeau, chevesne	hotu, toxostome, bouvière, perche, brochet, gardon, tanche, loche franche	apron, blageon, carpe, grémille, ablette, Sandre, perche soleil, brème, brème bordelière, truite, ombre, vairon
B8	ablette, bouvière, grémille, perche, brochet, gardon, carpe, sandre, perche-soleil	tanche, brème, brème bordelière, rotengle, poisson chat, black bass, goujon, chevesne	lotte, vandoise, spirilin, barbeau, toxostome, hotu, loche franche
B9	brème, poisson-chat, tanche, black-bass, brème bordelière, rotengle	sandre, ablette, grémille, carpe, gardon, brochet, perche, bouvière, perche-soleil	chevesne, goujon

Verneaux tente de proposer un « modèle représentatif de l'écosystème d'eau courante médio-européen ». Le facteur thermique pris en compte est alors la température moyenne maximale du mois le plus chaud. Les autres facteurs pris en compte par cette typologie sont la dureté totale de l'eau, la distance aux sources, la section mouillée à l'étiage en m², la pente et la largeur du lit.

Cette tentative est également discutable au même titre que toutes les autres car pour définir une zonation biotypologique en relation avec des inventaires de faune sur le terrain, cela suppose que la faune n'ait pas été modifiée par l'anthropisation. Les stations de calibrage de ces zonations supposent que les milieux sont exempts de toute pollution. La distance aux sources est le paramètre

prépondérant dans le calcul de la typologie. De ce fait, le facteur thermique est très important car intimement lié à la distance aux sources.

Cette biotypologie ne fera pas non plus l'unanimité car dans un même département, les écarts entre valeur théorique et groupements d'espèces présentes peuvent atteindre trois ou quatre niveaux. La typologie de Vernaux reste cependant largement utilisée en France.

Tableau 7 : Comparaison de quelques propositions de zonations piscicoles in Petts et Amoros 1993 (adaptés d'après Holcik et al., 1989)

Auteurs	Zones								
Fric (Fritsch) (1872, 1888)	—	—	zone à Truite			zone à Barbeau	zone à Silure	—	
Thienemann (1925)	source	ruisselets de source	région à Truite		région à Ombre	région à Barbeau	région à Brème	région d'eau saumâtre	
Carpenter (1928)	partie montagnarde des cours d'eau				cours d'eau de plaine				
	cours d'eau de tête de bassin		ruisseau à Truite		secteur à Vairon	partie supérieure	partie inférieure	estuaire saumâtre	
Huet (1949, 1959)	—	—	zone à Truite		zone à Ombre	zone à Barbeau	zone à Brème	—	
Baion (1959)	zone de montagne					zone de plaine			
	zone des sources		ruisseau de montagne			zone à Barbeau	zone de plaine		—
Illies (1962)			-rithron			-potamon			
Illies & Botosaneanu (1963)	Eucronon	Hypocronon	Epi-	Meta-	Hypo-	Epi-	Meta-	Hypo-	
Cummins (1972)	zone d'érosion				zone intermédiaire		zone d'accumulation		
Holcik & Hensel (1972)	—	—	zone montagnarde		zone submontagnarde		zone de plaine		estuaire
					ruisseau submontagnard	rivière submontagnarde			

Il existe un grand nombre d'essais de classifications ou de zonations qui reprennent souvent les mêmes paramètres physiques et les mettent en correspondance d'inventaires piscicoles, d'invertébrés ou de la flore. Elles ont toutes un point commun, c'est que, plus on s'éloigne de la région où se trouvent les stations de références, plus il faut adapter les seuils des critères et les formules pour se rapprocher de la réalité écologique (Hawkes, 1975).

Tableau 8 : Variables environnementales nécessaires au calcul de l'Indice Poisson Rivière (IPR). ONEMA. 2006

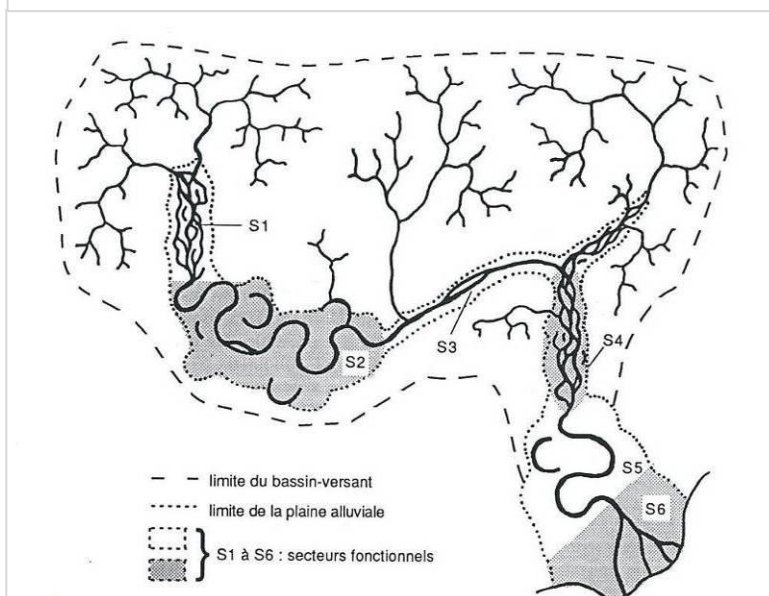
Intitulé de la variable	Abréviation
Surface du bassin-versant drainé (km ²)	SBV
Distance à la source (km)	DS
Largeur moyenne en eau de la station (m)	LAR
Pente du cours d'eau (‰)	PEN
Profondeur moyenne de la station (m)	PROF
Altitude (m)	ALT
Température moyenne inter-annuelle de l'air du mois de juillet (°C)	T _{juillet}
Température moyenne inter-annuelle de l'air du mois de janvier (°C)	T _{janvier}
Unité Hydrographique (8 modalités, voir carte)	UH

La volonté de zoner les peuplements de poissons pour définir des peuplements théoriques et les comparer avec les peuplements présents semble rester une priorité des hydrobiologistes et hydroécologues. Cette volonté a conduit le Conseil Supérieur de la Pêche aujourd'hui Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) à créer l'outil Indice Poisson Rivière qui est à l'heure actuelle un des indicateurs biologiques destinés à évaluer l'état écologique des masses d'eau.

Cette méthode est également critiquable, car lorsqu'on applique cette méthode aux « têtes des cours d'eau » de Carpenter où la truite est la seule espèce de poisson présente et où elle est abondante, les notes issues des calculs sont médiocres à mauvaises. Il suffit d'une perche-soleil (espèce indésirable d'eau cyprinicole) ou d'un chevesne (aimant les eaux plus chaudes) pour qu'elle devienne bonne, voire excellente.

En explorant tous ces essais de biotypologies, il ressort un fait très important. C'est qu'en fonction de la région géographique où l'on se trouve, les étendues et les limites des zones écologiques homogènes des cours d'eau ne sont pas les mêmes. Ainsi, si nous voulons définir ce qu'est un ruisseau ou ce qu'est la zone de tête de bassin selon des critères écologiques, cela se fera toujours par rapport aux particularités régionales du réseau hydrographique et de son bassin versant.

Figure 18 : Schéma de l'hydrosystème fonctionnel d'après Petts et Amoros, 1993



D'après Amoros et Petts (1993), les cours d'eau de l'amont des bassins versants ne sont conditionnés que par ces flux unidirectionnels amont aval, alors que les cours d'eau dès qu'ils sont bordés par une plaine alluviale significative sont gouvernés par des flux bidirectionnels avec des échanges latéraux ou transversaux. Ils qualifient l'hydrosystème par un système à quatre dimensions ; longitudinale, latérale, verticale et temporelle. Pour eux, les petits cours d'eau à l'amont des bassins versants ne rassemblent pas toutes ces dimensions, et ne sont pas qualifiés comme étant un secteur fonctionnel de l'hydrosystème : « le concept d'hydrosystème s'applique surtout dans les cours d'eau

de rangs moyens et élevés susceptibles de développer une plaine alluviale comprenant une mosaïque d'éléments suffisamment grands pour assurer le développement de communautés vivantes différenciées. » Cette fonction qualifie par exclusion les petits cours d'eau de l'amont des bassins versants comme de simples fournisseurs de matière et d'énergie sans que l'on s'intéresse vraiment à leur fonctionnement interne.

Si l'évolution des paramètres abiotiques et biotiques semble être un fait avéré selon le principe du continuum fluvial, à tel point que les zonations écologiques amont - aval des cours d'eau sont nombreuses, il existe des discontinuités dans la dimension longitudinale comme le précisent Bravard J.P. et Gilveard D.J.. En effet, il a été montré que « *les éléments du système entre eux sont rarement continus et se présentent souvent en « marche d'escalier » reflétant l'organisation du réseau hydrographique. Ainsi, un affluent important peut modifier de façon sensible les caractères d'un cours d'eau : sur la Middle Fork de la rivière Salmon (États-unis), Bruns et al. (1984) montrent qu'un apport de matériaux grossiers par un affluent à forte charge ramène l'écosystème à l'état d'un cours d'eau d'ordre inférieur : ceci s'explique par le fait que le cours d'eau récepteur raidit sa pente à l'aval de la confluence et que la vitesse du courant augmente.* » Les petits affluents en s'unissant dans une zone hydrographique commune pourraient alors influencer nos grands fleuves jusqu'à les faire régresser dans la hiérarchie du continuum fluvial. Ainsi, la structure des écosystèmes des cours d'eau de rang élevé peut être conditionnée par les petits affluents, et des espèces ont pu s'adapter aux différents endroits d'un hydrosystème. C'est le cas de la truite commune qui développe un polymorphisme à l'échelle de petits bassins versants.

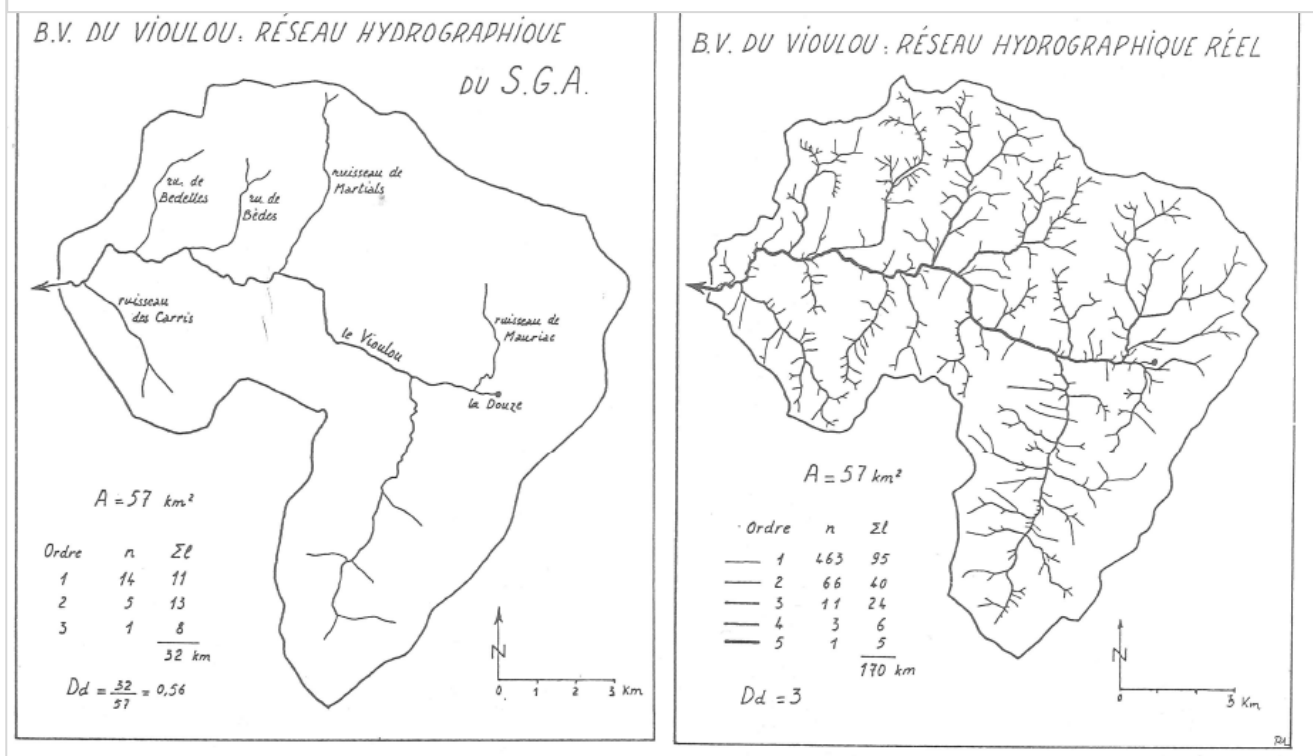
Dans le schéma classique de l'hydrosystème, il résulte une confusion et une affiliation peut être réductrice de la tête de bassin au ruisseau montagnard. La tête de bassin est elle effectivement composée de ruisseaux à forte pente ? Comment considérer les cours d'eau de plaines ?

1.3. Les ruisseaux victimes d'une sous-représentation cartographique

1.3.1. Prise en compte des ruisseaux dans les référentiels cartographiques

Les agents de terrain, lorsqu'ils comparent les linéaires de ruisseaux cartographiés des bases de données existantes de l'IGN avec la réalité de terrain trouvent des sous-estimations cartographiques de 20 à 25 % par rapport à la réalité de terrain. Cela a aussi bien pu être constaté dans le Morvan (P. Baran, 2007) qu'en Limousin, dans le bassin amont de la Vienne, objet de l'étude de terrain de cette thèse. Lambert R. (1996) explique cela en précisant que la méthode de cartographie de l'hydrographie de l'IGN est empirique et sans théorie hydrographique, il en résulte des aberrations, des tracés variant au passage de cartes contiguës. Il illustre ce phénomène avec le bassin du Vioulou.

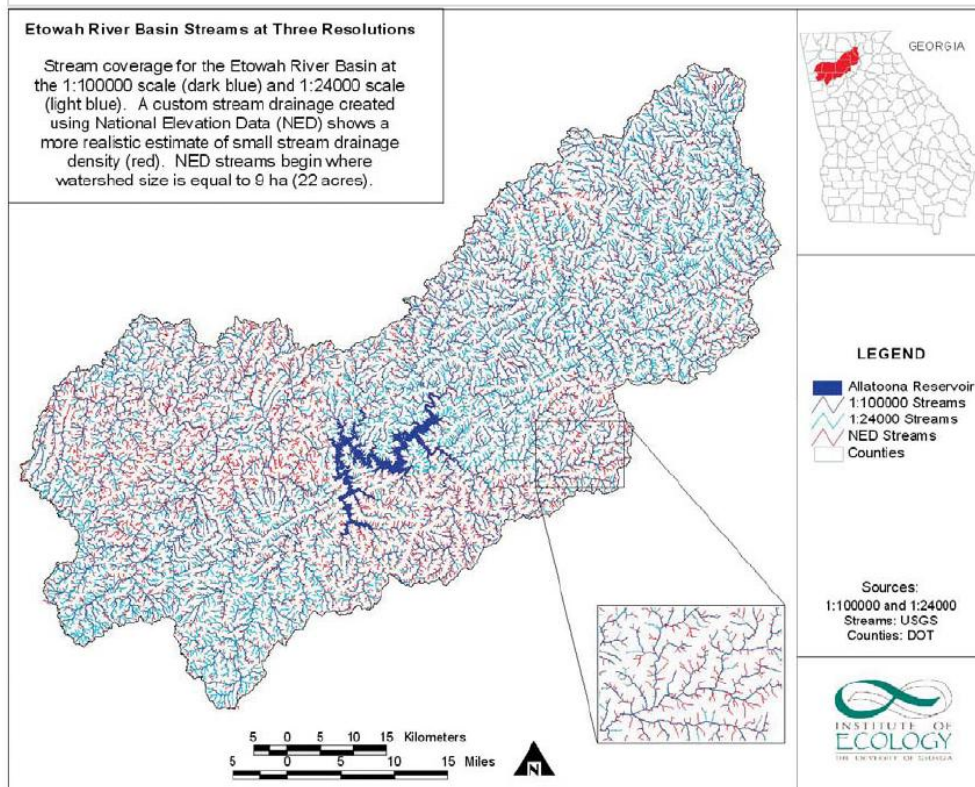
Figure 19 : Cartes comparatives de la représentation du réseau hydrographique du Vioulou par le SGA et de son réseau réel Lambert, 1996



Plus récemment, outre-Atlantique, les constats sur le référencement cartographique des petits cours d'eau sont similaires, voire pires que ceux effectués en France par les acteurs de terrain. Pour certains cours d'eau de Géorgie seulement 40 à 60 % du linéaire est cartographié (Freeman, 2007).

Sur les cartes IGN, beaucoup de petits cours d'eau ne sont pas cartographiés, et certains cartographiés comme temporaires ont des écoulements pérennes dans la réalité. Les cours d'eau sont en général mieux connus et mieux cartographiés dans les régions désertiques et semi-désertiques. Cette logique cartographique suit la logique du besoin en eau de l'homme pour vivre. Plus les écoulements de surface sont rares plus ils sont cartographiés.

Figure 20 : Carte des écoulements cartographiés selon les résolutions employées pour le bassin versant de la rivière Etowah, Institut d'écologie de l'Université de Géorgie, in Meyer et al. 2007



1.3.2. Les ruisseaux : la limite dans la définition réglementaire des cours d'eau

Cette sous-représentation et non retranscription typologique des cours d'eau a non seulement des effets désagréables lorsque l'on veut mesurer l'étendue d'un réseau hydrographique, mais a surtout des effets néfastes et pénalisants pour la préservation juridique des ruisseaux lorsqu'elle s'appuie sur les cartes pour définir un cours d'eau comme en France.

En effet, si un petit cours d'eau n'est pas cartographié, il peut subir des aménagements néfastes comme les recalibrages, ou disparaître dans un drain ou un fossé sans aucun recours possible pour la police de l'eau, car la législation française renvoie souvent aux cartes IGN 1/25000 pour définir un ruisseau. C'est ce qui est précisé dans l'article L. 214-1 à 6 du code de l'environnement et de la circulaire DE / SDAGF / BDE n°3 du 2 mars 2005 relative à la définition de la notion de cours d'eau :

« La qualification de cours d'eau donnée par la jurisprudence repose essentiellement sur les deux critères suivants :

- la présence et la permanence d'un lit naturel à l'origine, distinguant ainsi un cours d'eau d'un canal ou d'un fossé creusé par la main de l'homme mais incluant dans la définition un cours d'eau naturel à l'origine mais rendu artificiel par la suite, sous réserve d'en apporter la preuve – ce qui n'est pas forcément aisé - ;

- la permanence d'un débit suffisant une majeure partie de l'année appréciée au cas par cas par le juge en fonction des données climatiques et hydrologiques locales et à partir de présomptions au nombre desquelles par exemple l'indication du « cours d'eau » sur une carte IGN ou la mention de sa dénomination sur le cadastre. »

La réglementation française ne définit pas le ruisseau, même dans sa forme la plus récente de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques du 30 décembre 2006, qui s'applique officiellement à tout cours d'eau, ru, ruisseau, rivière, selon le critère de « la présence d'un débit suffisant une majeure partie de l'année ». Ce texte juridique laisse une part d'appréciation très large (Role, 2007), qui grandit en direction des talwegs d'ordre 1 et 0. La limite de la définition du cours d'eau est de plus en plus complexe de l'aval vers l'amont. Un certain nombre de cours d'eau n'étant pas présent sur les cartes, ils n'ont pas été considérés comme tels lors d'aménagements. Il en résulte des dégradations morphologiques comme la rectification, la déméandrisation, le recalibrage et les curages abusifs. Ce flou juridique et cette jurisprudence nécessitent alors des ajustements régionaux comme le montre la « circulaire interministérielle du 27 septembre 2005 relative à la définition des cours d'eau pour la conditionnalité » (de mise en place des bandes enherbées) :

code rural : article R. 615-10 et R. 615-12 – Arrêté du 12 janvier 2005 en cours de modification.

« Pour la campagne 2004-2005, les cours d'eau pour la conditionnalité sont les traits bleus pleins des cartes IGN au 1/25 000e (cf. arrêté du 12 janvier 2005).

Cet arrêté ouvrait la possibilité, au point 4 de l'article 3, de compléter cette liste (traits bleus pleins). Si vous ne l'avez pas déjà fait, nous vous demandons de le compléter, dès maintenant, sur la base d'un inventaire départemental (cf. ci-dessous).

Les listes complémentaires établies dans les départements qui ont déjà entrepris cette démarche ne sont pas remises en cause et peuvent servir de base pour la conditionnalité 2006 si elles ont été approuvées par arrêté préfectoral avant le 1er juillet 2005 ou portées à la connaissance des agriculteurs avant les premiers semis de la campagne 2005-2006.

Pour la campagne 2005-2006, à défaut de l'établissement de cette liste complémentaire, les cours d'eau pour la conditionnalité demeurent ceux identifiés pour la campagne 2004-2005, c'est-à-dire les traits bleus pleins.

À compter du 1er juillet 2006 et pour les campagnes 2006-2007 et suivantes, la priorité de localisation des surfaces en couvert environnemental sera obligatoirement étendue aux cours d'eau pour la conditionnalité identifiés par la liste établie par le préfet avant cette date ou, en l'absence de cette liste, aux traits bleus pointillés portant un nom sur la carte IGN au 1/25.000 la plus récente.

La possibilité pour le préfet de ne retenir qu'une partie des traits bleus pleins, prévue par le deuxième alinéa de l'article 3 de l'arrêté du 12 janvier dans les zones d'aménagement hydraulique, de polders ou d'irrigation, demeure applicable.

La part de la surface qui doit être consacrée au couvert environnemental demeure fixée à 3 %.

Afin que le plus long linéaire possible soit bordé par des bandes enherbées, il est recommandé de limiter la largeur des bandes à 5 mètres et de n'utiliser la possibilité d'augmenter la largeur de la bande (jusqu'à 20 mètres), prévue par le point 4 de l'article 3 de l'arrêté du 12 janvier 2005, que dans des cas particulièrement justifiés. »

Selon la législation française, la carte IGN constitue pourtant le référentiel hydrographique, et la définition spatiale des cours d'eau. Les ajustements se font en fonction de ce référentiel.

La cartographie du réseau hydrographique est donc un élément majeur surtout lorsque l'on s'intéresse aux petits cours d'eau, les hydrologues anglo-saxons précisent qu'un chenal élémentaire doit être cartographié lorsqu'il présente les trois éléments suivants :

- Des berges
- Des traces d'écoulement fluviales (présences de débris, dépôts orientés dans le sens de l'écoulement)
- Une continuité avec un chenal plus important à son aval

La cartographie du réseau ne doit pas se limiter aux écoulements pérennes, ils peuvent être spasmodiques, épisodiques ou saisonniers et rassembler les trois caractéristiques citées ci-dessus.

1.3.3. Prise en compte des ruisseaux dans la mise en place de la Directive Cadre Européenne sur l'eau

La prise de conscience de l'importance des ruisseaux de tête de bassin s'est principalement effectuée au niveau local, c'est dans des objectifs de recherches appliquées qu'un grand nombre de petits cours d'eau sont étudiés. Souvent, les petits cours d'eau sont étudiés, car leur qualité influence la qualité des milieux aquatiques de plus grandes dimensions à l'aval, ou parce qu'ils abritent des espèces halieutiques patrimoniales et (ou) en déclin. La Directive Cadre Européenne sur l'eau du 23 Octobre 2000 et publiée le 22 décembre 2000 au journal des communautés européennes confirme la nécessité d'atteindre le « bon état écologique » de l'ensemble de leurs eaux marines littorales, continentales superficielles et souterraines pour 2015. La toute première échéance fixée par cette directive est celle du 22 décembre 2004, date à laquelle les États membres doivent transmettre « l'état des lieux pour chaque district hydrographique ». Cet état des lieux comprend deux grandes parties, il s'agit de la caractérisation des districts hydrographiques et un registre des zones protégées et des captages d'eaux. Cet état des lieux sera l'élément de comparaison avec l'état écologique atteint en 2015. La DCE impose également aux États membres la gestion de la ressource en eau par district. En France, la délimitation des districts hydrographiques correspond en partie aux six Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) des agences de l'eau nés de la loi sur l'eau de 1992.

Tableau 9 : Correspondance des districts DCE et des territoires couverts par les agences de l'eau

Agences de l'eau 1992	Districts DCE
Seine Normandie	Seine et côtiers normands
Loire-Bretagne	Loire, côtiers vendéens et côtiers bretons
Adour-Garonne	Adour, Garonne, Dordogne et fleuves côtiers charentais et aquitains
Rhône-Méditerranée-Corse	Rhône et côtiers méditerranéens
	Corse
Rhin-Meuse et Artois-Picardie	Rhin
	Escault, et côtiers de la Manche et de la Mer du Nord
	Meuse et Sambre

Dans le cadre de la mise en place de la DCE, les États membres ont également dû réaliser un classement des cours d'eau pour ensuite délimiter les masses d'eau. Pour ce faire, ils avaient le choix entre deux méthodes.

- Un système A, figé, reposant sur des classes aux limites définies *a priori* pour la surface du bassin versant, l'altitude, la géologie, dans le cadre des « écorégions » tirées des travaux d'Illies (1978) sur la biogéographie des invertébrés aquatiques ;

- Un système B, ouvert, reposant sur des critères « obligatoires » identiques à ceux du système A, et toute une gamme de paramètres facultatifs complémentaires.

Les critères obligatoires à prendre en compte pour délimiter les masses d'eau sont la géologie, l'altitude, et la taille des cours d'eau.

Pour identifier les différents types de masses d'eau de surface, on s'est appuyé sur la méthodologie décrite dans la circulaire DCE 2005/11. Le climat, le relief, la nature du sol et la géologie, sont alors considérés de manière universelle comme les déterminants primaires du fonctionnement des écosystèmes d'eau courante.

Le premier travail de détermination des hydroécorégions fut réalisé par Wasson et al en 2001 sur le bassin de la Loire.

Le CEMAGREF toujours sous la direction de Wasson détermine en 2002, 22 hydroécorégions naturelles de rang 1 (HER 1). La méthodologie intègre la taille des cours d'eau et la superficie de leur bassin versant amont, puis la classification en rangs de Strahler, dans le but de rendre compte de la répartition amont aval

Figure 21 : Carte des hydroécorégions de premier niveau du bassin versant de la Loire, Wasson et al. 2002

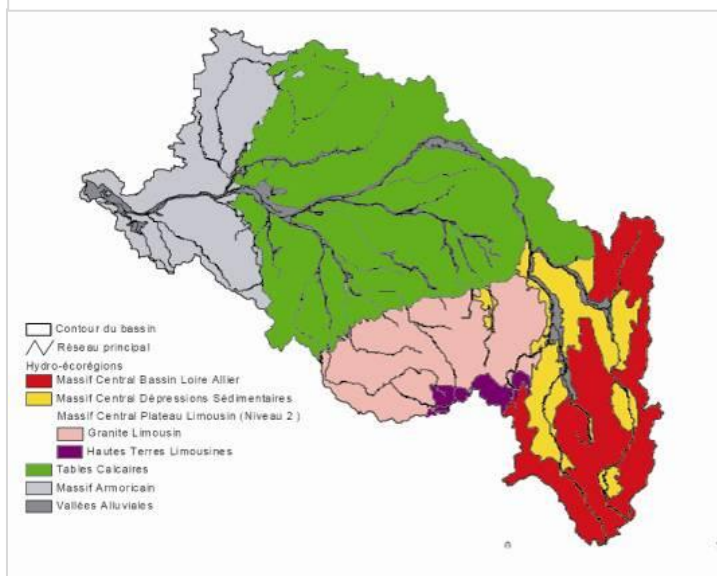
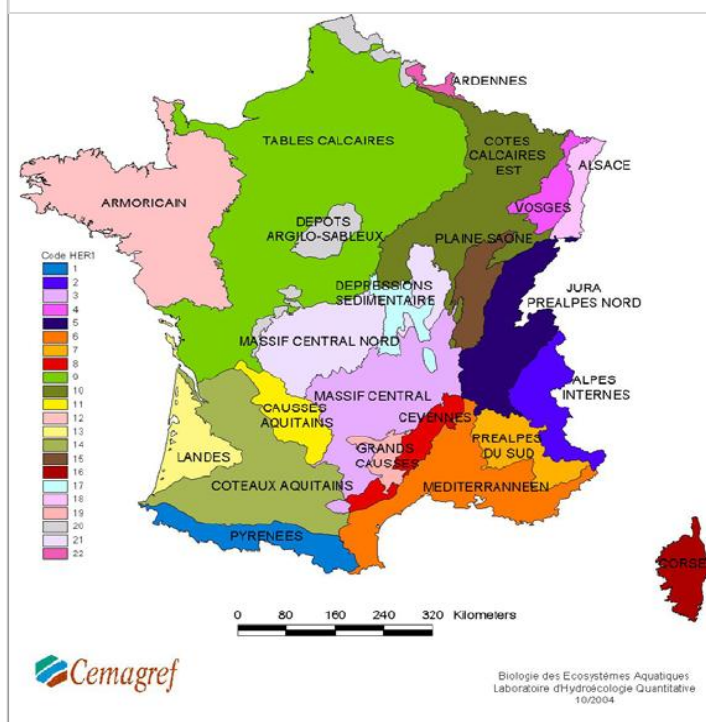


Figure 22 : Carte des hydroécorégions de premier niveau de France métropolitaine et Corse d'après Wasson et al., 2002



des espèces. Chaque agence de l'eau a réalisé l'ordination de son réseau hydrographique selon la classification de Strahler, mais il résulte lors de l'assemblage de tous les réseaux hydrographiques des différences qui sont plus liées aux territoires des agences de l'eau plutôt qu'aux hydrocorégions auparavant définies par le CEMAGREF.

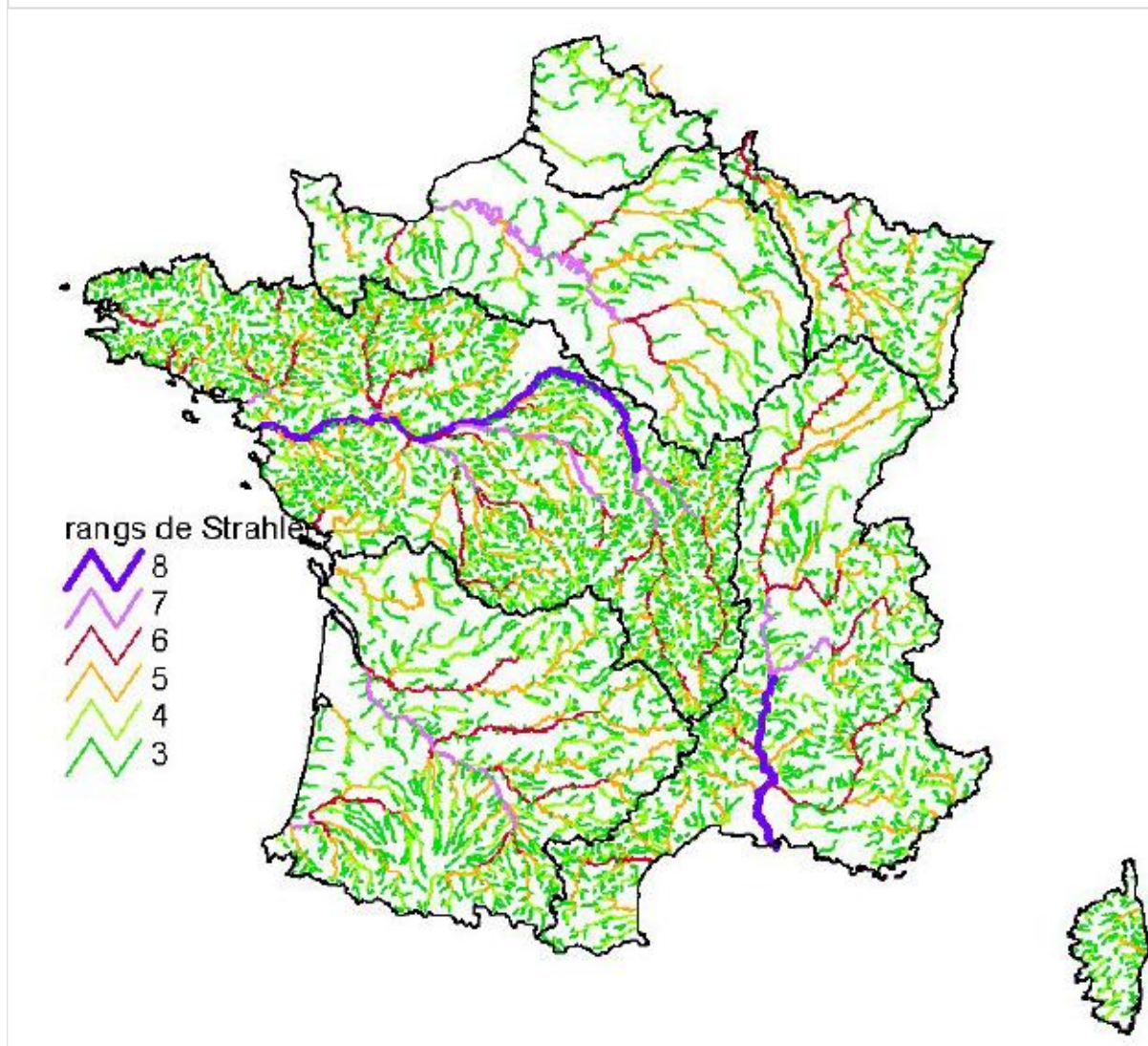
Cela est dû au fait que toutes les agences n'ont pas ordonné la totalité de leur réseau hydrographique. En effet, l'identifiant des arcs classé correspond au « Code Hydro » de la BD Carthage, or, tous les arcs ne sont pas codifiés pour certaines agences de l'eau. Alors que l'Agence de l'eau Loire-Bretagne a ordonné la totalité de son réseau hydrographique, d'autres agences n'en ont ordonné que 50 % comme l'Agence de l'eau Artois Picardie. Hormis pour l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, il n'est donc pas encore possible à ce jour de connaître le nombre de Km que représente chaque rang de Strahler à l'échelle nationale.

Tableau 10 : Linéaires et proportions des arcs non codifiés dans les différentes agences de l'eau, Wasson J-G et al., 2002

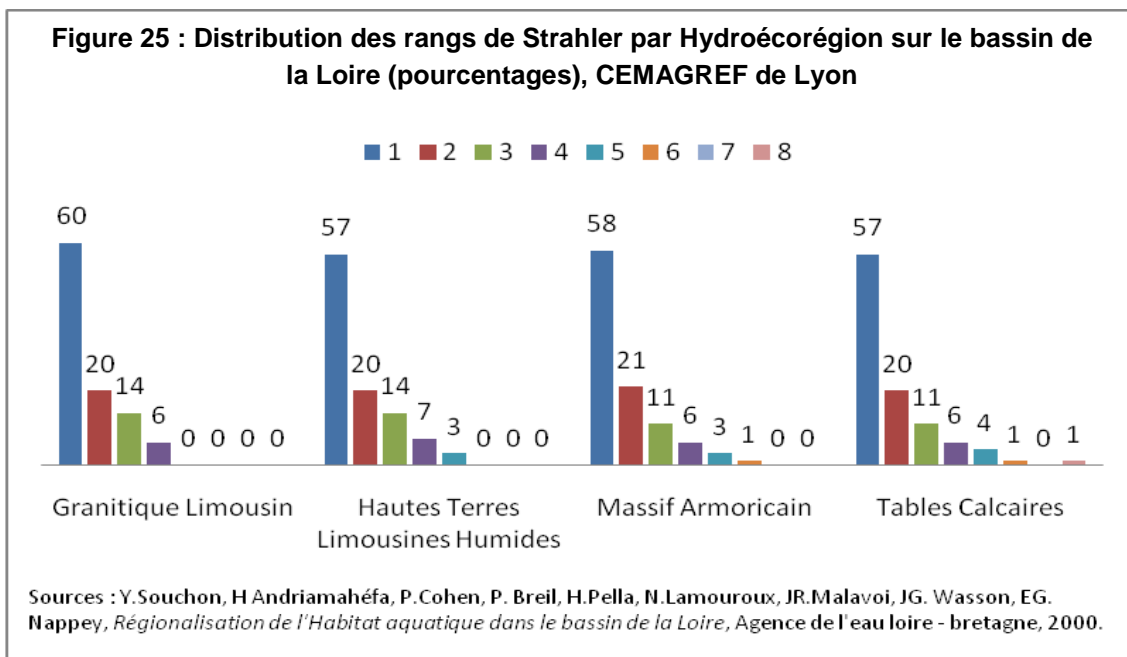
Agence	Réseau total		Réseau non codifié	
	Nb arcs total	Linéaire total (km)	Linéaire Total (km)	% linéaire
LB	133 278	135 494	22	0,02
RMC	160 548	152 380	66 845	43,9
RM	29 949	29 874	9 693	32,4
AG	117 258	120 023	48 444	40,4
SN	44 425	55 768	20 756	37,2
AP	10 965	11 477	6 066	52,8
Total	496 423	505 016		

*Proportion et linéaire des arcs « non codifiés » dans les différentes Agences de l'Eau.
Source : BD CARTHAGE® V3 IGN. Des différences minimales peuvent exister avec les BD CARTHAGE des différentes Agences en fonction des corrections qui auraient pu être apportées récemment à celles-ci.*

Figure 23 : Carte du réseau hydrographique de France métropolitaine classé selon Strahler des rangs 3 à 8, Wasson J-G et al., 2002



Sur le bassin de la Loire, une ordination effectuée sous SIG avec pour base de données la BD Carthage issue des cartes IGN au 1/50000 donne dorénavant une importance linéaire certaine aux rangs 1 et 2, puisqu'ils représentent 77 % du réseau hydrographique de cette zone. Si on tient compte de la classification proposée par R. Lambert, les ruisseaux s'étendant jusqu'au rang 4, ils représentent alors 94 % du réseau hydrographique de la Loire.

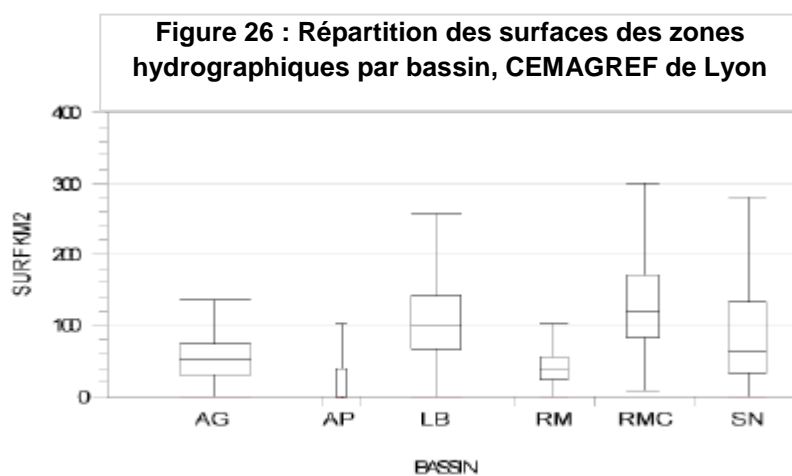


La part des ruisseaux semble être du même ordre entre les massifs cristallins et les tables calcaires.

Si les masses d'eau sont définies selon les gabarits des cours d'eau eux-mêmes déterminés par la classification de Strahler, la base hydrographique de détermination des masses d'eau n'est pas homogène au niveau national.

Les masses d'eau sont tout de même définies en fonction de leur appartenance à une de ces hydroécocorégions (HER) et à une classe de taille qui croit de l'amont vers l'aval du bassin principal. Six classes de tailles ont été définies : **très petits cours d'eau, petits cours d'eau, cours d'eau moyens, grands cours d'eau, très grands cours d'eau et grands fleuves (Rhin, Rhône)**. Ce sont les drains principaux de la BD Carthage qui sont considérés comme cours d'eau « structurants » de la masse d'eau.

Une relation entre le rang et la surface drainée a été réalisée. Par cette relation, les différences de proportions inter-bassin de tronçons ordonnés sont gommées.



Ainsi, il a pu être mis en évidence que les rangs 3 français ont des bassins versants d'une superficie moyenne allant de 100 à 250 Km². Cette relation remet en question les ordres de grandeur fixés par Lambert en 1996.

Notons que ce travail de mise en relation entre la surface du bassin versant et le rang n'est pas détaillé pour les cours d'eau de rangs 1 et 2 qui nous le verrons sont définis plus tard comme étant les cours d'eau dits de tête de bassin.

Ce travail a été réalisé en s'appuyant sur les zones hydrographiques (ZH) de la BD Carthage pour délimiter les bassins versants. Or, la finesse du découpage des ZH est variable selon les territoires des Agences.

De ce fait, pour les très petits bassins versants d'une superficie inférieure 150 à 200 Km², si on veut effectuer des comparaisons à l'échelle nationale, seuls les territoires de Rhin Meuse, Adour Garonne et Artois Picardie, qui ont un découpage de zone hydrographique plus fin, peuvent être analysés pour des rangs inférieurs au rang 3.

Tableau 11 : Proposition de classes de tailles pour les cours d'eau en fonction des rangs de Strahler actuellement disponibles et des surfaces de bassins versants, CEMAGREF de Lyon

Classe de Taille	Très petit	Petit	Moyen	Grand	Très Grand
Rangs : bassin Loire Bretagne	1, 2, 3	4	5	6	7, 8
Rangs : Autres bassins	1, 2	3	4	5	6, 7
Surface de BV (km ²) zone cristalline, impermeable	< 100	[100 – 250]	[250 – 800]	[1 300 – 3 700]	> 3 700
Surface de BV (km ²) zone calcaire perméable	< 150	[150 – 400]	[400 – 1 500]	[2 200 – 7 000]	> 7 500

Tableau 7 – Proposition de classes de tailles pour les cours d'eau en fonction des rangs de Strahler actuellement disponibles et des surfaces de bassins versants

Suite à ce travail, des types de cours d'eau sont définis en fonction de la taille de leur bassin versant pour chaque grand type lithologique des territoires des agences de l'eau. Le territoire de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne se distingue toujours des autres même après ce travail.

Tableau 12 : Typologie des cours d'eau de France métropolitaine et de Corse issu du travail du CEMAGREF de Lyon, in Malvoi J-R, Bravard J-P, 2010

Hydro-écorégions de niveau1		Types nationaux et leur codification					
		Rangs (bassin Loire-Bretagne)	8, 7	6	5	4	3, 2, 1
		Rangs (autres bassins)	8, 7, 6	5	4	3	2, 1
Cas général, cours d'eau exogène de l'HER de niveau 1 indiquée ou HER de niveau 2		Très grands	Grands	Moyens	Petits	Très petits	
20	DEPÔTS ARGILEUX SABLEUX	Cas général		GM20		P20	TP20
		Exogène de l'HER 9 (Tables Calcaires)		GM20/9			
21	MASSIF CENTRAL NORD	Exogène de l'HER 21 (Massif Central Nord)		G21	M21	P21	TP21
		Cas général		G3	M3	P3	TP3
3	MASSIF CENTRAL SUD	Cas général			M3/19		
		Exogène de l'HER 19 (Grands Causses)			M3/8		
		Exogène de l'HER 8 (Cévennes)		G3/19-8			
17	DEPRESSIONS SEDIMENTAIRES	Cas général			M17	P17	TP17
		Exogène de l'HER 3 ou 21 (M.Cent.5 ou N)	TG17/3-21	G17/3-21	M15-17/3-21	P17/3-21	TP17/3-21
15	PLAINE SAÔNE	Exogène de l'HER 3 ou 21		G15/5		MP15/5	
		Exogène de l'HER 5 (Jura)				MP15	TP15
		Cas général	TG15				
5	JURA / PRE-ALPES DU NORD	Exogène de l'HER 10 (Côtes Calcaires Est)	TG10-15/4				
		Cas général		G5	M5	P5	TP5
TTGA	FLEUVES ALPINS	Exogène de l'HER 2 (Alpes Intemes)	TG5/2	GM5/2			
2	ALPES INTERNES	Cas général	TTGA				
7	PRE-ALPES DU SUD	Cas général		G2		MP2	TP2
		Exogène de l'HER 2 (Alpes Intemes)			GMP7		TP7
6	MEDITERRANEE	Cas général	TG6-7/2		GM7/2		
		Exogène de l'HER 2 ou 7		GM6/2-7			
		Exogène de l'HER 7 (Pré-Alpes du Sud)			GM6/2-7		
		Exogène de l'HER 8 (Cévennes)			GM6/8		
		Exogène de l'HER 1 (Pyrénées)	TG6/1-8		GM6/1		
8	CEVENNES	Cas général		G6		MP6	TP6
		Cas général			GM8		PTP8
16	CORSE	A-her2 n°70			M8/A		PTP8/A
		A-her2 n°22		G16	M16/A		PTP16/A
		B-her2 n°88			M16/B		PTP16/B
19	GRANDS CAUSSES	Cas général				P19	
		Exogène de l'HER 8 (Cévennes)			GM19/8		
11	CAUSSES AQUITAINS	Cas général				P11	TP11
		Exogène de l'HER 3 (MCN) et/ou 21 (MCS)	TG11/3-21	G11/3-21	M11/3-21	P11/3-21	
14	COTEAUX AQUITAINS	Exogène des HER 3, 8, 11 ou 19	TG14/3-11	G14/3	M14/3-11		
		Exogène de l'HER 3 (MCN) ou 8 (Cév.)			M14/3-8		
		Cas général			GM14		P14
13	LANDIES	Exogène de l'HER 1 (Pyrénées)	TG14/1	G14/1	M14/1	P14/1	
1	PYRENEES	Cas général			M13	P13	TP13
		Cas général		G1	M1	P1	TP1
12	ARMORICAIN	A-Centre-Sud (her2 n°58 et 117)			M12/A	P12/A	TP12/A
		B-Ouest-Nord Est (her2 n°55, 59 et 118)		G12	M12/B	P12/B	TP12/B
TTGL	LA LOIRE	Cas général	TTGL				
9	TABLES CALCAIRES	A-her2 n°57			M9/A	P9/A	
		Cas général	TG9	G9	M9	P9	TP9
		Exogène de l'HER 10 (dans l'her2 n°40)		G9/10	M9/10		
10	COTES CALCAIRES EST	Exogène de l'HER 21 (Massif Central Nord)	TG9/21	G9-10/21	M9-10/21		
		Exogène de l'HER 21 (Massif Central Nord)					
4	VOSGES	Cas général	TG10-15/4	G10	M10	P10	TP10
		Exogène de l'HER 4 (Vosges)		G10/4	M10/4		
22	ARDENNES	Cas général			M4	P4	TP4
		Exogène de l'HER 10 (Côtes Calcaires Est)	TG22/10				
18	ALSACE	Cas général			GM22	P22	TP22
		Exogène de l'HER 4 (Vosges)		G18/4	M18/4	P18/4	TP18

Au préalable de l'état des lieux de 2004, les masses d'eau correspondent à des unités homogènes de par leur nature physique et de par leur degré d'anthropisation, ce sont des tronçons de grands cours d'eau, des plans d'eau (50 ha minimum), mais également les Très Petits Cours d'Eau (TPCE) ayant un bassin versant d'au moins 10 Km². Des longueurs seuil minimales ont été fixées :

- 2 à 5 km pour les rangs 1 à 3 (1 à 4 pour Loire)
- 10 à 15 km pour les rangs 4 et 5 (5 et 6 pour Loire)
- 25 à 30 km pour les rangs supérieurs.

Bon nombre de bassins versants de 10 Km² et plus n'ont pas été définis comme étant des masses d'eau à part entière. Cela est dû au fait que le découpage des masses d'eau s'est fait en reprenant les zones hydrographiques de la BD Carthage ou en suivant leurs limites. Or les zones hydrographiques de la BD Carthage ne sont pas toujours des bassins versants. Le fondement même des entités considérées par la DCE n'a pas de logique hydrographique.

D'après la DCE eau, un petit cours d'eau peut tout à fait être considéré comme une masse d'eau, dans les cas où le tronçon pris en compte mesure plus de 5 km et que son bassin versant mesure plus de 10 km². Cependant, dans la cartographie des masses d'eau, ce sont bien les tronçons qui structurent la région « masse d'eau », et non les bassins versants. Cela a pour but d'exclure un grand nombre de petits cours d'eau non représentés dans la BD Carthage et sur les cartes IGN. De plus, il paraît très difficilement réalisable de caractériser une multitude de petites masses d'eau de 10 km². Ceci se traduit par soit un englobement des affluents dans une masse d'eau plus grande, soit par une individualisation, soit l'oubli de petits cours d'eau.

Un zonage va alors se superposer à cette délimitation des grandes masses d'eau et TPCE : la « tête de bassin ». La nécessité de réaliser un tel zonage est liée à la notion de territoire hydrographique, et que le fonctionnement de certains de ces territoires dépend d'autres, occupant souvent une position en amont selon le principe de « solidarité amont/aval » que l'on retrouve dans tous les SDAGE et beaucoup de SAGE.

C'est d'ailleurs certainement pour cette raison que la DCE eau stipule également que les masses d'eau doivent être définies en tenant compte des pressions humaines. Les masses d'eau « naturelles » sont alors redécoupées en fonction des pressions anthropiques si elles interfèrent sur les qualités biologiques, physicochimiques, et hydromorphologiques du cours d'eau. Ce critère entrera en jeu pour la première cartographie de la tête de bassin Loire proposée par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne.

1.4. La notion de territoire hydrographique et de « tête de bassin »

La gestion de la ressource en eau par la prise en compte des interdépendances amont aval est nécessaire car pleine de « contradictions ». Pour Lambert R. (1996), une rivière est « égout avant (amont) d'être aqueduc » et « les utilisations d'amont accroissent le prix de l'eau à l'aval parce que l'eau y devient plus chère puisqu'elle doit être traitée, épurée préalablement à son emploi ». La mise en œuvre véritable de la solidarité amont/aval oblige donc à une délimitation de territoires hydrographiques, et notamment de la « tête de bassin ». Cela n'est pas un travail évident comme le précise Berthold R. en février 2003 lors des 6^{èmes} rencontres de théorie quantitative et dans une présentation intitulée : « Méthodologie pour la gestion durable des têtes de bassins versants » :

« Tout d'abord, nous souhaitons définir ce que nous entendons par système ruisseau. Il semble délicat de le faire à partir de caractéristiques précises, telles que la largeur du cours d'eau, son débit, son type d'écoulement..., car ceux-ci ne font pas l'unanimité. Nous préférons une définition plus large se localisant à la tête des bassins versants, formant les premiers maillons du réseau hydrographique et dont l'écoulement peut être périodique. Maintenant, la notion de système rappelle aussi la complexité de leur fonctionnement car le bassin versant est à la fois un espace drainé par un ruisseau, une rivière, un fleuve... et un espace qui agit sur leur fonctionnement. En ce sens six éléments, considérés comme les principaux responsables du fonctionnement hydrologique et biologique des bassins versants, ont été étudiés : ce sont l'aire du bassin versant, les systèmes de pentes, le matériel géologique du terrain, la couverture végétale, le climat et l'anthropisation. »

L'auteur définit le ruisseau comme un cours d'eau s'écoulant dans une zone géographique : « les têtes de bassins versants », et précise qu'avant toutes choses, il faut bien comprendre ce qu'est un « système ruisseau » en le décrivant, ce qui sera fait pour des ruisseaux du bassin du Doubs selon des critères hydromorphologiques et piscicoles.

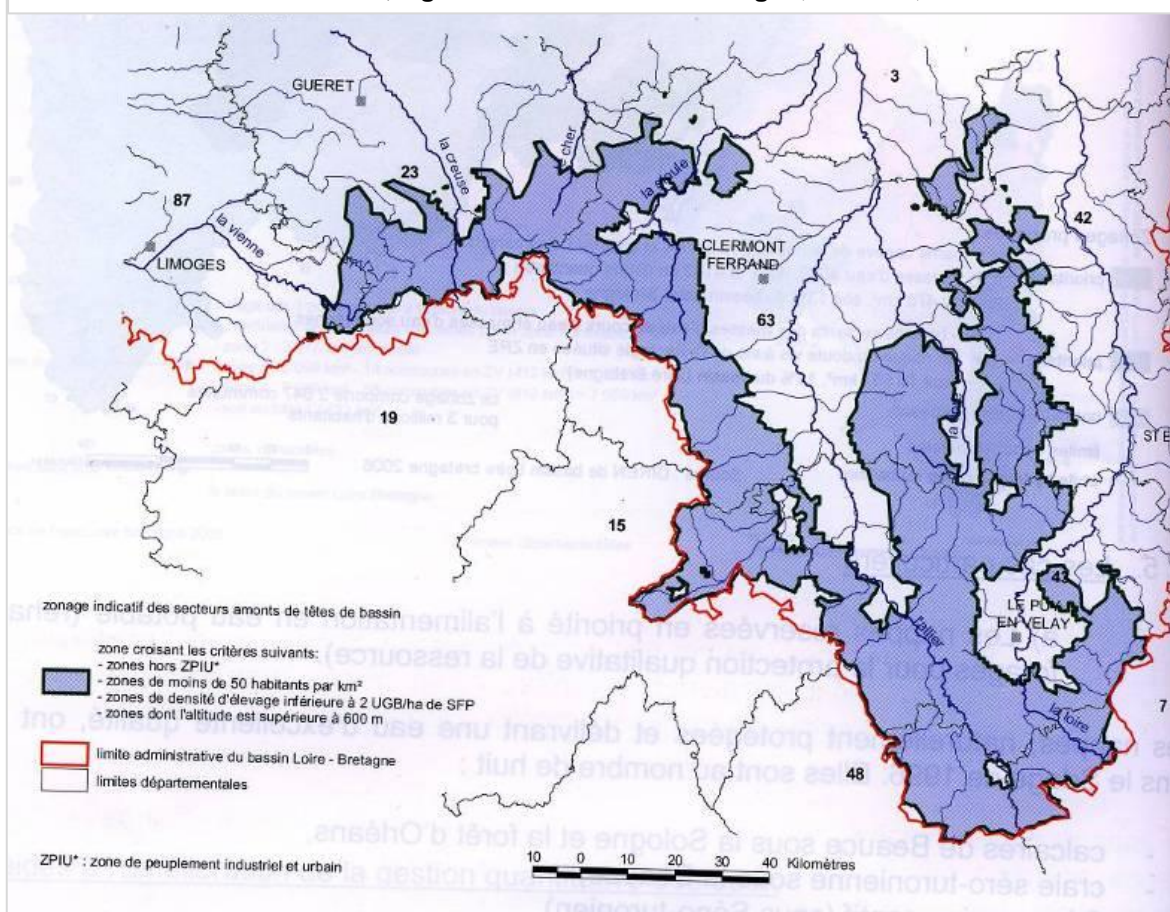
Mais il ressort surtout de cette présentation, le fait qu'avant même d'avoir résolu la question définitoire du ruisseau, l'arrivée du néologisme de tête de bassin a ajouté un nouveau problème de caractérisation d'un terme assez proche du précédent. Le ruisseau serait défini par sa position en tête de bassin, et la tête de bassin par l'aire d'écoulement des ruisseaux.

Pour les Agences de l'eau Adour Garonne et Rhône Méditerranée Corse, il s'agit « des parties amont des bassins versants et par extension tronçons amont des rivières qui, en zone de relief notamment, sont le plus souvent moins exposés aux pressions anthropiques que les parties de l'aval et qui de ce point de vue constituent des secteurs de référence tout à fait importants et donc à préserver ».

Dans le territoire de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne (AELB), l'enjeu d'une définition cartographique de la tête de bassin versant est d'autant plus important pour la mise en place des programmes d'actions de gestion des cours d'eau puisqu'elle commande en partie le taux de financement délivré par les agences de l'eau. Sur une masse d'eau en bon état située dans la zone de tête de bassin définie comme telle par l'agence de l'eau, les financements d'actions peuvent atteindre 40 %. Ceci est fait dans le but de préserver les têtes de bassin qui sont en bon état.

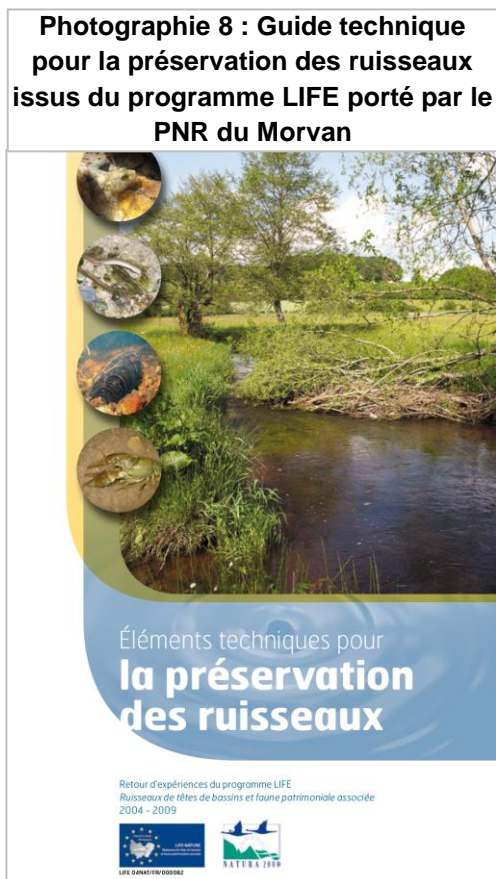
La première carte des têtes de bassins Loire est alors basée sur une entrée territoriale, en tenant compte de critères très précis. Il s'agit d'un découpage tenant compte de caractéristiques socioéconomiques et démographiques et où le critère physique retenu était l'altitude. Cette carte est validée par la délibération du Conseil d'Administration de l'AELB du 1^{er} décembre 2006. Seules les zones les plus élevées du bassin de la Loire étaient considérées comme étant la tête de bassin. **Qu'elles soient retranscrites dans des cartes ou non, les premières définitions des agences de l'eau associent les têtes de bassins à des territoires préservés. Pourtant, les programmes précurseurs, pour leurs gestions, et les manifestes scientifiques pour leur prise en compte dans la gestion des cours d'eau sont nécessairement issus de constatations moins idylliques.**

Figure 27 : Première carte des têtes de bassin de Loire-Bretagne, in Projet de 9^{ème} programme de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne (2007 – 2012), commission géographique Vienne Creuse, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Orléans, 2006



1.4.1. Les programmes précurseurs et les « manifestes » pour la préservation et la restauration des têtes de bassins

Le programme LIFE : « Ruisseaux de têtes de bassin et faune patrimoniale associée » portée par le Parc Naturel Régional du Morvan a bénéficié de financements européens entre 2004 et 2009. En 2007, le premier colloque consacré aux ruisseaux de tête de bassin et zones humides associées fut organisé sous forme de « rencontres nationales techniques » co-organisées par le pôle-relais zones humides intérieures et le PNR du Morvan. Les organismes ayant travaillé sur l'étude et les aménagements des petits cours d'eau y ont exposé leurs résultats et actions sur ces milieux. Cette fois, l'hydromorphologie est également étudiée, d'une part parce que la pression physicochimique semble moindre que sur le reste des hydrosystèmes, mais aussi parce que le programme LIFE vise également à préserver la faune associée, et donc ses habitats.



Ce colloque a rassemblé un certain nombre d'initiatives locales, mais n'a pas réellement défini d'un point de vue scientifique ce qu'est un ruisseau de tête de bassin. Il a surtout mis en évidence l'impact des pressions humaines et les réponses à ces impacts mises en place par les aménageurs et les collectivités territoriales.

Le zonage des têtes de bassins Loire vu plus haut fut présenté par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, Maman L. « *précise néanmoins que ce n'est pas la définition d'une tête de bassin au sens large : ce sont simplement les critères appliqués sur le zonage tête de bassin de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne* ». Cela suscite alors le questionnement de la salle sur la définition. Des éléments de réponse furent apportés par Baran P. de la direction régionale du CSP de Franche-Comté et Bourgogne : « *Il y a plusieurs problématiques dans la définition des têtes de bassin. Il existe l'entité ruisseau en elle-même, ainsi que l'entité zone humide. À elles deux, ces notions sont déjà assez difficiles à définir. Je vous propose de ne pas entrer dans la polémique sur la définition d'un ruisseau ou d'un fossé, sans quoi on y passerait le colloque entier. [...] Je dirai que quand on a affaire à des cours d'eau de plus de deux mètres ou deux mètres et demi de large, on commence déjà à être dans des systèmes qui ont une fragilité de fonctionnement différente de celle des systèmes qui font moins d'un mètre et demi de large, tels que ceux que je vous ai présentés. De la même façon, au niveau des*

zones humides, on dit : « au moins un hectare ». Ce sont les critères de cartographie qui sont utilisés. [...] Ensuite, il s'agit de définir les bassins versants qui sont concernés, et de les dimensionner autour de cela. Et cela devient quand même assez compliqué, car l'idée est vraiment celle des tailles de milieu. De toute façon, la jurisprudence, elle-même ne réglera pas toutes les questions relatives à la définition du cours d'eau, du fossé et de toute cette problématique. Nous aurons énormément de difficultés à avancer par rapport à cela. Je pense que chaque région aura ses propres approches. À l'heure actuelle, on utilise de façon récurrente cette expression de « tête de bassin ». Pourtant, la réglementation a d'autres axes d'entrée : cours d'eau pour la loi sur l'eau, et zone humide pour l'application. Donc, si on veut appliquer la réglementation, il est clair que l'on ne peut pas utiliser la notion de tête de bassin. On peut l'utiliser comme une notion de politique générale, mais pas comme une notion de réglementation. »

Ces propos sont alors soutenus par Rocle N. de la DDAF de la Nièvre qui précise : « *Je n'ai pas d'exemples de travaux de définition des têtes de bassin. Effectivement, les deux entrées cours d'eau et zone humide sont appliquées par les services chargés de la réglementation. Il reste que la cartographie des cours d'eau est un travail ambitieux. Cette cartographie doit avant tout être partagée et validée au niveau départemental. La méthodologie à mettre en place est rarement évidente.* »

Cette cartographie semble cependant possible pour Maman L. « *[...] Compte tenu du flou juridique sur la définition, il faut d'abord se baser sur l'existant. Il existe déjà des cartographies du réseau hydrographique, au moins sur le bassin Loire-Bretagne. De plus, la caractérisation des masses d'eau est en cours, notamment pour les très petits cours d'eau. Sur le bassin Loire-Bretagne, il y a des éléments cartographiques et l'on peut définir ce qu'est une tête de bassin. On peut donc caractériser les bassins versants. Les têtes de bassin, c'est la partie amont. Cela ne me paraît pas insurmontable s'il y a une volonté d'identifier ces territoires. Il y a déjà des outils pour cela.* »

Le rôle de ce colloque et de ce programme LIFE était donc bien le recensement d'actions concrètes de préservation et de restauration des petits cours d'eau et zones humides associées. Le résultat en est une compilation inédite d'exemples d'actions adaptées aux petits cours d'eau de moyennes montagnes océanisées. Le fait que l'étude des têtes de bassins soit tournée directement vers l'opérationnel, sans avoir au préalable défini clairement le ruisseau et la tête de bassin montre un certain caractère d'urgence des actions. Ceci sera souligné dans des rencontres plus locales où se manifeste la crainte vis-à-vis de l'atteinte du bon état des eaux, du fait de la prise en considération tardive des petits cours d'eau dans l'application de la DCE.

En effet, la même année (2007), se tient le « colloque rivières de Talloires » en Haute-Savoie. Le préambule de ce colloque souligne cette situation d'urgence pour l'étude et la gestion des ruisseaux de têtes de bassin :

« En effet, la puissante loi sur l'Eau s'est appliquée d'abord aux lacs et grandes rivières, aux nappes stratégiques, aux sources majeures de pollution ; [...] Il est temps maintenant de remonter vers cet amont qui représente 80 % du linéaire de nos cours d'eau permanents où commence la dynamique de la sédimentation et de l'érosion, où naît et se diffuse la vie aquatique, où se mesurent avant toute sommation les multiples impacts que l'activité humaine impose au milieu. Faute de quoi, on pourrait bien s'étonner un jour de situations incontrôlables et d'échecs imprévus, mais trop tard : on aurait laissé se dégrader l'amont de nos territoires. [...] nous sommes aujourd'hui en pleine actualité avec le Grenelle de l'environnement et sa trame verte, ainsi que la révision du SDAGE. Les administrateurs siégeant aux CODERST⁸ signalent nombre de dossiers impactant sur la quantité et la qualité de l'eau de nos ruisseaux de tête de bassin (dérivations de sources et cours d'eau, neige artificielle...) dont les effets cumulatifs peuvent expliquer certains constats. Qu'en est-il de nos petites rivières et de nos ruisseaux cachés ? Comment pouvons-nous les connaître et les évaluer dans le temps ? »

Lors de ce colloque, il sera également discuté de la représentativité des stations de mesures de la qualité chimique des eaux, et du manque de connaissances sur celle des petits cours d'eau. Les discussions introduisent le fait que les petits bassins versants, même s'il en existe d'expérimentaux dépendent tellement du type et de l'intensité des pressions anthropiques qu'ils sont tous différents. Dorioz J.M. de l'INRA de Thonon : « on peut se demander quelles sont les modalités d'acquisition de la « qualité chimique » des eaux ? Où, quand et comment elles acquièrent leur qualité ? Mais aussi quelles sont les relations entre variabilité de la qualité des eaux à l'exutoire avec l'état et le fonctionnement du bassin ? ou les relations du fonctionnement de tête de bassin avec le fonctionnement de l'aval ? » Il faut alors rappeler que bien souvent, les stations de mesures physicochimiques des TPCE se trouvent à l'exutoire.

En 2007, alors que cette thèse est débutée depuis un an, la définition du sujet est elle-même un enjeu d'actualité, elle semble difficile et constituera une partie importante du travail à effectuer. Cet enjeu semble dépasser l'échelle européenne.

En effet, toujours en 2007, aux États-unis des scientifiques américains publient : « *Where Rivers are Born : The Scientific Imperative for Defending Small Streams and Wetlands* ». Ce titre faisant référence à la défense des petits cours d'eau et des zones humides est provoqué par une régression dans la gestion de l'atteinte du bon état des eaux aux États-unis. Depuis 2001, les actions devaient se diriger de plus en plus vers les petits cours d'eau, car les scientifiques et les politiques étaient unanimes pour les préserver et les restaurer, car il est admis qu'ils ont été en partie détruits par l'agriculture ou d'autres activités humaines. Mais récemment, la Cour Suprême « a oublié » la vulnérabilité des petits cours d'eau face aux pollutions, et a réorienté ses politiques de gestion des cours d'eau. Dans cet ouvrage, les scientifiques dans le but de démontrer le fait que les petits cours

⁸ Conseil de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques

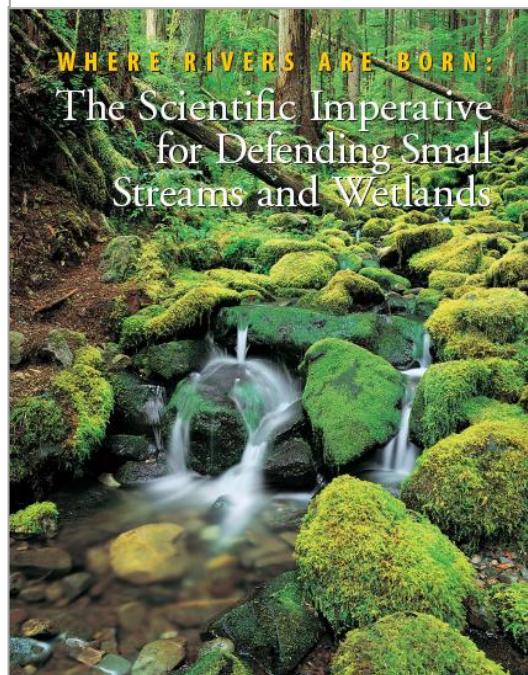
d'eau et les zones humides sont bénéfiques à l'homme et qu'ils ont une importance capitale dans le cycle de l'eau ne cessent d'avancer des arguments issus de différentes études. La diversité des têtes de bassin d'Amérique du Nord est expliquée, de la zone humide à la rivière temporaire à l'écoulement nival.

Dans cet ouvrage, les auteurs définissent les cours d'eau de tête de bassin comme les rangs 0 qui correspondent à des talwegs à écoulements intermittents, les rangs 1 et les rangs 2. Ils précisent que d'autres auteurs englobent les rangs 3, et que certains utilisent des seuils de surface des bassins versants. C'est également ce que nous avons constaté dans la bibliographie et notamment avec les travaux de Ricker et Lambert. Il est à souligner que ce manifeste est basé sur une bibliographie quasi exclusivement composée d'ouvrages d'Amérique du Nord. Mais qu'en est-il vraiment de l'origine du terme tête de bassin ? La tentative de définition géographiquement intéressante car territoriale des Agences de l'eau n'est-elle pas réductrice par rapport aux origines du terme ?

1.4.2. Les définitions des « têtes de bassin »

Parmi les définitions françaises, l'une des plus anciennes est celle de Marcel Roche (1986, p. 202), selon lequel la tête de bassin est la « partie la plus haute du bassin où naissent les principaux affluents et la rivière principale ». Celle-ci est très proche de celles des scientifiques qui se sont le plus intéressés à cette partie des bassins versants : Josef Krecek, docteur à l'université technique de République tchèque, Président du comité « Headwater Control » et John Martin Haigh, Professeur de géographie à l'université d'Oxford Brookes. Les premières traces de leur définition se rencontrent dans l'ouvrage « Environmental reconstruction in headwater areas » en 2000. Pour Krecek et Haigh, les têtes de bassin sont les zones aux marges des hydrosystèmes, mais elles sont également aux marges de systèmes environnementaux et sociétaux. Elles correspondent aux bassins versants des rangs 0 et 1, où les fleuves sont nés, toutes les rivières grandes et petites. Cette définition est certainement la plus ancienne regroupant des critères aboutissant à une définition territoriale. La tête de bassin n'est pas seulement une zone hydrographique stricte, elle est également une zone de « front » environnemental et sociétal.

Photographie 9 : Meyer J-L, et al., Where rivers are born : The Scientific Imperative for Defending Small Streams and Wetlands, 2007.

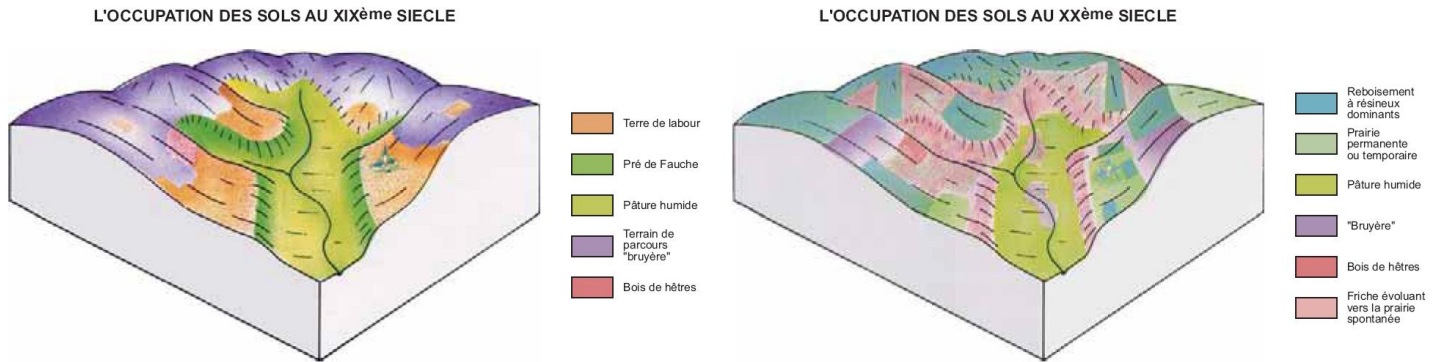


Nous l'avons vu en ce début de mémoire par l'exemple du Limousin, les sociétés se sont adaptées pour vivre et se développer à l'amont des bassins versants. C'est ce qui a été rappelé par Valadas B. en ajoutant la notion de « front pionnier écologique » de Guyot S. et Dellier J. puis Guyot S. en 2009 au séminaire technique : Zones humides et Têtes de Bassin Versant des 10 et 11 juin 2009 Nedde (Limousin). Valadas B. y présente des « Éléments d'histoire et (le) contexte socioéconomique » des « zones humides et têtes de bassin versant », appliqués à « la Montagne limousine ». Cette définition territoriale appliquée à la Montagne limousine est la plus proche de la définition originelle de Krecek J. et Haigh J.M. en 2000, qui laisse entrevoir des enjeux bien plus forts que les enjeux écologiques internes aux cours d'eau et zones humides. Haigh J.M. et al, en 2004, précisent qu'à l'échelle des nations, beaucoup de têtes de bassin sont des fronts de développement de l'agriculture, de la sylviculture, du tourisme, de la préservation de la nature, de la production hydroélectrique et de l'approvisionnement en eau. Beaucoup sont également des fronts socioéconomiques régionaux ou nationaux qui constituent des limites politiques entre des groupes sociaux rivaux sur le plan culturel ou militaire. Les têtes de bassins sont souvent associées à des zones de faibles densités de population, isolées des développements industriels et économiques, et occupées majoritairement par l'espace forestier.

Le parallèle avec cette définition et celle proposée par Valadas B. même si elle n'a pas la prétention d'en être une est donc fort de ce point de vue sociétal et biogéographique. Après des rappels biogéographiques associant l'imperméabilité des sous-sols cristallins, les précipitations abondantes liées aux dépressions océaniques qui permettent la présence de nombreuses zones humides dans les fonds d'alvéoles et une « exubérance naturelle » de la végétation, le contexte socioéconomique était énoncé et notamment les changements sociétaux majeurs conduisant à une « inversion paysagère » :

- Une longue histoire agricole avec des densités moyennes à fortes à l'époque romaine et durant le grand XIXe siècle (parfois plus de 50 hab/km²)
- Une forte émigration durant la première moitié du XXe siècle : moins de 10 hab/km², parfois 2 hab/km²
- En un siècle une inversion paysagère : des landes à la forêt

Figure 28 : Évolution de l'occupation des sols dans le cadre d'un alvéole de la Montagne limousine, Valadas B., Crouzevialle R., Petit D, 2005



Ces changements amènent alors la notion de « front pionnier écologique » :

- **Essai de définition** (Sylvain Guyot) : un espace à valeur écologique forte qui connaît une nouvelle appropriation
- Processus de reconquête d'un territoire avec une valeur paysagère, biologique, environnementale
- Actions sur des espaces aux contours flous avec des « éco-conquérants » exogènes

Et la nécessité de « faire vivre ce front pionnier écologique » avec tous les conflits d'usage que cela implique :

- **Faire vivre un « front pionnier écologique »** génère des conflits d'usages et des conflits environnementaux
- Le Parc naturel régional⁹
- Les sites du CREN¹⁰, les ZNIEFF, ...
- L'agriculture, la forêt, l'artisanat, ...
- Vassivière, la culture¹¹, ...
- Les élus

Un « front pionnier écologique » constitue des enjeux forts pour les sociétés

- « Vivre » sur le plateau¹²
- Faire « vivre » le plateau
- Territorialiser le plateau
- Une appropriation exogène à concilier avec les légitimes préoccupations endogènes

Les territoires de têtes de bassins seraient donc des territoires appartenant aux «fronts écologiques » explicités par Guyot S., Richard F. en 2010 :

« La notion de « front écologique » ou d'éco-front (traduction française d'eco-frontier), [...] renvoie à l'appropriation "écologisante" d'espaces, réels ou imaginaires, dont la valeur écologique et esthétique est très forte. Il peut s'agir indifféremment de paysages grandioses (haute chaîne de montagnes,

⁹ Parc Naturel Régional de Millevaches en Limousin
¹⁰ Sites à forts intérêt « écologique » gérés par le Conservatoire Régional du Limousin
¹¹ Référence au centre culturel de l'île du lac de Vassivière en Limousin
¹² Le Plateau de Millevaches

étendue désertique, campagnes « ancestrales » etc.) ou d'une biodiversité en péril quels que soient l'échelle et/ou le contexte géographiques. Les fronts écologiques répondent néanmoins à quelques critères géographiques bien précis :

- *une idée générale de zone floue liée à des dimensions et des limites mal connues et mouvantes,*
- *l'appropriation "écologisante" réalisée par des "éco-conquérants" renvoie à un processus de conquête physique et/ou idéologique,*
- *l'existence d'une tête de pont, d'où est initiée la conquête (métropole, station balnéaire, camp touristique, résidence secondaire etc.),*
- *parfois une limite ultime, physique ou mentale, difficilement atteignable comme le ciel, les fonds océaniques, le sous-sol, etc. »*

Si la limite aval hydrographique et hydro-écologique est floue du fait qu'elle est progressive et qu'elle se matérialise par un écotone spatialement variable, elle l'est aussi d'un point de vue écologique général et sociétal. Par conséquent, ce qui caractérise les territoires de tête de bassin est avant tout leurs perturbantes et capricieuses limites les rendant difficilement cartographiables. Pas étonnant alors que les définitions terminologiques et cartographiques que l'on vient de voir soient imprécises et que celles que nous allons voir sont nécessairement et inévitablement strictes dans un objectif de gestion.

Avant de retranscrire cartographiquement la définition de Krecek et Haigh, Paracchini et al., en 2000 précisent inévitablement qu'il n'existe pas de définition explicite de la tête de bassin. La définition la plus simple et la plus précise est celle de Krecek. J., obtenue par communication personnelle : il s'agit des régions « où les fleuves naissent » ou « les bassins versants des ordres 0 ». Afin d'acquérir d'autres éléments de définition cartographique, les auteurs rendent compte d'un travail d'interprétation de Modèle Numérique de Terrain effectué par l'United States Geological Survey (USGS) : la délimitation de la tête de bassin tiendrait au fait que pour qu'un ruisseau se forme, il faut « une région de drainage d'environ 2 miles², soit 5,18 km² ou plus ». Une définition plus complexe est également trouvée auprès de l'USGS : « la tête de bassin commence en un point d'un ruisseau (non maritime) d'eau douce au-dessus duquel le débit moyen est inférieur à cinq pieds³, soit 0,14 m³ par seconde ».

Au-delà de ces problèmes de définition terminologique, la question principale qui se pose dans les discussions est : « où les fleuves naissent-ils ? » (Paracchini et al., 2000). Ils réalisent alors un travail de cartographie au Centre de recherche collectif de l'Union Européenne. Pour réaliser cette cartographie à l'échelle de l'Union Européenne, Paracchini et al., (2000, pp. 69-73) ont utilisé deux méthodes basées sur l'interprétation de la base de données GTOPO30, découpée en cellules de 1 Km². Dans la méthode 1, ils ont retenue les régions de sources de chaque rang 1. La deuxième

méthode est une sélection des régions se situant en amont de chaque confluence des rangs 1. Ces deux méthodes ont permis de sélectionner plus de 550 000 régions de têtes de bassin dans l'Union Européenne (Paracchini et al., 2000, p.75). Ils mettent alors en évidence que les têtes de bassin occupent 41 à 58 % de l'Union Européenne, soit 3 220 000 Km², dont 12 % sont montagneuses, et 46 à 65 % forestières. Une très grande proportion des têtes de bassin se situe entre les interfluves et les premiers écoulements du réseau hydrographique. Les têtes de bassins partagent une partie des caractéristiques du réseau hydrographique de la rivière. Les têtes de bassins se trouvent aux extrémités des grands bassins versants internationaux et correspondent également aux marges de chaque tributaire et sous bassin versant. La précision cartographique des têtes de bassin dépend alors de l'échelle d'étude.

J.M. Haigh et al. en 2004 précisent que cette méthode n'a pas été reproduite jusqu'alors, mais qu'il est probable que les résultats seront alors semblables dans d'autres régions du monde. Paracchini et al., en 2000 notent également que les têtes de bassin se trouvent dans une large gamme altitudinale. **« Les têtes de bassin sont issues des plus hauts terrains d'un bassin versant, mais les zones montagneuses n'en sont qu'une partie. La caractéristique la plus typique du système « tête de bassin » et applicable à tous est leur position en marge des bassins de tout le réseau qui se trouve en aval ».**

Si nous revenons sur les définitions américaines de l'USGS et de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), celles-ci soulignent que la tête de bassin est un espace où le rôle du ruissellement diffus et des sources est dominant, alimentant de petits cours d'eau (*small streams*) caractérisés par l'absence ou la faiblesse de tributaires. En même temps, l'USGS indique que, généralement, ce sont des cours d'eau de rangs 1 et 2 qui sont concernés.

Définition de headwater de l'United States Geological Survey (USGS) :

Headwater(s): "(1) the source and upper reaches of a stream; also the upper reaches of a reservoir.

(2) the water upstream from a structure or point on a stream.

(3) the small streams that come together to form a river. Also may be thought of as any and all parts of a river basin except the mainstream river and main tributaries."

(1) Les sources et les parties supérieures d'un cours d'eau ou d'un réservoir.

(2) Les eaux des cours supérieurs d'un cours d'eau en amont d'une structure ou d'un point du cours d'eau.

(3) Les petits cours d'eau qui se rejoignent pour former une rivière. Toutes les parties d'un bassin fluvial sauf les tributaires fluviaux principaux du cours d'eau principal.

Ici, le cours d'eau de tête de bassin est surtout défini de par l'hydrographie et sa position dans le bassin versant. En effet, seuls les petits cours d'eau qui ne sont pas affluents directs du cours principal sont des cours d'eau de tête de bassin. Il y a donc une logique de classement

Les têtes de bassin de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins

hydrographique dans cette définition. On peut cependant se demander si un ruisseau qui conflue directement sur le cours principal d'un grand bassin versant doit être exclu de cette définition.

Toujours aux États-unis, mais plus localement, une définition est proposée par « the Headwater Research Cooperative Workshop » octobre 2001 :

« Headwater stream has an average annual stream flow less than 2 cubic feet per second. Stream Width can vary greatly, particularly between sites west and east of the Cascade Mountains.

In Western Oregon the bankfull width ranges from less than 1 meter to 3 meters. In eastern Oregon the bankfull width can be wider as well as streams becoming dry in summer.

Headwater streams function differently at a basin scale depending on their position in the basin. They typically do not support fish populations.»

« Un cours d'eau de tête de bassin a un module annuel inférieur à un mètre cube par seconde. Sa largeur varie en fonction de sa localisation est-ouest par rapport aux Cascade Montains.

Dans l'Oregon occidental, leur largeur de berge à berge est inférieure à 1-3 mètres, alors qu'ils peuvent être plus larges dans l'Oregon oriental même pour ceux qui s'assèchent en été.

Les cours d'eau de tête de bassin ont une fonction différente qui dépend de leur position dans le bassin versant. Ils n'abritent pas de population piscicole. »

La définition de "headwater stream" de l'« Oregon Headwater Research Cooperative »: *"Headwater streams are streams that are fed by a majority of hillslope inputs (groundwater and subsurface soil flow) rather than the surface tributary flow. They are more responsive to short duration precipitation events than larger streams. They are generally first or second order streams less than 5-10 in bankfull width";* « Les cours d'eau de tête de bassin sont des cours d'eau qui sont majoritairement alimentés par des apports des versants (qu'il s'agisse d'eau superficielle ou d'eau infiltrée dans le sol) plutôt que par des apports de tributaires superficiels. Ils peuvent avoir des écoulements de surface pérennes ou intermittents. Ils ont des réponses plus rapides aux précipitations que les grands cours d'eau. Ils ont généralement les ordres 1 et 2 et mesurent moins de 2-3 mètres de largeur. »

Les cours d'eau de tête de bassin sont ici définis par leurs apports hydrologiques, en effet, ils ne sont pas majoritairement alimentés en eau par un écoulement concentré dans un talweg, mais plutôt par les écoulements diffus des versants et par les écoulements internes au sol.

Dans un écrit : « Oregon Headwater Research Cooperative Characteristics of streams » il est indiqué qu'il s'agit de la fin de l'utilisation du cours d'eau par les poissons, il s'agit alors d'une transition biologique clé qui se matérialise par la fin d'occupation des habitats par les poissons. En Oregon, cette limite coïncide avec le début de la dominance de l'espace riverain forestier qui induit un

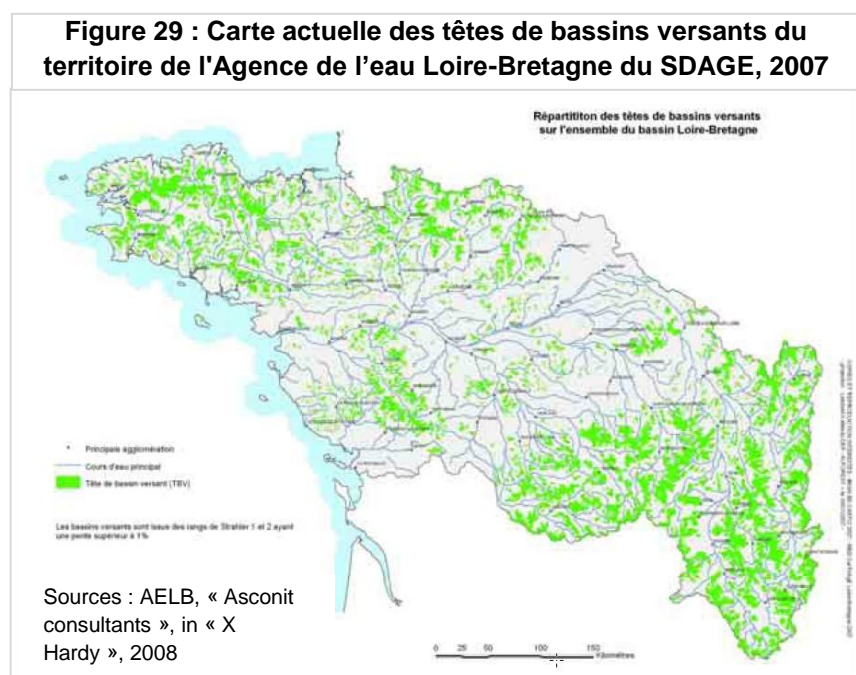
changement dans l'approche de la gestion et de la protection des ruisseaux. La définition de l'USGS est géographiquement beaucoup plus étendue et ne se limite pas à la présence-absence de poisson.

Selon le pôle-relais des zones humides intérieures, une tête de bassin est une « zone de source et zone générant l'écoulement, puis le cours d'eau : zone incluant les ruisseaux d'ordre 1, 2, voire 3 » (Touchart, 2006, p. 2). Avec des nuances comme « *generally* » ou « voire », les organismes concernés, USGS ou pôle-relais, n'osent déterminer un seuil précis.

Au terme de cette partie de synthèse bibliographique pluridisciplinaire sur les définitions de tête de bassin, les critères de délimitation écologique ne sont pas unanimes, certains pensent que cette limite correspond à la limite de l'aire de répartition des poissons, alors que d'autres en prolongeant la limite aval jusqu'au cours d'eau de rang 3 assimilent les têtes de bassins à la zone à truite pour les hydrosystèmes tempérés. Lorsque l'on intègre les notions de territoire et de société, les limites deviennent d'autant plus complexes, mais la prise en considération des sociétés est pourtant conforme aux définitions les plus universelles. Ce qui est certain, c'est que le schéma de la tête de bassin montagnarde est une vue de l'esprit plus pédagogique que représentative de la réalité. Les dimensions de bassins versants, les débits et les largeurs seuil, sont variables, mêmes régionalement. Quoi qu'il en soit, le regain d'intérêt pour la notion de ruisseau et de la petite portion de bassin qu'il draine montre que les aménageurs et techniciens, dans les services de l'État, les agences de l'eau, les directions régionales de l'environnement, les parcs naturels, les associations environnementalistes, est réel ; plus rarement, les scientifiques se sont enfin persuadés de l'importance de ces petits territoires d'amont, dont découle tout le reste.

1.4.3. La retranscription administrative dans les programmes de mesures des SDAGE

Comme l'avait annoncé Maman Lucien en 2007 dans le Morvan, le SDAGE Loire-Bretagne présente une cartographie d'un zonage de tête de bassin, auquel s'applique un taux d'aide supérieur sur certaines parties de masse d'eau recouvertes par ce zonage. Cette fois, l'entrée n'est plus territoriale, mais strictement hydrographique et topographique. La DIREN



de bassin Loire-Bretagne a récemment donné une définition nette peu après le colloque du Morvan et en 2007 issue d'un travail du bureau d'études « Asconit consultants ». Cette définition valide comme plafond l'ordre 2, sur lequel tout le monde est finalement d'accord, d'autre part, ajoutant, de façon plus originale, une valeur de pente : « les têtes de bassin s'entendent comme les bassins versants des cours d'eau dont le rang de Strahler est inférieur ou égal à deux et dont la pente est supérieure à 1 % » (p. 101).

D'une manière générale, le zonage de tête de bassin englobant les petits cours d'eau et petites zones humides et la connaissance des TPCE dans le cadre de l'élaboration du SDAGE 2010 – 2015 fut longue et difficile. Le tableau suivant en présente les étapes.

Tableau 13 : Évolution de la prise en compte des petits cours d'eau et petites zones humides dans le cadre des études et orientations des programmes de mesures et du SGAGE du bassin Loire-Bretagne de 2001 à 2009

Période, dates	Actions, éléments déclencheurs	Constats, décisions, résultats, orientations intégrant les têtes de bassin
18 novembre 2009	Arrêté préfectoral d'approbation du SDAGE et du Programme de Mesure	Approbation du SDAGE et du Programme de Mesures avec le dernier zonage de tête de bassin
Mars 2008	Etude : Démarche d'inventaire des zones humides et Programme de Mesures dans le cadre de la révision du SDAGE Loire-Bretagne : Volet zones humides	« Ce travail constitue une base qui permettra de redimensionner le volet « zones humides » du programme de mesures à la suite des décisions prises dans le cadre du Grenelle de l'environnement. » Apparition d'une nouvelle définition du zonage de tête de bassin : BV des rangs de Strahler 1 et 2 ayant une pente supérieure à 1% Estimation des surfaces de zones humides par territoire : Loire-Bretagne : 6700 Km² soit 4,3 % des bassins Loire et bretons, dont 13 217 ha et 2 % du total en têtes de bassin
30 Novembre 2007	Etude : Rapport d'évaluation environnementale du Sdage Loire-Bretagne 2010 - 2015	Consultation du public après examen par les services du Préfet de bassin : <ul style="list-style-type: none"> • Préserver les têtes de bassin permet la préservation des zones humides d'intérêt communautaire : tourbières etc. • Les zones humides de tête de bassin ont fortement régressé notamment sous la pression agricole • Les activités économiques et l'urbanisation génèrent des pollutions modestes en tête de bassin mais qui peuvent également avoir des impacts forts du fait de la faible dilution • Le bassin Loire-Bretagne est soumis à des influences climatiques susceptibles de générer des crues torrentielles de type «cévenoles » en tête de bassin • Les têtes de bassin sont capitales pour la biodiversité, qualité et quantité de la ressource • Les SAGE veilleront à organiser la solidarité de l'aval vis-à-vis de l'amont • Préserver les têtes de bassin est une question importante et une orientation fondamentale du SDAGE (11)
1 ^{er} Décembre 2006	Délibération du Conseil d'Administration de l'AELB	Définition territoriale et la bonification du taux d'aide en « tête de bassin » Définition du zonage : « hors zone de peuplement industriel et urbain, - dont l'altitude est supérieure à 600 m, - dont la densité de population est inférieure à 50 habitants/km², - et où la densité d'élevages est inférieure à 2 UGB/ha de surface

		<p>fourragère principale. La zone précise est basée sur les communes concernées à plus de 50 % par les zones précitées. Elle est définie par la liste des communes n°5. »</p> <p>« Les contrats restauration entretien portant sur les milieux aquatiques sur la zone « têtes du bassin Loire-Bretagne » (Cf. zonage têtes de bassin versant) bénéficient d'une majoration de 10 % pour les travaux de restauration et d'entretien initialement financés à hauteur de 30 %. »</p>
2006	<p>Etude : « Masses d'eau de très petits cours d'eau : délimitation et évaluation de la probabilité du respect des objectifs de la DCE »</p>	<p>« L'étude préalable des variabilités des valeurs de référence a permis de définir les hydroécorigions dans lesquelles des regroupements étaient possibles. Ces résultats ont été validés par le comité de suivi de l'étude. Ils ont permis la fusion des masses d'eau de rangs 1, 2 et 3 à des rangs 4 sous certaines conditions. (hydroécorigions et contexte piscicole).</p> <p>Après individualisation des bassins versants inférieurs à 10 km² considérés comme annexes hydrauliques, 1231 TPCE (masses d'eau Très Petits Cours d'Eau) ont ainsi été délimitées. Les évaluations du risque de non respect des objectifs environnementaux ont été établies suivant la méthodologie définie pour les grands cours d'eau. En l'absence de données sur l'hydromorphologie disponible sur certaines masses d'eau, l'évaluation complète de l'atteinte des objectifs n'a pu être menée que sur 50% des masses d'eau. Pour les 642 masses d'eau qualifiées, les résultats montrent que 57 % des masses d'eau sont en risque, 23% en doute et 20% en respect. L'hydromorphologie est la principale cause du déclassement (70% des masses d'eau sont en risque ou en doute pour ce paramètre). »</p> <p>« Ceci nécessite des investigations supplémentaires par des concertations supplémentaires, par des acquisitions de données. Il faudra également s'assurer de la cohérence des diagnostics déjà effectués. Des données milieu sont à acquérir notamment sur les indicateurs biologiques. »</p>
30 Juin 2006	<p>Validation des consultations par la publication de « Tous acteurs de l'eau »</p>	<p>Perception territoriale de la « tête de bassin »</p> <p>« Les sources représentent un milieu fragile mais écologiquement très riche. Ce sont les territoires des eaux vives, des tourbières, de gorges... Elles ont souvent été le siège d'implantation d'aménagements hydroélectriques, de développements industriels liés au contexte local (lait, fromage par exemple), ou même de développement touristique. Ce sont des régions souvent relativement pauvres où un certain développement économique est primordial. Si le sentiment d'une bonne qualité des milieux est très présent, le sentiment de leur fragilité est mal perçue. Le Sdage de 1996 avait bien vu tout l'intérêt de ces zones en indiquant qu'il était nécessaire d'y fixer des objectifs ambitieux profitant à l'ensemble du bassin ».</p>
Septembre à décembre 2004	<p>Consultation des assemblées locales</p>	<p>Ajout de l'Enjeu « Préserver les têtes de bassin versant » dans le SDAGE</p>
2003	<p>Etude : « Construction d'un référentiel géographique des secteurs amont de têtes de bassin »</p>	<p>« Trois classifications typologiques ont été proposées</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'une part, sur les bassins de rangs 2 et 3 en 15 classes - d'autre part, sur les bassins de rang 4 en 7 classes - enfin, sur les bassins de rangs 2, 3 et 4 en 12 classes <p>Ces typologies ont été obtenues par ACP (analyse en composante principale) sur un ensemble de variables regroupant des paramètres physiques, des facteurs de perturbation et des valeurs patrimoniales.</p> <p>La classification sur les bassins de rang 4 présente moins de cohérence géographique que celle des bassins de rang 2 et 3. »</p> <p>« La classification typologique des bassins versants permet de proposer une « base de sondage » objective pour mettre au point un ou des réseaux de mesures de la qualité chimique, physique ou biologique des cours d'eau. Le référentiel et la base de données associée pourront être enrichis par des données complémentaires et de nouvelles variables pour affiner la caractérisation des territoires. »</p>

2001	Etude : « Analyse de la coopération locale dans le domaine de l'eau sur les têtes de bassin – faisabilité d'une prise en compte par l'agence »	<p>« Trois grands domaines de compétence peuvent être distingués pour l'eau :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le service public de distribution de l'eau - le service public d'assainissement - la gestion globale de la ressource <p>Trois grands régimes de délégation de compétence existent. Ce sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la délégation complète de la compétence - la délégation en étoile, avec un découpage de chaque compétence donnant lieu à des délégations différentes - la délégation en cascade <p>Trois scénarios d'approche peuvent être proposés à l'agence dans la conduite de ses politiques territoriales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la structure leader - la gestion globale de l'eau - le projet de territoire pour l'eau en fonction des situations locales » <p>« Le prestataire a élaboré des préconisations pour les territoires et pour l'agence. L'ambition est maintenant de conduire sur chaque territoire une démarche expérimentale pour tester en grandeur nature ce que pourrait être la politique tête de bassin de l'agence au 8ème programme. Les points durs d'une telle démarche sont la mise en place d'un espace de concertation entre les acteurs, la construction d'un projet eau et territoire accepté par tous et déclinant différentes études opérationnelles et des actions. »</p>
2001	Etude : « Eau et territoire, réflexion sur la faisabilité d'une politique spécifique tête de bassin »	<p>« Les acteurs des têtes de bassin sont préoccupés par leur développement économique et social, attachés au concept de développement durable, mobilisés sur la recherche des moyens humains et financiers. Les risques majeurs identifiés sont les altérations ponctuelles des eaux, la fragilité et la sensibilité des milieux naturels aux aménagements et au mode de gestion de l'espace, l'absence de vécu de la chaîne de solidarité amont / aval.</p> <p>Une action spécifique sur ces territoires doit s'appuyer sur la coopération entre les acteurs, la mobilisation des compétences (animation – assistance à maîtrise d'ouvrage ...) et des moyens financiers. Elle doit être intégrée au sein d'un projet de territoire conciliant la préservation de la ressource et le développement local. »</p> <p>« Les éléments et conclusions de cette étude sont repris dans les analyses de l'étude « Eau et Territoire, réflexions sur la faisabilité d'une politique spécifique têtes de bassin », et proposent des clefs de lecture des territoires sur lesquels l'agence souhaite intervenir. »</p>

Les années 2001 à 2003 furent consacrées à la réflexion pour l'élaboration de politiques territoriales de l'Agence de l'eau pour la préservation des parties amont des bassins versants. Après une phase de consultation au niveau local, il ressortait que la solidarité amont/aval n'était pas un ressenti des gestionnaires de l'amont. Il est conclu de cette étude qu'une politique spécifique au territoire de tête de bassin devra être mise en place s'appuyant sur les compétences et des outils financiers locaux.

En 2004-2005 une phase de consultation du public sur les « enjeux de l'eau » permet d'inscrire l'enjeu de préservation des têtes de bassin dans le SDAGE, surtout à la suite de la consultation des assemblées locales. Une perception de ces territoires préalable à un zonage des têtes de bassin est publiée en 2006 dans « Tous acteurs de l'eau ». Elle se matérialisera quelques mois

plus tard par la première définition du zonage de tête de bassin validée en Conseil d'Administration de l'AELB le 1^{er} décembre 2006.

Le rapport d'évaluation du SDAGE 2010-2015 rend compte de la vulnérabilité des tête de bassin face aux activités humaines, des risques et enjeux pour la biodiversité et les populations de certains territoires, la préservation des tête de bassin devient une question et une orientation principale (Question importante n°11) du SDAGE qui se décline comme suit :

- 11A Adapter les politiques publiques à la spécificité des têtes de bassin
- 11B Favoriser la prise de conscience

En 2008 apparaît un nouveau zonage des têtes de bassin versant, cette fois basé sur la sélection des bassins versants des rangs 1 et 2. Encore une fois, la volonté de réviser ce zonage est probablement liée à la consultation des gestionnaires locaux lors de la deuxième phase de consultation sur le projet de Sdage de 2008-2009. Il y eu aussi le colloque du Morvan d'Avril 2007 où fut présenté le premier zonage, puis le séminaire technique : Zones humides et Biodiversité du bassin de la Loire du 5 décembre 2008 à Orléans. Il est probable que ces deux colloques ont joué un rôle important dans la révision à la hausse du zonage de tête de bassin en terme de surface.

Finalement, le SDAGE est adopté en 2009 avec une question importante et des objectifs spécifiques aux têtes de bassin versant. On retrouve également la volonté de préserver cette zone géographique dans d'autres objectifs.

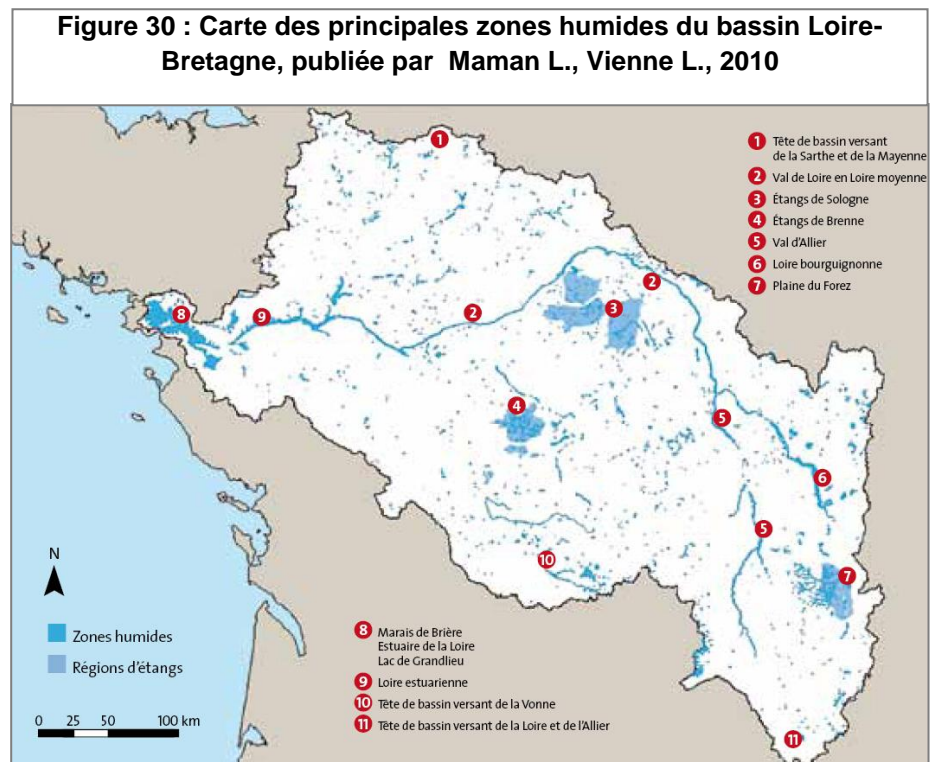
Tableau 14 : Prise en compte des têtes de bassin versant dans les objectifs, orientations et dispositions du SDAGE Loire-Bretagne 2010-2015

Objectifs, orientations, dispositions du SDAGE	Intégration des têtes de bassin versant
1B Restaurer la qualité physique et fonctionnelle des cours d'eau	"Une attention particulière doit être portée aux têtes de bassin dont le bon état fonctionnel est particulièrement important pour l'ensemble du bassin, ainsi qu'à la gestion des retenues structurantes existantes"
8 Préserver les zones humides et la biodiversité	"Elles (les zones humides) assurent, sur l'ensemble du bassin, des fonctions essentielles d'interception des pollutions diffuses, plus particulièrement sur les têtes des bassins versants où elles contribuent de manière déterminante à la dénitrification des eaux. Dans de nombreux secteurs la conservation d'un maillage suffisamment serré de sites de zones humides détermine le maintien ou l'atteinte de l'objectif de bon état des masses d'eau fixé par la directive européenne à l'horizon 2015."
8A Préserver les zones humides	"La préservation des zones humides nécessite d'agir à deux niveaux. [...] en maîtrisant les causes de leur disparition au travers d'une protection réglementaire limitant au maximum leur drainage ou leur comblement ou leur assèchement. En second lieu au travers des politiques de gestion de l'espace afin de favoriser et/ou de soutenir des types de valorisation compatibles avec les fonctionnalités des sites , que ce soit sur la ressource en eau ou sur la biodiversité. Ces deux types de mesures constituent un volet prioritaire des Sages, notamment sur les secteurs situés en tête de bassin versant. "
9C Assurer une gestion équilibrée de la ressource piscicole	"Les Plans départementaux pour la protection du milieu aquatique et la gestion des ressources piscicoles (PDPG) précisent les orientations générales de protection des espèces, de gestion des habitats et d'exploitation halieutique et, le cas échéant, les dispositions particulières à appliquer sur les milieux aquatiques des têtes de bassin versant. "
95C	"[...] rétablir ou maintenir la libre circulation des poissons entre les parties aval des cours d'eau et leurs têtes de bassin versant à préserver et restaurer les frayères et les zones de croissance et d'alimentation de la faune piscicole."
11 Préserver les têtes de bassin versant	"A l'extrême amont des cours d'eau, les têtes de bassin représentent notre «capital hydrologique». Elles constituent un milieu écologique à préserver, habitat d'une grande biodiversité et zone de reproduction de migrateurs. Elles conditionnent en quantité et en qualité les ressources en eau de l'aval mais sont insuffisamment prises en compte dans les réflexions d'aménagement en raison d'un manque de connaissance sur leur rôle. Souvent de bonne qualité, ces zones sont cependant fragiles et peuvent très vite se dégrader en raison des activités économiques qui s'y installent. Les impacts des diverses activités humaines (agriculture, sylviculture, urbanisation, tourisme...) sont mal connus et souvent sous-estimés. La solidarité de bassin est donc essentielle, en particulier à l'amont de prises d'eau couvrant des besoins stratégiques pour l'alimentation en eau potable et dans les zones humides reconnues en termes de protection des milieux écologiques. Les têtes de bassin s'entendent comme les bassins versants des cours d'eau dont le rang de Strahler est inférieur ou égal à 2 et dont la pente est supérieure à 1 %."
11A Adapter les politiques publiques à la spécificité des têtes de bassin.	"La sensibilité des têtes de bassin et l'influence essentielle de ces secteurs dans l'atteinte des objectifs de bon état à l'aval justifie d'identifier précisément ces zones et de définir des mesures de restauration spécifiques lorsque c'est nécessaire. En application du principe de continuité amont-aval, les Sages veilleront à organiser une solidarité de l'aval vis-à-vis de l'amont des bassins. "
11A-1	" Les Sages comprennent systématiquement un inventaire des zones têtes de bassin, une analyse de leurs caractéristiques, notamment écologiques et hydrologiques, et la définition d'objectifs et de règles de gestion adaptés de préservation ou de restauration de leur qualité. "

11A-2	"Les Sage veillent à une cohérence des financements publics mis en place pour tenir compte des caractéristiques particulières des têtes de bassin (aides spécifiques, bonifications...)."
11B Favoriser la prise de conscience	"Une des conditions essentielles à la mise en œuvre d'une gestion durable des rivières est la prise de conscience générale du rôle bénéfique que jouent les têtes de bassin pour l'atteinte de l'objectif de bon état et pour le fonctionnement du milieu aquatique en général. Ce bénéfice profite collectivement à l'ensemble des acteurs de l'eau à l'échelle du bassin."

Le zonage actuel de tête de bassin du SDAGE fut effectué en 2008 au préalable de la première cartographie des zones humides du bassin Loire-Bretagne.

La surface de zones humides est également estimée à 6700 Km² soit 4,3% des bassins Loire et bretons, dont 13 217 ha et 2% du total se trouvent en tête de bassin. La carte ci-contre présente les principales zones humides de Loire-Bretagne. Une autre approche a été réalisée par le bureau d'études « Asconit consultants » et le CRENAM de l'Université de Saint-Étienne et présentée lors des conférences ESRI 2008. Il s'agit d'un travail



commandé par l'Agence de l'eau pour connaître la part des zones humides en tête de bassin versant et sur la totalité des bassins bretons et de la Loire.

Tableau 15 : Surface et part des zones humides du bassin Loire-Bretagne hors et en zonage de tête de bassin, d'après Mazagnol P-O., Porteret J., Etlicher B., Martin R., Thyriot C., 2008

	Part surfacique du bassin versant Loire-Bretagne (155 000 Km ²)	Surface en Km ²	Part surfacique en tête de bassin versant Loire-Bretagne
Zone 1 probabilité faible	35,6%	55 180,0	42,2%
Zone 2 probabilité moyenne	27,9%	43 245,0	31,8%
Zone 3 probabilité forte	36,5%	56 575,0	26,0%

- Zone 1 : les zones humides naturelles ne peuvent se développer qu'à la faveur de zones en creux où s'accumulent les flux (talweg et concavité à faible pente et zones planes) et en bordure de cours d'eau.
- Zone 2 : secteur où, l'altitude augmentant, les conditions climatiques sont plus humides. Compte tenu des écoulements de surface et des nappes, les zones humides peuvent être présentes sur des pentes faibles à modérées en bas de versant (plan + concave) et dans les talwegs.
- Zone 3 : les conditions climatiques humides permettent un bilan hydrique excédentaire. Les zones humides sont présentes sur tous les types de forme de terrain lorsque la pente le permet.

Au préalable, le bureau d'études et le CRENAM ont nécessairement dû cartographier les zones de tête de bassin versant, la méthodologie de cette étape correspond à un extrait de l'article et figure dans l'encart suivant :

« Si une cartographie à l'échelle du bassin versant est obtenue, la demande de l'agence de l'eau portait uniquement sur les têtes de bassin versant. Il a donc été nécessaire de les extraire. Le SDAGE définit les têtes de bassin comme étant le bassin versant des cours d'eau dont le rang de Strahler est inférieur ou égal à 2 (utilisation de la BD Carthage) et dont la pente est supérieure à 1%, sur tout ou partie de leur tracé (utilisation du MNT). Tous les cours d'eau de rang inférieur ou égal à 2 ne sont toutefois pas pris en considération. Afin de ne garder que les « grandes têtes de bassin », seuls les cours d'eau de rang inférieur ou égal à 2 se jetant dans un cours d'eau de rang N+1 sont conservés.

D'autres cours d'eau sont également exclus de la définition :

- les cours d'eau de rang 3 ou plus,
- les canaux (pour ne pas dénaturer les bassins versants topographiques),
- les affluents de rang 1 ayant un tributaire de rang 3 ou plus,
- les affluents de rang 2 ayant un tributaire de rang 4 ou plus.

Les manipulations ont été réalisées sous ArcGIS 9.2. Elles comprennent différentes étapes, toutes réalisées sous ArcGis 9.2 avec Spatial analyst. Les cours d'eau ont donc été sélectionnés et transformés en entités géométriques par fusion du code cours d'eau (champ CGENELIN) et du rang de Strahler.

Une nouvelle sélection a alors été effectuée concernant :

- les cours d'eau de rang 1 connectés à des cours d'eau de rang 2 d'une part,
- les cours d'eau de rang 2 connectés à des cours d'eau de rang 3 d'autre part.

Leur longueur a alors été calculée et nous avons extrait les points amont et aval de chacun (par utilisation d'un script VBA avec la calculatrice) ainsi que leur altitude (à partir du MNT). Le dénivelé de chaque cours d'eau a alors été obtenu par la valeur absolue de la différence entre ces deux valeurs. Longueurs et dénivelés nous ont permis de calculer la pente de chacun des cours d'eau sélectionnés et de ne conserver que ceux pour lesquels elle était supérieure à 1%. Les cours d'eau issus de la sélection ont été rasterisés pour calculer les bassins versants. Afin d'obtenir un zonage vaste des bassins et non pas un bassin par cours d'eau, un regroupement « régional » des cours d'eau a été réalisé.

Les têtes de bassins versant ont quant à elles été isolées (dans spatial analyst) à partir du MNT (après comblement des cuvettes) par calcul des directions d'écoulement, puis par extraction des bassins versants (en intégrant la « régionalisation des cours d'eau » et les directions d'écoulement). Elles ont enfin été vectorisées.

Nos tests ont montré que la délimitation des bassins versants est améliorée par l'intégration de l'ensemble du réseau hydrographique (petit chevelu compris), plutôt que simplement les exutoires des bassins comme suggéré dans la fonction de spatial analyst. Cela permet de pallier les incohérences existant entre la position de l'exutoire depuis lequel on souhaite déterminer le bassin versant et celles des talwegs sur le MNT. En effet, la zone de drainage matérialisée par un linéaire est plus précise que la représentation ponctuelle de l'exutoire. Sur l'ensemble du tracé, il est ainsi possible de « rattraper » certains décalages entre les données issues de la BD Carthage et de la BD Alti. »

La description de cette méthodologie révèle une précision définitoire notable. La définition terminologique des têtes de bassins de l'agence de l'eau Loire-Bretagne si elle correspond aux bassins versants de rangs 1 et 2 ayant une pente supérieure à 1% est en fait plus réduite dans sa retranscription cartographique surtout du point de vue de la sélection par rang de Strahler :

- Les cours d'eau retenus doivent nécessairement confluer avec un cours d'eau de rang n+1. De ce fait, la succession dans l'ordination est déterminante :
 - Un cours d'eau de rang 1 confluant à un rang 3 ou supérieur est exclu
 - Un cours d'eau de rang 2 confluant à un rang 4 ou supérieur est exclu
 - Deux cours d'eau de rang similaire (1-1, 2-2) se rejoignant sont exclus (mais cela ne doit pas être le cas, car dans ce cas aucun rang 2 n'aurait pu être sélectionné)
- Cette sélection est issue d'une ordination contenant certainement des anomalies car il est précisé que les rangs 1 et 2 sont exclus lorsqu'ils reçoivent des tributaires de rang supérieur

(cela est uniquement possible dans le cas de transfert de bassins, mais devrait se traduire par un passage à un rang supérieur)

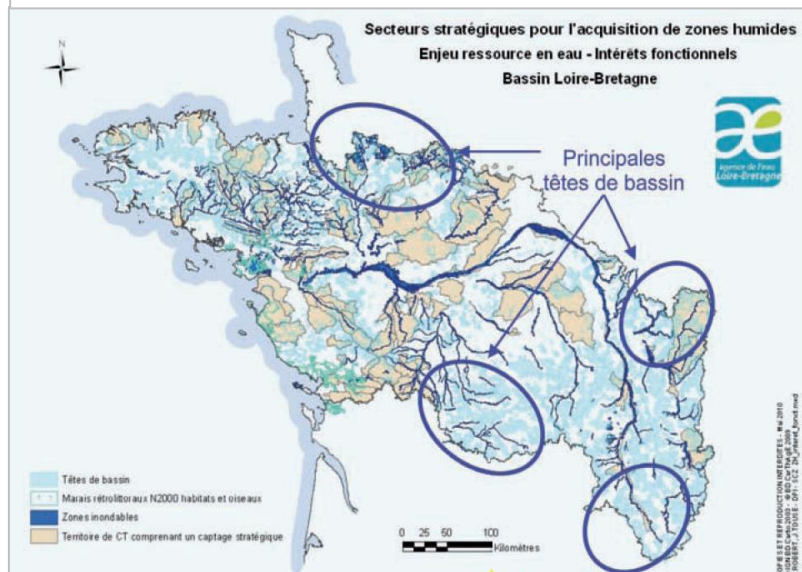
- Il est précisé que le zonage n'est pas une association de plusieurs bassins versants, mais d'une entité vaste englobant les cours d'eau répondant aux critères de sélection.

Même si ce zonage semble présenter quelques réductions par rapport à son cadrage terminologique, la volonté de préserver est affirmée dans le SDAGE et fait l'objet de publications de communication. Récemment, L'AELB en partenariat avec la Fédération Nationale des Conservatoires des Espaces naturels publie une plaquette dans laquelle nous trouvons une définition de la tête de bassin :

« Une tête de bassin versant représente le territoire situé le plus en amont de la surface d'alimentation d'un cours d'eau. Cette zone souvent à plus forte pluviométrie comparée au reste du bassin, donne naissance à de nombreux cours d'eau sous forme de chevelu (réseau hydrographique superficiel dense qui évoque une chevelure) et de zones humides (fonds de vallon, marais, tourbières). Par sa position, elle présente des atouts indéniables en termes de ressource en eau, de biodiversité. L'ensemble de ce réseau aquatique recèle souvent une eau de bonne qualité. La tête de bassin peut présenter une déprise économique, une désertification par ses habitants et une eau soumise à des altérations d'origines diverses : la sylviculture, les pollutions diffuses issues de rejets domestiques ou agricoles, les infrastructures comme les routes... »

Une carte des « principales » têtes de bassins s'y trouve. Le terme de « principales » n'est pas vraiment explicité, mais trois de ces quatre territoires sont des secteurs où des actions sont spécifiquement menées pour la préservation des têtes de bassins. Il s'agit des « têtes de bassin versant du Morvan », avec le programme LIFE évoqué précédemment, du « haut bassin versant de la rivière Allier en Lozère » ayant réalisé un

Figure 31 : Carte des têtes de bassins principales du territoire de l'agence de l'eau Loire-Bretagne



inventaire et des restaurations de zones humides dans le cadre de la deuxième phase du Plan Loire Grandeur Nature, et du Contrat Territorial Vienne Amont. Ce dernier, récemment renommé en Les têtes de bassin de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins

programme « Sources en action » copiloté par le Parc naturel régional du plateau de Millevaches en Limousin et l'Établissement public du bassin de la Vienne. Ce programme regroupe 16 maîtres d'ouvrages sur un territoire de 2 440 km² avec un budget de plus de 7,5 millions d'euros sur 5 ans. Ce programme donne suite à des Contrats de Restaurations Entretien portés par certaines collectivités comme la Communauté de Communes Bourgneuf Royères ou le Syndicat mixte Monts et Barrages, mais aussi à des actions d'acquisition de restauration et de gestion de zones humides du CREN Limousin dans le cadre du Plan Loire Grandeur Nature. Nous devons faire remarquer que l'entrée redevient territoriale malgré un zonage hydrographique et topographique strict. Ainsi, en ce qui concerne le territoire du programme « Sources en action » l'AELB a décidé d'octroyer un taux d'aide applicable théoriquement aux seuls bassins versants d'ordre 1 et 2 ayant des pentes supérieures à 1% à l'ensemble du territoire du Programme. Cette adaptation pragmatique renforce la cohérence territoriale des têtes de bassins.

Conclusion partielle :

Après Élysée Reclus, l'abandon presque total de la recherche géographique sur les petits cours d'eau et la seule recherche de définitions des diverses parties de l'hydrosystème par les hydrobiologistes n'ont pu aboutir à des définitions claires, condamnées à rester locales de par la diversité des petits cours d'eau. La classification du réseau hydrographique partant des sources est finalement récente, et celle de Strahler semble bien établie.

Les définitions généralistes et juridiques confuses, parfois dépréciatives et la non-représentation cartographique de certains petits cours couplée à une anthropisation coutumière, et nous le verrons qui a fortement évolué, peuvent constituer des risques de dégradation des petits cours d'eau. D'autant plus que la non-protection juridique et la non-prise en compte de l'intérêt de ces premiers écoulements pour les sociétés ne les ont pas autant protégé que les rivières et les fleuves.

Dans le cadre de la mise en application de la DCE, il règne un sentiment d'inquiétude dans les assemblées de gestionnaires comme les colloques que l'on a évoqués. Heureusement, la mise en place participative du SDAGE Loire-Bretagne 2010 - 2015 considère désormais cette partie des hydrosystèmes. Ce sentiment dépasse les frontières européennes et mobilise la pensée scientifique.

La définition cartographique de la tête de bassin est loin d'être évidente, car la définition terminologique est floue. Les plus anciennes définitions intègrent les sociétés, et les interactions qu'elles ont avec leur environnement. Des enjeux bien plus larges et bien plus proches des hommes que la simple santé écologique des milieux aquatiques sont alors à considérer.

Le zonage final du SDAGE est plus étendu qu'à ses débuts, il concerne finalement de grandes zones où les hydrosystèmes composés de rangs 1 et 2, ayant une pente supérieure à 1 % et confluant uniquement à des rangs 3. Il peut alors être discuté car des petits hydrosystèmes peuvent influencer des cours d'eau de rang supérieur du point de vue de l'hydromorphologie et des biocénoses par voie de conséquence. Ces grands cours d'eau ont alors un fonctionnement qui est partiellement dépendant de ces systèmes ruisseaux. De plus il est basé sur un référentiel hydrographique ayant des défauts, et notamment l'oubli d'un grand nombre de rang 1 selon les constatations des gestionnaires de terrain. La question de l'interprétation et de la cartographie des têtes de bassin reste donc ouverte.

Si les gestionnaires prennent en compte cette partie des hydrosystèmes, c'est qu'il existe des enjeux pour les sociétés, et des risques à ne pas gérer la tête de bassin.

2. Enjeux et risques des petits cours d'eau et des régions à l'amont des bassins versants

Les enjeux liés aux régions de têtes de bassin concernent les populations des têtes de bassin mais aussi celles de l'aval, car la dégradation de l'amont en affecte les ressources. Nous verrons que les populations de l'amont, lorsqu'elles en ont les moyens techniques et financiers peuvent puiser leur eau en amont des tronçons de cours d'eau et des zones humides qu'elles dégradent immédiatement en aval. Ceci est une situation propice aux tensions, car si les populations de l'aval connaissent une ressource dégradée et de plus en plus chère du fait des besoins de traitement, l'enjeu de solidarité est loin d'être évident pour les sociétés de l'amont.

Par la notion de risque, nous entendrons la combinaison d'un aléa « naturel » ou « naturel » accentué par une activité humaine et d'un enjeu direct pour les populations humaines ou pour des biens qui lui sont chers, voire indispensables à sa subsistance comme ses ressources, son environnement.

Si l'on s'intéresse à l'aléa anthropique sur un bassin versant, il faut différencier les activités qui se répartissent ponctuellement comme les industries, des activités qui sont demandeuses d'espace comme l'agriculture et la sylviculture. La pression humaine s'exerce quant à elle de manière ponctuelle ou diffuse et plus ou moins généralisée. Peu d'activités ponctuelles vont jouer sur l'hydromorphologie générale du cours d'eau, mis à part l'hydroélectricité par les éclusées et les débits réservés. Leur impact va généralement être lié à la qualité de l'eau du cours d'eau. Les activités demandeuses d'espace peuvent occuper une très grande superficie sur le bassin versant. Ces activités si elles sont conduites intensément sans prise en compte de l'environnement peuvent engendrer des effets néfastes généralisés qui accentuent les aléas « naturels » comme le colluvionnement ou les transferts hydrologiques rapides.

En effet, ceci est un fait constaté dans différents contextes sociétaux. Dans les zones rurales occidentales de moyenne montagne, où la déprise agricole est bien visible, de nouvelles activités de valorisation des espaces sont apparues, d'autres se sont modernisées. Les impacts et les aléas de ces activités seront étudiés en détail en troisième partie. Cependant, ce contexte n'est pas généralisable à toutes les régions de tête de bassin. En effet, la source de l'aléa anthropique est différente dans des sociétés de têtes de bassin où le développement est encore une nécessité liée à la subsistance qui est alors prioritaire.

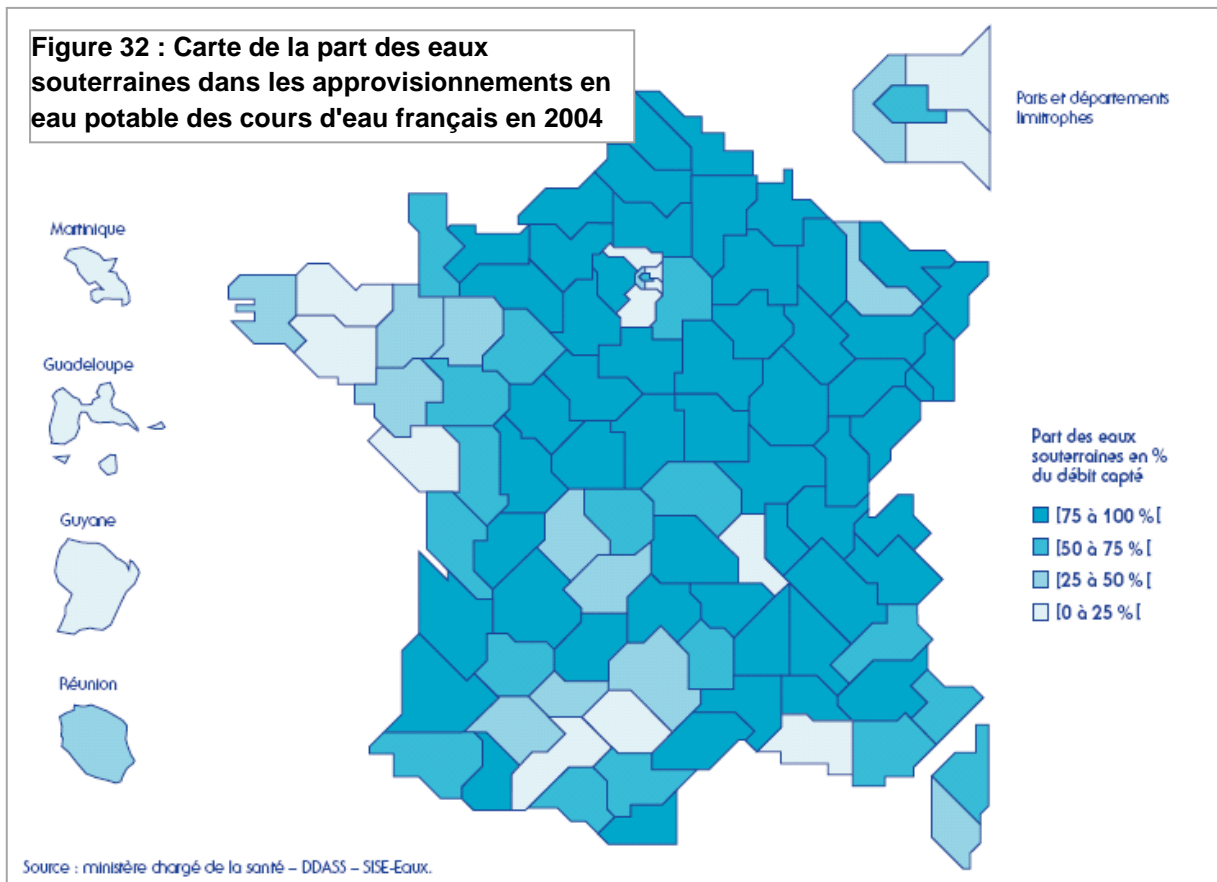
Le contexte correspond parfois à la conversion d'espaces forestiers en espaces agricoles devant être productifs pour leur subsistance et laissant peu de place aux préoccupations environnementales. Des situations intermédiaires existent où les enjeux et risques environnementaux sont liés aux restructurations sociétales et spatiales (Haigh M-J., Libor J, Jon H., 2004).

2.1. Enjeux des ruisseaux et zones humides de tête de bassin pour les sociétés : la ressource en eau

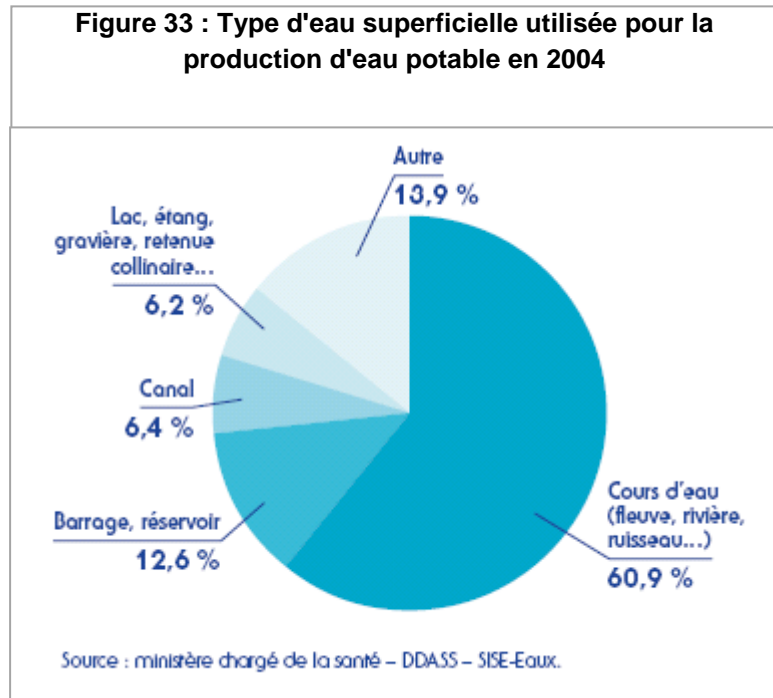
E. Reclus 1869 affirmait que les sources et les ruisseaux étaient à la base des sociétés et que paradoxalement les sociétés où ces organismes hydrographiques sont présents en abondance sont celles qui les dénigrent le plus. Il écrivait ainsi « *tel ruisseau qui coule dans les prairies ont souvent plus fait que des armées pour le salut d'un peuple. [...] Les Orientaux, lorsqu'ils rêvent de bonheur, se voient toujours au bord des eaux ruisselantes, et leurs chants célèbrent surtout la beauté des fontaines. Tandis que dans notre Europe bien arrosée, on s'aborde bourgeoisement en se demandant des nouvelles de la santé ou des affaires* ». Si les têtes de bassin constituent des enjeux et des risques fondamentaux comme l'approvisionnement en eau potable, pour certaines populations, il peuvent être moins évidents pour des sociétés connaissant une certaine sécurité d'approvisionnement et de traitement de la ressource en eau. Cette sécurité vis-à-vis du risque dépend essentiellement de capacités financières permettant les actions curatives.

2.1.1. La ressource en eau potable par captages de sources pour les sociétés occidentales, un enjeu évident ?

En France, on compte près de 30 000 captages d'eau potable. Il est bon de rappeler que seulement 7 % de l'eau extraite de ces captages est destinée à des usages alimentaires. L'origine de l'eau potable est majoritairement souterraine. On entend par origine souterraine, toutes les eaux captées dans le sol et le sous-sol : les captages en aquifère mais aussi les captages de petites sources en tête de bassin. Les 1368 captages d'eau de surface destinée à la potabilisation sont surtout situés dans des zones de fortes densités de population n'ayant pas de réserve souterraine suffisante pour alimenter les agglomérations.

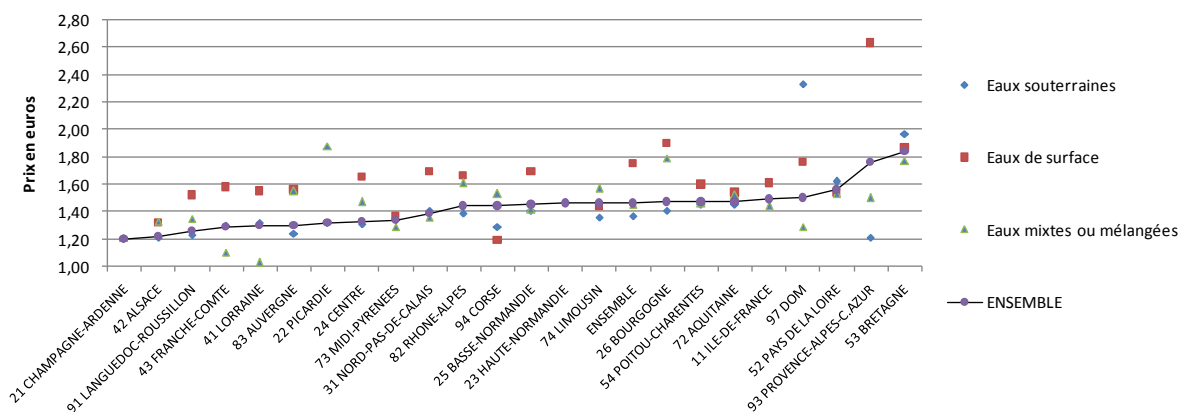


Le massif armoricain, le Limousin, les causses et l'Île-de-France, sont les régions les moins alimentées en eau souterraine. Pour ces régions la qualité des cours d'eau et des réservoirs est déterminante vis-à-vis de la qualité de l'eau prélevée et donc des coûts de traitement. C'est également le cas de la plupart des départements d'outre-mer. En France, 28 départements sont alimentés à plus de 50 % par des captages d'eaux de surface. 20 % des volumes facturés proviennent exclusivement de communes approvisionnées par des captages d'eau superficielle. 30 % des volumes facturés proviennent de communes à approvisionnement mixte.



Que le captage soit effectué dans un fleuve, une rivière ou un ruisseau, l'eau est peu isolée des sources de pollution. De plus, les autres sources d'approvisionnements superficiels sont des plans d'eau, des canaux, des barrages ou des réservoirs. Une grande partie de ces milieux est en contact avec le réseau hydrographique. Il s'agit la plupart du temps de petits captages et moyens, pas plus de 10 000 m³ par jour, la majorité est inférieure à 2000 m³ par jour.

Figure 34 : Prix du mètre cube d'eau potable dans les régions françaises en fonction de sa provenance



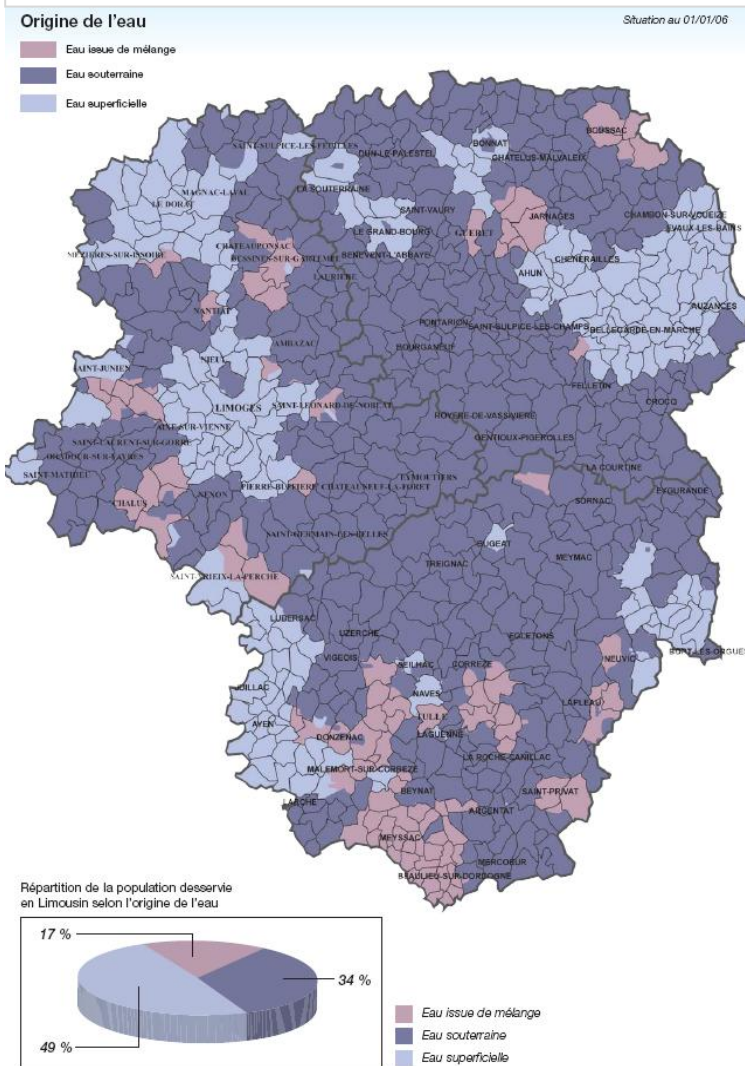
Sources : Ifen – Scees – Enquête eau et assainissement 2004 ; Insee – Recensement de la Population 1999
Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2010

Photographie 10 : Un captage d'eau potable en tête de bassin du ruisseau de la Prairie (87)



Dans ces régions l'eau de surface captée en vue d'une potabilisation provient majoritairement (à 70 %) des fleuves, rivières et ruisseaux. La ressource en eau dans ces régions est particulièrement vulnérable face aux pollutions, car contrairement aux aquifères, le transfert de l'eau précipitée aux milieux captés est très rapide, et le filtrage du sol et du sous-sol est beaucoup moins efficace ou est même inexistant. C'est pour cela que généralement, le coût de l'eau potable provenant de captages de surface est le plus élevé.

Figure 35 : L'origine de l'eau potable en Limousin, DRASS Limousin, 2006



Dans les reliefs cristallins, l'eau des sources est souvent utilisée pour l'alimentation en eau potable des bourgs. Afin d'avoir une eau la plus « pure » possible, les captages d'eau potable se situent autant que possible sur la partie amont des bassins versants. C'est pour cette raison que les captages de sources sont les plus fréquents. L'alimentation en eau potable des territoires drainés par des cours d'eau de petite taille, et jalonnés de nombreuses sources, dépend donc directement de la source ou de la toute première zone humide. Les captages de sources sont considérés comme étant des captages d'eau souterraine. Pour les régions situées plus en aval, les captages peuvent s'effectuer dans des rivières ou des plans d'eau. Dans ce cas, la qualité de l'eau captée dépend donc de la qualité transmise par les cours d'eau de

l'amont.

Le fait essentiel dans le système d'alimentation en eau potable des têtes de bassin cristallines est que les habitants sont approvisionnés en eaux de sources, et que les captages sont situés en amont des dégradations potentielles de leur qualité. De plus, les zones de captages sont souvent des zones humides protégées par des périmètres de protection. Une eau destinée à l'alimentation humaine de bonne qualité peut facilement être interprétée par les populations locales comme le symbole de milieux aquatiques préservés. Cependant, les dégradations peuvent survenir dès l'aval immédiat des captages. Vis-à-vis de l'enjeu eau potable, la nécessité de préserver les ruisseaux n'est donc pas nécessairement évidente pour les populations locales. En revanche, elle apparaît plus importante pour les populations de l'aval qui payent davantage la potabilisation de l'eau de consommation issue des cours d'eau. Cette situation peut être illustrée par le Limousin où les zones élevées à faible densité de

population sont majoritairement approvisionnées par des captages de sources, et les zones plus basses comme l'agglomération de Limoges et le bassin de Brive sont alimentées par l'eau de surface. Le prix du mètre cube d'eau varie alors de 1,36 euro à 1,44 euro. Cette différence peut être bien plus marquée dans d'autres régions. En France l'eau de surface est généralement plus chère de 38 cents par rapport à l'eau souterraine. La provenance de l'eau n'est pas la seule cause des variations du prix de l'eau potable, ce constat doit donc être nuancé par d'autres facteurs relatifs à la gestion. Cependant, le prix supérieur de l'eau potable provenant des eaux de surfaces en comparaison des eaux souterraines se vérifie pour un grand nombre de région françaises.

Le ministère de la santé en 2005 recense et publie les principaux risques de dégradation de l'eau potable. Il précise que les principaux risques de dégradation de l'eau potable sont d'ordre bactériologique et se traduisent alors le plus souvent par des épidémies de gastro-entérites et chimiques notamment par la contamination au plomb se traduisant par le saturnisme. Il souligne également qu'il existe des risques émergents sans préciser les sources. Il s'agit de risques liés à la présence de bactéries (*Escherichia coli* O157 : H 77 ...) ou encore des substances chimiques comme les perturbateurs endocriniens. Il précise également que des recherches sont menées sur la toxicité éventuelle de certaines toxines, cyanobactéries et de certains virus.

En ce qui concerne le risque bactériologique, les aléas sont les sources de pollutions de l'eau, les pollutions diffuses peuvent provenir des assainissements autonomes inexistantes ou qui fonctionnent mal. Les pollutions ponctuelles peuvent provenir d'effluents collectés et non traités ou de stations d'épuration ayant un mauvais fonctionnement.

2.1.2.L'eau des ruisseaux et l'agriculture des têtes de bassin

L'eau dans l'agriculture représente une valeur économique certaine. En France l'irrigation des cultures est l'activité la plus consommatrice d'eau. Il s'agit du secteur agricole où l'utilisation de l'eau est la plus remarquable, nous ne reviendrons pas sur cela, car de nombreuses données existent sur le sujet, et il s'agit d'une utilisation qui n'est pas spécifique, voire en régression dans les régions de tête de bassin aujourd'hui spécialisées dans l'élevage. Certes l'irrigation des prés de fauche a joué un rôle considérable pour que des régions deviennent remarquables dans le monde comme pour le Limousin, mais aujourd'hui, l'irrigation par débordement des lèves a disparu, tout du moins en France.

L'élevage bovin en plein air est une activité agricole française dominante, et surtout adaptée aux reliefs jeunes et anciens. L'eau dans les parcelles pâturées sert surtout à l'abreuvement du bétail, et évite à l'éleveur des dépenses qui pourraient être très importantes. Les tableaux suivant présentent la consommation d'eau par les bovins pour différents types et différentes périodes.

Tableau 16 : Volumes d'eau journaliers consommés par les bovins en litres d'après les données de labuvette.fr

vache laitière		vache allaitante et son veau	
en production	65 à 90, peut atteindre 135	été	65 (vache) et 15 (veau)
tarie	35	printemps	40 (vache et veau)
moyenne année	63	moyenne année	60

Si le Limousin par exemple est devenu une région d'élevage renommée, c'est également parce que l'accès du bétail à l'eau est favorisé par la multitude de petits cours d'eau et pièces d'eau. Mais de plus en plus l'abreuvement au pré devient un réel enjeu pour la qualité de l'eau de consommation humaine, la qualité hydromorphologique des cours d'eau, la qualité d'eau de consommation du bétail. Au Canada, l'abreuvement direct du bétail au cours d'eau est interdit par le Règlement sur les Exploitations Agricoles (REA) depuis juin 2002. Il est stipulé au chapitre 2, article 4 du REA que « *sauf dans le cas de traverse à gué, il est interdit de donner accès aux animaux aux cours d'eau et aux plans d'eau ainsi qu'à leur bande riveraine* »

En France, des arrêtés préfectoraux interdisent l'abreuvement direct du bétail au cours d'eau comme l'arrêté du 30 juin 2009 s'appliquant au bassin de l'Evre : « À compter du 1^{er} janvier 2010, l'abreuvement direct des animaux dans les cours d'eau répertoriés au titre des Bonnes Conditions agro-environnementales est interdit... Toutefois, les aménagements spécifiques d'abreuvement évitant les risques de pollution directe du cours d'eau par les animaux sont autorisés. »

L'inquiétude est également perceptible dans le monde agricole (Meironen A., 2004) de la Chambre d'Agriculture du Cantal publie cette volonté : « De l'eau en quantité et en qualité suffisantes sur nos élevages ». En effet, peu après les sécheresses de 2003, phénomène qui s'est reproduit en cette année 2011 plus intensément, les éleveurs s'interrogent sur l'approvisionnement en eau suite à la diminution des débits voire le tarissement et l'assèchement de sources et ruisseaux.

Dans un contexte économique difficile, la préservation de la ressource qualitative et quantitative en eau pour le bétail conciliée à la non-dégradation des ruisseaux et sources sont des enjeux majeurs et urgents. Afin de ne pas tomber dans les excès réglementaires et d'éviter la création de tensions sociales, l'abreuvement de plein air doit être organisé et compatible avec le respect des milieux aquatiques, d'autant plus que l'enjeu financier est important si l'on tient compte de la crainte des éleveurs d'être contraints d'approvisionner le bétail au pré avec de l'eau du réseau d'eau potable.

On peut alors évaluer l'enjeu économique que représentent les petits cours d'eau lors du pâturage estival des prés de fond par les bovins, en le confrontant au coût de l'eau de consommation en France. Le tableau suivant présente les enjeux financiers :

Tableau 17 : Évaluation des volumes d'eau et financiers (VF en €) que représente l'abreuvement des troupeaux en plein air et en été, d'après Mokrani A., 2009 ; Monginoul M., 2002, Coutellier A., 2005.

	Bovins	Vaches	Vaches laitières	Vaches allaitantes
Cheptel bovin en 2000	20 259 000	8 507 000	4 193 000	4 314 000
Consommation journalière d'eau en 2000 en litres	1 215 540 000	524 396 667	265 556 667	258 840 000
VF 1 mois passé au pré à boire l'eau des ruisseaux	5 105 268 000	2 202 466 000	1 115 338 000	1 087 128 000
VF 2 mois passés au pré à boire l'eau des ruisseaux	10 210 536 000	4 404 932 000	2 230 676 000	2 174 256 000
VF 3 mois passés au pré à boire l'eau des ruisseaux	15 315 804 000	6 607 398 000	3 346 014 000	3 261 384 000
VF 4 mois passés au pré à boire l'eau des ruisseaux	20 421 072 000	8 809 864 000	4 461 352 000	4 348 512 000
Consommation annuelle d'eau en 2000 en litres	443 672 100 000	191 404 783 333	96 928 183 333	94 476 600 000
VF annuel moyen en € (<i>prix moyen du mètre du litre d'eau en France : 0,14</i>)	62 114 094 000	26 796 669 667	13 569 945 667	13 226 724 000

L'enjeu financier que représentent les cours d'eau du territoire pour l'abreuvement des troupeaux est donc considérable et se compte en dizaines de milliards d'Euros. Outre le fait que l'eau est un besoin vital pour le bétail, l'eau doit être de bonne qualité pour leur santé et pour la production de viande. À partir de 0,25 % de bouse dans l'eau d'abreuvement, la consommation diminue. Les eaux d'abreuvement ne doivent pas dépasser 10 coliformes fécaux (E. Coli). L'abreuvement de l'eau propre accroît l'activité de broutage et la production de viande (Walter W. et al., 2002, Journal of Range Management). Une eau de qualité pour l'abreuvement en plein air est donc un enjeu majeur pour cette activité.

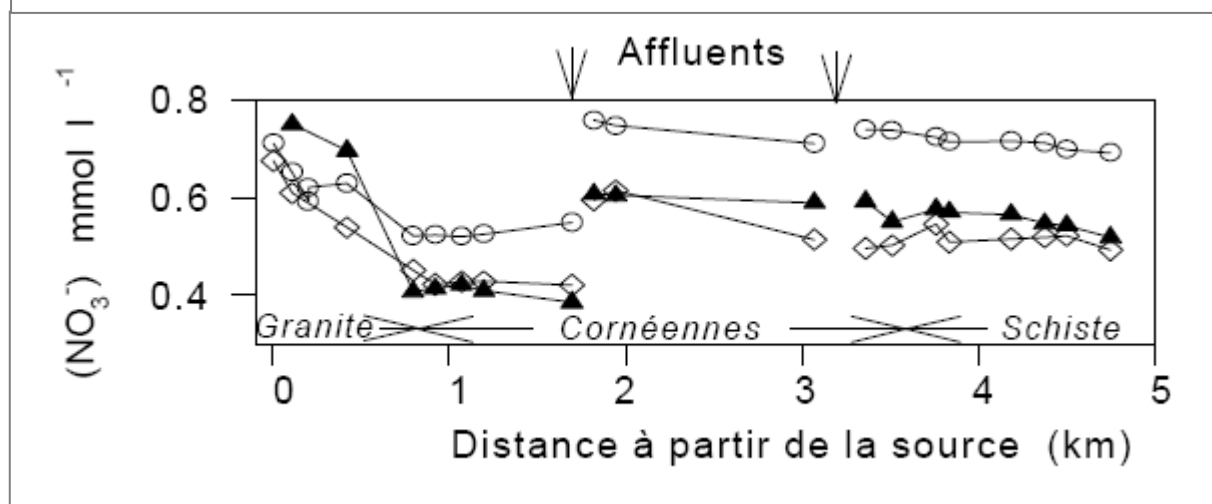
Les eaux courantes traversant les parcelles abreuvent le bétail, et les zones humides riveraines constituent des réserves fourragères indispensables en période de sécheresse comme il a pu être constaté en cette année 2011.

2.1.3. Enjeux et rôle des petites zones humides et des ruisseaux pour la qualité de l'eau : la dénitrification

La dénitrification est une fonction « épuratoire » bien connue des petites zones humides, elle l'est un peu moins pour les petits cours d'eau. La directive européenne nitrate du 11 décembre 1991 a participé à la prise en compte de la notion de bassin versant dans la plupart des études sur la pollution aux nitrates en Bretagne et autres régions d'agriculture intensive. De ce fait, les petits cours d'eau n'ont pas pu être ignorés, et plusieurs études sur leur physicochimie en milieu agricole intensif furent publiées. En effet, la pollution diffuse par épandage a attiré l'attention sur les petits cours d'eau et le bassin versant dans sa quasi-totalité. De plus cette directive fut mise en place suite aux problèmes sur la qualité des eaux en aval et sur les proliférations d'algues en milieux marins côtiers. L'impact de petits cours d'eau pollués sur la qualité globale des eaux fut montré. Des préconisations de protection des petits cours d'eau seront alors mises en place comme l'installation de bandes enherbées ou la plantation de haies.

Grimaldi et al., dans un contexte d'élevage où 93 % des espaces riverains sont des prairies humides, montrent que les teneurs en nitrates diminuent de l'amont vers l'aval jusqu'à une confluence d'un ruisseau où les teneurs sont plus fortes 2 Km en aval de la source.

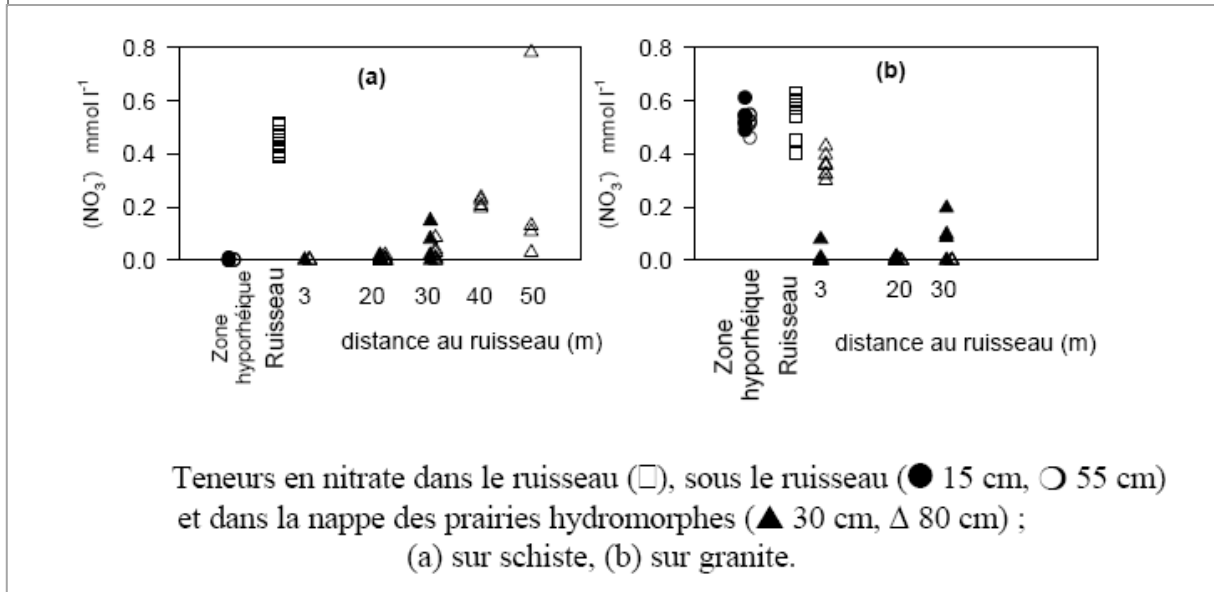
Figure 36 : Évolution longitudinale des teneurs en nitrates dans le ruisseau de la Roche (BV Sélune), Grimaldi C. et al.



C'est la combinaison zones humides / zones hyporhéiques qui est capable d'épurer les eaux longitudinalement. Cette diminution n'est pas équivalente sur schiste et sur granite. En effet Grimaldi

C. et al. montrent qu'en contexte granitique lorsque la zone hyporhéique est perméable, les échanges entre l'eau du ruisseau chargée en nitrate et la végétation riparienne sont favorisés. Les relations entre les teneurs en nitrates dans la prairie humide à trois mètres du ruisseau et à 80 cm de profondeur avec celle de la zone hyporhéique sont fortes et non perturbées par des apports en provenance des prairies riveraines (à 20 mètres). L'épuration est efficace par la mise à disposition des nitrates à la végétation riparienne.

Figure 37 : Teneurs en nitrate dans et sous le ruisseau de la Roche ainsi que dans les nappes des prairies hydromorphes, pour deux contextes lithologiques Grimaldi C. et al.



En revanche, en contexte schisteux (a), la zone hyporhéique est imperméabilisée par des limons. Les nitrates proviennent aussi majoritairement du ruisseau comme le montrent les faibles concentrations à 20 mètres. Cependant, ils restent concentrés dans le ruisseau. Les échanges hydrologiques limités par le colmatage réduisent l'épuration « naturelle » de la ressource en eau de l'aval. D'une manière longitudinale, c'est la restitution progressive d'une eau pauvre en nitrate qui participe à la diminution des concentrations par effet de dilution. La qualité hydromorphologique des petits cours d'eau s'avère être capitale pour la qualité des eaux de l'aval.

2.2. Enjeux environnementaux

L'enjeu écologique lié aux ruisseaux est certainement le plus connu, parce que les scientifiques qui se sont principalement intéressés aux ruisseaux sont les gestionnaires halieutiques, et les hydrobiologistes. C'est bien cette branche halieutique qui permet d'affirmer, le rôle du continuum fluvial et donc des ruisseaux dans la biologie de l'ichtyofaune, et des autres espèces aquatiques. L'intérêt des populations pour la biodiversité des têtes de bassin est fort, et perceptible par des termes comme « espèce d'intérêt communautaire » que l'on rencontre surtout dans le monde de Natura 2000, ou encore « patrimoniale ». Ce dernier est même employé comme qualificatif d'un type de gestion des populations de truites communes qui redonne toute son importance aux habitats, et donc à la qualité morphologique des ruisseaux. La mise en place de ce type de gestion a forcément pour commencement l'acquisition de données linéaires et ponctuelles du cours d'eau. C'est par l'étude de populations piscicoles en déclin que les ruisseaux et les pressions humaines furent également mieux connus.

En ce qui concerne les zones humides, s'inscrivent à la convention de Ramsar 1971 des zones humides jugées comme primordiales. Cependant, sur les 123,9 millions d'hectares de zones humides protégées par la convention de Ramsar, la plupart des sites se trouvent dans des plaines alluviales de grands fleuves ou sur les littoraux (Krecek J., et Haigh M.J., 2006). Cette préoccupation pour ce type de zone humide semble disproportionnée, car sur les 5,7 millions de Km² de zones humides seulement 15 % correspondent à des zones humides de plaines alluviales contre 30% pour les tourbières de têtes de bassin d'après le World Conservation Monitoring Center (WCMC). Les zones humides riveraines des petits cours d'eau ne jouent qu'un rôle indirect sur les populations de poissons et elles ne constituent qu'un habitat provisoire. D'autre part, « l'extrême simplicité » de l'hydrologie à l'amont des bassins versants les excluant de la partie fonctionnelle de ce continuum, considérant les ruisseaux comme de simples fournisseurs de matière et d'énergie n'échangeant pas avec leur environnement n'a pas réellement suscité la curiosité vis-à-vis des petites zones humides.

2.2.1. Biodiversité aquatique

Dans: *Where Rivers are Born : The Scientific Imperative for Defending Small Streams and Wetlands*. les auteurs listent les bénéfices écologiques des petits cours d'eau et des petites zones humides. La fonction de refuge est alors très importante.

Les ruisseaux sont des refuges face aux espèces invasives. Ce phénomène se vérifie en Haute-Vienne avec l'étude réalisée par la FDAAPPMA de la Haute-Vienne avec l'étude sur l'écrevisse à pattes blanches qui est concurrencée et affectée par les maladies véhiculées par l'écrevisse californienne invasive. En effet, alors que les cours d'eau principaux sont largement colonisés par l'écrevisse californienne et que l'écrevisse à pattes blanches a disparu, seuls les ruisseaux en tête de bassin abritent encore cette espèce patrimoniale. De plus, cette espèce est surtout présente sur les ruisseaux isolés de l'aval par des seuils infranchissables (buses, étangs, etc.) qui ont bloqué la progression de l'écrevisse californienne (Rozanska F., 2008). La fonction de refuge thermique est garantie par la fraîcheur des eaux et la stabilité thermique offre pour les sténothermes d'eau froide des zones de vie optimales. La fonction de refuge contre les prédateurs s'explique, car les petits cours d'eau sont peu adaptés à la vie de grands poissons carnassiers. La truite y est à la tête de la chaîne trophique ichtyologique.

Figure 38 : Échanges de matières, d'énergie et d'êtres vivants entre les ruisseaux et les rivières principales, Meyer J-L., et al., 2007

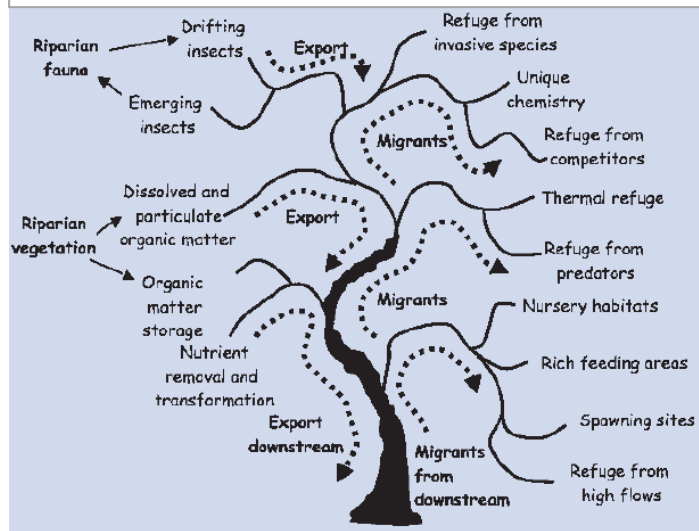
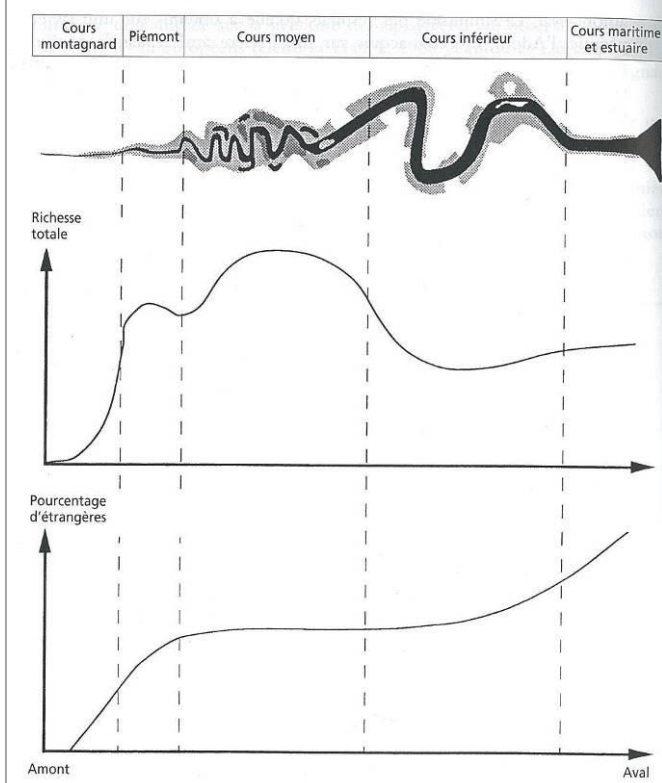


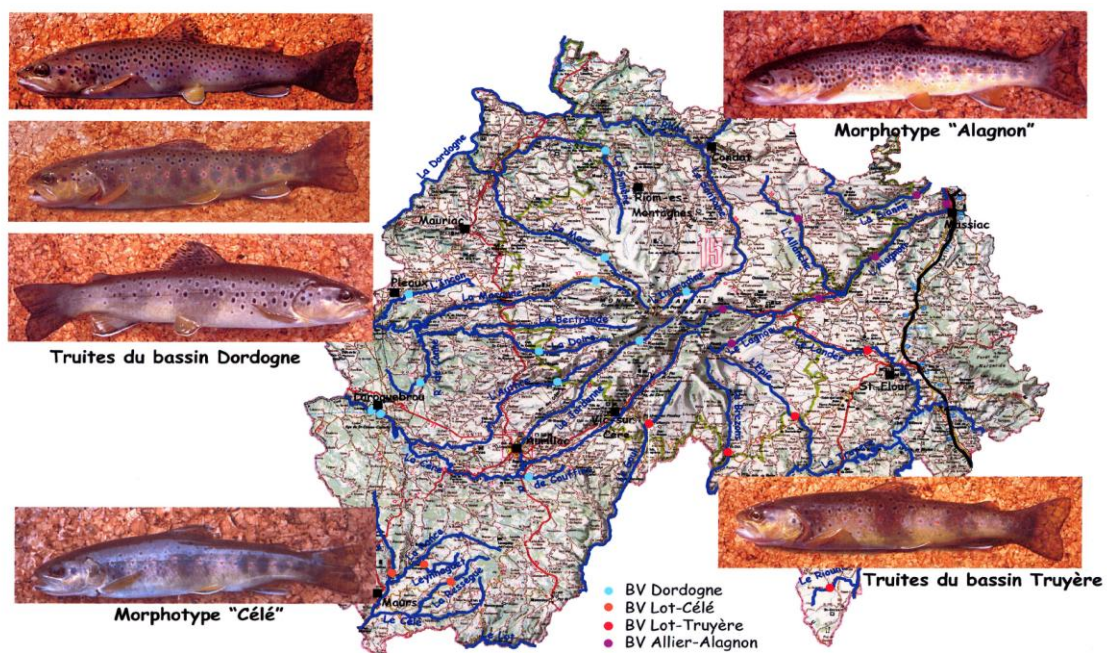
Figure 39 : Généralisation des évolutions longitudinales de la richesse totale en espèces et du pourcentage des espèces étrangères, Planty, Tabacchi, 1993 in Le Fustec, Lefevre J-C. et al, 2000



Il a également été montré que le pourcentage d'espèces étrangères grandissait de l'amont vers l'aval. Ceci fait des ruisseaux la partie des réseaux hydrographiques qui est la moins « dénaturée » du point de vue des biocénoses. Les ruisseaux sont également des refuges face à la compétitivité spécifique et interspécifique.

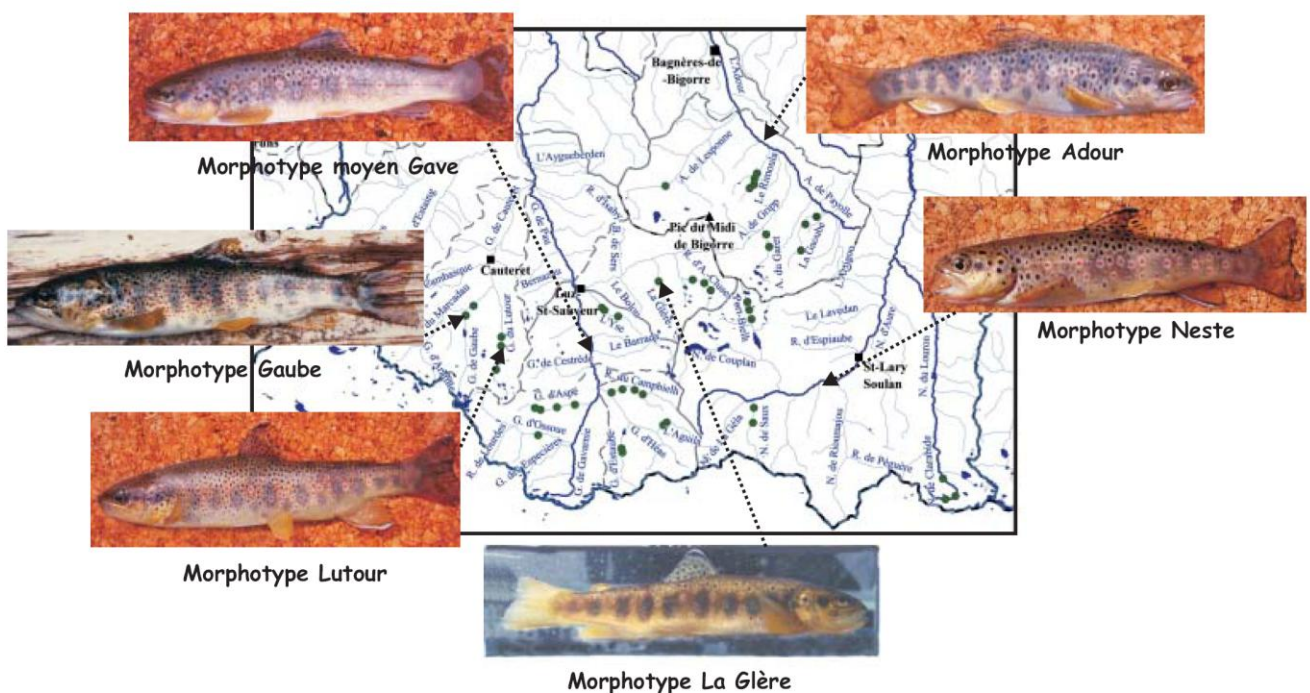
Outre les fonctions de refuge, il s'agit du milieu de reproduction de certaines espèces. La migration des truites communes est un phénomène bien connu, en effet, les petits cours d'eau ont des caractéristiques hydromorphologiques propices à la présence d'habitats de reproduction potentiels. La truite commune est certainement le poisson dont la qualité et la quantité sont indissociables des ruisseaux puisqu'ils constituent les meilleurs habitats de reproduction et de grossissement des alevins. Dans certaines régions, face à un certain déclin piscicole, les fédérations départementales pour la pêche et la protection des milieux aquatiques se sont penchées sur l'étude de l'habitat piscicole, et notamment celui des ruisseaux. Une certaine révolution de la gestion truiticole est née. En effet, la « gestion patrimoniale » de la truite semble prendre le dessus sur les actions d'alevinages. Au lieu de maintenir une population de truites par des déversements, son habitat va plutôt être restauré et entretenu dans un objectif d'optimisation du cycle écologique. Ce changement de gestion est né de deux motivations : un constat d'échec du soutien des populations par alevinage dans des milieux peu propices car dégradés et une volonté de conserver des souches « sauvages locales ». En effet, il existe un polymorphisme régional de la *Salmo trutta* qui se manifeste selon deux critères : la taille atteinte à l'âge adulte et la coloration de la robe. Cette robe varie en fonction du cours d'eau voire à l'intérieur d'un même cours d'eau (en fonction de l'habitat). Parmi ces variations notons le nombre plus ou moins important de points rouges et noirs.

Figure 40 : Localisation des principaux morphotypes de truite identifiés dans le Cantal, Lascaux et al. (ECOGEA), 2004



Ce polymorphisme est étudié par le bureau d'études ECOGEA qui détermine des morphotypes, c'est-à-dire, des populations de truites qui sont attachées à une unité hydrographique et qui présentent des traits morphologiques distinguables (robe et morphométrie). L'étude des populations inventoriées lors de campagnes de pêches électriques a permis de démontrer que les truites du Cantal présentent une morphologie distincte en fonction du bassin versant. En effet, cette étude aboutit à la différenciation suivante avec quatre morphotypes : un morphotype Alagnon, un morphotype Célé, et deux autres groupes de morphotypes : un pour le bassin de la Dordogne et un pour le bassin de la Truyère. Cette étude descend à l'échelle du cours d'eau et précise qu'il peut y avoir un morphotype propre à un cours d'eau. On peut donc imaginer qu'il y a des morphotypes de truites propres aux ruisseaux déconnectés des réseaux principaux des bassins versants, pour des raisons géomorphologiques, c'est-à-dire par l'existence de seuils naturels. Ce même bureau d'études a démontré un phénomène similaire pour les truites des cours d'eau des Hautes-Pyrénées.

Figure 41 : Localisation des principaux morphotypes de truites identifiés dans les Hautes-Pyrénées, Lascaux et al. (ECOGEA) 2004



L'isolement en tête de bassin provoque également l'endémisme et la rareté chez certains salmonidés. La *Macrostigma* corse quant à elle ne se trouve plus que dans les ruisseaux de tête de bassin.

Figure 43 : Localisation des truites "*macrostigma*" corses, Lifemacrostigma.org

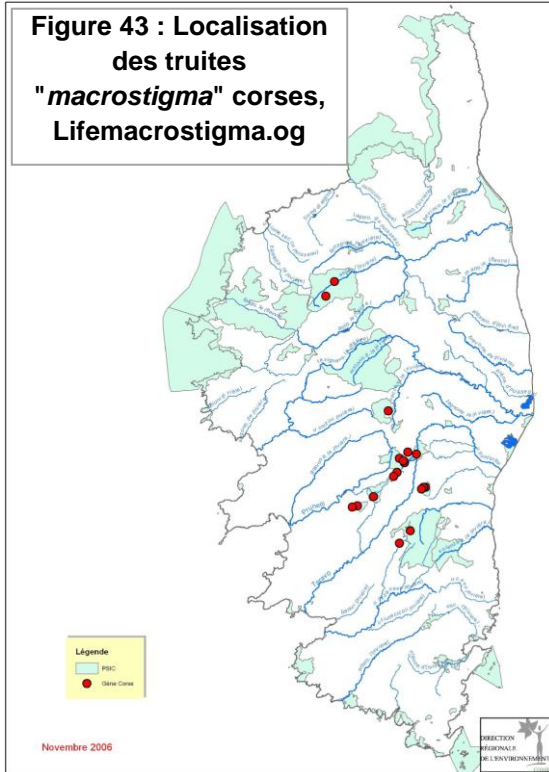
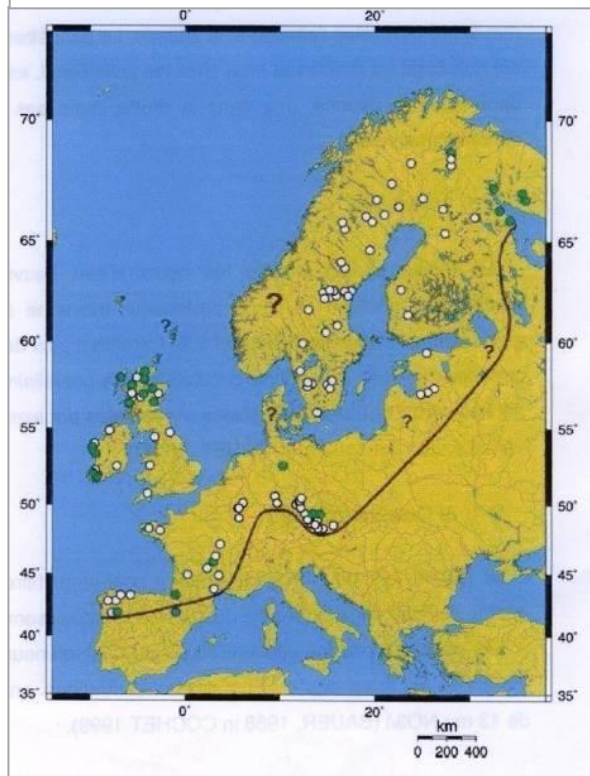
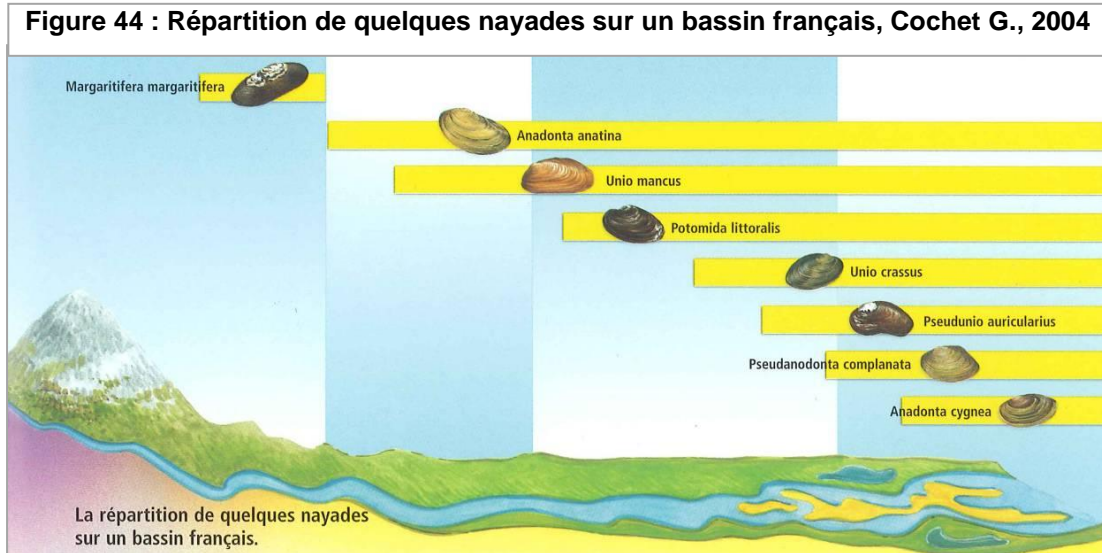


Figure 42 : Distribution Européenne de la moule perlière, Geist, 2005, in Bontemps F., 2005



Les nayades d'eau douce sont des mollusques dont la propagation est permise par le transport des larves par d'autres animaux comme les poissons ou les oiseaux. Leur répartition amont aval est illustrée par le schéma suivant extrait d'un fascicule de Cochet G.

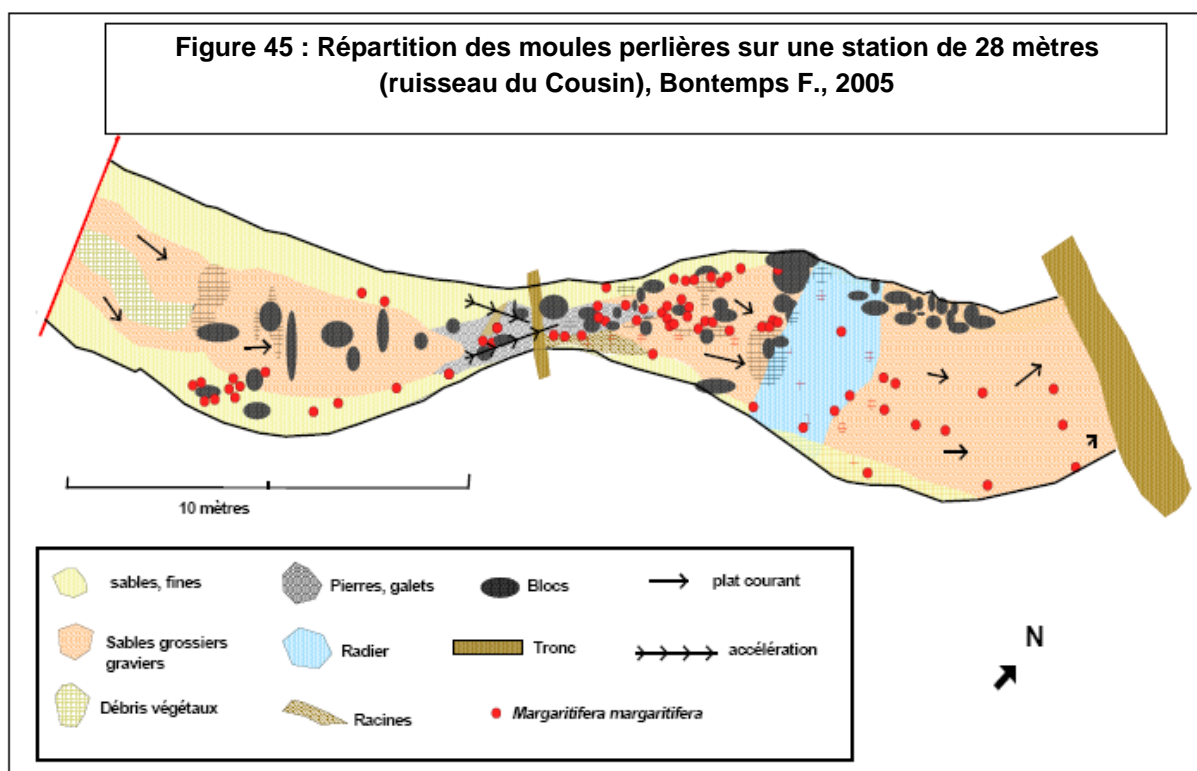
Figure 44 : Répartition de quelques nayades sur un bassin français, Cochet G., 2004



Nous nous intéressons ici à la moule perlière (*Margaritifera margaritifera*) dont les espèces hôtes sont les salmonidés migrateurs : la truite commune et le saumon atlantique. La moule perlière est une espèce d'intérêt communautaire.

Tous les bassins abritant ou ayant abrité ces poissons sont susceptibles de contenir des populations de moules perlières. La maturité sexuelle de cette espèce apparaît très tardivement, entre 15 et 20 ans. Les sexes sont séparés, mais les individus isolés peuvent devenir hermaphrodites. Le mâle libère directement les gamètes dans l'eau, le système de filtration de la femelle récupère les spermatozoïdes entraînés par le courant après avoir produit ses ovules. La fécondation donne une cellule œuf, puis une larve qui est ensuite libérée dans le courant, pour continuer son développement et passer dans le système branchial d'un poisson hôte. La truite commune et le saumon sont les hôtes principaux avec une préférence pour les jeunes poissons d'une taille inférieure ou égale à 15 cm (Bauer 1987 in Cochet 1999) ; thèse contrebalancée par les études de Geist en 2004. Aujourd'hui dans les cours d'eau qui ne sont plus accessibles par les saumons, la truite est l'unique vecteur de propagation de cette espèce.

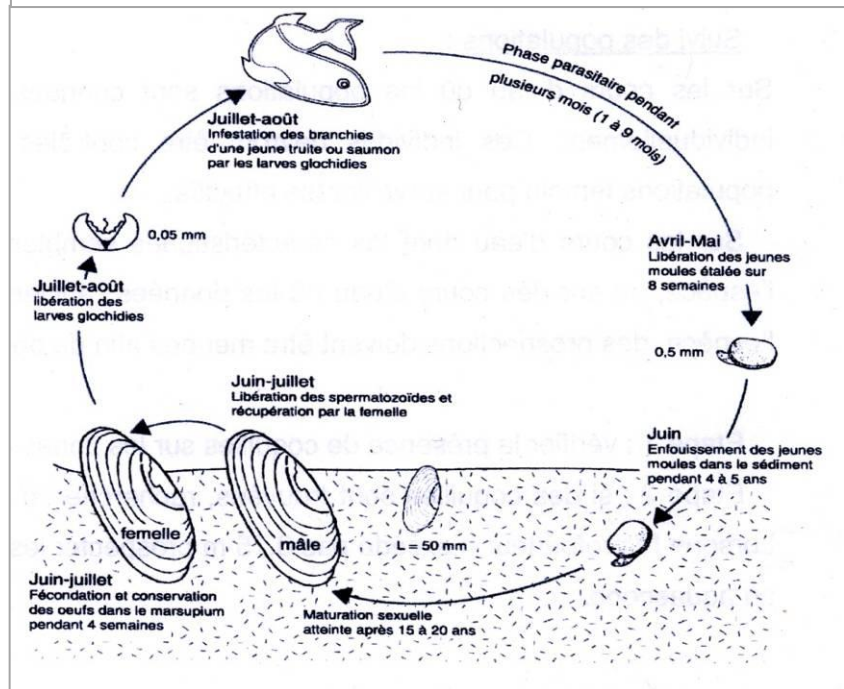
La moule perlière habite des cours d'eau pauvres en calcaire, avec un courant relativement soutenu et une profondeur moyenne de 0.5 à 1 mètre. La pente est généralement comprise entre 2 et 5 ‰. La granulométrie doit être sablo-graveleuse, stable, mais permettant une bonne percolation de l'eau. L'altitude ne semble pas être un élément déterminant dans sa répartition ni la granulométrie à très grande échelle comme l'illustre Bontemps F en 2005.



Lors de son stade larvaire et post-larvaire, la moule perlière est très sensible à la qualité de l'eau, ainsi qu'à celle du substrat d'enfouissement. Elle ne tolère pas de valeurs en oxygène dissous

inférieures à 5,5 mg/l. Elle est également très sensible aux fortes teneurs en nitrates et phosphates (seuil létal : 13 mg/l pour les nitrates), Bauer, 1988, in Cochet 1999. La température ne semble pas être un critère déterminant, en effet, il est possible de la rencontrer en Europe sur des rivières dépassant les 28°C. Au-delà de ce seuil, la température influence trop la teneur en oxygène dissous, et la moule perlière ne peut plus vivre. La larve reste fixée sur les branchies de son hôte pour une période variable, de

Figure 46 : Cycle biologique de la moule perlière, Paris, 1999 in Bontemps F., 2005



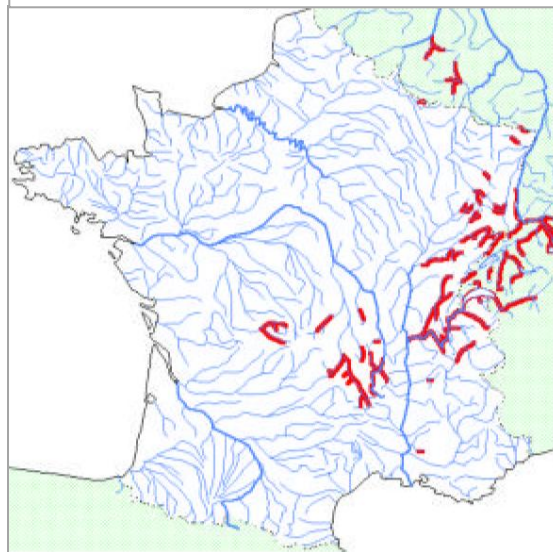
quelques semaines jusqu'à 10 mois. Cette phase parasitaire en plus de correspondre à une phase de développement est l'unique mode de dissémination de l'espèce. Ce n'est qu'une fois ce stade parasitaire accompli que la larve devient un véritable bivalve, elle mesure alors 0,5 mm et quitte le poisson pour aller s'enfouir dans le substrat pour une durée d'environ 5 ans. Elle reste au même endroit jusqu'à sa mort qui peut survenir un siècle plus tard.

Parmi les espèces d'intérêt communautaire de tête de bassin, nous pouvons également citer le chabot cottus gobio, répandu dans toute l'Europe et surtout au nord des Alpes. Cette espèce est très intéressante, car si elle est de tête de bassin, elle n'est pas forcément dans son biotope idéal en altitude. En effet, pour des zones topographiques homogènes, son aire de répartition ne dépasse pas 900 mètres (et vraisemblablement moins pour le Limousin ONEMA Haute-Vienne) dans le Massif Central, 1200 dans le Cantal, et 2380 mètres dans les Alpes. On retrouve dans la bibliographie que l'altitude influence les populations de chabots sur plusieurs aspects. Les densités sont généralement plus fortes sur les ruisseaux de plaine que sur les ruisseaux de montagne ou moyenne montagne, de plus la maturité sexuelle est atteinte à l'âge de 1 an sur les ruisseaux de plaine et de 3 ans en montagne. Mais là encore, ce constat est régional. Il s'agit de la situation dans les cours d'eau de Grande-Bretagne. Dans tous les cas, pour trois régions différentes de par leur amplitude altitudinale, le chabot ne vit pas au delà d'une altitude maximale. À l'altitude est également lié le fait que les ruisseaux sont plus pentus, or le chabot est incapable de franchir une chute d'eau d'une hauteur supérieure à 15-20 cm. Si une population met du temps à se développer, et si elle a moins de

possibilités de migration, elle est plus fragile. Même si les milieux semblent plus propices à sa présence du point de vue de la morphologie et de la qualité de l'eau, les populations ont des dynamiques plus lentes. Dans les cours d'eau de plaine, les capacités de croissance et l'atteinte précoce de la maturité sexuelle couplées à une migration plus facile permettent un meilleur développement des populations.

L'ombre commun *Thymallus thymallus* est autochtone des bassins de la Vienne, de la Loire, de l'Allier, du Rhin et du Rhône depuis la fin du tertiaire (Persat 1978). Sa position en 1900 dans les bassins versants le place en tête de bassin à l'échelle de ces grands hydrosystèmes. Pourtant à une échelle hydrographique plus précise sa position semble ne pas être en tête de bassin.

Figure 47 : Distribution de l'ombre commun en 1900, Persat H., 1988

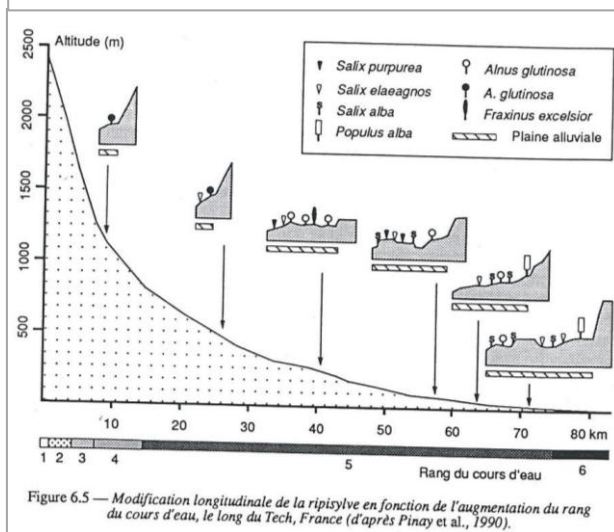


Cela suggère donc de considérer comme zone de tête de bassin une région toute particulière d'un point de vue écologique du reste du bassin versant, et confirme que les limites écologiques ne sont pas brutales, et que les biocénoses de ces écotones centrés sur ces limites sont encore plus diversifiées que les écosystèmes régionaux eux-mêmes.

2.2.2. La tête de bassin écologique : Biodiversité végétale et animale en zone humide et corridors

La plupart des régionalisations écologiques des eaux courantes ont choisi comme indicateurs les invertébrés et les poissons. Cependant, bien d'autres paramètres et êtres vivants ont des répartitions et sont conditionnés selon un gradient amont-aval. Ainsi, les végétaux aquatiques, les

Figure 50 : Modification longitudinale de la ripisylve en fonction de l'augmentation du rang du cours d'eau (Le Tech en France), d'après Pinay et al., 1990, in Petts et Amoros, 1993.



ripisylves mais aussi les oiseaux ont des préférences pour les domaines riverains qui évoluent de l'amont vers l'aval.

Cette notion de régionalisation de l'environnement riverain des cours d'eau dans le bassin versant introduit la notion de tête de bassin écologique.

Une notion qui paraît indissociable de la tête de bassin écologique est l'altitude. En effet, dans un bassin versant, les différents écosystèmes se succèdent de l'amont vers l'aval, mais quel est l'élément qui domine ? Est-ce le rang du cours d'eau ou est-ce l'altitude ?

Le fait qu'aucune des régionalisations amont-aval des espèces n'est pue être transposable

Figure 49 : Modification longitudinale de la végétation non ligneuse, en fonction de l'augmentation du rang du cours d'eau (la Derwent en Grande Bretagne), d'après Haslam 1978, in Petts et Amoros 1993

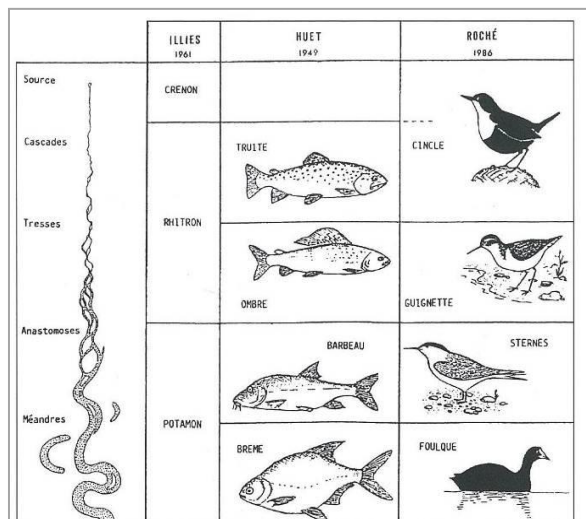
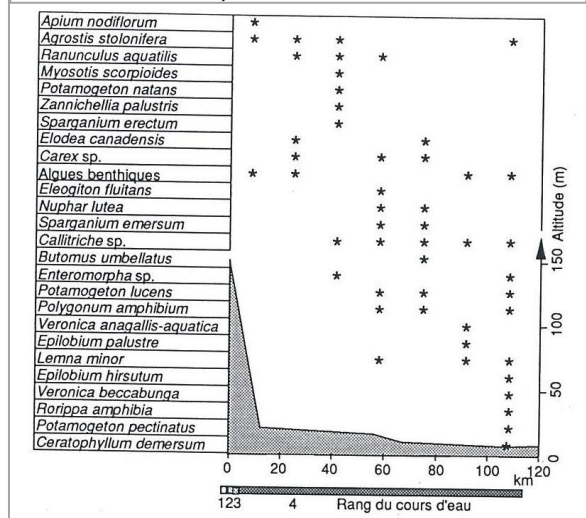


Figure 48 : Analogie entre quatre zonations des cours d'eau basées sur la géomorphologie fluviale, les invertébrés, les poissons et les oiseaux nicheurs (d'après Roche et Frochet, 1993), in Le Fustec E. et al., 2000

signifie bien que le rang et le gabarit du cours d'eau n'est pas l'unique paramètre conditionnant tout le reste. Certaines théories sur l'évolution de paramètres selon le gradient amont-aval sont transposables, mais dès que l'on essaie d'expliquer la répartition des organismes vivants selon ce gradient, les hydrobiologistes se heurtent aux variations altitudinales et latitudinales, cela contraint les modèles de répartition à ne rester que régionaux.

Pennak en 1971 propose une classification des cours d'eau non faunistique. En supposant que même si les espèces ne sont pas les mêmes parce qu'en zones climatiques différentes, des cours d'eau ayant des caractéristiques abiotiques semblables auront des groupes d'espèces « parallèles et écologiquement semblables » du point de vue de leur fonction au sein de l'écosystème.

Des parallèles sont à rechercher au travers de ces biotypologies : entre des regroupements de zones écologiques pour fixer des limites géographiques entre ruisseau et rivière. Cependant, ces parallèles, même si nous allons les faire, excluent l'homme qui est pourtant un critère déterminant dans l'origine et l'évolution des ruisseaux.

2.3. Risques et sociétés en tête de bassin

2.3.1. Le risque hydrologique et hydromorphologique lié aux crues et étiages

Les deux extrêmes hydrologiques crues et étiages sont à considérer dans le risque hydromorphologique. Cependant, le risque fluvial le plus connu car ayant fait le plus de victimes humaines est le risque d'inondation des zones urbanisées. Il est la plupart du temps étudié et cartographié dans les Plans de Prévention des Risques d'Inondation des grandes agglomérations, la vulnérabilité y étant forte. Or la plupart de ces grandes agglomérations sont situées au bord de cours d'eau généralement d'un gabarit important.

Les petits cours d'eau de l'amont des bassins versants sont reconnus comme étant des fournisseurs de matière solide minérale ou organique ayant des réponses rapides aux crues. Au risque hydrologique lié à la puissance et à l'expansion d'un volume d'eau pouvant causer des dégâts matériels et représentant un danger pour les populations humaines s'ajoute un risque hydromorphologique car l'onde de crue se voit devenir plus agressive et plus dévastatrice lorsqu'elle transporte des matières solides. La nature des sols et la pente des versants et talwegs deviennent alors des facteurs prépondérants dans l'évaluation de l'aléa « naturel ». Ainsi, ce sont les ruisseaux torrentiels de montagne et méditerranéens pouvant mobiliser une charge solide dans des délais très courts suite à un orage par exemple qui sont les plus étudiés sous l'angle du risque.

La violence des phénomènes de crue peut être accentuée par des éléments augmentant leur intensité, et notamment la rupture soudaine d'obstacle seule ou cumulée, car cela augmente le débit instantané et l'obstacle se trouvant entraîné enrichit la charge solide. Ces obstacles peuvent être

semi-naturels comme les embâcles ou artificiels, comme un busage sous dimensionné. Toutefois, nous ne pouvons pas assimiler la présence d'embâcles avec une augmentation du risque car ils ont également pour effet de forcer au débordement, et ainsi de dissiper l'énergie dans le cas où le lit majeur est suffisamment large.

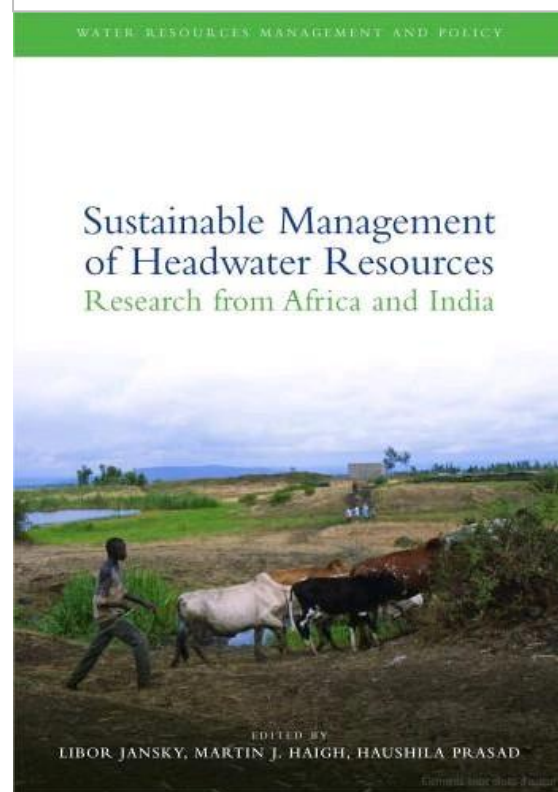
À l'extrême inverse des crues, le risque lié aux étiages sévères est également très important, et il est souvent dû à des phénomènes naturels complexes comme la consommation de l'eau par les ripisylves et les réajustements des nappes amplifiées par des activités anthropiques comme l'irrigation (Giret A., 2004). Nous aborderons surtout l'enjeu quantitatif de la ressource en eau, enjeu peu connu et peu mesuré pour les besoins en eau de consommation humaine ou du bétail.

2.3.2. Les risques liés aux érosions anthropiques des sols des versants

Le risque lié aux érosions anthropiques des versants est surtout soulevé par Haigh M. J., Libor J., Jon H. (2004) lorsqu'ils présentent les effets de la déforestation sur le comblement des réservoirs d'eau potable de Slovaquie, et l'émergence de tension « amont-aval » en Honduras toutes deux définies comme étant des régions de tête de bassin. Ces descriptions de l'impact des activités humaines sur les têtes de bassin et les régions plus en aval sont liées dans cet article aux changements globaux. Les auteurs s'appuient en introduction sur le fait qu'à l'échelle mondiale, les changements environnementaux menacent les vies et activités des résidents des têtes de bassin, mais également de ceux se trouvant en aval, et qui se trouvent affectés par les changements de qualité, de quantité d'eau et des autres ressources en provenance des têtes de bassin (Tognetti, 2000).

Dans les sociétés se développant, beaucoup de forêts humides de tête de bassin ont connu une reconversion récente en terres agricoles par des agriculteurs contraints d'abandonner les meilleures terres agricoles. Pour ces communautés, la lutte pour la survie au jour le jour est une priorité plus importante que l'inquiétude pour l'avenir environnemental, même là où les modes de gestion existent. Dans ces cas-là, les problèmes de dégradation de l'environnement restent rarement cantonnés aux têtes de bassin. Les régions en aval

Photographie 11 : Couverture de l'ouvrage de Libor J., Haigh M-J, Prasad H., 2005 sur la gestion durable des ressources des têtes de bassin en Afrique et en Inde



souffrent également, de la pollution des eaux et des sédiments, des changements de régime hydrologique, et de la réduction des ressources naturelles liées à l'eau. Cette situation peut alors causer des tensions sociales, et la perturbation des activités humaines (Haigh et al., 1998). Cela est visible par l'effet du déboisement des forêts de pente tropicales d'Honduras du Sud en Amérique Centrale. Ce cas rend bien compte de l'indispensable nécessité de gérer les ressources de tête de bassin, qui devient un des défis les plus significatifs pour les gestionnaires de l'environnement et du développement. Haigh et al., publient également en 2005 un ouvrage consacré à la gestion durable des têtes de bassin en Afrique et en Inde, et plus particulièrement en Éthiopie, têtes de bassin du Nil, au Kenya, et dans l'Himalaya central (Garhwal et Kumaon). Les sujets abordés traitent surtout d'érosion hydrique sur les versants, et de l'impact d'une agriculture intensifiée par nécessité, mais aussi du risque de sécheresse et de comblement sédimentaire de réservoirs d'eau potable naturels ou artificiels. Autant de dégradations affectant la vie des sociétés, et parfois causées par les activités humaines n'ayant pas le choix, car la priorité est la subsistance.

Dans les sociétés post-communistes, la transition économique a souvent induit une restructuration massive aussi bien économique que sociétale, ayant eu parfois des impacts négatifs dans les régions de tête de bassin (Zlatic et al., 2003). Dans certaines régions, les changements sociétaux, notamment vis-à-vis des forêts, posent de nouveaux problèmes. Les auteurs étudient et démontrent alors que le taux de sédimentation dans les réservoirs d'eau potable de Slovaquie est excessif du fait de déforestation. En contexte sociétal différent, mais géographiquement plus proches la gestion de l'approvisionnement en eau potable est également marquée par des problématiques d'érosion des sols et de sédimentation d'un bassin versant majoritairement agricole. La ville de Saint-Junien en Limousin approvisionnée en eau potable jusqu'à ce jour par le barrage-réservoir du Gué-Giraud édifié sur la Glane ne le sera plus à cause d'une retenue aujourd'hui comblée par les sédiments. Comme nous le disions en introduction de cette partie, notre capacité financière et technique permet de réaliser un aqueduc qui prendra l'eau de la ville de Limoges pour l'acheminer à Saint-Junien. Il s'agit bien là d'une mesure curative engendrée par la sédimentation excessive, et à la difficulté de gestion du barrage-réservoir. Ayant les capacités techniques et financières, ces travaux sont presque imperceptibles dans l'opinion publique baignée dans un sentiment de sécurité, vis-à-vis de l'approvisionnement en eau potable. Les transports solides de la Glane furent évalués par Brizard Y., en 2007 avec une masse solide de MES transportés de l'ordre de 1600 T/an. Les volumes calculés dans le cadre de l'évaluation du comblement des réservoirs d'eau potable en Slovaquie ont un maximum de 7500 m³/an. En considérant une masse volumique des MES de 1500 Kg par m³, les plus fortes valeurs enregistrées en Slovaquie sont de l'ordre de 5000 T/an. En termes de flux, les valeurs peuvent atteindre 250 t/Km²/an sur les bassins versants agricoles de Slovaquie. Les plus faibles valeurs de flux suspectées de comblement rapide enregistrées sont de l'ordre de 10,4 m³/an/Km², soit 6,9 T/Km²/an, valeurs similaires à celles de la Glane de 6T/Km²/an. Nous verrons que dans de très petits bassins versants creusois et bretons agricoles, ces valeurs peuvent atteindre 30t/ha/an. Même si la situation n'atteint pas les extrêmes slovaques sur le bassin versant de la Glane

en termes de flux solides, elle a quand même motivé une décision qui consiste à trouver une autre source d'approvisionnement en eau potable pour la ville de St Junien. Rappelons également que les flux solides slovaques concernent un dépôt sédimentaire enregistré une fois déposé en réservoir et qui a également été transporté par saltation alors que sur le bassin de la Glane, seules les MES furent mesurées.

2.3.3. Le risque thermique et les interactions avec la qualité de l'eau

Les petits cours d'eau de l'amont des bassins versants sont certainement une partie des hydrosystèmes extrêmement sensible et vulnérable au réchauffement des eaux. En termes de potabilisation des eaux, la température des eaux ne doit pas dépasser les 25°C (Gaujous, 1995), et elle doit avoir préférentiellement une température comprise entre 10 et 15°C (Collings, 1969) avec un optimum de 10°C (Parker et Kernel, 1970).

Le risque porte également sur des organismes aquatiques adaptés à une eau généralement plus fraîche qu'à l'aval. Dans le cas des régions polaires et tempérées, c'est au-delà de 15°C que les salmonidés, et notamment la truite commune, sont plus empreints aux maladies comme la Maladie Rénale Prolifératrice.

Enfin, à la température des eaux sont liés des processus sédimentologiques pouvant affecter l'hydromorphologie et notamment accentuer les phénomènes de colmatage, et physicochimiques : baisse du taux d'oxygène dissous, et augmentation des concentrations en nitrogène en sont les plus connus. Ces conséquences indirectes, où la température joue un rôle, mais n'est pas le seul facteur concernent le fonctionnement hydromorphologique général d'un petit cours d'eau en limitant les échanges entre l'eau du lit et l'eau interstitielle, et participent à la dégradation de la qualité de l'eau.

L'HDR de Touchart L., 2001, et le mémoire de maîtrise de Lebreton D. en 1995 nous permettent de bien appréhender l'importance de la température de l'eau dans les fonctionnements physicochimiques et biologiques des cours d'eau. Ces deux publications étant consacrées à l'étude des températures de l'eau des cours d'eau et plans d'eau, des synthèses bibliographiques préliminaires permettent de bien appréhender le rôle des températures.

La température de l'eau est un paramètre auquel sont liées bien des réactions physicochimiques, de plus elle agit directement sur la physiologie des organismes aquatiques en eau courante ou stagnante.

Du point de vue physicochimique, la température influence les concentrations en nitrogènes et en oxygène, facteurs très importants car conditionnant le potentiel des eaux à s'enrichir en nitrates par exemple, mais aussi permettant la dégradation de la matière organique par les bactéries aérobies ayant des besoins en oxygène pour épurer les eaux. Une augmentation de la température de l'eau

réduit la capacité de dissolution de l'oxygène, ce qui conduit à une diminution de l'oxygénation des cours d'eau, et une capacité d'absorption des polluants plus réduite (Jacquet J. et al., 1970).

La température influence également la viscosité des eaux, facteur pris en compte dans le calcul des nombre de Froude et de Reynolds, qui, assez récemment sont admis comme des paramètres déterminant dans les préférences et de ce fait dans les répartitions de certaines espèces aquatiques. Le Cemagref a d'ailleurs démontré des préférences pour des habitats ayant des nombres de Froude et de Reynolds bien particuliers.

Avant d'influencer indirectement les préférences des espèces, la viscosité et la densité de l'eau influencent la turbidité des eaux, un abaissement de la température augmente les concentrations de matières en suspension (Colby B.R. et al., 1965). Une élévation de la température de l'eau aurait également un impact hydromorphologique, puisqu'elle accentuerait le phénomène de sédimentation et de dépôts (Parker et Krenkel).

La température de l'eau a également une influence sur la conductivité, la solubilité des éléments, de ce fait, elle affecte également les réactions chimique et biochimique se produisant dans les milieux aquatiques. Cairns J.J. démontre une relation directe entre la température et les pourcentages d'ammoniaque, élément nocif pour la vie aquatique. La température de l'eau en augmentant rend l'eau plus agressive envers les roches calcaires en permettant une meilleure solubilité du gaz carbonique. Les phénomènes de karstification sont amplifiés. Sur roches granitiques, l'hydrolyse responsable de l'altération des roches est directement liée à la température de l'eau selon la loi de Van't Hoff, elle est multipliée par 2,5°C chaque fois que l'eau gagne 10°C.

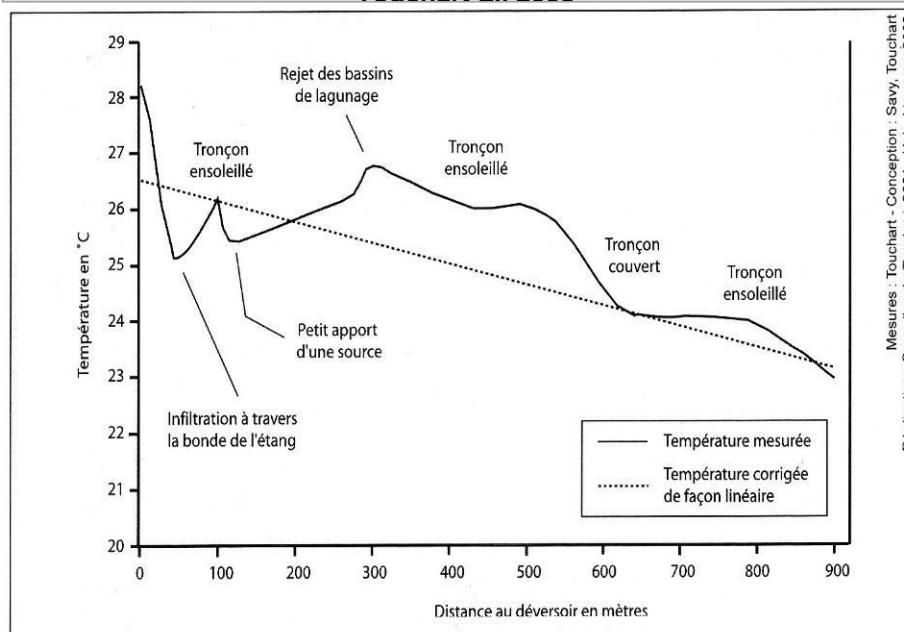
Il reste cependant impossible de bien hiérarchiser le rôle de chaque paramètre étant donné la complexité des interactions, y compris celui de la température car l'ammoniaque augmenterait également avec la désoxygénation, mais aussi le pH. Cependant, le rôle de la température est un paramètre qui est en lien avec de nombreuses réactions chimiques, et l'augmentation des températures des eaux est parfois liée aux réactions les plus néfastes pour la qualité des eaux et les organismes aquatiques. De ce fait, le risque thermique est à considérer à l'heure actuelle, où il est admis par la communauté scientifique que la biosphère est menacée de changements, voire de détériorations du fait de l'augmentation des températures enregistrées depuis que cela est possible.

Hormis les risques liés aux changements globaux, des aléas liés à des activités humaines locales peuvent accentuer le risque de réchauffement des eaux. Lors de travaux de déforestation par exemple, l'absence soudaine de couvert végétal entraîne une plus grosse influence de la température de l'air sur la température de l'eau. Ceci a pu être montré dans l'Oregon et sur le plateau de Millevaches (Dupont A. 2007). Touchart L., (2003) a quant à lui mesuré des différences de températures entre des tronçons ensoleillés et couverts.

Sur le graphique suivant, on remarque que l'absence de ripisylve favorise le réchauffement des eaux alors que la voûte végétale participe à un refroidissement. On remarque que l'eau sortant du déversoir de surface de l'étang est constamment rafraîchie et perd 3°C en 50 mètres jusqu'à ce que le cours d'eau rencontre un tronçon ensoleillé qui réchauffe l'eau de 1°C. Les apports d'une source, et probablement les échanges avec la nappe d'accompagnement, rafraîchissent l'eau. Les lagunes d'assainissement, qui sont des eaux closes de faibles profondeurs, rejettent ensuite des eaux plus chaudes qui modifient la température de l'eau du cours d'eau.

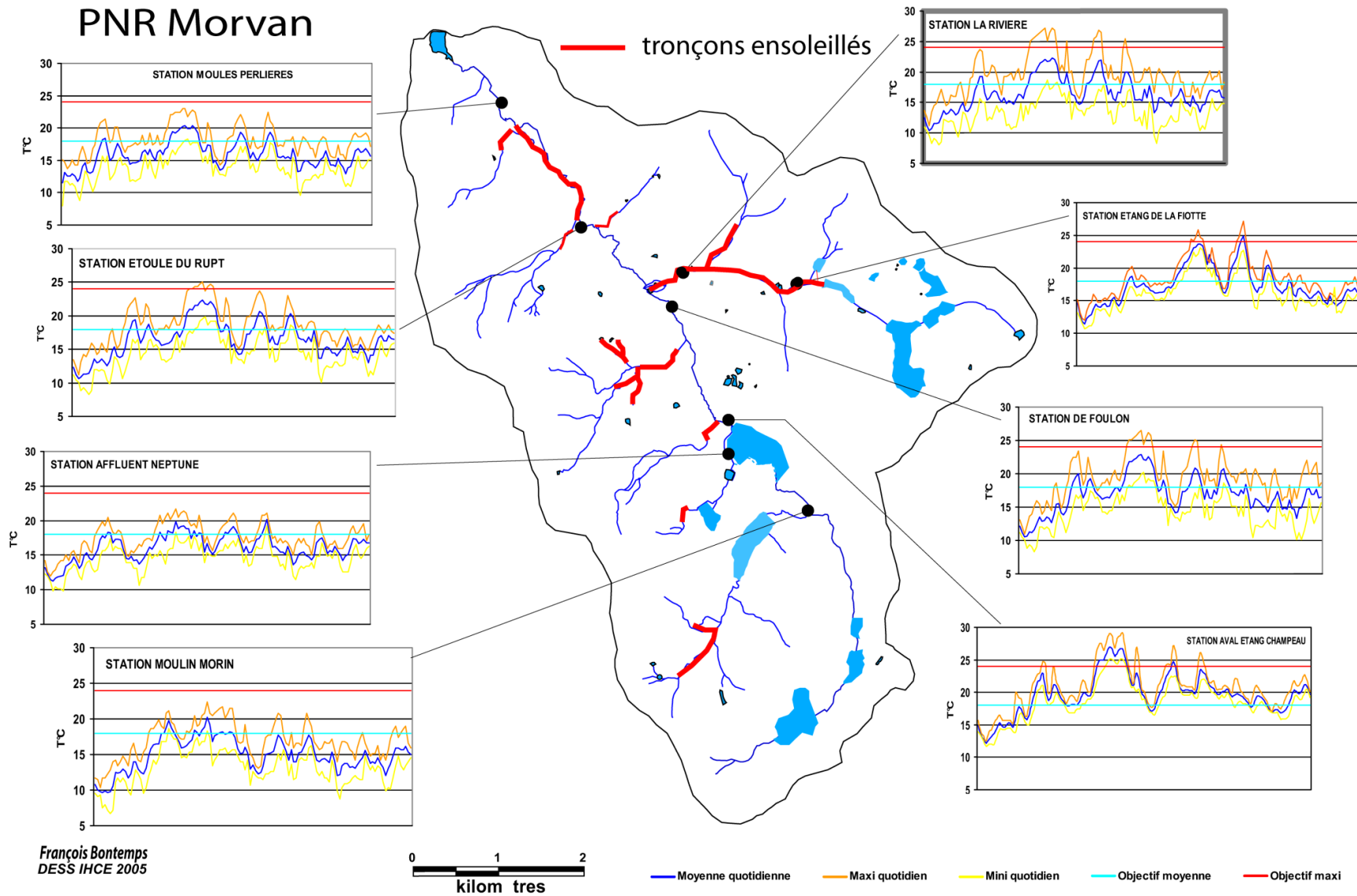
Si ce graphique fut réalisé dans le cadre d'une étude de l'impact thermique des étangs sur les cours d'eau, il montre également très bien les modifications thermiques d'autres facteurs plus ou moins « naturels ». Il permet également de comprendre l'intérêt de la ripisylve dans la limitation du réchauffement des eaux. L'impact sera atténué voire annulé sous couvert végétal.

Figure 51 : Évolution longitudinale des températures de l'émissaire de l'étang de Cieux réalisées le 10 août de 16 à 16 h 45, Savy B., d'après Touchart L.. 2003



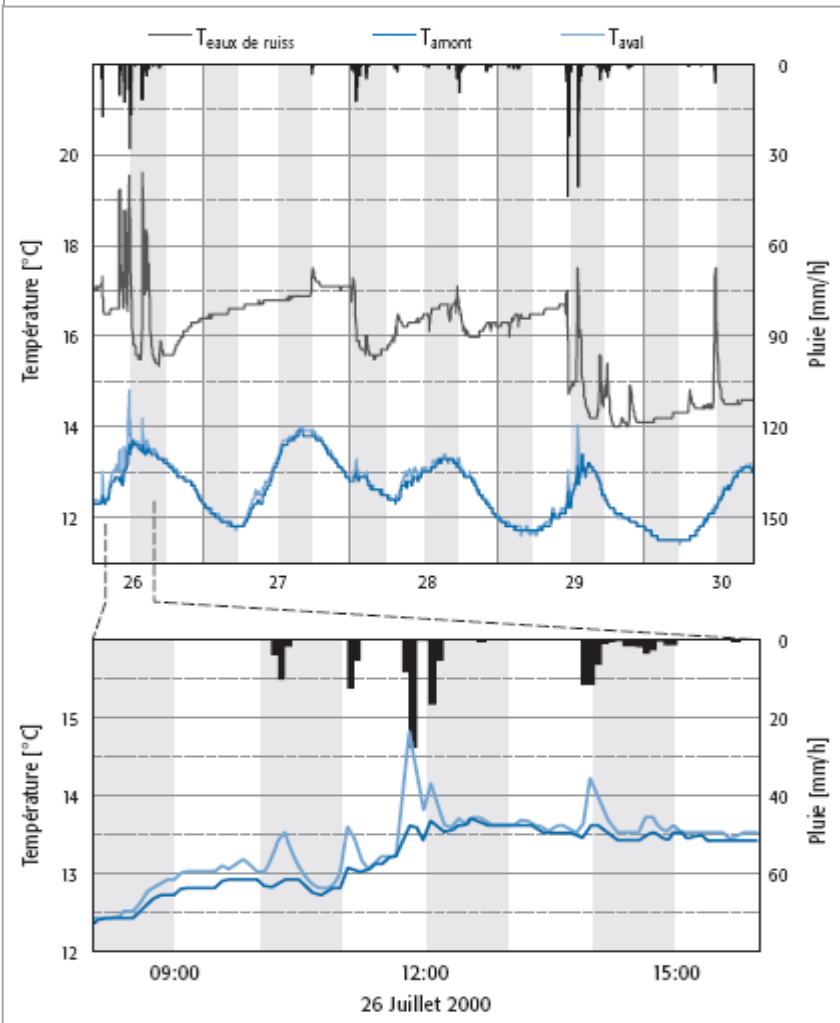
La carte suivante illustre les phénomènes combinés étangs et absence de ripisylve sur un affluent de la Cure (Bourgogne). À l'aval direct de l'étang, les moyennes thermiques peuvent dépasser les 25°C, ce qui correspond à la limite létale haute pour la truite commune. En d'autres points du cours d'eau, il n'est pas rare que les maxima thermiques dépassent les 25°C. Notons tout de même que 2005 fut une année sèche et chaude.

Figure 52 : Températures des eaux du Cousin et de ses affluents du 05/05/05 au 06/09/09, Bontemps F., 2006
PNR Morvan



En milieu urbain, le ruissellement sur les zones imperméabilisées provoque en été un réchauffement des eaux. L'augmentation de la température de l'eau coïncide avec les averses d'orages d'été. Le graphique ci-contre expose les résultats d'une étude de la température du ruisseau « Erzbach » en Suisse. Le but de cette étude est de savoir si l'échauffement de l'eau provoqué par le ruissellement urbain affecte les sténothermes d'eau froide. Pour cela, les seuils suivants à ne pas dépasser ont été fixés : la température de l'eau ne doit pas dépasser 25°C (d'avril à octobre) et l'augmentation de température en aval du rejet doit rester inférieure à 7°C.

Figure 53 : Températures d'un rejet d'eau pluviale urbaine (T_{eaux de ruiss}) et d'un ruisseau à l'amont et à l'aval du rejet, Rossi L., Renata H., 2004.



Ce ruisseau reçoit les eaux de pluie d'une surface urbaine de 2630 m². Son débit minimal est de 20 l/s en amont du rejet d'eaux pluviales. Le temps de réponse thermique entre l'averse et l'augmentation de l'eau du cours d'eau varie entre 6 et 12 minutes. Une augmentation de 3°C des eaux de ruissellement est constatée lors de courts événements pluvieux.

Une augmentation de la température du cours d'eau est également perceptible, mais non impactante pour la faune (sténotherme d'eau froide) car la température de l'eau ne dépasse pas les 22°C. Ce qui va donc être primordial, c'est le rapport entre la surface de ruissellement et le débit du cours d'eau. On peut se demander quelles seraient les conséquences si la surface de ruissellement se jetant dans l'Erzbach était supérieure.

2.4. Les risques pour les ressources piscicoles

2.4.1. Le risque hydromorphologique pour la faune piscicole

Un autre type de risque lié à l'hydromorphologie est le phénomène de colmatage, en effet, un bilan sédimentaire positif sur des ruisseaux et qui plus est composé essentiellement d'éléments fins participe au colmatage du lit des cours d'eau et à une limitation des échanges hydrologiques avec la nappe d'accompagnement qui transmet sa fraîcheur à l'eau. Ce phénomène se produit en période d'étiage si les apports en éléments fins sont importants et le débit insuffisant pour les transporter, ou en période de décrue lorsque le cours d'eau cesse d'avoir la puissance nécessaire pour les transporter plus en aval.

Le colmatage des lits des cours d'eau est une thématique que l'on retrouve souvent pour expliquer la baisse du recrutement en juvéniles de truites. Les effets de ce colmatage se font également ressentir sur les populations de macroinvertébrés benthiques.

Le colmatage résulte d'un dépôt de matières fines dans les interstices séparant les éléments grossiers du lit. Le plus souvent, il a lieu sur les berges, au fond des mouilles ou encore dans des annexes de cours d'eau. Ce phénomène survient lorsque la production de sédiments fins est trop importante, et que les vitesses d'écoulement sont faibles. Ces conditions se retrouvent en période de décrue, car on passe d'une phase d'érosion et de transport intense à une phase de diminution des vitesses d'écoulement favorisant les dépôts. Dans ce cas des zones de frayères peuvent être colmatées.

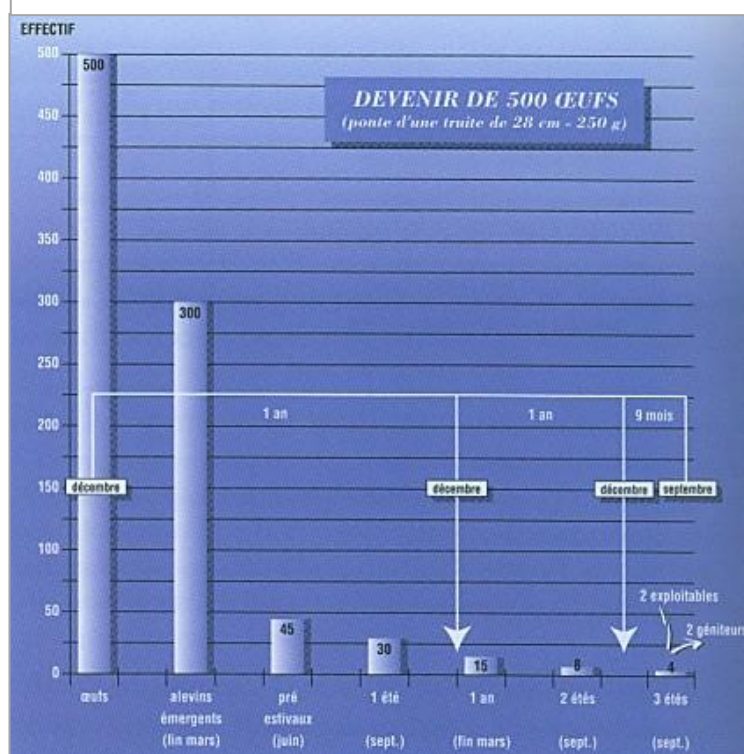
Les particules incriminées dans ce phénomène ont des tailles variables selon les peuplements aquatiques. Dans le cas de frayères à salmonidés, toutes les particules inférieures à 0,8 mm ont un effet colmatant (Schälchli, 1993 et Brunke, 1999). La lecture d'une courbe granulométrique donnera les premières informations en fonction de l'importance des sédiments inférieurs à 0,8 mm.

La truite commune lorsqu'elle se reproduit a besoin de creuser des éléments de type graviers et cailloux fins (0,5 à 5 cm). La plupart des professionnels de la gestion piscicole parlent d'une taille comprise entre celle de la noisette et celle de la noix. Lorsque ces éléments-là sont agglomérés, il est très difficile pour la truite de creuser un nid, le phénomène d'infiltration de l'eau et d'oxygénation des œufs est alors limité. Pour savoir si le frai va pouvoir se faire dans de bonnes conditions, une analyse granulométrique du substrat dans des secteurs tests s'impose.

Le risque de sécheresse avec tout ce qu'il entraîne, limitation de la quantité d'eau pour l'eau potable, perte d'organismes vivants du fait de la réduction de l'espace de vie est en soit un risque affectant les populations humaines ou ce qui leur est utile pour vivre comme les ressources halieutiques.

Le risque hydromorphologique le moins visible et, pourtant le plus dangereux sur le long terme est certainement l'émission excédentaire de MES, en effet, la synthèse bibliographique de Lefrançois Julie 2007, expose les connaissances sur les effets néfastes des MES sur la qualité de l'eau et des milieux aquatiques. Elles sont des vecteurs de transport (Karickhoff, 1978 ; Martin et Meybeck, 1979) des métaux lourds, du phosphore et de la matière organique, elles sont également considérées comme des puits de polluants (Voice et Weber, 1983). Des augmentations fortes des teneurs en MES sont considérées par le PIREN comme des « bombes à retardement » car elles provoquent des problèmes dans les traitements des eaux en diminuant l'efficacité des désinfectants, favorisant les développements accrus de biofilms, les contaminations bactériennes ou parasitaires.

Figure 55 : Devenir de 500 Oeufs d'une truite de 28 cm, Richard A., CSP



frayères durant l'incubation (nous verrons plus en détail ce phénomène).

Figure 54 : Taux de survie des oeufs alevins et truitelles dans le milieu "naturel" Richard A., CSP

CAPACITÉ D'ACCUEIL	Taux de survie partiel entre stades
. Dépôt d'œufs dans la frayère → émergence (mars-avril):	50 à 70 % (beaucoup moins si colmatage)
. Alevins émergents → pré-estivaux (juin):	15 %
. Pré-estivaux → truitelles d'1 été (septembre):	40 à 60 %
. Truitelles d'1 été → truitelles d'1 an (avril):	50 %
. Truitelles d'1 an → truites de 2 étés:	50 %
. Truites de 2 ans → truites adultes de 3 étés:	50 %

La truite commune au stade embryolarvaire est un bon indicateur du colmatage des cours d'eau. Il existe une perte naturelle au fur et à mesure de la croissance de la truite. Le tableau et le graphique ci-contre illustrent et détaillent ce phénomène. Ces taux de survie peuvent être bien moindres en cas de colmatage des

2.4.2. Le risque thermique pour la faune piscicole

Le risque thermique le plus redouté est bien entendu l'atteinte des seuils létaux chez les salmonidés. Le réchauffement des eaux permet à certains organismes de s'y développer au détriment d'autres qui s'éteignent. Parmi les organismes pathogènes favorisés par le réchauffement et affectant les salmonidés, les tetracapsuloïdes bryosalmonae sont des agents de l'hépatonéphrite parasitaire des salmonidés, responsable d'importantes mortalités estivales pouvant conduire à des catastrophes

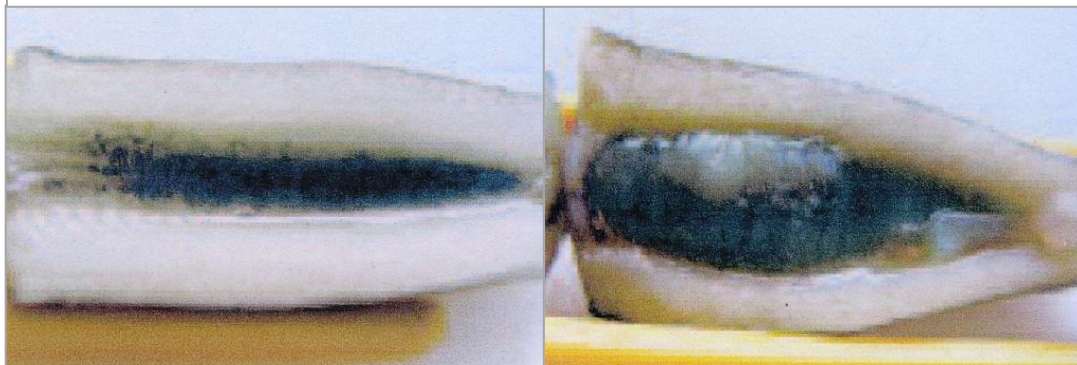
économiques pour les salmonicultures et écologiques pour les cours d'eau puisque depuis peu détectées dans le milieu « naturel ».

Les ruisseaux sont sensibles au réchauffement. Certes la température sur les rangs 1 connaît une amplitude thermique annuelle faible, au même titre que les rivières qui à partir du rang 5 disposent d'une inertie assez importante pour que les variations de température de l'air les affectent peu. Mais il existe des zones transitoires où l'influence de la température de l'air sur l'eau est maximale. Les rangs 2 et 3, qui constituent la majeure partie de la zone à truite défini par Huet, sont donc les tronçons de cours d'eau les plus sujets aux variations thermiques diurnes et annuelles.

Les modifications globales de la température des cours d'eau peuvent être accentuées par des éléments plus ponctuels comme les étangs, des rejets d'eau chaude, une absence de ripisylve, ou encore un ruissellement de l'eau sur des surfaces imperméables et propices aux échanges thermiques.

La Maladie Rénale Proliférative (MRP), en anglais (Proliferative Kidney Disease, PKD), est une maladie qui affecte les salmonidés aussi bien en pisciculture qu'en milieu « naturel ». Elle est provoquée par un parasite (*Tetracapsuloïdes bryosalmonae*). Ce parasite se développe dans un premier temps dans un bryozoaire. C'est lorsque le bryozoaire libère ses spores que le parasite peut entrer dans l'organisme de la truite ou d'un autre salmonidé par la peau ou par les branchies. Après un transit dans les voies sanguines, le parasite vient se loger dans les reins du poisson.

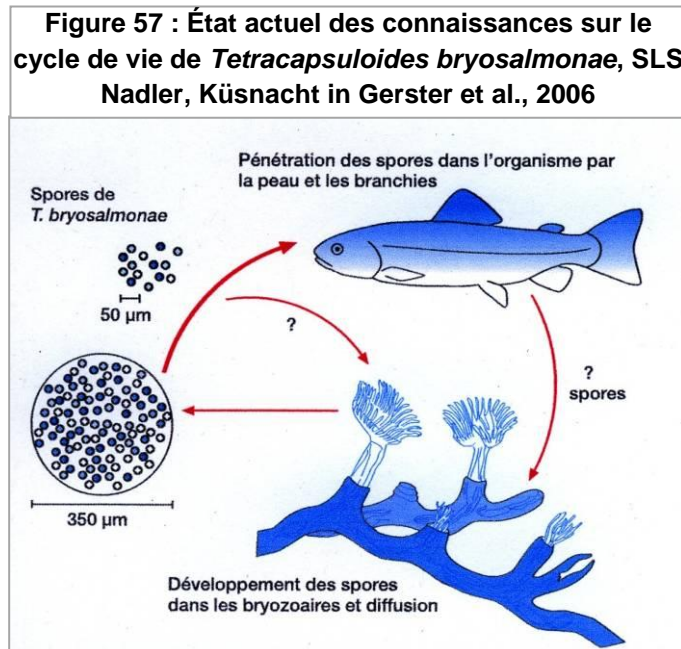
Figure 56 : Vue détaillée d'une truite ayant des reins sains à gauche et des reins d'une truite affectée par la MRP à gauche (gonflements, nodules et tâches grisâtres), photos : Pascale Steiner, in Gerster S. et al, 2006



Les principaux symptômes sont les suivants :

- Fort gonflement des reins (jusqu'à 10 fois la normale)
- Anémie qui provoque l'éclaircissement des branchies
- Renflement du ventre
- Yeux exorbités
- Mélanisme
- Apathie

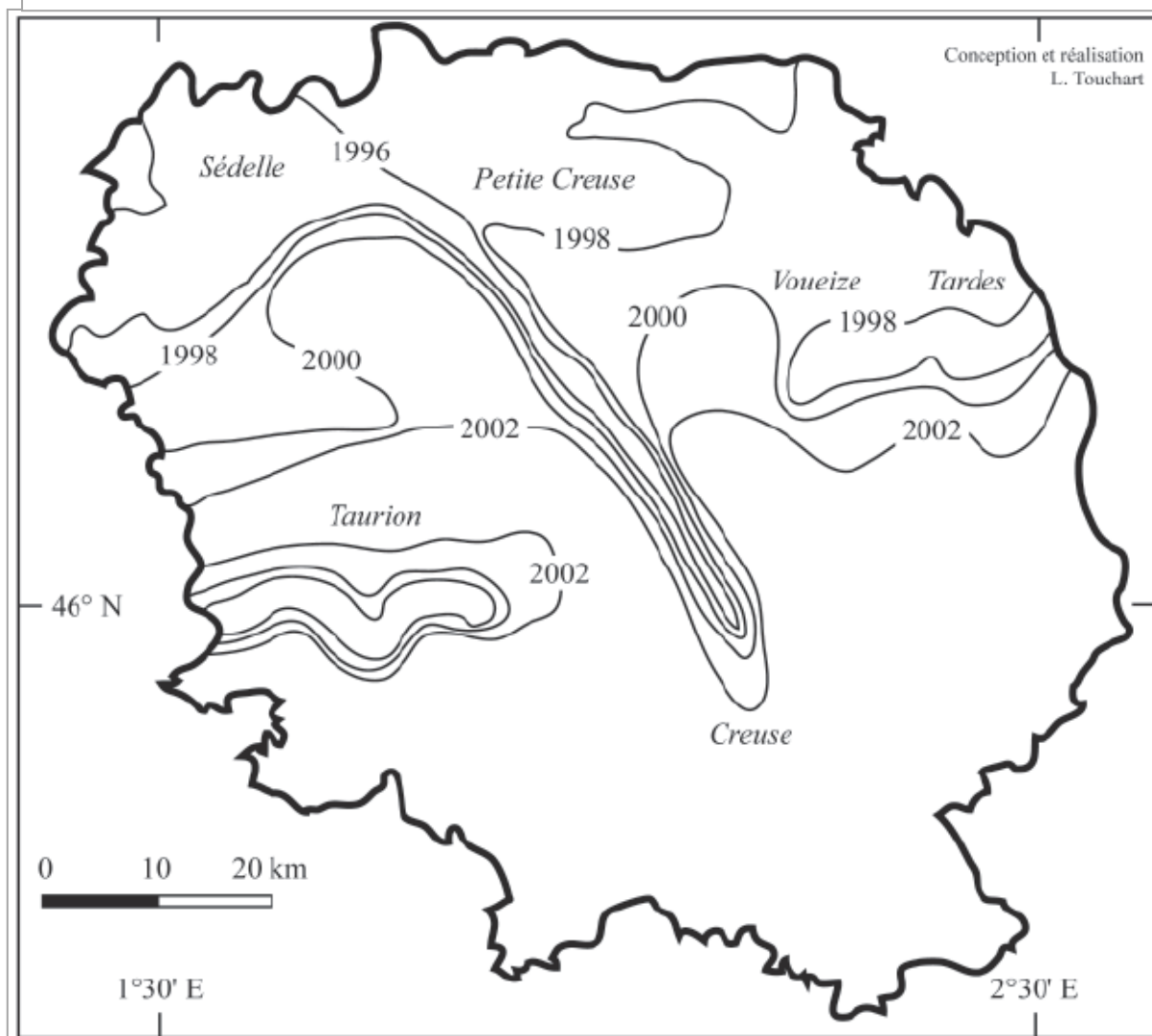
La contamination par la MRP intervient de manière saisonnière lorsque la température de l'eau dépasse les 15°C. Les premières mortalités sont observées lorsque les températures supérieures à 15°C durent plus de 15 jours. Les poissons qui sont les plus vulnérables sont ceux qui n'ont jamais été en contact avec le parasite. Les juvéniles estivaux sont donc plus vulnérables que les adultes.



La combinaison de facteurs conditionnant les milieux piscicoles peut défavoriser des espèces au profit d'autres plus tolérantes. La remontée du chevesne vers l'amont a pu être étudiée par Yann Clavé en 2005 pour les cours d'eau du département de la Creuse, puis cartographiée par Laurent Touchart en 2009. Dans un département limitrophe : la Haute-Vienne, Cédric Léon en 2008 chiffre le déclin de la truite commune.

Le chevesne qui est un cyprinidé appréciant les eaux vives ou plus calmes est un marqueur potentiel d'un réchauffement du milieu, à l'inverse, la truite commune affectionne les eaux fraîches.

Figure 58 : Carte de la progression du chevesne vers l'amont en Creuse, Touchart L., 2008



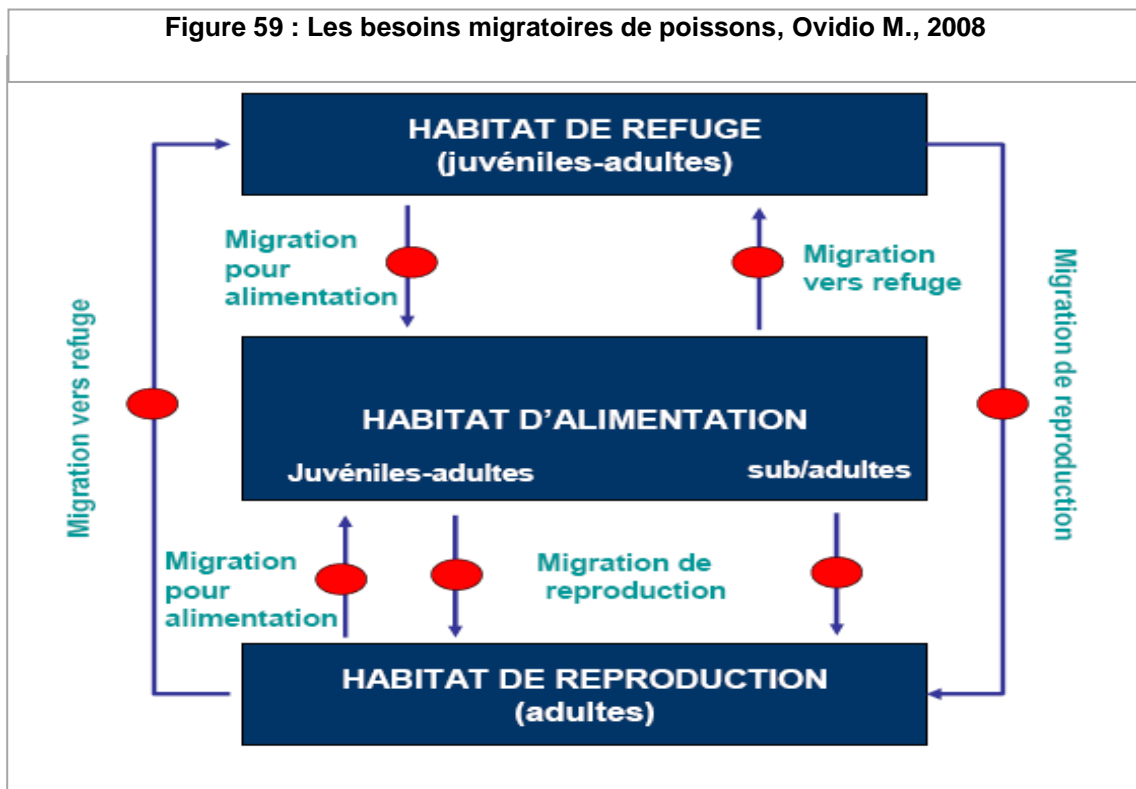
2.4.3. Les risques écologiques liés aux cloisonnements de populations et ruptures du cycle écologique des espèces

Lorsque les zones de frai ne sont plus accessibles par les géniteurs de truite, il est évident que le nombre de juvéniles va diminuer. La situation n'est pas si simple, car il existe des zones de frayères dans les cours d'eau principaux, ainsi, une concentration des truites sur ces zones va engendrer une destruction et une reconstruction de nids par les truites elles-mêmes. Les dernières pontes seront celles qui auront le plus de réussite.

Les obstacles gênant la migration des poissons peuvent être naturels et liés à des causes géomorphologiques. Dans ce cas, permettre le franchissement de ces obstacles en les aménageant va à l'encontre de la philosophie qui anime la gestion patrimoniale. En effet, nous avons vu que les

obstacles naturels pouvaient induire la mise en place de morphotypes de truites particuliers qu'il faut préserver.

Une autre catégorie d'obstacles, cette fois-ci pas totalement naturels, peut également avoir un effet négatif sur la migration des poissons. Les embâcles, s'ils sont trop volumineux et constitués d'un grand nombre de matériaux peuvent finir par devenir totalement infranchissables par saut ou par nage. Il faudrait donc les retirer pour redonner la libre circulation au poisson. Cependant, certains de ces embâcles peuvent avoir un effet bénéfique. En effet, nous verrons plus loin, qu'ils constituent souvent l'habitat permanent des meilleurs géniteurs et que dans certains cas, ce sont eux seuls qui favorisent la mise en place de zones de frayères.

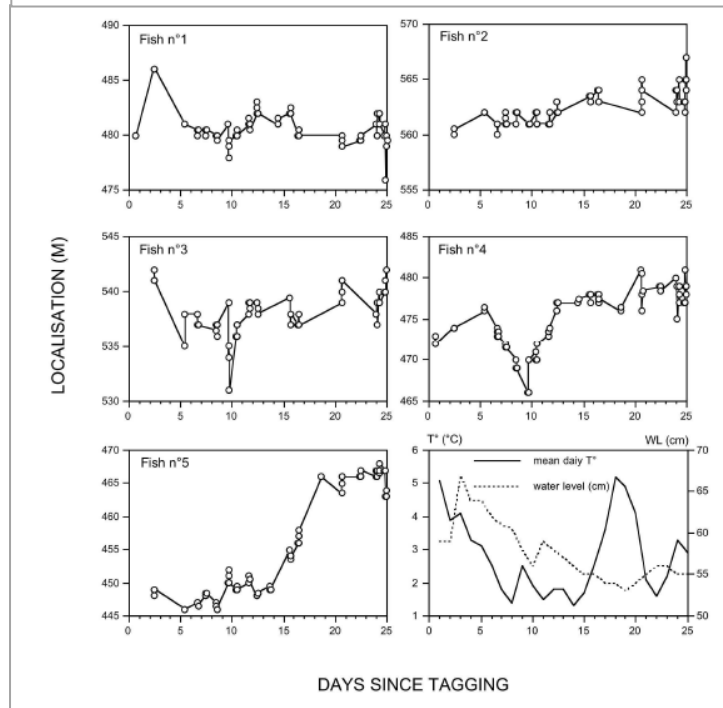


Les obstacles dus aux busages sous voirie sont ceux qui sont le plus souvent aménagés, car il s'agit d'un résultat de l'activité humaine. Ils ont généralement pour effet d'augmenter la vitesse d'écoulement, de générer des seuils infranchissables. La faible hauteur d'eau et l'absence de rugosité des buses rendent la nage des truites difficile.

Les besoins migratoires des poissons les plus connus sont les migrations de reproduction. Mais il existe également des périodes de migration en période de sécheresse, vers des zones de refuges, où le débit est plus important et les températures plus fraîches comme le montre Ovidio M., (2008).

De plus, on considère comme poissons migrateurs les salmonidés comme la truite et le saumon. Il est vrai que ce sont les espèces les plus mobiles, mais il a également été montré par Ovidio M. que les plus petits poissons se déplacent à leur échelle. Ainsi, un chabot peut se déplacer sur 500 mètres, distance impressionnante pour cette petite espèce réputée jusque-là pour rester cachée sous les blocs.

Figure 60 : Mobilité de cinq chabots, mesurée par radiopistage, Ovidio M., 2008



Conclusion partielle :

Certains risques passent également inaperçus dans le quotidien, le réchauffement, le colmatage des cours d'eau de tête de bassin sont des risques pouvant être étendus à l'inverse d'un risque soudain et dévastateur comme les crues torrentielles propres aux têtes de bassin montagneuses et imperméabilisées.

Les effets sont pervers, car indirects sur la qualité de la ressource en limitant le potentiel épuratoire des ruisseaux, et notamment de la zone hyporhéique, ou en favorisant la désoxygénation des eaux, responsable de dérèglements physicochimiques. Le colmatage est à considérer comme un risque hydromorphologique de tête de bassin tout comme les excès de MES pour la ressource en eau potable et pas seulement pour la faune aquacole.

Les risques de réchauffement des eaux sont extrêmement complexes, car ils dépendent autant du couvert végétal sur le tronçon. Cela entraîne l'interrogation sur les phénomènes thermiques internes au tronçon et sur la vulnérabilité des différentes parties du système ruisseau qui n'est peut-être pas homogène. En d'autres termes, le risque est-il aussi fort face à une source de réchauffement en n'importe quel endroit du ruisseau ? Est-il nécessaire d'avoir un niveau de référence thermique pour évaluer ce risque ? Quel est le rôle de la zone hyporhéique dont dépend en grande partie la dénitrification sur la régulation thermique des eaux en tête de bassin ?

Si les risques pour les organismes aquatiques sont à prendre en considération, c'est aussi parce qu'ils sont des indicateurs du bon fonctionnement des petits hydrosystèmes. Les milieux et espèces aquatiques font également partie de la biodiversité générale au sens « patrimonial » du terme.

Il ressort que les risques hydrologiques liés à des extrêmes hydrologiques peuvent être amplifiés par les activités humaines comme l'imperméabilisation des sols. Quel est alors le rôle des zones humides de tête de bassin dans l'écrêtage des crues ?

3. État des connaissances sur les éléments propres aux ruisseaux et petites zones humides des têtes de bassin tempérées

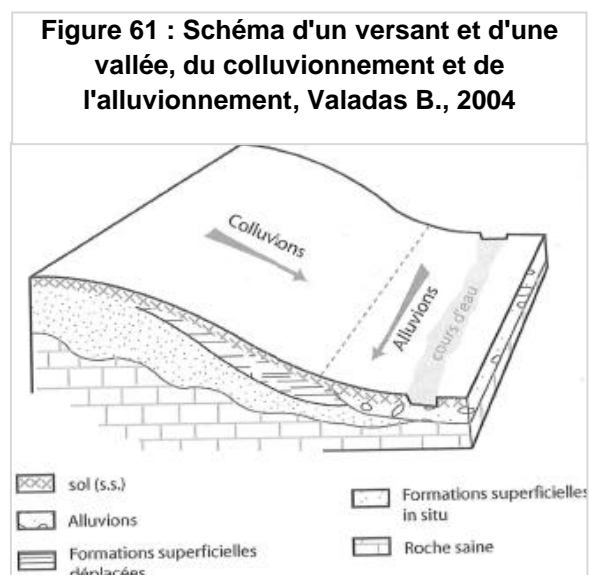
Les dégradations et les risques ne sont jamais uniquement dus aux activités humaines. Bien souvent l'action de l'homme est amplificatrice de phénomènes « naturels » qui se seraient produits dans de moindres mesures et pour de plus faibles enjeux. Il est donc primordial pour juger de l'état ou pour mesurer les risques inhérents aux petites entités hydrographiques de bien connaître au préalable les fonctionnements et origines « naturels » qui leurs sont propres.

Les caractéristiques topographiques des têtes de bassins versants peuvent être très diversifiées. En effet, le schéma selon lequel ces territoires seraient majoritairement montagneux est remis en cause par les premières cartographies de Paracchini et al. Cela sous-entend l'existence d'un panel très large de fonctionnements hydrogéomorphologiques des cours d'eau et de leur bassin versant, mais également thermique du fait des variabilités altitudinales et zonales des températures atmosphériques. Si les têtes de bassin sont présentes sur l'ensemble du globe, il est probable que l'évolution des sols en lien intime avec les climats, ainsi que la géomorphologie des petits bassins versants vont être différentes, que les processus de colluvionnement vont être extrêmement variés. Les zones climatiques de petite échelle conditionnent en partie le potentiel de colluvionnement sur les versants.

3.1. Hydro-géomorphologie des petits bassins versants et petits cours d'eau

3.1.1. Du colluvionnement à l'alluvionnement : l'importance des climats et paléoclimats sur les processus de versant

D'après Shumm, les cours d'eau de faible rang de l'amont des bassins versants constituent la zone de production sédimentaire des hydrosystèmes. Cependant, cette situation est applicable aux bassins versants ayant un sol de versant suffisamment « préparé » par des climats plus anciens, et ayant des pentes suffisantes pour que la gravité puisse générer le colluvionnement, et que les précipitations puissent générer des phénomènes érosifs suffisamment puissants pour entraîner les colluvions jusqu'aux talwegs. C'est dans les régions où les pentes des versants sont fortes et que les climats sont chauds et humides, c'est-à-dire tropicaux humides et équatoriaux que le potentiel de colluvionnement est le plus fort. À



l'inverse, un climat froid et sec et de faibles pentes induisent un potentiel de colluvionnement faible ou tout du moins se produisant grâce à la gélifraction et la gravité. C'est donc la combinaison de la pente des versants et du climat qui constitue la première entrée pour expliquer la diversité des fonctionnements hydro-

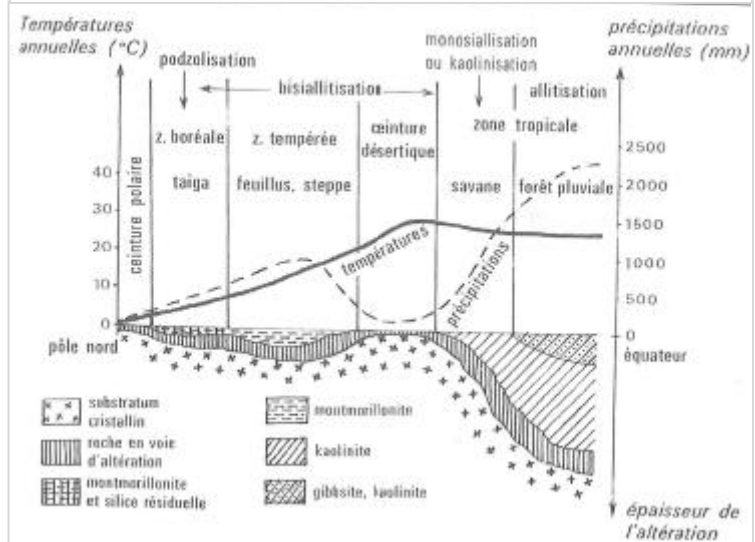
géomorphologiques des petites entités hydrographiques. Nous ne reprendrons pas ici tout le panel de fonctionnements

hydrogéomorphologiques des têtes de bassin du monde, nous aborderons cette typologie par sa cartographie en troisième partie. Cependant, attardons-nous un peu sur des phénomènes anciens et générateurs, expliquant une situation actuelle du colluvionnement et de l'hydromorphologie des petits bassins

versants et petits cours d'eau de la zone tempérée, dans un contexte où l'époque tertiaire fut une étape de préparation de matériaux mobilisables par les agents de transports du quaternaire. Les processus chimiques furent particulièrement actifs sous des climats tropicaux tantôt secs tantôt humides. Les phénomènes de latérisation dissocient les différents minéraux sur de grandes profondeurs, parfois une dizaine de mètres.

En reprenant les travaux de Schumm, Giret A., explique dans son article « *L'incision quaternaire des réseaux hydrographiques* », les étapes de la constitution des réseaux hydrographiques actuels. Sous nos climats tempérés, la configuration actuelle des réseaux hydrographiques est « récente », elle était totalement différente, il y a 1,8 millions d'années. La configuration actuelle de nos vallées est le résultat d'alternances glaciaires et interglaciaires. Avant cela, les réseaux hydrographiques des latitudes moyennes ressemblaient aux actuels réseaux des latitudes tropicales.

Figure 62 : Effet des climats sur la formation des sols, Valadas B., 2004



En période interglaciaire le couvert végétal et les régimes hydrologiques stables réduisent le potentiel de fourniture, les rivières de l'aval s'incisent vers l'amont, au-delà de leur point d'équilibre situé entre la fin de la tête de bassin et les grandes rivières.

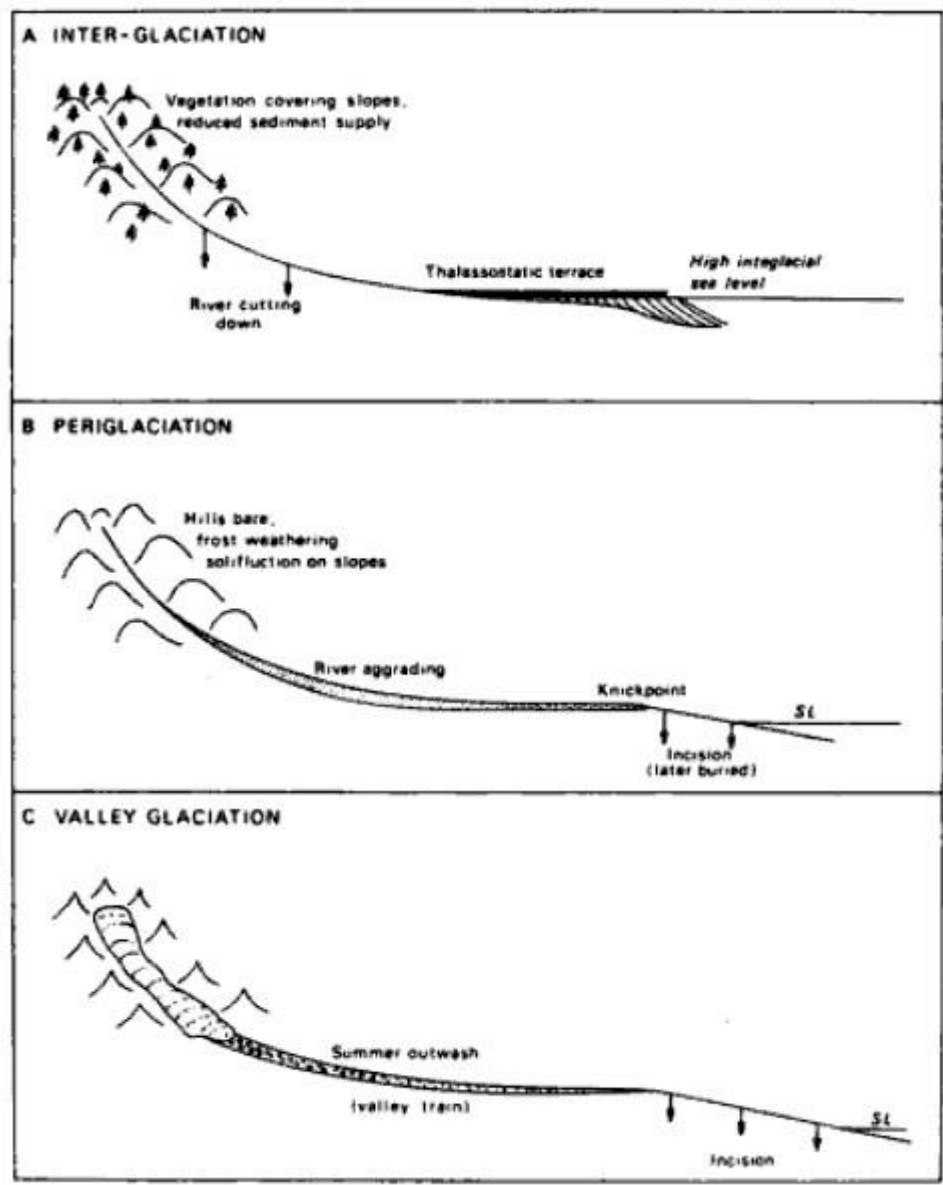
En période périglaciaire, les collines sont dénudées, la gélifraction est intense, ainsi que la solifluxion sur les pentes. Les versants des têtes de bassin sont très productifs avec des colluvionnements intenses, les dépôts dans les cours d'eau

de l'aval sont importants. Les rivières s'incisent vers l'amont dans les alluvions fournies à l'interglaciaire par les têtes de bassin, le point d'équilibre se situant plus en aval du fait de la baisse du niveau des mers.

En période glaciaire, la tête de bassin est sous les glaciers, les rivières s'écoulent sur des plaines glaciaires composées de graviers et de sables, plus fins que les matériaux des moraines, et pouvant être transportés par les eaux.

Les phénomènes d'érosion et d'accumulation du quaternaire seraient alors extrêmement complexes, car issus de la rencontre et de l'affrontement entre l'érosion régressive à partir des têtes de bassin de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins

Figure 63 : Le comportement des rivières en période : A interglaciaire, B périglaciaire, C glaciaire d'après Clayton 1977, in Chorley et al., 1984

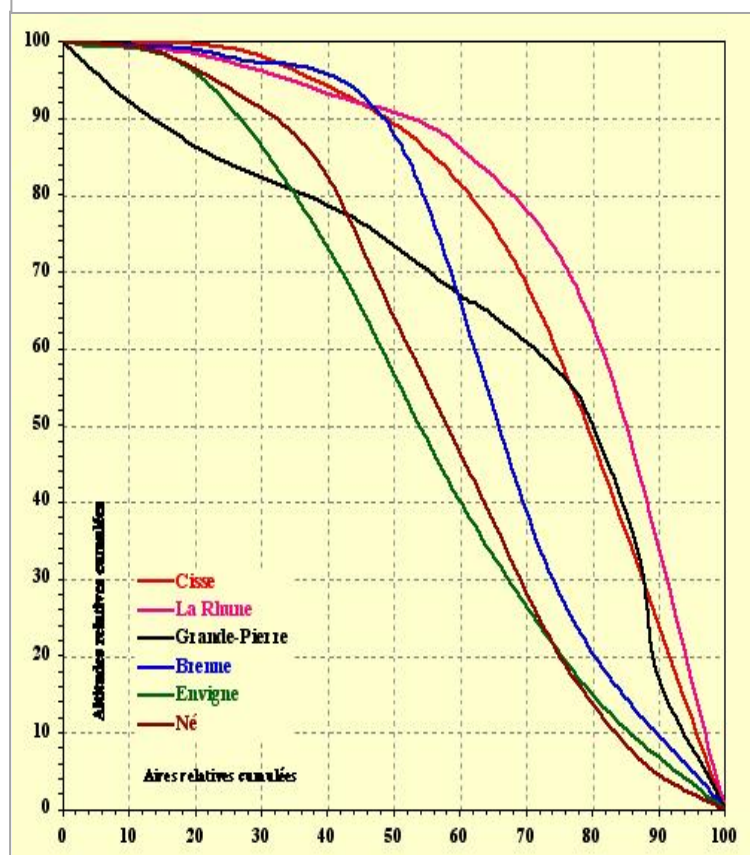


niveaux de base marins qui varient horizontalement et verticalement, la production sédimentaire en tête de bassin, les stockages et déstockages en zone de transfert, et des cours d'eau devant inciser leurs propres alluvions avant d'éroder le substrat.

Cette situation générale est à décliner un peu différemment dans nos régions qui n'étaient pas des régions d'inlandsis, mais plutôt partiellement recouvertes par les glaciers dans les reliefs les plus élevés du Massif Central, et les montagnes jeunes. Giret A. explique alors qu'au quaternaire, l'ambiance périglaciaire favorisait la météorisation des roches et la constitution de plaines alluviales pendant les débâcles en périodes glaciaires, alors qu'en périodes interglaciaires, la charge spécifique était réduite, et l'écoulement plus agressif, permettant au cours d'eau d'inciser ses propres alluvions puis le substrat, participant ainsi à l'incision de la vallée. L'ambiance interglaciaire est marquée par un écoulement pérenne sous un couvert forestier, et favorise ainsi la stabilité hydrodynamique. En revanche, l'ambiance périglaciaire favorise la constitution de réserve de neige et de glace, la toundra supplante la forêt. L'été survient brutalement avec la remontée de l'anticyclone subtropical. Le climat est plus chaud et accompagné de passages pluvieux, ceci génère de violentes débâcles. L'eau issue de la fonte de la neige, de la glace et du permafrost est alors abondante, et est libérée brutalement. Les colluvions grossières générées par la cryoclastie et accumulées dans les talwegs étaient reprises en charge.

Le rôle des têtes de bassin actuelles dans ces phénomènes a plus particulièrement été étudié par Giret A. qui choisit comme terrain de recherche des cours d'eau des réseaux hydrographiques et de talwegs de rangs 1 à 4 dont certains sont en partie secs ou totalement secs aujourd'hui. Giret A. en analysant les profils hypsométriques des bassins versants de rivières du centre-ouest français : la Cisse, La Rhune, La Grande Pierre, La Brenne, L'Envigne, et la Né illustre le fait que tous ces profils sont inachevés, exprimant ainsi une « extrême jeunesse ». En effet, ils sont soit tendus soit encore convexes. Leur incision est inachevée. C'est le réseau réel, ces réseaux de talwegs

Figure 64 : Profils hypsométriques de cinq petits bassins versants du centre-ouest de la France, Giret A., 2006



qui se poursuivent au-dessus des lignes de sources actuelles (Lambert R., 1996) qui a démantelé les surfaces cénozoïques. Dans la plupart des cas, un cours d'eau actuel de rang 5 est un talweg de rang 6. Les rangs 1 à 4 sont les rangs situés dans la zone de production, c'est de leur incision que proviennent les alluvions des cours d'eau des zones de transfert et de stockage. Les rangs 6 méandrent maintenant dans leur plaine alluviale et d'inondation, les dépôts limoneux qui y surviennent en période de crue illustrent bien leur situation en zone de transfert. L'auteur explique qu'il y a eu un déplacement vers l'aval de la zone de production entre les passages périglaciaires et interglaciaires, ce qui a induit une érosion linéaire sur l'ensemble du profil longitudinal, phénomène en opposition avec la théorie classique de l'érosion régressive puisque l'érosion affecte tout le linéaire à des périodes différentes. La zone de transfert est maintenant l'amont des bassins versants qui est devenu la zone de production. Ceci est un phénomène très important car il explique la complexité géomorphologique des bassins versants et la présence de replats alluvionnaires dans les lits majeurs des petits cours d'eau qui sont aujourd'hui incapables de les alluvionner. C'est un élément également très important concernant la pédologie des berges et les fonds de vallées des ruisseaux. Actuellement, les ruisseaux recherchent leur profil d'équilibre dans les replats alluviaux et colluviaux qu'ils ont eux-mêmes formés.

3.1.2. Dynamique hydromorphologique actuelle des hydrosystèmes

La puissance spécifique du cours d'eau est en lien direct avec sa capacité à remodeler son lit et éroder ses berges. Elle s'exprime en watts/m² et peut qualifier un tronçon de cours d'eau vis-à-vis de sa capacité à réaliser sa morphogenèse. Elle est calculée en multipliant la pente par le débit de plein bord qui est apparenté au débit de crue biennale. Ce produit est à son tour multiplié par le poids volumique de l'eau et l'accélération de la pesanteur et divisé par la largeur de la section mouillée en débit de plein bord. Brookes en 1988, puis Wasson en 1998 déterminent un seuil de 35 W/Km² au-delà duquel, le cours d'eau est capable de façonner son lit et ses berges. Malavoi J-R., en reprenant ces travaux abaisse ce seuil à 25 W/m² sur certains cours d'eau.

Figure 65 : Valeur des puissances spécifiques pour lesquelles les cours d'eau peuvent renaturaliser leur chenal après une artificialisation, Malavoi J-R., Bravard J-P., 2010

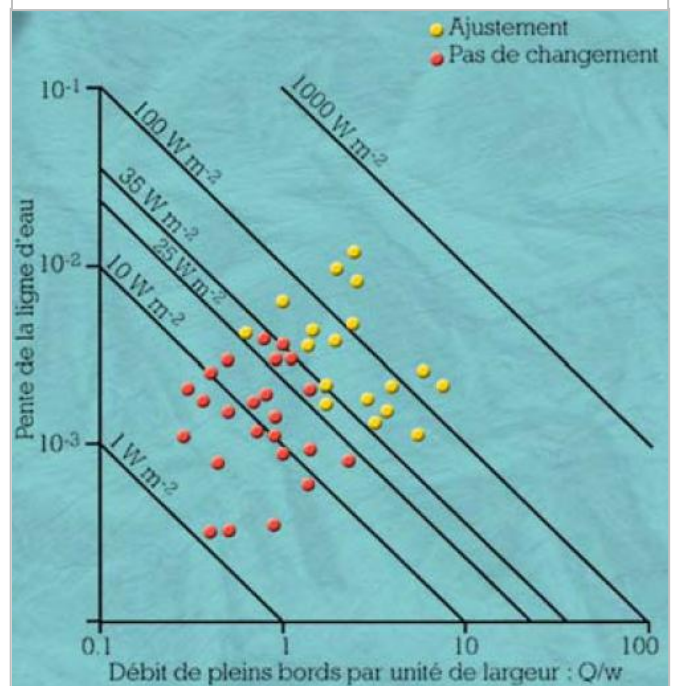


Tableau 18 : Proposition de classes de puissances spécifiques vis à vis de l'érodabilité des berges, et du potentiel d'apport solide par les cours d'eau de Malavoi J-R., 2007

	1	2	3	4
Puissance – W	< 10 W/m ²	10-30 W/m ²	30-100 W/m ²	> 100 W/m ²
Erodabilité des berges – B	Nulle	Faible	Moyenne	Forte
Potentiel d'apports solides – A	Nul	Faible	Moyen	Fort

En plus d'être liée à la dynamique morphologique des berges, la puissance spécifique conditionne également la mobilisation des éléments du lit. La taille des éléments mobilisés augmente avec la puissance spécifique. Comme ci-contre sur une rivière en gorge des Cévennes.

Figure 67 : Pente moyenne de la vallée des cours d'eau par rang de Strahler et par hydroécocorégion du bassin de la Loire, Souchon Y., et al, 2000

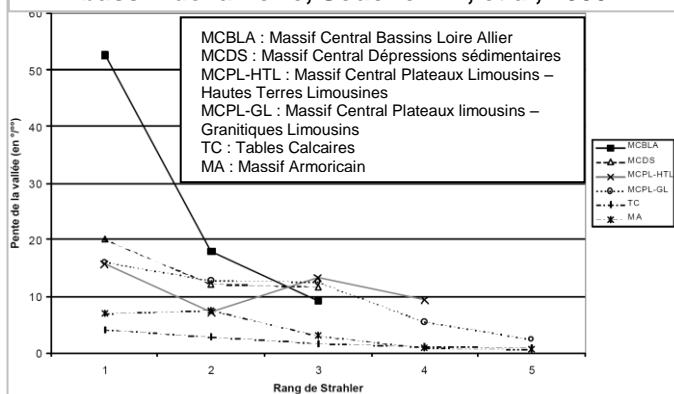


Figure 68 : Moyennes des débits de plein bord des cours d'eau du bassin de la Loire par hydroécocorégion et par rang, Souchon Y., et al, 2000

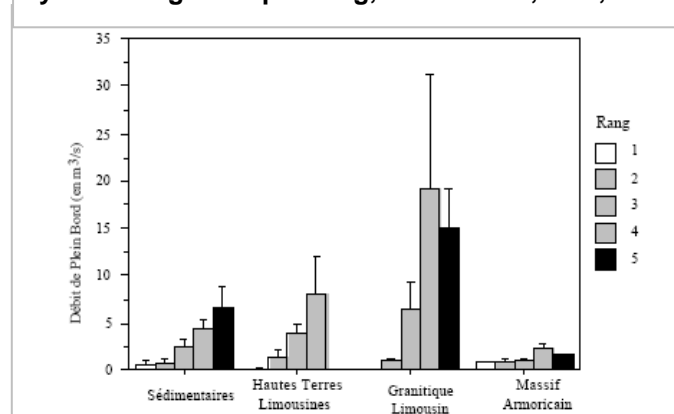
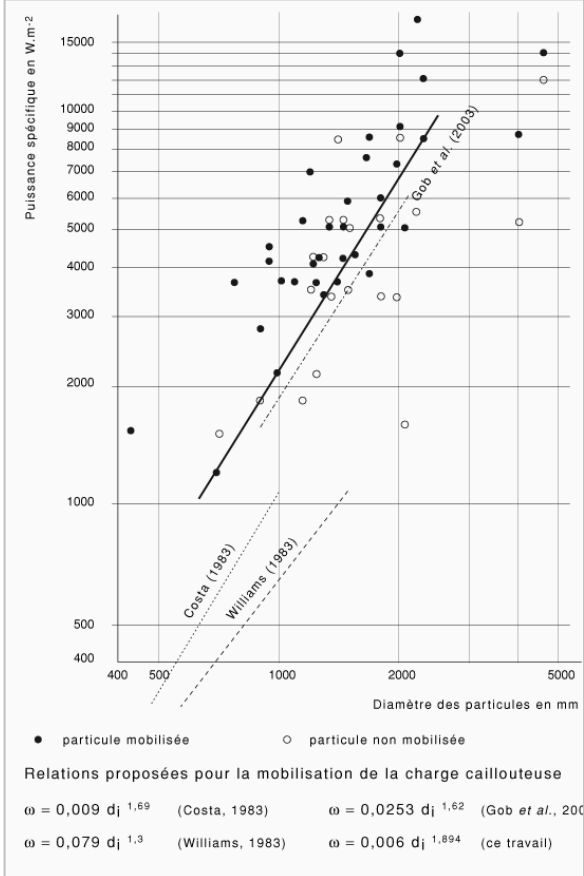


Figure 66 : Relations entre la taille maximale des éléments granulométriques charriés et la puissance spécifique des cours d'eau, Jacob et al., 2005



Sur les rangs 1, la pente est généralement la plus forte, cependant, le facteur limitant semble être le débit pour que ces rangs franchissent le seuil de Brookes.

Pour les rangs 2 et 3, l'augmentation des débits de plein bord leur permet de dépasser ce seuil à pente égale. Jusqu'au rang 3, c'est le débit qui semble être le facteur dominant la puissance spécifique des petits cours d'eau.

La chute brutale de la puissance à partir des rangs 4 ne peut être due aux débits de pleins bords qui devraient être logiquement plus importants que sur un rang inférieur, mais plutôt à la pente. Les apports de matière et d'énergie importants venant des ruisseaux de l'HER Granitique Limousin sont donc dus à leur pente plus importante que les cours d'eau de plus gros gabarit mais s'écoulant sur des fonds de vallée moins pentus.

Figure 69 : Moyennes des puissances spécifiques des cours d'eau du bassin de la Loire par rang et hydroécocorégion, Souchon Y., et al, 2000

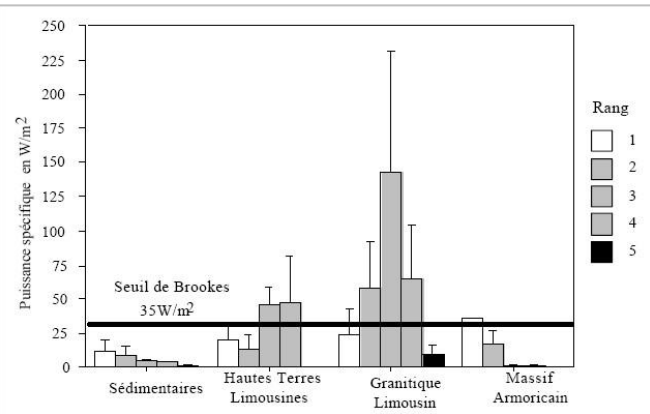
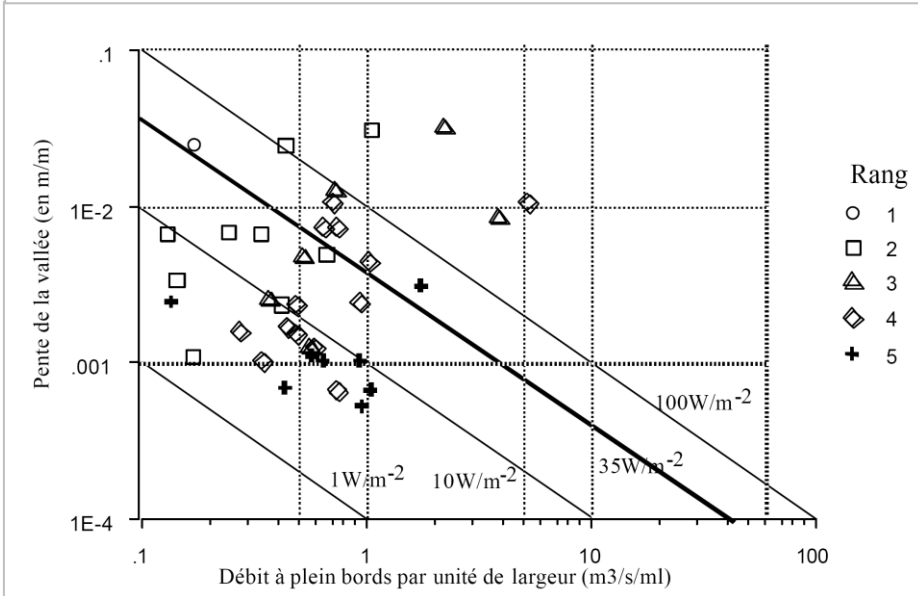


Figure 70 : Seuils de puissance spécifique et relation avec la pente des vallées et les débits de pleins bords pour les cours d'eau de l'hydroécocorégion " Massif Central Granitique Limousin", Souchon Y. et al., 2000



Si un ruisseau a une pente insuffisante ou quasi nulle, la puissance spécifique va également être nulle. Pour une région climatique et hydrologique homogène, la pente va être déterminante dans l'hydromorphologie du cours d'eau. C'est alors que les profils longitudinaux sont très importants dans l'étude des ruisseaux.

Sur le bassin de la Loire, ce sont les ruisseaux des hautes terres limousines et du socle granitique limousin qui ont les plus fortes puissances.

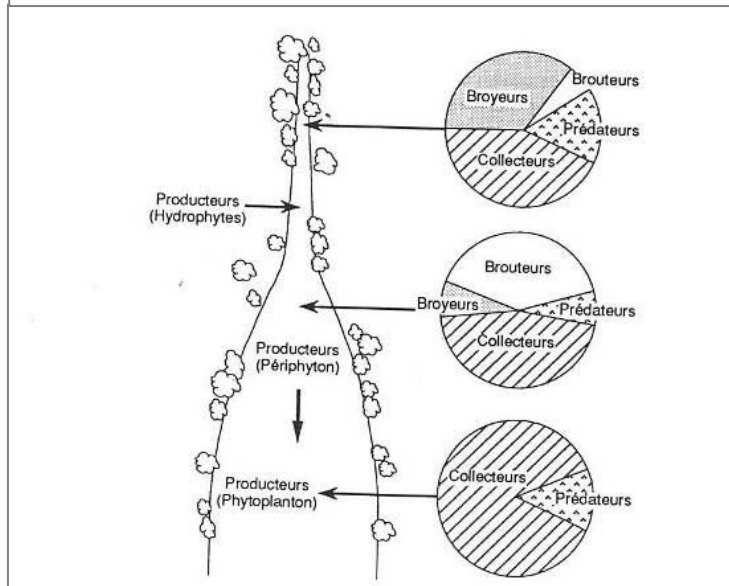
La tête de bassin limousine serait donc une région à fort pouvoir morphodynamique.

S'ils ont un tel pouvoir de production sédimentaire, celui-ci n'est pas égal du rang 1 au rang 4. Il s'avère que ce sont les tronçons de rang 3 qui ont la plus forte puissance qui dépasse le seuil de Brookes. Nous tenterons d'interpréter cela sur le terrain.

La fourniture de matière minérale par les têtes de bassin versant a connu son apogée aux périodes périglaciaires et interglaciaires, de nos jours, il s'agit surtout d'une reprise de matériaux des berges et du lit, et du transport de matière organique. Cette matière organique allochtone peut être composée de

litières forestières, ou encore des éléments organiques d'un sol de berge. La nature des sédiments issus des petits cours d'eau va donc dépendre de la nature des sols et de leur occupation, mais aussi de la capacité du cours d'eau à transformer et à consommer la matière organique allochtone par le biais des processus chimiques et le travail des invertébrés. Ainsi, les invertébrés broyeur occupent une bonne part dans le peuplement d'invertébrés benthiques des ruisseaux, leur rôle dans l'assimilation de la matière organique par le cours d'eau en la transformant mécaniquement est très important.

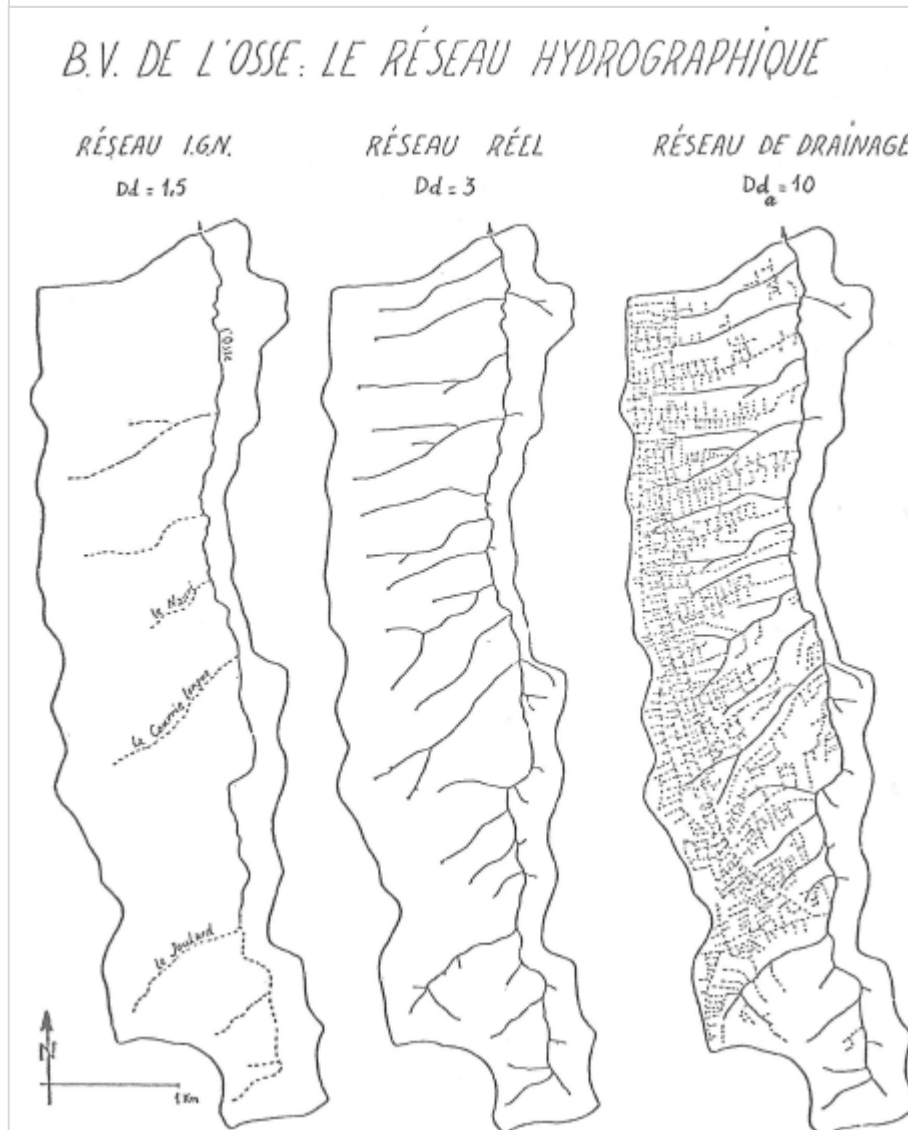
Figure 71 : Distribution des invertébrés dans un cours d'eau, de l'amont vers l'aval (d'après Vannote et al. 1980), in Petts et Amoros, 1993



3.1.3.L'homme architecte des petits réseaux hydrographiques

Les actions de l'homme sont à considérer dans la densité de drainage des bassins versants comme l'a montré Roger Lambert, l'homme participe à l'extension du réseau hydrographique par les rigoles d'irrigation ou de drainage, ou à l'inverse à sa réduction par le drainage enterré. Lambert R., (1996) montre que le réseau de drainage peut augmenter considérablement la densité de drainage.

Figure 72 : Cartes du réseau hydrographique de l'IGN, réel et complété par le réseau de drainage sur le bassin versant de l'Osse, R. Lambert, 1996



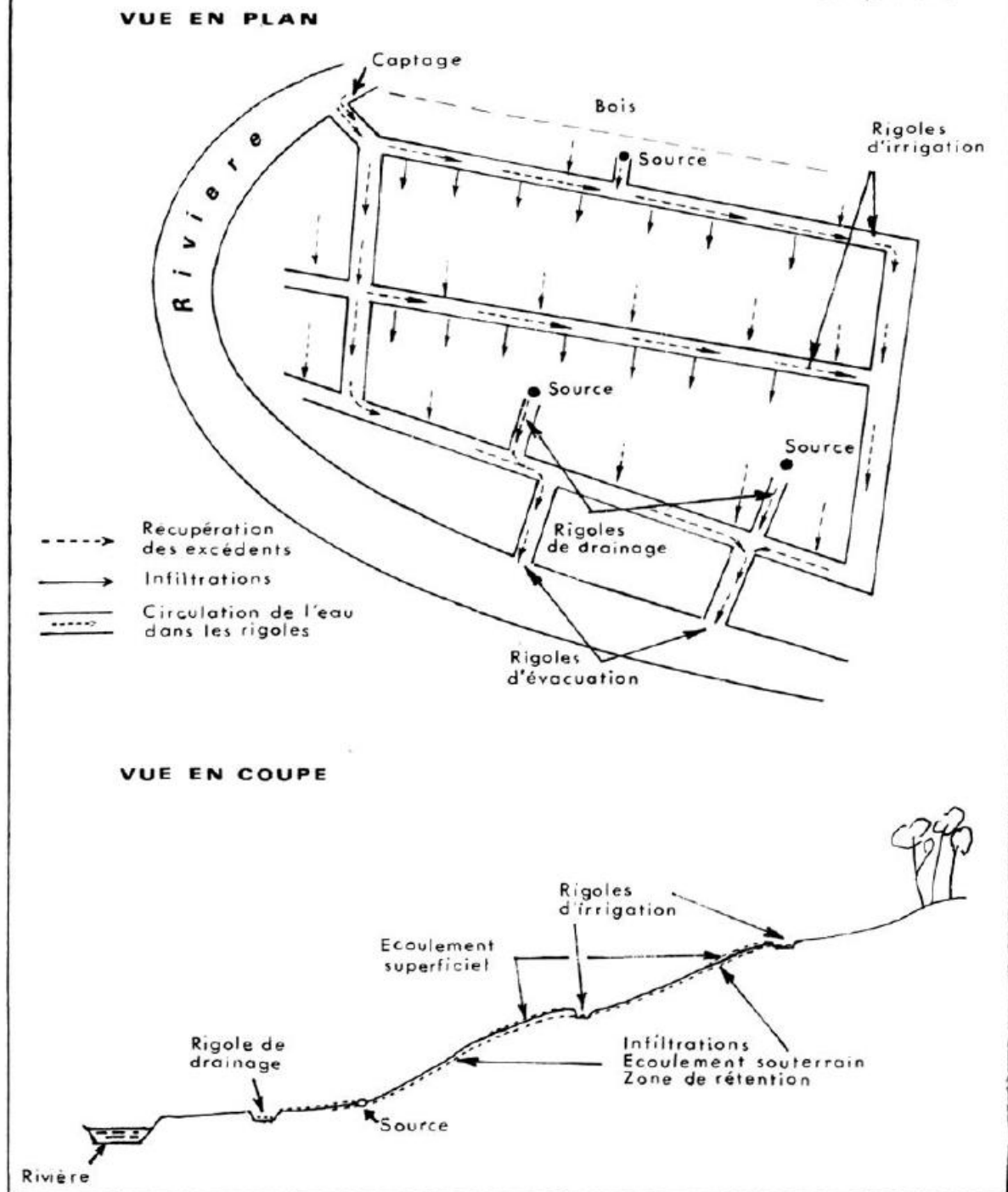
En région d'élevage comme en Limousin, l'eau fut répartie par l'irrigation et le drainage afin de limiter l'hydromorphie d'une part et arroser des terrains de versants naturellement plus secs d'autre part. Cette maîtrise de l'eau n'était pas sans effet sur la végétation recherchée pour ses rendements fourragers. Les végétations hygrophiles et mésophiles étaient poussées vers un caractère méso-

hygrophile, d'un plus fort rendement. Les représentations suivantes furent publiées par Peyrat M., en 1974. Elles illustrent cette répartition puis les effets de son abandon sur les prés riverains. Pour l'auteur, l'abandon de ce travail de répartition des eaux crée des bourbiers et favorise l'évaporation et la présence des joncs. Les terres sont mal valorisées, du fait d'une alternance de zones trop hydromorphes et de zones sèches.

Nous verrons cependant que le jonc diffus « *juncus effusus* » peut devenir envahissant pour des raisons combinées à ce phénomène comme le tassement du sol.

Figure 73 : Plan exemple d'une prairie aménagée avec rigoles ;
Peyrat M., 1974

Croquis n° 2



L'abandon de certaines pratiques de drainage et d'irrigation coïncide avec l'arrêt de l'entretien du réseau de lèves et de rigoles traditionnelles.

Figure 74 : Plan exemple d'une prairie où les rigoles ont disparu ; Peyrat M., 1974

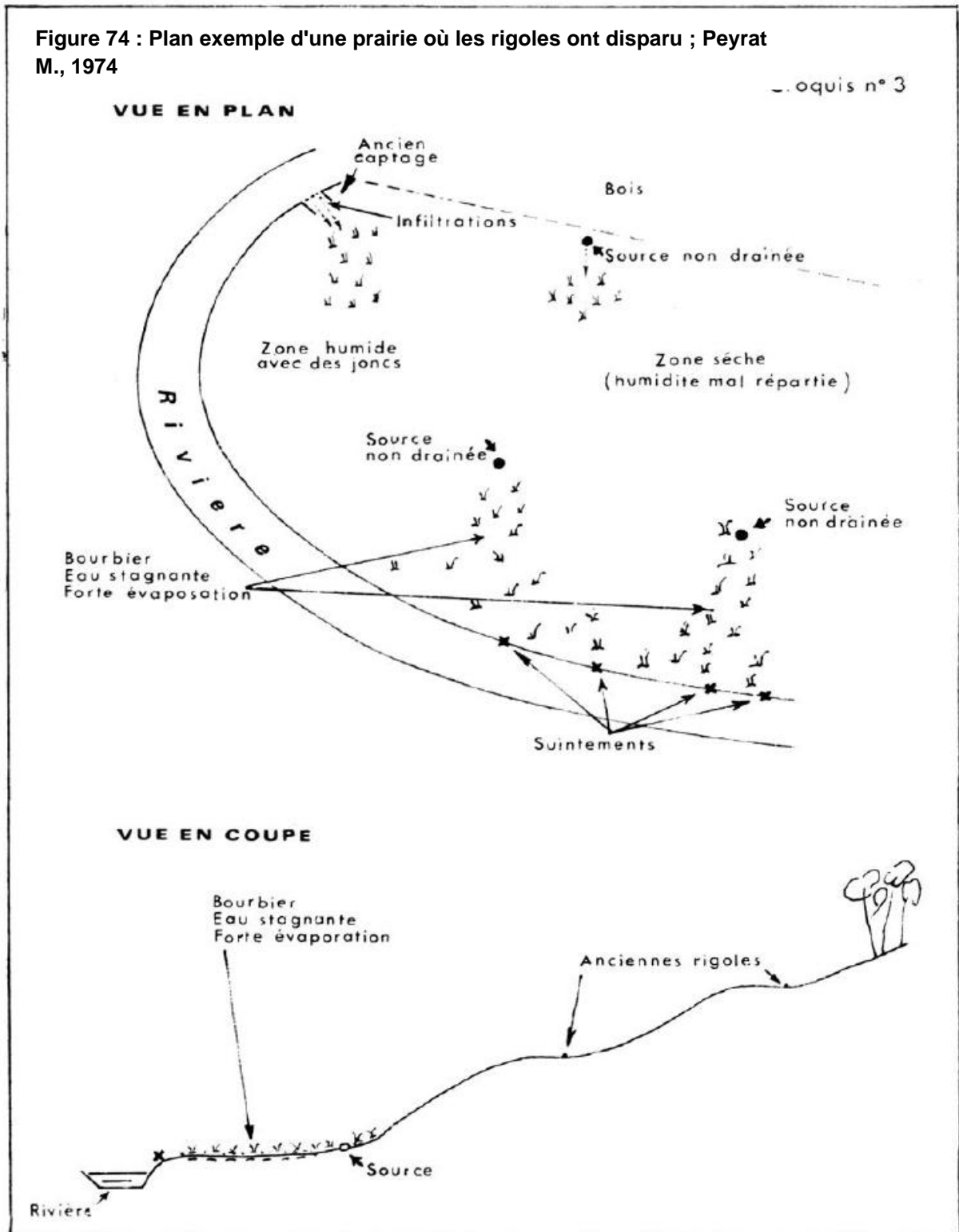
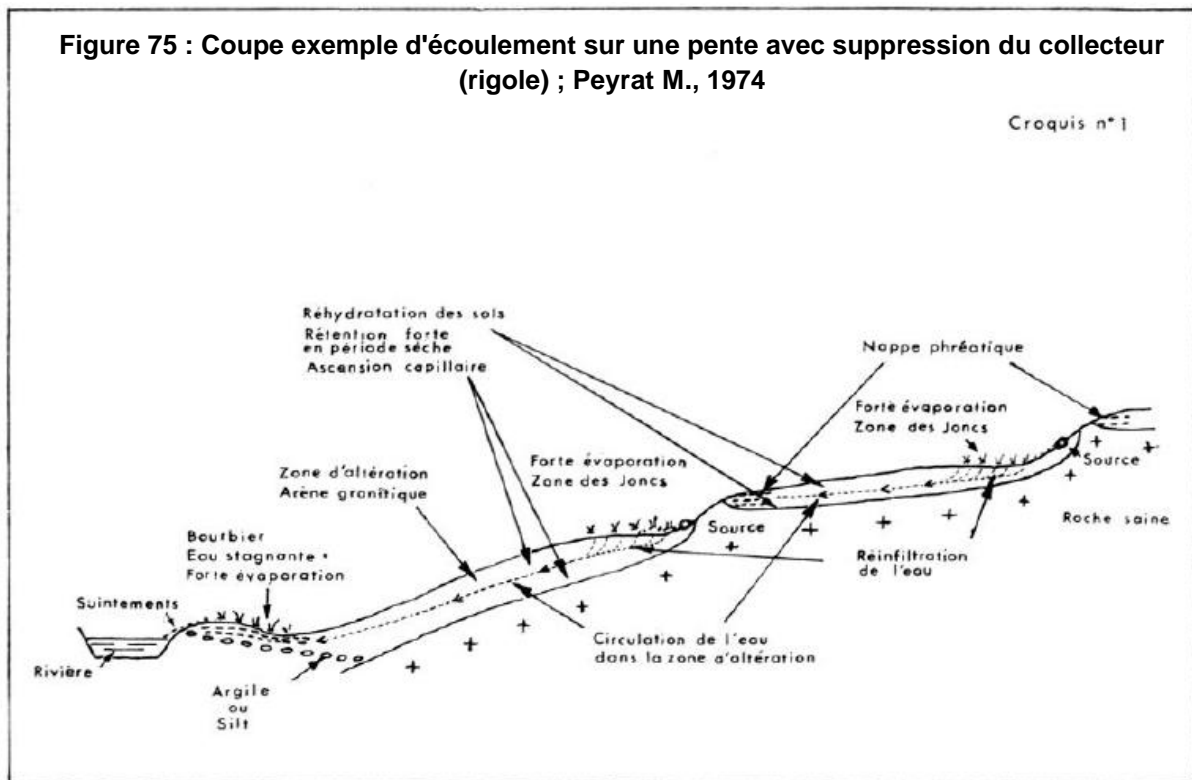


Figure 75 : Coupe exemple d'écoulement sur une pente avec suppression du collecteur (rigole) ; Peyrat M., 1974



3.2. Relations entre les petits cours d'eau et leur environnement

La densité de drainage (somme totale des écoulements / surface du bassin versant) sur des petits bassins versants cristallins se rapproche de 1 c'est-à-dire qu'une surface de 1 km² est drainée par 1 km de cours d'eau (Gregory et Walling, 1973). Il en découle que les petits cours d'eau représentent les linéaires les plus importants dans les grands bassins versants. Ceci est confirmé par Bravard J-P. et Petit F. en 1997, les plus fortes densités de drainage sont alors attribuées aux BV de l'Eyrieux et du Tech. Elle est de l'ordre de 1 pour les BV à substrat diversifié. En ce qui concerne les BV calcaires, les densités de drainage sont comprises entre 0,4 et 0,8.

Les recherches récentes sur le bassin de la Loire montrent que les densités de drainage sur ce bassin varient entre 0,65 sur les plaines calcaires à 1 dans les vallées alluviales.

Tableau 19 : Les densités de drainage dans les différentes HER du bassin de la Loire

Hydroécocorégion (bassin Loire)	Densité de drainage Km/Km ²
Granitique Limousin	0,95
Hautes Terres Limousines Humides	0,86
Massif Armoricaïn	0,91
Tables Calcaires	0,65
Vallées Alluviales	1
Massif Central Bassin Loire Allier	0,99
Loire	0,83

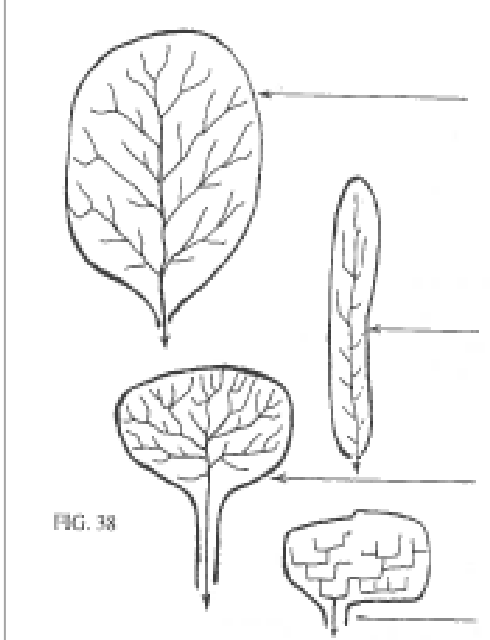
Ces valeurs reflètent bien la dépendance des petits cours d'eau à leur bassin versant. La distance permettant l'absorption des résidus de l'activité est toujours faible. De plus à la notion de petits cours d'eau s'associe obligatoirement la notion de petits débits. Les petits cours d'eau sont beaucoup plus vulnérables aux pollutions car ils ont un pouvoir de dilution réduit. La seule protection qu'ils aient, c'est le potentiel d'autoépuration, qui est bien entendu lié à la dilution, mais également aux organismes aquatiques. Les faunes et flores aquatiques ne se développent que si les conditions hydromorphologiques le permettent.

Par cette simple relation spatiale entre le ruisseau et son bassin versant, la vulnérabilité des petits cours d'eau est bien perceptible. Le ruisseau est certainement la composante de l'hydrosystème qui est la plus influencée par l'homme et ses activités.

La qualité de la quantification linéaire de chaque rang ainsi que les calculs des densités de drainage dépendent bien évidemment de la qualité des cartes topographiques utilisées.

3.2.1. Transferts hydrologiques actuels dans les bassins versants

Figure 76 : Schéma de 4 types de réseau hydrographiques : Lambert R., 1996



La forme du bassin versant est un élément très important dans l'hydrologie des cours d'eau. Lambert R., en 1996, recense ces différentes formes et les compare à des formes d'arbres.

Le type chêne a une ramification bien développée comme celle du houpier du même arbre. Il a un espacement régulier des confluences.

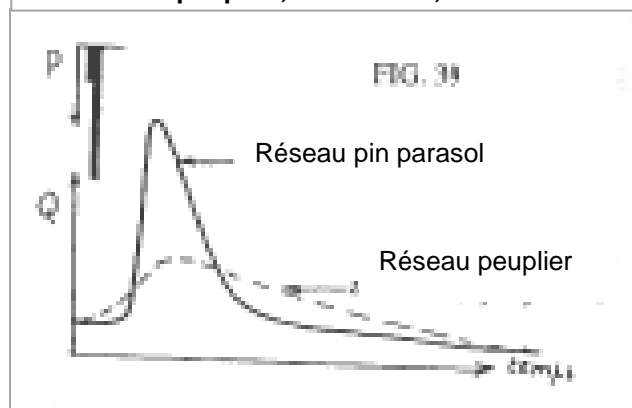
Le type peuplier ou couloir de Tricart J., draine un bassin versant nettement plus allongé que large, Il a un rapport de confluences élevé, et de nombreux affluents parallèles.

Le type pin pignon ou entonnoir de Tricart J., concentre les confluences dans le secteur amont, le cours principal ne reçoit plus d'affluent dans la zone à l'aval.

La structure du réseau hydrographique est primordiale dans la formation des crues. Selon le type de géométrie, les ondes de crues en provenance des affluents confluent plus ou moins simultanément dans le cours principal ou se suivent les unes derrière les autres. Cette simultanéité des crues est croissante du type peuplier au type pin pignon.

Un autre moyen d'apprécier la forme du bassin versant est le coefficient de compacité (K_c) qui compare sa forme à celle d'un cercle. Plus le bassin a un contour qui se rapproche de la forme d'un cercle comme le type pin pignon, plus la réponse aux crues sera simultanée et rapide.

Figure 77 : Comparaison des hydrogrammes de crue d'un réseau en pin parasol et d'un réseau en peuplier, Lambert R., 1996



La tête de bassin étant une région, la forme du bassin versant va être primordiale pour sa délimitation. En effet, si plusieurs formes de bassins versants existent, plusieurs formes de tête de

bassin existent également. Les confluences successives et les apports hydrologiques dépendent de cette organisation, et avec eux l'influence hydrologique des ruisseaux sur l'hydrologie du drain principal.

Le coefficient de compacité est le rapport entre la forme du bassin versant et celle d'un cercle de même surface. Il permet d'apporter les premières informations sur le comportement hydrologique du cours d'eau. En effet, le temps de réponse du cours d'eau suite à une période de précipitations dépend entre autres de ce coefficient qui se calcule de la façon suivante :

$$Kc = P / 2\sqrt{(\pi A)}$$

P est le périmètre du bassin versant en km

A est la surface du bassin versant km²

Kc est le coefficient de compacité

Plus un bassin versant a un Kc proche de 1, plus la réponse aux précipitations sera rapide. En revanche, un Kc se rapprochant de 2 signifie que la réponse sera longue. En effet la longueur du ruissellement et des écoulements est plus importante sur un bassin allongé que sur un bassin compact. L'utilisation d'un SIG permet de réaliser rapidement les mesures nécessaires au calcul de ce coefficient.

En hiver, lorsque les précipitations ont participé au remplissage des petites zones de rétention, un abat d'eau plus important et plus intense peut provoquer des crues. C'est ce qui s'est passé en janvier 2004 en Limousin. La Bedaine, cours d'eau affluent de la Maronne ayant un bassin versant de 4,5 km² et un réseau intermédiaire entre le type pin pignon et poirier a vu son débit considérablement augmenter. Les têtes de bassin qui délivrent habituellement un débit de 500 l/s ont apporté plus de 2500 l/s. En tenant compte des débits spécifiques mesurés en tête de bassin, nous avons estimé le débit de la Bedaine à la confluence avec la Maronne à 6,5 m³/s. Ainsi, le débit de cette petite rivière a été multiplié par plus de 100.

Si on observe la situation plus en détail, le ruisseau de l'Espinet de type peuplier a une augmentation de débit moindre en comparaison à la Vialoire et au Loncaye qui ont des réseaux hydrographiques intermédiaires entre le type pin pignon et poirier.

Figure 78 : Le bassin versant et le réseau hydrographique de la Bedaine ; N., Lhéritier, 2005

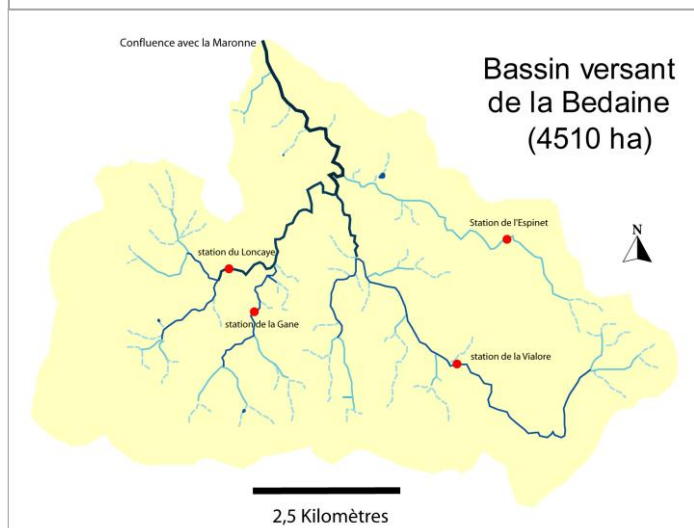
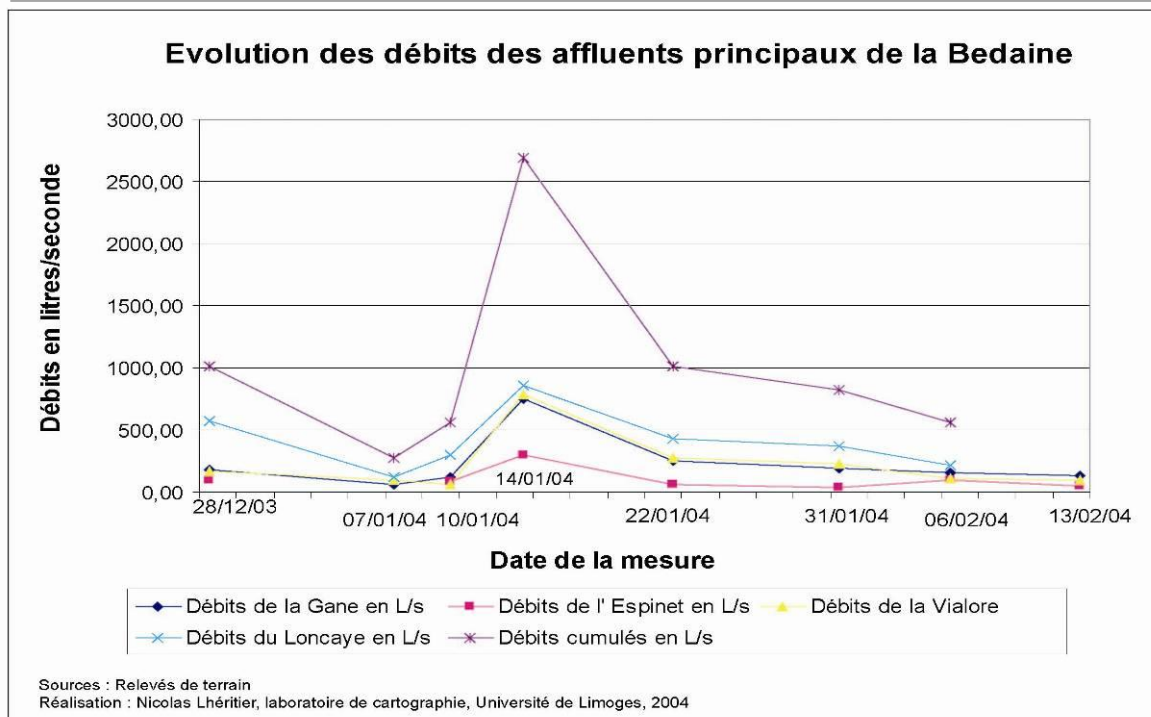


Figure 79 : Les débits des principaux affluents de la Bedaine, entre le 28/12/03 et le 13/02/04



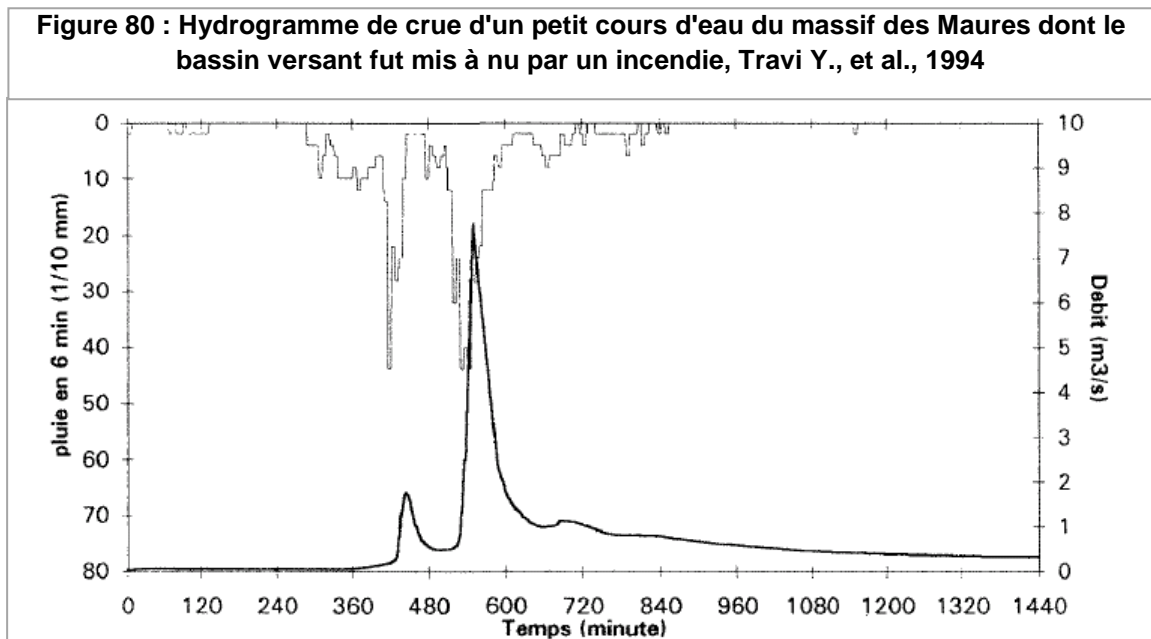
Photographie 12 : Deux photographies de la Bedaine au niveau de la prise d'eau de la microcentrale en été 2003 et en février 2004



L'hydrogramme suivant est un cas particulier et illustre une réponse extrêmement rapide d'un petit cours d'eau méditerranéen aux crues du 9 décembre 1990, ayant un bassin versant de 1,47 km² dans le massif des Maures. La totalité du bassin versant a été mise à nu suite à un incendie en août 1990.

Deux pics d'importances inégales sont visibles.

Le premier correspond à un débit de pointe de 1,77 m³/s et fait suite à une précipitation intense et de courte durée. Le second pic s'élève à 7,75 m³/s, il a pour origine une pluie d'intensité identique mais de plus longue durée.

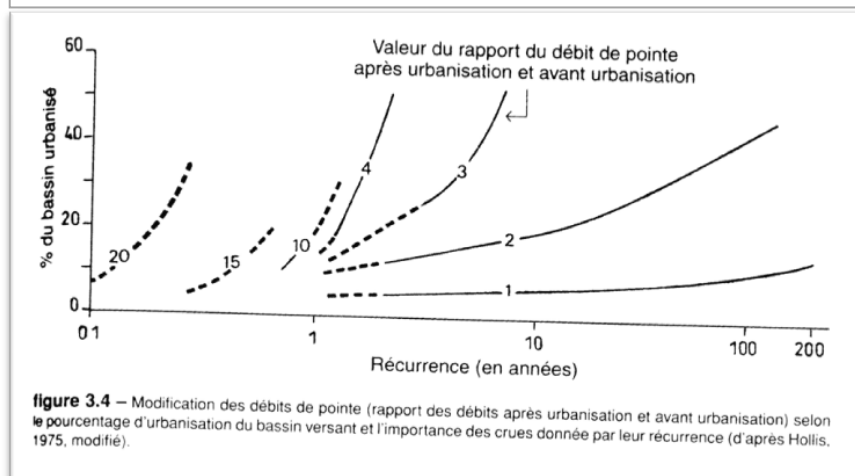


Dans les deux cas, le temps de réponse du cours d'eau n'a pas excédé les 20 minutes.

Le débit décroît ensuite très rapidement, une heure après la deuxième crue, il redescend à 1,86 m³/s.

L'urbanisation et l'imperméabilisation des impluviums augmentent considérablement les temps de réponse aux précipitations, une élévation des pics hydrologiques et la récurrence des crues surtout celle des plus fréquentes. L'urbanisation affecte beaucoup plus les débits de pointe de faible récurrence que les crues de récurrence exceptionnelle comme l'illustre le graphique ci-dessous.

Figure 81 : Modification des débits de pointe selon le pourcentage d'urbanisation du bassin versant, Bravard J-P. et Petit F., d'après Hollis 1975 modifié



3.2.2.Échanges hydrologiques entre les ruisseaux et les zones humides

Les zones humides ont pour effet de retarder le transfert entre l'évènement pluvieux et la réponse hydrologique du cours d'eau. Avec ce retardement du transfert, le débit est régulé et l'apport en eau est étalé dans le temps comme l'illustre le graphique de Novitski (1979) qui compare le bassin A, comprenant 30 % de zones humides et de lacs et le bassin B urbanisé. Le pic de crue sur le bassin B est supérieur de 60 à 80 % par rapport à celui du bassin A. Le rôle de la zone humide est donc d'écrêter la crue

et de diminuer le risque d'inondation si on s'attache à la sécurité des biens et personnes. D'un point de vue hydromorphologique, la diminution du pic de crue permet de limiter la puissance instantanée du cours d'eau pouvant accentuer le phénomène d'érosion de berge et de transport sédimentaire. D'un point de vue hydrobiologique, il permet aux espèces de ne pas connaître de stress dû aux variations importantes de débit générant des migrations forcées vers des zones où les hauteurs d'eau sont plus importantes en période d'étiage.

La quantité d'eau disponible pour le cours d'eau et provenant de la zone humide dépend du rapport entre l'évapotranspiration de la zone humide et les apports d'eau par précipitation. Le transfert entre le cours d'eau et la zone humide se fait soit par débordement lorsque la zone humide est gorgée d'eau et que le niveau de la nappe est plus élevé que celui du sol soit par les berges et le lit du cours d'eau (en transitant par la zone hyporhéique).

Figure 82 : Effets comparés des précipitations sur des bassins versants imperméabilisés et pourvus de zones humides, présenté par Barnaud G., 2009

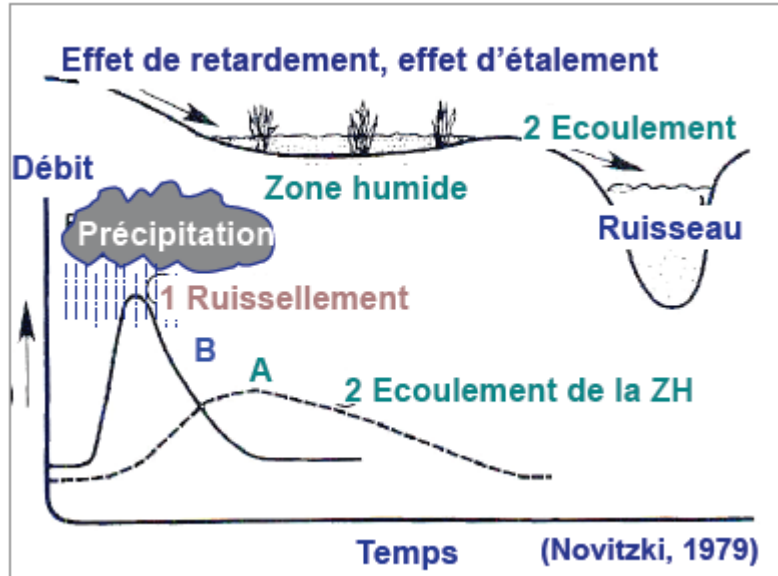
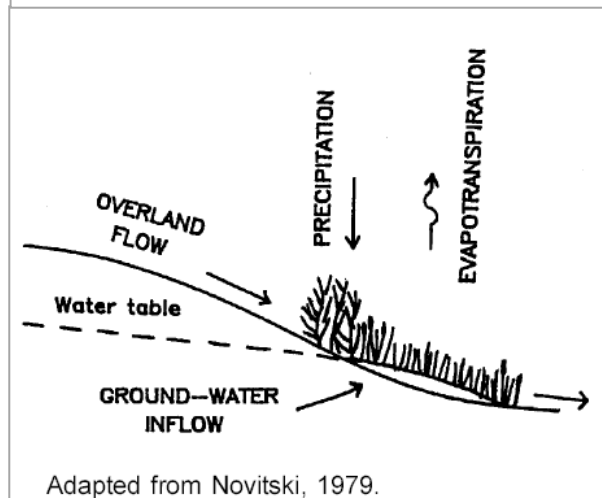


Figure 83 : Schématisation du bilan hydrologique d'une zone humide, présenté par Barnaud G., 2009



Adapted from Novitski, 1979.

Cependant, lorsque les zones humides de petites dimensions sont gorgées d'eau, le pouvoir d'écrêtement des crues est diminué, comme a pu le montrer Roulet N-G. (1991). En 1987 et 1988, Roulet N-G. évalue la réponse hydrologique de très petits cours d'eau face à des précipitations orageuses estivales. La particularité du site d'étude réside en la présence de zones humides qui restent gorgées d'eau en été. Sur les 1,57 Km² de bassin versant, 0,31 km² sont des fonds de vallée composés de zones humides. Roulet N-G. montre

Figure 85 : Relation entre une averse orageuse et le débit d'un petit cours d'eau lorsque les zones humides riveraines sont gorgées d'eau d'après Roulet N-G., 1991

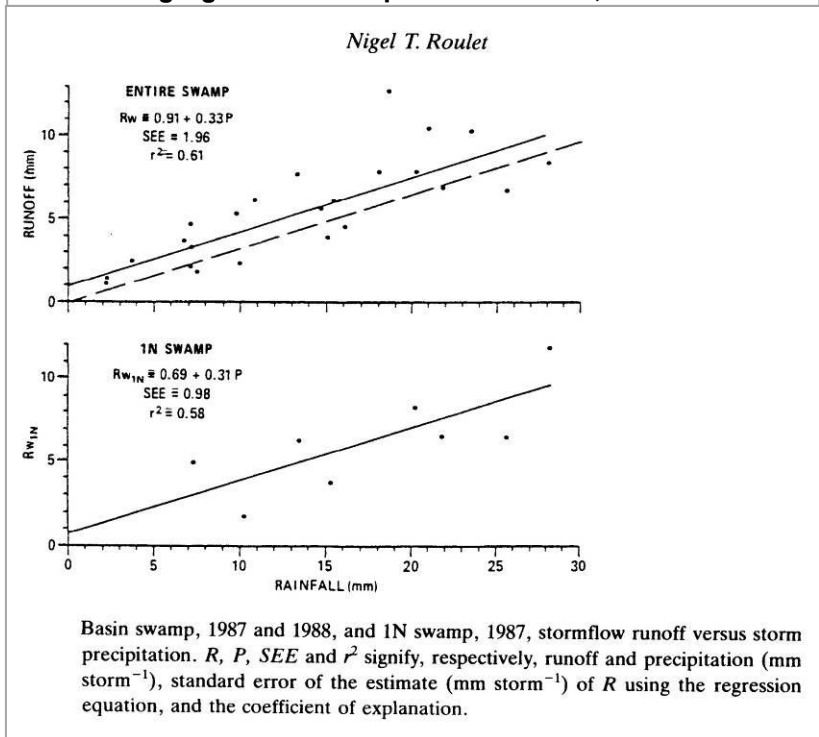
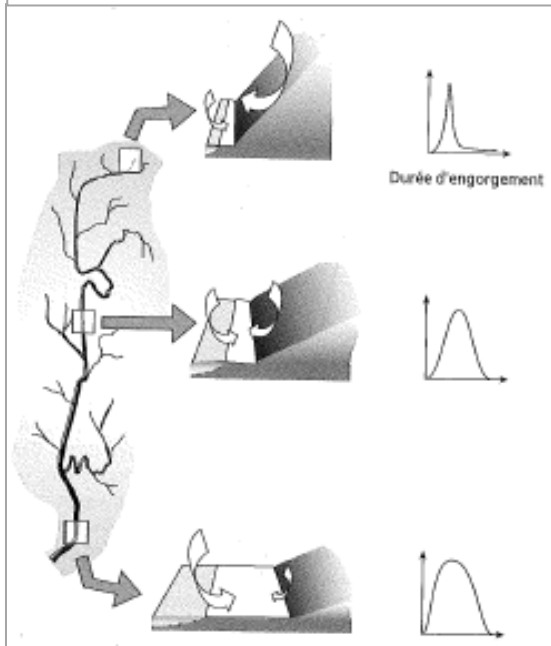


Figure 84 : Relations entre les zones humides riveraines, le cours d'eau et le versant, en fonction de leur position le long du réseau hydrographique, Tabacchi et al., 1998



alors que l'augmentation du débit du cours d'eau est directement liée à la quantité d'eau précipitée, et que les temps de réponse sont très courts. Lorsque la zone humide est déjà saturée en eau, elle n'a aucun effet excréteur de crue. Suite à l'analyse de 32 épisodes orageux, ils évaluent le temps de réponse du cours d'eau (atteinte du pic hydrologique) à moins de 30 minutes.

La particularité des zones humides de tête de bassin est donc d'avoir des hydropériodes courtes. Au sein d'un bassin versant, les zones humides riveraines, ont des relations hydrologiques différentes avec le cours d'eau qui dépend de leur position amont-aval sur le réseau hydrographique. Il a ainsi pu être écrit que « la tête de bassin s'arrête quand c'est le ruisseau qui alimente la zone humide, et non plus l'inverse » (Touchart, 2006, p. 2). Brinson en 1993 élabore une classification des zones humides qui est

fonction de cette position sur le réseau. Les rôles des zones humides sont les suivants de l'amont vers l'aval : de source, de puit ou de convoyeur d'eau.

Plus tard Tabacchi représente sur un réseau hydrographique la répartition des différents régimes hydrologiques. Il différencie les zones humides qui forment les rangs 1, les zones riveraines des rangs 3 à 4, où les échanges entre le cours d'eau et la zone humide sont optimaux. Il est difficile d'après le schéma de dire où se situent précisément les zones où les apports du cours d'eau dépassent les apports des versants.

Figure 86 : Différents régimes hydrologiques de zones humides de l'amont (1) vers l'aval (3), d'après Curie F., et al.

- Cas 1 : régime hydrologique dominé par les apports atmosphériques et de surface (caractéristique de l'amont des bassins) pour lequel il existe une grande variabilité fortement liée aux conditions climatiques;
- Cas 2 : régime hydrologique mixte ;
- Cas 3 : régime hydrologique dominé par les apports souterrains (caractéristique de l'aval des bassins) pour lequel la variabilité est atténuée par le stockage en période de crue et la décharge des nappes en période d'étiage.

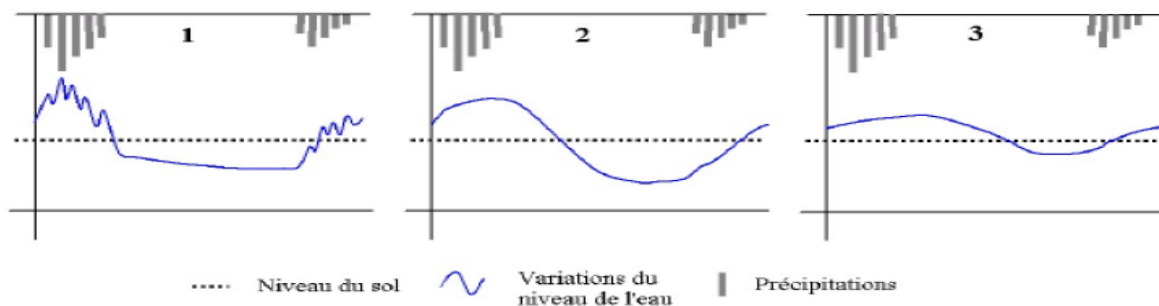
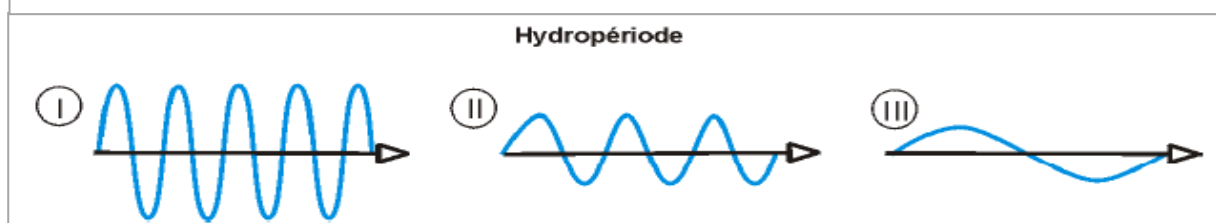


Figure 2: les trois types de régimes hydrologiques

Gaillard et al en 2002 et dans le cadre du projet PIREN Seine développent une classification hydrologique des zones humides. Les zones humides de l'amont des bassins assimilables aux zones de sources de Brinson sont largement dominées par les apports d'eau atmosphérique. Plus en aval, les échanges sont optimaux entre le cours d'eau et la zone humide, on parle alors de régime mixte. Dans les grandes zones humides à l'aval, ce sont les apports souterrains qui dominent. Les stockages en période de crue et la décharge en période d'étiage sont nets.

Figure 87 : Caractérisation du fonctionnement hydrologique de 3 types de zones humides de l'amont (1) vers l'aval (3) au travers de l'hydropériode, Gaillard S., Bravard J-P., Fustec E. et al.



Du point de vue des hydropériodes, le temps de séjour de l'eau dans les zones humides à l'amont des bassins versants est très court, il croît progressivement de l'amont vers l'aval.

Les zones humides de source de l'amont des réseaux hydrographiques sont donc largement influencées par la pluviométrie locale, mais aussi par l'occupation des sols des versants, étant donné qu'elles sont essentiellement alimentées par des ruissellements sur versant. Si l'hydropériode est courte, cela veut dire que le temps de séjour de l'eau est court, la qualité des zones humides est donc un facteur déterminant pour la qualité des cours d'eau. Si ce temps de transfert est raccourci par le drainage enterré ou l'imperméabilisation, le régime hydrologique des cours d'eau devient d'autant plus spasmodique.

Les petits bassins versants ont la particularité d'avoir une réponse hydrologique très rapide aux précipitations. On peut distinguer des réponses rapides de petits cours d'eau s'écoulant dans des zones humides gorgées d'eau, et des réponses rapides dues à un sol mis à nu ou imperméabilisé.

3.2.3. Relations hydrologiques entre la forêt et les ruisseaux

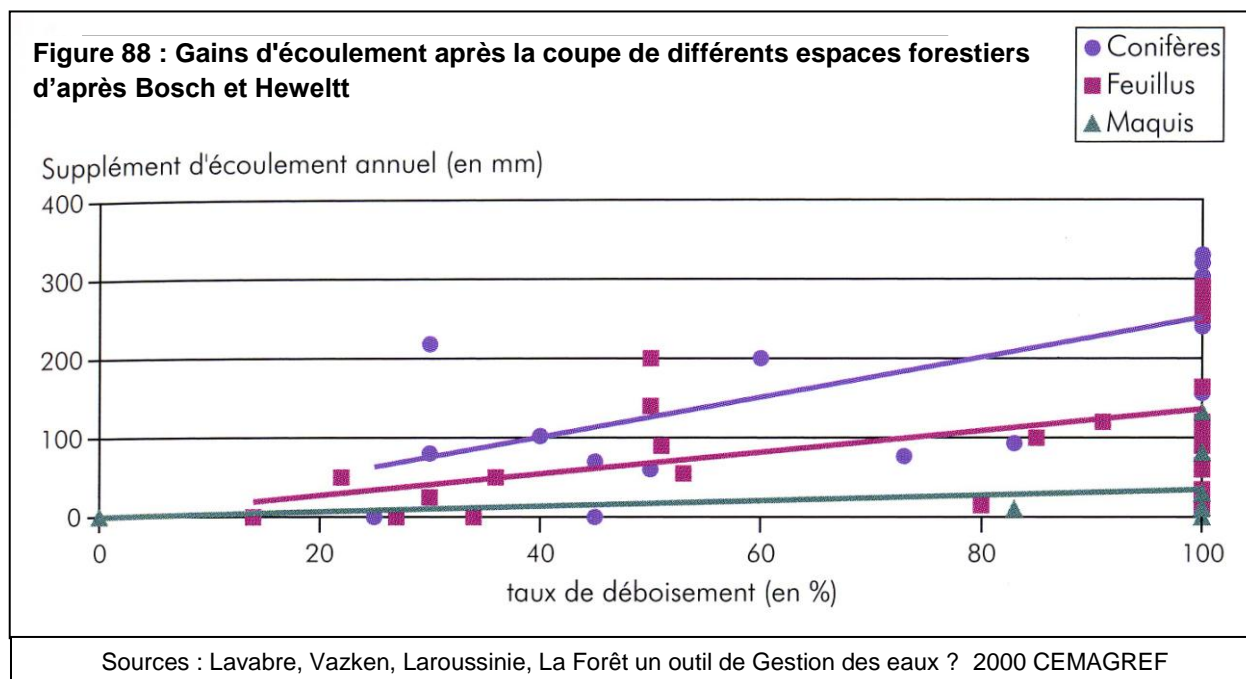
D'après les définitions de la tête de bassin que nous avons vues jusqu'à présent, une grande partie de ces régions serait occupée par la forêt (Haigh et Krecek, 2000, Valadas, 2009). La relation entre l'eau et les surfaces forestières fut traitée par Lavabre, Vazken et Laroussinie (2000). Ils réalisèrent le tableau de synthèse ci-dessous :

Tableau 20 : Impact des différents types d'espaces forestiers sur la qualité, la quantité d'eau et sur les milieux aquatiques, Andreassian V. et al., 2000

	Disponibilité de la ressource en eaux	Soutien des étiages	Limitation des crues	Protection des sols	Réduction de la turbidité	Réduction des concentrations en éléments dissous	Acidification des eaux	Développement de la vie aquatique
Forêt de montagne	Orange	?	Vert foncé	Vert foncé	Vert foncé	Vert clair	Rouge	Vert clair
Forêt de plaine	Rouge	?	Vert clair	Vert clair	Vert clair	Vert clair	Rouge	Vert clair
Forêt alluviale	Orange	Orange	Vert clair	Vert clair	Vert clair	Vert foncé	Blanc	Vert clair
Ripisylve	Blanc	Orange	Orange	Vert clair	Vert clair	Vert foncé	Blanc	Vert foncé

D'un point de vue quantitatif, les auteurs précisent que la forêt régule les écoulements en limitant les variations de débit. Les effets positifs de la forêt sur les cours d'eau sont d'ordre qualitatif, en ce qui concerne l'eau et la vie aquatique. En revanche, les effets négatifs se matérialisent par une baisse de la ressource en eau, et une acidification des eaux des régions cristallines.

Une étude de 94 petits bassins versants par Bosch et Heweltt, (1982) révèle qu'après un déboisement, le supplément moyen annuel d'écoulement est en augmentation. Le gain en eau est variable en fonction des essences coupées. C'est après une coupe de résineux que le supplément d'écoulement est le plus fort. La distinction entre les peuplements résineux et feuillus s'avère donc nécessaire dans l'étude du bassin versant.



L'estimation de la consommation d'eau par les forêts est une question extrêmement complexe, car elle est variable en fonction des espèces et des saisons.

Le tableau suivant présente les consommations journalières de quelques essences :

Tableau 21 : Evapotranspiration de quelques essences d'arbres d'après Riou-Nivert P., 2005

Essence	Transpiration moyenne en mm /j	Transpiration moyenne en m ³ /ha/j
Sapin de Vancouver	2,24	22,4
Epicéa commun	1,9	19,6
Pin sylvestre	2,2	22,7
Hêtre charme	2,4	24,1
Toutes espèces	2,2	22,2

D'après le CRPF, les feuillus consommeraient plus d'eau en été que les résineux, et les résineux continuent d'en consommer en hiver :

« Pendant la période où les arbres poussent, la transpiration d'une forêt s'élève en moyenne à 20-40 m³ d'eau par hectare et par jour. En moyenne, 150 m³ d'eau sont transpirés pour 1 m³ de bois produit.

Les têtes de bassin de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins

Les feuillus ont une consommation similaire à celle des résineux pendant cette période, parfois plus élevée. La situation s'inverse dès la fin de l'automne jusqu'au début du printemps, la plupart des résineux conservant leur feuillage. »

D'après Riou-Nivert P. (2005), les résineux ne consomment pas plus d'eau que les feuillus, pourtant il est constaté que le gain en eau est plus important après la coupe d'un massif enrésiné plutôt que celle d'un massif de feuillus. Il est probable que ce gain soit alors dû au fait de couper des plantations denses et ayant une évapotranspiration presque toute l'année. Les boisements spontanés et les reconversions vers la sylviculture de production des têtes de bassin peuvent alors amplifier des phénomènes hydrologiques « naturels » comme les sécheresses.

3.3. Processus internes et particuliers des petits cours d'eau

3.3.1.L'hydromorphologie des petits cours d'eau : des échanges eau - sol privilégiés

Le simple fait que les petits cours d'eau aient de faibles largeurs et des linéaires étendus donne au dense réseau qu'ils composent la possibilité d'avoir une grande surface de contact avec le sol par l'intermédiaire du linéaire de berges. De plus, les volumes d'eau n'étant pas importants, ils sont d'autant plus soumis aux conditions hydrologiques et physicochimiques des sols riverains.

À la rugosité du chenal est liée la capacité des cours d'eau à échanger leurs eaux avec celles des sols riverains par les interfaces que sont les berges et le lit. En effet, une forte rugosité permet d'innombrables remous et forces qui permettent à l'eau de s'infiltrer dans le chenal poreux, et de prolonger le contact de l'eau avec son contenant.

Le coefficient de rugosité du cours d'eau dépend de 6 facteurs :

Tableau 22 : Évaluation du coefficient de rugosité de Manning, Bravard J-P., Petit F., 2000

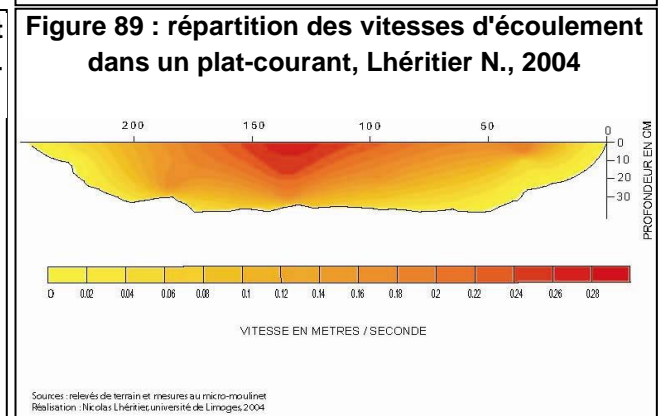
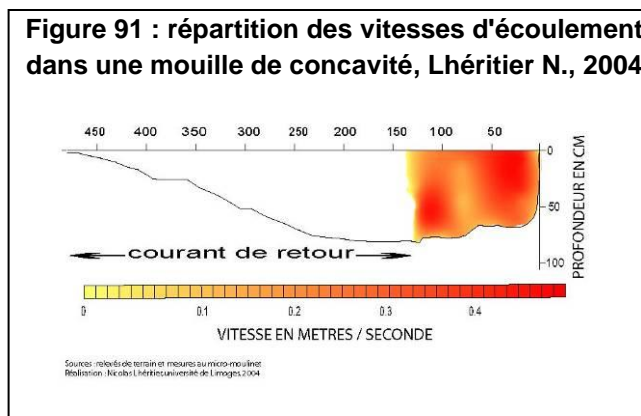
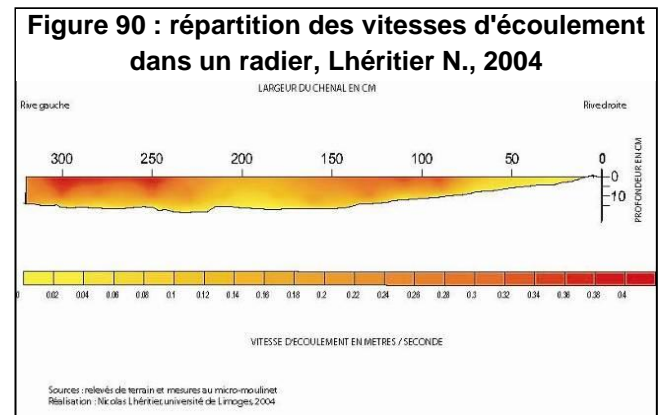
n 0	matériaux du lit	terre	0,020
		sable grossier et fin gravier	0,025
		gravier grossier	0,028
n 1	degré d'irrégularité de la section	faible	0,005
		moyenne	0,010
		forte	0,020
n 2	variations des sections transversales	graduelles	0,000
		alternances occasionnelles	0,005
		alternances fréquentes	0,010-0,015
n 3	effet d'obstruction	négligeable	0,000
		faible	0,010-0,015
		appréciable	0,020-0,030
		fort	0,040-0,060
n 4	présence de végétation	faible	0,005-0,010
		moyenne	0,010-0,025
		Importante	0,025-0,050
		très importante	0,050-0,100
m 5	degré de méandration	faible	1,0
		appréciable	1,15
		fort	1,30

La formule permettant de calculer ce coefficient est : $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$

Les valeurs les plus souvent rencontrées sont comprises entre 0,025 et 0,050, mais J-P. Bravard précise que ce coefficient peut atteindre une valeur de 0,42 dans de petits ruisselets encombrés par la végétation en période de basses eaux. Il est évident que la rugosité varie en fonction du débit, elle sera plus importante en période de basses eaux que de hautes eaux.

Cette rugosité participe donc à retarder l'écoulement par frottement avec les bords du chenal. En fonction de la morphologie d'un point précis du ruisseau, la rugosité va être plus ou moins importante, c'est ce que l'on remarque si on compare trois faciès tels que le radier, le plat-courant et la mouille.

On peut voir sur la figure ci-dessous que pour une profondeur faible, les vitesses de surface peuvent être 20 fois supérieures à celles du fond. Ici, pour une vitesse de surface pouvant atteindre 40 cm/s, la vitesse de fond la plus faible est de 2cm/s. Cette régression de vitesse importante sur une profondeur de 15 cm s'explique par la rugosité du fond du lit qui accroît fortement les surfaces de frottement.

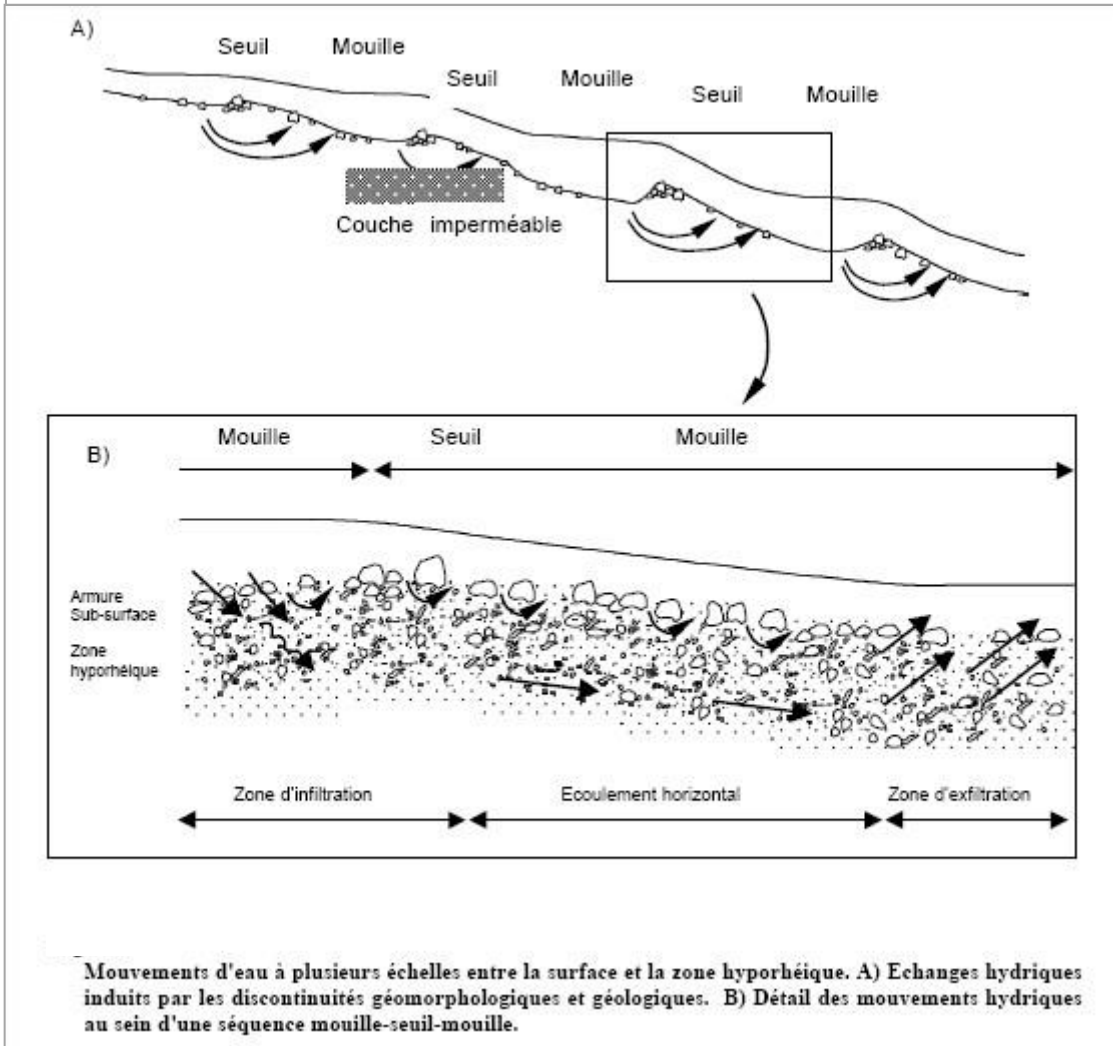


Le paramètre fondamental qui permet de définir un radier est donc la rugosité d'une granulométrie grossière qui génère une différence très importante de la vitesse d'écoulement sur une faible hauteur d'eau.

Les mouilles de concavité se situent dans les secteurs méandreux, les vitesses sont très hétérogènes transversalement et certaines présentent des contre-courants générés par les contre-pentes à l'aval. Les turbulences générées par cette contre-pente font que les vitesses y sont faibles ce qui permet le dépôt de sédiments fins.

Le plat-courant se caractérise par une veine d'eau principale et une répartition des vitesses assez symétrique. En effet, les vitesses de surface diminuent du centre de la section vers les berges et de la surface vers le fond. Cette différence de vitesses d'écoulement et la rugosité nous amènent à la notion de régionalisation verticale.

Figure 92 : Mouvements d'eau à plusieurs échelles entre la surface et la zone hyporhéique, Gayraud et al., 2002



La succession entre ces différents faciès, et les ruptures de pente et micro-contre-pentes font favoriser des échanges hydrologiques encore plus importants en termes de volume, mais aussi de rayonnement. En effet, les forces produites par ces modèles hydromorphologiques d'échelle inférieure induisent des forces d'infiltration et d'exfiltration beaucoup plus élevées.

D'une manière générale, la longueur des faciès d'écoulement varie de une à quelques fois la largeur du lit mineur selon la définition du CEMAGREF. Des petits cours d'eau de faible largeur ont des faciès beaucoup plus courts que des cours d'eau plus importants, les successions des radiers et mouilles sont incessantes. La géomorphologie locale et notamment la pente des versants de la vallée et des profils en long font également que des cours d'eau de même gabarit vont avoir des successions de faciès plus ou moins rapprochées comme l'ont montré Yves Souchon, Heri Andriamahéfa, Pierre Cohen, Pascal Breil, Hervé Pella, Nicolas Lamouroux, Jean-René Malavoi, Jean-Gabriel Wasson en 2000 en régionalisant l'habitat aquatique du bassin de la Loire.

Tableau 23 : Nombre de faciès par tronçons et indice de Shannon traduisant la fréquence dans la succession des faciès d'écoulement, Y. Souchon et al., 2000

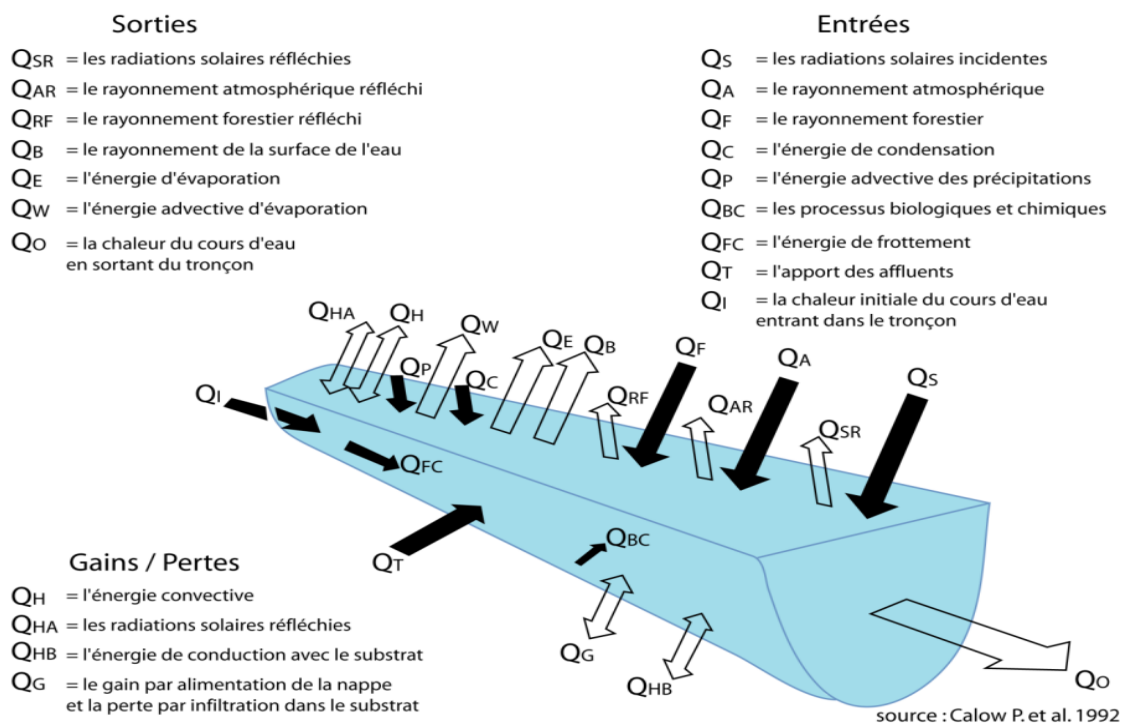
<i>Hydro-écorégion</i>	<i>Rang 100</i>	Nombre de faciès par tronçon		Indice de diversité de Shannon par tronçon	
		<i>Moyenne</i>	<i>Ecart-type</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Ecart-type</i>
Massif Armoricaïn	1	3,50	2,38	0,80	0,70
	2	8,00	4,17	1,67	0,75
	3	5,27	5,01	0,92	1,08
	4	1,40	1,55	0,11	0,41
	5	2,33	2,31	0,22	0,39
Massif Armoricaïn		4,11	4,25	0,72	0,94
Massif Central Plateau Limousin	1	7,25	4,92	1,51	1,08
	2	11,33	4,19	2,11	0,65
	3	10,42	5,22	1,85	0,84
	4	10,83	5,62	1,93	0,85
	5	1,58	1,51	0,17	0,40
Massif Central Plateau Limousin		9,14	5,77	1,64	1,00
Tables Calcaires	1	4,00	4,24	0,87	1,23
	2	4,00	3,46	0,73	0,81
	3	4,44	3,47	0,92	0,89
	4	4,03	4,29	0,65	0,88
	5	2,19	1,68	0,25	0,43
Tables Calcaires		3,72	3,59	0,64	0,82

Une rugosité plus importante, mais aussi des alternances radiers mouillés très fréquentes favorisent les échanges hydrologiques entre les ruisseaux et leur environnement. Ces échanges hydrologiques vont se traduire par une composition physicochimique proche des sols riverains, mais aussi par des réajustements thermiques avec la nappe d'accompagnement.

3.3.2. Les échanges thermiques : l'affrontement entre températures des nappes et de l'atmosphère

La température de l'eau a un rôle primordial dans le fonctionnement écologique des cours d'eau. Elle est liée à l'organisation du réseau hydrographique, et notamment à l'ordination de Strahler. A l'échelle du tronçon de cours d'eau la température de l'eau dépend de plusieurs échanges complexes entre le cours d'eau et son environnement.

Figure 93 : Schématisation des différents transferts d'énergie qui déterminent la température d'un tronçon de rivière, Calow P. et al., 1992 in Le breton D., 1995



Dans les petits cours d'eau, la température va surtout être conditionnée par la température atmosphérique. Les écarts de température sont pondérés par le couvert végétal du cours d'eau et les échanges avec l'eau interstitielle et de la nappe d'accompagnement.

L'eau interstitielle n'a pas la même température que l'eau du chenal. En effet, elle est isolée par la granulométrie. C'est par son infiltration puis son exfiltration que l'eau du chenal est influencée par la température de l'eau de la nappe d'accompagnement. Il est donc primordial que cette régulation puisse avoir lieu et pour cela que le substrat ne soit pas colmaté.

Figure 94 : Température de l'eau dans le chenal d'un cours d'eau et dans la zone hyporhéique, Crisp D-T., 1990

Températures de l'eau mesurées toutes les heures pendant 1 jour au dessus des graviers (pointillés) et 20 cm sous les graviers (ligne pleine) le 14 juin 1986 (a), le 19 mai 1986 (b) et le 24 mars 1986 (c)

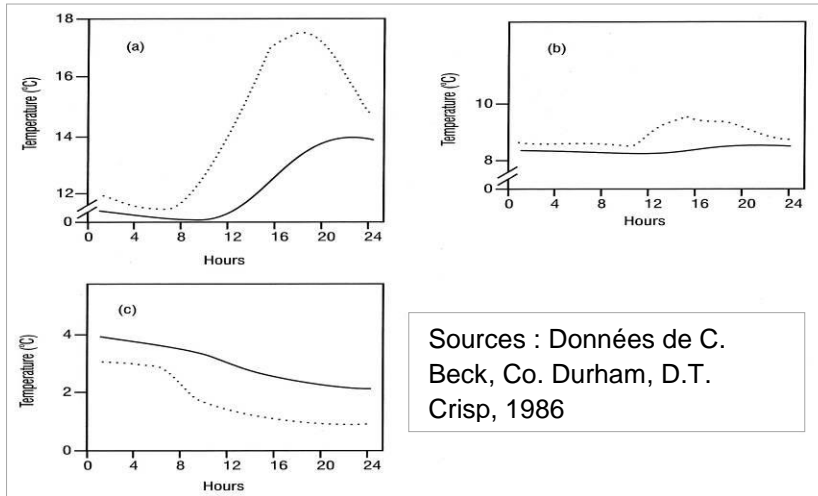
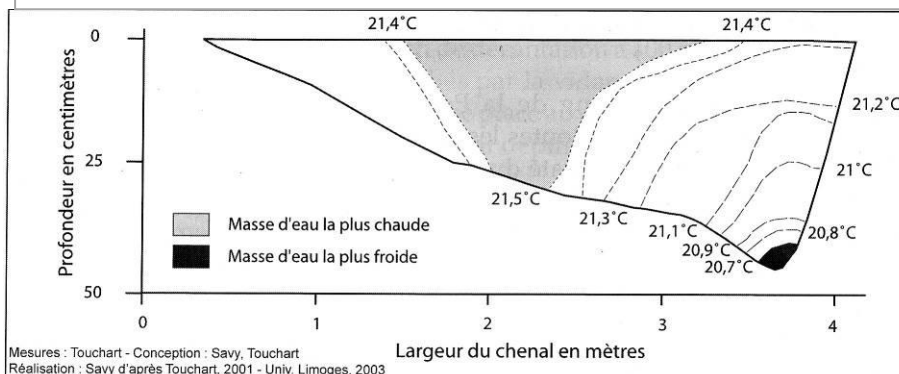


Figure 95 : Coupe thermique de l'émissaire de l'étang de Cioux (Limousin), (mesures réalisées à 800 mètres en aval de la digue le 9 juin 1998 à 15 h), Savy B., Touchart L., 2003



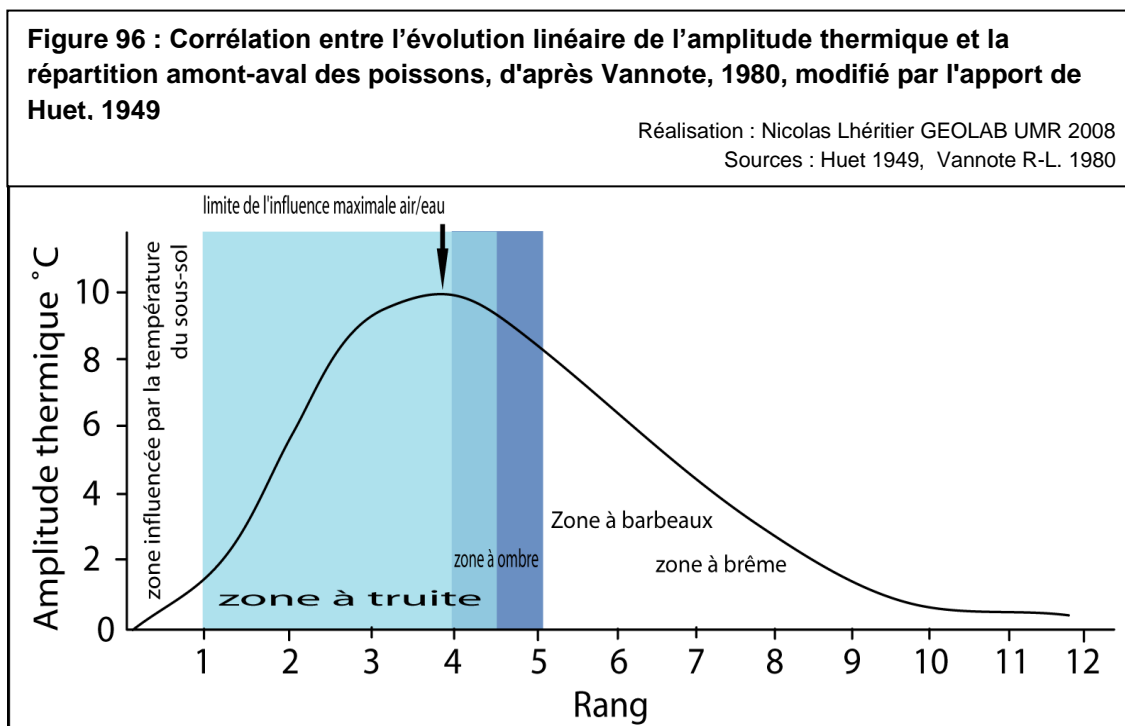
Dans un plan vertical, il est possible que l'eau varie avec la profondeur dans des facies peu brassés comme les mouilles. Sans doute, liée aux échanges entre eau interstitielle et eau du chenal, cette régionalisation verticale est un élément primordial pour le maintien des sténothermes d'eau froide en période de canicule et d'étiage.

Localement, en un point précis du cours d'eau, les variables externes qui conditionnent la température de l'eau sont la température atmosphérique et de la nappe d'accompagnement. La température de l'eau entrant dans le tronçon va donc être influencée par les températures de l'air et des sols riverains qui changent également avec la perte d'altitude. Si on mesure au sein d'un même réseau hydrographique la température des cours d'eau en des endroits différents en fonction de leurs distances aux sources, on s'aperçoit que celle-ci varie dans l'espace pour un même instant t. Cela se traduit par des régimes thermiques journaliers, et saisonniers différents sur le profil en long des cours

d'eau. Or, la température de l'eau est un facteur primordial dans la répartition amont-aval des espèces aquatiques comme l'ont mis en évidence les hydrobiologistes. Ce paramètre est lié à la fois à l'altitude et à la distance à la source. Angelier E. parle d'aire de répartition thermique altitudinale pour les insectes aquatiques.

Vannote R-L. montre que l'amplitude diurne augmente du premier au 4e rang pour ensuite diminuer. **Un ruisseau est beaucoup plus sensible aux conditions atmosphériques qu'une rivière. Cette sensibilité augmente de l'amont vers l'aval et du rang 1 au rang 4. Le facteur thermique influence beaucoup d'autres facteurs abiotiques des cours d'eau, il en découle donc une régionalisation écologique en conformité avec les exigences des espèces aquatiques.**

Cette régionalisation thermique nous amène tout naturellement à la notion de régionalisation écologique et à sa relation avec la température de l'eau. Chaque espèce a une valence écologique (optimum compris entre une valeur minimale et une valeur maximale) d'un facteur abiotique comme la température. On parlera alors de sténothermes d'eau froide pour les salmonidés.



Conclusion de la partie 1 :

Au terme de cette partie, il ressort que les ruisseaux sont difficilement définissables selon des critères écologiques, car seuls les éléments abiotiques en comparaison avec ceux des grands cours d'eau permettent de les distinguer, mais pas de les définir, c'est pour ces raisons que leur définition juridique n'est que jurisprudentielle. Ce qui est fédérateur, ce sont des réactions différentes, une dépendance plus forte à l'environnement du fait des volumes d'eau plus faibles, et de fonctionnement interne augmentant les possibilités d'échanges rivulaires et hyporhéiques.

Au regard de ces définitions de la tête de bassin, nous constatons que certains se concentrent sur la recherche d'une limite écologique comme la fin de l'espace de vie des poissons, d'autres en ont une approche en termes de caractéristiques morphométriques comme la largeur du lit mais toutes deux restent locales. Il est possible que les définitions locales soient les plus justes. Cependant, certaines définitions s'attachent à fixer une limite stricte se rattachant aux rangs de Strahler par nécessité de gérer. Par conséquent, de la vaste notion générale de « tête de bassin », nous pouvons décliner les notions de tête de bassin hydrographique, hydromorphologique, écologique et pourquoi pas socioculturelle. Ainsi, Michel Cabouret en étudiant l'irrigation des prés de fauche ou les hydrobiologistes précurseurs en essayant de régionaliser le continuum écologique des cours d'eau ont palpé la définition géographique de la tête de bassin sans jamais réellement en fixer les limites. Des définitions pluridisciplinaires sont apportées par les géographes ayant une entrée territoriale : Haigh, Krecek, Valadas. En effet, ce qui est fédérateur dans leur définition, c'est la notion de front écologique et humain devant s'adapter ou désirant faire évoluer la tête de bassin. Cela induit inévitablement la présence d'enjeux dans ces territoires, mais aussi de risques environnementaux néfastes aux populations, voire des situations conflictuelles.

Quoi qu'il en soit nous découvrons les enjeux dont il faut faire prendre conscience pour reprendre les termes du SDAGE. Dans un même temps des risques sournois et quasi invisibles comme le colmatage ou le réchauffement des eaux, ont aléas et vulnérabilités pour se matérialiser. L'idée selon laquelle les ruisseaux n'étaient pas considérés comme une partie fonctionnelle de l'hydrosystème est en train de se dissiper pour laisser place à l'exploration de la plus grande partie de du réseau hydrographique terrestre.

Cela commence par la connaissance de ses origines et nous venons de le voir, la géomorphologie des fonds de vallons de tête de bassin est plus complexe qu'il n'y paraît. En effet, ils n'ont pas évolué simplement en érodant les versants par régression, il est fort probable qu'à l'apogée hydromorphologique correspondant aux alternances de glaciaire et d'inter-glaciaire, il se soit constitué des manteaux de débris qui expliqueraient les replats caillouteux qui nous le verrons pourraient expliquer la diversité granulométrique des écoulements primaires.

L'hydromorphologie actuelle des petits cours d'eau peut être puissante, du fait de leur pente forte, et des hydropériodes courtes qui pourraient être généralisables à la tête de bassin. Cependant, comme l'a suggéré E. Reclus¹³, et comme les premières cartographies statistiques de Paracchini M-L. le montrent, la tête de bassin semble n'être qu'une vue de l'esprit, et il faut s'attarder au bord des ruisseaux pour en comprendre le fonctionnement. C'est ce que nous allons faire dans cette deuxième partie en nous équipant de méthodes d'analyse géomatique et de terrain.

Il faudra également apporter une attention toute particulière à l'environnement des petits cours d'eau, car une des caractéristiques les différenciant des volumes d'eau plus importants, c'est leur extrême flexibilité vis-à-vis de l'atmosphère. Les fortes densités de drainage laissent également supposer une forte dépendance à l'environnement terrestre riverain. Les méthodes choisies devront rendre compte de ces relations.

L'homme est à intégrer, car s'il fut architecte des petits réseaux hydrographiques par les lèves, les rigoles pour ne citer que les termes français, les fortes densités de drainage laissent supposer également que les activités actuelles influencent les caractéristiques des petits hydrosystèmes. En décrivant les aspects physiques, il nous faudra intégrer une méthodologie pluridisciplinaire laissant une place à l'homme.

¹³ « L'intrépide marcheur qui l'a suivi dans la partie supérieure, depuis la haute source de pâturages jusqu'à l'uniforme surface de la vallée, a vu, durant sa course de descente, çà et là dangereuse, les plus brusques inégalités du sol, les différences de pente les plus soudaines : aux « plans » où l'eau semble s'endormir succèdent les précipices perpendiculaires d'où elle s'élançait avec fureur ; abîmes, déclivités plus ou moins fortes, surfaces horizontales alternent sans ordre apparent, et cependant lorsque le géographe, négligeant les détails, calcule et trace sur le papier la courbe décrite par le ruisseau jusqu'à la verdoyante vallée, il trouve que cette ligne est d'une régularité presque parfaite : le torrent, travaillant sans relâche à se creuser un lit à son gré, abattant les saillies, emplissant de sables et d'argile les petits creux de la roche, a fini par se développer en une parabole régulière, analogue à celle d'un char descendant du haut d'une montagne russe. »

PARTIE 2 : Méthodologie géomatique et de terrain pour la cartographie et la caractérisation des régions de tête de bassin

Introduction de la partie 2 :

Les ruisseaux sont encore peu connus et ils ne sont parfois pas cartographiés dans les référentiels existants. La cartographie des ruisseaux va donc être une première étape incontournable pour **connaître l'étendue de ces organismes hydrographiques, indispensable pour en appréhender les enjeux**, et pour que des régions hydrographiques riches en petits cours d'eau puissent être étudiées plus finement dans un deuxième temps.

Nous l'avons vu, l'enjeu de recherche fondamentale et notamment cartographique est mondial, l'émergence de la nécessité de connaître et de gérer les ruisseaux passe par l'estimation de leurs linéaires et le prolongement de l'étude pluridisciplinaire, notamment de géographie humaine par une cartographie des régions de tête de bassin.

La connaissance de la qualité actuelle des ruisseaux au sens large du terme est un enjeu national vis-à-vis de la préservation de l'atteinte du bon état des eaux régentée par la Directive Cadre Européenne sur l'eau. Il faut combler le manque de connaissances sur l'état fonctionnel actuel des petits cours d'eau et petites zones humides, qui ne permet pas pour l'instant de visualiser l'ampleur de la tâche de préservation et de restauration. Si l'AELB a son zonage de tête de bassin, celui-ci est inexistant sur le reste du territoire, la création d'un référentiel homogène à cette échelle peut être un objectif.

Dans un cadre plus professionnel, l'enjeu fut local pour la mise en place de mesures de gestion adaptées. Ce travail de recherche appliquée s'inscrit dans l'élaboration de l'étude préalable à un futur programme d'actions sur les ruisseaux, rivières et zones humides du Pays Monts et Barrages, **mais aussi dans la connaissance des ruisseaux à l'échelle régionale** et pour des structures compétentes en matière de gestion des zones humides et cours d'eau à cette échelle, tel le Conservatoire Régional des Espaces Naturels du Limousin. Pour ces deux structures la perception et l'utilisation actuelle de ces petites entités hydrographiques par les sociétés sont indispensables pour mener des actions en phase avec les activités. Les premières actions du CREN Limousin et du Syndicat Mixte Monts et Barrages se déroulent actuellement dans le cadre du Programme « Sources en action » évocateur de la tête de bassin, copiloté par le Parc Naturel Régional de Millevaches en Limousin et l'Établissement Public Territorial du Bassin de la Vienne.

Les outils méthodologiques aux différentes échelles se complètent et s'autoalimentent.

Sans les éléments suivants : taille de leur bassin versant, proportion que les linéaires **réels** des petits cours d'eau occupent dans les réseaux hydrographiques, et qui ne sont perceptibles qu'à l'échelle locale, nous ne pourrions pas effectuer de sélection dans des bases de données qui permettent de les « isoler » et d'effectuer des projections en remontant les échelles. **Un travail de**

Les têtes de bassin de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins

cartographie hydrographique qui permette une représentation des petits cours d'eau proche de la réalité est alors indispensable. La BD Carthage n'étant pas assez précise pour cela, il nous faudra créer une base de données hydrographiques dans un territoire particulièrement bien connu et valider cette cartographie sur le terrain.

L'approche par une typologie à l'échelle mondiale est nécessaire pour comprendre le fonctionnement des petits cours d'eau à l'échelle nationale et fixer des limites de représentativité, pour ne pas revenir à des généralisations certes réussies d'un point de vue pédagogique mais inexactes comme l'image de la tête de bassin montagneuse.

En choisissant un terrain de recherche où les contextes géomorphologiques et climatiques des bassins versants sont variés, nous pourrons tout de même réaliser un échantillonnage représentatif qui se tient aux limites précitées.

Les principaux outils cartographiques que nous allons utiliser ou adapter sont :

- Des outils d'ordination du réseau hydrographique,
- Des outils de création de cartographie topographique de talweg,
- Des outils de cartographie descriptive de terrain.

Nous les appliquerons à des bases de données hydrographiques vectorielles et raster aux échelles mondiale, nationale et régionale.

Nous pourrons ensuite utiliser des outils permettant l'analyse du fonctionnement et de l'état des cours d'eau aux échelles nationale et mondiale par les statistiques et le croisement de données :

- Sur les régimes hydrologiques et notamment les débits spécifiques,
- De relief et de topographie,
- D'occupation des sols,
- Biologiques,
- Physicochimiques.

Nous utiliserons ces méthodologies à des échelles plus grandes, en travaillant des données plus précises et en utilisant des informations locales sur les activités humaines et l'utilisation des territoires de tête de bassin.

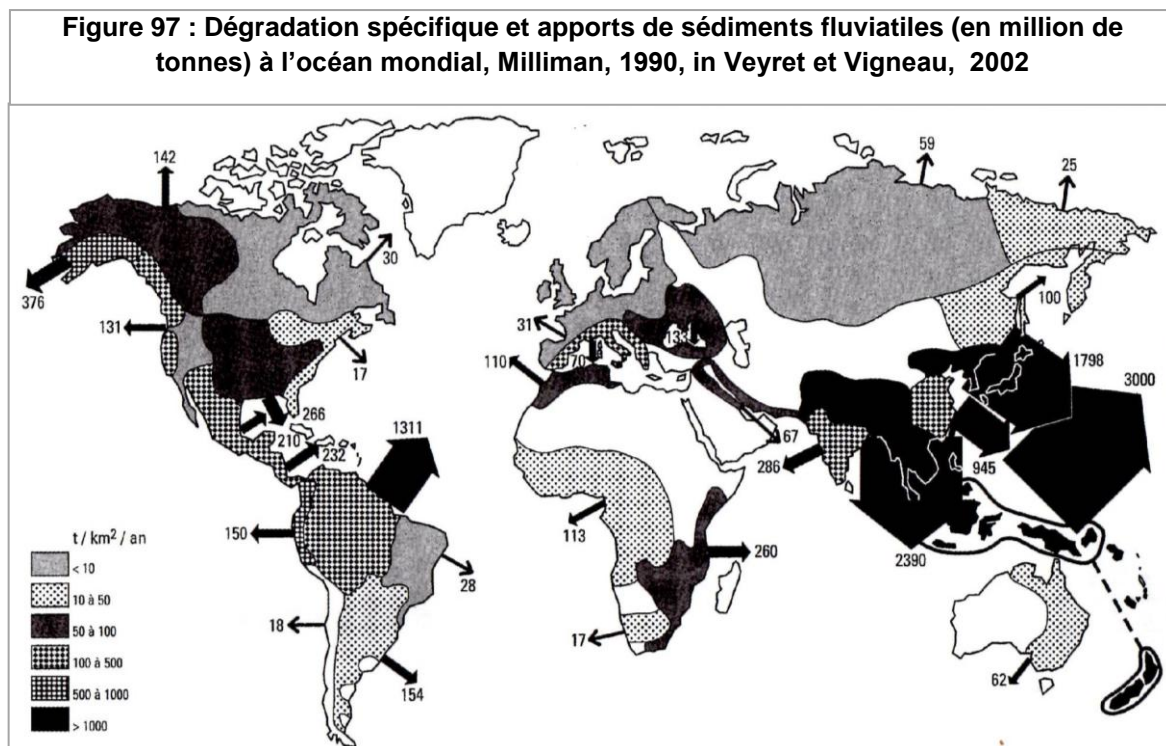
1. Présentation des échelles d'étude et de recherche

1.1. Les raisons d'une cartographie à l'échelle mondiale et européenne

Face à la multitude des définitions de la tête de bassin recensées dans la bibliographie, mais aussi parce qu'il est légitime pour un géographe de bien situer et replacer la région de tête de bassin décrite pour en fixer les limites de représentativité, il paraît nécessaire d'approcher cette notion à l'échelle mondiale, ce qui permettra également de les reconsidérer dans l'hydrosystème global.

En l'absence de définition claire de la tête de bassin, il paraît plus réalisable d'aborder la cartographie sous l'angle de la typologie tenant compte des caractéristiques propres aux petits cours d'eau. Parmi eux leur hydromorphologie rend compte de leur contribution aux hydrosystèmes en termes de matière et d'énergie.

Cependant, le potentiel en termes de contribution est inégal à la surface du globe du fait de la variabilité climatique et géomorphologique qui entraîne une diversité hydro-géomorphologique des versants et des cours d'eau. Si la tête de bassin versant a un rôle de production sédimentaire, elle sera variable tout comme les débits solides des fleuves, qu'elle conditionne théoriquement.



L'échelle mondiale permettra également de resituer géographiquement les terrains de recherche instrumentale et de géomatique fine.

À l'échelle européenne, une première cartographie fut réalisée par Paracchini et Vogt, (2006), mais la petite échelle de réalisation et du MNT utilisé pour cartographier le réseau hydrographique fait apparaître les limites de cette cartographie :

« Nous devons insister sur le fait qu'étant donné la résolution du DEM utilisé de 250 mètres, toutes les têtes de bassin n'ont pu être cartographiées. Seules les têtes de bassin de plus de 1 km² en ressortent ». Les auteurs précisent également qu'à l'inverse, de très grandes zones de tête de bassin peuvent apparaître, surtout sur les plateaux où le relief est peu marqué et des plaines. Ceci nous conforte dans l'idée d'aborder la question cartographique par la typologie hydro-géomorphologique.

Figure 98 : Extrait du travail de cartographie des têtes de bassin européenne de Paricchini et Vogt, 2006

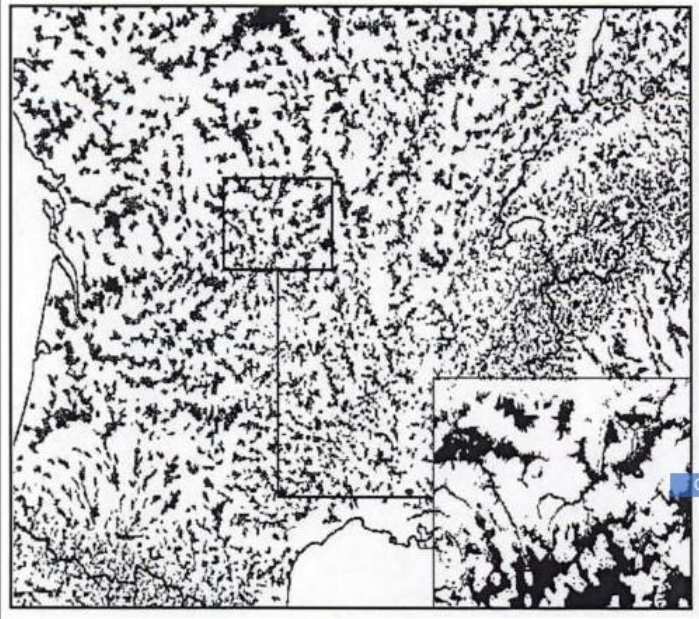
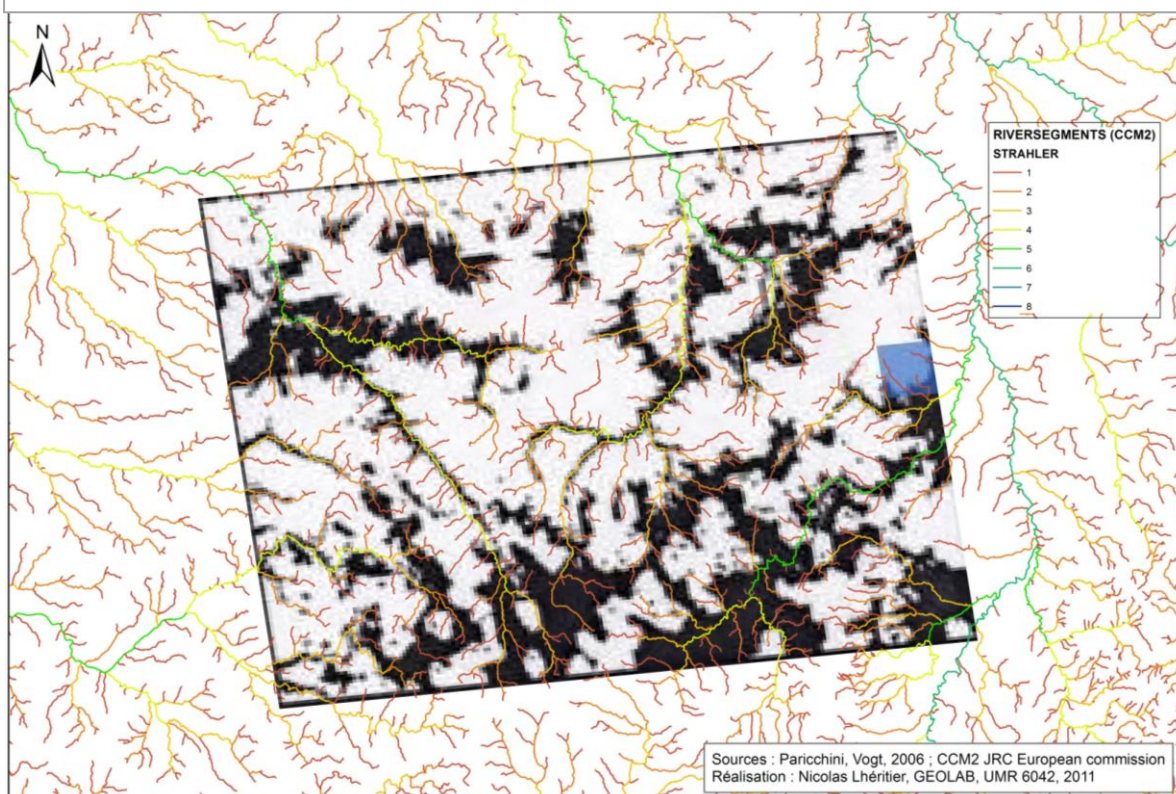


Figure 99 : L'extrait cartographique de Paricchini et Vogt, 2006 et les cours d'eau de la BD CCM2 ordonnés selon Strahler



En outre, la coïncidence ou la typicité du Massif Central ont amené les auteurs à extraire une zone de plus petite échelle sur une marge Limousin-Auvergne. En recoupant le zonage avec la base de données CCM version 2 du JRC, on remarque les similitudes et les erreurs du zonage lorsqu'il englobe des vallées principales comme celle de la Grande Creuse bien reconnaissable, et des régions très vastes comme le Plateau de Millevaches. Nous reviendrons sur les caractéristiques de la base de données CCM2 du JRC European Commission au moment de son utilisation pour la cartographie plus poussée.

1.2. L'échelle nationale, l'approche géosystémique et l'échantillonnage hydro-géomorphologique des têtes de bassins

L'échelle nationale sera privilégiée de par l'enjeu vis-à-vis de l'atteinte du bon état imposé par la DCE. Si l'agence de l'eau Loire-Bretagne a cartographié un zonage de tête de bassin, le reste du territoire n'est pas couvert par ce type de cartographie.

Globalement, l'état des petits cours d'eau est connu localement, mais aucune synthèse ni aucune tendance ne se dégage à l'échelle nationale. Il est indispensable de connaître l'occupation des sols et les activités présentes sur ces espaces. Il est également important d'en connaître l'état écologique. Nous nous interrogerons sur la pertinence des indicateurs écologiques comme l'Indice Poisson Rivière pour déterminer la qualité des peuplements piscicoles des têtes de bassin écologiques qui peuvent s'apparenter à la zone à truite.

À l'échelle nationale, nous pouvons introduire une approche géosystémique, c'est-à-dire que nous pourrions croiser la BD Carthage après son ordination avec des informations sur l'occupation des sols et biologiques comme les densités de poissons et leurs préférences pour certaines zones biogéographiques.

Le travail à partir de la BD Carthage sera surtout réalisé avec la couche « tronçons hydrographiques et zones hydrographiques ». Ayant servi à l'élaboration des délimitations des bassins versants des masses d'eau, des TPCE et du zonage de tête de bassin de l'AELB, il est important de travailler sur cette base de données.

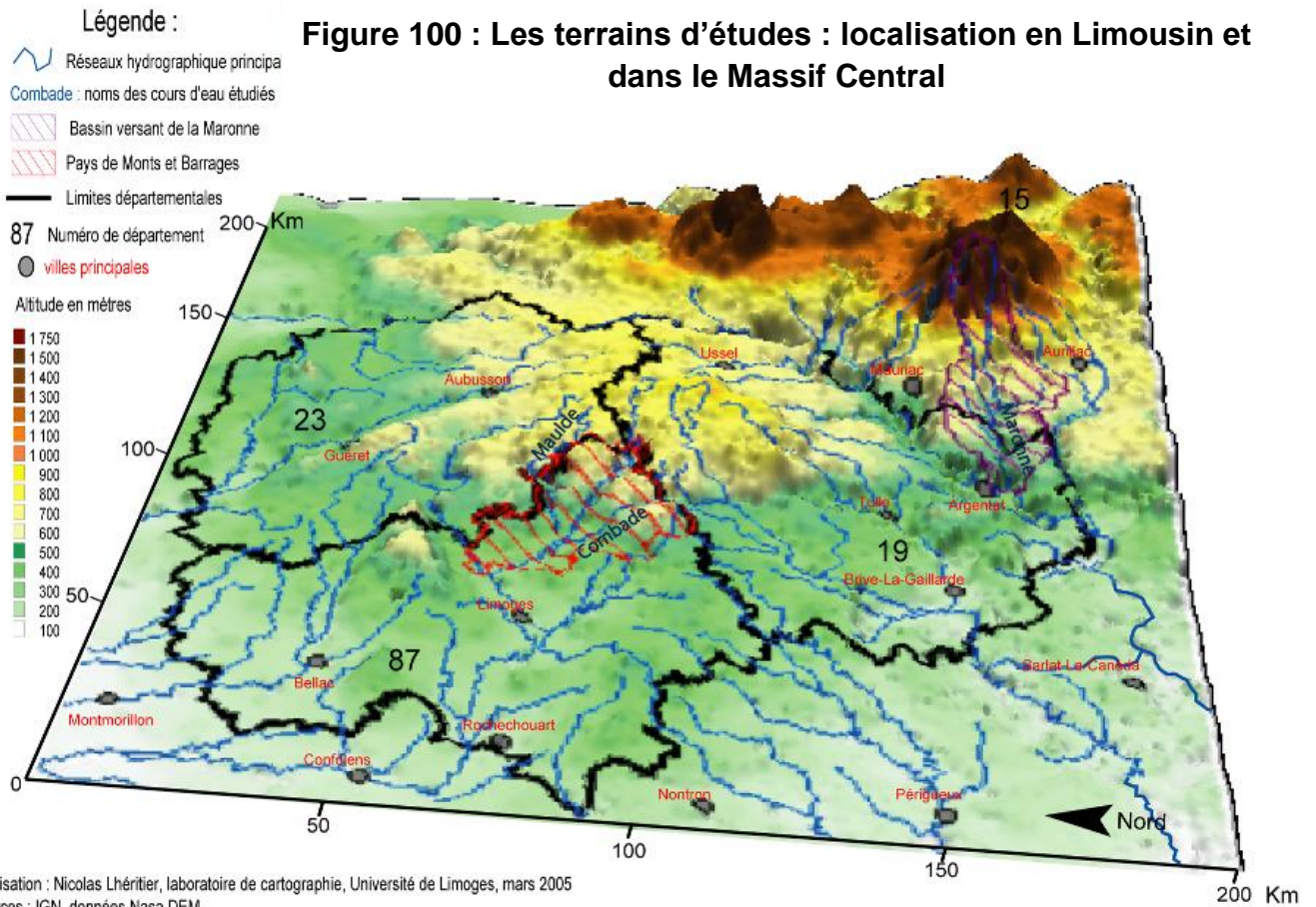
Cette échelle sera également la plus petite échelle de caractérisation biogéographique des têtes de bassin, mais aussi de relations biogéographiques, notamment avec la zone à truite.

Enfin, la France métropolitaine est une des régions d'Europe qui connaît le plus de variabilités climatiques, du climat méditerranéen au climat de haute montagne en passant par le climat semi-continentale. Elle connaît également une grande diversité géomorphologique des grandes dépressions sédimentaires aux montagnes jeunes. La diversité hydro-géomorphologique des petits bassins versants est certainement très grande, ce qui nous permettra d'effectuer une projection des caractéristiques de ces divers types de tête de bassin à l'échelle mondiale.

1.3. Etude de la tête de bassin en tant que géosystème à l'échelle locale, l'exemple du Pays Monts et Barrages en Limousin

1.3.1. Le Limousin et plus particulièrement les ruisseaux des bassins Vienne et Dordogne

Nous l'avons vu en première partie, la toponymie n'est pas sans rappeler l'importance des petits cours d'eau et des zones humides sur le territoire limousin. Les cours d'eau limousins se situent soit sur le bassin de la Loire, soit sur celui de la Dordogne. Souvent appelé le « château d'eau de la France », le Limousin ne constitue pas une réserve importante d'eau, il n'est donc pas un château d'eau au sens quantitatif, car il ne comprend pas de nappes souterraines importantes à l'inverse des bassins sédimentaires. En revanche, l'eau y est visible en surface par de nombreuses rivières, ruisseaux, étangs, lacs et zones humides et les densités de drainage y sont importantes, toujours supérieures à 1.



Le Limousin est une zone de transferts hydrologiques, où la rétention se limite aux zones humides et aux retenues d'eau, l'eau ne fait qu'y passer. Cette réputation de château d'eau lui vient aussi de sa position à l'amont des villes et foyers de population qui se sont implantés au bord des

rivières et fleuves formés par les eaux de cette multitude de petits cours d'eau. Le Limousin est donc une région qui se prête parfaitement à l'étude des cours d'eau de tête de bassin. D'un point de vue hydrographique, le Limousin a la particularité d'avoir un substrat géologique majoritairement cristallin, ce qui limite les capacités de stockage de l'eau dans les sols et favorise les écoulements de surface dans des talwegs. Sa position, face aux dépressions océaniques en provenance de l'ouest, favorise une pluviométrie abondante allant de 800 à 1700 mm/an. Les reliefs anciens en alvéole sont autant de choix qu'a l'eau pour s'en évacuer. Les fonds d'alvéoles sont alors toujours humides.

Nous nous sommes focalisés sur le bassin de la Vienne amont qui se situe au contact de la Montagne limousine et des plateaux limousins et réexploiterons des données acquises sur le bassin versant de la Maronne : une région aux reliefs plus escarpés au contact du Cantal et des plateaux de Xaintrie.

1.3.2. Le bassin amont de la Vienne et le Pays Monts et Barrages territoire de tête de bassin par excellence

Depuis peu, le territoire de la Vienne amont fait l'objet d'un Contrat Territorial Milieux Aquatiques, outil financier de l'agence de l'eau Loire-Bretagne. 16 maîtres d'ouvrage se sont engagés dans ce contrat qui se veut de tête de bassin, puisque l'agence de l'eau Loire-Bretagne a décidé d'y appliquer la bonification de 10 % propres aux zones de têtes de bassin, quoique le zonage des têtes de bassin du SDAGE ne considère pas intégralement ce territoire comme une région de tête de bassin. Parmi les 16 maîtres d'ouvrage, le Syndicat mixte Monts et Barrages s'est engagé dans ce contrat, il en occupe la position centrale et stratégique du fait de la confluence de plusieurs cours d'eau principaux. Après avoir pris sa source sur le plateau de Millevaches, et avant de rejoindre le piémont de la Montagne limousine et la cuvette de St-Léonard-de-Noblat, la Vienne est grossie par la Combade et la Maulde. Le bassin amont de la Vienne et le territoire Monts et Barrages rassemblent ainsi beaucoup de caractéristiques que l'on retrouve dans d'autres territoires de têtes de bassin.

Véritable zone de contact entre le plateau de Millevaches et le plateau du Limousin, le Pays Monts et Barrages s'avère être un terrain de recherche certes complexe, mais surtout très intéressant pour étudier des petits cours d'eaux nombreux, diversifiés et représentatifs des têtes de bassins de la Vienne et de la Loire. Plus qu'une entité administrative, le territoire de Monts et Barrages trouve sa légitimité dans sa situation géographique. Le Pays Monts et Barrages est une entité administrative de 860 Km² du sud-est de la Haute-Vienne qui regroupe les communautés de communes de Noblat, Briance-Combade, des Portes de Vassivière, et la commune de Moissannes. Il regroupe au total 32 communes et 21 415 habitants soit une densité d'habitants faible : 25 au Km².

Ce territoire constitue la première barrière orographique aux dépressions océaniques. La diversité pédologique et topographique engendre des répartitions des activités humaines et surtout agricoles et sylvicoles.

Figure 102 : Situation du Pays Monts et Barrages dans le bassin de la Loire

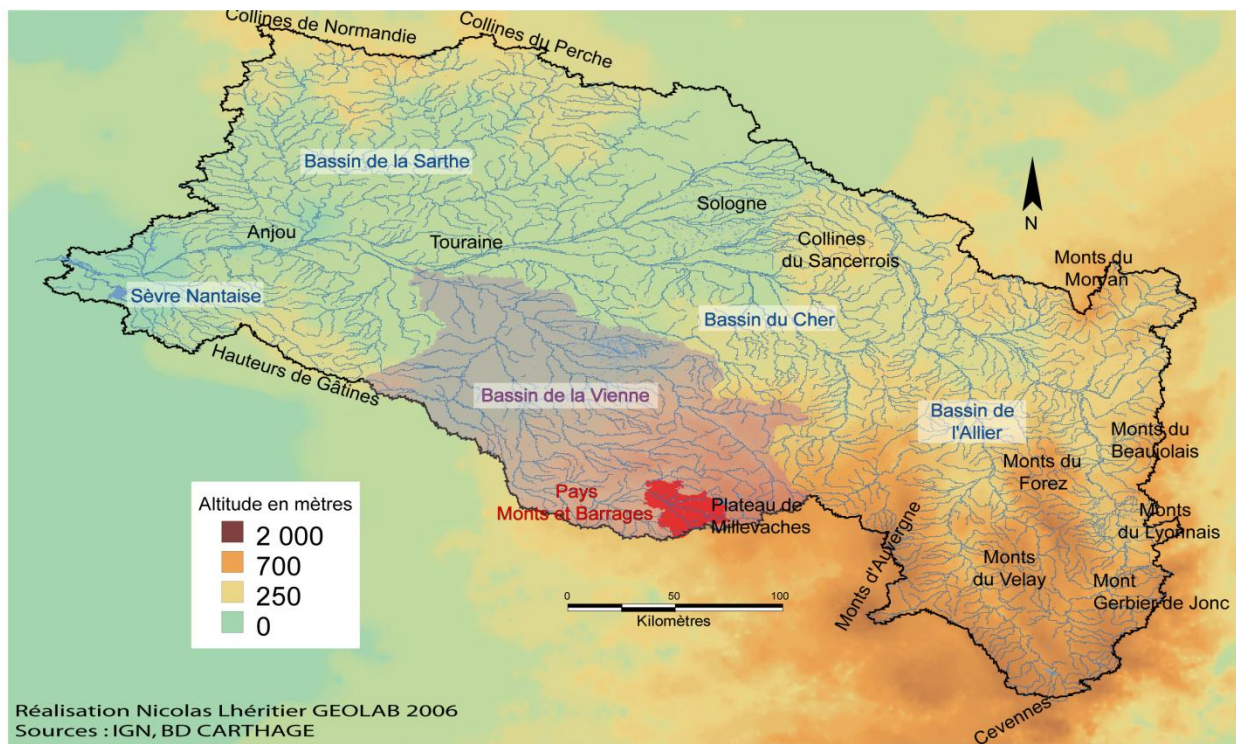
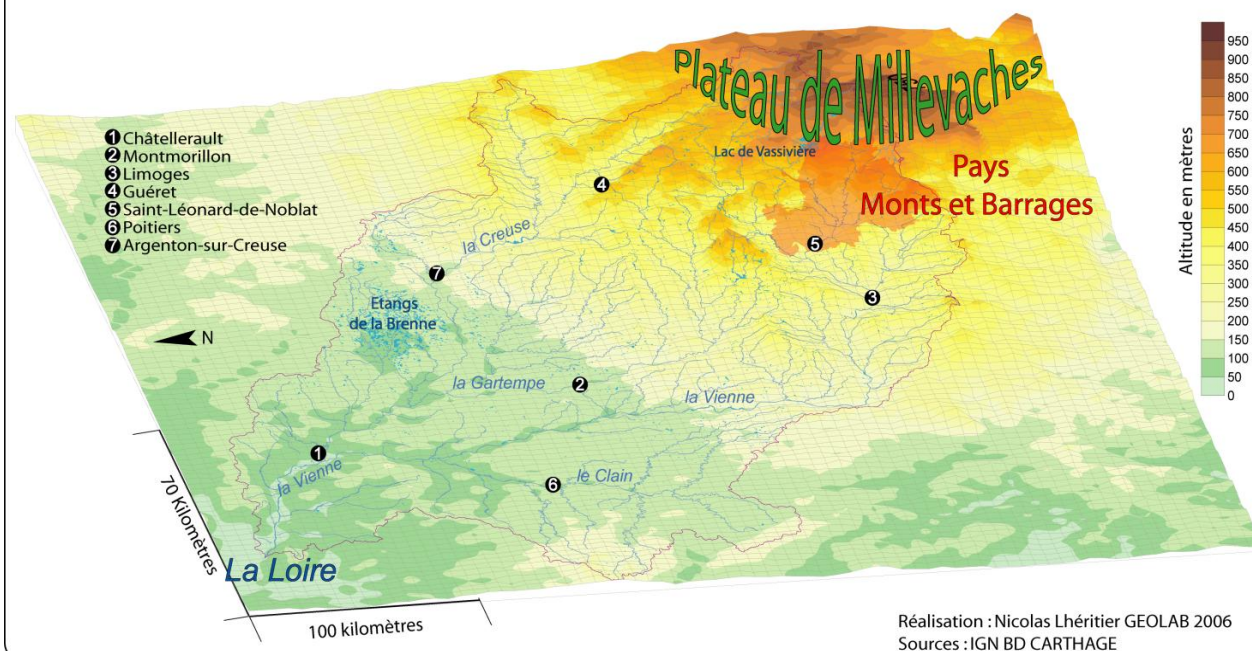


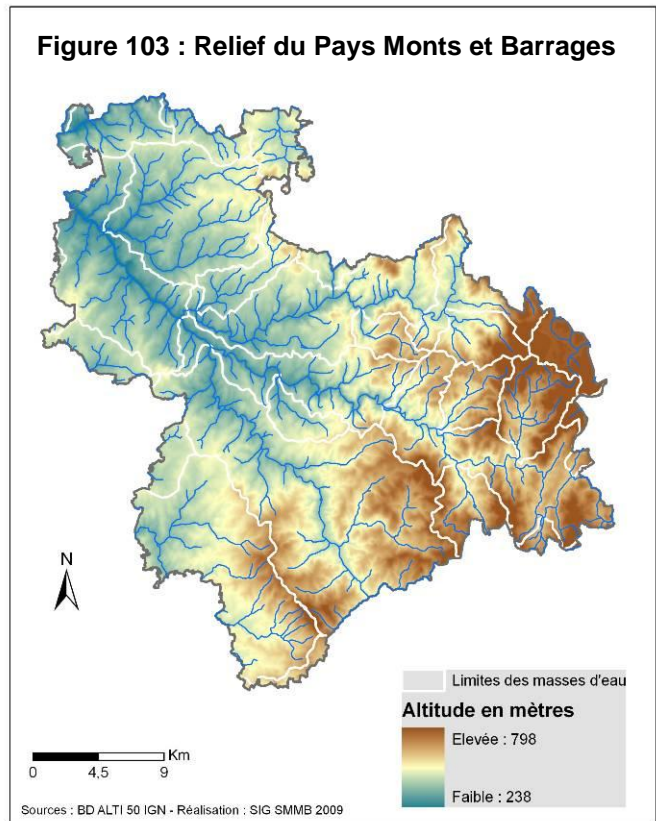
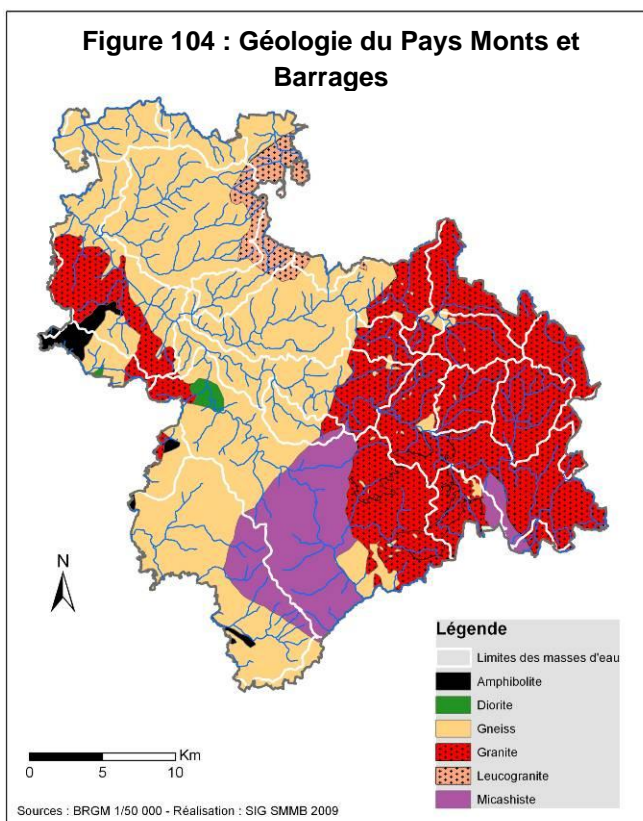
Figure 102 : Situation du Pays Monts et Barrages dans le bassin de la Vienne



Les ruisseaux du Pays Monts et Barrages sont en tête de bassin de la Vienne qui elle-même à plus petite échelle fait partie des nombreux affluents de la Loire.

1.3.2.1. Un territoire propice à la diversité des cours d'eau et des zones humides

Le relief du Pays Monts et Barrages est un relief de plateau avec des vallées encaissées. Les altitudes varient entre 220 et 750 mètres, cette zone de contact est marquée par un étagement des milieux naturels, cet étagement permet une forte diversité écologique et favorise la présence d'écotones aussi bien terrestres qu'aquatiques et en passant par les milieux humides.

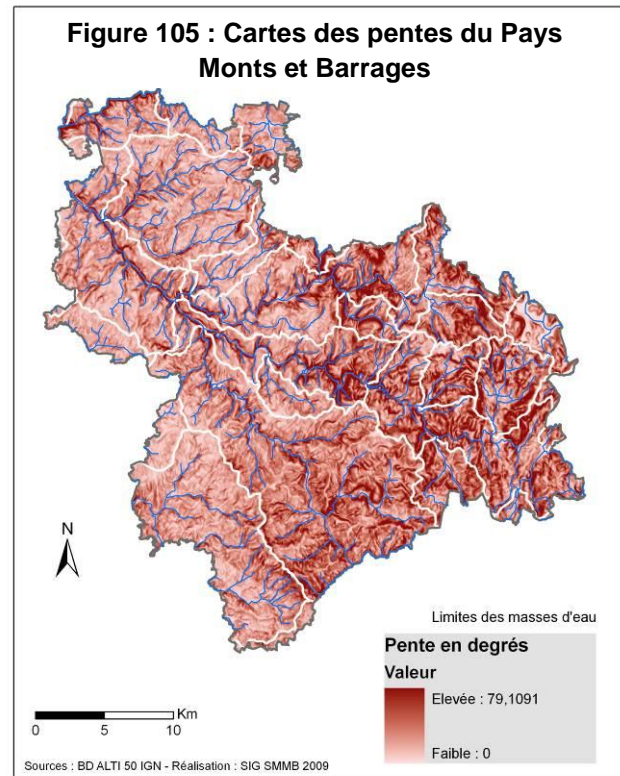


Le Pays Monts et Barrages se situe sur une zone de contact entre les roches magmatiques de la Montagne limousine à l'est et les roches métamorphiques du plateau limousin à l'ouest. Ces deux grands ensembles sont nettement séparés par la faille d'Argentat et par une rupture de pente. Cela se répercute sur la géomorphologie des vallées principales, mais également sur celle des ruisseaux.

L'érosion différentielle des roches a ainsi façonné le cours de la Vienne. Sur les roches magmatiques la Vienne serpente tout d'abord (des sources à Rempnat) dans des fonds d'alvéoles plats tourbeux entre des massifs granitiques durs, et le lit est constitué de gros blocs qui créent une multitude de veines d'eau. La pente augmente légèrement entre Rempnat et Nedde. C'est pour

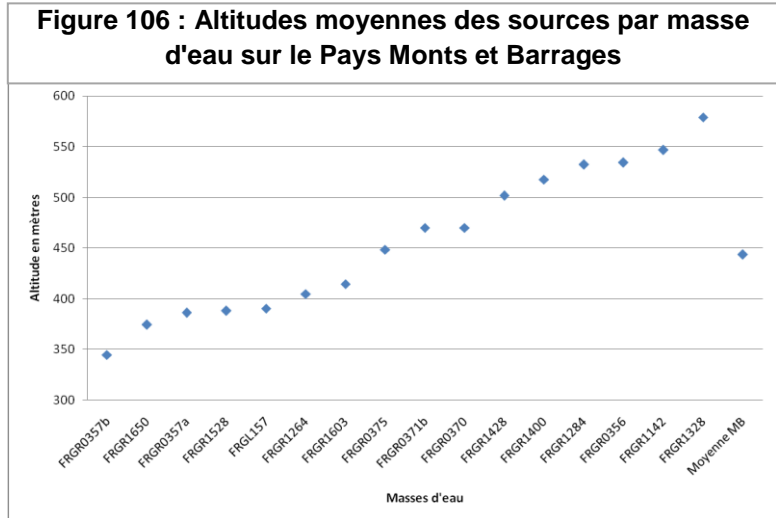
rejoindre les zones plus basses du plateau limousin que la Vienne s'encaisse jusqu'au Chalard, avec une légère ouverture où est implantée la ville d'Eymoutiers. C'est à partir de Bazenant que la vallée s'élargit dans le plateau métamorphique.

L'est du territoire est totalement sur le socle granitique du plateau de Millevaches. Les têtes de bassin de la Briance et une partie de celles de la Combade se trouvent sur des micaschistes. La configuration de la vallée de la Combade comprend des différences notables avec celle de la Vienne. À partir de la faille d'Argentat (entrée dans le département de la Haute-Vienne), la rivière est contenue dans des granits à 2 micas avant de parvenir aux roches métamorphiques, les paragneiss de Sussac, où la vallée s'ouvre largement. Les berges peuvent être hautes et facilement érodées, le cours d'eau se charge à cet endroit d'éléments granulométriques fins. La Combade s'écoule alors sur un fond de vallée plat et faiblement pentu. La traversée des orthogneiss des Echarabés se matérialise par une vallée encaissée qui s'ouvre au niveau du village de Châteauneuf-la-Forêt, sur des paragneiss. A l'aval du moulin de Lacour, la présence d'un massif de diorites fait que l'encaissement de la rivière est très prononcé. La vallée s'ouvre à nouveau juste avant la confluence avec la Vienne.



En se référant à la carte des pentes on s'aperçoit que les pentes des versants sont plus fortes à l'est (partie de la Montagne limousine) qu'à l'ouest. Cette différence suit la limite géologique entre les terrains cristallins et les terrains métamorphiques. Des fonds plats pouvant être assez étendus sont visibles. La combinaison de ces versants pentus et de ces fonds plats s'explique par le fait que le relief de la Montagne limousine est composé d'une juxtaposition d'alvéoles. Les pentes des versants captent l'eau des précipitations, et l'acheminement, vers les fonds de vallées où se trouvent les zones humides. Les vallées des cours d'eau principaux sont en revanche toujours encaissées avec des versants pentus, ce qui est typique des reliefs de plateaux.

Les sources des cours d'eau du Pays Monts et Barrages se situent à une altitude moyenne de 444 mètres. Les sources les plus élevées sont celles du ruisseau de Lauzat à quasiment 600 mètres, et les plus basses celles des affluents de la Vienne aval à moins de 350 mètres. Un premier palier comprend les sources des affluents de la basse vallée de la Vienne, du Tard et de



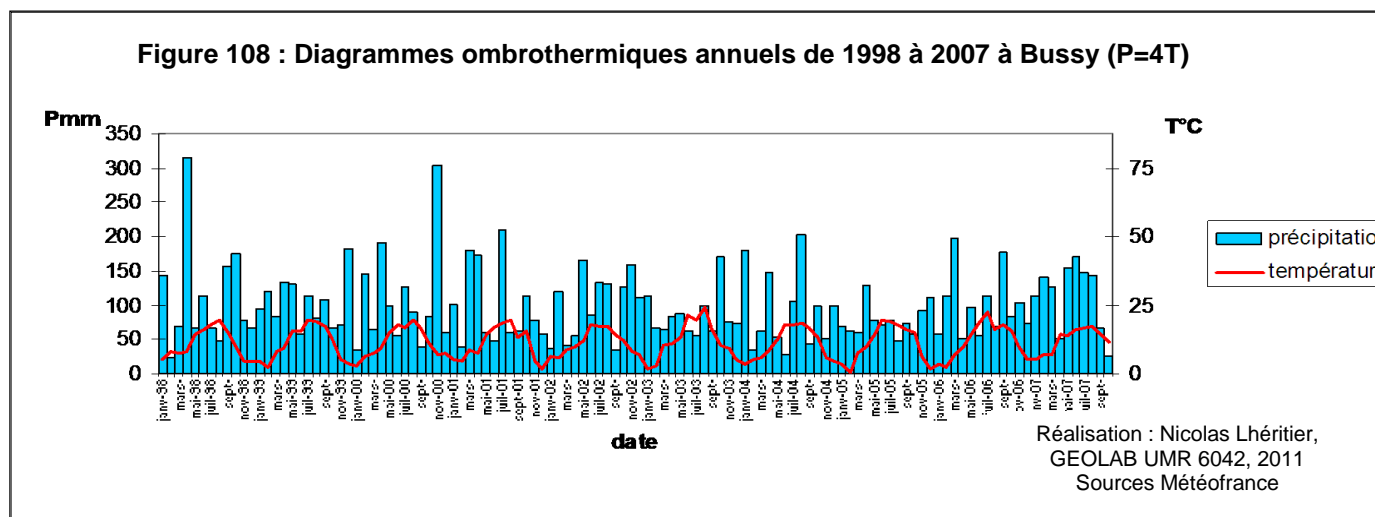
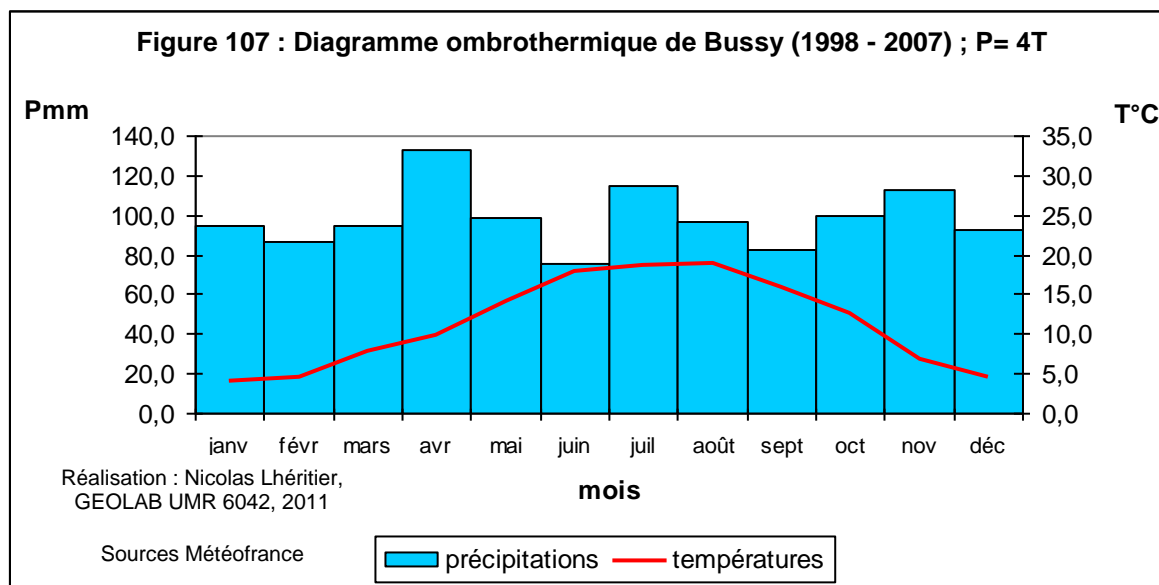
la Galamache, de la Vienne moyenne, du ruisseau d'Alesmes, et de la basse vallée de la Maulde. Toutes ces sources se situent à moins de 400 mètres d'altitude. À partir des ruisseaux de Vergnas et de Cheissoux, les sources s'élèvent progressivement, car elles se situent sur les contreforts du plateau de Millevaches. On rencontre progressivement celles de la Briance, des affluents de la Maulde, de la Combade, du ruisseau d'Artigeas, du Mazet, du Planchemouton, des affluents de la haute vallée de la Vienne, de Plainartige, et enfin du Lauzat. Les différentes élévations des sources procurent aux cours d'eau de Monts et Barrages une forte diversité potentielle des milieux aquatiques. La température de l'eau des cours d'eau étant liée à l'altitude des sources, les cours d'eau les plus vulnérables au réchauffement de leurs eaux vont donc être ceux des basses altitudes.

Le relief est déterminant dans la répartition et l'abondance des précipitations, en effet, les trains de dépressions océaniques qui arrivent de l'ouest se trouvent de plus en plus freinés et « accrochés » par les reliefs de la Montagne limousine. Les précipitations sont donc de plus en plus abondantes d'ouest en est. Ainsi, sur la commune de Saint-Léonard-de-Noblat, les précipitations annuelles sont de l'ordre de 900 à 1000 mm alors que sur le plateau de Millevaches, elles peuvent atteindre 1500 mm. En zone médiane, sur les contreforts du plateau de Millevaches, le cumul des précipitations annuel est d'environ 1300 mm. On compte en moyenne 120 jours de précipitations par an supérieures à 1 mm sur les bas plateaux contre 150 sur la Montagne limousine.

Cependant il existe une irrégularité interannuelle des précipitations, l'Atlas Agroclimatique du Limousin montre que la sécheresse intervient de manière cyclique tous les 5 ans en Limousin. À l'inverse, des années peuvent être très pluvieuses. Cette irrégularité interannuelle se traduit par des débits irréguliers, étant donné que le Limousin ne dispose pas de zones de rétention d'eau de grandes dimensions. La réponse hydrologique est donc rapide lors des extrêmes climatiques. Le « château d'eau » limousin n'existe pas en termes de réserve en eau car l'eau ne fait qu'y transiter. Ce

sont plutôt les densités de drainage et sa capacité à intercepter les dépressions océaniques qui lui ont valu cette renommée.

Les températures de l'air se répartissent selon un gradient altitudinal, ainsi on remarque 3 grandes isothermes, les parties basses autour de Saint-Léonard-de-Noblat ont une température moyenne annuelle de 10 à 11°C, la partie médiane du bassin de la Vienne amont de 9 à 10°C et la tête de bassin de 8 à 9°C.



Les deux graphiques illustrent parfaitement les variabilités interannuelles des précipitations. En effet, si on considère les moyennes mensuelles sur une décennie à Bussy (dans la zone médiane), les déficits d'eau ne sont pas visibles (lorsque la courbe des températures dépasse les barres de précipitations), mais lorsque l'on détaille année après année, les déficits sont bel et bien visibles et se

répercutent sur l'hydrologie et sur l'hydrobiologie avec des variations de la capacité d'accueil des cours d'eau.

1.3.3. Un territoire de tête de bassin fortement influencé par les activités humaines

Les problématiques liées à l'eau y sont variées de par l'opposition biogéographique présente entre ces deux territoires. Le plateau de Millevaches est dominé par l'espace forestier, auquel se mêle l'élevage (essentiellement bovin). Les massifs de résineux occupent une grande partie du plateau, et plus particulièrement les versants abrupts inadaptés à l'agriculture moderne. La déprise agricole permet à la végétation de reconquérir les zones délaissées.

Le plateau du Limousin bien représenté par le bassin de la Briance est majoritairement occupé par les prairies et cultures. L'élevage bovin et ovin caractérise l'activité agricole de ce territoire. Les espaces boisés y sont peu nombreux, et sont majoritairement composés de feuillus.

A ces deux grands ensembles biogéographiques, se superposent l'anthropisation urbaine et les aménagements hydroélectriques qui participent à son approvisionnement en énergie. L'espace périurbain de la ville de Limoges est grandissant. La vallée de la Vienne permet à cet espace de rejoindre la ville de Saint-Léonard-de-Noblat. Les barrages hydroélectriques occupent une grande partie du cours de la Maulde, générant une artificialisation de son propre bassin, mais également de ceux de la Vienne et du Taurion par des transferts de bassins.

Figure 109 : Le Pays Monts et Barrages, carte territoriale

Sources : IGN, Corine Land Cover 2000, données STRM NASA 2000.
Réalisation : Nicolas Lhéritier, laboratoire de cartographie, université de Limoges, 2006.

Monts et Barrages : territoires et problématiques

Bassin versant du Taurion

Bassin versant de la Maulde

Bassin versant de la Combade

Bassin versant de la Briance

Monts de Millenaches
Plateau de Limousin
Aire urbaine de Limoges

















800 m
200 m











Territoires :

-  Monts et Barrages
-  Territoires ayant une influence sur Monts et Barrages

Occupation des sols :

-  Tissu urbain continu
-  Tissu urbain discontinu
-  Zones industrielles et commerciales
-  Réseaux routiers et ferroviaires et espaces associés
-  Aéroport
-  Espaces verts urbains
-  Equipements sportifs et de loisirs
-  Terres arables
-  Vergers et petits fruits
-  Prairies
-  Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants
-  Systèmes culturaux et parcellaires complexes
-  Forêts de feuillus
-  Forêts mélangées
-  Forêts de conifères
-  Forêt et végétation arbustive en mutation
-  Landes et broussailles
-  Pelouses et pâturages naturels

Hydrologie :

-  Bassins versants
-  Cours d'eau
-  Tourbières
-  Plans d'eau
-  Transferts de bassins
-  1 Complexe hydroélectrique de la Maulde
-  2 Complexe hydroélectrique du Taurion
-  Extensions du bassin versant de la Maulde

10 Km
10 Km

L'eau en territoire Monts et Barrages est présente par les cours d'eau, mais aussi les zones humides, les étangs et les lacs de retenues hydroélectriques. Les cours d'eau cartographiés représentent un linéaire de 890 Km selon l'IGN.

D'après le recensement récent des zones à dominante humide réalisé par la région Limousin et l'EPTB Vienne, il y aurait 70 Km² de zones à dominante humide. Ceci représente 10 % du territoire. Cette forte présence est en partie due au relief en alvéole de moyenne montagne. Ces alvéoles sont plus ou moins abouties, et de dimensions différentes : elles ont des dimensions hectométriques à kilométriques. Les zones de dépression correspondent parfois aux premiers impluviums à l'extrême amont des bassins versants. Les fonds d'alvéoles sont des sites idéaux pour l'installation d'une zone humide de dépression ou de pente. Les zones humides riveraines se trouvent sur les replats alluviaux larges et les zones de confluence. Ces zones sont en majorité des boisements « naturels » et des prairies humides pâturées ou en déprise.

Les bassins versants des ruisseaux renferment à eux seuls 5 760 ha de zones humides, soit 81% de la surface des zones à dominante humide du territoire. Toutes ces zones sont en position stratégique de « tête de bassin » des rivières Vienne, Maulde, Combade et Briance. Les cours d'eau sont sans cesse en contact avec des zones humides. Pour un linéaire de 1200 Km de cours d'eau, 1040 Km sont bordés par des zones à dominante humide (SAGE Vienne), ce qui représente une part de 87 % du linéaire. Sur le bassin de la Vienne amont et sur le territoire du Pays Monts et Barrages, nous avons échantillonné 10 bassins versants pour un total de 1330 ha de zones humides riveraines et 275,5 Km de cours d'eau. 75 % du linéaire de ces cours d'eau est bordé par des zones humides recensées et cartographiées précisément sur le terrain. Cette forte proportion suggère des échanges hydrologiques spatio-temporels permanents entre le ruisseau et la zone humide.

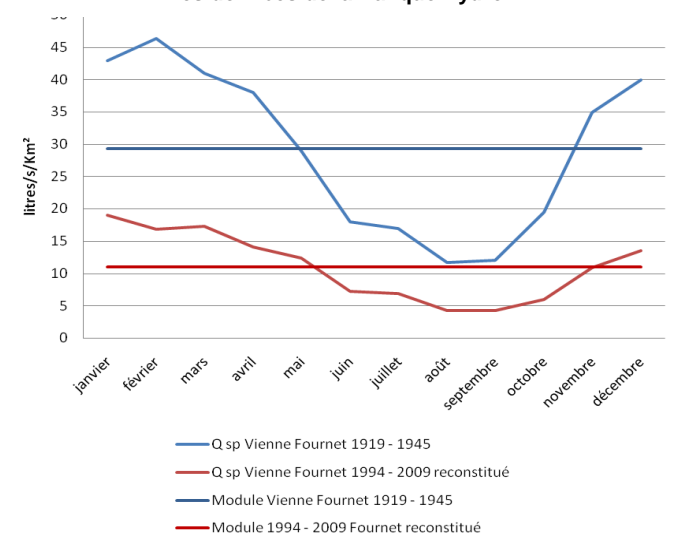
Enfin, les retenues hydroélectriques sur la Maulde représentent une surface de 12,8 Km² faisant partie du complexe hydroélectrique de Vassivière.

Dans le territoire, l'importance spatiale et surtout linéaire des zones humides dans les vallons et vallées, fait qu'elles ont un rôle primordial dans les transferts hydrologiques précipitations-cours d'eau. Nous venons de voir que le Limousin ne comprend pas de grandes nappes aquifères, la régulation des débits des cours d'eau repose donc sur le bon état des chapelets de petites zones humides.

Les échanges entre l'atmosphère, la nappe d'accompagnement du cours d'eau et le cours d'eau se font différemment en fonction du type de zone humide. Les boisements de versants et des zones humides consomment et évapotranspirent de l'eau. Or, le boisement des zones humides et des versants est grandissant depuis les années 1950 en Limousin. Nous verrons plus en détail les étapes de la reconversion de ce territoire autrefois dénudé en un espace où la forêt occupe la moitié du territoire lorsque nous étudierons les phases de boisement à l'échelle nationale.

Sans affirmer que l'hydrologie des cours d'eau du territoire est uniquement due à ce phénomène, nous constatons une diminution des débits entre les périodes 1919 - 1945 et 1994 - 2009. Au niveau du pont du Fournet dans la commune de Rempnat, le module spécifique de la Vienne a diminué d'environ 20 l/s/km² entre ces deux périodes. Il est probable que ce changement important de l'occupation des sols des versants et des zones humides a pu amplifier des phénomènes météorologiques. Bien entendu, cette constatation est basée sur des débits spécifiques naturels reconstitués afin de ne pas prendre en compte le transfert de bassin Vienne-Maulde qui participe également à la diminution des débits de la Vienne. Mais ce transfert de bassin n'affecte pas directement les petits bassins versants que nous étudierons.

Figure 110 : Évolution des débits spécifiques de la Vienne entre les périodes 1919 - 1945 et 1994 - 2009 d'après Garenc P., 1952 et les données de la Banque Hydro



Le Syndicat mixte Monts et Barrages dans l'objectif d'acquérir des données sur la qualité physicochimique des petits cours d'eau est en partenariat avec la *licence professionnelle gestion et protection de la ressource en eau* de l'Université de Limoges. En 2006, Gravey et al., ont pu évaluer les pressions sur la qualité de l'eau des ruisseaux du territoire selon la méthode suivante :

Un découpage des polygones de Corine Land Cover avec les BV.

Après des recherches auprès d'organismes tels que la chambre d'agriculture de la Haute-Vienne, les communes, la DDAF, le Référentiel Général Agricole, les données AGRESTE pour chaque paramètre communal étudié, un indice au m² fut calculé et appliqué aux zones d'occupation des sols sur lesquelles se trouvent un d'activité. Par exemple, si le chargement UGB génère X quantité d'azote par m², ce coefficient est multiplié par la surface des zones 231 (prairie) de Corine Land Cover qui sont comprises dans le BV et dans la commune.

Ils ont appliqué ces données à l'entité bassin versant. Pour réaliser cette analyse, ils ont appliqué des coefficients de pondération aux bassins versants. Par exemple, lorsqu'ils disposaient de données à l'échelle communale et qu'un bassin était à cheval sur deux communes, ils ont réalisé une pondération des données en fonction de la surface que le bassin et la commune ont en commun.

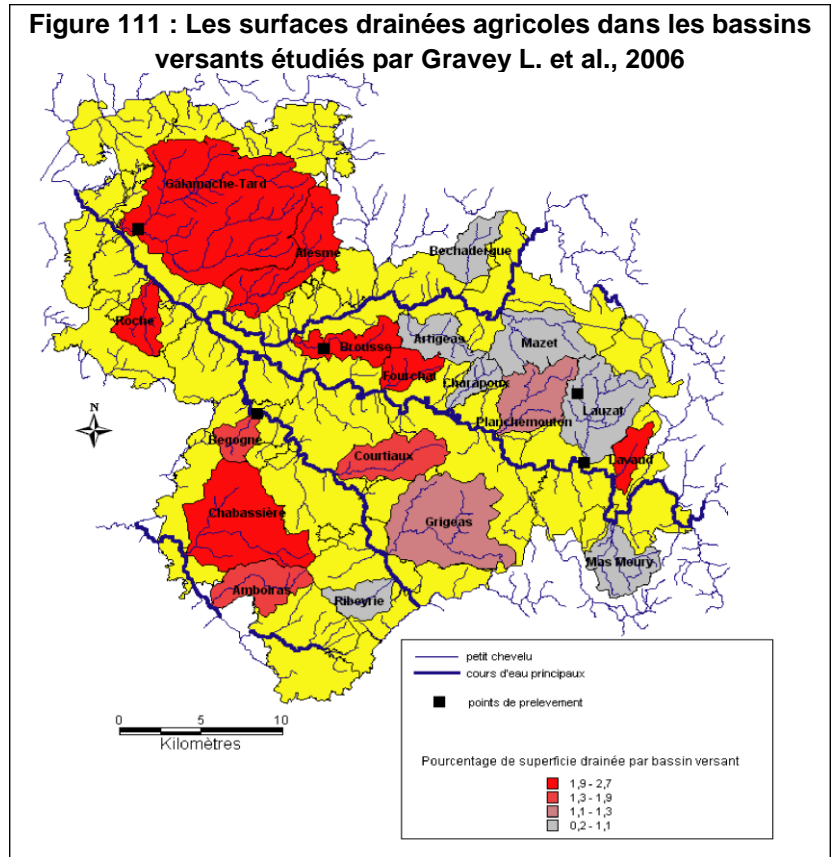
Le résultat est une analyse issue d'un croisement de données sur les pratiques agricoles, l'assainissement autonome et collectif à l'échelle des bassins versants.

Il est alors possible d'interpréter l'occupation des sols en termes de pressions anthropiques sur la ressource.

Les cartes qui vont suivre, entièrement réalisées par les étudiants en licence professionnelle détaillent les vulnérabilités des bassins. La carte ci-contre compare les surfaces drainées par bassins.

Les pourcentages de surface drainée par bassin versant sont faibles, mais elles sont rapportées aux surfaces totales des bassins, les proportions de territoire drainé sont croissantes de l'est vers l'ouest. En ce qui concerne les pressions physicochimiques, les valeurs de flux estimées en Kg/m^3 avant le traitement par l'assainissement montrent une pression croissante de l'est vers l'ouest.

Figure 111 : Les surfaces drainées agricoles dans les bassins versants étudiés par Gravey L. et al., 2006



Ces études et cartes ne permettent que la comparaison, mais un protocole similaire sur plusieurs bassins versants rend compte des pressions, le bon fonctionnement de l'assainissement et la fonctionnalité épuratoire des zones humides restantes des secteurs de l'ouest doivent être garantis pour que les eaux des ruisseaux ne soient pas dégradées. En plus de cette analyse des pressions, différentes promotions de la licence ont réalisé plusieurs campagnes de mesures sur le terrain que nous valoriserons.

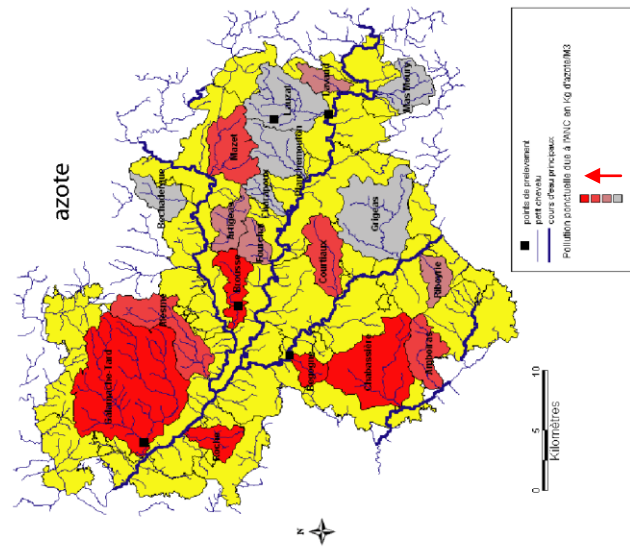
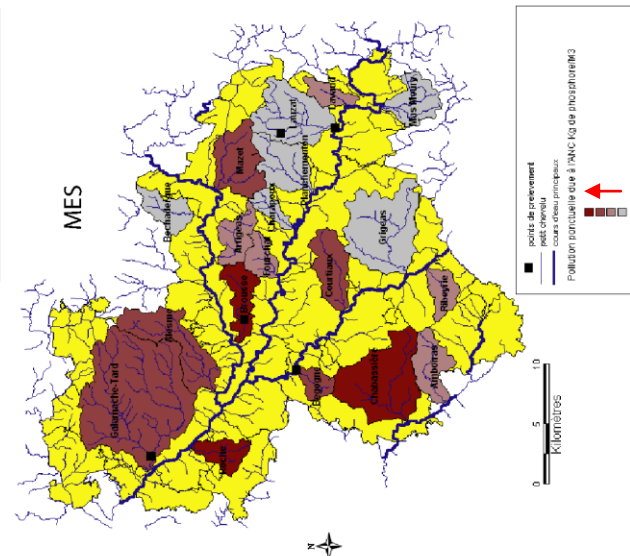
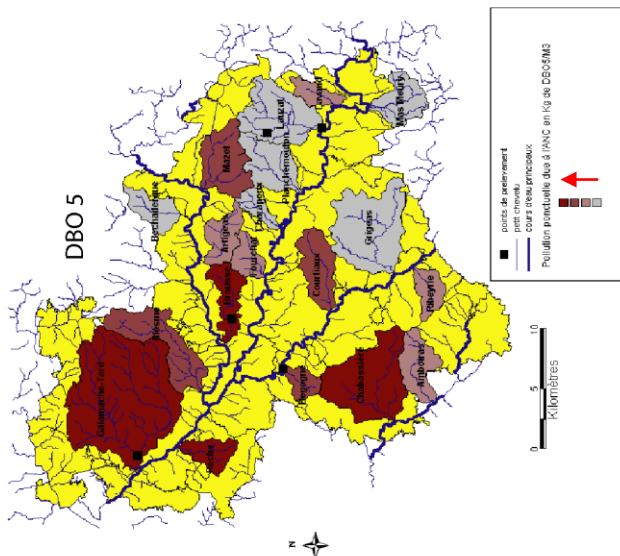
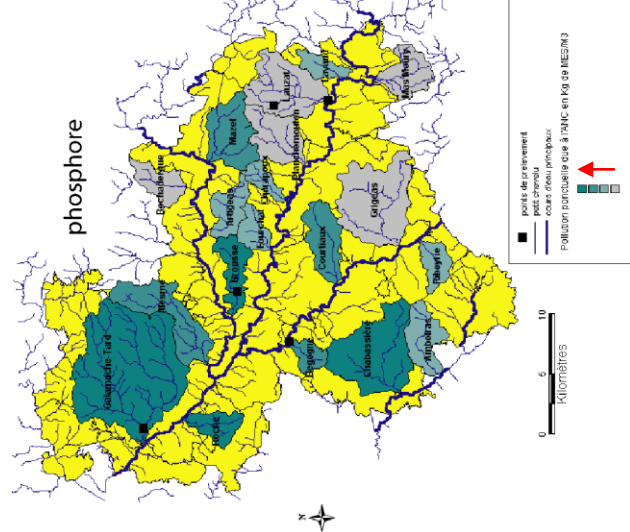
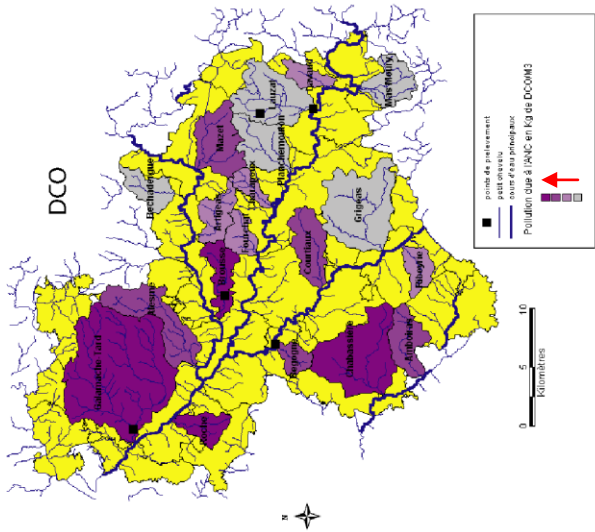


Figure 112 : Classes de valeurs de flux des paramètres physicochimiques avant traitement par assainissement dans les bassins versants étudiés par Gravey L., et al, 2006

Conclusion partielle :

La réalisation d'une typologie hydro-géomorphologique des têtes de bassins versants est renforcée par les difficultés rencontrées pour les cartographier à petite échelle et par la variabilité des processus d'érosion et de sédimentation à l'échelle du globe.

L'échelle nationale est l'échelle à considérer vis-à-vis de l'enjeu cartographique des têtes de bassin par bassin dans le cadre de l'atteinte du bon état des eaux. C'est également une échelle suffisante pour traiter des relations biogéographiques, car les différents types de données sont suffisants. Nous verrons cependant si la masse statistique est suffisante pour dégager des tendances entre environnement riverain et état des populations piscicoles par exemple. La diversité des climats et des reliefs constitue un échantillonnage qui permettra peut-être l'extrapolation via des bases de données mondiales.

Le principal terrain de recherche, du Pays Monts et Barrages dans le bassin amont de la Vienne, a de fortes chances d'accueillir des ruisseaux et des zones humides en nombre du fait des précipitations, et aux caractéristiques variées, du fait des différentes altitudes des bassins versants et des sources. Il se situe aussi bien dans une zone de contact physique que sociétale, cela se traduit par des pressions sur la qualité de la ressource grandissante de l'est vers l'ouest, et une reconversion forestière rapide sur les plus hautes terres, tout en conservant une activité agricole dominante.

2. Méthodes géomatiques pour la quantification linéaire et surfacique des têtes de bassin, la typologie hydromorphologique et les relations biogéographiques

Les carences cartographiques dans les bases de données hydrographiques ne concernent pas que les bases de données de l'IGN, Outre-Atlantique, l'immense linéaire que représentent les petits cours d'eau pose un problème de représentation évident. De ce fait, les régions à petits cours d'eau ne peuvent pas être connues et n'ont pas de typologie géographique de base permettant de fixer des limites des régionalisations hydrobiologiques ou hydrologiques.

Pour aboutir à une cartographie des « régions de tête de bassin » de France il est impératif de disposer d'un référentiel ordonné selon une logique hydrographique partant de l'amont. La BD Carthage 08 sera utilisée. Mais il nous faudra tenir compte de la non-représentation de certains tronçons, voire de rangs élémentaires entiers. Ce problème sera partiellement résolu avec la BD TOPO, mais nous ne pourrons l'utiliser qu'à l'échelle régionale.

Dans l'objectif de cartographier les têtes de bassin à l'échelle mondiale, il est peut probable que nous trouvions un référentiel de cours d'eau comprenant les premiers écoulements, nous nous dirigerons vers des estimations par régression en nous appuyant sur la loi des nombres d'Horton et de Strahler. A cette échelle, ce sont les données raster de la base de données HYDRO1k qui nous permettront d'approcher la tête de bassin en tant que région. Une double approche topographique et hydrologique nous guidera vers la typologie.

À ces échelles, nous n'arriverons certainement pas jusqu'aux sources les plus reculées, il nous faudra alors réaliser des cartographies de grande échelle par la géomatique et avec des vérifications sur le terrain.

Le travail de cartographie statistique et sélective est donc de taille, nous espérons qu'il permette :

- de quantifier les linéaires de ruisseaux et de cartographier les zones qu'ils irriguent et drainent
- de connaître leur importance par zone hydrographique ou par bassin versant
- de réaliser une typologie hydro-géomorphologique
- de connaître l'environnement biogéographique des têtes de bassins
- d'approcher la notion écologique de la tête de bassin par la cartographie de la zone à truite réelle

Le tableau de synthèse suivant présente les opérations géomatiques à mener :

Tableau 24 : Tableau des opérations géomatiques réalisées

Objectif	Échelle	Base de données	Opération géomatique, outils	Résultats / interprétations
QUANTIFICATION LINEAIRE ET SURFACIQUE	Nationale	BD Carthage, outils géomatiques de Duncan Hornby	Ordination de la BD Carthage	Composition du réseau hydrographique français, estimation du linéaire de ruisseau
	Mondiale	BD cours d'eau Hydro1K	Sélection des cours d'eau de rang inférieur à 5	Estimation linéaire du réseau hydrographique mondial et de sa composition. Estimation des linéaires de petits cours d'eau par relations statistiques (loi des nombres)
	Mondiale	Compound topographic Index de l'USGS	Classement des valeurs du Compound Topographic Index	Après un calibrage du classement sur les surfaces englobant les rangs 1 et 2 de la France métropolitaine et de la Corse, cette valeur permet une projection à l'échelle mondiale afin de dégager les surfaces riveraines des rangs 1 et 2 mondiaux.
	Régionale (Limousin)	BD TOPO et BD Carthage IGN	Sélection des zones de 1 km ² intersectées ou comprenant des petits cours d'eau	Comparaison de l'étendue des têtes de bassin en fonction de la base de données hydrographique utilisée
	Locale : bassin amont de la Vienne, Pays Monts et Barrages	MNT 50 mètres IGN	Tracé des interfluves et bassins versants	Cartographie des bassins versants, extraction des caractéristiques surfaciques en fonction du rang de Strahler
	Locale : bassin amont de la Vienne, Pays Monts et Barrages	MNT 50 mètres IGN	Tracé des fonds de talweg ayant un écoulement	Constitution d'une base de données hydrographiques tenant compte des caractéristiques topographiques. Calibrage sur les talwegs connus ayant un écoulement.
ABONDANCE DES PETITS COURS D'EAU PAR REGION	Nationale	BD Carthage	Calcul de la densité de drainage des rangs 1 et 2 dans chaque zone hydrographique	La densité de drainage des petits cours d'eau donne une indication sur le lien plus ou moins étroit avec leur bassin versant et où l'environnement des petits cours d'eau va les conditionner.

	Nationale	BD Carthage	Calcul des linéaires des rangs 1 et 2 par zone hydrographique	Les zones hydrographiques englobant un grand linéaire de rang 1 et 2 sont susceptibles d'avoir de l'influence sur les cours d'eau à l'aval de part la surface mouillée représentée par ces cours d'eau.
	Mondiale	BD Bassin versant Hydro1K et BD CTI	Valeurs moyennes CTI par bassin versant	La valeur moyenne CTI rend compte de l'importance des zones propices à la présence de petits cours d'eau.
CARTOGRAPHIE SURFACIQUE DES TÊTES DE BASSIN	Nationale	BD Carthage IGN	Tracé des isolignes de Strahler	Cartographie réelle de la tête de bassin française
	Nationale	BD CCM2 JRC, BD Carthage IGN	Sélection des zones hydrographiques comprenant des rangs 1 et 2, tri des zones selon le rang des cours d'eau auxquels ils confluent	Hiérarchisation des zones de tête de bassin selon leurs enjeux vis-à-vis de la ressource en eau, des écosystèmes et de l'hydromorphologie
	Régionale (Limousin)	BD TOPO IGN	Tracé des isolignes de Shreve	Cartographie régionale fine de l'éloignement aux sources
TYPOLOGIE HYDROMORPHOLOGIQUE	Nationale	BD Carthage, MNT de la France métropolitaine et de la Corse 250 mètres de l'IGN	Calcul de pente des segments de rang 1 et 2	La pente est un paramètre fondamental pour réaliser un classement hydromorphologique des cours d'eau.
	Mondiale	Cartographie de l'écoulement fluvial d'A.GIRET et Valeurs moyennes CTI par BV Hdro1K	Croisement des caractéristiques d'écoulement avec les classes de valeurs CTI	Cartographie par grand type hydromorphologique des têtes de bassins du globe
	Régionale (Limousin)	Banque hydro, données morphométriques extrapolées des rangs de Monts et Barrages, pente issue du MNT 50 mètres de l'IGN.	Calcul de la puissance spécifique des rangs 1, 2 et 3	La puissance spécifique renseigne sur la dynamique hydromorphologique des cours d'eau, de leur capacité à éroder leurs berges, déposer et transporter leurs sédiments.

ENVIRONNEMENT BIOGEOGRAPHIQUE	Nationale	BD Carthage, Corine Land Cover	Intersection des ruisseaux et de l'occupation des sols	Nature de l'environnement riverain proche
	Nationale	BD Carthage, Corine Land Cover	Occupation des sols de part et d'autre des rangs 1 et 2 (carré de 1 km ²)	Nature de l'environnement riverain des petits cours d'eau dans une zone tampon de 1 Km
PEUPLEMENT PISCICOLES DES RUISSEAUX ET CARTOGRAPHIE DE LA ZONE A TRUITE	Nationale	Bases de données IPR de l'ONEMA	Classement de l'Indice Poisson Rivière des stations situées sur des rangs 1 et 2	L'IPR est l'outil de référence pour qualifier l'état ichtyologique des cours d'eau dans le cadre de la DCE, il permet de comparer la qualité des peuplements des petits cours d'eau entre eux.
	Nationale	Comptes-rendus des pêches électriques de l'ONEMA	Territoires des Agences de l'eau RMC, Loire- Bretagne, Adour Garonne et Artois Picardie : Calcul des densités de truites communes.	Dans les régions tempérées, l'amont des bassins versants est généralement assimilé à la zone à truite : la densité des truites communes renseigne sur la capacité du cours d'eau à accueillir cette espèce en quantité.
	Nationale	Comptes-rendus des pêches électriques de l'ONEMA	Territoires des Agences de l'eau RMC, Loire- Bretagne, Adour Garonne et Artois Picardie : Calcul de la part des truites communes dans les peuplements.	Dans les régions tempérées, l'amont des bassins versants est généralement assimilé à la zone à truite : la part des truites communes dans les peuplements piscicoles renseigne sur la conformité des peuplements.

2.1. Cartographie des ruisseaux : ordination des bases de données existantes

2.1.1. Travail à partir des bases de données de l'IGN : BD Carthage et TOPO

La BD Carthage est un extrait des données hydrographiques de la BD CARTO de l'IGN. Elle est construite pour une échelle de base allant du 1/50 000 au 1/100 000. Dans cette base de données sont disponibles des entités linéaires telles que les tables COURS_D_EAU et TRONCON_HYDROGRAPHIQUE, des données surfaciques : HYDROGRAPHIE _SURFACIQUE, ZONE_HYDROGRAPHIQUE et REGION_HYDROGRAPHIQUE, mais aussi des données ponctuelles : NŒUD_HYDROGRAPHIQUE.

L'intérêt de se servir de la BD Carthage pour réaliser une véritable BD hydro avec une ordination réside dans le fait que cette base de données reste la plus précise au niveau du tracé des cours d'eau. De ce fait, les dimensions linéaires et les grandes sinuosités des cours d'eau sont conservées.

Nous utiliserons deux outils, tous deux complémentaires du logiciel Arc Gis, et tous deux développés par Hornby D.

- L'outil *Strahler Ordering Utility* associé à ARCGIS 3 prend en compte la provenance et la destination du tronçon ainsi que l'ordre des jonctions. Cet outil spécialisé dans l'ordination des réseaux hydrographiques trie les sources et les confluences. Le logiciel part des sources et effectue successivement un classement des confluences, joint aux tronçons, ce classement devient une ordination de l'amont vers l'aval. Il permet l'ordination de Shreve et Strahler.
- L'outil *Rivex* est une application directement intégrée à un document Arc map (.mxd) qui permet d'ordonner les cours d'eau selon les classifications de Strahler et de Shreve. Il s'agit d'une amélioration de l'outil *Strahler Ordering Utility*. Il permet d'attribuer un identifiant unique à chaque rang de Strahler ou de Shreve par bassin versant. Il permet de traiter une masse plus importante de vecteurs.

Nous utiliserons ces deux outils pour l'ordination des tronçons de la BD Carthage.

2.1.2. Construction d'une base de données à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à l'échelle locale

La méthode de tracé des lignes de talweg à partir d'une base de données altimétriques consiste à réaliser un MNT et à l'aide d'outils logiciels d'en dégager les lignes d'interfluves et de talwegs. Lorsque l'on réalise un travail de tracé de cours d'eau à partir de bases de données altimétriques, le résultat est souvent de forme plus ou moins rectiligne en fonction de la résolution de la grille de points. C'est pour cela que la plupart du temps, même en utilisant la BD ALTI (50m) de l'IGN, le tracé des cours d'eau n'est pas conforme avec leur sinuosité et leur linéaire.

Plusieurs outils permettent de réaliser des calculs hydrologiques à partir de MNT, notamment, l'outil *Arc Hydro Tools* de ESRI qui couplé à *spatial analyst* permet de tracer les lignes des talwegs et de les ordonner. Il existe également des logiciels libres comme SAGA GIS permettant de réaliser ce travail sur de petites zones.

L'intérêt de cartographier les cours d'eau en fonction de leur position dans le bassin versant va être indispensable à l'étude régionale des zones de têtes de bassin, ainsi que les zones basses des petits bassins versants.

En plus de tracer les cours d'eau, l'outil *Arc Hydro Tools* permet toutes sortes d'opérations supplémentaires pour effectuer dans un second temps des analyses statistiques sur l'hydrographie.

Le premier processus de la réalisation d'un MNT permettant la réalisation de tracés hydrologiques est d'affiner le dessin des vallées en tirant parti des données de la BD Carthage. En effet, l'outil géomatique permet de modifier le MNT avec les segments de cours d'eau IGN et ainsi de conserver le tracé des vallées connues. Cette étape est le *DEM Reconditioning*.

Il faut ensuite gommer les petites erreurs du MNT qui sont des puits qui se forment du fait que les points de la BD ALTI ont un pas de 50 mètres.

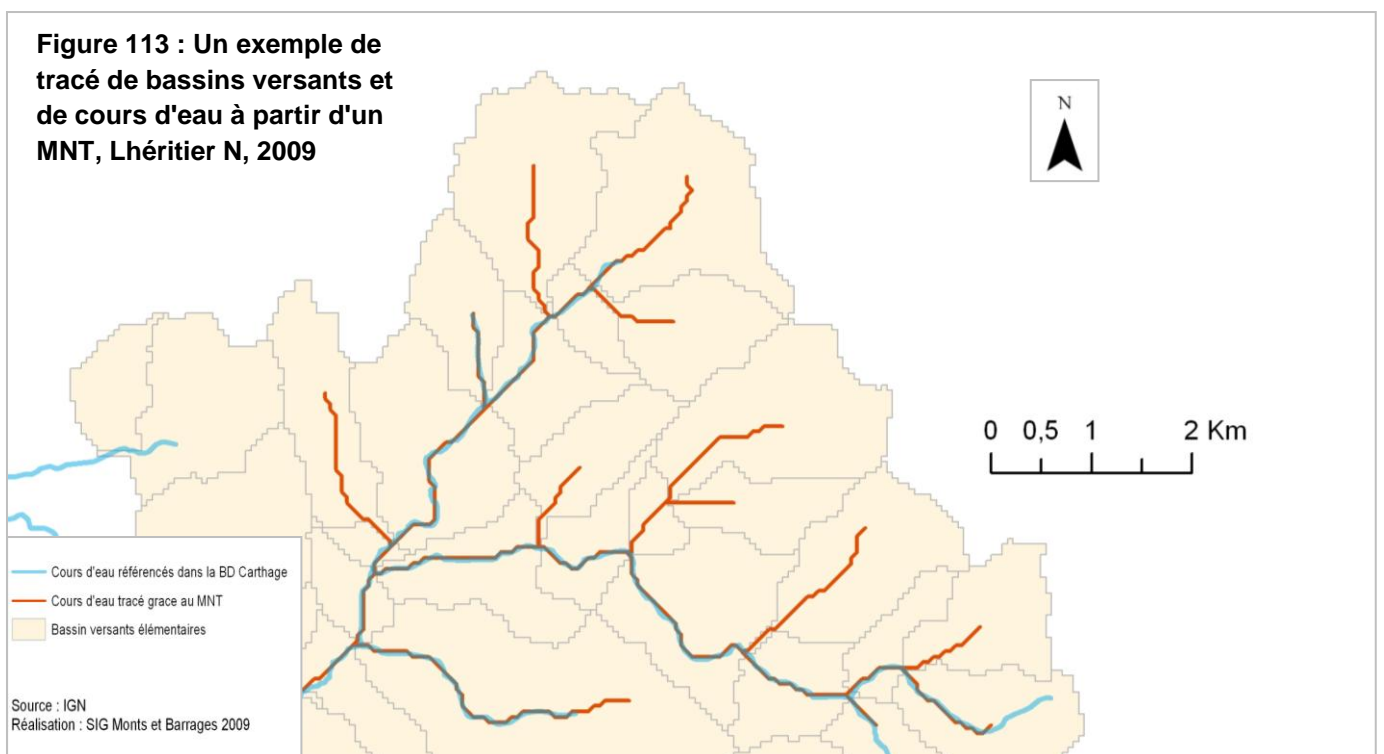
Une fois ces puits gommés, le premier processus hydrographique peut avoir lieu, il s'agit d'identifier la direction des flux à tous les endroits du bassin versant. Cette étape est appelée *Flow Direction*. Le résultat est un raster contenant des informations sur le principe du GRID qui comprend des informations sur le relief. Le raster *Flow direction* comporte quant à lui des informations d'azimuts sur la direction des flux.

La seconde étape dans la réalisation de la carte hydrographique est la création d'un raster d'accumulation des flux, c'est-à-dire un raster des talwegs élémentaires. Toujours sur le même principe que le GRID, ce raster est appelé *Flow Accumulation*.

Vient ensuite une étape de vectorisation qui consiste à trier ce que l'on veut conserver du raster *Flow Accumulation*, selon une valeur du raster *Flow Accumulation* définie par l'utilisateur. Il est donc possible de sélectionner tous les talwegs élémentaires, ou de garder uniquement les talwegs ayant un écoulement. Pour ce faire, il est indispensable d'avoir une connaissance terrain de quelques cours d'eau existants dans la réalité mais n'étant pas cartographiés par l'IGN. En réalisant cette étape sur des zones géomorphologiquement homogènes et en procédant par tâtonnement, on étend le réseau hydrographique des confluences avec les cours d'eau connus vers les sources réelles. Cette étape est appelée *Stream Définition*.

Afin de pouvoir effectuer des mesures linéaires et une ordination des tronçons de cours d'eau, il faut les vectoriser, puis les découper à chaque confluence, c'est l'étape de la vectorisation et de la segmentation : *Stream Segmentation*.

Avec l'outil Hydrologie compris dans Spatial Analyst, il est possible d'ordonner les segments selon Strahler ou Shreve.



Cet outil est bien adapté car il permet de compléter les données existantes de la BD Carthage en gardant sa qualité de tracé. Seuls les segments nouvellement tracés peuvent avoir un aspect rectiligne, ce qui est dû à la précision de la BD ALTI.

La cartographie hydrographique peut continuer avec le tracé des bassins versants élémentaires, c'est-à-dire que le logiciel va faire le lien entre un tronçon de cours d'eau (entre deux confluences) et les rasters *Flow direction* et *Flow Accumulation*. Il en résulte un fichier raster nommé *Catchment Grid Delineation* qui est un raster des bassins versants des rangs 1 et de tous les autres tronçons. Les bassins versants sont ensuite convertis en polygones avec la fonction *Catchment Polygon Processing*.

Le logiciel permet ensuite de lier les bassins élémentaires en bassins plus grands lorsqu'on lui définit un point exutoire.

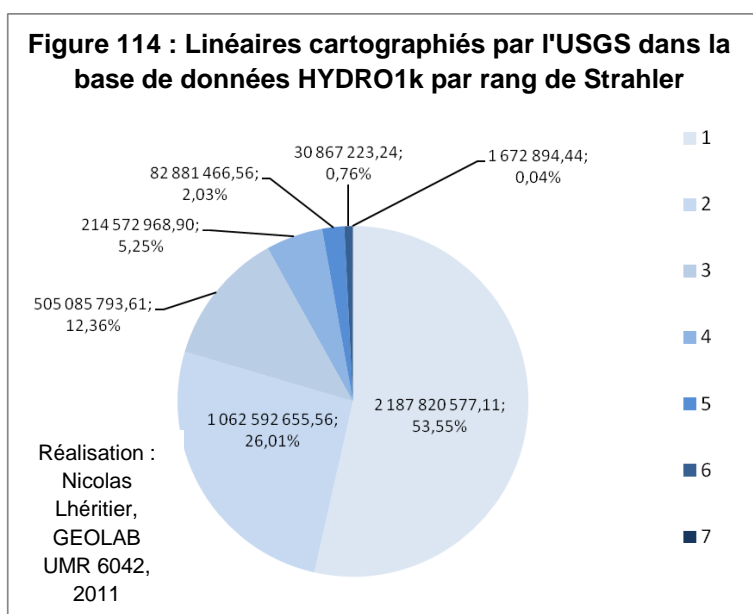
2.1.3. Exploitation des données de l'USGS et du JRC aux échelles mondiale et européenne

2.1.3.1. La BD HYDRO1k vectorielle de l'USGS cours d'eau et bassins versants:

Il s'agit de données issues d'un traitement géomatique hydrographique de l'USGS à partir d'un Digitalisation Elevation Model (DEM) (GTOPO30). Les pixels de ce raster mesurent environ 1 Km de côté. Les bases de données de l'hydro1K résultent d'un travail à partir d'un MNT selon la même démarche que celui que nous avons pu faire pour le territoire de Monts et Barrages, mais à une échelle beaucoup plus petite puisque tous les continents hormis l'Antarctique, le Groenland et l'Australie y figurent.

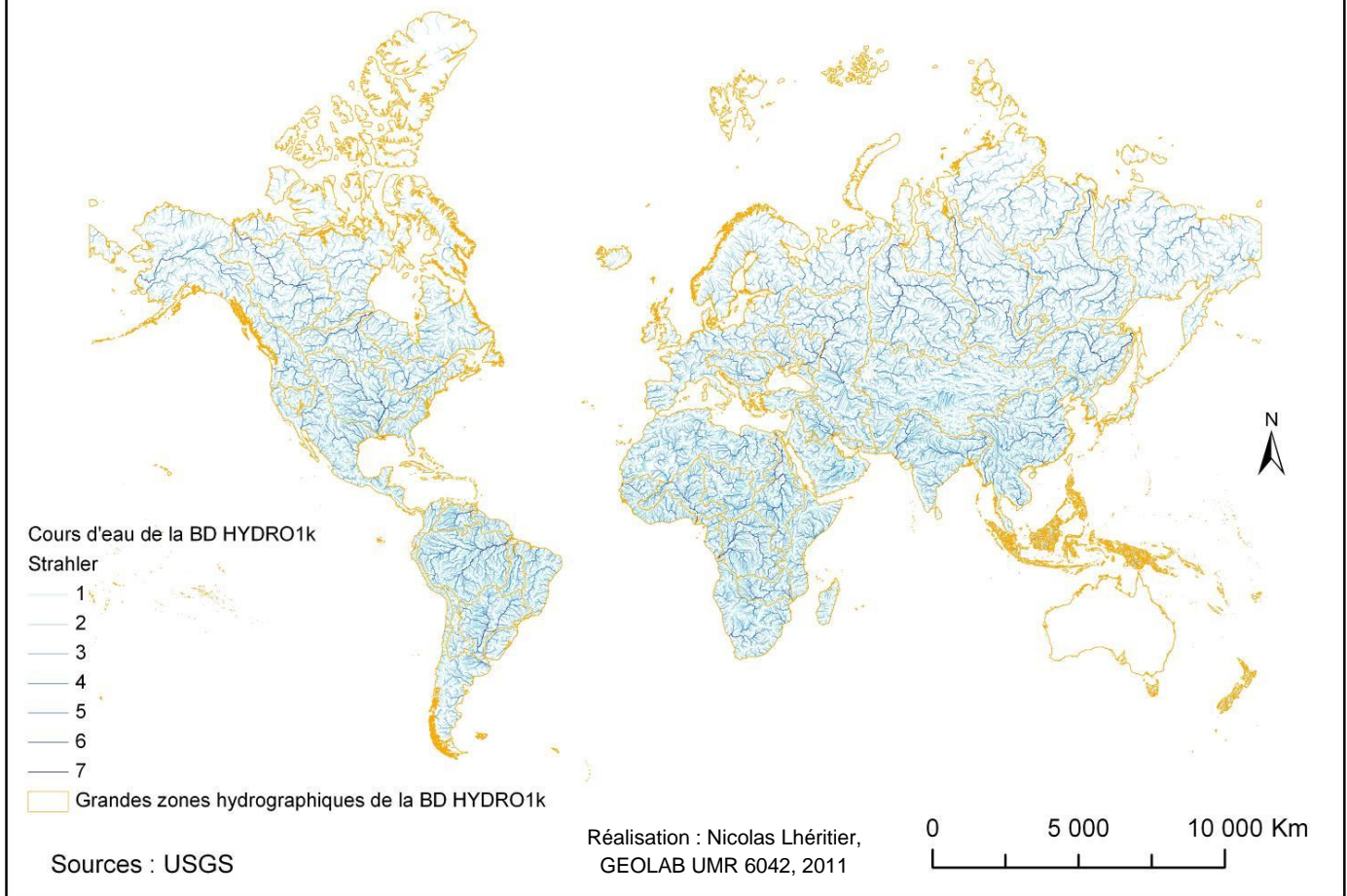
Les grands bassins versants et les plus grands cours d'eau figurent sous forme de fichiers vecteurs dans cet ensemble de bases de données. Malheureusement, l'échelle à laquelle ils ont été construits est bien trop petite pour que le tracé de ces cours d'eau soit complet et précis.

Nous utiliserons la base de données HYDRO1k de l'USGS qui nous permettra d'appréhender le linéaire de l'hydrosystème mondial grâce à l'application de la loi hydrographique des nombres et d'évaluer la part des petits cours d'eau dans sa composition. Cette base de données comprend des cours d'eau ordonnés selon Strahler.



La base de données Hydro1k de l'USGS représente un linéaire de cours d'eau de 4 085 493 579 km classés selon l'ordination de Strahler.

Figure 115 : Carte des cours d'eau de la base de données HYDRO1k de l'USGS



2.1.3.2. La base de données CCM2 du JRC European Commission

La base de données CCM2 du JRC European Commission cartographie 2 087 497 km de cours d'eau classés selon l'ordination de Strahler sur le continent européen. Elle est basée sur un MNT d'une résolution de 100 mètres STRM (Digital Elevation Data Level 2) pour la Scandinavie, et sur le même MNT GTOPO 30. Le travail d'extraction du réseau hydrographique se faisant à des échelles plus grandes, cette base de données comporte des rangs inférieurs à la BD HYDRO1k de l'USGS.

Figure 116 : Carte de base de données hydrographiques du JRC

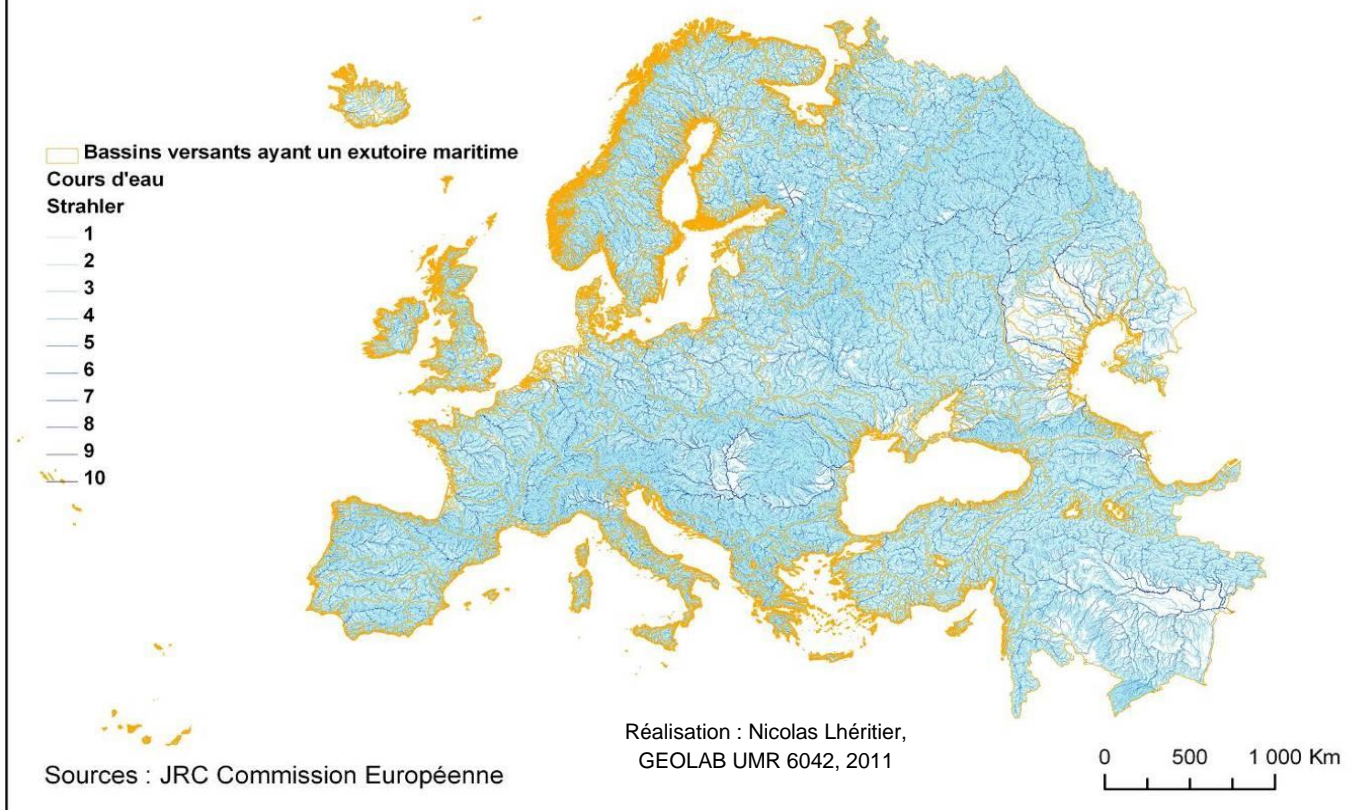
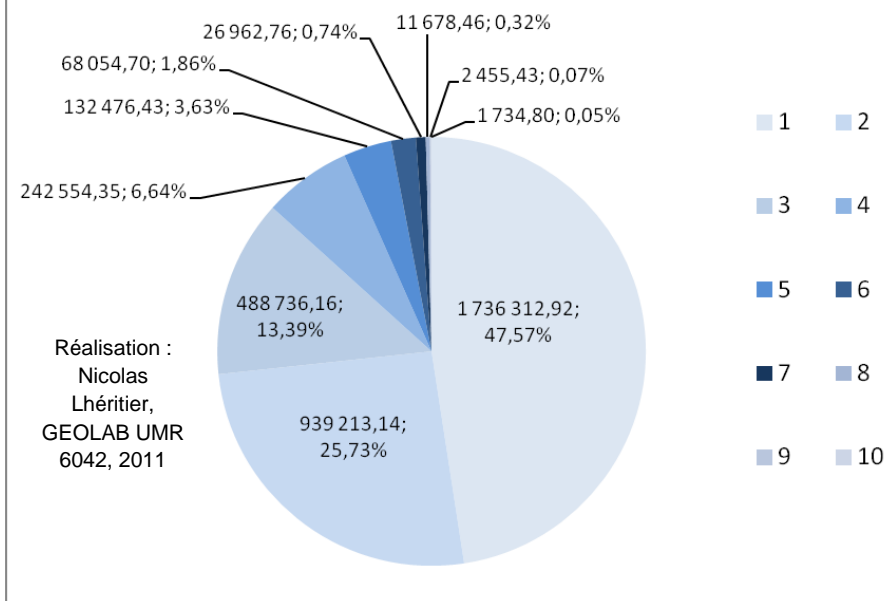


Figure 117 : Linéaires cartographiés en km par le JRC dans la base de données CCM2 par rang de Strahler

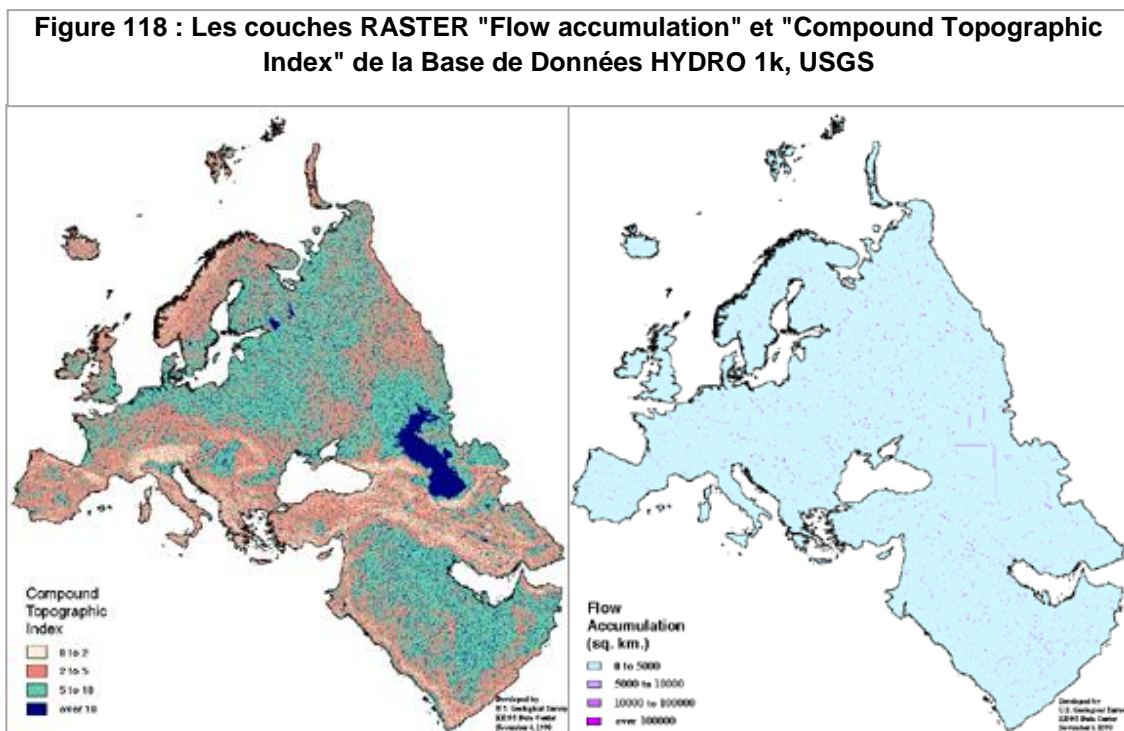


2.2. Caractérisation hydromorphologique des ruisseaux

Afin de réaliser des cartes permettant de hiérarchiser les petits cours d'eau en termes de fourniture de matière et d'énergie à l'aval, il nous faut réaliser des croisements de données hydrologiques et morphologiques, ces facteurs déterminent la dynamique potentielle de l'hydromorphologie.

2.2.1. À l'échelle mondiale : « Géographie de l'écoulement fluvial » et indice topographique d'humidité

Certaines données raster comme la BD « Flow Accumulation » et la BD « Compound topographic index », toutes deux développées par l'USGS, présentent un intérêt pour la cartographie hydromorphologique des ruisseaux et géomorphologique de leurs vallées.



Le fichier Flow Accumulation est un raster d'une résolution de 1 Km. La valeur attribuée aux pixels correspond à la surface que l'eau a parcourue sur une pente avant d'arriver à lui. Il s'agit en fait d'une surface de bassin versant qui se situe en amont du pixel.

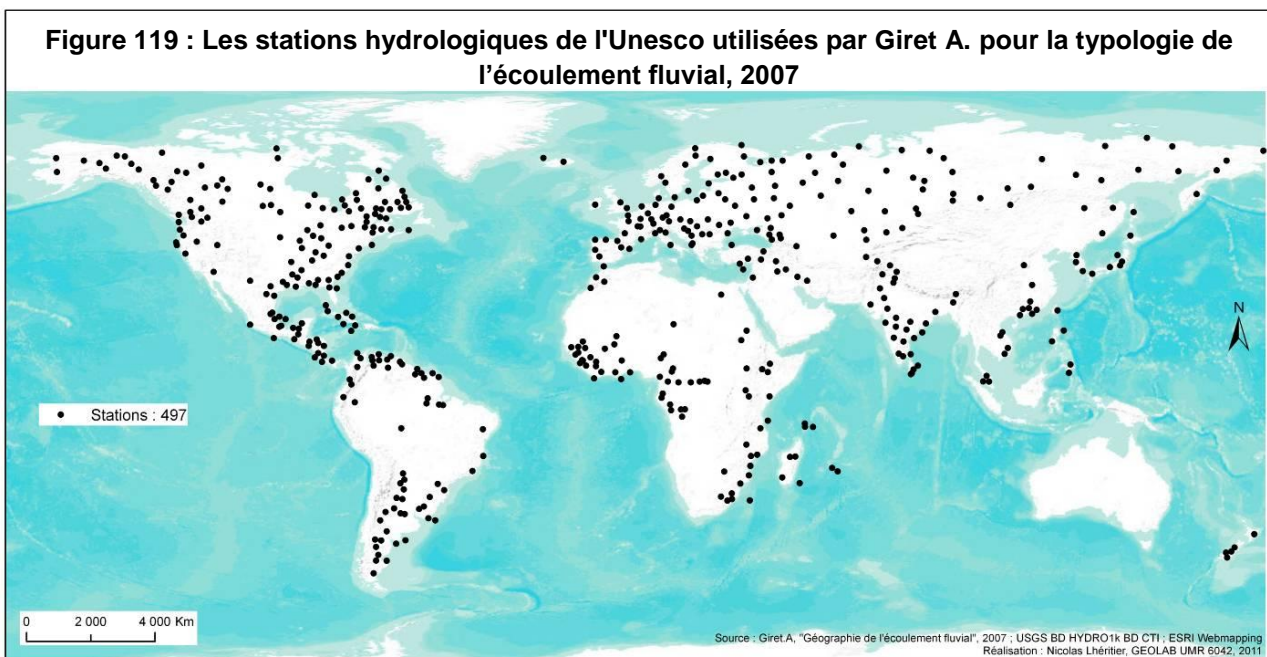
Les fichiers Compound Topographic Index (CTI) sont le croisement entre l'accumulation de flux et la pente, elle est aussi issue du DEM. Chaque valeur de pixel est calculée selon la formule : $CTI = \ln (FA / \tan (slope))$.

L'USGS parle de wetness index (indice d'humidité) en considérant cette valeur comme désignant le **potentiel d'une région hydrographique à recevoir et stocker beaucoup d'eau selon ses caractéristiques topographiques**. En effet, une région qui cumule un relief plus ou moins tabulaire voire concave et qui de plus à une forte valeur d'accumulation de flux du fait de nombreuses vallées qui s'y rejoignent est susceptible d'accueillir de grandes réserves en eau, en surface ou dans le sol. Ces régions vont donc s'apparenter aux cuvettes lacustres et aux larges plaines alluviales. À l'inverse, une région de forte pente avec des faibles valeurs d'accumulation de flux ne va pas être favorable à l'accueil de grandes réserves en eau.

Or si on s'intéresse aux régions de têtes de bassin, c'est bien ce dernier type de région qui nous intéresse, c'est-à-dire une région où l'eau s'écoule mais n'est pas stockée dans de grandes surfaces du fait de ses caractéristiques topographiques, mais qui cependant comprend un réseau hydrographique dense.

Cette donnée intégrant la pente dans sa construction, une typologie en fonction de la pente des talwegs et des versants nous servira à cartographier les régions de tête de bassin vis-à-vis de leur dynamique morphologique potentielle. Il nous faudra également calibrer l'analyse des valeurs de CTI dans une région de tête de bassin à la géomorphologie particulièrement bien connue.

À cette donnée, nous croiserons une donnée hydrologique ainsi nous pourrions qualifier les régions non seulement vis-à-vis de leur topographie propice à accueillir des petits talwegs, mais également vis-à-vis du débit spécifique de ces régions. Une typologie topographique et hydrologique aboutira à une cartographie hydromorphologique des régions à petits cours d'eau du globe. Le travail d'interprétation des données brutes de l'Unesco d'Alain Giret nous permettra de croiser une typologie d'écoulement avec une typologie topographique.



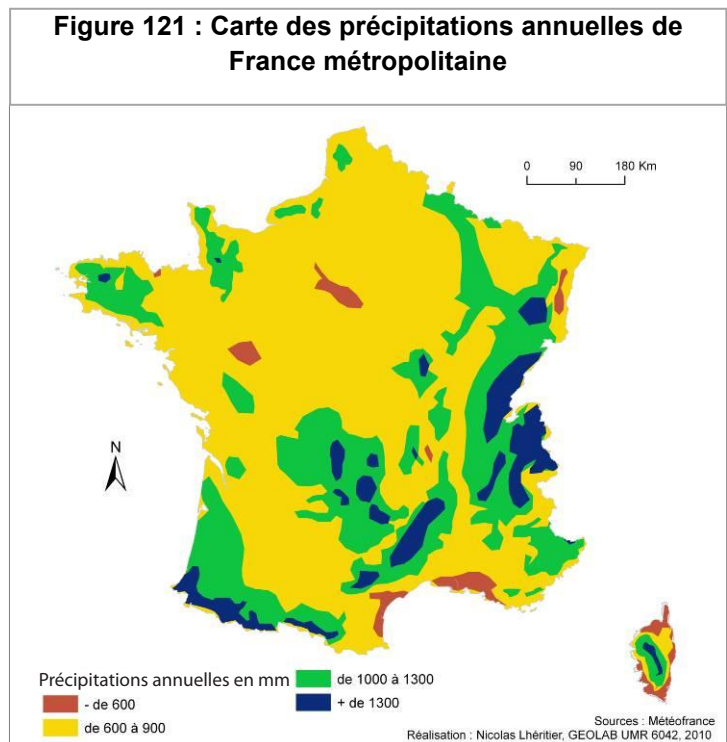
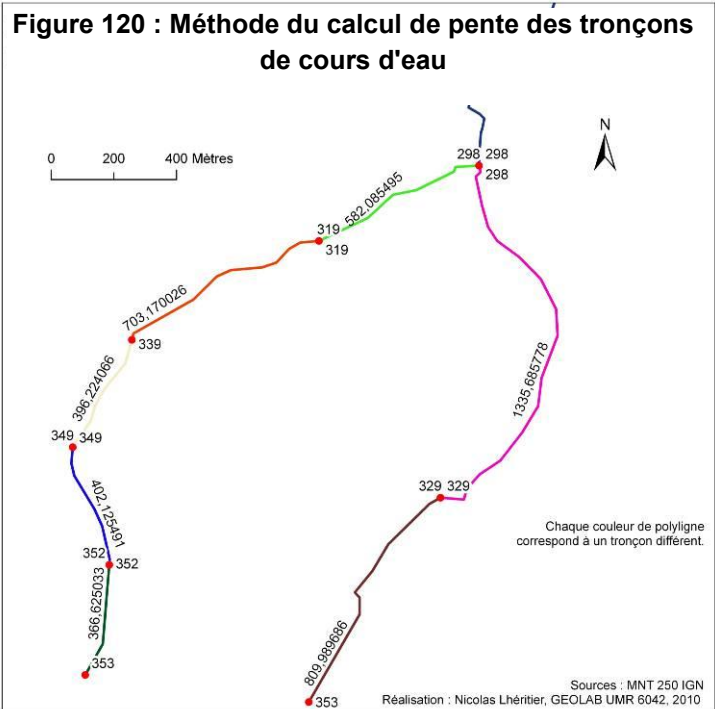
2.2.2. À l'échelle de la France : Précipitations et pente des cours d'eau

A l'échelle de la France métropolitaine, le croisement des régions à précipitations homogènes sur l'année, et l'environnement riverain des petits cours d'eau renseigné de la pente des écoulements aboutit à une carte hydromorphologique des petits cours d'eau français.

La pente est calculée en extrayant les extrémités des tronçons, et en les renseignant de l'altitude issue du MNT 250 mètres de l'IGN. La différence entre l'altitude des deux extrémités du tronçon est ensuite divisée par sa longueur.

Pour ajouter un paramètre hydrologique au paramètre topographique, nous croiserons les données de pente des cours d'eau avec des données de précipitations annuelles.

À l'échelle nationale, nous nous intéresserons davantage au potentiel hydromorphologique des cours d'eau.



2.2.3.À l'échelle régionale et locale : cartographie de la puissance spécifique

À l'échelle du Limousin, nous calculerons la puissance spécifique des tronçons de la BD TOPO de l'IGN. Ce travail aboutira à des cartes de la puissance spécifique, facteur explicatif de l'hydromorphologie des cours d'eau. La formule permettant de calculer cette puissance spécifique est la suivante :

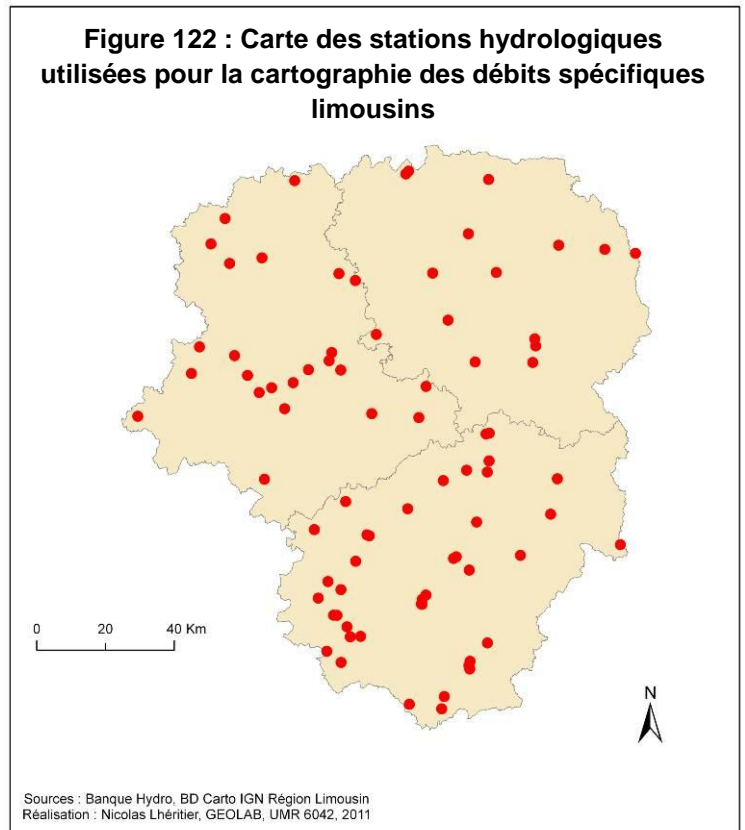
$$\omega = (\rho g Q S) / w \text{ avec}$$

ρ la masse volumique du fluide (kg/m) et g l'accélération due à la pesanteur (m/s) ;

w la largeur en m,

S la pente longitudinale (m/m)

Q le débit (m³/s)



La puissance sera calculée en tenant compte des débits de crue biennale. Pour ce faire, les débits spécifiques des stations de mesures hydrologiques ont été transformés en débit en les multipliant à la surface moyenne des bassins versants par rangs de Strahler, surface que nous avons pu appréhender grâce à la base de données hydrographiques construite sur le territoire du Pays Monts et Barrages.

La pente a quant à elle été calculée individuellement de la même manière qu'à l'échelle nationale mais cette fois, à partir de la BD TOPO, plus précise et plus complète que la BD Carthage, et avec les altitudes du MNT 50 mètres de l'IGN.

La largeur moyenne des ruisseaux par rang de Strahler est calibrée sur les largeurs moyennes enregistrées sur le terrain lors des prospections des cours d'eau de Monts et Barrages.

2.3. Méthode de caractérisation et d'étude de la qualité physique, thermique, physicochimique et écologique des ruisseaux du bassin de la Loire

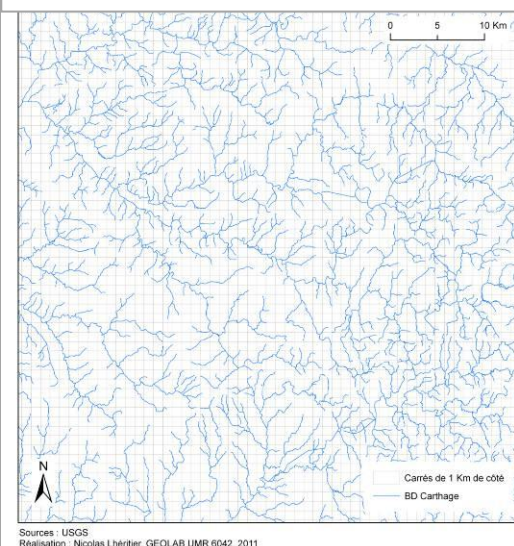
2.3.1. Croisements géomatiques pour la cartographie de l'environnement riverain des ruisseaux

À l'aide d'une grille composée de carrés de 1 Km², nous pouvons intersecter les zones de la base de données Corine Land Cover et attribuer un type d'occupation des sols à chaque carré qui touche ou qui est traversé par un ruisseau.

Ceci nous permettra de connaître l'occupation des sols pour chaque région de tête de bassin française.

Ce travail géomatique préalable nous permettra de réaliser des cartes et des traitements statistiques avec des données qualitatives des milieux pour étudier les relations entre l'environnement riverain des ruisseaux et leur qualité écologique.

Figure 123 : Maillage de polygones de 1 Km² pour la sélection de l'environnement riverain des ruisseaux (Pays Monts et Barrages, bassin amont de la Vienne)



2.3.2. Relations statistiques entre la truite commune, bio-indicatrice de la qualité thermique et hydromorphologique des ruisseaux et l'occupation des sols en tête de bassin

La truite commune est un indicateur potentiel de la qualité des têtes de bassin, car il s'agit d'un milieu indispensable à sa reproduction, comme beaucoup d'études le montrent :

Tableau 25 : Importance relative (en %) des classes d'âge 0+ et 1+ dans les populations de truites communes dans les cours d'eau de France continentale, Baglinière et Maisse

Région	Têtes de bassin		Ruisseaux		Rivières	
	0+	1+	0+	1+	0+	1+
Haute-Normandie			85		10-80	15-60
Maine/Basse-Normandie			60-80	10-40	10-40	30-90
Bretagne	90-100	00-10	60-70	20-30	00-30	50-60
Pays Basque			30-40	20-40		
Pyrénées			10-40	20-30	00-20	20-40
Massif Central	90-100	00-10	40-70	20-40	20-50	30-50
Préalpes			70-90	05-10	00-90	05-50
Alpes/Bassin du Léman			10-40	10-20		
Jura			15	20	10-20	10-40

Sur ce tableau, il est notifié que les têtes de bassin en Bretagne et dans le Massif Central sont l'habitat exclusif des 0+. Les têtes de bassin seraient donc uniquement des habitats de reproduction pour la truite commune, et un lieu préférentiel pour la première année de la vie d'une truite.

Les différentes composantes du réseau hydrographique se complètent pour permettre la présence d'une population de truites organisée. La continuité écologique entre ces différents milieux est donc indispensable pour la pérennisation de l'espèce.

Figure 124 : Répartition des différentes classes d'âge de truite commune dans un réseau hydrographique, Richard A., ONEMA

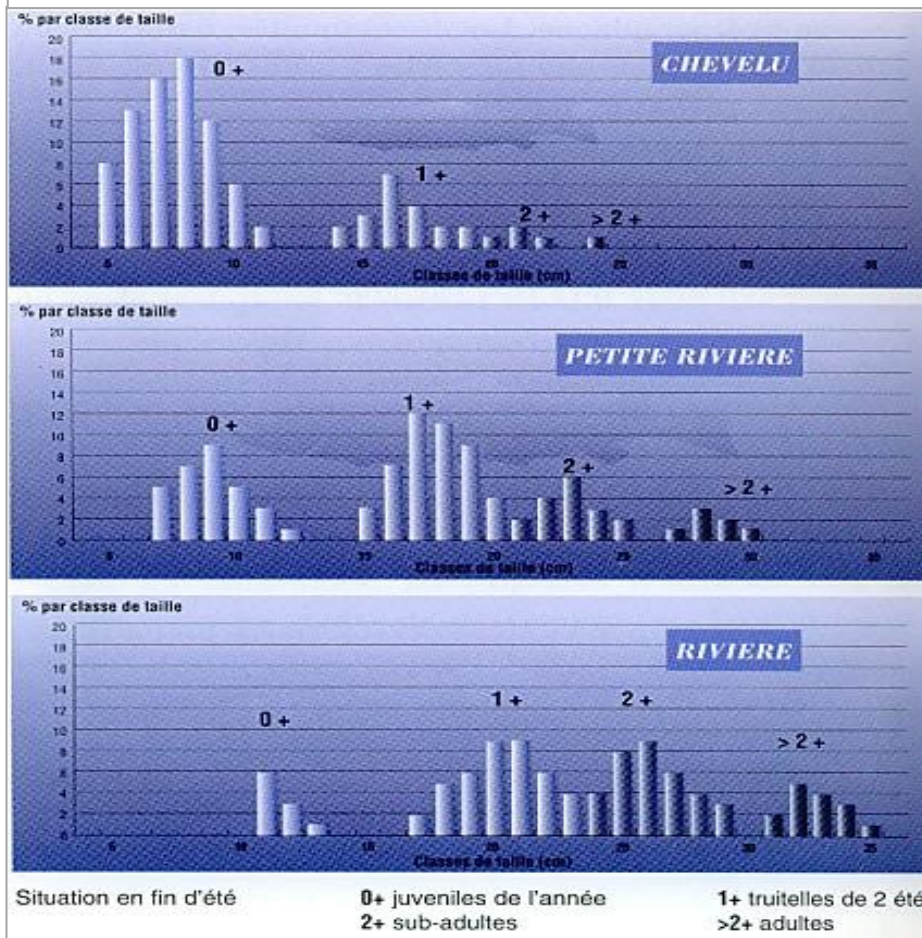
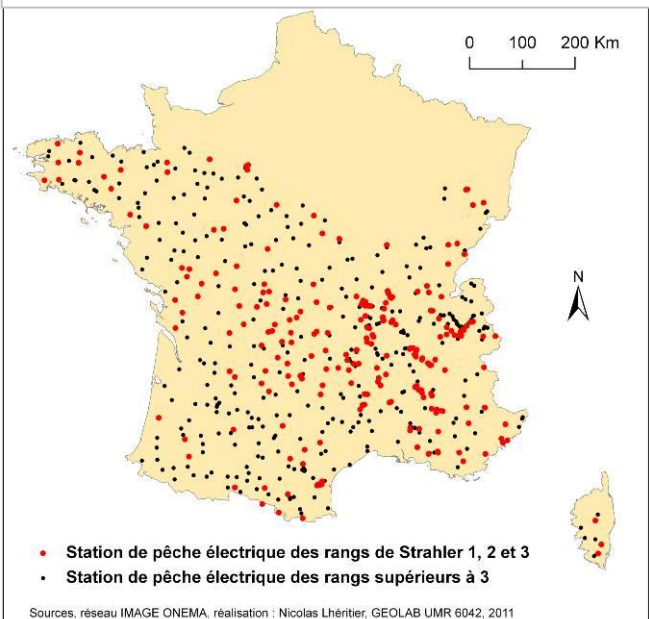


Figure 125 : Les 630 stations de pêches électriques des bassins Loire-Bretagne, Adour-Garonne, et Rhône-Méditerranée-Corse utilisées pour cartographier la zone à truite réelle

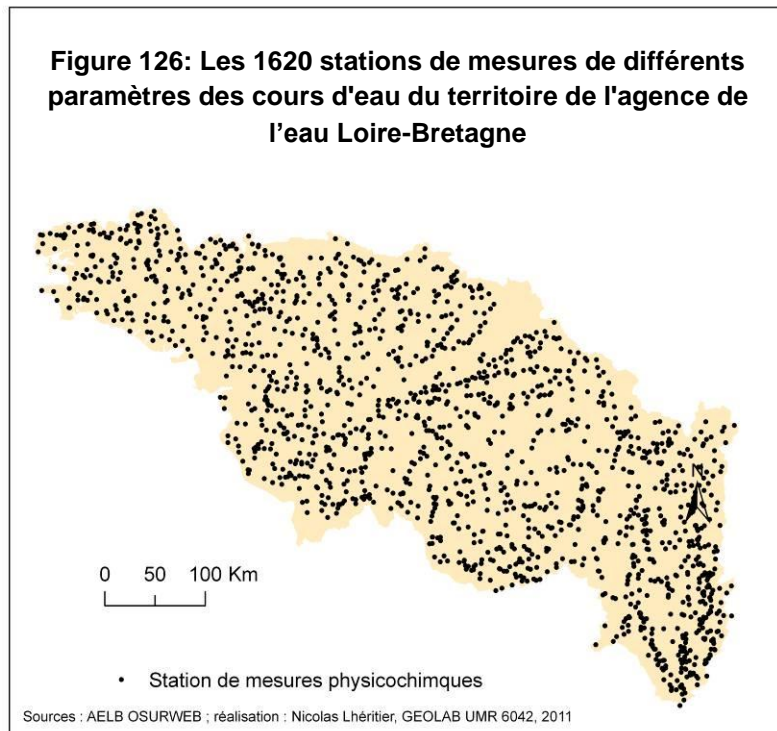


L'espèce est cependant un indicateur à manier avec précaution, car il a pu être montré qu'elle peut être résistante aux pollutions, et qu'elle a de fortes capacités d'adaptation. Il faut alors considérer les populations plutôt que l'espèce, par les densités et leurs parts dans les peuplements piscicoles qui révéleront la complémentarité entre les têtes de bassin et les cours d'eau principaux, et surtout leur qualité hydromorphologique. En effet, la généralisation de la gestion patrimoniale montre -que les soutiens d'effectifs ne sont pas efficaces quand la capacité d'accueil des cours d'eau est diminuée. Elle est un bio-indicateur avéré de la température de l'eau.

2.3.3. Etude amont-aval de la qualité physicochimique des eaux des ruisseaux du bassin de la Loire et du Pays Monts et Barrages

Lorsque nous aurons ordonné la BD Carthage, il sera possible d'attribuer un ordre de Strahler à chaque station de qualité de l'eau, et d'étudier comment divers paramètres évoluent d'amont en aval. Nous utiliserons les stations référencées sur le serveur Osur Web : stations de mesures de la qualité physicochimique des cours d'eau du territoire de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne.

À l'échelle du Pays Monts et Barrages, nous utiliserons les études réalisées par les licences professionnelles « gestion des ressources en eaux » sur les bassins versants précédemment cités dans la présentation du territoire Monts et Barrages.



2.3.4. L'étude des températures des cours d'eau limousins

L'importance de la température des cours d'eau dans l'écologie et la biologie des espèces a été montrée en première partie. Elle se révèle être tellement prépondérante dans leur répartition, et leur physiologie, qu'il nous fallait absolument les étudier de manière précise dans cette thèse.

Dans un premier temps, il nous faut comprendre les relations entre les différentes tailles de cours d'eau et la température de leur environnement proche. Le but de cette démarche est de comprendre les régimes thermiques des ruisseaux faiblement anthropisés et de comprendre les saisons thermiques, qui rythment la vie aquatique dans les ruisseaux.

Une étude régionale et stationnelle en lien avec des données biologiques a également été réalisée pour comprendre le rôle de la température estivale dans la composition des peuplements piscicoles de tête de bassin.

L'étude des températures est également indispensable dans le suivi de la survie embryolarvaire de la truite commune, réalisée dans le cadre de l'évaluation du colmatage du lit des ruisseaux que nous verrons en fin de partie, puisque les comptages interstades doivent se faire en fonction des degrés-jour.

Tableau 26 : Caractéristiques des thermomètres utilisés en fonction des types de recherche et des terrains

Recherches	Thermomètres	Terrains de recherches
Le régime thermique des cours d'eau à gabarits et rangers différents faiblement anthropisés	Thermomètres enregistreurs EL USB 1 à fréquence horaire et à résolution 0,5°C	Ruisseau de Lauzat, l'air au sol sous ripisylve
Étude de la survie embryolarvaire	Thermomètres enregistreurs EL USB 1 à fréquence horaire et à résolution 0,5°C et thermomètre Tiny Tag à fréquence horaire et à résolution 0,1°C	Ruisseaux de Lauzat, de Courtiaux et du Cayrou
Étude des saisons thermiques	Thermomètres enregistreurs EL USB 1 à fréquence horaire et à résolution 0,5°C et thermomètres manuels et relevés hebdomadaires à résolution 0,1°C	Ruisseaux de Lauzat et de la Bedaine
Étude régionale et corrélation avec les peuplements piscicoles	Thermomètres enregistreurs EL USB 1 à fréquence horaire et à résolution 0,5°C	Ruisseaux de Planchemouton, de Vergnas, d'Alesmes, du Bassoleil, de la Roche, de Ligonat, la Galamache. L'air au sol et sous ripisylve en rive du Planchemouton et de la Galamache

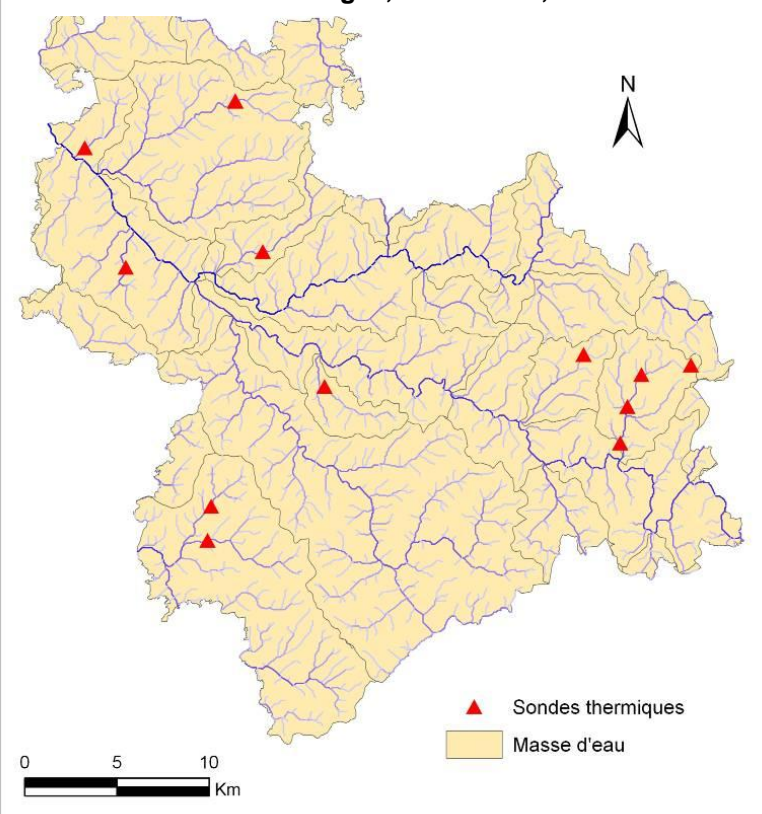
Photographie 13 : Thermomètre enregistreur Tiny Tag et thermomètre manuel



Les thermomètres manuels sont munis d'une sonde étanchéifiée et enregistrent la température maximale et minimale entre deux relevés manuels. Leur résolution s'étend jusqu'au 10^{ème} de degré C°. Ils permettent simplement de connaître la fourchette dans laquelle se trouve la température de l'eau.

La carte ci-contre présente la localisation des thermomètres enregistreurs sur le terrain de recherche instrumentale principale, sur le terrain secondaire, la localisation sera précisée en même temps

Figure 127 : Localisation des sondes thermiques utilisées dans le cadre de l'étude des petits hydrosystèmes du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009



que l'analyse des résultats. Les rangs de Strahler indispensables à l'analyse seront présentés lors de la phase d'analyse dans le Pays Monts et Barrages comme sur le bassin de la Maronne.

Conclusion partielle :

Nous avons vu que nous disposons d'outils et de données permettant la cartographie des cours d'eau, leur ordination, l'analyse de leur environnement riverain avec des degrés de précision différents suivant les échelles.

Il paraît alors possible :

- **de connaître l'étendue des linéaires de chaque rang à différentes échelles ou de l'estimer,**
- **de dégager une typologie géomorphologique et hydromorphologique des ruisseaux à différentes échelles et avec différents degrés de précision,**
- **de connaître l'environnement biogéographique des ruisseaux.**

Cette base méthodologique est indispensable pour qualifier les résultats obtenus à l'échelle de la station, pour savoir si ces stations se situent en tête de bassin bien évidemment, mais aussi pour comprendre l'organisation interne aux systèmes ruisseaux comme le fonctionnement thermique.

Cette base méthodologique permettant la cartographie théorique et le traitement statistique doit être complétée par des recherches de terrain au plus près des ruisseaux, en les arpentant pour en percevoir les subtilités hydromorphologiques et biogéographiques. Mais aussi pour acquérir des données représentatives sans lesquelles la cartographie hydromorphologique du Limousin ne pourra pas être faite, et la cartographie du réseau de talwegs du Pays Monts et Barrages ne pourra pas être validée.

3. Application de méthodes descriptives de terrain aux petits cours d'eau : adaptation, validation, extrapolation

Les méthodologies que nous allons développer ici sont certainement celles qui sont le plus en lien avec le travail professionnel dans le cadre de l'étude préalable au programme de gestion des cours d'eau de Monts et Barrages 2010 - 2015.

Il s'agit d'un travail de descriptions et de cartographies qualitatives des ruisseaux du Pays Monts et Barrages, tourné vers la recherche très appliquée car des préconisations de gestion et des volumes financiers liés en dépendent.

Il s'agira alors de présenter les outils et les méthodes utilisées pour ce travail de description, et d'analyse de l'état général des petits cours d'eau. Pour la plupart, ces méthodes sont préexistantes et adaptées à ce type de cours d'eau, comme celles du Réseau d'Evaluation des Habitats du Conseil supérieur de la Pêche ou des microhabitats du CEMAGREF, elles peuvent également être créées dans une volonté d'objectivité.

C'est le cas pour les relevés de terrain quantitatifs, effectués selon des critères validés au cours de l'étude par un comité de pilotage et qui permettront un traitement statistique fiable.

3.1. Acquisitions de données au fil de l'eau et adaptation de la méthode du Réseau d'Évaluation des Habitats

3.1.1. Les linéaires parcourus

La cartographie de terrain est un élément essentiel de cette thèse. Il a fallu trouver des instruments et des méthodes de relevé qui permettent de relever à la fois des éléments ponctuels, linéaires et surfaciques dans un souci d'optimisation du précieux temps imparti pour cette étape.

La carte ci-dessous présente les bassins versants des ruisseaux parcourus, elle est également une occasion supplémentaire de remercier les personnes s'étant investies dans les prospections.

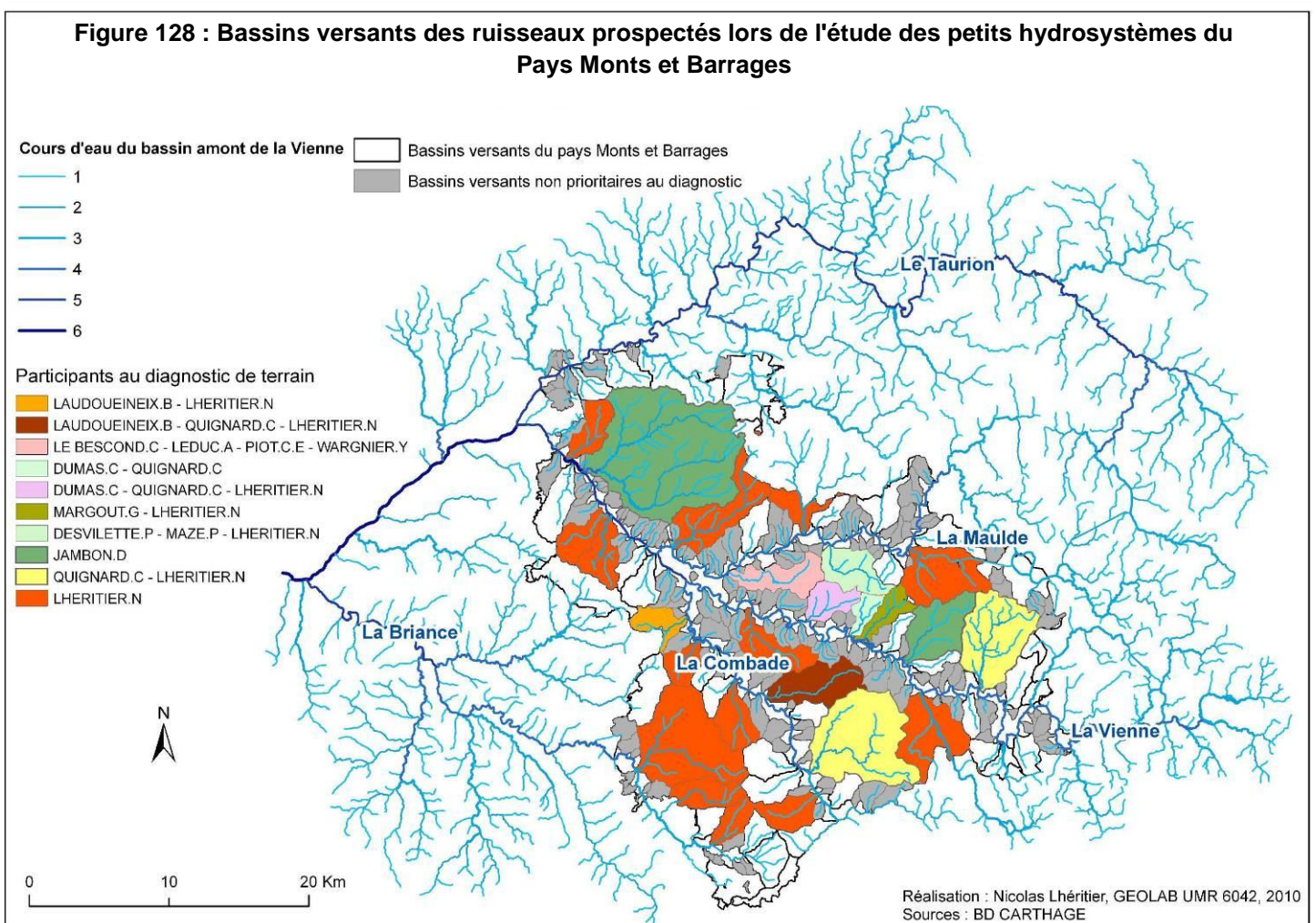
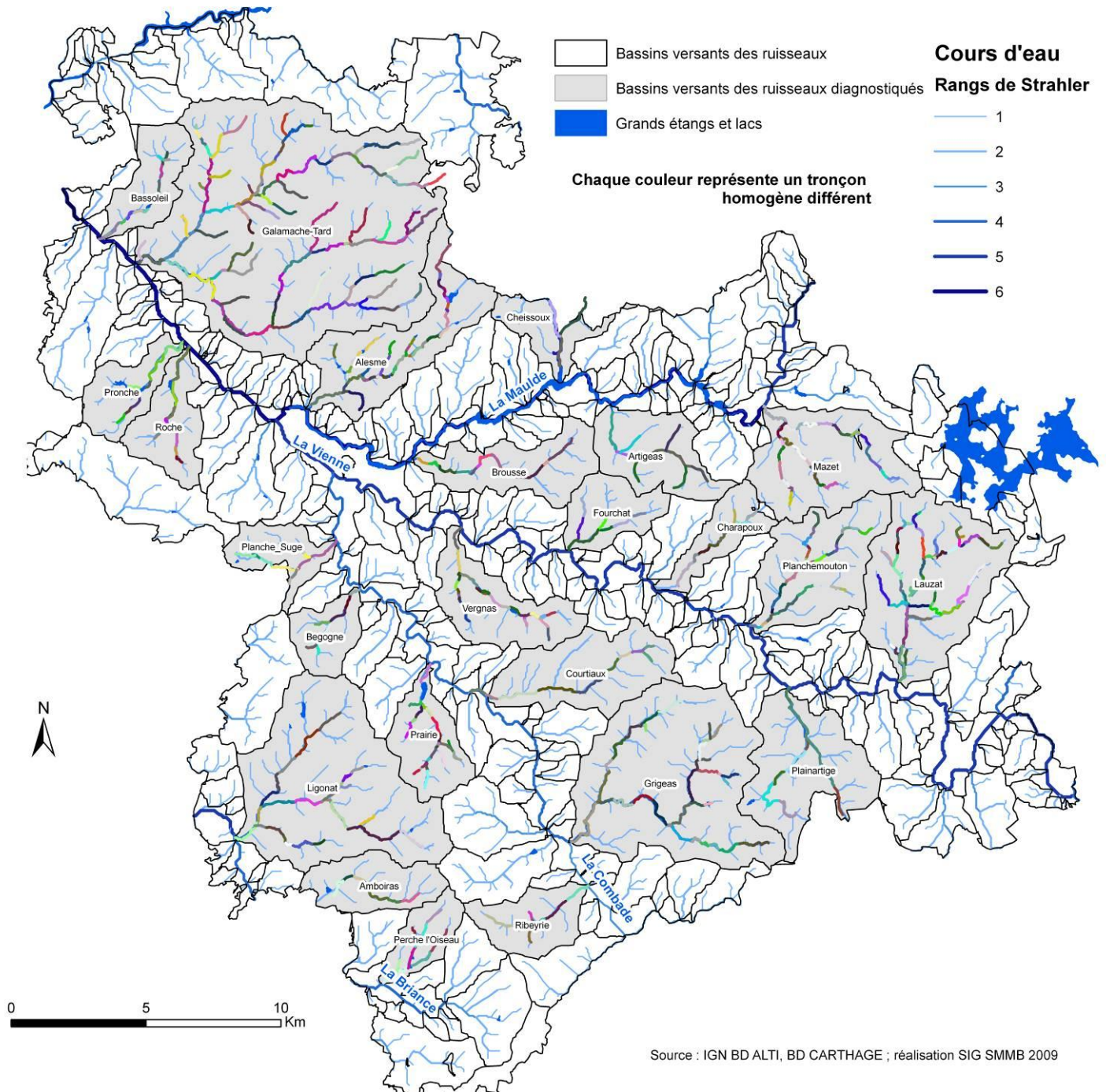


Figure 129 : Carte des tronçons cartographiés dans le cadre de l'étude des petits hydrosystèmes du Pays Monts et Barrages



L'ensemble des 474 tronçons de cours d'eau cartographiés dans le cadre de cette thèse représente 323 kilomètres. Étant donné l'importance linéaire des rangs 1, ceux-ci ont fait l'objet d'un échantillonnage par bassin versant et n'ont pas pu être cartographiés exhaustivement.

3.1.2.Méthodes de cartographie descriptive sur le terrain

En milieu relativement ouvert, l'emploi d'un récepteur GPS permet de marquer des points en progressant le long du cours d'eau. Chaque point est renseigné d'une information qui sera directement rentrée dans un Système d'Information Géographique de retour au bureau. Les objets linéaires et ponctuels vont donc pouvoir être géoréférencés sur une carte avec une précision de l'ordre de 3 mètres.

En milieu forestier et de gorges très encaissées, le fonctionnement du récepteur GPS est perturbé, voire impossible. Il faut donc utiliser une autre méthode et un autre type de matériel permettant de réaliser une cartographie précise.

Le topomètre de ceinture et la boussole sont deux instruments qui présentent un faible encombrement. Le topomètre est utilisé pour mesurer les distances. Un fil à dégradation rapide se dévide au fur et à mesure que l'opérateur progresse dans le cours d'eau, un compteur lui indique la distance parcourue.

A chaque changement de direction du cours d'eau, les azimuts sont relevés, le point visé étant la prochaine inflexion du cours d'eau, le point de station étant le changement de direction où se trouve l'opérateur. Ensuite, un report de plan graphique ou calculé permet de construire un plan du cours d'eau qui est très proche de la réalité.

La dernière génération de GPS couplé à un PDA (assistant digital personnel) permet de cartographier tous les types d'objets : ponctuels linéaires et surfaciques. Ils permettent également de cartographier les zones humides par-dessus un fond raster comme la BD Ortho par exemple, et d'avoir les principales fonctions de création d'objets d'un SIG sur le terrain.

Le tronçon va également être qualifié, vis-à-vis de ses successions de faciès ou Unités Morphodynamiques. Pour cela, les faciès sont repérés visuellement, ainsi que la granulométrie.

La méthode visuelle de détermination des UM est couramment employée lors des prospections sur le terrain, elle est basée sur l'interprétation de l'apparence de la surface du plan d'eau, de la granulométrie et de la profondeur.

Une typologie visuelle des écoulements est nécessairement subjective. Cependant, elle est indispensable pour caractériser un segment de cours d'eau comme étant homogène vis-à-vis des successions de types d'écoulement.

Tableau 27 : Exemple d'une grille de détermination visuelle des unités morphodynamiques

Type	Granulométrie	Profondeurs moyennes en cm	Vitesses Moyennes interprétées du courant en cm/s	Caractéristiques de surface
Plat courant	Dominante : graviers	0 à 60	20 à 40	Surface lisse à ridée, courant visible
Radier	Forte proportion de cailloux	0 à 20	> à 40	Surface bouillonnante
Rapide		> à 20	> à 40	Micro-cascades importantes
Plat lent	Sables / limons	0 à 60	20 à 40	Surface lisse
Profond	-	> à 60	0 à 40	

Sources : Fédération des Côtes d'Armor pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, Restauration de la capacité d'accueil en truite fario sur l'Arguenon amont, diagnostic et proposition d'actions, 2002

Le schéma ci-après présente les principaux éléments ponctuels et linéaires relevés sur le terrain.

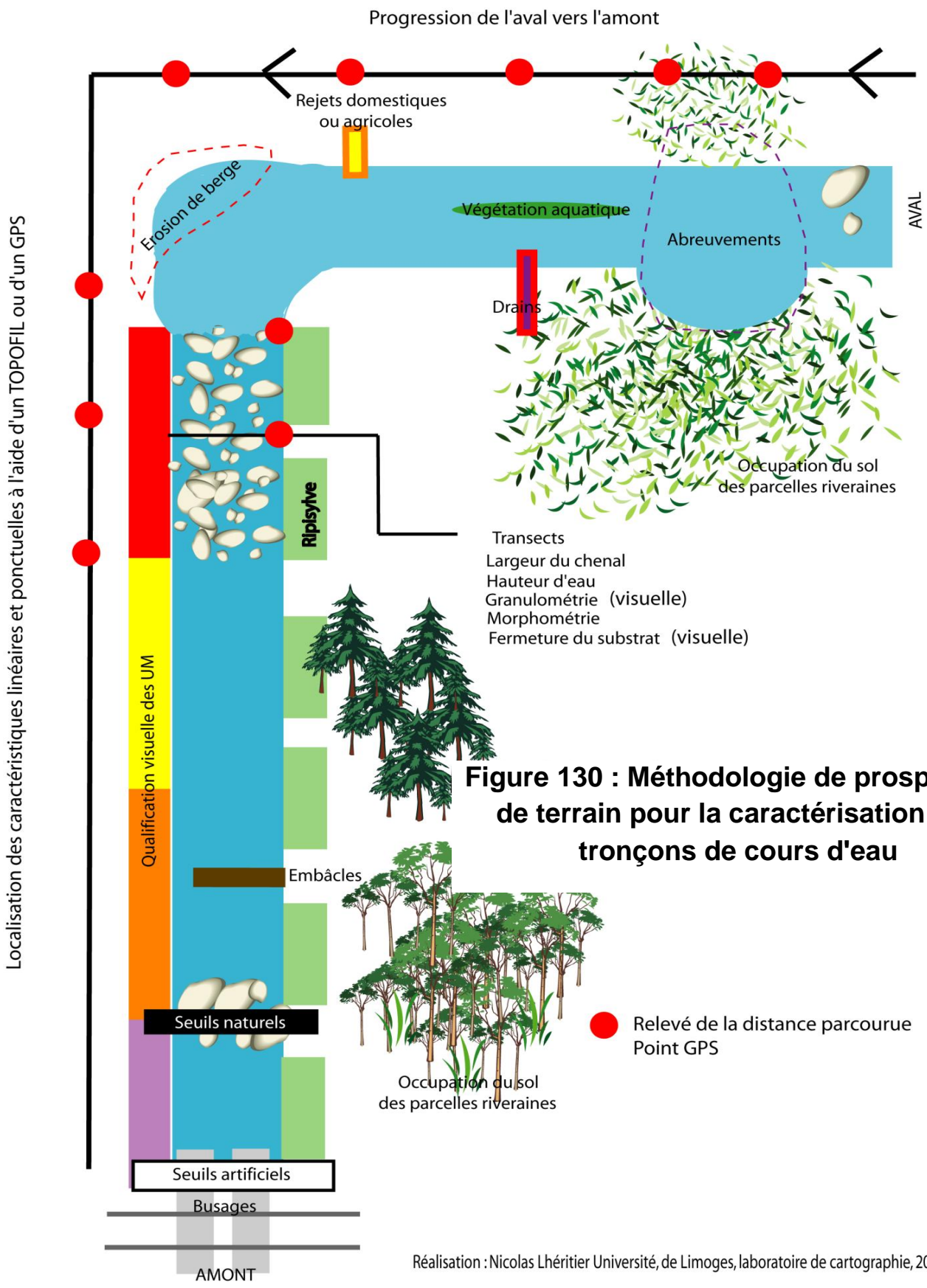


Figure 130 : Méthodologie de prospection de terrain pour la caractérisation des tronçons de cours d'eau

Réalisation : Nicolas Lhéritier Université, de Limoges, laboratoire de cartographie, 2004

3.1.3. Contenu de la base de données « tronçons »

La base de données « tronçons » contient des renseignements acquis sur le terrain et par croisement géomatique avec d'autres couches cartographiques comme la BD hydrographique conçue par le Syndicat mixte Monts et Barrages.

Tableau 28 : Descriptif de la base de données « tronçons » utilisée dans le cadre de l'étude des petits hydrosystèmes de Monts et Barrages

CHAMP	MÉTHODE DE DESCRIPTION	DETAIL DE L'INFORMATION	RENSEIGNEMENT DE LA DONNEE	EXEMPLE
CODE		Code du tronçon	sur le terrain	trgrigeas6
COURS_D_EA		Cours d'eau	sur le terrain	grigeas
OCS_1	Visuelle	Occupation des sols riverains dominante	sur le terrain	PRAIRIE
OCS_2	Visuelle	Occupation des sols riverains secondaire	sur le terrain	RESINEUX
ANNEXE_DOM	Visuelle	Annexes dominantes (rigoles à la main, à la machine, fossés de drainage, drains enterrés)	sur le terrain	RIGOLES_MACHINE
ANNEXE_D_1	Visuelle	Annexe secondaire (rigoles à la main, à la machine, fossés de drainage, drains enterrés)	sur le terrain	SUINTEMT_VERSANT
ANNEXE_REH	Visuelle	Note REH des annexes	sur le terrain	2
ZH_DOM1	Visuelle	Type de zones humides riveraines dominantes (tourbières aulnaies, etc.)	sur le terrain	PR_HUMIDES
ZH_DOM2	Visuelle	Type de zones humides riveraines secondaires	sur le terrain	AULNAIE
ZH_PERTURB	Visuelle	Perturbations constatées sur la zone humide (drainage, boisement, etc.)	sur le terrain	
LIT_L_MOY	Visuelle	Largeur moyenne de pleins bords	sur le terrain	4
LIT_P_MOY	Visuelle	Hauteur d'eau lors du diagnostic	sur le terrain	0,5
GR_DOM1	Visuelle	Granulométrie dominante	sur le terrain	PIERRES
GR_DOM2	Visuelle	Granulométrie secondaire	sur le terrain	CAILLOUX
GR_DOM3	Visuelle	Granulométrie tertiaire	sur le terrain	SABLES
COLMATAGE	Évaluation de la cohésion de la granulométrie à la main	Colmatage du substrat (fort, moyen, faible)	sur le terrain	FAIBLE
FACIES_DOM	Visuelle	Faciès dominant	sur le terrain	COURANTS
FACIES_D_1	Visuelle	Faciès secondaire	sur le terrain	MOUILLE
FACIES_D_2	Visuelle	Faciès tertiaire	sur le terrain	RADIERS

SINUOSITE	Visuelle	Degré de méandration	sur le terrain	MOYENNE
VEG_AQUA	Visuelle	Présence, absence, abondance de végétaux aquatiques	sur le terrain	ABSENTS
MODIF_PROF	Visuelle	Profil en long modifié ou non	sur le terrain	NON
MODIF_PR_1	Visuelle	Profil en travers modifié ou non	sur le terrain	NON
LIT_REH	Visuelle	Note REH du lit	sur le terrain	1
RSK_CRUE	Visuelle	Risque érosif en crue (dû à un reprofilage et une pente accentuée par exemple)	sur le terrain	NON
RSK_ETIAGE	Visuelle	Risque de manque d'eau en étiage (dû à un débit réservé par exemple)	sur le terrain	NON
DEBIT_RESE	Visuelle	Présence ou absence d'un débit réservé	sur le terrain	NON
CAPTAGES	Visuelle	Présence ou absence de captages	sur le terrain	NON
REH_DEBIT	Visuelle	Note REH du débit	sur le terrain	1
BER_H_CM	Visuelle	Hauteur des berges en débit de pleins bords	sur le terrain	40
BER_MORPHO	Visuelle	Degré d'érosion des berges	sur le terrain	STABLES
BER_TYPE	Visuelle	Nature des berges	sur le terrain	TERRE_RACINES_BLOCS
SOUS_BER	Visuelle	Présence, absence, abondance des habitats de sous-berge	sur le terrain	FREQUENTES
REH_BERGES	Visuelle	Note REH des berges	sur le terrain	2
REH_L_D_EA	Visuelle	Note REH de la ligne d'eau	sur le terrain	1
RIPI_RECOU	Visuelle	Pourcentage de recouvrement de la ripisylve	sur le terrain	100
RIPI_DOM1	Visuelle	Essence dominante de la ripisylve	sur le terrain	AULNES
RIPI_DOM2	Visuelle	Essence secondaire de la ripisylve	sur le terrain	SAULES
RIPI_ETAT	Visuelle	État de la ripisylve (jeune, vieillissante, etc.)	sur le terrain	ÉQUILIBREE
RIPI_TRX	Visuelle	Travaux envisagés sur la ripisylve	sur le terrain	AUCUN
ESPECES_IN	Visuelle	Présence ou absence d'espèces invasives dans la ripisylve	sur le terrain	RAS
REH_RIPI	Visuelle	Note REH de la ripisylve	sur le terrain	2
DECLASS_CO	Visuelle	Cause majeure de rupture de la continuité écologique	sur le terrain	CHUTE NATURELLE
DECLASS__1	Visuelle	Cause secondaire de rupture de la continuité écologique	sur le terrain	BUSE
REH_CONTIN	Visuelle	Note REH de la continuité écologique	sur le terrain	1
HAB_DIVERS	Visuelle	Degré de diversification des habitats	sur le terrain	FORTE

HAB_TRF	Visuelle	Fonction du tronçon dans le cycle biologique de la truite commune	sur le terrain	COMPLET
COMM_SUP1	Visuelle	Commentaire supplémentaire	sur le terrain	
BV_EUCD	Géomatique	Code de la masse d'eau	SIG	FRGR0370
NAME	Géomatique	Nom de la masse d'eau	SIG	LA COMBADE ET SES AFFLUENTS ...
TYPE	Géomatique	Type de la masse d'eau (fortement modifiée etc.)	SIG	R
TBV	Géomatique	En zone de tête de bassin AELB ou pas	SIG	OUI
ARCID	Géomatique	Identifiant du tronçon de la base de données hydrographiques du Syndicat mixte Monts et Barrages	SIG	3214
GRID_CODE	Géomatique	Rang de Strahler du tronçon associé de la base de données hydrographiques SMMB	SIG	4
PENTE_MOY	Géomatique	Pente moyenne calculée avec les altitudes amont et aval prélevées sur MNT 50 mètres de l'IGN	SIG	2,401087
Shape_Length	Géomatique	Longueur	SIG	668,804055

3.1.4. Adaptation de la méthode descriptive REH Conseil Supérieur de la Pêche

La cartographie s'accompagne d'une qualification des caractéristiques et de l'état des berges, du lit, de la ligne d'eau, de la continuité écologique, de la ripisylve, des annexes hydrographiques. Pour cela, nous nous sommes inspirés de la méthode du Réseau Évaluation Hydrobiologique (REH). Créée par le Conseil Supérieur de la Pêche, cette méthode corrèle les dégradations avec la proportion de linéaire affecté. Une note de 1 à 5 rend compte de ce rapport et est parfaitement adaptée pour la réalisation de cartes puisque cette note est liée à un tronçon hydrographique. Il fallut le modifier car celui-ci n'est pas forcément très adapté au petit cours d'eau, surtout sur les éléments et critères de dégradation. En effet, les types de perturbations morphologiques ne sont pas les mêmes sur les rivières et ruisseaux.

Tableau 29 : Principe de l'évaluation de la qualité des habitats d'un tronçon selon la méthode du Réseau d'Évaluation des Habitats (REH) du Conseil Supérieur de la Pêche

Degré d'altération	0-20 %	20-40%	40-60 %	60-80 %	>80 %
0 faible	Très bon (bleu)	Très bon (bleu)	Bon (vert)	Bon (vert)	Bon (vert)
1 moyen	Très bon (bleu)	Bon (vert)	Moyen (jaune)	Moyen (jaune)	Mauvais (orange)
2 fort	Bon (vert)	Moyen (jaune)	Moyen (jaune)	Mauvais (orange)	Très mauvais (rouge)

Tous ces renseignements sont liés à un objet linéaire dont on connaît les coordonnées géographiques amont et aval ou alors que l'on a directement cartographié via le SIG portable. Une base de données photographique est également réalisée.

Tableau 30 : Tableau descriptif de l'adaptation du REH du Conseil Supérieur de la Pêche aux ruisseaux

Compartiments REH	Éléments de description classique en rivière	Description adaptée aux ruisseaux	Commentaires
Lit	Modifications du profil en long :		
	Rectifications et reprofilages qui modifient la pente et le tracé	Pas d'adaptation vis-à-vis des critères généraux.	Une distinction est cependant faite entre les méthodes de reprofilage et recalibrage mécanique et manuel pour les rangs 1.
	Modifications des profils en travers : recalibrage ou curage qui ont modifié significativement la largeur et/ou la profondeur	En plus de ces travaux, le profil en travers des petits cours d'eau en milieu d'élevage peut être affecté par le piétinement bovin.	Les petits cours d'eau sont particulièrement vulnérables face à ce phénomène : piétinement bovin en milieu d'élevage, traversées à gué fréquentes par des engins
	Réduction de la diversité des habitats du lit mineur et/ou de la granulométrie grossière :		
	Homogénéisation granulométrique d'origine anthropique soit par extraction, soit par bétonnage ou autres travaux	A cela nous rajoutons les ensablements fréquents, les envasements	En plus des travaux d'extraction par curage, sont ajoutés les apports sédimentaires dus à l'érosion des sols, ou les apports de MO accidentels comme les vidanges d'étang incontrôlées
	Déstabilisation du substrat, érosions du lit liées à des activités humaines	Ajout des pentes anthropiques excessives qui empêchent la fixation d'une granulométrie	Les pentes fortes sont souvent associées au reprofilage
Colmatage : Sédimentation naturelle augmentée par des actions humaines à l'échelle du BV. Proliférations algales, dépôt de matière organique (vases). Réduction des interstices de la granulométrie sous-jacente.	Le colmatage minéral est ajouté.	Il se matérialise souvent sous la forme d'un armurage des fractions granulométriques, des vidanges d'étang sans bassin de décantation. Le colmatage du lit des ruisseaux est un phénomène qui peut se généraliser sur de grands linéaires de ruisseaux.	

	Réduction de la végétation du lit par enlèvement	Impossibilité de développement des végétaux aquatiques	La cause est anthropique ou semi-anthropique, il peut s'agir d'un blocage de la lumière par un peuplement monospécifique arboré, ou par la fermeture d'une zone humide. Ceci est très préjudiciable vis-à-vis de la diversité des habitats des tronçons sableux à faible pente où les végétaux sont les seuls points durs morphologiques.
Berges	Uniformisation ou artificialisation des berges :		Pour les petits cours d'eau, berges et ripisylves sont traitées à part, car les ripisylves arborées et arbustives ne sont pas indispensables à un bon état des berges sur les rangs 1 à faible puissance
	Réduction des linéaires de berges suite à des travaux	Ajout du piétinement bovin, des chutes de résineux répétées en berges, engendrant des déracinements de souches	Ces deux phénomènes participent à la réduction des habitats de sous-berges par destruction.
Ripisylve	Réduction de la ripisylve à néant, remplacement par un cordon rivulaire monospécifique	Traitements phytosanitaires, coupes à blanc, vieillissements, monospécificité exogène, absence si elle affecte l'état des berges	La ripisylve n'est pas à considérer de la même manière selon l'emplacement du tronçon dans le BV. Il faut la juger vis-à-vis de l'équilibre entre ensoleillement et l'isolation thermique.
Ligne d'eau	Élévations de la ligne d'eau, homogénéisation des hauteurs d'eau et des vitesses de courant par la mise en bief ou la création de retenues	Ajout des passages busés provoquant des refoulements ou ruptures de la ligne d'eau, des embâcles trop fréquents, des seuil-racines, des étangs sans dérivation, des levades	La ligne d'eau peut être modifiée par des phénomènes anthropiques ou semi-anthropiques comme l'abandon de certains tronçons.
Annexes	Altération du chevelu :		
	A renseigner particulièrement dans les zones salmonicoles surtout vis à vis de la reproduction de la truite	Distinction entre les rigoles faites à la main, à la rigoleuse, fossés de drainage, drains enterrés, suintements de sources sur les versants	Le sujet prospecté est lui-même le chevelu, il y a donc un changement d'échelle, les bras morts sont peu nombreux et les annexes sont « le chevelu du chevelu »

	<p>Réductions et altérations des bras secondaires par suppression ou chenalisation</p> <p>Réduction et altération des annexes connectées : par remblaiement, mise en gravière, urbanisation, imperméabilisation</p> <p>Réduction altération des prairies inondables exploitables en période de crue</p>	<p>État de fermeture, mutation des zones humides riveraines</p> <p>Plantations monospécifiques arborées participant à l'assèchement de la zone</p>	
Continuité écologique	<p>Continuité des écoulements affectés par des pressions anthropiques (hydroélectricité avec absence de débit réservé, irrigation)</p>	<p>Les linéaires en débits réservés, les tronçons cumulant longueurs importantes et hauteurs d'eau très faibles, les passages busés infranchissables par la plupart des espèces de la zone à truite</p>	<p>Les linéaires en débits réservés sont systématiquement intégrés car les petits cours d'eau sont beaucoup plus vulnérables à l'assèchement. Ils ne sont pas toujours classés en perturbation mais constituent néanmoins un risque.</p>
	<p>Continuité longitudinale des espèces : saumon atlantique, truite de mer, anguille, alose, truite fario, brochet pour la montaison et l'avalaison</p>	<p>Les obstacles semi-anthropiques comme les barrages-embâcles, les seuils-racines</p>	
	<p>Continuité latérale des espèces repère : truite et brochet pour l'accès aux frayères</p>	<p>Surtout vis-à-vis des petites espèces piscicoles comme le vairon, le chabot et la lamproie de planer</p>	
Débit à l'échelle du tronçon	<p>Réduction localisée du débit et variations brusques du débit. Débit réservé < au 1/40 du module</p> <p>Eclusées</p>	<p>Les tronçons affectés par des sorties de buses sous-dimensionnées, les dérivations d'étangs mal conçues qui dérivent trop peu du débit</p>	<p>Les éclusées sont peu fréquentes sur les petits cours d'eau, cependant il existe quand même des éléments susceptibles d'accentuer la violence des crues. Les vidanges d'étangs méritant une étude cas par cas peuvent</p>

	Recalibrages qui accentuent la violence des crues et une atteinte rapide de l'étiage	Les difffluences anthropiques (levades et cours d'eau)	affecter les berges dans certains cas, si elles sont incontrôlées et réalisées en période de crue. Les dégradations les plus fréquentes restent les recalibrages pentus et sous-dimensionnés en largeur.
		Les tronçons soumis à des captages	
Débit à l'échelle du bassin versant	À considérer à l'échelle du bassin versant		La présence généralisée de captages d'eau potable sur les bassins versants situés à proximité de « gros » foyers de populations est ajoutée.
	Il s'agit de l'accentuation des étiages par les drainages, l'assèchement des zones humides, le recalibrage du chevelu		Pour l'adaptation aux ruisseaux de tête de bassin, une analyse par bassin versant élémentaire (des rangs 1) semble pertinente.
	De l'accentuation de la violence des crues sur les mêmes critères que les accentuations d'étiage		Drainage des zones humides en forte proportion sur le bassin versant et linéaires importants recalibrés et convergents
	Diminution de la fréquence de débordement des crues		

Cette adaptation a fait apparaître de nouveaux termes pour des types de dégradations encore peu étudiées comme les seuils-racines, les barrages-embâcles, les dégradations morphologiques par piétinement ou les levades. Ceux-ci méritent illustration :

Photographie 14 : Seuils-racines et dégradations engendrées sur le ruisseau de la Prairie : modification de la ligne d'eau, ensablement et rupture de la continuité, Lhéritier N., 2009



Photographie 15 : Levade sur le ruisseau des Vergnas : modification de la ligne d'eau, Lhéritier N., 2009



Photographie 16 : Embâcles et chablis sur le ruisseau d'Alesmes, Lhéritier N., 2009



Les annexes méritent également d'être illustrées pour comprendre pourquoi la dégradation s'accroît de la rigole faite à la main jusqu'au drain enterré.

Photographie 17 : Rang 1 géré en rigole faite au taille-pré sur sol sablo-graveleux, et potentiel de recharge en granulats sur le ruisseau d'Alesmes, Lhéritier N, 2009



Photographie 18 a et b : Rang 1 géré en rigole faite à la rigoleuse sur sol argileux sur le ruisseau de la Prairie ; Lhéritier N, 2009



Connaître l'état du cours d'eau ne suffit pas si nous voulons remédier aux différents problèmes constatés, il faut aussi en cartographier les causes.

De plus, même si la méthode REH guide fortement l'enquêteur dans le but de mettre des barrières à la subjectivité, il reste tout de même une différence d'appréciation entre différents agents enquêteurs, en ce qui concerne le degré d'altération. En effet, un linéaire de berges piétinées par des bovins va être plus néfaste pour le lit du cours d'eau sur un sol argileux que sur un sol sablo-graveleux, puisque ce sont surtout des éléments colmatants qui vont être mis en suspension puis redéposés. Sur sol sablo-graveleux, l'ensablement va être accompagné d'une recharge en granulats. Ainsi, alors que le colmatage est toujours constaté, en aval de piétinements sur sols argileux, des gravières se trouvent systématiquement en aval d'un piétinement sur sol sablo-graveleux. Nous avons pris l'exemple du piétinement bovin, mais la nature des sols est prépondérante vis-à-vis de l'impact de toutes les dégradations morphologiques.

Il est parfois difficile de juger du linéaire affecté par le piétinement car, lorsqu'il n'est pas généralisé sur l'ensemble du tronçon, il s'agit de points d'abreuvement qui se trouvent en rive gauche puis en rive droite ou sur les deux rives. Pour ces dégradations morphologiques ainsi que pour toutes les autres dégradations ponctuelles, mais aussi pour les éléments remarquables comme les surfaces favorables à la reproduction de la truite, la saisie ponctuelle des données est plus adaptée.

Cette saisie ponctuelle consiste à dénombrer exhaustivement les éléments relevés, un calcul de densité au mètre linéaire gomme la subjectivité et les erreurs d'appréciation du linéaire impacté.

Pour l'étude de la continuité, une base de données ponctuelles sur les ouvrages est indispensable, car elle localise précisément la déconnexion et précise son type, ses caractéristiques dans le but prochain de priorisation et d'aménagement.

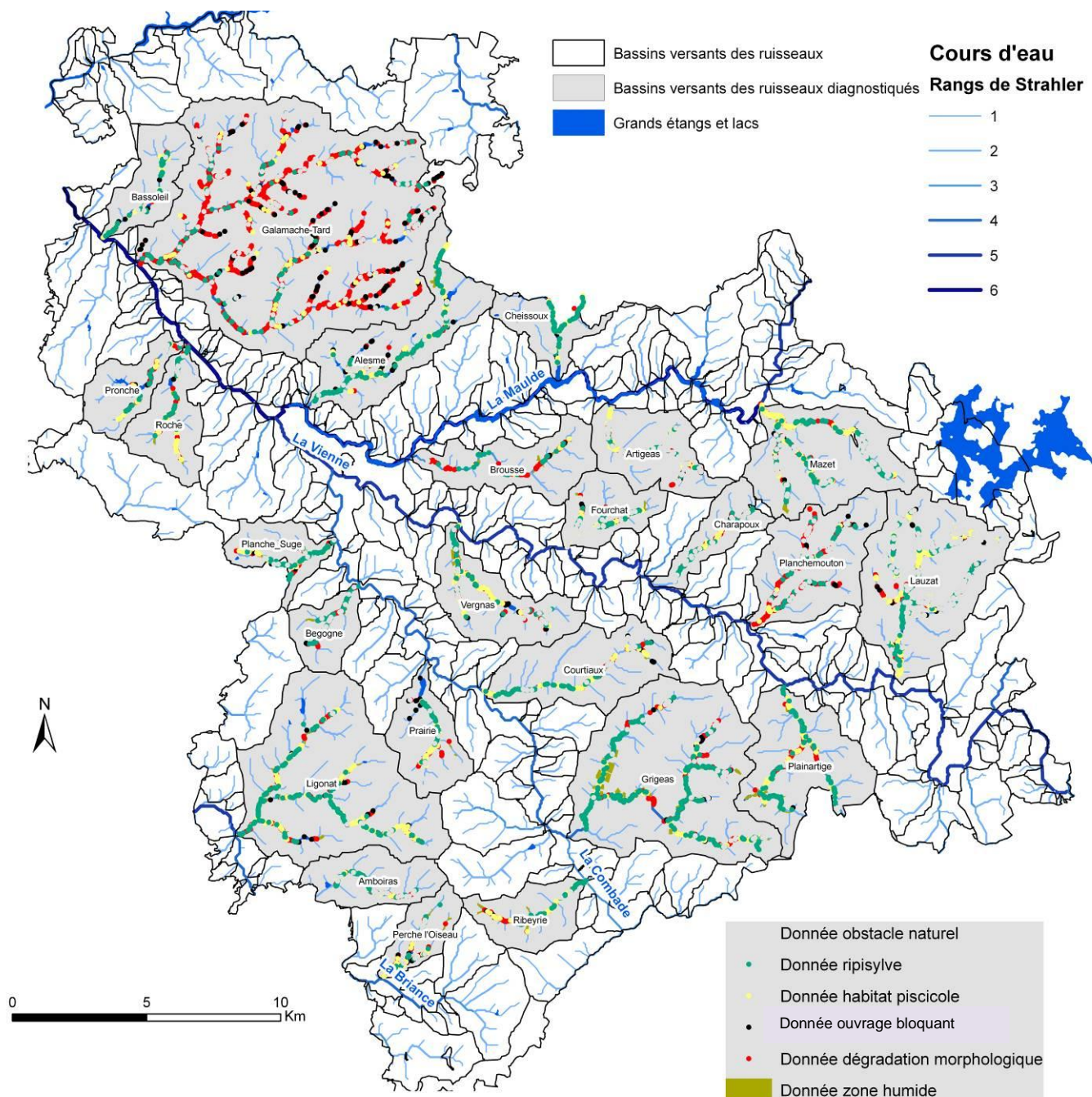
Nous avons donc constitué des bases de données d'objets ponctuels, qui sont toutes en correspondance avec un compartiment étudié par le REH.

Tableau 31 : Descriptif des bases de données ponctuelles remplies lors des prospections de terrain

Nom de la Base de Données	Contenu
BD_OUVRAGES	Elle contient tous les ouvrages recensés au cours du diagnostic linéaire, elle comprend des informations sur leur nature, leurs dimensions, leur fonction, leur état, leur franchissabilité par les poissons vers l'amont et vers l'aval.
BD_CONTI_NAT	Il s'agit de tous les seuils naturels difficilement franchissables ou infranchissables par les poissons, naturels ou semi-naturels.
BD_MORPHO	Elle reprend toutes les dégradations ou évolutions morphologiques, les recalibrages, les piétinements, les traversées à gué, les encoches d'érosion, les ensablements, les envasements.
BD_RIPI	Il s'agit de tous les éléments de la ripisylve qui peuvent à l'avenir entraîner des problèmes morphologiques voire de continuité. Une distinction est faite entre les éléments gênants et les éléments bénéfiques. Y figurent les embâcles stables, les chablis, les embâcles en formation ou dynamiques.
BD_CAPTAGES	Tous les captages pour toutes les activités
BD_REJETS	Tous les rejets y compris les drains agricoles
BD_PISCI	Toutes les observations piscicoles, les espèces, les zones de reproduction.

Les ruisseaux sont indissociables des zones humides riveraines, ainsi une base de données zonales, la « BD_ZH » qualifie et recense les zones humides à fort intérêt hydrologique.

Figure 131 : Carte des données ponctuelles saisies lors des prospections de terrain



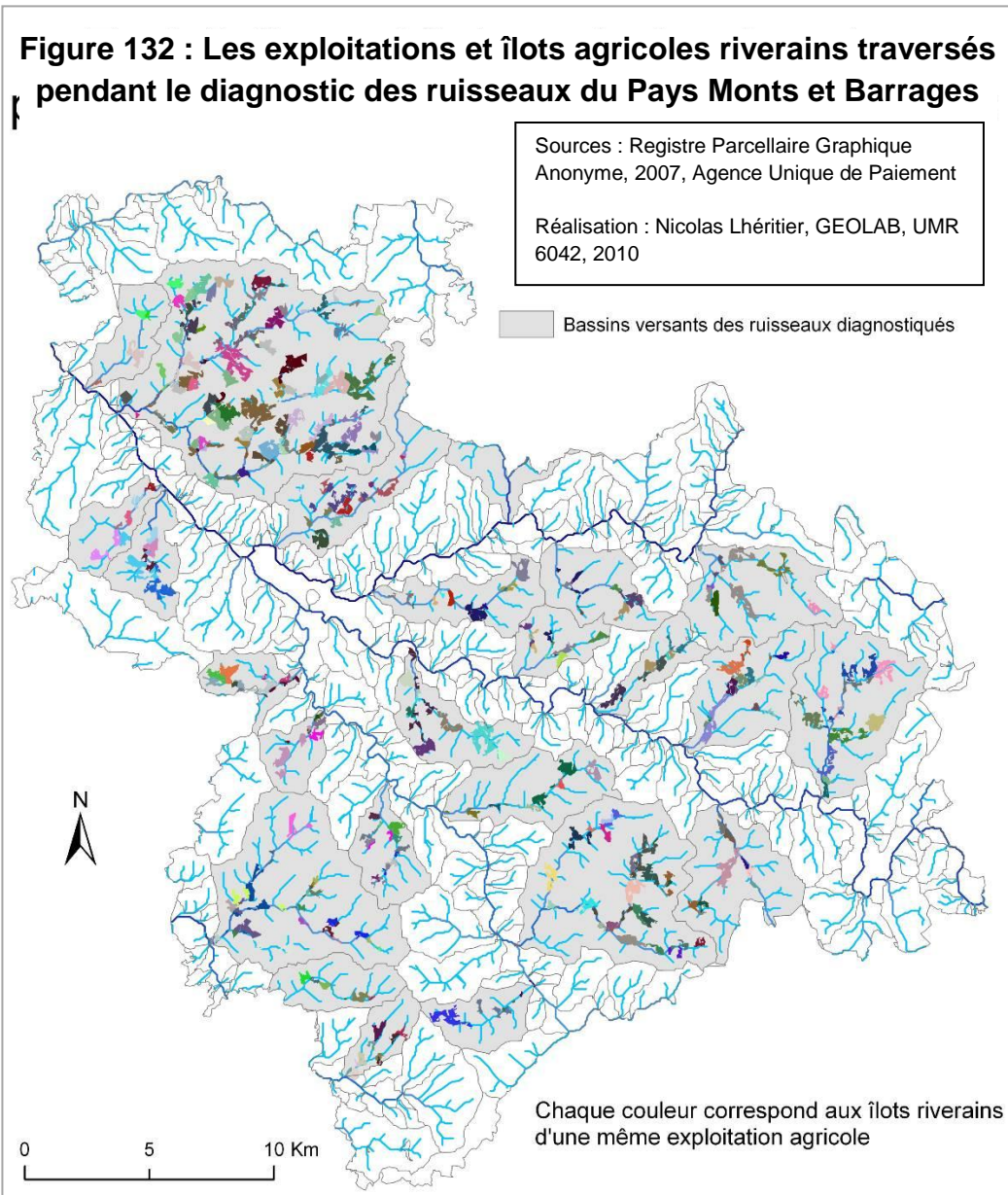
Source : IGN BD ALTI, BD CARTHAGE ; réalisation SIG SMMB 2009

Au cours de cette étude, 3172 données furent récoltées pour le compartiment morphologie, 2267 concernant la ripisylve, 406 ouvrages difficilement franchissables par la plupart des poissons et 792 obstacles naturels ou semi-naturels, 2639 données relatives aux habitats piscicoles et 399 polygones de zones humides. Le total des données récoltées par l'ensemble des prospecteurs des ruisseaux s'élève à 9675 données.

3.1.5. Analyse des gestions de cours d'eau par exploitation agricole

Les ruisseaux et rivières de Monts et Barrages traversent 2650 îlots agricoles gérés par 522 exploitations agricoles. Nous avons parcouru 619 de ces îlots et ainsi relevé les pratiques de gestion des prés de fond et des ruisseaux de 247 exploitations.

Le croisement géomatique des îlots agricoles avec des bases de données tronçons et ponctuelles nous permet de réaliser des statistiques sur la gestion des cours d'eau et des zones humides riveraines à l'échelle d'un territoire d'élevage comme celui de Monts et Barrages.



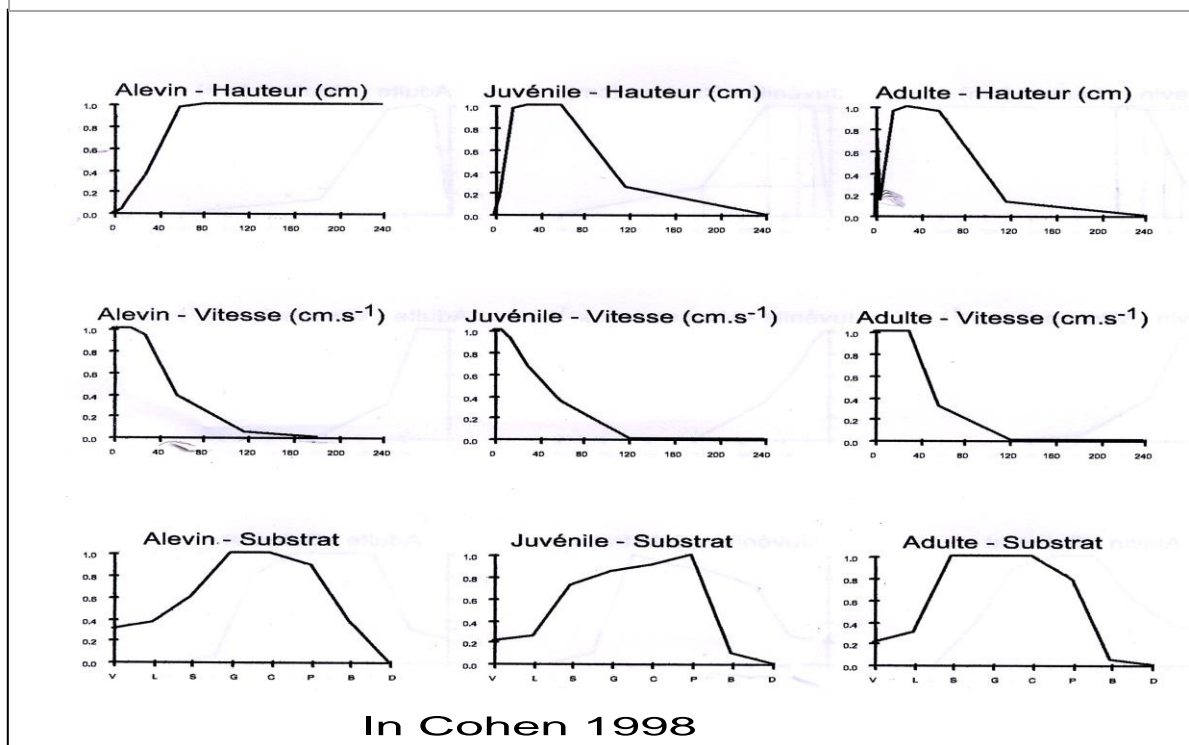
3.2. Les bio-indicateurs piscicoles de grande échelle et l'indice de conformité de la zone à truite

3.2.1. La méthode des microhabitats du CEMAGREF : échelle de la station

La méthode des microhabitats est un outil d'évaluation de l'impact des changements de débit sur les poissons. Le CEMAGREF a donc cherché à modéliser la conséquence des éclusés sur les habitats des populations piscicoles. Cette méthode n'est donc pas nécessairement adaptée aux petits cours d'eau de tête de bassin, les éclusées survenant plutôt sur des rivières d'assez grande dimension et donc avec un assez bon potentiel de production hydroélectrique par éclusées. Sur les petits cours d'eau, nous n'allons pas chercher à modéliser les effets d'un changement de débit sur les habitats, mais plutôt adapter un outil de comparaison à confronter avec des valeurs de densité issues de pêches électriques.

La méthode de terrain va cependant fortement s'inspirer de celle du CEMAGREF. C'est surtout au moment de l'exploitation des résultats que notre adaptation et la méthode classique se séparent quelque peu. Le travail de terrain consiste en la réalisation de transects sur des stations représentatives d'un tronçon, où sont matérialisées les variables mésologiques. À l'amont et à l'aval de chaque transect, des limites de représentativité sont définies. Il peut s'agir de la limite entre deux unités morphodynamiques (faciès) ou entre deux sous-unités d'un faciès. La surface comprise entre les limites de représentativité entre deux transects et les limites de caractéristiques mésologiques le

Figure 133 : Courbe de préférence de différentes espèces et pour différentes variables, Cemagref, in Cohen, 1998



long d'un transect (hauteur d'eau, vitesses d'écoulement, granulométrie) vont définir des cellules. (cf. figure suivante). Les caractéristiques de ces cellules seront analysées grâce aux courbes de préférences réalisées par Bovee pour la truite commune puis modifiées et étendues à d'autres espèces par le CEMAGREF, en confrontant les résultats de pêches électriques avec les caractéristiques de la station. La méthode consiste ensuite à pondérer la surface des habitats avec la préférence des espèces (la valeur habitat). Il en résulte une surface préférentielle appelée Surface Pondérée Utile à l'espèce (SPU).

Cette surface se calcule comme suit :

Pour chaque cellule, la Surface Pondérée Utile (SPU) est calculée de la manière suivante :

$$SPU = A * P(H) * P(V) * P(S)$$

Les SPU des différentes cellules sont ensuite additionnées pour obtenir les SPU des transects, des faciès ou de toute la station, ainsi on aura :

$$SPU = \sum_i A_i * P(H_i) * P(V_i) * P(S_i)$$

A = surface de la cellule

P(H), P(V), P(S) = coefficients de préférence lus sur les courbes de BOVEE.

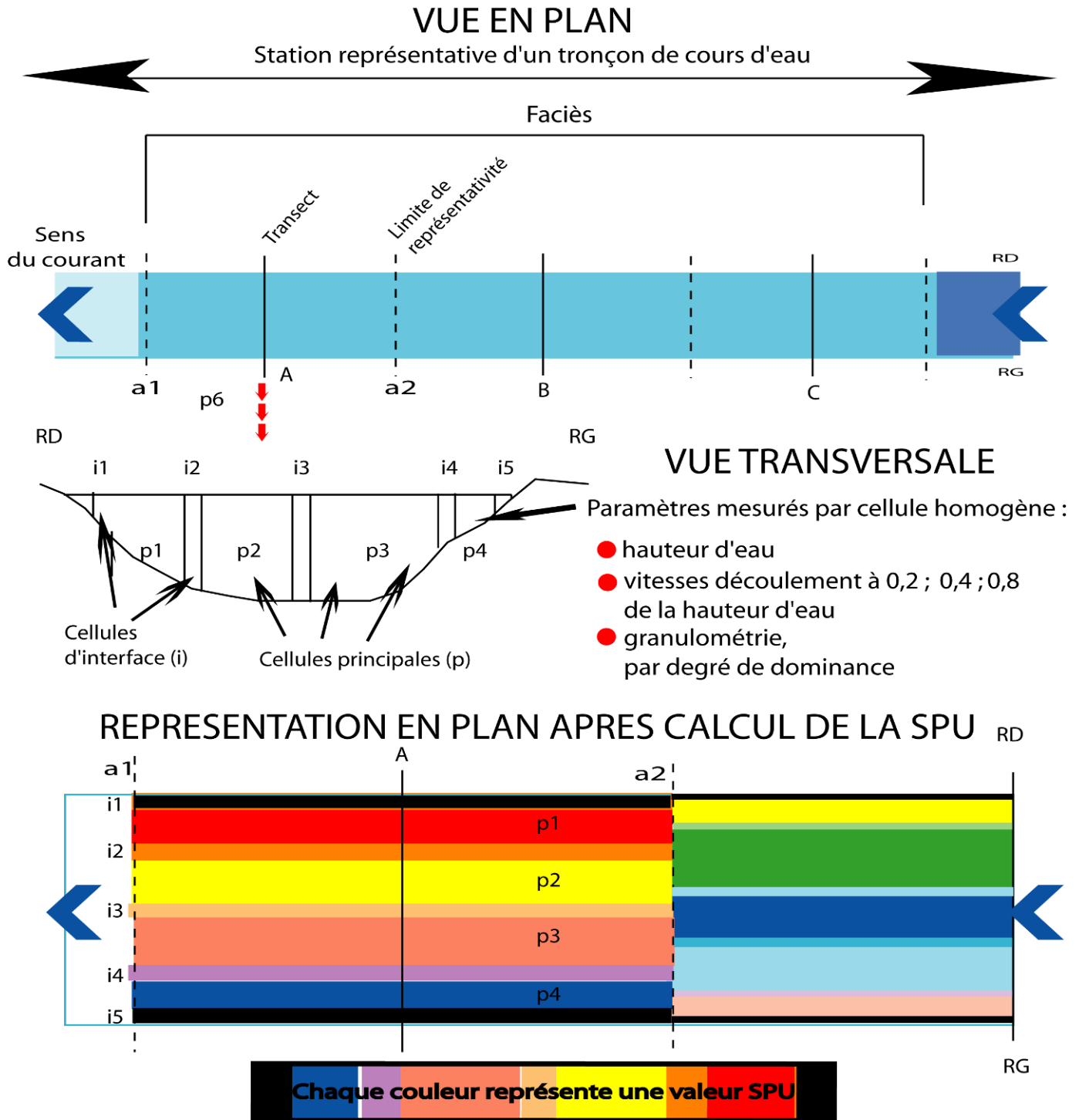
La vitesse est mesurée à des hauteurs de 0,2 ; 0,4 et 0,8 fois la hauteur d'eau totale. La vitesse moyenne est calculée à l'aide de la formule suivante d'après la NORME ISO (1983) :

$$V_{\text{moy}} = \frac{1}{4} (V_{0,2}) + \frac{1}{2} (V_{0,4}) + \frac{1}{4} (V_{0,8})$$

P(S) est calculé par la moyenne des indices de préférence, obtenus pour les différentes fractions granulométriques décrites (élément granulométrique dominant 1 et éventuellement dominant 2), pondérées par les coefficients empiriques : 0,2 ; 0,4 et 0,4 ou 0,2 et 0,8 en l'absence de granulométrie dominante secondaire (DOM2).

La valeur habitat s'exprime par le calcul : SPU / A autrement dit, elle correspond uniquement au produit des coefficients de préférence.

Figure 134 : La méthode des microhabitats du CEMAGREF : principes et protocoles d'application



Source : M POUILLY, Sylvie VALENTIN, H CAPRA, V GINOT, Y SOUCHON. (CEMAGREF et INRA) : Méthode des Microhabitats : Principes et Protocoles d'Application, Bull. Fr. Pêche Piscic. (1995) 336 : 41-54

Réalisation : Nicolas Lhéritier, Université de Limoges, Laboratoire de cartographie, 2004

L'automatisation des calculs de SPU et de valeur habitat est possible grâce au logiciel EVHA du CEMAGREF. Cependant, le débit minimum pouvant être traité par ce logiciel est de 0,5 m³/s. Il faut donc trouver une solution pour pouvoir évaluer la capacité de petits cours d'eau.

La feuille tableur ESTIMHAB permet également l'automatisation des calculs et notamment le calcul des valeurs habitat en utilisant les nombres de Froude et de Reynolds. Mais il ne permet pas la cartographie ni de calcul précis des SPU. Cette feuille a donc été analysée et transformée pour pouvoir calculer des valeurs habitat et ensuite les appliquer à des surfaces de zones homogènes calculées selon le principe expliqué plus loin. Nous n'avons gardé de cette feuille ESTIMHAB que les éléments nécessaires au calcul des valeurs habitat par transect au débit instantané mesuré. Une feuille de synthèse reprend les valeurs habitat pour les espèces truite (à tous les stades de développement), vairon, chabot, loche franche, goujon ; et verticale par verticale, transect par transect. Il en résulte un maillage de points à l'intérieur de la station avec les valeurs habitat et les caractéristiques physiques liées.

Pour la représentation, les calculs de surface précis des stations et le calcul des SPU, il a fallu mettre en place des méthodes permettant de représenter la surface de la station de manière précise, et de mesurer les vitesses d'écoulement :

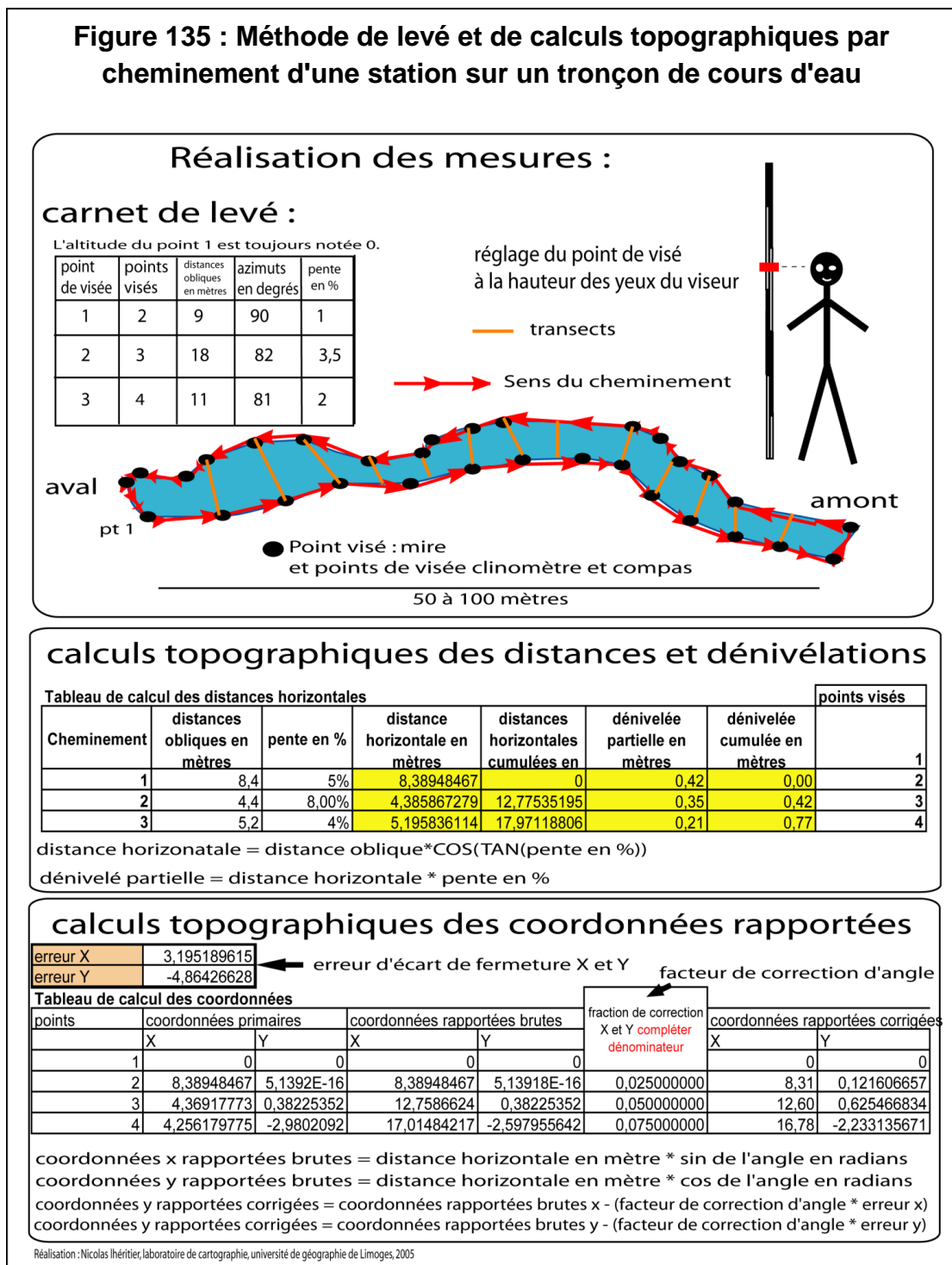
- une boussole
- un clinomètre
- un décamètre ruban
- un micromoulinet

Le clinomètre ou clisimètre permet d'avoir directement la valeur de la pente en pourcentage entre deux points. Pour que les mesures soient les plus précises possibles, le point visé doit être à la même hauteur que le point de station par rapport au lit du cours d'eau de manière à ce que la ligne de visée soit parfaitement parallèle au lit du cours d'eau.

La mesure des vitesses d'écoulement est exécutée avec le même type de matériel que la mesure des débits, c'est-à-dire avec un micromoulinet. Les mesures sont effectuées sur des transects. La répartition des points de mesures dans la dimension horizontale doit tenir compte des proportions des vitesses d'écoulement. C'est-à-dire que sur un transect, l'espacement entre les points de mesures ne sera pas toujours le même. La lecture de la surface de l'eau est déterminante dans cette étape. Il ne faut pas négliger les zones proches des berges, les courants de retours situés derrière les blocs, les courants, ainsi que les zones où le courant est très faible.

La cartographie de la station est réalisée par un report de plan calculé. Le résultat est un tableau qui comprend trois colonnes : X, Y et Z. Ce sont les données qui serviront à obtenir la surface exacte de la station une fois retranscrite dans un logiciel de géomatique.

Figure 135 : Méthode de levé et de calculs topographiques par cheminement d'une station sur un tronçon de cours d'eau



Une fois les fichiers de calcul de valeurs habitat et de topographie mis en relation, il est possible de réaliser les représentations suivantes.

Ci-dessous un exemple de graphique réalisé avec les coordonnées rapportées :

Figure 136 : Un exemple de plan-graphique construit à partir de coordonnées rapportées corrigées, L'héritier N., 2007

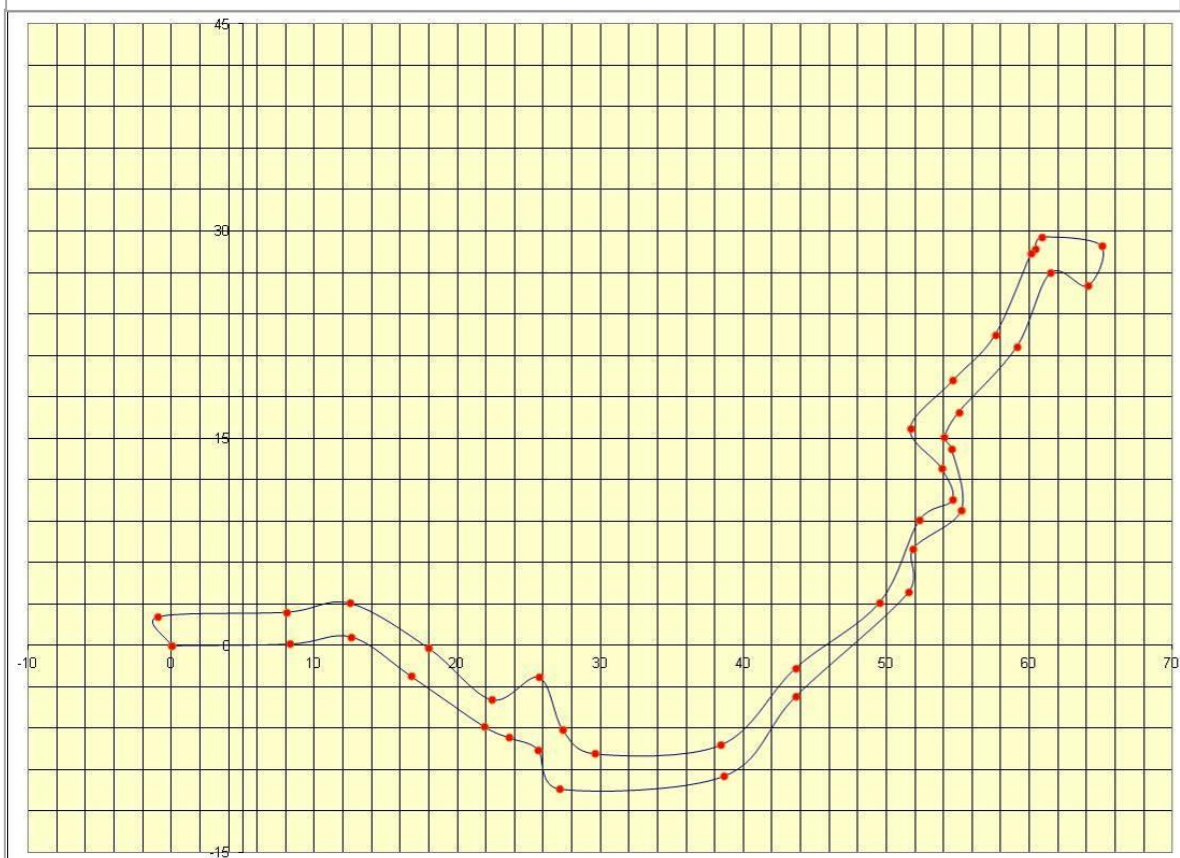
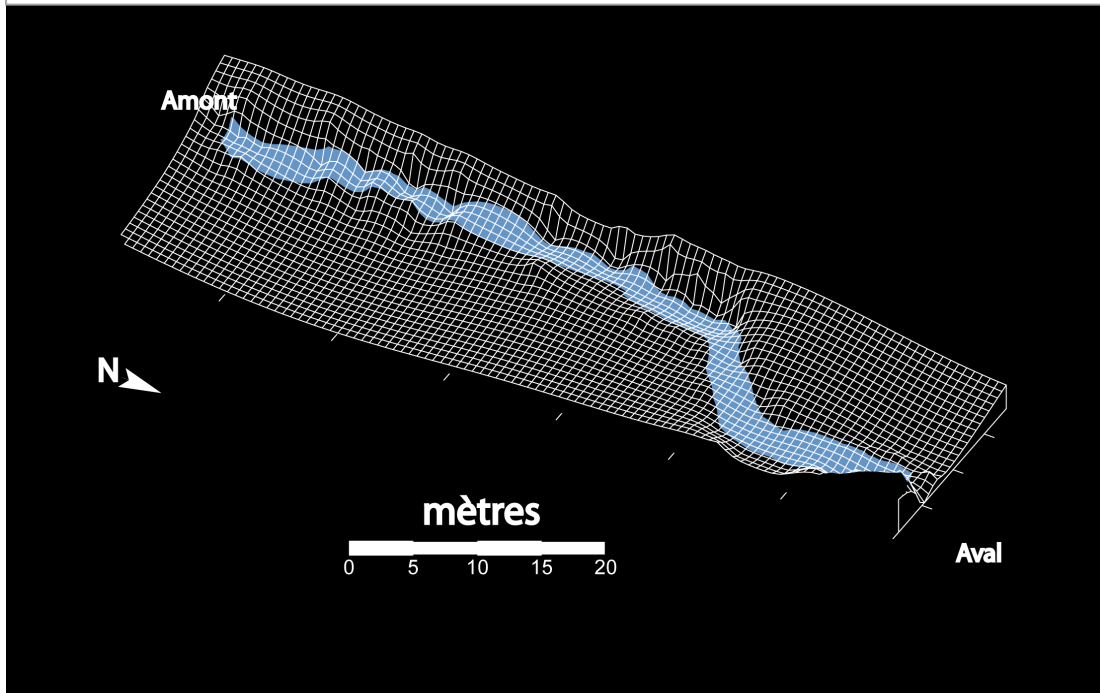
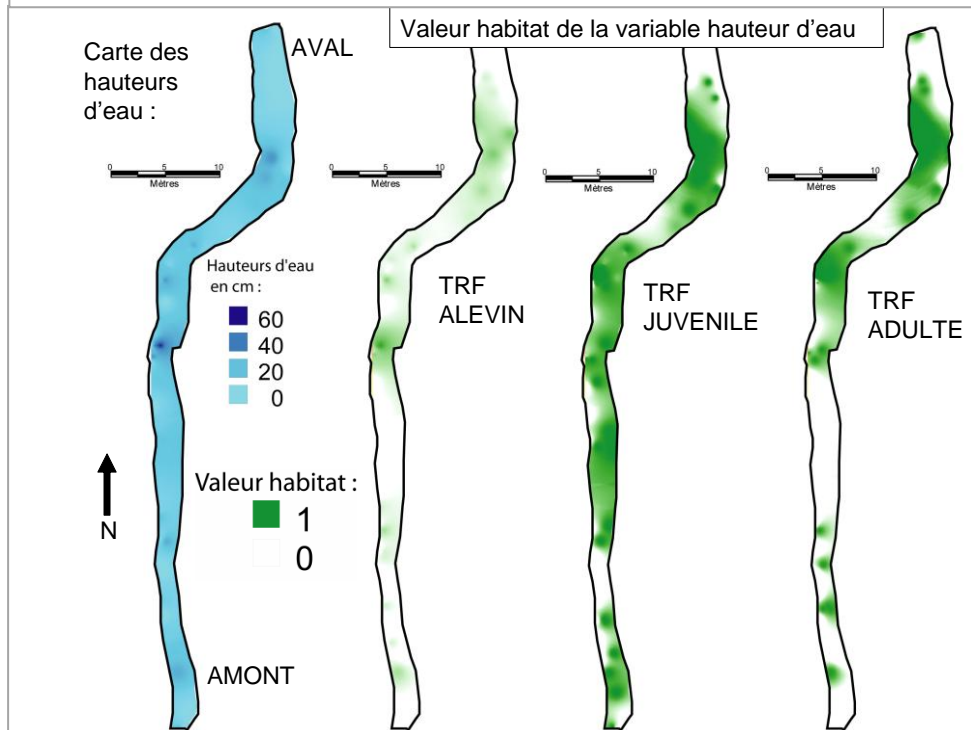


Figure 137 : Modèle numérique de terrain d'une station étudiée par la méthode des microhabitats (ruisseau d'Artigeas), Lhéritier N., 2007



Les données sont exploitées avec le logiciel de MNT qui extrapole les valeurs de vitesse entre deux points de mesures. C'est pour cela qu'il faut s'assurer que les plus faibles valeurs et les plus fortes ont bien été mesurées.

Figure 138 : Valeur habitat sur une station d'étude du ruisseau d'Artigeas pour différents paramètres et différents âges de truites, Lhéritier N., 2007



En chaque point du transect la valeur habitat est connue comme l'illustre la figure suivante.

Figure 139 : Relevés de terrain et préférences de diverses espèces vis-à-vis des conditions hydromorphologiques sur le ruisseau de Planchemouton et sur différents transects, Jambon D., Quignard C., Lhéritier N., 2008

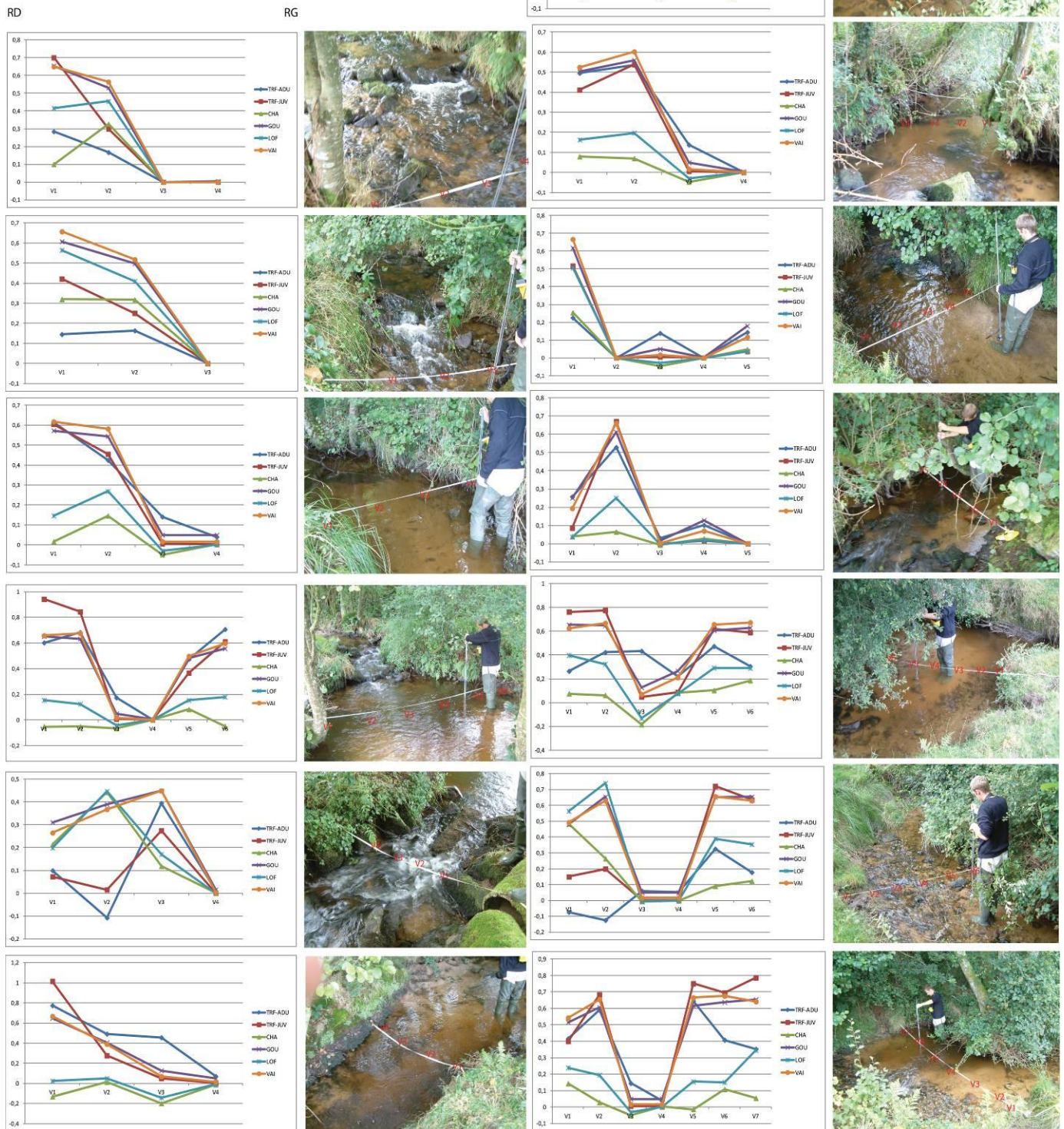
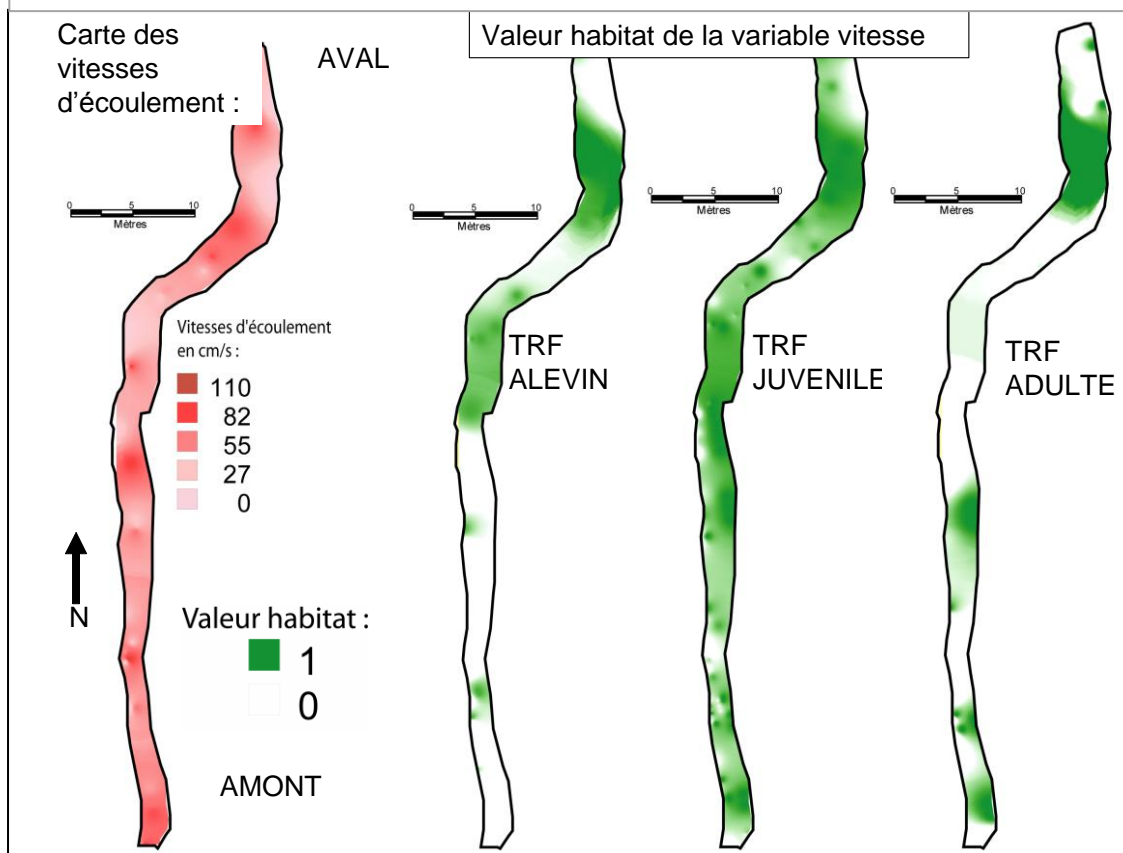
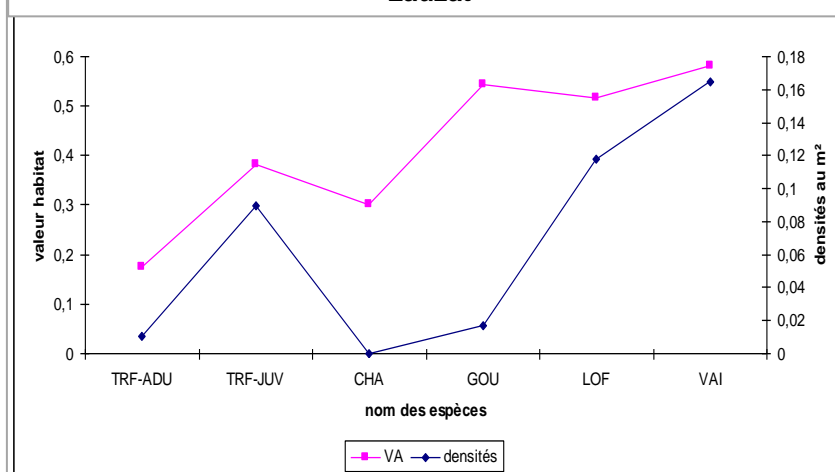


Figure 140 : Valeur habitat sur une station d'étude du ruisseau d'Artigas pour différents paramètres et différents âges de truites, Lhéritier N., 2007



Le résultat obtenu dans la feuille de calcul « estimhab » est une synthèse des valeurs habitat pour différentes espèces et différents stades de développement. Les tendances entre la valeur habitat et la densité pourront être comparées.

Figure 141 : Relation entre les valeurs habitat et les densités pour chaque espèce d'une station de pêche électrique du ruisseau de Lauzat



Mais nous **utiliserons surtout cette méthode pour comparer l'occupation des habitats sur un même système ruisseau mais en des positions amont-aval différentes.** En effet, si à **surfaces d'habitats préférentiels égales, les densités varient au sein d'un même réseau hydrographique, cela voudra dire que d'autres paramètres conditionnent les peuplements et pas seulement les caractéristiques hydromorphologiques.** Il pourra s'agir de la **température de l'eau, de sa qualité physicochimique ou encore de la connexion avec l'amont et l'aval.** Cette méthode sera appliquée à 4 stations de pêches électriques du ruisseau du Lauzat pour évaluer l'occupation des habitats par les poissons et comparer l'état des populations de l'amont et de l'aval.

Ces différents tests nous ont également permis, d'acquérir des connaissances permettant l'expertise lors de la prospection des linéaires, en faisant la corrélation entre les stations pêchées à l'électricité et finement cartographiées avec le tronçon parcouru et décrit visuellement dans le cadre de la méthode du Réseau d'Évaluation des Habitats (REH).

Photographie 20 : Pêche électrique dans les gorges du Courtaux, Lhéritier N., 2008



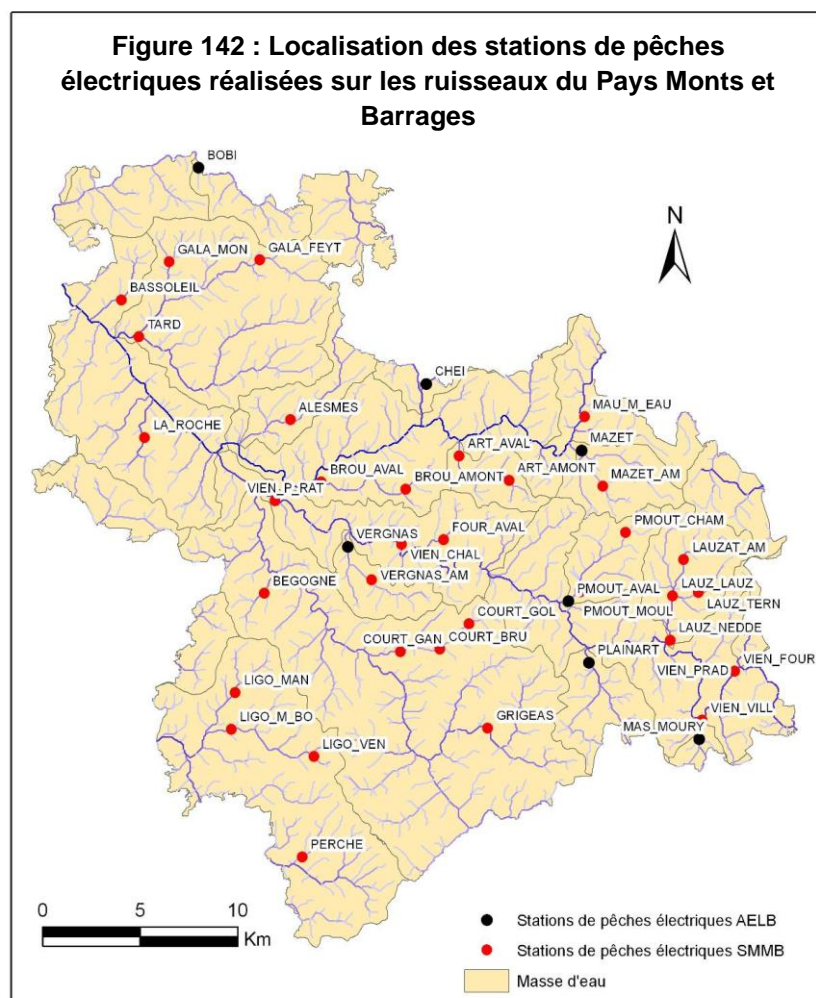
Photographie 19 : Pêche électrique sur un rang 2 du ruisseau des Fantaisies, Lhéritier N., 2007



3.2.2. Les pêches électriques à l'échelle locale (Pays Monts et Barrages).

L'acquisition de données sur les populations de poissons permet en plus de connaître l'écologie actuelle des ruisseaux d'effectuer des mises en relation avec les conditions de la station par l'analyse des habitats comme nous venons de la voir, mais aussi avec l'état général du système ruisseau grâce à la méthode REH.

Les pêches électriques ont donc été nombreuses avec parfois 2 stations par petit bassin versant.



Les tronçons sont pêchés deux fois sur une longueur variant de 50 à 100 mètres, tous les poissons sont mesurés et comptés. Toutes les pêches électriques ont été réalisées à l'aide d'un « martin-pêcheur » par la FDAAPPMA de la Haute-Vienne. Dans la mesure du possible les pêches ont été réalisées loin des ponts où la prédation de l'homme affecte moins les peuplements et, bien entendu, le plus en amont possible pour échantillonner des rangs 2. De la même manière que pour l'échelle nationale, nous analyserons la part de la truite commune et de ses espèces d'accompagnement dans les peuplements piscicoles, mais aussi les densités.

3.2.3. La survie embryolarvaire de la truite commune

Nous avons vu que le colmatage est une dégradation possible des ruisseaux. La zone hyporhéique est le milieu de vie de la truite commune aux stades œuf et alevin vésiculé. En se penchant sur les potentialités de ce milieu en matière de réussite aussi bien pour la ponte que pour le devenir des œufs on en évalue le degré de colmatage et, en partie, la productivité piscicole du ruisseau.

Photographie 21 : Mise en place d'incubateurs à œufs de truite sur le ruisseau de Courtiaux, Quignard C., 2007



Rappelons que le colmatage résulte d'un dépôt de matières fines dans les interstices séparant les éléments grossiers du lit. Le plus souvent, il a lieu sur les berges, au fond des mouilles ou encore dans des annexes de cours d'eau. Ce phénomène survient lorsque la production de sédiments fins est trop importante, et que les vitesses d'écoulement sont faibles. Dans le chenal principal, ces conditions se retrouvent en période de décrue et d'étiage.

Les particules incriminées dans ce phénomène ont des tailles variables selon les peuplements aquatiques. Dans le cas de frayères à salmonidés, toutes les particules inférieures à 0,8 mm ont un effet colmatant (Schälchli, 1993 et Brunke, 1999). La relation entre la quantité de ce type de particules et la survie des œufs et alevins permettra de connaître des valeurs seuil néfastes pour la truite, et un risque de dysfonctionnement de la zone hyporhéique.

La pose des incubateurs selon la conception de Rubin contenant les œufs fécondés et la granulométrie de la fosse creusée est suivie du prélèvement de l'échantillon granulométrique, qui est réalisé sur les dix premiers centimètres du lit. Il faut prendre les précautions nécessaires afin de ne pas perdre les éléments fins susceptibles d'être emportés par le courant. Un prélèvement ayant un volume de un litre sera plus facilement analysable en laboratoire.

Le suivi du taux de survie sera réalisé entre les stades de développement. La qualité physicochimique de l'eau est également suivie durant l'expérience afin de vérifier, que les résultats obtenus dépendent bien de la granulométrie et du colmatage et non d'autres paramètres. La physicochimie de l'eau de surface a donc été analysée à fréquence hebdomadaire. L'eau interstitielle a également été analysée, et prélevée à l'intérieur d'un tube crépiné à l'aide d'une seringue. Les analyses sont effectuées par colorimétrie à l'aide d'un spectrophotomètre DR 2000 Hach Lange.

Figure 143 : Représentation des incubateurs à œufs et alevins de truite utilisés, Martin G., Quignard C., 2007

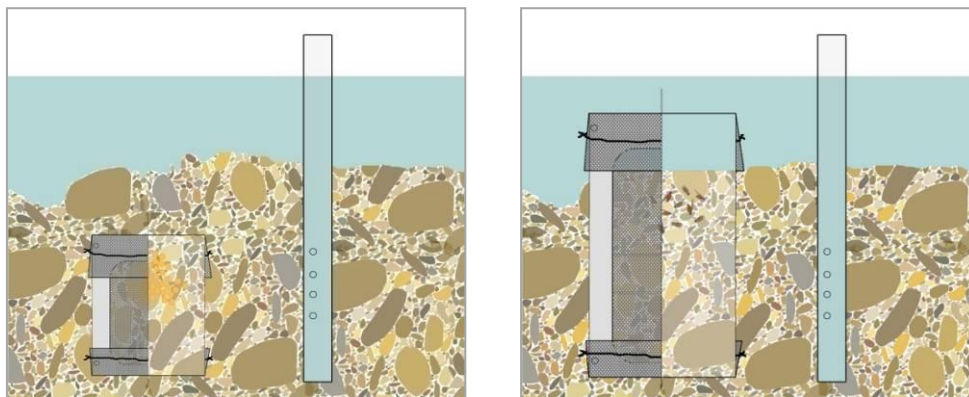


Figure 144 : Protocole de suivi de la survie des œufs et alevins de truite Lhéritier N., 2007



De retour au laboratoire, l'analyse se déroule selon un protocole établi par Tricart J. en 1965. L'échantillon est séché et pesé dans un récipient taré. On obtient ainsi la masse de l'échantillon. On lave le substrat sur un tamis de 50 microns afin d'éliminer la fraction fine. On procède ensuite à un deuxième séchage. La part de cette fraction pourra alors être connue en calculant les différences de masses avant et après lavage. Puis, l'échantillon est trié à l'aide d'une colonne de tamis reprenant les grandes classes granulométriques et d'une secoueuse. Pour connaître la masse de sédiments passant dans chaque tamis, on pèse les sédiments contenus dans chacun d'eux, toujours à l'aide d'un récipient taré. La construction d'une courbe granulométrique permet de déduire le diamètre médian des matériaux en calculant la médiane des pourcentages cumulés des différentes classes de l'échantillon. Cependant, la courbe granulométrique renseigne également sur la compétence du cours d'eau, c'est-à-dire sur sa capacité à transporter les éléments de différentes tailles qui composent son lit.

Conclusion de la partie 2 :

Grâce aux outils géomatiques et aux bases de données présentées, nous sommes désormais en mesure de tenter la cartographie, la caractérisation hydromorphologique et biogéographique des petits cours d'eau. Ces outils devraient nous permettre de cartographier les régions de l'amont des bassins versants, d'estimer les linéaires de petits cours d'eau. Cependant, il faut garder à l'esprit que si nous avons pu trouver des outils adaptés à ce travail les bases de données seront à manier avec précaution, comme la BD Carthage qui nous l'avons vu en première partie est incomplète.

Nous avons suffisamment de données pour réaliser des typologies qui permettront de connaître les véritables caractéristiques des différentes têtes de bassin : hydrogéomorphologiques, hydromorphologiques à de petites échelles, et de connaître les surfaces que représente chaque catégorie.

La qualité globale des têtes de bassin s'étudie selon des paramètres multiples. Pour l'instant l'étude des ruisseaux n'a pas encore été réalisée sous un angle statistique, car les données disponibles auprès des différents organismes à qui l'évaluation de l'atteinte du bon état imposé par la DCE est confiée n'étaient pas rattachées à un réseau hydrographique ordonné, qu'il s'agisse des résultats de pêches électriques, des données brutes physicochimiques. Avec les outils d'ordination, nous pourrions comparer les stations des ruisseaux avec les stations des grands cours d'eau, isoler les stations de l'amont pour s'intéresser spécifiquement à leur état.

Nous nous sommes inspirés de méthodes et d'outils existants que nous avons préparés, adaptés à l'étude des petits cours d'eau. C'est le cas de la méthode d'expertise développée par le Conseil supérieur de la Pêche que nous avons adaptée pas seulement à une échelle plus grande que celle des grands cours d'eau pour lesquels elle est faite, mais plutôt pour des fonctionnalités différentes. La méthode REH interprète également en fonction des activités humaines susceptibles de dégrader les cours d'eau, la tête de bassin se situant dans un contexte socio-économique différent des grands cours d'eau les adaptations majeures concernent ces éléments d'expertise des impacts de l'anthropisation.

Nous ne savons pas encore si cette adaptation de cartographie descriptive est réellement adéquate à l'évaluation générale des cours d'eau de tête de bassin. Le rôle de la troisième partie, s'il est d'apporter des résultats de recherche fondamentale, sera aussi de comparer les différents résultats issus d'indicateurs multiples pour valider l'adaptation de la méthode REH à cette partie des réseaux hydrographiques.

**PARTIE 3 : Les petits cours d'eau de l'hydrosystème mondial au
Limousin : un changement d'échelle nécessaire à la détermination
de la qualité et à une meilleure gestion des têtes de bassin**

Introduction de la partie 3 :

Dans cette partie, il s'agira tout d'abord de cartographier et d'évaluer les linéaires de petits cours d'eau aux échelles mondiale, nationale, régionale et locale avec différentes bases de données hydrographiques plus ou moins complètes et plus ou moins précises. De cette cartographie découlera la connaissance ou l'estimation des linéaires que les petits cours d'eau représentent, et les proportions qu'ils occupent dans les réseaux hydrographiques.

L'ordination des réseaux hydrographiques et leur cartographie sont un travail on ne peut plus objectif. Mais lorsqu'il s'agit de sélectionner certains bassins versants pour les qualifier de tête de bassin, l'interprétation préalable à la sélection est beaucoup plus complexe. En effet, nous avons vu que les critères de définition de la tête de bassin peuvent être pluridisciplinaires, et nous ne sommes pas certains que cette partie à venir puisse apporter une définition universelle de la tête de bassin.

Notre rôle n'est pas de fixer une limite hydro-administrative stricte de la tête de bassin, mais plutôt de l'aborder largement, en se concentrant sur l'établissement d'une typologie des régions à petits cours d'eau. Celle-ci générera une réflexion sur les critères, les bases de données et les méthodes permettant aux gestionnaires de fixer des limites par nécessité de gestion et en connaissance de cette réflexion.

Nous étudierons donc tous les systèmes ruisseaux, c'est-à-dire le rang 1, 2 et 3, affluents aux petites rivières de rang 4 ou à des rivières plus importantes. Cette « tête de bassin » au sens large laissera un espace de découverte et de réflexion suffisant. Parfois, nous réduirons cet espace aux rangs 1 et 2, du fait de la crainte du décalage ou de la sous-estimation de l'ordination de la BD Carthage induite par le manque de certains rangs 1.

Ce qui peut également être déterminant dans les limites à fixer en vue d'une gestion, c'est l'état actuel des petits cours d'eau. Que la définition des têtes de bassin s'apparente ou non à des espaces préservés comme l'entendent les Agences de l'eau, il faut bien vérifier si tel est le cas. Ce qui aide à la décision fondamentale en matière de gestion de préservation et de restauration, c'est la connaissance de l'état des régions à petits cours d'eau, et la cartographie de cet état.

En effet, les petits cours d'eau sont facilement aménageables, plus encore, s'ils ne sont pas cartographiés, car cette cartographie joue un rôle dans leur définition, la réglementation et donc leur sauvegarde. Mais alors, dans quel état sont-ils ? Quel est désormais leur degré de naturalité ? Nous apporterons des connaissances propres à nos recherches, et les associerons à d'autres études menées sur cette partie des hydrosystèmes pour mieux connaître les impacts des activités humaines principales rencontrées en tête de bassin.

Afin d'expliquer des phénomènes liés aux activités riveraines majeures des têtes de bassin à l'échelle nationale, nous effectuerons des changements d'échelle pour décrire les phénomènes ayant été étudiés à l'échelle locale. Nous verrons qu'il existe des situations similaires entre des régions à petits cours d'eau.

1. Une nouvelle conception cartographique des têtes de bassin du globe

La première question à laquelle nous devons répondre est des plus complexes, à savoir : Que voulons-nous cartographier ? Nous l'avons vu en première partie, la tête de bassin est un terme partiellement défini, de ce fait, lui donner des limites spatiales n'est pas une chose évidente.

De plus, plusieurs approches sont possibles, par la cartographie d'une tête de bassin aux limites strictes, comme a pu réaliser l'agence de l'eau Loire-Bretagne en ne conservant que les écoulements élémentaires (rangs 1 et 2 de Strahler de pente supérieure à 1 %, confluent nécessairement à un rang 3), ou, une tête de bassin plutôt multicritères, ayant des caractéristiques propres avec une limite aval se concrétisant par un écotone où les petits cours d'eau influencent les plus grands et inversement. Ces influences sont d'ordres hydromorphologique, physicochimique et écologique.

Il y a, semble-t-il en fonction de l'échelle de travail des têtes de bassins emboîtées. En effet, tout dépend du rang de l'exutoire dont nous voulons cartographier les têtes de bassin. Le principe du continuum fluvial exige que les cours d'eau en tout point soient influencés par les tributaires de l'amont.

La cartographie des têtes de bassin à l'échelle nationale est réalisable en ordonnant les cours d'eau référencés dans la BD Carthage. Cependant, il faudra tenir compte du décalage entre les cours d'eau réels et ceux qui sont cartographiés. En effet, la non-représentation d'un grand nombre de tronçons de rang 1 dans des régions au réseau hydrographique dense entraînera inévitablement une sous-représentation linéaire de cette catégorie de cours d'eau, ainsi qu'un décalage dans l'ordination. Si des confluences de 2 rangs 1 ne sont pas cartographiées et sont de ce fait décalées plus en aval, les rangs 2 des cartes vont être situés plus en aval que leur position réelle dans le bassin versant. Les rangs 2 des cartes seront alors potentiellement des rangs 3 dans la réalité. Ce décalage devrait s'estomper au fur et à mesure de l'augmentation des rangs plus élevés qui sont mieux représentés.

Lorsque nous allons mettre en relation des caractéristiques biogéographiques, morphologiques ou écologiques avec le rang de Strahler issu de la BD Carthage, il faudra tenir compte du fait que certains rangs 2 sont des rangs 3, et que certains rangs 3 sont des rangs 4.

La BD Carthage comprend des lacunes et surtout en ce qui concerne les petits cours d'eau. Les fondements d'une définition des cours d'eau de tête de bassin tenant compte de cette base de données incomplète, entraînant une sous-représentation des rangs 1 qui sont les points de départ de la classification de Strahler pourraient sérieusement compromettre cette zonation en créant un décalage dès le début du classement. Cela, en définissant comme rang 1 des tronçons du réseau qui sont en réalité des rangs 2. Cela sera montré par la cartographie réelle des ruisseaux du bassin amont de la Vienne réalisé à partir d'un MNT et de la cartographie de terrain.

1.1. Les linéaires de petits cours d'eau

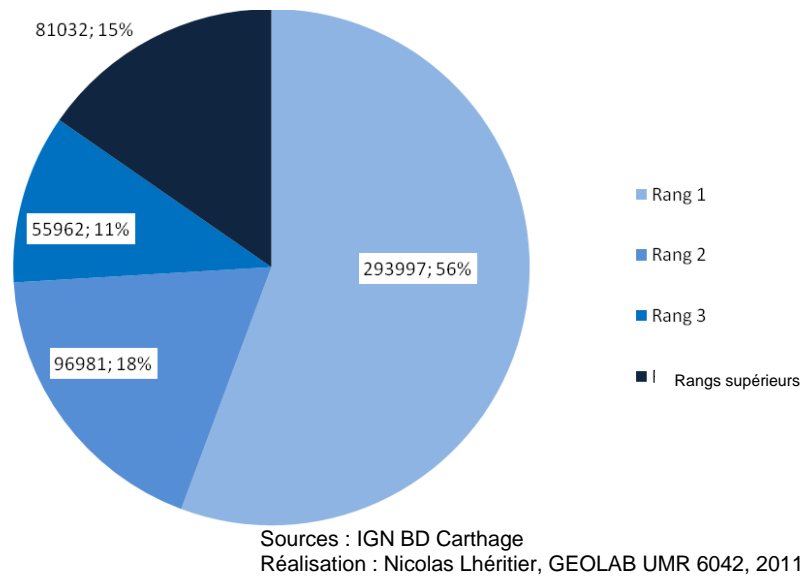
1.1.1.L'ordination de la BD Carthage

La cartographie des ruisseaux a nécessité une classification de la BD Carthage selon l'ordination de Strahler. C'est alors l'occasion de dégager la composition du réseau hydrographique français et de connaître la part des rangs 1 à 3 dans la composition totale du réseau hydrographique national. Le premier outil géomatique utilisé fut celui développé par Duncan Hornby qui fonctionne

sous Arcgis 3, cet outil a nécessité le traitement par grands bassins versants pour ensuite reconstituer une base de données nationale. Les rangs 1, 2, 3 représentent à eux seuls 85 % du réseau

hydrographique français. Nous n'avons pas détaillé volontairement les rangs supérieurs, car le logiciel utilisé

Figure 145 : Composition du réseau hydrographique français métropolitain, kilomètres et pourcentages, classé selon Strahler, avec l'outil Strahler Ordering



lorsque le réseau comprend beaucoup de bifurcations dans les grandes plaines alluviales ou dans les réseaux anastomosés semble « tourner en rond » et continuer l'ordination, ce qui conduit à des valeurs incohérentes mais uniquement pour les grands cours d'eau ayant des diffluences. En revanche les calculs semblent corrects jusqu'aux rangs 6.

En revanche, l'outil Rivex également développé par Duncan Hornby et fonctionnant sous Arcgis 9 semble mieux fonctionner, et ne nécessite pas de séquencer le réseau par grands bassins versants pour travailler. Ainsi, dans un second temps, cette seconde ordination nous a permis de déterminer le linéaire des rangs élevés. Les ordres de grandeur entre ces deux méthodes d'ordination restent les mêmes. Ainsi, les rangs 1, 2 et 3 représentent également 85 % du réseau hydrographique français selon cette deuxième ordination avec des proportions légèrement différentes.

L'outil RIVEX calcule également le linéaire à l'amont de chaque changement de rang, la figure 147 présente le linéaire cumulé moyen à l'amont de chaque changement de rang sur le bassin de la Loire.

Figure 146 : BD Carthage ordonnée selon Strahler

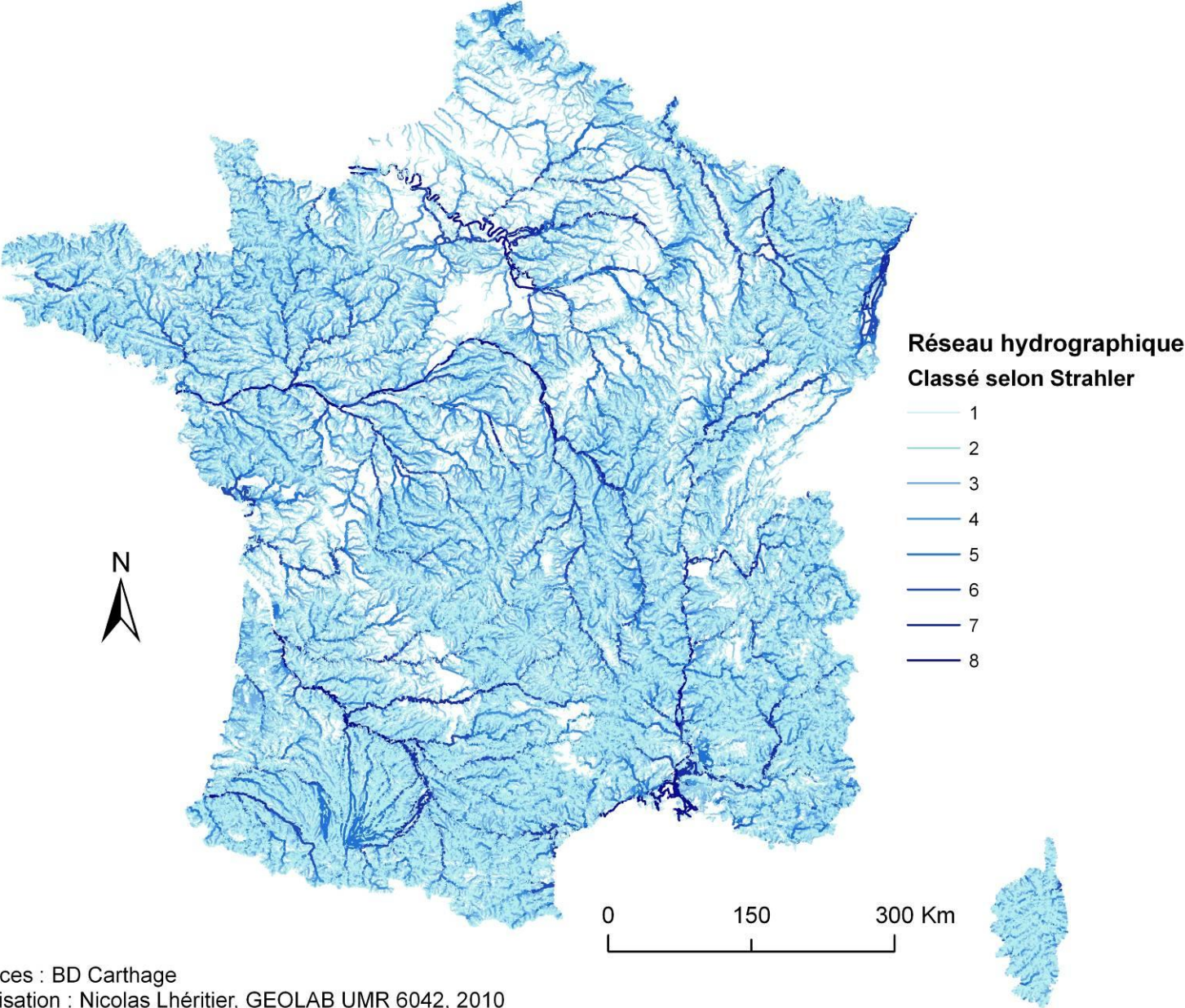
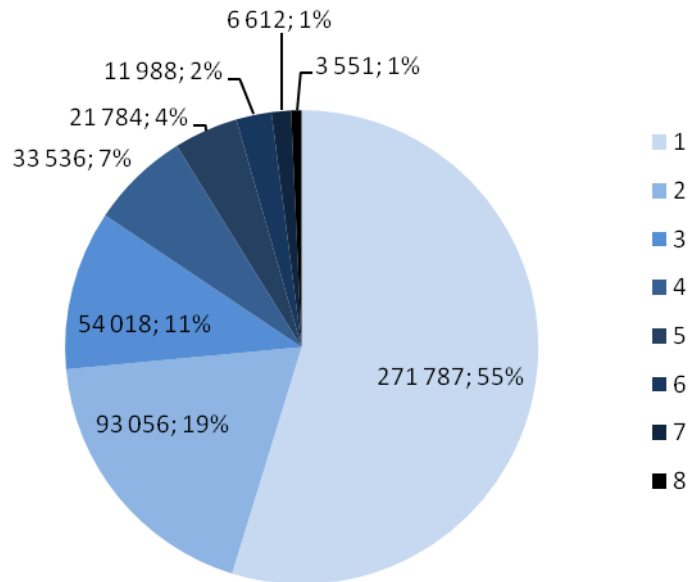


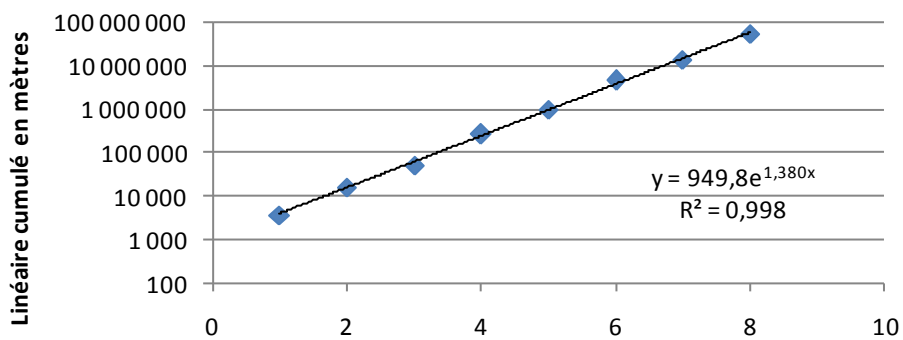
Figure 147 : Composition du réseau hydrographique français métropolitain, kilomètres et pourcentages, classé selon Strahler, avec l'outil RIVEX



Sources : IGN BD Carthage
Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2011

La carte suivante présente la BD Carthage ordonnée avec l'outil RIVEX.

Figure 148 : Linéaires cumulés moyens séparant chaque rang de ses sources sur le bassin de la Loire



Sources : IGN BD Carthage
Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2011

1.1.2.L'ordination de la Base de Données HYDRO1k de l'USGS

La couche vectorisée des cours d'eau de la Base de Données Hydro1k de l'USGS est ordonnée selon la classification de Strahler. Cependant, les cours d'eau cartographiés correspondent à des talwegs extraits à partir d'un MNT à l'échelle mondiale d'une résolution de 90 mètres. Cette résolution n'a pas permis d'en extraire les plus petits cours d'eau. En France, l'ordre 1 de cette Base de Données correspond à des ordres 5 ou 6 de la BD Carthage ordonnée.

Du fait de l'uniformité de la méthode de vectorisation des cours d'eau de l'USGS, nous pouvons supposer que cette correspondance et ce décalage sont les mêmes sur toutes les régions du globe.

Figure 149 : Cartes et tableaux comparatifs des réseaux hydrographiques de la BD Carthage et de la BD HYDRO1k classés selon Strahler

BD HYDRO1k Strahler :	— 3	BD Carthage Strahler :	— 7
— 1	— 4	— 5	— 8
— 2		— 6	

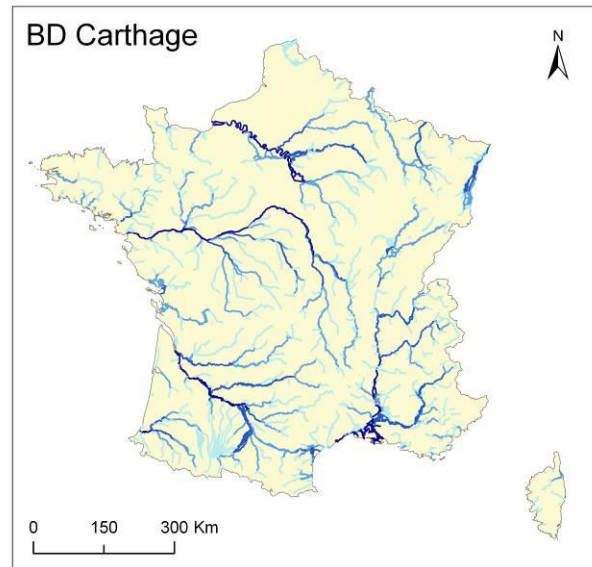
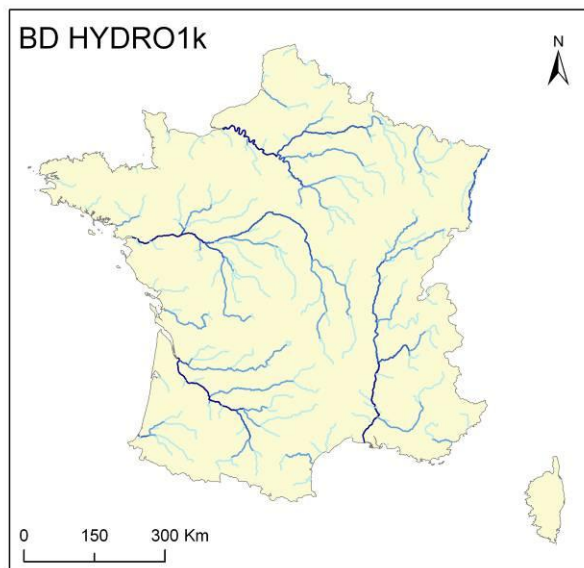


Tableau de correspondance entre le nombre de tronçons par rang de Strahler de la BD Carthage et le nombre de tronçons par rang de Strahler de la BD HYDRO1k de l'USGS

Strahler BD Carthage	4	5	6	7	8
Strahler USGS HYDRO1k					
1	430	1 023	1 071	184	20
2	99	76	686	481	17
3	40	39	98	174	91
4	28	19	10	4	214

Sources : IGN BD Carthage, BD Hydro1K - Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB, UMR 6042, 2011

Il est alors possible de calculer des rapports entre les linéaires des rangs n et des rangs $n+1$, la plupart des hydrographes ayant prouvé qu'il existe un rapport des longueurs logique dans tout réseau hydrographique. Ainsi, il nous est possible de connaître quels linéaires totaux de rang 1 (de la BD HYDRO1k) sont nécessaires pour composer les linéaires de rang 2 de l'hydrosystème mondial. Et ce jusqu'au rang 4 de la BD HYDRO1k correspondant aux rangs 8 de la BD Carthage. Le rapport des longueurs moyen entre les rangs $n+1$ et n est de l'ordre de 2,43. Cette valeur est dans l'intervalle de Horton 1945, où la valeur est comprise entre 2 et 3 avec une moyenne de 2,32.

Tableau 32 : Équivalence entre les ordinations de la BD Carthage et de la BD HYDRO1k, Rapports des longueurs entre les rangs de la BD HYDRO1k

Valeur du rang de la BD HYDRO1k	Valeur de rang de la BD Carthage	Rapports des longueurs
1/2	5-6/6-7	2,05
2/3	6-7/7-8	2,1
3/4	7-8/8-9	2,35
4/5	8-9/9-10	2,58
5/6	9-10/11	2,68

Les rapports des longueurs inter-rangs de la base de données diminuent de l'aval vers l'amont selon une relation polynomiale :

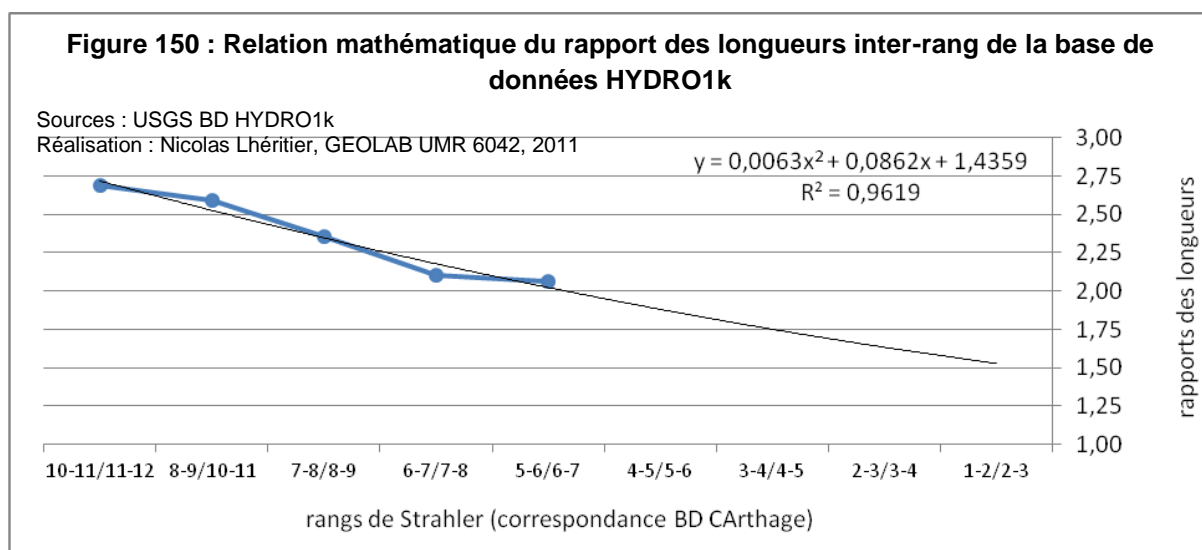
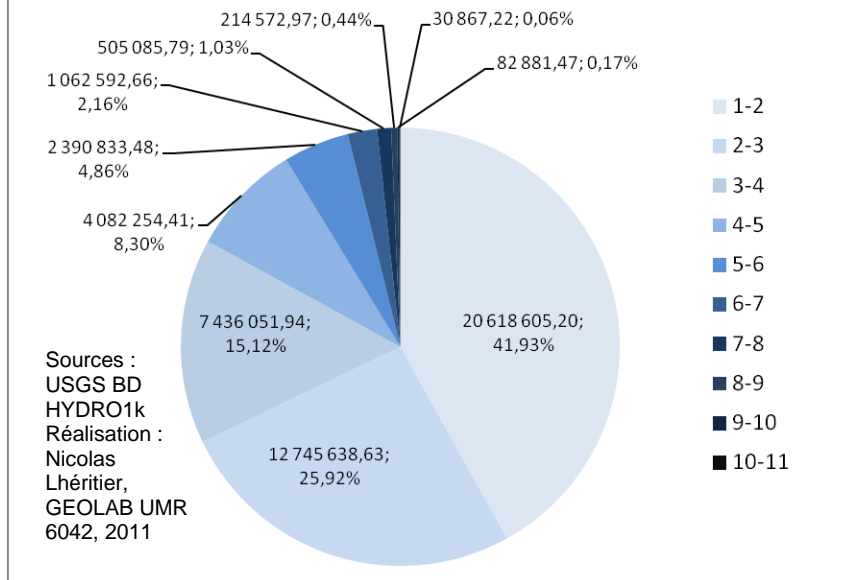


Tableau 33 : Équivalence entre les ordinations de la BD Carthage et de la BD HYDRO1k, rapports des longueurs entre les rangs de la BD HYDRO1k extrapolés selon la relation polynomiale

Valeur du rang de la BD HYDRO1k	Valeur de rang de la BD Carthage	Rapports des longueurs
	1-2/3-4	1,52
	2-3/3-4	1,61
	3-4/4-5	1,69
	4-5/5-6	1,78
1/2	5-6/6-7	2,05
2/3	6-7/7-8	2,1
3/4	7-8/8-9	2,35
4/5	8-9/9-10	2,58
5/6	9-10/11	2,68

En extrapolant ces rapports selon cette loi hydrographique au delà des rangs 1 (rangs 6 à 5 en réalité), et en remontant vers les sources, nous pouvons estimer que les linéaires mondiaux de rangs 4-5 représenteraient environ 4 082 254 Km. Les rangs 4-3 parcourraient 7 436 051 Km, les rangs 3-2, 12 745 638 et les rangs 2-1, 20 618 605 de Km. Les proportions des rangs 1, 2 et 3 correspondraient avec celles

Figure 151 : Linéaires approchés de l'hydrosystème mondial en Kilomètres par rang de Strahler en extrapolant les rapports des longueurs



du réseau hydrographique français (85 %) puisque les rangs 1 à 3 représenteraient 83 % de l'hydrosystème mondial. Les rapports seraient alors fiables : de 1,78 pour les rapports 4-5/5-6 à 1,52 pour les rapports 1-2/2-3.

Cette diminution des rapports franchissant la limite de deux constatée en bibliographie entraîne certainement une sous-représentation linéaire des faibles rangs pour plusieurs raisons.

- Nous avons étalonné l'extrapolation par rapport à la BD Carthage où ne sont pas référencés certains rangs 1 créant ainsi un décalage dans l'ordination qui s'en suit et une erreur dès l'étalonnage.
- Lors de notre étalonnage, nous en déduisons que les rangs 1 de la BD HYDRO1k correspondent à des rangs 5 ou 6 selon la BD Carthage, mais il est constaté que le calage n'est pas exact. Un certain nombre de rangs 1 de la BD HYDRO1k débutent soit en cours de segment de rangs 5, soit en cours de segment de rang 6. Les rapports de longueurs sont donc inexacts et sous-estimés entre les rangs 6-7 et 5-6 (1 et 2 de la BD Hydro1k).
- Les rapports des longueurs, même s'ils suivent une logique hydrographique sont variables suivant les changements de rangs. Il sont plus forts pour les rangs 2/3 et 3/4 que pour les rangs 1/2 et 4/5 selon Le Fellic 1991.

Nous pourrions alors considérer qu'il faut nous en tenir aux rapports de longueur connus à ce jour ayant des moyennes comprises entre 2 et 2,5 pour estimer le linéaire réel de l'Hydrosystème et par conséquent des rangs 1, 2, 3 et 4 non cartographiés dans la base de données HYDRO1k. Nous choisissons alors d'appliquer une extrapolation sur la base d'un rapport de 2,25 pour remonter au delà

des rangs 1 de la BD HYDRO1k correspondant aux rangs 5-6 de la BD Carthage. En appliquant ce rapport des longueurs aux changements 5-6/6-7, cela permet également une évaluation des linéaires de rangs 5-6 jugés comme sous-estimés.

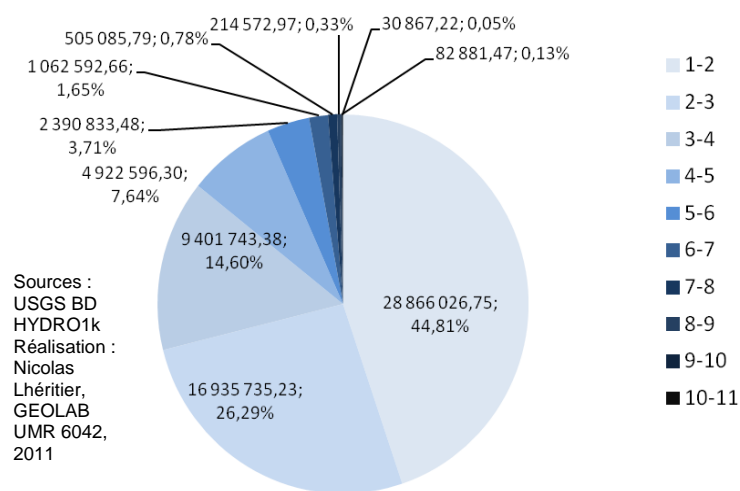
Tableau 34 : Équivalence entre les ordinations de la BD Carthage et de la BD HYDRO1k, rapports des longueurs fixes entre les rangs de la BD HYDRO1k

Valeur du rang de la BD HYDRO1k	Valeur de rang de la BD Carthage	Rapports des longueurs
	1-2/3-4	2,25
	2-3/3-4	2,25
	3-4/4-5	2,25
	4-5/5-6	2,25
1/2	5-6/6-7	2,25
2/3	6-7/7-8	2,1
3/4	7-8/8-9	2,35
4/5	8-9/9-10	2,58
5/6	9-10/11	2,68

Le rapport des longueurs moyen est dès lors de 2,33 très proche de la moyenne de Horton : 2,32. Les résultats nous donnent alors des résultats sensiblement différents.

Avec ces deux méthodes d'évaluation, nous estimons que le linéaire de l'hydrosystème mondial est compris entre 49 371 104 et 64 412 935 Km. Celui-ci serait

Figure 152 : Linéaires approchés de l'hydrosystème mondial en Kilomètres par rang de Strahler en extrapolant un rapport des longueurs fixe à partir des rangs 5-6 jusqu'aux rangs 1-2



composé majoritairement par des cours d'eau de rangs 1 à 3 : de 83 à 86%. Ce travail reste une évaluation soumise à de nombreuses causes d'erreurs et inexactitudes, il nous faut garder à l'esprit que cette projection concerne un linéaire potentiel d'écoulement. En effet, il s'agit plus d'une projection du linéaire de talweg que d'un linéaire réel de cours d'eau, car les données sont extraites à partir d'un MNT. La projection considère que la structure des réseaux hydrographiques est la même en France métropolitaine que partout dans le monde. C'est bien la loi des nombres d'Horton et Strahler qui nous a encouragé à la faire.

1.1.3. Ordination d'une Base de Données hydrographique locale construite à partir d'un MNT 50 mètres et évaluation des carences de la BD Carthage : Exemple d'un territoire du bassin amont de la Vienne : le Pays Monts et Barrages

De la même manière que l'USGS a pu le faire par extraction des talwegs à partir d'un MNT, nous avons réalisé ce travail sur le territoire du Pays Monts et Barrages. Le résultat est la constitution d'une base de données hydrographique vérifiée sur le terrain.

Nous avons donc pu estimer que le linéaire de cours d'eau du Pays Monts et Barrages qui mesure d'après les cartes IGN 850 Km en mesure plus de 1200 en réalité. Cette carence cartographique d'environ 30 % est du même ordre de grandeur que celle estimée par Freeman en Géorgie. Lambert. R 1996 montrait que la méthode de cartographie de l'hydrographie de l'IGN est empirique et sans théorie hydrographique, il en résulte des aberrations, des tracés variant au passage de cartes contiguës. Il illustre ce phénomène avec le bassin du Vioulou. Dans le territoire du Pays Monts et barrages, les carences cartographiques touchent aussi bien des tronçons forestiers que des tronçons prairiaux à proximité des voies de communication.



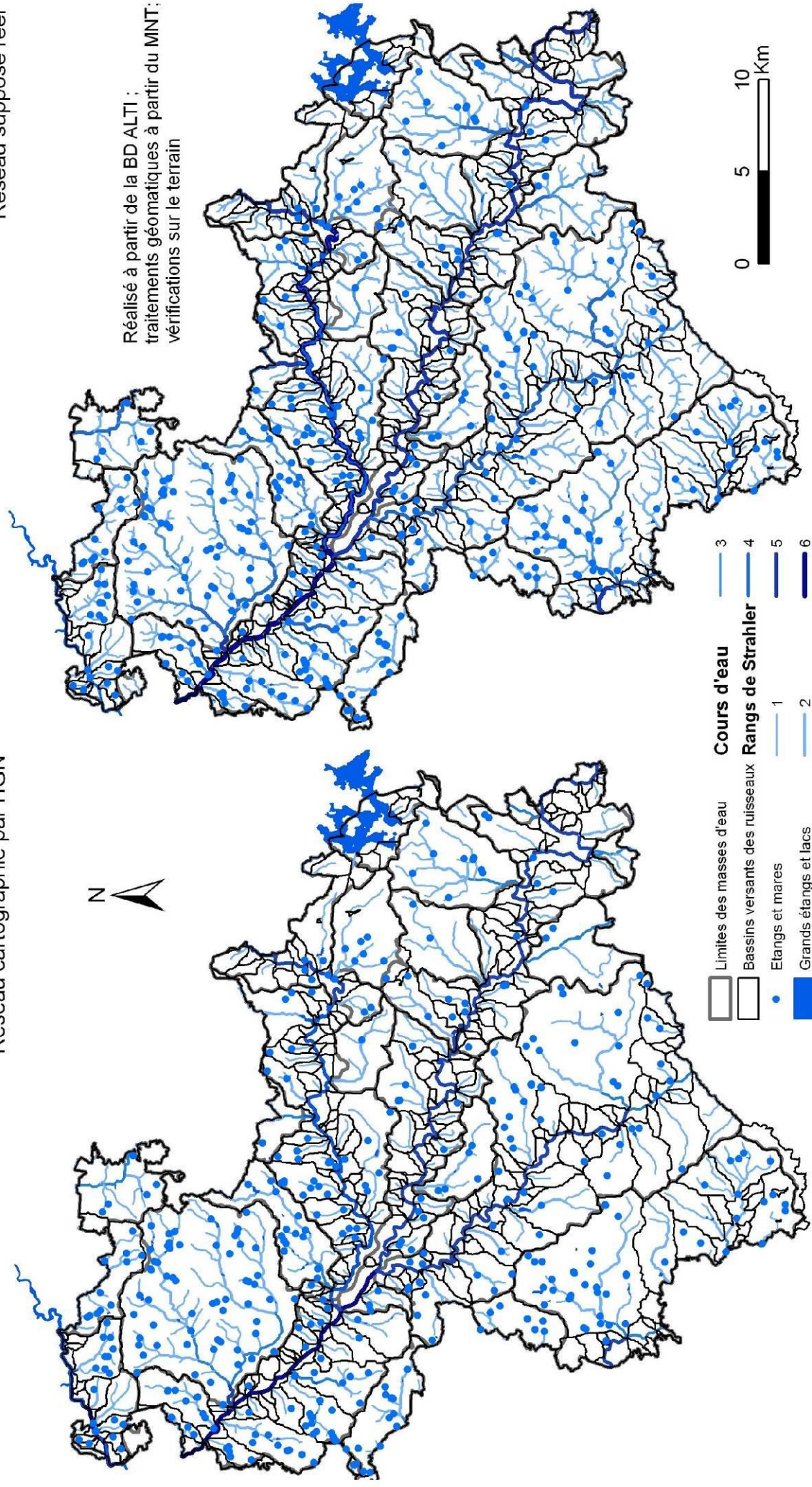
Figure 153 : Deux cours d'eau n'étant pas cartographiés par l'IGN et ayant servi de validation de la base de données du Syndicat mixte Monts et Barrages

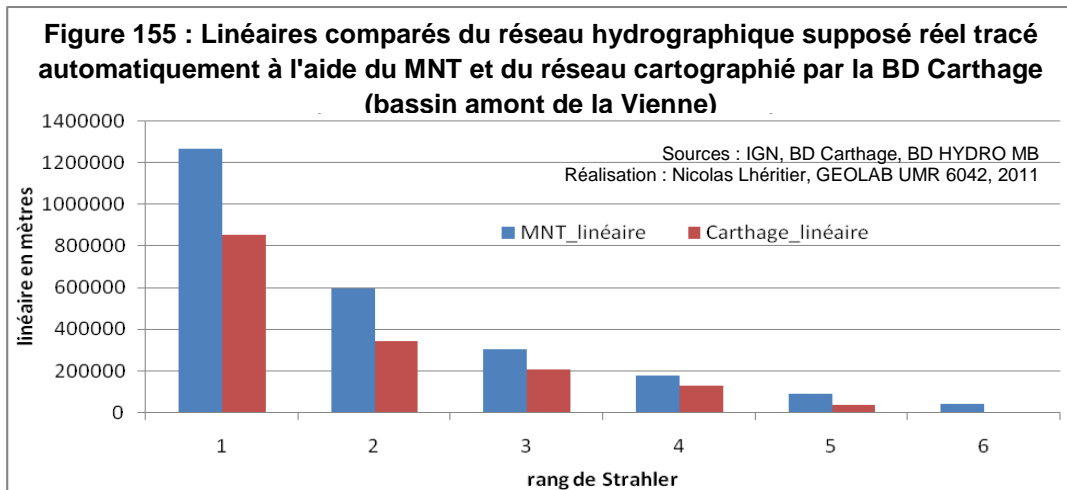
Les deux cartes qui suivent permettent de comparer les cours d'eau cartographiés sur la BD Carthage et les cours d'eau cartographiés par extraction des talwegs à partir du MNT dans le territoire de Monts et Barrages.

Figure 154 : Le réseau hydrographique du Pays Monts et Barrages selon la BD Carthage et supposé réel

Réseau cartographié par l'IGN

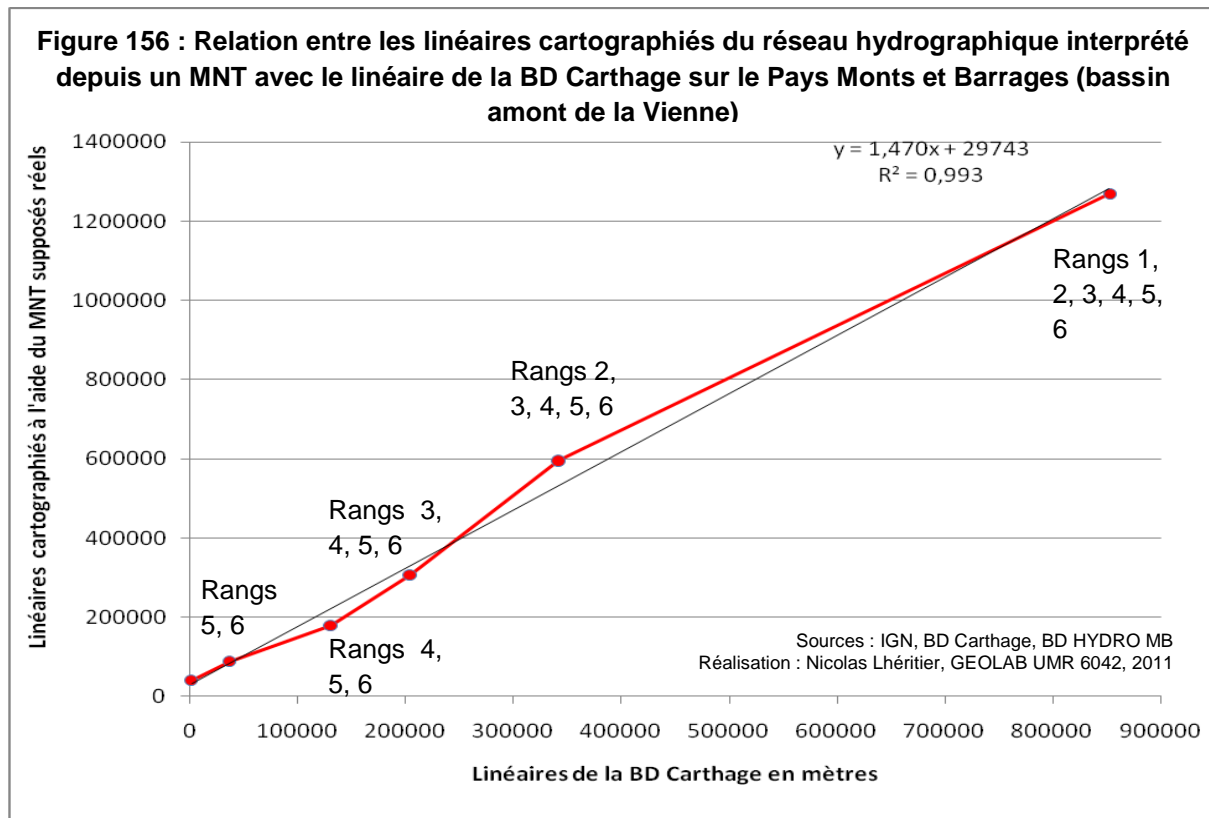
Réseau supposé réel





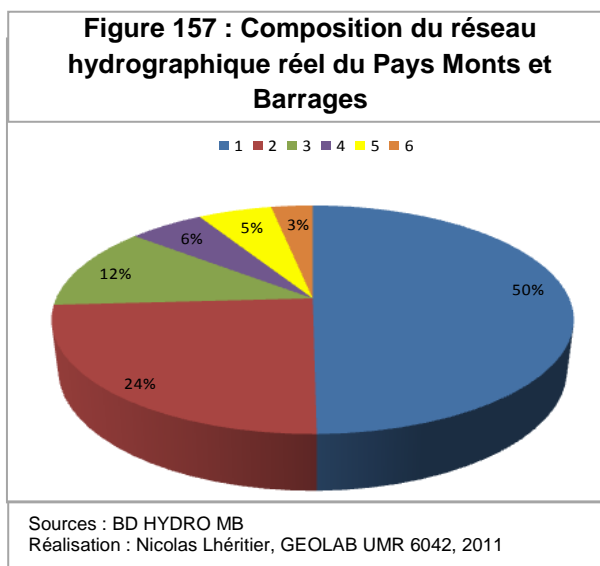
Ce sont essentiellement les tronçons élémentaires qui ne sont pas cartographiés. Le manque est de 56 % pour le nombre des tronçons de rang 1 et de 33 % pour le linéaire. Le décalage engendré par ces oublis cartographiques entraîne une sous-estimation en chaîne qui se solde par une omission totale des rangs 6 par la BD Carthage dans le territoire du Pays Monts et Barrages (bassin amont de la Vienne).

Le linéaire réel est égal à 1,47* le linéaire de la BD Carthage + 29 743 dans le territoire du Pays Monts et Barrages. Cette relation semble difficilement généralisable puisque la BD Carthage n'a pas de logique hydrographique et par conséquent encore moins de rapport logique entre ce qui y figure et la réalité. Les cours d'eau qui figurent sur cette carte sont des cours d'eau connus par observation uniquement.



Dans la réalité, le réseau hydrographique du Pays est estimé à 1200 Km auxquels il faut bien entendu enlever les linéaires lenticules des retenues hydroélectriques de la Maulde si on s'intéresse exclusivement aux eaux courantes.

Le réseau hydrographique est essentiellement constitué par les rangs 1 et 2 qui représentent à eux seuls 75 % du linéaire. Sur une surface totale de 860 Km², les bassins versants des rangs 1 et 2 occupent une surface de 670 Km², ce qui définit le territoire et plus généralement l'étendue du Programme « Source en action » précédemment évoqué comme étant une région de « tête de bassin » par excellence (à notre sens).



La densité de drainage moyenne du territoire est de 1,4, ce qui veut dire qu'un bassin versant de 1 km² est drainé par 1,4 Km de cours d'eau.

Sur ce territoire, il suffit de 2500 à 5000 m² d'impluvium pour former un écoulement de rang 1 qui a toutes les caractéristiques d'un cours d'eau. La superficie moyenne des bassins versants à l'exutoire des rangs 1 est de 0,6 Km². Un bassin versant de rang 1 mesure au maximum 2 Km². Le tableau suivant présente les surfaces des bassins versants en Km² à l'exutoire de chaque rang.

Tableau 35 : Surfaces des bassins versants de Monts et Barrages par rang de Strahler

Rangs	Surface minimale	Surface maximale	Surface moyenne	Effectifs
1	0,26	2,05	0,6	554
2	0,61	9,37	3,06	64
3	3,81	19,04	9,56	19
4	8,77	78,56	34,46	6

1.2. Cartographie des zones à petits cours d'eau et des régions de « têtes de bassin »

1.2.1. Densités de drainage et proportions linéaires des petits cours d'eau par zone hydrographique de la BD Carthage

Nous avons réalisé différents traitements géomatiques entre le réseau hydrographique ordonné et les zones hydrographiques de la BD Carthage. Il faut cependant garder à l'esprit que les écoulements cartographiés par l'IGN ne sont pas tous des cours d'eau d'origine naturelle. En effet, les canaux de drainage peuvent également être cartographiés. En revanche, de nombreux rangs 1 sont oubliés. Ainsi si on réalise un calcul de la densité de drainage des rangs 1 à 3, on s'aperçoit logiquement que les régions où la densité de petits cours d'eau est la plus forte correspondent aux massifs jeunes et anciens. Ressortent également des régions où la densité de cours d'eau est due à l'homme comme les Landes.

Certains bassins versants ont des densités de drainage de petits cours d'eau très fortes à l'amont puis traversent une zone où la densité est faible pour enfin avoir beaucoup d'affluents d'ordre 1 et 2 à proximité de leur exutoire. C'est le cas du bassin versant de la Dordogne, de la Vienne. Les bassins de la Saône ou de la Sarthe ont des zones denses en rangs 1 et 2 sur leur aval. Les bassins de l'Adour, de la Garonne (Dordogne exclue) ont une densité quasi constante de petits cours d'eau de l'amont vers l'aval, c'est également le cas des cours d'eau des Alpes du sud. Si nous devons considérer la densité de drainage des petits cours d'eau pour définir une région comme étant de « tête de bassin », cette région hydrographique ne se trouverait pas forcément à l'amont des bassins versants. Pourtant, les rivières et fleuves principaux sont obligatoirement influencés par la traversée de ces zones denses en ruisseaux.

Une deuxième analyse a considéré la proportion des petits cours d'eau par rapport au linéaire total du réseau hydrographique. À l'intérieur d'une même zone hydrographique (bassin versant ou zone hydrographique de la BD Carthage) les rangs 1 et 2 vont occuper un linéaire supérieur ou inférieur à ceux des grands cours d'eau. Si la proportion linéaire de ces rangs 1 et 2 est supérieure à celle des grands cours d'eau, alors la zone hydrographique pourrait être définie comme une région de tête de bassin.

Là encore, ces régions n'apparaissent pas clairement en amont des bassins versants. On remarque que les plus fortes proportions de petits cours d'eau ne sont pas uniquement situées en amont des bassins versants, et que la notion de tête de bassin perd de son sens si on la considère comme une zone où les petits cours d'eau composent la majorité de l'hydrosystème. La zone où les petits cours d'eau sont les plus nombreux n'est donc pas nécessairement à l'opposé de l'exutoire ou de la confluence du drain principal du bassin versant avec un cours d'eau d'ordre supérieur. En se

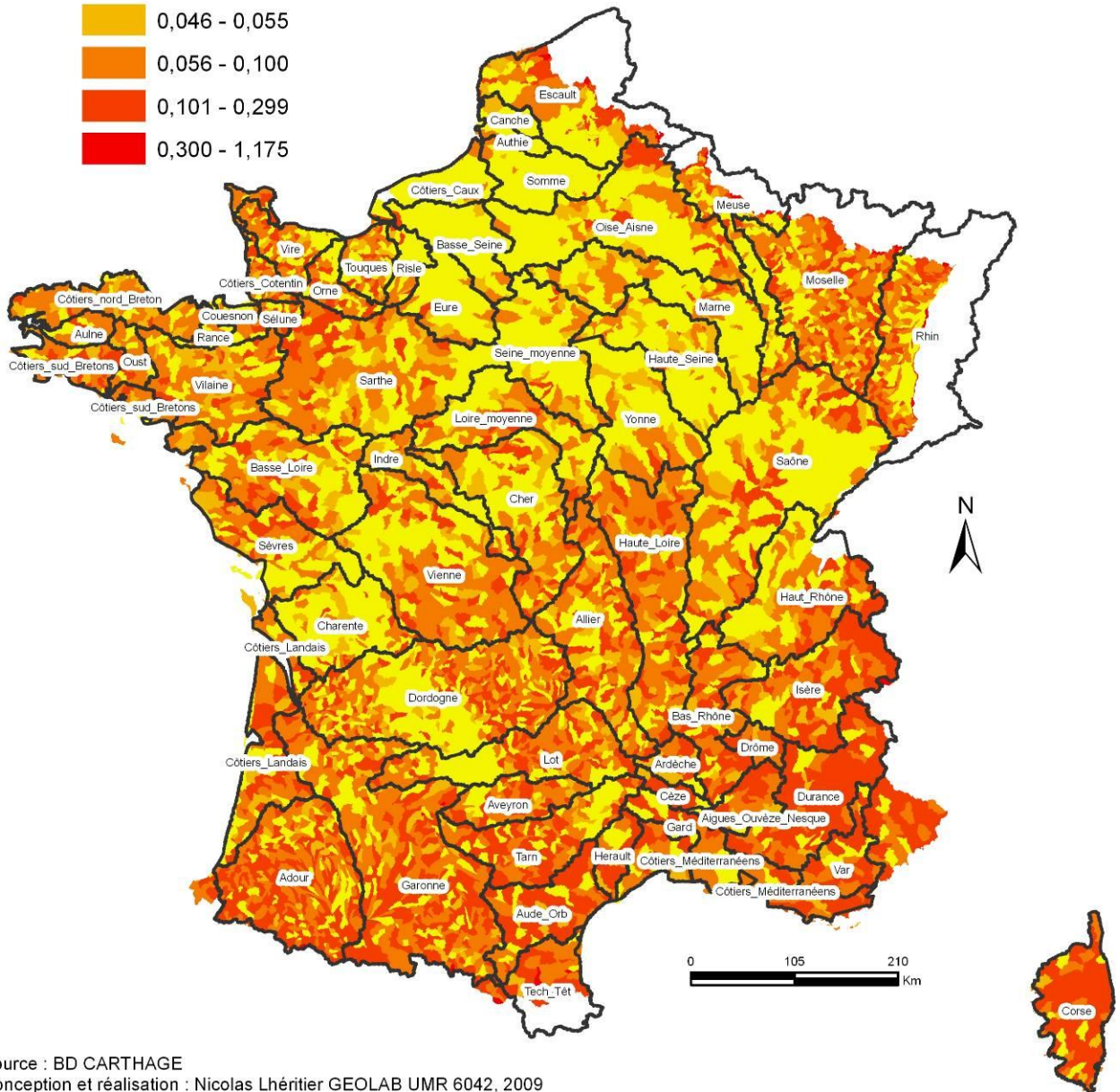
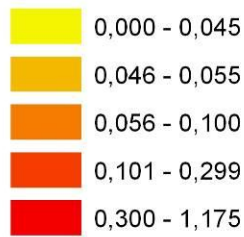
référant à la cartographie de la BD Carthage ordonnée, on s'aperçoit que le réseau des cours d'eau de rang 1 à 3 est très dense hormis dans les grands bassins sédimentaires.

Ce que l'on remarque avec ces deux cartes, c'est que quasiment partout en France, les linéaires des cours d'eau de rang 1 et 2, représentent également plus de 50 % du linéaire total des zones hydrographiques, d'autre part, les densités de drainage de ces rangs font davantage ressortir certaines régions.

Figure 158 : Carte des densités de drainage des tronçons de rangs 1 et 2 dans les zones hydrographiques de la BD Carthage

Zones hydrographiques (BD CARTHAGE)  Grands bassins français

Densité de drainage des rangs 1 et 2

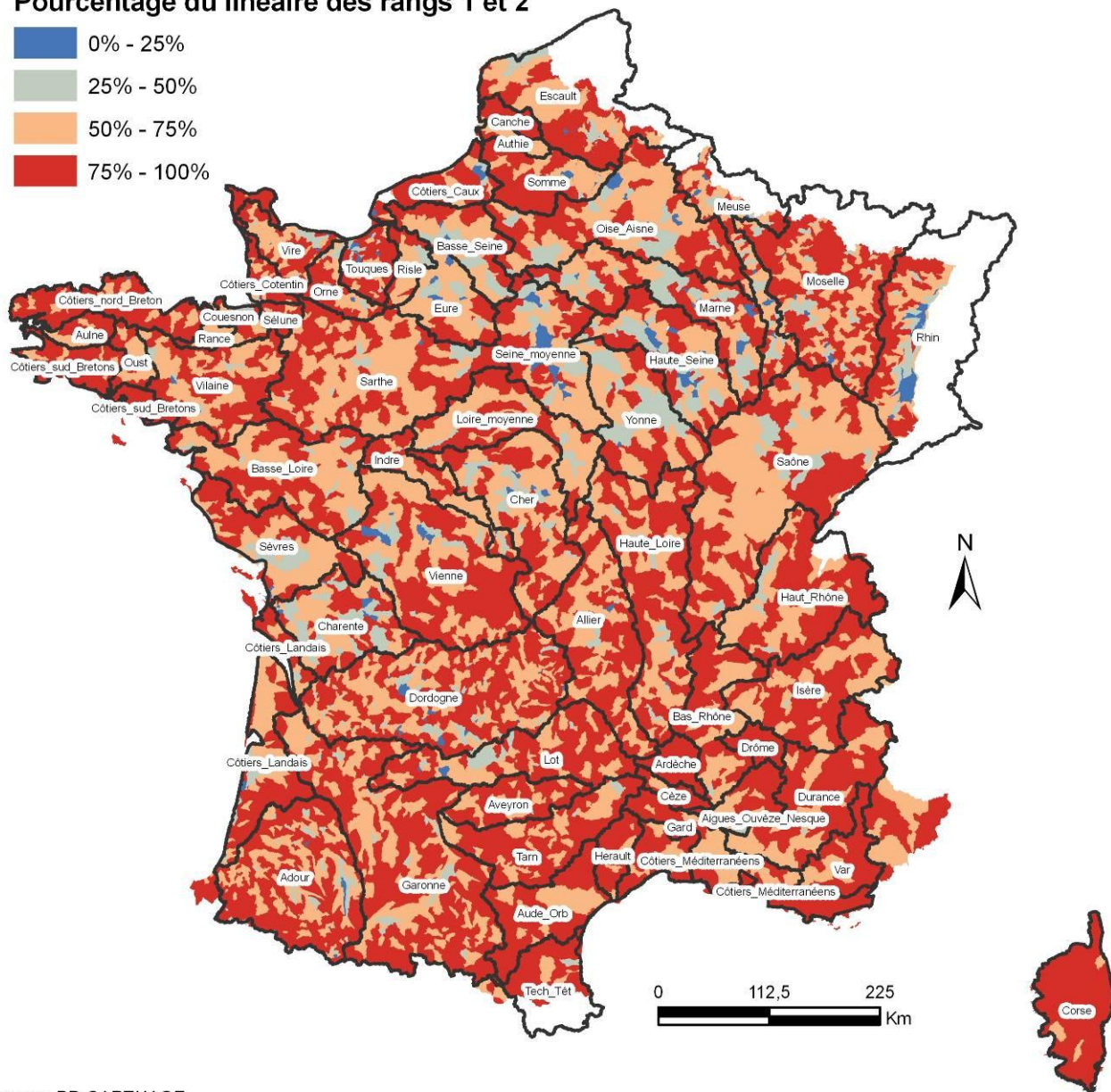
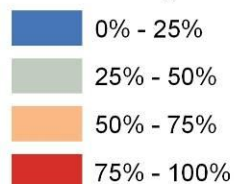


Source : BD CARTHAGE
 Conception et réalisation : Nicolas Lhéritier GEOLAB UMR 6042, 2009

Figure 159 : Carte de la part des linéaires des rangs 1 et 2 dans les zones hydrographiques de la BD Carthage

Zones hydrographiques (BD CARTHAGE)  Grands bassins français

Pourcentage du linéaire des rangs 1 et 2



Source : BD CARTHAGE

Conception et réalisation : Nicolas Lhéritier GEOLAB UMR 6042, 2009

1.2.2. Cartographie surfacique de la tête de bassin à partir du linéaire de ruisseaux de la BD Carthage

Si les régions de tête de bassins hydrographiques correspondent aux régions drainées par les rangs de Strahler 1 et 2, une cartographie par extrapolation doit permettre de définir des régions homogènes englobant majoritairement ces rangs.

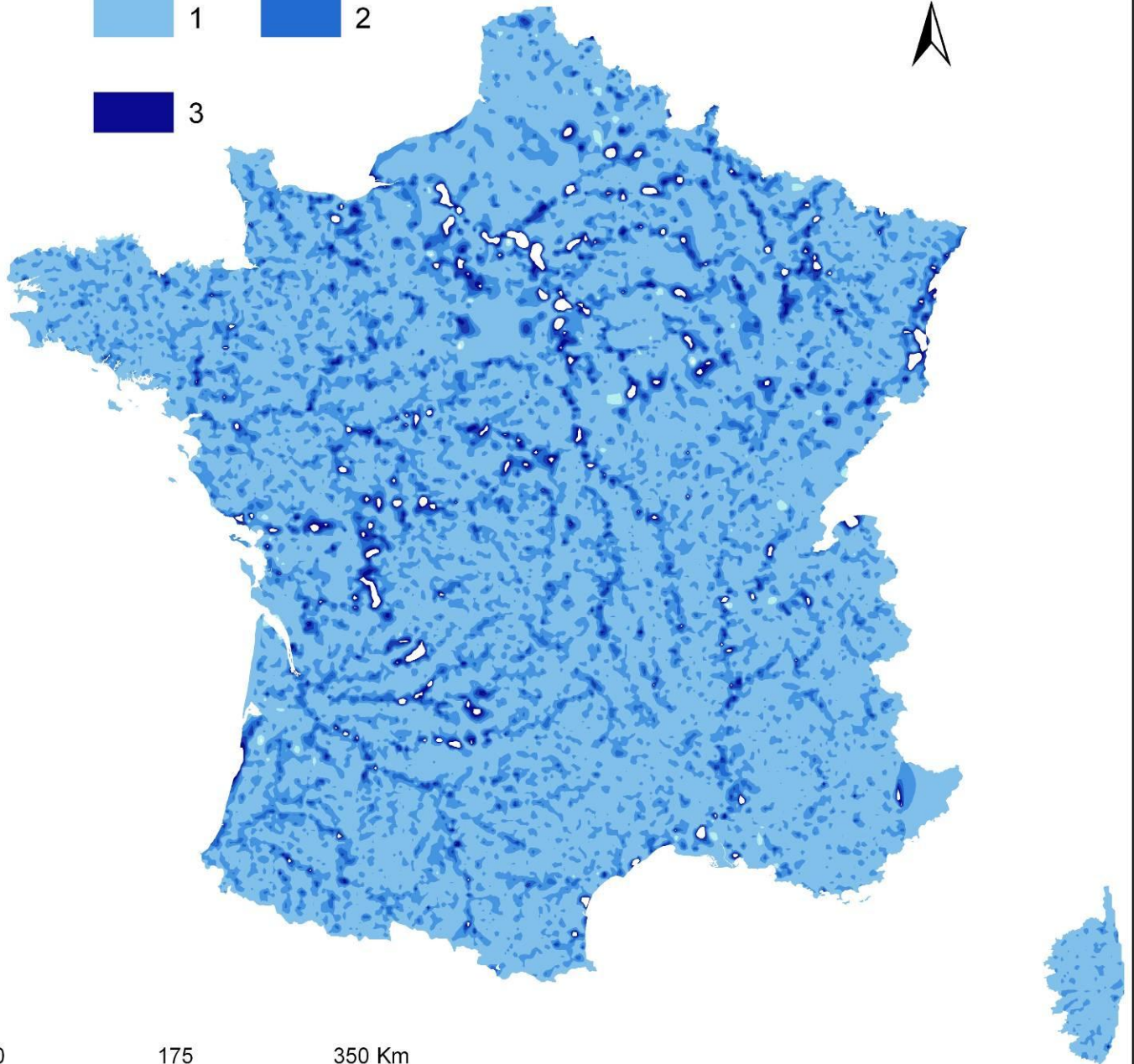
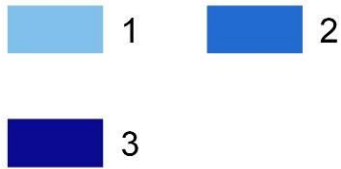
En extrapolant les centroïdes des tronçons de rangs 1, 2 et 3 à l'aide de l'outil vertical mapper sous MAP INFO, se dégagent des régions hydrographiques homogènes du point de vue de leur position par rapport au réseau hydrographique. Un regroupement cartographique des régions englobant les rangs 1, 2 et 3 recouvre quasiment l'intégralité du territoire national. On constate que la surface couverte par ces zones représente 542 840 Km² des 548 000 Km² de métropole et Corse, si on tient compte uniquement des zones de rangs 1 et 2, la surface est de 526 914 Km², et enfin en ne considérant que les zones englobant des rangs 1, cette surface est de 359 117 Km². Si nous devons considérer les bassins versants des rangs 1 et 2 comme étant la tête de bassin hydrographique, celle-ci représenterait 82 % du territoire de la métropole. En revanche, si on considère que l'oubli des rangs 1 dans la BD Carthage engendre un décalage et qu'un certain nombre de rangs 1 sont en réalité des rangs 2, alors il nous faut considérer que seule la zone des rangs 1 de la BD Carthage correspond à la définition cartographique de cette tête de bassin, dans ce cas, elle représenterait 56 % de la métropole.

La limite d'ordre que nous devons considérer pour définir la limite aval de ces zones reste donc difficile à définir. En effet, sans corrélation avec des phénomènes hydromorphologiques, biologiques et physicochimiques, il paraît difficile de définir une limite aval arbitraire.

On peut également se demander si la méthode d'ordination de Strahler est la plus appropriée pour cartographier les régions de petits cours d'eau. En effet, cette ordination a la particularité de faire évoluer les rangs assez « lentement », c'est-à-dire que le fait de changer de rang aux confluences de deux rangs égaux ne tient pas compte des changements pourtant réels « plus rapides » du gabarit du cours d'eau à chaque confluence.

Figure 160 : Carte des régions hydrographiques homogènes de France métropolitaine classées selon Strahler

Régions hydrographiques homogènes
Strahler



0 175 350 Km

Sources : BD Carthage
Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2011

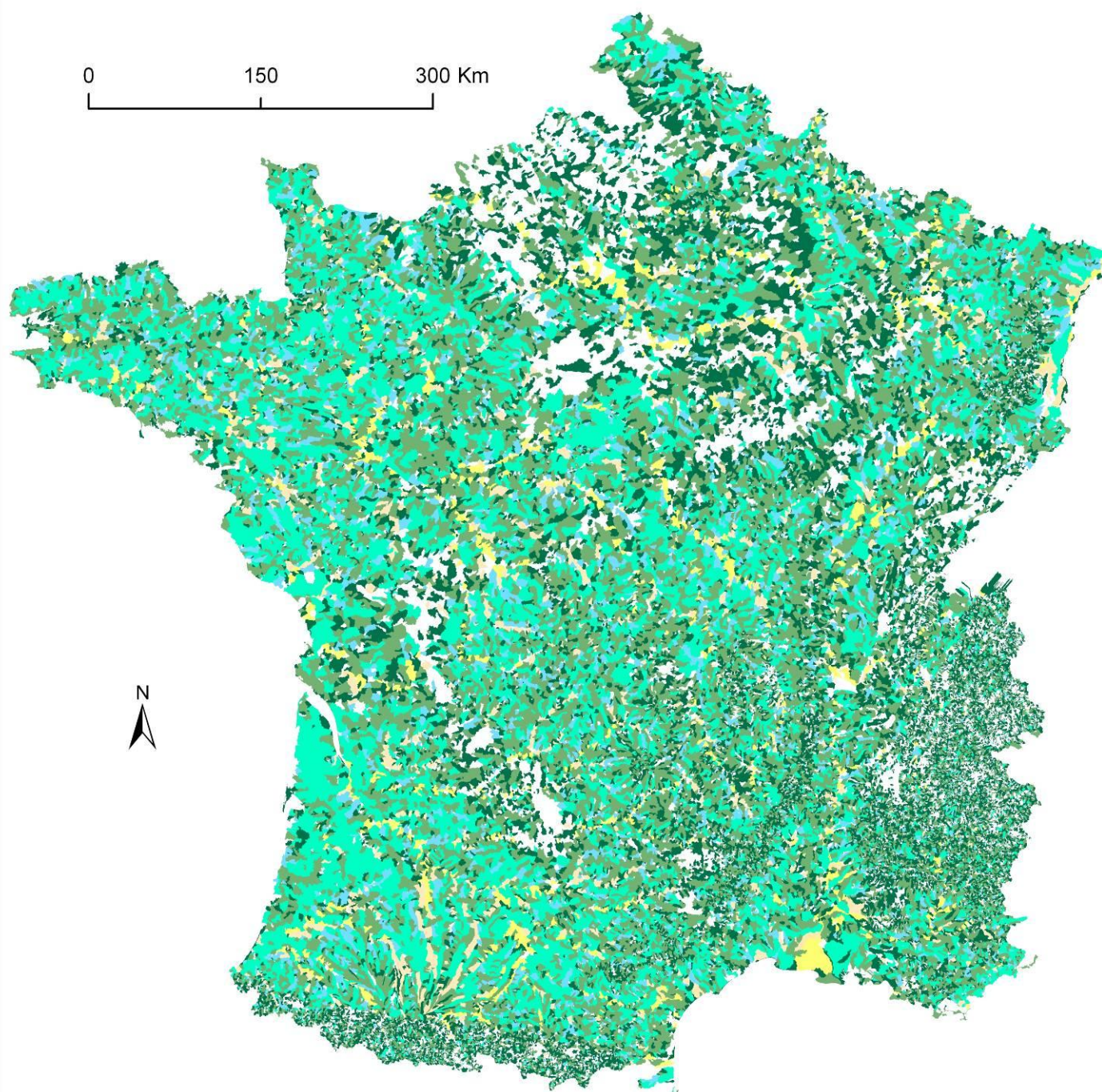
En considérant les ruisseaux comme étant des rangs 1, 2 et 3, et en les cartographiant par des isolignes de Strahler, on s'aperçoit qu'ils sont présents partout en France. Cependant, leur rôle régional n'est pas le même et les enjeux liés à ces petits cours d'eau sont différents en fonction de leur présence unique ou non. En croisant la BD Carthage ordonnée avec les zones hydrographiques de la base de données CCM2 du JRC, nous pouvons réaliser une cartographie des zones hydrographiques selon l'importance des petits cours d'eau. Certaines zones hydrographiques ne comprennent que des rangs 1 et 2, et seront de ce fait totalement dépendantes des petits cours d'eau vis-à-vis de la ressource en eau, leur fonctionnement écologique est typique de la tête de bassin au sens des agences de l'eau. En l'extrême, certaines zones hydrographiques abritent à la fois des rangs 1 et 2 mais aussi des rangs 8. Les petits cours d'eau ne constituent alors pas la seule ressource en eau, et ont une écologie influencée par le grand cours d'eau. Nous avons réalisé un travail de sélection des zones hydrographiques qui contiennent des rangs 1 et 2, et nous avons par la suite recherché dans ces zones si des cours d'eau de rang supérieur s'y trouvent. Il en résulte le classement et la carte suivants. Nous avons tenu compte du décalage de l'ordination dû à la non-représentation de certains rangs 1 dans la BD Carthage, c'est pour cela que dès le rang 3, nous parlons de petites rivières.

Tableau 36 : Hiérarchisation des têtes de bassins vis à vis de l'enjeu ressource en eau et hydromorphologique







Type de zone	Interprétation hydrographique	Enjeux des ruisseaux vis-à-vis de la ressource en eau	Fonctionnement écologique des ruisseaux	Influence hydromorphologique	Surface en Km ²
Zones abritant exclusivement des rangs 1 et 2	Bassins versants des ruisseaux (tête de bassin)	Unique ressource en eau	Zone à truite	Typique	97 489
Zones abritant des rangs 1 et 2	Zones où confluent les ruisseaux entre eux (tête de bassin)	Unique ressource en eau	Zone à truite	Typique	158 059
Zones abritant des rangs 1, 2 et 3	Zones où les ruisseaux confluent avec de petites rivières (tête de bassin)	Enjeu majeur	Zone à truite	Très forte	138 297
Zones abritant des rangs 1, 2 et 4	Zones où les ruisseaux confluent avec des rivières moyennes (tête de bassin)	Enjeu fort	Ecotone zone à truite/zone à ombre	Forte	31 772
Zones abritant des rangs 1, 2 et 5	Zones où les ruisseaux confluent avec des grandes rivières	Enjeu moyen	Enclave de la zone à truite dans la zone à barbeau	Moyenne	17 671
Zones abritant des rangs 1, 2 et supérieurs ou égaux à 6	Zones où les ruisseaux confluent avec des grandes rivières et des fleuves	Enjeu faible	Enclave de zone à truite dans la zone à Brême	Faible	14 479
TOTAL	Zones hydrographiques influencées par les ruisseaux				457 770

La tête de bassin au sens des agences de l'eau (bassins des rangs 1 et 2) et en retirant l'aspect de pente (pente supérieure à 1 %) nous semblant injustifié représente alors 255 548 Km². Dans cette zone les ruisseaux et sources sont la seule ressource en eau. Ces régions influencent fortement une zone de 138 297 Km². Au total, ce sont 393 845 Km² soit 72,5 % de la France métropolitaine que nous qualifions de tête de bassin de par leurs extrêmes dépendances vis-à-vis des petits cours d'eau. La France métropolitaine est un territoire de tête de bassin par excellence.

Figure 161 : Carte des systèmes ruisseaux et tributaires de France métropolitaine, ou hiérarchisation de la fonctionnalité des petits hydrosystèmes



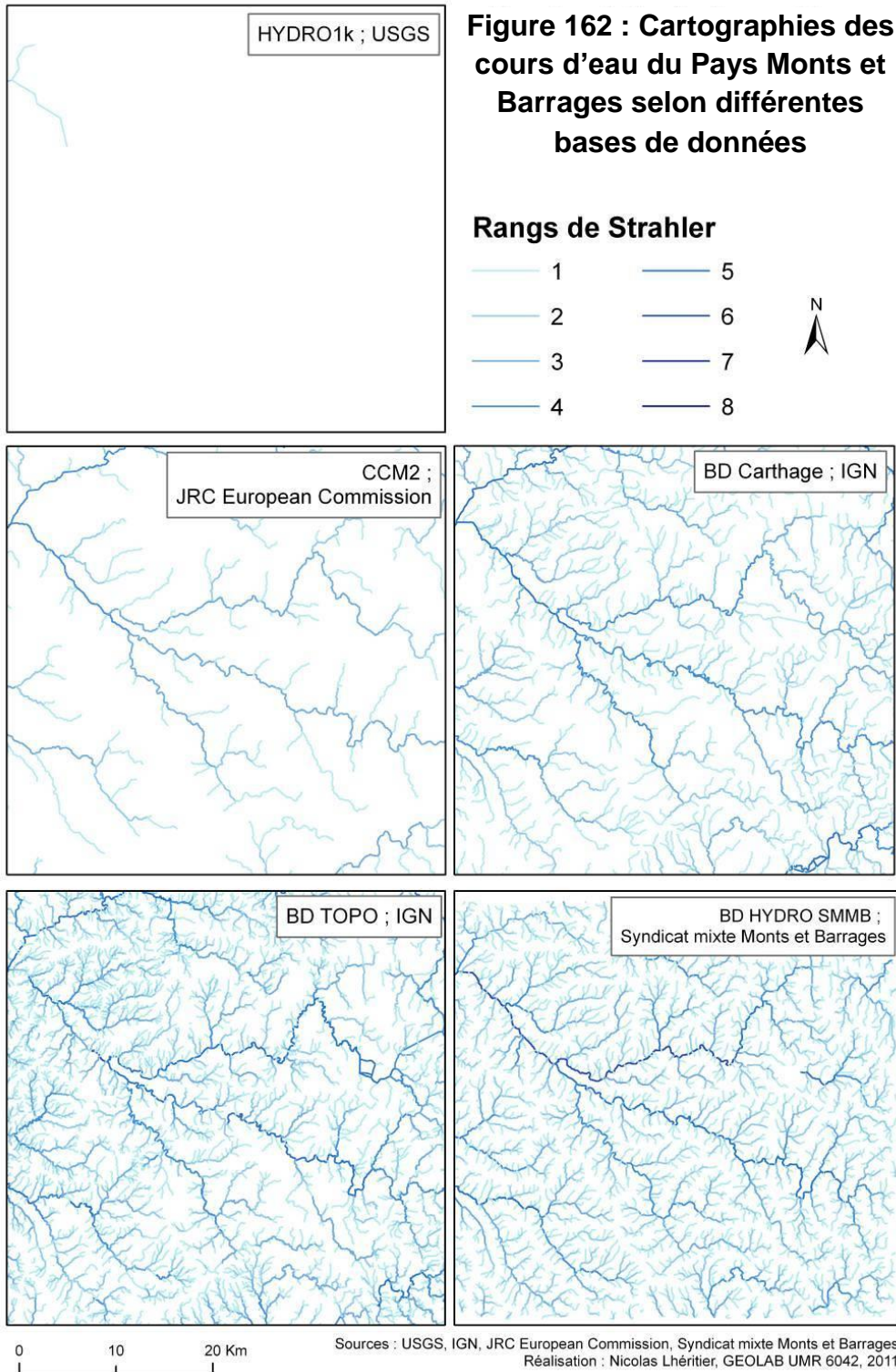
Rôle des ruisseaux par zone hydrographique

-  Bassins versants des ruisseaux (R1)
-  Zones hydrographiques où les ruisseaux confluent (R1 et 2)
-  Zones hydrographiques où les ruisseaux confluent avec de petites rivières (R3)
-  Zones hydrographiques où les ruisseaux confluent avec des rivières moyenne (R4)
-  Zones hydrographiques où les ruisseaux confluent avec de grandes rivières (R5)
-  Zones hydrographiques où les ruisseaux confluent avec de très grandes rivières et des fleuves (R6 à 8)

Sources : BD Carthage IGN, BD CCM2 JRC European Commission ; Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR6042, 2011

1.2.3. Discussion sur les méthodes de définition cartographiques de la tête de bassin

Selon les bases de données utilisées, la cartographie des cours d'eau est plus ou moins achevée, et représente inégalement les petits cours d'eau.



En fonction des bases de données utilisées, et surtout des échelles de construction de ces bases de données, les zones hydrographiques que nous ne pouvons jamais appeler bassins versants et les cours d'eau sont plus ou moins fidèlement représentés. Le fait de ne pas avoir de bassin versant au sens propre du terme est dû au fait qu'un algorithme ne peut pas délimiter seul un bassin versant supérieur à un rang 1 et un hydrosystème

fonctionnel. Il subsistera toujours des zones hydrographiques orphelines non délimitées par des interfluves. Il faut nécessairement définir manuellement un exutoire de l'hydrosystème pour que la cartographie d'un système ruisseau soit possible. L'outil Hydrotools le permet.

Le travail d'interprétation et de combinaison de zones hydrographiques liées à chaque tronçon (d'une confluence à une autre) ne peut donc se faire qu'à grande échelle, comme dans le Pays Monts et Barrages.

Figure 163 : Cartographies des zones hydrographiques et des cours d'eau du Pays Monts et Barrages selon différentes bases de données

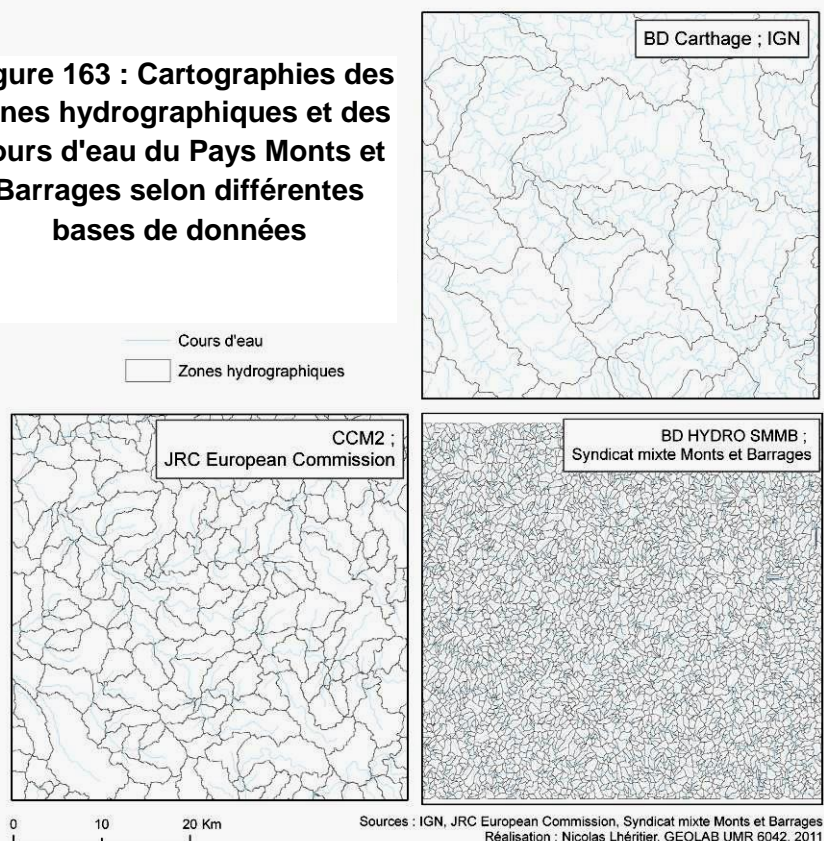
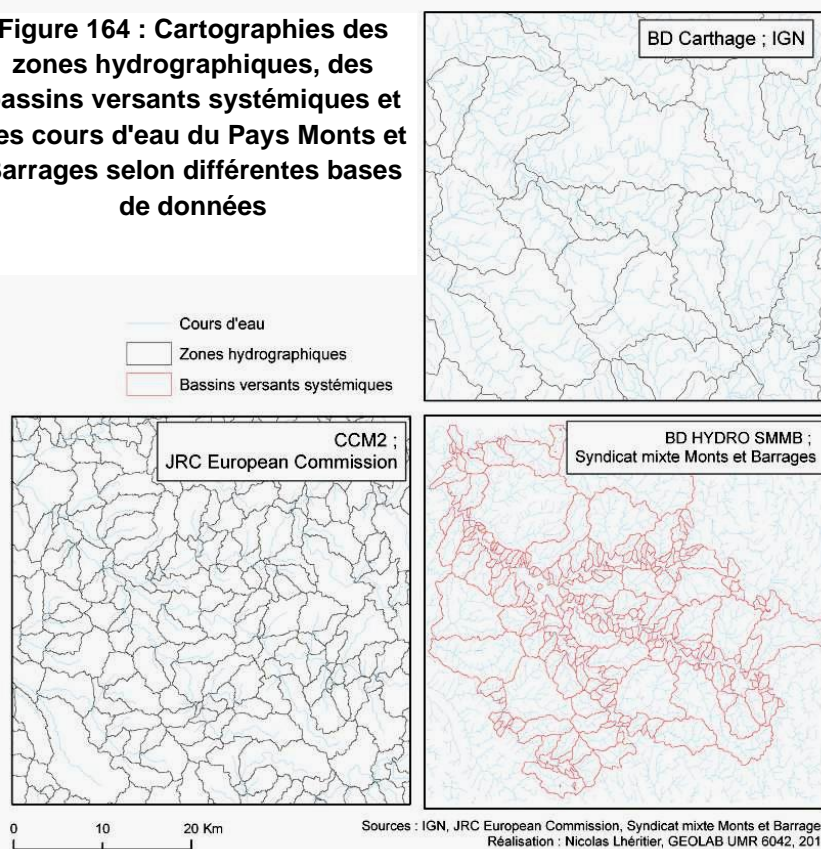


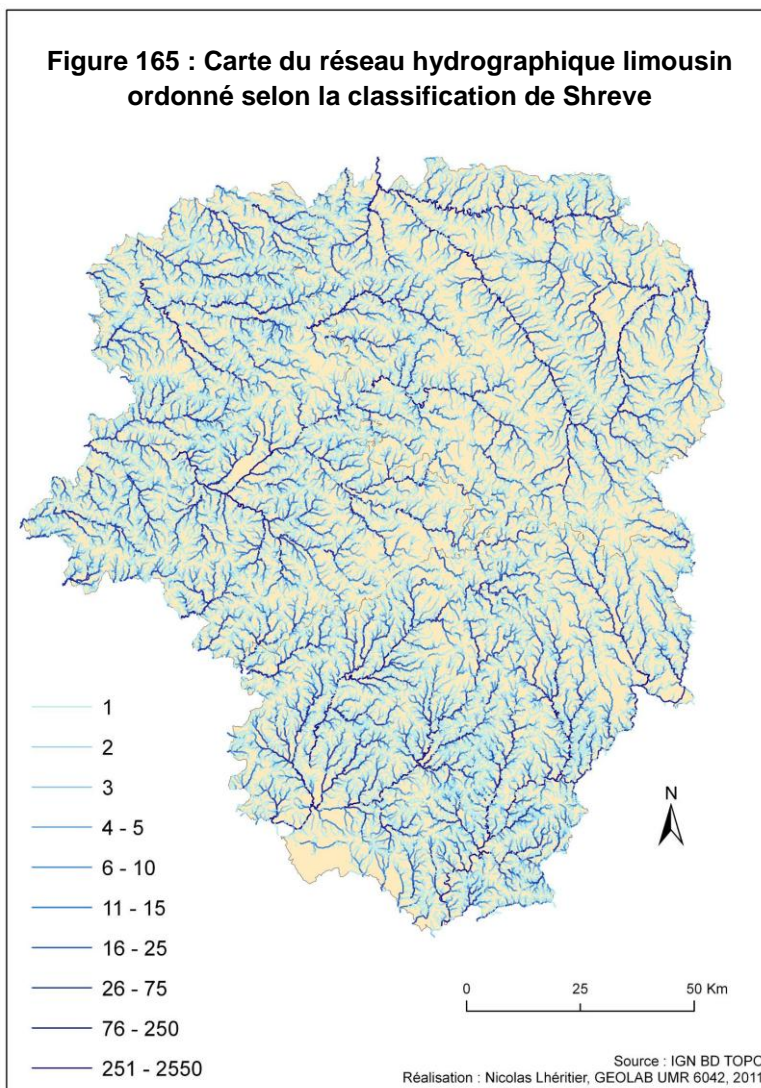
Figure 164 : Cartographies des zones hydrographiques, des bassins versants systémiques et des cours d'eau du Pays Monts et Barrages selon différentes bases de données



Taille des bassins versants de rang 1 selon les bases de données utilisées				
Bases de données	Taille moyenne en Km ²	Taille maximale en Km ²	Taille minimale en Km ²	Effectifs échantillonnés
BD Carthage	60,8	687,18	5,07	40
CCM2	4,35	212,90	0,01	22388
BD HYDRO Monts et Barrages	0,6	2,05	0,26	554

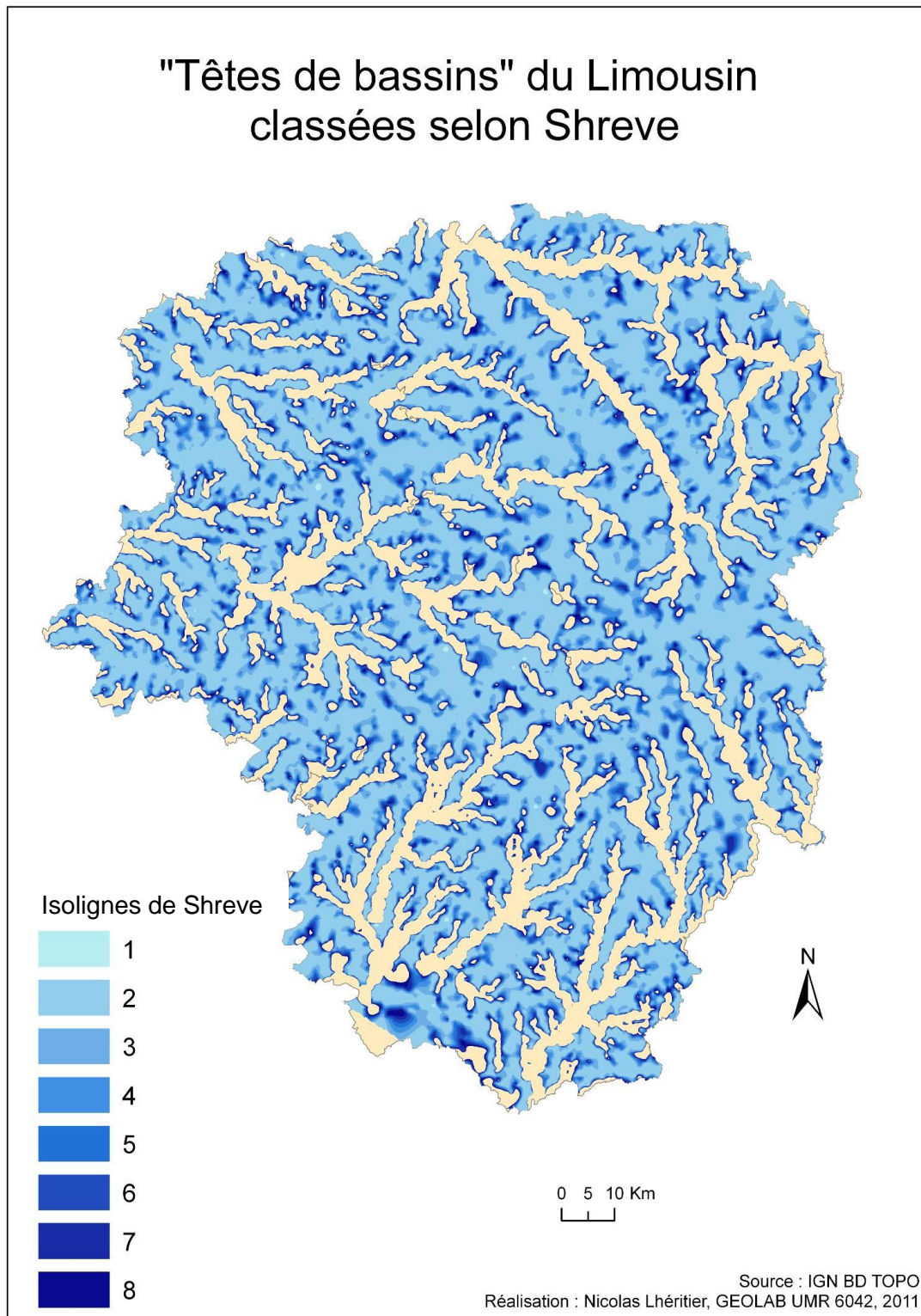
C'est pour ces raisons que pour cartographier les systèmes ruisseaux et tributaires, nous nous sommes servi de la BD des bassins versants CCM2, qui sont des BV de rang 1 et en réalité englobant chaque tronçon soit entre source et première confluence, soit entre deux confluences. Cette base de données s'avère donc être plus logique que les zones hydrographiques de la BD Carthage.

La méthode d'ordination de Strahler est tellement bien établie dans les études hydrographiques qu'il ne nous a pas été permis de rencontrer en bibliographie une quelconque tentative de délimitation des têtes de bassins via d'autre ordination. Or en utilisant une base de données plus précise comme la BD TOPO et le classement de Shreve, il est plus aisé d'isoler les régions englobant strictement des petits cours d'eau. C'est ce que nous avons fait pour le Limousin. Une carte réalisée en extrapolant les centroïdes des tronçons de cours d'eau des rangs 1 à 8 permet de bien distinguer des zones hydrographiques situées hors des vallées principales. Cela revient à cartographier des zones hydrographiques homogènes plus finement, car chaque confluence fait évoluer l'ordre du cours d'eau, ceci se matérialisant dans la réalité par un changement du



gabarit, par une augmentation du débit, et des phénomènes de dilution de plus en plus complexes.

Nous avons essayé de réaliser ce travail, à des échelles plus petites, mais pour des raisons indéterminées, l'algorithme n'a jamais pu accomplir le travail.



Nous ne pouvons pas nous contenter d'un travail de sélection de zones hydrographiques pour représenter une tête de bassin au sens large et proche de la réalité, ni de l'analyse du travail effectué

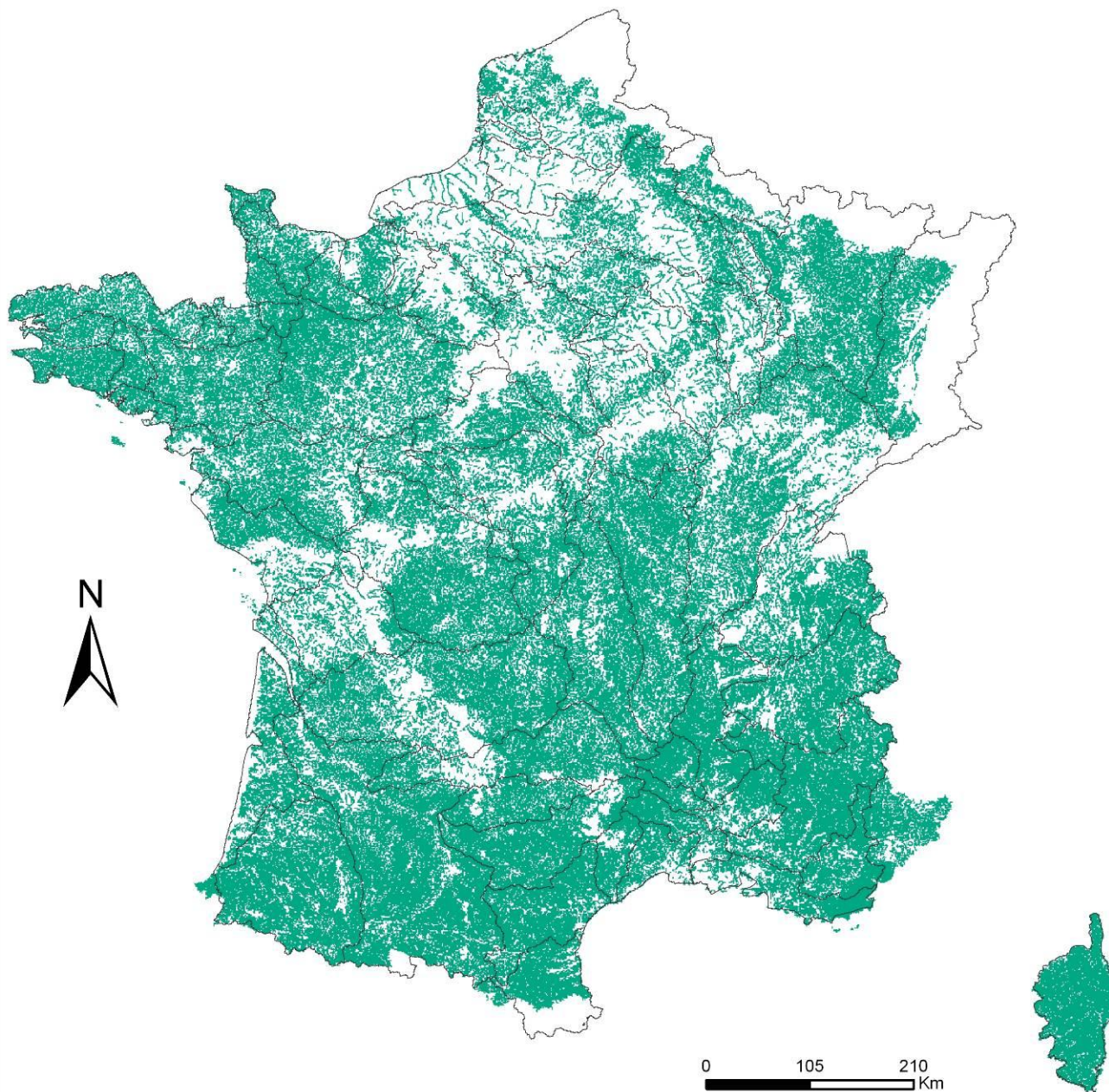
Les têtes de bassin de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins

à partir de la BD Carthage, car nous allons voir que les constats faits par les acteurs de terrain en première partie se vérifient et que les régions de têtes de bassin sont celles qui ont l'hydrographie la plus incomplète.

En ce qui concerne la BD Carthage, on s'aperçoit que la délimitation des zones hydrographiques n'a pas été réalisée à la même échelle, il existe donc des inégalités en fonction de la taille des zones hydrographiques. Le découpage est fin sur les bassins de l'Adour, de la Garonne et du Rhin, alors que les zones hydrographiques englobent beaucoup plus de bassins versants sur le bassin versant de la Loire, du Rhône. Un découpage fin va rendre compte plus en détail de la proportion de tronçons de ruisseaux, alors qu'un découpage plus large englobe plus de tronçons de grands cours d'eau ce qui conduit à une sous-estimation des densités de drainage des rangs 1 et 2. L'analyse de densité de drainage ne suffit donc pas à déterminer les limites des têtes de bassins françaises.

Il est donc nécessaire pour cartographier les régions de tête de bassin d'avoir un découpage au plus proche des bassins versants des rangs 1 et 2. Nous avons donc décidé de réaliser une grille de polygones de 1 Km par 1Km pour la suite des traitements géomatiques. Seuls les polygones qui comprennent ou intersectent des cours d'eau de rang 1 ou 2 sont conservés et considérés comme faisant potentiellement partie d'une région de tête de bassin, ce qui évite d'englober trop de tronçons de rivières ou de fleuves. Cela devrait nous permettre d'obtenir un découpage certes anguleux, mais se rapprochant de la zone couverte par les bassins versants des cours d'eau de rang 1 et 2. Ceci est primordial pour caractériser l'environnement des ruisseaux du point de vue de l'occupation du sol. En effet, dans certaines régions les grands fonds de vallées des fleuves n'ont pas la même occupation des sols que les petites vallées plus pentues.

Figure 167 : Carte des zones riveraines des rangs 1 et 2 de France métropolitaine (intersection de polygones de 1 Km par les rangs 1 et 2)

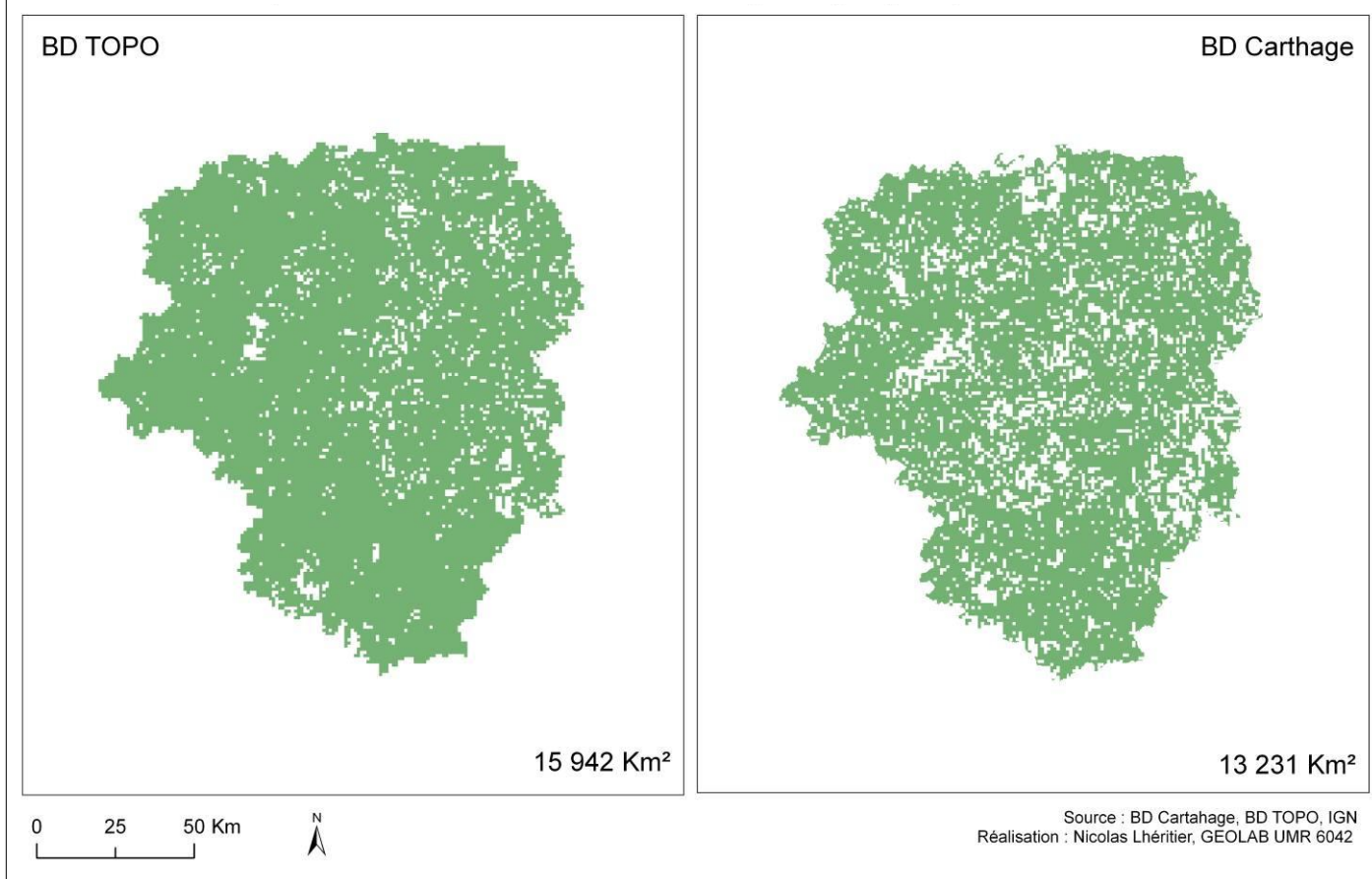


Grands bassins versants

Ploygones de 1 Km² intersectés ou comprenant des cours d'eau de rang 1 ou 2

Sources : BD CARTHAGE 2008, USGS
Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2008

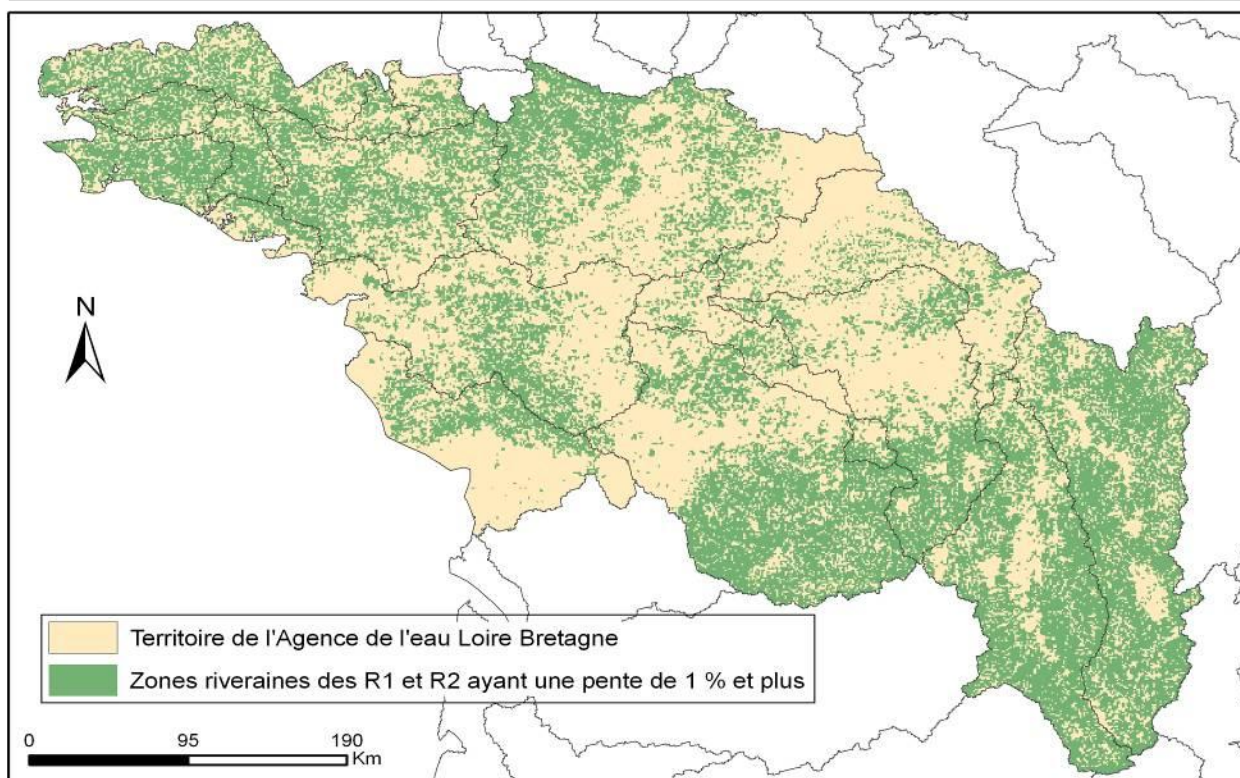
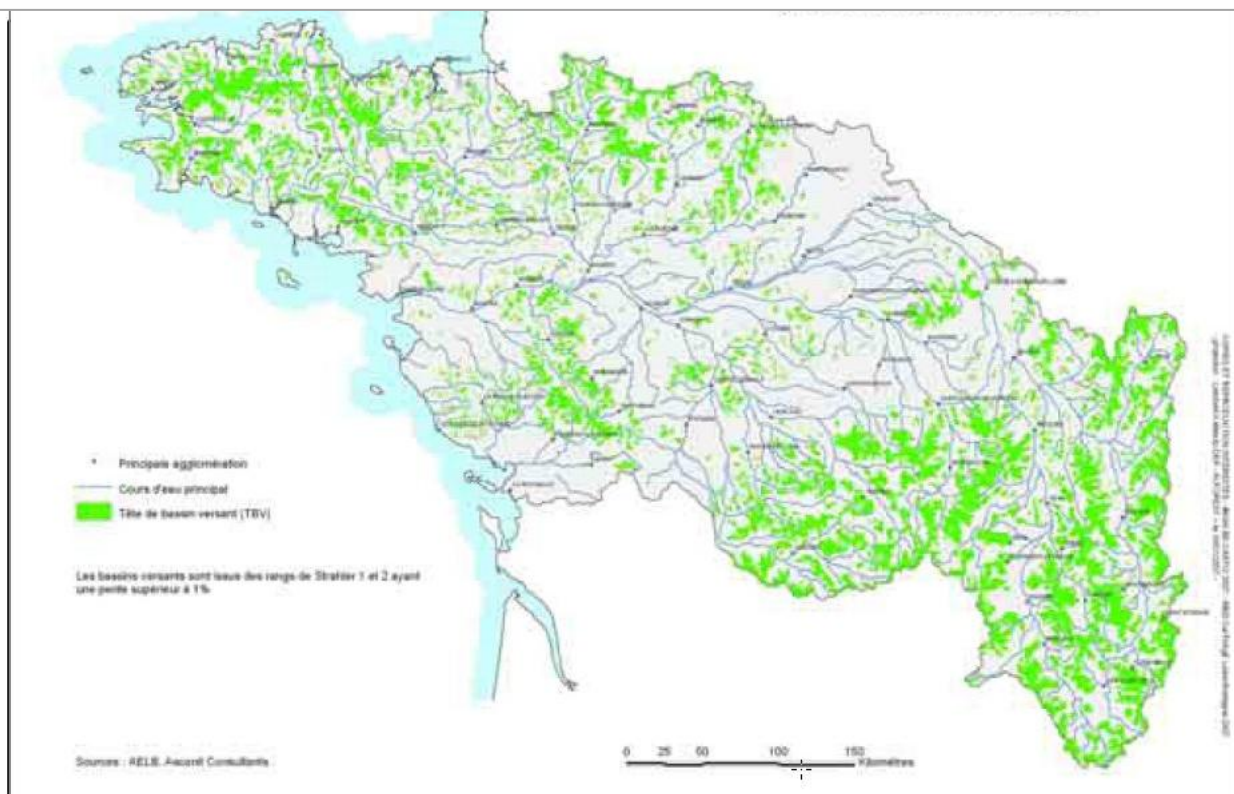
Figure 168 : Cartographie des espaces riverains des rangs 1 et 2 limousins avec 2 bases de données de l'IGN



Même avec cette méthode, il est certain que la précision de l'information variable en fonction des bases de données n'induirait pas les mêmes résultats.

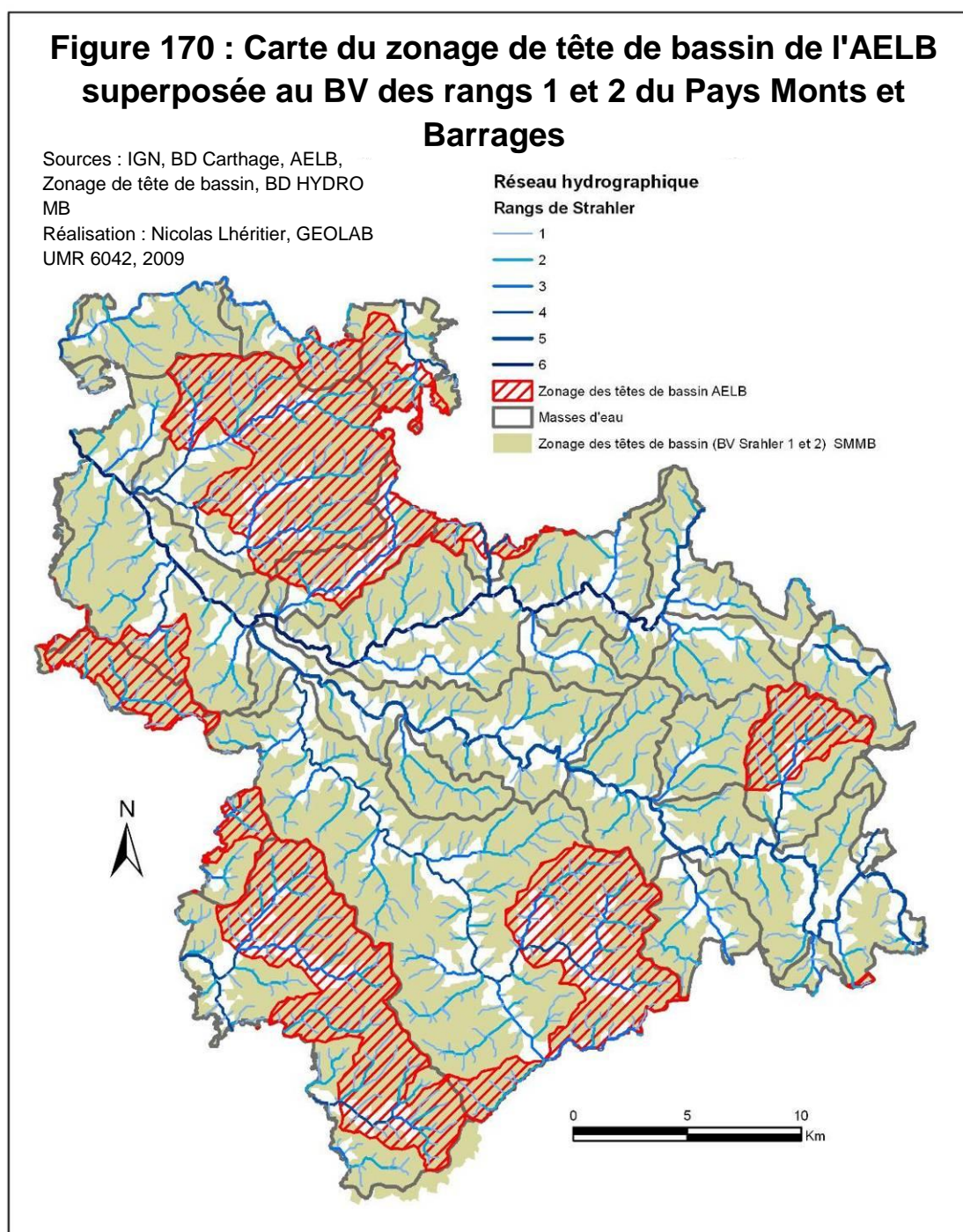
Toujours dans la discussion, nous pouvons également rappeler que les cours d'eau de tête de bassin pour qu'ils puissent influencer sur la fourniture sédimentaire des cours d'eau plus grands doivent avoir une certaine pente. Cette pente peut être variable d'un bassin à l'autre. Les cours d'eau de tête de bassins de l'Isère seront bien entendu plus pentus que ceux de l'Eure ou de la Somme. Fixer une limite de pente stricte pour définir les têtes de bassin à l'échelle nationale semble réducteur. La définition de l'AELB n'est peut-être valable que sur le bassin de la Loire et n'est pas applicable à tout le territoire français. Chaque bassin versant a une topographie différente. Il existe donc des régions de tête de bassin composées de torrents et d'autres composées de ruisseaux de plaine à faible énergie. La pente va avoir des incidences sur la puissance spécifique des cours d'eau, à la réversibilité des rectifications et recalibrages, et au potentiel de fourniture sédimentaire. Une régionalisation des régions de tête de bassin s'impose alors.

Figure 169 : Comparaison entre le zonage de tête de bassin de l'agence de l'eau Loire-Bretagne avec les zones riveraines des rangs 1 et 2 ayant une pente supérieure à 1%



Sources : BD CARTHAGE 2008, USGS, IGN BD ALTI 250, AELB; Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2008

Le zonage de tête de bassin est un exercice difficile et à géographie variable en fonction de l'échelle d'étude. Celui de l'agence de l'eau Loire-Bretagne se base sur la BD Carthage (référentiel national par défaut et sans logique hydrographique) et fait intervenir la pente, il constitue une référence en termes de taux de financement.



Les financements inhérents aux programmes de gestion de cours d'eau dépendent de ce zonage et du classement des masses d'eau par la DCE. De ce fait, les gestionnaires et élus locaux ont bien saisi cela « nous avons l'impression que le zonage de tête de bassin est à géographie variable » Valadas H. (président du Syndicat Mixte Monts et Barrages).

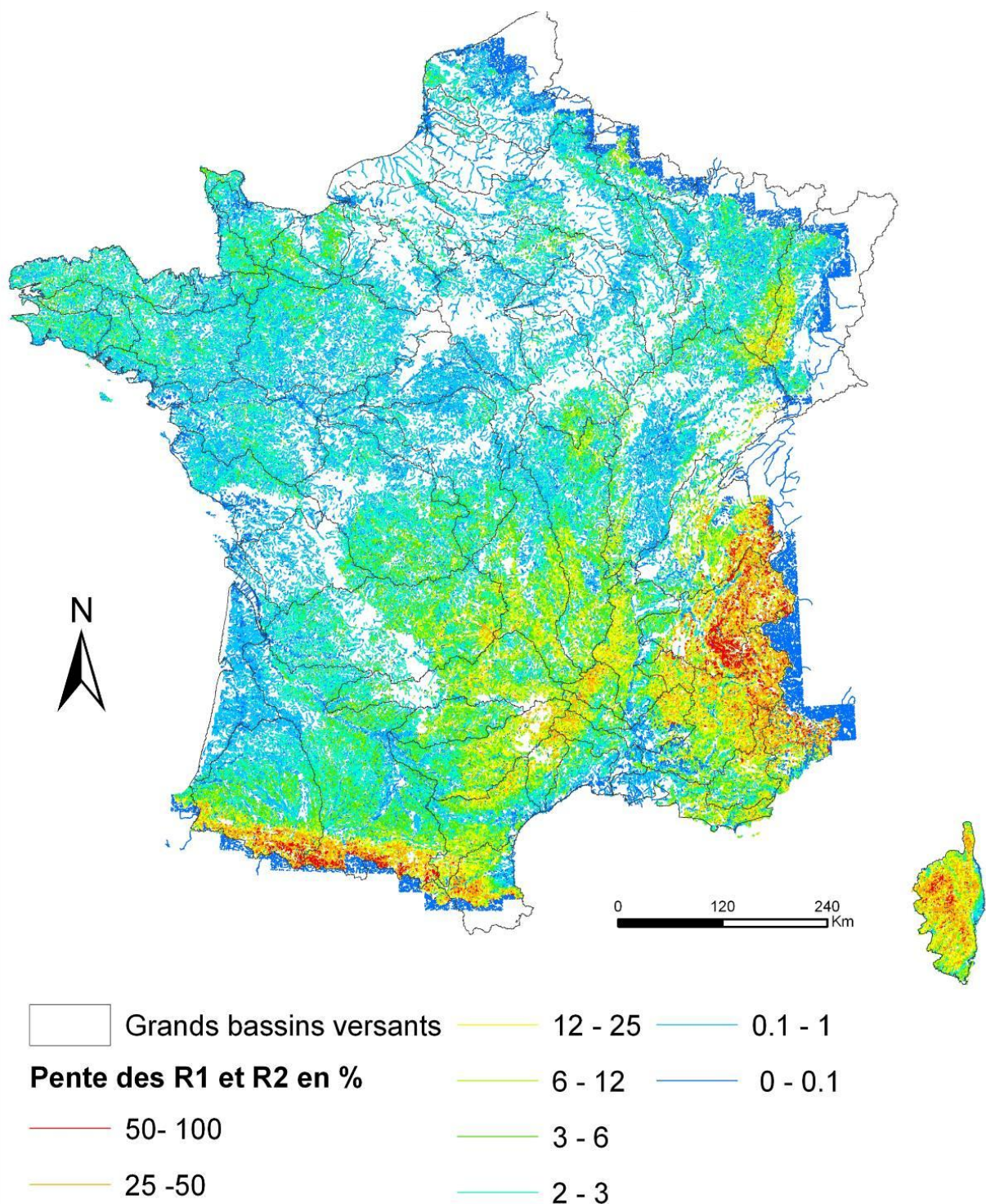
Le zonage de tête de bassin établi lors de la délibération de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne représente 30 525 Km² soit 20 % du territoire de l'agence de l'eau Loire-Bretagne. Ceci semble peu lorsque l'on compare ce chiffre avec la proportion de cours d'eau de rangs 1 et 2 sur le bassin de la Loire qui représentent 77 % du réseau hydrographique. Il s'agit d'un zonage de têtes de bassin versant stratégiques où le critère stratégique semble être la pente et non d'un zonage complet des têtes de bassin hydrographiques. En recoupant l'état des masses d'eau avec le zonage des têtes de bassin, on s'aperçoit que 7835 Km² de ces têtes de bassin soit 25 % du zonage de tête de bassin et 5 % du bassin de la Loire sont situés dans des masses d'eau en bon état écologique global.

2. Typologie Hydromorphologique des régions à petits cours d'eau : croisement de données hydrologiques et topographiques

2.1. La pente, base du classement hydromorphologique des régions à petits cours d'eau

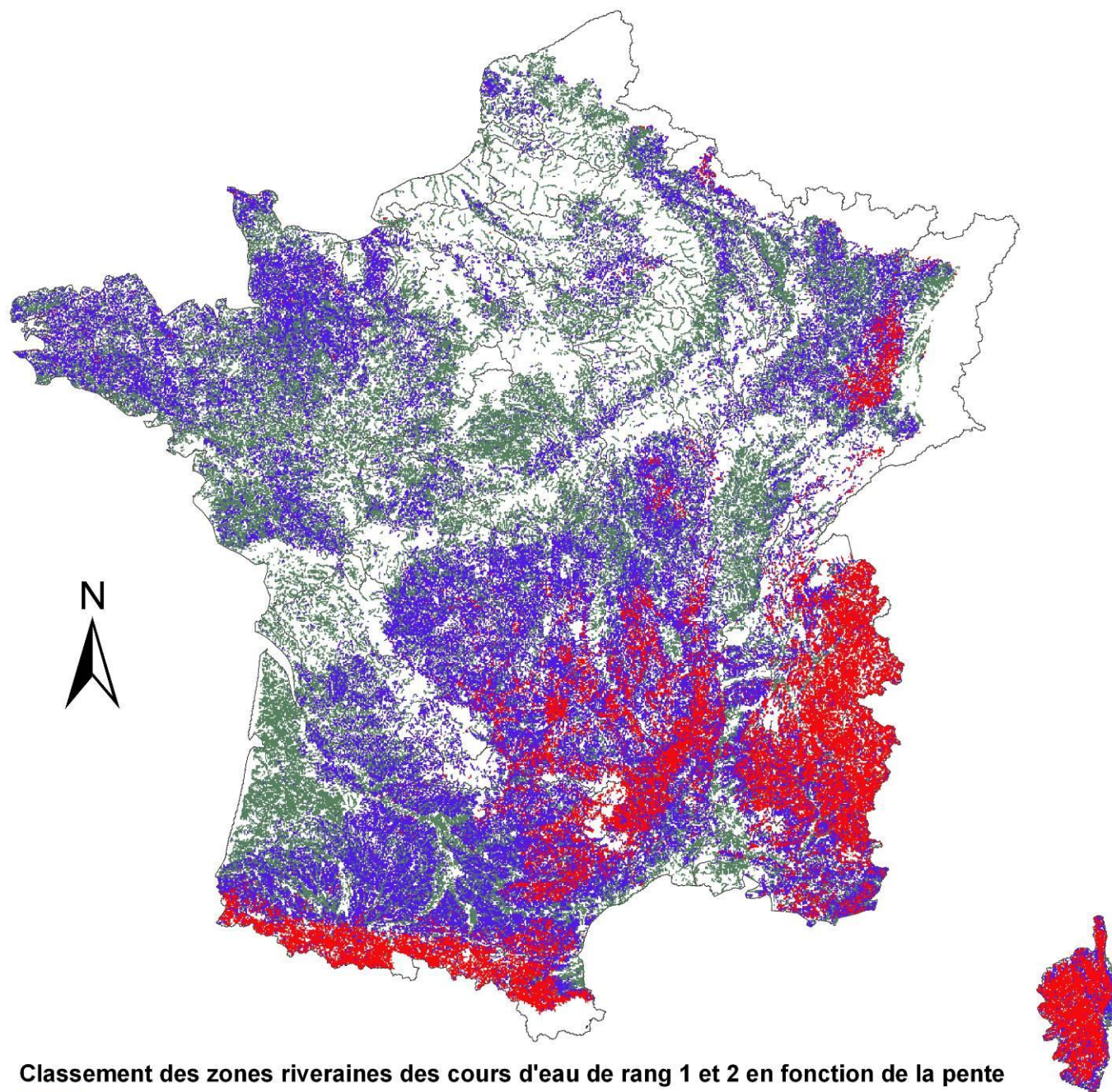
La pente est un critère très important lorsque l'on étudie les petits cours d'eau. En effet, c'est elle qui va conditionner en partie le potentiel de ruissellement sur les versants, mais aussi les vitesses d'écoulement et la puissance érosive des petits cours d'eau. Une régionalisation en fonction de la pente est réalisée en classant les ruisseaux de faible énergie ayant une pente inférieure à 1%, les ruisseaux à énergie moyenne ayant une pente comprise entre 1 et 6%, et les torrents qui ont une pente supérieure à 6%.

Figure 171 : Carte des ruisseaux français (rangs 1 et 2) et valeurs de pentes



Sources : BD CARTHAGE 2008, USGS, IGN BD ALTI 250 ; Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2008

Figure 172 : Carte des ruisseaux français par classe de pente



Classement des zones riveraines des cours d'eau de rang 1 et 2 en fonction de la pente

 1 à 6 %

 + de 6%

 0 à 1%

 Grands bassins versants

0 115 230 Km

Sources : BD CARTHAGE 2008, USGS

Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2008

Les ruisseaux ayant une pente inférieure à 1 % vont avoir une faible puissance, et vont difficilement éroder naturellement leurs berges et mobiliser la charge de fond. Ils vont être propices au stockage de sédiments fins. Les ruisseaux qui ont une pente comprise entre 1 et 6 % peuvent en cas de crue éroder leurs berges et mobiliser une charge de fond. Ils s'apparentent aux ruisseaux de moyenne montagne. Le seuil de 6 % est reconnu comme étant la valeur de pente suffisante pour qu'il y ait une mobilisation de la charge de fond très importante lors de crues, il s'agit d'écoulement torrentiel voire de lave torrentielle. À première vue, ce sont les cours d'eau ayant une pente comprise entre 1 et 6 % qui occupent la plus grande part du territoire français.

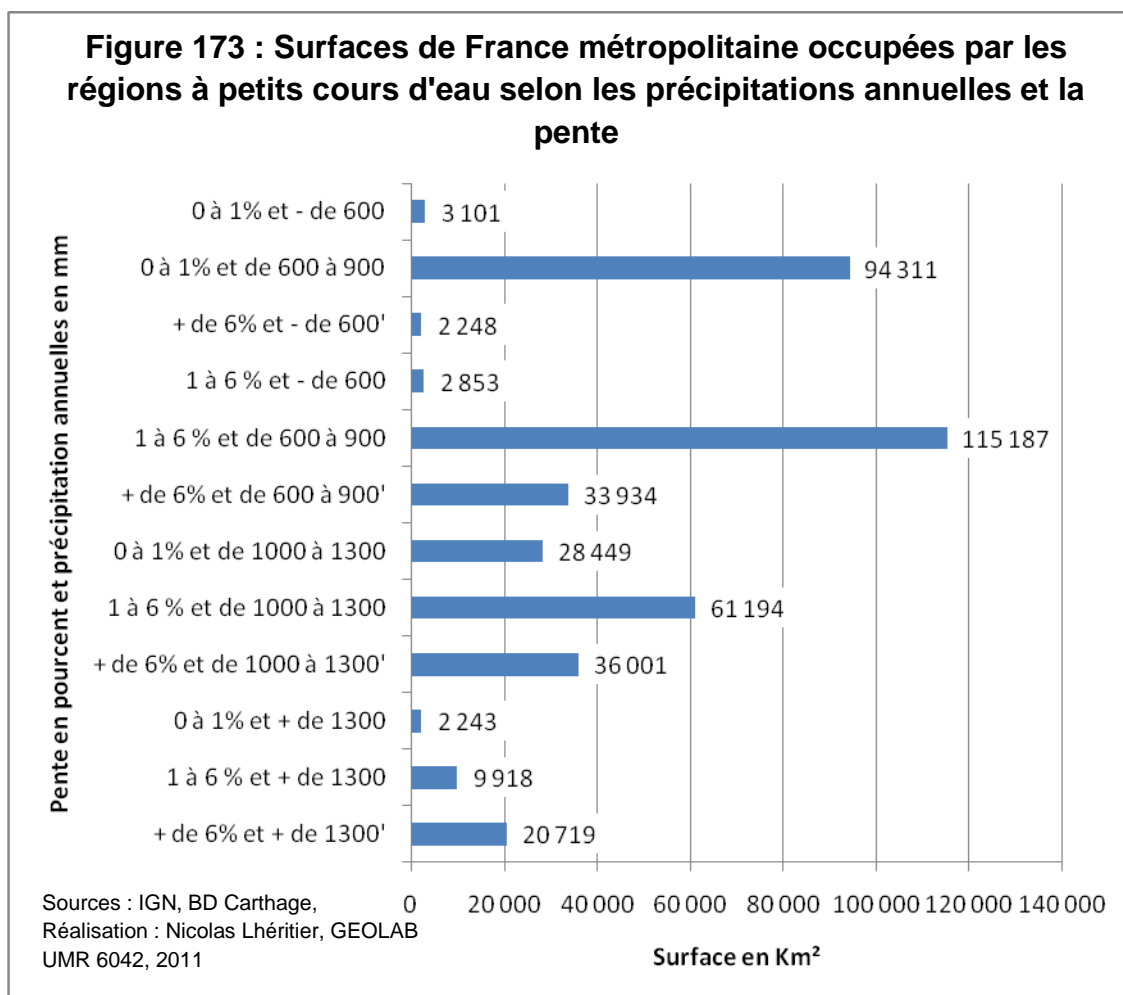
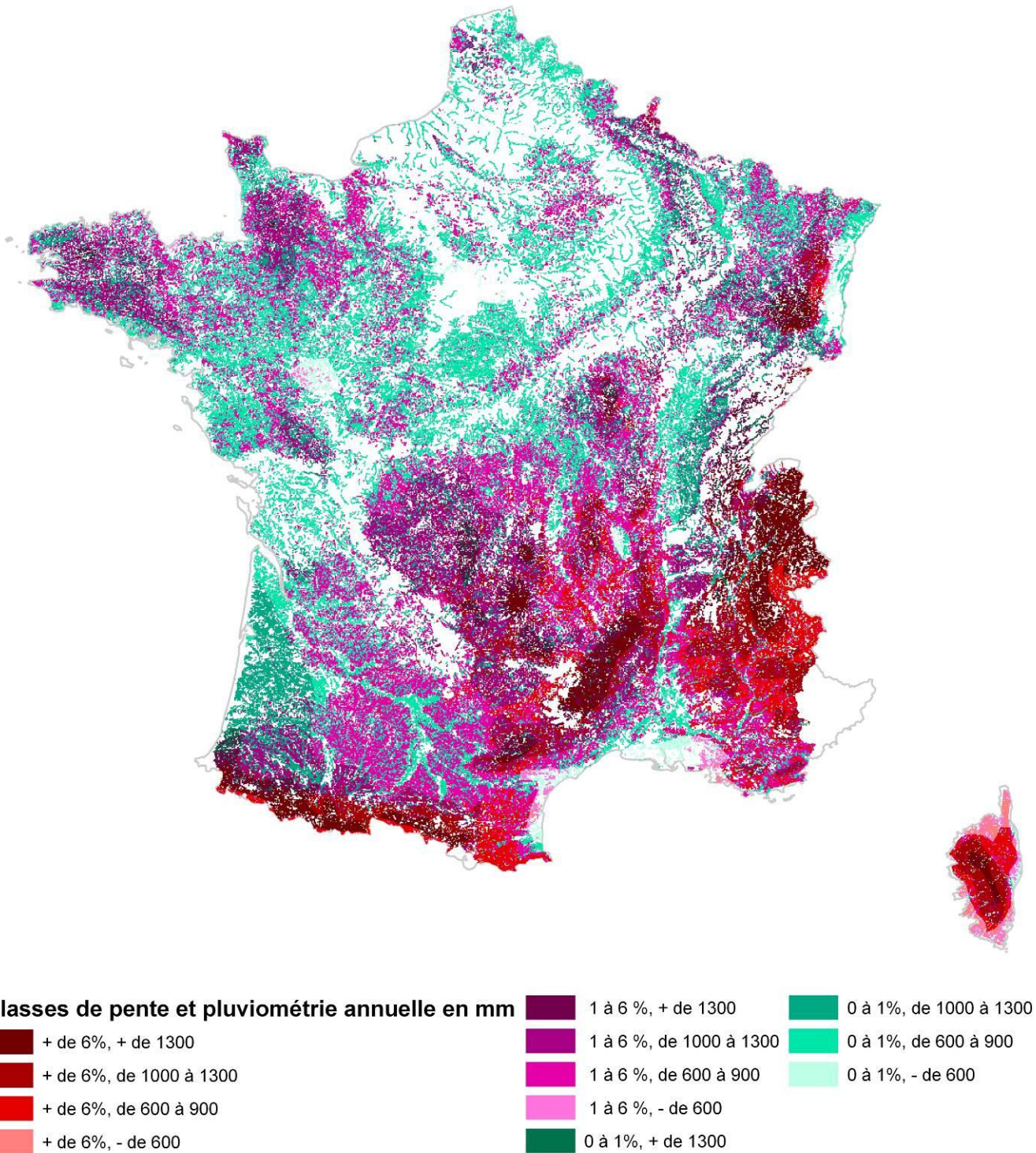


Figure 174 : Carte des régions françaises à petits cours d'eau par classe de pente et de précipitations



Sources : BD Carthage 08, Météofrance, IGN MNT 250 - Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2010

Certaines régions à petits cours d'eau apparaissent comme particulièrement dynamiques du fait de la pente de leurs écoulements et la forte pluviométrie. Ainsi, les Hautes-Alpes, la Savoie, les Cévennes, les Pyrénées, les Vosges, le Cantal, et le centre de la Corse ont des petits cours d'eau ayant une pente topographique propice aux écoulements torrentiels, couplée à une forte pluviométrie excédant les 1300 mm par an et par m². Leurs bassins versants n'occupent qu'une faible surface, environ 21 000 Km² soit 5 % de l'ensemble de la surface qu'occupent les bassins versants des ruisseaux et petits torrents français. Les bassins versants des petits cours d'eau de cette classe de pente n'occupent que 14 % de l'ensemble de la surface. Le fait d'assimiler une éventuelle « tête de bassin » à des territoires montagneux et des cours d'eau au fonctionnement torrentiel n'est pas justifié au regard de ces chiffres.

Le Massif Central a des cours d'eau de pente plus faible, mais leurs bassins versants reçoivent également beaucoup de précipitations, c'est également le cas des Montagnes Noires, des Monts d'Arrée, du piedmont des Pyrénées, de la Montagne limousine, du Morvan. Les ruisseaux ayant une pente comprise entre 1 et 6 %, et ayant des bassins versants qui reçoivent entre 600 et 900 mm de pluie par m² sont les plus nombreux. Leurs bassins versants occupent une surface d'environ 115 000 Km² et ils occupent 28 % de l'espace drainé par les ruisseaux français, ces ruisseaux que l'on peut qualifier de moyenne montagne sont les plus communs en France. Les petits cours d'eau à faible pente occupent une grande partie du territoire français, ceux qui ont des bassins versants récoltant environ 600 à 900 mm de pluie par m² occupent 95 000 Km², soit 23 % de l'espace des



Ruisseau des Garnaudières 86 illustrant la référence morphologique des ruisseaux de plaine
Cliché : M Bramard ONEMA, Journée Techniques Nationales de l'UNPF 14 et 15 octobre 2008

ruisseaux. Il s'agit du type de ruisseaux le plus commun après les ruisseaux de Moyenne Montagne.

Au regard de ces surfaces occupées par différents types de ruisseau, les petits torrents de montagne n'occupent qu'une place mineure dans le réseau hydrographique de l'amont des bassins versants. Ce sont les ruisseaux de moyenne montagne et de plaine qui composent et contribuent le plus à la constitution des rivières françaises. Le schéma d'école qui représente le continuum fluvial débutant par des petits torrents de montagne n'est pas représentatif de la situation française. Si les têtes de bassins françaises correspondent à ce type de cours d'eau, elle n'est qu'une exception dans l'immensité du réseau de petits cours d'eau.

2.2. Classement des régions à petits cours d'eau selon leur contribution à l'hydrosystème mondial

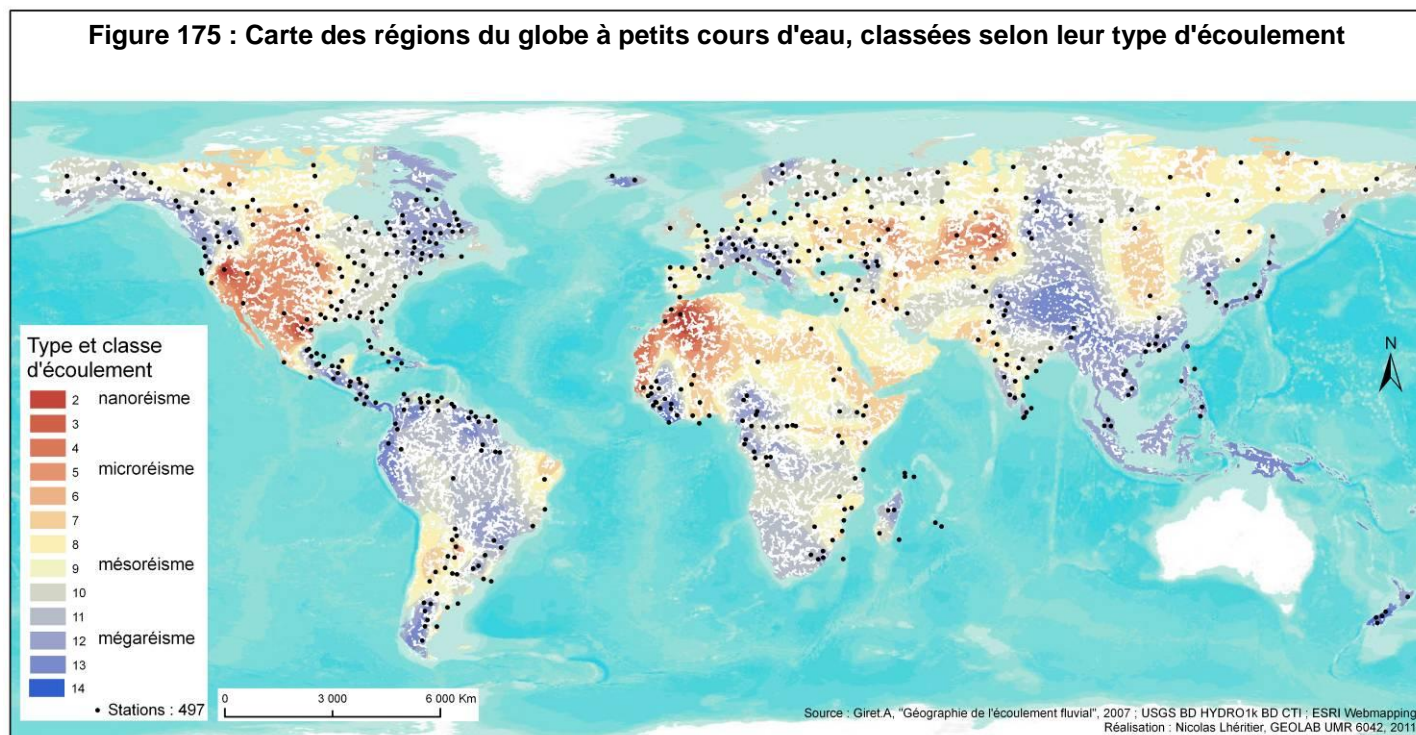
Pour connaître les zones à petits cours d'eau les plus contributives à l'hydrosystème mondial en matière de flux d'eau, de matière et d'énergie, et ainsi dégager des zones particulièrement importantes, il faut apprécier leurs régimes hydrologiques en plus de la pente.

Alain Giret en réalisant une cartographie typologique de l'écoulement fluvial du globe à partir des stations publiées par l'UNESCO a pu mettre en évidence et localiser 4 grands types d'écoulements.

- Le mégaréisme est caractéristique des écoulements des régions ayant une pluviométrie supérieure à l'évapotranspiration, les débits spécifiques y varient de 33 à 170 l/s/Km². Il caractérise les cours d'eau des domaines polaires océanisés, les domaines hyperocéanisés, les montagnes tempérées et tropicales, ainsi que le domaine tropical humide. Les précipitations sont très efficaces et se concrétisent par un écoulement important.
- Le mésoréisme est le type d'écoulement le plus fréquent, l'évapotranspiration (ETR) y est plus forte, il s'agit des façades nord-est des domaines continentaux froids et tempérés, des montagnes continentales et méditerranéennes, des domaines supratropicaux humides et des façades ouest océanisées. Les débits spécifiques varient de 6,4 à 33 l/s/Km². Notons que selon les cartes IGN les petits cours d'eau peuvent avoir des écoulements intermittents dans cette zone.
- Le microréisme correspond aux milieux secs et/ou abrités : les façades ouest supratropicales (méditerranéennes), les montagnes sèches et les milieux continentaux, subtropicaux et tropicaux sec. L'évapotranspiration y est élevée, réduisant les débits spécifiques de 0,72 à 6,40 l/s/Km².

- Le nanoréisme peut se traduire par l'intermittence (des plus grands fleuves), il concerne des versants semi-arides et très abrités, où l'ETR l'emporte saisonnièrement sur les précipitations toujours faibles. Les débits spécifiques y varient de 0,08 à 0,72 l/s/Km².

Figure 175 : Carte des régions du globe à petits cours d'eau, classées selon leur type d'écoulement



Nous avons choisi de retenir ce classement et de l'appliquer aux régions à petits cours d'eau pour déterminer la contribution en termes de débits des écoulements élémentaires aux rivières et fleuves du globe.

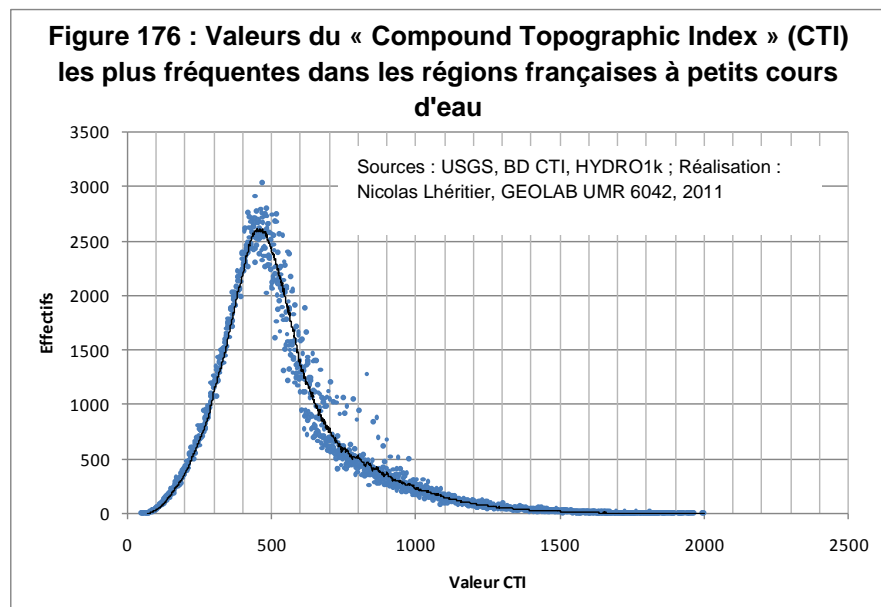
À l'aide des cours d'eau de la base de données hydro 1 K classés selon Strahler, nous avons réalisé une extrapolation selon la méthode des voisins naturels pour ne garder que les zones comprenant des cours d'eau de rang inférieur à 1 (correspondant aux rangs 5 ou 6). À l'aide de l'indice CTI, une classe de pente moyenne est attribuée au bassin versant. L'intersection des bassins versants avec les zones hydrographiques inférieures aux rangs 5 et 6 nous permet de dégager des régions contenant des petits cours d'eau, et de les caractériser d'un point de vue topographique. Une nouvelle intersection des régions homogènes selon des caractéristiques d'écoulement avec ces zones topographiques de petits cours d'eau nous permet de les classer selon leur contribution en matière de débit liquide, mais aussi de par la pente d'évaluer leur potentielle contribution en matière de débit solide.

Voici les classes croisées qui s'en dégagent :

- Le mégaréisme torrentiel ayant des pentes de talweg supposées supérieures à 6 % correspondant au torrent des montagnes des régions polaires, tempérées et tropicales.
- Le mégaréisme dynamique ayant des pentes supposées comprises entre 1 et 6 % correspondant aux ruisseaux de moyennes montagnes hyperocéanisées et tropicales humides.
- Le mégaréisme à faible énergie ayant des pentes inférieures à 1 % des plaines hyperocéanisées.
- Le mésoréisme torrentiel
- Le mésoréisme dynamique
- Le mésoréisme à faible énergie
- Le microréisme torrentiel qui marque le passage dans la catégorie des oueds.
- Le microréisme dynamique
- Le microréisme à faible énergie
- Le nanoréisme torrentiel
- Le nanoréisme dynamique
- Le nanoréisme à faible énergie

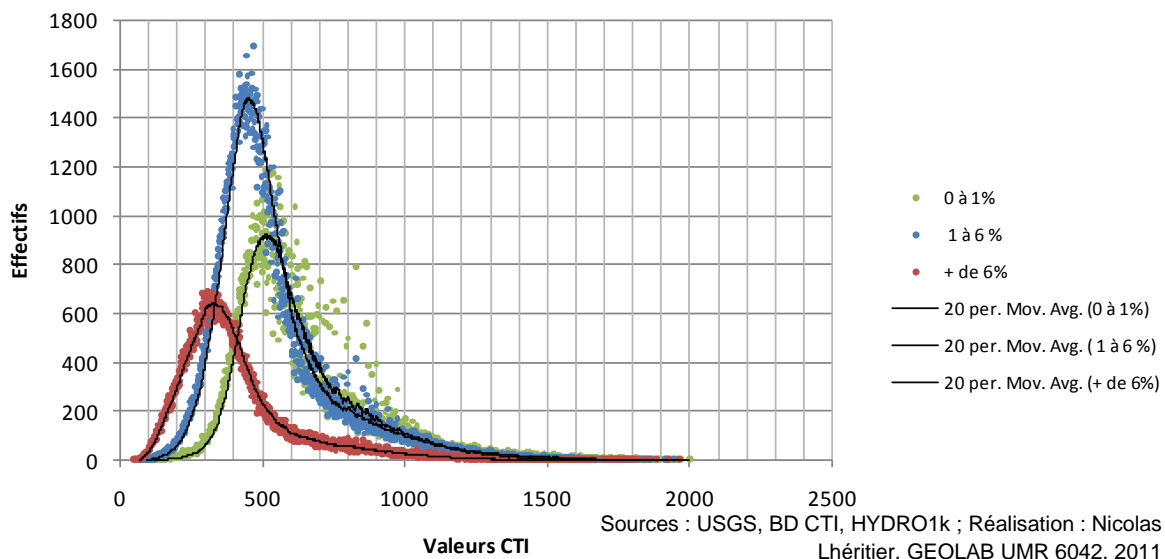
On croise ensuite les données avec des données sur l'écoulement fluvial pour enfin avoir une carte de l'hydromorphologie par zone.

Un recoupage des valeurs de CTI de l'USGS avec les cellules que nous avons précédemment créées pour réaliser la carte des têtes de bassin françaises, ou plutôt de l'environnement des ruisseaux français nous permettra de connaître la valeur CTI de l'environnement géomorphologique des ruisseaux de différentes pentes. La France étant un territoire où l'on trouve à la fois des ruisseaux de plaine, des torrents de montagne et des ruisseaux de moyenne montagne, un échantillonnage statistique reflétant les corrélations entre les valeurs CTI et l'environnement de ruisseaux ayant des pentes faibles, moyennes et fortes est possible. La base de données CTI étant mondiale, nous pourrions extrapoler ces corrélations et réaliser un travail de cartographie des têtes de bassin à l'échelle du globe.



La corrélation entre les cellules de 1 Km² qui comportent des rangs 1 ou 2 avec les cellules de 1 Km² de la base de données CTI de l'USGS est quasiment gaussienne. Elle ne l'est pas totalement, car notre découpage en mailles de 1 Km² comprend également dans les zones de confluence des cours d'eau de rang supérieur qui ont de ce fait des valeurs CTI plus élevées. Cependant, il y a bien un pic d'effectifs qui correspond aux valeurs CTI des ruisseaux. Plus le ruisseau est pentu, plus les valeurs CTI sont faibles.

Figure 177 : Valeurs du Compound Topographic (CTI) Index les plus fréquentes dans les régions françaises à petits cours d'eau par classes de pente



Les ruisseaux de pente moyenne comprise entre 1 et 6 % ont une valeur CTI de 467 pour 1697 cellules et Km ; les ruisseaux de pente faible inférieure à 1% ont une valeur CTI de 514 pour 1189 cellules et Km ; les ruisseaux de pente forte, supérieure à 6% ont une valeur CTI de 306 pour 694 cellules et km²

Figure 178 : Cartographie comparative des régions riveraines des petits cours d'eau français et des valeurs CTI retenues pour l'extrapolation mondiale

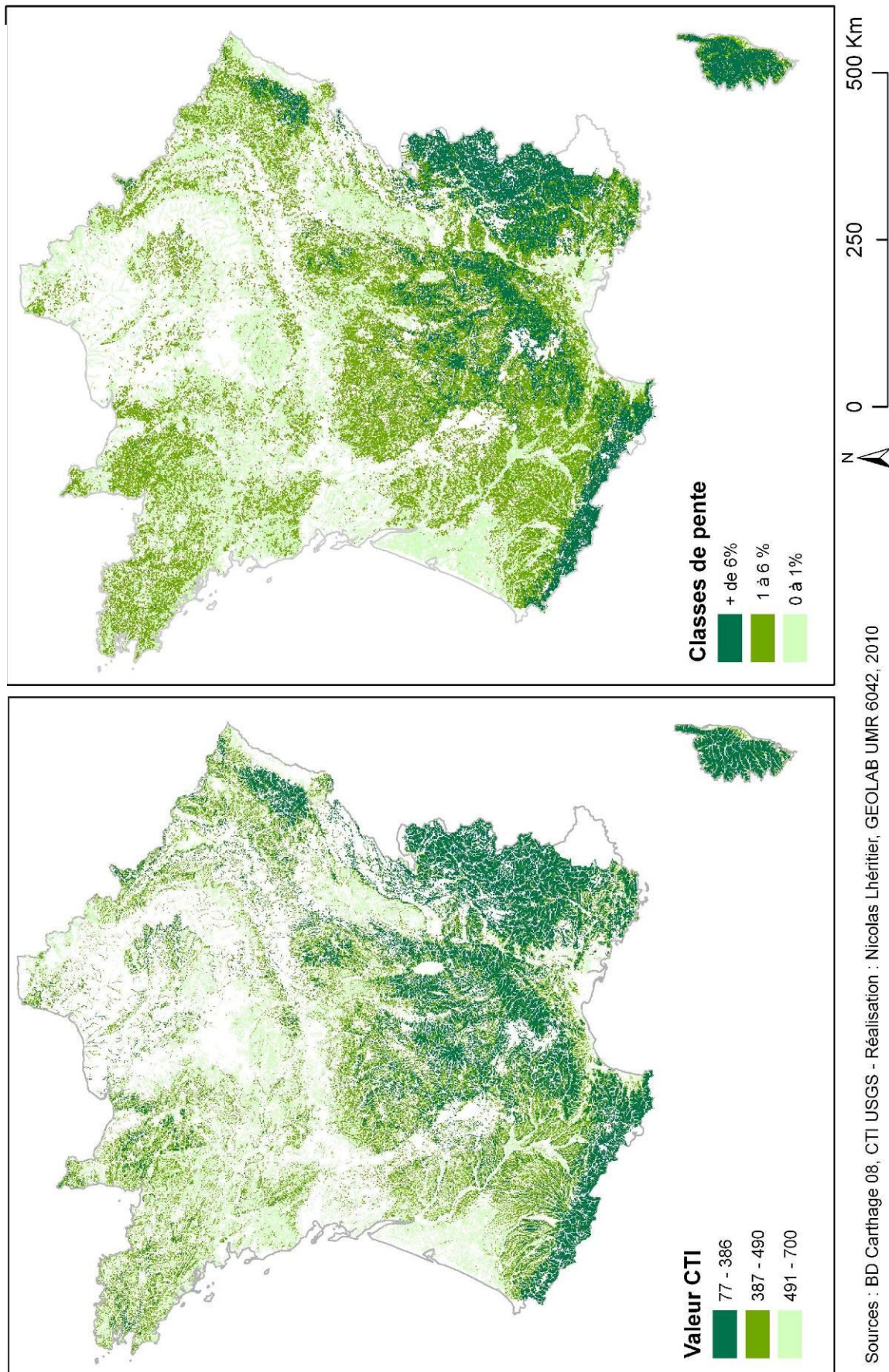
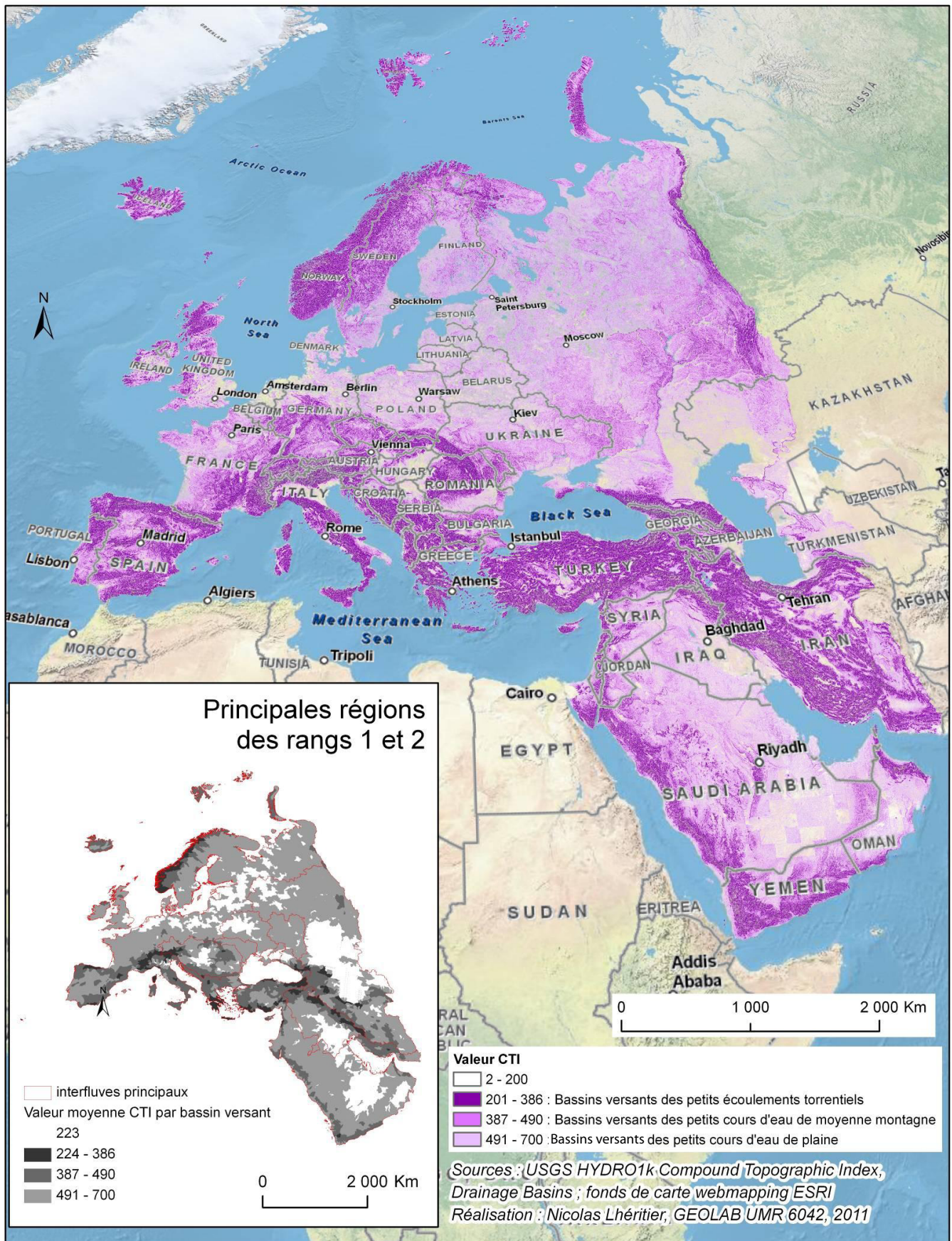
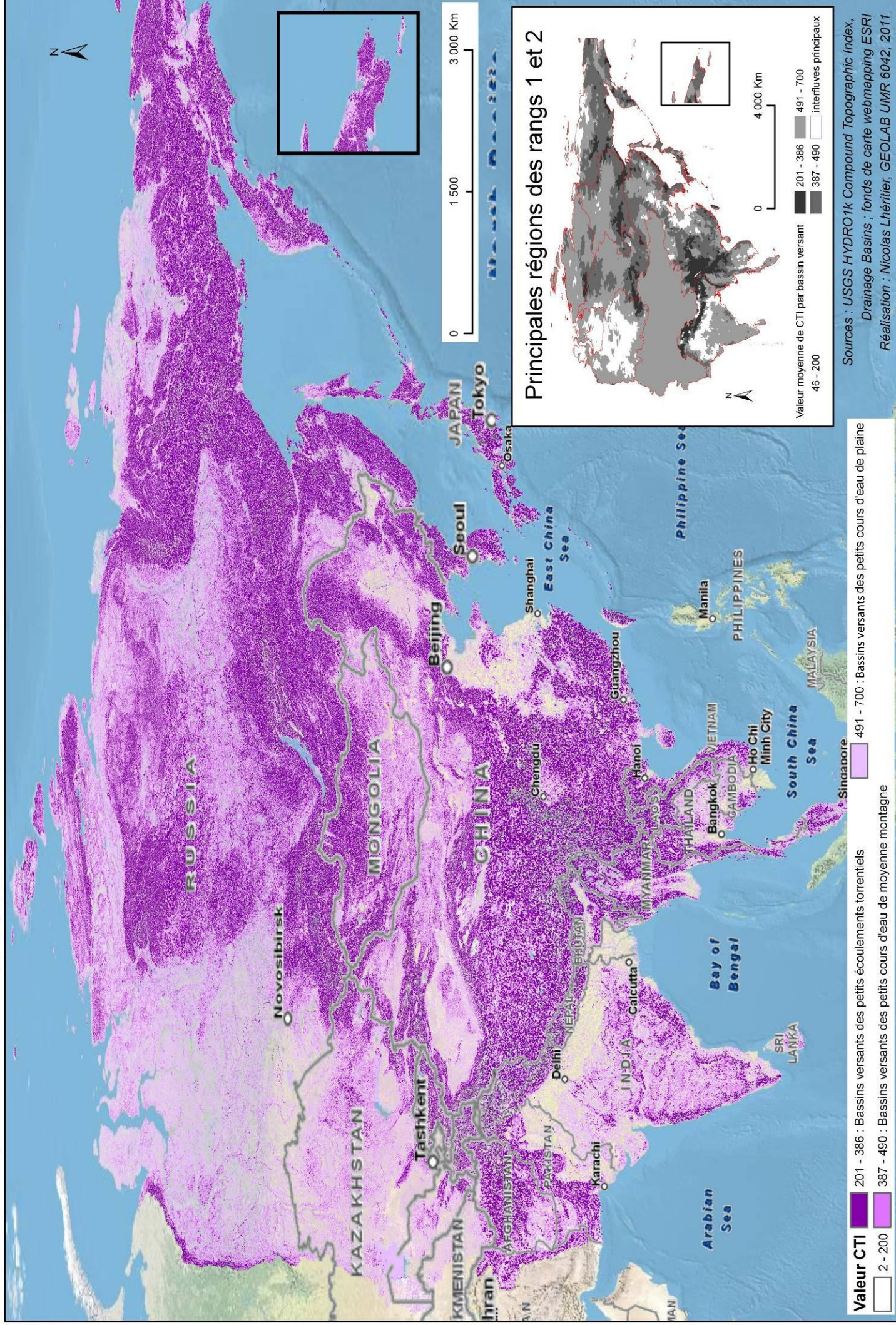


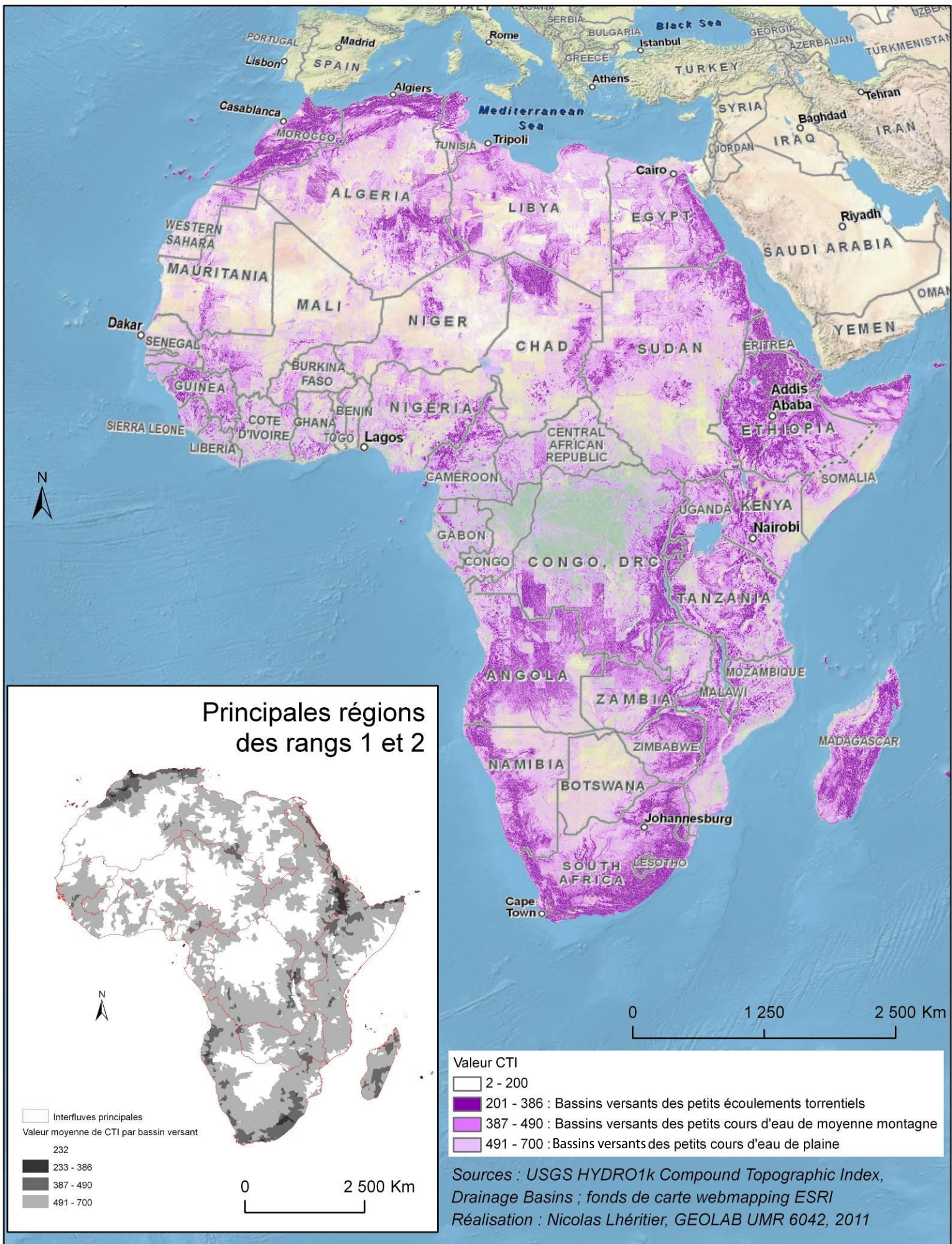
Figure 179 a, b, c, d e, f : Cartographies des régions du monde à petits cours d'eau par classe de pente



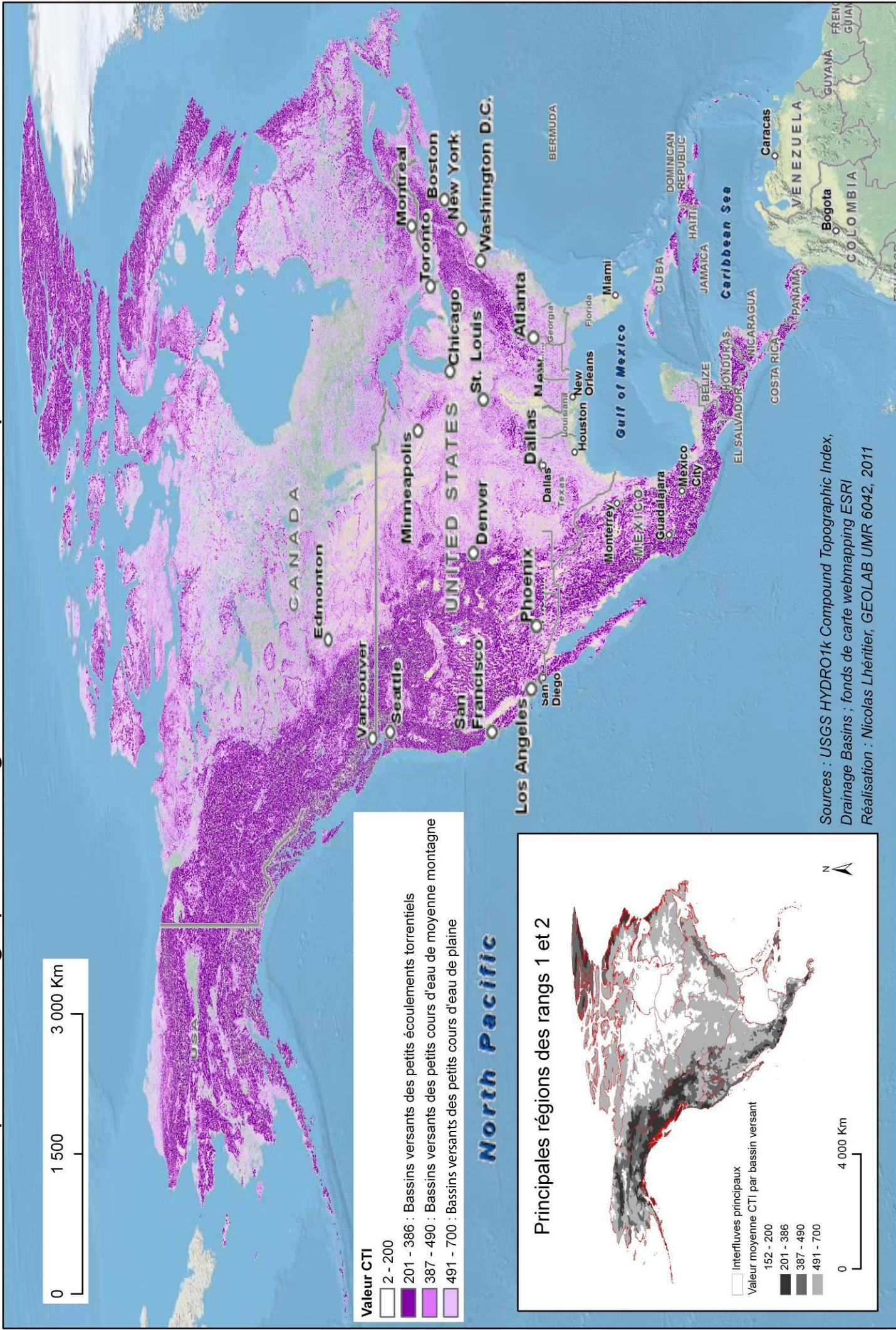
Interprétation des valeurs CTI pour la cartographie des régions eurasiatiques à petits cours d'eau



Interprétation des valeurs CTI pour la cartographie des régions africaines à petits cours d'eau



Interprétation des valeurs CTI pour la cartographie des régions nord-américaines à petits cours d'eau



Interprétation des valeurs CTI pour la cartographie des régions sud-américaines à petits cours d'eau



Interprétation des valeurs CTI pour la cartographie des régions à petits cours d'eau d'océanie

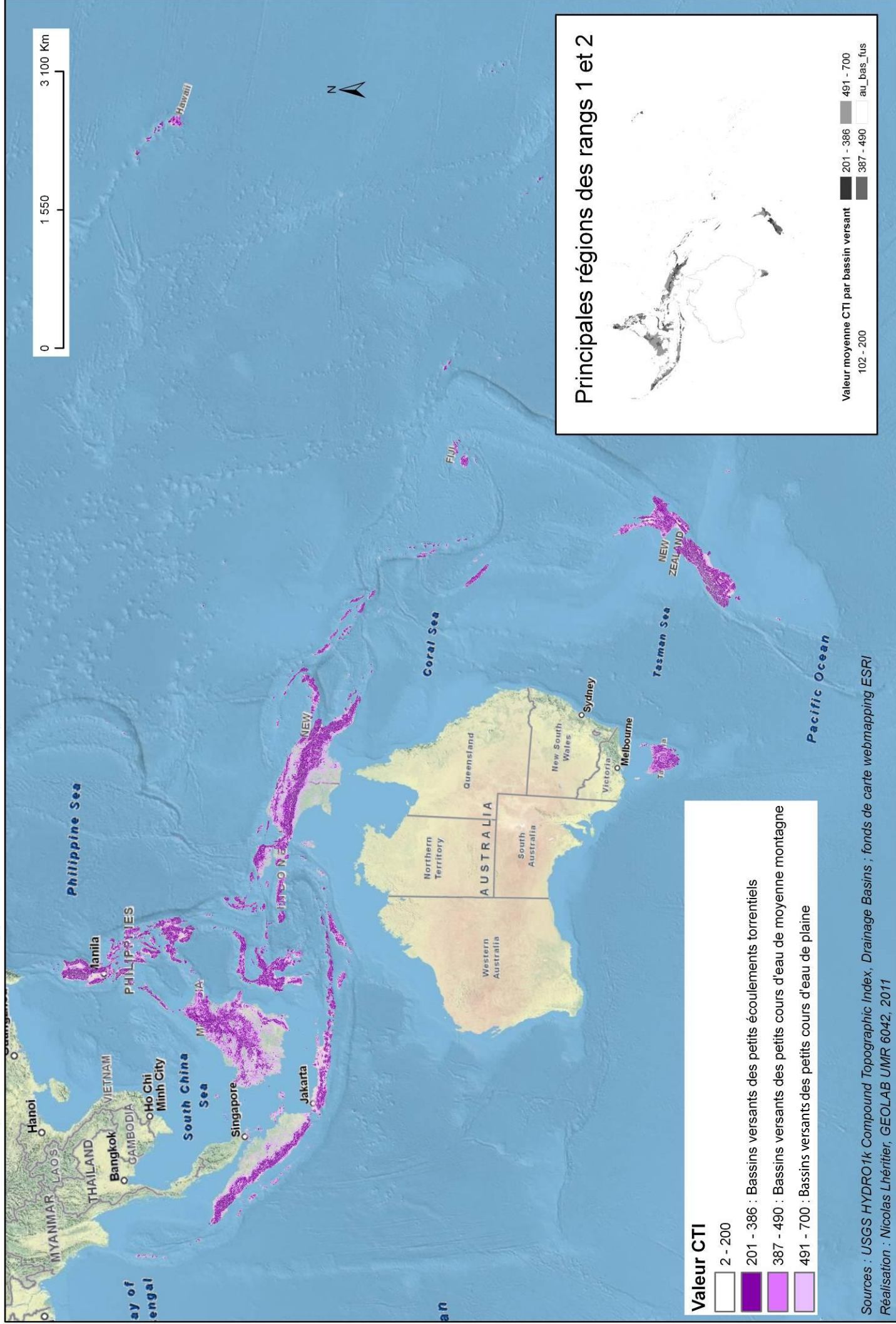
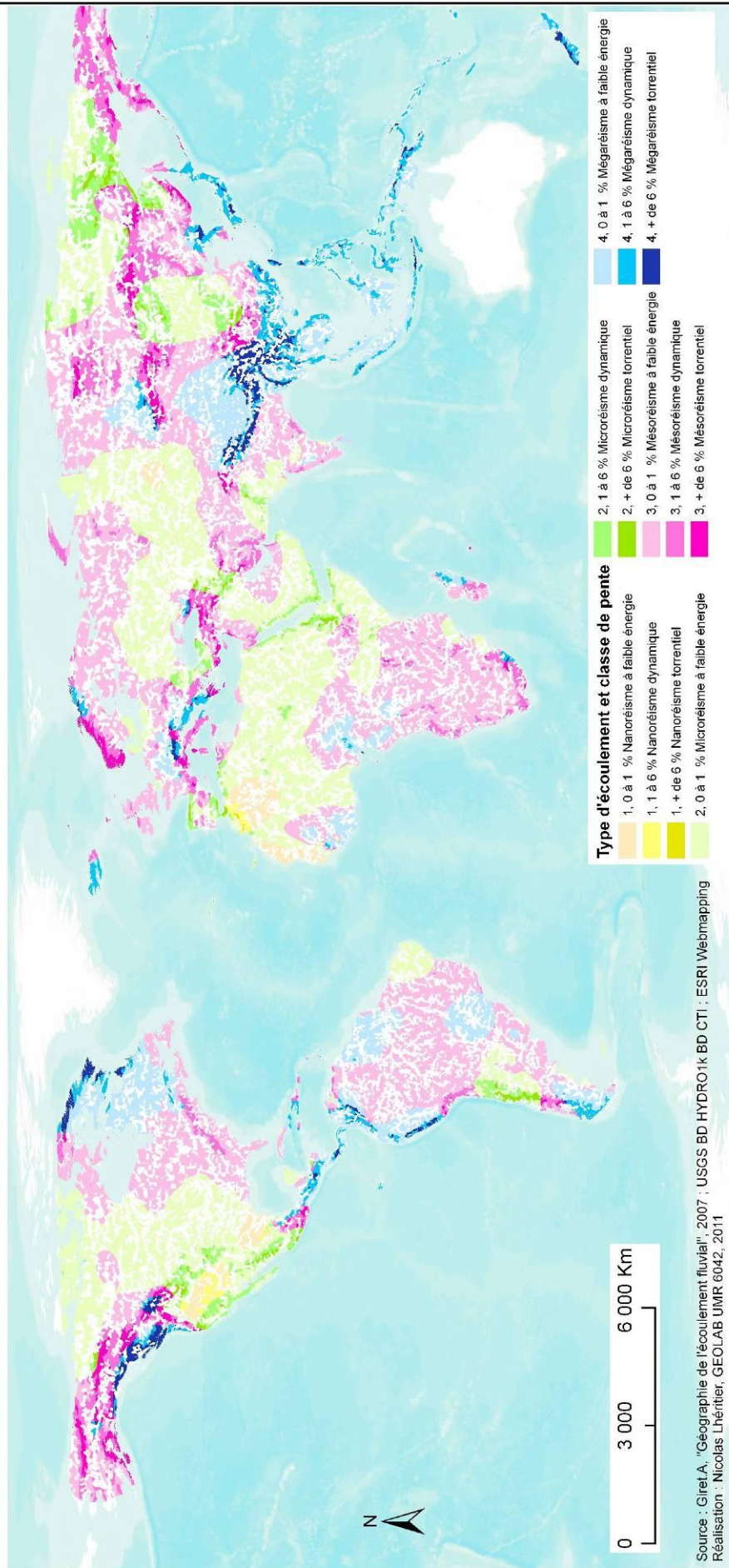


Figure 180 : Carte des régions du globe à petits cours d'eau, classées selon une typologie croisée de l'écoulement fluvial et de la pente ou selon leur hydro-géomorphologie



En extrapolant cette relation entre la présence de cours d'eau de rang inférieur à 3 et les valeurs CTI, nous pouvons réaliser le tableau ci-dessous qui présente les surfaces de têtes de bassin par continent.

Tableau 37 : Surfaces et proportions des régions à petits cours d'eau du monde par classes de pente

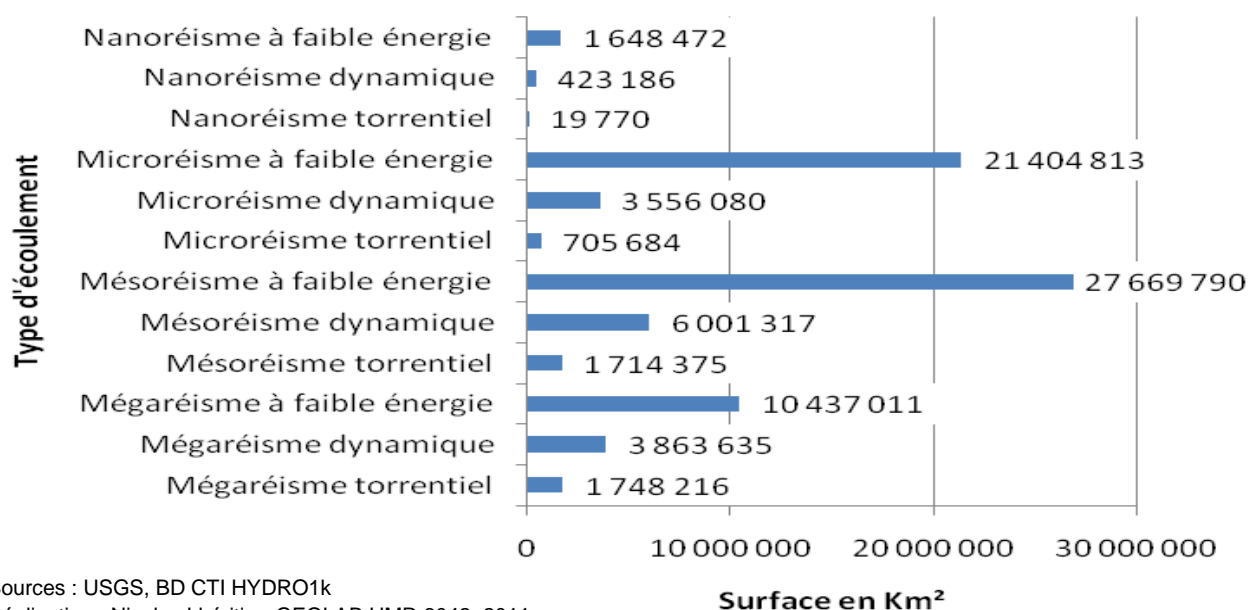
Valeurs CTI - classes de pente	Amérique du Nord		Asie		Afrique		Amérique du Sud		Oc éanie		Europe		Total	
	Surface en Km ²	Part	Surface en Km ²	Part	Surface en Km ²	Part	Surface en Km ²	Part	Surface en Km ²	Part	Surface en Km ²	Part	Surface en Km ²	Part
0 - 386 ; pente > 6%	4 940 228	32%	11 014 006	41%	3 148 465	18%	2 082 263	20%	1 031 572	42%	3 318 654	27%	25 535 188	30%
386 - 490 ; pente de 1 à 6 %	3 566 337	23%	5 850 930	22%	4 181 408	24%	2 076 660	20%	517 270	21%	3 056 184	25%	19 248 789	23%
490 - 700 ; pente < 1%	7 083 329	45%	9 932 321	37%	10 299 242	58%	6 092 843	59%	916 498	37%	5 877 163	48%	40 201 396	47%
Total	15 589 894	100%	26 797 257	100%	17 629 115	100%	10 251 766	100%	2 465 340	100%	12 252 001	100%	84 985 373	100%

La base de données CTI de l'USGS couvre un territoire de 127 751 150 Km² des 148 647 000 Km² de surface continentale, l'Antarctique et l'Australie n'étant pas couverts. La surface topographique propice à la présence de petits écoulements couvre une surface de 84 985 373 Km² soit 66,5 % de la surface continentale examinée. Les pentes les plus communes sont inférieures à 1 % avec 47 %. L'Asie comporte à elle seule la moitié des surfaces du globe propices aux écoulements torrentiels. Avec l'Amérique du Nord ce sont les 2 continents qui ont le plus d'espace topographique attestant de la présence de nombreux torrents avec 41 % et 32 % de leur espace à petits cours d'eau correspondant à un environnement topographique propice à des écoulements torrentiels. L'Europe est juste derrière avec 27 %. L'Afrique, et l'Amérique du Sud ont des espaces propices à la présence de petits torrents, certes, étendus, mais qui ne dominent pas en proportion.

Même si les surfaces topographiques de tête de bassin représentent une surface considérable à l'échelle du globe, il faut qu'elles soient suffisamment arrosées pour accueillir des cours d'eau à écoulement temporaire ou pérenne.

Le mésoréisme à faible énergie apparaît comme largement dominant, et par catégorie de type d'écoulement fluvial, ce sont toujours les cours d'eau à faible pente qui dominent. Les extrêmes : nanoréisme à faible énergie et mégaréisme torrentiel sont minoritaires.

Figure 181 : Surfaces occupées par les régions à petits cours d'eau du monde selon leur typologie hydrogéomorphologique



Les mégaréismes torrentiel et dynamique des Amériques gouvernent les petits cours d'eau des Montagnes Rocheuses côtières du Nord, de l'île de Baffin, les montagnes de Patagonie, de l'isthme de Panama se prolongeant par les Andes du Nord. En Eurasie, ils caractérisent les petits torrents alpins, de la Laponie montagnaise norvégienne, des monts du Baïkal, des plus hautes terres du Caucase. Les tributaires de tous les grands fleuves naissant dans l'Himalaya sont également concernés, ainsi que la plupart des petits cours d'eau d'Indonésie, du Japon et de Nouvelle Zélande. Ces zones d'une surface de 5 611 851 Km² sont potentiellement les plus contributives de l'hydrosystème mondial en termes de flux de matière et d'énergie du fait de la pente forte des petits cours d'eau, et des débits importants.

Aux Amériques, sur des surfaces plus planes, mais tout autant arrosées et/ou enneigées, le mégaréisme de faible énergie concerne les petits cours d'eau du Labrador, des hautes terres guyanaises, du plateau du Brésil, du piedmont Est des Andes, des plateaux de la Patagonie. En Afrique, les petits cours d'eau de la Guinée septentrionale, du bassin du Congo et de la côte nord-est de Madagascar en sont régis. En Eurasie, le plateau du Tibet, de Stanovoï et des tributaires de la Lena du nord du Baïkal, les ruisseaux français du plateau de Langres et les premiers écoulements de l'Allier et de la Loire en sont caractérisés. Ces régions occupent une surface de 10 437 011 Km².

Aux Amériques les mésoréismes torrentiel et dynamique concernent toute l'Alaska, les Rocheuses intérieures du Nord, les Appalaches, les Andes au niveau du golfe de Arica et du nord de la Patagonie. En Afrique sont concernés : les Drakensberg, la Guinée méridionale, les monts

Mitumba, le sud du massif éthiopien et le sud-est de Madagascar ; en Eurasie, les Pyrénées, les Alpes françaises du sud, les montagnes norvégiennes, l'adret des montagnes du Baïkal, les monts Iablonovy, et Stanovoï, Sihote – Alin, les hauteurs du plateau de Sibérie centrale, l'Anatolie, le Zagros, le Caucase, et la Nouvelle Zemble. Ces régions couvrent une surface de 5 715 692 Km².

Les petits cours d'eau mésoréiques à faible énergie sont les plus courants, occupant des surfaces des grandes plaines américaines sud et nord de la Baie de Hodson, le bassin de l'Amazone, les plaines sud-africaines et centrales ; les plaines Sarmatique jusqu'à la péninsule de Kola, de Sibérie Occidentale, les basses terres de Scandinavie, les Carpates les plus océanisées, le plateau de l'Iran et le sud du golfe arabe, la France de l'ouest et les îles britanniques, le nord des monts d'Oural, la plaine de Sibérie Septentrionale, les zones transitoires entre les déserts d'Eurasie centrale et le plateau du Tibet, une frange est de la péninsule indienne, le plateau de Sibérie centrale, l'est du désert de Gobi. Cet espace mesure 27 669 790 Km².

Les microréismes torrentiels et dynamiques sont les domaines, des sierras madre, des rocheuses centrales intérieures, des Andes chiliennes centrales, du Tibesti, du nord-est du massif éthiopien, des monts de la péninsule arabique bordant la mer rouge, de la Mésopotamie, du plateau de Mongolie, de l'Himalaya orientale, les montagnes de Sibérie Orientale, plus généralement assimilables aux reliefs des zones désertiques disséqués par des oueds et ravins spasmodiques torrentiels et dynamiques qui couvrent une surface de 4 261 764 Km².

La deuxième plus grande surface de régions à petits cours d'eau ou plutôt talwegs dans ce cas est régie par le microréisme à faible énergie. Il s'agit des grandes plaines américaines centrales, des cordillères argentines, du plateau de Borborema, du Sahara, et de la péninsule somalienne, de la péninsule arabique centrale, du bassin aval de l'Indus, une large bande s'étirant des Carpates orientales, prenant une direction nord au niveau du Kazakhstan pour rejoindre le centre de la plaine de Sibérie occidentale abritée par l'Oural ; le désert de Gobi, les plaines du nord de la Sibérie Orientale, et le centre de l'Espagne. Cette zone couvre une surface de 21 404 813 Km².

Le nanoréisme torrentiel et dynamique se trouve sur les monts aux pourtours du grand lac salé, et dans l'Atlas, immédiatement bordés par le nanoréisme de faible énergie sur les reliefs plans. Ce dernier se trouve également sur la plaine de Houston, et la frange occidentale du Sahara. Le nanoréisme occupe une surface de 2 091 428 Km².

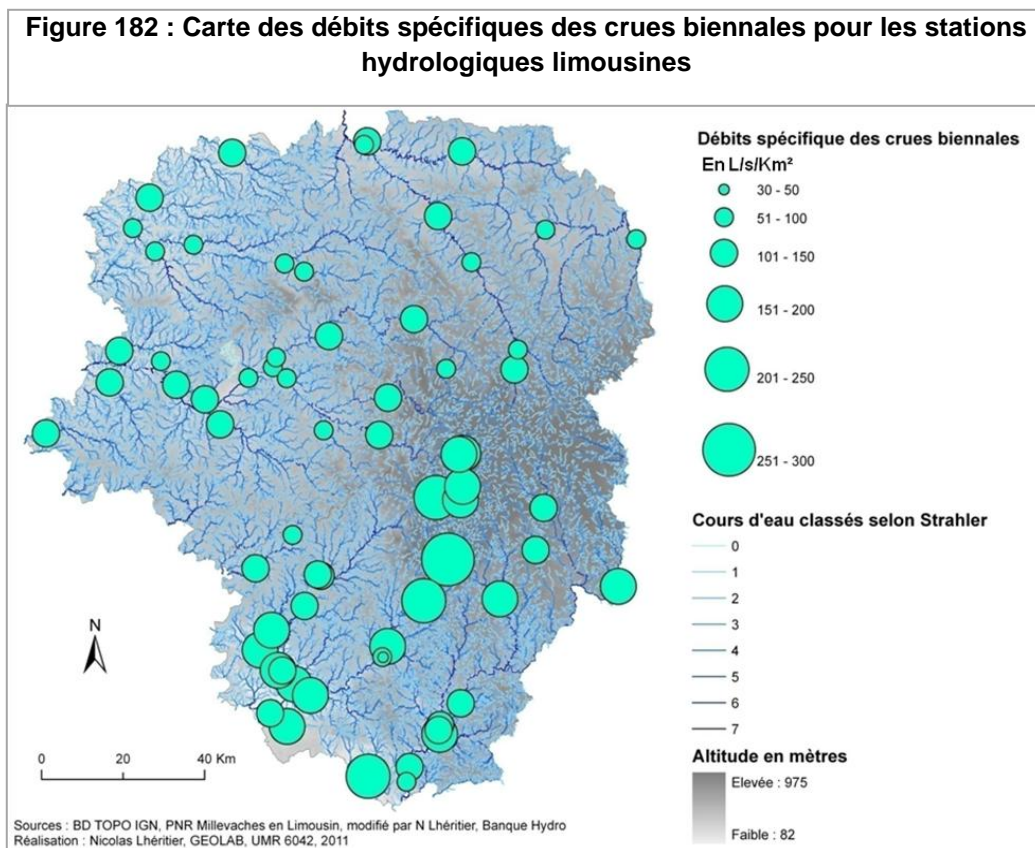
Cette régionalisation de petite échelle tenant à la fois compte des modules spécifiques annuels zonaux et des caractéristiques topographiques des petits écoulements nous permet de classer en zones propices aux petits écoulements : 79 200 000 Km² de la surface du globe. Le découpage est calé sur les zones hydrologiques homogènes inférieures à des rangs 5 et/ou 6, il

donne un résultat cependant proche de l'interprétation pure des valeurs CTI qui indiquent 85 000 000 Km² de zones topographiques propices aux petits écoulements.

Cette régionalisation valable à l'échelle du globe ne tient cependant pas compte des microclimats et des subtilités des reliefs qui peuvent çà et là faire que des zones ayant des caractéristiques d'écoulements particulières peuvent être incluses dans ces grands ensembles. Dans tous les cas, si nous avons vu avec les régions à petits cours d'eau française que la majorité des tributaires de nos grands fleuves ne correspondent pas à des torrents de montagne, il en est de même à l'échelle du globe, avec une majorité de petits cours d'eau mésoréiques et à faible énergie. C'est à ce type de petits cours d'eau que nous allons maintenant nous intéresser, et plus particulièrement sur une zone de contact entre le mésoréisme dynamique tempéré océanisé et le mésoréisme de faible énergie tempéré océanisé, en France puis en Limousin.

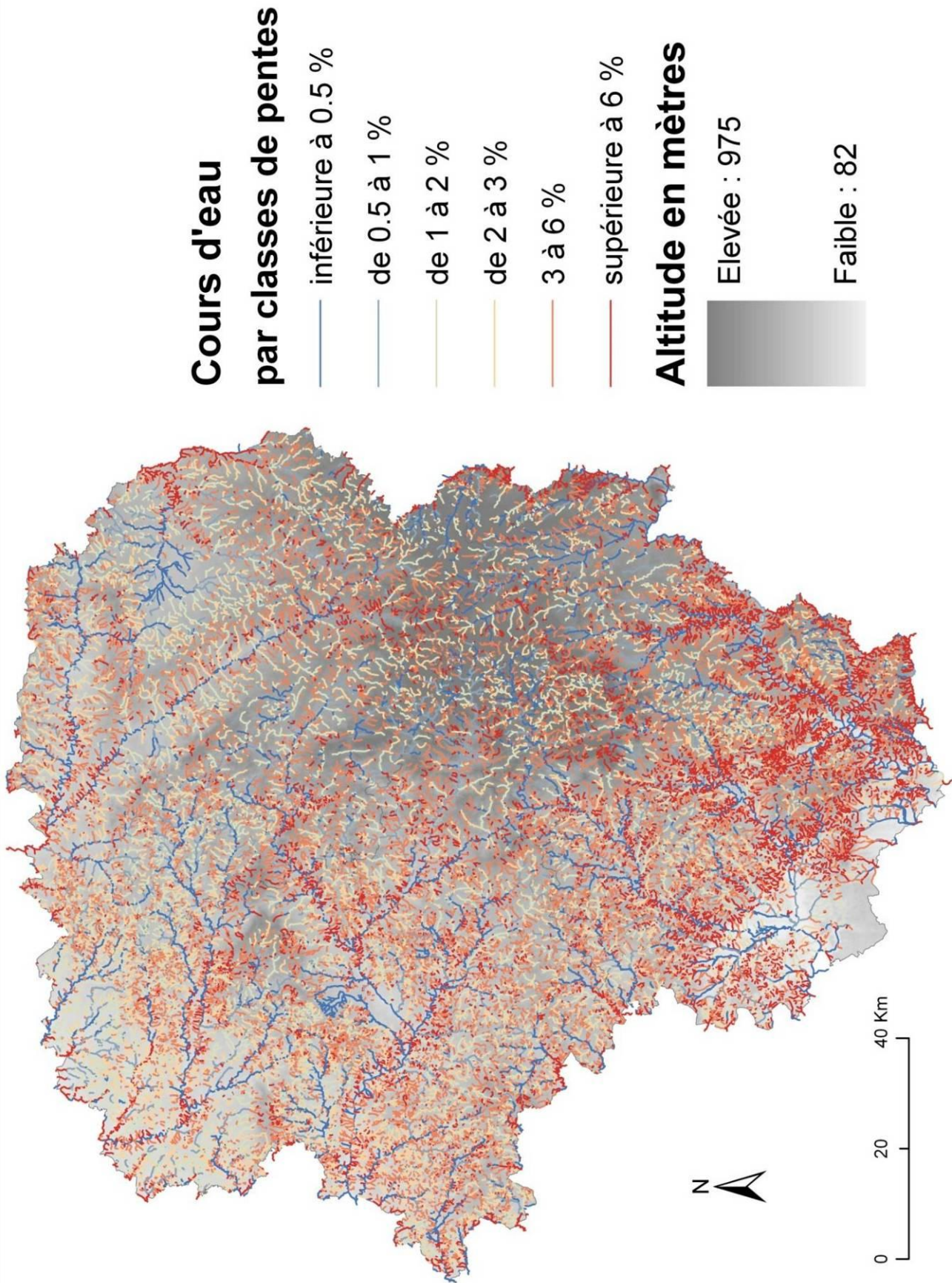
2.3. Régionalisation hydromorphologique des ruisseaux limousins

À l'échelle mondiale, les ruisseaux de l'ouest du bassin de la Loire appartiennent au domaine hydrodynamique du mésoréisme à faible énergie, en remontant sur les contreforts, les ruisseaux sont marqués par un mésoréisme dynamique, très ponctuellement à la marge du Cantal, règne le mésoréisme torrentiel. D'après Shumm, la tête de bassin versant est une zone de production sédimentaire. Or peu de publications hydromorphologiques portent sur cette partie des hydrosystèmes. Les travaux de Lamouroux pour la régionalisation hydroécologique du bassin de la Loire montrent que les petits cours d'eau peuvent avoir une puissance spécifique élevée comme ceux des régions limousines granitiques. Les ruisseaux des Plateaux granitiques limousins seraient ceux qui ont la plus forte puissance spécifique. En tenant compte des débits spécifiques de crue biennale et de caractéristiques morphométriques des ruisseaux de Monts et Barrages, nous avons réalisé une carte hydromorphologique des ruisseaux limousins.



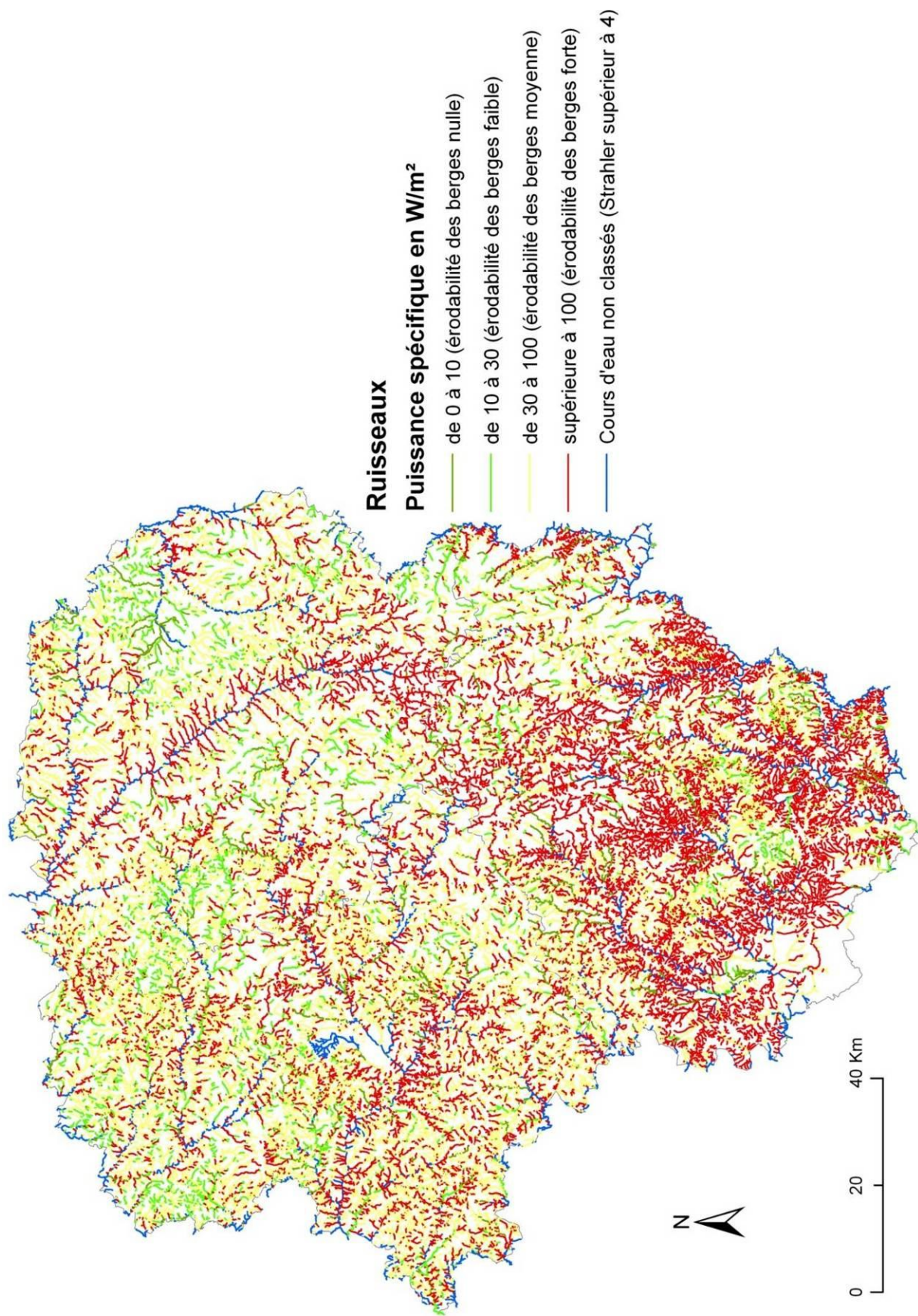
Les limites de classes de puissances spécifiques pour l'interprétation en termes de dynamiques hydromorphologiques sont celles proposées par Malavoi J.R.

Figure 183 : Carte des pentes des ruisseaux limousins



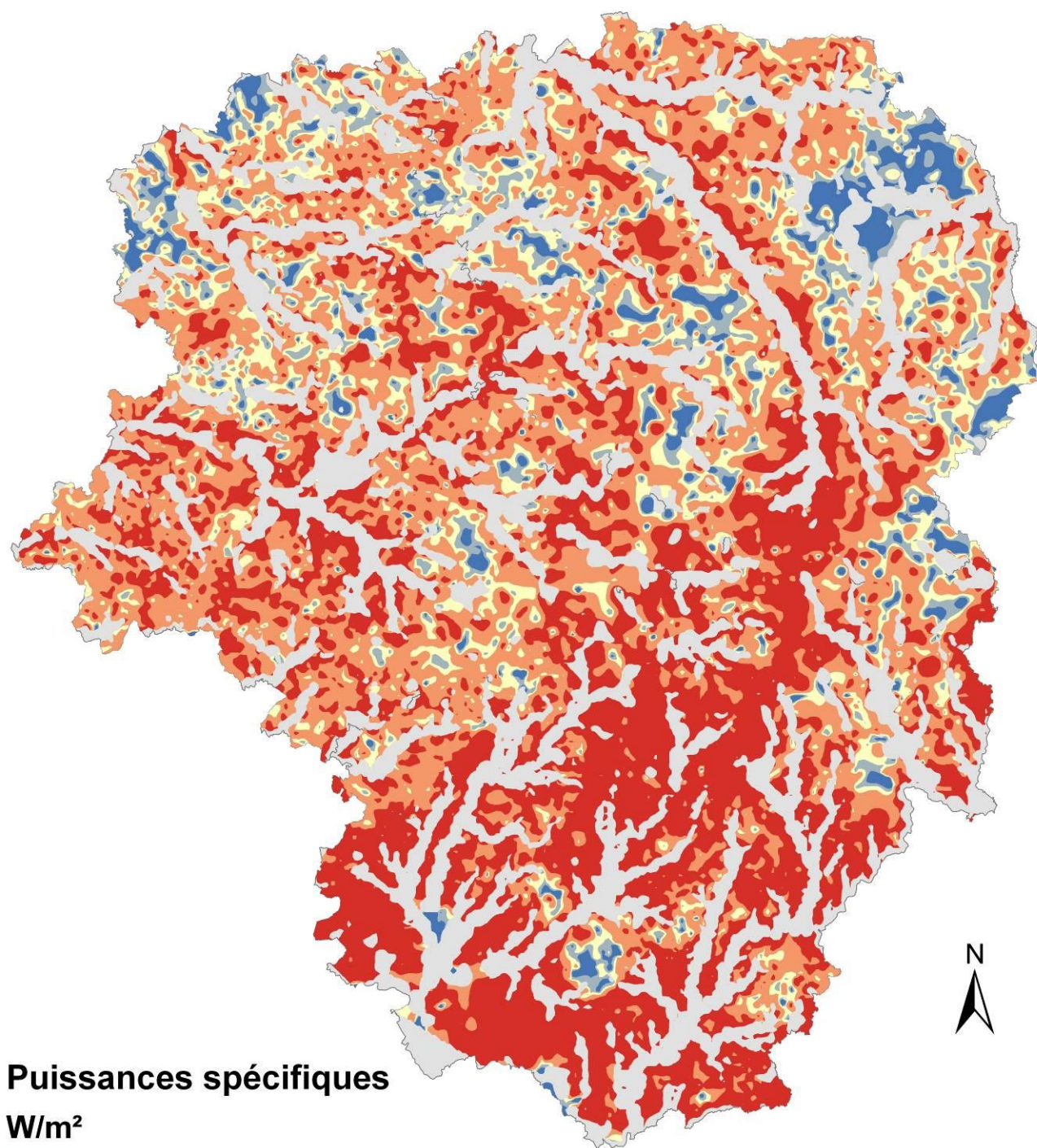
Sources : BD TOPO IGN, PNR Millevaches en Limousin, modifié par N Lhéritier, Banque Hydro
Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB, UMR 6042, 2011

Figure 184 : Carte des puissances spécifiques des ruisseaux limousins



Sources : BD TOPO IGN, PNR Millevaches en Limousin, modifié par N Lhéritier, Banque Hydro
Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB, UMR 6042, 2011

Figure 185 : Carte régionale des puissances spécifiques des ruisseaux limousins



Puissances spécifiques

W/m²



0 20 40 Km

Source : IGN BD TOPO
Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2011

Les ruisseaux limousins ont des puissances spécifiques faibles à fortes, garantissant une diversité hydromorphologique forte.

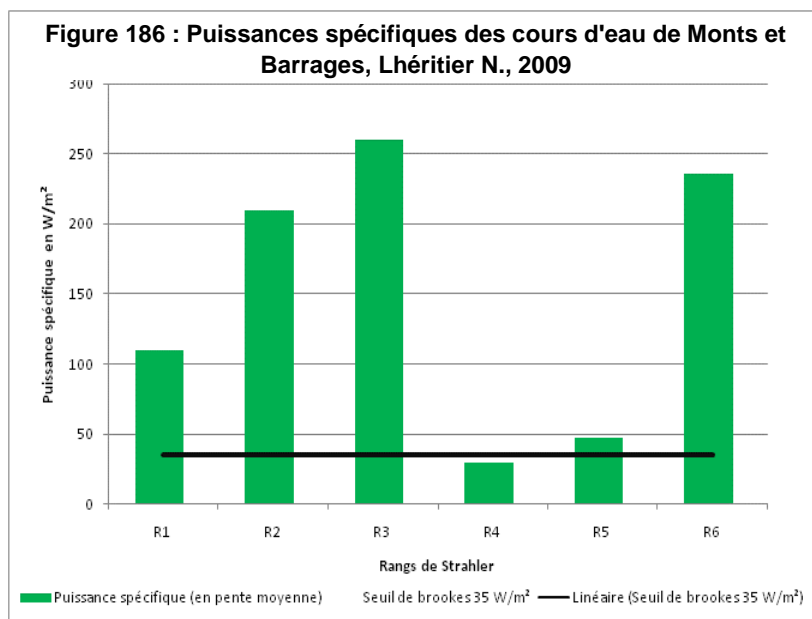
Photographie 22 : Cascade, embâcle et rapides sur les ruisseaux du Cayrou et de la Bedaine (19 – 15)



Les petits cours d'eau de Xaintrie, et notamment les affluents de la Dordogne et de la Maronne, peuvent avoir un véritable comportement de torrent lorsque des crues surviennent. En effet, leur forte pente couplée à des apports d'eau importants peut leur permettre de transporter de très grosses charges comme ces amas de troncs ci-dessus sur le ruisseau de la Bedaine, à la limite départementale Corrèze-Cantal.

Cette carte théorique ne vaut pas des mesures intégrales de tous les paramètres qui seraient réalisées individuellement sur chaque segment d'un même rang, cependant elle permet de différencier différentes zones hydromorphologiques.

Le graphique ci-contre rend compte des valeurs moyennes de cette puissance en fonction du gabarit des cours d'eau du Pays Monts et Barrages. Les puissances augmentent progressivement des rangs 1 vers les rangs 3. Elles sont toujours supérieures au seuil de Brookes sur les ruisseaux, ce qui veut dire que les petits cours d'eau du Pays ont en période de débit de plein bord la capacité de



mobiliser la charge de fond et d'accentuer des érosions de berges. Ils ont une forte capacité à fournir

Photographie 23 : Les apports d'un rang 2 au rang 3 du ruisseau d'Artigeas après une crue morphogène

Cliché : Nicolas Lhéritier



des sédiments pour les cours d'eau plus à l'aval. Les rangs 4 et 5 sont les tronçons les moins puissants où l'accumulation des sédiments issus des têtes de bassin va être la plus forte. Ceci ne veut pas dire qu'ils ne peuvent jamais les chasser plus loin, car dans le cas d'une crue plus forte, ils peuvent passer allègrement le seuil des 35 W/m^2 . Les rangs 4 et 5 correspondent à la Vienne de

Servières jusqu'à la confluence avec la Maulde, et à la Combade à l'aval de Sussac. La Vienne qui est en rang 6 à partir de la confluence avec la Maulde retrouve une forte capacité naturelle à mobiliser et transporter les sédiments. Il y a également des valeurs extrêmes minimales et maximales qui sont fonction des variations de la pente. Certains tronçons ont des puissances quasi nulles du fait de leur très faible pente alors que les rangs 2 et 3 les plus pentus ont des puissances pouvant dépasser les 1000 W /m².

Photographie 24 : A gauche : chenal de crue du ruisseau de Planchemouton ; à droite ruisseau de Planchemouton endigué



Photographie 25 : Succession d'érosions de berges actives sur le ruisseau de Bégogne, Lhéritier N., 2009



Photographie 26 : Ancien chenal artificiel du ruisseau de Bégogne, Lhéritier N., 2009



Photographie 27 : A Gauche : Un bras du ruisseau de Planchesuge s'écoulant dans une « lève » ; à droite, le ruisseau retrouve peu à peu dans son lit naturel, Lhéritier N., 2009



Les cours d'eau du Pays Monts et Barrages ont des puissances leur permettant de remodeler leur lit et leurs berges. Ceci veut dire que dans le cas de dégradations morphologiques des berges dues aux pratiques riveraines, la puissance des cours d'eau peut accentuer les phénomènes d'érosion. En revanche, une fois les érosions contrôlées, et les apports de sédiments limités, les cours d'eau ont la capacité de décolmater leur lit sans intervention humaine, et ce sur la plupart des tronçons. La réversibilité hydromorphologique peut être très rapide.

Photographie 29 : Un tronçon très sinueux sur le ruisseau d'Alesmes, Lhéritier N., 2009



Comme nous avons vu sur les cartes hydromorphologiques, le Limousin a des tronçons diversifiés du point de vue de leur puissance spécifique, les tronçons à faible énergie sont moins importants en terme de linéaire, mais sont bien présents. Comme ci-dessus : un tronçon méandreux du ruisseau d'Alesmes. Sur ces tronçons plats, les points durs du lit, et les variations d'écoulements sont essentiellement dus aux végétaux qui poussent sur des radiers ensablés si le tronçon bénéficie de suffisamment d'ensoleillement comme ci-contre sur le ruisseau du Mazet. L'hydromorphologie des ruisseaux ne dépend pas que d'éléments durs minéraux ou ligneux. Les callitriches et renoncules aquatiques permettent de fixer des atterrissement-sableux, de créer des habitats de refuge pour la faune piscicole, et de garantir des vitesses d'écoulement variées.

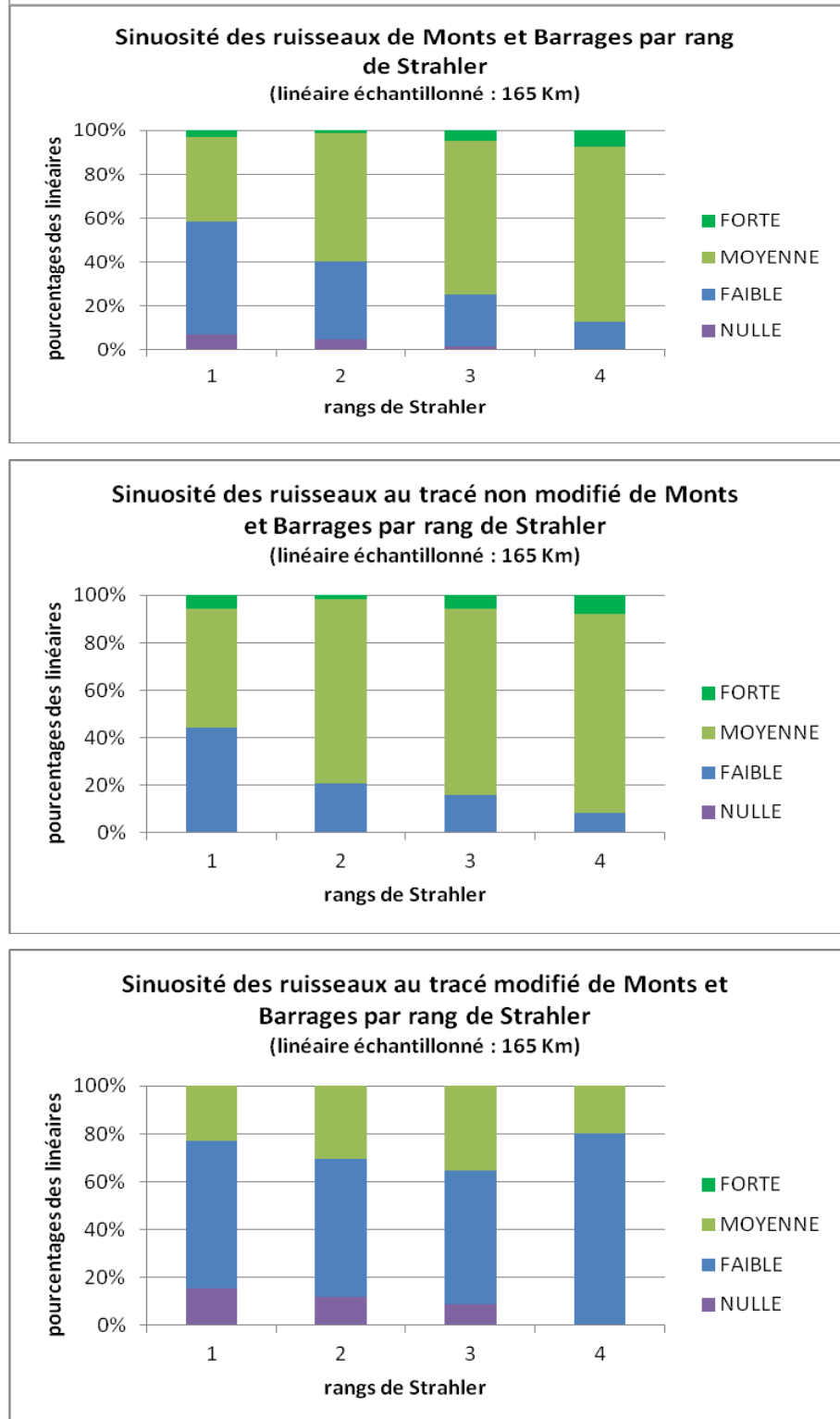
Photographie 28 : Végétation aquatique ancrée et diversifiant l'écoulement sur un tronçon sableux du Mazet, Lhéritier N., 2009



2.4. Morphométrie et morphologie des berges et des lits et relations avec la nature des sols riverains

Dans le territoire de Monts et Barrages, la sinuosité des cours d'eau augmente avec le rang de Strahler. Cette augmentation de la sinuosité est en lien avec la diminution de la pente qui est quant à elle de plus en plus faible au fil des confluences. Cette relation purement topographique n'explique pas seule que les cours d'eau de faible rang soient moins sinueux que les rangs 3. En effet, si on ne tient compte que des tronçons n'ayant pas été modifiés récemment ou anciennement, cette tendance s'observe mais est moins marquée. Si on s'intéresse aux tronçons qui ont connu une rectification ancienne et récente, on s'aperçoit que l'anthropisation de leur tracé est déterminante dans l'explication de cette sinuosité, car elle explique les sinuosités nulles.

Figure 187 : Sinuosité des ruisseaux de Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009



Les rapports entre la largeur et la profondeur de plein bord renseignent également sur la dynamique hydromorphologique des ruisseaux, plus ce rapport est faible, plus le cours d'eau a tendance à inciser en profondeur, plus il est grand, plus le cours d'eau érode en largeur et a tendance à s'élargir, mais aussi à étaler ses sédiments.

Tableau 38 a et b : Rapports largeurs / profondeurs de pleins bords des ruisseaux de Monts et Barrages

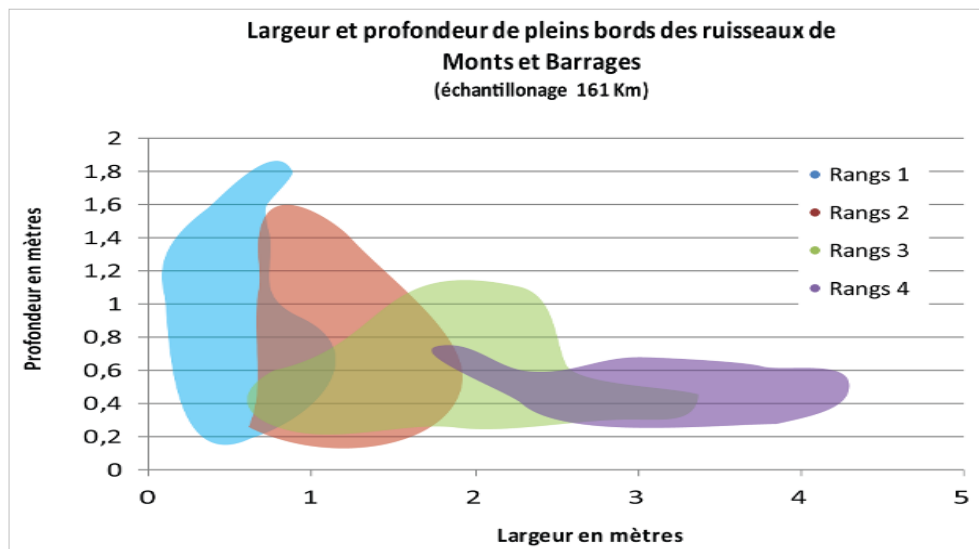
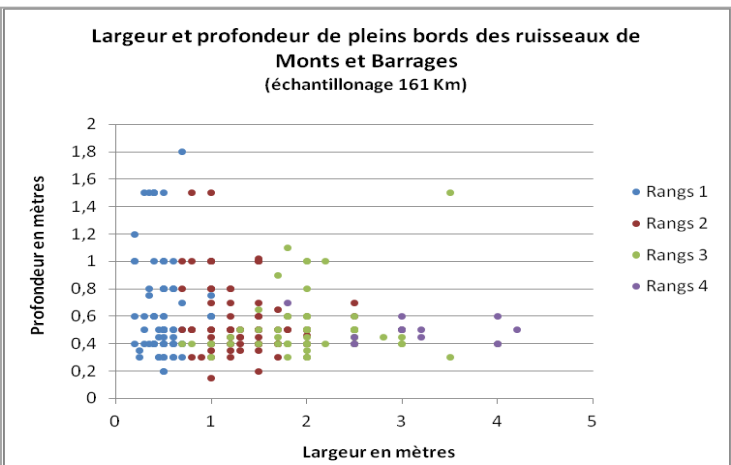
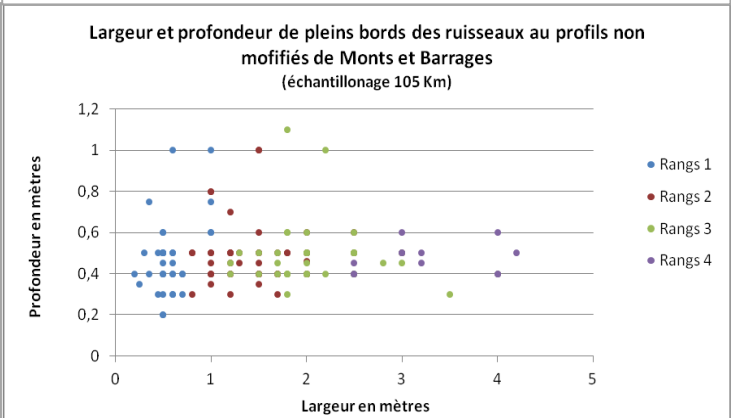
Rang de Strahler	Hauteur de berges moyenne en débit de pleins bords en mètres	Largeur du lit moyenne en débit de pleins bords en mètres
1	0,65	0,51
2	0,56	1,44
3	0,51	2,07
4	0,49	3,14

Rang de Strahler	Moyenne de rapport lp	Min de rapport lp	Max de rapport lp
1	1,0	0,2	2,5
2	3,0	0,5	7,5
3	4,4	1,6	11,7
4	6,6	2,6	10,0

On remarque alors que les faibles rangs ont une tendance à l'incision, les rangs plus importants ont une tendance à l'élargissement. Là encore, cela s'explique pour des raisons naturelles, mais aussi anthropiques puisque les extrêmes minimaux de ces rapports ne se retrouvent que pour les cours d'eau aux tracés et profils modifiés des rangs 1, 2 et 3.

Qu'il s'agisse de la sinuosité ou du rapport entre les largeurs et profondeurs de pleins bords, les caractéristiques des faibles rangs de Strahler dépendent de caractéristiques géomorphologiques et de la pente de leurs talwegs mais aussi de l'anthropisation qui est grandissante des rangs 4 aux rangs 1.

Figure 188 a, b et c : Variation des largeurs et profondeurs de pleins bords des ruisseaux de Monts et Barrages en fonction de l'anthropisation de leurs tracés, Lhéritier N., 2009



L'état morphologique des berges dépend de leur texture, de leur couvert végétal et du potentiel érosif du cours d'eau mais aussi des activités humaines et de l'occupation des sols. Du point de vue de leur texture, les sols riverains des cours d'eau sont la plupart du temps composés d'argiles, de limons, de sables, de graviers, de pierres, de blocs en proportions différentes selon les sites. Ces proportions semblent dépendre des cycles érosifs qui ont façonné les talwegs et les replats alluviaux qui bordent les cours d'eau.

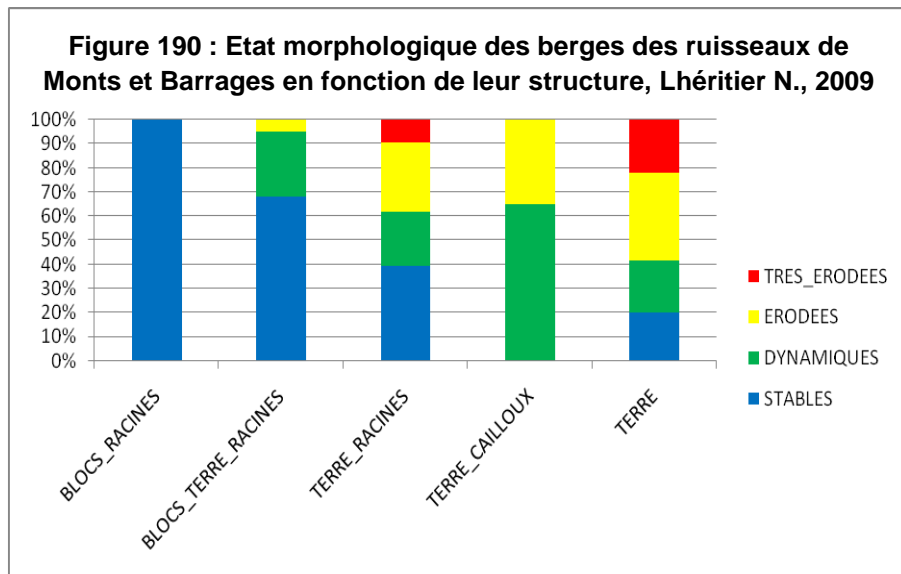
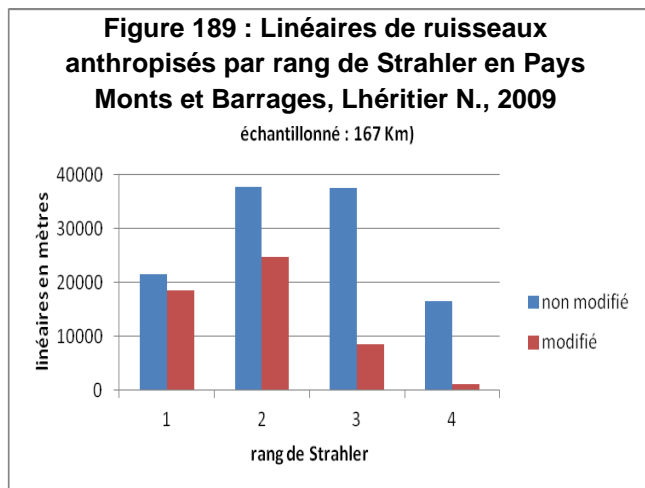
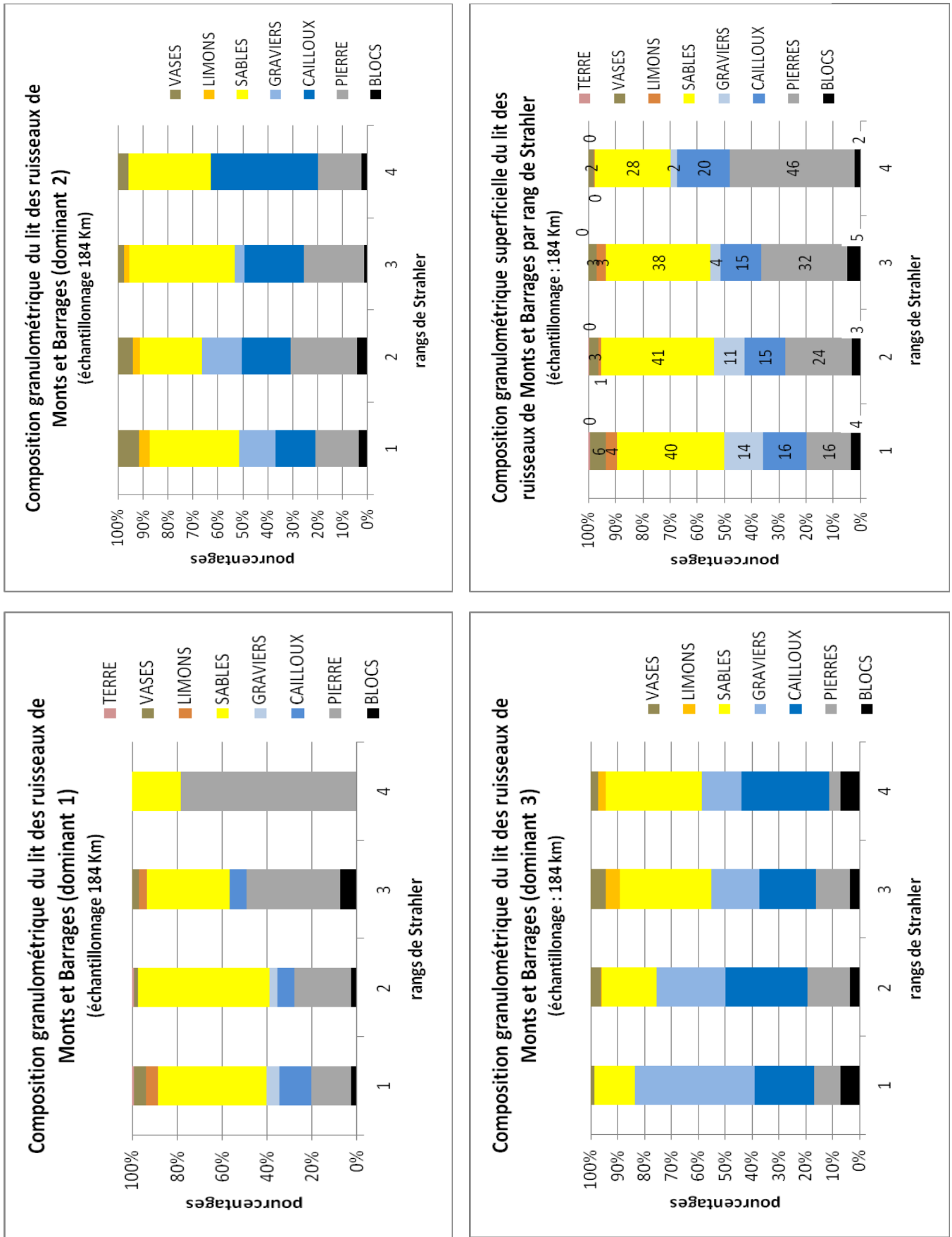
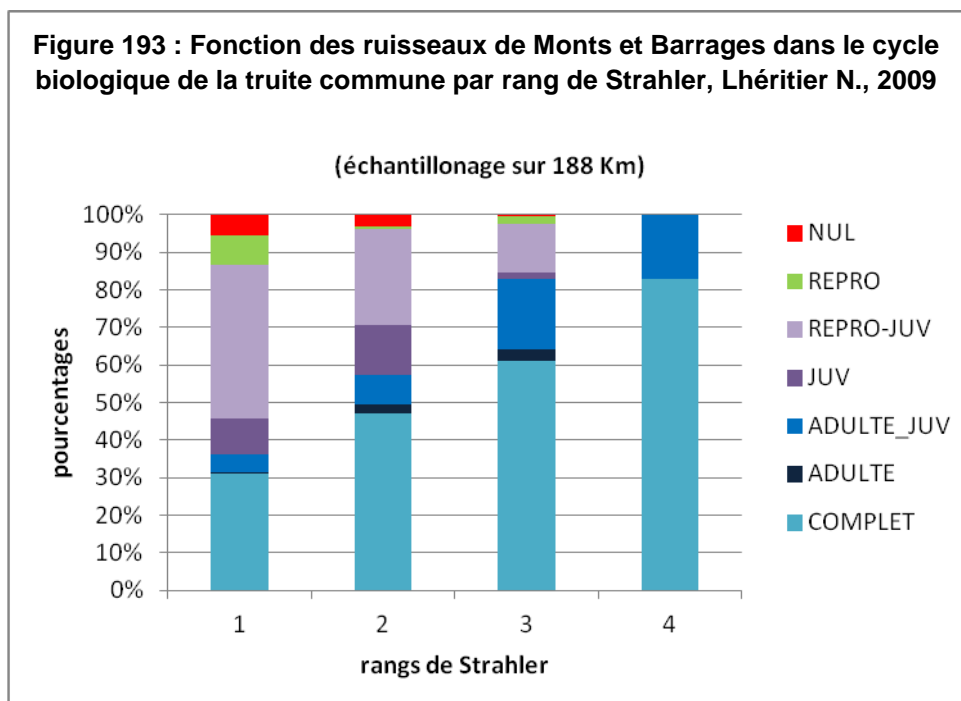
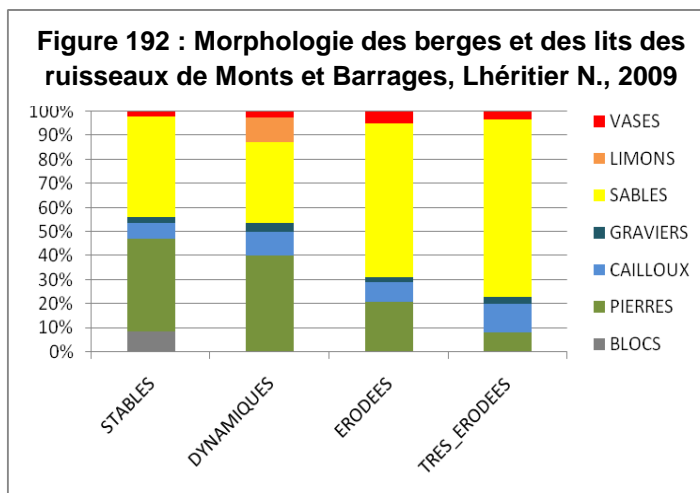


Figure 191 : La granulométrie des lits des ruisseaux du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009



Les deux éléments granulométriques dominants du lit des ruisseaux sont les sables et les pierres. Le sable est le substrat le plus présent sur les rangs 1 et 2, et les pierres sur les rangs 4. Les rangs 3 sont en position transitoire. Les cailloux et graviers ne sont pas assez souvent représentés pour être les substrats dominants d'un linéaire important. En revanche, ils sont bien représentés dans la granulométrie secondaire, ou tertiaire. En prenant en considération le coefficient de dominance de chaque élément, on s'aperçoit que le sable représente 40 % de la granulométrie superficielle du lit des ruisseaux.

Sur le territoire du Pays Monts et Barrages, lorsque l'on met en relation la morphologie des berges avec la nature des sols qui les composent, on s'aperçoit que ce sont les berges en sols épais organiques qui sont les plus sensibles à l'érosion. La différence de résistance entre ces couches permet au cours d'eau d'éroder les berges sableuses, ou au contraire d'être plutôt canalisé entre des berges en argile.



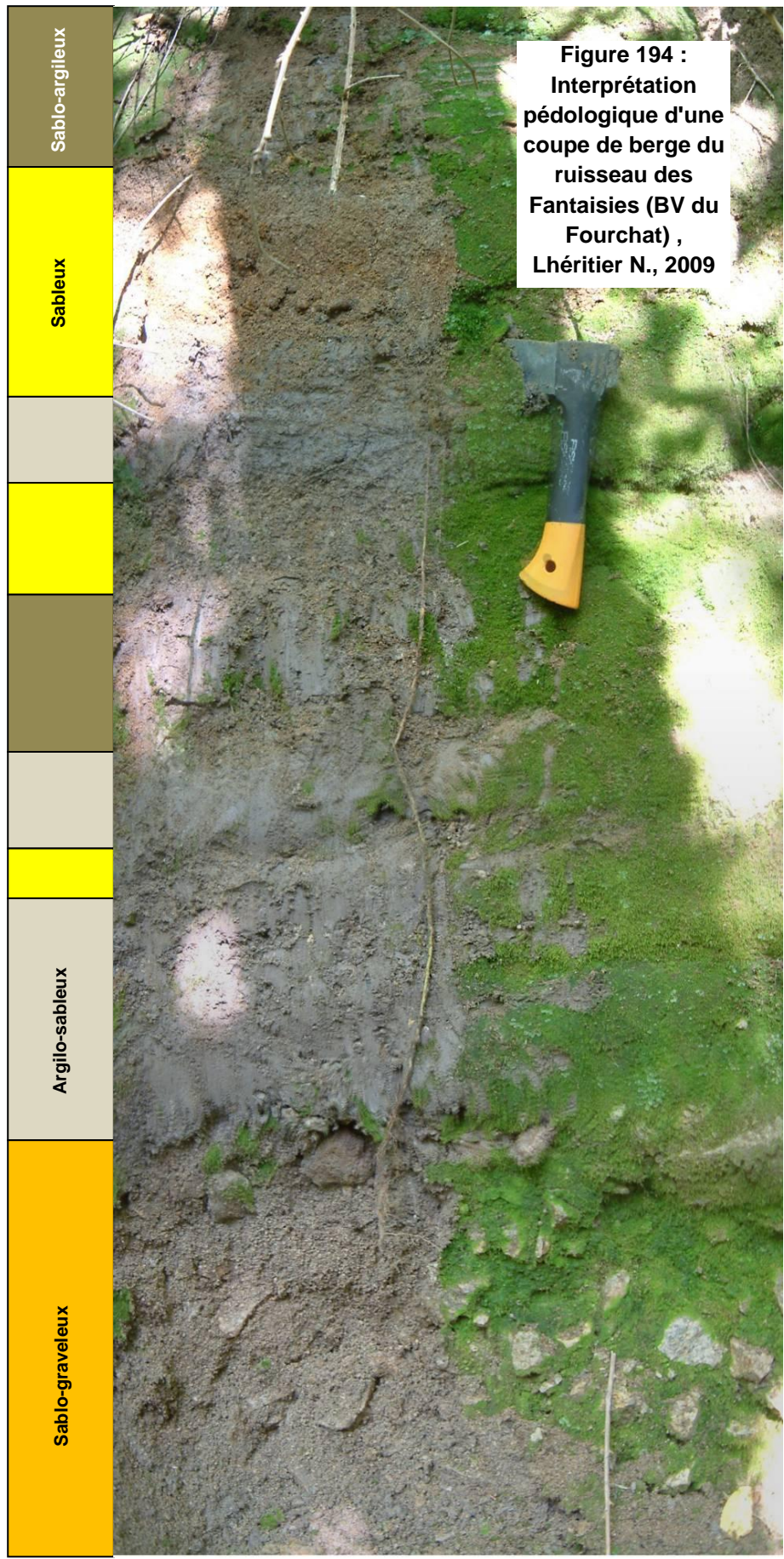
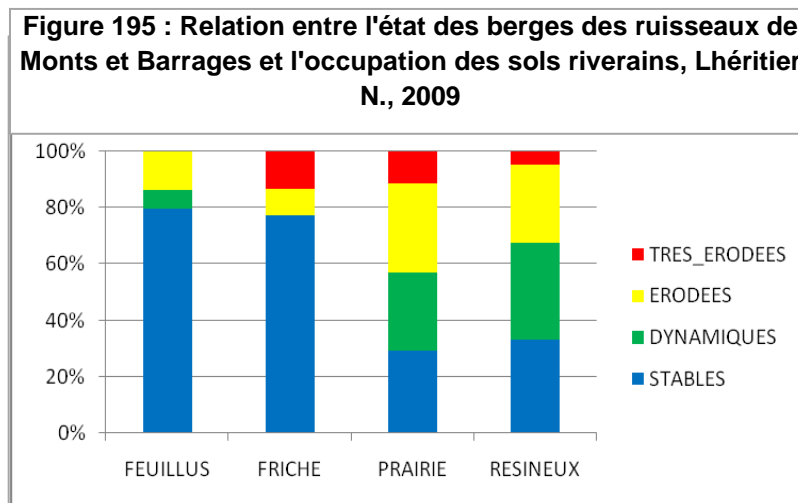


Figure 194 :
Interprétation
pédologique d'une
coupe de berge du
ruisseau des
Fantaisies (BV du
Fourchat) ,
Lhéritier N., 2009

Au cours de leur formation, les petits cours d'eau ont connu des crises érosives et des phases de dépôt sédimentaires qui dépendent de l'hydrologie de la période et de la couverture du sol par les végétaux. Les enfoncements de lit marqués sont l'occasion d'appréhender la complexité de ces phénomènes et les alternances des types de sols composant les berges.

La photographie ci-dessus illustre les différents horizons que l'on peut trouver en berges de cours d'eau. Ici, sur le ruisseau de Fourchat, on constate que le ruisseau a érodé des sols constitués de couches de sables et d'argiles.

L'érosion des sols due aux activités humaines est alors suspectée.



Face à l'influence des activités humaines, les berges réagissent différemment en fonction de leur pédologie. Les sols tourbeux et paratourbeux sont également présents, ils sont le résultat d'une accumulation de matières organiques dans un milieu asphyxié du fait de l'hydromorphie, ce qui ralentit considérablement la décomposition de la matière organique. La particularité des berges sur ce type de sols est leur capacité de « cicatrisation » (communication personnelle Erwan Hennequin CREN Limousin). En effet, la dynamique des végétaux pionniers permet de végétaliser rapidement un sol dénudé par l'érosion mécanique du piétinement du bétail. Il faut toutefois que ce pâturage soit périodique et le chargement faible.

Photographie 30 : Ruisseau s'écoulant dans une prairie paratourbeuse ; clichés N. Lhéritier, 2009



Les cours d'eau dans ces milieux tourbeux et paratourbeux sont riches en habitats de sous-berges. En effet, la production végétale s'effectue par progression des bombements de sphaignes vers le centre du chenal. Ce sont le pâturage et les crues qui empêchent le recouvrement du cours d'eau par ces bombements. Nous pouvons alors ajouter généralement 2 fois la largeur de la surface en eau pour obtenir la largeur totale du cours d'eau. Ci-dessus un cours d'eau en prairie paratourbeuse, affluent du ruisseau de Grigeas, les bombements de sphaignes avancent sur le cours d'eau.

Des sols à textures très fines composées de limons, d'argiles, et de sables fins peuvent également composer les berges comme ci-dessous sur le ruisseau de Bégogne et de Ligonat. Dans ce cas, les matériaux issus de l'érosion des berges vont être extrêmement colmatants.

Photographie 31 : Berges limoneuses des ruisseaux de Ligonat et de Bégogne ; clichés : N.Lhéritier, 2009



Les têtes de bassin de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins

Photographie 32 : Érosions sur un affluent du ruisseau du Mazet ; clichés : N. Lhéritier, 2009



Des sols graveleux confèrent un lit de graviers aux plus petits écoulements, ci-dessous un rang 1 affluent du ruisseau d'Alesmes dont le tracé est régulièrement refait au taille pré. La profondeur de la taille atteint une couche graveleuse située sous la couche organique du sol à une profondeur de 20 à 25 cm.

Photographie 33 : Berges graveleuses d'une rigole ou rang 1 affluent du ruisseau d'Alesmes ; clichés : N. Lhéritier, 2009



Évidemment, en fonction du type de sol, les travaux d'aménagement des cours d'eau, comme le recalibrage, le rigolage, mais aussi les travaux préparatifs au drainage souterrain, à la plantation d'arbres, les labours et également le piétinement des berges par le bétail n'auront pas les mêmes conséquences. Un recalibrage de cours d'eau sur sol sableux va libérer énormément de sable à l'aval des travaux et ne va pas se stabiliser jusqu'à trouver son profil d'équilibre, comme l'illustrent les photographies ci-contre sur le ruisseau de Planche Suge.

Une rigole sur sol strictement argileux créée avec une rigoleuse aura des berges lisses. En revanche une rigole bien dimensionnée, créée sur un sol comprenant une fraction graveleuse va éroder ses berges et se constituer un lit graveleux.

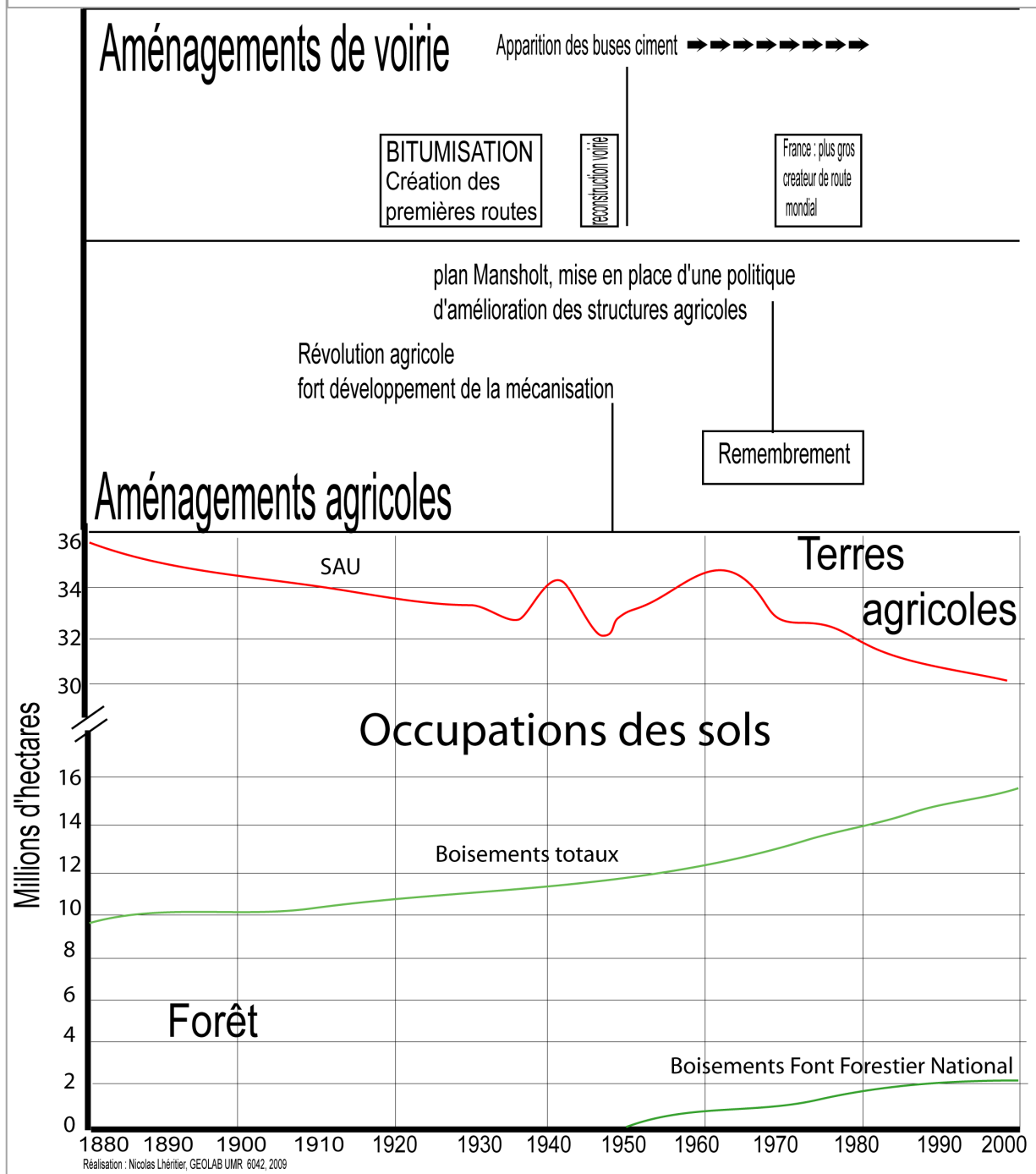
Ces deux illustrations de recalibrage sont des exemples extrêmes des pratiques et types de sols, il existe des situations intermédiaires en fonction des types de sols. Les érosions de berges et les surcreusements du lit sont l'occasion de voir la composition des sols riverains. Biogéographie de l'environnement des têtes de bassin françaises et interaction avec les sociétés

Photographies 34a et b : Érosions de berges limono-sableuse sur le ruisseau de Planchesuge ; clichés : N. Lhéritier, 2009



3. Biogéographie de l'environnement des têtes de bassin françaises et interaction avec les sociétés

Figure 196 : Les évolutions de l'occupation des sols et l'apparition des infrastructures du XXe siècle influençant les ruisseaux et les petits bassins versants

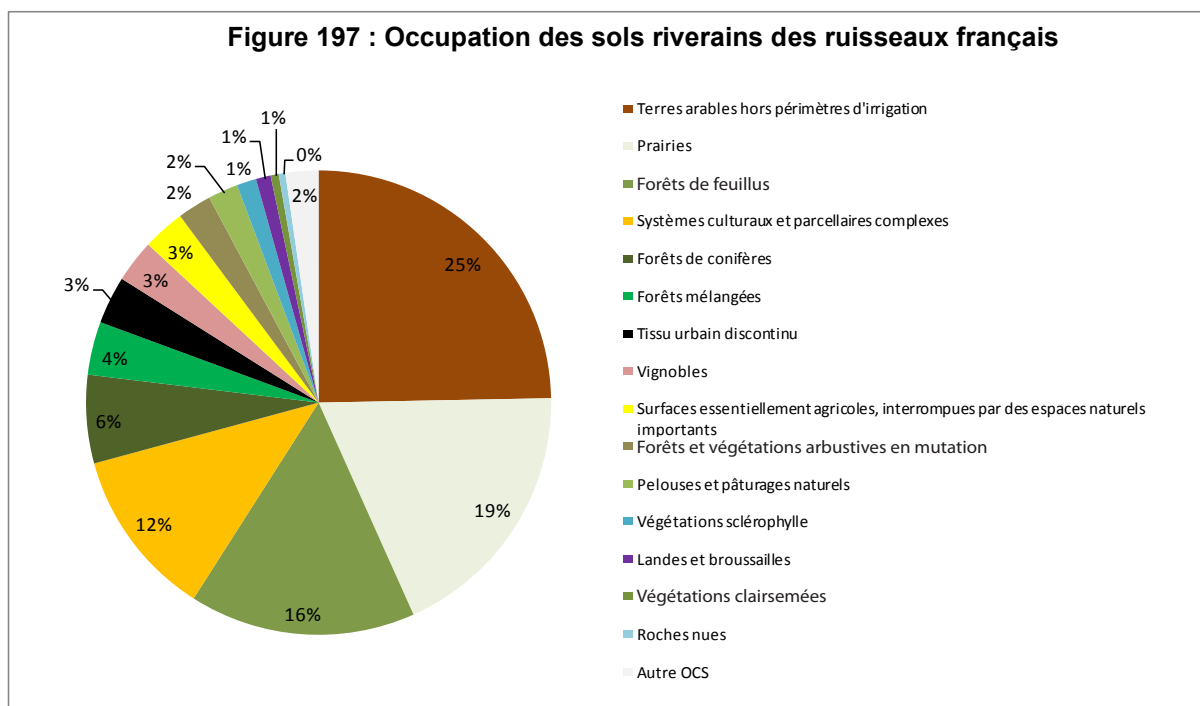


Le problème définitoire du ruisseau et des cours d'eau en général a engendré leur non-consideration dans différents types d'aménagements. Au cours du XXème siècle, la modernisation de l'activité agricole a permis de réorganiser les territoires ruraux. Les ruisseaux n'ont pas échappé à cette étape de l'aménagement du territoire. Les territoires « délaissés » se sont boisés naturellement ou ont été boisés dans un but de reconversion économique. Les nouvelles techniques de franchissements routiers ont également remplacé les anciens ponts de pierres et n'ont pas pris en compte les ruisseaux.

3.1. L'occupation des sols en tête de bassin, une majorité de terres arables

L'environnement riverain proche des rangs 1 et 2 (carré de 1 Km² dans lequel s'écoule un tronçon de rang 1 ou 2 de la BD Carthage) représente en moyenne 6,5 % du territoire français.

Si on s'intéresse à l'occupation des sols riverains des ruisseaux, on s'aperçoit qu'ils sont essentiellement agricoles. Les terres arables occupent 25 % des sols riverains. Viennent ensuite les prairies temporaires ou permanentes avec 19 %, la forêt de feuillus avec 16%, et enfin une zone dénommée par Corine Land Cover comme étant des systèmes culturaux et parcellaires complexes. Les bassins versants des ruisseaux sont donc incontestablement agricoles avec des enclaves forestières feuillues.

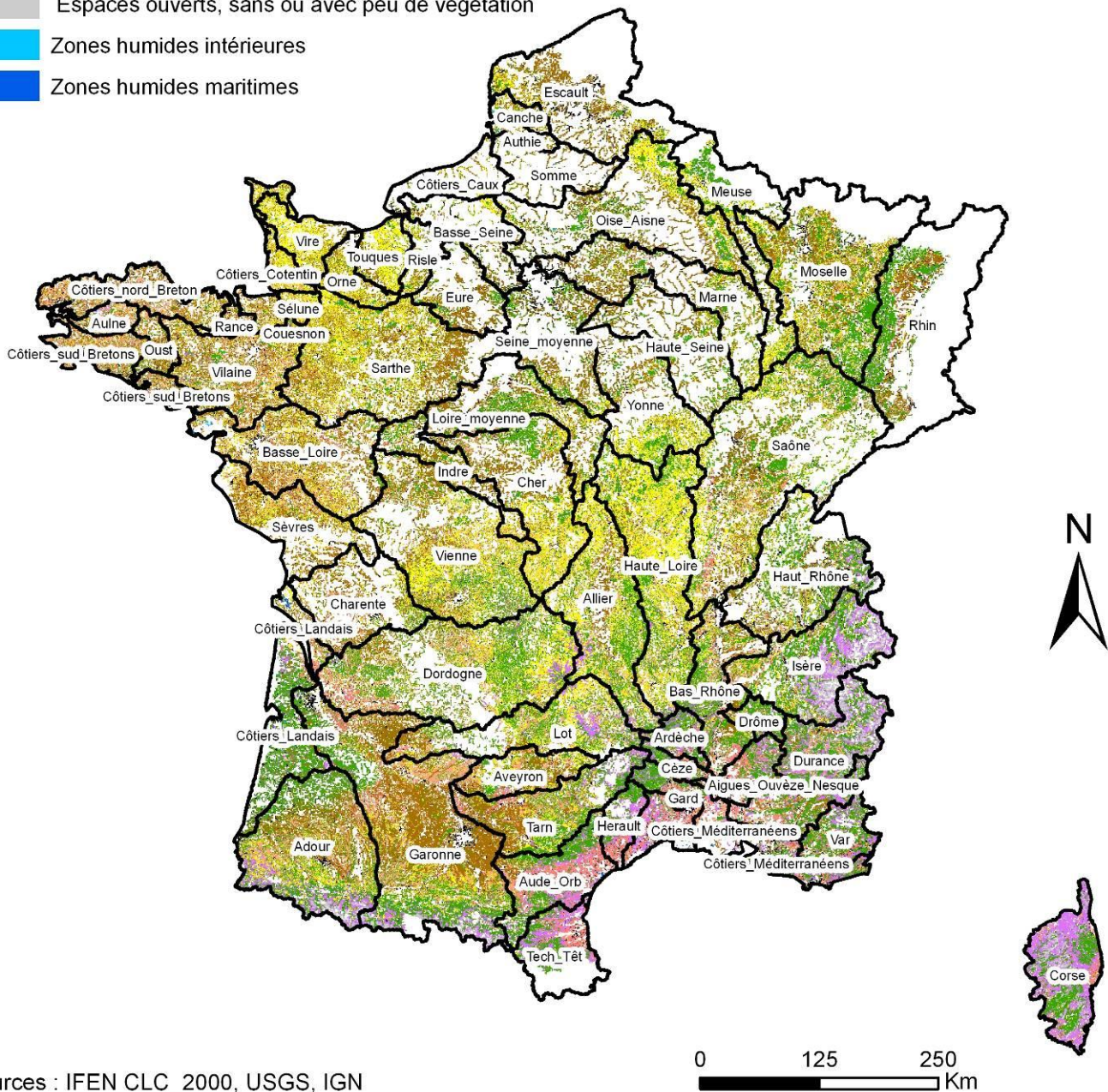


En effectuant la cartographie des têtes de bassin par grands bassins, on s'aperçoit que des bassins sont majoritairement agricoles, et que d'autres sont forestiers avec une part plus ou moins importante de milieux « naturels » riverains.

Occupation des sols CLC 2000

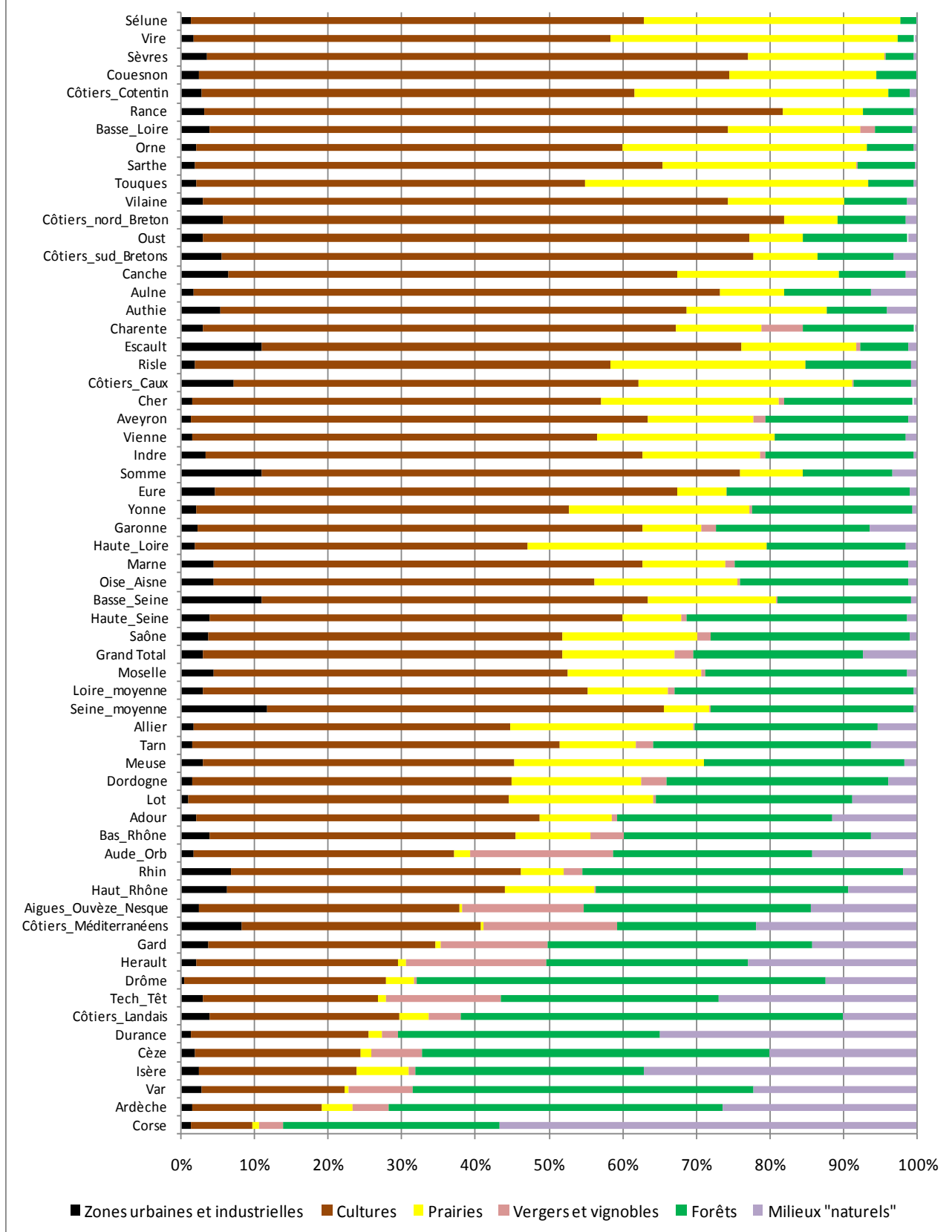
- Territoires artificialisés
- Terres arables
- Cultures permanentes
- Prairies
- Zones agricoles hétérogènes
- Forêts
- Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée
- Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation
- Zones humides intérieures
- Zones humides maritimes

Figure 198 : Carte de l'occupation des sols riverains des ruisseaux français



Sources : IFEN CLC_2000, USGS, IGN
 Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 6042, 2010

Figure 199 : Occupation des sols riverains des ruisseaux français par grands bassins versants

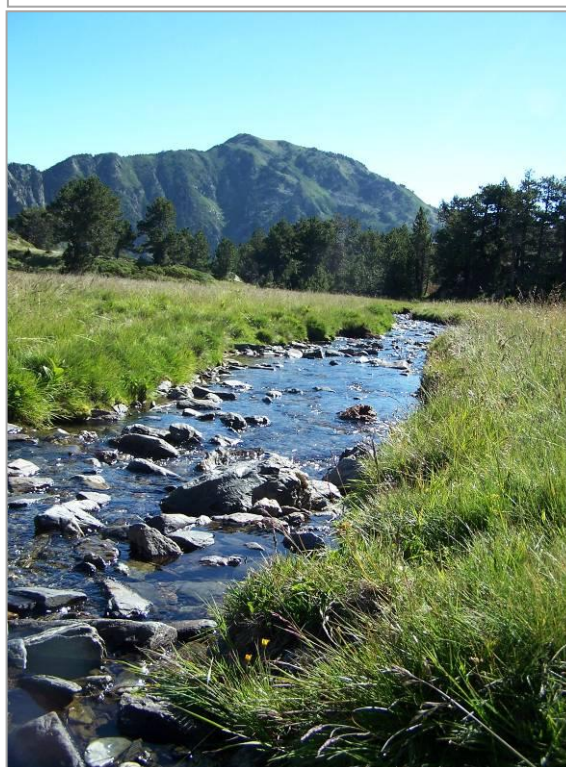


**Photographie 36 : Podzines et lac Nino (Corse),
Lhéritier N.**



Le degré de naturalité des têtes de bassin est donc variable sur les différents grands bassins français, certaines vont être exclusivement agricoles alors que d'autres sont encore bien occupées par des habitats naturels du fait des reliefs accidentés.

**Photographie 35 : Un affluent de la Têt
(Pyrénées-Orientales), Lhéritier N.**



Certaines régions de tête de bassin subissent beaucoup plus de pressions que d'autres, et surtout vis-à-vis de l'agriculture.

La déprise agricole a fait évoluer le paysage de la campagne limousine, et plus généralement les régions rurales de moyenne montagne. Dans le département de la Haute-Vienne, on comptait 26 642 agriculteurs en 1955 et seulement 8 330 en 1996, ce qui représente une baisse de 69 %. Sur le plateau de Millevaches Haut-Viennois, la baisse est plus marquée, elle approche les 80 %, puisqu'en 1955 il y avait 1718 agriculteurs, et qu'aujourd'hui, il n'y en a plus que 370.

Si nous prenons l'exemple de la commune de Bujaleuf, la baisse est de type plateau de Millevaches, de l'ordre de 79 % avec 179 agriculteurs en 1955 et 38 en 1996. La SAU a connu une baisse entre 1955 et 1970, mais elle s'est ensuite stabilisée, alors que le nombre d'exploitants continuait de baisser. Moins de main-d'œuvre pour une même surface de SAU, engendre forcément des besoins de mécanisation et d'optimisation du travail, du cheptel et du parcellaire.

Cela se traduit par un agrandissement et un regroupement des prairies permanentes ou temporaires, par divers moyens, arrachages de haies, drainages ; ainsi que par une augmentation du nombre de têtes par troupeau. La mobilité saisonnière des troupeaux est réduite, les vaches autrefois

rentrées à l'étable durant tout l'hiver sont de plus en plus en stabulation libre et restent en pâture jusqu'à ce que les conditions climatiques ne le permettent plus (enneigement). Les apports fourragers sont alors constitués dans des parcelles de manière plus ou moins localisées. Certains bassins versants ont des superficies de drainage importantes, surtout ceux qui sont majoritairement occupés par les cultures.

D'après les cartographies réalisées à l'aide de la base de données Corine Land Cover, il est possible de diviser le territoire en 3 grandes zones du point de vue des activités demandeuses d'espaces. Une première à l'est correspond au plateau de Millevaches, elle est dominée par la sylviculture de résineux et l'élevage. Une seconde zone au sud-ouest est dominée par l'élevage et secondairement par les cultures. Enfin le nord-ouest du territoire est consacré aux cultures et à l'élevage.

La sylviculture de résineux se trouve également au nord-ouest mais moins densément que sur l'est du territoire. Le *saltus d'autrefois* du plateau de Millevaches, à l'instar de celui de la Montagne limousine, est valorisé par la sylviculture et est devenu une rente très importante à l'échelle du territoire. Actuellement, les essences les plus cultivées sont les essences résineuses, le douglas et l'épicéa.

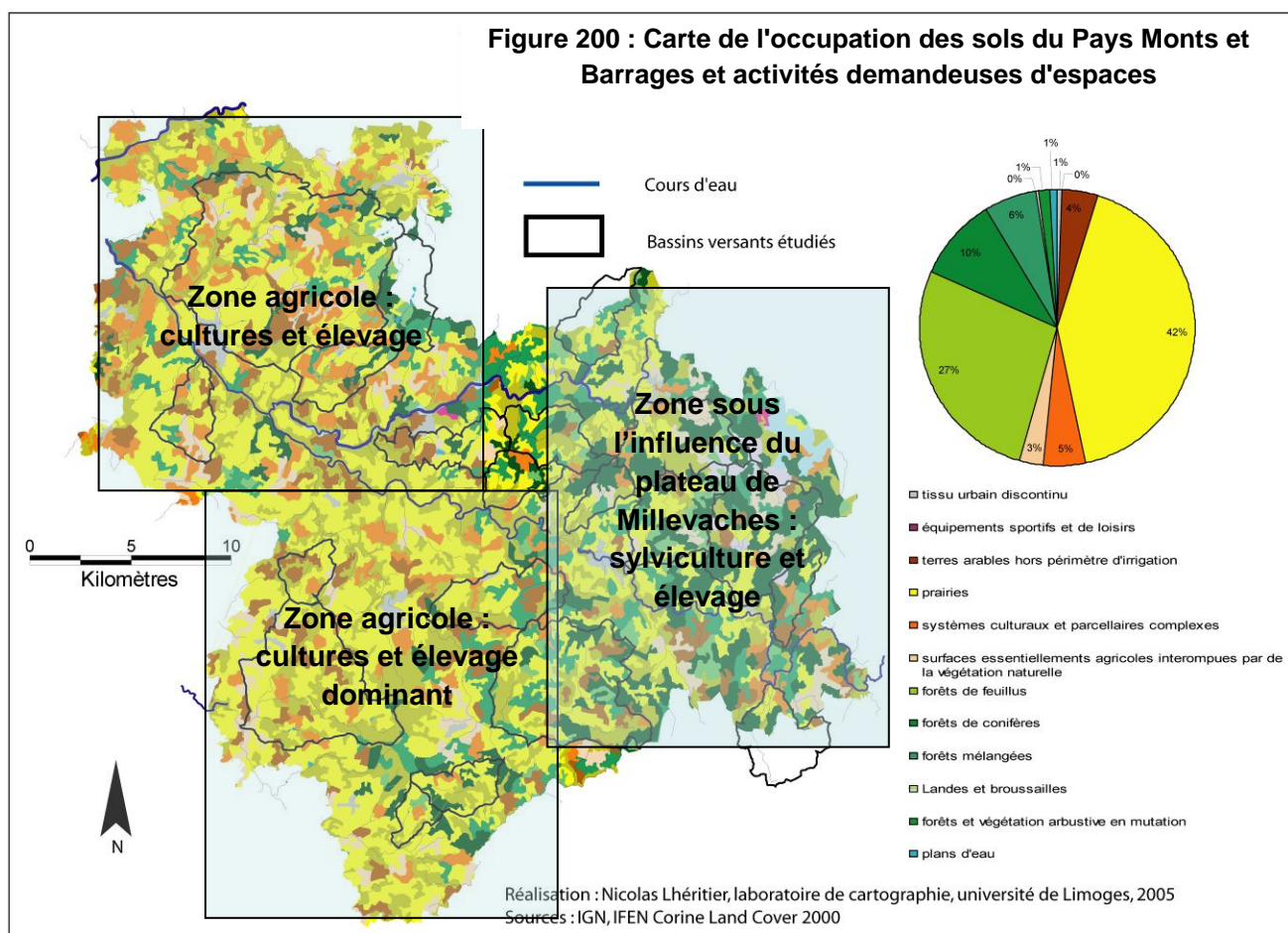
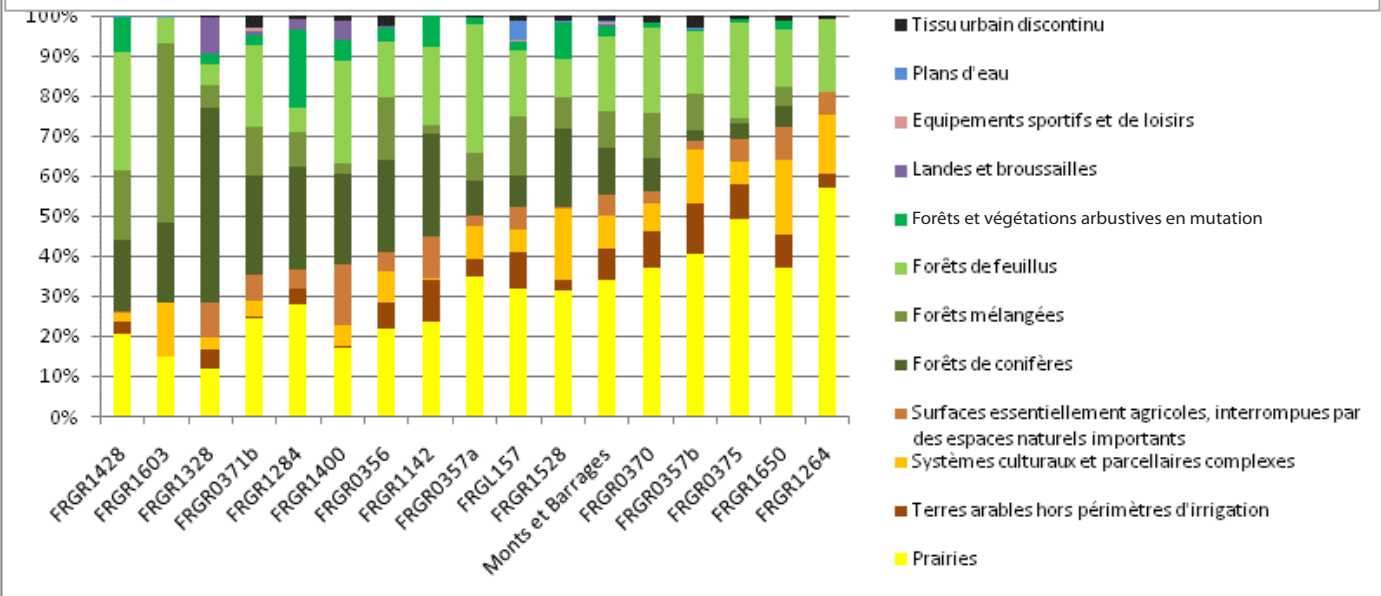


Figure 201 : Occupations des sols des masses d'eau du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009

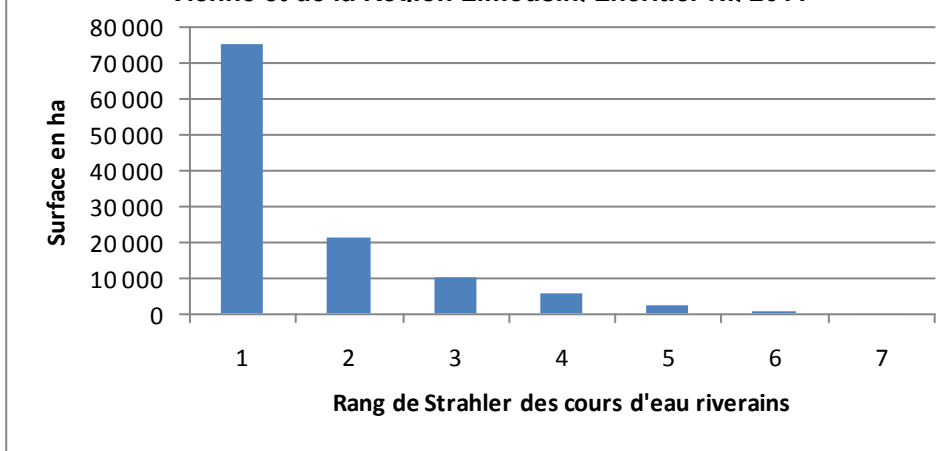


Le territoire de Monts et Barrages s'avère être représentatif d'une partie des têtes de bassins françaises.

3.2. L'omniprésence des zones humides

En croisant la BD Carthage ordonnée selon Strahler, avec la surface de dominante humide issue de la base de données de la région Limousin et de l'Établissement Public du Bassin de la Vienne, on s'aperçoit que les têtes de bassin (en les considérant comme les BV des rangs 1 et 2) regroupent 100 000 hectares de zones humides soit 83 % des zones à dominante humide du bassin.

Figure 202 : Surfaces cumulées des zones à dominante humide par rang de Strahler sur le bassin de la Vienne, d'après les données de l'EPTB Vienne et de la Région Limousin. Lhéritier N., 2011

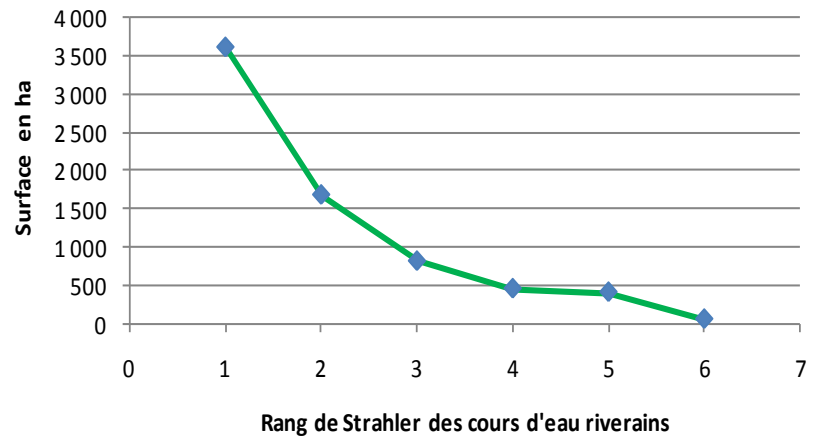


Dans un second temps en calculant le rapport entre la surface des zones humides et le type de cours d'eau qu'elles bordent, on s'aperçoit que 1 mètre de cours d'eau (selon BD Carthage) est

accompagné de 16 à 20 m² de zones à dominante humide, et ce quelque soit son rang. Si la largeur et plus globalement le gabarit des cours d'eau, en matière de débit et de hauteur d'eau, augmentent avec le rang, l'association à une surface de zone humide ne varie pas ou très peu. De ce fait, la même surface de zone humide associée à un rang 1 ou 7 laisse présager des relations hydrologiques bien plus fortes entre les petits cours d'eau et les zones humides riveraines.

Les cours d'eau de tête de bassin de la Vienne en abritant une surface telle de zones humides, et en ayant des petits gabarits, sont disposés à être gouvernés par les zones humides.

Figure 203 : Surfaces cumulées de zones à dominante humide par rang de Strahler, d'après les données de l'EPTB Vienne et de la Région Limousin, Lhéritier N., 2009

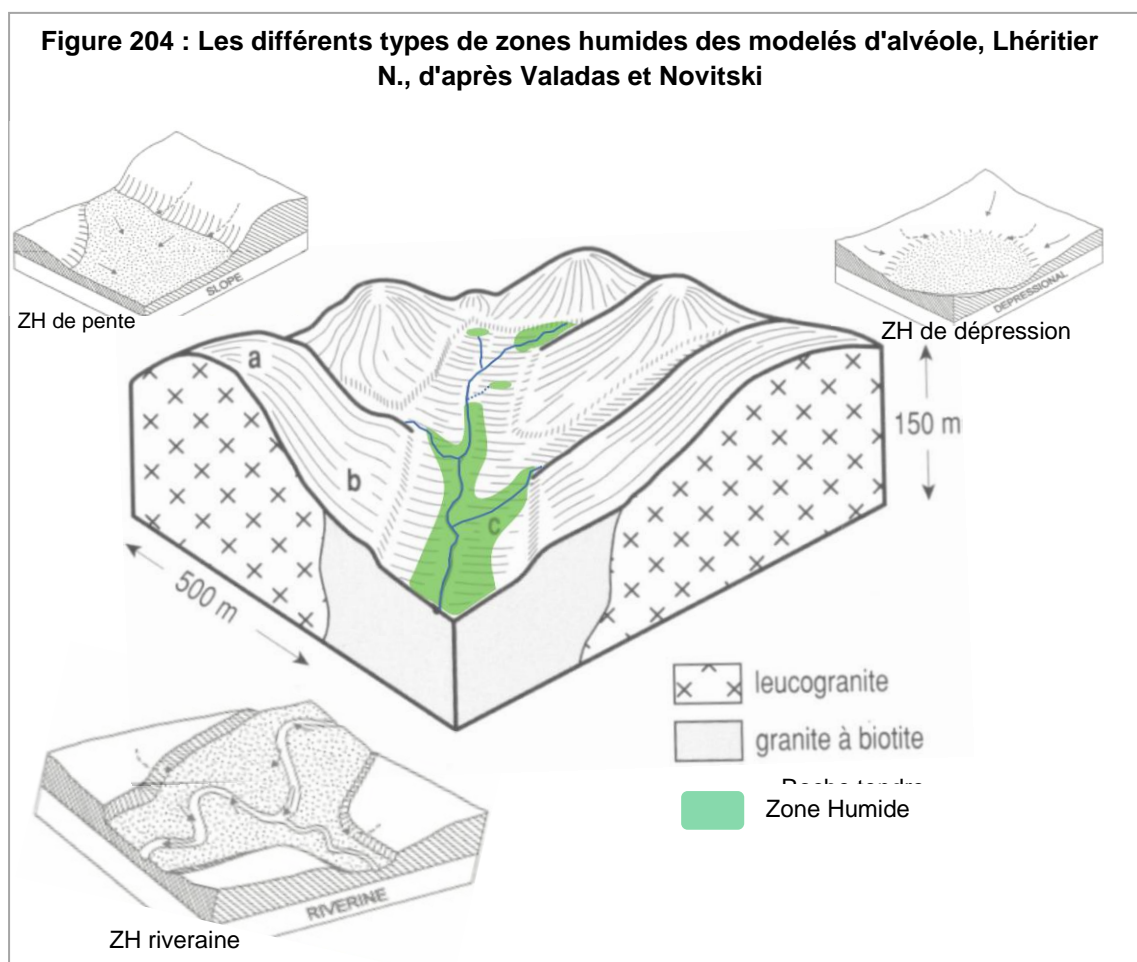


Photographie 37 : Un ruisseau naissant d'une tourbière du plateau de Millevaches, vue aérienne, Hennequin, E., 2011



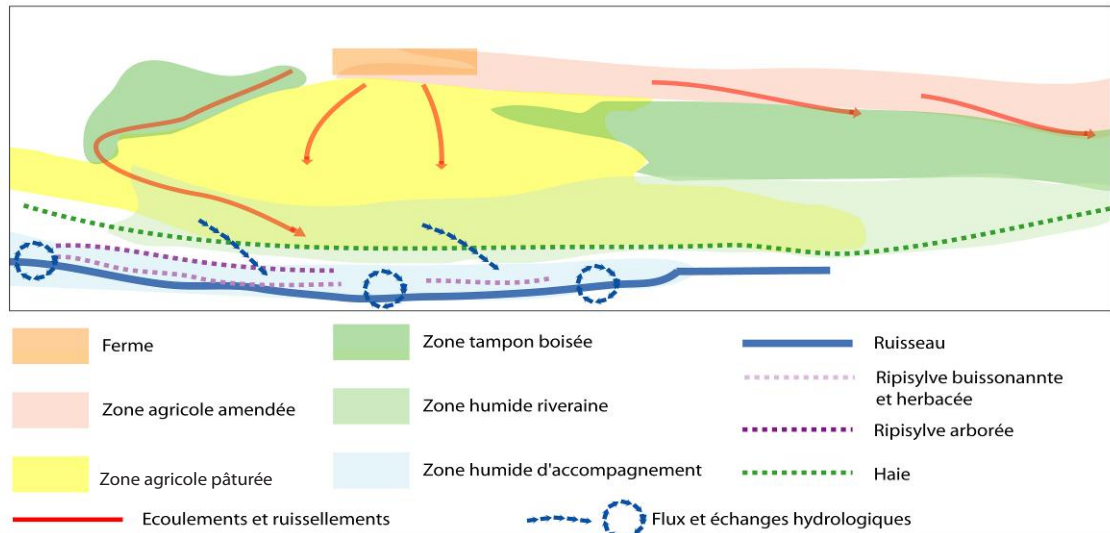
Dans le territoire du Pays Monts et Barrages, nous distinguons les zones humides de « têtes de bassins » qui ont un rôle primordial du point de vue de l'hydrologie puisqu'elles garantissent des débits stables en tête bassin. Ces mêmes zones, si elles ne sont pas dégradées, permettent aux tout premiers écoulements d'avoir une eau de bonne qualité. Ces zones sont comprises dans les bassins versants des cours d'eau de rangs 1 et 2.

Les zones humides plus grandes qui se situent dans les fonds de vallées ont en plus du rôle hydrologique un rôle de filtre sédimentaire. Elles ont la capacité à filtrer les éléments minéraux et organiques venus d'une dégradation morphologique des tronçons de cours d'eau de « tête de bassin » en se situant dans des zones de confluence plane. Ces zones se situent dans les sous-bassins versants de rangs 3, 4, 5 et 6.



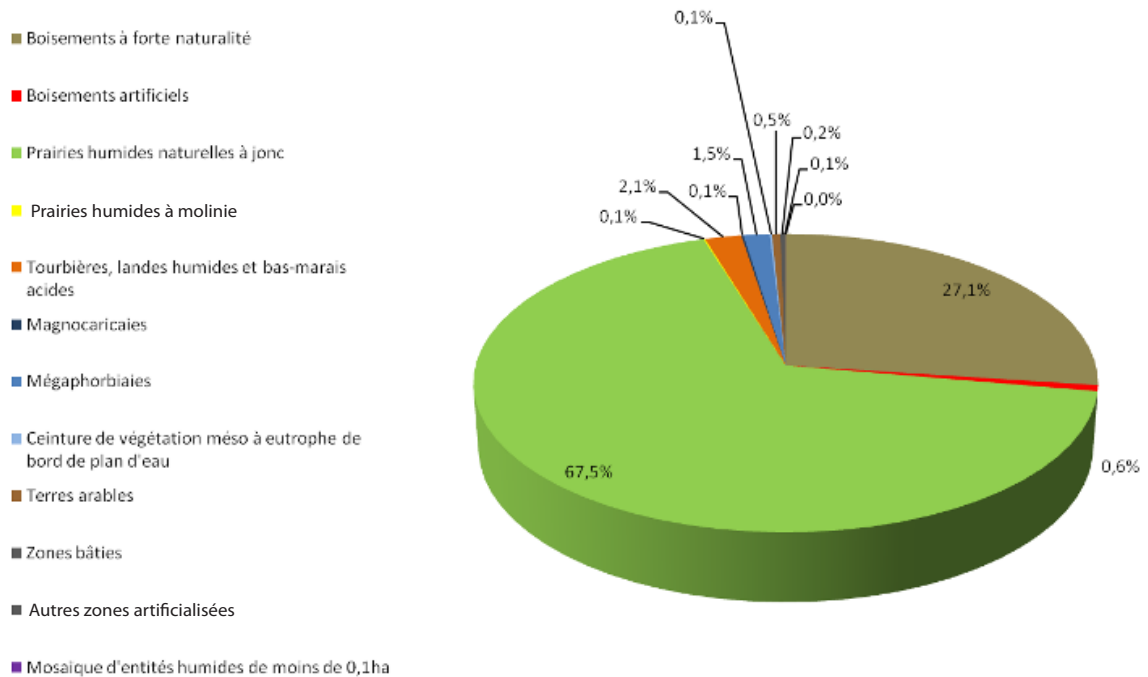
Le couple versant-zones humides est omniprésent sur le territoire, les cours d'eau sont très souvent bordés par une bande humide plus ou moins large qui joue un rôle épurateur très important lorsque des activités sont localisées sur les versants.

Figure 205 : La complémentarité des versants, haies, ripisylves et ruisseaux dans l'épuration des eaux, Lhéritier N., 2009



Réalisation : Nicolas Lhéritier, GEOLAB UMR 0042, 2009

Figure 206 : Typologie des zones à dominante humide du Pays Monts et Barrages, d'après les données de l'EPTB Vienne et de la Région Limousin, Lhéritier N., 2009



Les prairies humides et les aulnaies constituent les principales surfaces humides du territoire. En second lieu, les tourbières et mégaphorbiaies sont également représentées. Les zones humides « ouvertes » sont en proportion plus importantes que les zones humides boisées.

Les zones humides peuvent composer une part très importante de la surface de certains bassins versants.

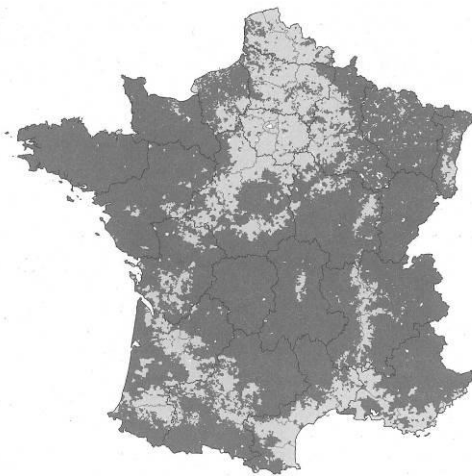
3.3. Les ruisseaux en contexte agricole

D'un point de vue agricole, on constate une régression de l'agriculture qualifiée à Haute Valeur Naturelle vers les régions de montagne et de moyenne montagne depuis les années 1970.

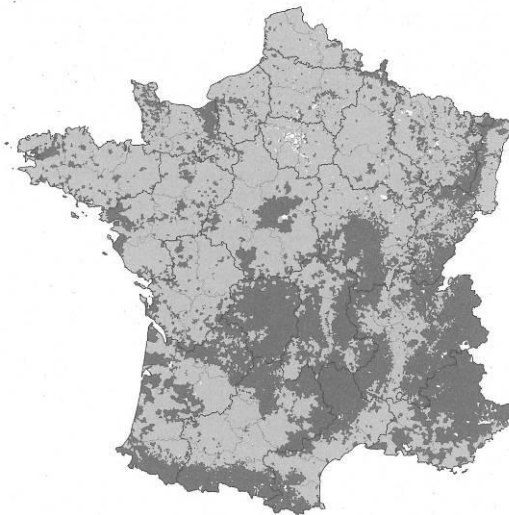
Cette mutation des pratiques agricoles n'est pas sans incidence sur l'environnement riverain des petits cours d'eau, et sur les ruisseaux eux-mêmes. Même si tous les indicateurs semblent montrer que les reliefs abritent une agriculture considérant l'environnement, nous allons voir que des changements ont également eu lieu dans ces régions.

Figure 207 : Cartographie de la régression de l'agriculture à "Haute Valeur Naturelle" entre 1970 et 2000, Pointereau, 2010

Carte 2. Zones agricoles à haute valeur naturelle en 1970 sur la base des critères qui, en 2000, classent 25% de la SAU en HVN.



Carte 1. Zones agricoles à haute valeur naturelle en 2000.



Légende des cartes :
■ zone HVN
□ commune non HVN
□ commune sans siège de ferme.

3.3.1.L'agriculture moderne et la contrainte de l'hydromorphie

Avec l'évolution de l'agriculture et les révolutions agricoles successives, les pratiques de drainage et d'irrigation ont évolué. Les aménagements de franchissement des ruisseaux ont également changé, et se sont multipliés avec l'apparition des buses et les remembrements successifs qui ont nécessité la réalisation de nouveaux points de franchissements.

Le drainage est maintenant mécanisé et standardisé, ne prenant pas toujours en compte le gabarit de l'écoulement.

Le saltus actuel correspond aux zones trop hydromorphes et inexploitable de manière rentable pour l'agriculteur, mais d'une grande richesse écologique, pour les écologues. Le seul moyen d'entretenir une zone humide ouverte est de revenir à des pratiques agricoles dorénavant marginales qui consistent à les faire pâturer avec des faibles chargements à l'hectare. La prise de conscience de l'intérêt de ces zones en élevage a surtout lieu lors des sécheresses, lorsque les prés de bas-fonds sont les seuls pâturables.

Souvent, ces tourbières, mégaphorbiaies et autres zones humides, sont vouées aux reboisements « naturels ». Les boisements sont alors composés de bourdaines et de saules puis d'aulnes qui correspondent au climat actuel des zones humides.

Avant la révolution agricole des années 1950 l'homme participait à la densification des réseaux hydrographiques, l'eau était son alliée pour bien des activités. Actuellement, l'eau est surtout une contrainte pour exploiter les prés de fonds. L'impact du drainage est avant tout hydrographique et hydromorphologique, puisqu'il modifie la morphologie du cours d'eau dans le cas d'un drainage à ciel ouvert, il peut également réduire le linéaire par rescindement des méandres. Il en résulte une diminution progressive du linéaire du réseau hydrographique.

La prospection des cours d'eau du Pays Monts et Barrages nous a permis d'acquérir des données sur un grand linéaire, mais ce fut également l'occasion de traverser les îlots de 251 exploitations agricoles où le type de gestion des zones humides fut enregistré, et 190 où la gestion des berges fut également constatée.

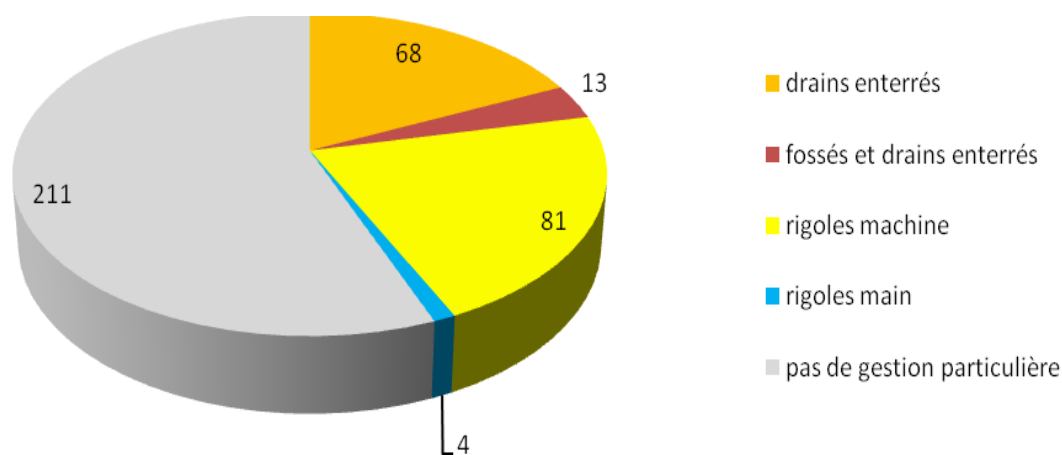
Les zones humides agricoles sont majoritairement des prairies humides atlantiques à jonc diffus. Viennent ensuite les aulnaies qui sont généralement intégrées aux parcs de pâturage et qui correspondent à une ripisylve large, puis les jonçaias. Les zones humides comme les tourbières, les mégaphorbiaies et les cariçaias ne sont que très peu intégrées dans les exploitations agricoles.

Nous distinguons les prairies atlantiques humides à jonc diffus où *juncus effusus* est bien présent mais ne domine pas forcément sur toute la parcelle des jonçaises où il est largement dominant.

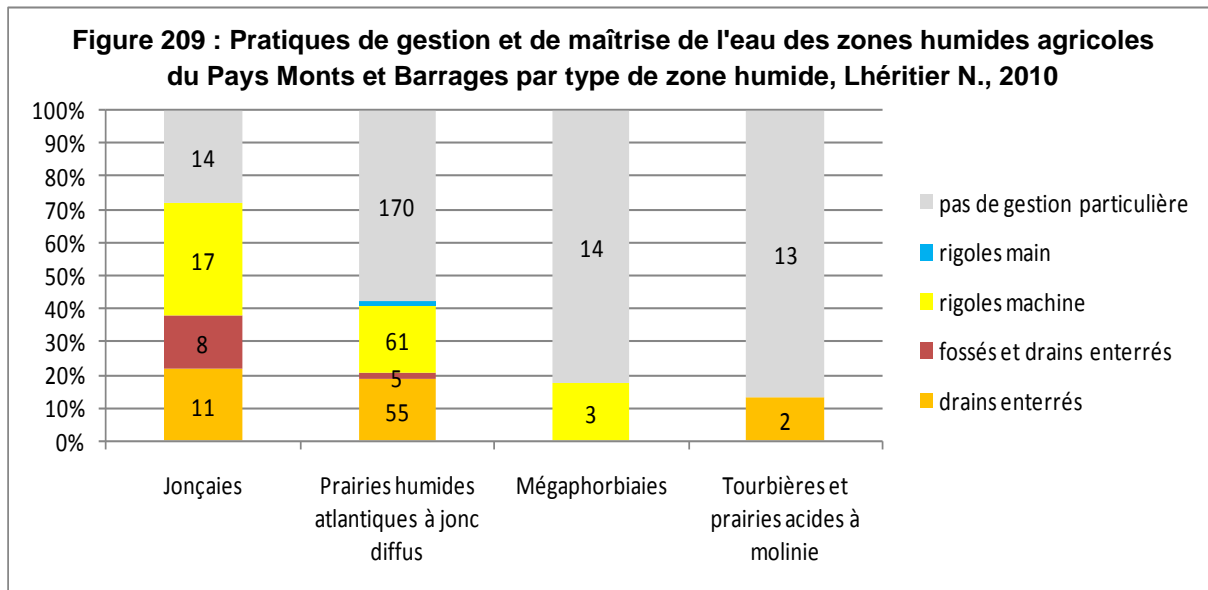
Sur les 251 exploitations agricoles parcourues, certaines d'entre elles gèrent les zones humides différemment en fonction de la typologie de la zone. Cependant par un croisement géomatique entre le type de zone humide et le type de gestion nous pouvons dégager des tendances de gestion. Le graphique suivant illustre ces tendances de gestion. Il est à noter que pour une même exploitation, différents modes de gestion peuvent être menés selon les parcelles. Par exemple, une exploitation peut ne pas avoir d'actions particulières en matière de maîtrise de l'eau sur certains prés de fond, mais peut concentrer cette maîtrise sur certaines parcelles. C'est parce que les modes de gestion varient pour une même exploitation que le graphique suivant comptabilise plusieurs fois une même exploitation : une fois par mode de gestion observé sur au moins une de ses parcelles.

- Pour 211 exploitations, soit 84 %, l'eau n'est pas maîtrisée dans tous les îlots, les réseaux de rigoles y sont inexistantes ou plus visibles du fait de leur abandon, la zone humide est pâturée en l'état.
- 81 exploitations, soit 32 %, entretiennent un réseau de rigoles à la rigoleuse sur certaines de leurs parcelles humides.
- 68 d'entre elles, soit 27 %, ont drainé certaines de leurs zones humides, les drains enterrés rejoignent directement le cours d'eau.
- 13 d'entre elles, soit 5 %, drainent avec des fossés profonds et des drains enterrés, souvent ces fossés ne sont que temporaires et correspondent à l'emplacement des futurs drains. Cela signifie qu'au moment du diagnostic étaient encore réalisés des travaux de drainage.
- 4, soit 1.6 % réalisent encore des rigoles manuellement sur certains de leurs îlots humides.

Figure 208 : Pratiques de gestion et de maîtrise de l'eau des zones humides agricoles du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010



La plupart du temps, ces zones humides sont uniquement pâturées et ne font pas l'objet de gestion particulière quant à l'hydromorphie.



En s'intéressant aux pratiques de gestion de l'eau par type de zones humides, on s'aperçoit que les tourbières et mégaphorbiaies ne sont quasiment pas gérées. Il y a donc un double constat concernant ces milieux. Il s'agit des zones humides les moins intégrées dans les exploitations agricoles, mais aussi celles dont l'hydromorphie est la moins gérée.

40 % des exploitations gèrent l'hydromorphie de leurs prairies atlantiques humides à jonc diffus. La plupart du temps, cette gestion se fait par un réseau de rigoles ou le drainage enterré. Les 60 % restants sont pâturés en l'état.

Ce sont les jonçaises qui ont l'hydrologie la plus modifiée. En effet, ce sont elles qui sont les plus drainées en profondeur par des fossés. Les zones humides nommées jonçaises dans cette thèse sont les pâtures à grand jonc (code 37.214) de la base de la codification Biotope. Or il est précisé dans le descriptif de cet habitat qu'il s'agit d'un habitat « anthropogénique » qui est une dégradation de la prairie atlantique ou subatlantique humide du fait des pratiques de gestion par pâturage. En effet, la prolifération du jonc diffus s'explique par l'intensification du pâturage des prairies humides. Le pâturage bovin induit une déstructuration du sol et un tassement qui offrent les conditions écologiques favorables à son installation pérenne (Hennequin E., 2006). Le jonc diffus forme alors des touffes qui sont refusées par le bétail, ce qui permet d'accroître encore plus son extension.

Hennequin E. en 2006 constatait ce phénomène sur les prairies humides du bassin de la Gorre. Il le mettait également en lien avec l'intensification du pâturage des prés de fonds. Sur ce bassin versant, les jonçaises y représentent 56.7 % des zones humides et sont largement majoritaires.

À la vue de la corrélation entre ce type de zone humide et sa gestion hydrologique, il s'avère que les jonçaiés résultent également du passage d'un milieu humide à un milieu mésohygrophile qui est marqué par des variations verticales importantes de la nappe du fait du drainage. Cela a pour effet de favoriser *juncus effusus* qui apprécie particulièrement ces variations. De ce fait, les touffes de joncs se multiplient des bords de ruisseaux ou de rigoles vers le reste de la parcelle.

Les photographies ci-contre et ci-dessous illustrent, la propagation du jonc diffus sur une parcelle. En 2000 la répartition du jonc diffus se limite en bord de cours d'eau, en 2009, le jonc diffus est présent sur l'ensemble du fond humide.

Photographie 38 : Une prairie humide en 2000, Chambre d'Agriculture de la Haute-Vienne

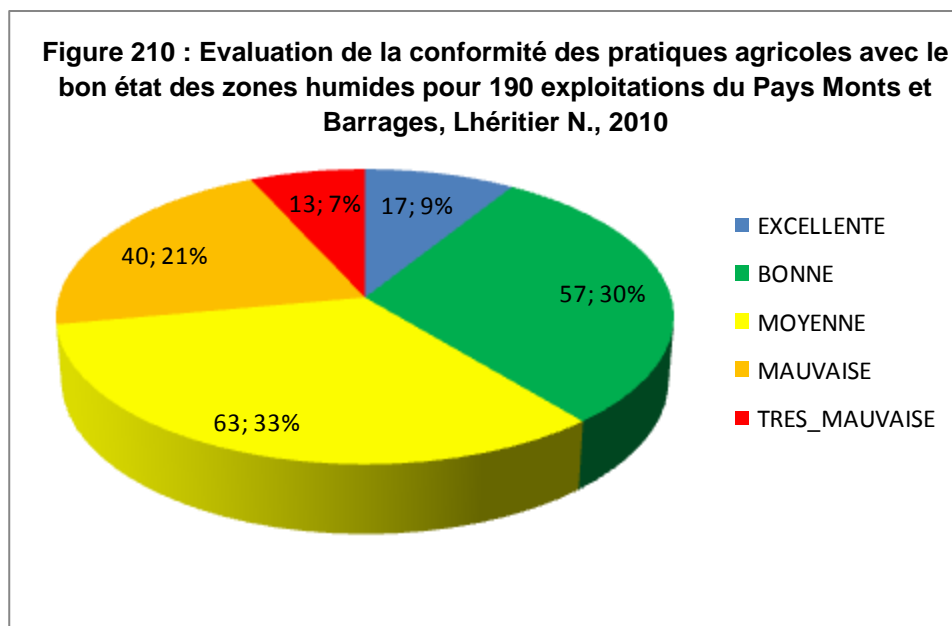


Photographies 39 : La même zone humide que précédemment en 2009, extension du jonc diffus et apparition du poivre d'eau



L'intégration des cours d'eau dans les exploitations a également pu être étudiée en réalisant un croisement géomatique entre la qualité des berges et tronçons de cours d'eau et leur localisation dans les îlots des exploitations. Seules les notes dominantes du REH furent conservées pour chaque

exploitation. Ceci ne veut pas dire qu'une exploitation gère mal l'intégralité de ses berges mais indique plutôt la tendance de gestion, et le degré de prise en compte du ruisseau dans l'exploitation.



On s'aperçoit que les exploitations qui ont des gestions extrêmes de leurs zones humides, excellentes ou très mauvaises ne représentent que 9 et 7 % des exploitations.

Les exploitations où le ruisseau est bien considéré sont souvent celles où les berges sont protégées par une clôture ou par une barrière naturelle comme une dense ripisylve. Bonne préservation des berges ne rime pas forcément avec mise en défens de celles-ci. En effet, il arrive qu'un cours d'eau ne soit pas dégradé par le piétinement même si le bétail peut boire au cours d'eau en n'importe quel endroit. Le troupeau s'abreuve alors en quelques points, mais cela dépend de la constitution du troupeau, du chargement à l'hectare et du terrain, c'est la plupart du temps les caractéristiques des bonnes gestions qui représentent 30 % des exploitations du Pays Monts et Barrages.

Les parcelles de 33 % des exploitations peuvent être piétinées avec une intensité telle que le milieu aquatique est impacté, mais que les tronçons sur lesquels ont lieu ces dégradations sont malgré tout bordées d'une ripisylve arborée maintenant une proportion tout juste acceptable de berges en bon état. Les dégradations quasiment linéaires des berges furent observées pour 40 exploitations soit 21 %. Dans ce cas les ripisylves sont également dégradées par coupe rase et ne peuvent plus repousser du fait de l'intensité du pâturage.

Enfin, pour 7 % des exploitations, le piétinement est généralisé à l'ensemble d'un linéaire au préalable recalibré.

Sur le Pays Monts et Barrages comme sur le bassin de la Gorre (Hennequin E., 2006), et plus généralement pour tout l'ouest du Limousin, les prairies humides subatlantiques à jonc diffus et les pâtures à grand jonc sont les principales zones humides agricoles, et sont celles qui malgré les efforts d'amélioration agronomique se sont les plus dégradées écologiquement et agronomiquement par le surpâturage et le drainage.

On peut alors se demander quelles motivations entraînent à drainer ces milieux si la principale cause d'une perte de potentiel agronomique est due à leur gestion par pâturage et non à leur hydromorphie ? L'hypothèse est que le surpâturage induit l'étalement du jonc diffus, et que certains agriculteurs pensent s'en débarrasser en diminuant l'hydromorphie par le drainage. Le résultat est une accentuation de la prolifération de cette plante qui n'est pas consommée par les animaux.

Ainsi, le cercle vicieux est clos, les zones humides surpâturées perdent peu à peu de leur valeur agronomique, les agriculteurs en voulant améliorer ces potentialités les drainent et aggravent le phénomène. Largement encouragés financièrement pour drainer, certains agriculteurs ont bénéficié d'aides pour dégrader ces zones. Si des études d'impact sur l'écologie sont obligatoires au delà d'une certaine surface drainée, une étude d'impact sur la ressource fourragère utile de la parcelle et sur l'autosuffisance fourragère de l'exploitation aurait également dû être réalisée avant cette incitation. Le seul moyen pour revenir à un bon potentiel agronomique est de réaliser des travaux de restauration pour revenir à une situation hydrologique antérieure (Hennequin E., 2006), mais aussi de diminuer la pression de pâturage dans le temps et à l'hectare.

Pour cela les agriculteurs ont besoin d'une meilleure connaissance des prairies humides, et de conseils de gestion délivrés par des organismes qui les connaissent, et qui peuvent alors guider vers les pratiques pour que les prés de fond soient convenablement intégrés dans l'économie de l'exploitation pour ce qu'ils sont, c'est-à-dire des parcelles à rendement fourrager certes plus faibles, mais pouvant être bien utiles en période de sécheresse, et ayant une source d'abreuvement du bétail intégrée à la parcelle.

Sur un même territoire agricole, l'intégration, la perception et la gestion des ruisseaux et des zones humides peuvent être très différentes. Les pratiques de gestion de deux agriculteurs peuvent être totalement opposées. Il est alors nécessaire d'envisager un conseil agricole individuel qui tienne compte à la fois de la valeur agronomique de la parcelle humide dans l'exploitation et de son maintien dans un bon état hydrologique et écologique, ces deux approches étant intimement liées, car les groupements végétaux renseignent sur l'état hydrologique de la zone et réciproquement. Il est également indispensable de reconquérir certaines zones en déprise comme les tourbières, cariçaias et mégaphorbiaies afin d'éviter leur boisement à venir et de les réintégrer dans les exploitations agricoles en vue d'une répartition des chargements dans l'espace. Le CREN Limousin en animant une Cellule d'Assistance

Technique à la gestion des Zones Humides (CATZH) à la demande de l'Agence de l'eau Adour Garonne apporte ce type de conseil aux agriculteurs. En continuant le travail de conservation écologique par la maîtrise foncière ou de gestion sur des zones en déprise, il permet également aux éleveurs locaux de se réappropriier certaines zones, d'y retrouver un intérêt agronomique et de « délester » leur chargement du fait des nouveaux parcs de pâturage disponibles.

3.3.2.L'élevage bovin et l'eau

La Vendée, l'ouest et le nord du Massif Central sont les régions où les bovins sont les plus nombreux, cependant, ce sont les régions herbagères qui comportent le plus étendu et le plus fort cheptel. Elles sont localisées au nord-ouest, au centre et à l'est de la France. Ce sont les régions herbagères qui rassemblent le plus de têtes qui vont être les plus soumises à la pression du pâturage. Les zones pastorales sont moins soumises car les chargements à l'hectare y sont plus faibles.

Lorsque les vaches s'abreuvent dans le cours d'eau, elles piétinent les berges et défèquent à proximité ou dans l'eau. L'impact le plus évident est certainement les dégradations morphologiques. En s'abreuvant, elles détruisent les sous-berges et des érosions plus conséquentes peuvent ensuite se former.

Ce phénomène connu, peut être atténué en empêchant les troupeaux de divaguer librement dans le cours d'eau. Des aménagements tels que des passerelles et différents types d'abreuvoirs peuvent être mis en place. Le coût des aménagements va bien entendu être plus élevé, si en plus de limiter les dégradations morphologiques, on veut optimiser la vie piscicole.

Mais les érosions et les déjections impactent également la qualité de l'eau comme a pu le démontrer la CATER Basse Normandie. Une dégradation des paramètres physico-chimiques et une hausse des bactéries fécales sont bien visibles sur la figure ci-après.

Figure 211 : L'élevage bovin en France, in Kentzel M.

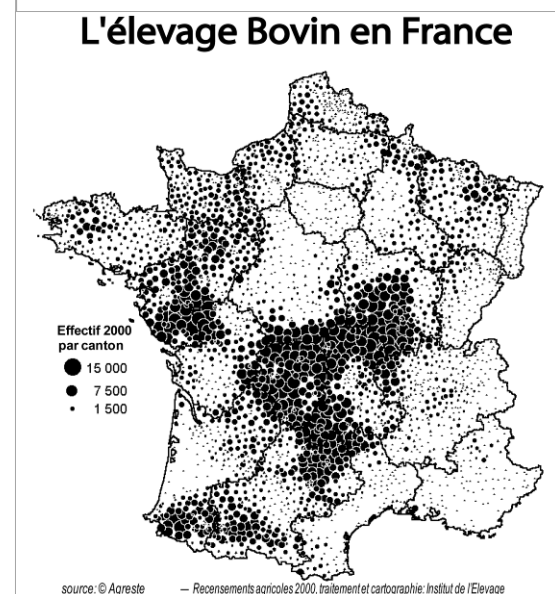
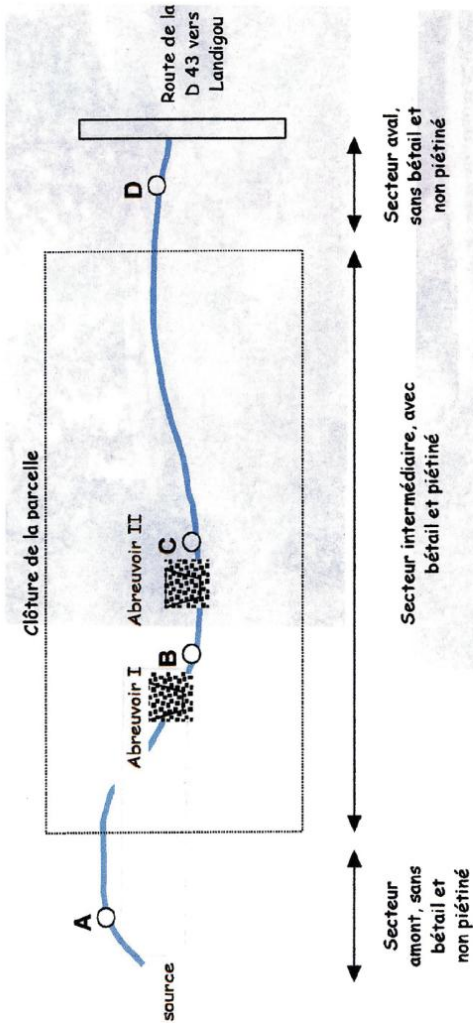


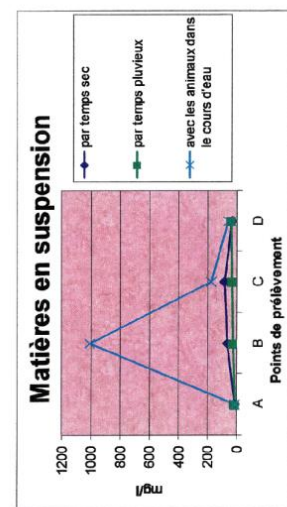
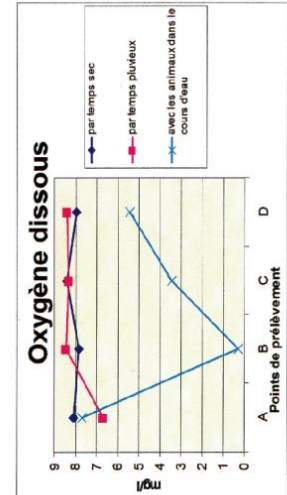
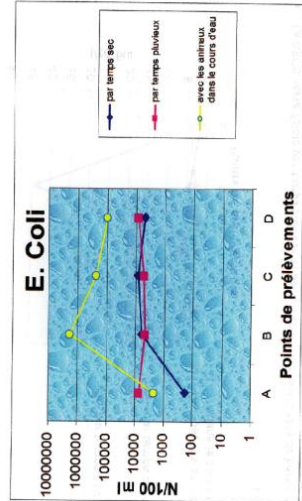
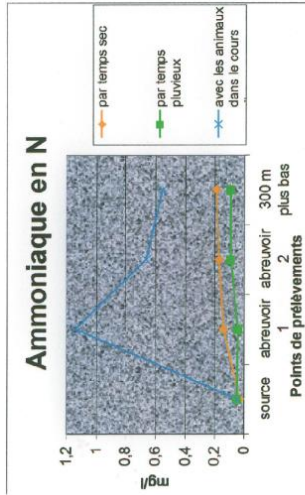
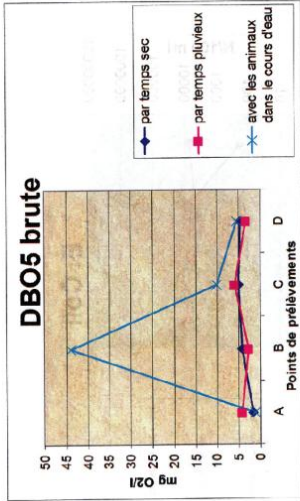
Figure 212 : Fiche synthétique d'une étude de la CATER Basse Normandie sur l'impact de la divagation du bétail sur la qualité de l'eau



: zone d'abreuvement privilégiée du troupeau = abreuvoir sauvage

Débits estimés

	Débits (l/s)	Températures in situ (°C)
par temps sec	2.3	11
par temps sec avec les animaux dans le cours d'eau	2.3	13
par temps de pluie	5	12.5



Sources : cater basse-normandie, Suivi des impacts bactériologiques et physicochimiques d'aménagement de protection contre la divagation du bétail dans les cours d'eau, Rapport intermédiaire Novembre 2003

Si le progrès agricole est perceptible d'un point de vue hydromorphologique et physico-chimique, il l'est également d'un point de vue biologique. Les médicaments prescrits aux animaux et notamment les antiparasitaires comme les avermectins n'agissent pas que sur les parasites internes des animaux. Il y en a toujours une partie qui est rejetée dans l'environnement par le biais des excréments. Leur rémanence dans le sol varie selon les sources ; de 2 à 8 semaines (Halley et al., 1989) contre 6 jours (Sommer et Stephenson, 1993).

De la présence d'ivermectins dans le sol résulte un impact direct sur les invertébrés terrestres et aquatiques, et indirectement sur les consommateurs.

Des effets ont également pu être observés sur les salmonidés : sur la truite commune ils se traduisent par une perte d'appétit, une coloration foncée de la peau, une léthargie et un comportement natatoire erratique. Pour une dose de 1 nanogramme/kilogramme injecté à 100 truites arc-en-ciel, la mortalité est de 38 % (Katharios et al., 2001). L'impact de la divagation des bovins dans les cours d'eau, en plus d'être morphologique, est également chimique et physico-chimique.

Les risques sanitaires de la divagation du bétail dans les ruisseaux pour les hommes et les animaux peuvent être sous la forme de bactérioses ou de parasitoses.

Les principales dégradations morphologiques des berges et du lit des cours d'eau sont sans aucun doute le colmatage du lit et l'érosion des berges en milieu pâturé. Cette dégradation a la particularité d'être présente sur tous les ruisseaux. Le libre accès du bétail au cours d'eau engendre des dysfonctionnements morphologiques, des dégradations de la qualité de l'eau et des perturbations écologiques. L'impact principal est morphologique par la dégradation des berges du cours d'eau ainsi que le départ des matériaux érodés et transportés vers l'aval. La disparition des habitats de sous-berges et le colmatage du lit en sont les principales conséquences écologiques.

Photographie 40 : Les dégradations morphologiques générées par la divagation du bétail dans les ruisseaux : Berges en cours de recul et destruction des sous berges sur le ruisseau de la Prairie avec mottes témoins et émission de MES, Lhéritier N., 2009



Ci-dessus : Confluence d'une rigole drainant une zone piétinée par temps humide sur le ruisseau de la Brousse
Ci-contre : Eau turbide à l'aval d'un piétinement sur le ruisseau de Bégogne par temps sec

En second lieu, les déjections émises directement dans les cours d'eau et les ruissellements sur zones piétinées engendrent une dégradation de la qualité de l'eau par des apports de matière organique (MO), et des perturbations chroniques bactériologiques et chimiques. En effet, les déjections augmentent la teneur en MO et permettent également aux produits antiparasitaires d'affecter la microfaune. Le piétinement des berges ne permet pas la présence d'une végétation herbacée et arbustive, et limite donc la régénération de la strate arborée. Le piétinement du lit peut engendrer la destruction des frayères.

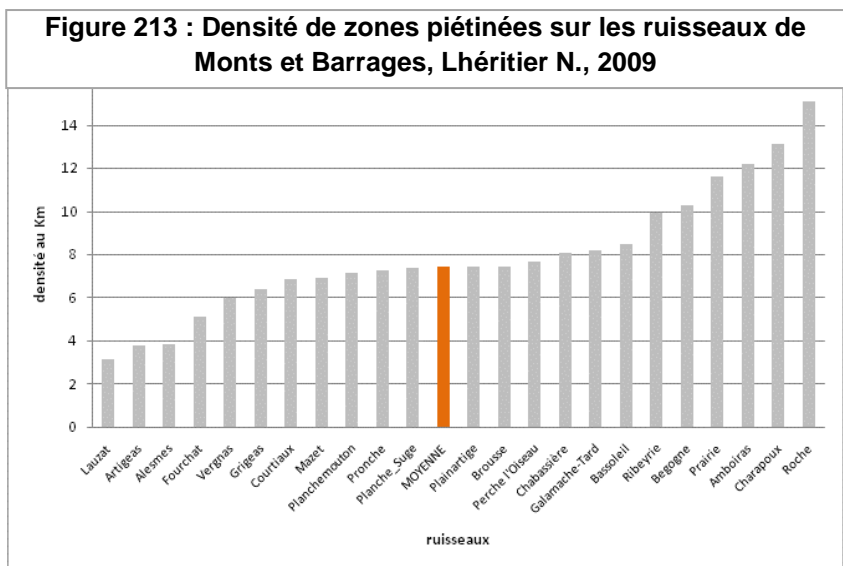
Photographie 41 : Zones piétinées sur le ruisseau de Bégogne, Lhéritier N., 2009



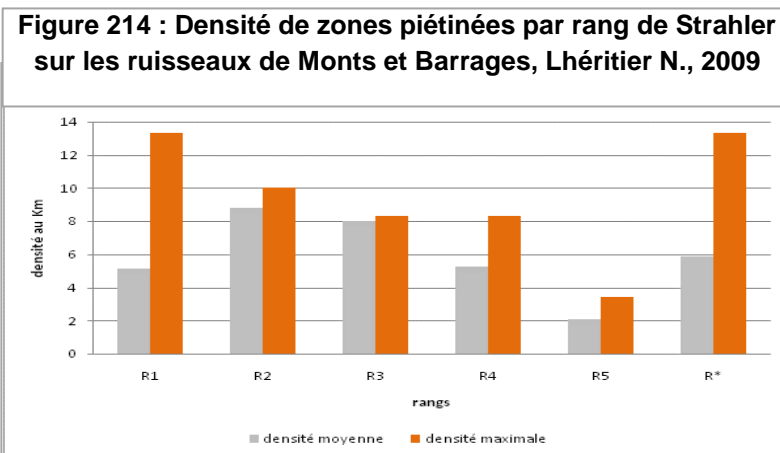
Photographie 42 : Vaches urinant dans les ruisseaux (un constat fréquent) Lhéritier N., 2009



Les cours d'eau du territoire de Monts et Barrages sont inégalement affectés par le piétinement bovin. Cette inégalité ne répond pas à une logique géographique, mais plutôt aux pratiques d'élevage locales qui dépendent de chaque exploitation. Ainsi la seule façon de dégager les ruisseaux prioritaires est de réaliser un diagnostic exhaustif des ruisseaux parcelle par parcelle.



En plus d'être géographiquement et inégalement affecté par le piétinement, le réseau hydrographique est également différemment affecté à l'intérieur d'un même bassin versant.



La plupart du temps, le piétinement est beaucoup plus néfaste sur les petits cours d'eau de tête de bassin de rangs 1 et 2 à la fois pour leurs berges qui sont plus fragiles, mais également pour les tronçons de cours d'eau à l'aval de ces ruisselets. Les rangs 1 et 2 constituent un grand linéaire qui

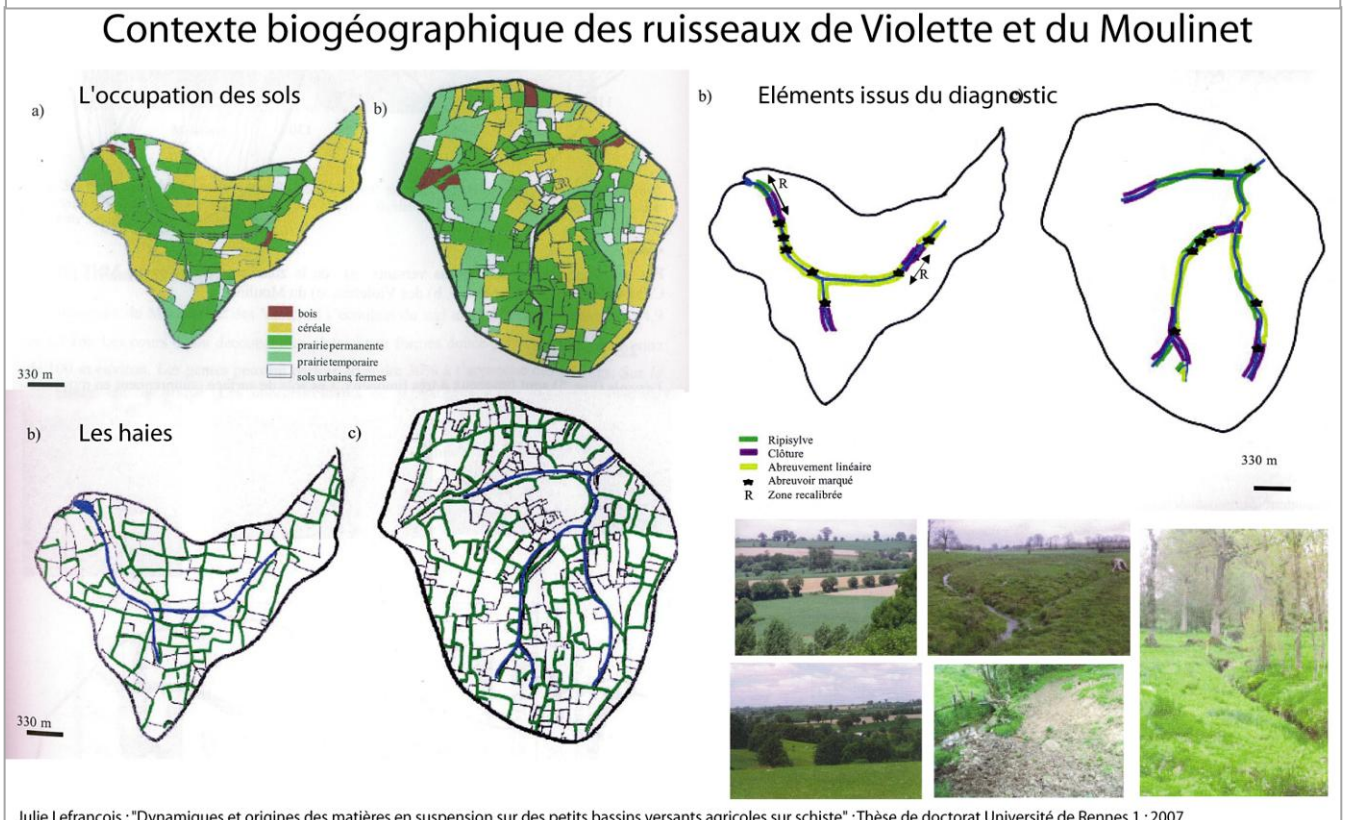
peut être une source de sédiments fins très importante s'ils sont très piétinés. Les rangs 1 sont les tronçons de cours d'eau qui peuvent être les plus densément affectés par le piétinement bovin. Parfois, ces très petits cours d'eau lorsqu'ils s'écoulent dans des pâtures ne sont pas bordés par les strates arbustives ou arborées, leur petite largeur et faible profondeur les rendent franchissables par le bétail en tout point. Le bétail n'ayant pas besoin de choisir où traverser, il peut piétiner l'intégralité du linéaire sur certaines parcelles. La fréquence des piétinements diminue au fur et à mesure que le cours d'eau grossit.

3.3.3. Les matières en suspension provenant des érosions

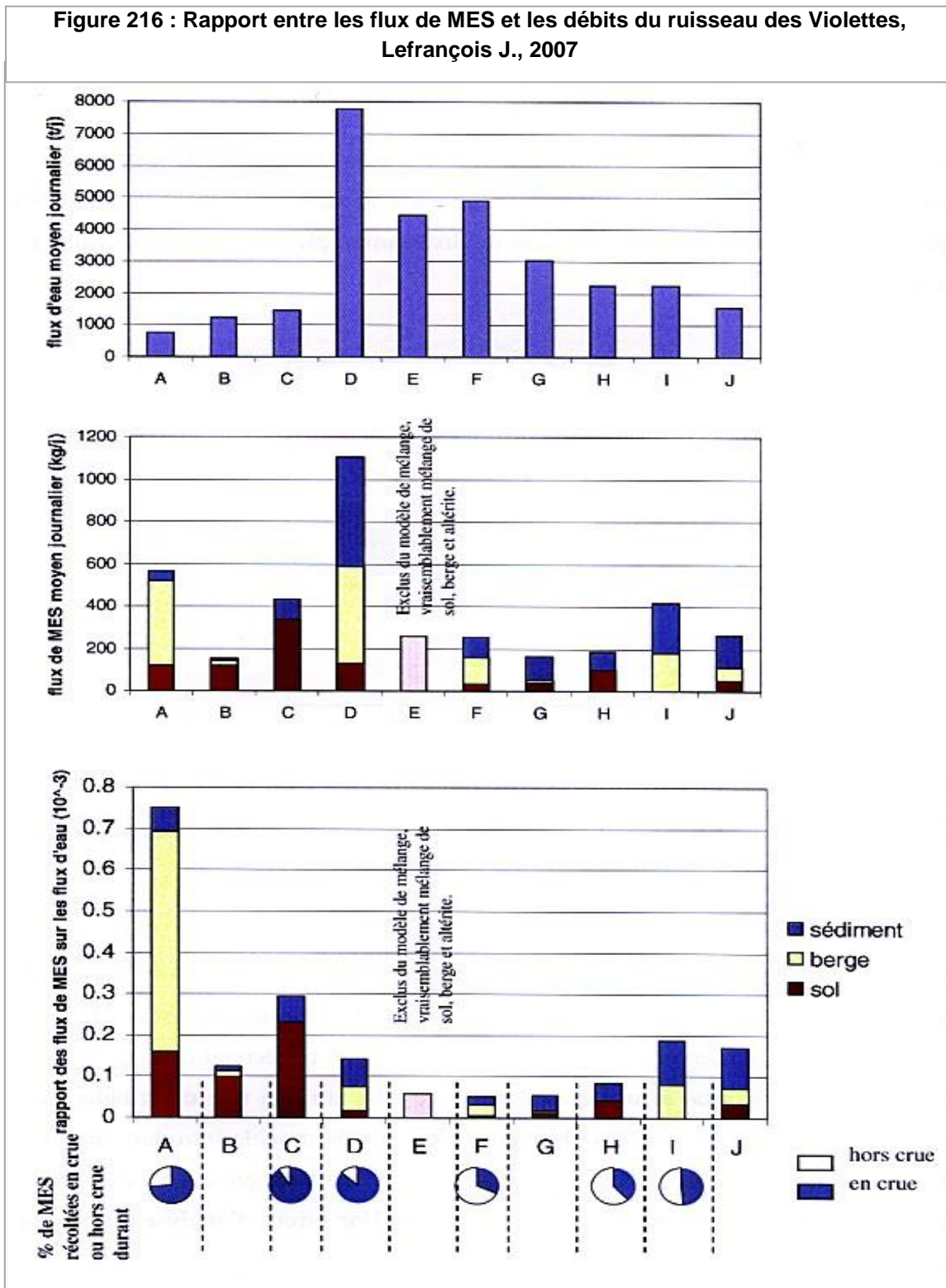
Connaître la provenance des éléments colmatants est très important si on veut diminuer les apports. Il faut alors bien différencier les phénomènes d'ensablement et les phénomènes de colmatage car ils ne font pas intervenir les mêmes particules. Si l'ensablement est uniquement minéral, le colmatage résulte d'une présence de MES qui proviennent majoritairement de l'érosion des sols des versants et des fonds de vallée, de l'érosion du chenal (des berges et du fond), du développement du plancton, des eaux urbaines et des rejets industriels. Elles comprennent aussi bien des fractions organiques et minérales, la part de ces deux composantes varie en fonction des saisons et des cours d'eau. Les particules organiques résultent de la décomposition d'animaux ou de végétaux ainsi que des microorganismes (phytoplancton et zooplancton). Les particules minérales sont majoritairement des argiles et des limons. Les concentrations de MES dans les cours d'eau dépendent des apports de différentes origines dans les bassins versants, mais aussi de la pente et des vitesses d'écoulement qui conditionnent le transport et l'accumulation des particules en suspension.

Dans les petits cours d'eau s'écoulant dans des contextes agricoles d'élevage, la majorité des MES proviennent des berges et du sol. Les MES provenant des sédiments peuvent parfois être majoritaires sur des tronçons bien particuliers. La figure suivante illustre ce phénomène sur deux petits cours d'eau sur bassins versants bretons ayant des bassins versants schisteux et en contexte de culture et d'élevage. Les ruisseaux de la Violette et du Moulinet étudiés par Lefrançois J. présentent tous deux une partie des berges majoritairement occupée par l'élevage bovin avec des abreuvements anarchiques.

Figure 215 : Contexte biogéographique des ruisseaux de la Violette et du Moulinet, Lefrançois J., 2007



C'est en période de crue que les MES sont les plus transportées, elles sont la plupart du temps issues des berges et du sol. Les MES provenant des sédiments sont toujours présentes en quantités variables.



3.4. Les ruisseaux forestiers

L'emprise de la forêt sur les bassins versants n'a cessé d'augmenter depuis les années 1900. Les portions de cours d'eau forestiers sont de plus en plus nombreuses. On distingue 5 grandes phases de boisement spontané.

- Ceux qui ont un âge compris entre 100 et 130 ans et qui sont la résultante d'une déprise agricole liée à la crise économique des années 1870-1900 et du Phylloxéra dans les zones viticoles. On les trouve surtout dans l'arrière pays méditerranéen et dans les Préalpes du sud.
- Une génération de 80 à 90 ans correspondant à une accentuation de la déprise agricole liée à la première guerre mondiale et à la première grande phase d'exode rural massif. Ces boisements affectent principalement les terres peu rentables et les terrains d'accès difficile et les zones humides. On les trouve surtout dans les zones de haute et de moyenne montagne, mais aussi dans le Morbihan, en Sologne, et dans la partie orientale du bassin parisien.
- Les peuplements âgés de 50 à 60 ans sont le résultat de l'accentuation de la déprise agricole et de l'exode rural lors de la deuxième guerre mondiale et de l'immédiat après guerre. Ce phénomène est surtout marqué dans le bassin méditerranéen et en montagne.
- Les boisements spontanés de 30-40 ans correspondent à la mise en place de la PAC, ils ont surtout affecté les zones de haute et de moyenne montagne.
- Les boisements les plus récents ont 10-20 ans, ils sont le résultat de fluctuations économiques liées aux réformes de la PAC.

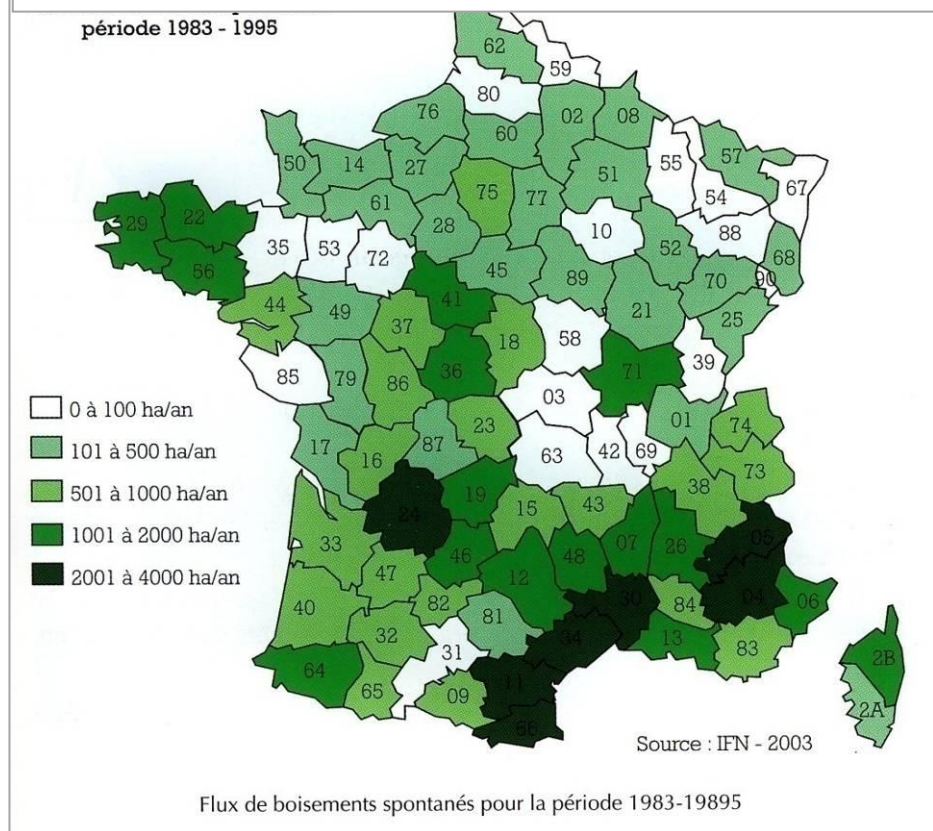
Voilà pour ce qui est des boisements spontanés, mais à cela il faut ajouter les boisements insufflés par le Font Forestier National qui ont débuté dans les années 1950 dans un but de valorisation des terres délaissées par l'agriculture moderne. Ceux-ci représentent la moitié de l'évolution du taux de boisement entre 1950 et 2000. Il s'agit la plupart du temps de boisements visant à être exploités dans un avenir assez proche en sylviculture et souvent mécaniquement. Il existe bien entendu des boisements plus complexes. Les relations de la forêt avec les milieux aquatiques ne sont pas les mêmes en fonction du type de boisement. Vu les différents types de boisements présents, il est nécessaire de différencier les boisements de déprise, des boisements industriels monospécifiques.

L'impact des forêts exploitées de résineux est encore largement discuté localement, même si certaines études comme celles de Bosch et Hewlett montrent des similitudes sur près de 100 bassins versants.

Les boisements spontanés sont souvent la résultante d'un abandon des terres les moins facilement valorisables par l'agriculture moderne. Avant d'arriver au stade boisé, la parcelle connaît des stades intermédiaires qui se traduisent souvent par un stade de friche.

Les principales régions affectées par un boisement spontané sur de grandes surfaces vont alors être les régions où la déprise agricole est la plus marquée, et où la spécialisation agricole engendre avec elle une spécialisation des types de terres, rendant certaines d'entre elles plus contraignantes que rentables.

Figure 217 : Carte de l'évolution des surfaces de boisements spontanés de 1983 à 1985



Les principales évolutions des cours d'eau dans les boisements spontanés anciens concernent la luminosité et tout ce qu'elle entraîne au niveau écologique, mais également son hydromorphologie avec la création d'embâcles et la présence de Débris Ligneux Grossiers dans son lit.

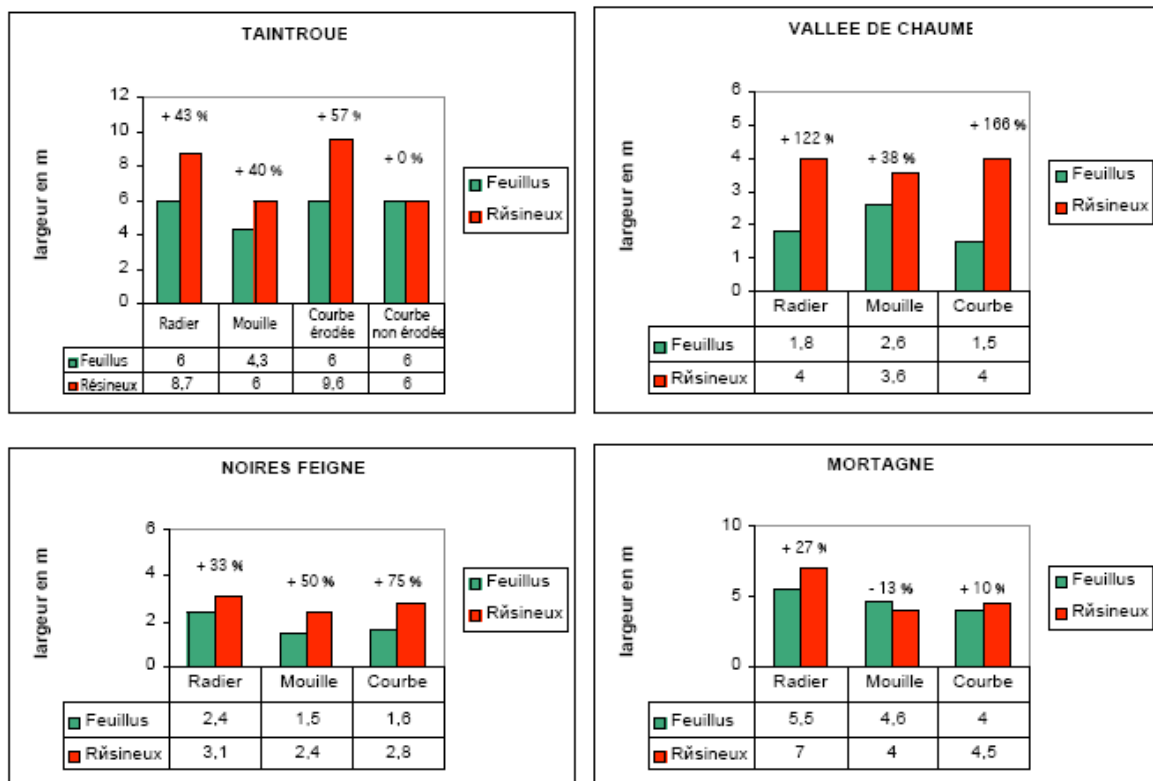
La gestion des embâcles est très délicate, car elle peut sur les cours d'eau assez grands (R3) présenter de véritables atouts en termes d'habitat piscicole. Il faut alors trouver un juste équilibre entre la libre circulation de l'eau et des sédiments et la présence d'habitats piscicoles en vue d'une valorisation halieutique.

Du point de vue de la biodiversité, des études de l'évolution du nombre d'espèces végétales sur une terre délaissée et en cours de boisement montrent qu'il existe un pic de biodiversité pouvant atteindre 90 espèces différentes. Le nombre d'espèces ligneuses augmente ensuite, au profit des espèces demandeuses de lumière et plus basses. Cependant, certains auteurs ont montré que certains milieux ouverts d'origine anthropique comme les prés de fauche ont une biodiversité bien plus importante encore (Vanpeene-Bruhier et al, 1998).

On l'a vu, d'une manière générale les forêts en consommant davantage d'eau réduisent les débits des cours d'eau.

Mais en fonction des types de peuplements, il peut aussi y avoir des morphogénèses plus spécifiques. C'est en réalisant des études comparatives de la morphométrie des cours d'eau par transect que la DDAF des Vosges a mis en évidence les principales évolutions morphologiques des cours d'eau dont les rives sont plantées de résineux. Ils ont alors enregistré un élargissement du lit variant de 33 à 166 % en fonction des types de faciès d'écoulement.

Figure 218 : Influences des Epiceas sur les largeurs mouillées, DDAF des Vosges, 2007



Un élargissement de la section mouillée se traduit par des érosions de berges. Sur un même cours d'eau les longueurs de berges érodées furent mesurées sous couvert de feuillus et sous couvert d'épicéas.

La présence d'un peuplement monospécifique de résineux entraîne également une diminution de la biodiversité des

végétaux habituels composant la ripisylve en zone tempérée. C'est la densification des peuplements durant leur croissance qui participe à une fermeture du milieu vis-à-vis de la lumière et des autres espèces. Il n'est pas rare de rencontrer des aulnes dépérissants dans des peuplements de résineux.

Ces changements morphologiques ont également des répercussions sur les habitats de l'ichtyofaune, des valeurs plus faibles de densité de truites ont été mesurées sur des cours d'eau bordés de résineux en comparaison avec d'autres tronçons.

Figure 219 : Nombre d'espèces végétales sur les berges de cours d'eau sous feuillus et sous résineux, DDAF des Vosges, 2007

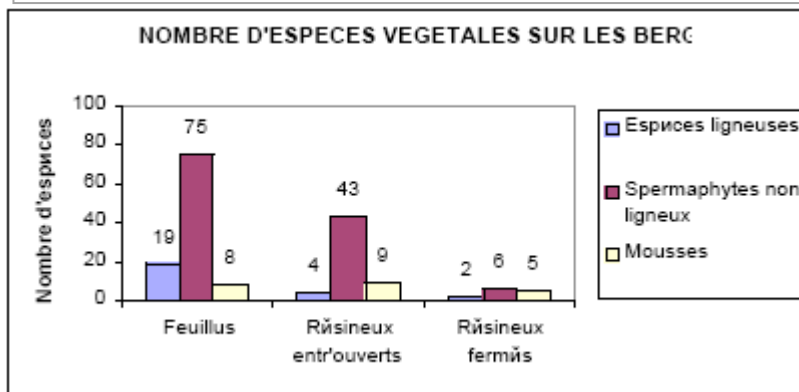
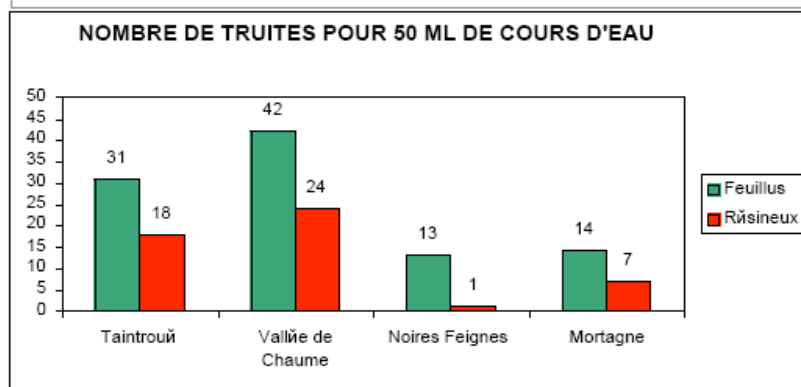


Figure 220 : Nombre de truites pour 50 mètres linéaires de cours d'eau sous feuillus et sous résineux, DDAF des Vosges, 2007



Suivant la position des peuplements sur le réseau hydrographique, les perturbations morphologiques engendrées sont différentes. En effet, les puissances des cours d'eau ne sont pas les mêmes, et les travaux d'aménagement forestiers sont différents. Il faut différencier les travaux d'aménagement pour planter des zones riveraines de rang 1 et de rang 3. Les recalibrages sont beaucoup plus fréquents sur les tout petits cours d'eau de rang 1 que sur les cours d'eau de plus gros gabarit.

Photographie 43 : Enfoncement du lit d'un cours d'eau recalibré préalablement à une plantation, Lhéritier N., 2009



3.5. Continuités écologiques et sédimentaires

L'organisation des axes de communication, mais aussi le faible gabarit des ruisseaux font que ce sont les cours d'eau qui sont le plus souvent traversés par des voies de communication. En effet, bien souvent, dans les régions de montagne et de moyenne montagne, les voies de communication principales suivent les vallées des grands cours d'eau coupant ainsi un grand nombre d'affluents.

Les aménagements des parcelles agricoles pour la mécanisation ont participé à réaliser des busages de ruisseaux. Bien souvent ces busages se sont faits avec le matériel classique c'est-à-dire des buses en ciment. Afin de ne pas se rajouter trop de travail, une ou plusieurs buses d'un diamètre égal à la largeur du ruisseau furent simplement posées puis recouvertes d'une fine couche de remblais. Sans anticipation vis-à-vis des potentielles variations de débit, et sans protection à l'aval et à l'amont des ouvrages, se produisent souvent des érosions à l'aval des ouvrages et des stockages sédimentaires à l'amont. Une chute et des érosions de berges se créent peu à peu à l'aval et rendent l'ouvrage infranchissable par la faune piscicole. De plus, les pentes à l'intérieur de l'ouvrage peuvent anticiper la puissance de l'eau en sortie de buse favorisant ainsi l'érosion et ne permettant pas aux espèces piscicoles de se maintenir dans un environnement sans rugosité et où les vitesses d'écoulement peuvent dépasser les 2 mètres par seconde.

Les étangs non équipés de passe à poissons et de dérivation constituent également un obstacle à la migration des organismes aquatiques. Ils agissent également comme un piège à sédiments. Les sédiments grossiers se déposent rapidement dans les deltas et les sédiments plus fins se trouvent stockés plus en aval. Lors des vidanges, les sédiments grossiers sont ceux qui sont les moins restitués au cours d'eau. En revanche, les sédiments fins peuvent de nouveaux être rejetés, sédiments fins auxquels il faut ajouter les sédiments organiques produits par l'étang.

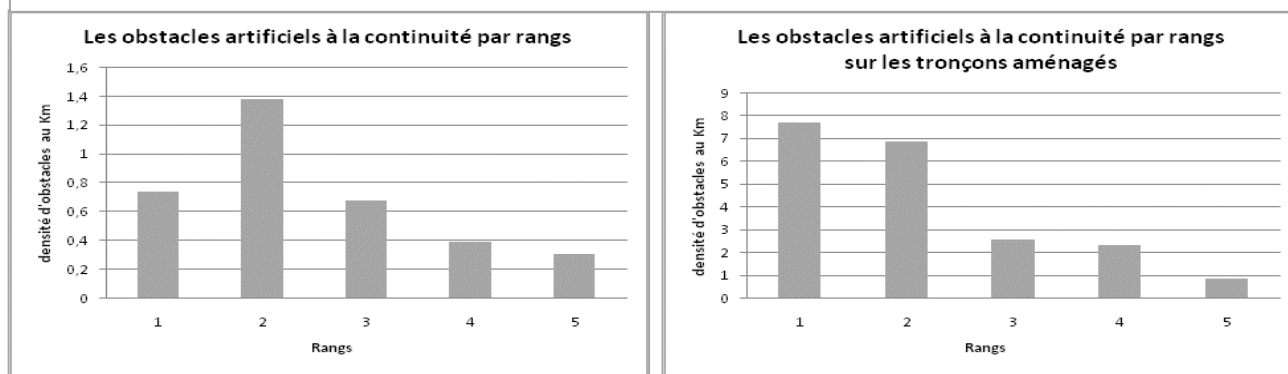
Les anciens aménagements d'irrigation des prairies peuvent également constituer des obstacles à la continuité écologique. En effet, il fut constaté lors des prospections de terrain réalisées

dans le cadre de cette thèse que les anciennes levades rejoignent souvent le talweg par des chutes ou des rapides sur de fortes pentes. La levade est dans bien des cas devenue l'unique chenal d'écoulement des eaux. Elle présente l'avantage de dévier le ruisseau en bord de parcelle ce qui annule la contrainte du franchissement. Autrefois, les levades étaient en eau uniquement en période d'irrigation, le reste du temps, le cours d'eau se trouvait dans son lit naturel. Une telle affirmation est à mettre en relation avec les pratiques de braconnage. En effet, les mises en eau des levades étaient l'occasion d'assécher momentanément le ruisseau et de pêcher à la main les truites, vairons et écrevisses.

Les cours d'eau sont ainsi de plus en plus séquencés de l'aval vers l'amont. Sur les ruisseaux du territoire du Pays Monts et Barrages, 416 ouvrages gênants sont recensés actuellement pour un linéaire parcouru de 480 Km, ce qui fait en moyenne quasiment un obstacle par Km. Dans le cadre du programme Life ruisseaux mené dans le PNR du Morvan, 825 Km de ruisseaux furent prospectés, et 701 ouvrages furent estimés comme étant infranchissables. Ce même ordre de grandeur entre les ruisseaux du Morvan et les ruisseaux du haut bassin de la Vienne ne s'arrête pas là, nous allons voir qu'il existe également des similitudes vis-à-vis de l'origine de ces obstacles. À l'échelle du réseau de ruisseaux du Pays Monts et Barrages, on remarque que les rangs 2 comprennent en moyenne plus de 1 obstacle au km alors qu'à partir du rang 3 la densité est de l'ordre de 1 obstacle tous les 2 Km.

La sous-représentation de la densité sur les rangs est due au fait que l'intégralité des rangs 1 sur les ruisseaux diagnostiqués n'a pas pu être parcourue alors qu'ils figurent dans ce calcul de densité.

Figure 221 : Densités d'obstacles à la migration des poissons sur les ruisseaux de Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009



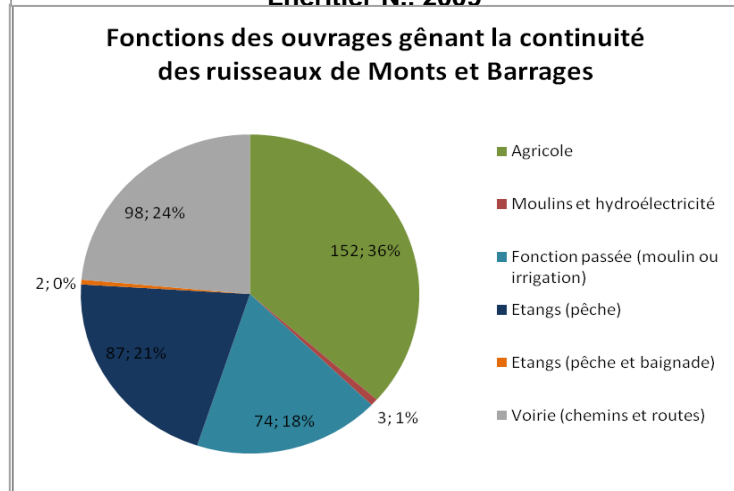
En revanche si on s'intéresse à la densité d'ouvrages uniquement sur les tronçons aménagés, c'est-à-dire ceux qui comprennent au moins 1 obstacle à la continuité, on s'aperçoit que les rangs 1 sont les plus affectés par les problèmes de continuité.

Sur les tronçons de rang 1 aménagés, la densité moyenne d'obstacles est de 7 au Km. Les ruisseaux de tête de bassin lorsqu'ils sont aménagés peuvent être extrêmement séquencés par les ouvrages.

Les densités moyennes d'ouvrages régressent de l'amont vers l'aval. Sur les rangs 3 à 4 aménagés, elles sont tout de même supérieures à 2 au Km.

Sur les rivières, la densité d'ouvrages est moindre, mais elle peut tout de même atteindre 1 obstacle au Km. Certains barrages étaient destinés à l'irrigation, et d'autres à l'utilisation de l'énergie dans des moulins.

Figure 222 : Fonction des ouvrages gênant la continuité piscicole sur les ruisseaux de Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009



Sur les ruisseaux du territoire, ce sont les ouvrages agricoles qui sont les plus nombreux. La plupart du temps il s'agit de buses permettant de franchir les cours d'eau. Viennent ensuite les ouvrages de voirie sur les chemins et les routes goudronnées. Les étangs d'agrément constituent la troisième cause de rupture de continuité. Les ouvrages n'ayant plus de fonction comme les seuils permettant de dériver le cours d'eau pour l'amener au moulin ou les anciennes levades qui rejoignent le lit naturel par des chutes ou des cascades représentent 18 % des ouvrages recensés. En ce qui concerne les ruisseaux du Morvan, la proportion des buses agricoles et routières est de 48 % des ouvrages infranchissables, pour les ruisseaux du Pays Monts et Barrages cette proportion atteint 61%. Les étangs constituent sur les deux territoires 20 % des ouvrages infranchissables.

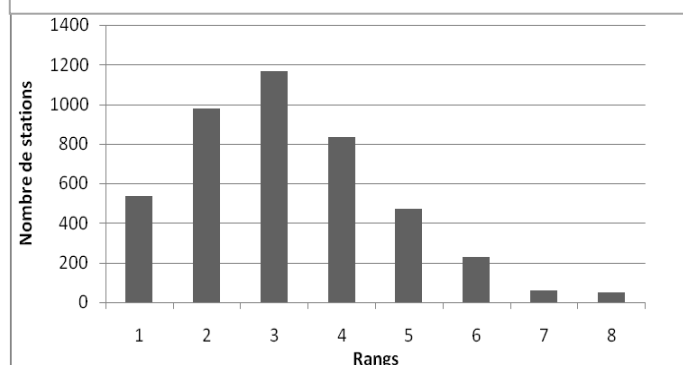
4. Qualité de l'eau en tête de bassin

4.1. Profils physicochimiques des ruisseaux

4.1.1. À l'échelle du bassin de la Loire

Sur les bassins de la Loire et de la Bretagne, il nous est désormais possible de classer selon Strahler les stations et les résultats des mesures physicochimiques téléchargées via Osur Web. Nous ne

Figure 223 : Nombre de stations de mesures de la qualité physicochimique et biologique des cours d'eau du territoire de l'AELB par rang de Strahler, sources OSUR WEB, BD Carthage (ordonnée), Lhéritier N., 2009



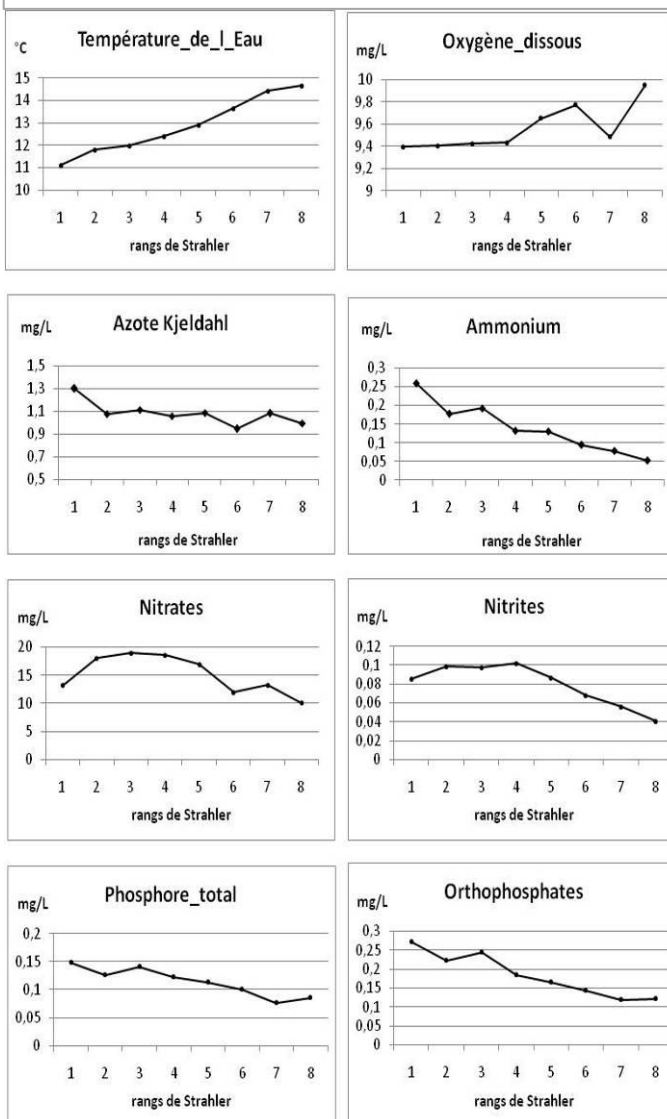
garderons que des paramètres généraux, azote sous plusieurs formes, oxygène dissous, température, conductivité, phosphore, MES, carbone organique, et ne garderons que les prélèvements et analyses d'eau brute et sous sa phase aqueuse.

On remarque en triant les effectifs des stations de mesure par rang que ce sont les rangs 3 qui sont les plus représentés. N'oublions pas que ce classement est fait avec la BD Carthage, et qu'un certain décalage existe du fait de la non cartographie d'un grand nombre de rang 1. Les rangs 1 sont peut-être des rangs 2 ou 3 dans la réalité, les rangs 3 peuvent être des rangs 4 ou 5.

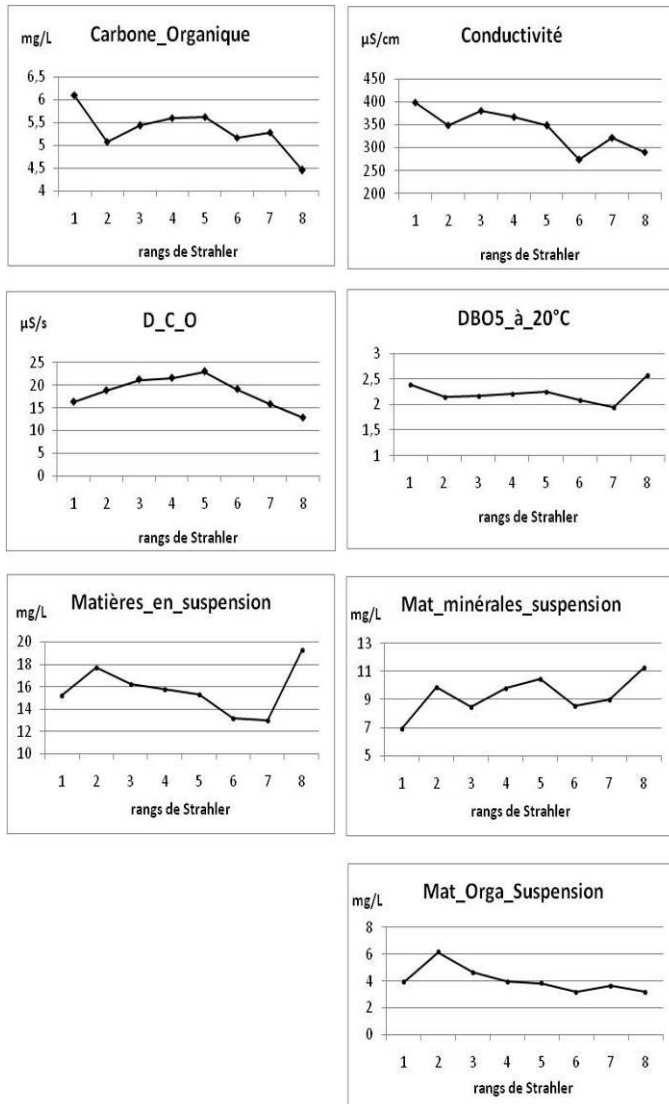
En s'intéressant aux moyennes par paramètre de l'année 2008 classées par rang de 1618 stations, on constate que généralement la température sur les petits cours d'eau est plus fraîche que sur les grands lors des prélèvements. Les concentrations en oxygène dissous semblent également être plus importantes sur les grands cours d'eau que sur les petits. Ces paramètres peuvent être réellement commentés en présence de relevés plus fréquents.

Les formes de l'azote les plus néfastes à la vie aquatique, c'est-à-dire l'ammonium et les nitrites ont des concentrations qui diminuent de l'amont vers l'aval. L'ammonium diminue d'une manière régulière. Les concentrations en nitrites augmentent des rangs 1 à 2, stagnent jusqu'au rang 4 pour ensuite diminuer progressivement. Les nitrates suivent la même tendance. Les deux formes du phosphore diminuent régulièrement de l'amont vers l'aval. Ces nutriments responsables de l'eutrophisation des eaux proviennent directement de l'amont des cours d'eau en ce qui concerne les phosphates et l'azote. Les concentrations en nitrates et nitrites augmentent peu à peu, leur diminution n'intervient qu'à partir des rangs 4, ce qui

Figure 224 a et b : Moyennes des données brutes de quelques paramètres physicochimiques des cours d'eau du territoire de l'AELB par rang de Strahler, sources OSUR WEB, BD Carthage (ordonnée), Lhéritier N., 2009



montre que les entrées sont supérieures aux capacités autoépuratoires pour les petits cours d'eau. Si l'on en croit ces paramètres physicochimiques pouvant montrer un enrichissement excessif des eaux en amont des bassins versants, les petits cours d'eau sont en première ligne face au phénomène d'eutrophisation, et participent activement à l'épuration des eaux pour les grands cours d'eau de l'aval.



Si nous venons de le voir, les ruisseaux sont des producteurs et des vecteurs de matières azotées et phosphorées, ils le sont également de matières organiques et minérales. Le carbone organique diminue des rangs 1 aux rangs 2 il réaugmente jusqu'aux rangs 5. L'activité bactériologique aérobie augmente brusquement à partir des rangs 8, ces rangs étant peu échantillonnés, il est probable que la DBO5 soit un des paramètres les plus constant de l'amont vers l'aval. En revanche, la Devance Chimique en Oxygène montre là encore que les ruisseaux s'enrichissent peu à peu en éléments à dissoudre, une baisse s'amorce à partir des rangs 5. Les MES ont des concentrations s'abaissant des rangs 2 à 7, pourtant, les matières minérales augmentent. Ce sont les matières organiques qui sont dominantes dans cette baisse de l'amont vers l'aval. Les ruisseaux s'enrichissent en éléments minéraux et organiques, ils en sont des vecteurs épurateurs.

Tableau 39 : Comparaison de quelques flux de MES des ruisseaux et petites rivières bretonnes et limousines, Lhéritier N., 2011

Cours d'eau	Débit solide (MES) en tonnes/an	Surface BV	Débit spécifique solide MES en tonnes/Km ² /an	Strahler	Source
Effe	31,8	1,1	29	2	Impact Conseil (préleveur automatique)
Montabarot	36,2	2	18	2	Impact Conseil (préleveur automatique)
Violette	78,4	2,24	35	2	Julie Lefrançois (préleveur automatique)
Coët	70,0	5	14	2	Julie Lefrançois (préleveur automatique)
La Leyrenne	1119,3	53	21	4	Impact Conseil
La Combade	1631,0	173	9	> 4	Nicolas Lhéritier (d'après les données OZURWEB et Banque Hydro)
La Glane	1629,0	288	6	> 4	Yoann Brizard (préleveur automatique)

Le tableau ci-dessus présente des valeurs de concentration en MES et de flux spécifique en tonnes /Km²/ an des ruisseaux bretons étudiés par Julie Lefrançois et de certains ruisseaux limousins. Si les flux sont toujours plus forts sur les rivières (Strahler > 4), les flux spécifiques sont toujours les plus forts pour les faibles rangs. Les ruisseaux creusois affluent de la Leyrenne : l'Effe et le Montbarot sont tous deux affectés par le piétinement bovin. La Combade et la Glane sont deux rivières s'écoulant en contexte forestier et d'élevage.

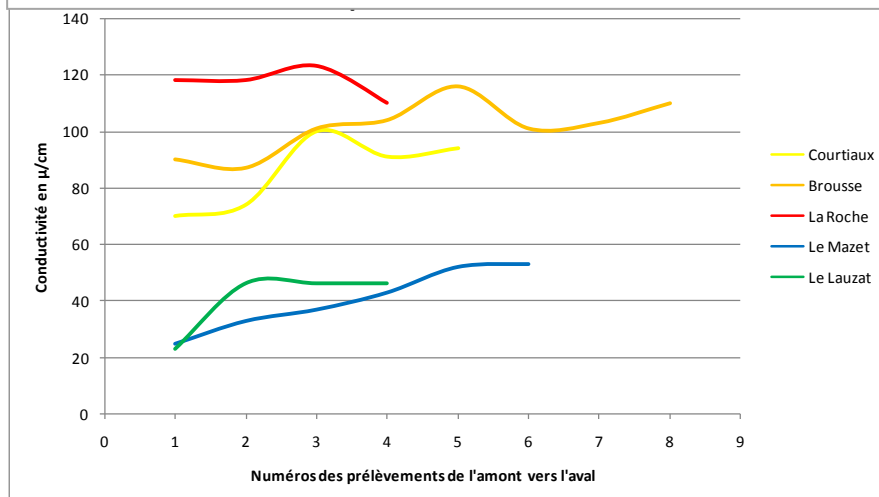
4.1.2.À l'échelle des ruisseaux du Pays Monts et Barrages

Certains paramètres semblent évoluer de l'amont vers l'aval sur les ruisseaux. Le cours d'eau se charge naturellement en éléments dissous, mais une élévation rapide de la conductivité sur un linéaire court peut indiquer des apports d'origines anthropiques en éléments dissous (communication personnelle G. Guibaud). Un rejet de STEP ou d'assainissement autonome n'étant pas apte à traiter convenablement les eaux usées ou un lessivage de sols ayant été amendé en minéraux ou matières organiques va contribuer à une augmentation de la conductivité qui s'ajoute à l'augmentation « naturelle » se produisant de l'amont vers l'aval. La conductivité sur les petits ruisseaux de tête de bassin est variable, ces variations de valeurs suivent complètement les pratiques agricoles. Alors que le Lauzat et le Mazet prennent leurs sources sur des espaces peu utilisés par l'agriculture, à l'inverse, les têtes de bassin du ruisseau de la Roche sont occupées par l'élevage bovin et les cultures. Les

ruisseaux du Courtiaux et de la Brousse ont des situations intermédiaires avec tout de même plus de cultures sur le ruisseau de la Brousse.

En mesurant la conductivité de l'amont vers l'aval sur les ruisseaux, on s'aperçoit que pour trois d'entre eux la conductivité augmente de l'amont vers l'aval. Les valeurs de conductivité augmentent des sources du ruisseau des Ternes jusqu'à sa confluence avec le Lauzat puis elles restent similaires jusqu'à la confluence avec la

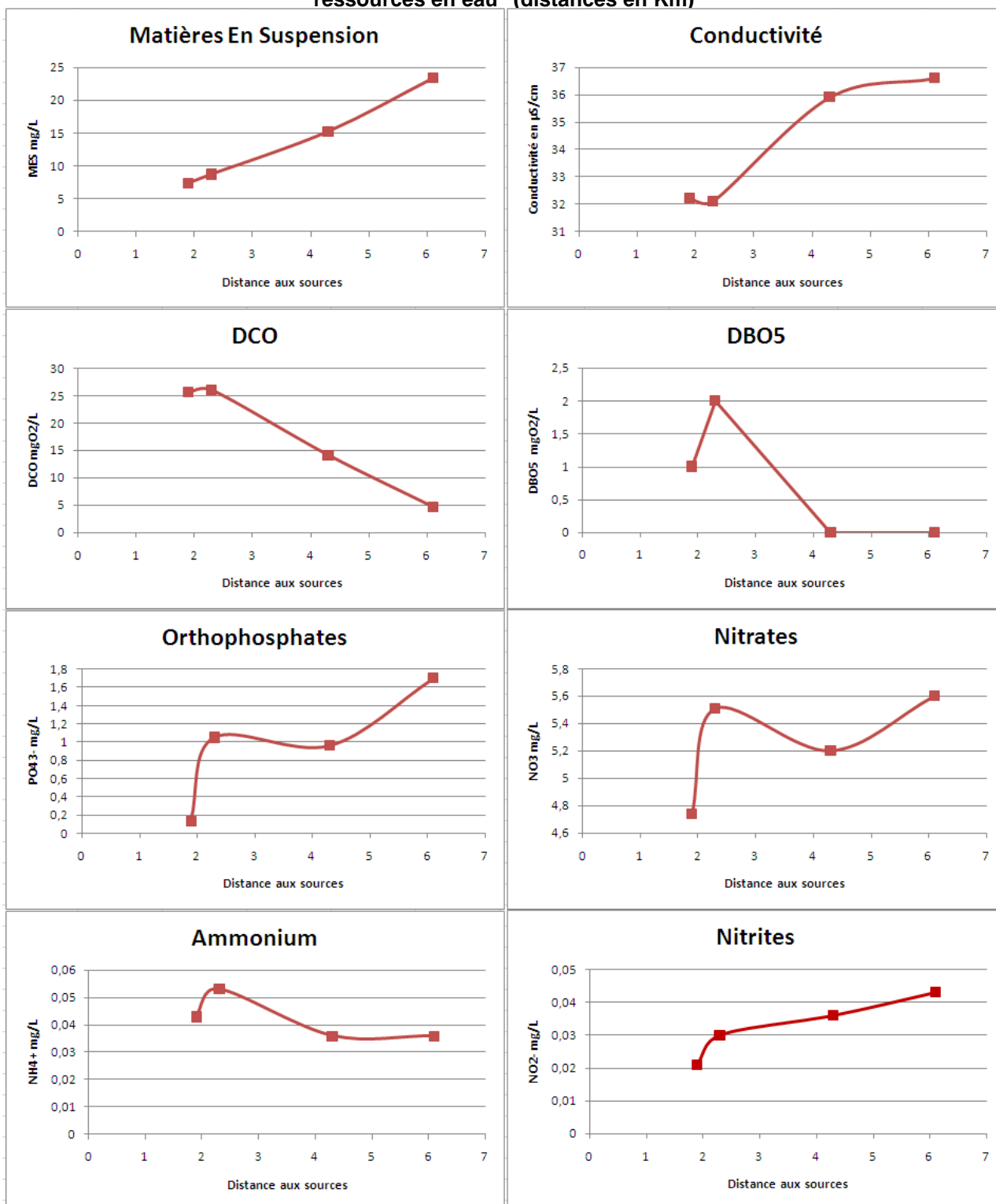
Figure 225 : Profils longitudinaux de la conductivité dans les ruisseaux du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010, d'après différentes campagnes des L professionnelles "Gestion des ressources en eau"



Vienne. Sur le ruisseau de la Roche, les valeurs de conductivité sont fortes dès la tête de bassin, puis elles diminuent dans les gorges boisées avant la confluence avec la Vienne. Alors que l'augmentation de la conductivité est presque linéaire sur le Mazet, on observe des pics sur les ruisseaux de la Brousse et du Courtiaux. Ces deux pics se situent dans des zones où l'agriculture est la plus intensive, mais aussi en aval d'étangs. Pour le ruisseau de la Brousse, lors des mesures sur la station en aval de la station d'épuration de Bujaleuf les valeurs de conductivité étaient très variables, elles ne figurent donc pas sur ce graphique. Le rejet de la station avait une conductivité de 262 µS/cm². Globalement, on s'aperçoit que la conductivité diminue dans les secteurs boisés ou bordés par des zones humides, et augmente au contact des activités humaines.

Les Licences Professionnelles gestion de l'eau de l'université de Limoges et du lycée d'Ahun ont réalisé des profils physicochimiques sur le ruisseau d'Artigeas au mois de février 2008. Rappelons que le ruisseau d'Artigeas est un des ruisseaux les plus préservés du territoire du point de vue de la pression des activités humaines sur la qualité de l'eau.

Figure 226 : Profils longitudinaux de quelques paramètres physicochimiques du ruisseau d'Artigeas, Lhéritier N., 2010, d'après différentes campagnes des L professionnelles "Gestion des ressources en eau" (distances en Km)



Sur le ruisseau d'Artigeas, des mesures de paramètres de l'amont vers l'aval montrent que l'eau se charge peu à peu en matières en suspension et en éléments dissous. La consommation chimique et biologique en oxygène pour dégrader la matière organique suit globalement la même tendance. On observe cependant un pic bien visible pour la DBO5 et quasiment imperceptible pour la DCO au niveau de la station 2 qui se situe en aval d'un étang et d'un élevage bovin. Les demandes en oxygène diminuent progressivement en environnement forestier jusqu'à la confluence avec la Maulde. De l'amont vers l'aval, la capacité du ruisseau à épurer la matière organique augmente. On observe une augmentation similaire pour les nitrates et orthophosphates sur la station 2 puis une réaugmentation sur la station 4. Une augmentation similaire des nitrates et des orthophosphates indique un apport commun qui est souvent dû aux engrais agricoles.

En ce qui concerne l'ammonium qui baisse au profit de l'augmentation des nitrites, il s'agit également d'un processus biologique qui se produit par l'action de bactéries aérobies pour transformer l'ammonium en nitrites. L'ammonium qui augmente par l'apport d'éléments organiques et d'urée dans l'eau sur la station 2 est ensuite transformé en nitrites sans pour autant dépasser la valeur compatible avec la vie des espèces salmonicoles.

4.2. Comparaisons entre la qualité de l'eau des rivières et des ruisseaux du Pays Monts et Barrages

Nous avons choisi d'étudier la qualité de l'eau des rivières et ruisseaux du territoire en utilisant des données récoltées sur les stations des grands cours d'eau, mais aussi sur les stations de suivi des licences professionnelles « Gestion de l'eau option protection de la ressource » sur le chevelu hydrographique. Ceci nous apporte des éléments de comparaison entre la qualité des grands cours d'eau et des ruisseaux où les débits sont plus faibles et la dilution moindre. De plus, les ruisseaux sont plus généralement situés à proximité des activités agricoles et des assainissements autonomes sur les plateaux. Viennent également s'ajouter des données permettant d'effectuer des profils en long physicochimiques des eaux pour révéler les cycles géochimiques des éléments sur les ruisseaux.

Il s'agit dans cette partie de ne pas simplement interpréter les résultats physicochimiques du point de vue de la biologie globale, mais aussi de vérifier l'adéquation entre la qualité de l'eau et la vie des espèces des milieux salmonicoles et des milieux aquatiques en général.

Les matières azotées :

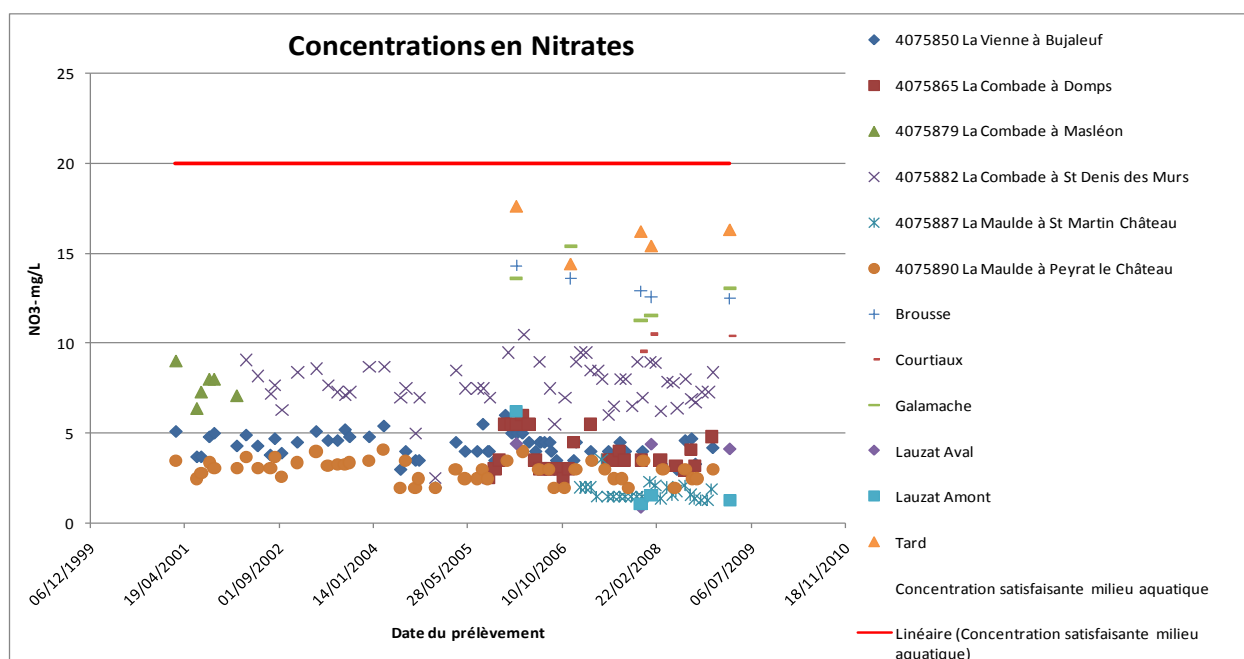
Les matières azotées sont présentes dans l'eau sous différentes formes.

Les nitrates sont la forme la plus oxygénée de l'azote, à fortes concentrations ils indiquent une pollution d'origine industrielle ou due à un lessivage des terrains de culture. Les nitrites sont le résultat de la dégradation des nitrates sans oxygène ou de l'azote ammoniacale ou ammonium par les bactéries aérobies. Ils sont extrêmement toxiques pour les organismes aquatiques. L'azote ammoniacal est souvent le résultat direct d'urée dans l'eau en provenance d'eaux usées urbaines, d'effluents d'élevage ou encore de lessivages des sols de cultures. Il peut évoluer sous la forme de nitrites.

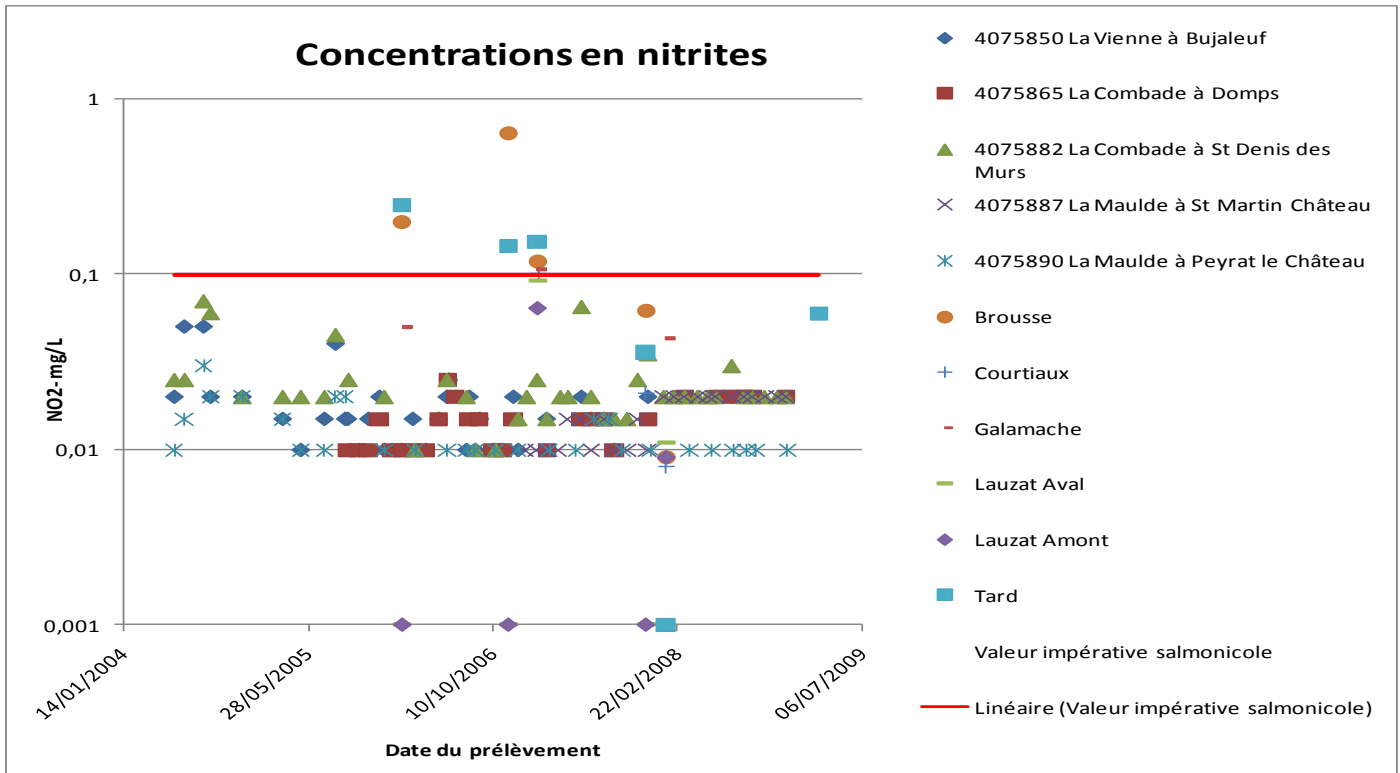
En s'intéressant aux concentrations de nitrates dans les rivières et ruisseaux, on s'aperçoit que la plupart des rivières ont une concentration inférieure à 5 mg/l, seule la Combade a des concentrations comprises entre 5 et 10 mg/l. On ne note pas d'amélioration ou d'accentuation vis-à-vis de ces concentrations pour les rivières sur l'ensemble de la période.

Les ruisseaux ont des concentrations beaucoup plus importantes en nitrates, en effet, ils sont en première ligne face au lessivage des terrains cultivés situés sur les plateaux. Certains ruisseaux comme le Tard, la Galamache ou encore le ruisseau de la Brousse ont des valeurs qui se rapprochent des seuils maximaux pour le bon fonctionnement des milieux aquatiques. Ces trois ruisseaux sont situés dans les zones agricoles les plus intensives du territoire. La Brousse et le Tard reçoivent les effluents de stations d'épuration. Ces ruisseaux apparaissent comme étant très vulnérables sur les cartes effectuées par les licences professionnelles.

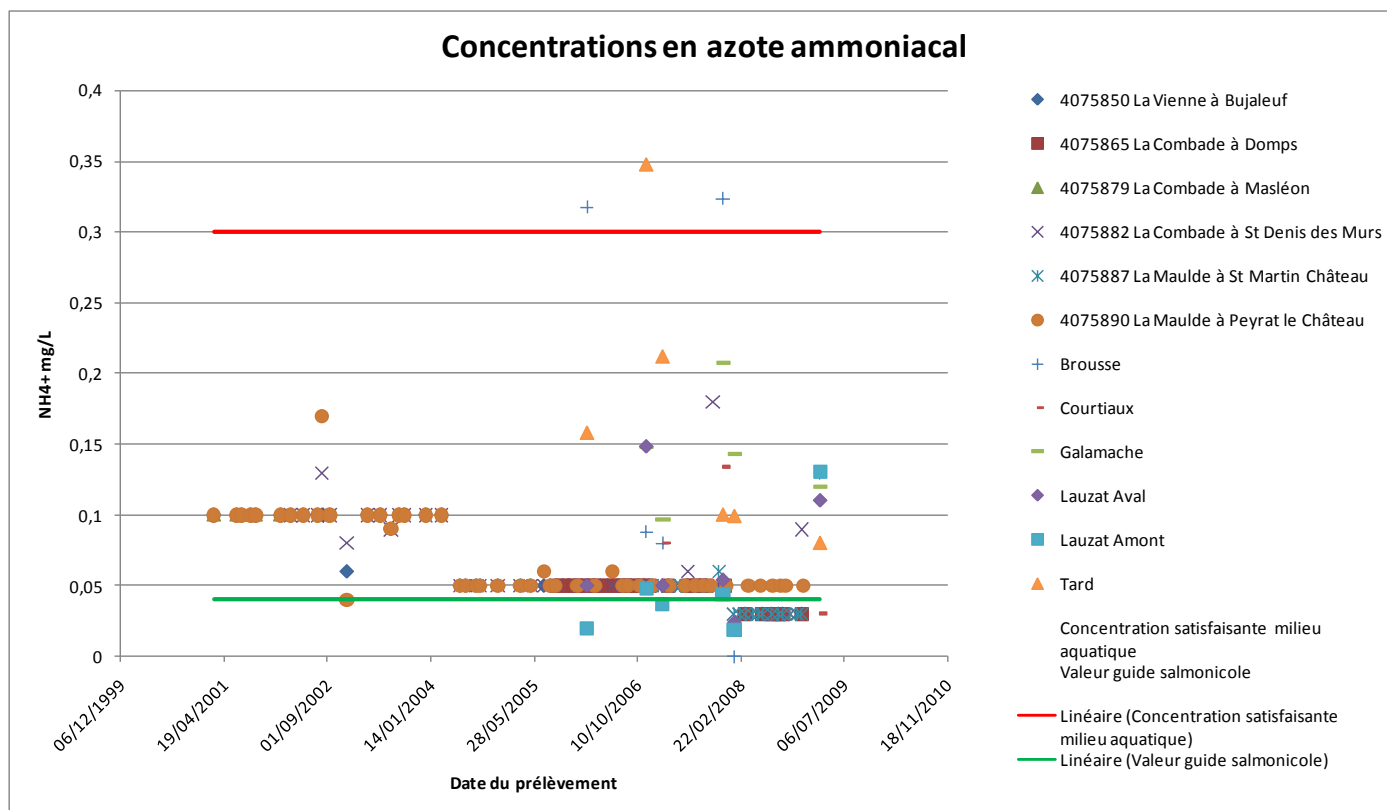
Figure 227 : Série de comparaisons entre les valeurs de paramètres physicochimiques mesurés pour une même période sur les ruisseaux et les rivières principales du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010 d'après les données OSUR WEB et L Pro "Gestion des Ressources en eaux"



Cette concentration en nitrates est suffisante pour que dans certaines conditions, ils se transforment en nitrites. Sur le Tard et la Brousse, les concentrations en nitrites peuvent dépasser allègrement la valeur guide pour le bon fonctionnement des milieux salmonicoles. Sur la station du ruisseau de la Brousse, la truite est absente. Sur le Tard, quelques truites sont présentes.



Toujours sur le Tard et la Brousse, les concentrations en azote ammoniacal dépassent la limite supérieure des concentrations satisfaisantes pour le bon fonctionnement des milieux aquatiques. Il n'y a que sur les têtes de bassin comme sur le Lauzat amont, la Combade à Domsps et la Maulde à St Martin Château que les concentrations sont comprises dans les valeurs guides des milieux salmonicoles. Sur toutes les autres rivières et ruisseaux les concentrations sont plus élevées.



Alors que sur les rivières aucun signe ne montre de problèmes liés à l'azote, sur certains ruisseaux, il est présent sous plusieurs formes y compris les plus nocives. Il peut ponctuellement causer de sérieux dysfonctionnements des milieux aquatiques et peut être mis en relation directe avec l'absence de certaines espèces.

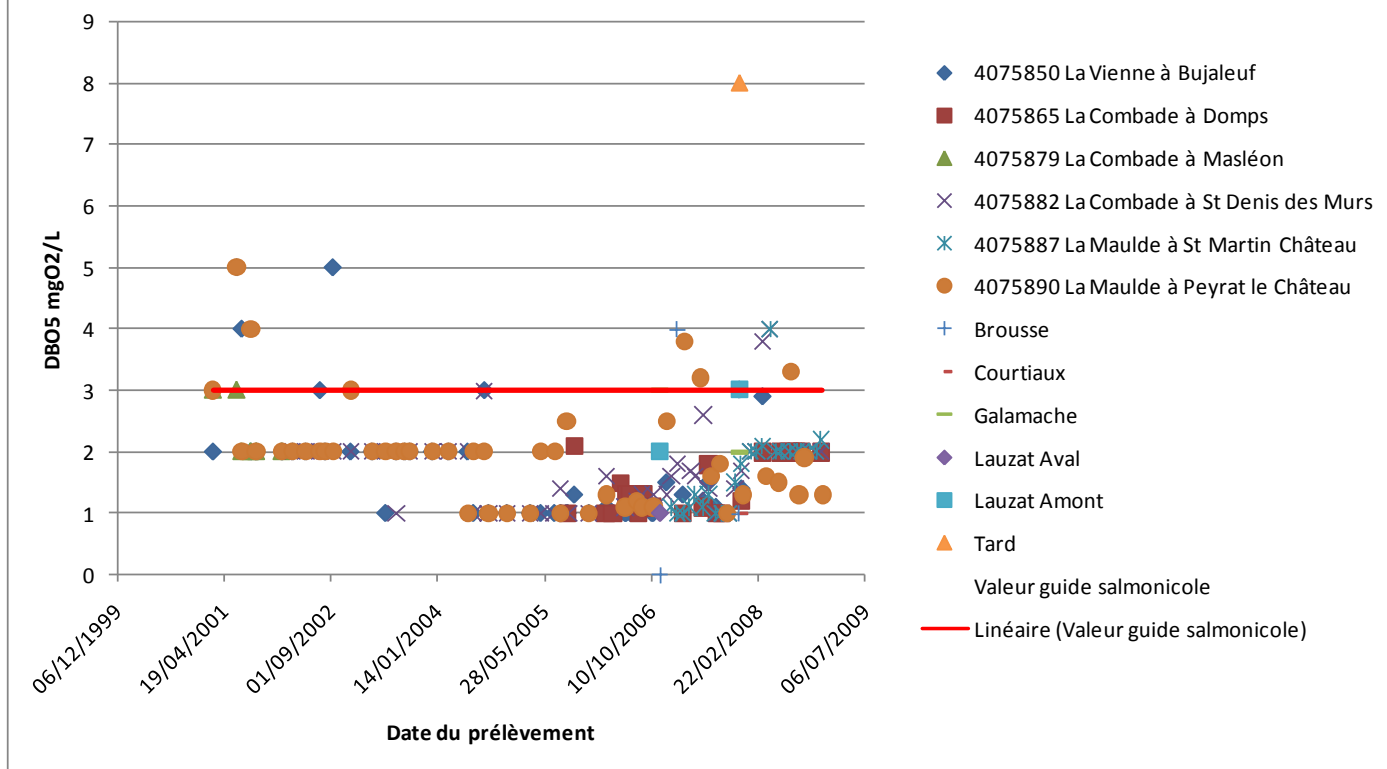
Biologie et matières organiques :

Il s'agit précisément de la quantité d'oxygène consommée par voie chimique pour dégrader la matière organique.

La DBO5 est la demande biologique en oxygène pour dégrader la matière organique. Ce qui est mesuré, c'est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries pour dégrader la matière organique sous 5 jours. Plus il y a de matière organique à dégrader plus la demande en oxygène est forte. La DCO correspond quant à elle à la demande chimique en oxygène pour dégrader la matière organique.

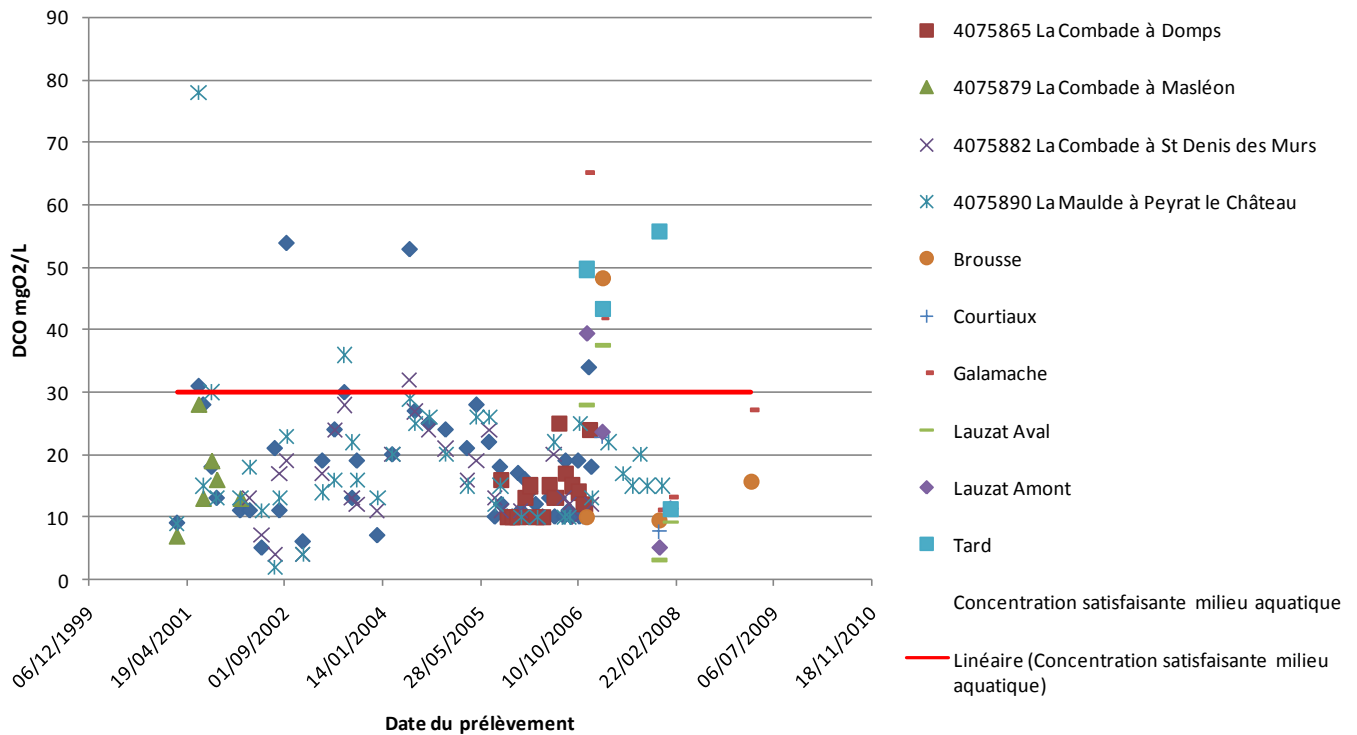
Ces deux paramètres rendent compte de la quantité de matière organique présente dans l'eau.

Demande Biologique en Oxygène



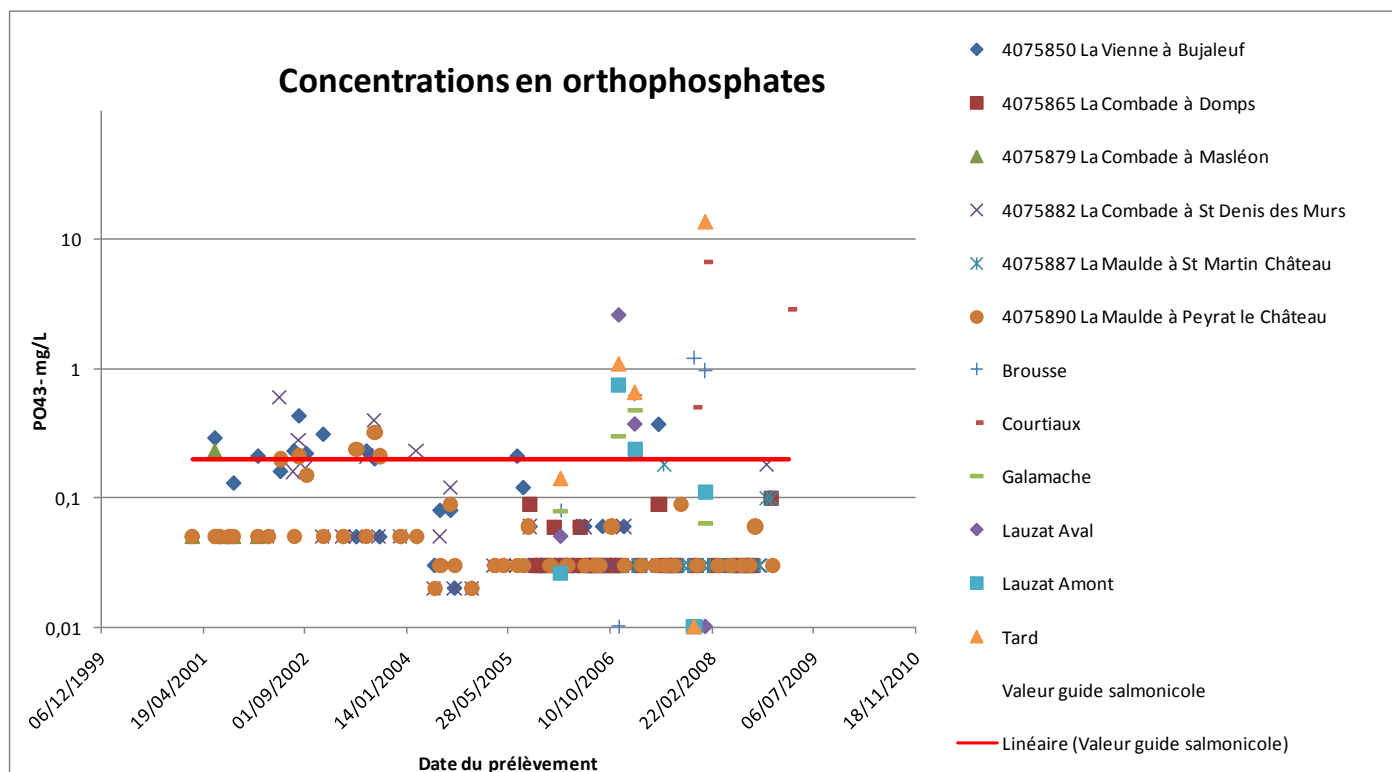
Sur le Tard, les valeurs de DBO5 peuvent être beaucoup plus fortes que sur le reste des cours d'eau, ce qui laisse suspecter des pollutions par excès de matières organiques. La DCO y est également souvent élevée. Ces excès de matière organique peuvent causer des dysfonctionnements des milieux aquatiques. La Combade, la Briance et la Maulde peuvent avoir des concentrations qui dépassent le seuil de la valeur guide pour les milieux salmonicoles.

Demande Chimique en Oxygène



Les orthophosphates

Il s'agit du phosphore minéral, résultat de la minéralisation de la matière organique, mais ils sont également présents dans les engrais et les lessives.



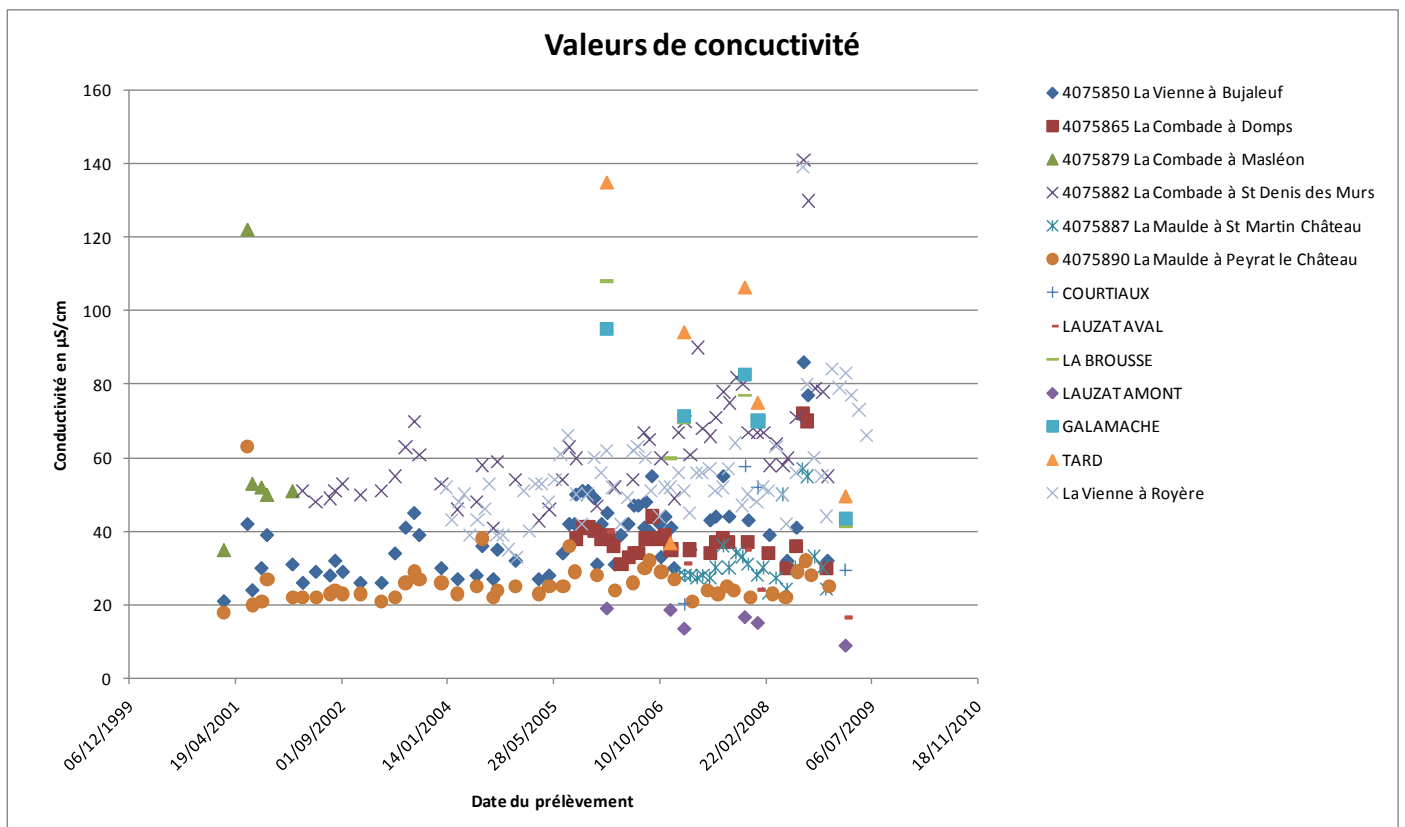
Pour ce paramètre également, ce sont les ruisseaux qui ont les plus fortes concentrations et surtout le Tard et le Courtiaux. En outre, les excès de phosphore peuvent conduire à l'eutrophisation des rivières et plans d'eau. Cette eutrophisation n'est pas assimilable à une pollution à elle seule. En revanche, elle conduit à une explosion de phytoplanctons et d'algues qui consomment alors beaucoup d'oxygène. Cet oxygène consommé n'est alors plus disponible pour les bactéries. Sur le Tard, l'agriculture et les effluents domestiques peuvent être responsables de ces teneurs, mais sur le Courtiaux, l'habitat n'est pas dense.

La conductivité

La conductivité de l'eau dépend des concentrations en sels dissous. Plus la conductivité est élevée, plus il y a d'éléments dissous dans l'eau d'origine minérale comme organique, anthropique ou « naturelle ». Les fortes variations de valeurs entre les cours d'eau laissent penser à des apports de sels dissous d'origine anthropique plus importants pour certains d'entre eux.

Sur les ruisseaux nous trouvons les plus faibles valeurs avec le Lauzat amont, mais aussi des valeurs fortes avec le Tard. La Combade à Masléon et à St Denis des Murs peut avoir ponctuellement des valeurs qui dépassent largement la conductivité habituelle. Sur la fin de la période, l'augmentation de la conductivité à St Denis des Murs est associée à une augmentation à Domsps.

La Galamache, le Tard et la Brousse ont tous trois des valeurs fortes qui évoluent de la même manière. Les valeurs les plus fortes correspondent aux prélèvements en débits hivernaux faibles. Ceci est donc directement lié au phénomène de dilution et laisse présager des valeurs encore plus fortes en été.



Les matières en suspension :

Ce sont les eaux de la Combade et de la Briance qui ont les plus fortes concentrations, alors que la Maulde et la Vienne ont des concentrations moindres et toujours en adéquation avec le bon fonctionnement des milieux salmonicoles. Même en tête de bassin (à Domsps), la Combade peut avoir de fortes concentrations de MES.

La mise en relation des concentrations moyennes mensuelles des rivières en MES avec la demande chimique pour dégrader la matière organique DCO semble indiquer que les matières en suspensions sont essentiellement organiques. En effet, la DCO augmente de la même manière que la concentration en MES.

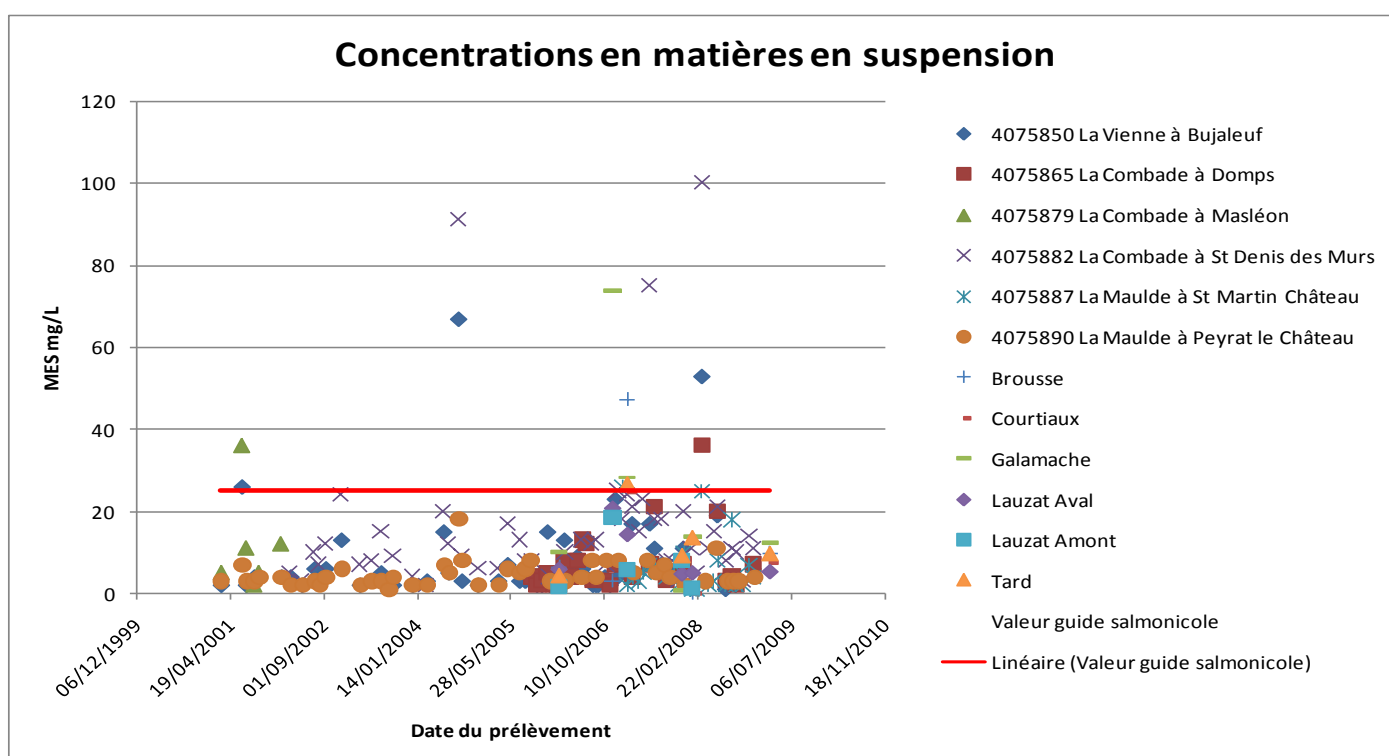
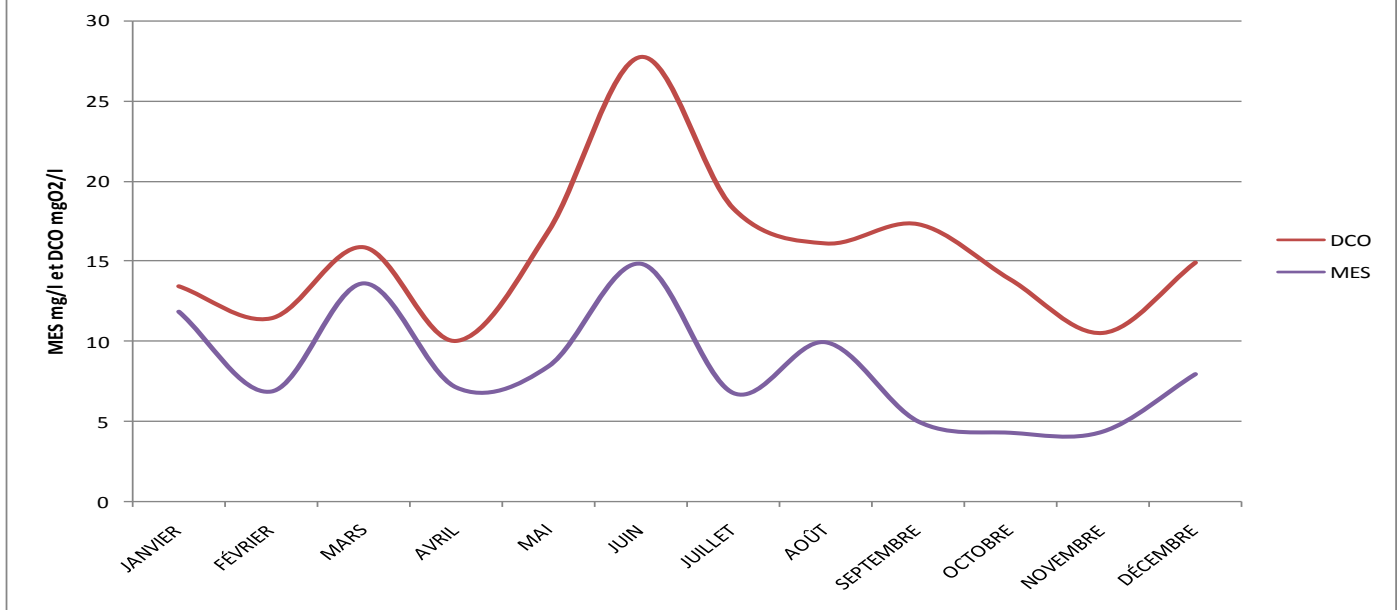


Figure 228 : Evolution annuelle des valeurs de MES et de DCO dans les rivières du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010 d'après les données OSUR WEB



Ce qu'on constate également, c'est que sur l'ensemble des mesures, les concentrations importantes en MES n'apparaissent pas uniquement en période de hautes eaux lorsque la charge de fond est mise en suspension, mais qu'elles peuvent être importantes au mois de juin et accompagnées d'une hausse de la DCO. En d'autres termes, il s'agit d'une mise en suspension due à un brassage mécanique ou à un apport important de MES organiques en provenance des berges. C'est à cette période que le pâturage des prés de fond est le plus pratiqué, permettant la fauche des parcelles situées sur les plateaux et l'abreuvement du bétail.

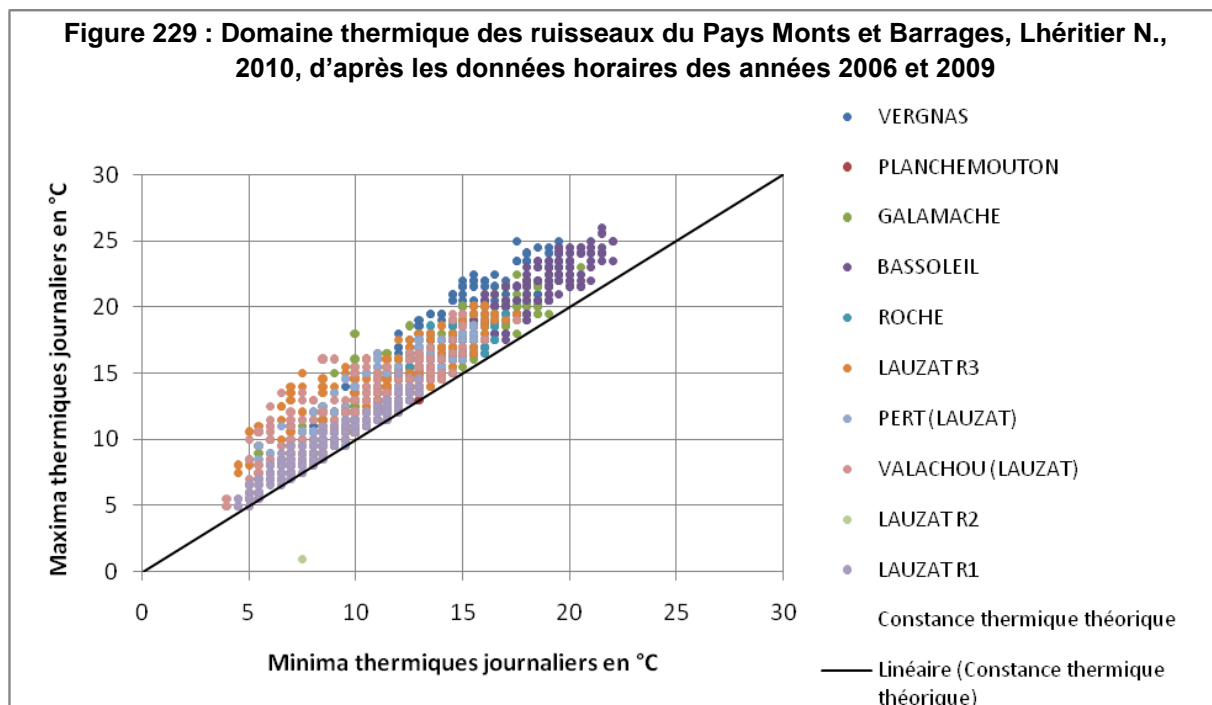
D'une manière générale, on s'aperçoit que certains éléments comme les nitrates, les orthophosphates peuvent avoir des concentrations bien plus importantes sur les ruisseaux que sur les rivières principales du fait de leur plus faible pouvoir de dilution et de la proximité avec les sources de ces éléments. Ce qui nous conforte dans cette idée est que la Combade et la Briance sont les deux rivières du territoire qui traversent le plus régulièrement des pâtures et cultures et que ce sont elles qui ont les valeurs les plus élevées en nitrates et orthophosphates. C'est également sur les ruisseaux que sont observées les plus fortes demandes biologique et chimique en oxygène pour dégrader la matière organique. Ceci suggère que le principal phénomène d'épuration de la matière organique est effectué sur leur cours. Les ruisseaux représentent donc de très forts enjeux vis-à-vis de la qualité de l'eau des cours d'eau principaux. Nous pouvons également rappeler que les effluents d'un bovin correspondent aux effluents de 7 équivalents-habitants.

4.3. Fonctionnement thermique des ruisseaux limousins

Le fonctionnement thermique des ruisseaux est un facteur très important pour expliquer l'originalité de leur écologie. Le domaine thermique, c'est-à-dire la plage de températures dans laquelle se situent les températures des eaux va conditionner les biocénoses pouvant les habiter.

Deux campagnes de mesures des températures des ruisseaux furent menées durant cette thèse : l'année complète 2006 pour le ruisseau de Lauzat ; et de la fin du printemps au début de l'hiver 2009 pour les ruisseaux de Vergnas, Galamache, Roche, Bassoleil, et Planchemouton.

En considérant toutes ces données confondues, on remarque que le domaine thermique des ruisseaux du Pays Monts et Barrages se situe entre 5°C et 25°C.



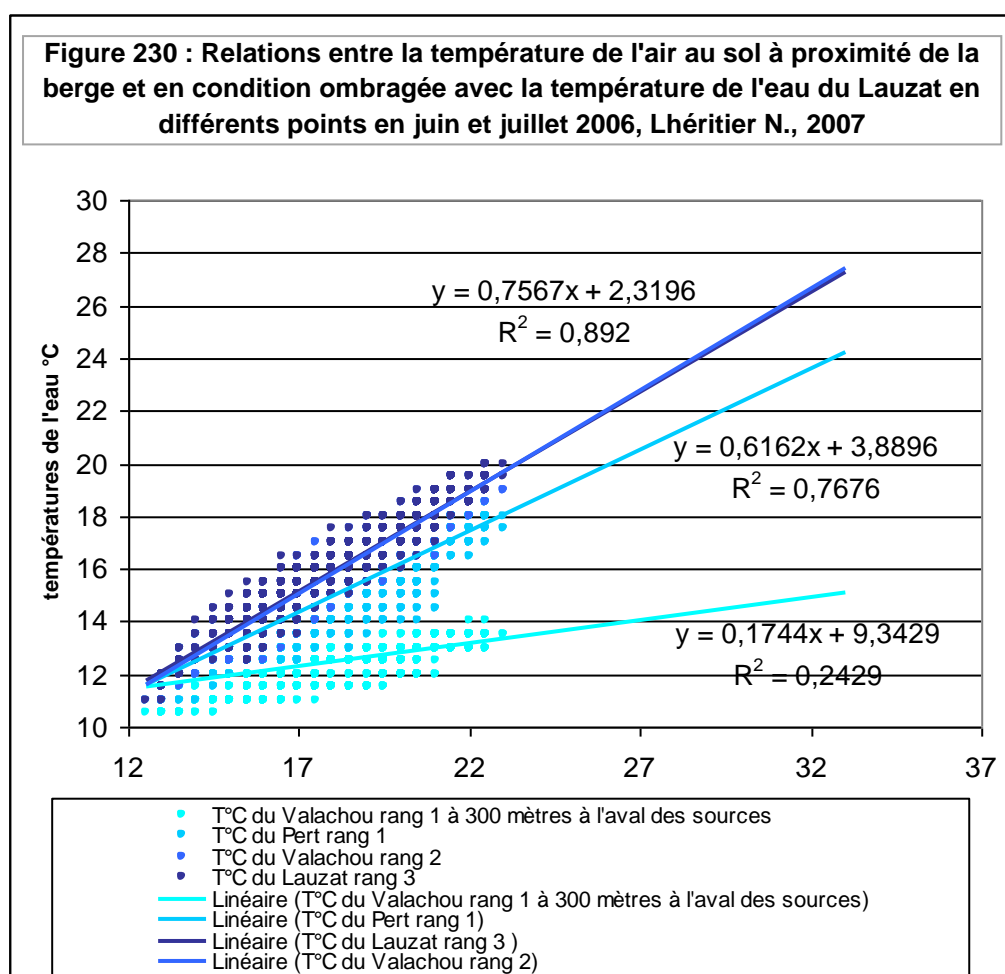
Les extrêmes thermiques sont également très importants, car ils sont liés à la stabilité écologique, en d'autres termes, ils permettent à des espèces d'être présentes durant toute une journée, un mois, une année, ou au contraire les contraignent à migrer vers des zones thermiques plus favorables momentanément ou durablement si des extrêmes les délogeant se produisent régulièrement. Enfin, les différences thermiques diurnes, saisonnières ou mensuelles sont plus ou moins tolérables par les espèces en fonction de leurs amplitudes.

Directement liées à la teneur en oxygène dissous, les températures conditionnent également de ce fait la répartition des espèces sensibles ou insensibles à des valeurs d'oxygène dissous élevées. L'oxygénation de l'eau entre également dans les phénomènes physicochimiques, et

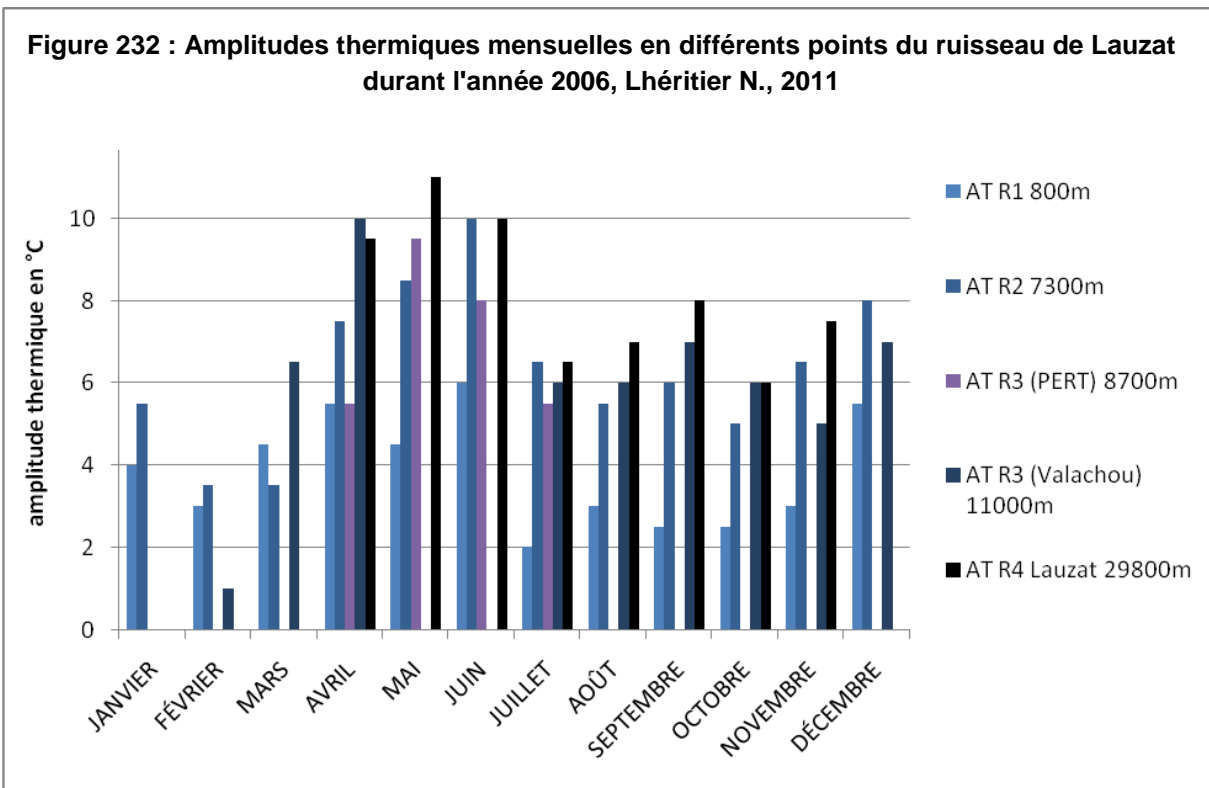
notamment dans les phénomènes de transformation de l'azote. Nous l'avons vu, en première partie, même dans des petits cours d'eau, la température de l'eau peut varier dans la colonne d'eau, mais surtout entre les écoulements du chenal et les inféreflux.

Vannote a montré qu'il existe un type de cours d'eau, qui pour lui est fonction de sa position dans le réseau (rang de Strahler) qui est le plus soumis aux variations thermiques. Ce type de cours d'eau fait partie de la famille des ruisseaux, puisqu'il s'agit des rangs 3. Le domaine des ruisseaux est donc un domaine d'ajustement thermique entre l'eau et son environnement. C'est une étape du cycle de l'eau où les températures atmosphériques et des sols riverains vont fortement influencer celle de l'eau.

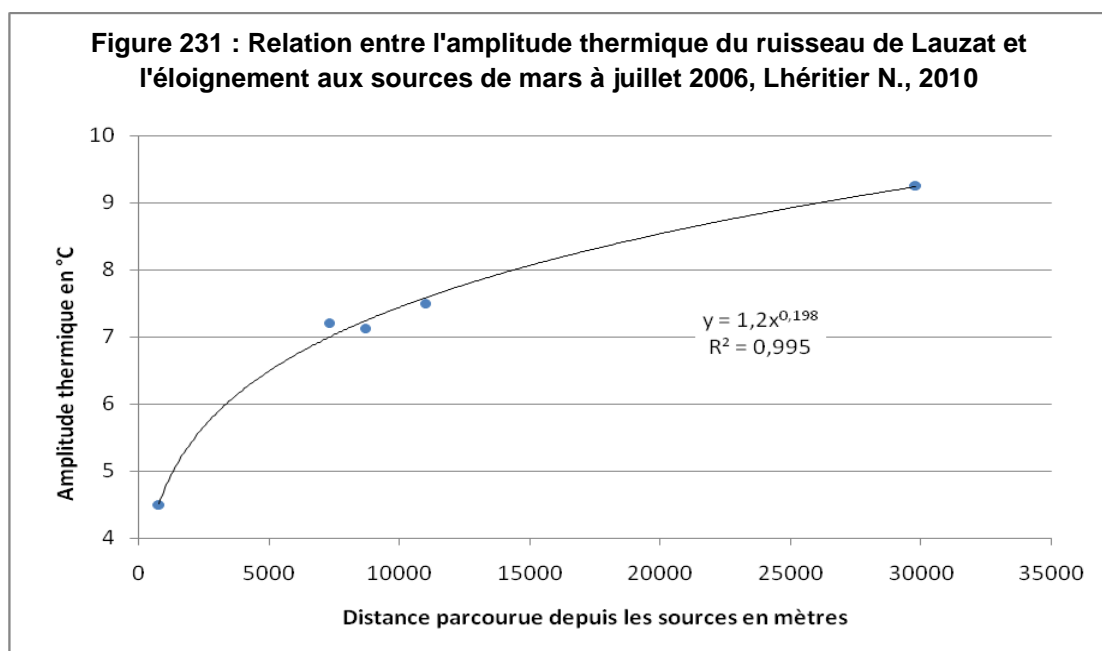
Le graphique suivant présentant les températures enregistrées toutes les 30 minutes sur le ruisseau de Lauzat en différents points et en période estivale montre que la température de l'eau est de plus en plus liée à celle de l'environnement riverain du ruisseau de l'amont vers l'aval. C'est pour cette raison que l'amplitude thermique augmente de l'amont vers l'aval sur les ruisseaux, ce que nous allons étudier plus en détail par les amplitude diurnes et saisonnières.



En 2006 sur le ruisseau de Lauzat, l'amplitude thermique fut la plus faible durant l'hiver, puis elle augmenta au printemps. Du fait d'un mois d'août frais, les baisses de températures sont la cause d'une réduction de l'amplitude qui se stabilise alors pour chaque rang.



Si Vannote a montré que l'amplitude thermique évolue en fonction du rang de Strahler, nous avons surtout remarqué que cette évolution se fait en fonction de l'éloignement aux sources, ou plutôt en fonction du linéaire total parcouru par les écoulements. En effet, sur le graphique ci-dessous, on



remarque cette augmentation de l'amplitude au printemps et au début de l'été en fonction du linéaire d'écoulement à l'amont de la station de mesure.

Les changements thermiques et l'amplitude diurne :

Sur les ruisseaux, c'est au moment du réchauffement des eaux que l'amplitude thermique est la plus forte, au printemps et en été. Au printemps sur le ruisseau de Lauzat en rang 3, l'amplitude thermique journalière peut être de 7,5°C, elle ne dépasse pas les 3°C en rang 1 et représente 5,5°C en rang 2.

Les plus basses températures de la journée de l'eau du Lauzat se produisent généralement sur les rangs 1 entre 7h et 9h30. Sur les rangs 2 les températures les plus fraîches enregistrées durant une année s'étalent de 7h30 à 13h. Sur les rangs 3 les températures les plus fraîches sont rencontrées de 7h30 à 11h30, la période pendant laquelle se produisent les minima redevient plus courte. **Les températures les plus fraîches sont précoces dans la matinée en été, et tardives en hiver.**

Les minima thermiques se produisent dans un intervalle de 2h30 sur les rangs 1, de 5h30 sur les rangs 2 et de 4 heures sur les rangs 3. Le fait que les minima thermiques puissent se produire plus tardivement sur les rangs 2 que sur les rangs 1 montre que le flux perd de sa constance thermique en se réchauffant. Ce réchauffement progressif est le résultat des contacts avec l'atmosphère, les sols riverains, les ambiances thermiques du corridor rivulaire et les eaux de ruissellement qui transmettent leurs caractéristiques thermiques. Ce réchauffement est bien visible 4 à 5 heures après le réchauffement des rangs 1. **Les rangs 2 sont le domaine où les températures de l'air et les constantes thermiques des eaux transmises par les rangs 1 s'affrontent. En revanche, les maxima thermiques des rangs 3 peuvent se produire avant les maxima des rangs 2, ceci signifie qu'entre ces deux rangs, les facteurs externes conditionnant le réchauffement dominant la constance thermique de l'eau qui joue toujours un rôle, mais qui s'est atténuée.**

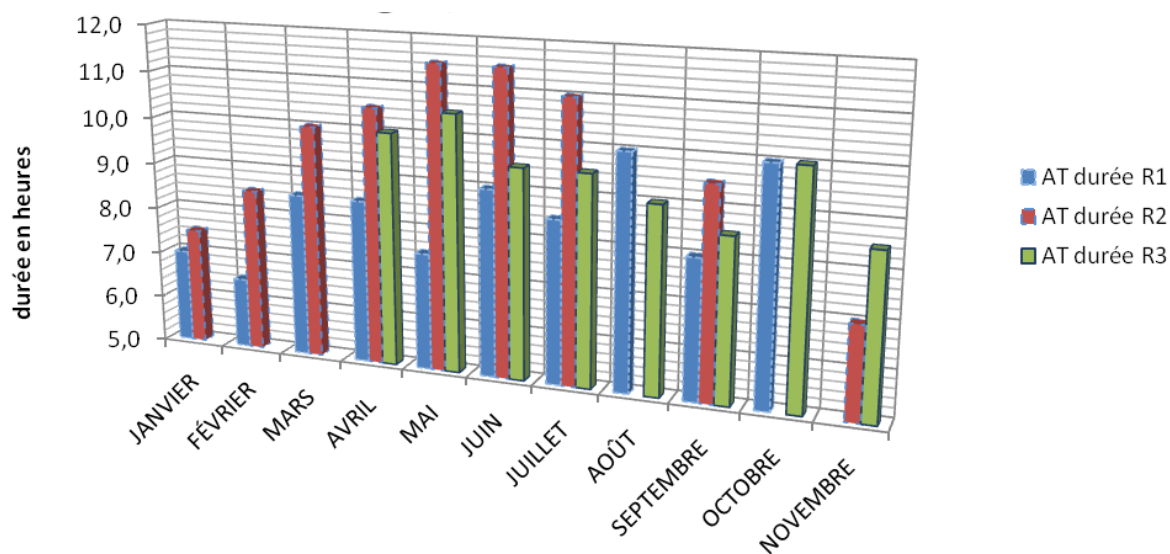
Les maxima thermiques se produisent souvent entre 14h et 17h30 sur les rangs 1, 19h à 21h30 sur les rangs 2, et de 17h à 21h30 sur les rangs 3. **Plus le gabarit du cours d'eau augmente et plus il reçoit des affluents, moins les maxima thermiques se produisent à une heure régulière.** Le fait que les maxima thermiques puissent se produire plus tardivement sur les rangs 2 que sur les rangs 1 montre que le flux réchauffé et se réchauffant par le contact avec l'atmosphère, les sols riverains, les ambiances thermiques du corridor rivulaire et les eaux de ruissellement se produit 4 à 5 heures après le réchauffement des rangs 1. **En revanche, les maxima thermiques des rangs 3 peuvent se produire avant les maxima des rangs 2, ceci signifie qu'entre ces deux rangs, les facteurs externes conditionnant le réchauffement dominant la constance thermique de l'eau en provenance des rangs 2.**

Les périodes séparant les extrêmes thermiques sont plutôt courtes sur les rangs 1, en revanche, elles sont beaucoup plus longues sur les rangs 2, du fait de l'affrontement entre la constante thermique héritée des rangs 1 et les échanges atmosphériques. Si les rangs 3 atteignent des extrêmes chauds plus élevés que les rangs 2, ils les atteignent plus rapidement.

On peut alors décrire le comportement thermique par rang :

- Les rangs 1 ont une certaine stabilité thermique, leur faible débit permet une atteinte des extrêmes chauds rapide. En revanche, la constance thermique fraîche des eaux issues des sources ne permet pas de forts extrêmes « chauds ».
- Les rangs 2 sont moins stables, les extrêmes chauds plus marqués, et il faut du temps pour que l'atmosphère influence la température de l'eau des flux frais convergents des rangs 1. Les rangs 2 sont le domaine de l'ajustement thermique.
- Les rangs 3 sont instables, les extrêmes chauds y sont encore plus marqués, et sont atteints rapidement, car les rangs 2 sont déjà influencés par les températures atmosphériques, désormais dominantes.

Figure 233 : Durée moyenne du réchauffement journalier des eaux des rangs 1, 2 et 3 du ruisseau de Lauzat durant l'année 2006, Lhéritier N., 2011

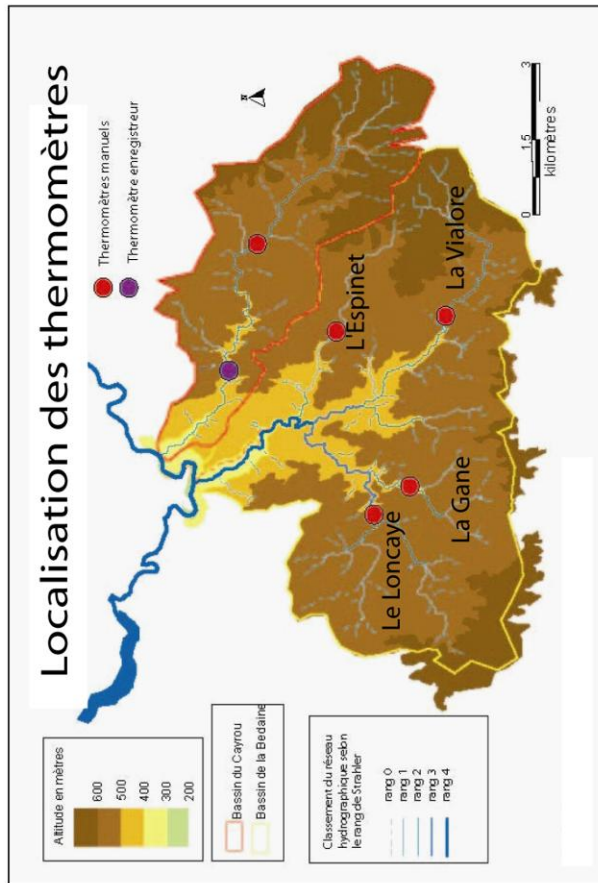
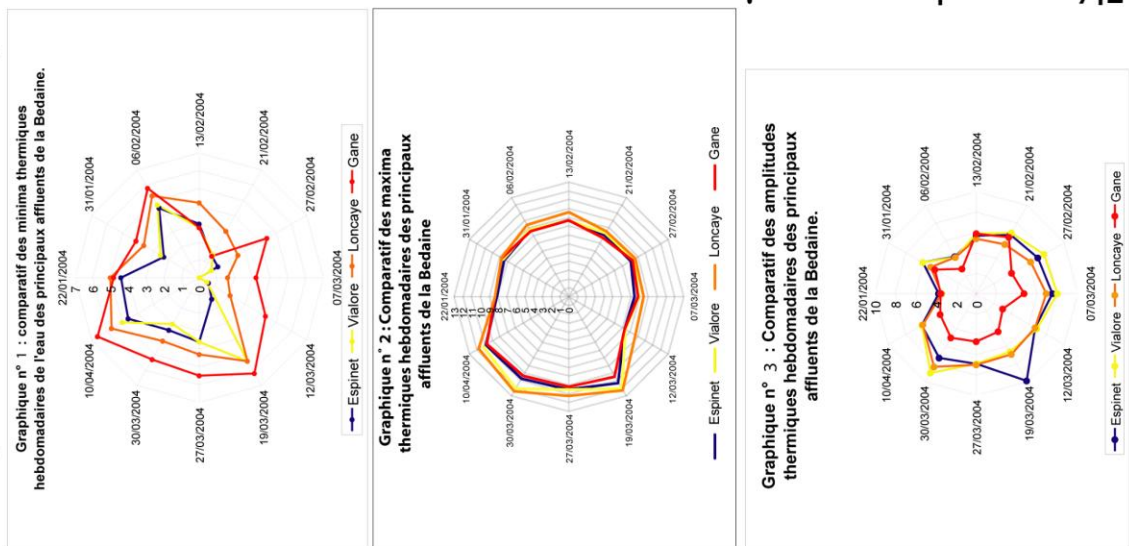


La figure suivante illustre les différences de régimes thermiques des affluents d'un même petit bassin versant, ici celui de la Bedaine affluent de la Maronne entre Cantal et Corrèze ; on peut voir que les températures des ruisseaux de la Gane et de Loncaye sont légèrement plus élevées que celles des ruisseaux d'Espinet et de la Vialore.

L'étude des amplitudes thermiques (graphique n°3) permet d'affiner ces résultats. Dans un premier temps, ce graphique montre que les amplitudes thermiques varient en fonction des points de mesures. Le ruisseau de la Gane se démarque par son amplitude thermique (AT) qui dépasse les 6°C sur une seule période de mesure. À l'inverse, le ruisseau d'Espinnet peut avoir une AT de 10°C.

En comparant les maxima thermiques (graphique n°2) pour les mêmes périodes, il s'avère que tous les cours d'eau atteignent la température de 13°C. **Cette diversité d'AT est due aux minima comme l'illustre le graphique n°1.**

Figure 234 : Etude des températures hivernales sur les affluents de la Bedaine, Lhéritier N., 2004



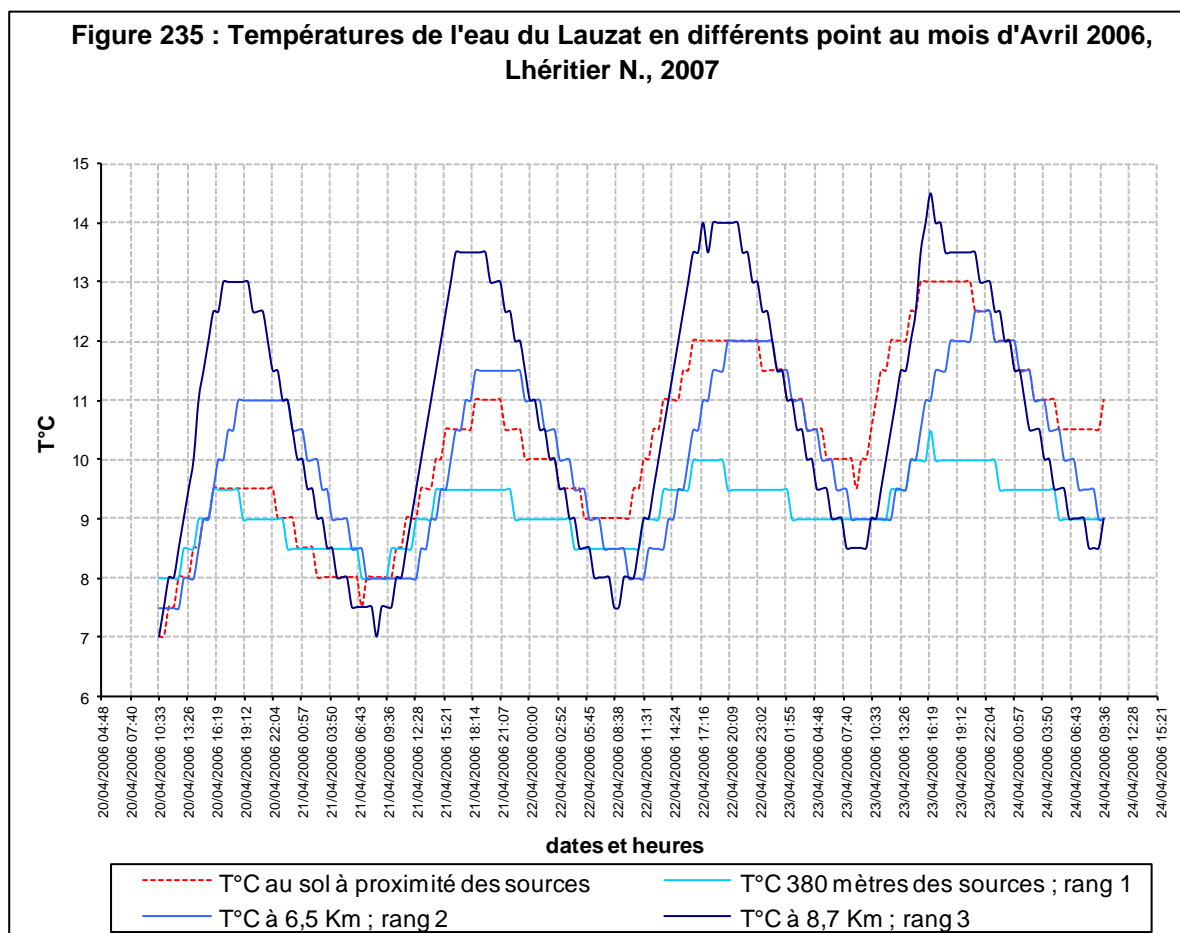
Cours d'eau

	Loncaye	Gane	Espinnet	Vialore
Altitude du point de mesure en mètres	500	490	521	540
Altitude des sources en mètres	580-600	600	670	679
Rang de Strahler au point de mesure	3	1	1	2
Linéaire total du réseau hydrographique entre les sources et le point de mesure en mètres	17982	6565	3576	8385
Espaces biogéographiques entre les sources et le point de mesure	Ces ruisseaux s'écoulent sur des secteurs présentant une alternance de parcelles boisées et de prairies.			
				Espace forestier

Éléments de comparaison

Réalisation : Nicolas Lhéritier, laboratoire de cartographie, université de Limoges, 2005
Sources : relevés thermiques 2004, IGN

Le graphique suivant illustre l'augmentation printanière de la température de l'eau du ruisseau de Lauzat en différents points.



Entre le 20 avril et le 24 avril 2006, la température du sol est en augmentation. Cette hausse est progressive et s'effectue au rythme des cycles diurnes. On observe une amplitude thermique diurne au sol d'environ 3°C. À 380 mètres des sources, l'amplitude thermique de l'eau n'excède pas les 1,5°C et augmente progressivement. À 6,5 Km, et en rang 2, l'amplitude thermique est de 3,5°C, et les maxima et minima du cycle sont légèrement décalés par rapport au cycle terrestre et au cycle à proximité des sources. À 8,7 Km des sources, le ruisseau de Lauzat est de rang 3, l'amplitude thermique atteint les 6°C.

Les températures les plus chaudes se situent entre 11°C aux sources et 16 °C à proximité de la confluence. Les minima sont beaucoup plus stables, 6°C aux sources contre 5 °C à proximité de la confluence. Ceci se traduit par une augmentation des moyennes mensuelles de 2°C des sources à la confluence. **À l'inverse de la situation hivernale observée sur la Bedaine où ce sont les minima thermiques qui participent à l'augmentation de l'amplitude thermique, ce sont les maxima qui engendrent cette augmentation au printemps sur le Lauzat.**

5. État Écologique des têtes de bassin

Si on se réfère à l'Indice Poisson Rivière, méthode d'analyse qualitative des peuplements piscicoles de l'ONEMA, faisant référence dans les états des lieux, et suivis DCE, on s'aperçoit de disparités sur le territoire français. Alors que certaines régions comme l'ouest des côtières landaises à la Vilaine, les vallées du Rhône et de la Saône, la Moselle, la Seine Moyenne, la Haute-Loire, l'Isère ont des peuplements piscicoles nettement plus dégradés que la Dordogne, l'Yonne, la haute Seine, la Vienne, l'Adour, les cours d'eau pyrénéens de la Garonne, l'Allier, les cours d'eau de la péninsule Bretonne, les cours d'eau côtiers du Nord.

Figure 236 : Carte des valeurs moyennes de l'Indice Poisson Rivière (IPR) des cours d'eau français entre 2001 et 2008

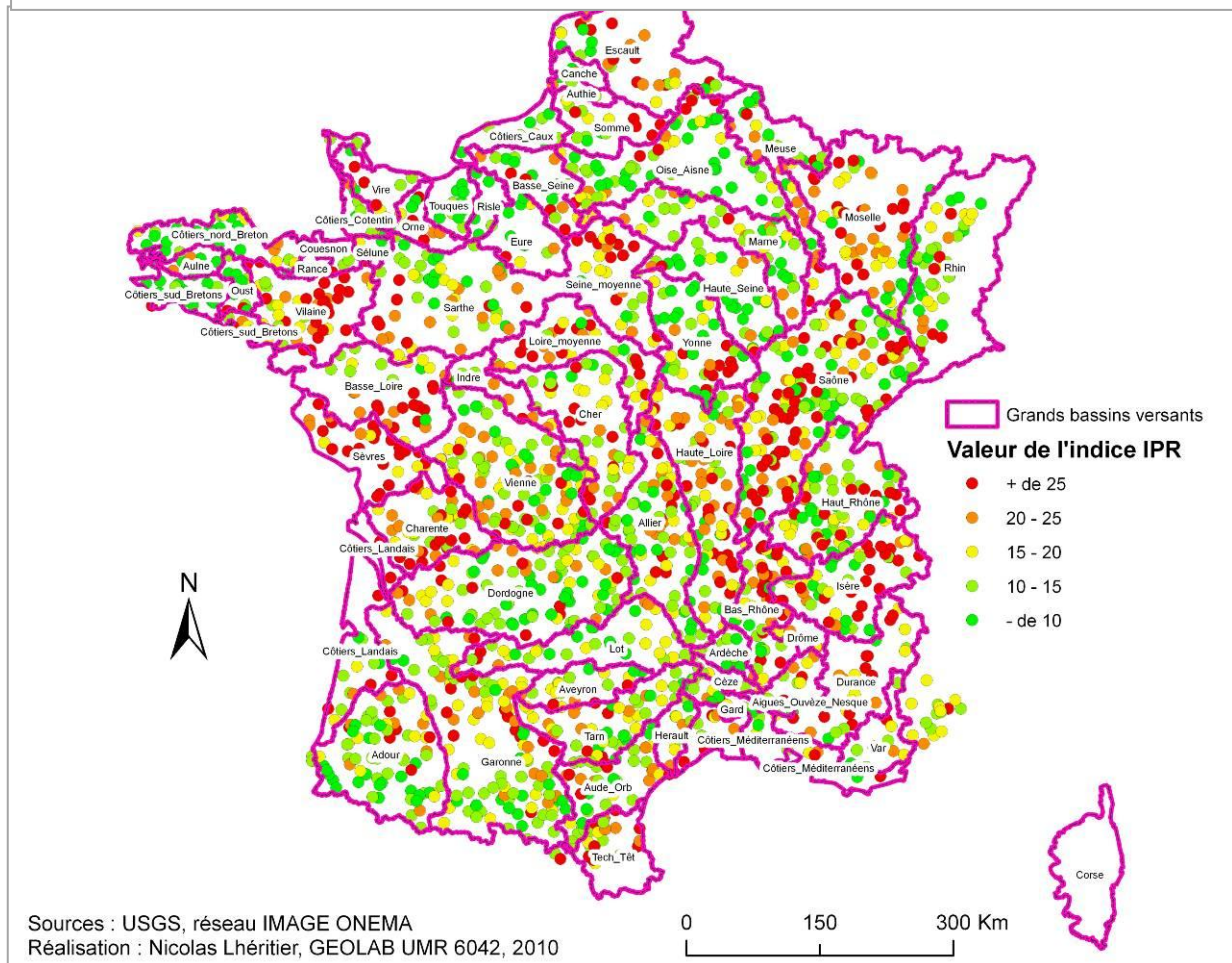
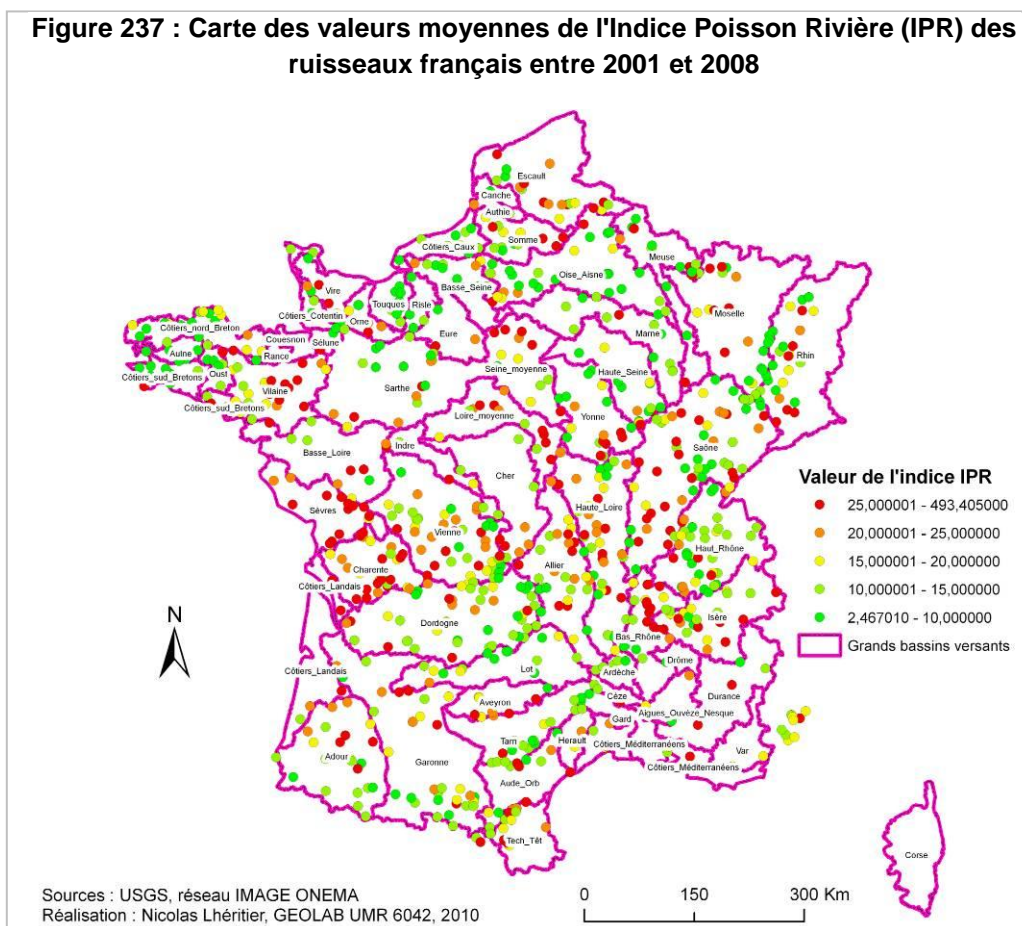


Figure 237 : Carte des valeurs moyennes de l'Indice Poisson Rivière (IPR) des ruisseaux français entre 2001 et 2008



En ne conservant que les résultats IPR des rangs 1, 2 et 3, on s'aperçoit que pour le Haut Rhône, les mauvais résultats qui viennent d'être évoqués ne concernent pas les petits cours d'eau qui paraissent avoir des peuplements piscicoles plutôt en bon état. En revanche, les ruisseaux du bassin de la Saône, les cours d'eau de l'ouest sont dégradés. Des zones de petits cours d'eau des bassins de la Vienne, du Rhin, de l'Isère apparaissent plus disparates comprenant des ruisseaux dont les peuplements sont en bon état et d'autres où ils sont très dégradés.

5.1. État écologique de la zone à truite française : l'importance de l'altitude et de l'environnement riverain des ruisseaux

Nous avons vu que les ruisseaux et la tête de bassin s'apparentent à la zone à truite de Huet et de bien d'autres naturalistes et hydrobiologistes. L'état des peuplements de truites communes dans les ruisseaux français devrait alors nous renseigner sur leur état écologique, notamment vis-à-vis de la conformité de ces peuplements avec les peuplements théoriques.

En choisissant la truite commune comme bio-indicateur, nous choisissons une espèce qui à certaines époques était une des plus manipulées génétiquement et géographiquement, cependant les pêches électriques sont tout de même représentatives de la stabilité des populations, surtout depuis les études de l'AAPPMA de l'Aveyron et les constats des gestionnaires piscicoles sur les échecs de l'empoissonnement.

Figure 238 : Série de relations entre les densités et la part des truites dans les peuplements piscicoles avec le rang de Strahler ; Lhéritier N., 2009, d'après les données du Réseau Image ONEMA, et de la BD Carthage ordonnée

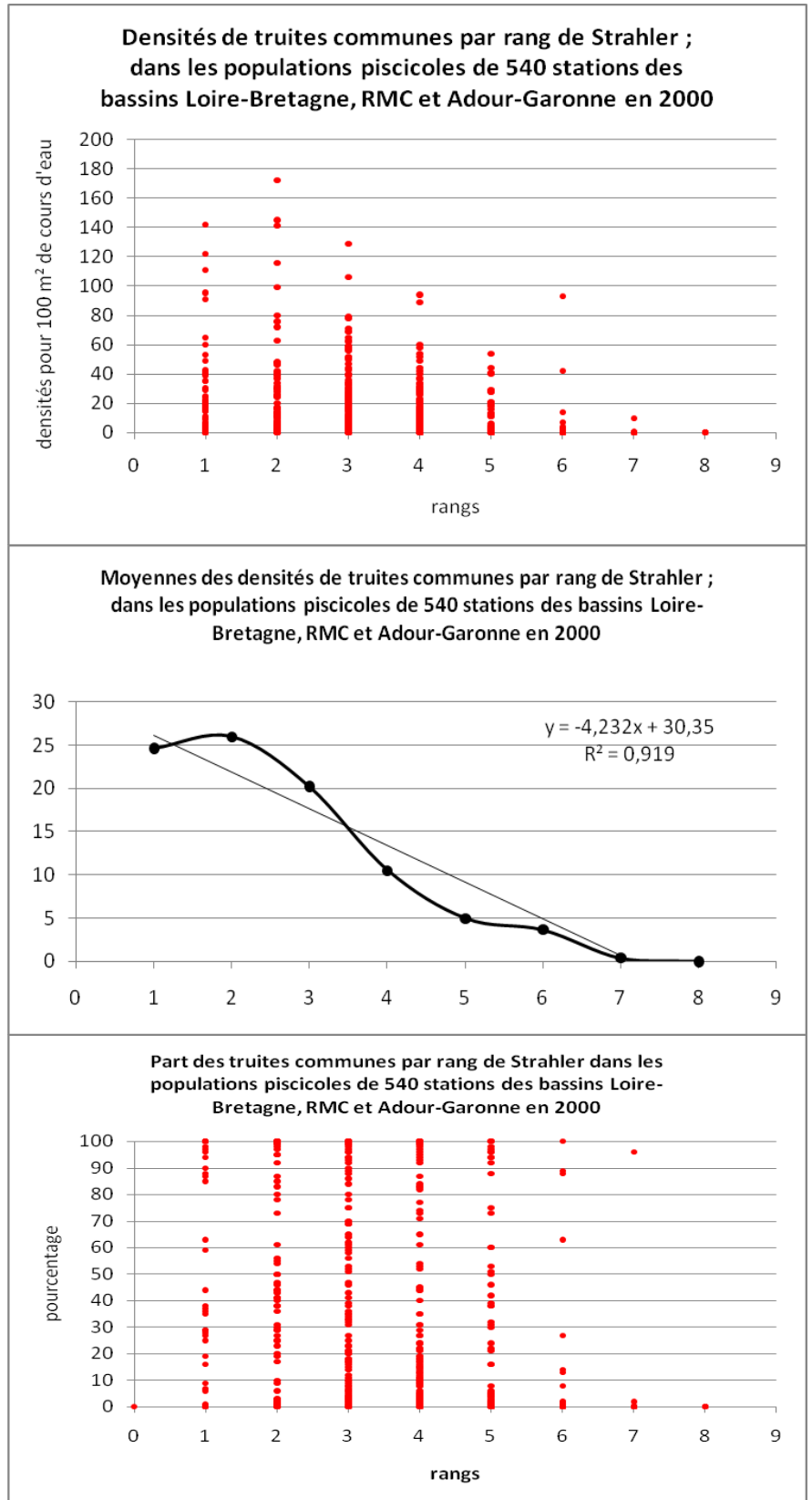
5.1.1. Les ruisseaux français : zone à truite théorique et disparités régionales

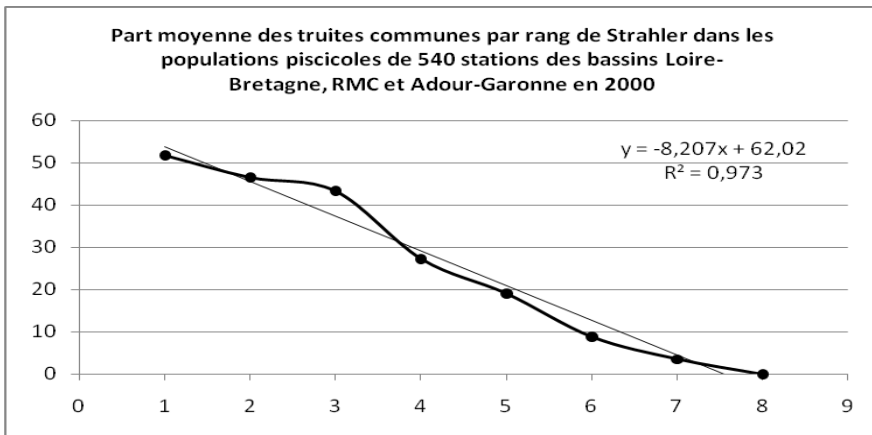
Les densités et la part que la truite commune représente dans les effectifs piscicoles échantillonnés sont des indices plus exigeants que l'IPR, mais permettent d'évaluer la conformité écologique en considérant que les ruisseaux français appartiennent tous à la zone à truite de Huet.

Les densités les plus élevées se trouvent sur des rangs 2 et les plus faibles sur les rangs 8. La position sur le réseau hydrographique conditionnerait alors le potentiel truiticole des cours d'eau. En revanche, les densités nulles peuvent se rencontrer partout. Les moyennes par rang montrent une logique de densité croissante de l'aval vers l'amont du réseau hydrographique.

Si la position sur le réseau hydrographique semble conditionner les densités maximales de truites communes, ce n'est pas le cas pour la part représentée par cette espèce dans les peuplements piscicoles. En effet, la dispersion statistique des relations entre l'altitude et le pourcentage de truites communes

dans les peuplements montre que les peuplements peuvent être monospécifiques jusqu'au rang 6, la truite peut être absente sur n'importe quel rang.





Les moyennes par rang montrent cependant une représentation de cette espèce de plus en plus forte de l'aval vers l'amont.

La position des populations de truites communes sur le réseau hydrographique conditionne essentiellement la densité maximale de l'espèce. Ceci confirme le fait que les ruisseaux sont les milieux les plus productifs. En revanche, la truite commune n'est pas systématiquement présente dans les ruisseaux et ne constitue pas toujours l'espèce principale. Ces disparités se vérifient sur les cartes suivantes, les ruisseaux de montagne et de moyenne montagne semblent être les plus conformes à la zone à truite.

En s'intéressant tout d'abord à la part que représentent les truites communes dans les peuplements piscicoles, l'appartenance des ruisseaux de montagnes à la zone à truite est confirmée. Le pourcentage de truites dans les effectifs semble diminuer progressivement des ruisseaux de montagne aux ruisseaux de plaine. On remarque cependant quelques exceptions pour certains ruisseaux de plaine qui ont également des peuplements où la truite est majoritaire.

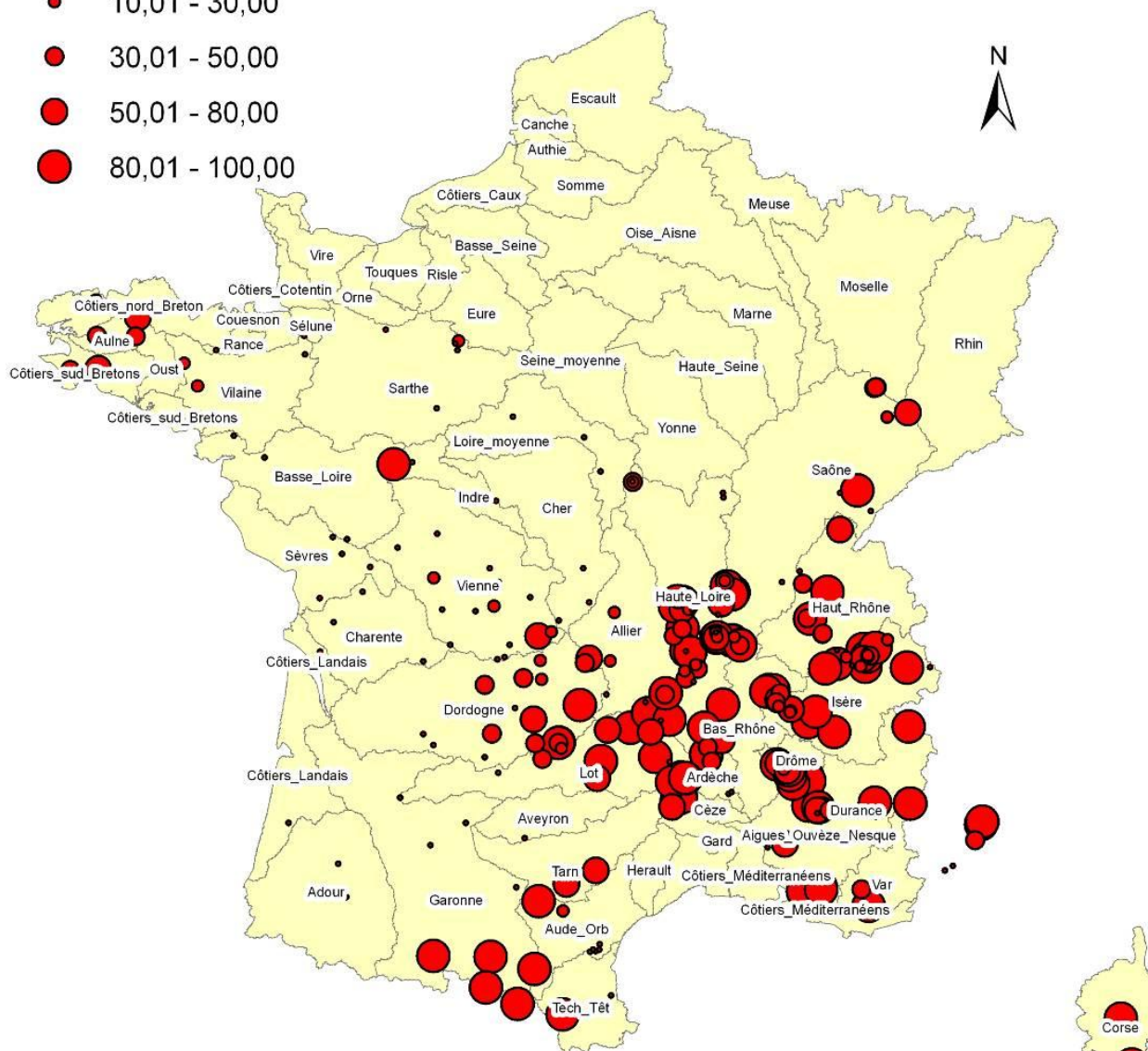
En s'intéressant aux densités, le contraste est encore plus marqué, entre les ruisseaux de montagne et de plaine. De ce fait en fonction de l'altitude et du relief des têtes de bassin, les ruisseaux ont des capacités d'accueil variables pour la truite.

Parmi tous les ruisseaux français échantillonnés, les peuplements peuvent être monospécifiques de truites communes pour beaucoup d'entre eux. Globalement, ce sont les ruisseaux du bassin du Rhône qui sont les plus conformes à la zone à truite. Viennent ensuite les petits cours d'eau du bassin de la Loire et de l'Allier avec ceux d'Adour Garonne. Les ruisseaux de l'ouest et du sud-ouest de la Loire arrivent en dernière position. Ce schéma est quasiment similaire pour les densités.

Figure 239 : Carte de la part des truites communes dans les peuplements piscicoles des ruisseaux des bassins Loire-Bretagne, RMC et Adour-Garonne en 2000

Part de TRF dans les peuplements piscicoles Grands bassins versants

- 0,00 - 10,00
- 10,01 - 30,00
- 30,01 - 50,00
- 50,01 - 80,00
- 80,01 - 100,00



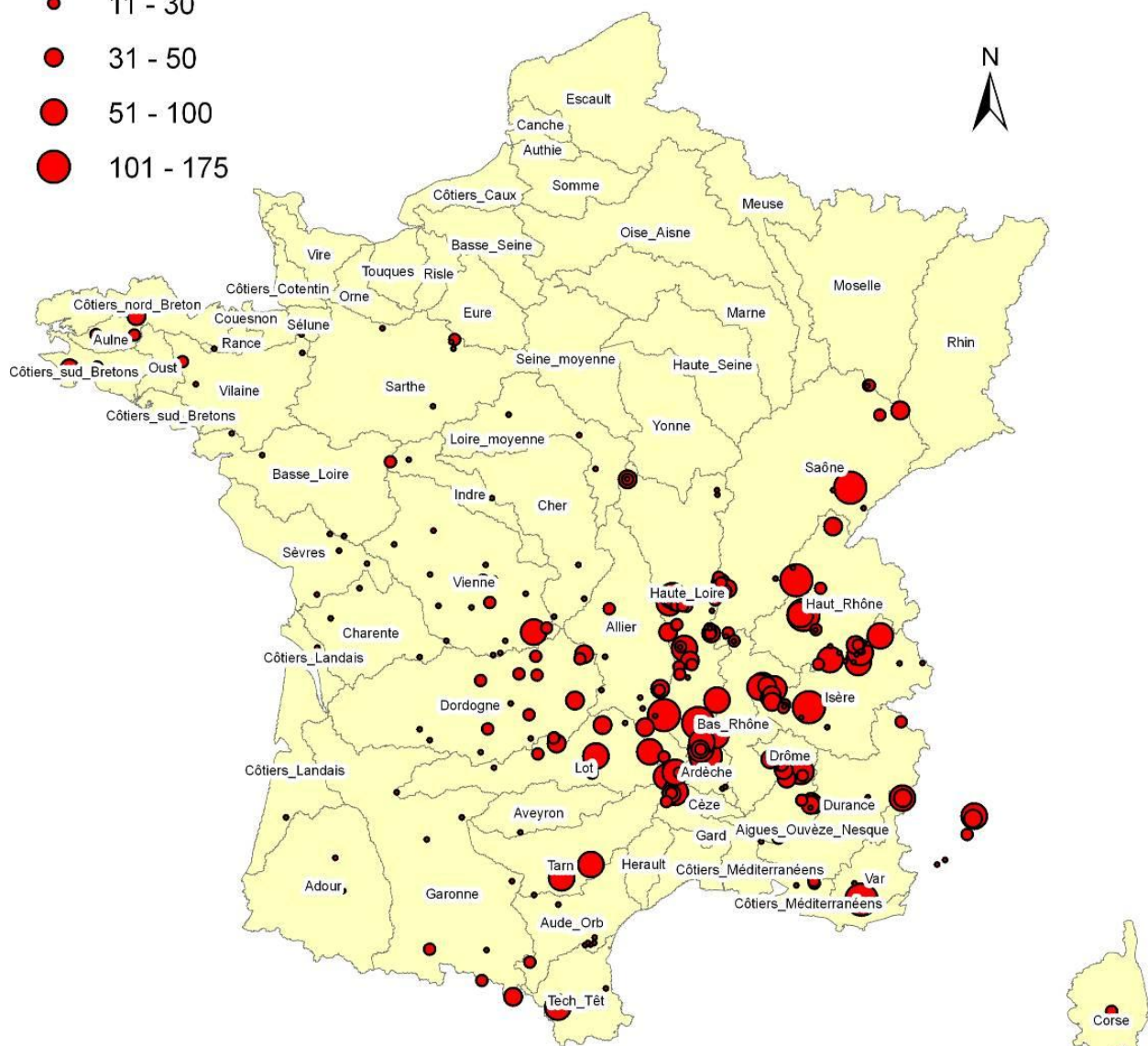
Réalisation : Nicolas Lhéritier GEOLAB UMR 6042, 2010
Sources : Réseau Image ONEMA 2000, USGS

0 100 200
Km

Figure 240 : Carte des densités de truites communes des ruisseaux des bassins Loire-Bretagne, RMC et Adour-Garonne en 2000

Densité TRF pour 100 m² de ruisseau Grands bassins versants

- 0 - 10
- 11 - 30
- 31 - 50
- 51 - 100
- 101 - 175



Réalisation : Nicolas Lhéritier GEOLAB UMR 6042, 2010
Sources : Réseau Image ONEMA 2000, USGS

0 100 200
Km

Figure 241 : Densités de truites communes moyennes minimales et maximales en 2000 dans les ruisseaux Français, classés par grands bassins

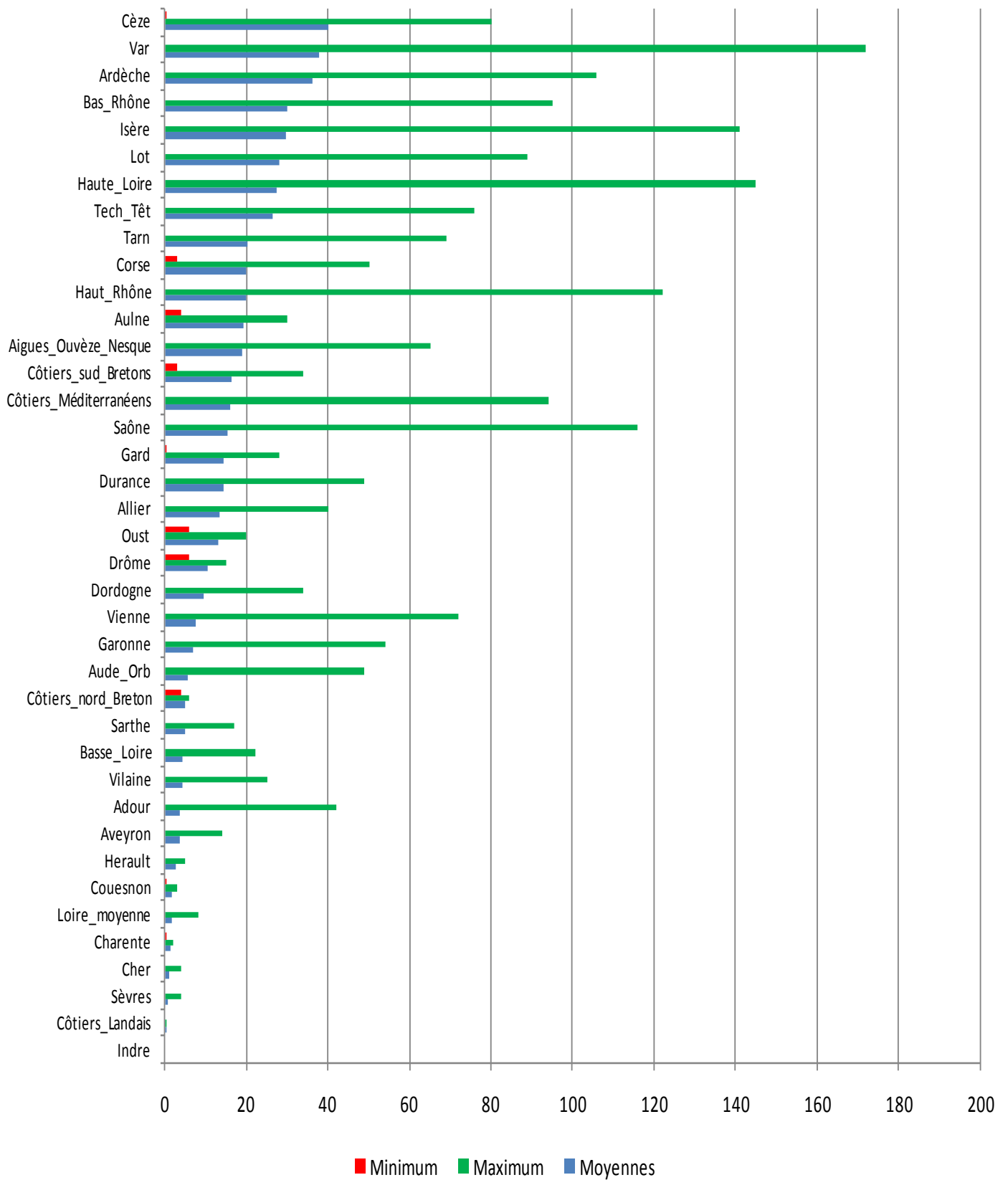
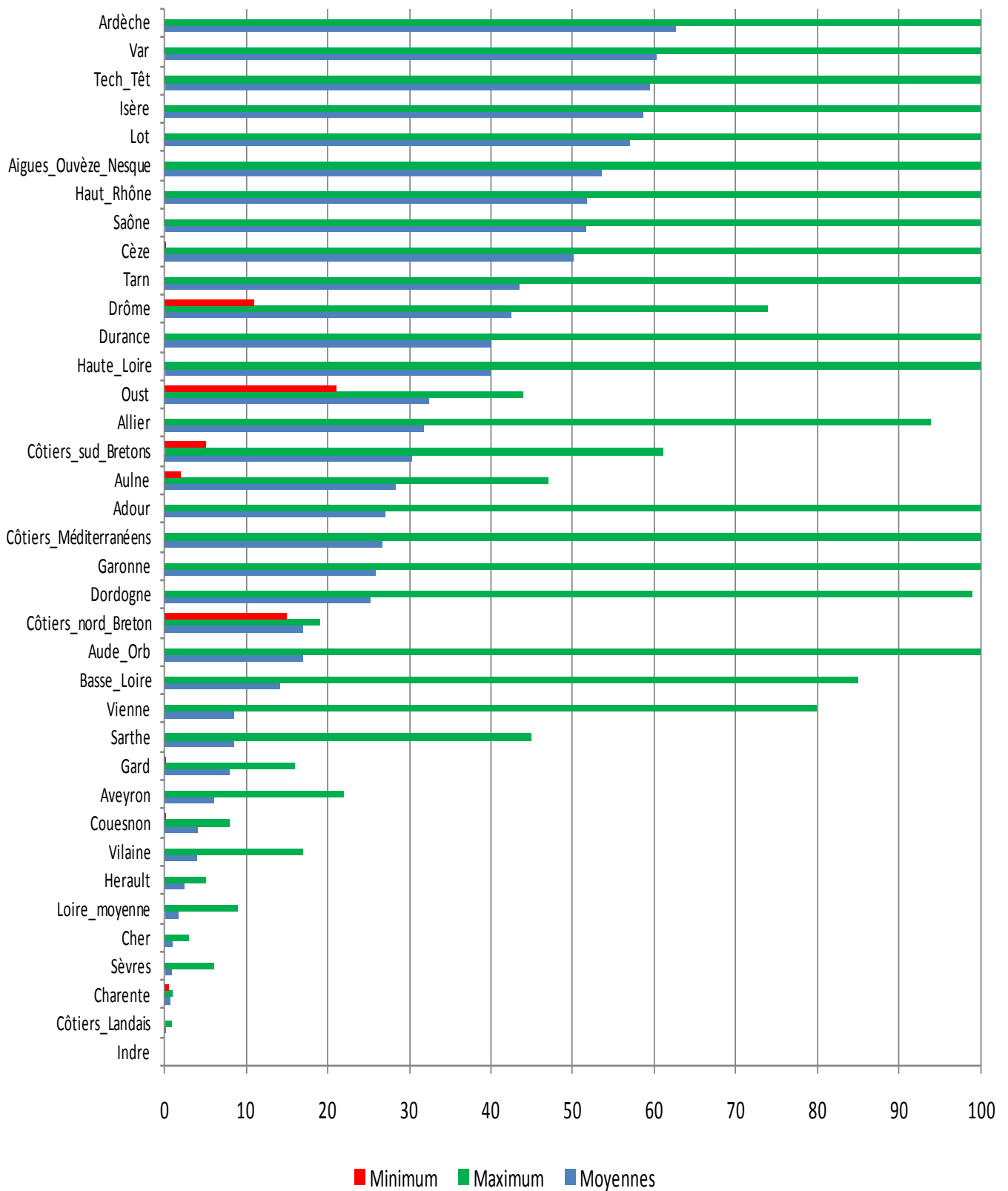


Figure 242 : Part des truites en 2000 dans les peuplements piscicoles des ruisseaux Français, classés par grands bassins



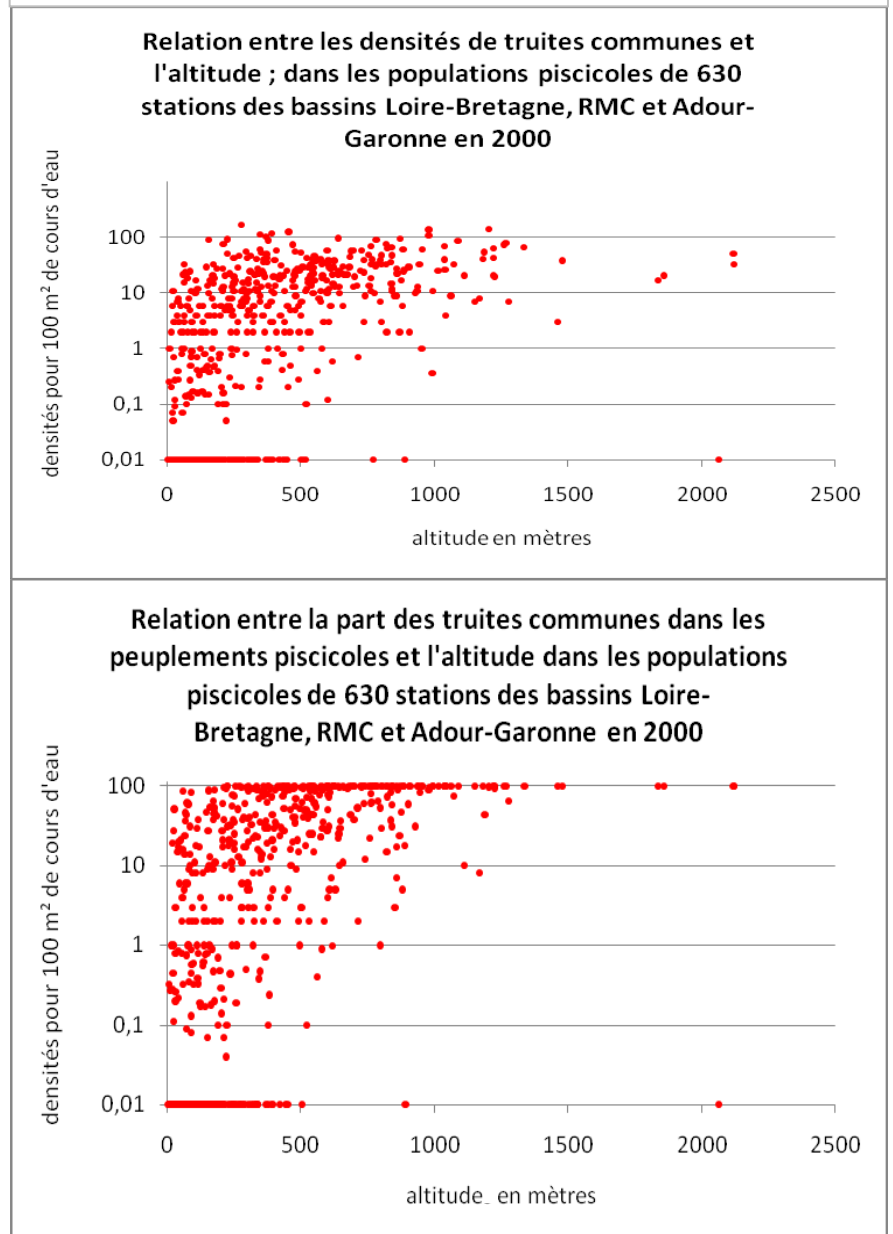
5.1.2.L'importance de l'altitude dans la délimitation de la zone à truite réelle

Si la position sur le réseau hydrographique n'explique pas complètement la cartographie de la zone à truite, il nous faut étudier les densités et abondances relatives en relation avec d'autres paramètres. La zone à truite étant majoritairement située sur des reliefs jeunes et anciens l'altitude semble être un paramètre intéressant.

Les graphiques ci-contre illustrent comment les densités de truites évoluent avec l'altitude des stations, et ce indépendamment du rang.

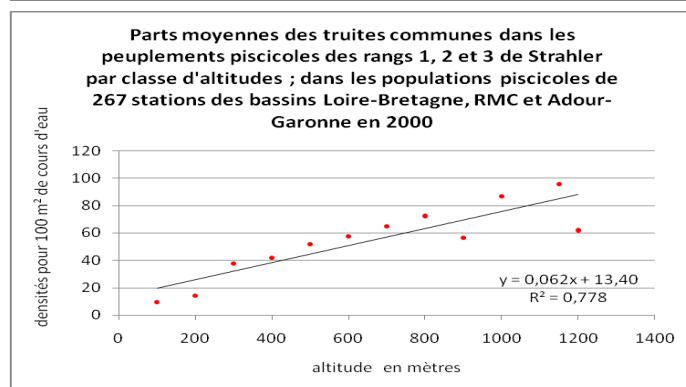
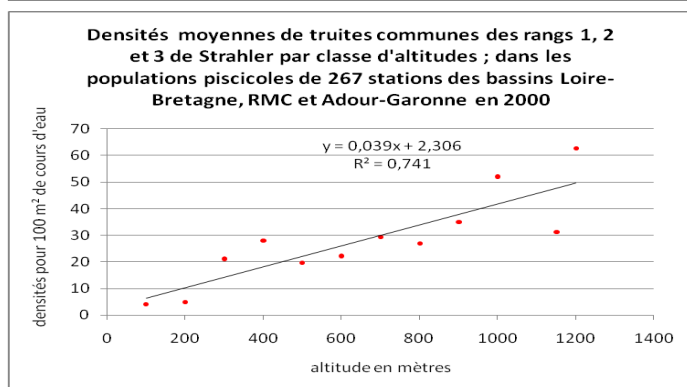
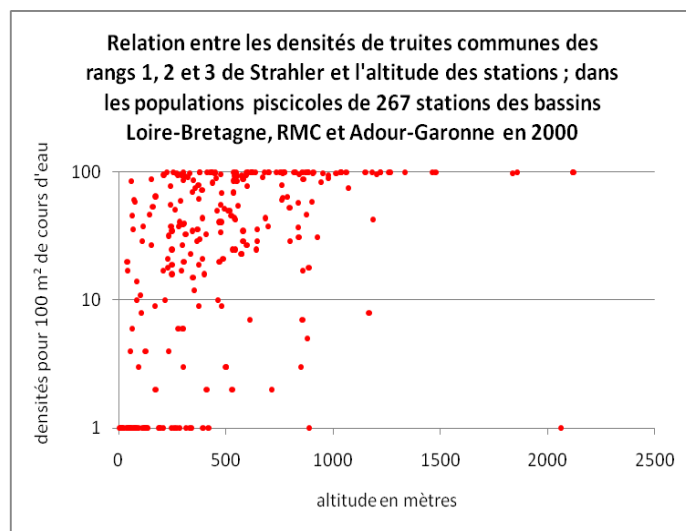
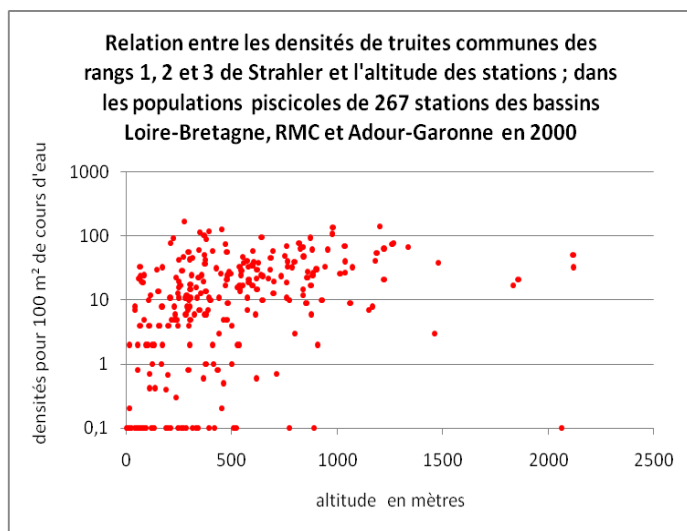
Si la position du rang conditionne les densités maximales, il semblerait que l'altitude conditionne les densités minimales.

Figure 243 : Série de relations entre les densités et la part des truites dans les peuplements piscicoles avec l'altitude ; Lhéritier N., 2009, d'après les données du Réseau Image ONEMA, et de la BD Carthage ordonnée



Ceci est également valable si on ne conserve que les stations des rangs inférieurs ou égaux à

3.

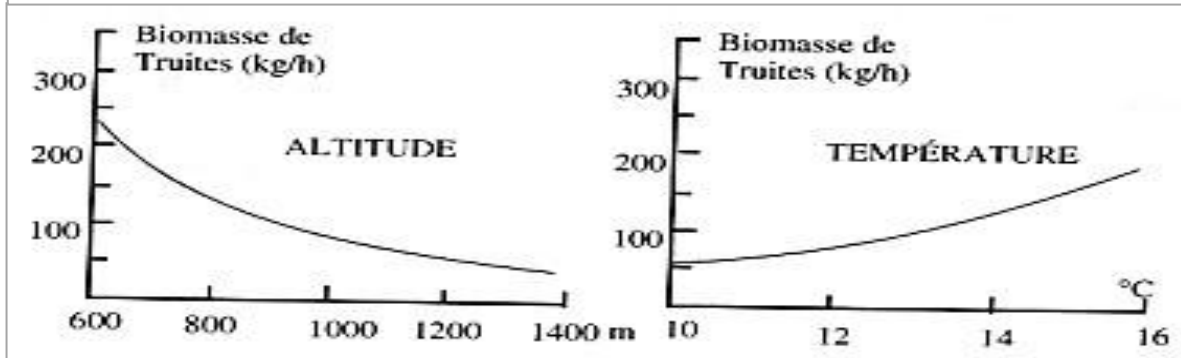


Les moyennes par classe d'altitude montrent toutefois que la truite commune devient un poisson majoritaire dans les peuplements piscicoles, et en densité plus forte avec l'augmentation de l'altitude. Notons également que le faible échantillonnage en haute montagne ne montre pas une évolution constante pour les stations les plus élevées. Bien qu'il existe une relation entre l'altitude et la part des truites dans l'échantillonnage total, ce paramètre n'explique pas tout. Une analyse locale des stations présentant des anomalies positives ou négatives à la moyenne pourrait apporter des réponses à un tel étalement des valeurs (capacité d'accueil, alevinages, dégradations de la qualité de l'eau ou des habitats), sans oublier la période de l'année où fut effectuée la pêche.

Cependant, si on tient compte des moyennes par classe d'altitudes, on s'aperçoit qu'elles suivent une logique altitudinale, surtout de 0 à 900 mètres d'altitude. Au delà, cette relation est incertaine car les échantillonnages sont peu nombreux.

Une relation entre l'altitude, la température et les populations de truites a été montrée par P. Baran et al sur des rivières des Hautes-Pyrénées. Cette fois-ci c'est la fin de la zone d'optimum thermique de la truite qui est montrée.

Figure 244 : Relation entre les densités de truites, l'altitude et les températures de l'eau, Baran P., in Angelier 2000

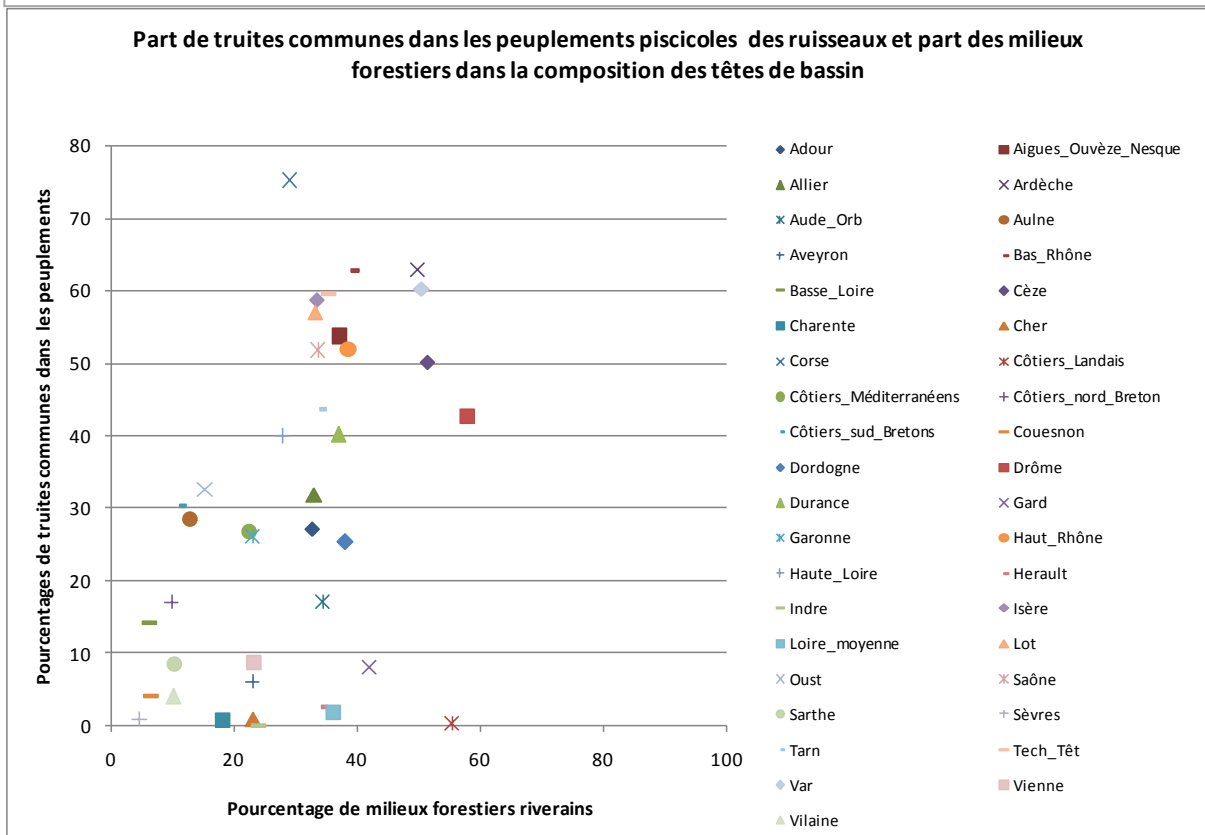


Pour les cours d'eau de montagne, la hausse de l'altitude devient une contrainte vis-à-vis de la biomasse de truites, tandis qu'une hausse de température est favorable. Il y a donc des cours d'eau situés entre les zones basses et les zones d'altitude qui correspondent de par leurs caractéristiques topographiques et thermiques à un milieu optimum pour la truite.

5.1.3.L'importance de la part des environnements semi-naturels de la zone à truite

Si l'altitude semble commander des paramètres naturels expliquant la part des truites dans les peuplements piscicoles mais aussi leur densité, elle conditionne également les possibilités pour l'homme d'exploiter les milieux riverains. Ainsi il est constaté que le type d'occupation des sols riverains conditionne également l'occurrence et la densité des truites communes. Ceci est visible en réalisant des grandes catégories d'occupation des sols : milieux « naturels », agricoles, forestiers.

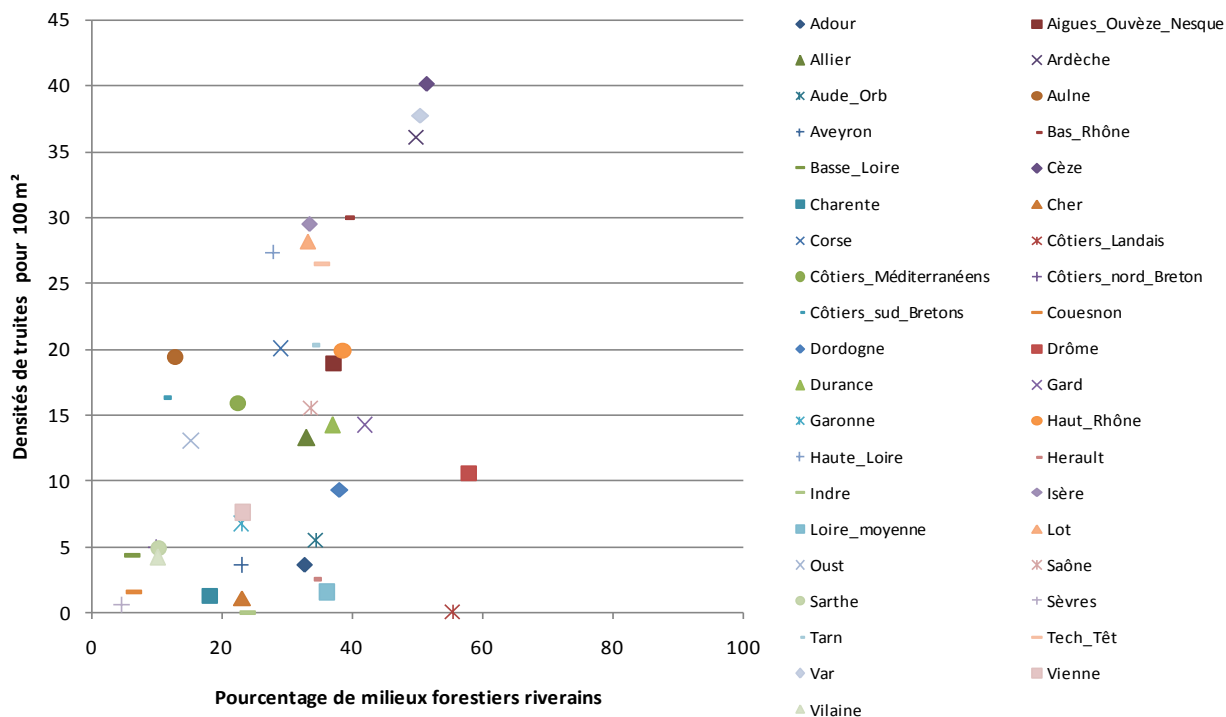
Figure 245 : Série de mises en relation entre la part des truites communes dans les peuplements piscicoles, les densités de truites avec l'occupation des sols des zones amont des bassins versants français, d'après les données Corine Land Cover et du Réseau IMAGE de l'ONEMA, Lhéritier N., 2009



Ainsi, nous avons corrélaé la part de l'espace riverain occupé par chaque grand type d'occupation des sols avec les valeurs moyennes de la part des truites dans les peuplements et de leurs densités pour 100 m².

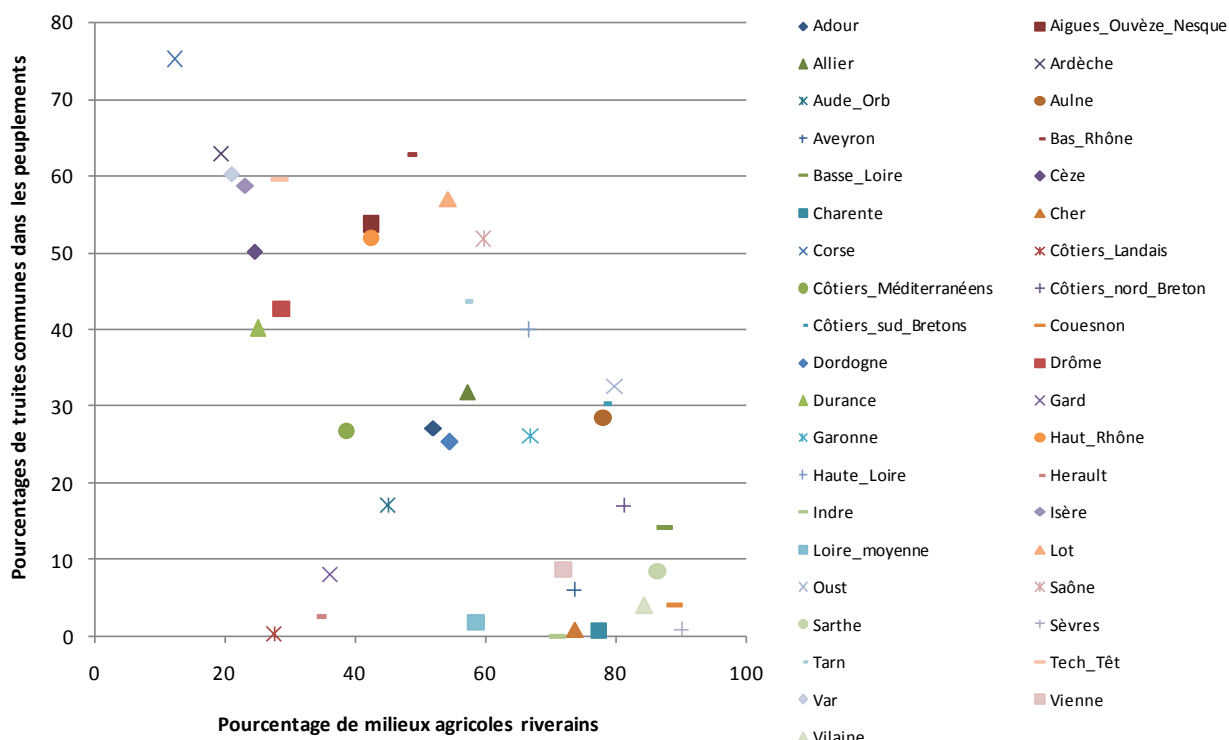
La proportion de zones riveraines forestières ne semble pas réellement influencer les peuplements de truites communes, aussi bien du point de vue de la part dans l'effectif que des densités. Si de légères tendances à une évolution commune entre les deux paramètres croisés sont visibles, les exceptions restent nombreuses, et il paraît hasardeux d'en tirer des conclusions.

Densités de truites communes dans les peuplements piscicoles des ruisseaux et part des milieux forestiers dans la composition des têtes de bassin

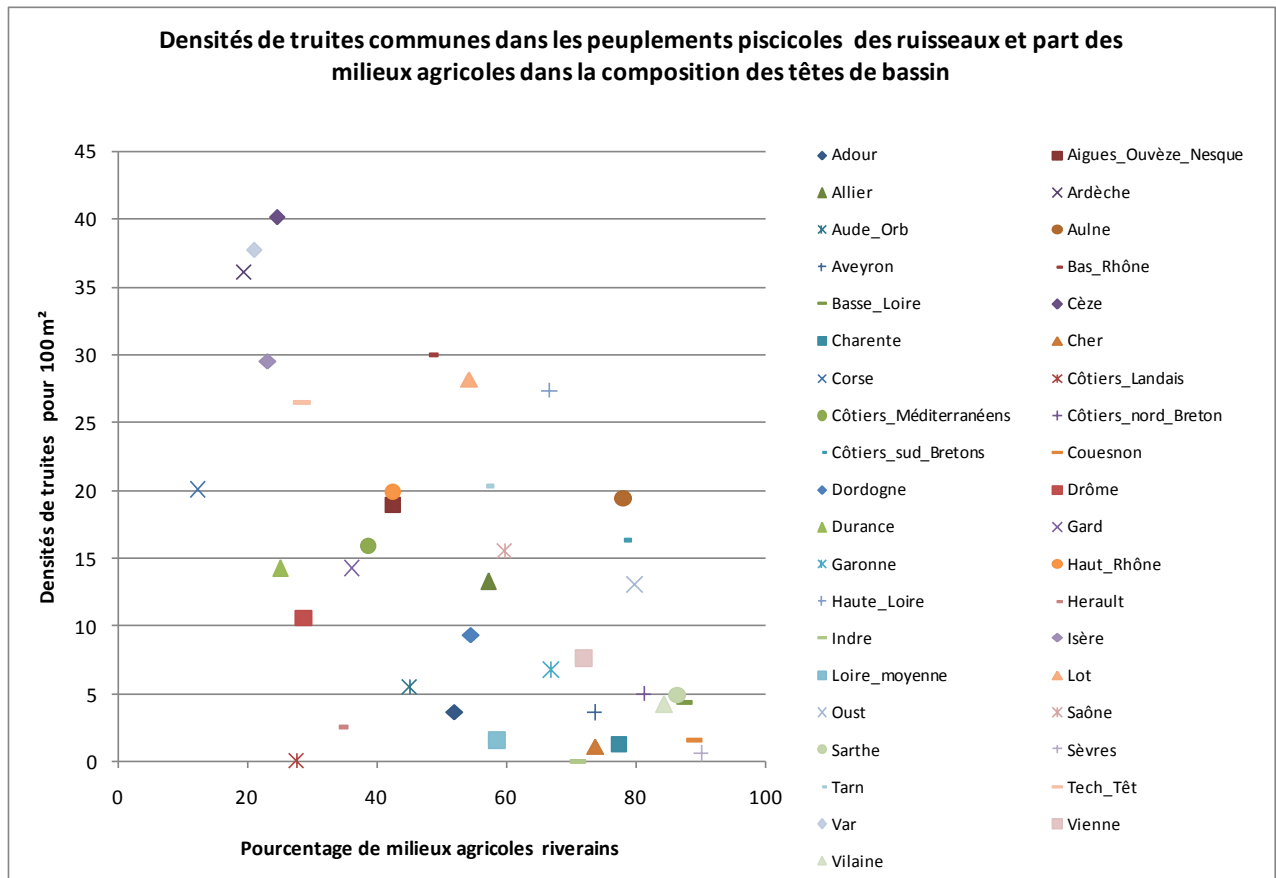


En corrélant les peuplements avec la proportion de terrains agricoles riverains des ruisseaux, une tendance se dessine. Plus la part des terres agricoles est importante, plus la part des truites dans

Part de truites communes dans les peuplements piscicoles des ruisseaux et part des milieux agricoles dans la composition des têtes de bassin

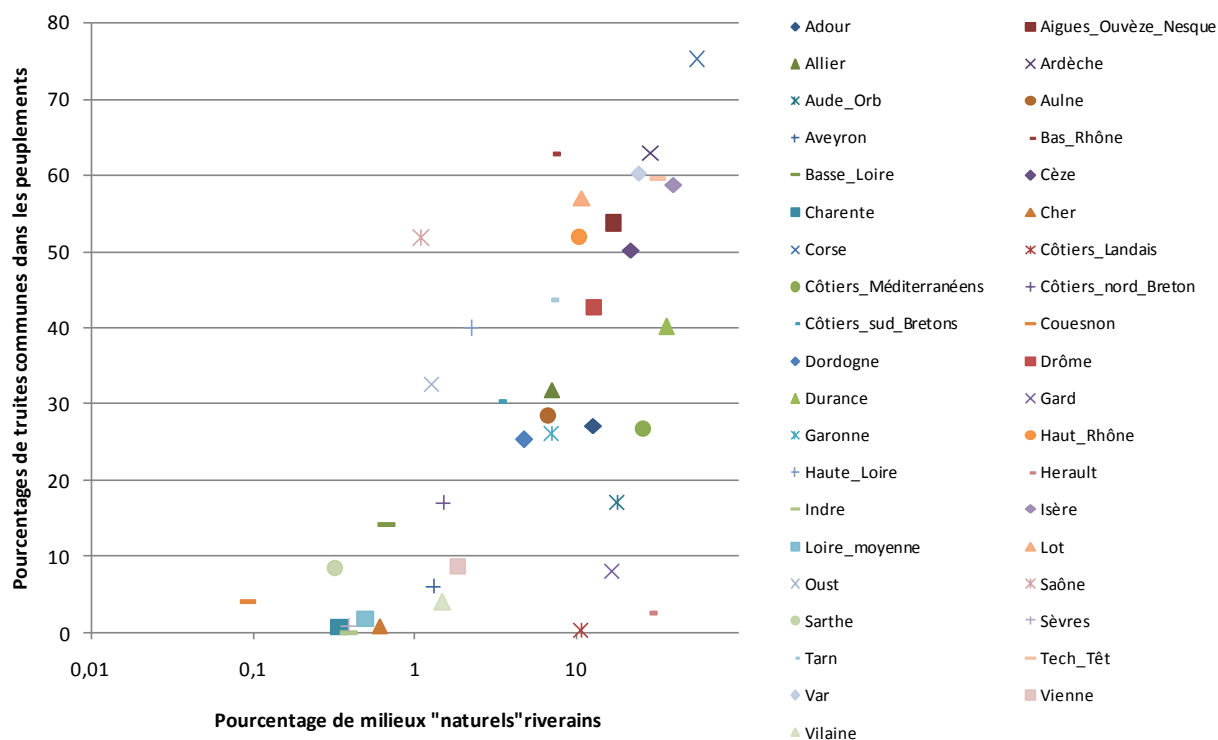


les peuplements semble diminuer. Cette relation même si elle est perceptible est beaucoup moins évidente du point de vue des densités.

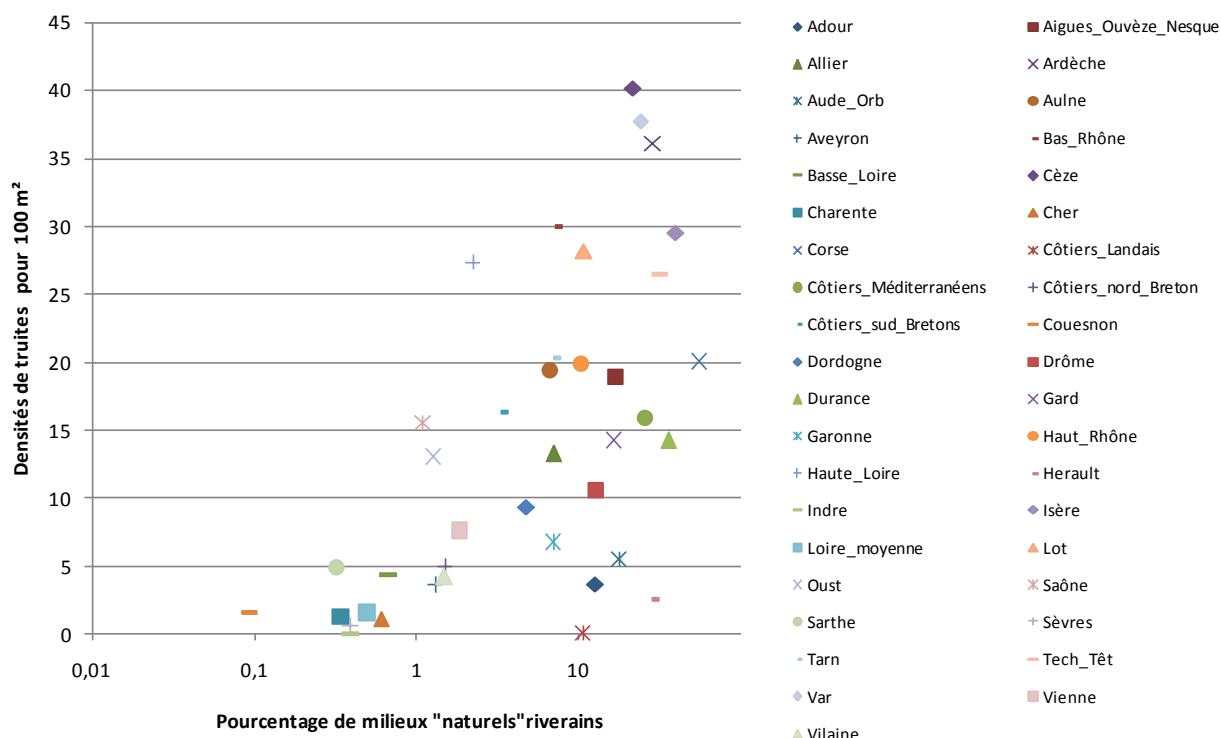


C'est incontestablement de la proportion de milieux « naturels » riverains que les populations de truites sont les plus dépendantes aussi bien du point de vue de la part dans l'effectif que des densités.

Part de la truite commune dans les peuplements piscicoles des ruisseaux et part des milieux "naturels" dans la composition des têtes de bassin



Densités de truites communes dans les peuplements piscicoles des ruisseaux et part des milieux "naturels" dans la composition des têtes de bassin



5.2. État de la zone à truite du Pays Monts et Barrages.

Sur les cours d'eau du Pays Monts et Barrages, l'échantillonnage des populations piscicoles sur 35 stations de rangs différents montre que la « biodiversité » est croissante des ruisseaux vers les rivières avec toutefois des inégalités fortes sur les stations de rang 3.

Cette biodiversité plus forte ne correspond pas à la présence plus marquée d'espèces de la zone à truite puisque les densités maximales de poissons pour 100 m² diminuent en revanche des ruisseaux vers les rivières.

Ce sont sur les rangs 3 qu'elles peuvent être les plus fortes. Nous allons voir que ces fortes densités sont surtout dues à la présence de la prolifique écrevisse californienne et non aux espèces de la zone à truite.

Figure 246 : Nombre d'espèces de poissons de 35 stations par rang de Strahler Lhéritier N., 2010

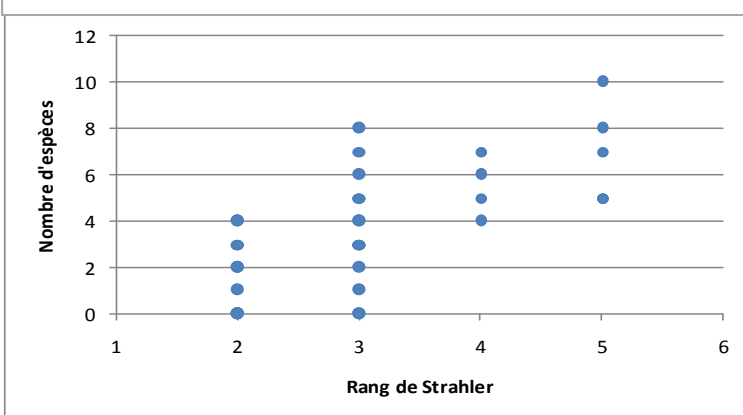
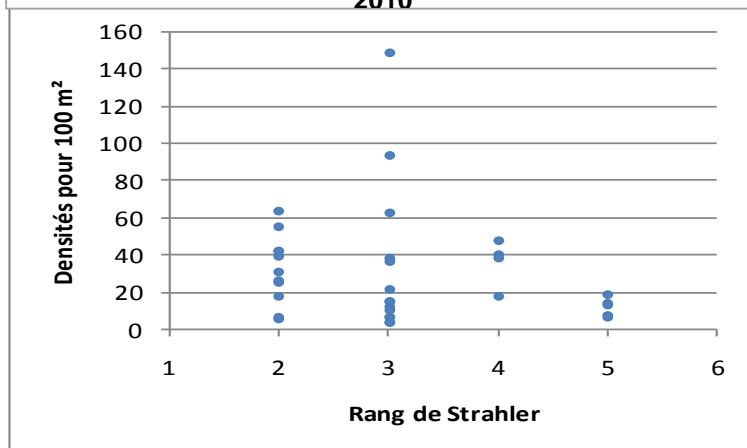


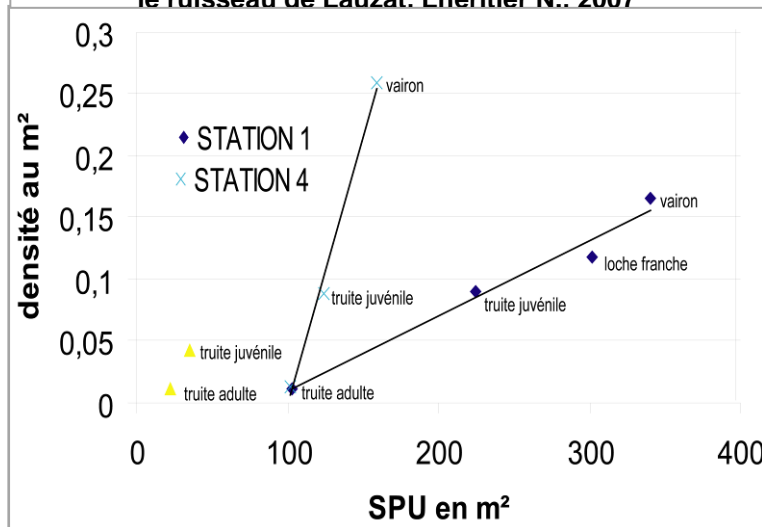
Figure 247 : Densité de poissons par rang de Strahler dans les cours d'eau du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010



5.2.1. Relation entre la température de l'eau et les peuplements piscicoles des ruisseaux en Pays Monts et Barrages

La mise en relation des populations piscicoles et des cartographies des habitats sur le ruisseau de Lauzat nous a permis de constater qu'en été, les habitats des ruisseaux de rang 3 (STATION 4) étaient beaucoup plus occupés que les habitats d'un rang 4 (STATION 1). Les stations où les relations sont les meilleures entre densité et surface d'habitat optimum pour chaque espèce (Surface Pondérée Utile) sont les stations 1 et 4, surtout entre la truite adulte, juvénile et le vairon.

Figure 248 : Comparaison de l'occupation des habitats d'un rang 2 (station 4) avec celle d'un rang 4 (station 1) sur le ruisseau de Lauzat. L'héritier N., 2007



Si on compare ces deux courbes de relation, on s'aperçoit que les densités en têtes de bassin sont égales pour la truite juvénile, et plus fortes pour le vairon malgré des capacités d'accueil (nombres d'habitats) plus faibles en période estivale. La capacité d'accueil n'explique donc pas à elle seule ces variations de densité. Les zones à l'aval des ruisseaux sont plus sensibles aux hausses de température estivale comme l'avait montré Vannote. L'amplitude thermique diurne y est plus prononcée « naturellement ». Les migrations forcées des sténothermes d'eau froide vers des eaux plus fraîches sont favorisées. Ce sont des milieux écotones fragiles entre les têtes de bassin et la rivière.

Les températures mesurées sur des ruisseaux du Pays Monts et Barrages à proximité de stations de pêche électrique montrent que la température est un facteur très important de leur écologie.

Tableau 40 : Tableau d'analyse des peuplements piscicoles des ruisseaux de Monts et barrages par des critères thermiques des eaux.

Station	Température du mois le plus chaud (juillet 2009)	Nombre de jour supérieur à 19°C	Nombre de jour supérieur à 25°C	Niveau typologique mesuré (Verneaux)	Rang de Strahler	Espèces présentes en été	Carnassiers d'étang (densités pour 100 m ²)	Cyprinidés d'étangs (densités pour 100 m ²)	Espèces typiques de la zone à truite (densités pour 100 m ²)	Ecrevisses californiennes (densités pour 100 m ²)
PMOUT_CHA	14,3	0	0	B1+	2	truite	0	0	55	0
LAUZ_AM	16,6	2	0	B3	3	vairon, truite commune	0	0	10	0
LAUZ_NEDDE	16,9	3	0	B3	4	loche franche, vairon, goujon, truite commune	0	0	10	0
LA_ROCHE	16,5	1	0	B3+	4	perche commune, perche soleil, gardon, loche franche, vairon, écrevisse californienne, truite (introduite)	24	5	2	20
GALA_FEYT	18,6	24	0	B4	3	perche soleil, gardon, goujon, écrevisse californienne, truite commune (1 individu)	1	2	1	174
VERGNAS_A	19,2	34	0	B4	2	brochet, vairon, goujon, écrevisse californienne	1	0	0	35
BASSOLEIL	21,3	75	1	B4+	3	perche soleil, ablette, gardon, vairon, chevesne, goujon, écrevisse californienne	1	26	0	76

Les températures létales ne sont pas les seuils qui expliquent que les espèces typiques de la zone à truite sont absentes des ruisseaux de Vergnas et Bassoleil. En effet, un seul jour dépassant les 25°C est enregistré sur l'année, et aucun sur le Vergnas. Les espèces ne sont pas présentes sur ces stations à partir du moment où plus de 34 jours sont marqués par une température dépassant les 19°C. Lorsque ce nombre de jour est supérieur à 1, comme sur le ruisseau de la Roche, les densités des espèces typiques (2 à 10 pour 100 m²) sont très faibles à faibles. La frontière entre cette gamme de densité et les fortes densités rencontrées sur le ruisseau de Planchemouton en rang 2 est celle des 15 °C : moyenne des températures du mois le plus chaud. En effet, le rapport est de 1 à 5 de part et d'autre de cette frontière thermique. Cela n'est pas sans rappeler les conditions de la maladie prolifératrice rénale véhiculée par les bryozoaires et affectant les truites communes lorsque la température dépasse les 15°C pendant plus de 15 jours. Même si la température joue également un rôle sur l'installation des cyprinidés et des carnassiers d'étang, celle-ci dépend surtout de la proximité des étangs.

5.2.2. Relation entre la qualité morphologique des cours d'eau, leur environnement riverain et les peuplements piscicoles

L'altitude permet des conditions thermiques des eaux favorables à la truite commune, d'un point de vue géomorphologique, la pente influe sur l'hydromorphologie et les habitats. Cependant la pente n'est pas le seul facteur limitant la capacité d'accueil et l'hydromorphologie des cours d'eau étant donné que les ruisseaux de plaine peuvent également avoir des peuplements clairement truiticoles. L'occupation des sols et les activités humaines semblent être déterminantes étant donnée la forte corrélation des milieux « naturels » et les corrélations secondaires avec les milieux forestiers et agricoles à l'échelle nationale. En effet la gestion de l'espace par l'homme conditionne à la fois l'hydromorphologie, la qualité et la température des ruisseaux. L'état de la zone à truite et plus généralement des ruisseaux de tête de bassin semble être indissociable des activités humaines.

Les graphiques suivants montrent que l'état de l'habitat n'est pas le seul facteur qui conditionne le bon état piscicole, mais qu'en revanche il peut être limitant. En effet, les densités maximales d'espèces conformes diminuent avec les notes REH. En d'autres termes, ceci ne veut pas dire que si l'habitat est de bonne qualité, les densités d'espèces conformes seront bonnes, mais plutôt que si l'habitat est dégradé, le milieu n'a pas une bonne capacité d'accueil pour les espèces. Ceci n'est pas seulement visible avec le lit, même si la relation est plus nette avec ce paramètre, mais également avec les berges, les annexes, et la continuité.

En plus de nous conforter dans l'hypothèse que les dégradations morphologiques sont avec la température de l'eau les principaux facteurs limitant à un bon état écologique, ces résultats permettent en quelque sorte de valider le diagnostic REH effectué sur le territoire. Rappelons que les annexes correspondent au type de rigoles et à l'état de conservation des zones humides, ces éléments riverains sont également primordiaux pour garantir le bon état piscicole.

Figure 249 : Relation entre les densités de truites communes et différents compartiments du tronçon analysé selon le REH adapté, Lhéritier N., 2010

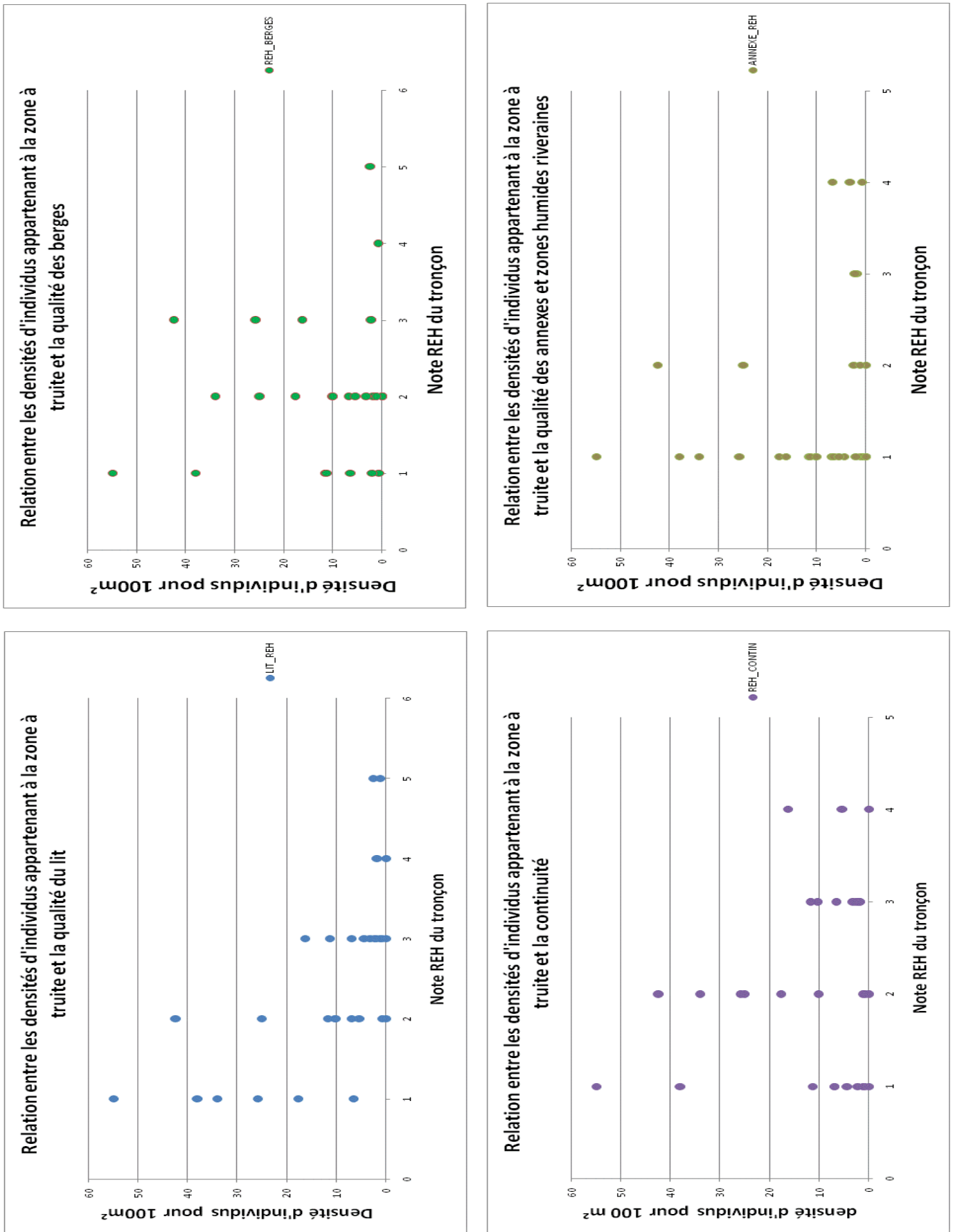


Figure 250 : Densités moyennes d'espèces de la zone à truite par classes REH du lit des ruisseaux, Lhéritier N., 2010

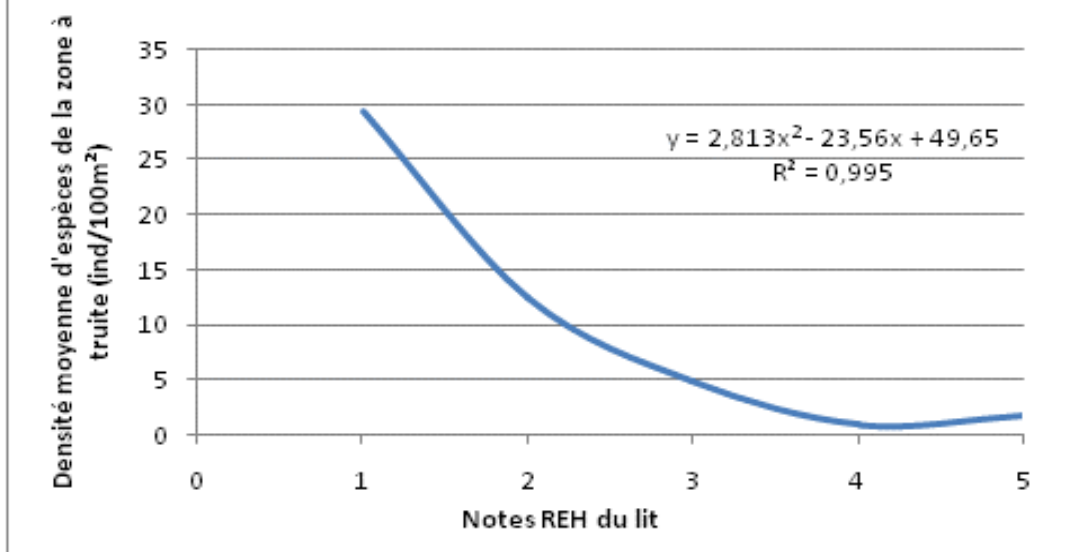
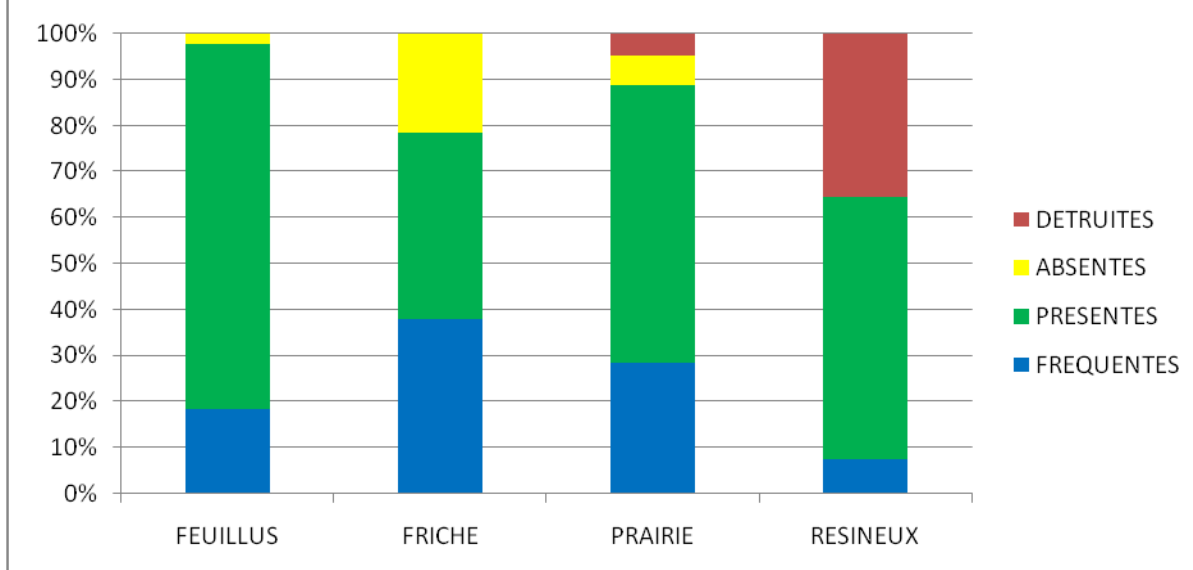


Figure 251 : Fréquences des habitats de sous-berge en fonction de l'occupation des sols riverains, Lhéritier N., 2009



5.2.3. Effet du colmatage sur la survie embryolaire de la truite commune dans les ruisseaux du Pays Monts et Barrages

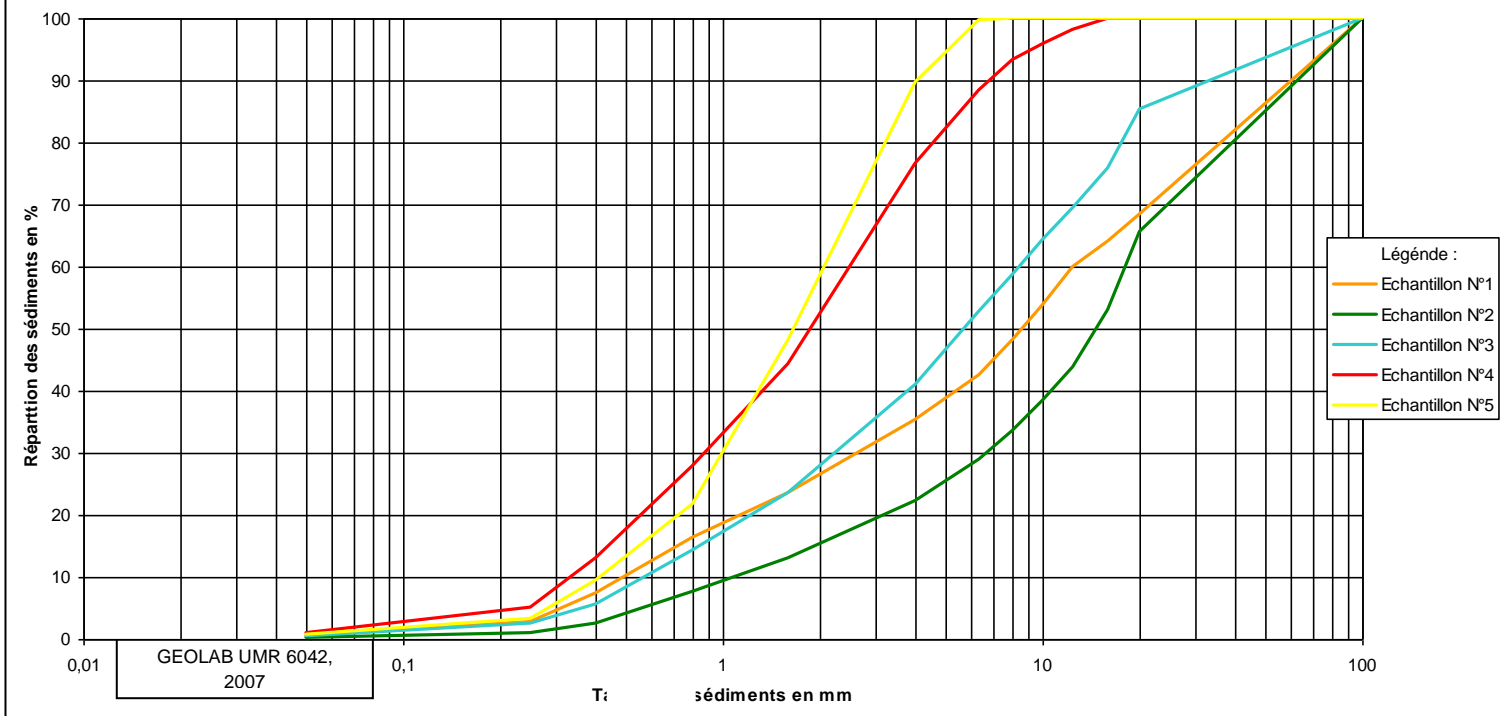
L'évaluation de la réussite du frai a pour objectif d'évaluer la réussite de la reproduction naturelle de la truite commune et de comprendre les causes d'un mauvais fonctionnement. Pour ce faire, l'expérience suivante a été réalisée sur 4 types de stations représentatives des frayères qui ont été recensées sur le ruisseau de Lauzat, mais également sur le ruisseau de Courtiaux. De plus, toutes les précautions ont bien entendu été prises pour ne pas endommager de frayères réelles, en revanche, toutes les stations furent choisies car elles appartenaient à des zones où il fut possible d'observer des géniteurs. Comme décrit dans la méthodologie, des œufs de truites de pisciculture furent placés dans les incubateurs à leur tour enfouis dans les frayères. Un tube crépiné a permis d'effectuer des prélèvements d'eau interstitielle hebdomadaires pour analyser les paramètres physicochimiques. Les concentrations en azote, nitrates, nitrites, phosphates ainsi que le PH, et la conductivité, ont peu varié entre les stations et dans le temps.

La construction de courbes granulométriques a permis de mieux connaître l'hydromorphologie des frayères. La plupart du temps, les frayères se situent sur une légère **contre-pente** entre la fin d'une mouille et le début d'un radier. Cette hydromorphologie particulière favorise la percolation de l'eau et fait que les différents éléments granulométriques s'accumulent de manière plus ou moins forcée. Selon leur taille, certains éléments vont s'infiltrer ou se déposer, et d'autres vont être transportés plus en aval.

La lecture d'une courbe granulométrique permet d'évaluer s'il s'agit d'une **accumulation libre** (courbe en forme de S de type sigmoïde), d'une **accumulation forcée** (courbe parabolique ou exponentielle) ou d'une **accumulation en « vrac »**, **stable** et **peu perméable** (courbe de type logarithmique apparaissant comme une droite sur un graphique semi logarithmique).

En outre, **la partie la plus verticale** de la courbe correspond aux **éléments granulométriques dominants** de l'échantillon (Tricart, 1965). L'échantillon 1 se rapproche du type logarithmique, la frayère est donc très stable, peu perméable et fortement colmatée malgré une part relativement importante de graviers. Les échantillons 2 et 3 ont des courbes intermédiaires entre la forme en S (accumulation libre) et la forme parabolique (accumulation forcée), ces frayères sont perméables et uniquement remodelables lors de puissants événements hydrauliques. Elles sont toutes deux composées d'une part importante de graviers (surtout l'échantillon 2). Les échantillons 4 et 5 sont composés de sables fins et grossiers avec une part importante d'éléments de diamètre inférieur à 0.8 mm, surtout pour l'échantillon 4. Ce sont les groupmrrnt granulométriques les plus instables.

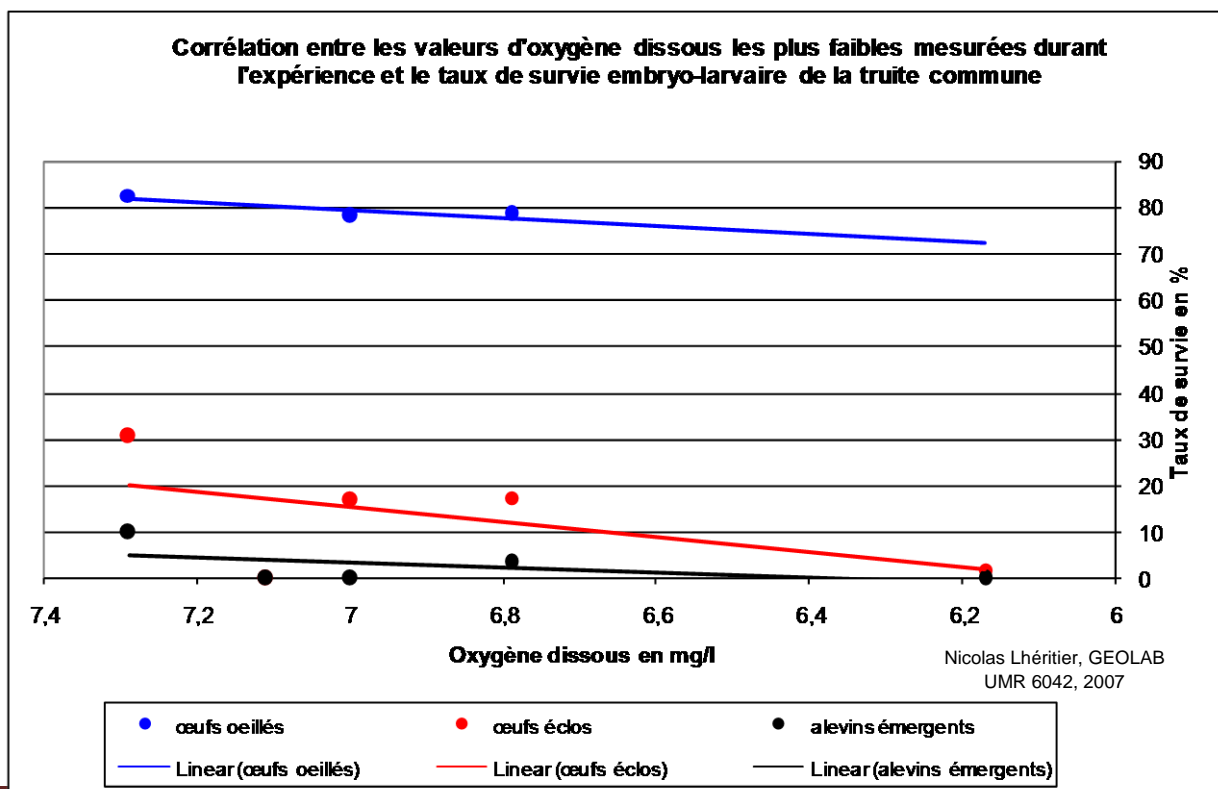
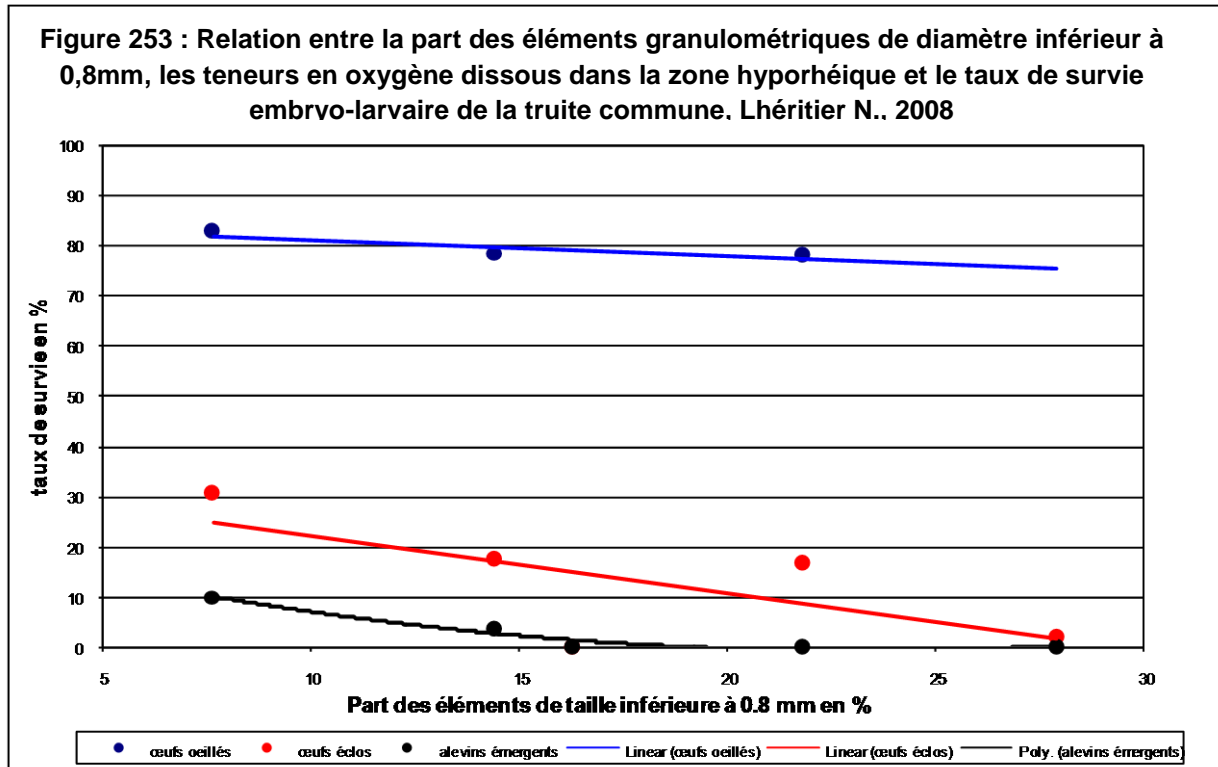
Figure 252 : Courbes granulométriques des 5 sites où fut évalué le taux de survie embryolarvaire de la truite commune, Lhéritier N., 2007



Ce sont les échantillons 1 et 2 qui ont eu le plus de réussite avec 10 et 4 % de réussite au stade alevin émergent. Ce résultat n'est pas bon comparé à d'autres études comme celles réalisées par l'ONEMA atteignant des résultats de 50 à 70 % en précisant que cela peut être beaucoup moins si le lit est colmaté.

Les éléments ayant un diamètre inférieur à 0.8 mm sont déterminés comme colmatants pour les frayères à salmonidés par Schälchli en 1993 et Brunke en 1999. Ceci est vérifié par la mise en évidence de relations nettes à tous les stades de développement. Si l'eau interstitielle est peu renouvelée, elle contient des concentrations d'oxygène dissous trop faibles pour que les œufs et larves puissent survivre.

Le taux d'oxygène dissous est déterminant dans la réussite du frai. Ces variations sont en relation directe avec la granulométrie de la frayère. La fourniture en MES et en éléments granulométriques fins (inférieurs à 0.8 mm) participe au colmatage granulométrique.



6. Gestion des ruisseaux et zones humides et approche du risque environnemental en tête de bassin

Ce développement liminaire est une partie de géographie appliquée et de recherche-conseil, intentionnellement présentée de manière à être utile à la gestion, tout en faisant le lien avec le travail académique représentant le reste et l'essentiel de la thèse. Un certain nombre d'exemples très concrets seront présentés selon une démarche pragmatique, qui se veut tournée vers l'action. Les actions que nous évoquerons ici ne sont pas à proprement parler novatrices en termes de gestion, étant déjà pratiquées à divers endroits, mais leur regroupement dans un travail de recherche scientifique en fait une synthèse nouvelle, que nous structurerons en trois points (actions de prévention et de protection, actions de forçage hydrogéomorphologique, actions de renaturation, reconnexion et optimisation de productivité biologique). D'autre part, malgré son caractère très appliqué, et au-delà de celui-ci, ce développement confirme l'intérêt des changements d'échelles géographiques, que ce soit dans le cadre du réseau français et de nos expériences en Limousin ou que ce soit dans le cadre d'un travail comparatif entre les régions. Les expériences de gestion et de restauration des petits cours d'eau sont nombreuses, et le réseau français des techniciens de rivière étant très dynamique, la communication faite autour de ces travaux permet de connaître les différentes méthodes de restauration employées et leur coût. Nous nous inspirerons de chiffrages communiqués lors de différentes journées techniques sur la gestion des cours d'eau, mais aussi des documentations techniques du PNR Morvan qui exposent les différents travaux réalisés dans le cadre du « LIFE ruisseaux de tête de bassin et faune patrimoniale associée », mais aussi, des expériences des deux structures professionnelles que sont le CREN Limousin et le Syndicat mixte Monts et Barrages. Les documents de synthèse du programme « LIFE ruisseau de tête de bassin et faune patrimoniale associée » constituent un excellent répertoire d'exemples en ce qui concerne les actions de restauration de la continuité piscicole, de prise en compte des ruisseaux et sols humides, de gestion des forêts riveraines de production, de gestion des étangs et de restauration physique des ruisseaux en contexte de moyenne montagne. Il s'agira d'apporter quelques compléments sur l'aménagement des parcelles agricoles en contexte d'élevage, sur la nécessité d'optimisation des fonctionnalités hydro-écologiques des zones humides et de rapporter les restaurations hydrogéomorphologiques en contexte de plaine réalisées par certains syndicats de rivière avec le soutien de l'ONEMA. Nous valoriserons également des initiatives locales et parfois bénévoles. D'une manière générale nous insisterons sur le fait que l'animation est un élément capital pour restaurer les têtes de bassin du fait de l'indispensable multiplication des actions. Nous traiterons de la prévention des risques qui permettent l'économie de mesures curatives en valorisant la prévention et notamment l'assistance de techniciens en environnement dans les pratiques à risques.

6.1. Les actions préventives et d'aménagement de protection

6.1.1. La gestion des zones humides et des ruisseaux en contexte d'élevage bovin : limitation des dégradations morphologiques des berges et du lit

Le phénomène de dégradation morphologique des berges et du lit des ruisseaux peut être enrayé en empêchant les troupeaux de divaguer librement dans le cours d'eau. L'action consiste à apporter de l'eau au bétail par dérivation, pompage dans le cours d'eau, dans la nappe ou l'aménagement d'accès au ruisseau. La limitation de la divagation du bétail dans le cours d'eau peut se matérialiser par la mise en défens accompagnée par des éléments attractifs sur les zones d'abreuvement aménagées. Pour que les troupeaux et les engins agricoles puissent franchir le ruisseau, des aménagements tels que des passerelles peuvent être mis en place. La pose de clôtures contraindra le bétail à ne pas descendre dans le ruisseau d'une manière sûre. Cependant, une étude canadienne montre que le bétail préfère s'abreuver dans un abreuvoir aménagé dans les parcelles, plutôt que de venir dans la zone humide proche du cours d'eau et boire l'eau du cours d'eau. La simple attraction vers une zone aménagée dans la parcelle peut être une action de limitation de la divagation du bétail dans le ruisseau qui ne sera pas contraint d'y aller pour s'abreuver. Tous ces aménagements doivent être élaborés avec l'avis de l'exploitant, et réfléchis à l'échelle de la parcelle. Une réorganisation du pâturage peut réduire le nombre d'aménagements et le coût. Après aménagement et réorganisation, le ruisseau redevient une limite du parc de pâturage plutôt qu'une source d'abreuvement le traversant, les aménagements de franchissement sont alors moins nombreux, la traversée à gué devient occasionnelle et moins néfaste.

Différents types de clôtures sont envisageables en fonction des méthodes d'entretien de l'agriculteur. Un fil électrifié est suffisant et permet un entretien par broutage des espèces herbacées et ligneuses, mais aussi mécanique des végétaux envahissants comme les ronces par gyrobroyage planifié. Les pieux peuvent rester en place, et le fil électrique est momentanément enlevé permettant ainsi le passage de l'engin. D'autres types de clôtures comme les clôtures en fils barbelés peuvent être utilisées à condition que l'entretien se fasse uniquement manuellement ou mécaniquement sans désherbants chimiques. Les clôtures seront préconisées pour les cours d'eau n'ayant pas de protection naturelle (gabarit important, ripisylve, talus) et pour les troupeaux divagants régulièrement et en n'importe quel endroit du ruisseau. Des conseils techniques sur l'entretien et la réglementation en vigueur concernant l'entretien de la ripisylve doivent être communiqués à cette occasion. Elle peut être provisoire, s'il est constaté que l'abreuvoir aménagé est bien fréquenté permettant à la ripisylve de reprendre ses droits sous la clôture. Il pourra être envisagé d'enlever la clôture si toutefois elle était électrique. Ainsi l'entretien sera facilité ainsi que le pâturage et pourront être discutés et programmés avec le technicien.

Lorsqu'un cordon de végétation (surtout buissonnante) limite le nombre d'abreuvements, la clôture n'est pas indispensable, à condition d'aménager un point d'abreuvement par empierrement ou d'inciter le bétail à s'abreuver à un abreuvoir alimenté par gravité. En effet l'attractivité de l'abreuvoir

est fondamentale pour qu'il soit fréquenté au détriment du ruisseau, celle-ci devra être étudiée avec l'éleveur. Les critères fondamentaux pris en compte seront :

- La localisation de l'abreuvoir dans la parcelle (Il doit être accessible rapidement depuis tous les endroits de la parcelle, si cela n'est pas possible, 2 abreuvoirs pourront être installés.)
- La proximité d'une zone d'ombrage (au cours du diagnostic par temps de forte chaleur, les vaches recherchent l'ombre, et c'est sous la contrainte qu'elle la quitte pour aller s'abreuver au cours d'eau)
- Un emplacement sec (où les vaches peuvent se coucher à proximité)
- La correspondance avec une zone d'apports de compléments alimentaires appréciés du troupeau, tout du moins les premières semaines post-aménagement (fourrage, minéraux, farines et granulés pour les veaux etc.)

Le linéaire de clôture peut alors être limité aux zones où le bétail a pour habitude de s'abreuver avant l'aménagement. Après réalisation, il est nécessaire de suivre l'aménagement, d'être au plus près de l'exploitant pour évaluer s'il est nécessaire d'étendre le linéaire de clôture ou non.

Lorsque la ripisylve n'est pas présente, les berges sont moins stables et le couple clôture abreuvoir s'impose, surtout sur les linéaires très piétinés, à faible réversibilité « naturelle » où les vaches s'abreuvent et traversent le cours d'eau fréquemment. La réversibilité post-piétinement est variable dans le temps, elle dépend de la nature des berges, du gabarit du cours d'eau, et de la fréquence de piétinement.

Il existe différents systèmes d'abreuvoirs. Le choix s'effectue en fonction du type de cours d'eau par lequel il sera alimenté.

Pour la plupart des tronçons ayant une pente assez marquée, visible par environ 50 % d'écoulements lotiques, l'abreuvoir gravitaire est adapté. Pour les tronçons plats, la pompe de prairie sera un des seuls dispositifs permettant d'abreuver le bétail mais tous les autres types d'approvisionnement par pompage conviendront (pompe solaire, éolienne, bélier etc.).

Ces deux grands types d'abreuvoirs permettent d'acheminer l'eau sur des endroits plus secs de la parcelle et déconnectent réellement le bétail du cours d'eau.

Photographie 45 : Passage à gué bétonné concentrant les déjections vers le cours d'eau et passage à gué réalisé avec des matériaux prélevés sur place, SMMB, CREN Limousin, 2009



Photographie 44 : Prise d'eau dans une rigole pour abreuvoir gravitaire (drain coudé, tuyau et crépine), in De Vos L., Petitfrère P, 2008



En ce qui concerne les pompes à prairie elles ne peuvent pas être utilisées en période de gel et doivent donc être réservées aux éleveurs souhaitant déplacer les abreuvoirs (d'une berge à l'autre par exemple), et ne faisant pas hiverner le bétail en prés de fond. Dans les régions où

l'hivernage des troupeaux se fait également au pré et notamment pour un accès à l'eau courante qui ne gèle pas, se pose la difficulté d'utiliser des abreuvoirs alimentés par de faibles débits dans des tuyaux non isolés, et où l'eau stagne plus ou moins en période de gel. Pour pallier à ce problème, les abreuvoirs gravitaires de type antigel seront privilégiés.

La prise d'eau est un élément très important de l'aménagement, de préférence sur rigoles et cours d'eau. Les prises d'eau sur sources ne doivent se faire que lorsque toutes les autres solutions ont été épuisées. Il est à noter que bien souvent des réseaux de drainage de zones humides alimentent des abreuvoirs, si le réseau existe déjà il peut être utilisé pour alimenter un bac, mais en aucun cas la création d'abreuvoirs ne doit être un prétexte au drainage. En effet nombre d'abreuvoirs actuellement mis en place ont une arrivée d'eau par drainage et captage de petites zones humides, et des restitutions enterrées en tuyau de drainage. Les restitutions doivent être enterrées uniquement à proximité de l'abreuvoir afin que les abords ne soient pas boueux et l'abreuvoir stable dans un rayon d'environ 10 mètres. Après ce périmètre, l'eau retournera à la zone humide riveraine, une rigole de

faible profondeur pourra servir de restitution jusqu'au cours d'eau. Ainsi des économies de fournitures seront réalisées et la préservation des zones humides garantie.

Les passages à gué aménagés et la descente aménagée sont pour nous des aménagements de dernier recours car ils ne limitent pas, voire concentrent les enrichissements azotés dus aux déjections, et le transfert des antiparasitaires qui s'y trouvent vers le milieu aquatique. Il s'agit d'un empierrement avec une fraction granulométrique hétérogène allant de la pierre au gravier et en aucun cas d'une chape en béton, ce qui entraîne un lessivage des excréments vers le cours d'eau. Les descentes aménagées et les aménagements mixtes (passages à gué aménagés) seront préconisés sur les parcelles englobant des cours d'eau de gabarit moyen (R3). En effet, il faut que le débit soit suffisant pour que les fines particules ne s'accumulent pas sans pour autant que les empierrements soient déstabilisés. Ce type d'aménagement ne peut être préconisé ni en zone humide (sauf pâturage estival avec faible chargement), ni dans les secteurs à berges abruptes et à forte érodabilité. Il s'agira d'un aménagement d'encoche d'érosion ou de traversées existantes. L'aménagement d'un nouveau passage à gué nécessitant un décaissement des berges est à éviter si possible. Cet aménagement ne limitera pas les déjections des bovins dans le cours d'eau, il sera proposé en dernière solution après concertation avec l'éleveur. Bien évidemment, le choix du système d'abreuvement se fait au cas par cas en fonction de la configuration du ruisseau et de la parcelle, des préférences de l'éleveur et du budget qui sont déterminants pour la concrétisation de l'action.

Sur les parcelles piétinées où l'on souhaite également limiter les traversées du bétail et des engins, il nous faut soit remplacer des buses générant des problèmes de continuité soit rajouter des passerelles. Certaines parcelles comprennent déjà des aménagements de franchissement qui ne permettent pas toujours la continuité piscicole. Lorsque les buses ont un diamètre suffisant pour y placer des

Photographie 46 : Une passerelle en bois en construction sur un ruisseau, CREN Limousin 2010



éléments rugueux, elles peuvent faire l'objet d'aménagements de déflecteurs internes dont nous verrons les caractéristiques plus loin. En revanche, d'autres comprennent des buses mal dimensionnées, ou positionnées, ou détruites par l'usure. Il s'agira alors de remplacer ces points de franchissement, voire d'en diminuer le nombre en concertation avec l'éleveur.

Différents types de passerelles sont préconisables en fonction de la dimension du cours d'eau et de l'usage souhaité par l'exploitant. Nous pouvons classer les aménagements de franchissements en deux grandes catégories : ceux qui servent uniquement au franchissement du bétail, et ceux qui doivent également soutenir le poids d'un engin agricole.

Dans le cas de pose de passerelles au sens propre du terme, leurs traverses devront s'étendre suffisamment en berge afin d'améliorer la portance. Si besoin, un empierrement sera réalisé en arrière de la berge afin d'assurer une bonne portance du sol. Les nouveaux matériaux tels que le Poly Éthylène Haute Densité (PEHD) permettent de concevoir des aménagements résistants au passage du bétail et des engins agricoles.

Un seul tube peut être découpé dans sa longueur et ainsi permettre de concevoir un aménagement à double arches, ou deux aménagements à une seule arche. Ce type d'aménagement en plus de présenter un intérêt économique, permet aux cours d'eau de se reconstituer un lit. Les rugosités « naturelles » vont permettre aux espèces à faible capacité de franchissement de migrer. Le dimensionnement des arches devra se faire afin que le débit de crue biennale (de plein bord) puisse passer dans l'arche sans créer de débordements ni d'érosions en amont ou en aval. Le chiffrage des abreuvoirs doit permettre une flexibilité vis-à-vis des caractéristiques des parcelles, et des choix de l'exploitant vis-à-vis de ses pratiques.

Un chiffrage de 800 euros par système permet au choix d'installer 2 pompes à prairies ou 1 abreuvoir gravitaire avec bac de 500 litres, ou encore un passage à gué permettant l'abreuvement du bétail ou l'installation d'un abreuvoir antigel pose comprise. Le coût moyen du mètre linéaire de clôture est de **3 euros** le mètre linéaire (moyenne entre la clôture électrique 2 rangs – piquets espacés de 6 mètres, et la clôture conventionnelle 3 rangs de barbelés – piquets espacés de 5 mètres). Le coût d'une passerelle est fonction du gabarit du cours d'eau et du poids que doit supporter l'ouvrage. La totalité des coûts relatifs à l'activité agricole sur le territoire de Monts et Barrages qui rappellent la mesure 860 Km² et comprend 1200 Km de cours d'eau s'élève à 1 850 178 euros pour les seuls ruisseaux diagnostiqués à ce jour si nous ajoutons à cela les 25 % restant en considérant que la quantité d'aménagements à réaliser est du même ordre, le coût total de l'action agricole atteint 2 500 000 euros dans le cadre d'un scénario optimal.

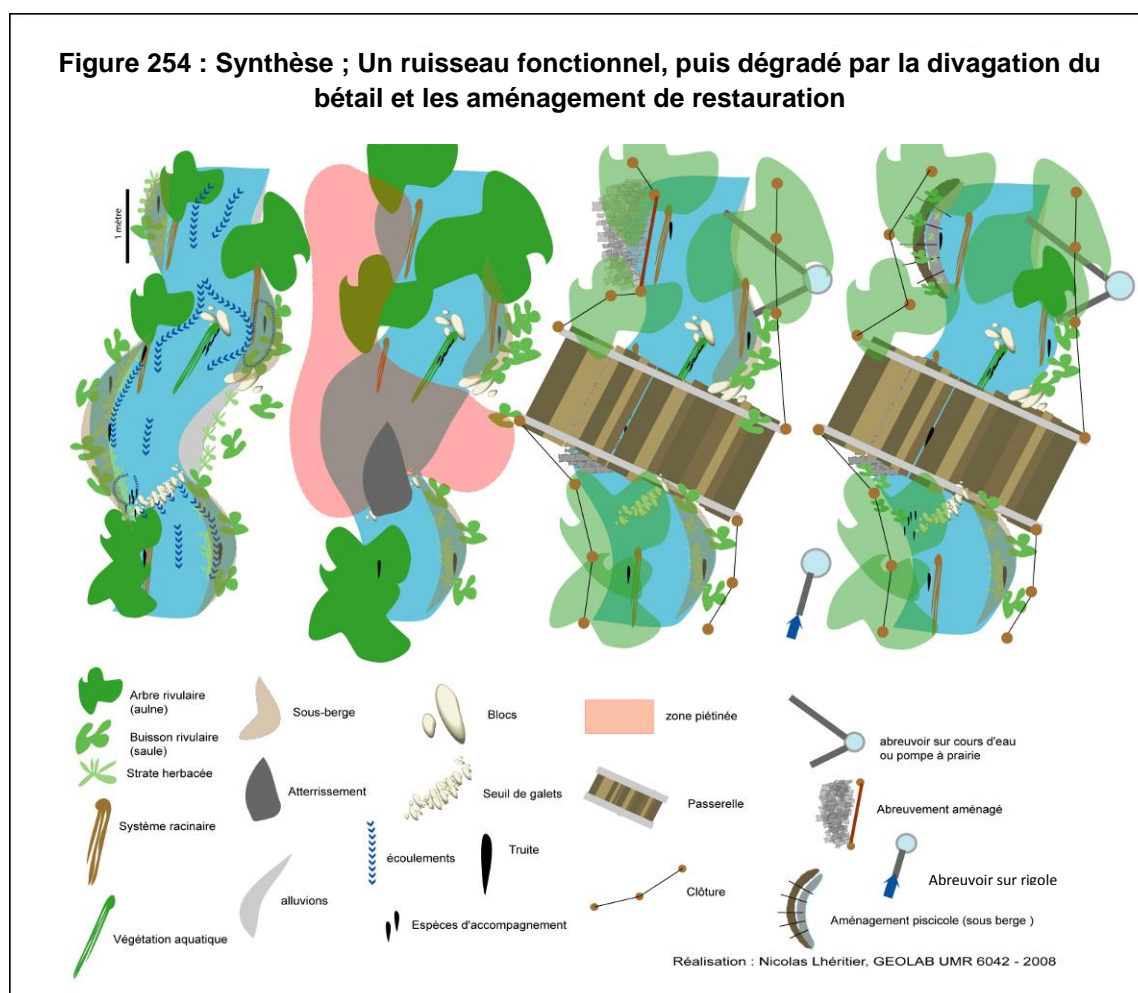
Photographie 47 : Demi-tube PEHD pour bétail et engins Cliché François Bontemps, « Bocage Mayennais »



Tableau 41 : Coûts des passerelles en fonction du rang du cours d'eau à aménager, SMMB, 2010

Rang du cours d'eau et fonction de la passerelle	Coût unitaire en euros avec pose	Descriptif matériel
Rang 1 pour franchissement bétail	500	Bois
Rang 1 pour franchissement bétail et engins	1400	½ PEHD (Polyéthylène haute densité) + remblais
Rang 2 pour franchissement bétail et engins	2000	½ PEHD + remblais
Rangs 3 et 4	5000	Bois et poutres métalliques

Le coût des aménagements va bien entendu être plus élevé, si en plus de limiter les dégradations morphologiques, on veut restaurer les habitats de sous-berges. La figure suivante illustre la perte d'habitat piscicole occasionnée et les aménagements visant à limiter les impacts et à restaurer des habitats.



La carte suivante rend compte de la vulnérabilité des ruisseaux français face aux colmatage du lit à la suite d'érosion liée à la divagation du bétail.

Figure 255 : Vulnérabilité des ruisseaux français face au colmatage en région d'élevage

La vulnérabilité et la capacité d'export des sédiments sont issues du croisement de la pente des tronçons et des précipitations annuelles occupées par l'espace des prairies et de polyculture élevage (Codes Corine Land Cover 231, 241 et 242) Plus les précipitations et la pente sont faibles plus le ruisseau est vulnérable

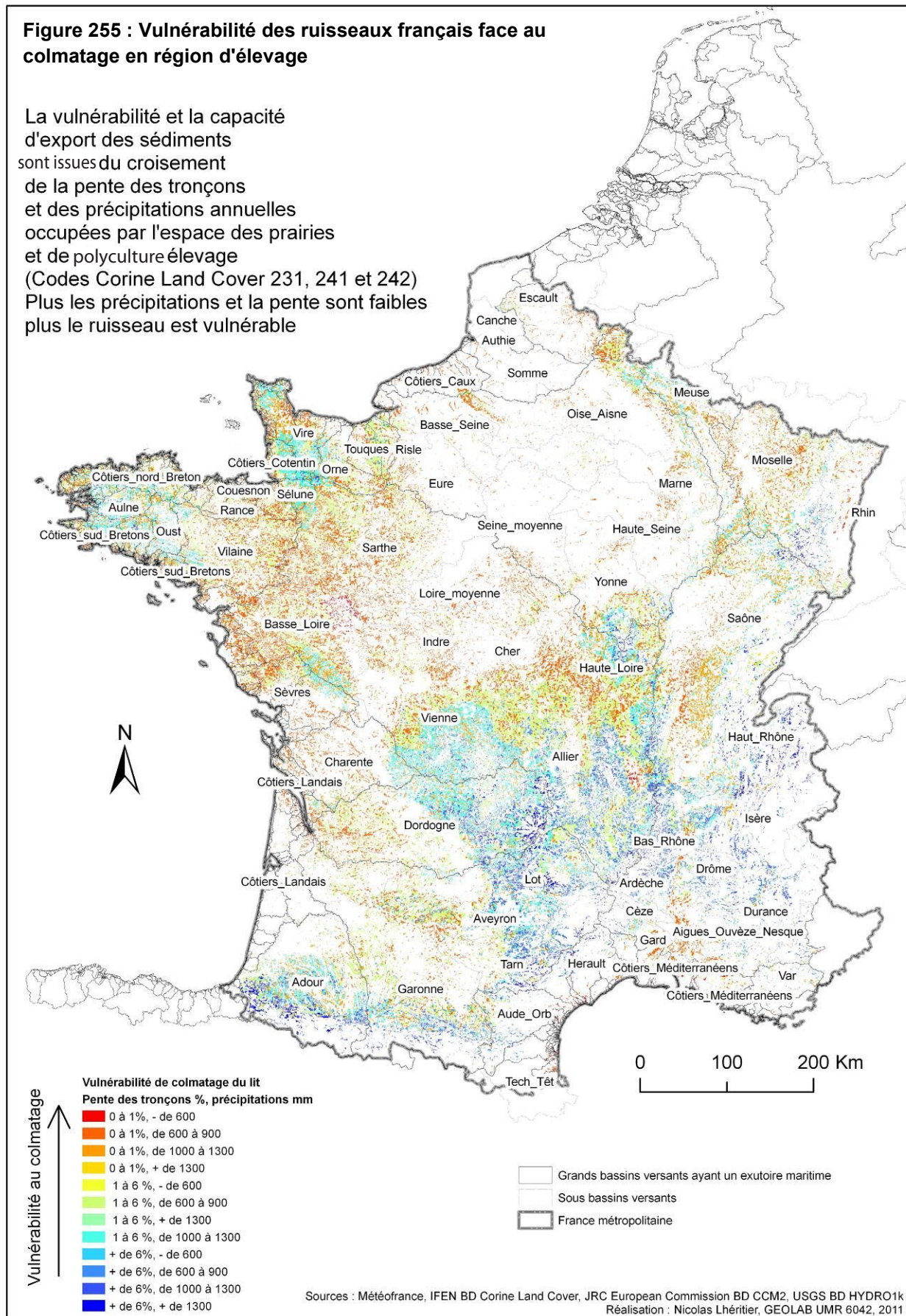


Tableau 42 : Coûts de l'aménagement des pâtures pour un abreuvement conforme avec le bon état des ruisseaux

Type de restauration	Coût de restauration €ttc ramené au ml et 20 m ² de zone humide associée	Détail du coût	Sources	Application	Probabilité géographique
TBV ELEVAGE mise en défend des berges, pose d'abreuvoirs, et aménagement de franchissements à gué	26,80	Syndicat mixte Monts et Barrages : prix du mètre de clôture + 1 abreuvoir + 1 passage à gué pour 100 mètres + Coût entreprise pour 2 jours de chantier	ETUDE PEALABLE ET TRAVAUX EN COURS MONTS ET BARRAGES	Ruisseaux de tête de bassin en région d'élevage non recalibré de rang 1, 2 et 3	Têtes de bassin vallonnées valorisées par l'élevage plein air et la production laitière
TBV ELEVAGE mise en défend des berges, pose d'abreuvoirs, et aménagement de franchissements à gué	21,10	PNR Morvan : prix du mètre de clôture + 1 abreuvoir + 1 passage à gué pour 100 mètres + Cout entreprise pour 2 jours de chantier	PNR MORVAN LIFE RUISSEAU	Ruisseaux de tête de bassin en région d'élevage non recalibré de rang 1, 2 et 4	Têtes de bassin vallonnées valorisées par l'élevage plein air et la production laitière
Moyenne	23,95				

6.1.2.Prévention du risque de colluvionnement excessif en contexte de sylviculture de production

Lors de l'exploitation sur les versants, ou sur des secteurs plans à proximité des cours d'eau, il réside toujours un risque hydromorphologique pour les ruisseaux ou les zones humides. Le risque de colluvionnement est lié aux averses orageuses survenant sur des versants pentus, sableux et aux sols remaniés pour replanter. Le risque de ruissellement concentré en colluvions vers le ruisseau est accru par les ornières des engins utilisés.

Photographie 48 : Coupe rase suivie de travaux de replantation sur un versant de la commune de Lestards (19), Lhéritier N., 2009



Photographie 50 : Rills et rigoles créées par le ruissellement concentré suite à une coupe rase suivie de travaux de replantation sur un versant de la commune de Lestards (19), Lhéritier N., 2009



**Photographie 49 : Coupe rase sur un versant et une zone riveraine de la commune de Sauviat sur Vige (87)
Cliché : Cédric Malraison EPTBVienne**



Dans le cadre d'une exploitation ou d'une coupe d'éclaircie, l'animation et l'assistance technique auprès des exploitants et propriétaires forestiers avant le début des travaux d'exploitation sont primordiales. La mise à disposition d'un kit de franchissement temporaire des cours d'eau lors des travaux de débardage sera également une bonne alternative pour limiter les dégradations du lit et des berges par la traversée des engins. Le franchissement provisoire est composé de branchages et

de tube en PEHD de différents diamètres. Il sera enlevé dès la fin des travaux et a fait ses preuves sur le territoire du PNR du Morvan. Un kit de franchissement provisoire composé de tubes PEHD de différents diamètres est estimé à 3 000 euros.

Il est difficile de localiser cette action car elle concerne des parcelles qui vont être exploitées pendant la durée du programme d'actions. Nous pouvons cependant présenter une carte des risques liés aux futures exploitations de résineux à l'échelle du territoire de Monts et Barrages en recoupant l'occupation du sol, les petits bassins versants et leurs pentes. Ce type de carte croisant la présence avérée de résineux, une cartographie des cours d'eau jusqu'aux plus petits et des pentes des versants serait un outil réglementaire indispensable, obligeant le propriétaire et l'exploitant à faire appel à un technicien pour les assister dans la programmation des travaux et les plans de gestion forestiers.

Figure 256 : Carte des bassins versants présentant des risques pour l'exploitation forestière à venir: plantations riveraines et risque de colluvionnement excessif sur les versants

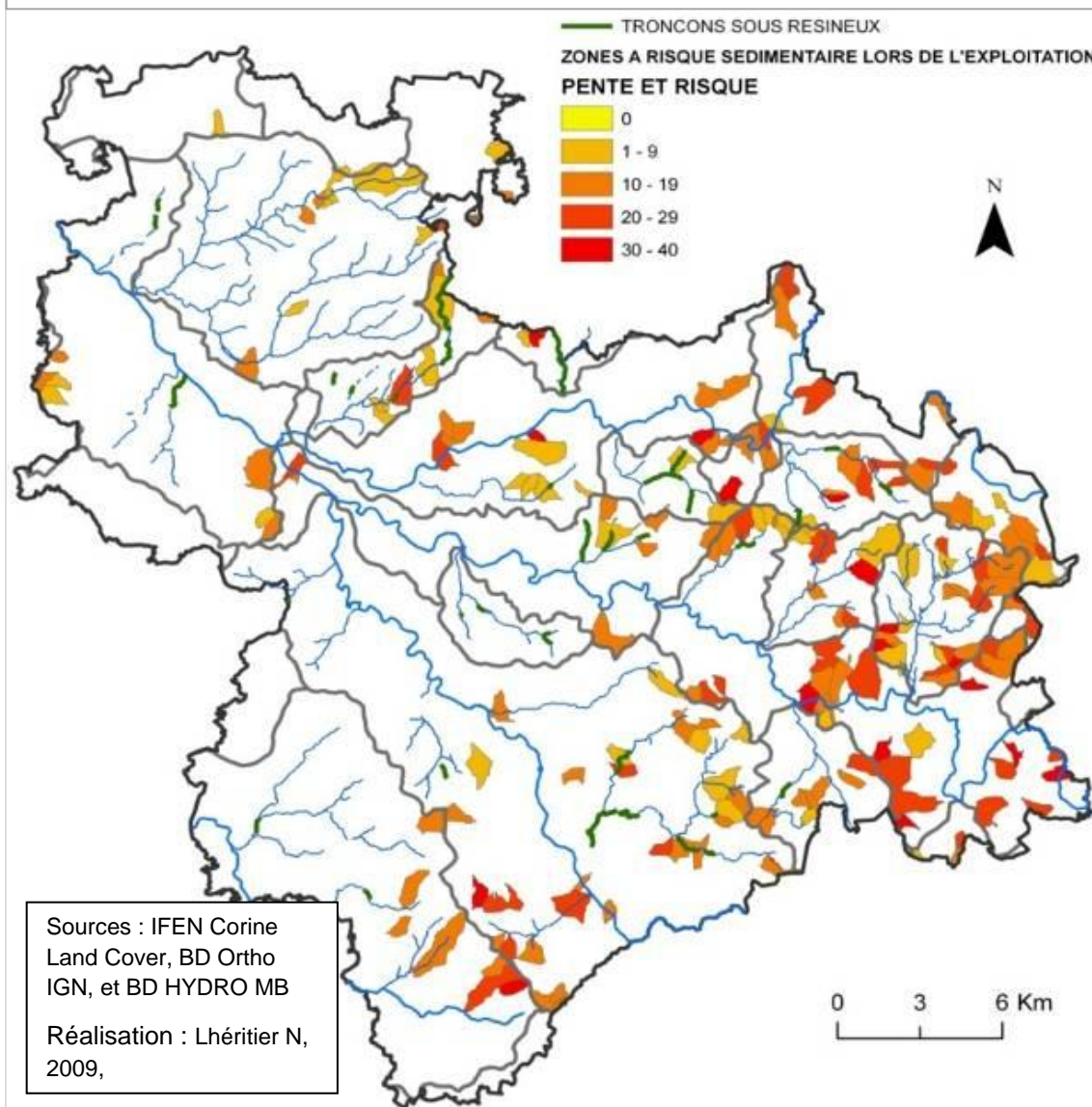
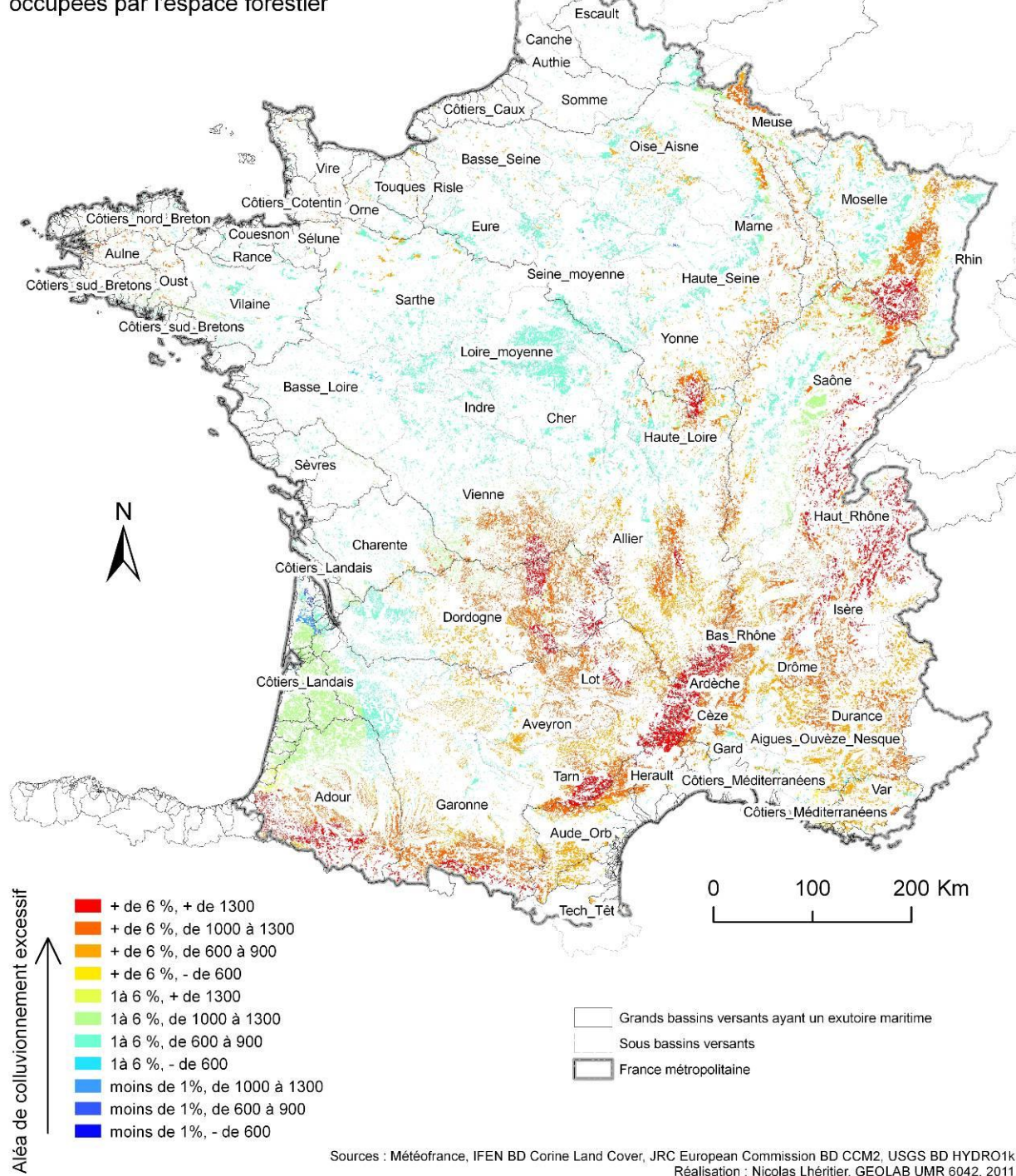


Figure 257 : Aléa de colluvionnement excessif sur les versants riverains des ruisseaux français lors d'exploitations forestières

L'aléa est issu du croisement de la pente moyenne des versants de la base de données CCM2 du JRC et des précipitations annuelles pour les zones riveraines des rangs 1 et 2 occupées par l'espace forestier



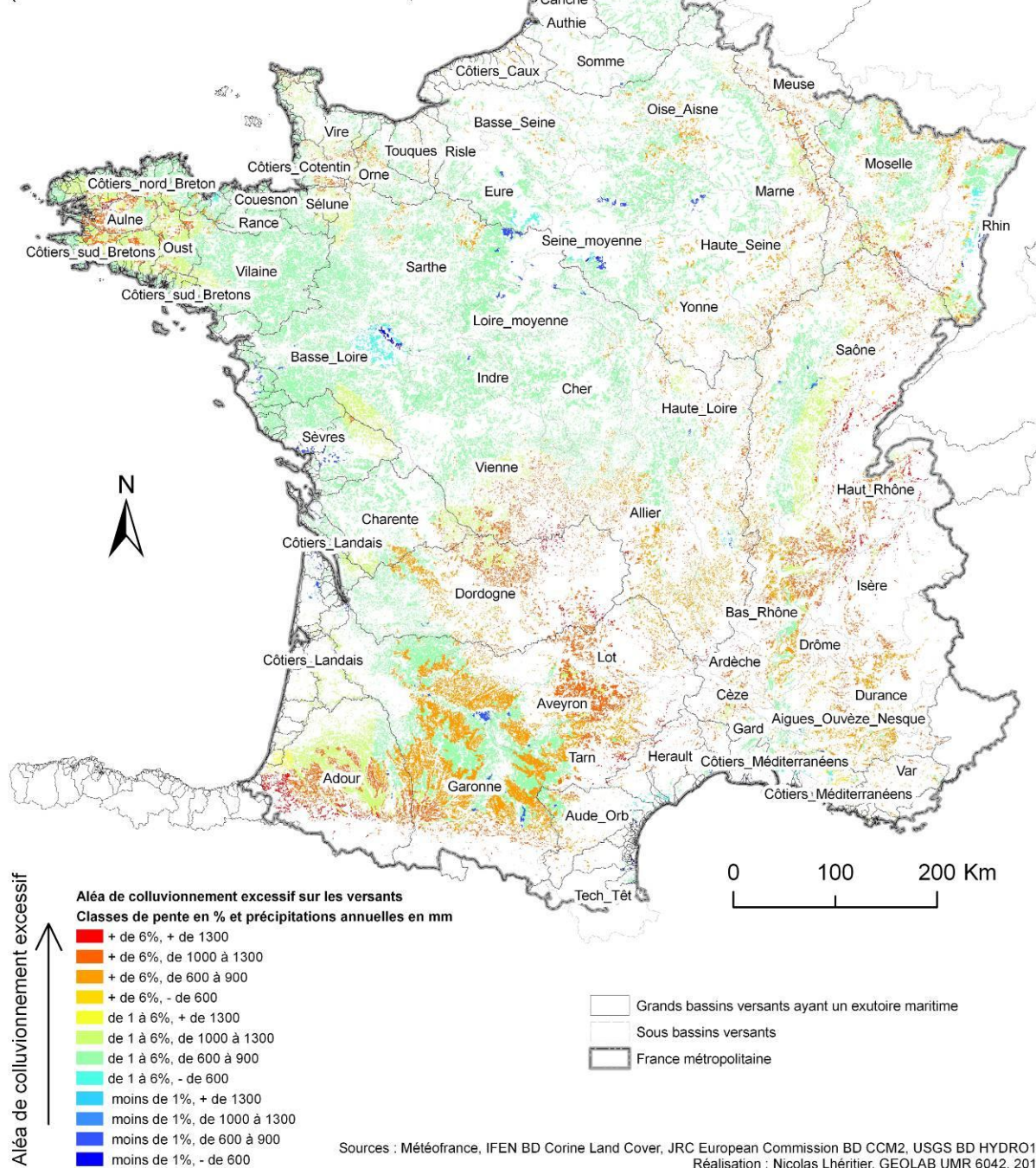
6.1.3.Prévention du risque de colluvionnement excessif en contexte de culture et drainage superficiel des prés de fond en contexte d'élevage

Nous l'avons vu dans la recherche d'une typologie hydromorphologique des cours d'eau de têtes de bassin, les ruisseaux à faible énergie sont majoritaires en France. Ils sont de ce fait extrêmement soumis au colluvionnement sur les versants, et n'ont pas forcément la puissance nécessaire pour les exporter hors période de crue. Ces ruisseaux vont alors être particulièrement vulnérables vis-à-vis du risque de colluvionnement excessif sur les versants. Nous avons également constaté que les cultures agricoles sont très présentes en bord de cours d'eau. Les remaniements de sols, lors des labours accentuent l'aléa de colluvionnement excessif.

Nous présentons alors une carte du risque de colluvionnement excessif en zone de culture qui est issu d'un recoupement de la pente des versants issu de la base de donnée CCM2 du JRC et de la pluviométrie, pour les zones de cultures se trouvant dans les zones riveraines des petits cours d'eau. Certes cette carte serait plus précise en parlant d'intensité maximale des précipitations, mais elle permet de visualiser les zones de tête de bassin vulnérables.

Figure 258 : Aléa de colluvionnement excessif sur les versants riviérains des ruisseaux français occupés par les cultures

L'aléa est issu du croisement de la pente moyenne des versants de la base de données CCM2 du JRC et des précipitations annuelles pour les zones riveraines des rangs 1 et 2 occupées par l'espace agricole de culture (Codes Corine Land Cover 212 et 211, 241 et 242)



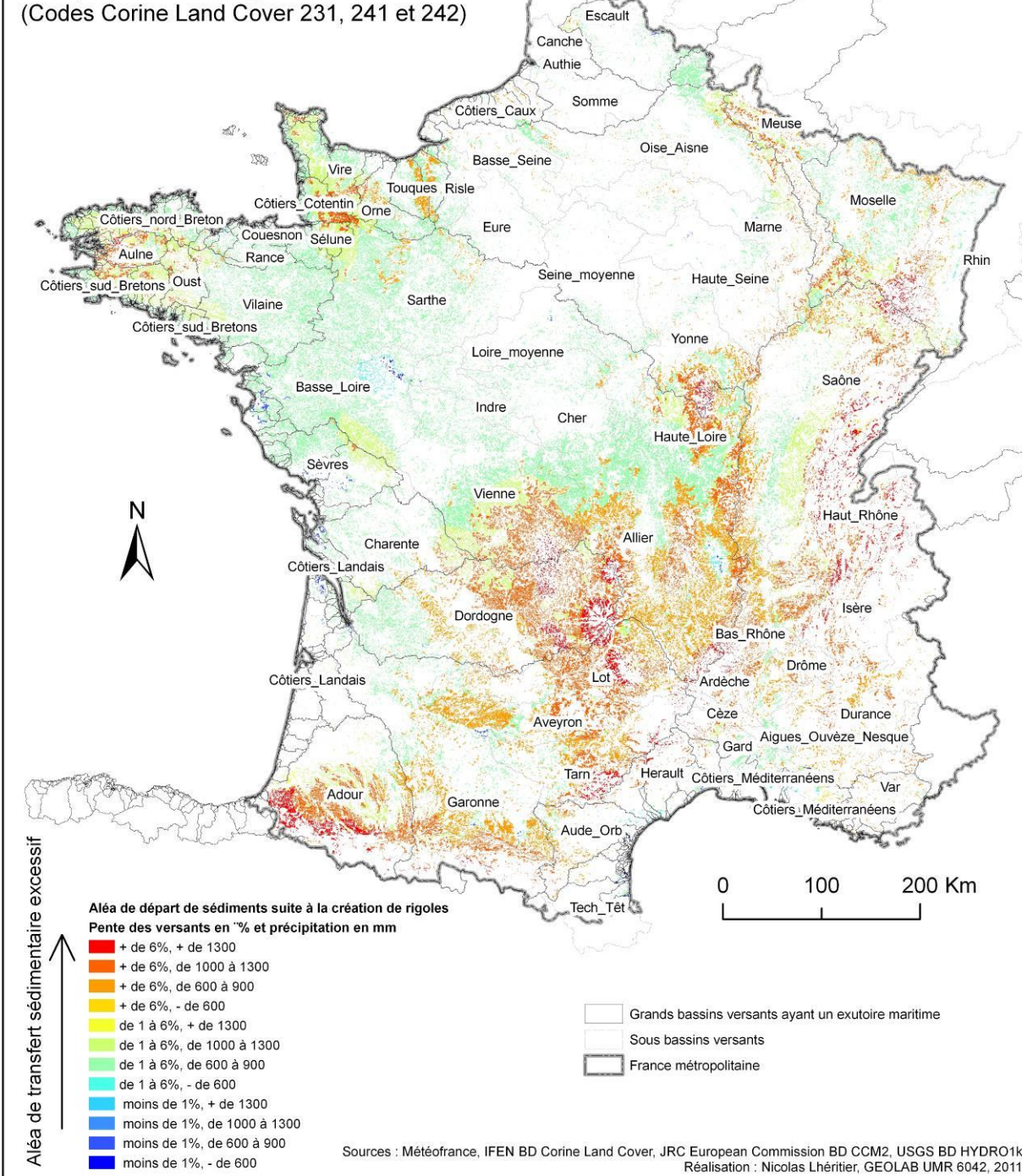


Les rigoles superficielles sont un élément essentiel de la gestion des pâturages humides, elles sont bien souvent réalisées lorsque les éleveurs ont le temps, et c'est d'ailleurs par manque de temps, que cette pratique est de moins en moins réalisée par l'éleveur lui-même et de plus en plus sous-traitée. La saison durant laquelle les rigoles sont faites est très importante en matière de transport de sédiments vers le cours d'eau. Bien souvent, les rigoles sont faites à l'automne, qui correspond à une période moins chargée en termes de masse de travail pour les éleveurs. C'est également la période où les fonds humides sont les plus portants, hors période estivale où le bétail occupe les prés de fond, et où les fenaisons sont prioritaires. Au printemps et en hiver, les terrains ne sont plus porteurs. Les précipitations survenant dans les rigoles fraîchement tracées peuvent alors générer des transferts sédimentaires importants dans les cours d'eau, surtout si celles-ci sont pentues.

Des rigoles parallèles aux ruisseaux joueront le rôle de récolteur de sédiments, l'assistance à la gestion sur le terrain permet de mettre en place ce genre d'action, nous y reviendrons plus loin.

Figure 259 : Aléa de transfert sédimentaire excessif suite à la création de rigoles de surface en région d'élevage

L'aléa est issu du croisement des précipitations annuelles et de la pente des versants occupées par l'espace des prairies et de polyculture élevage (Codes Corine Land Cover 231, 241 et 242)



Photographies 52 a et b : Fosse récoltant les sédiments fins en provenance d'une rigole, Lhéritier N., 2010

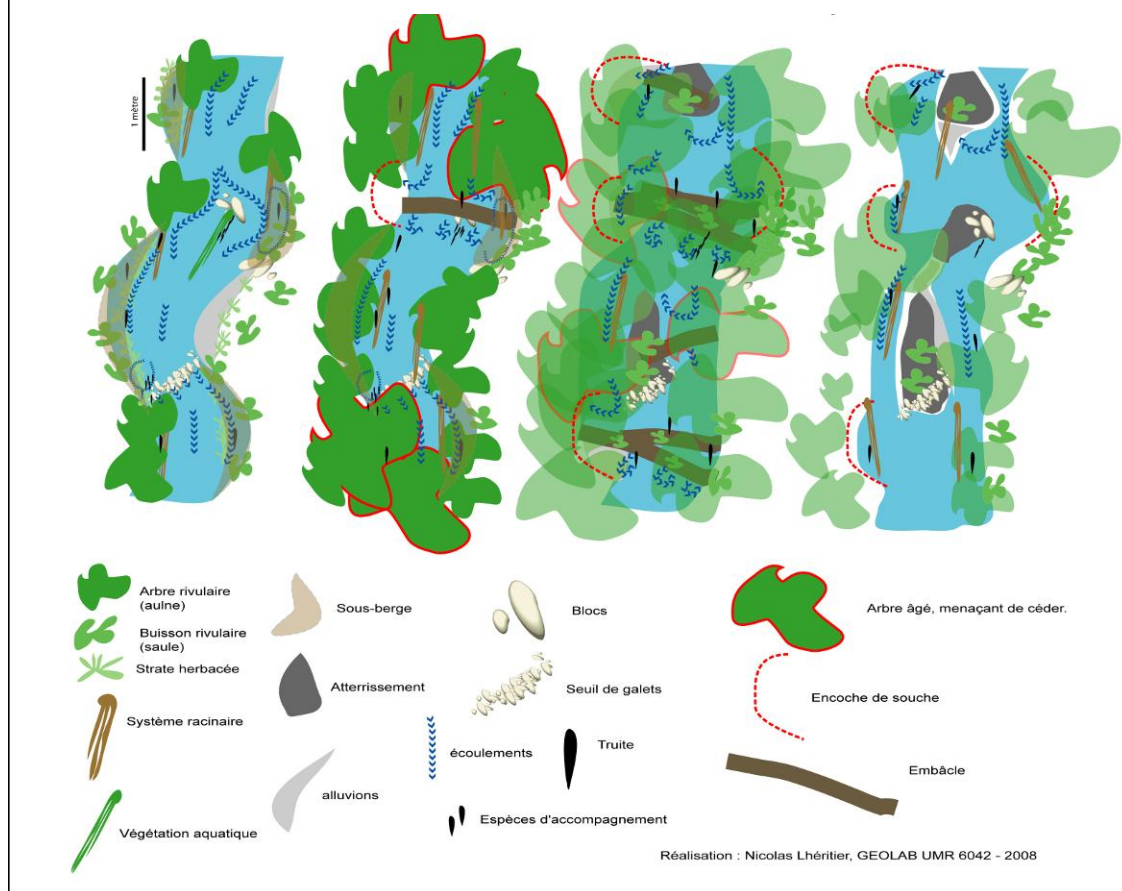


6.2. Les actions de forçage hydromorphologique et d'optimisations hydro-écologiques

6.2.1. La gestion de la ripisylve en tête de bassin pour la régulation thermique, la lumino-production et la diversification hydromorphologique

Les principales évolutions des cours d'eau dans les boisements spontanés anciens concernent la luminosité et tout ce qu'elle entraîne au niveau écologique, mais également son hydromorphologie avec la création d'embâcles et la présence de débris ligneux grossiers dans son lit. En évoluant et vieillissant, la forêt se régénère de manière cyclique, la formation d'embâcles est une étape dans l'hydromorphologie du cours d'eau. Lorsque les embâcles cèdent, ou lorsqu'ils sont retirés, le cours d'eau retrouve du matériel à éroder et à transporter. L'hydro-morphogenèse de son lit recommence. Les érosions provoquées par l'arrachage de la souche offrent un espace de divagation supplémentaire, et les atterrissements situés en amont des barrages vont être repris puis redéposés par le cours d'eau. L'inconvénient dans les peuplements spontanés issus d'une déprise ayant débuté au même moment et sur un même territoire, est qu'ils ont le même âge et donc que chaque espèce arrive à sa fin de vie en même temps. Ceci peut parfois entraîner une formation d'embâcles assez conséquente pour que ceux-ci deviennent de véritables barrages qui stoppent les migrations écologiques en plus de modifier les transports sédimentaires. Sous latitude tempérée et en moyenne montagne, les essences arborées colonisatrices sont souvent le saule ayant un caractère pionnier, l'aulne et le frêne. La gestion des ripisylves devra garantir les fonctionnalités des boisements humides, aussi bien hydrologiques que de filtrage sédimentaire. Elle devra aussi garantir le potentiel de débordement du cours d'eau à l'intérieur de l'aulnaie mais aussi son rôle thermique grâce à l'ombrage qu'apportent les arbres. Pour ce faire, des embâcles de bois morts seront conservés car ils peuvent être mobiles et constituent des points durs hydromorphologiques et des habitats pour la faune aquacole. Seront éliminés les arbres obstruant les écoulements par leurs systèmes racinaires.

Figure 260 : Synthèse ; un ruisseau fonctionnel, puis une déprise engendrant la création de barrage-embâcles et les travaux de restauration



Avant d'intervenir il est alors nécessaire d'évaluer le volume de sédiments et les contraintes causées en termes de continuité écologique. Si le seuil racine n'est pas gênant, il sera conservé, s'il est très développé, il sera retiré. La gestion des embâcles est très délicate, car ceux-ci peuvent sur les cours d'eau assez grands (R3) présenter de véritables atouts en termes d'habitat piscicole. Il faut alors trouver un juste équilibre entre la libre circulation de l'eau et des sédiments et la présence d'habitats piscicoles en vue d'une valorisation halieutique. Les embâcles constituent des habitats pour les espèces aquatiques, en effet, elles sont des caches potentielles pour les poissons, et des supports pour les macroinvertébrés. Dans les tronçons de cours d'eau très pentus, elles constituent des retenues pour les sédiments et notamment les graviers indispensables constituant des zones de frayères à truite. Dans les régions qui sont soumises à une forte progression des boisements de déprises, leur densité au mètre linéaire peut être assez importante pour limiter la dévalaison des sédiments fins, et ainsi favoriser l'ensablement et l'envasement de certains tronçons de cours d'eau.

Ce type de travaux va surtout s'appliquer au cours d'eau de moyenne montagne affecté par la déprise agricole des fonds de vallée ayant une pente supérieure à 1%.

L'enlèvement d'embâcles se fera de préférence d'amont vers l'aval afin de faciliter le déstockage et le transport de sédiments fins. Cette action se déroulera de mai à septembre afin de ne pas nuire à la reproduction des salmonidés : ombres communs et truites.

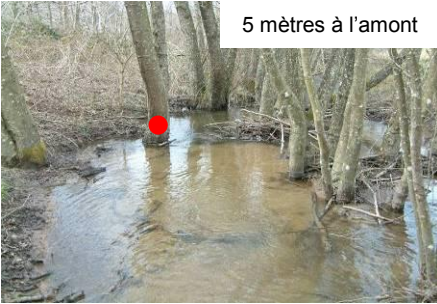
Les embâcles ne gênant que partiellement l'écoulement et ne formant pas de barrages nets à la migration des poissons et des sédiments seront laissés. Sur les secteurs où ils sont très nombreux, ils sont retirés à raison de 1 sur 2 ou 1 sur 3 en fonction de leur densité.

L'action consiste finalement en un rajeunissement, de sa granulométrie en permettant au cours d'eau de remanier le fond de son lit. Un tronçon ensablé redeviendra caillouteux et graveleux si sa pente le permet. **La réversibilité hydromorphologique peut être rapide comme sur le ruisseau de la Prairie après l'enlèvement d'un embâcle. Le « rajeunissement hydromorphologique » jusqu'à 30 mètres à l'amont de l'embâcle retiré est extrêmement rapide : environ 1 an.**

Le seuil



5 mètres à l'amont



10 mètres à l'amont



25 mètres à l'amont



Travaux réalisés par l'AAPPMA
La Gaule de Châteauneuf

Parfois, la faible pente fait que le tronçon est une zone de stockage sédimentaire « naturelle ». Dans ce cas, les habitats et les points durs créant des rétrécissements de section permettant la présence d'un courant accéléré, décolmatant et créateur de fosses sont des végétaux aquatiques se nourrissant des éléments organiques fins mêlés aux sables. Le facteur prépondérant permettant la pousse de ces végétaux est la lumière. Si celle-ci est insuffisante, les végétaux ne peuvent faire leur photosynthèse et disparaissent. Dans ce cas, il est nécessaire d'effectuer des ouvertures dans la ripisylve afin de permettre des passages de lumière. Les végétaux en poussant sur les hauts fonds sableux vont peu à peu créer des fixations et des micros seuils générant des accélérations. Nous avons vu que les peuplements du même âge sont fréquents dans le cas de boisements spontanés. Si leur âge permet une couverture quasi-totale, mais n'est pas assez avancé pour fournir des débris ligneux grossiers, les atterrissements et les réductions de section peuvent être directement installés à l'aide des troncs d'arbre issus du dépressage. L'effet de réduction de section et les végétaux aquatiques participeront à la diversification des écoulements en créant des accélérations sur des secteurs majoritairement lentiques.

Photographie 54 : Dépressage en ripisylve réalisé par le chantier d'insertion « Monts et Barrages Environnement », Syndicat mixte Monts et Barrages (SMMB), 2011



En période de hautes eaux, se forme une accélération de l'écoulement en rive droite creusant une fosse et dégageant la sous-berge. En rive gauche, les courants de retour provoqués par l'obstacle favorisent les dépôts de sédiments. Le coût de ce type de travaux est évalué à 4 euros du mètre linéaire.

Photographie 55 : Dépressage en ripisylve et pose d'un déflecteur rustique réalisés par le chantier d'insertion « Monts et Barrages Environnement », SMMB, 2011



6.2.2.Optimisation des fonctionnalités hydroécologiques des zones humides en contexte de déprise

En région de tête de bassin affectée par la déprise agricole des fonds de vallée, l'abandon des zones humides et leur reconversion sylvicole, les milieux ouverts évoluent naturellement vers le boisement. Cette évolution naturelle vers un climax ne devrait dès lors pas être néfaste pour leur hydro-écologie. Cependant, si certaines zones des bassins versants sont délaissées, d'autres sont intensifiées. Il réside alors un déséquilibre entre la consommation d'eau par les ligneux en forêt de production sur les versants par exemple et l'eau disponible pour les zones humides et les ruisseaux issus du ruissellement sur les versants. Le déséquilibre est également physicochimique car l'oligotrophie est une caractéristique des zones humides et des cours d'eau d'une grande partie du Limousin mais l'enrichissement des terres pour les cultures et le passage d'un état ouvert à un état boisé participent à l'enrichissement des eaux. L'oligotrophie est pourtant une garantie pour une bonne qualité de l'eau. Plus une eau est oligotrophe, moins elle contient de matières azotées susceptibles de créer des pollutions en nitrates et nitrites, et plus le phénomène d'eutrophisation est limité par les faibles teneurs en phosphore organique et minéral. Dans le monde des gestionnaires écologues, il réside alors parfois une divergence de points de vue entre les gestionnaires désirant que les milieux naturels conservés ne connaissent aucune intervention humaine et ceux qui décident de ne pas laisser ces déséquilibres s'accroître en gérant des milieux anthropogènes à haute valeur environnementale. Certes, certains milieux doivent rester sans intervention comme les boisements de feuillus de pente ou les grandes forêts alluviales, mais il ne serait pas raisonnable de laisser la « nature » livrée à elle-même dans un fin corridor autour des cours d'eau en pensant qu'elle pourra épurer seule les résidus de l'intensification de tout le reste du bassin versant. De toute façon, dans des espaces de tête de bassin spécialisés, laisser des zones sans intervention en pensant qu'elles seraient de ce fait « naturelles » est une idée fautive, pour des raisons purement spatiales, la proportion des espaces anthropogènes sur la totalité d'un bassin versant affectera inévitablement la naturalité souhaitée sur les espaces livrés à eux-mêmes. Après plus de un demi-siècle d'intensification de l'agriculture et de développement de la sylviculture de production, exclure l'homme de la préservation de la biodiversité alors qu'il est le seul responsable de son « érosion » serait une grave erreur. Il faut également garder à l'esprit que si les structures expertes en écologie restent passives, d'autres mandatées pour accroître la productivité des têtes de bassin ne le sont pas, il est donc capital d'inciter à la gestion raisonnée, de gérer directement et par sous-traitance à des entreprises intégrées au tissu économique local pour rester présent et crédible dans ce rapport de forces qui reste cependant courtois et de « bonne guerre », dans la recherche de compromis.

En Limousin, le Conservatoire Régional des Espaces Naturels est le principal animateur du réseau Natura 2000. Il gère par maîtrise d'usage ou foncière 840 Ha de zones humides, et en gère en concertation plus de 400 Ha.

Au préalable de la gestion, il est souvent nécessaire de restaurer les milieux humides avant de les rendre pâturables par des éleveurs locaux. Les principaux travaux sont du bûcheronnage et des poses de clôture fixes ou électriques mobiles.

D'autres gestionnaires n'associent pas forcément la gestion des zones humides au pâturage et limitent alors l'extension des ligneux en les débroussaillant à 1 mètre à 1 mètre 50 du sol, ce qui aurait pour effet de les épuiser considérablement et d'empêcher leur reproduction. Les principales conséquences de l'abandon des prairies oligotrophes et tourbières sont la prolifération de la molinie dans un premier temps puis l'installation de ligneux, surtout des bouleaux et des saules. La molinie a pour stratégie de vite dominer les autres espèces herbacées et rampantes, et ainsi d'intercepter toute la lumière, empêchant les autres espèces de se développer. Elle s'élève en « touradon », l'eau par capillarité les imbibe, il en résulte un certain assèchement de la zone humide. Les ligneux comme les saules et bouleaux sont des gros consommateurs d'eau, leur forte densité engendrera l'accentuation de l'assèchement. Les broyages de restauration, le bûcheronnage et l'exportation des ligneux sont les actions majoritaires, elles sont toujours

Photographies 56 a, b, c, d : Clôture fixes et mobiles, broyage de restauration bûcheronnage et débardage léger, CREN Limousin



programmées selon un plan de gestion qui a des objectifs hydro-écologiques à court, moyen et long termes.

Tableau 43 : Coûts de restauration des zones humides en contexte de déprise

Type de restauration	Coût de restauration € TTC ramené au ml et 20 m ² de zone humide associée	Détail du coût	Sources	Application	Probabilité géographique
Bûcheronnage et remise en état pour le pâturage des zones humides de tête de bassin	3,50	Expériences CREN Limousin moyenne de 1750 euros par ha de zone humide restaurée	CREN LIMOUSIN	Ruisseau de tête de bassin en moyenne montagne et contexte de déprise	Tête de bassin de moyenne montagne en contexte de déprise

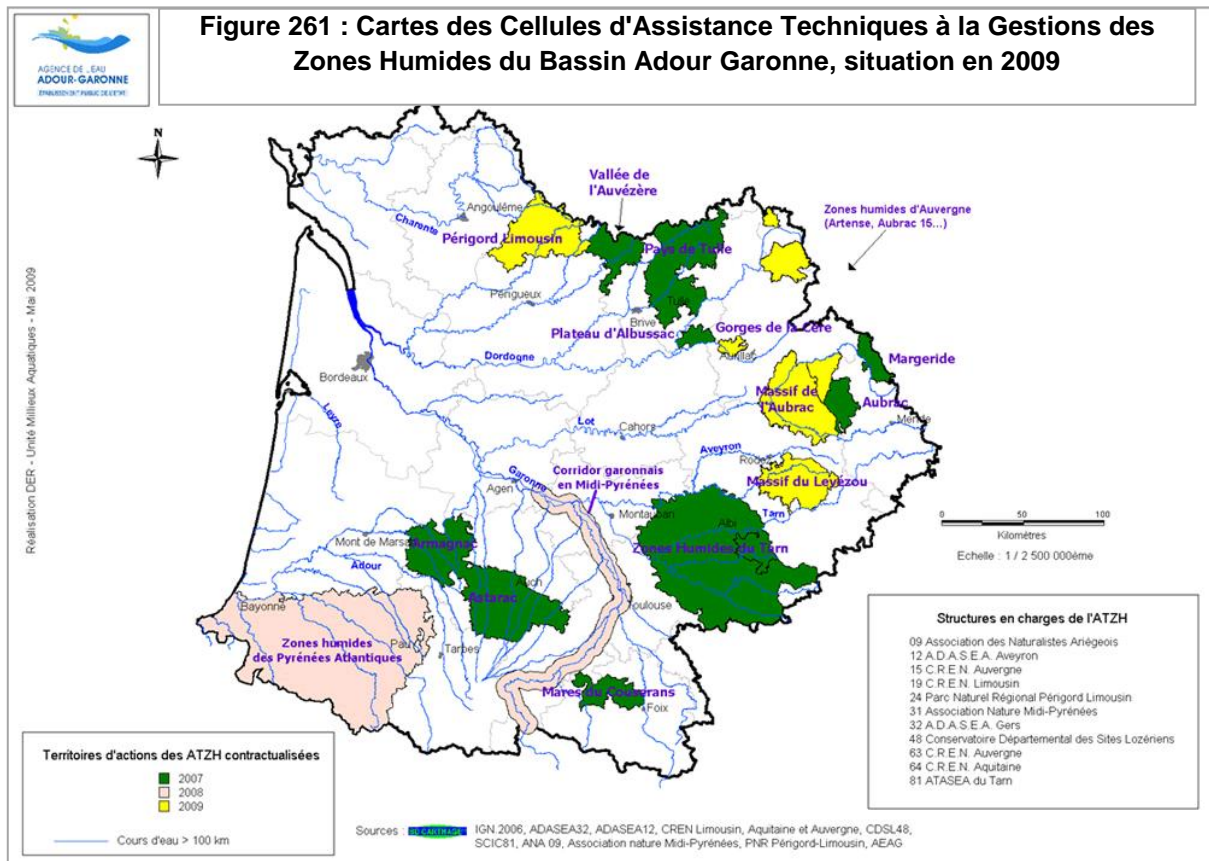
6.2.3. Réintégration maîtrisée des zones humides dans le tissu économique local, gestion conservatoire et assistance technique à la gestion

S'il est dans l'air du temps de parler de développement et de gestion durable, un paramètre fondamental est l'appropriation des milieux restaurés par les populations locales, afin qu'ils y trouvent un intérêt aussi bien paysager qu'écologique et économique. En effet, si la préservation des milieux naturels rend service aux populations en leur permettant d'avoir à disposition des zones pâturables supplémentaires à leur exploitation, la durabilité de la gestion et la pérennité des euros investies sont assurées. Le caractère rustique de la race bovine limousine s'en trouve également conservé. Bien heureusement il existe encore des troupeaux ne dénigrant pas complètement la flore des zones humides du fait d'une accoutumance à des aliments et à une flore à l'appétence optimisée et plus riche.

Photographie 57 : Effet du pâturage ovin sur l'abaissement des touradons de Molinie, et vache appréciant les carex CREN Limousin



L'assistance à la gestion des zones humides permet en plus de la gestion intégrale conservatoire d'inciter à la gestion raisonnée des milieux humides et de leur redonner un intérêt économique et pas uniquement de contrainte ou de charge d'entretien. Les Cellules d'Assistance Technique à la Gestion des Zones Humides (CATZH) sont issues d'un outil d'animation créé et financé par l'Agence de l'eau Adour Garonne avec l'aide des collectivités locales. L'animation est alors confiée aux experts en gestion de zones humides d'une région donnée. On remarquera sur la carte des territoires des CATZH qu'il s'agit d'un outil d'animation surtout centré sur des régions de têtes de bassin mais pas uniquement. En ce qui concerne le territoire d'intervention du CREN Limousin, celui-



ci couvre une grande partie de la Corrèze et s'étend depuis la mise en place de ce dispositif. Le principe repose sur la gestion concertée des zones humides pour diverses catégories de gestionnaires : collectivités, particuliers, agriculteurs, forestiers, organismes d'État. Les adhérents à la cellule s'engage à conserver le caractère humide de leurs zones en contre partie, la structure animatrice s'engage à leur apporter des conseils autant que de besoin, à réaliser un diagnostic écologique et un plan de gestion simplifié tenant compte de la pérennité des activités économiques se trouvant sur la zone. Il faut souligner cet outil novateur qui repose sur de petites modifications de pratiques d'usage et des petits aménagements souvent rustiques et à moindre frais. Ce même outil permet également un impact bénéfique sur l'état hydro-écologique des zones humides en sensibilisant, en expliquant les intérêts individuels et publics de ces milieux sans inciter financièrement.

Il existe des moyens d'inciter financièrement via des mesures agro-environnementales, ou d'autres liés à des financements particuliers dans le cadre de programmes d'actions de collectivités locales aidés des agences de l'eau, mais l'animation reste un pilier essentiel de la réussite de ces outils financiers. Les outils d'assistance technique à la gestion des zones humides sont donc des outils complémentaires aux outils financiers.

Avec la mise en place du programme « Sources en action » sur le bassin amont de la Vienne, le CREN Limousin étend cette action par le Réseau de Gestion Concertée à la Gestion des Zones Humides.

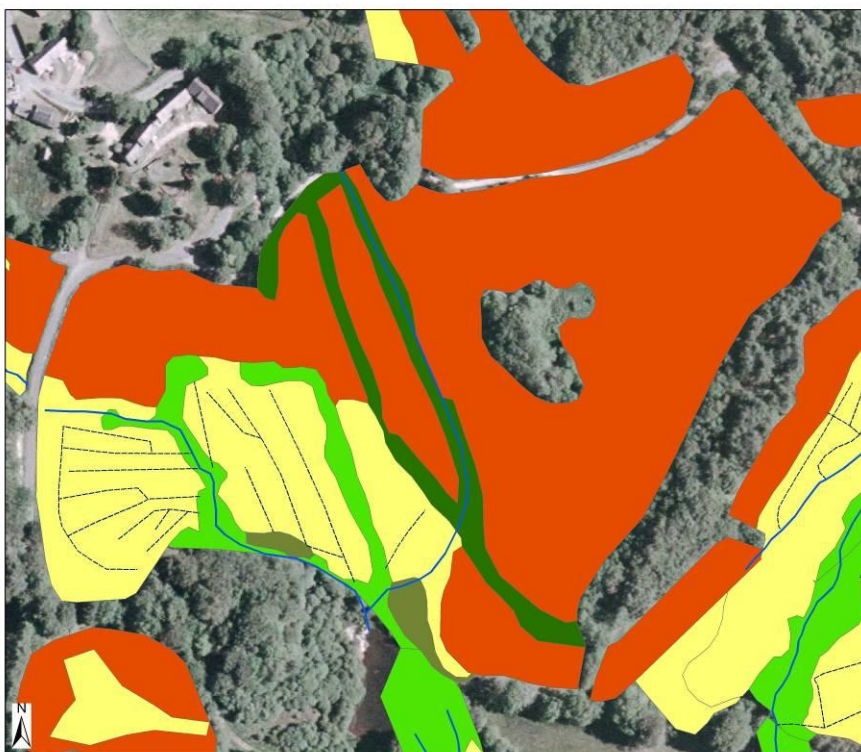
Les illustrations suivantes sont des extraits de diagnostic et de plan de gestion. Il s'agit de cartes des habitats simplifiés sur un îlot en adhésion, ainsi que d'un calendrier de rigolage avec cartographie précise des rigoles. Certes, cette planification est très précise et n'est pas toujours respectée à la lettre, mais, ce qui est important, c'est que l'adhérent comprenne qu'il n'est pas nécessaire de refaire la totalité des rigoles tous les ans, il est préférable de les décaler dans le temps, ce qui permet des zones de refuge non modifiées qui changent d'une année sur l'autre et constituent des foyers de recolonisation des rigoles refaites.

Figure 262 : Série de cartes et plan de rigolage fournis à une agricultrice dans le cadre de l'Assistance Technique à la Gestion des Zones Humides du CREN Limousin



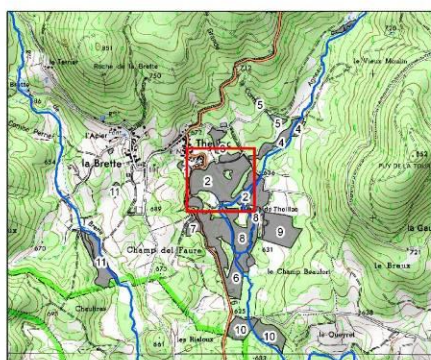
Habitats naturels simplifiés CATZH : Ilot 2

- Ruisseaux
 - Rigoles
- Habitats simplifiés**
- Eau douce
 - Végétation bord des eaux
 - Bas-marais
 - Tourbière
 - Boisement humide
 - Boisement sec
 - Friche
 - Habitation
 - Lande humide
 - Lande sèche
 - Mégaphorbiaie
 - Pelouse
 - Prairie humide
 - Prairie mésophile



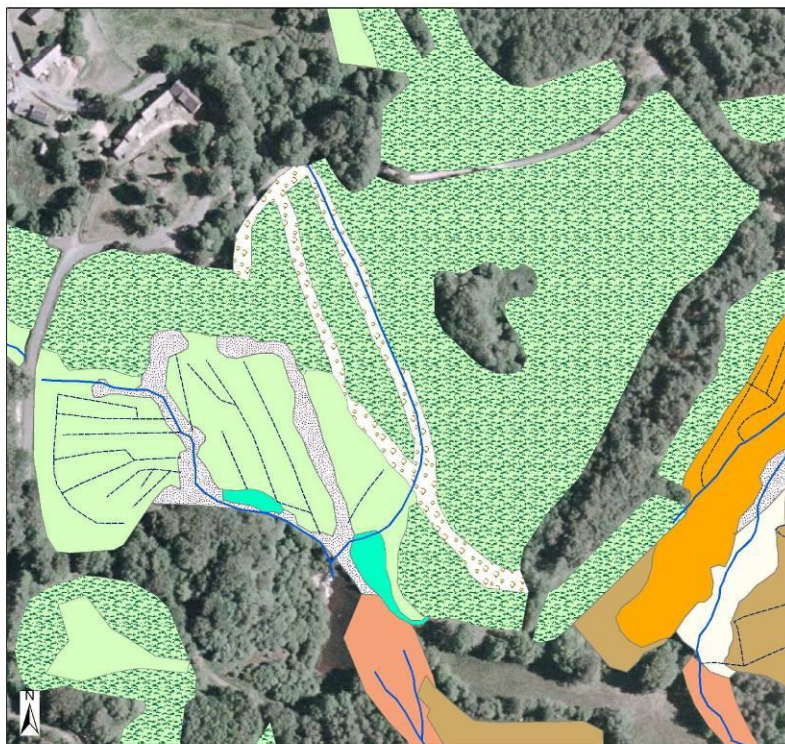
0 62.5 125 Mètres

Sources : N°LE-BDortho-CG19-013 2004, N°LE-BDScan25-CG19-013
Réalisation : Cren Limousin - Septembre 2010



Habitats naturels CATZH : Ilot 2

- Ruisseaux
 - Rigoles
- Habitats**
- 31.96 : Landes à Fougères
 - 35.1 : Gazon atlantique à Nard raide et groupements apparentés
 - 37.1 : Communautés à Reine des prés et communautés associées
 - 37.21 : Prairies humides atlantiques et subatlantiques
 - 37.241 : Pâturés à grand jonc
 - 37.241/37.312 : Pâturés à grand jonc/Prairies acides à Molinie
 - 37.312 : Prairies acides à Molinie
 - 37.312/37.21 : Prairies acides à Molinie/Prairies humides atlantiques et subatlantiques
 - 37.312/37.32 : Prairies acides à Molinie/Prairies à Jonc rude et pelouse humide à Nard
 - 37.312/42.522 : Prairies acides à Molinie/Forêts hercyniennes de Pins sylvestres
 - 37.312/51.141 : Prairies acides à Molinie/Tourbières à Narthecium
 - 37.32 : Prairies à Jonc rude et pelouse humide à Nard
 - 37.32/51.11 : Prairies à Jonc rude et pelouse humide à Nard/Buttes, bouquets et pelouses tourbeuses
 - 38.1 : Prairies mésophiles
 - 41.12 : Hérisse atlantiques acicéphales
 - 41.5 : Chénisies acicéphales
 - 41.811 : Bois de Bouleaux humides
 - 42.522 : Forêts hercyniennes de Pins sylvestres
 - 44 : Forêts riveraines, Forêts et fourrés très humides
 - 44.3 : Forêt de Frênes et d'Aulnes des fleuves médio-européens
 - 51.114 : Communautés de tourbières bombées à Trichophorum cespitosum
 - 51.141 : Tourbières à Narthecium
 - 54.8 : Communautés à Rhychospora alba
 - 83.31 : Plantations de coiffiers
 - 84.2 : Bordures de haies



0 55 110 Mètres










Sources : N°LE-BDortho-CG19-013 2004, N°LE-BDScan25-CG19-013
Réalisation : Cren Limousin - Septembre 2010

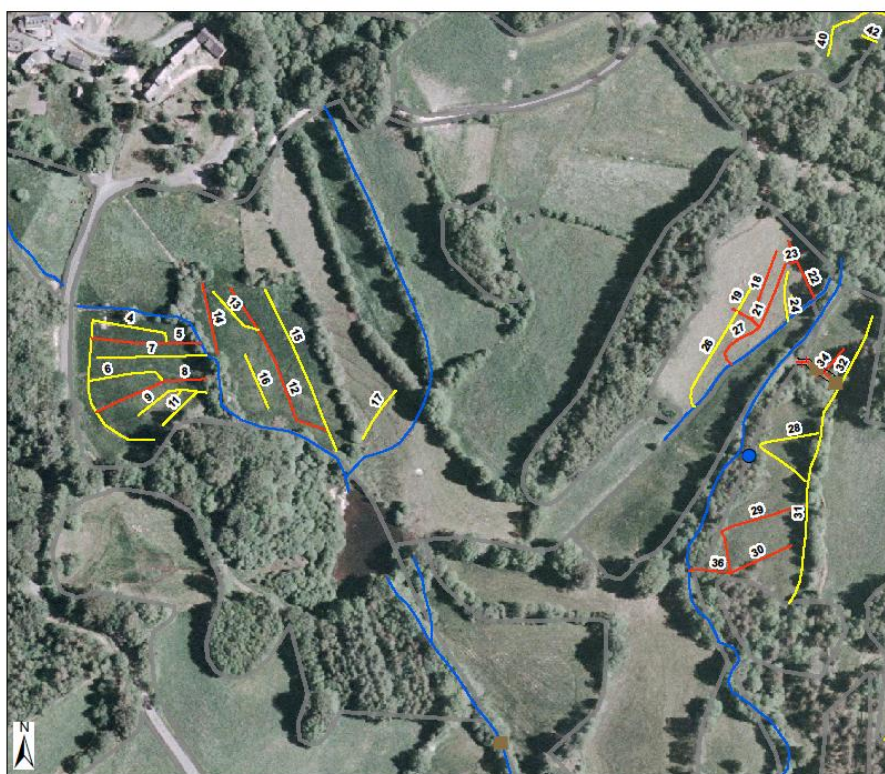


îlot CAT	Rigoles concernées	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	1 à 3		1, 2, 3		1, 2, 3		
2	4 à 27		5, 8, 12, 14, 18, 20, 21, 22, 23, 27		4, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 19, 26, 24, 25	5, 8, 12, 14, 18, 20, 21, 22, 23, 27	
4	37 à 58		37, 39, 43, 44, 45, 47, 50, 52, 56, 58		38, 40, 41, 42, 46, 47, 48, 49, 51, 53, 54, 55, 57	37, 39, 43, 44, 45, 47, 50, 52, 56, 58	
6	71 à 76		60, 64, 65, 75, 76		59, 61, 62, 63, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74	60, 64, 65, 75, 76	
8	28 à 36		29, 30, 33, 34, 34, 36		28, 31, 32	29, 30, 33, 34, 34, 36, 60, 64, 65	
9	77 à 81		79		78, 80, 81	79	
10	82 à 86		83, 86		82, 85	83, 86	
11	87 à 97		89, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 97		87, 88, 94	89, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 97	



CAZH : Travaux préconisés sur l'îlot 2

-  Ruisseaux
-  Ilot CATZH
- Travaux préconisés**
-  abreuvoir
-  passage à gué aménagé
-  passerelle
-  clôture
- Entretien des rigoles**
- année d'entretien**
-  2012
-  2014
-  pas d'entretien



0 12,525
Mètres

Sources : N°LE-BDortho-CG19-013 2004, N°LE-BDScan25-CG19-013
Réalisation : Cren Limousin - Septembre 2010



6.3. Les renaturations, reconnections écologiques et hydrologiques et optimisations de la productivité biologique

6.3.1. Renaturation suite à plantation d'espaces riverains des cours d'eau puis abandon

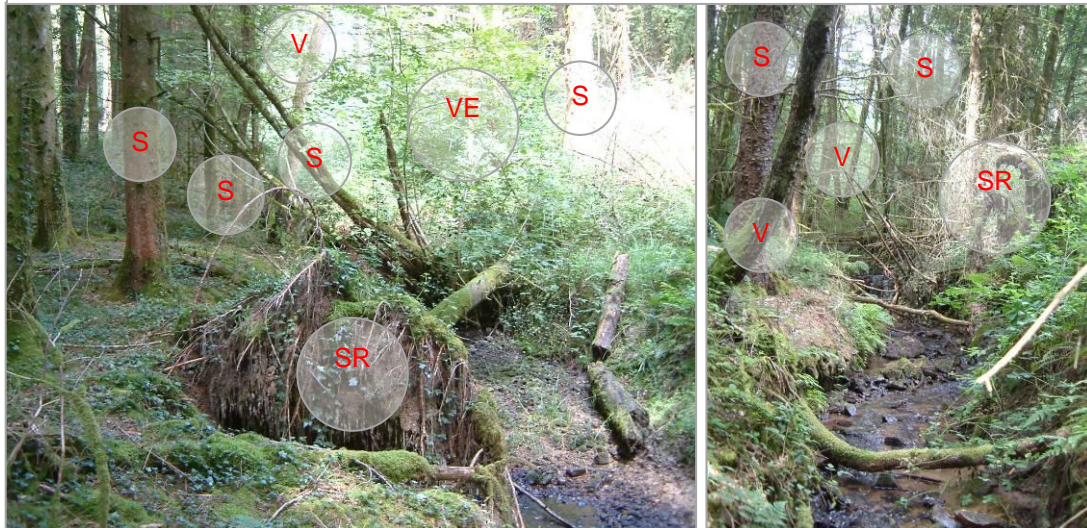
La renaturation de la ripisylve est certainement une des actions à mener typiquement en tête de bassin. En effet, en voulant redonner un intérêt économique à des zones abandonnées par l'agriculture, certains propriétaires ont planté des parcelles riveraines et des zones humides. Aujourd'hui, les peuplements sont mûres ou à éclaircir, mais les techniques forestières les plus courantes ne sont pas adaptées, ou les contraintes économiques imposées ne permettent souvent pas aux entreprises de prendre suffisamment de temps pour ne pas dégrader le ruisseau et les sols. Les travaux d'éclaircie ou de coupe sont risqués, et demandent un surcoût d'exploitation, pour ces deux raisons, il n'est souvent pas suffisamment rentable pour un propriétaire d'exploiter ces parcelles, la valeur des bois (s'il s'agit d'épicéa de Sitka : espèce la plus plantée en zone humide) étant de surcroît plus faibles qu'ailleurs, pour des raisons sanitaires, et de non entretien du peuplement. Si l'on met en lien le risque d'exploitation dans ces zones, avec le risque de dégradation du cours d'eau et d'amende au titre de la loi sur l'eau, la résignation et l'abandon sont renforcés.

La présence d'un peuplement monospécifique de résineux entraîne également une diminution de la biodiversité des végétaux habituels composant la ripisylve en zone tempérée. C'est la densification des peuplements durant leur croissance qui participe à une fermeture du milieu vis-à-vis de la lumière et des autres espèces. Il n'est pas rare de rencontrer des aulnes dépérissants dans des peuplements de résineux. Ces changements morphologiques ont également des répercussions sur les habitats de l'ichtyofaune, des valeurs plus faibles de densité de truites ont été mesurées sur des cours d'eau bordés de résineux en comparaison avec d'autres tronçons. Nous rappelons alors l'étude de la DDAF des Vosges en 2007.

Cette situation conduit alors à des manques de lumière pour le ruisseau, une ripisylve adaptée inexistante de ce fait et surtout si les plantations sont très proches du ruisseau. Les systèmes racinaires inadaptés ont bien souvent entraîné des chutes d'arbre et des encoches d'érosion par l'arrachement des souches. Il est donc nécessaire de permettre le retour d'une ripisylve feuillue par dépressage et éclaircie.

Les embâcles créés par les arbres allochtones doivent être retirés, ainsi que les arbres dépérissants. Les souches seront si possible remises en place dans les encoches. Les arbres allochtones situés trop près du cours d'eau et menaçant de chuter seront abattus. Une attention toute particulière sera portée aux essences indigènes qui sont menacées d'étouffement en les préservant le plus possible pendant les travaux et ce pour n'importe quelle classe d'âge.

Figure 263 : Exemple d'actions à mener pour la régénération d'une ripisylve adaptée en contexte de sylviculture de production



SR : suppression de restauration des arbres déracinés et morts
 S1 : suppression des essences rivulaires dépérissantes
 S3 : suppression des essences allochtones sur une bande de 3 mètres de large pour chaque berge
 VE : valorisation par éclaircissement des essences rivulaires : effet de la suppression des arbres allochtones

Figure 264 : Synthèse ; un ruisseau fonctionnel, puis une dégradation par la poréance de résineux en berge et travaux de restauration

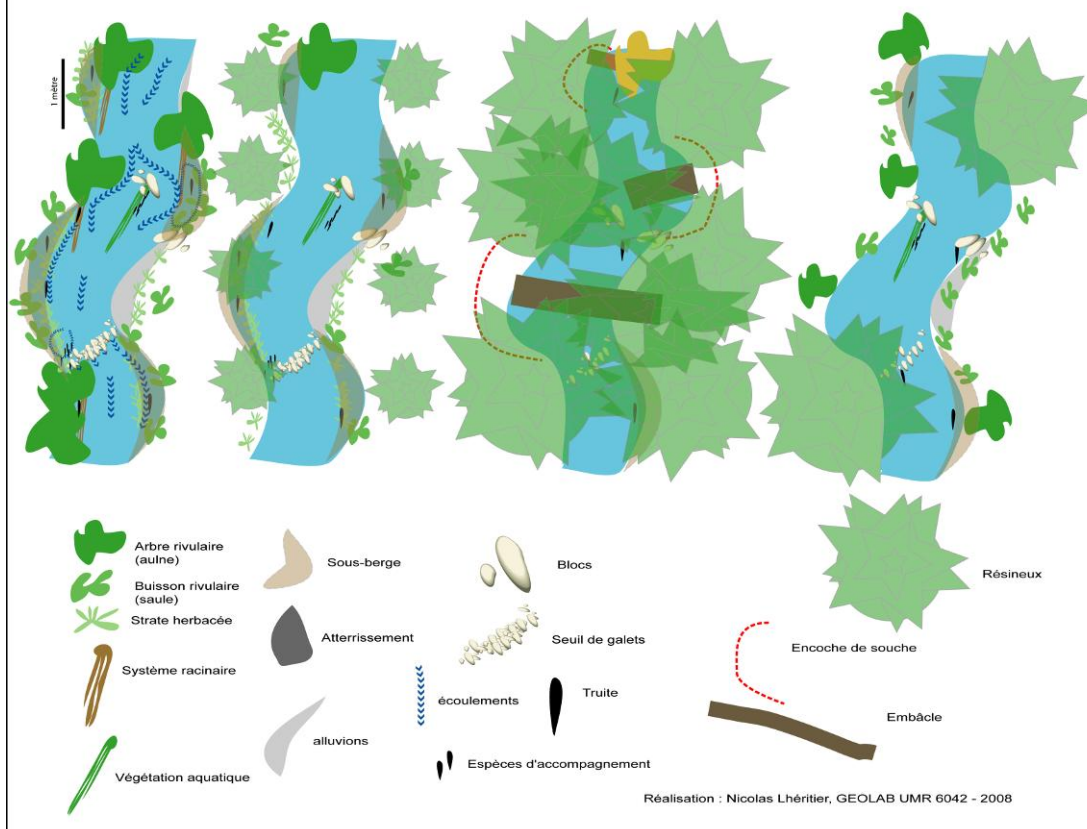


Tableau 44 : Coûts d'une reconversion de la ripisylve en contexte humide et de sylviculture de production

Type de restauration	Coût de restauration €ttc ramené au ml et 20 m ² de zone humide associée	Détail du coût	Sources	Application	Probabilité géographique
TBV FORET enlèvement des résineux en ripisylve coupe d'éclaircie en zone humide riveraine	137,50	Devis petite entreprise pour 10000 m sur la base que 1ml de ruisseau soit lié à 20 m ² de ZH	SYNDICAT MIXTE MONTS ET BARRAGES	Ruisseaux sous résineux sans ripisylve autochtone rangs 1 et 2	Têtes de bassin de moyenne montagne affectées par la déprise agricole avec restructuration foncière et groupements forestiers
TBV FORET enlèvement des résineux en ripisylve coupe d'éclaircie en zone humide riveraine	17,90	Devis forestier + câble mas : Coût du chantier Morvan pour 6 ha, 1377 m ³ à 39€ l'exploitation, sur la base que 1ml de ruisseau soit lié à 20 m ² de ZH	PNR MORVAN LIFE RUISSEAU	Ruisseaux sous résineux sans ripisylve autochtone rangs 1 et 3	Têtes de bassin de moyenne montagne affectées par la déprise agricole avec restructuration foncière et groupements forestiers
TBV FORET enlèvement des résineux en ripisylve coupe d'éclaircie en zone humide riveraine	18,00	Devis forestier + câble mas : Coût du chantier Morvan pour 1,4 ha, 1377 m ³ à 39€ l'exploitation, sur la base que 1ml de ruisseau soit lié à 20 m ² de Zh	N. LHERITIER ETUDE PEALABLE ET TRAVAUX EN COURS MONTS ET BARRAGES	Ruisseaux sous résineux sans ripisylve autochtone rangs 1 et 4	Têtes de bassin de moyenne montagne affectées par la déprise agricole avec restructuration foncière et groupements forestiers
Moyenne	57,80				

Parfois les travaux préparatoires aux plantations ont consisté à drainer les zones humides et recalibrer les cours d'eau pour les déconnecter hydrologiquement des zones humides et espérer ainsi un assèchement des terrains. Dans ce cas, il faudra en plus de la renaturation de la ripisylve restaurer hydromorphologiquement le cours d'eau et réaliser des travaux de reconnexion de la zone comme cela a pu se faire dans le Morvan dans le cadre du « LIFE ruisseau et faune patrimoniale associée ».

Figure 265 : Synthèse ; un ruisseau fonctionnel, puis une dégradation par plantation de résineux en berge et recalibrage, restauration

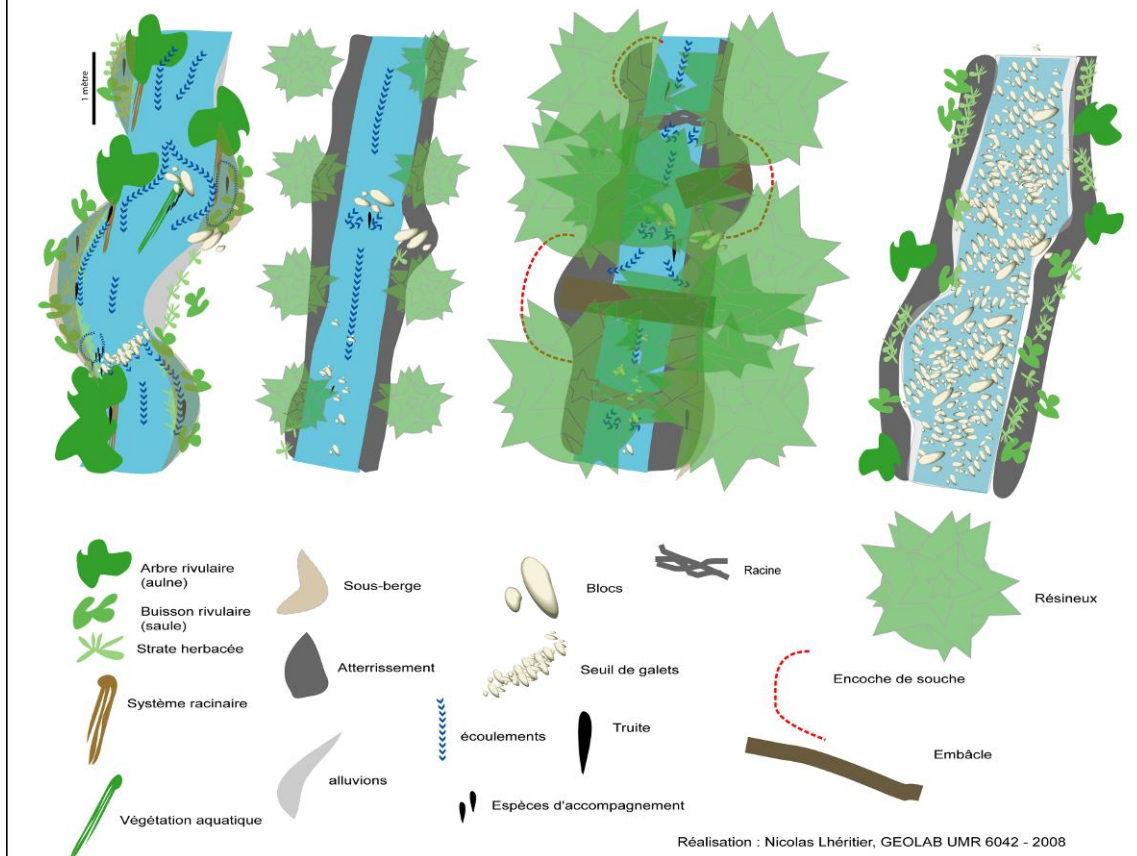


Tableau 45 : Coûts de reconnexion d'une zone hmide et d'un cours d'eau en contexte forestier

Type de restauration	Coût de restauration €ttc ramené au ml et 20 m ² de zones humides associés	Détail du coût	Sources	Application	Probabilité géographique
RECONNEXION DE RUISSEAU ET ZONE HUMIDE, par reméandrage et bouchon	21,00	Etude, Enquête publique, assistance maîtrise d'ouvrage, travaux	PNR MORVAN LIFE RUISSEAU	Ruisseaux recalibrés sous résineux sans ripisylve autochtone de rangs 1 et 2	Têtes de bassin de moyenne montagne affectées par la déprise agricole avec restructuration foncière et groupements forestiers, nécessitant d'importants travaux de préparation aux premières plantations, contexte humide

6.3.2. Renaturation en contexte de territoire agricole de plaine remembré

Ce type d'intervention repose sur le fait que la granulométrie grossière augmente la capacité d'accueil des cours d'eau, et que dans un contexte de tête de bassin où les ruisseaux ont une puissance spécifique faible, ils sont incapables de se restaurer seuls après un reprofilage ou un recalibrage. Ce type de cours d'eau se rencontre surtout en zones de cultures où le remembrement agricole a été très actif.

Photographies 58 : Situation avant, et après travaux de recharge en granulats, Bramard M., 2008

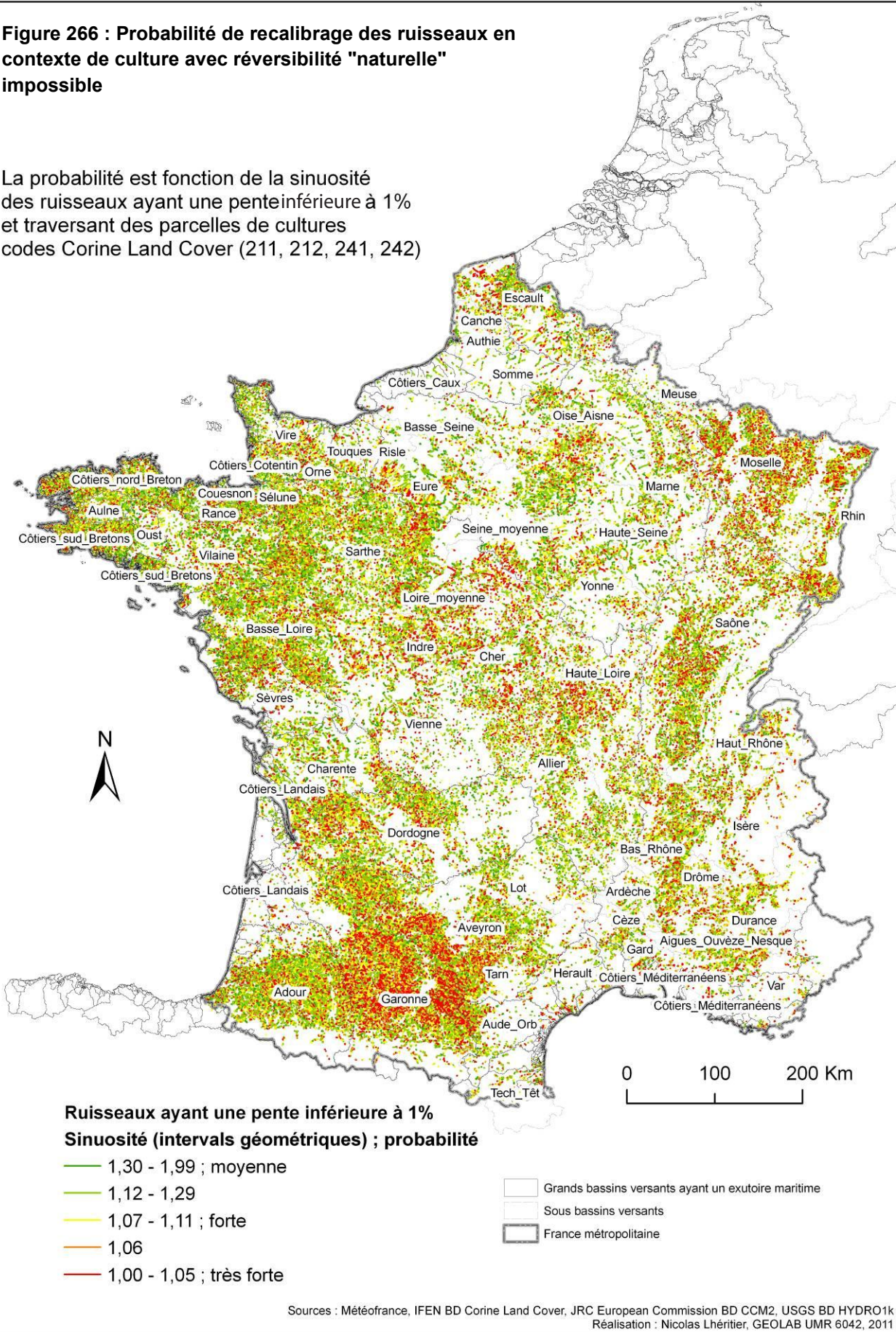


Si nous avons critiqué négativement la BD Carthage car elle ne représente pas tous les ruisseaux, elle est cependant assez fiable quant à la représentation du véritable tracé des cours d'eau. Un tronçon rectiligne ayant pu être recalibré est alors identifiable. L'analyse de la sinuosité des ruisseaux à faible pente en contexte agricole est dès lors possible. En règle générale, plus la pente d'un cours d'eau est faible, plus il est sinueux et inversement, les ruisseaux de plaine rectilignes vont donc présenter une sinuosité anormale.

Cela nous permet de réaliser une carte de la probabilité de recalibrage des ruisseaux, et de l'application de la renaturation des ruisseaux pas nécessairement par la recharge en granulats qui n'est pas et ne doit pas être la seule, surtout pour des ruisseaux de plaine ayant une référence hydromorphologique naturelle incomparable avec des ruisseaux pentus aux substrats uniquement minéraux.

Figure 266 : Probabilité de recalibrage des ruisseaux en contexte de culture avec réversibilité "naturelle" impossible

La probabilité est fonction de la sinuosité des ruisseaux ayant une pente inférieure à 1% et traversant des parcelles de cultures codes Corine Land Cover (211, 212, 241, 242)



Sur plusieurs stations où ce genre d'actions a eu lieu, un gain écologique est constaté avec le retour d'espèces de ruisseau de plaine comme le chabot. Le gain écologique en plus d'être l'augmentation de la capacité d'accueil et le retour des poissons est également thermique. Le reméandrage, ainsi que la constitution d'une armure permettent des échanges hydrologiques avec la zone hyporhéique recréée. Le suivi thermique de l'écoulement hyporhéique et du chenal montre un rafraîchissement des eaux du chenal en période estivale du fait des échanges avec l'écoulement hyporhéique, et inversement en hiver, et cela sans changement de la ripisylve. C'est ce qui est constaté en milieu « naturel ». Jusqu'à présent, ce type de travaux a surtout eut lieu dans le centre ouest de la France sur l'aval du bassin de la Vienne et de l'Indre, par des syndicats de rivières avec le soutien technique de l'ONEMA, et notamment de Michel Bramard.

Tableau 46 : Coûts de la restauration par recharge en granulats et renaturation en contexte agricole de plaine remembrée, Bramard M.

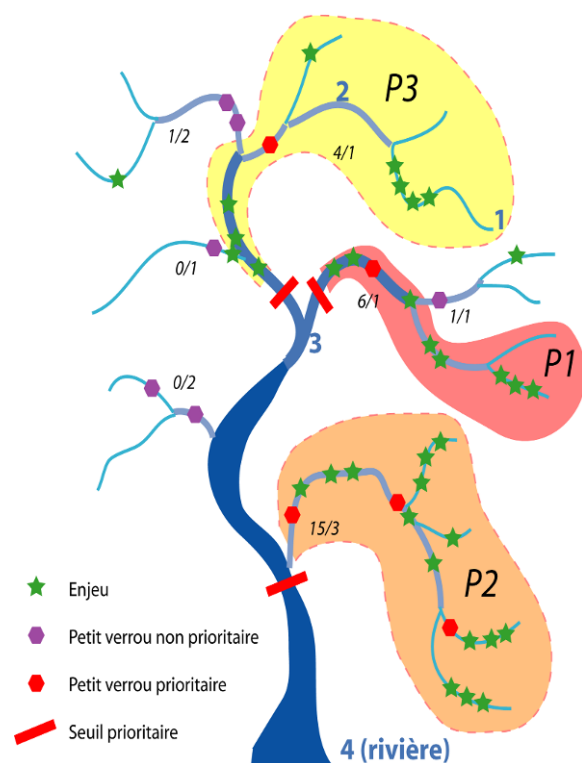
Type de restauration	Coût de restauration €ttc ramené au ml et 20 m ² de zone humide associée	Détail du coût	Sources	Application	Probabilité géographique
RUISSEAU PLAINES RECALIBRE Recharge en granulométrie	50,00	Actions ONEMA Syndicats de rivière	M. BRAMARD	Ruisseau de plaine dynamique rangs 1, 2 et 3	Têtes de bassin des bas reliefs et des plaines où le remembrement a été très actif
RUISSEAU PLAINES RECALIBRE Reméandrage, retalutage, génie végétal	100,00	Actions ONEMA Syndicats de rivière	M. BRAMARD	Ruisseau de plaine plat de rang 3	Têtes de bassin des bas reliefs et des plaines où le remembrement a été très actif
Moyenne	75,00				

6.3.3.Reconnexion longitudinale des continuités écologique et hydrologique

Dans une optique de scénario optimal, le principe est de rétablir toutes les sortes de continuité aussi bien écologiques que sédimentaires. Il s'agit donc de détruire ou de remplacer des aménagements existants afin de garantir la libre circulation des sédiments et des plus petites espèces. Avec une densité de 1 obstacle au kilomètre en Limousin et dans le Morvan, la restauration de la continuité écologique en tête de bassin est une action qui doit être une priorité. Cependant, elle se fera forcément sur une durée très longue étant donné les innombrables aménagements à réaliser. La priorisation de cette action est alors primordiale pour reconnecter les tronçons aux enjeux les plus forts dans un premier temps. Les ouvrages situés sur l'aval des ruisseaux et proches des confluences rivière-ruisseaux (les rangs 3, 4 et 5) qui bloquent l'accès aux ruisseaux en tête de bassin sont stratégiques aussi bien vis-à-vis de la continuité écologique que sédimentaire.

En tête de bassin, les ouvrages qui bloquent l'accès aux rangs 1 et 2, tronçons à fort potentiel vis-à-vis de la reproduction de la truite commune, sont également prioritaires. Sur les petits ruisseaux, la sélection des ouvrages à aménager pour la continuité piscicole se fait en confrontant les enjeux et les dégradations de continuité. La fraction comprend en numérateur le nombre d'enjeux et en dénominateur le nombre de verrous. Plus le résultat est élevé, plus la priorité est forte (P3, P2, P1). Plusieurs scénarios peuvent donc être réalisés.

Figure 267 : Priorisation des restaurations de continuité écologiques et sédimentaires



Il existe quasiment autant de solutions de rétablissement de la continuité que de types d'ouvrage. Le choix et la conception des aménagements doivent se faire au cas par cas. Les remplacements d'ouvrages sous routes communales ou départementales se font généralement à l'aide de dalots (buses carrées) équipés de rugosités afin de garantir un écoulement permettant la migration. Les buses ayant un diamètre suffisant peuvent être équipées de barrettes pour augmenter la lame d'eau et réduire les vitesses d'écoulement à l'intérieur de l'ouvrage. Il existe des kits à adapter aux dimensions de la buse.

Coût par type d'aménagement

- dérivation d'une levade par création ou réfection d'une rigole : 500 euros
- arasement d'un petit seuil sur ruisseau : 500 euros
- remplacement d'un ouvrage sous une route : 15 000 à 20 000 euros
- remplacement d'un ouvrage sous un chemin rural : 3 000 à 6 000 euros
- création de pré-bassins aval d'une buse : 1000 à 3 000 euros

Photographie 59 : Aménagement et contournement d'obstacles à la migration piscicole, Life Ruisseaux de Tête de Bassin, 2008



Tableau 47 : Coûts de la restauration de la continuité piscicole en ruisseaux

Type de restauration	Coût de restauration €t/c ramené au ml et 20m ² de zone humide associée	Détail du coût	Sources	Application	Probabilité géographique
Aménagements arasements d'ouvrages autres que étang	10,71	Coût du Life Morvan en considérant 1 ouvrage tous les Km : 2 chemins, une route départementale, une route nationale	PNR MORVAN LIFE RUISSEAU	Ruisseau de tête de bassin de plaine et de moyenne montagne de rang 1, 2 et 3	Têtes de bassin des bas reliefs, plaines, moyenne montagne et montagne
Aménagements d'étangs arasements d'étangs abandonnés ou irrégularisables en tête de bassin	11,73	Coût du Life Morvan pour l'aménagement 1 moine et d'une remise en eau de dérivation et d'un effacement tous les 10 Km + salaire technicien 60 jours	PNR MORVAN LIFE RUISSEAU	Ruisseau de tête de bassin de plaine et de moyenne montagne de rang 1, 2 et 4	Têtes de bassin des bas reliefs, plaines, moyenne montagne et montagne

6.3.4. Optimisations des productions biologiques par extension du réseau hydrographique et des habitats d'espèces

En préférant les drains enterrés en profondeur plutôt que les rigoles à ciel ouvert en surface, il résulte une réduction du réseau hydrographique et la disparition d'habitats d'espèces inféodées aux très petits écoulements comme les rigoles. Parmi ces espèces, l'Agrion de Mercure est une odonate appréciant les petits écoulements bien ensoleillés.

Photographies 61 : Agrion de Mercure, Société Limousine d'Odonatologie



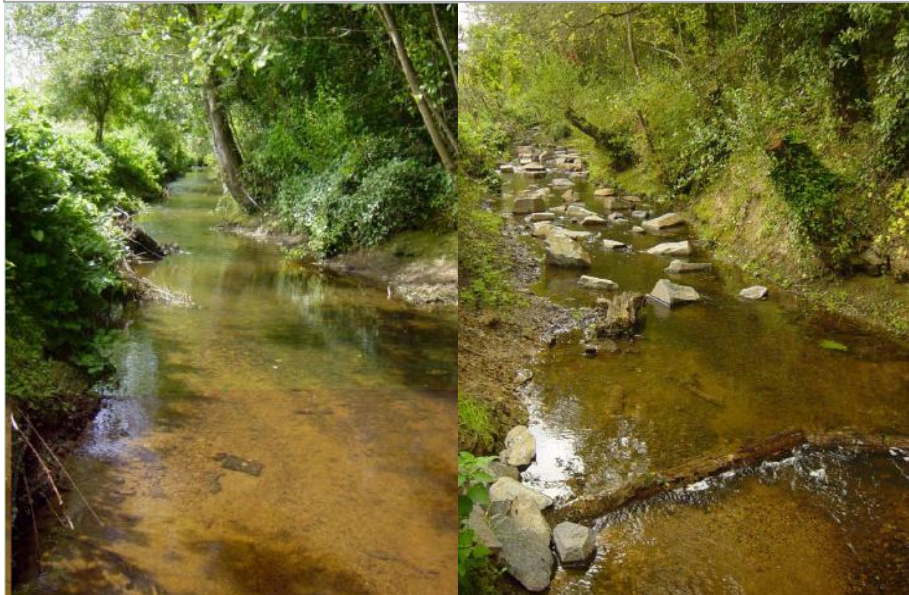
La restauration manuelle des rigoles par les bénévoles de la Société Limousine d'Odonatologie un matin de février 2011 sur la commune de Saint Laurent sur Gorre, fut très laborieuse et permet de mieux comprendre pourquoi ces travaux sont aujourd'hui mécanisés. Ici réalisée dans le but de restaurer l'habitat d'une espèce bien particulière, elle permettra également la propagation de bien d'autres espèces d'invertébrés aquatiques qui seront une ressource alimentaire pour l'ichtyofaune par leur dérive. Au temps où cette pratique était généralisée, le bénéfice de cette extension du réseau hydrographique augmentait la capacité biogénique des petits cours d'eau.

Photographies 60, a et b: Restauration de rigoles et mise en défens, Adalbert M., 2010



Beaucoup plus généralisées, car à des fins de production piscicole, l'optimisation et la multiplication des habitats de la truite commune pour différents stades de développement sont des actions menées par les fédérations et les associations pour la pêche et la protection des milieux aquatiques. Du fait

Photographie 63 : Optimisation des habitats pour la truite adulte, Catroux H, 2008



d'ensablement, d'extractions de matériel granulométrique parfois très anciennes, ou d'artificialisations de leur tracé, certains petits cours d'eau ont une capacité d'accueil de l'espèce réduite. Lors des Journées Nationales Techniques de Périgueux en octobre 2008 Catroux Hubert de la FDAAPPMA des Côte d'Armor présente des actions d'optimisation et de multiplication des habitats de truite commune pour les stades adulte, juvénile, et pour la reproduction. Ces aménagements ont eu des effets notoires sur les densités et la diversité des classes d'âge de l'espèce. Il s'agissait principalement d'aménagements visant à diversifier les écoulements pour favoriser le décolmatage hydraulique des frayères potentielles, et optimiser les habitats des juvéniles, à créer des habitats de

Photographie 62 : Diversifications d'écoulements pour l'optimisation de la reproduction de la truite commune, par épis, Catroux H, 2008



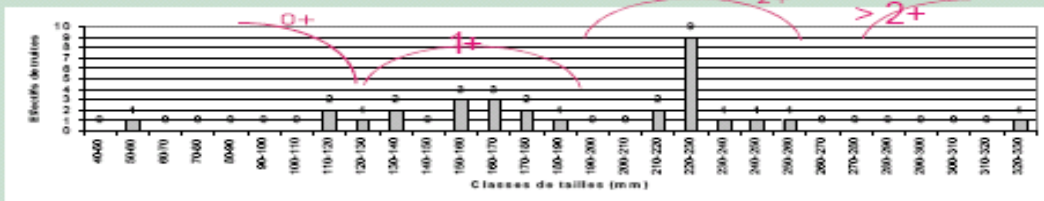
repos et de refuge à l'aide de blocs et de reconstitution de sous-berges.

Photographie 64 : Création de "sous berge", Catroux H, 2008

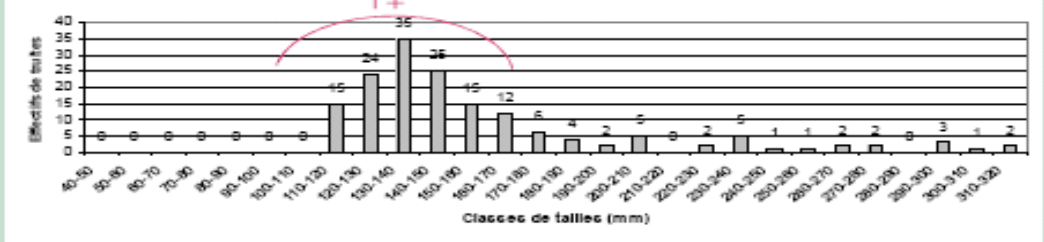


Figure 268 : Présentations des résultats en termes de densité et de structure des populations de truites après aménagement, Catroux H, 2008

Pêche électrique 2004 avant aménagement (31 truites)



Pêche électrique 2005 (160 truites)



Pêche électrique 2008 (96 truites)

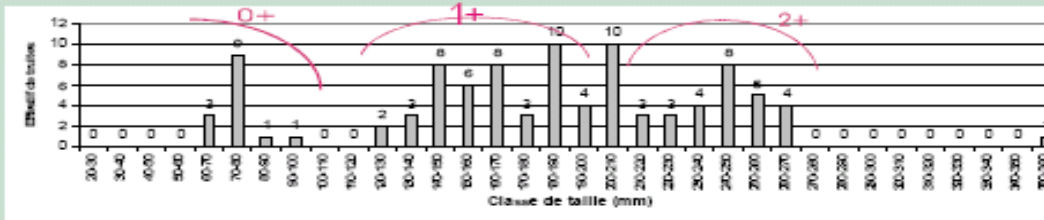


Tableau 48 : Coûts des travaux d'optimisation des habitats de la truite commune Catroux H., 2008

Bassin versant	Linéaire	Aménagements	Période	Coût
Arguenon	800 m	Mise en place de 320 blocs rocheux : 60 tonnes Création de seuils de surface: 2 Création de seuils de fond : 4 Rechargement de radiers existants : 2 Réalisation de sous-berges : 25 mètres Mise en place d'épis de rive : 50 Création d'abris en bois : 82	Juin-Juillet	5 600 €
Lié	700 m	Création de seuils de surface: 2 Mise en place de blocs rocheux : 28 tonnes Rechargement de radiers existants : 2 Réalisation de sous-berges : 100 mètres Mise en place d'épis de rive : 50 Création d'abris en bois : 20 Fascinage : 25 mètres	Juin-Septembre	8 500 €
Guébriand	600 m	Mise en place de blocs rocheux : 25 tonnes Disposition de troncs : 30 troncs Formation de risbermes : 6	Septembre	4 000 €
Daoulas	800 m	Mise en place de blocs rocheux : 100 tonnes Formation de risbermes : 200 tonnes Mise en place d'épis de rive : ~ 15 Création de seuils ouverts : ~ 5	Juillet-Août	4 500 €

La truite commune lorsqu'elle se reproduit a besoin de creuser des éléments de type graviers et cailloux fins (0,5 à 5 cm). Lorsque ces éléments là sont agglomérés suite au colmatage, il est très difficile pour la truite de creuser un nid, le phénomène d'infiltration de l'eau et d'oxygénation des œufs est alors limité.

Les gestionnaires halieutiques réalisent alors parfois des préparations des frayères potentielles par décolmatage mécanique selon plusieurs méthodes. Il s'agit d'une souffleuse type souffleuse à feuilles qui brasse les sédiments. Une fois les sédiments récoltés, ils sont tamisés. Les éléments les plus favorables au frai sont remis en place sans les particules fines. Cette action est menée juste avant la période de reproduction de la truite.

La méthode par simple scarification des gravières est utilisée sur des affluents de l'Escaut. Cette restauration s'est faite soit manuellement avec des râtaux métalliques, soit à l'aide d'une herse tractée par un cheval de trait. Le coût pour scarifier **600 m²** fut de **12 400 euros**. Les résultats obtenus à l'aide de la herse n'ont pas été évalués. La scarification manuelle semble être efficace puisque les

frayères sont fréquentées, le taux de survie embryon-larvaire peut y atteindre 97 % et les effectifs de juvéniles sont en augmentation.

Photographie 65 : Restauration de frayères à truite dans des affluents de l'Escault, Jourdan S., 2008

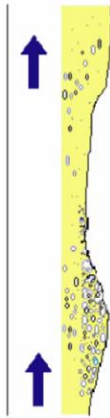


Méthode de restauration de frayère à truite fario de l'AAPPMA de Guéret

Cas d'une frayère colmatée et déstabilisée



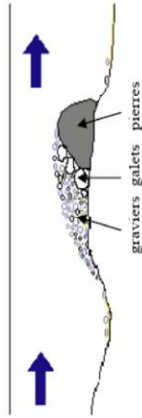
1. Frayère colmatée et déstabilisée.



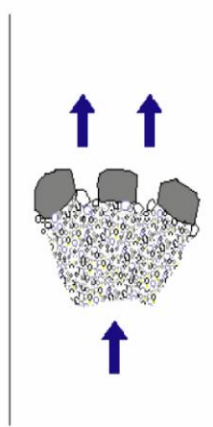
2. On nettoie l'emplacement de la future frayère avec la souffleuse et on tamise les graviers.



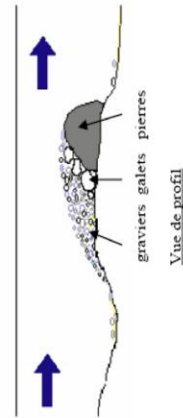
3. On met en place la nouvelle frayère en commençant par poser des pierres qui serviront d'appui à la frayère. Devant ces pierres, on dispose des galets, puis les graviers.



4. Les pierres servant d'assise à la frayère doivent être espacées pour laisser passer le courant et les débris et éviter ainsi la formation d'un embâcle.



Vue de dessus



Source : FMAAAPPMA Crause : "Méthode de restauration de frayère à truite à l'aide d'une souffleuse à moteur thermique"

Méthode de restauration de frayère à truite fario de l'AAPPMA de Guéret

Cas d'une frayère colmatée

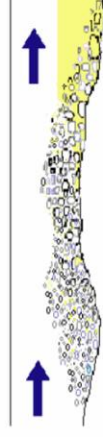
1. Frayère colmatée : l'eau ne percole plus entre les graviers.



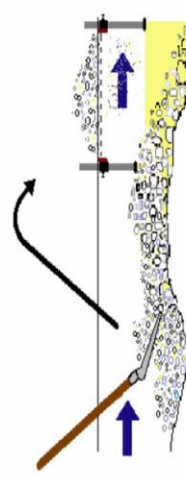
2. La souffleuse va permettre de décaisser le substrat.



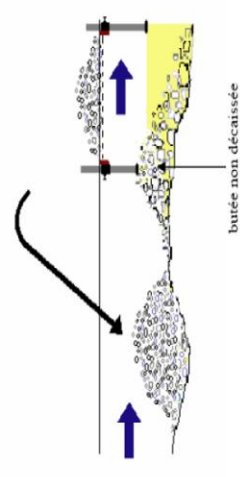
3. Frayère décaissée, il faut maintenant tamiser le substrat et restructurer la frayère.



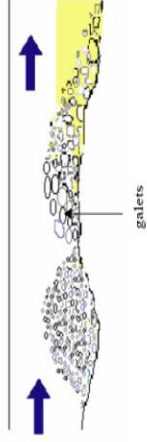
4. On ramasse le substrat avec une pelle à grain (dont le fond est troué pour laisser échapper l'eau) et on le passe sur un tamis à mailles de 1 cm. Le tamis à des pieds réglables qui permettent à la grille de tremper dans l'eau, ce qui facilite l'évacuation du sable.



5. On rassemble les graviers tamisés devant la frayère, on garde une assise « dure » sur l'arrière, celle-ci servira de butée.



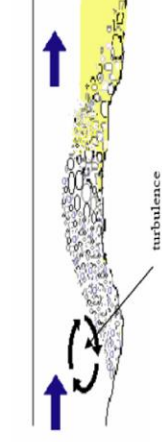
6. Il faut positionner des gros galets à l'intérieur de la future frayère, ceux-ci serviront de drain.



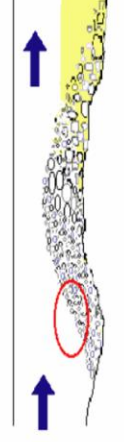
On rassemble les graviers tamisés devant les galets. Les graviers doivent former léger dôme.



La forme en dôme permet au courant de pénétrer à l'intérieur de la couche de aviers.



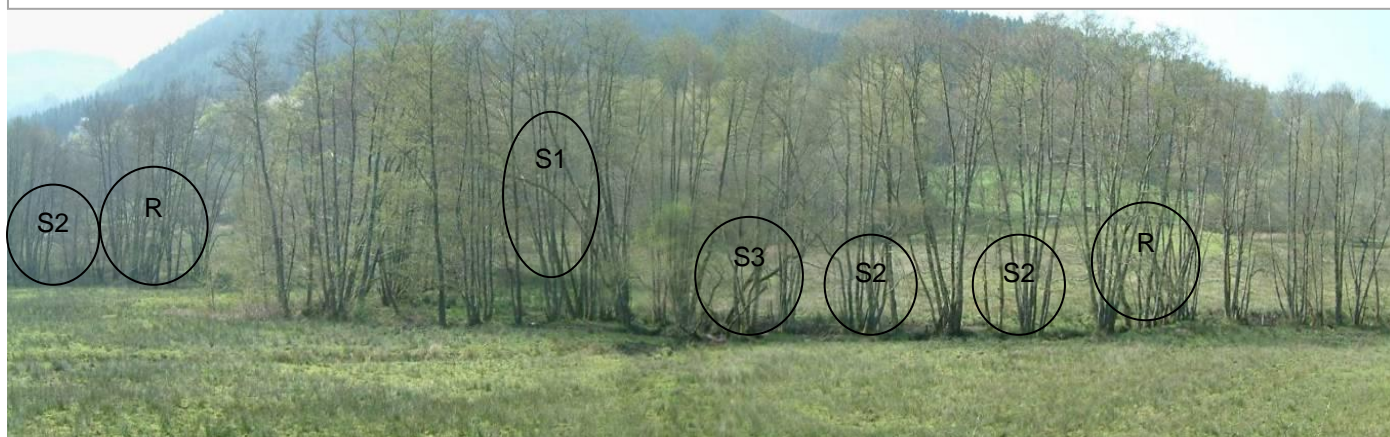
9. Les truites frayent généralement sur la partie entourée en rouge.



Source : FDAPPMA Creuse, "Méthode de restauration de frayère à truite à l'aide d'une souffleuse à moteur thermique"

Toujours dans une logique d'optimisation écologique, la diversification des âges de la ripisylve dans des régions où traditionnellement, les coupes à blanc sur une ou plusieurs parcelles se faisaient pour la ressource en bois de feu sera bénéfique, car elle augmentera la biodiversité par la présence de divers stades : buissonnant, arborée, bois morts. La biodiversité et la quantité d'insectes se verront augmentées, et les diversifications de luminosité créeront des conditions optimales pour les divers insectes aquatiques.

Figure 270 : Exemple de travaux de diversification des âges d'une ripisylve homogène, Lhéritier N., 2009



S1 : suppression des arbres menaçants et dépérissants
S2 : rajeunissement par suppression de cépées entières
S3 : évolution vers du bois mort
R : diversification des âges dans la cépée par recépage

Conclusion générale

En parcourant la bibliographie, nous nous sommes aperçus que le ruisseau n'était pas clairement défini malgré les tentatives de plusieurs disciplines. Des écotones sont connus et pourraient être utilisés pour définir le ruisseau selon des critères écologiques. La corrélation avec les ordinations hydrographiques a permis aux hydrobiologistes de définir les ruisseaux comme étant les tronçons de rangs 1, 2 voire 3 car les organismes aquatiques ont une répartition qui obéit à l'ordination de Strahler. Cependant, l'échec, d'une régionalisation écologique universelle nous permet simplement de retenir que les ruisseaux abritent des organismes d'eau plus fraîche que le reste de l'hydrosystème auquel ils appartiennent. Les géographes à l'instar de Roger Lambert ont jusqu'à ce jour surtout essayé de définir le ruisseau de par des caractéristiques dimensionnelles telles que la taille du bassin versant. Le cours d'eau cesse d'être ruisseau pour devenir rivière lorsque son bassin versant dépasse les 100 Km², et que l'ordre de Strahler est supérieur à 4. Cependant, si un ru a un bassin versant inférieur à 10 Km², le ruisseau a un bassin compris entre 10 et 100 Km², cette transition entre rivière et ruisseau reste large en termes de dimensions des bassins versants car la surface collectrice nécessaire à la formation des écoulements est différente selon le substrat et les précipitations de la zone. **D'ailleurs, nous avons vu qu'un bassin versant de rang 1 dans la Beauce peut mesurer presque 700 Km² contre seulement 6 dans les régions montagneuses.** Ces chiffres ne sont certainement pas exacts car calculés d'après la BD Carthage où les rangs 1 ne sont pas tous cartographiés. En utilisant une base de données hydrographiques plus précise du **JRC**, les valeurs moyennes de la surface des bassins versants de rang 1 sont de l'ordre de **0,9 Ha à 4,5 Km²**. **En Limousin, représenté par le territoire de Monts et Barrages, la surface des bassins versants de rang 1 est comprise entre 2 500 m² et 2 Km²**. Les problèmes de transposition de caractéristiques hydroécologiques et dimensionnelles des petits bassins versants sont dus aux zonations climatiques, influençant les températures et donc les biocénoses, les précipitations, et de ce fait la surface minimale d'un collecteur pour former un écoulement temporaire ou pérenne. De plus, puisqu'il suffit de reliefs très peu marqués pour que de petits cours d'eau se rejoignent peu à peu pour former une rivière, le fait que les ruisseaux sont nécessairement des cours d'eau à forte pente et que les organismes y vivant doivent y être adaptés n'est non plus pas transposable. Pour annihiler définitivement l'éventuelle transposition d'éléments définitoires, les ruisseaux ont également la particularité d'être parfois des habitats anthropogéniques tantôt créés par des processus hydrologiques et géomorphologiques, tantôt façonnés et modifiés par la main de l'homme.

Les uniques phénomènes transposables et permettant de dégager les particularités des petits cours d'eau sont leur extrême dépendance vis-à-vis de leur environnement riverain topographique, lithologique, pédologique et atmosphérique. Dans les régions tempérées, les zones humides de sources et riveraines des petits cours d'eau sont marquées par des hypériodes courtes. Ceci induit un transfert hydrologique rapide aux ruisseaux. L'écrêtage des crues par les zones

humides peut se faire jusqu'à une certaine limite qui se concrétise par la saturation en eau de la zone humide. Le rôle primordial des zones humides de tête de bassin versant est alors épuratoire, et de stockage sédimentaire pour les zones humides riveraines. Sur substrat cristallin, les zones humides de sources comme les tourbières transmettent leur oligotrophie aux premiers écoulements et conditionnent en partie les biocénoses présentes. La rugosité du chenal et les nombreux frottements du fait du faible rapport entre le périmètre mouillé et le débit écoulé favorisent les échanges avec les terrains riverains du ruisseau. Les frottements sont dus à des alternances entre facies beaucoup plus fréquentes sur les petits cours d'eau que sur les grands. Les principaux habitats piscicoles sont liés aux berges. Si les échanges entre le ruisseau et la nappe d'accompagnement sont favorisés par ces frottements, les faibles débits des petits cours d'eau permettent l'influence atmosphérique sur les écoulements. **Les petits cours d'eau correspondent à la partie de l'hydrosystème dont la température est la plus soumise à celle de l'air ambiant. En l'absence de perturbations, c'est la partie de l'hydrosystème où l'amplitude thermique des eaux est la plus forte, surtout pour les rangs 3 « pris en tenaille » entre les eaux fraîches en provenance de l'amont conditionnée par la fraîcheur des nappes des zones humides de source d'une part et l'influence thermique de l'atmosphère grandissante de l'amont vers l'aval d'autre part.** L'apogée de cette amplitude thermique prendrait alors fin une fois que les volumes d'eau sont suffisants pour connaître une inertie thermique les rendant moins soumis à leur environnement. Là encore, il ne s'agit que de tendances qui ne peuvent être chiffrées uniformément à l'échelle du globe, du fait de la diversité des milieux que les ruisseaux traversent, drainent et irriguent.

Face à cette diversité aussi bien du point de vue physique que de l'évolution anthropique, les éléments définitoires pouvant être repris dans les définitions réglementaires ne permettent que la jurisprudence qui se rattache alors aux cartes pour arbitrer. Cependant, la sous-représentation cartographique des ruisseaux est réelle et non négligeable, et ce n'est pas un phénomène uniquement français. En effet, outre Atlantique les auteurs de « Where Rivers are Born » dénoncent également cette situation à coupler avec une connaissance limitée des ruisseaux qui augmente le risque de dégradation par activités humaines. En France, la sous-estimation du linéaire de cours d'eau peut être de 30 %. **L'immensité du linéaire que représentent les petits cours d'eau est alors un élément transposable, les importantes surfaces qu'ils drainent et les lois numériques exposées par les premiers hydrographes sont vérifiées par la cartographie.** En ordonnant la BD Carthage selon la classification de Strahler, il s'avère que les cours d'eau de rang 1, 2 et 3 représentent **85 % de l'hydrosystème français. L'environnement immédiat de ces petits cours d'eau représenterait une surface d'environ 542 840 Km² des 547 000 Km² de métropole et Corse selon nos estimations.** Si nous considérons chaque bassin versant de ruisseau comme étant une région de tête de bassin, la densité de drainage réelle nous amène rapidement à considérer la tête de bassin comme étant quasiment la totalité du territoire national. L'estimation linéaire des rangs 1 2 et 3 à partir de la Base de données HYDRO1k de l'USGS à l'échelle du globe donne des

proportions similaires, **les petits cours d'eau représenteraient alors un linéaire approchant 60 Millions de Km soit 83 à 86% des 64 412 935 millions de Km de l'hydrosystème mondial.**

En essayant de réaliser une carte nationale des têtes de bassin à partir de la BD Carthage il fut constaté que les zones hydrographiques et les masses d'eau qui en découlent ne sont pas un élément hydrographique suffisamment logique pour pouvoir cartographier les limites des têtes de bassin. **En effet, les rangs 1 n'étant pas tous cartographiés dans la BD Carthage, la limite supérieure de la tête de bassin n'est pas suffisamment étendue en amont, et la limite aval si elle doit correspondre au passage du rang 2 au rang 3 correspond finalement bien souvent au passage du rang 3 au rang 4 du fait du décalage induit par la non cartographie des rangs 1.** Les cartes des têtes de bassins proposées par l'Agence de l'eau Loire-Bretagne, se fiant aux zones et aux tronçons hydrographiques de la BD Carthage excluent certains ruisseaux, et sont probablement insuffisamment étendues vers l'amont. En utilisant d'autres référentiels hydrographiques comme la BD TOPO, on s'aperçoit que les têtes de bassins peuvent être bien plus étendues. Ceci entraîne une seconde inexactitude quant à la cartographie de l'occupation des sols de la tête de bassin et à l'évaluation de la connexion des zones humides aux réseaux hydrographiques. En effet, il est fort possible que la connexion des ruisseaux avec des habitats naturels tels que les tourbières soit sous-estimée. Or, sur le territoire de Monts et Barrages, jamais une tourbière ne se trouve dépourvue d'écoulement. **Alors que les agences de l'eau demandent une priorisation des zones humides par le classement en ZHIEP et que cette priorisation tient compte de la connexion des zones humides avec le réseau hydrographique, nous nous devons d'insister sur le fait que cette connexion est omniprésente en tête de bassin, mais pas sur les cartes issues de la BD Carthage.** Seul le travail de tracé du réseau hydrographique réalisé à l'échelle régionale en se basant sur un MNT, et devant être confirmé par une prospection de terrain permet d'appréhender réellement l'importance des ruisseaux dans le réseau hydrographique.

L'immensité du réseau hydrographique et la diversité des petits cours d'eau ne permettant pas une définition selon des critères pluridisciplinaires, l'élaboration d'une typologie selon des critères abiotiques fondamentaux fut un travail nécessaire pour appréhender les petits cours d'eau. Les petits cours d'eau sont une partie de l'hydrosystème difficilement définissable du fait de leurs diversités hydrologiques et géomorphologiques, en d'autres termes : hydromorphologiques. Le travail préalable que nous avons réalisé en essayant de dégager une typologie hydromorphologique des têtes de bassin constitue une clé d'entrée pour resituer les régionalisations écologiques, les relations entre les débits suffisants pour la formation d'un écoulement élémentaire et la surface de bassin versant, propres à chaque type. **Ce travail n'avait jamais été réalisé, laissant libre cours à la généralisation de la tête de bassin montagneuse pluvio-nivale qui s'avère finalement être marginale.** En interprétant la base de données « Compound Topographic Index » nous avons pu cartographier à l'échelle mondiale les zones où la pente et l'accumulation des écoulements faibles font que l'eau précipitée ruisselle et ne s'accumule

pas encore dans de grands cours d'eau ou de grandes dépressions. Il s'agit bien là d'une cartographie du premier maillon du cycle de l'eau terrestre en opposition aux zones aux pentes faibles et au fort potentiel d'accumulation et de stockage de la ressource. **La proportion mondiale de ces zones est de 64 % pour 85 000 000 de Km². Ces régions correspondent aux reliefs jeunes et anciens, mais aussi à des reliefs plus modestes mais qui sont malgré tout des réceptacles potentiels de précipitations. Il s'agit de têtes de bassin potentielles d'un point de vue topographique.** Le fait que les régions de petits cours d'eau ne peuvent pas être apparentées systématiquement à des zones montagneuses est martelé par les chiffres éloquentes **à l'échelle mondiale et française montrant la dominance des ruisseaux à faible et moyenne énergie dans les hydrosystèmes.** La principale limite de ce travail réside sur le fait que le calibrage de l'interprétation est fondé sur la cartographie réalisée à partir de la BD Carthage où les rangs 1 ne sont pas tous représentés, créant ainsi une sous-estimation du rang des cours d'eau de l'aval. La cartographie et l'estimation des linéaires de ruisseaux par type hydromorphologique à l'échelle mondiale et française constituent des résultats demeurant imprécis du fait des méthodes employées pour contourner les carences des référentiels hydrographiques utilisés. Cette cartographie a tout de même permis de mieux appréhender les caractéristiques des régions à petits cours d'eau d'un point de vue géomorphologique, et de resituer les minuscules territoires échantillonnés pour étudier plus en détail le fonctionnement de ce type de cours d'eau. **Ainsi, les ruisseaux limousins des bassins de la Loire et de la Dordogne ont pu être étudiés en tant que représentant des ruisseaux marqués par le mésoréisme de moyenne et faible énergie.**

En Limousin représenté par le Pays Monts et Barrages et les bassins versants de Xaintrie, **les plus petits ruisseaux de rangs 1 et 2 ont un lit superficiel majoritairement composé de sables fins et grossiers, alors qu'à partir des rangs 3 la granulométrie devient plus grossière. Ceci est une constatation qui s'oppose à la plupart des ouvrages généralisateurs qui accordent une granulométrie de plus en plus fine de l'amont vers l'aval.** Localement, la présence d'éléments grossiers sur les plus petits ruisseaux dépend de la pente. Les ruisseaux ont des pentes moyennes à fortes entrecoupées de replats alluviaux. Sur les secteurs les plus pentus, les éléments granulométriques grossiers dominent, alors que les plus fins se trouvent uniquement sur les plages et dans les interstices. Les replats alluviaux de petite dimension sont des secteurs de dépôt des sédiments les plus fins. Alors que les rapports entre les largeurs et les hauteurs de berges à plein bord montrent que les rangs 1 sont dominés par les phénomènes d'incision du lit, les rangs plus grands (3 et 4) ont tendance à éroder leurs berges et à s'élargir. Les rangs 3 sont d'ailleurs ceux qui ont la plus forte puissance spécifique leur permettant de remodeler leur tracé.

En France métropolitaine, les fortes densités de drainage affirment la dépendance des petits cours d'eau à leur environnement. **Cette forte dépendance rend évident le fait que la bonne qualité des eaux françaises dépend de ce qui se produit sur cet environnement.** Tout tend à le montrer, la qualité des eaux s'améliore de l'amont vers l'aval sur le bassin de la Loire, en mesurant

cette qualité des eaux des rangs 1, 2, 3 et 4 d'un même territoire, on s'aperçoit que cette qualité se dégrade jusqu'aux rangs 3 pour ensuite s'améliorer. **Le rôle des ruisseaux est encore à ce jour d'épurer des éléments issus des territoires abritant des activités humaines.** Les retenues d'eau situées sur leur cours sont très vulnérables à un enrichissement excessif des eaux. L'effet autoépuratoire cumulé des ruisseaux et l'effet de dilution entre des ruisseaux préservés ou plus impactés par les activités humaines se font au détriment de leur propre qualité. La « banalité topographique » de la plupart des régions de sources des moyennes montagnes et des plateaux faiblement vallonnés est justement ce qui leur donne un potentiel en termes de ressource en eau, par des dépressions permettant l'installation de nombreuses zones humides, complexifiant et régulant l'hydrologie. **Sur le bassin de la Vienne, les relations spatiales entre cours d'eau et zones humides sont de l'ordre de 20 m² de zones humides pour 1 mètre linéaire de cours d'eau, et ce quelque soit leur rang. Les plus grandes surfaces se situent donc en tête de bassin du fait de la loi hydrographique qui affirme la domination linéaire des faibles rangs. Les ruisseaux ayant fait l'objet d'investigations de terrain sont de ce fait représentatifs de la majorité des ruisseaux français du point de vue hydromorphologique, mais ils le sont également du fait des activités humaines présentes dans leur espace riverain.**

Nous avons recensé au fil des ouvrages considérant les ruisseaux dans les hydrosystèmes que ces petits cours d'eau sont des organismes très biogènes lorsqu'ils sont en bon état. Ceci fut confirmé par l'analyse des ruisseaux du Pays Monts et Barrages. Les fortes relations à l'échelle nationale entre la proportion de milieux naturels dans les bassins versants des ruisseaux et à l'échelle régionale entre les qualités morphologiques, thermiques et physicochimiques des ruisseaux avec l'état des peuplements piscicoles affirment que les petits cours d'eau sont désormais des géosystèmes de plus en plus régis par les activités humaines. Les milieux prairiaux utilisés pour l'élevage, les cultures et la forêt sont aujourd'hui les espaces riverains dominants des ruisseaux français et limousins. Les espaces urbains et naturels sont minoritaires. Les têtes de bassin françaises se révèlent être forestières et surtout agricoles dominées par les cultures. L'élevage bovin se situe sur les reliefs des régions de basses et moyennes altitudes. Ce sont ces activités que nous avons le plus étudiées. D'une manière générale, en tenant compte de l'indicateur truite commune pour évaluer la santé ichtyologique des ruisseaux, nous nous sommes aperçus que l'abondance des truites croît avec la part des espaces naturels dans les bassins versants. À l'inverse, nous ne pouvons pas dire que celle-ci décroît avec la présence de l'activité agricole en bord de ruisseau. L'état des peuplements piscicoles dépend alors de la gestion des espaces riverains qui influe sur la qualité des zones humides et l'hydromorphologie.

Pour les hydrobiologistes occidentaux, les petits cours d'eau s'apparentent à la zone à truite du fait de leurs caractéristiques morphologiques et sédimentaire, mais aussi des températures de leurs eaux. Cela vaut pour les régions tempérées. En analysant les données de 540 stations de pêches électriques à l'échelle nationale, nous nous sommes aperçus que les densités de truites

diminuent de l'amont vers l'aval, c'est également le cas de la part des truites dans les peuplements piscicoles. Cette espèce peut composer plus de 50 % des effectifs, et être monospécifique sur les rangs 1. **La monospécificité et la faible biodiversité ichtyologique des ruisseaux les pénalisent fortement dans les notations comme l'Indice Poisson Rivière, mais cette situation est pourtant conforme du fait que cette espèce est la mieux adaptée à ces milieux. La biodiversité est souvent augmentée par des espèces tolérant des eaux plus chaudes et plus riches, si cela augmente la note IPR, elle signale en réalité une dégradation de la zone à truite. En effet, sur les ruisseaux, écosystèmes théoriques abritant des espèces d'eau plus fraîche que sur le reste du réseau hydrographique, des dysfonctionnements sont notables,** par le fait que les plus fortes densités d'espèces de la zone à truite se situent de plus en plus vers l'amont. À surfaces habitables égales, les truites communes les occupent beaucoup plus sur les rangs 2 et 1 que sur les rangs 3. Ces rangs 3 sont les plus influencés par la température atmosphérique, ce qui leur garantit des amplitudes thermiques journalières, ou saisonnières, repoussant ou attirant périodiquement les sténothermes d'eau froide. **Si les densités d'espèces de la zone à truite sont aussi fortes à l'extrême amont que sur les zones inférieures des ruisseaux, elle peuvent être difficilement mises en lien avec le repli de ces espèces vers l'amont, avec 1 obstacle difficilement franchissable ou infranchissable par la truite commune au Km.** Ces obstacles sont alors bien plus bloquants pour les espèces plus petites. **Les populations peuvent donc être isolées à l'amont des ruisseaux et alimenter l'aval lorsqu'elles deviennent surdensitaires. C'est la garantie des rivières salmonicoles de rangs 4 et 5.**

L'importance de préserver et restaurer ces très petits cours d'eau devient alors un enjeu important pour la ressource halieutique. D'autant plus que le risque de réchauffement des eaux pour des causes anthropiques y est fort. En Limousin, une majorité d'étangs sont situés sur les rangs 1 et 2, l'aléa de réchauffement thermique est fort. L'aléa de vidange l'est aussi et peut également entraîner des excès de particules fines néfastes au bon fonctionnement hydromorphologique. Le risque est accentué par l'aléa du piétinement des berges en région d'élevage et d'exploitation forestière non raisonnée, puisque de par leur petitesse, les berges de ces ruisseaux sont fragiles, et ils ne constituent pas une barrière impressionnante ni pour le bétail ni pour des engins forestiers qui peuvent les traverser en n'importe quel endroit et généraliser les dégradations à l'intégralité d'un tronçon. **Les régions à l'amont des bassins versants connaissent-elles alors une crise érosive dissimulée en forêt où derrière des ronciers ?** Julie Lefrançois montre en Bretagne dans sa thèse sur les matières en suspension, que le cycle d'émission de ces matières n'est pas « naturel », une émission de MES « normale » ou « accentuée » par la reprise d'éléments issus d'un effondrement de berge dû au piétinement estivale du bétail est suivi d'une émission « anormale » durant la période de pâturage. Si les ruisseaux se trouvent être des cours d'eau naturellement fournisseurs de sédiments à l'aval, la production de ces sédiments y est accrue par l'activité d'élevage. Les 6 érosions au Km dans la région d'élevage étudiée génèrent évidemment des départs de matières excessifs par rapport à une situation normale. Les coupes à blanc sur des versants

comportant des ruissellements directs avec un ruisseau engraisent encore les apports sédimentaires. Ces apports sédimentaires s'accumulent également dans les plans d'eau, augmentent alors l'aléa de vidange, et transmettent leur nutriments aux eaux. **La recrudescence d'initiatives des collectivités et institutions souhaitant enrayer les dégradations liées à la divagation du bétail dans les ruisseaux montrent aussi bien qu'il s'agit là d'un problème réel que la densité éloquentes d'érosions « anormales » liées au piétinement des animaux au kilomètre dans la région d'élevage étudiée.**

L'anthropisation très forte des petits ruisseaux est visible même dans les régions aujourd'hui affectées par la déprise rurale. En effet, 46 % des rangs 1 ont un profil en long et un tracé modifié par l'homme, cette proportion baisse avec l'augmentation du gabarit des cours d'eau pour être réduite à 7 % des rangs 4. Du fait de la rentabilité demandée aux têtes de bassin françaises, les processus érosifs sont accentués et dissimulés dans les fonds de vallons pâturés et sur les versants pentus exploités par la sylviculture de résineux. Dans les régions rurales de moyenne montagne où la déprise rurale est importante, les bassins versants de ces ruisseaux et zones humides ont particulièrement évolué du fait de la standardisation des pratiques agricoles à l'échelle nationale. Les agriculteurs ont été largement encouragés financièrement pour éliminer le déterminisme lié aux terrains et y compris aux zones humides. Ainsi le drainage, mais aussi le recalibrage des ruisseaux devait permettre une mécanisation de ces prés de fond. L'effet induit de ces pratiques fut de parfois surexploiter certaines zones humides et d'en abandonner d'autres. **L'aire de l'aulnaie riveraine et de la prairie atlantique à grands joncs est donc à son apogée.** L'aulnaie a colonisé les terrains les plus hydromorphes et les prairies humides atlantiques se sont faites coloniser par *juncus effusus* du fait des changements hydrologiques au sein des zones humides et des tassements par le surpâturage. Moins appétant pour le bétail, le jonc diffus est le symbole d'une perte de qualité agronomique des zones humides drainées et surpâturées.

En ce qui concerne les autres paramètres de la qualité de l'eau, les ruisseaux sont en première ligne face aux pollutions diffuses, et surtout les pollutions d'origine agricole. Nous avons pu le constater pour les cours d'eau du Pays Monts et Barrages pour lesquels les cultures n'occupent qu'une faible surface du bassin versant. Or les terres arables occupent 25 % de la tête de bassin française. Bien souvent, la mise en place des terres arables, facilitée par le remembrement des terres agricoles a induit le recalibrage des cours d'eau, la destruction de la ripisylve et des zones humides. Il est alors attendu une compensation de la destruction d'un filtre mécanique et chimique que représentaient la ripisylve et les zones humides par des zones enherbées récemment mises en place. De surcroît le fonctionnement hydrologique qui dépendait de la connexion avec un ruisseau désormais recalibré et dont le lit rectiligne s'est abaissé avec la nappe d'accompagnement est perturbé.

Les rangs 3 et 4 sont très sensibles aux variations thermiques atmosphériques, cette sensibilité se traduit par des amplitudes thermiques journalières et annuelles très fortes. Le risque thermique est donc accru sur les petits cours d'eau, d'autant plus que les aléas favorables à cette augmentation de sensibilité vis-à-vis de la température sont nombreux. Les étangs non aménagés, les déconnexions avec les zones humides, les tronçons sans ripisylve amplifient les réchauffements estivaux et les rafraîchissements hivernaux. Les organismes aquatiques sont de ce fait soumis à ces variations. Le fait marquant, est que ces amplifications d'amplitude thermique s'effectuent sur certains tronçons et que entre ces tronçons peuvent se trouver des zones plus fraîches du fait de la végétation comme les tronçons sous aulnaie. Les organismes aquatiques ont donc besoin de migrer momentanément vers ces zones fraîches, mais avec 1 obstacle au Km, cette migration est bien difficile voire compromise.

Les petits cours d'eaux sont segmentés par les nombreux ouvrages hydrauliques comme il a pu être montré dans le Morvan, les ouvrages causant des ruptures de continuité atteignent des densités de 1 au kilomètre. Une alternance de zones extrêmement anthropogènes où l'érosion et les perturbations hydrologiques ont une forte fréquence favorisant la production de sédiments sont à mettre en opposition avec des secteurs à l'abandon qui stockent ces sédiments derrière les embâcles et dans les aulnaies. La destruction des habitats de sous-berges, l'ensablement et le colmatage des lits sont alors les causes principales de la baisse de la capacité biogénique des petits cours d'eau comme nous avons pu le montrer avec les expériences sur la survie embryolarvaire de la truite commune.

Sur de petits bassins versants creusois, le débit spécifique en MES peut atteindre 30 tonnes par Km² et par an, ce qui est bien supérieur aux flux mesurés sur les ruisseaux bretons (15t/Km²/an), perçus par l'opinion publique comme étant les plus dégradés de France. Lorsque l'on entre dans le système rivière, ces débits spécifiques baissent considérablement pour atteindre des valeurs inférieures à 10 tonnes par Km² et par an. Entre-temps, le phénomène de colmatage survient, les excès sédimentaires dépassent la capacité du cours d'eau à les transporter le risque de colmatage est fort. Les tentatives de restauration de frayères des gestionnaires halieutiques ou les recharges en granulats de l'ONEMA à l'appui de techniciens de rivières locaux montrent la volonté de restaurer des habitats aquatiques et de redonner des possibilités d'échanges hydrologiques entre la nappe d'accompagnement et le chenal. Ces opérations de décolmatage, de renaturation ou de recharge en granulats sont des remèdes dont nous ne pouvons pas prédire la durée d'efficacité. **Il est indispensable de limiter, voire stopper les dégradations des versants et des berges qui fournissent l'excédent de sédiments fins responsables du colmatage pour garantir l'efficacité de ce type d'action.**

Pour nous la tête de bassin est une région hydrographique où les densités de petits cours d'eau et de petites zones humides sont telles que le fonctionnement de l'hydrosystème

est bien particulier à cet endroit du bassin versant, et que la ressource en eau dépend de ces petits organismes aquatiques. C'est le cas pour 75 % de la France métropolitaine. Par sa topographie, il s'agit d'un collecteur d'eau où les processus hydrologiques, physiques et physicochimiques sont complexes du fait de la multitude de zones humides de faible dimension, et des échanges incessants de ces zones avec les cours d'eau. L'atmosphère a une influence très importante sur la température des cours d'eau. Cette influence est contrée et régulée par l'omniprésence des zones humides boisées ou non. Ces densités de milieux humides et d'écoulements primaires ont fait que l'homme a adapté ses activités à ces territoires. En effet, la répartition de la ressource en eau par l'irrigation des prés de fauche et le drainage superficiel des prairies humides ont entraîné un développement d'outils et de méthodes particulières pour façonner les rigoles et levades. Cela ne peut se faire que si les ruisseaux et les zones humides font partie de la culture et du patrimoine des habitants de ces territoires. La prédisposition à l'érosion et à la fourniture sédimentaire du fait des pentes, la sensibilité très forte aux variations thermiques atmosphériques, font qu'ils sont extrêmement fragiles d'un point de vue écologique.

Bibliographie

- Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Extrait du registre des délibérations du Conseil d'Administration du 1^{er} décembre 2006, 2006
- Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, DREAL Centre Loire-Bretagne, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2009. p. 9, pp. 14-15, p. 22, p. 75, p. 84, p. 93.
- Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Tous acteurs de l'eau, Questions importantes et programme de travail pour la gestion de l'eau du bassin Loire-Bretagne, 2006. 66 p.
- Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Libre circulation des poissons migrateurs et seuils en rivière, 2005. 51 p.
- Alexander R., Boyer E., Smith R., Schwarz G., Moore R., The role of headwater streams in downstream water quality, "Journal of the American Water Resources Association", volume 43, n°.1, 2007.19 p.
- Amoros C., Petts G.-E., Hydrosystèmes fluviaux, Masson, 1993. 295 p.
- Andréassian V., Lavabre J., Laroussine O., Eaux et Forêt Vol 1, La forêt, un outil de gestion des eaux ? , Cemagref Editions, 2000, 116 p.
- Angelier E., Ecologie des eaux courantes, Editions Tec et Doc, 2005. 199 p.
- Anonyme, Arc Hydro Tools v1.3 – Tutorial, ESRI, 2009. 85 p.
- Anonyme, La maladie rénale proliférative (MRP) *dans les eaux vaudoises*, 2003. 4 p.
- Baglinière J.-L., Maisse G., La truite, biologie et écologie, INRA édition, 1991. 297 p.
- Baran P., Diagnostic et restauration de la libre circulation piscicole dans les petits hydrosystèmes, in Guyot C. et Birard C., Dir., Gestion des ruisseaux de tête de bassin et zones humides associées, PNR du Morvan, et pôle-relais zones humides intérieures, actes des rencontres nationales techniques, Saint-Brisson, 2007. non paginé.
- Baran P., Intérêt et fonctionnement des petits hydrosystèmes de tête de bassin, in Guyot C. et Birard C., Dir., Gestion des ruisseaux de tête de bassin et zones humides associées, PNR du Morvan, et pôle-relais zones humides intérieures, actes des rencontres nationales techniques, Saint-Brisson, 2007. non paginé.
- Baran P., Où est le cœur de nos rivières à truite ? Intérêts écologiques et piscicoles des petits ruisseaux.
- Barnaud G., Entre terre et eaux, les services des écosystèmes humides, Séminaire technique « Zones Humides des Têtes de Bassin Versant », plate-forme « Eau, espaces, espèces », Nedde, 2009. non paginé.
- Belliard J., Roset N., L'indice poissons Rivière (IPR) : Notice de présentation et d'utilisation, ONEMA, 2006. 24 p.
- Bernard-Allée P., Barret J., Climat et ressources en eau, in Atlas du Limousin, Presses Universitaire de Limoges, 1994. pp.12-15.

- Berthold R., Méthodologie pour la gestion durable des têtes de bassins versants, résumé des communications, 6èmes Rencontres de théorie quantitative, Besançon, 2003. non paginé.
- Besson S., Bouchard J., Chaput E., Durllet P., Godreau V., Zakin C., Eléments techniques pour la Préservation des Ruisseaux, Parc Naturel Régional du Morvan, 2009. 80 p.
- Bontemps F., Evaluation de la population de Moule perlière (*Margaritifera margaritifera*) du haut Cousin et Potentiel des affluents pour le cycle de la Truite fario (*Salmo trutta fario*), (aspects circulation piscicole et état de conservation), Mémoire de DESS I.H.C.E, IMACOF, Université François Rabelais, Parc Naturel Régional du Morvan, 2005. 85 p.
- Bovee K.D., A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Fort Collins, US Fish and Wildlife Service, Instream Flow Information Paper n°12, 1982. 248 p.
- Bramard M., Restauration de petits cours d'eau recalibrés par reconstitution du gabarit naturel et recharge en granulats. Evaluation à partir d'un indicateur : le suivi thermique, in Fédération Nationale de la Pêche, Les Journées Nationales d'Echanges Techniques., Périgueux, les 14 et 15 octobre, 2008. non paginé.
- Bravard J.-P., Petit F., Les cours d'eau, dynamique du système fluvial, Paris, A. Colin, coll. « U », 1997. 222 p.
- Cabouret M., L'irrigation des prés de fauche en Europe occidentale, centrale et septentrionale, Essai de géographie historique, Editions Karthala, Paris, 1999. 319 p.
- CATER Basse Normandie, Suivi des impacts bactériologiques et physicochimiques d'aménagement de protection contre la divagation du bétail dans un cours d'eau, rapport intermédiaire, CATER Basse Normandie, 2003. 15 p.
- Caulier B., L'eau et le sacré, Beauchesne Editeur, Presse Universitaires de France, Paris, 1990. pp. 7-41
- Centre de recherche de la nature, des forêts et du bois, Direction de la nature, de la chasse et de la pêche de Gembloux (Belgique), Dynamique des populations de truite, 2004.
- Chandesris A., Wasson J.-G., Pella H., Sauquet E., Mengin N., Appui Scientifique à la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau : Typologie des cours d'eau de France Métropolitaine, Cemagref, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2006. 64 p.
- Chegrani P., Compte rendu de la réunion d'échange des animateurs SAGE en Allier – Loire Amont, 2010. 10 p.
- Chorley, R.-J., Shumm S.- A., Sugden D.-E., Geomorphology, Methuen & co, New York, 1984, pp. 356-357.
- Choucard P., Elaboration d'une méthodologie d'inventaire cartographique et de hiérarchisation des têtes de bassin versant dans le contexte armoricain : Application au bassin versant du Couesnon, mémoire de MASTER Université de Rennes 1, « Bassin du Couesnon », 2011. 57 p.
- Cochet G., La Moule Perlière et les nayades de France, histoire d'une sauvegarde, Catiche productions, Nohanent, 2004. 32 p.
- Cohen P., Régionalisation de l'habitat physique du poisson : Approche multiscalaire et application au bassin de la Loire, France, Université Claude Bernard – Lyon 1, 1998. 251 p.

- Comité de bassin Adour Garonne, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Adour Garonne, Agence de l'Eau Adour Garonne, 1996. 112 p.
- Comité de Bassin Loire-Bretagne, Projet de 9^{ème} programme de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne (2007 – 2012), commission géographique Vienne Creuse, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, Orléans, 2006. 128 p.
- Conseil Supérieur de la Pêche, Conférence de J.-J. Demars aux agents de l'O.N.F du Puy-de-Dôme sur le thème cours d'eau et forêt, 1999. 50 p.
- Conseil Supérieur de la Pêche, Gestion piscicole, repeuplements des cours d'eau salmonicoles, collection mise au point.
- Conseil Supérieur de la Pêche, « Etat initial et prévision d'Impacts dans le milieu aquatique », collection mise au point, 2000.
- Coutellier A., Enquête " Les collectivités locales et l'environnement" – volet eau : La gestion de l'eau potable en France en 2001, IFEN, Etude et travaux n°44, 2005. 25 p.
- Crisp D.T., Trout and Salmon, Ecology, Conservation and Rehabilitation, Fishing News Books, Blackwell Science, 2000. 212 p.
- Cros A., Lancement du projet de gestion du petit chevelu, Rapport de stage, Institut Universitaire Professionnalisé Génie de l'Environnement, option eau, Université Paul Sabatier Toulouse, Syndicat mixte Monts et Barrages, 2004, 59 p.
- Crouzevialle R., Graffouillère M., Touchart L., Savy B., Nion G., Papon P., Les étangs réduisent-ils les ressources en eau ?, in Touchart L. et Graffouillère M., Les étangs limousins en questions Limoges, L'Aigle, 2004. pp 65-83.
- Curie F., Ducharme A., Bendjoudi H., Gaillard S., Classification et typologie fonctionnelle des zones humides riveraines à l'échelle du bassin de la Seine : élimination et rétention des nitrates. 11 p.
- Curt T., Prévosto B., Bergonzini J.-C., Eaux et Forêt Vol 2, Boisements Naturels des Terres Agricoles en Déprise, Cémagref Editions, 2004, 119 p.
- Derruau M., Précis de Géomorphologie, Masson, 1974. pp. 59-66.
- Desvilette P., Création d'une méthodologie définissant la franchissabilité des obstacles en rivière, son application concrète et la proposition d'aménagement pour rétablir la connectivité longitudinale des cours d'eau du Lauzat et du Courtiaux, Mémoire de Licence professionnelle Gestion des Ressources en eaux Option « Gestion et protection des ressources en eaux », Syndicat mixte Monts et Barrages, 2007, 39 p.
- De Vos L., Petitfrère P., « L'accès du bétail aux cours d'eau », Livret de l'agriculture n°16, Direction Générale de l'Agriculture, 2008, 120p.
- Direction générale de la santé, « L'eau Potable en France 2002 – 2004 », Ministère de la Santé et des Solidarités, Paris, 2006. 47 p.
- DIREN de bassin Loire-Bretagne et Agence de l'eau Loire-Bretagne, Coord., Projet de Schéma Directeur et de Gestion des Eaux du bassin Loire-Bretagne, projet adopté par le comité de bassin le 30 novembre, Orléans, 2007. 311 p.
- Djokic D., Comprehensive Terrain Preprocessing Using Arc Hydro Tools, ESRI, 2008. 61 p.

- DRASS Limousin, Bilan de la qualité de l'eau de consommation humaine en région Limousin, situation 2006, Partie 1, Origine de la ressource organisation traitement, 2006. 10 p.
- Dupont A., Mise en place d'un protocole de suivi pour des « chantiers test » eau et sylviculture, Mémoire de MASTER Sciences des sociétés et de leur environnement, Mention Géographie, Environnement, Tourisme, Parc Naturel de Millevaches en Limousin, 2007. 54 p.
- Durlet P., Exemples d'actions pour limiter l'impact des étangs sur les ruisseaux, in Guyot C. et Birard C., Dir., Gestion des ruisseaux de tête de bassin et zones humides associées, PNR du Morvan, et pôle-relais zones humides intérieures, actes des rencontres nationales techniques, Saint-Brisson, 2007. non paginé.
- Elmi S., Babin C., Histoire de la Terre, Dunod, Paris, 2002, 221 p.
- Etude et Conseil en Gestion de l'Environnement Aquatique (E. C. O. G. E. A), Variabilité de la ponctuation et des caractères ornementaux de la truite commune dans les cours d'eau du Cantal, Fédération de Pêche du Cantal, 2002. 43 p.
- Etude et Conseil en Gestion de l'Environnement Aquatique (E. C. O. G. E. A), Variabilité de la ponctuation et des caractères ornementaux de la truite commune dans les cours d'eau des Pyrénées, Fédération de Pêche des Hautes Pyrénées, 2004. 50 p.
- Fédération des Côtes d'Armor pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, L'abreuvement du bétail dans les cours d'eau : Contribution à la dégradation des usages de l'eau, rapport interne, 1999. 34 p.
- Fédération des Côtes d'Armor pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, Restauration de la capacité d'accueil en truite fario sur l'Arguenon amont, diagnostic et proposition d'actions, rapport interne, 2002. 66 p.
- Fédération des Côtes d'Armor pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique, Impact des busages du bassin versant du Leguer, sur la migration de la truite fario, rapport interne, 2000. 42 p.
- Filliol J., L'irrigation dans la montagne limousine, In Revue de géographie alpine, Tome 37, N°4, 1949. pp. 719-727.
- Fishesser B., Dupuis-Tate M.-F., Le guide illustré de l'écologie, Editions de la Martinière, CEMAGREF Editions, 1996. p. 303.
- Fustec E., Lefeuvre J.-C. et coll., Fonctions et valeurs des zones humides, Dunod, Paris, 2000. 422 p.
- Gaillard S., Bendjoudi H., Fustec E., Chapitre 5.1. Typologie hydromorphologique des zones humides, PNRZH, projet 07, rapport final, 2000. 6 p.
- Gaillard S., Bravard J.-P., Fustec E., Brunstein D., Pasquier D., Typologie hydrogéomorphologique des zones humides riveraines dans le bassin de la Seine. 12 p.
- Garenc P., « Les aménagements hydroélectriques du Bassin de la Vienne. » In: *Annales de Géographie*. 1952, t. 61, n°324. pp. 106-122.
- Gayraud S., Herouin E., Philippe M., Colmatage minéral du lit des cours d'eau : revue bibliographique de mécanismes et des conséquences sur les habitats et les peuplements de macro-invertébrés, Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 365/366 : 339-355, 2002. 17 p.
- Gelzer F., PKD, la maladie proliférative des reins chez la truite, magazine de l'OVF, 2002. 3 p.
- George P., Verger F., Dictionnaire de la géographie, Presse Universitaires de France, 1970. 472 p.

- Gerster S., Haertel-Borer S., MRP la maladie rénale proliférative, Kastanienbaum, Bureau suisse de conseil pour la pêche (FIBER), 2006. 4 p.
- Gharbi K., Construction d'une carte génétique partielle du génome tétraploïde de la truite commune (*salmo trutta*), Thèse INRA, Paris-Grignon, 2001. pp. 5-10.
- Giret A., Géographie de l'écoulement Fluvial, L'Harmattan, Paris, 2007. pp. 1-37.
- Giret A., L'incision Quaternaire des Réseaux Hydrographiques, 2006. 19 p.
- Graffouillère M., Mathelin E., Savy B., Maleval V. et Papon P., Quel est l'impact de la vidange des étangs, in Touchart L. et Graffouillère M., Les étangs limousins en questions, Limoges, L'Aigle, 2004. pp. 37-63.
- Grès P., Suivi de la reconquête piscicole après la sécheresse de l'été 2003, in Fédération Nationale de la Pêche, Les Journées Nationales d'Echanges Techniques. Saint-Malo, 8 et 9 octobre, 2007. non paginé.
- Grimaldi C., Chaplot V., Bidois J., Conditions de transfert dans la zone hyporhéique et épuration naturelle des ruisseaux en nitrate, INRA, Science du sol, année inconnue, 7 p.
- Grosclaude G. et al, L'eau : Tome 1, milieu naturel et maîtrise, INRA édition, 1999. 204 p.
- Guyot C., Birard C., sous la direction de, Gestion des ruisseaux de tête de bassin et zones humides associées, PNR du Morvan, et pôle-relais zones humides intérieures, actes des rencontres nationales techniques, Saint-Brisson, 2007. non paginé.
- Guyot S., Richard F., Les fronts écologiques - Une clef de lecture socio-territoriale des enjeux environnementaux ?, *L'Espace Politique* [En ligne], 9 | 2009-3, mis en ligne le 20 janvier 2010.
- Haigh M.-J. et al., *Headwater deforestation: a challenge for environmental management* in "Global Environmental Change" 14, 2004. Pp. 51-61.
- Haury J., Biannic M., Galigault P., Coiffard S., Ricard A. et al, Fonctionnement des petits hydrosystèmes : application à la gestion intégrée des têtes de bassin versant, rapport, Parc Naturel Régional Normandie-Maine., 1999
- Hawkes H. A., River zonation and classification in Whitton B-A., "River Ecology Vol2, Studies in Ecology", University of California Press, Blackwell Scientific publication, 1975. pp. 313-343.
- Hennequin. E., Evaluation des fonctions des zones humides et des politiques publiques associées : Application en Limousin sur le bassin versant de la Gorre et ses affluents (87), Mémoire de MASTER PRO Espaces et Milieux, Université Paris7, 2007. 157 p.
- Herbert.M., Actes du 7^{ème} colloque « Rivières de Talloires » : gestion des ruisseaux de tête de bassin, FRAPNA, 2007. 47 p.
- Houdart M.-F., Pays et Paysans du Limousin, mfh éditions, 1999. 192 p.
- Jacob N., Gob F., Bravard J.-P., Petit F., Les formes fluviales d'une rivière en gorge, le Chassezac (Cévennes, France), Géomorphologie : relief, processus, environnement, 1/2006, 2005. pp. 3-22.
- Jambon D., Diagnostic des ruisseaux du Pays Monts et Barrages : ruisseau de Planchemouton et ruisseau du Tard, Mémoire de Licence professionnelle Gestion des Ressources en eaux Option « Gestion et protection des ressources en eaux », Syndicat mixte Monts et Barrages, 2008, 30 p.

- Jourdan S., « Qualité hydromorphologique et biologique des affluents salmonicoles de l'Escaut en forêt de Mormal », Journées nationales d'échanges techniques « Milieux aquatiques et Pêche », Périgueux, 2008, non paginé.
- Kentzel M., Réforme de la PAC et viande bovine : Impact sur les filières et perspectives pour les systèmes bovins allaitants, Institut de l'Elevage présenté lors de la Journée sur la réforme de la PAC à Toulouse et à Libourne du 30 mai 2005, ENFA, 2005. 51 p.
- Krecek J., Haigh M., Headwater Wetlands in "Environmental Role Of Wetlands in Headwaters", Springer, Marienbad, NATO Sciences series IV. Earth and Environmental Sciences – Vol. 63, 2003. pp. 1-6.
- Lambert R., Géographie du Cycle de l'Eau, Presse Universitaires du Mirail, 1996. 440 p.
- Larue J.-P., Giret A., L'assèchement de cours d'eau dans le bassin de la Maine entre 1989 et 1992 , *Norôis*, mis en ligne le 24 septembre 2008.
- Le Pape S., Analyse et quantification du réseau hydrographique, Mémoire de diplôme d'ingénieur Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, Le Mans, 1998. 66 p.
- Lebreton D., La Températures des eaux courantes, modélisation appliquée à un cours d'eau du sud-ouest de l'Angleterre, mémoire de maîtrise de géographie, Université de Poitiers, 1995. 166 p.
- Lefrançois J., Dynamiques et origines des matières en suspension sur de petits bassins versants agricoles sur schiste, thèse de doctorat de l'université de Rennes 1, Mémoires du Caren N°19 – 2007. 261 p.
- Léon C., Analyse de l'état actuel et évolution historique des populations de truite fario de Haute-Vienne : Essai d'inventaire et de hiérarchisation des pressions à l'échelle départementale, Mémoire technique pour l'obtention du MASTER 2 GHE, Université François Rabelais, Tour, Fédération pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de Haute-Vienne, Limoges, 2008. 102 p.
- Lhéritier N., Aide géographique à la gestion patrimoniale d'un cours d'eau à salmonidés : mise en place d'une méthode d'évaluation de la capacité d'un petit cours d'eau de moyenne montagne en matière de frai de la truite fario, exemple des bassins versants du Cayrou et de la Bedaine, Université de Limoges, mémoire de maîtrise de géographie, 2004. 139 p.
- Lhéritier N., Essai méthodologique de cartographie géomatique pour l'évaluation et la valorisation du potentiel salmonicole de cours d'eau de moyenne montagne, mémoire de master 2 en géographie, Université de Limoges, 2005. 187 p.
- Lhéritier N., Etude des petits hydrosystèmes du Pays Monts et Barrages. Syndicat Mixte Monts et Barrages, rapport interne, 2008. 98 p.
- Lhéritier N., Quignard C., Etude Préalable au futur programme de gestion des cours d'eau du Pays Monts et Barrages, Syndicat mixte Monts et Barrages, 2010. 120 p.
- Lhéritier N., Relation biogéographiques *dans les bassins versants de la zone à truite (Bassin de la Vienne)*, Zones Humides Info N°71, Société Nationale de Protection de la Nature, Paris, 2011. pp. 5-6.
- Libor J., Haigh M.-J., Prasad H., "Sustainable Management of headwater Resources" Research from Africa and India, United Nation University, 2005. pp. 1-6.
- Louradour, S., La légende des eaux, Traditions Limousines, Editions de la Veytizou, 1994. 223 p.

- Malavoi J.-R., Adam P., Debiais N., Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau, Agence de l'Eau Seine Normandie, Nanterre, 2007. 64 p.
- Malavoi J.-R., Bravard J.-P., Eléments d'hydromorphologie fluviale, ONEMA, 2010. 228 p.
- Malavoi J.-R., Souchon Y., Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables : clé de détermination qualitative et mesures physiques, 2002, Bulletin français de la Pêche et de la Pisciculture, 365/366 : p 357 à 372
- Malavoi J.-R., Souchon Y., Méthodologie de description et quantification des variables morphodynamiques d'un cours d'eau à fond caillouteux, exemple d'une station sur la Fillière (Haute Savoie), Revue de géographie de Lyon, Vol 64 / N°4, 1989. pp. 252-259.
- Malavoi J.-R., Typologie des faciès d'écoulement ou unités morphodynamique des cours d'eau à haute énergie, 1989, « Bulletin français de la Pêche et de la Pisciculture », 315 : p 189 à 210
- Maman L., Vienne L., Les principales zones humides un patrimoine remarquable, géosciences, n° 12, 2010. pp. 68-77.
- Mathelin E., Etude des vidanges d'étangs en Limousin : un phénomène à l'interaction entre plan d'eau et émissaire, mémoire de maîtrise en géographie, Université de Limoges, 2003.154 p.
- Mazagnol P.-O., Porteret J., Etlicher B., Martin R., Thyriot C., Pré-détermination de zones humides sur le bassin Loire-Bretagne, Crenam Université de Saint-Etienne, Asconit Consultant Conférence francophone ESRI des 1^{er} et 2 Octobre 2008, 2008. non paginé.
- Meironen A., « De l'eau en quantité et en qualité suffisantes sur nos élevages » Chambre d'agriculture du Cantal, 2004. 2 p.
- Merot P., coordonnateur, Qualité de l'eau en milieu rural, Cemagref, Cirad, Ifremer, Inra, 2006. 343 p.
- Meyer J.-L., Kaplan L.-A., Newbold D., Strayer D.-L., Woltemade C.-J., Zedler J.-B., Beilfuss R., Carpenter Q., Semlitsch R., Watzin M.-C., Zelder P.-H., Where rivers are born : The Scientific Imperative for Defending Small Streams and Wetlands, American River and Sierra Club, 2007. 26 p.
- Milliman J.-D., Farnsworth K.-L., "River Discharge to the Coastal Ocean: A Global Synthesis", Cambridge University Press, 2011 pp., 21-23
- Mokrani A., L'eau et les activités agricoles, Agence de l'eau Seine-Normandie , Direction de l'Eau, des Milieux Aquatiques et de l'Agriculture, Service eaux souterraines et agriculture, Université Pierre et Marie Curie, 2009. non paginé.
- Monginoul, M., La consommation d'eau des ménages en France : Etat des lieux, Rapport d'étude, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement, UMR Gestion des Services Publics, Cemagref, 2002. 41 p.
- Montavon M., Kuster T., Leduy P., Suivi de la qualité des eaux et étude des pressions et sources de pollution du bassin versant du ruisseau d'Artigeas, Licence professionnelle « gestion des ressources et production d'eau », Université de Limoges, 2008. 29 p.
- Motte G. et Mols J., « Etude de la qualité des fonds de rivières et des sédiments en contexte forestier » in Guyot C. et Birard C., Dir., Gestion des ruisseaux de tête de bassin et zones humides associées. Saint-Brisson, PNR du Morvan, et pôle-relais zones humides intérieures, actes des rencontres nationales techniques, 2007. non paginé.

- Ovidio M., Lambot F., Orban P., Philippart J.-C., Bases Biologiques et Eco-Hydrauliques pour la restauration de la continuité piscicole en rivière : premier bilan et perspectives en région Wallone (Belgique), in Fédération Nationale de la Pêche, Les Journées Nationales d'Echanges Techniques. Périgueux les 14 et 15 octobre, 2008. non paginé.
- Ovidio M., Philippart J.-C., The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish : synthesis of a 5-year telemetry study in the river Meuse basin, "Hydrobiologia" 483: 55-69, 2002. 15 p.
- Paracchini M.-L., Folving S., Bertolo F., Identification and classification of European headwaters. In: Haigh, M.J., Krecek, J. (Eds.), Environmental Reconstruction in Headwater Areas. Kluwer (NATO Science Series 2: Environmental Security 68), Dordrecht, 2000. pp. 67–80.
- Paracchini M.-L., Vogt J., Mapping Wetlands in European Headwater Areas, in "Environmental Role Of Wetlands in Headwaters" Springer, Marienbad, NATO Sciences series IV. Earth and Environmental Sciences – Vol. 63, 2006 pp. 7-15.
- Persat H., « De la biologie des populations d'ombre commun *Thymallus Thymallus* (L.1758) à la dynamique des communautés dans un hydrosystème fluvial aménagé. Le Haut Rhône Français : Eléments pour un changement d'échelle », thèse de doctorat, Université de Lyon 1, 1988. 223 p.
- Petit F., Hallot E., Houbrechts G., Mols J., Evaluation des puissances spécifiques de rivières de moyenne et de haute Belgique, Bull. Soc. Géog., Liège, 2005. pp. 37-50.
- Peyrat M., Quelques aspects des modifications hydrologiques issues de la suppression de l'irrigation et du drainage en Limousin, In: Norois. N°81, 1974. pp. 87-92.
- Piégay H., Pautou G., Ruffioni C., Les forêts riveraines des cours d'eau, Institut pour le Développement Forestier, 2003. 464 p.
- Pointereau P., et al, « Les systèmes agricoles à haute valeur naturelle en France métropolitaine », courrier de l'environnement de l'INRA n° 59, octobre 2010, pp. 3-18
- Pouilly M., Valentin S., Capra H., Ginot V., Souchon Y., Méthodes des microhabitats : principes et protocoles d'application, Bulletin français de la Pêche et de la Pisciculture 336. 1995. pp 41-54.
- Préfecture de la région Centre., Arrêté portant l'approbation du Schéma d'Aménagement et de Gestion des eaux du bassin Loire-Bretagne et arrêtant le programme pluriannuel de mesure, Orléans, 18 novembre 2009.
- Raboisson D., Evolution raciale du cheptel bovin français des années 1970 aux années 2000 : Analyse à partir des données des Recensements Généraux Agricoles de 1979, 1988 et 2000., Thèse de doctorat vétérinaire, 2002.173 p.
- Reclus E., Histoire d'un ruisseau, Hetzel, rééd. 1995, Arles, Actes Sud, 1869. 219 p.
- Reix G., Etude pour la perspective d'une gestion pluriannuelle des berges de la Vienne, de la Combade et de la Maulde, Syndicat mixte Monts et Barrages, 2001. 150 p.
- Richard A., gestion piscicole, interventions sur les populations de poissons, repeuplement des cours d'eau salmonicoles, Conseil Supérieur de la Pêche, Paris, date non mentionnée. 255 p.
- Richard B.-A. et al., « The role of headwater streams ins downstream water quality », Journal of the water resources association, Vol. 43 N°1, 2007. pp. 41-59.

- Riou-Nivert P., "Les résineux Tome 2 : écologie et pathologie", Institut pour le développement forestier, 2005. pp. 98-101.
- Robinson G., Runyon J., Characteristics of Streams at the end of Fish Use in Western Oregon : Final Report, Oregon Research Cooperative, 2006. 72 p.
- Roche M., Dictionnaire français d'hydrologie de surface, Masson, Paris, 1986. 288 p.
- Roche M., Hydrologie de surface, Gauthier Villars, 1963. pp. 55-104, pp. 144-154.
- Rocle N., « Point sur la réglementation relative aux zones humides et ruisseaux de tête de bassin » in Gestion des ruisseaux de tête de bassin et zones humides associées. Saint-Brisson, PNR du Morvan, et pôle-relais zones humides intérieures, actes des rencontres nationales techniques, 2007. non paginé.
- Rossi L., Renata H., Rejets urbains de temps de pluie et température des cours d'eau « Projet STORM assainissement par temps de pluie », EAWAG, BUWAL, 2004. 11 p.
- Rougean P., Sagarminaga Y., Remembrement et aménagement foncier en France, Rapport de DESS « Aménagement intégré des territoires », Institut National Agronomique de Paris-Grignon, Paris, 1994. Inédit, en ligne non paginé.
- Roulet N.-T., Stormflow Production in a Headwater Basin Swamp, "Nordic Hydrology", 22, 1991. 161-174, 14 p.
- Rozanska F., Situation des écrevisses à pattes blanches en Haute-Vienne, Fédération de la Haute-Vienne pour la Pêche et la Protection du milieu Aquatique, 2008. 45 p.
- Sabaton C., Méthode des microhabitats dans les cours d'eau : Approche IFIM et Approche ESTIMHAB Synthèse, EDF, 2003. 18 p.
- SCE Aménagement & Environnement, Programme de mesures de bassin dans le cadre de la révision du SDAGE Loire-Bretagne, volet Zones Humides, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2008. 67 p.
- Schälchli U., The clogging of coarse gravel river beds by fine sediment , Hydrobiologia, 235/236(1), 1992. pp 189-197.
- Souchon Y., Andriamahéfa H., Cohen P., Breil P., Pella H., Lamouroux N., Malavoi J.-R., Wasson J.-G., Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire. Synthèse, Agence de l'Eau Loire-Bretagne ,2000. 297 p.
- Souchon Y., Trocherie F., Fragnoud E., Lacombe C., Les modèles numériques de microhabitats des poissons : application et nouveaux développements, Revue des Sciences de l'Eau, 2 , 1989. pp. 807-830.
- Stochl S., Pêches dans les rivières et les étangs, ARTIA, GRÜND, Paris, 1972. 231 p.
- Touchart L, Graffouillère M et al, Les étangs limousins en questions, Editions de l'A.I.G.L.E, Limoges, 2004. pp. 171-179.
- Touchart L., Clave Y., La répartition des populations piscicoles en Creuse (Limousin), l'apport géographique des pêches électriques en tête de bassin , 2008. *Norois*, mis en ligne le 01 octobre 2011
- Touchart L., De la température de l'eau à la géographie des lacs, thèse d'HDR en géographie, Université de Limoges, 2001. 480 p.

- Touchart L., Hydrologie, mers, fleuves et lacs, Armand Colin, collection « Campus », Paris, 2003. 190 p.
- Touchart L., Lhéritier N., *Ruisseaux, têtes de bassin et risques : l'exemple des plateaux limousins (France), Riscuri si catastrofe*, vol. 7, 2009. pp. 23-41.
- Touchart L., sous la présidence de, Relevé de décisions du conseil scientifique et technique du 8 mars 2006, Parcs Naturels Régionaux de France, Pôle-relais Zones humides Intérieures, 2006. 4 p.
- Tricart J., Principes et méthodes de la géomorphologie, Masson, 1965. pp. 370-377.
- Valadas B., Crouzevialle R., Petit D., sous la direction de, Paysages en Limousin, de l'analyse aux enjeux, Direction Régionale de l'Environnement du Limousin - Université de Limoges - Région Limousin, 2005, 214 p.
- Valadas B., Géomorphologie dynamique, Armand Colin, collection « Campus », Paris, 2004. 192 p.
- Valadas B., Séminaire Technique : Zones humides et Têtes de Bassin Versant : « *Zones humides et têtes de bassin versant, Eléments d'histoire et contexte socio-économique, Application à la Montagne limousine.* », Nedde, 2009.
- Vigneron T., Le réseau d'évaluation des habitats : Note Méthodologique, Conseil Supérieur de la Pêche, année inconnue. 9 p.
- Villoutreix M. Nom de lieux du Limousin, introduction à la toponymie, Bonneton Editeur, Paris, 1998. 231p.
- Vogt J., Colombo R., Paracchini M.-L., Jager A., Soille P., CCM River and Catchment Database, Version 1.0, Agri-Environment Action, Catchment Characterisation and Modelling (CCM), Institute for Environment and sustainability EC Joint Research Centre, Varese, 2003. 30 p.
- Vogt J., Soille P., Jager A., Rimaviciute E., Melh W., Foisneau S., Bodis K., Paracchini M.-L., Haastrup P., Bamps C., A pan-European River and Catchment Database, European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and sustainability EC Joint Research Centre, 2007. 124 p.
- Wahli T., Notice sur les maladies rénales prolifératives (MRP), Office Vétérinaire Fédéral, Berne, 2004. 5 p.
- Wasson J.-G., Chandesris A., Pella H., Blanc L., Les hydro-écorégions de France Métropolitaine : approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés, Cemagref, 2002. 190 p.
- Wasson J.-G., Eléments pour une typologie fonctionnelle des eaux coutantes : 1. Revue critique de quelque approches existantes, Bull. Ecol, t.20,2, 1989. pp. 109-127.
- Whitton B.-A., Studies in Ecology, Volume 2 : River Ecology, Blackwell Scientific Publications, 1975. pp. 312-374.
- X Hardy Bureau d'Etudes, Révision du SDAGE Loire-Bretagne : Démarche d'Inventaire des Zones Humides, Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2008. pp. 47-50.
- Zmantar K., Besoin de concevoir une méthode fiable de détermination du débit réservé à l'aval de petites installations hydroélectriques, mémoire de DEA, Université de Limoges, 1997. 66 p.

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Nombre de documents recensés dans la base de données des SUDOCs et regroupant les termes "ruisseau", "rivière", "fleuve" et "cours d'eau".....	14
Figure 2 : Evolution du nombre de publications scientifiques traitant des ruisseaux dans les bibliothèques francophones.....	14
Figure 3 : Carte des sources, fontaines et de lieux-dits comprenant le toponyme "font", "fond"	23
Figure 4 : Carte des noms de lieux-dits et de communes comprenant les toponymes "sagne", "ribières" et "auge"	23
Figure 5 : Nombre de fontaines à dévotion par département, Caulier B., 1990.....	23
Figure 6 : Carte des noms de lieux-dits et de communes comprenant les toponymes "levade" et "prades"	24
Figure 7 : Photographie interprétée d'une lève, d'une rigole de drainage et du talweg naturel d'un affluent du ruisseau d'Alesmes (Champnétery, 87), Lhéritier N., 2009.....	26
Figure 8 : Corrélations entre les variables physiques et physicochimiques avec l'écologie des eaux courantes Angelier E. et M.L, Lauga J., 1985	29
Figure 9 : Extrait du schéma simplifié de la classification d'après Ricker (1934) in Whiton B-A., 1975	32
Figure 10 : Règle pente largeur et zonation piscicole de M Huet, 1949	32
Figure 11 : Les différents types de hiérarchisation des réseaux hydrographiques, Le Pape S., 1998.	33
Figure 12 : Fonctions sédimentaires des différentes parties des réseaux hydrographiques selon Schumm in Petts et Amoros, 1993	36
Figure 13 : Evolution longitudinale de la morphologie des vallées, cours d'eau et de la répartition des espèces, Boët P., in Le Fustec E. et al, 2000	37
Figure 14 : relation entre la moyenne des températures, l'amplitude de la fonction harmonique et la latitude pour différents cours d'eau de la côte est des USA, Calow et al. 1992, in Lebreton D., 1995.	39
Figure 15 : Zonation thermique d'un cours d'eau du sud-ouest de l'Angleterre : l'Exe, in Touchart L., 2003, d'après Webb et al., 1996.....	39
Figure 16 : Distribution schématique des communautés faunistiques le long du profil longitudinal d'un fleuve, in Petts et Amoros, 1994, d'après Statzner et Higler, 1986.....	40
Figure 17 : Zonation longitudinale des peuplements de poissons d'Europe Occidentale, in Petts et Amoros, 1993, (adapté d'après Huet 1959 et Arrignon 1976)	40
Figure 18 : Schéma de l'hydrosystème fonctionnel d'après Petts et Amoros, 1993	43
Figure 19 : Cartes comparatives de la représentation du réseau hydrographique du Vioulou par le SGA et de son réseau réel Lambert, 1996.....	45

Figure 20 : Carte des écoulements cartographiés selon les résolutions employées pour le bassin versant de la rivière Etowah, Institut d'écologie de l'Université de Géorgie, in Meyer et al. 2007.....	46
Figure 21 : Carte des hydroécotémoins de premier niveau du bassin versant de la Loire, Wasson et al. 2002.....	50
Figure 22 : Carte des hydroécotémoins de premier niveau de France métropolitaine et Corse d'après Wasson et al., 2002.....	50
Figure 23 : Carte du réseau hydrographique de France métropolitaine classé selon Strahler des rangs 3 à 8, Wasson J-G et al., 2002.....	52
Figure 24 : Distribution des rangs de Strahler sur le bassin de la Loire calculés automatiquement sur BD Carthage par le CEMAGREF de Lyon	52
Figure 25 : Distribution des rangs de Strahler par Hydroécotémoins sur le bassin de la Loire (pourcentages), CEMAGREF de Lyon	53
Figure 26 : Répartition des surfaces des zones hydrographiques par bassin, CEMAGREF de Lyon..	53
Figure 27 : Première carte des têtes de bassin de Loire-Bretagne, in Projet de 9 ^{ème} programme de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne (2007 – 2012), commission géographique Vienne Creuse, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Orléans, 2006	58
Figure 28 : Évolution de l'occupation des sols dans le cadre d'un alvéole de la Montagne limousine, Valadas B., Crouzevialle R., Petit D, 2005.....	64
Figure 29 : Carte actuelle des têtes de bassins versants du territoire de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne du SDAGE, 2007	68
Figure 30 : Carte des principales zones humides du bassin Loire-Bretagne, publiée par Maman L., Vienne L., 2010	74
Figure 31 : Carte des têtes de bassins principales du territoire de l'agence de l'eau Loire-Bretagne..	77
Figure 32 : Carte de la part des eaux souterraines dans les approvisionnements en eau potable des cours d'eau français en 2004	82
Figure 33 : Type d'eau superficielle utilisée pour la production d'eau potable en 2004.....	82
Figure 34 : Prix du mètre cube d'eau potable dans les régions françaises en fonction de sa provenance	83
Figure 35 : L'origine de l'eau potable en Limousin, DRASS Limousin, 2006.....	84
Figure 36 : Évolution longitudinale des teneurs en nitrates dans le ruisseau de la Roche (BV Sélune), Grimaldi C. et al.	88
Figure 37 : Teneurs en nitrate dans et sous le ruisseau de la Roche ainsi que dans les nappes des prairies hydromorphes, pour deux contextes lithologiques Grimaldi C. et al.	89
Figure 38 : Échanges de matières, d'énergie et d'êtres vivants entre les ruisseaux et les rivières principales, Meyer J-L., et al., 2007	91

Figure 39 : Généralisation des évolutions longitudinales de la richesse totale en espèces et du pourcentage des espèces étrangères, Planty, Tabacchi, 1993 in Le Fustec, Lefeuvre J-C. et al, 2000	91
Figure 40 : Localisation des principaux morphotypes de truite identifiés dans le Cantal, Lascaux et al. (ECOGEA), 2004.....	92
Figure 41 : Localisation des principaux morphotypes de truites identifiés dans les Hautes-Pyrénées, Lascaux et al. (ECOGEA) 2004.....	93
Figure 42 : Distribution Européenne de la moule perlière, Geist, 2005, in Bontemps F., 2005	94
Figure 43 : Localisation des truites " <i>macrostigma</i> " corses, Lifemacrostigma.org	94
Figure 44 : Répartition de quelques nayades sur un bassin français, Cochet G., 2004	94
Figure 45 : Répartition des moules perlières sur une station de 28 mètres (ruisseau du Cousin), Bontemps F., 2005	95
Figure 46 : Cycle biologique de la moule perlière, Paris, 1999 in Bontemps F., 2005	96
Figure 47 : Distribution de l'ombre commun en 1900, Persat H., 1988	97
Figure 48 : Analogie entre quatre zonations des cours d'eau basées sur la géomorphologie fluviale, les invertébrés, les poissons et les oiseaux nicheurs (d'après Roche et Frochot, 1993), in Le Fustec E. et al., 2000	98
Figure 49 : Modification longitudinale de la végétation non ligneuse, en fonction de l'augmentation du rang du cours d'eau (la Derwent en Grande Bretagne), d'après Haslam 1978, in Petts et Amoros 1993	98
Figure 50 : Modification longitudinale de la ripisylve en fonction de l'augmentation du rang du cours d'eau (Le Tech en France), d'après Pinay et al., 1990, in Petts et Amoros, 1993.....	98
Figure 51 : Évolution longitudinale des températures de l'émissaire de l'étang de Cieux réalisées le 10 août de 16 à 16 h 45, Savy B., d'après Touchart L., 2003.....	104
Figure 52 : Températures des eaux du Cousin et de ses affluents du 05/05/05 au 06/09/09, Bontemps F., 2006.....	105
Figure 53 : Températures d'un rejet d'eau pluviale urbaine (T eaux de ruiss) et d'un ruisseau à l'amont et à l'aval du rejet, Rossi L., Renata H., 2004.....	106
Figure 54 : Taux de survie des oeufs alevins et truitelles dans le milieu "naturel" Richard A., CSP	108
Figure 55 : Devenir de 500 Oeufs d'une truite de 28 cm, Richard A., CSP	108
Figure 56 : Vue détaillée d'une truite ayant des reins sains à gauche et des reins d'une truite affectée par la MRP à gauche (gonflements, nodules et tâches grisâtres), photos : Pascale Steiner, in Gerster S. et al, 2006.....	109
Figure 57 : État actuel des connaissances sur le cycle de vie de <i>Tetracapsuloides bryosalmonae</i> , SLS Nadler, Künsnacht in Gerster et al., 2006	110
Figure 58 : Carte de la progression du chevesne vers l'amont en Creuse, Touchart L., 2008.....	111

Figure 59 : Les besoins migratoires de poissons, Ovidio M., 2008.....	112
Figure 60 : Mobilité de cinq chabots, mesurée par radiopistage, Ovidio M., 2008	113
Figure 61 : Schéma d'un versant et d'une vallée, du colluvionnement et de l'alluvionnement, Valadas B., 2004	115
Figure 62 : Effet des climats sur la formation des sols, Valadas B., 2004	116
Figure 63 : Le comportement des rivières en période : A interglaciaire,.....	117
Figure 64 : Profils hypsométriques de cinq petits bassins versants du centre-ouest de la France, Giret A., 2006	118
Figure 65 : Valeur des puissances spécifiques pour lesquelles les cours d'eau peuvent renaturaliser leur chenal après une artificialisation, Malavoi J-R., Bravard J-P., 2010.....	119
Figure 66 : Relations entre la taille maximale des éléments granulométriques charriés et la puissance spécifique des cours d'eau, Jacob et al., 2005	120
Figure 67 : Pente moyenne de la vallée des cours d'eau par rang de Strahler et par hydroécocorégion du bassin de la Loire, Souchon Y., et al, 2000.....	120
Figure 68 : Moyennes des débits de plein bord des cours d'eau du bassin de la Loire par hydroécocorégion et par rang, Souchon Y., et al, 2000.....	120
Figure 69 : Moyennes des puissances spécifiques des cours d'eau du bassin de la Loire par rang et hydroécocorégion, Souchon Y., et al, 2000	121
Figure 70 : Seuils de puissance spécifique et relation avec la pente des vallées et les débits de pleins bords pour les cours d'eau de l'hydroécocorégion " Massif Central Granitique Limousin", Souchon Y. et al., 2000.....	121
Figure 71 : Distribution des invertébrés dans un cours d'eau, de l'amont vers l'aval (d'après Vannote et al. 1980), in Petts et Amoros, 1993	122
Figure 72 : Cartes du réseau hydrographique de l'IGN, réel et complété par le réseau de drainage sur le bassin versant de l'Osse, R. Lambert, 1996.....	123
Figure 73 : Plan exemple d'une prairie aménagée avec rigoles ; Peyrat M., 1974.....	125
Figure 74 : Plan exemple d'une prairie où les rigoles ont disparu ; Peyrat M., 1974	126
Figure 75 : Coupe exemple d'écoulement sur une pente avec suppression du collecteur (rigole) ; Peyrat M., 1974	127
Figure 76 : Schéma de 4 types de réseau hydrographiques : Lambert R, 1996	129
Figure 77 : Comparaison des hydrogrammes de crue d'un réseau en pin parasol et d'un réseau en peuplier, Lambert R., 1996	129
Figure 78 : Le bassin versant et le réseau hydrographique de la Bedaine ; N., Lhéritier, 2005	130
Figure 79 : Les débits des principaux affluents de la Bedaine, entre le 28/12/03 et le 13/02/04.....	131

Figure 80 : Hydrogramme de crue d'un petit cours d'eau du massif des Maures dont le bassin versant fut mis à nu par un incendie, Travi Y., et al., 1994	132
Figure 81 : Modification des débits de pointe selon le pourcentage d'urbanisation du bassin versant, Bravard J-P. et Petit F., d'après Hollis 1975 modifié	132
Figure 82 : Effets comparés des précipitations sur des bassins versants imperméabilisés et pourvus de zones humides, présenté par Barnaud G., 2009	133
Figure 83 : Schématisation du bilan hydrologique d'une zone humide, présenté par Barnaud G., 2009	133
Figure 84 : Relations entre les zones humides riveraines, le cours d'eau et le versant, en fonction de leur position le long du réseau hydrographique, Tabacchi et al., 1998	134
Figure 85 : Relation entre une averse orageuse et le débit d'un petit cours d'eau lorsque les zones humides riveraines sont gorgées d'eau d'après Roulet N-G., 1991	134
Figure 86 : Différents régimes hydrologiques de zones humides de l'amont (1) vers l'aval (3), d'après Curie F., et al.	135
Figure 87 : Caractérisation du fonctionnement hydrologique de 3 types de zones humides de l'amont (1) vers l'aval (3) au travers de l'hydropériode, Gaillard S., Bravard J-P., Fustec E. et al.	135
Figure 88 : Gains d'écoulement après la coupe de différents espaces forestiers d'après Bosch et Heweltt	137
Figure 89 : répartition des vitesses d'écoulement dans un plat-courant, Lhéritier N., 2004	140
Figure 90 : répartition des vitesses d'écoulement dans un radier, Lhéritier N., 2004	140
Figure 91 : répartition des vitesses d'écoulement dans une mouille de concavité, Lhéritier N., 2004	140
Figure 92 : Mouvements d'eau à plusieurs échelles entre la surface et la zone hyporhéique, Gayraud et al., 2002	141
Figure 93 : Schématisation des différents transferts d'énergie qui déterminent la température d'un tronçon de rivière, Calow P. et al., 1992 in Le breton D., 1995	143
Figure 94 : Température de l'eau dans le chenal d'un cours d'eau et dans la zone hyporhéique, Crisp D-T., 1990	144
Figure 95 : Coupe thermique de l'émissaire de l'étang de Cieux (Limousin), (mesures réalisées à 800 mètres en aval de la digue le 9 juin 1998 à 15 h), Savy B., Touchart L., 2003	144
Figure 96 : Corrélation entre l'évolution linéaire de l'amplitude thermique et la répartition amont-aval des poissons, d'après Vannote, 1980, modifié par l'apport de Huet, 1949	145
Figure 97 : Dégradation spécifique et apports de sédiments fluviaux (en million de tonnes) à l'océan mondial, Milliman, 1990, in Veyret et Vigneau, 2002	151
Figure 98 : Extrait du travail de cartographie des têtes de bassin européenne de Paricchini et Vogt, 2006	152

Figure 99 : L'extrait cartographique de Paricchini et Vogt, 2006 et les cours d'eau de la BD CCM2 ordonnés selon Strahler	152
Figure 100 : Les terrains d'études : localisation en Limousin et dans le Massif Central.....	154
Figure 102 : Situation du Pays Monts et Barrages dans le bassin de la Loire.....	156
Figure 102 : Situation du Pays Monts et Barrages dans le bassin de la Vienne	156
Figure 103 : Relief du Pays Monts et Barrages.....	157
Figure 104 : Géologie du Pays Monts et Barrages	157
Figure 105 : Cartes des pentes du Pays Monts et Barrages	158
Figure 106 : Altitudes moyennes des sources par masse d'eau sur le Pays Monts et Barrages	159
Figure 107 : Diagramme ombrothermique de Bussy (1998 - 2007) ; P= 4T	160
Figure 108 : Diagrammes ombrothermiques annuels de 1998 à 2007 à Bussy (P=4T).....	160
Figure 109 : Le Pays Monts et Barrages, carte territoriale.....	162
Figure 110 : Évolution des débits spécifiques de la Vienne entre les périodes 1919 - 1945 et 1994 - 2009 d'après Garenc P., 1952 et les données de la Banque Hydro	164
Figure 111 : Les surfaces drainées agricoles dans les bassins versants étudiés par Gravey L. et al., 2006.....	165
Figure 112 : Classes de valeurs de flux des paramètres physicochimiques avant traitement par assainissement dans les bassins versants étudiés par Gravey L., et al, 2006.....	166
Figure 113 : Un exemple de tracé de bassins versants et de cours d'eau à partir d'un MNT, Lhéritier N, 2009.....	174
Figure 114 : Linéaires cartographiés par l'USGS dans la base de données HYDRO1k par rang de Strahler	176
Figure 115 : Carte des cours d'eau de la base de données HYDRO1k de l'USGS	177
Figure 116 : Carte de base de données hydrographiques du JRC.....	178
Figure 117 : Linéaires cartographiés en km par le JRC dans la base de données CCM2 par rang de Strahler	178
Figure 118 : Les couches RASTER "Flow accumulation" et "Compound Topographic Index" de la Base de Données HYDRO 1k, USGS.....	179
Figure 119 : Les stations hydrologiques de l'Unesco utilisées par Giret A. pour la typologie de l'écoulement fluvial, 2007	180
Figure 120 : Méthode du calcul de pente des tronçons de cours d'eau.....	181
Figure 121 : Carte des précipitations annuelles de France métropolitaine	181

Figure 122 : Carte des stations hydrologiques utilisées pour la cartographie des débits spécifiques limousins.....	182
Figure 123 : Maillage de polygones de 1 Km ² pour la sélection de l'environnement riverain des ruisseaux (Pays Monts et Barrages, bassin amont de la Vienne).....	183
Figure 124 : Répartition des différentes classes d'âge de truite commune dans un réseau hydrographique, Richard A., ONEMA	185
Figure 125 : Les 630 stations de pêches électriques des bassins Loire-Bretagne, Adour-Garonne, et Rhône-Méditerranée-Corse utilisées pour cartographier la zone à truite réelle	185
Figure 126: Les 1620 stations de mesures de différents paramètres des cours d'eau du territoire de l'agence de l'eau Loire-Bretagne	186
Figure 127 : Localisation des sondes thermiques utilisées dans le cadre de l'étude des petits hydrosystèmes du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009	188
Figure 128 : Bassins versants des ruisseaux prospectés lors de l'étude des petits hydrosystèmes du Pays Monts et Barrages	191
Figure 129 : Carte des tronçons cartographiés dans le cadre de l'étude des petits hydrosystèmes du Pays Monts et Barrages	192
Figure 130 : Méthodologie de prospection de terrain pour la caractérisation des tronçons de cours d'eau	195
Figure 131 : Carte des données ponctuelles saisies lors des prospections de terrain	210
Figure 132 : Les exploitations et îlots agricoles riverains traversés pendant le diagnostic des ruisseaux du Pays Monts et Barrages	211
Figure 133 : Courbe de préférence de différentes espèces et pour différentes variables, Cemagref, in Cohen, 1998	212
Figure 134 : La méthode des microhabitats du CEMAGREF : principes et protocoles d'application .	214
Figure 135 : Méthode de levé et de calculs topographiques par cheminement d'une station sur un tronçon de cours d'eau	216
Figure 136 : Un exemple de plan-graphique construit à partir de coordonnées rapportées corrigées, Lhéritier N., 2007	217
Figure 137 : Modèle numérique de terrain d'une station étudiée par la méthode des microhabitats (ruisseau d'Artigeas), Lhéritier N., 2007	218
Figure 138 : Valeur habitat sur une station d'étude du ruisseau d'Artigeas pour différents paramètres et différents âges de truites, Lhéritier N., 2007	218
Figure 139 : Relevés de terrain et préférences de diverses espèces vis-à-vis des conditions hydromorphologiques sur le ruisseau de Planchemouton et sur différents transects, Jambon D., Quignard C., Lhéritier N., 2008.....	219
Figure 140 : Valeur habitat sur une station d'étude du ruisseau d'Artigeas pour différents paramètres et différents âges de truites, Lhéritier N., 2007	220

Figure 141 : Relation entre les valeurs habitat et les densités pour chaque espèce d'une station de pêche électrique du ruisseau de Lauzat.....	220
Figure 142 : Localisation des stations de pêches électriques réalisées sur les ruisseaux du Pays Monts et Barrages	222
Figure 143 : Représentation des incubateurs à œufs et alevins de truite utilisés, Martin G., Quignard C., 2007	224
Figure 144 : Protocole de suivi de la survie des œufs et alevins de truite Lhéritier N., 2007	224
Figure 145 : Composition du réseau hydrographique français métropolitain, kilomètres et pourcentages, classé selon Strahler, avec l'outil Strahler Ordering.....	231
Figure 146 : BD Carthage ordonnée selon Strahler	232
Figure 147 : Composition du réseau hydrographique français métropolitain, kilomètres et pourcentages, classé selon Strahler, avec l'outil RIVEX.....	233
Figure 148 : Linéaires cumulés moyens séparant chaque rang de ses sources sur le bassin de la Loire	233
Figure 149 : Cartes et tableaux comparatifs des réseaux hydrographiques de la BD Carthage et de la BD HYDRO1k classés selon Strahler	234
Figure 150 : Relation mathématique du rapport des longueurs inter-rang de la base de données HYDRO1k.....	235
Figure 151 : Linéaires approchés de l'hydrosystème mondial en Kilomètres par rang de Strahler en extrapolant les rapports des longueurs	236
Figure 152 : Linéaires approchés de l'hydrosystème mondial en Kilomètres par rang de Strahler en extrapolant un rapport des longueurs fixe à partir des rangs 5-6 jusqu'aux rangs 1-2.....	237
Figure 153 : Deux cours d'eau n'étant pas cartographiés par l'IGN et ayant servi de validation de la base de données du Syndicat mixte Monts et Barrages	238
Figure 154 : Le réseau hydrographique du Pays Monts et Barrages selon la BD Carthage et supposé réel.....	239
Figure 155 : Linéaires comparés du réseau hydrographique supposé réel tracé automatiquement à l'aide du MNT et du réseau cartographié par la BD Carthage (bassin amont de la Vienne)	240
Figure 156 : Relation entre les linéaires cartographiés du réseau hydrographique interprété depuis un MNT avec le linéaire de la BD Carthage sur le Pays Monts et Barrages (bassin amont de la Vienne)	240
Figure 157 : Composition du réseau hydrographique réel du Pays Monts et Barrages	241
Figure 158 : Carte des densités de drainage des tronçons de rangs 1 et 2 dans les zones hydrographiques de la BD Carthage	244
Figure 159 : Carte de la part des linéaires des rangs 1 et 2 dans les zones hydrographiques de la BD Carthage.....	245

Figure 160 : Carte des régions hydrographiques homogènes de France métropolitaine classées selon Strahler	247
Figure 161 : Carte des systèmes ruisseaux et tributaires de France métropolitaine, ou hiérarchisation de la fonctionnalité des petits hydrosystèmes.....	250
Figure 162 : Cartographies des cours d'eau du Pays Monts et Barrages selon différentes bases de données	251
Figure 163 : Cartographies des zones hydrographiques et des cours d'eau du Pays Monts et Barrages selon différentes bases de données.....	252
Figure 164 : Cartographies des zones hydrographiques, des bassins versants systémiques et des cours d'eau du Pays Monts et Barrages selon différentes bases de données	252
Figure 165 : Carte du réseau hydrographique limousin ordonné selon la classification de Shreve ...	253
Figure 166 : Cartes des régions hydrographiques limousines classées selon Shreve (rangs 1 à 8) .	254
Figure 167 : Carte des zones riveraines des rangs 1 et 2 de France métropolitaine (intersection de polygones de 1 Km par les rangs 1 et 2).....	256
Figure 168 : Cartographie des espaces riverains des rangs 1 et 2 limousins avec 2 bases de données de l'IGN.....	257
Figure 169 : Comparaison entre le zonage de tête de bassin de l'agence de l'eau Loire-Bretagne avec les zones riveraines des rangs 1 et 2 ayant une pente supérieure à 1%	258
Figure 170 : Carte du zonage de tête de bassin de l'AELB superposée au BV des rangs 1 et 2 du Pays Monts et Barrages	259
Figure 171 : Carte des ruisseaux français (rangs 1 et 2) et valeurs de pentes	261
Figure 172 : Carte des ruisseaux français par classe de pente	262
Figure 173 : Surfaces de France métropolitaine occupées par les régions à petits cours d'eau selon les précipitations annuelles et la pente	263
Figure 174 : Carte des régions françaises à petits cours d'eau par classe de pente et de précipitations	264
Figure 175 : Carte des régions du globe à petits cours d'eau, classées selon leur type d'écoulement	267
Figure 176 : Valeurs du « Compound Topographic Index » (CTI) les plus fréquentes dans les régions françaises à petits cours d'eau	268
Figure 177 : Valeurs du Compound Topographic (CTI) Index les plus fréquentes dans les régions françaises à petits cours d'eau par classes de pente.....	269
Figure 178 : Cartographie comparative des régions riveraines des petits cours d'eau français et des valeurs CTI retenues pour l'extrapolation mondiale	270
Figure 179 a, b, c, d e, f : Cartographies des régions du monde à petits cours d'eau par classe de pente.....	271

Figure 180 : Carte des régions du globe à petits cours d'eau, classées selon une typologie croisée de l'écoulement fluvial et de la pente ou selon leur hydro-géomorphologie	277
Figure 181 : Surfaces occupées par les régions à petits cours d'eau du monde selon leur typologie hydrogéomorphologique.....	279
Figure 182 : Carte des débits spécifiques des crues biennales pour les stations hydrologiques limousines.....	282
Figure 183 : Carte des pentes des ruisseaux limousins	283
Figure 184 : Carte des puissances spécifiques des ruisseaux limousins	284
Figure 185 : Carte régionale des puissances spécifiques des ruisseaux limousins	285
Figure 186 : Puissances spécifiques des cours d'eau de Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009	287
Figure 187 : Sinuosité des ruisseaux de Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009.....	292
Figure 188 a, b et c : Variation des largeurs et profondeurs de pleins bords des ruisseaux de Monts et Barrages en fonction de l'anthropisation de leurs tracés, Lhéritier N., 2009.....	294
Figure 189 : Linéaires de ruisseaux anthropisés par rang de Strahler en Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009	295
Figure 190 : Etat morphologique des berges des ruisseaux de Monts et Barrages en fonction de leur structure, Lhéritier N., 2009	295
Figure 191 : La granulométrie des lits des ruisseaux du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009	296
Figure 192 : Morphologie des berges et des lits des ruisseaux de Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009	297
Figure 193 : Fonction des ruisseaux de Monts et Barrages dans le cycle biologique de la truite commune par rang de Strahler, Lhéritier N., 2009	297
Figure 194 : Interprétation pédologique d'une coupe de berge du ruisseau des Fantaisies (BV du Fourchat) , Lhéritier N., 2009.....	298
Figure 195 : Relation entre l'état des berges des ruisseaux de Monts et Barrages et l'occupation des sols riverains, Lhéritier N., 2009.....	299
Figure 196 : Les évolutions de l'occupation des sols et l'apparition des infrastructures du XXe siècle influençant les ruisseaux et les petits bassins versants	304
Figure 197 : Occupation des sols riverains des ruisseaux français	305
Figure 198 : Carte de l'occupation des sols riverains des ruisseaux français.....	306
Figure 199 : Occupation des sols riverains des ruisseaux français par grands bassins versants	307
Figure 200 : Carte de l'occupation des sols du Pays Monts et Barrages et activités demandeuses d'espaces.....	309

Figure 201 : Occupations des sols des masses d'eau du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009	310
Figure 202 : Surfaces cumulées des zones à dominante humide par rang de Strahler sur le bassin de la Vienne, d'après les données de l'EPTB Vienne et de la Région Limousin, Lhéritier N., 2011	310
Figure 203 : Surfaces cumulées de zones à dominante humide par rang de Strahler, d'après les données de l'EPTB Vienne et de la Région Limousin, Lhéritier N., 2009	311
Figure 204 : Les différents types de zones humides des modelés d'alvéole, Lhéritier N., d'après Valadas et Novitski	312
Figure 205 : La complémentarité des versants, haies, ripisylves et ruisseaux dans l'épuration des eaux, Lhéritier N., 2009	313
Figure 206 : Typologie des zones à dominante humide du Pays Monts et Barrages, d'après les données de l'EPTB Vienne et de la Région Limousin, Lhéritier N., 2009	313
Figure 207 : Cartographie de la régression de l'agriculture à "Haute Valeur Naturelle" entre 1970 et 2000, Pointereau, 2010	314
Figure 208 : Pratiques de gestion et de maîtrise de l'eau des zones humides agricoles du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010	316
Figure 209 : Pratiques de gestion et de maîtrise de l'eau des zones humides agricoles du Pays Monts et Barrages par type de zone humide, Lhéritier N., 2010	317
Figure 210 : Evaluation de la conformité des pratiques agricoles avec le bon état des zones humides pour 190 exploitations du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010	319
Figure 211 : L'élevage bovin en France, in Kentzel M.	321
Figure 212 : Fiche synthétique d'une étude de la CATER Basse Normandie sur l'impact de la divagation du bétail sur la qualité de l'eau	322
Figure 213 : Densité de zones piétinées sur les ruisseaux de Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009	326
Figure 214 : Densité de zones piétinées par rang de Strahler sur les ruisseaux de Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009	326
Figure 215 : Contexte biogéographique des ruisseaux de la Violette et du Moulinet, Lefrançois J., 2007	327
Figure 216 : Rapport entre les flux de MES et les débits du ruisseau des Violettes, Lefrançois J., 2007	328
Figure 217 : Carte de l'évolution des surfaces de boisements spontanés de 1983 à 1985.....	330
Figure 218 : Influences des Epiceas sur les largeurs mouillées, DDAF des Vosges, 2007	331
Figure 219 : Nombre d'espèces végétales sur les berges de cours d'eau sous feuillus et sous résineux, DDAF des Vosges, 2007	332
Figure 220 : Nombre de truites pour 50 mètres linéaires de cours d'eau sous feuillus et sous résineux, DDAF des Vosges, 2007	332

Figure 221 : Densités d'obstacles à la migration des poissons sur les ruisseaux de Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009	334
Figure 222 : Fonction des ouvrages gênant la continuité piscicole sur les ruisseaux de Monts et Barrages, Lhéritier N., 2009	335
Figure 223 : Nombre de stations de mesures de la qualité physicochimique et biologique des cours d'eau du territoire de l'AELB par rang de Strahler, sources OSUR WEB, BD Carthage (ordonnée), Lhéritier N., 2009	335
Figure 224 a et b : Moyennes des données brutes de quelques paramètres physicochimiques des cours d'eau du territoire de l'AELB par rang de Strahler, sources OSUR WEB, BD Carthage (ordonnée), Lhéritier N., 2009	336
Figure 225 : Profils longitudinaux de la conductivité dans les ruisseaux du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010, d'après différentes campagnes des L professionnelles "Gestion des ressources en eau"	339
Figure 226 : Profils longitudinaux de quelques paramètres physicochimiques du ruisseau d'Artigeas, Lhéritier N., 2010, d'après différentes campagnes des L professionnelles "Gestion des ressources en eau" (distances en Km)	340
Figure 227 : Série de comparaisons entre les valeurs de paramètres physicochimiques mesurés pour une même période sur les ruisseaux et les rivières principales du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010 d'après les données OSUR WEB et L Pro "Gestion des Ressources en eaux"	342
Figure 228 : Evolution annuelle des valeurs de MES et de DCO dans les rivières du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010 d'après les données OSUR WEB	350
Figure 229 : Domaine thermique des ruisseaux du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010, d'après les données horaires des années 2006 et 2009	351
Figure 230 : Relations entre la température de l'air au sol à proximité de la berge et en condition ombragée avec la température de l'eau du Lauzat en différents points en juin et juillet 2006, Lhéritier N., 2007	352
Figure 231 : Relation entre l'amplitude thermique du ruisseau de Lauzat et l'éloignement aux sources de mars à juillet 2006, Lhéritier N., 2010.....	353
Figure 232 : Amplitudes thermiques mensuelles en différents points du ruisseau de Lauzat durant l'année 2006, Lhéritier N., 2011	353
Figure 233 : Durée moyenne du réchauffement journalier des eaux des rangs 1, 2 et 3 du ruisseau de Lauzat durant l'année 2006, Lhéritier N., 2011	355
Figure 234 : Etude des températures hivernales sur les affluents de la Bedaine, Lhéritier N., 2004 .	357
Figure 235 : Températures de l'eau du Lauzat en différents point au mois d'Avril 2006, Lhéritier N., 2007	358
Figure 236 : Carte des valeurs moyennes de l'Indice Poisson Rivière (IPR) des cours d'eau français entre 2001 et 2008	360

Figure 237 : Carte des valeurs moyennes de l'Indice Poisson Rivière (IPR) des ruisseaux français entre 2001 et 2008	361
Figure 238 : Série de relations entre les densités et la part des truites dans les peuplements piscicoles avec le rang de Strahler ; Lhéritier N., 2009, d'après les données du Réseau Image ONEMA, et de la BD Carthage ordonnée.....	362
Figure 239 : Carte de la part des truites communes dans les peuplements piscicoles des ruisseaux des bassins Loire-Bretagne, RMC et Adour-Garonne en 2000	364
Figure 240 : Carte des densités de truites communes des ruisseaux des bassins Loire-Bretagne, RMC et Adour-Garonne en 2000.....	365
Figure 241 : Densités de truites communes moyennes minimales et maximales en 2000 dans les ruisseaux Français, classés par grands bassins.....	366
Figure 242 : Part des truites en 2000 dans les peuplements piscicoles des ruisseaux Français, classés par grands bassins	367
Figure 243 : Série de relations entre les densités et la part des truites dans les peuplements piscicoles avec l'altitude ; Lhéritier N., 2009, d'après les données du Réseau Image ONEMA, et de la BD Carthage ordonnée.....	368
Figure 244 : Relation entre les densités de truites, l'altitude et les températures de l'eau, Baran P., in Angelier 2000.....	370
Figure 245 : Série de mises en relation entre la part des truites communes dans les peuplements piscicoles, les densités de truites avec l'occupation des sols des zones amont des bassins versants français, d'après les données Corine Land Cover et du Réseau IMAGE de l'ONEMA, Lhéritier N., 2009	371
Figure 246 : Nombre d'espèces de poissons de 35 stations par rang de Strahler Lhéritier N., 2010	375
Figure 247 : Densité de poissons par rang de Strahler dans les cours d'eau du Pays Monts et Barrages, Lhéritier N., 2010	375
Figure 248 : Comparaison de l'occupation des habitats d'un rang 2 (station 4) avec celle d'un rang 4 (station 1) sur le ruisseau de Lauzat, Lhéritier N., 2007	376
Figure 249 : Relation entre les densités de truites communes et différents compartiments du tronçon analysé selon le REH adapté, Lhéritier N., 2010	379
Figure 250 : Densités moyennes d'espèces de la zone à truite par classes REH du lit des ruisseaux, Lhéritier N., 2010	380
Figure 251 : Fréquences des habitats de sous-berge en fonction de l'occupation des sols riverains, Lhéritier N., 2009	380
Figure 252 : Courbes granulométriques des 5 sites où fut évalué le taux de survie embryolaire de la truite commune, Lhéritier N., 2007	382
Figure 253 : Relation entre la part des éléments granulométriques de diamètre inférieur à 0,8mm, les teneurs en oxygène dissous dans la zone hyporhéique et le taux de survie embryo-larvaire de la truite commune, Lhéritier N., 2008	383

Figure 254 : Synthèse ; Un ruisseau fonctionnel, puis dégradé par la divagation du bétail et les aménagement de restauration.....	390
Figure 255 : Vulnérabilité des ruisseaux français face au colmatage en région d'élevage	391
Figure 256 : Carte des bassins versants présentant des risques pour l'exploitation forestière à venir: plantations riveraines et risque de colluvionnement excessif sur les versants	395
Figure 257 : Aléa de colluvionnement excessif sur les versants riverains des ruisseaux français lors d'exploitations forestières	396
Figure 258 : Aléa de colluvionnement excessif sur les versants riverains des ruisseaux français occupés par les cultures.....	398
Figure 259 : Aléa de transfert sédimentaire excessif suite à la création de rigoles de surface en région d'élevage	400
Figure 260 : Synthèse ; un ruisseau fonctionnel, puis une déprise engendrant la création de barrage-embâcles et les travaux de restauration.....	403
Figure 261 : Cartes des Cellules d'Assistance Techniques à la Gestions des Zones Humides du Bassin Adour Garonne, situation en 2009.....	411
Figure 262 : Série de cartes et plan de rigolage fournis à une agricultrice dans le cadre de l'Assistance Technique à la Gestion des Zones Humides du CREN Limousin.....	413
Figure 263 : Exemple d'actions à mener pour la régénération d'une ripisylve adaptée en contexte de sylviculture de production	416
Figure 264 : Synthèse ; un ruisseau fonctionnel, puis une dégradation par la porésence de résineux en berge et travaux de restauration	416
Figure 265 : Synthèse ; un ruisseau fonctionnel, puis une dégradation par plantation de résineux en berge et recalibrage, restauration.....	418
Figure 266 : Probabilité de recalibrage des ruisseaux en contexte de culture avec réversibilité "naturelle" impossible	420
Figure 267 : Priorisation des restaurations de continuité écologiques et sédimentaires	422
Figure 268 : Présentations des résultats en termes de densité et de structure des populations de truites après aménagement, Catroux H, 2008	426
Figure 269 : Méthode de restauration de gravière pour optimiser la reproduction de la truite commune, AAPPMA de Guéret.....	429
Figure 270 : Exemple de travaux de diversification des âges d'une ripisylve homogène, Lhéritier N., 2009.....	431

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Volumes d'eau de chaque élément de l'hydrosphère d'après VEYRET Y. et VIGNEAU J.P.	11
Tableau 2 : Composantes de l'hydrosphère et cycles de renouvellement, in Lambert R., 1996	11
Tableau 3 : Différentes définitions et termes employés par les dictionnaires et institutions	16
Tableau 4 : Proposition d'une hiérarchie hydrographique pour préciser le vocabulaire relatif au mot « cours d'eau » – Roger Lambert 1996	34
Tableau 5 : Zonations d'Illies et de Botosaneanu, et de Huet, et ordre de drainage sur un bassin versant (d'après J.Illies et L. Botosaneanu, 1963) in Angelier E., 2000.....	38
Tableau 6 : Typologie ichtyologique de Verneaux, 1978 in Lascaux et al. 2004	41
Tableau 7 : Comparaison de quelques propositions de zonations piscicoles in Petts et Amoros 1993 (adaptés d'après Holcik et al., 1989)	42
Tableau 8 : Variables environnementales nécessaires au calcul de l'Indice Poisson Rivière (IPR), ONEMA, 2006.....	42
Tableau 9 : Correspondance des districts DCE et des territoires couverts par les agences de l'eau ..	49
Tableau 10 : Linéaires et proportions des arcs non codifiés dans les différentes agences de l'eau, Wasson J-G et al., 2002	51
Tableau 11 : Proposition de classes de tailles pour les cours d'eau en fonction des rangs de Strahler actuellement disponibles et des surfaces de bassins versants, CEMAGREF de Lyon	54
Tableau 12 : Typologie des cours d'eau de France métropolitaine et de Corse issu du travail du CEMAGREF de Lyon, in Malavoi J-R, Bravard J-P, 2010	55
Tableau 13 : Évolution de la prise en compte des petits cours d'eau et petites zones humides dans le cadre des études et orientations des programmes de mesures et du SGAGE du bassin Loire-Bretagne de 2001 à 2009.....	69
Tableau 14 : Prise en compte des têtes de bassin versant dans les objectifs, orientations et dispositions du SDAGE Loire-Bretagne 2010-2015.....	73
Tableau 15 : Surface et part des zones humides du bassin Loire-Bretagne hors et en zonage de tête de bassin, d'après Mazagnol P-O., Porteret J., Etlicher B., Martin R., Thyriot C., 2008.....	74
Tableau 16 : Volumes d'eau journaliers consommés par les bovins en litres d'après les données de labuvette.fr	86
Tableau 17 : Évaluation des volumes d'eau et financiers (VF en €) que représente l'abreuvement des troupeaux en plein air et en été, d'après Mokrani A., 2009 ; Monginoul M., 2002, Coutellier A., 2005.87	
Tableau 18 : Proposition de classes de puissances spécifiques vis à vis de l'érodabilité des berges, et du potentiel d'apport solide par les cours d'eau de Malavoi J-R., 2007	120

Tableau 19 : Les densités de drainage dans les différentes HER du bassin de la Loire.....	128
Tableau 20 : Impact des différents types d'espaces forestiers sur la qualité, la quantité d'eau et sur les milieux aquatiques, Andreassian V. et al., 2000	136
Tableau 21 : Evapotranspiration de quelques essences d'arbres d'après Riou-Nivert P., 2005	137
Tableau 22 : Évaluation du coefficient de rugosité de Manning, Bravard J-P., Petit F., 2000.....	139
Tableau 23 : Nombre de faciès par tronçons et indice de Shannon traduisant la fréquence dans la succession des faciès d'écoulement, Y. Souchon et al., 2000	142
Tableau 24 : Tableau des opérations géomatiques réalisées.....	169
Tableau 25 : Importance relative (en %) des classes d'âge 0+ et 1+ dans les populations de truites communes dans les cours d'eau de France continentale, Baglinière et Maisse	184
Tableau 26 : Caractéristiques des thermomètres utilisés en fonction des types de recherche et des terrains.....	187
Tableau 27 : Exemple d'une grille de détermination visuelle des unités morphodynamiques.....	194
Tableau 28 : Descriptif de la base de données « tronçons » utilisée dans le cadre de l'étude des petits hydrosystèmes de Monts et Barrages	196
Tableau 29 : Principe de l'évaluation de la qualité des habitats d'un tronçon selon la méthode du Réseau d'Évaluation des Habitats (REH) du Conseil Supérieur de la Pêche.....	199
Tableau 30 : Tableau descriptif de l'adaptation du REH du Conseil Supérieur de la Pêche aux ruisseaux	200
Tableau 31 : Descriptif des bases de données ponctuelles remplies lors des prospections de terrain	209
Tableau 32 : Équivalence entre les ordinations de la BD Carthage et de la BD HYDRO1k, Rapports des longueurs entre les rangs de la BD HYDRO1k	235
Tableau 33 : Équivalence entre les ordinations de la BD Carthage et de la BD HYDRO1k, rapports des longueurs entre les rangs de la BD HYDRO1k extrapolés selon la relation polynomiale.....	235
Tableau 34 : Équivalence entre les ordinations de la BD Carthage et de la BD HYDRO1k, rapports des longueurs fixes entre les rangs de la BD HYDRO1k.....	237
Tableau 35 : Surfaces des bassins versants de Monts et Barrages par rang de Strahler.....	241
Tableau 36 : Hiérarchisation des têtes de bassins vis à vis de l'enjeu ressource en eau et hydromorphologique	249
Tableau 37 : Surfaces et proportions des régions à petits cours d'eau du monde par classes de pente	278
Tableau 38 a et b : Rapports largeurs / profondeurs de pleins bords des ruisseaux de Monts et Barrages	293

Tableau 39 : Comparaison de quelques flux de MES des ruisseaux et petites rivières bretonnes et limousines, Lhéritier N., 2011	338
Tableau 40 : Tableau d'analyse des peuplements piscicoles des ruisseaux de Monts et barrages par des critères thermiques des eaux.	377
Tableau 41 : Coûts des passerelles en fonction du rang du cours d'eau à aménager, SMMB, 2010	390
Tableau 42 : Coûts de l'aménagement des pâtures pour un abreuvement conforme avec le bon état des ruisseaux.....	392
Tableau 43 : Coûts de restauration des zones humides en contexte de déprise	410
Tableau 44 : Coûts d'une reconversion de la ripisylve en contexte humide et de sylviculture de production	417
Tableau 45 : Coûts de reconnexion d'une zone hmide et d'un cours d'eau en contexte forestier	418
Tableau 46 : Coûts de la restauration par recharge en granulats et renaturation en contexte agricole de plaine remembrée, Bramard M.....	421
Tableau 47 : Coûts de la restauration de la continuité piscicole en ruisseaux	423
Tableau 48 : Coûts des travaux d'optimisation des habitats de la truite commune Catroux H., 2008	427

TABLE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie 1 : La rue des Cloîtres et ses caniveaux ; www.mairie-eymoutiers.fr	15
Photographie 2 : Un ru dans le massif du Carlit (Pyrénées orientales), Lhéritier N.....	15
Photographie 3 : Un ru ou ruisseau temporaire, affluent de la Dranse d'Abondance (Haute-Savoie), Lhéritier N.	19
Photographie 4 : Jean-Jacques Élisée Reclus, écrivain et géographe	21
Photographie 5 : Les ruisseaux de prairie insignifiants et isolés réservent au pêcheur, souvent, de grandes surprises, Stochl, S., 1970, cliché de l'auteur	24
Photographie 6 : Une lève sur le bassin versant du ruisseau de Lauzat (Beaumont-du-Lac, 87), Lhéritier N., 2007	25
Photographie 7 : Un paysan traçant une rigole au taille-pré, Louradour S., 1994, clichés de l'auteur .	27
Photographie 8 : Guide technique pour la préservation des ruisseaux issus du programme LIFE porté par le PNR du Morvan	59
Photographie 9 : Meyer J-L, et al., Where rivers are born : The Scientific Imperative for Defending Small Streams and Wetlands, 2007.	62
Photographie 10 : Un captage d'eau potable en tête de bassin du ruisseau de la Prairie (87)	83
Photographie 11 : Couverture de l'ouvrage de Libor J., Haigh M-J, Prasad H., 2005 sur la gestion durable des ressources des têtes de bassin en Afrique et en Inde	100
Photographie 12 : Deux photographies de la Bedaine au niveau de la prise d'eau de la microcentrale en été 2003 et en février 2004.....	131
Photographie 13 : Thermomètre enregistreur Tiny Tag et thermomètre manuel.....	188
Photographie 14 : Seuils-racines et dégradations engendrées sur le ruisseau de la Prairie : modification de la ligne d'eau, ensablement et rupture de la continuité, Lhéritier N., 2009.....	204
Photographie 15 : Levade sur le ruisseau des Vergnas : modification de la ligne d'eau, Lhéritier N., 2009.....	205
Photographie 16 : Embâcles et chablis sur le ruisseau d'Alesmes, Lhéritier N., 2009.....	205
Photographie 17 : Rang 1 géré en rigole faite au taille-pré sur sol sablo-graveleux, et potentiel de recharge en granulats sur le ruisseau d'Alesmes, Lhéritier N., 2009.....	206
Photographie 18 a et b : Rang 1 géré en rigole faite à la rigoleuse sur sol argileux sur le ruisseau de la Prairie ; Lhéritier N., 2009.....	207
Photographie 19 : Pêche électrique sur un rang 2 du ruisseau des Fantaisies, Lhéritier N., 2007	221
Photographie 20 : Pêche électrique dans les gorges du Courtiaux, Lhéritier N., 2008	221
Photographie 21 : Mise en place d'incubateurs à œufs de truite sur le ruisseau de Courtiaux, Quignard C., 2007	223

Photographie 22 : Cascade, embâcle et rapides sur les ruisseaux du Cayrou et de la Bedaine (19 – 15).....	286
Photographie 23 : Les apports d'un rang 2 au rang 3 du ruisseau d'Artigeas après une crue morphogène.....	287
Photographie 24 : A gauche : chenal de crue du ruisseau de Planchemouton ; à droite ruisseau de Planchemouton endigué.....	288
Photographie 25 : Succession d'érosions de berges actives sur le ruisseau de Bégogne, Lhéritier N., 2009.....	289
Photographie 26 : Ancien chenal artificiel du ruisseau de Bégogne, Lhéritier N., 2009.....	290
Photographie 27 : A Gauche : Un bras du ruisseau de Planchesuge s'écoulant dans une « lève » ; à droite, le ruisseau retrouve peu à peu dans son lit naturel, Lhéritier N., 2009.....	290
Photographie 28 : Végétation aquatique ancrée et diversifiant l'écoulement sur un tronçon sableux du Mazet, Lhéritier N., 2009.....	291
Photographie 29 : Un tronçon très sinueux sur le ruisseau d'Alesmes, Lhéritier N., 2009.....	291
Photographie 30 : Ruisseau s'écoulant dans une prairie paratourbeuse ; clichés N. Lhéritier, 2009.....	300
Photographie 31 : Berges limoneuses des ruisseaux de Ligonat et de Bégogne ; clichés : N.Lhéritier, 2009.....	300
Photographie 32 : Érosions sur un affluent du ruisseau du Mazet ; clichés : N. Lhéritier, 2009.....	301
Photographie 33 : Berges graveleuses d'une rigole ou rang 1 affluent du ruisseau d'Alesmes ; clichés : N. Lhéritier, 2009.....	302
Photographies 34a et b : Érosions de berges limono-sableuse sur le ruisseau de Planchesuge ; clichés : N. Lhéritier, 2009.....	303
Photographie 35 : Un affluent de la Têt (Pyrénées-Orientales), Lhéritier N.	308
Photographie 36 : Podzines et lac Nino (Corse), Lhéritier N.	308
Photographie 37 : Un ruisseau naissant d'une tourbière du plateau de Millevaches, vue aérienne, Hennequin, E., 2011.....	311
Photographie 38 : Une prairie humide en 2000, Chambre d'Agriculture de la Haute-Vienne.....	318
Photographies 39 : La même zone humide que précédemment en 2009, extension du jonc diffus et apparition du poivre d'eau.....	318
Photographie 40 : Les dégradations morphologiques générées par la divagation du bétail dans les ruisseaux : Berges en cours de recul et destruction des sous berges sur le ruisseau de la Prairie avec mottes témoins et émission de MES, Lhéritier N., 2009.....	324
Photographie 41 : Zones piétinées sur le ruisseau de Bégogne, Lhéritier N., 2009.....	325
Photographie 42 : Vaches urinant dans les ruisseaux (un constat fréquent) Lhéritier N., 2009.....	325

Photographie 43 : Enfouissement du lit d'un cours d'eau recalibré préalablement à une plantation, Lhéritier N., 2009	333
Photographie 44 : Prise d'eau dans une rigole pour abreuvoir gravitaire (drain coudé, tuyau et crépine), in De Vos L., Petitfrère P, 2008	387
Photographie 45 : Passage à gué bétonné concentrant les déjections vers le cours d'eau et passage à gué réalisé avec des matériaux prélevés sur place, SMMB, CREN Limousin, 2009.....	387
Photographie 46 : Une passerelle en bois en construction sur un ruisseau, CREN Limousin 2010 ..	388
Photographie 47 : Demi-tube PEHD pour bétail et engins Cliché François Bontemps, « Bocage Mayennais »	389
Photographie 48 : Coupe rase suivie de travaux de replantation sur un versant de la commune de Lestards (19), Lhéritier N., 2009.....	393
Photographie 49 : Coupe rase sur un versant et une zone riveraine de la commune de Sauviat sur Vige (87)	394
Photographie 50 : Rills et rigoles créées par le ruissellement concentré suite à une coupe rase suivie de travaux de replantation sur un versant de la commune de Lestards (19), Lhéritier N., 2009	394
Photographie 51 : Conseils sur le terrain lors de la création de rigoles de surface et dans le cadre de l'Assistance Technique à la Gestion des Zones Humides, CREN Limousin.....	399
Photographies 52 a et b : Fosse récoltant les sédiments fins en provenance d'une rigole, Lhéritier N., 2010	401
Photographie 53 : Evolution morphologique du ruisseau de la Prairie après l'enlèvement d'un embâcle, Lhéritier N., 2010	405
Photographie 54 : Dépressage en ripisylve réalisé par le chantier d'insertion « Monts et Barrages Environnement », Syndicat mixte Monts et Barrages (SMMB), 2011	406
Photographie 55 : Dépressage en ripisylve et pose d'un déflecteur rustique réalisés par le chantier d'insertion « Monts et Barrages Environnement », SMMB, 2011	407
Photographies 56 a, b, c, d : Clôture fixes et mobiles, broyage de restauration bûcheronnage et débardage léger, CREN Limousin.....	409
Photographie 57 : Effet du pâturage ovin sur l'abaissement des touradons de Molinie, et vache appréciant les carex CREN Limousin.....	410
Photographies 58 : Situation avant, et après travaux de recharge en granulats, Bramard M., 2008 .	419
Photographie 59 : Aménagement et contournement d'obstacles à la migration piscicole, Life Ruisseaux de Tête de Bassin, 2008.....	423
Photographies 60, a et b: Restauration de rigoles et mise en défens, Adalbert M., 2010	424
Photographies 61 : Agrion de Mercure, Société Limousine d'Odonatologie.....	424
Photographie 62 : Diversifications d'écoulements pour l'optimisation de la reproduction de la truite commune, par épis, Catroux H, 2008.....	425

Photographie 63 : Optimisation des habitats pour la truite adulte, Catroux H, 2008	425
Photographie 64 : Création de "sous berge", Catroux H, 2008.....	426
Photographie 65 : Restauration de frayères à truite dans des affluents de l'Escault, Jourdan S., 2008	428

TABLE DES MATIERES

Introduction générale :	3
PARTIE 1 : Histoire des ruisseaux et devenir de la « tête de bassin » ; perceptions, enjeux sociétaux et éléments de définition	10
1. Les ruisseaux, la partie des hydrosystèmes encore non « reconnue »	14
1.1. Ruisseaux, sociétés et territoires.....	14
1.1.1. Les définitions et perceptions héritées	14
1.1.2. Élisée Reclus : « Histoire d'un ruisseau »	17
1.1.3. Sources, ruisseaux paganisme et paysannerie.....	23
1.2. Les ruisseaux dans une science sélective	28
1.2.1. Les ruisseaux et les scientifiques de la première partie du XXe siècle.....	30
1.2.2. Les ruisseaux dans les classifications hydrographiques.....	33
1.2.3. Les ruisseaux dans les régionalisations hydrobiologiques récentes.....	36
1.3. Les ruisseaux victimes d'une sous-représentation cartographique	44
1.3.1. Prise en compte des ruisseaux dans les référentiels cartographiques	44
1.3.2. Les ruisseaux : la limite dans la définition réglementaire des cours d'eau	46
1.3.3. Prise en compte des ruisseaux dans la mise en place de la Directive Cadre Européenne sur l'eau.....	49
1.4. La notion de territoire hydrographique et de « tête de bassin »	57
1.4.1. Les programmes précurseurs et les « manifestes » pour la préservation et la restauration des têtes de bassins	59
1.4.2. Les définitions des « têtes de bassin ».....	62
1.4.3. La retranscription administrative dans les programmes de mesures des SDAGE ...	68
2. Enjeux et risques des petits cours d'eau et des régions à l'amont des bassins versants.....	80
2.1. Enjeux des ruisseaux et zones humides de tête de bassin pour les sociétés : la ressource en eau 81	
2.1.1. La ressource en eau potable par captages de sources pour les sociétés occidentales, un enjeu évident ?	81
2.1.2. L'eau des ruisseaux et l'agriculture des têtes de bassin	85
2.1.3. Enjeux et rôle des petites zones humides et des ruisseaux pour la qualité de l'eau : la dénitrification.....	88
2.2. Enjeux environnementaux	90
2.2.1. Biodiversité aquatique	91
2.2.2. La tête de bassin écologique : Biodiversité végétale et animale en zone humide et corridors 98	
2.3. Risques et sociétés en tête de bassin	99
2.3.1. Le risque hydrologique et hydromorphologique lié aux crues et étiages	99
2.3.2. Les risques liés aux érosions anthropiques des sols des versants.....	100
2.3.3. Le risque thermique et les interactions avec la qualité de l'eau	102

2.4.	Les risques pour les ressources piscicoles	107
2.4.1.	Le risque hydromorphologique pour la faune piscicole	107
2.4.2.	Le risque thermique pour la faune piscicole	108
2.4.3.	Les risques écologiques liés aux cloisonnements de populations et ruptures du cycle écologique des espèces	111
3.	État des connaissances sur les éléments propres aux ruisseaux et petites zones humides des têtes de bassin tempérées	115
3.1.	Hydro-géomorphologie des petits bassins versants et petits cours d'eau	115
3.1.1.	Du colluvionnement à l'alluvionnement : l'importance des climats et paléoclimats sur les processus de versant	115
3.1.2.	Dynamique hydromorphologique actuelle des hydrosystèmes	119
3.1.3.	L'homme architecte des petits réseaux hydrographiques	123
3.2.	Relations entre les petits cours d'eau et leur environnement	127
3.2.1.	Transferts hydrologiques actuels dans les bassins versants	129
3.2.2.	Échanges hydrologiques entre les ruisseaux et les zones humides	133
3.2.3.	Relations hydrologiques entre la forêt et les ruisseaux	136
3.3.	Processus internes et particuliers des petits cours d'eau	139
3.3.1.	L'hydromorphologie des petits cours d'eau : des échanges eau - sol privilégiés ...	139
3.3.2.	Les échanges thermiques : l'affrontement entre températures des nappes et de l'atmosphère	143
	Conclusion de la partie 1 :	146
	PARTIE 2 : Méthodologie géomatique et de terrain pour la cartographie et la caractérisation des régions de tête de bassin	148
	Introduction de la partie 2 :	149
1.	Présentation des échelles d'étude et de recherche	151
1.1.	Les raisons d'une cartographie à l'échelle mondiale et européenne	151
1.2.	L'échelle nationale, l'approche géosystémique et l'échantillonnage hydro- géomorphologique des têtes de bassins	153
1.3.	Etude de la tête de bassin en tant que géosystème à l'échelle locale, l'exemple du Pays Monts et Barrages en Limousin	154
1.3.1.	Le Limousin et plus particulièrement les ruisseaux des bassins Vienne et Dordogne 154	
1.3.2.	Le bassin amont de la Vienne et le Pays Monts et Barrages territoire de tête de bassin par excellence	155
1.3.3.	Un territoire de tête de bassin fortement influencé par les activités humaines	161
2.	Méthodes géomatiques pour la quantification linéaire et surfacique des têtes de bassin, la typologie hydromorphologique et les relations biogéographiques	168
2.1.	Cartographie des ruisseaux : ordination des bases de données existantes	172
2.1.1.	Travail à partir des bases de données de l'IGN : BD Carthage et TOPO	172
2.1.2.	Construction d'une base de données à partir d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) à l'échelle locale	173

2.1.3.	Exploitation des données de l'USGS et du JRC aux échelles mondiale et européenne.....	176
2.2.	Caractérisation hydromorphologique des ruisseaux	179
2.2.1.	À l'échelle mondiale : « Géographie de l'écoulement fluvial » et indice topographique d'humidité.....	179
2.2.2.	À l'échelle de la France : Précipitations et pente des cours d'eau	181
2.2.3.	À l'échelle régionale et locale : cartographie de la puissance spécifique	182
2.3.	Méthode de caractérisation et d'étude de la qualité physique, thermique, physicochimique et écologique des ruisseaux du bassin de la Loire.....	183
2.3.1.	Croisements géomatiques pour la cartographie de l'environnement riverain des ruisseaux.....	183
2.3.2.	Relations statistiques entre la truite commune, bio-indicatrice de la qualité thermique et hydromorphologique des ruisseaux et l'occupation des sols en tête de bassin.....	184
2.3.3.	Etude amont-aval de la qualité physicochimique des eaux des ruisseaux du bassin de la Loire et du Pays Monts et Barrages	186
2.3.4.	L'étude des températures des cours d'eau limousins	186
3.	Application de méthodes descriptives de terrain aux petits cours d'eau : adaptation, validation, extrapolation	190
3.1.	Acquisitions de données au fil de l'eau et adaptation de la méthode du Réseau d'Évaluation des Habitats	191
3.1.1.	Les linéaires parcourus	191
3.1.2.	Méthodes de cartographie descriptive sur le terrain	193
3.1.3.	Contenu de la base de données « tronçons ».....	196
3.1.4.	Adaptation de la méthode descriptive REH Conseil Supérieur de la Pêche.....	198
3.1.5.	Analyse des gestions de cours d'eau par exploitation agricole.....	211
3.2.	Les bio-indicateurs piscicoles de grande échelle et l'indice de conformité de la zone à truite	212
3.2.1.	La méthode des microhabitats du CEMAGREF : échelle de la station.....	212
3.2.2.	Les pêches électriques à l'échelle locale (Pays Monts et Barrages).	222
3.2.3.	La survie embryolaire de la truite commune	223
<p style="text-align: center;">PARTIE 3 : Les petits cours d'eau de l'hydrosystème mondial au Limousin : un changement d'échelle nécessaire à la détermination de la qualité et à une meilleure gestion des têtes de bassin</p>		
1.	Une nouvelle conception cartographique des têtes de bassin du globe	230
1.1.	Les linéaires de petits cours d'eau	231
1.1.1.	L'ordination de la BD Carthage	231
1.1.2.	L'ordination de la Base de Données HYDRO1k de l'USGS.....	234
1.1.3.	Ordination d'une Base de Données hydrographique locale construite à partir d'un MNT 50 mètres et évaluation des carences de la BD Carthage : Exemple d'un territoire du bassin amont de la Vienne : le Pays Monts et Barrages	238
1.2.	Cartographie des zones à petits cours d'eau et des régions de « têtes de bassin ».....	242

1.2.1.	Densités de drainage et proportions linéaires des petits cours d'eau par zone hydrographique de la BD Carthage	242
1.2.2.	Cartographie surfacique de la tête de bassin à partir du linéaire de ruisseaux de la BD Carthage	246
1.2.3.	Discussion sur les méthodes de définition cartographiques de la tête de bassin ...	251
2.	Typologie Hydromorphologique des régions à petits cours d'eau : croisement de données hydrologiques et topographiques	260
2.1.	La pente, base du classement hydromorphologique des régions à petits cours d'eau	260
2.2.	Classement des régions à petits cours d'eau selon leur contribution à l'hydrosystème mondial	266
2.3.	Régionalisation hydromorphologique des ruisseaux limousins.....	282
2.4.	Morphométrie et morphologie des berges et des lits et relations avec la nature des sols riverains	292
3.	Biogéographie de l'environnement des têtes de bassin françaises et interaction avec les sociétés.....	304
3.1.	L'occupation des sols en tête de bassin, une majorité de terres arables.....	305
3.2.	L'omniprésence des zones humides	310
3.3.	Les ruisseaux en contexte agricole	314
3.3.1.	L'agriculture moderne et la contrainte de l'hydromorphie	315
3.3.2.	L'élevage bovin et l'eau	321
3.3.3.	Les matières en suspension provenant des érosions	327
3.4.	Les ruisseaux forestiers.....	329
3.5.	Continuités écologiques et sédimentaires	333
4.	Qualité de l'eau en tête de bassin	335
4.1.	Profils physicochimiques des ruisseaux	335
4.1.1.	À l'échelle du bassin de la Loire	335
4.1.2.	À l'échelle des ruisseaux du Pays Monts et Barrages	338
4.2.	Comparaisons entre la qualité de l'eau des rivières et des ruisseaux du Pays Monts et Barrages	341
4.3.	Fonctionnement thermique des ruisseaux limousins	351
5.	État Écologique des têtes de bassin	360
5.1.	État écologique de la zone à truite française : l'importance de l'altitude et de l'environnement riverain des ruisseaux	361
5.1.1.	Les ruisseaux français : zone à truite théorique et disparités régionales.....	362
5.1.2.	L'importance de l'altitude dans la délimitation de la zone à truite réelle	368
5.1.3.	L'importance de la part des environnements semi-naturels de la zone à truite.....	371
5.2.	État de la zone à truite du Pays Monts et Barrages.....	375
5.2.1.	Relation entre la température de l'eau et les peuplements piscicoles des ruisseaux en Pays Monts et Barrages	376

5.2.2.	Relation entre la qualité morphologique des cours d'eau, leur environnement riverain et les peuplements piscicoles	378
5.2.3.	Effet du colmatage sur la survie embryolaire de la truite commune dans les ruisseaux du Pays Monts et Barrages	381
6.	Gestion des ruisseaux et zones humides et approche du risque environnemental en tête de bassin	384
6.1.	Les actions préventives et d'aménagement de protection	385
6.1.1.	La gestion des zones humides et des ruisseaux en contexte d'élevage bovin : limitation des dégradations morphologiques des berges et du lit	385
6.1.2.	Prévention du risque de colluvionnement excessif en contexte de sylviculture de production	393
6.1.3.	Prévention du risque de colluvionnement excessif en contexte de culture et drainage superficiel des prés de fond en contexte d'élevage	397
6.2.	Les actions de forçage hydromorphologique et d'optimisations hydro-écologiques	402
6.2.1.	La gestion de la ripisylve en tête de bassin pour la régulation thermique, la lumino-production et la diversification hydromorphologique	402
6.2.2.	Optimisation des fonctionnalités hydroécologiques des zones humides en contexte de déprise	408
6.2.3.	Réintégration maîtrisée des zones humides dans le tissu économique local, gestion conservatoire et assistance technique à la gestion	410
6.3.	Les renaturations, reconnections écologiques et hydrologiques et optimisations de la productivité biologique	415
6.3.1.	Renaturation suite à plantation d'espaces riverains des cours d'eau puis abandon	415
6.3.2.	Renaturation en contexte de territoire agricole de plaine remembré	419
6.3.3.	Reconnexion longitudinale des continuités écologique et hydrologique	422
6.3.4.	Optimisations des productions biologiques par extension du réseau hydrographique et des habitats d'espèces	424
	Conclusion générale	432

Mots clés : «tête de bassin », bassin versant, ruisseaux, zones humides, érosion, sédimentation excessive, sociétés, cartographie, températures, élevage, forêts, hydromorphologie, qualité de l'eau, truite commune

Résumé :

Récemment, l'apparition de la notion de « tête de bassin » montre la volonté de territorialisation de la gestion de l'eau et la prise en compte des régions aux réseaux hydrographiques denses. Dans la bibliographie, ces territoires sont composés des bassins versants de rang 0 et 1, marqués par des restructurations sociales et des « fronts écologiques ». La diversité des petits cours d'eau et zones humides qui s'y trouvent entraîne des définitions scientifiques et surtout écologiques difficilement transposables. Pourtant, les gestionnaires et pouvoirs publics s'efforcent d'en donner une définition cartographique dont dépend la planification d'actions en leur faveur. En effet, les restructurations territoriales ne sont pas sans impacts. La production sédimentaire « naturelle » de la tête de bassin est amplifiée par les activités humaines. Des enjeux forts pour les populations de ces régions sont identifiés, ils seront réellement perçus lorsque l'étendue des têtes de bassins sera connue. Nos principaux résultats de recherche ont été d'effectuer les premiers pas vers la cartographie des petits cours d'eau et des surfaces de têtes de bassin par grand type hydro-géomorphologique à l'échelle mondiale. Nous avons proposé des cartographies des têtes de bassin françaises. Ces cartes constituent un préalable à l'analyse de leur qualité environnementale, ichtyologique, et de la qualité de leurs eaux, en particulier du bassin de la Loire. Nous avons caractérisé les ruisseaux limousins, et plus particulièrement ceux du Pays Monts et Barrages dans le bassin amont de la Vienne d'un point de vue hydromorphologique et hydroécologique en lien avec les activités humaines.

Key words: « headwater basin », water basin, small streams, wetland, erosion, extreme sedimentation, societies, mapping, temperatures, animal husbandry, forests, hydromorphology, quality of water, common trout

Summary

Recently, the appearance of « headwater basin » notion shows the willing of territorial water management, and notably taking care of region that have dense hydrographic network. In bibliography, those territories are composed of 0 and 1 range basins, marked by social restructurings and "éco-frontier". The diversity of the small streams and wetlands generate scientific and ecologic definitions hardly transposable. However, the administrators and public authorities try to give a cartographic definition which depends actions of preservation and restoration. Territorial restructurings are not without impacts. The "natural" sedimentary production in the headwater basin is increased by the human activities. Strong stakes for the populations of these regions are identified; they will be perceptible only when we will know the sprawling of the headwater basin territories. Our main research results did the first steps towards the mapping of small streams linear and headwater surfaces by hydro-geomorphologic types for world. We offered mappings of the french headwater. Those maps were a prior to an analysis of their environmental quality, particularly for Loire basin. We have characterized streams of Limousin, particularly streams of the "Pays Monts et Barrages" according to hydromorphological and hydroecological particularity linked to human activities.