

**Rapport de stage
M2 Espace et Milieux
Rémi Nguyen Van**

**Les altérations physiques en têtes de bassin
versant sur les régions Bretagne-Pays de la
Loire**

A la recherche d' « aqua incognita »

© Nguyen Van, 2012

**Du 19 Mars 2012 au 17 septembre 2012
A la Délégation Interrégionale (Bretagne - Pays de la Loire) de l'ONEMA**

**Sous la direction de :
Mikaël Le bihan, tuteur à la Délégation Interrégionale de l'ONEMA
Marc Guérin, tuteur pour l'université Paris VII, IRSTEA**

**Relecteurs : Mikaël Le bihan, Marc Guérin,
Pauline Choucard**



« Dans nos pays de l'Europe civilisée où l'homme intervient partout pour modifier la nature à son gré, le petit cours d'eau cesse d'être libre et devient la chose de ses riverains. Ils l'utilisent à leur guise, soit pour en arroser leurs terres, soit pour moudre leur blé ; mais souvent aussi, ils ne savent point l'employer utilement ; ils l'emprisonnent entre des murailles mal construites que le courant démolit ; ils en dérivent les eaux vers des bas-fonds où elles séjournent en flaques pestilentielles ; ils l'emplissent d'ordures qui devraient servir d'engrais à leurs champs ; ils transforment le gai ruisseau en un immonde égout. »

Histoire d'un ruisseau, Elisée Reclus, 1869

REMERCIEMENTS

En premier lieu, la personne à qui je veux dédier ces remerciements, c'est à mon maître de stage Mikaël Le Bihan, pour m'avoir choisi en tant que stagiaire mais surtout pour l'énergie, la motivation et la disponibilité qu'il a fournies au cours de ces 6 derniers mois. Son soutien indéfectible a été pour moi à la fois une source d'inspiration et d'épanouissement.

Je tiens également à remercier ceux qui m'ont toujours soutenu en commençant par ma famille qui a fait tout ce qu'elle a pu pour m'aider dans ma tâche. Le soutien que mes amis ont pu me procurer a aussi été un élément primordial lors de cette période intense.

L'équipe de la DIR2, mérite aussi ma gratitude pour l'accueil qu'ils ont pu m'offrir lors de mon arrivée et durant tout le déroulement de mon stage. L'ambiance familiale, les repas pris ensemble et les pauses autour d'une tasse de café m'ont permis de décompresser et d'apprécier cet été studieux. Sur le terrain, l'accueil des services départementaux a aussi été chaleureux, je leur en suis reconnaissant.

Outre ces personnes, je voudrais également remercier mes compagnons de promotion, notre expérience en commun cette année a été particulièrement instructive et appréciable. Je remercie encore les deux directeurs du master Espace et Milieux pour leur patience et leur compréhension.

Enfin je remercie mes relecteurs, Pauline Choucard, Marc Guérin, Mikaël Le Bihan pour leurs conseils avisés et leur attention.

Un dernier remerciement spécial à mon collègue Josselin dont les conseils m'ont permis d'améliorer mes travaux aussi bien en terme de méthode que de finalité.

PRESENTATION DE LA STRUCTURE

L'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques est l'organisme technique français de référence sur la connaissance et sur la surveillance de l'état des eaux et sur le fonctionnement écologique des milieux aquatiques. Cet établissement à caractère administratif national est sous la tutelle du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE).

Il a été créé par la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques du 30 décembre 2006 (loi n°2006-1172) et son décret d'application du 25 mars 2007 (décret n°2007-443) qui ont transformé le Conseil Supérieur de la Pêche en un nouvel établissement aux fonctions élargies. Sa création vise à favoriser une gestion globale et durable de la ressource en eau et des écosystèmes aquatiques. Elle s'inscrit dans l'objectif de reconquête de la qualité des eaux et d'atteinte des objectifs de bon état écologique fixés par la Directive Cadre européenne sur l'Eau DCE) du 22 décembre 2000. Avec l'ONEMA, l'Etat se dote d'un organisme chargé d'assurer l'expertise et le conseil sur l'état et la gestion des milieux aquatiques.

L'ONEMA a pour objectif notamment de « centraliser et valider les données relatives à la DCE sur le bon état des milieux aquatiques » (Castel *et al.*, 2009). En plus de ses missions de police de l'eau, l'ONEMA met en place des réseaux de suivis, notamment le Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) sur les suivis piscicoles, encadre et contrôle les travaux des prestataires au niveau de la DCE, évalue l'hydromorphologie des cours d'eau via le protocole de CARactérisation Hydromorphologique (CARHYCE) des Cours d'Eau et le projet Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie (SYRAH), suit les phénomènes d'étiages via l'Observatoire National Des Etiages (ONDE) ou encore effectue un suivi thermique des cours d'eau (Réseau National Thermique). L'ONEMA réalise également des inventaires (frayères via le projet GEOlocalisation des Inventaires Frayères (GEOIF) ou la continuité écologique via le Référentiel des Obstacles à l'Ecoulement (ROE)). L'ONEMA effectue aussi des contrôles de police de l'eau.

L'ONEMA est constitué de 9 Délégations Interrégionales. Le stage a été réalisé au sein de la Délégation Interrégionale Bretagne – Pays de la Loire (DIR2). Des actions plus locales sont aussi mises en place au sein des services départementaux, les DIR coordonnent et accompagnent ces services.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	II
PRESENTATION DE LA STRUCTURE	III
SOMMAIRE.....	IV
TABLE DES FIGURES.....	VII
TABLE DES TABLEAUX.....	VIII
TABLE DES EQUATIONS	IX
TABLE DES ANNEXES	IX
TABLE DES ABREVIATIONS.....	XI
GLOSSAIRE	XII
INTRODUCTION.....	1
1 QUE SAVONS-NOUS DES TETES DE BASSIN VERSANT?.....	2
1.1 La delicate question de la definition des Têtes de bassin versant	2
1.1.1 Limite de la définition hydrographique	2
1.1.2 Références juridiques	4
1.2 Mieux appréhender le réseau hydrographique.....	5
1.3 Services écosystémiques et écologiques.....	6
1.3.1 Les Services Ecosystémiques d'appuis.....	7
1.3.1.1 La productivite primaire	7
1.3.1.2 Le cycle des nutriments	8
1.3.1.3 Un support pour la biodiversite	8
1.3.2 Les Services Ecosystémiques de régulation	10
1.3.2.1 La Régulation du régime hydrologique	10
1.3.2.2 Pollutions et qualité des eaux	11
1.3.2.3 Autres bénéfiques en terme de régulation	12
1.3.3 Les Services Ecosystémiques d'approvisionnement.....	12
1.3.3.1 La ressource « eau ».....	12
1.3.3.2 Usages industriels et agricoles	13
1.3.3.3 Pêche et pisciculture	13
1.4 Les facteurs influençant le fonctionnement des têtes de bassin versant	13
1.4.1 La caractérisation hydrologique des têtes de bassin versant	14
1.4.1.1 Dynamique de l'eau.....	14
1.4.1.2 Etiages	14
1.4.1.3 Les crues	15
1.4.1.4 debits de plein bord	15
1.4.2 Avoir une morphologie diversifiée	15
1.4.2.1 Sinuosité.....	15
1.4.2.2 etat physique des berges.....	16
1.4.2.3 Granulométrie	16
1.4.2.4 Profil en long et en travers	17
1.4.2.5 Ripisylve.....	17
1.4.2.6 L'alternance de faciès.....	18
1.4.3 La continuité Ecologique.....	18
1.4.4 La sensibilité écologique des têtes de bassin versant	19
1.4.5 Historique d'un Anthropo-ecosysteme.....	19

Sommaire

1.4.5.1 L'évolution de l'occupation des sols et des usages	20
L'évolution de la surface Forêstiere	20
L'expansion des villes	21
L'intensification de l'agriculture	21
L'Evolution des zones humides	22
1.4.6 Impact anthropique sur les têtes de bassin	23
1.4.6.1 La chenalisation	24
1.4.6.2 Les enterrements	26
1.4.6.3 Les obstacles à la continuité écologique	28
1.4.6.4 L'entretien	29
1.5 Politiques de l'eau et têtes de bassin versant	30
1.5.1 Des facteurs qui compliquent la prise en compte des têtes de bassin versant	30
1.5.2 Cadre institutionnel et prise en compte générale	31
1.5.3 Gestion locale	33
1.5.4 Evaluation	33
2. AMELIORER LA CONNAISSANCE DE CES MILIEUX	35
2.1 Objectifs et ambitions	35
2.2 Sites d'études	36
2.2.1 Contexte et enjeux environnementaux	36
2.2.2 La taille de l'échantillonnage	38
2.2.3 Paramètres	39
2.2.2.1 L'occupation du sol	39
Occupations du sols ecartees	39
Part d'occupation des sols « exploitables »	40
Occupation du sol majeure	40
2.2.2.2 La densité de drainage	40
2.2.2.3 Les Hydroécocorégion de niveau 2	40
2.2.4 Les sites sélectionnés	40
2.3 Approche cartographique et photographique	42
2.3.1 La mémoire cartographique	42
2.3.2 Histoire environnementale et écologie du paysage	43
2.3.3 Applications antérieures	45
2.4 La géomatique au service de la connaissance de l'environnement	48
2.4.1 Outils, concepts, modèles	48
2.4.1.1 Les logiciels libres	48
2.4.1.2 La complémentarité des approches	49
Les études morphologiques	49
Analyse cartographique par SIG	50
Analyse Diachronique	50
Analyse par télédétection	50
2.4.1.3 Modules et Automatisation	51
2.4.1.4 Résolution et durée de réalisation	53
2.4.2 Protocole et base de données	54
2.4.2.1 Acquisition et préparation	54
Les cartes IGN	54
Les Orthophotos	55
Les anciens référentiels	55
Le Modèle Numérique de Terrain	56

Sommaire

Le réseau hydrographique de référence	56
Les informations complémentaires	56
2.4.2.2 L'étape facultative d'orthorectification.....	57
2.4.2.3 R.topo : aide à la reconstitution du réseau hydrographique	58
R.TOPO : La pente et les isolignes	59
R.TOPO : La classification morphologique de Wood (1996)	61
R.TOPO : L'indice topographique d'humidité (TWI) ou indice de Beven Kirkby (IBK) (Beven et Kirkby, 1979)	62
R.TOPO : Elaboration d'un réseau théorique issu du TWI	63
R.TOPO : Améliorer l'interprétation via la télédétection : le NDWI	64
R.TOPO : Elaboration des réseaux anciens et actuels.....	65
2.4.2.4 V.hydro : analyse du réseau hydrographique.....	65
Rectitude et sinuosité	65
Déplacement.....	66
Enterrement.....	67
Plans d'eau	68
Bilan	69
2.5 Résultats et exploitations	70
2.5.1 Exploitations statistiques.....	70
2.5.1.1 La mise à jour du linéaire	70
2.5.1.2 L'évolution de la sinuosité.....	71
2.5.1.3 Vers des classes de sinuosités plus adaptées aux têtes de bassin versant ?.....	73
2.5.1.4 les indices plan d'eau	74
2.5.2 Exercices de comparaison.....	74
2.5.2.1 SYRAH	74
2.5.2.2 Les anciennes cartes.....	76
3. VERS UNE MODIFICATION DES POLITIQUES DE L'EAU ?	76
3.1 Poursuivre l'expérience	76
3.1.1 La précision des données.....	77
3.1.2 Le choix des indicateurs et de la méthode	77
3.1.2.1 Le biais observateur et les outils d'aide à l'élaboration des réseaux.....	78
3.1.2.2 limites de l'échantillonnage.....	78
3.1.2.3 Les indicateurs d'évolutions et d'analyse des réseaux.....	78
3.1.3 La reproductibilité.....	79
3.1.4 La confrontation avec le terrain	79
3.2 Initiatives pour une meilleure prise en compte des têtes de bassin	80
3.2.1 Améliorer de la connaissance	80
3.2.2 Quels travaux en tête de bassin ?.....	81
3.2.2.1 Concilier et améliorer les usages.....	81
3.2.2.2 Principe de non intervention et situation de référence	82
3.2.2.3 Intervenir sur ces milieux ?.....	82
3.2.3 Chiffrer et analyser l'importance des têtes de bassin versant	83
3.3 Perspectives	83
3.3.1 Vers des programmes d'action issus des données récoltées	83
3.3.2 Vers un indice synthétique d'altération	84
3.3.3 Améliorer la cartographie des cours d'eau.....	84
3.3.4 Des outils pour des utilisations diversifiées.....	85

CONCLUSION	85
BIBLIO	86
ANNEXES	97
RESUME	147
ABSTRACT	147

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : CLASSIFICATION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE SELON L'ORDRE DE STRAHLER (ENVIRONNEMENTAL PROTECTION AGENCY, 2009)	3
FIGURE 2 : DEGRES D'EVOLUTION FONCTIONNELLE DES ELEMENTS DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE SELON LEURS STATUTS (LE BIHAN, 2012)	4
FIGURE 3 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES 4 DIMENSIONS ISSUES DU CONCEPT DE STANDFORD(1989) SOURCE : REALISATION PERSONNELLE	5
FIGURE 4 : REPRESENTATION D'UNE PARTIE DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES FOURNIES PAR LES COURS D'EAU, INSPIRE PAR LE PROGRAMME DES NATIONS UNIES (UNEP : ECOSYSTEM MANAGEMENT PROGRAMME, FEVRIER 2009)	7
FIGURE 5 : ESPECES EMBLEMATIQUES DES TETES DE BASSIN : MOULE PERLIERE (JOEL BERGLUND), ECREVISSE A PATTES BLANCHES (REMI MASSON), CHABOT (SITE INTERNET PLONGEE-PASSION) ET LAMPROIE DE PLANER (D. FLORIAN) SOURCE CHOUCARD, 2011	9
FIGURE 6 : SYNTHESE DES FONCTIONS BIOLOGIQUES JOUEES PAR LES TETES DE BASSIN (TRADUIT DE MEYER ET AL., 2007 PAR LE BIHAN).....	10
FIGURE 7 : (A) LA ZONE HYPORHEIQUE D'UN COURS D'EAU, TRADUIT D'ALLEY ET AL, 2002 (B) CIRCULATION DE L'EAU DANS LA ZONE HYPORHEIQUE, D'APRES BOULTON 2000 IN BROOKS ET AL. 2003 SOURCE : CHOUCARD, 2011.....	11
FIGURE 8 : PHOTOGRAPHIE D'UN DEBIT DE PLEINS BORDS (NAVRATIL, 2005)	14
FIGURE 9 PHOTOGRAPHIE D'UN COURS D'EAU AVEC UN DEBIT CONSEQUENT. SOURCE : PHOTOTHEQUE DE L'ONEMA.....	15
FIGURE 10 : PHOTOGRAPHIE D'UN COURS D'EAU SINUEUX. SOURCE : PHOTOTHEQUE DE L'ONEMA	15
FIGURE 11 : PHOTOGRAPHIE D'UNE ARTIFICIALISATION DES BERGES. SOURCE : REMI NGUYEN VAN	16
FIGURE 12 : PHOTOGRAPHIE D'UN RADIER (GRANULOMETRIE GROSSIERE) SOURCE : PHOTOTHEQUE DE L'ONEMA.....	16
FIGURE 13 : PHOTOGRAPHIE D'UNE COURS D'EAU SOURCE : REMI NGUYEN VAN	17
FIGURE 14 : PHOTOGRAPHIE D'UN COURS D'EAU ASSOCIE A UNE RIPISYLVE FONCTIONNELLE SOURCE : PHOTOTHEQUE DE L'ONEMA	17
FIGURE 15 : PHOTOGRAPHIE D'UNE ALTERNANCE DE FACIES SOURCE : PHOTOTHEQUE DE L'ONEMA	18
FIGURE 16 : DES OEUFS DE CHABOT SUR UNE TETE DE BASSIN VERSANT. SOURCE : LE BIHAN (2012)	19
FIGURE 17 : EVOLUTION DE LA SURFACE FORESTIERE EN FRANCE (EN MILLIONS D'HECTARES) (ESCURAT, 1995).....	20
FIGURE 18: RECENSEMENTS AGRICOLES ET ENQUÊTE DE STRUCTURE DES SURFACES DRAINEES DE 1998 A 2000. SOURCE : FOUQUE ET AL., 2006.....	22
FIGURE 19 : LES PRINCIPALES INTERVENTIONS DIRECTES DE L'HOMME SUR L'HYDROLOGIE ET LA MORPHOLOGIE DES COURS D'EAU (MALAVOI ET ADAM, 2007)	24
FIGURE 20 : PHOTOGRAPHIE D'UN COURS D'EAU COMPLETEMENT CHENALISE, MEME LE FOND EST ARTIFICIALISE. SOURCE : REMI NGUYEN VAN	25
FIGURE 21 : ENTERREMENT D'UNE TETE DE BASSIN. SOURCE : M. LE BIHAN 2009.....	26
FIGURE 22 : ORIGINE DE LA DISPARITION DES TETES DE BASSIN. SOURCE : M.LE BIHAN (2009).....	26
FIGURE 23 : PHOTOGRAPHIE D'UN OBSTACLE SUR COURS D'EAU. SOURCE : REMI NGUYEN VAN.....	28
FIGURE 24 : PHOTOGRAPHIE D'UN PLAN D'EAU EN ETAT D'EUTROPHISATION AVANCE. SOURCE : REMI NGUYEN VAN	28
FIGURE 25 : CURAGE DE LA MARE DE BREDGAR (UK) SOURCE : PENNY MAYES (2002)	29
FIGURE 26 : PRINCIPAUX COURS D'EAU DU BASSIN LOIRE-BRETAGNE	36
FIGURE 27 : OCCUPATION DU SOL SUR LA DELEGATION BRETAGNE, PAYS DE LA LOIRE.....	38
FIGURE 28 : LES SITES SELECTIONNEES POUR L'ETUDE (EN VERT) SOURCE : REMI NGUYEN VAN.....	41
FIGURE 29 : REPARTITION DES SITES PAR OCCUPATION DU SOL MAJORITAIRE. SOURCE: REMI NGUYEN VAN.....	42
FIGURE 30 : IDENTIFICATION D'UN PHENOMENE PROBABLE D'ENTERREMENT, EXTRAIT DE L'ETUDE DE LE BIHAN (2009)	43
FIGURE 31 : PHOTOGRAPHIE AERIENNE DE 2006 PRES DE LE PETRE (53)	43
FIGURE 32 : CONFIRMATION SUR LE TERRAIN DE LA PRESENCE D'UN ENTERREMENT, LE 03/05/12	44
FIGURE 33 : MISE EN EVIDENCE DES TRACES HYDROGRAPHIQUES PRES DE LE PERTRE SOURCE : REMI NGUYEN VAN	44

Table des tableaux

FIGURE 34: PHOTOGRAPHIE DE 1951 PRES DU PERTRE.....	44
FIGURE 35 : PHOTOGRAPHIES AERIENNES DU BASSIN VERSANT DU PIOU DATANT DE 1963. SOURCE : DESCAMPEAUX, 2011	45
FIGURE 36 : RESULTAT DE LA COMPARAISON ENTRE LE RESEAU DE 1963 ET LE RESEAU ACTUEL SUR LE BASSIN DU PIOU. SOURCE : DESCAMPEAUX, 2011.....	45
FIGURE 37 : EXEMPLE D'UNE PHOTOGRAPHIE AERIENNE RECUPEREE SUR LE SITE GEOPORTAIL DE L'IGN	46
FIGURE 38 : EVALUATION DU TRACE D'UN COURS D'EAU SUR ANCIEN REFERENTIEL PAR LE BIHAN (2012)	47
FIGURE 39 : EXEMPLE DE FOND DE CARTE POUR UNE ETUDE DIACHRONIQUE PROPOSE PAR MALAVOI ET BRAVARD (2010) ©IGN 2010	47
FIGURE 40 : PROJECTION EN 3D D'UN MNT REPRESENTANT LA SURFACE DE MARS SOURCE : USGS	49
FIGURE 41 : ESSAI D'EXPLOITATION D'UN INDICE D'HUMIDITE. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE ISSUE D'IMAGE RAPIDEYE.....	50
FIGURE 42 : COMPLEMENTARITE DES ANALYSES GEOMATIQUES. SOURCE: REALISATION PERSONNELLE.....	51
FIGURE 43: IMPRESSION D'ECRAN DU MODULE R.TOPO. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE	52
FIGURE 44 : IMPRESSION D'ECRAN DES OPTIONS DISPONIBLE POUR LE MODULE R.TOPO. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE	53
FIGURE 45 : EXTRAIT D'UNE CARTE IGN AU 1 : 25000 SUR LE DEPARTMENT DE LA MAYENNE. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE	54
FIGURE 46 : EXTRAIT D'UNE ORTHOPHOTO DANS LE DEPARTEMENT DE LA MAYENNE. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE	55
FIGURE 47 : PHOTOGRAPHIE AERIENNE DE LA VILLE DE BREST (1919) SOURCE : ARCHIVE MUNICIPALE DE BREST	55
FIGURE 48 : PHOTOGRAPHIE AERIENNE ANCIENNE (1952) DE LA MAYENNE SOURCE : IGN LOISIR	55
FIGURE 49 : IMPRESSION D'ECRAN DU LOGICIEL QGIS.....	57
FIGURE 50 : POINTS DE CALAGE SUR UNE PHOTOGRAPHIE ANCIENNE SOURCE : REALISATION PERSONNELLE.....	57
FIGURE 51 : ILLUSTRATION D'UNE PHOTO ANCIENNE RECTIFIEE SOURCE : REALISATION PERSONNELLE	58
FIGURE 52 : SCHEMATISATION DE LA DEMARCHE D'ELABORATION DES RESEAUX THEORIQUES. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE .	59
FIGURE 53 : CARTE COMPORTANT LES ISOLIGNES EXTRAITES PAR LE MODULE R.TOPO SUR LE SITE DE BAZOUGERS. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE.....	60
FIGURE 54 : CARTE COMPORTANT L'INTESITE DES PENTES EXTRAITE PAR LE MODULE R.TOPO SUR LE SITE DE BAZOUGERS. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE.....	60
FIGURE 55 : CLASSIFICATION MORPHOLOGIQUE DE WOOD (1996)	61
FIGURE 56 : CARTOGRAPHIE D'UNE ZONE DU SITE DE BAZOUGERS (53) AVEC LA CLASSIFICATION DE WOOD.....	61
FIGURE 57 : CARTOGRAPHIE ILLUSTRATIVE DU TWI DANS LA ZONE DE BAZOUGERS (53). SOURCE : REALISATION PERSONNELLE	62
FIGURE 58 : CARTOGRAPHIE COMPARATIVE DES RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE REFERENCE ET THEORIQUE SUR LE SITE D'ETUDE 27 : NOTRE DAME DES LANDES. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE	63
FIGURE 59 : CARTOGRAPHIE, EXEMPLE D'UN REPERAGE DE COURS D'EAU ABSENT DE LA BD TOPO SUR LE SITE DE NOTRE DAME DES LANDES.....	63
FIGURE 60 : SCHEMATISATION DU PROCESSUS D'ELABORATION DES RESEAUX THEORIQUES	65
FIGURE 61 : PHOTOGRAPHIE ANCIENNE PERMETTANT DE CONSTATER LA CREATION D'UN PLAN D'EAU. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE	68
FIGURE 62 : PHOTOGRAPHIE ACTUEL D'UN PLAN D'EAU DANS LA ZONE DE BAZOUGERS SOURCE : REALISATION PERSONNELLE.....	68
FIGURE 63 : CARTE DE LA REPARTITION DES STATIONS RCS SUR LE TERRITOIRE DE LA DIR2. SOURCE : LE BIHAN, 2011.....	80
FIGURE 64 : COURS D'EAU EN TETE DE BASSIN VERSANT EN MOSELLE (57) AVEC BANDES ENHERBEES COUPLEES A UNE BANDE DE PRAIRIE FAUCHEE DANS LA BANDE RIVERAINE, APRES LA BANDE RIVERAINE PRESENCE DE CULTURES, PRESENCE D'UNE RIPISYLVE EN RIDEAU AVEC DIFFERENTES STRATES. SOURCE : PHOTOTHEQUE DE L'ONEMA.....	81
FIGURE 65 : SCHEMA ILLUSTRANT LA PROBLEMATIQUE D'ABSENCE DE CONNAISSANCE SUR LES ETATS DE REFERENCE ET LA RESTAURATION DES COURS D'EAUX : STEIGER ET PEIRY, 2009	82

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU I: EXEMPLES DE CRITERES TECHNIQUE D'AIDE A LA DEFINITION DES TETES DE BASSIN, SOURCE :LE BIHAN 2010	2
TABLEAU II : ENJEUX BIODIVERSITE DES TETES DE BASSIN VERSANT	9
TABLEAU III : PRESENTATION DES TRAVAUX LIES A LA CHENALISATION. SOURCE : REALISATION PERSONNELLE.	24
TABLEAU IV : RECAPITULATIF PARTIEL DES OBLIGATIONS DE DECLARATION ET AUTORISATION EN FONCTION DES TRAVAUX REALISES SUR COUS D'EAU SOURCE : LIFE (2007)	32
TABLEAU V : LISTE DES SITES SELECTIONNES.....	41
TABLEAU VI : TEMPS DE CALCUL DE R.TOPO EN FONCTION DE LA RESOLUTION SUR LE SITE DE BAZOUGERS (53) SOURCE : REALISATION PERSONNELLE	53

Table des équations

TABLEAU VII : TEMPS DE CALCUL DE V.HYDRO EN FONCTION DE LA RESOLUTION SUR LE SITE DE BAZOUGERS (53) SOURCE : REALISATION PERSONNELLE.....	53
TABLEAU VIII : COMPARATIF DES DONNEES SUR LE LINEAIRE	70
TABLEAU IX : COMPARATIF DES DONNES SUR LA SINUSITE.....	71
TABLEAU X : ETUDE DE LA DISTRIBUTION DES DONNES STATISTIQUES SUR LA SINUSITE	72
TABLEAU XI : REPARTITION DES TRONCONS DE L'ETUDE DANS LES CLASSES DE SINUSITE DE MALAVOI.....	73
TABLEAU XII : REPARTITION DES TRONCONS DE L'ETUDE DANS LES CLASSES SUGGEREES PAR LA DISCRETISATION DE JENKS	73
TABLEAU XIII : ANALYSE DES DONNEES PLAN D'EAU	74
TABLEAU XIV: COMPARATIF DES DONNEES SYRAH - ETUDE.....	75
TABLEAU XV : COMPARATIF QUALITATIF DES DONNEES DE L'ETUDE ET CELLE DE SYRAH	75
TABLEAU XVI : COMPARATIF DES RESULTATS DE L'ETUDE A PARTIR D'UNE ANCIENNE CARTE	76

TABLE DES EQUATIONS

ÉQUATION 1 : TWI OU IBK	62
ÉQUATION 2 : NDVI.....	64
ÉQUATION 3 : NDWI	64
ÉQUATION 4 : DIMENSION FRACTALE DE MANDELBROT.....	66
ÉQUATION 5 : VARIATION DE LA SINUSITE	66
ÉQUATION 6 : DISTANCE DE DEPLACEMENT	66
ÉQUATION 7 : CHT, INDICE DE MODIFICATIONS DES CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES	67
ÉQUATION 8 : INDICE PLAN D'EAU	69
ÉQUATION 9 : INDICE PLAN D'EAU PONDERE	69

TABLE DES ANNEXES

Annexe A	Textes réglementaires	Annexe K	Fiche terrain expérimentale
Annexe B	Dallage IGN	Annexe L	Exemple POG
Annexe C	Les départements de la DIR2	Annexe M	Plan morpho endommagée Ruisseau de Kerustang
Annexe D	Hiérarchisation des occupations du sol	Annexe N	Statistiques de distribution de la sinuosité
Annexe E	Cartes de synthèse sur l'échantillonnage des sites DIR2	Annexe O	Statistiques de distribution de la sinuosité ancienne
Annexe F	Bilan de l'échantillonnage DIR 2	Annexe P	Statistiques sur le linéaire
Annexe G	TP GRASS	Annexe Q	Statistiques sur les plans d'eau
Annexe H	Présentation TP GRASS	Annexe R	Zones plans d'eau sensible
Annexe I	Tables des données	Annexe S	Résumé de la démarche
Annexe J	Notice terrain expérimentale		

TABLE DES ABREVIATIONS

BV	Bassin Versant	MEA	Millenium Ecosystem Assessment
CARHYCE	CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau	MEDD	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
CEMAGREF	Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts	MEDDE	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.
CG	Conseil Général	MEFM	Masse d'Eau Fortement Modifiée
CLC	CORINE Land Cover	MNT	Modèle Numérique de Terrain
DCE	Directive Cadre sur l'Eau	NDVI	Normalised Difference Vegetation Index
DDTM	Direction Départementale des Territoires et de la Mer	NDWI	Normalised Difference Water Index
DIR	Direction InterRégionale	OFEV	Office Fédéral de l'EnVironnement suisse
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.	ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
DTR	Développement des Territoires Ruraux	ONF	Office National des Forêts
EPTB	Etablissement Public Territorial de Bassin	PAC	Politique Agricole Commune
FDPPMA	Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques	PNR	Parc Naturel Régional
GEOSUD	GEOinformation for Sustainable Development	POG	Programme d'Observation Guidé
GRASS	Geographic Ressources Analysis Support System	QGIS	Quantum GIS
HER	HydroEcoRégions	RCS	Réseau de Contrôle et Surveillance
IAA	Industries AgroAlimentaires	RHP	Réseau Hydrobiologique Piscicole
IBK	Indice de Beven Kirkby	ROE	Référentiel des Obstacles à l'Écoulement
ICE	Information sur la Continuité Ecologique	RPG	Registre Parcellaire Graphique
IDH	Indice de Développement Humain	SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
IGN	Institut Géographique National	SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques	SES	Services EcoSystémiques
IRSTEA	Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture	SoeS	Service de l'observation et des Statistiques
IUCN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature	SQL	Structured Query Language
LEMA	Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques	SRCE	Schéma Régional de Cohérence Ecologique
LIFE	L'Instrument Financier pour l'Environnement	SYRAH	Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie
MEA	Masse d'Eau Artificielle	TWI	Topographic Wetness Index
		ZHIEEP	Zone Humide d'Intérêt Environnemental Particulier
		ZHSGE	Zone Humide Stratégique pour la Gestion de l'Eau
		ZNT	Zone Non Traitée

GLOSSAIRE

Allochtone	Qui provient d'un endroit différent.
Anthropique	Ce dit de ce qui a été modifié ou impacté par l'Homme.
Aqua incognita	Il s'agit d'une dénomination désignant les eaux superficielles qui ne sont pas répertoriées sur les référentiels officiels.
Benthique	Qui vit à proximité du fond de l'hydrosphère (cours d'eau, océans...).
Busage	Procédé d'enterrement durant lequel un cours d'eau est entouré d'une buse avant d'être enterré.
Chenalisation	Procédé de transformation d'un cours d'eau en chenal.
Détritivore	Se dit d'espèces qui se nourrissent de débris d'animaux ou de végétaux.
Espèce inféodée	Une espèce est inféodée à un milieu lorsque sa survie dépend de ce dernier.
Etiage	Période durant laquelle le débit d'un cours d'eau est le plus bas.
Eutrophisation	Phénomène d'enrichissement par des substances nutritives dans un milieu aquatique entraînant la prolifération de la végétation aquatique, qui en consommant l'oxygène asphyxie les autres formes de vie aquatique.
Fractale	Se dit d'éléments dont la création ou la forme ne trouve ses règles que dans l'irrégularité ou la fragmentation. De nombreux exemples de ces éléments sont présents dans la nature (flocons de neige, ramifications des bronches, réseaux hydrographiques). Les mathématiques fractales sont utilisées dans l'analyse des paysages et en économie.
Géodynamique	La géodynamique fluviale est l'étude des processus physiques qui régissent le fonctionnement des cours d'eau.
Géomatique	Domaine des sciences servant à analyser les données géographiques, principalement en utilisant les SIG.
Géoréférencement	Méthode de géomatique servant à attribuer des coordonnées à un référentiel (image, photo...).
Gradient	Il s'agit en géographie, d'une logique spatiale visible lors de l'analyse de la distribution ou la répartition d'un phénomène.
Granulométrie	Il s'agit de l'analyse statistique de la taille des grains d'une matière (du grain de sable, à une pierre grossière...).
Hydromorphologie	Est l'étude des procédés et des formes qui résultent et contrôlent le fonctionnement des cours d'eau.

Hydromorphie	Il s'agit d'une caractéristique des sols qui reflète la saturation récurrente en eau.
Hyporhéique	Il s'agit de la zone d'échange entre les eaux de surface et les eaux souterraines.
Interstitiel	Qui se situe dans un intervalle d'espace.
Lentique	Eaux continentales dont l'écoulement est lent (Plan d'eau), inverse de lotique.
Lotique	Eaux continentales dont l'écoulement est rapide, inverse de lentique.
Orthophoto	Photographie qui a subi un procédé d'orthorectification.
Orthorectification	Il s'agit d'un procédé qui permet de gommer les déformations lors de la prise d'une photographie aérienne ou satellite pour pouvoir l'aplanir.
Palimpseste	Les palimpsestes sont à l'origine des manuscrits sur lesquels, il est possible de retrouver d'anciennes écritures effacées. L'adjectif s'emploie maintenant sur des éléments modifiées qui gardent des traces de leur ancien état (paysage).
Raster	Image en mode point, numérique, composé de pixels et qui peut être traitée dans un Système d'Information Géographique (SIG).
Radier	Il s'agit d'une structure sur laquelle de nombreux éléments reposent, dans le cas des cours d'eau, ce sont les espaces sur lesquels une granulométrie variée est visible.
Recalibrage	Travaux durant lesquels le lit d'un cours d'eau est approfondi pour étirer la lame d'eau et en influencer le régime hydrologique.
Ripisylve	Il s'agit de la formation végétale qui se développe au bord des cours d'eau ou des plans d'eau.
Rivulaire	Situé sur la rive.
Taxons	Groupes d'organismes vivants possédant des caractères semblables et définis par la science taxonomique.
Talweg	Ligne reliant les points les plus bas d'une vallée.
Téledétection	Acquisition de données par l'étude de photographies aériennes ou satellites.
Trophique	Un réseau trophique définit l'ensemble des chaînes alimentaires au sein d'un système.
Riparien	La zone riparienne est la bande de terrain qui longe les berges d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau.
Scan 25	Produit raster issu du scannage des cartes IGN au 1 : 25000 comprenant la végétation (bois, broussailles), l'hydrographie, le réseau routier, l'orographie, la planimétrie.

INTRODUCTION

Pourtant nécessaire à notre survie, la ressource en eau est menacée. Le récent forum mondial de l'eau¹ est venu rappeler combien la question de la gouvernance constitue un sujet central de la gestion des eaux. Ces éléments justifient la recherche de la meilleure gestion possible et la mise en place de politiques adéquates pour préserver la ressource en eau.

La grande majorité des politiques de l'eau omettent cependant un élément essentiel du réseau hydrographique, les têtes de bassin versant. Ces petits cours d'eau à l'amont des bassins versant représentent pourtant entre 60 et 80% du linéaire total ([Schumm, 1956](#) ; [Shreve, 1969](#) ; [Meyer & Wallace, 2001](#) ; [Benda *et al.*, 2005](#)). Cette omission est particulièrement motivée par le manque de connaissance sur ces milieux.

Alors qu'il est supposé que ces espaces ont été intensément dégradés depuis le début des années cinquante, l'inexistence d'état des lieux et l'inadaptation des protocoles existants à leurs petits gabarits contribuent fortement à un immobilisme latent. L'ignorance ne pouvant se justifier à elle-même, des études au niveau national commencent progressivement à voir le jour sur les têtes de bassin versant. Actuellement, les gestionnaires s'interrogent sur la meilleure manière d'appréhender, de gérer et de connaître ces milieux.

Cette étude s'interroge sur le rôle et l'état des têtes de bassin, la manière d'améliorer la connaissance de ces milieux et les meilleurs moyens de les gérer.

Une première partie fait la synthèse de l'état des connaissances acquises sur ces milieux en termes d'état, de fonction, d'altération et de gouvernance.

Puis une seconde partie, en usant d'anciens référentiels et en ayant une approche innovante, tente de proposer un protocole reproductible capable d'améliorer considérablement la connaissance de ces milieux. Ce protocole a été réalisé sur les régions Bretagne – Pays de la Loire.

En conclusion, une réflexion permettra d'étudier les possibilités d'améliorations de la gestion des têtes de bassin versant.

¹ A eu lieu à Marseille du 12 au 17 Mars 2012

1 QUE SAVONS-NOUS DES TETES DE BASSIN VERSANT?

1.1 LA DELICATE QUESTION DE LA DEFINITION DES TETES DE BASSIN VERSANT

La question peut paraître banale, elle est pourtant tout sauf dénuée d'intérêt. La définition d'une tête de bassin versant est fondamentalement liée à la définition d'un cours d'eau. Définition qui est toute aussi délicate.

Au niveau mondial, de nombreux critères techniques ont été utilisés par les chercheurs et les gestionnaires de l'eau pour définir une tête de bassin versant (Tableau I)

Tableau I: Exemples de critères technique d'aide a la définition des têtes de bassin, source :le Bihan 2010

Critères	Description	Auteurs
Superficie du BV	< 2 km ²	Adams & Spotila, 2005
Gabarit du lit mineur	généralement inférieur à 1 mètre de large	Wipfli et al., 2007
	généralement inférieur à 2 mètres de large	AERM, 2009
Hydromorphologique	secteur à l'amont de « la zone de sédimentation dominante »	Uchida et al., 2005
Hydrologique		
Hydrographique	cours d'eau de rang de Strahler 1 et 2 à l'échelle 1 : 25 000	

En France, la définition d'une tête de bassin s'effectue de manière pragmatique à l'aide du critère hydrographique.

1.1.1 LIMITE DE LA DEFINITION HYDROGRAPHIQUE

En France, les têtes de bassin sont généralement assimilées aux cours d'eau de rangs de Strahler 1 et 2 identifiés sur la carte IGN au 1:25 000 (**Strahler, 1952**). La classification de Strahler consiste à attribuer une ordination à chaque linéaire en fonction de sa position dans le réseau (*cf* figure 1). Certains auteurs définissent le rang zéro qui correspond aux zones de sources qui sont les aires d'alimentation directes des cours d'eau (**Benda et al., 2005**). Les cours d'eau situés à la sortie d'une source sont ceux de premier rang. A chaque confluence, il

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

est attribué un rang supplémentaire au linéaire en aval si les deux linéaires en amont ont le même ordre. Bien que cette classification soit imparfaite, elle permet de classer assez simplement le réseau hydrographique et est couramment employée.

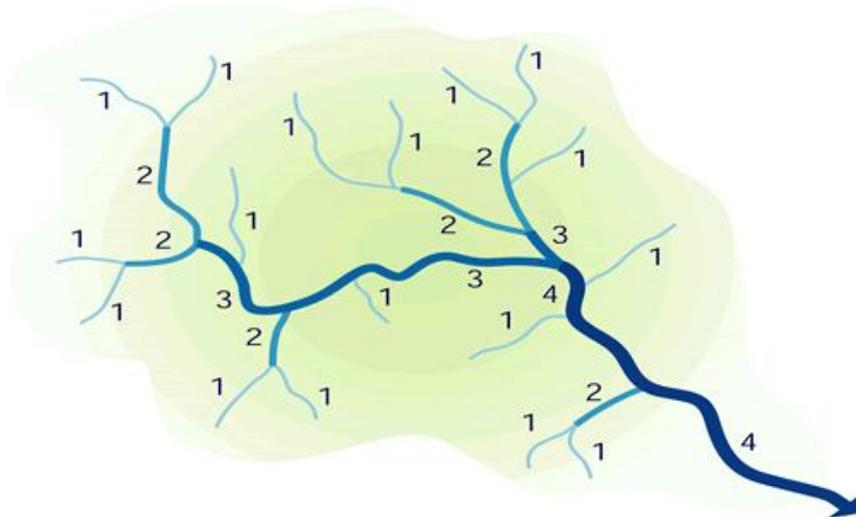


Figure 1 : Classification du réseau hydrographique selon l'ordre de Strahler (Environmental Protection Agency, 2009)

Il y a une grande limite à cette définition, attribuer les « vrais » numéros exige de connaître l'intégralité du réseau de cours d'eau existant sur le terrain (OFEV, 2009).

Pour améliorer cette définition, les différents auteurs ajoutent des critères d'évaluation. Certains auteurs définissent les cours d'eau en tête de bassin comme les cours d'eau de rang 1 vus à l'échelle 1:100 000 (Nadeau & Rains, 2007 ; Alexander *et al.*, 2007) d'autres préfèrent inclure les sources et les cours d'eau de rangs 1 et 2 vus à l'échelle 1:24 000 (Meyer *et al.*, 2007).

Ces définitions demeurent toujours incomplètes puisqu'elles se heurtent au degré de précision des cartes (Le Bihan, 2009). La FDPPMA du Morbihan a par exemple observé une absence de 20 à 50% du linéaire de cours d'eau identifié sur les cartes IGN en effectuant des inventaires de terrains sur différents bassins versants.

Il faut rajouter à ces éléments que selon les milieux, les fonctions et la forme des têtes de bassin varient et ne facilitent pas l'établissement d'une définition unique et efficace pour l'ensemble des réseaux hydrographiques. Par exemple, voici un extrait d'une formation à destination des gestionnaires concernant les têtes de bassin versant (*cf* figure 2):

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

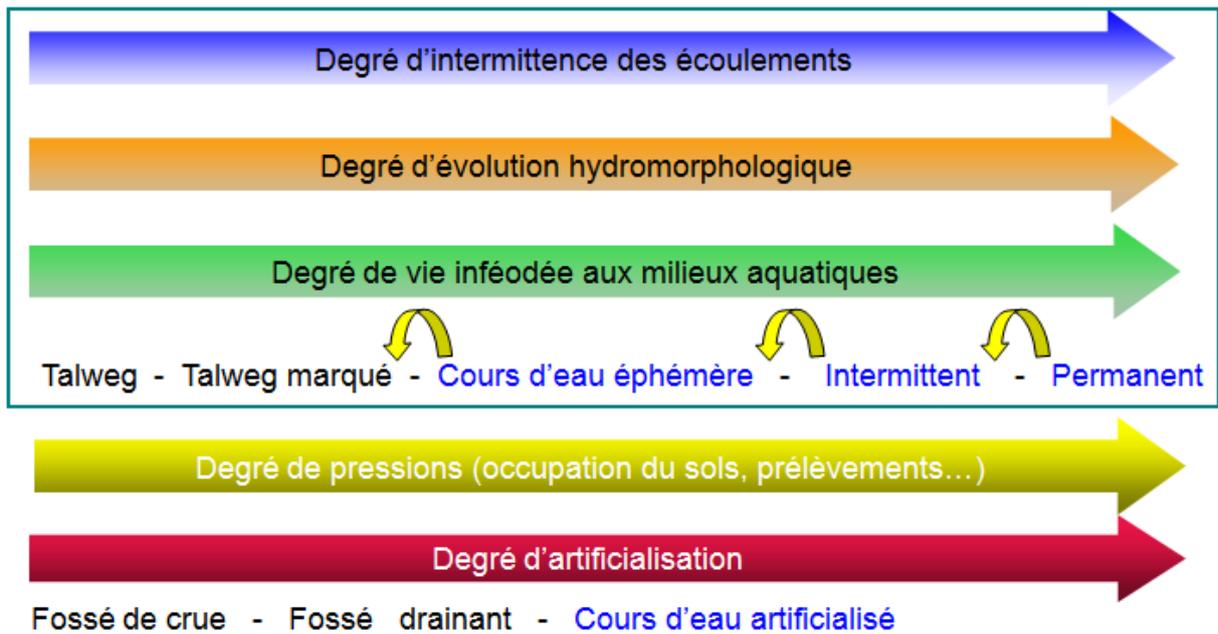


FIGURE 2 : Degrés d'évolution fonctionnelle des éléments du réseau hydrographique selon leurs statuts (Le Bihan, 2012)

Cette figure illustre la difficulté d'établir des critères clairs pour définir les cours d'eau en têtes de bassin. En effet, les différents éléments du réseau hydrographique n'ont pas tous le statut de cours d'eau.

1.1.2 REFERENCES JURIDIQUES

En droit pour autant, il a été nécessaire de prendre position pour statuer sur des situations concrètes. Comme de nombreux sujets environnementaux, la définition des cours d'eau est fondée non pas sur une loi mais sur les différents avis émis par les tribunaux. Ces jurisprudences sont partiellement reprises dans la circulaire du Ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD) du 2 mars 2005 et insistent sur la nécessité de laisser aux services de l'état, dont fait partie l'ONEMA, une possibilité d'appréciation en raison des situations diversifiées sur le territoire (MEDD, 2005). Plus récemment un arrêt du conseil d'état (28/11/2011), la plus haute juridiction administrative, a défini que l'absence de vie piscicole et l'absence d'écoulement permanent ne font pas par elles-mêmes obstacles à la qualification de cours d'eau. Même si cet arrêt n'a ni valeur de loi ou de règlement, de fait il représente une sérieuse référence en matière de jugement.

De cette absence de définition légale indiscutable comme peut le porter une loi, résulte la nécessité de préciser la notion de « cours d'eau » dans chaque texte législatif (voir sur l'annexe A par exemple les exigences concernant les bandes enherbées et les Zones Non

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

Traitées [ZNT]). Il existe donc différentes définitions de cet objet juridique selon les domaines (pollutions, ZNT, bandes enherbées, enterrements...). En analysant les différentes réglementations, c'est la carte IGN au 1 : 25000 qui apparaît actuellement comme le support cartographique principal pour la définition des cours d'eau (**Le Bihan, 2010**).

1.2 MIEUX APPREHENDER LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Pour mieux saisir les enjeux relatifs aux têtes de bassin, il est nécessaire dans un premier temps d'aborder la question du fonctionnement du réseau hydrographique et sa composition.

Pour cela, il existe plusieurs angles d'approche pour analyser le réseau hydrographique, l'une d'entre elles a été définie par **Ward & Stanford (1989)**, c'est l'approche des 4 dimensions. Cette dernière a le mérite d'exposer rapidement les interrelations entre les cours d'eau et le reste des éléments naturels et anthropiques (*cf* figure 3).

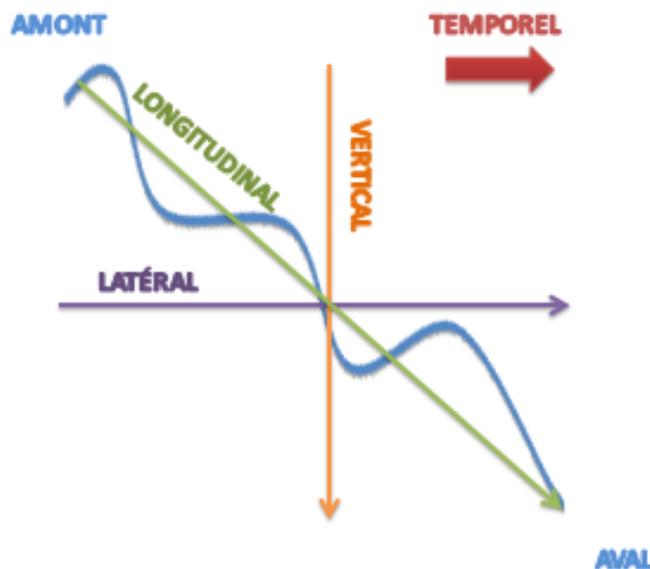


Figure 3 : représentation schématique des 4 dimensions issues du concept de Sandford(1989) source : réalisation personnelle

La dimension **verticale** illustre les relations entre les eaux de surface et les eaux souterraines et notamment leur interface d'échange appelée « zone hyporhéique » (**Collin, 2004**).

L'analyse de la dimension **latérale**, permet de mettre en évidence les relations des cours d'eau et du reste du bassin versant notamment avec les zones humides.

L'approche la plus courante de la dimension **longitudinale** fait appel au concept de River Continuum Concept (**Vannote, 1980**). Ce dernier permet d'analyser la connectivité hydrologique de l'amont vers l'aval en prenant en compte les transferts hydrologiques de

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

masse, d'énergie ou d'organisme (Nadeau & Rains, 2007). Les têtes de bassin s'identifient alors comme un élément à part entière du système hydrologique et sont liées aux concepts de continuité écologique issus de la loi « Grenelle 2 » sous la forme de « trame bleue ».

La dernière dimension est celle de la question **temporelle**. Elle peut prendre en compte la discontinuité de l'écoulement particulièrement pour les têtes de bassin versant qu'il s'agisse de cycle saisonnier ou irrégulier dans le temps (Lake, 2003). Elle permet aussi de prendre en compte les évolutions naturelles ou anthropiques qui provoquent des modifications des cours d'eau.

Ces 4 dimensions permettent ainsi d'appréhender à la fois les services octroyés par les têtes de bassin et les modifications qu'elles subissent.

1.3 SERVICES ECOSYSTEMIQUES ET ECOLOGIQUES

Dans *Aqua Incognita : the unknow headwaters* (Bishop *et al*, 2008), une étude suédoise sur le réseau hydrographique inconnu, les auteurs précisent que les têtes de bassin assurent des services écologiques indispensables pour l'ensemble du bassin versant. Cette approche des têtes de bassin en fonction des services qu'elles fournissent semble pertinente, et permet d'apprécier les enjeux relatifs à ces milieux.

Le concept de Services EcoSystémiques (SES) introduit en 1972 lors du sommet mondial pour l'environnement de Stockholm² afin de décrire et d'appréhender au mieux les services rendus par les écosystèmes est désormais couramment employé pour décrire les intérêts et fonctions des milieux. Le Millenium Ecosystem Assessment (MEA)³ est le référentiel pour adopter ce type d'approche et décrire les enjeux relatifs à la préservation des milieux.

Le MEA distingue 4 types de services écosystémiques :

- ❖ Appui : Il s'agit des services de soutien nécessaires au bon fonctionnement des écosystèmes et des services qu'ils offrent.
- ❖ Régulation : Il s'agit des bénéfices issus de la régulation des processus fournis par les écosystèmes.
- ❖ Approvisionnement : Il s'agit des produits obtenus grâce aux écosystèmes.
- ❖ Culturel : Il s'agit des avantages immatériels fournis par les écosystèmes.

² Report of the Study of Critical Environmental Problems SCEP. 1970. "Man's Impact on the Global Environment. Assessment and Recommendations for Action ". Cambridge (MA): The Massachusetts Institute of Technology.

³ Millennium Ecosystem Assessment (MEA), ONU, 2005.

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

Parmi ces 4 catégories, les services écosystémiques culturels ne sont pas analysés dans cette étude. Cependant, il paraît important de préciser qu'ils existent, que ce soit plutôt sous la forme de loisirs ou en lien avec la culture (paysage, fontaines, puits, lavoir...).

Le schéma suivant (cf figure 4) présente l'ensemble des SES déterminés, il ne s'agit pas d'une liste exhaustive mais cela permet de dresser un court inventaire des enjeux relatifs aux cours d'eau.

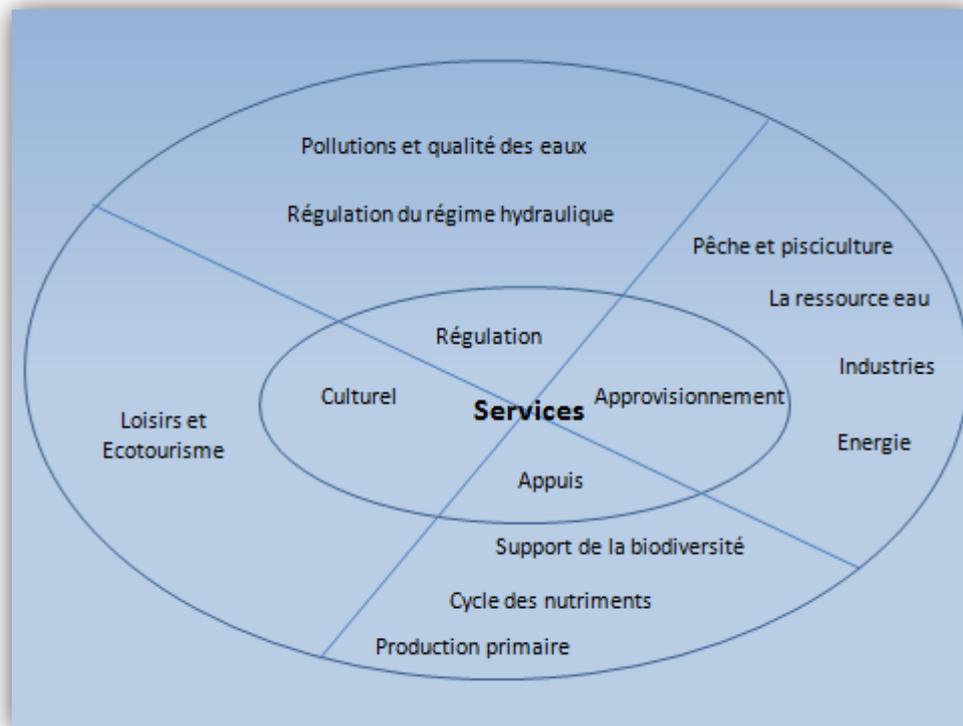


Figure 4 : Représentation d'une partie des services écosystémiques fournis par les cours d'eau, inspirée par le programme des nations unies (UNEP : ecosystem management programme, février 2009)

1.3.1 LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES D'APPUIS

1.3.1.1 LA PRODUCTIVITE PRIMAIRE

Le service le plus sommaire que réalisent les cours d'eau et les têtes de bassin versant consiste à fournir un support pour les algues et la végétation permettant notamment l'approvisionnement en oxygène, c'est la productivité primaire. Il s'agit du premier maillon de la chaîne trophique qui présente un intérêt particulier au niveau mondial mais reste difficile à appréhender au niveau local. Les cours d'eau en tête de bassin versant ne sont pas particulièrement concernés par ce service, en effet dans les climats tempérés, les petits cours d'eau sont des systèmes qui ont peu de productivité primaire mais occupent un rôle important en matière de dégradation de la matière organique (Wallace *et al.*, 1999 in Peterman *et al.*, 2008 ; Gomi *et al.*, 2002).

1.3.1.2 LE CYCLE DES NUTRIMENTS

Un nombre important d'études s'accordent à dire que les têtes de bassin sont des aires d'alimentation riches grâce aux apports allochtones qu'elles réceptionnent (**Brook, 2003 ; Wipfli, 2007 ; Amoros & Petts, 1993 ; Bernhardt *et al.*, 2003 in Bishop *et al.*, 2008**). Ces apports sont principalement issus des zones ripariennes qui entourent les cours d'eau et délivrent un fort volume de matière organique sous forme de feuilles ou de brindilles (**Wipfli *et al.*, 2007 ; Peterman *et al.*, 2008 ; Vannote *et al.*, 1980**).

Les têtes de bassin sont particulièrement importantes pour l'alimentation de la chaîne trophique, d'après **Wipfli *et al.* (2007)**, 95% de la matière organique est dégradée au sein des têtes de bassin en matières organiques particulières et dissoutes.

Ces matières constituent une source d'énergie qui définit un gradient des ressources trophiques ayant pour effet d'influencer la distribution longitudinale des organismes (**Vannote, 1980**). Vannote rajoute que sans cet apport, la chaîne trophique de l'ensemble du réseau hydrographique serait perturbée.

Le rôle de ces apports est fondamental pour le fonctionnement des écosystèmes situés à l'aval (**Alexander *et al.*, 2000 ; Peterson *et al.*, 2001 ; Meyer *et al.*, 2003 ; Meyer *et al.*, 2007 ; Lowe & Likens, 2005 ; Benda *et al.*, 2005**).

Ces fonctions sont fortement liées à l'organisation du réseau hydrographique et à l'action des organismes vivants dans les têtes de bassin.

1.3.1.3 UN SUPPORT POUR LA BIODIVERSITE

Ainsi des auteurs comme **Peterman *et al.* (2008)** ou encore **Cuffney *et al.* (1990)** mettent en avant l'action des invertébrés détritivores pour dégrader la matière organique et la rendre disponible en aval. Cette matière est essentielle pour les espèces qui vivent dans les têtes de bassin.

Le nombre d'espèces et leur effectif en tête de bassin ont été longtemps sous-estimés. Pourtant il s'agit d'un milieu offrant de nombreux habitats pour une grande variété d'espèces (**Meyer *et al.*, 2007**). En effet, le caractère varié et éphémère de ces milieux est une opportunité pour l'installation de nombreuses espèces (**LIFE, 2009**). Par exemple, 1004 taxons d'invertébrés ont pu être dénombrés en amont de cours d'eau allemands (**Allan, 1995 ; in Meyer *et al.*, 2007**).

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

Meyer a classé en cinq catégories les enjeux biodiversité sur les cours d'eau en tête de bassin versant : (Tableau II)

Tableau II : enjeux biodiversité des têtes de bassin versant

Enjeux	Description	Exemple	Auteurs
Espèces inféodées	Certaines espèces vivent spécifiquement dans les têtes de bassin.	Cf figure 5	Meyer <i>et al.</i>, 2007 ; Lowe & Likens, 2005
Espèces communes	Certaines espèces communes peuvent se trouver en tête de bassin pour se nourrir.	Truite fario	Chassignol & Valli, 2010
Zones propices à certaines étapes de la vie de plusieurs espèces	De nombreuses espèces migrent jusqu'aux têtes de bassin pour frayer.	Frayères	Meyer <i>et al.</i>, 2007 ; Vigneron & Pernet, 2000 ; Nihouarn in Baglinière <i>et al.</i>, 1991
Espèces liées aux espaces à proximité	Certaines espèces ne sont pas directement liées aux têtes de bassin mais aux espaces qui les entourent. (Zones humides)	C'est le cas de certaines salamandres	Dieterich & Anderson, 2000 ; Petranka, 1998 ; Fagan, 2002 ; Lowe, 2002 ; Grant <i>et al.</i>, 2009
Valeur refuge	Les têtes de bassin sont des lieux de refuge pour de nombreuses espèces.		Stout & Wallace , 2003 ; Meyer <i>et al.</i>, 2007 ; Fagan, 2002 ; Lowe, 2002 ; Grant <i>et al.</i>, 2009 ; Meyer, 2003



Figure 5 : espèces emblématiques des têtes de bassin : moule perlière (*joel berglund*), écrevisse à pattes blanches (*remi masson*), chabot (*site internet plongee-passion*) et lamproie de planer (*d. Florian*) source Choucard, 2011

Parmi ces quatre espèces, seul le chabot n'est pas considéré comme une espèce menacée selon les critères de l'Union Internationale de la Conservation de la Nature (IUCN), les autres sont

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

respectivement classées, vulnérable pour l'écrevisse à pattes blanches, quasi menacée pour la Lamproie de Planer et en danger pour la Moule perlière.

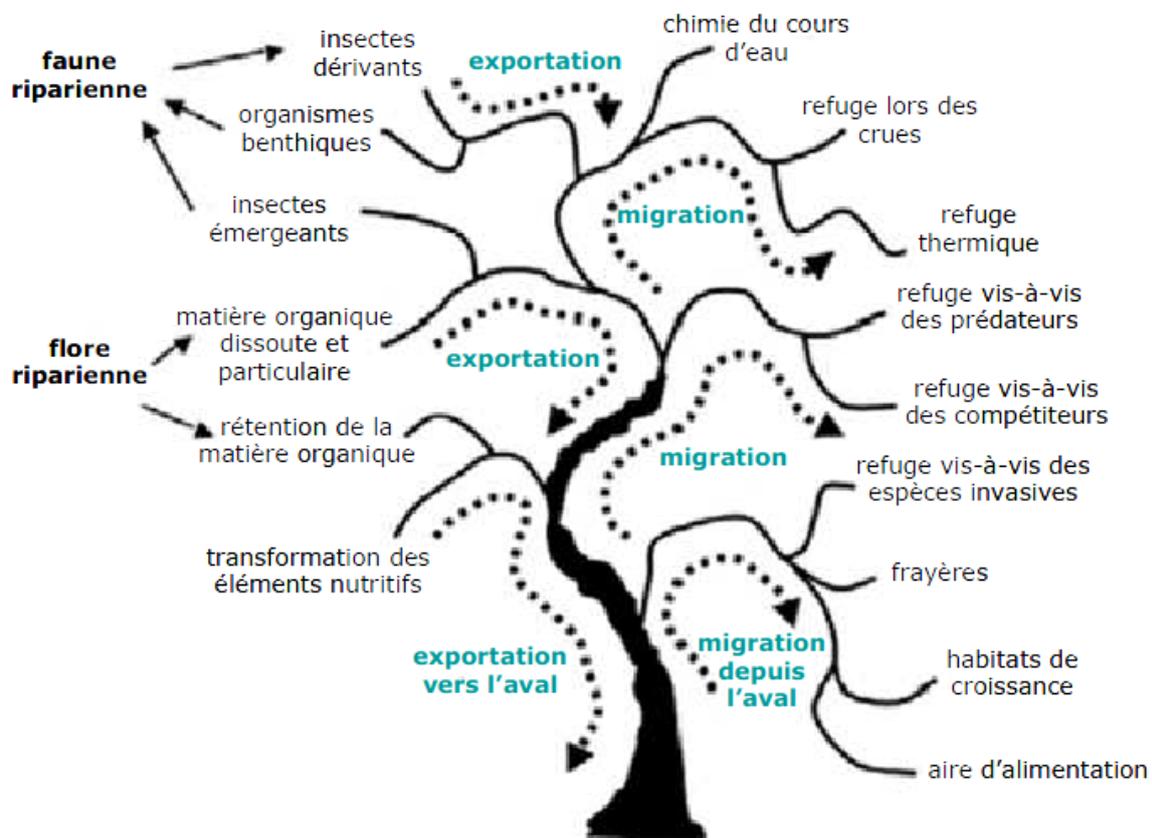


Figure 6 : Synthèse des fonctions biologiques jouées par les têtes de bassin (traduit de Meyer *et al.*, 2007 par le Bihan)

Par conséquent les têtes de bassin sont des habitats pour une large gamme d'espèces (Meyer *et al.*, 2007). Ce qui illustre en partie la nécessité de protéger l'amont du réseau hydrographique pour ces apports en matière de biodiversité. Le schéma précédent (*cf* figure 6) illustre une grande partie des fonctions biologiques qu'assurent les têtes de bassin versant.

1.3.2 LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES DE REGULATION

Les cours d'eau en tête de bassin versant sont des écosystèmes qui permettent de réguler leur environnement, ils fournissent des SES de régulation.

1.3.2.1 LA REGULATION DU REGIME HYDROLOGIQUE

Le SDAGE Loire – Bretagne attribue aux cours d'eau en tête de bassin versant le statut de «capital hydrologique» en particulier parce qu'ils assurent le bon fonctionnement hydrologique de l'ensemble du réseau. En effet, ils fournissent les contributions

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

hydrologiques prédominantes au bassin versant (**Lowrance et al., 1997 d'après Alexander, et al., 2007**), il est possible d'estimer à environ 60% la contribution des têtes de bassin versant aux débits des cours d'eau de rangs supérieurs à 2.

Cela se traduit particulièrement dans le cas de la régulation des crues. La petite taille de ces cours d'eau, leur forme et leur rugosité réduisent fortement les vitesses d'écoulement, ce qui régule les régimes hydrologiques et écrête ainsi les pointes de crues (**Meyer et al., 2003**). Par conséquent, ils permettent aussi de réduire le nombre d'inondations (**Sanford et al., 2007**) en évitant la conjonction de fort débit aux zones de confluences pendant certaines périodes.

1.3.2.2 POLLUTIONS ET QUALITE DES EAUX

Les têtes de bassin versant ont également une fonction épuratrice importante (cf figure 7), elles permettent de réduire l'impact des polluants (**Klaminder et al., 2006 in Bishop et al., 2008**). Particulièrement parce qu'elles représentent 70% du linéaire de réseau hydrographique et donc drainent une surface de bassin versant très importante (**Leopold, 1994**) comportant une part substantielle des pollutions.

Pour autant, ce sont aussi des zones qui possèdent une surface hyporhéique beaucoup plus importante que celle des cours d'eau d'ordre supérieur (**Harvey & Wagner, 2000 ; Harvey et al., 2003**). Ces zones d'interface entre la nappe et le cours d'eau sont propices aux procédés de dénitrification (**Thomas et al., 2001 ; Böhlke et al., 2004 ; Mulholland et al., 2004**) et ces mêmes procédés sont d'autant plus efficaces que le rang du cours d'eau est faible (**Howarth et al., 1996 ; Boyer et al., 2006**).

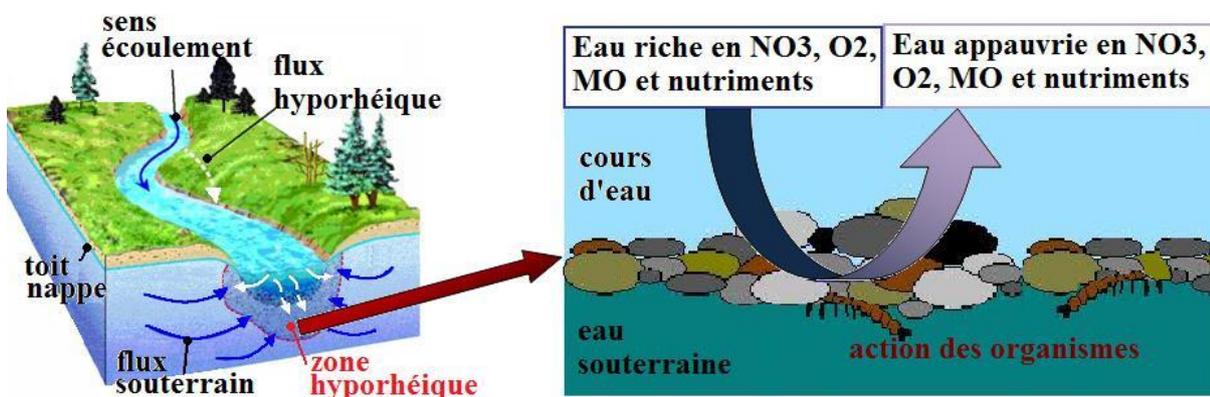


Figure 7 : (a) La zone hyporhéique d'un cours d'eau, traduit d'Alley et al., 2002 (b) circulation de l'eau dans la zone hyporhéique, d'après Boulton, 2000 in Brooks et al. 2003 Source : Choucard, 2011

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

Ainsi, **Meyer et al. (2003)** a montré que 64% de l'azote inorganique est maintenu ou transformé dans le premier kilomètre des cours d'eau et donc au niveau des têtes de bassin versant. Et comme le montre l'étude de **Montreuil et al. (2011)** cela est aussi le fait que les zones humides d'un petit cours d'eau sont susceptibles de présenter des degrés d'hydromorphie plus élevés qu'en aval. Ce qui favorise la dénitrification.

1.3.2.3 AUTRES BENEFICES EN TERME DE REGULATION

Les petits cours d'eau offrent aussi d'autres régulations, l'une des plus remarquables est leur capacité de régulation thermique (**Sanford et al., 2007**). Ainsi les petits cours d'eau sont plus frais que le reste du réseau hydrographique l'été (**Brooks et al., 2003**), ce qui peut être rapproché de la caractéristique de refuge saisonnier pour de nombreuses espèces. D'une manière plus globale, ils ont aussi un impact du point de vue climatique (microclimat et rétention du carbone).

1.3.3 LES SERVICES ECOSYSTEMIQUES D'APPROVISIONNEMENT

La troisième catégorie de SES qu'offrent les têtes de bassin versant est plus facilement quantifiable et connue, ce sont les services d'approvisionnement. Ils permettent de remettre facilement en relation la préservation de la ressource en eau et les activités.

1.3.3.1 LA RESSOURCE « EAU »

Ce qu'il faut mettre en relation avec ces chiffres concerne la disponibilité de la ressource « eau ». D'après l'agence de l'eau sur le bassin Loire-Bretagne, 44% du volume d'eau prélevée vient des eaux superficielles et par conséquent est directement lié aux têtes de bassin versant⁴. Ce qui signifie qu'en prenant en compte le réchauffement climatique et la forte probabilité de la réduction en volume de la ressource en eau, il est essentiel de préserver ces réserves en termes de qualité et de quantité d'autant plus qu'il s'agit de milieux sensibles aux perturbations (**Baxter et al., 1999 in Bishop et al., 2008 ; Buttle & Metcalfe, 2000 in Bishop et al., 2008**).

Les milieux aquatiques continentaux procurent une gigantesque variété de biens et de services à l'homme ce qui leur confère une valeur économique incommensurable (**Gleick, 1993 ; Costanza et al., 1997**).

⁴ Agence de l'eau Loire-Bretagne et ARS Centre et Bassin Loire – Bretagne : Captage d'alimentation en eau potable dans le bassin Loire-Bretagne, Octobre 2011

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

1.3.3.2 USAGES INDUSTRIELS ET AGRICOLES

De nombreuses industries ont besoin d'eau pour leur production et parfois d'eau de bonne qualité (potable) c'est le cas par exemple pour les IAA (Industries Agro Alimentaires), les distilleries ou encore la production de puces informatiques. Sur le territoire de la DIR2, c'est principalement les IAA qui ont besoin d'eau potable pour fonctionner, en Bretagne il s'agit de la première activité régionale (43% des entreprises et 33% de l'emploi industriel soit environ 8% de l'emploi total)⁵, elle représente 6,5% de l'emploi en Pays de la Loire⁶.

Aux consommations du secteur secondaire, il faut rajouter la consommation plus traditionnelle du secteur primaire. L'agriculture est une composante importante des deux régions qui sont respectivement 1^{ère} (Bretagne) et 2nd (Pays de la Loire) en termes de production. L'irrigation représente ainsi des prélèvements de l'ordre de 12 millions de m³ pour la Bretagne et de 207 millions de m³ pour les Pays de la Loire en 2010⁷.

1.3.3.3 PECHE ET PISCICULTURE

La pêche et la pisciculture dépendent également en partie des têtes de bassin versant. **Binckley et al.(2010)** montrent par leur expérience que l'accroissement du nombre de connexions avec les têtes de bassin augmente la biomasse de poissons en aval. L'impact sur la fourniture de nourriture par les têtes de bassin n'est pas négligeable, une tête de bassin pouvant fournir de la nourriture pour 100 à 2000 salmonidés (**Wipfli & Gregovich, 2002**).

1.4 LES FACTEURS INFLUENÇANT LE FONCTIONNEMENT DES TETES DE BASSIN VERSANT

Les SES précédemment présentés ne peuvent être fournis qu'à condition que les écosystèmes en têtes de bassin soient fonctionnels. Cette fonctionnalité peut s'analyser selon différents critères qu'ils soient morphologiques, biologiques ou encore physico-chimiques, la difficulté étant de savoir comment reconnaître une tête de bassin versant fonctionnelle. L'étude des paramètres morphologiques est cependant bien plus adaptée aux têtes de bassin (**Berkowitz et al., 2011**).

Il est admis qu'un cours d'eau est dit en bon état hydromorphologique (**Malavoi & Bravard, 2010**) quand il présente :

⁵ CCI Bretagne - Annuaire des Entreprises de France, mars 2012, INSEE - CLAP au 01/01/2010

⁶ CCI Pays de la Loire – Chiffres clés Pays de la Loire

⁷ Sources des données : Agence de l'eau Loire - Bretagne

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

- ❖ Une hydrologie non perturbée.
- ❖ Une morphologie diversifiée (faciès d'écoulement diversifiés, berges non protégées, alluvions mobiles, ripisylves fournies et variées, annexes hydrauliques).
- ❖ Une continuité écologique entre les milieux.

1.4.1 LA CARACTERISATION HYDROLOGIQUE DES TETES DE BASSIN VERSANT

1.4.1.1 DYNAMIQUE DE L'EAU



Figure 8 : Photographie d'un débit de pleins bords (Navratil, 2005)

La variabilité des débits constitue des éléments à prendre en considération pour évaluer le bon état d'un cours d'eau. En matière de référence, il n'existe actuellement pas assez d'études pour définir des débits normaux ou anormaux selon les contextes des cours d'eau en tête de bassin versant. Pourtant ce paramètre est

impactant et par exemple lorsqu'un débit est trop fort, l'eau ne pénètre plus dans le lit, il n'y alors plus de purification par la zone hyporhéique ou de recharge de nappe (Meyer *et al.*, 2003). Les débits sont aussi fortement influencés par les zones humides qui accompagnent très souvent les têtes de bassin versant (Janisch *et al.*, 2011) et jouent des rôles dans la régulation des débits (Mc Cartney *et al.*, 1998).

1.4.1.2 ETIAGES

A quoi, il faut rajouter la variabilité saisonnière des débits qui rend les interprétations de ce paramètre difficiles. La grande majorité des têtes de bassin est en effet classée en tant que cours d'eau temporaire (Datry *et al.*, 2012). Cependant le régime hydrologique des têtes de bassin versant est particulier. Elles appartiennent pour la plupart à la catégorie des cours d'eau temporaires c'est-à-dire qu'ils connaissent des périodes d'assèchement complet et sont particulièrement sensibles au changement climatique et à la demande en eau (Larned *et al.*, 2010 ; Datry *et al.*, 2012).

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

1.4.1.3 LES CRUES

De nombreux travaux existent sur la périodicité des crues dites morphogènes (c'est-à-dire qui contribuent et sont nécessaires à la modification ou à l'établissement des critères morphologiques d'un cours d'eau) (Leopold *et al.*, 1964 ; Woodyer, 1966).

Ce qu'il faut retenir c'est que la modification du régime hydrologique peut modifier la fréquence des crues débordantes (Grosprêtre & Schmitt, 2008) en les augmentant ou en les réduisant (Shankman & Samson, 1991 in Bravard *et al.*, 1999). Les modifications morphologiques peuvent également augmenter les volumes de crue comme les débits de pointe en aval. (Leopold, 1968 ; Hollis, 1975 ; Campana & Tucci, 2001).

Nakamura *et al.* (1997) donnent l'exemple d'une modification de la rivière Kuchoro au Japon qui une fois réalignée sur 10km pour évacuer plus efficacement les eaux de crue a entraîné en aval une accumulation des sédiments qui a fini par augmenter la fréquence des inondations et une altération des zones humides périfluviales.

1.4.1.4 DEBITS DE PLEIN BORD



Le débit a plein bord est une caractéristique fondamentale des cours d'eau, il est l'un des facteurs traduisant la capacité de restauration par résilience des cours d'eau (très utilisé pour désigner les cours d'eau à restaurer), c'est-à-dire sa capacité à retrouver un état de référence (LIFE, 2009 ; Bishop, 2008). Il est cependant difficile à analyser, nécessitant des estimations à partir d'autres paramètres (Navratil, 2005).

Figure 9 Photographie d'un cours d'eau avec un débit conséquent. Source : Photothèque de l'ONEMA

1.4.2 AVOIR UNE MORPHOLOGIE DIVERSIFIEE

1.4.2.1 SINUOSITE



La sinuosité d'un cours d'eau sur un tronçon donné correspond au rapport entre la distance que parcourt le cours d'eau (distance écologique) et la distance

Figure 10 : Photographie d'un cours d'eau sinueux. Source : photothèque de l'ONEMA

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

euclidienne du point amont au point aval. Les valeurs de sinuosité varient en fonction de différents paramètres : la pente, la forme de la vallée, la cohésion des berges, la largeur à pleins bords ... Pour les cours d'eau moyens à grands, certains scientifiques définissent 4 classes de sinuosité (nommée SI) : cours d'eau rectiligne ($SI < 1,05$), sinueux ($1,05 < SI < 1,25$), très sinueux ($1,25 < SI < 1,5$), méandrique ($SI < 1,5$) (Malavoi & Bravard, 2010). En tête de bassin versant, peu d'études se sont intéressées à l'analyse de la sinuosité des petits cours d'eau (Mathieu, 2010). En raison de la diversité typologique en tête de bassin (pente, forme de la vallée...), des classes de sinuosité par type de tête de bassin restent à définir.

Les cas de cours d'eau naturellement rectiligne sont très rares (ex : certains cours d'eau à très forte pente). Ainsi, un tracé rectiligne en tête de bassin est presque toujours indicateur d'une intervention anthropique (appelée rectification) (Malavoi & Bravard, 2010). La sinuosité naturelle des cours d'eau augmente le linéaire de cours d'eau fonctionnel sur un bassin versant, améliore les échanges cours d'eau – nappe (LIFE, 2009) et constitue un élément fondamental de la diversité des habitats.

1.4.2.2 ETAT PHYSIQUE DES BERGES



Figure 11 : Photographie d'une artificialisation des berges. Source : remi nguyen van

L'état physique des berges a aussi un impact considérable sur le régime hydrologique des têtes de bassin versant, notamment en matière d'érosion. Ainsi selon les matériaux disponibles, l'apport en matière soluble diffère et a des impacts sur l'ensemble du réseau hydrographique. Lorsqu'il y a des obstacles à l'écoulement sur les berges, l'onde d'écoulement n'est plus amortie (Degoutte, 2006) et devient plus puissante en aval dans les zones plus sensibles (Pinkham, 2000).

1.4.2.3 GRANULOMETRIE



Figure 12 : photographie d'un radier (granulométrie grossière) source : photothèque de L'ONEMA

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

réalisé une synthèse bibliographique. Elle stipule que ce phénomène entraîne une modification des habitats benthiques et interstitiels, des échanges d'eau et de matières entre la surface et la zone hyporhéique. La granulométrie affecte également la structure du peuplement d'invertébrés en modifiant la stabilité du substrat ainsi que la disponibilité en oxygène et en ressources trophiques.

1.4.2.4 PROFIL EN LONG ET EN TRAVERS

Les profils morphologiques du lit mineur et majeur permettent de prendre connaissance de l'activité géodynamique d'un cours d'eau. C'est le cas notamment du rapport largeur plein bord sur hauteur à plein bord qui exprimé permet de déterminer le profil géodynamique des cours d'eau (Malavoi & Bravard, 2010)

Figure 13 : Photographie d'un cours d'eau source : Remi Nguyen Van



↔ Largeur plein bord ↔ Hauteur plein bord

1.4.2.5 RIPISYLVE

La végétation de bord de berge également nommée ripisylve est un élément important pour le fonctionnement des têtes de bassin versant. Elle peut être analysée selon deux critères : la largeur de la ripisylve (Vidon & Hill, 2004) et l'adaptation du type de végétation à son milieu (Addy *et al.*, 1999).

Cette ripisylve procure de l'ombre qui permet de limiter le réchauffement de l'eau en période estivale (Booth, 1991 ;

Piégay & Maridet, 1994), elle favorise aussi la stabilité des berges (Swanson & Liekaemper, 1982 & Montgomery *et al.*, 2003) et son système racinaire offre de multiples caches à

poissons (Meehan *et al.*, 1977). Elle fournit également une source de bois mort au cours d'eau, ce qui favorise sa stabilité (Sedell *et al.*, 1988), assure une diversification des habitats (Piégay et Maridet, 1994) et une disponibilité en ressources nutritives (Steel *et al.*, 2003). Ce bois mort permet également une diversification des faciès géomorphologiques en modifiant les écoulements (Mongomery *et al.*, 2003).



Figure 14 : photographie d'un cours d'eau associée à une ripisylve fonctionnelle source : photothèque de L'ONEMA

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

D'une manière générale, cette ripisylve est souvent considérée comme une contrainte naturelle, elle est donc coupée ou remplacée par des espèces exotiques qui peuvent être moins adaptées aux conditions rivulaires (**Booth & Jackson, 1997**).

1.4.2.6 L'ALTERNANCE DE FACIES



Figure 15 : Photographie d'une alternance de faciès
source : photothèque de l'ONEMA

Malavoi et Bravard (2010) donnent la définition suivante des faciès : ce sont de petites portions de cours d'eau (d'une longueur comprise entre 1 et 10 fois la largeur à pleins bords environ) présentant une homogénéité, à l'échelle de quelques m² à quelques centaines de m², sur le plan des vitesses, des profondeurs, de la granulométrie, de la pente du lit, de la ligne d'eau et des profils en travers. Ce sont des unités employées aussi bien en hydrobiologie qu'en hydromorphologie. L'une des caractéristiques significatives des têtes de bassin possédant un degré de naturalité élevé est de posséder une alternance importante de faciès d'écoulement.

D'une manière générale, une morphologie banale dans un cours d'eau est synonyme d'une destruction de la diversité des habitats (**Meyer et al., 2005 ; Freeman et al., 2007**) et d'une limitation de la capacité d'autoépuration (**Breil et al. 2005 ; Namour et al., 2007 ; Schmitt et al., 2008 ; Lafont et al., 2010**).

1.4.3 LA CONTINUITÉ ÉCOLOGIQUE

Le dernier élément caractéristique est celui de la continuité écologique. Il s'agit d'analyser et de noter la présence d'obstacles sur le cours d'eau. Ces derniers pouvant gêner ou stopper les migrations des espèces migratrices ou isoler certaines zones du réseau hydrographique.

La DCE (Directive Cadre sur l'Eau, 2010) définit la continuité écologique comme « la libre circulation des organismes vivants et leur accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri, le bon déroulement du transport naturel des sédiments ainsi que le bon fonctionnement des réservoirs biologiques » (**ONEMA, 2010**).

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?



Figure 16 : Des œufs de chabot sur une tête de bassin versant. Source : Le Bihan (2012)

Ce paramètre est déjà analysé à partir du Référentiel des Obstacles à l'Écoulement (ROE) et du protocole Information sur la Continuité Ecologique (ICE) réalisés sur les ouvrages référencés. Cependant les plus petits cours d'eau ne sont pas vraiment renseignés dans ces bases.

Pourtant des frayères peuvent se situer en tête de bassin versant comme cette photo l'illustre.

1.4.4 LA SENSIBILITE ECOLOGIQUE DES TETES DE BASSIN VERSANT

Les têtes de bassin versant sont par ailleurs des zones particulièrement sensibles aux altérations. Leur petit gabarit et leur nombre élevé les prédisposent facilement aux modifications anthropiques (Smiley *et al.*, 2005).

Bien qu'ils offrent de multiples services écosystémiques, ces milieux sont d'une manière quasi systématique plus vulnérables que le réseau hydrographique aval (Bishop, 2008 ; Lowe & Likens, 2005). Ces dégradations ont un impact considérable sur le fonctionnement biologique du cours d'eau (Gomi *et al.*, 2002) et sur la qualité physico chimique de l'eau (Wasson *et al.*, 1998). Elles ont aussi la particularité d'être très souvent jugées irréversibles, les cours d'eau en tête de bassin ne dépassant que rarement la puissance spécifique de 35W/m^2 (seuil de réversibilité) (Wasson *et al.*, 1998).

Ces dégradations ont le plus souvent pour origine les activités humaines qui altèrent les habitats et altèrent les fonctions des têtes de bassin (Meyer *et al.*, 2007).

1.4.5 HISTORIQUE D'UN ANTHROPO-ECOSYSTEME

Selon Jones *et al.* (1994), il est possible d'attribuer à l'Homme le titre de meilleur « ingénieur écologique » de la planète (« ecological engineers »). Ce terme traduit assez bien la capacité de l'Homme à modifier et impacter son environnement. Cela se traduit sans jugement de valeur par une profonde modification des écosystèmes et dans un grand nombre de cas à l'incorporation de l'action humaine au sein de l'écosystème, ce sont les anthropo-écosystèmes ou les socio-écosystèmes.

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

En étudiant d'une part l'évolution de l'occupation des sols et des usages sur le bassin versant et d'autre part l'évolution des interventions directes dans le lit des cours d'eau, il est possible de décrypter l'évolution historique des pressions anthropiques sur les têtes de bassin versant.

1.4.5.1 L'EVOLUTION DE L'OCCUPATION DES SOLS ET DES USAGES

L'occupation du sol constitue un indicateur de pression intéressant sur les têtes de bassin. Ainsi **Wipfli et al. (2007)** précisent que plusieurs types d'occupation des sols peuvent perturber le fonctionnement des têtes de bassin et altérer les flux de matière.

L'EVOLUTION DE LA SURFACE FORESTIERE

Dès la préhistoire, l'Homme a pratiqué la déforestation afin de favoriser les surfaces agricoles, de gagner de la surface exploitable pour le développement urbain et se servir des ressources sylvicoles pour le chauffage, la construction... L'évolution de la superficie forestière semble être sous l'influence directe de l'évolution de la démographie et des usages (militaire, navigation, énergie..., cf figure 17).

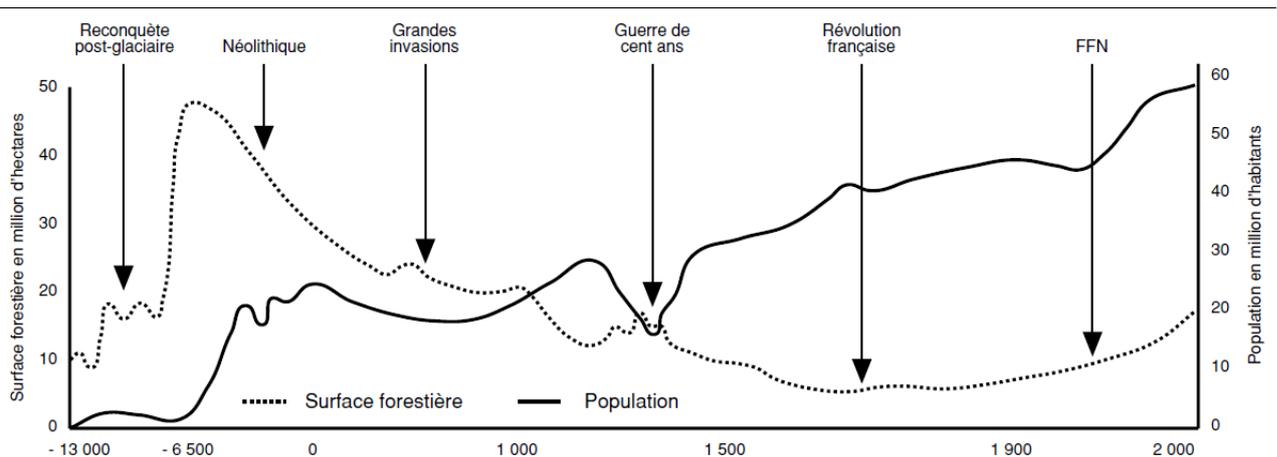


Figure 17 : évolution de la surface forestière en France (en millions d'hectares) (Ecurat, 1995)

Après avoir longtemps régressée, la forêt métropolitaine est en expansion depuis le début du XX^{ème} siècle et occupe actuellement environ 28% du territoire national (**ONF, 2012**).

Si l'évolution de la surface forestière est difficile à corréliser avec certains phénomènes, il est cependant possible de faire le constat qu'elle a fortement évolué. Une évolution qui n'est pas absoute de conséquences sur les milieux dont font partie les têtes de bassin versant.

En effet, en supprimant la couverture du sol par la forêt, la déforestation induit des phénomènes d'érosion des sols, des modifications de la qualité des eaux et une réduction à long terme des apports en matière organique aux cours d'eau.

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

L'EXPANSION DES VILLES

Les villes ont également un impact sur les cours d'eau. En effet, les 120 à 130 villes créées à l'époque de la Gaule antique (fixées au I^{er} et II^{ème} siècle) étaient localisées à proximité des sources, des fleuves et des rivières affluents, des lacs ou d'étangs. Les raisons invoquées à cette proximité avec les milieux aquatiques sont stratégiques (pour la défense, l'énergie, la ressource en eau...) (Leguay, 2002).

L'expansion urbaine que les villes ont connu, sous la dépendance de la croissance démographique, s'est effectuée par la suite directement sur les milieux naturels et a entraîné des altérations des habitats aquatiques (enterrement de cours d'eau, remblaiement de zones humides...).

Les villes sont aussi à l'origine de prélèvements et de rejets importants sur les cours d'eau (ex : sablonnières, tanneries, brasseries ...) (Leguay, 2002).

Au début du XIX^{ème} siècle, la révolution industrielle modifia en profondeur les infrastructures urbaines, les voies de communication et fut marquée par une augmentation de la pollution industrielle.

L'INTENSIFICATION DE L'AGRICULTURE

En l'an 1000, une révolution agricole s'opéra en occident avec l'arrivée de la charrue qui nécessita une adaptation du parcellaire existant (en lame de parquets). Cette révolution s'accompagna d'une multiplication des défrichements et des brûlis.

A partir du XVII^{ème} siècle, une modification des techniques et des modes de production s'est mise en place en Occident, La culture attelée lourde, a permis l'utilisation de machines plus imposantes et a démocratisé l'usage de matière organique pour faire du fumier. En France, ce modèle perdurera jusqu'à la seconde guerre mondiale.

A partir de 1945, les avancées techniques réalisées durant la seconde guerre mondiale sont à l'origine d'une modification profonde des pratiques agricoles. La traction animale est remplacée en moins d'une génération par le tracteur, et l'utilisation d'intrants (produits phytosanitaires et engrais minéraux) est généralisée (Renard, 2002).

Cette mécanisation implique la modification des configurations parcellaires, rendue possible par la loi sur la réorganisation foncière du 9 mars 1941 puis celles de 1960 et 1962 sur la modernisation agricole (Marochini, 1999). Des travaux connexes d'arasement des

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

haies/ripisylves, d'aménagements hydrauliques, de comblements de fossés, d'enterrement de cours d'eau sont réalisés afin de simplifier le parcellaire (Renard, 2002). Les cultures céréalières se sont spécialisées et l'élevage s'est intensifié.

L'EVOLUTION DES ZONES HUMIDES

A partir du V^{ème} siècle, les premiers travaux d'assèchement de zones humides sont effectués en France (Leguay, 2002). Du fait des moyens humains et matériels engagés, ces travaux étaient effectués durant plusieurs générations. Du XVI^{ème} au XX^{ème} siècle, une succession de législations favorisa le drainage et le remblaiement des zones humides (Cizel, 2010).

Mais, c'est véritablement à compter de la fin de la seconde guerre mondiale que les zones humides subiront les modifications et détériorations brutales (cf figure 18) notamment à cause de l'accélération du drainage (Penyen & Muxart 1995). En Europe, 50% des zones humides ont disparues au cours de ces 100 dernières années (Finlayson *et al.*, 2005) et en France, les 2/3 de la superficie des zones humides originelles ont été détruits. En cent ans, cette disparition représente 2,5 millions d'hectares, soit trois fois la superficie de la Corse (Bernard, 1994).

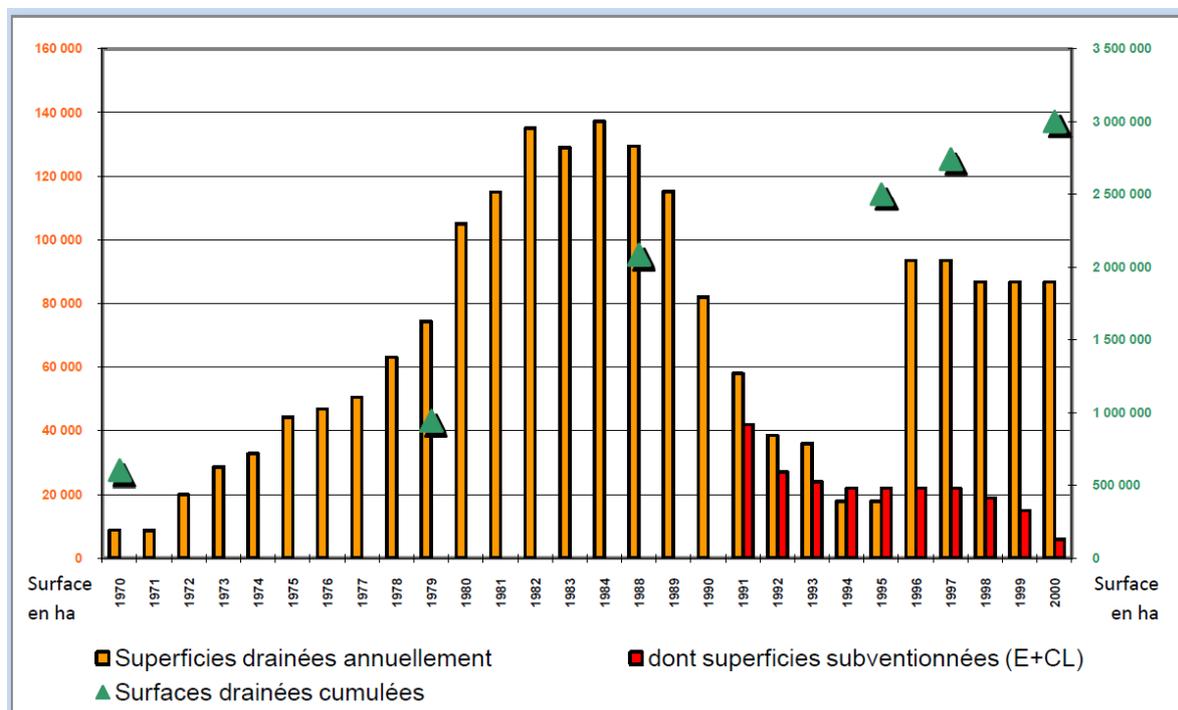


Figure 18: Recensements agricoles et enquête de structure des surfaces drainées de 1970 à 2000. Source : Fouque *et al.*, 2006

A compter de 2001 l'Etat a décidé l'arrêt des subventions au drainage

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

Leduc & Roy (1990) précisent que le drainage peut entraîner des variations du débit de pointe des cours d'eau tandis que **Sogon et al. (1999)** avance que l'extension artificielle du système hydrologique induit par le drainage a pour effet d'augmenter les Matières En Suspension (MES). Ce drainage a mené à une chenalisation systématique des cours d'eau de rang 1 (**Mattingly et al., 1993 in Landwehr & Rhoads, 2003**).

Ces changements d'usages des sols et des modifications ont été accompagnés en parallèle de travaux sur le lit mineur.

1.4.6 IMPACT ANTHROPIQUE SUR LES TETES DE BASSIN

Dès le haut Moyen-âge et plus encore aux XI^{ème} et XII^{ème} siècles, les seigneurs ont engagé des travaux visant à discipliner le débit et le cours des fleuves et des rivières, à réguler les lits et à faire reculer les marais (**Leguay, 2002**). Ces travaux avaient pour objectif de gagner de nouveaux terrains pour l'expansion des villes et des surfaces cultivées. Toutefois, ils nécessitaient d'importants moyens financiers et matériels, ces travaux restaient donc localisés. (*cf* figure 20)

Les contraintes techniques à la réalisation des travaux ont été considérablement amoindries au cours de ces deux derniers siècles grâce à l'amélioration technologique. **Petts (1984)** et **Brookes (1988)** font alors le constat que les cours d'eau ont été largement artificialisés. Partant de ce fait, certains auteurs comme **Malavoi et Adam (2007)** ou **Grosprêtre & Schmitt (2008)** ont établi des typologies des aménagements effectués dans les cours d'eau.

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

Interventions	Périodes	Intensité	Objectif(s) / Usages
Chenalisation (recalibrage, rectification, rescindement de méandres)	- Dès les 18 ^e et 19 ^e siècles	+	- Réduire les conséquences des inondations et l'érosion des terres riveraines, - Navigation
	- Début années 1950 / fin années 1980	+++	Réduire les conséquences des inondations et l'érosion des terres riveraines
Extractions de matériaux en lit mineur	- Depuis l'Antiquité	+	Matériaux de construction « bon marché » (bâtiment, voirie, etc.)
	- 19 ^e siècle	++	
	- 20 ^e siècle	+++ (mécanisation des outils)	
Implantation de barrages et de seuils	- Moyen Âge au 19 ^e siècle	+++	Usages initiaux ¹ : meunerie, forge, irrigation, flottage, pisciculture, etc. + débuts de l'hydroélectricité (19 ^e)
	- 20 ^e siècle	+	Abandon des usages initiaux et développement de l'hydroélectricité (barrages) + stabilisation des lits (seuils)
	- Années 1980	+	Seuils de compensation et de résorption des impacts physiques et écologiques du recalibrage

Figure 19 : Les principales interventions directes de l'homme sur l'hydrologie et la morphologie des cours d'eau (Malavoi et Adam, 2007)

1.4.6.1 LA CHENALISATION

Brookes (1988) définit 5 types majeurs d'interventions anthropiques dans les cours d'eau, 4 d'entre elles (le recalibrage, la rectification, l'endiguement et la protection des berges) peuvent être totalement ou en grande partie assimilées aux travaux de chenalisation. Il les définit de la manière suivante :

Tableau III : Présentation des travaux liés à la chenalisation. Source : réalisation personnelle.

Altération	Description
Recalibrage	Augmentation de la capacité d'évacuation des débits de crue en lit mineur par l'élargissement et l'approfondissement du chenal.
Réalignement / Rectification	Raccourcissement d'une portion de cours d'eau sinueux ou méandrique par le recoupement artificiel des coudes.
Endiguement	Protection des terres riveraines du cours d'eau contre les crues et augmentation de la capacité hydraulique du lit en hautes eaux ou encore protection des espaces agricoles ou urbanisés contre les phénomènes d'érosion liés à

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

	l'ajustement dynamique du cours d'eau.
Protection des berges	Contrôle de l'érosion des berges par des structures imperméables



Figure 20 : Photographie d'un cours d'eau complètement chenalise, même le fond est artificialisé. Source : Remi Nguyen Van

La chenalisation a pour vocation de protéger les terres riveraines contre les inondations et les érosions de berges (**Grosprêtre & Schmitt, 2008**). Ce qui conduit généralement à la recherche d'un accroissement de la capacité hydraulique du lit mineur en modifiant le profil en travers (recalibrage), la linéarisation du tracé et/ou l'augmentation de la pente (rectification), ou bien par l'endiguement et la protection des berges (endiguement et protection des berges) (**Wasson et al., 1998**).

Les phénomènes d'érosion sont alors stoppés au niveau des cours d'eau chenalisés. Cependant en amont du tronçon, l'érosion s'accroît et en aval une augmentation du dépôt sédimentaire se développe (**Park, 1977**). L'endiguement et les protections de berges quant à eux participent à l'incision des chenaux

en confinant des écoulements dans le lit mineur et en limitant les érosions de berges (**Peiry, 1987**). Le cours d'eau atteint alors une efficacité hydraulique (**Hammer, 1972 ; Arnold et al., 1982**) rarement observée en milieu naturel qui favorise les crues en aval (**Leopold, 1968 ; Hollis, 1975 ; Campana & Tucci, 2001**).

Woodcock & Huryn (2007) estiment que cette artificialisation impacte la qualité écologique de l'ensemble du réseau à cause de la perte de capacité de rétention de la matière organique. **Wasson et al (1998)** vont plus loin en précisant qu'il existe aussi des problèmes d'accentuation des épisodes de crues et d'étiage ainsi que des problèmes d'érosion des sédiments fins.

Ces interventions ont visé notamment les cours d'eau en tête de bassin. Aux Etats-unis, la chenalisation a été utilisée de manière intensive pour drainer les excès d'eau issus des

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

parcelles agricoles (Mattingly *et al.*, 1993 in Landwehr & Rhoads, 2003 ; Smiley *et al.*, 2009). Cet aspect existe aussi en Europe.

1.4.6.2 LES ENTERREMENTS



« En effet, perçus de plus en plus comme une contrainte, les activités anthropiques ont conduit à ce que des cours d'eau soient enterrés vivants » (Meyer *et al.*, 2005).

Pour reprendre les mots de Le Bihan (2009), le terme « enterrement » fait référence à la disparition de l'écoulement de surface. Il identifie trois méthodes

Figure 21 : Enterrement d'une tête de bassin. Source : Le Bihan 2009

- principales pour y parvenir :
- ❖ Le busage consiste à intercepter l'écoulement amont via des buses dont le diamètre est adapté à l'écoulement.
 - ❖ Le drainage du cours d'eau consiste à récupérer les écoulements et à les concentrer en un point (souterrain lors d'un enterrement).
 - ❖ Le comblement consiste à niveler le lit majeur par ajout de terre ou de gravats, obligeant l'écoulement à s'infiltrer.

Il faut quand même noter que ces cours d'eau peuvent aussi disparaître de façon naturelle (cf figure 22).

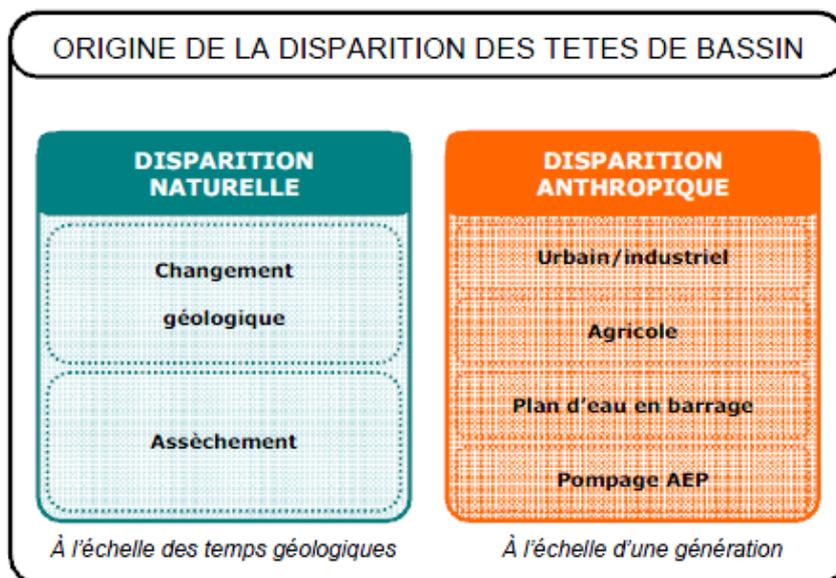


Figure 22 : Origine de la disparition des têtes de bassin. Source : Le Bihan (2009)

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

Comme l'illustre cette figure, l'origine de la disparition des cours d'eau peut être la résultante de différentes activités humaines (suite à la création d'un plan d'eau comme précisé précédemment, en secteur agricole pour réduire les contraintes environnementales ou encore pour des questions foncières ou de sécurité en zones urbaines).

D'une manière générale, ce sont les têtes de bassin versant qui sont les plus touchées par les enterrements. Ainsi les auteurs de la publication intitulée « **Aqua incognita the unknown headwaters** » (**Bishop et al., 2008**) précisent que les cours d'eau disparus sont essentiellement des cours d'eau de rang 1.

A Toronto (Canada), une organisation environnementale (**Toronto Green Community, 2009**), invite les randonneurs à faire la « lost river walks » qui consiste à réaliser une excursion le long des cours d'eau afin de permettre une prise de conscience par les populations. « Un busage ponctuel devrait seulement avoir un effet local. Mais quel pourrait être l'impact de l'effet cumulé du busage de nombreux tronçons de cours d'eau ? » (**Le Bihan, 2009**). Ces deux phrases illustrent le véritable problème de l'enterrement ainsi que son intensité...

Du point de vue des conséquences, le coût environnemental de l'enterrement des cours d'eau dans les secteurs anthropisés, est reconnu (**Pinkham, 2000**). Au niveau biologique, outre le fait qu'un busage détruit les habitats aquatiques in situ, il a aussi un effet néfaste à l'aval, les communautés biologiques étant impactées sur l'ensemble du réseau trophique (**Freeman et al., 2007**). Il y a par exemple une diminution de la richesse taxonomique en invertébrés à l'aval des buses (**Charbonneau & Resh, 1992 ; Wallace et al., 1997**).

De plus le busage s'accompagne d'une perte de contact avec la ripisylve (**May et al., 1997**) comme avec une grande partie de son environnement (notamment plus de zone hyporhéique).

Enfin le busage a aussi un effet néfaste au niveau des pollutions. Le suivi des produits phytosanitaires au sein d'un cours d'eau situé en zone agricole en Suède a par exemple révélé des niveaux de concentration plus élevés dans les tronçons busés que dans les sections ouvertes (**Kreuger, 1998 in Meyer et al., 2005**).

1.4.6.3 LES OBSTACLES A LA CONTINUITÉ ECOLOGIQUE



Figure 23 : Photographie d'un obstacle sur cours d'eau. Source : Remi Nguyen Van

A ces 3 altérations s'ajoutent les d'obstacles à la continuité écologique. Ces éléments constituent des points de rupture de la continuité géomorphologique et écologique des cours d'eau.

Il est reconnu que ces obstacles ont des impacts sur la circulation piscicole, la composition de la faune aquatique et la granulométrie du substrat (Malavoi et al 2007). Les barrages, en interrompant le transit de la charge solide, entraînent régulièrement des incisions et/ou des pavages dans les cours d'eau en aval (Galay, 1983 ; Williams & Wolman, 1984 ; Rollet, 2007). Les plans d'eau en barrage appartiennent à cette catégorie d'ouvrages. Ils cumulent à la fois les impacts

des ouvrages transversaux et ceux générés par le passage d'un milieu lotique (écoulement rapide) à lentique (écoulement lent) sur de larges surfaces (effet plans d'eau).



Figure 24 : Photographie d'un plan d'eau en état d'eutrophisation avancée. Source : Rémi Nguyen Van

De plus, ils peuvent avoir des effets sur le débit (Cas de l'étang de Hâtes d'Or, Joly, 1982 in Lafleur, 1999), l'envasement (Mouille, 1982 ; Lefevre, 1986 ; Lansart, 1989 ; Cote, 1994 ; Aqualis, 1996 ; Fustec et al., 1998 ; Le Broch, 1998), la température (Joly, 1982 in

Lafleur, 1999), l'eutrophisation (Frank, 1986

in Souchon et al., 1996) ainsi que la biologie.

Vignerot (1999) note par exemple que les plans d'eau en barrage situés sur des cours d'eau de catégorie B3 à B6 (classification de Verneau) ont un effet en aval du réseau jusqu'à 1500m. Cet impact peut aller jusqu'à l'assèchement des têtes de bassin versant en aval lors des périodes d'étiages.

1.4.6.4 L'ENTRETIEN



Figure 25 : Curage de la mare de Bredgar (uk) source : Penny Mayes (2002)

Brookes (1988) dans sa classification des interventions majeures de l'Homme sur les cours d'eau rajoute une 5^{ème} catégorie liée à tous les autres travaux. Il s'agit de l'entretien qu'il définit de la manière suivante : Enlèvement de tous les obstacles à l'écoulement, tels que des gros éléments du substrat, des plantes aquatiques et des racines importantes lors de l'opération de curage.

Il faut rajouter à cette intervention l'entretien quotidien de la ripisylve par exemple (qui se termine souvent par une ablation totale de cette dernière) et le maintien en bon état des installations (fossés, barrages, plans d'eau, buses...). A ce sujet **Landwehr & Rhoads (2003)** précisent que l'efficacité du drainage est notamment conditionnée par l'entretien.

L'entretien est une obligation légale d'après l'article **L. 215-14 du Code de l'Environnement** : « le propriétaire riverain est tenu à l'entretien de la rive par élagage et recépage de la végétation arborée et à l'enlèvement des embâcles et débris, flottants ou non, afin de maintenir l'écoulement naturel des eaux, d'assurer la bonne tenue des berges et de préserver la faune et la flore dans le respect du bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques. »

Fondamentalement, l'entretien n'est pas forcément néfaste pour les cours d'eau et leur fonctionnement hydromorphologique. Les travaux de restauration pour le bon fonctionnement écologique peuvent s'apparenter à de l'entretien. Pour autant les pratiques d'entretien répondent souvent à des contraintes sociales ou économiques contraires aux intérêts écologiques, elles sont souvent aussi la résultante d'une méconnaissance des milieux (**Malavoi et al., 2007**). Par exemple, les embâcles sont, encore aujourd'hui souvent considérées comme des obstacles néfastes pour l'écoulement des cours d'eau alors que le bois mort peut être un habitat intéressant pour de nombreuses espèces. Même si progressivement les gestionnaires préconisent une gestion plus différenciée (au cas par cas), les pratiques évoluent plus doucement.

1.5 POLITIQUES DE L'EAU ET TÊTES DE BASSIN VERSANT

« La valeur écologique et le rôle fonctionnel des hydrosystèmes de têtes de bassins sont souvent sous-estimés et mal connus. Du fait de leurs faibles dimensions, ces milieux ont généralement tendance à ne pas être pris en compte dans les réflexions d'aménagement » (POSTLIFE, 2009).

Jusqu'à présent, il a été présenté en filigrane les dispositifs institutionnels et juridiques existant autour des têtes de bassin versant, notamment le cas complexe de la définition des têtes de bassin versant (*cf* 1.1 La délicate question de la définition des têtes de bassin versant). Cependant, il est aussi nécessaire de faire un état de l'art de la prise en compte des têtes de bassin versant en termes de droit et de gouvernance.

1.5.1 DES FACTEURS QUI COMPLIQUENT LA PRISE EN COMPTE DES TÊTES DE BASSIN VERSANT

Tout comme les conclusions du rapport LIFE (2009) précédemment cité, Lassaletta *et al.* (2010) précisent que les têtes de bassin versant sont souvent négligées et non intégrées dans des dispositions à cause de la méconnaissance de ces milieux. Le Cerf (2005) arrive lui aussi à cette conclusion « ..., le fonctionnement des cours d'eau de tête de bassin a longtemps suscité l'indifférence des gestionnaires, du grand public et souvent des chercheurs dont l'intérêt est indéniablement tourné vers les rivières et les fleuves » (Saunders *et al.*, 2002 ; Meyer *et al.*, 2003 ; Moore & Richardson, 2003 ; Lowe & Likens, 2005).

Pour cette raison, les têtes de bassin ont d'une manière générale reçu une protection faible face aux activités humaines alors que les travaux qui s'y déroulent peuvent être réalisés très rapidement (Bhishop *et al.*, 2008). Ce sont également des milieux difficiles d'accès (Benda *et al.*, 2005). Il existe également un désintérêt lié au manque d'activités praticables sur les petits cours d'eau (de loisirs comme la pêche ou économiques comme l'hydroélectricité).

D'autres difficultés en matière de gestion, viennent du fait que les têtes de bassin sont majoritairement situées sur des propriétés privées (Meyer *et al.*, 2007) et viennent aussi de leur multiplicité qui compliquent la définition d'action cohérente sur des zones aussi larges. Les têtes de bassin versant sont aussi des éléments complexes qui dans un même bassin peuvent être très différents et varier grandement en terme de caractéristiques hydromorphologiques et biologiques (Benda *et al.*, 2005).

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

Ce triptyque méconnaissance – désintérêt – difficultés explique en partie le manque de réactivité des politiques de l'eau.

1.5.2 CADRE INSTITUTIONNEL ET PRISE EN COMPTE GENERALE

« La réglementation actuelle, qu'elle soit européenne ou nationale, ne distingue pas directement les têtes de bassin des autres éléments d'un bassin versant » (**LIFE, 2007**). Le premier point notable en matière de législation et de gestion des espaces, c'est l'absence d'une définition juridique des têtes de bassin

Les têtes de bassin versant ont pourtant une protection réglementaire mais celle-ci s'impose de manière détournée et est souvent liée à l'appréciation des tribunaux.

Lors des litiges, une visite de terrain est systématiquement organisée, elle est cependant ponctuelle et sujette à interprétation. L'autre référence utilisée est celle de la BD TOPO de l'IGN qui comme précisé précédemment n'est pas complète... Les cours d'eau étant parfois restreints au trait plein sur la carte IGN au 1 : 25000.

Les deux décrets « nomenclature » et « procédures » de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA entrée en vigueur au 1er octobre 2006) traduisent dans le code de l'environnement des obligations en cas de travaux ou d'activités impactantes sur les cours d'eau via la rédaction d'un « document d'incidences ».

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

Tableau IV : Récapitulatif partiel des obligations de déclaration et autorisation en fonction des travaux réalisés sur cours d'eau source : LIFE (2007)

Rubriques nomenclature	Types de travaux (Liste non exhaustive)	Déclaration	Autorisation
3.1.2.0 modification profil en long ou en travers	<ul style="list-style-type: none"> - entretien ponctuel - passages busés - création ou réparation de passage à gué et/ou d'abreuvoirs 	L < 100 m	L > 100 m
3.1.3.0 impact sur la luminosité	<ul style="list-style-type: none"> - construction de ponts hors du lit mineur d'un cours d'eau - passages busés 	10m < L < 100m	L > 100 m
3.1.4.0 consolidation ou protection de berges autre que par TK végétales	Protection de berges	20m < L < 200 m	L > 200 m
3.1.5.0 destruction de frayères, zones de croissance ou d'alimentation	<p style="text-align: center;">TOUS</p> <ul style="list-style-type: none"> - entretien ponctuel - passages busés - création ou réparation de passages à gué et/ou d'abreuvoirs - traversées en tranchée - protection de berges... 	S < 200m ²	S > 200 m ²
3.3.1.0 assèchement, imperméabilisation, mise en eau, remblai de zone humide ou de marais	Remblai en lit majeur, drainage...	1 000 m ² < S < 10 000 m ²	S > 10 000 m ²

Les travaux sont soumis au triptyque « Eviter – Réduire – Compenser » de la **loi du 10 juillet 1976**. Il existe aussi un problème en tête de bassin lié au dimensionnement des travaux qui peuvent échapper aux réglementations du fait des seuils de la nomenclature (faibles longueurs de cours d'eau, zones humides de faibles dimensions).

Parfois il est possible d'associer les têtes de bassin versant et les zones humides. La notion de zone humide est définie dans **la loi sur l'eau de 1992** ; « Terrains exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire. La végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année ». Outre l'application des précédents décrets aux zones humides, celle-ci font aussi l'objet d'une reconnaissance de leur utilité dans le code rural via **la loi sur le Développement des Territoires Ruraux (DTR) de 2005**. Cela se traduit par le classement en Zones Humides d'Intérêt Environnemental Particulier (ZHIEP) ou en Zones Humides Stratégiques pour la Gestion de l'Eau (ZHSGE) (circulaire d'application du 25 juin 2008) qui peuvent conduire à l'instauration de servitudes d'utilité publique par l'Etat ou les collectivités territoriales. Ce classement permet de réglementer les usages par les préfets.

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

Au niveau Européen, le programme **LIFE (L'Instrument Financier pour l'Environnement)** a réalisé un programme intitulé « **Ruisseaux en tête de bassin et faune patrimoniale associée** » entre 2004 et 2009 afin de faire évoluer la prise en compte des têtes de bassin versant. Si ce programme est resté globalement localisé dans des zones de protections particulières (**NATURA 2000, PNR voir zone d'arrêté biotope**), il a le mérite d'illustrer une prise de conscience progressive des législateurs, financiers et gestionnaires du sujet.

1.5.3 GESTION LOCALE

La traduction plus fine des politiques de l'eau se fait principalement au niveau des SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) et de leur déclinaison par bassin versant les SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux).

Le SDAGE Loire-Bretagne dans sa version 2010-2015 (**AELB, 2009**) inscrit dans ces orientations fondamentales la « préservation des têtes de bassin versant » (N° 11) et en propose la définition suivante : « 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% ». En plus de cette définition, il réclame des SAGE qu'ils établissent un inventaire des têtes de bassin versant.

Ces deux points témoignent d'une prise en compte particulière des têtes de bassin versant au niveau du bassin, il faut noter que ce SDAGE est le premier à intégrer les têtes de bassin versant. D'autres initiatives en lien avec les Schéma Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE) et les trames vertes et bleues doivent compléter ces dispositifs.

1.5.4 EVALUATION

L'ensemble des politiques précédemment décrites conduisent indéniablement à la question de l'évaluation des têtes de bassin versant et principalement de la notion de « bon état des eaux » de la DCE.

Le bon état des eaux au sens de la DCE est défini comme l'atteinte de caractéristiques qui permettent la présence des espèces animales et végétales qui occupaient naturellement le milieu (le bon état correspond à 75% de l'état naturel) (**FNE, 2008**).

Les masses d'eau sont considérées comme des portions de cours d'eau, lacs ou autres milieux aquatiques relativement homogènes. Elles servent à la fois à établir des unités pour l'évaluation mais aussi à définir des objectifs par masse d'eau (selon le degré

1 Que SAVONS-NOUS des têtes de bassin versant?

d'anthropisation). Ensuite le bon état est défini (en ce qui concerne les eaux superficielles) comme la conjonction entre bon état écologique et chimique.

- ❖ Le premier correspond à un diagnostic des communautés biologiques présentes sur la masse d'eau (poissons, végétaux, diatomées et invertébrés aquatiques).
- ❖ Le second consiste à analyser et évaluer la présence de polluants au sein de la masse d'eau.

Il faut noter qu'il existe des nuances entre les objectifs des masses d'eau superficielles selon qu'elles appartiennent à la catégorie des masses d'eau classiques, des Masses d'Eau Fortement Modifiées (MEFM) ou des Masses d'Eau Artificielles (MEA) (C'est le potentiel écologique qui est évalué pour les MEA et MEFM).

Un troisième critère est utilisé par les gestionnaires mais ne paraît pas directement dans la DCE, c'est l'hydromorphologie qui correspond à l'état des critères physiques des masses d'eau.

De nombreux organismes ont collecté des informations sur la qualité des milieux, parmi ces derniers, il est possible de citer (liste non exhaustive) les Agences de l'eau, le Service de l'Observation et des Statistiques (SoeS) du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'énergie (MEDD), les fédérations de pêche, les services déconcentrés de l'état (DDTM et DREAL) ou encore l'ONEMA et l'IRSTEA.

Bien que des travaux débutent sur les têtes de bassin versant ([Descampeaux, 2011](#) ; [Goron, 2012](#)), la majeure partie des protocoles actuellement employés ne sont pas adaptés au contexte particulier (et hétérogène) des têtes de bassin versant. Actuellement une partie des équipes de la DIR2 travaille sur la réalisation d'un protocole d'hydromorphologie sur les têtes de bassin de référence. Des expérimentations sur le kick sampling (biologie) ont également lieu ([Feeley et al., 2012](#)). Les travaux de cette étude s'inscrivent également dans une démarche d'amélioration de la connaissance des têtes de bassin.

Une autre partie des initiatives en matière d'évaluation vient des organismes chargés de mettre en place les SAGE, tels que les Etablissements Publiques Territoriaux de Bassin (EPTB) ou certains syndicats de bassin. Ces évaluations ont pour origine la nécessité de répondre aux objectifs du SDAGE Loire-Bretagne et son objectif 11 concernant les têtes de bassins.

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Ainsi le SAGE Couesnon, pour hiérarchiser les têtes de bassin versant afin d'en améliorer la gestion, a établi 4 classifications composées de plusieurs indices pour définir les enjeux respectifs (Physico-chimie, Biologie, Quantité et Hydromorphologie) de chaque cours d'eau (**Choucard, 2011**).

Dans le domaine de la recherche, à noter, la thèse de **Le Cerf (2005)** intitulée « Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin : Etude du processus de décomposition des litières » au cours de laquelle il propose d'utiliser l'analyse de la décomposition des litières comme un indicateur fonctionnel des têtes de bassin.

2. AMELIORER LA CONNAISSANCE DE CES MILIEUX

2.1 OBJECTIFS ET AMBITIONS

Comme **Bishop (2008)**, le constat est fait que l'état des connaissances sur les têtes de bassin versant est encore à améliorer. En effet, les têtes de bassin versant ont fait l'objet de très peu d'études, leur nombre réduit ne permet pas d'établir des référentiels de comparaison nécessaires à leur évaluation.

Il existe deux obstacles majeurs à la prise en compte de ces milieux, la méconnaissance de leur état de référence et de leur état actuel (sur de vastes zones).

Cette thématique commence cependant à susciter de l'intérêt pour un plus grand nombre et conduit à l'émergence d'études le plus souvent soit localisées (sur une masse d'eau ou un bassin versant) soit thématiques (notamment sur les questions d'enterrement). Si les unes comme les autres ont un intérêt en matière de gestion et de recherche, elles ne permettent pas d'établir un bilan global des caractéristiques des cours d'eau en têtes de bassin au niveau national.

Cette étude aborde l'analyse des têtes de bassin sous 3 idées directrices pour établir un diagnostic efficace de ces milieux.

- ✓ Représentatif : Des sites d'analyses ont été minutieusement sélectionnés pour conduire à un panorama de données exploitables sur de larges zones.
- ✓ Diachronique : Cette étude intègre une dimension temporelle afin d'évaluer la détérioration des milieux.

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

- ✓ Comparatif : Les caractéristiques des milieux sont extraites en les comparant les uns les autres.

2.2 SITES D'ETUDES

Cette partie a pour objectif d'exposer les choix réalisés en matière de délimitation des sites d'études.

2.2.1 CONTEXTE ET ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

Les régions Bretagne (27 208 km²) et Pays de la Loire (32 082 km²) occupent la partie occidentale du bassin Loire-Bretagne et représentent un tiers de la superficie de ce bassin (cf. Figure 26).

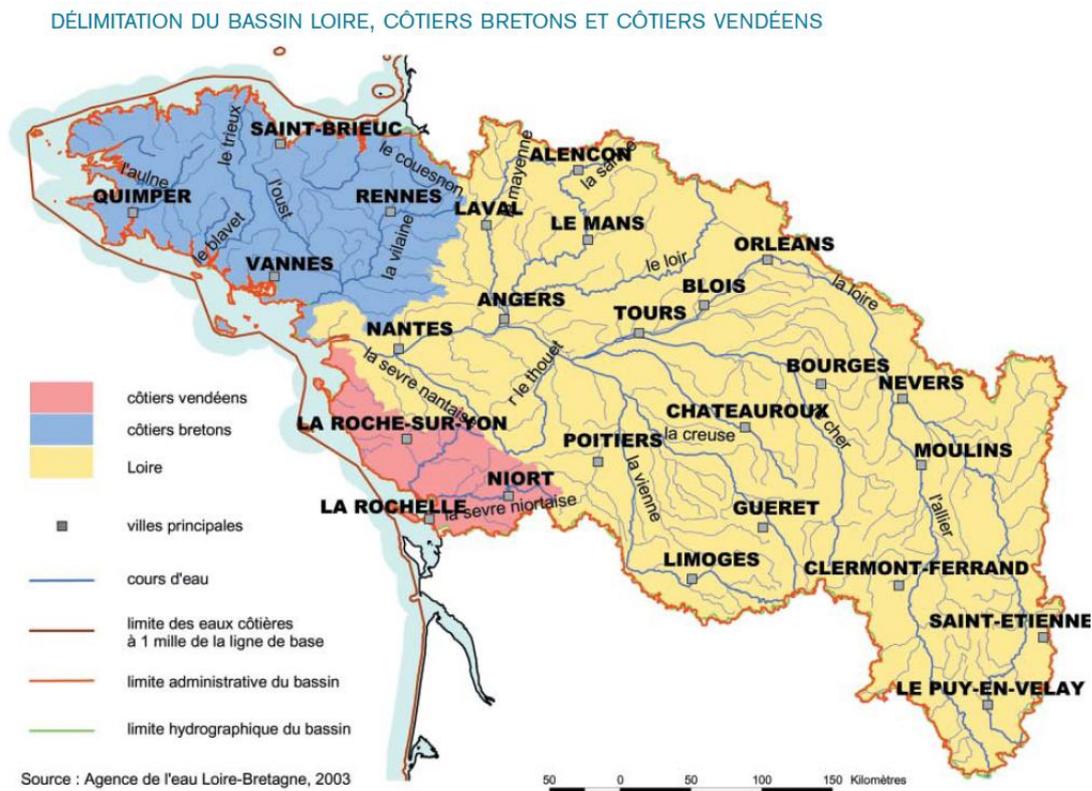


Figure 26 : Principaux cours d'eau du bassin Loire-Bretagne

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Le territoire est sous l'influence d'un climat tempéré océanique, caractérisé par des amplitudes thermiques annuelles peu marquées ainsi qu'une pluviométrie abondante et régulière. Le territoire est constitué de 3 hydroécocorégions⁸ de niveau 2 :

- ❖ Le Massif Armoricaïn Ouest et Nord : altitude inférieure à 400m avec des vallées de pente moyenne, relief marqué, géologie de type granitique, forte densité de drainage avec des cours d'eau de faible longueur avec des débits relativement soutenus et peu variables.
- ❖ Le Massif Armoricaïn Est et Sud : altitude inférieure à 100m avec des vallées de pente faible, géologie de type métamorphique (schistes, gneiss), débits d'étiage très faibles.
- ❖ Les Tables calcaires de la Loire : à l'Est de la Sarthe et du Maine et Loire, représentent une partie marginale d'un large ensemble calcaire du Bassin Parisien. Elle est caractérisée par un relief très aplani avec des pentes faibles, une faible densité de drainage.

La longueur du linéaire de cours d'eau s'écoulant sur le territoire de la DiR2 est d'environ 76 000 km (BD TOPO, 2010). Les cours d'eau de l'Ouest armoricaïn présentent une typologie plutôt salmonicole alors que l'Est de la région est dominé par des cours d'eau intermédiaires ou cyprinicoles.

D'une manière générale, l'occupation des sols ainsi que les activités humaines se trouvent étroitement liées aux paramètres que sont la localisation géographique, le climat, l'altitude, le relief ainsi que la nature des sols et la richesse du sous-sol (*cf.* figure 27).

⁸ Cette typologie des hydroécocorégions (HER) constitue une approche robuste, opérationnelle et scientifiquement fondée pour l'application de la DCE. La France a ainsi été découpée en 22 HER de niveau 1 et 112 de niveau 2. Les HER ont été identifiées sur des critères combinant la géologie, le relief et le climat, considérés de manière universelle comme les déterminants primaires du fonctionnement des écosystèmes d'eau courante (CEMAGREF, 2009).

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

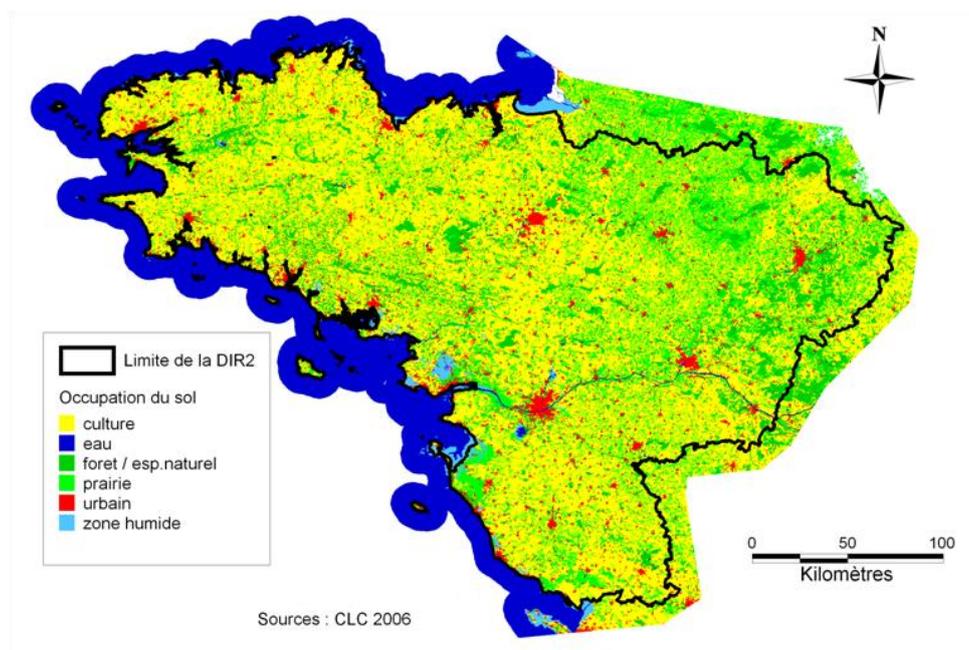


Figure 27 : Occupation du sol sur la délégation Bretagne, Pays de la Loire

L'occupation agricole des sols sur le territoire de la DIR2 est contrastée et caractérisée par une prédominance des zones de cultures par rapport aux zones de prairies. A l'Est du territoire cependant, la proportion de prairies et de forêts est plus importante. Les 2 principaux types d'exploitations agricoles sont le type bovin lait et porcs volailles, qui expliquent la superficie des cultures, destinées essentiellement à l'alimentation animale. L'irrigation est présente principalement dans les pays de la Loire. Cette forte activité agricole est en lien avec le nombre d'industries agroalimentaires qui font de ce secteur d'activités un enjeu économique majeur à l'échelle de ce territoire. L'intensité des pratiques agricoles sur ce territoire génère des pollutions diffuses (notamment par les nitrates). Ainsi, plus de 90% du territoire de la DiR2 est classé en Zone Vulnérables Nitrates (Directive Nitrates). Ceci est une des principales raisons pour repenser l'agriculture sur ce territoire (Sutton, *et al.*, 2011).

Sur la façade littorale, la pêche, la conchyliculture ainsi que la pisciculture maritime représentent également des activités économiques importantes.

2.2.2 LA TAILLE DE L'ECHANTILLONNAGE

La démarche exposée a pour but de désigner des sites d'études en adoptant une démarche statistiquement valide et écologiquement pertinente.

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

A l'origine, une partie des travaux était basée sur d'anciennes cartes de l'Institut Géographique National (IGN) mais pour des raisons budgétaires, cette volonté s'est vue contrariée. Cependant, la grille de dalles IGN (qui sert normalement aux commandes) a été utilisée pour servir d'entité surfacique de taille identique (**100km²**). Une première sélection a été effectuée afin d'éliminer les sites qui possèdent une partie de leur territoire hors scan IGN (par exemple chevauchant la mer) (*cf* annexe B : Dallage IGN).

Sur le territoire de la DIR2, cela réduit à 517 le nombre de dalles sélectionnables. D'après les conventions en statistiques, un échantillon est dit représentatif sur une population homogène quand ce dernier analyse **5%** ou plus des individus (convention). Pour cette étude, il s'agit donc d'analyser au moins **26 sites**, soit une surface de **2600km²**. Ce qui représente environ la moitié d'un département Français.

La cohérence écologique, permet ensuite de déterminer la répartition spatiale de ces derniers sachant qu'une attention a été portée afin qu'il n'y ait pas de déséquilibres trop importants entre les 9 départements de la DIR2 (*cf* annexe C : carte des départements de la DIR2).

2.2.3 PARAMETRES

La démarche consiste à identifier les dalles qui comportent le plus d'intérêts tout en essayant d'intégrer des paramètres de qualifications à la fois « naturels » et anthropiques. La sélection est effectuée en fonction de 3 paramètres (2 obligatoires et un facultatif). Pour chacun de ces paramètres, des cartes ont été réalisées afin de faciliter l'exploitation des données.

2.2.2.1 L'OCCUPATION DU SOL

Tout d'abord, il faut faire le constat qu'en prenant en compte les expériences passées en matière d'étude des têtes de bassin versant, l'occupation des sols a une forte influence sur l'état des petits cours d'eau (*cf* partie 1.4.4.1). Pour cette raison, il a été décidé d'accorder à l'occupation du sol une place de premier ordre dans notre sélection.

Préalablement, il a été nécessaire d'appliquer des opérations sur la couche Corine Land Cover (CLC 2006).

OCCUPATIONS DU SOLS ECARTEES

Les types d'occupation des sols « territoires artificialisés » et « zones forestières ont été écartés de l'étude ». Cette opération a été effectuée en raison de la difficulté d'interprétation des référentiels anciens (*cf* ensemble 1 de la nomenclature de CLC).

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

PART D'OCCUPATION DES SOLS « EXPLOITABLES »

Après avoir exclu les espaces « inexploitable », il est possible de calculer un indicateur sur la part d'occupation du sol « exploitable » dans chaque dalle renseignant sur les espaces propices à cette étude. A noter que ces pourcentages sont relativement faibles même dans les meilleures dalles, il demeure un indice pertinent pour le choix des dalles.

OCCUPATION DU SOL MAJEURE

Il est également possible d'associer à chaque dalle son occupation du sol majeure « utile » afin de déterminer ce que contient majoritairement chaque dalle. Cette indication, permet de choisir les dalles en fonction de leur occupation du sol. Pour cela, un tableau à double entrée a été réalisé afin de comparer chaque occupation du sol et établir une hiérarchie en termes d'intérêt entre elles. Parallèlement, il faut aussi prendre en compte la rareté de certaines occupations du sol comme les vignobles qui présentent aussi un intérêt pour l'étude. Il est donc nécessaire de concilier ces deux approches pour le choix de nos dalles (cf annexe D hiérarchisation de l'intérêt des occupations du sol et annexe E carte occupation du sol majoritaire).

2.2.2.2 LA DENSITE DE DRAINAGE

En utilisant le linéaire de réseau hydrographique de chaque site, il est possible d'associer à chaque dalle, un taux de drainage, permettant de mesurer la quantité d'informations par dalle. La BD TOPO a servi de base pour établir cet indicateur. Il s'agit de la base de données considérée comme la plus exhaustive en matière de linéaire représenté (pas au niveau des informations) (cf annexe E : densité de drainage).

2.2.2.3 LES HYDROECOREGION DE NIVEAU 2

Les HydroEcoRégions (HER) ont été définies comme des territoires présentant une cohérence de leurs paramètres géologiques, topographiques et climatiques, ils forment une échelle d'étude pertinente des différentes masses d'eau. Ce principe a été développé par l'IRSTEA (anciennement CEMAGREF) et est régulièrement employé pour l'étude des masses d'eau (DCE). Les HER sont définies à deux échelles (niveau 1 & 2). Dans le cadre de cette étude, le second niveau le plus précis a été utilisé (cf partie 2.2.1)

2.2.4 LES SITES SELECTIONNES

Voici la liste des sites qui ont été finalement sélectionnés (cf figure 28):

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Tableau V : Liste des sites sélectionnés

site	Nom	Département	site	Nom	Département
1	Dangeul	72	15	Saint-Etienne-de-Montluc	44
2	La-Chapelle-Saint-Aubin	72	16	Briollay	49
3	Montreuil_Bellay	49	17	Saint_Cyr_en_Talmondais	85
4	La-chapelle_saint_gougain	72	18	Souligne_sous_ballon	72
5	Bazougers	53	19	Lanvenegen	29
6	Blairon_Gahier	49	20	Combourg	35
7	Doix	85	21	Commama	29
8	Saint_Lumine_de_Coutais	44	22	Bolazec	22
9	Berne	56	23	Quimper	29
10	Saint_Martin_de_la_Place	49	24	Rosporden	29
11	Soullans	85	25	Saint-Caradec	22
12	Pipriac	35	26	Le Pertre	53
13	Kerfourn	56	27	Notre_Dame_des_Landes	44
14	Billé	35			

Le site numéro 8 Saint-Lumine de Coutais a été supprimé lors de l'étude et remplacé par un autre site du département Loire Atlantique, il était presque totalement recouvert par un lac.

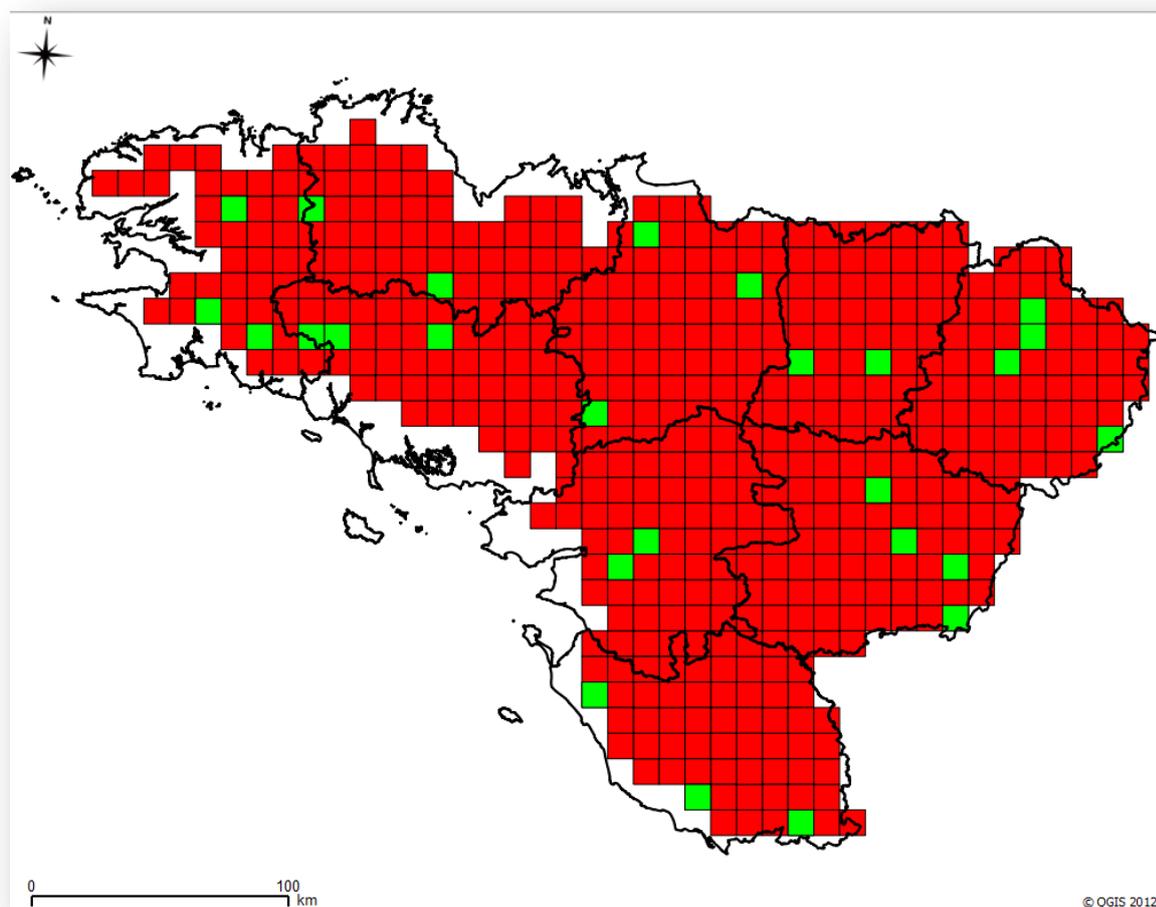


Figure 28 : Les sites sélectionnés pour l'étude (en vert) source : Rémi Nguyen Van

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

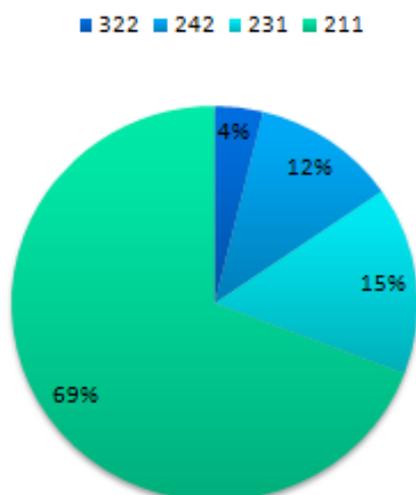


Figure 29 : Répartition des sites par occupation du sol majoritaire. Source: Rémi Nguyen Van

Les déséquilibres entre les occupations du sol majoritaires sont volontaires (*cf* figure 29), en effet l'occupation du sol 211 (nomenclature de CLC) représente 62% des dalles. Une analyse plus poussée des statistiques liées aux sites est disponible dans l'annexe F (Plan de rééchantillonnage).

2.3 APPROCHE CARTOGRAPHIQUE ET PHOTOGRAPHIQUE

« Le royaume des eaux inconnues englobe une grande part du réseau capillaire des petits cours d'eau où les eaux courantes débutent leurs voyages vers l'aval pour confluer avec d'autres cours d'eau qui apportent leurs contributions aux rivières et aux lacs » (**Bishop *et al.*, 2008**).

2.3.1 LA MEMOIRE CARTOGRAPHIQUE

Quelque peu poétique cette citation n'en est pas moins une réalité, il existe de nombreuses eaux de surface qui ne sont pas prises en compte par les politiques de l'eau. C'est suite à une étude minutieuse du réseau hydrographique suédois que **Bishop *et al.* (2008)** citée précédemment met en évidence l'imprécision des cartes utilisées quant à la connaissance des eaux de surfaces. Ils ont proposé de nommer ces eaux « Aqua Incognita » pour ne pas les oublier. Ils concluent notamment que les travaux des chercheurs et gestionnaires doivent s'orienter vers la recherche de ces eaux.

En France l'étude de **Therin et Le Bihan (2008)** fait également état de l'absence de presque 25 à 40% des cours d'eau dans les secteurs qui souffrent d'accessibilité (bois, haies). La FDPPMA 56 lors d'inventaires de cours d'eau a également trouvé des résultats similaires. Sur le bassin de Draya près de 37% des cours d'eau sont manquants, ces chiffres vont jusqu'à 50%

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

sur certains bassins. Plus tard, **Le Bihan (2009)** pousse son analyse plus loin en effectuant des tests expérimentaux sur certaines zones. Il met ainsi en évidence que dans le cas analysé, près de la commune de Bermering (57), il existe des différences de tracés à la fois entre les cartes IGN de 2006 et les orthophotos de 2006 et entre les cartes IGN de 2006 et celles de 1950 (**Le Bihan, 2009**).

Il souligne l'intérêt des anciens référentiels cartographiques et d'une manière plus générale des documents de mémoire, qui montrent en l'occurrence la disparition de 86,7% du réseau hydrographique. Ce fut l'une des motivations pour lancer le sujet initial de cette étude. Bien que les modalités de cette étude aient été modifiées, une expérience venant conforter les résultats identifiés par **Le Bihan (2009)** a été réalisée à partir de cartes anciennes empruntées à nos partenaires. (cf partie 2.5.2.2).

2.3.2 HISTOIRE ENVIRONNEMENTALE ET ECOLOGIE DU PAYSAGE

Dans son étude, **Le Bihan (2009)** analyse également l'intérêt des orthophotos pour l'analyse du réseau hydrographique (cf figure 30).



Figure 30 : Identification d'un phénomène probable d'enterrement, extrait de l'étude de Le Bihan (2009)

Il met en évidence la persistance de formes dans le paysage, appelées des artefacts. Il s'agit ici de cours d'eau qui une fois enterrés continuent de modifier l'humidité du sol et ont un impact



Figure 31 : Photographie aérienne de 2006 près de le Petre (53)

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

sur les cultures. Cet impact diffère selon les types d'occupation du sol et l'efficacité de la méthode d'enterrement. Le paysage comporte un caractère de palimpseste, c'est-à-dire que des structures anciennes sont décelables dans le paysage (cf figure 31 et 33) même après avoir été « effacées » (Corboz, 2001).



Figure 33 : Mise en évidence des traces hydrographiques près de le pertre source : Remi Nguyen Van

-  Enterrement du cours d'eau
-  Rectification puis enterrement du cours d'eau
-  Probable rectification du cours d'eau

(cf figure 32 et 34)

Une des premières expériences réalisées sur le terrain a permis d'évaluer l'intérêt de ces formes « héritées » pour appréhender les modifications du tracé hydrographique.

Ces analyses se rapprochent de l'écologie du paysage, fondée sur l'analyse de certains éléments du paysage tels que les matrices écopaysagères, les corridors ou encore les tâches afin d'évaluer les caractéristiques de certains espaces en estimant la connectivité, la



Figure 32 : Confirmation sur le terrain de la présence d'un enterrement, le 03/05/12

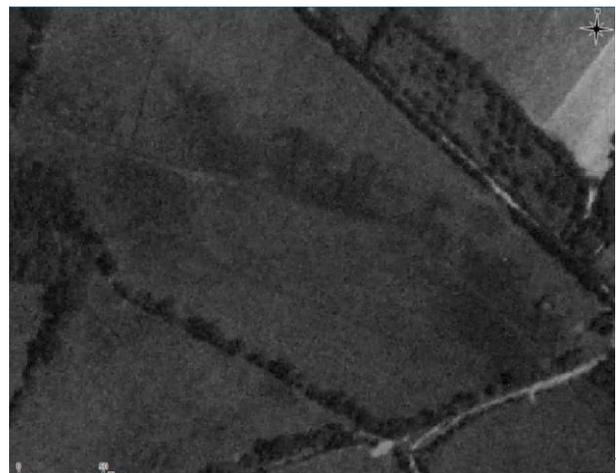


Figure 34: Photographie de 1951 près du Pertre

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

fragmentation ou encore le potentiel écologique (Clergeau & Désiré, 1999 ; Burel & Baudry, 1999).

L'écologie du paysage est une approche qui conduit à faire appel à des disciplines comme la géomorphologie, la cartographie, la télédétection ou la géomatique. Cette dernière a permis notamment l'émergence de la notion de corridor écologique (Chetkiewicz *et al.*, 2006) ou d'écopotentialité des milieux (BIOTOPE-GREET Nord – Pas-de-Calais et DIREN 59-62, 2008).

Cette étude fait également appel à des notions d'histoire environnementale (Locher & Quenet, 2009) (ou écologie rétrospective) dans sa dimension historique, à la fois en recherchant les états des milieux en 1950 et en les utilisant comme point de référence (analyse diachronique).

2.3.3 APPLICATIONS ANTERIEURES

Cette étude n'est pas la première à faire appel à des concepts d'écologie du paysage ou d'histoire environnementale même si cela n'est pas toujours précisé, une étude précédente effectuée à la Délégation Interrégionale du Languedoc – Roussillon, Provence-Alpes-Côtes d'azur, Corse (*cf* figure 35 et 36) emploie ces approches (Descampeaux, 2011).

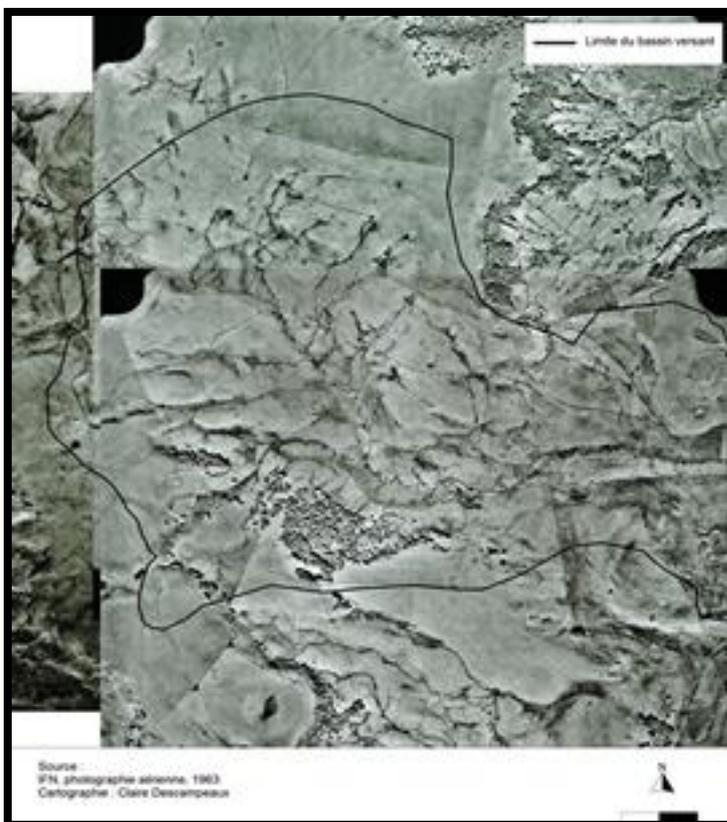


Figure 35 : Photographies aériennes du bassin versant du Piou datant de 1963. Source : Descampeaux, 2011

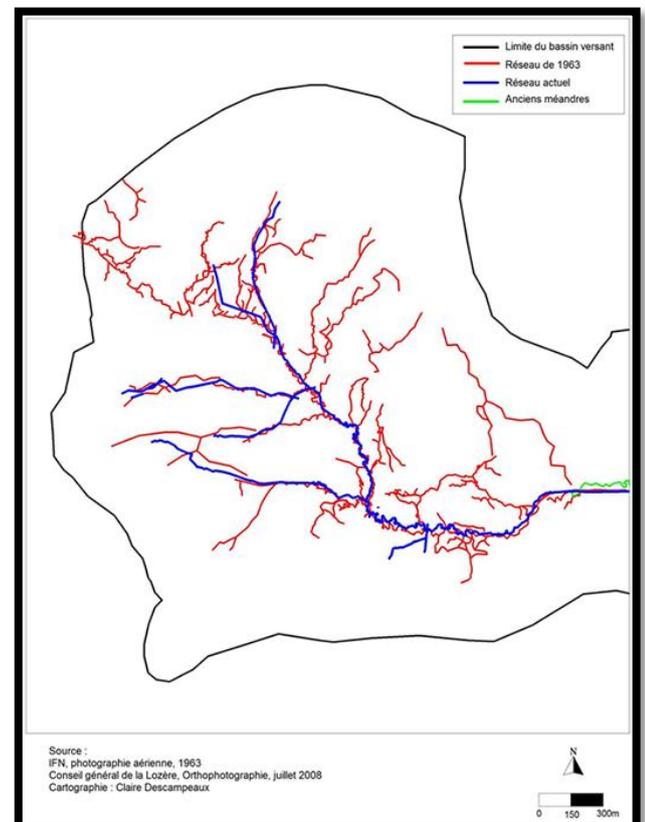


Figure 36 : Résultat de la comparaison entre le réseau de 1963 et le réseau actuel sur le bassin de Piou. Source : Descampeaux, 2011

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Descampeaux, identifie ainsi un linéaire de 17680m de cours d'eau supplémentaire en 1963 ce qui implique une diminution de près de 91% du linéaire entre 1963 et le réseau actuel. Cette approche illustre parfaitement, l'un de nos objectifs, la possible découverte du réseau hydrographique disparu. Quant au second objectif, le linéaire indiqué en vert et titré « anciens méandres » est une brève illustration de la possibilité d'utiliser l'ancien réseau hydrographique comme élément de référence afin d'évaluer le réseau actuel.

Cependant, il existe une différence de taille entre notre étude et l'étude précédente, en l'occurrence la surface de la zone étudiée, s'il est envisageable d'analyser minutieusement une orthophoto ancienne pour un site de 23,46km², pour 2600km² la tâche est plus intense. Il est nécessaire de cadrer et d'orienter notre recherche des réseaux. Il faut aussi noter qu'en zone de montagne, le relief plus marqué facilite l'identification de gorges et de reliefs typiques des cours d'eau. (cf figure 37)

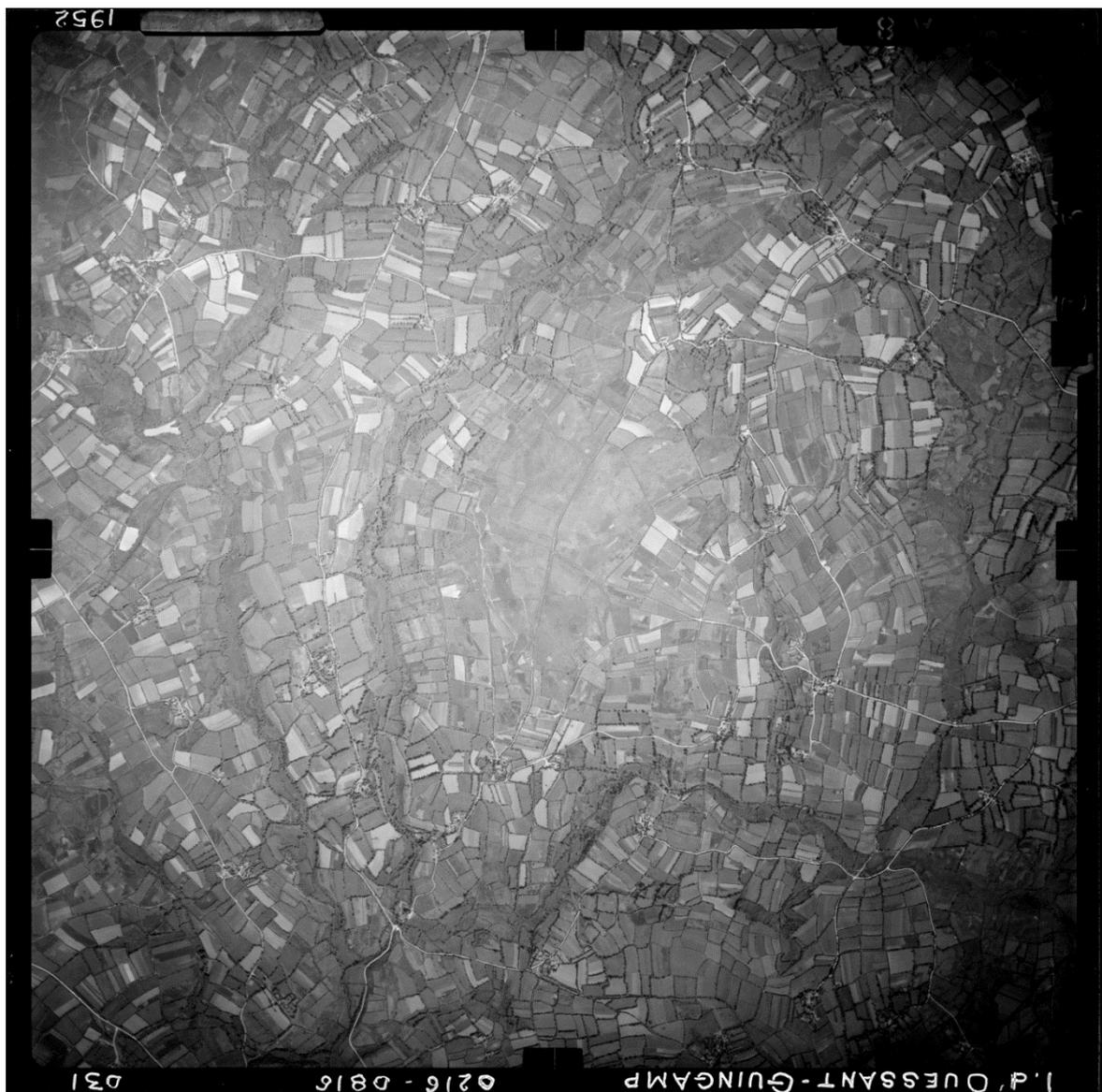


Figure 37 : Exemple d'une photographie aérienne récupérée sur le site geoportail de l'IGN

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Une autre approche de l'analyse des anciens référentiels, laisse quant à elle présager d'un usage plus large et systématique que l'étude de Descampeaux. L'approche du rapport « Analyse technique des photographies aériennes un appui à la définition des cours d'eau » (**Le Bihan, 2012**) adopte un point de vue complètement pratique, il s'agit de récupérer un maximum d'informations des anciens référentiels. Ainsi, il liste la possibilité d'évaluer les éléments suivants :

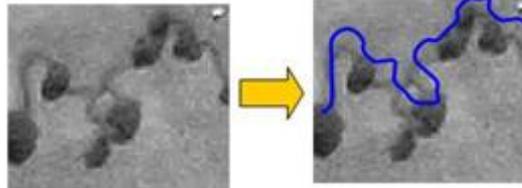


Figure 38 : Evaluation du trace d'un cours d'eau sur ancien référentiel par Le Bihan (2012)

- ❖ La présence dans un talweg d'un cours d'eau (isoligne de l'IGN)
- ❖ Evaluation de la ripisylve (état d'origine / état actuel)
- ❖ L'évolution du tracé (*cf* figure 39)
- ❖ La recherche de zone de source potentielle

Malavoi et Bravard (2010) évoquent la possibilité d'utiliser des photographies anciennes pour réaliser des études diachroniques par exemple pour l'étude de l'évolution de la sinuosité dans un même secteur à des périodes différentes (*cf* figure 39).



Figure 39 : Exemple de fond de carte pour une étude diachronique propose par Malavoi et Bravard (2010) ©IGN 2010

Les deux questions qui poursuivent notre réflexion sont donc de savoir comment caractériser les réseaux et leurs évolutions (sur quels critères) et comment guider la recherche du réseau hydrographique ?

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

2.4 LA GEOMATIQUE AU SERVICE DE LA CONNAISSANCE DE L'ENVIRONNEMENT

Une présentation et un TP ont été rédigés pour engager une formation autour de la méthode ci-exposée (cf annexe G : TP et annexe H : présentation, l'annexe R résume quant à elle les travaux effectués).

2.4.1 OUTILS, CONCEPTS, MODELES

Il est important en premier lieu, d'éclaircir le contexte de réalisation de l'étude, les concepts et l'approche à laquelle, elle fait appel.

2.4.1.1 LES LOGICIELS LIBRES

La démarche présentée ici est applicable avec des logiciels libres et des gratuits. Elle est donc utilisable par tous (en matière d'acquisition de logiciel). Ce choix s'est effectué sciemment afin de permettre la transposabilité de la démarche à d'autres services, gestionnaires ou particuliers.



Quantum GIS (QGIS) est un logiciel de SIG (Système d'Information Géographique) libre, accessible et fonctionnel. Il est fourni avec de nombreuses extensions dont certains logiciels très utiles comme GRASS. C'est un logiciel très adapté pour le géoréférencement.



Xnview est un gratuit qui sert à orienter certaines photographies et à les enregistrer dans des formats utilisables sous SIG.



GRASS (Géographic Resources Analysis Support System) est un logiciel SIG de type « topologique » c'est-à-dire qu'il adopte des logiques spatiales particulières (limite, centroïd, ...), interdisant notamment les superpositions. Il adopte un fonctionnement modulaire, c'est-à-dire qu'il est composé d'extensions créées indépendamment et pouvant traiter aussi bien l'imagerie (i.), les rasters (r.), les vecteurs (v.) que la 3d (r3. ou v3.). Ces modules sont écrits en python (et shell) un langage de programmation qui n'a pas besoin d'être compilé et facile d'utilisation. Ce langage est utilisé par de nombreux logiciels et permet de les faire fonctionner ensemble (R ou QGIS par exemple). Ce qu'il faut retenir, c'est que GRASS est capable de faire des traitements nombreux et puissants.

2. Améliorer la connaissance de ces milieux



SQLite est un système de gestion de base de données relationnel qui permet de faire des traitements SQL (Structured Query Language) de manière assez simple.

L'installation de QGIS intègre, GRASS qui intègre SQLite, cette association permet de réaliser l'ensemble de nos traitements. Le logiciel Xnview n'est nécessaire que si vous ne possédez pas la BD ortho historique, ce qui fut notre cas.

2.4.1.2 LA COMPLEMENTARITE DES APPROCHES

Quatre approches complémentaires ont été employées pour constituer nos travaux :

LES ETUDES MORPHOLOGIQUES

Le premier volet de l'étude est basé sur les Modèles Numériques de Terrain (MNT, cf figure 41). Il s'agit de cartes particulières sous format raster, elles intègrent une dimension supplémentaire par rapport aux informations raster classiques, appelée la 2,5D. Cette technologie permet avec l'aide d'un logiciel intégrant des fonctions 2,5D (algèbre cartographique) comme GRASS de modéliser de nombreuses informations morphologiques (pentes, ombrages, isolignes...) et de les mettre en relation pour en tirer des informations relativement utiles (Classification morphologique de J.WOOD, Indice potentiel d'humidité ou IBK...).

Pour plus de renseignements, voir les études de [Che \(2005\)](#) et [Hocine et al. \(2007\)](#)

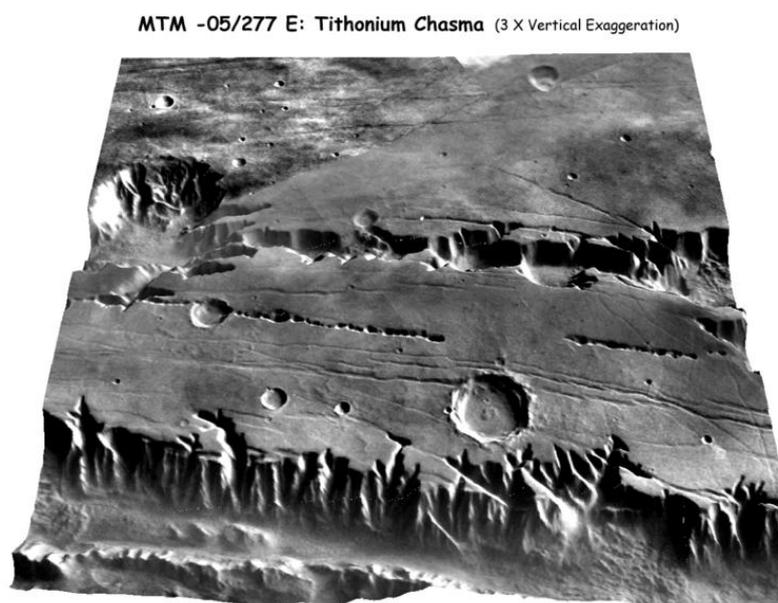


Figure 40 : Projection en 3d d'un MNT représentant la surface de mars
source : USGS

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

ANALYSE CARTOGRAPHIQUE PAR SIG

Il est possible d'utiliser les outils classiques des logiciels SIG pour numériser les informations afin de les rendre exploitables ou encore orthorectifier des photos. Ces outils ne doivent pas être négligés, ils sont à la fois simples, puissants et utiles.

ANALYSE DIACHRONIQUE

L'approche diachronique va consister à confectionner des outils permettant de comparer des réseaux hydrographiques et les données qui y sont afférentes. Il s'agit principalement d'indicateurs comme par exemple la variation de la sinuosité ([Plumejeaud, 2011](#) ; [Rebah, 2011](#)).

ANALYSE PAR TELEDETECTION

L'analyse par télédétection étudie les réponses spectrales enregistrées sur les images aériennes ou satellitaires. Cela permet d'effectuer des classifications ou d'utiliser des indicateurs en fonction de certaines longueurs d'onde (comme le NDVI ou Normalized Difference Vegetation Index). Cette approche n'avait pas été originellement retenue mais l'accès à des images satellites de qualité raisonnable en Juillet, a rendu possible son utilisation (*cf* figure 41).

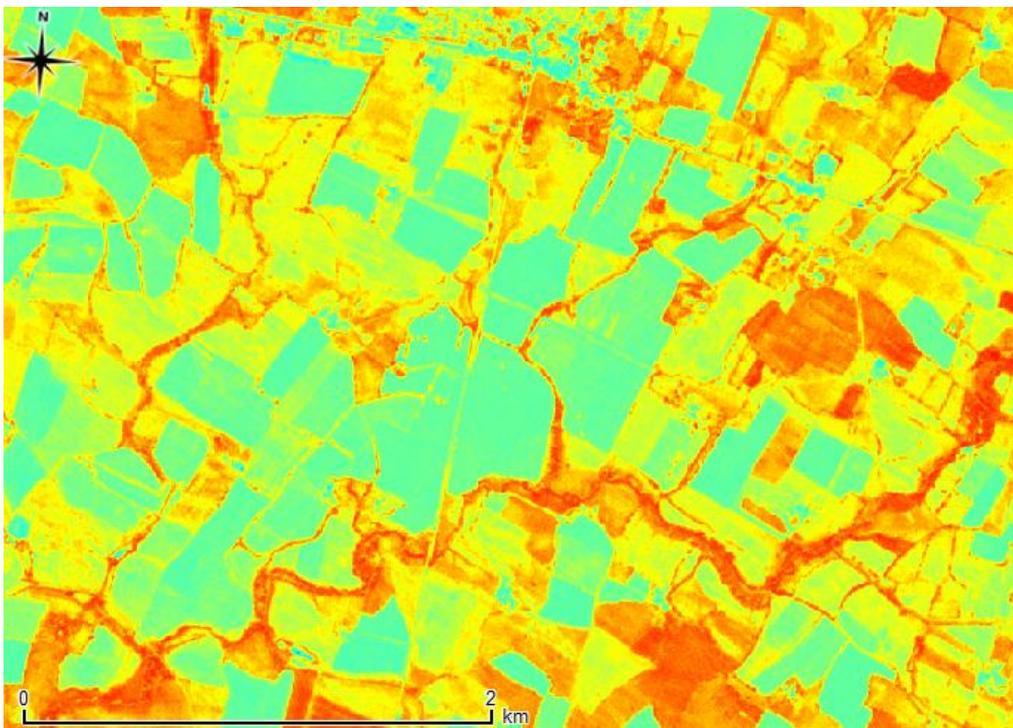


Figure 41 : Essai d'exploitation d'un indice d'humidité. Source : réalisation personnelle issue d'images RAPIDEYE

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Pour résumer :

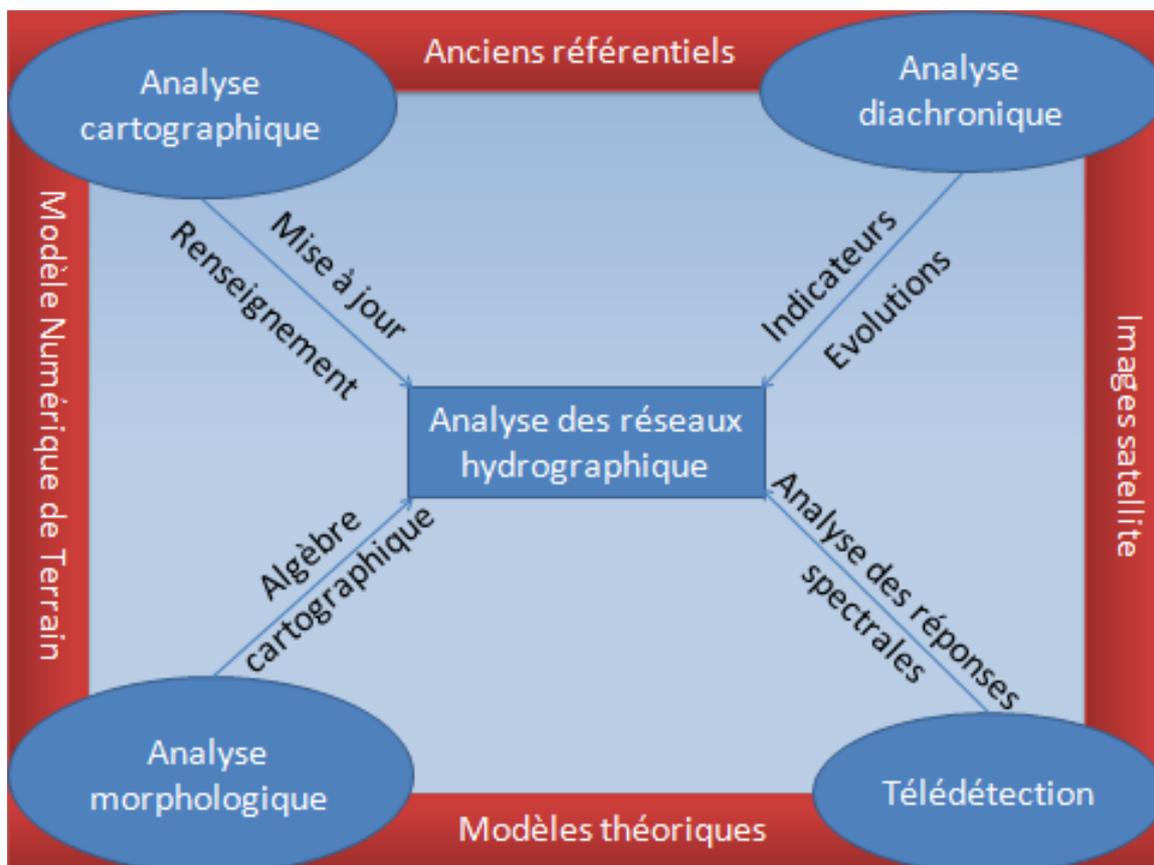


Figure 42 : Complémentarité des analyses géomatiques. Source: réalisation personnelle

2.4.1.3 MODULES ET AUTOMATISATION



Le logiciel GRASS comporte un volet « automatisation » particulièrement intéressant, il permet de faire se succéder un certain nombre de traitements (modules). Son « modèle builder » est par ailleurs particulièrement innovant, puisqu'il s'agit d'une interface graphique ne nécessitant pas de connaissances en programmation pour faire de l'automatisation. Cependant, le modèle builder de GRASS peut être limité dans certains contextes notamment lors du passage sur d'autres machines, pour cette raison des modules ont été programmés à l'aide de connaissances en programmation.

3 modules ont été créés pour notre étude (cf figure 43 et 44) :

- ✓ **R.topo** : est un module d'analyse topographique qui sert d'aide à la mise à jour des réseaux et à la recherche des eaux absentes des référentiels (BD TOPO).
- ✓ **V.Hydro** : est un module d'analyse de deux réseaux vectoriels, ce module sert à élaborer les bases de données avec différents éléments et indicateurs évolutifs.

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

- ✓ **V.POG** : est lui aussi un module d'analyse de deux réseaux vectoriels, il permet de repérer les irrégularités entre les réseaux, et a pour but originel de permettre de guider les agents sur le terrain afin de réaliser le Programme d'Observation Guidé (POG) pour compléter la méthode (voir partie 3.3 Perspectives).

Voici une impression d'écran qui représente l'interface des modules qui a été simplifiée au maximum (pour utilisation *cf* annexe G : TP) :

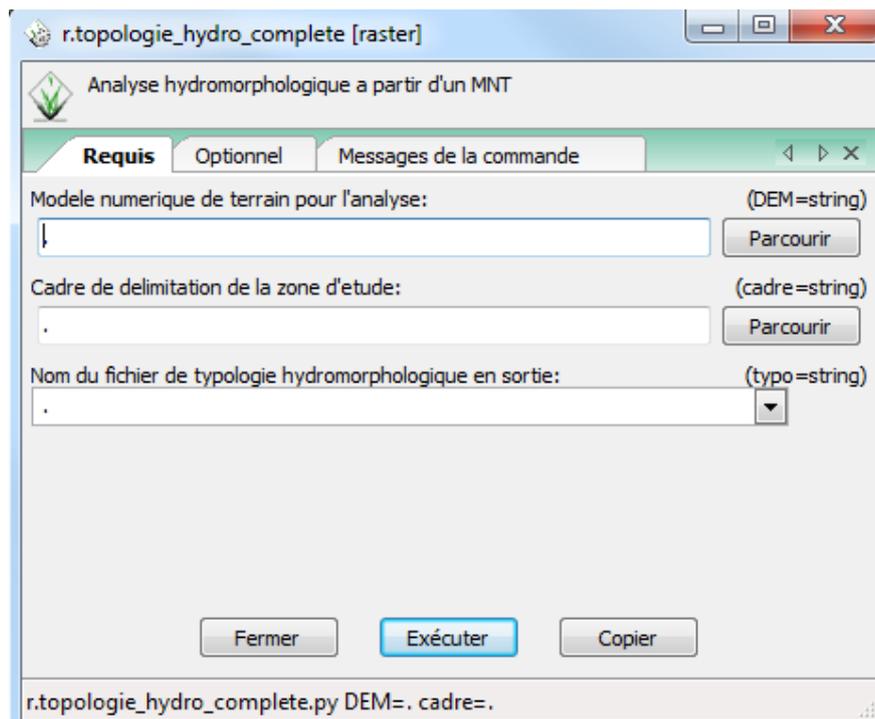
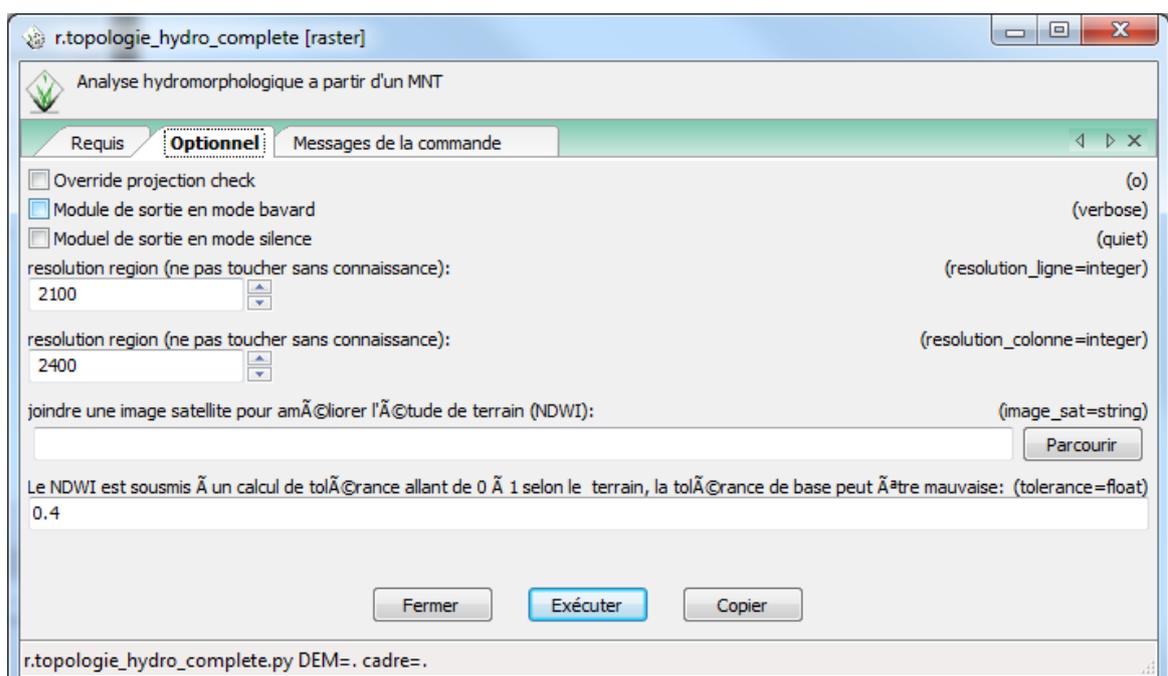


Figure 43: Impression d'écran du module R.topo. Source : réalisation personnelle



2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Figure 44 : Impression d'écran des options disponibles pour le module R.topo. Source : réalisation personnelle

Dans les options sont disponibles les analyses d'image « satellite redevye » et la modification de la résolution.

2.4.1.4 RESOLUTION ET DUREE DE REALISATION

La résolution à la fois des données d'entrée et de GRASS détermine la précision de chacun des modules. Une option a été rajoutée pour pouvoir adapter cette dernière facilement selon nos attentes. Pour fixer la valeur de base et nos exigences, des tests ont été réalisés sur **R.topo** et **V.hydro** :

Tableau VI : Temps de calcul de **R.topo** en fonction de la résolution sur le site de Bazougers (53) source : réalisation personnelle

Module : R.TOPO				
Ligne	Colonne	Nombre_Pixel	Tps (s)	Résolution (m2)
574	656	376544	35	265,5732132
861	984	847224	65	118,0325392
1292	1476	1906992	118	52,43860488
1615	1845	2979675	163	33,56070712
2019	2306	4655814	218	21,47852126
2100	2400	5040000	241	19,84126984
2221	2536	5632456	258	17,75424433
2888	3297	9521736	502	10,50228656

Il s'agit des tests effectués sur le site de Bazougers (53) et sans étude satellite, la précision sélectionnée est de 19,8m² pour l'expression des spécificités morphologiques (les valeurs standards sont visibles sur le tableau 4).

Tableau VII : Temps de calcul de **V.hydro** en fonction de la résolution sur le site de Bazougers (53) source : réalisation personnelle

Module : V.hydro				
Ligne	Colonne	Nombre_Pixel	Tps (s)	Résolution (m2)
574	656	376544	496	265,5732132
861	984	847224	836	118,0325392
1292	1476	1906992	1182	52,43860488
1615	1845	2979675	1828	33,56070712

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

LES ORTHOPHOTOS



Figure 46 : Extrait d'une orthophoto dans le département de la Mayenne. Source : réalisation personnelle

Les orthophotos sont issues de la correction de la déformation des photographies prises par avion (opération appelée orthorectification cf 2.4.2.2) L'IGN organise régulièrement des campagnes pour mettre à jour les photos disponibles sur l'ensemble du territoire. Ces photos peuvent servir de support pour l'information géographique, c'est-à-dire qu'elles apportent des informations valides en termes de surface, de mesure et de photo interprétation (cf figure 46).

En complément des cartes IGN, ces orthophotos apportent une somme d'informations importantes sur les cours d'eau. La date de prise de vue et la précision doivent être prises en compte pour l'étude, l'ONEMA possède la BD ORTHO soit des orthophotos de 2006.

LES ANCIENS REFERENTIELS



Figure 47 : Photographie aérienne de la ville de Brest (1919) source : archive municipale de Brest

L'une des approches fondamentales de cette étude est d'utiliser d'anciens référentiels pour avoir une approche diachronique. Cette dernière permet de mettre en évidence des évolutions qui ne sont pas ou plus visibles sur les référentiels actuels (cf figure 47 et 48).

Les premières photographies aériennes peuvent être très anciennes. A Brest par exemple, il existe des photographies datant de 1919 soit un délai très court après la maîtrise de l'aviation.

L'IGN a numérisé sur une grande partie du territoire d'anciennes photos aériennes datant du



début des années 50. Il s'agit de la BD ORTHO historique, cependant cette dernière est encore plus coûteuse que les anciennes cartes IGN. L'IGN laisse la possibilité de télécharger les photos antérieures aux années 60, à ceci près

Figure 48 : Photographie aérienne ancienne (1952) de la Mayenne source : IGN loisir

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

qu'elles ne sont pas orthorectifiées c'est-à-dire qu'il y a de nombreuses déformations sur les photos dues aux appareils de capture et aux reliefs du terrain.

N'ayant pas eu le budget nécessaire face aux exigences pécuniaires de l'IGN, il a été nécessaire de procéder à une étape de traitement des photos, la rectification.

LE MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN

Nos indicateurs morphologiques nécessitent d'utiliser des Modèles Numériques de Terrain sur les zones d'études. L'ONEMA possède des MNT pour chaque département d'une précision métrique et de résolution 25m. Ils ont été employés comme éléments pour l'étude.

LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE DE REFERENCE

Il existe deux bases de données, la BD TOPO et la BD Carthage. Les deux bases sont à notre disposition mais la BD TOPO bien que véhiculant moins d'informations est plus exhaustive que la BD Carthage (la BD Carthage ne représente que 72% du linéaire de la BD TOPO, Le Bihan & Burgun, 2010). Cette dernière a été préférée comme référence sur le réseau hydrographique.

LES INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

D'autres informations géographiques peuvent être utilisées pour améliorer ou approfondir l'étude.

- Le Registre Parcellaire Graphique (RPG) de 2010, peut par exemple permettre de faire des liens entre des états morphologiques et des types d'occupation du sol.
- L'information chemin de la BD TOPO peut quant à elle permettre d'éviter de prendre des chemins pour des cours d'eau. Sachant que certains cours d'eau côtoient les chemins.
- Les informations sur les masses d'eau et leurs états.
- L'ONEMA a fait également l'acquisition d'images satellite Redeye (via le projet GEOSUD) même si ces dernières ne sont pas particulièrement conçues pour analyser les réponses spectrales en matière d'humidité. elles ont été utilisées comme indications supplémentaires.

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

2.4.2.2 L'ETAPE FACULTATIVE D'ORTHORECTIFICATION

L'orthorectification permet une sorte d'« aplatissement » des photographies qui permet de gommer la déformation de l'image due à la sphéricité de la terre, au relief du terrain, aux biais des appareils de capture de l'image et à l'angle de vol. L'orthorectification est une technique assez complexe dans le cas d'une recherche de résultat parfait, n'ayant ni le temps ni les moyens d'opérer une orthorectification parfaite. Une orthorectification imparfaite a été opérée c'est-à-dire qu'il peut persister des erreurs d'échelles sur certaines photos en particulier sur les bords de ces dernières.

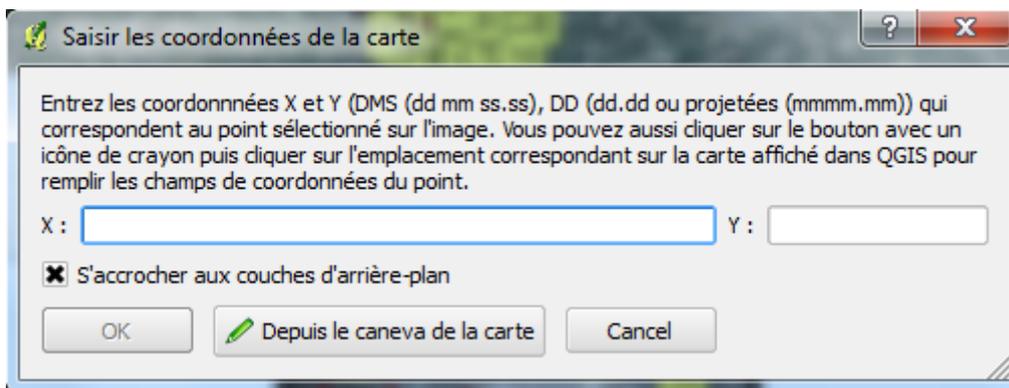


Figure 49 : Impression d'écran du logiciel QGIS

L'orthorectification est plus complexe que le géoréférencement, elle nécessite beaucoup plus de points de calages (points servant de référence pour les opérations de transformations). Pour gagner du temps sur le traitement QGIS a été utilisé car il offre la possibilité de récupérer ces points à l'aide d'une autre orthophoto (cf figure 49).

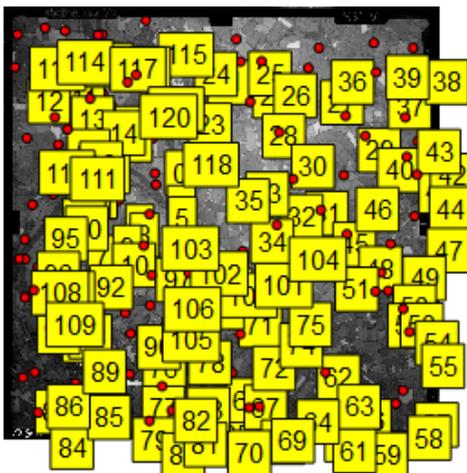


Figure 50 : points de calage sur une photographie ancienne source : réalisation personnelle

L'option « depuis le canevas de la carte » permet ainsi d'utiliser une orthophoto actuelle pour placer des points de calage sur d'anciennes orthophotos simplifiant ainsi l'opération et permettant d'aller jusqu'à mettre près de 100 points de calage (l'usage du réseau routier a été courant, cf figure 50).

Cependant, il n'est pas suffisant de désigner des points de correspondance au logiciel, il faut aussi sélectionner la transformation adéquate pour réaliser l'opération. Deux options ont été étudiées :

La transformation utilisant l'algorithme Thin Plate Spline, qui présente la particularité non de transformer l'image mais de la recalculer complètement. L'image est alors complètement modifiée, c'est en fait une autre image qui

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

correspond au plan et possède les bonnes coordonnées géographiques. Le point négatif de cette transformation est qu'elle demande de très nombreux points d'accroche (plus d'une centaine pour être vraiment efficace)



La transformation polynomiale de niveau 3 opère une transformation assez profonde de l'image, elle nécessite environ 30 points d'accroche. Elle permet d'avoir des résultats assez satisfaisants pour être exploitable. Pour des questions de temps, cette dernière transformation a été utilisée (cf figure 51).

Figure 51 : Illustration d'une photo ancienne rectifiée source : réalisation personnelle

2.4.2.3 R.TOPO : AIDE A LA RECONSTITUTION DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

L'un des enjeux de cette étude est d'analyser le réseau hydrographique dans sa composante hydromorphologique. Ceci n'est possible qu'à condition que ce dernier soit convenablement renseigné et bien délimité.

Dans un premier temps, le linéaire de cours d'eau a été découpé aux confluences. Ce découpage génère des unités hydrographiques de tailles différentes mais garde une cohérence en délimitant les sous bassins versants (Strahler, 1952). Cette méthode a pour conséquence de minorer l'importance des plus grands linéaires de cours d'eau dans les études statistiques. Etant donné que l'étude s'intéresse plutôt aux cours d'eau de petits gabarits, ce biais n'est pas vraiment significatif.

Les outils de géomatique et les informations récoltées vont permettre d'améliorer la connaissance du réseau en mettant en relation les référentiels à disposition.

Deux nouveaux réseaux hydrographiques ont été élaborés :

- ❖ Le réseau renforcé théorique comporte les éléments susceptibles d'appartenir au réseau hydrographique oublié.

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

- ❖ Le réseau ancien théorique comporte les éléments identifiés à partir des photographies anciennes.

Ce schéma résume la démarche : (cf figure 52)

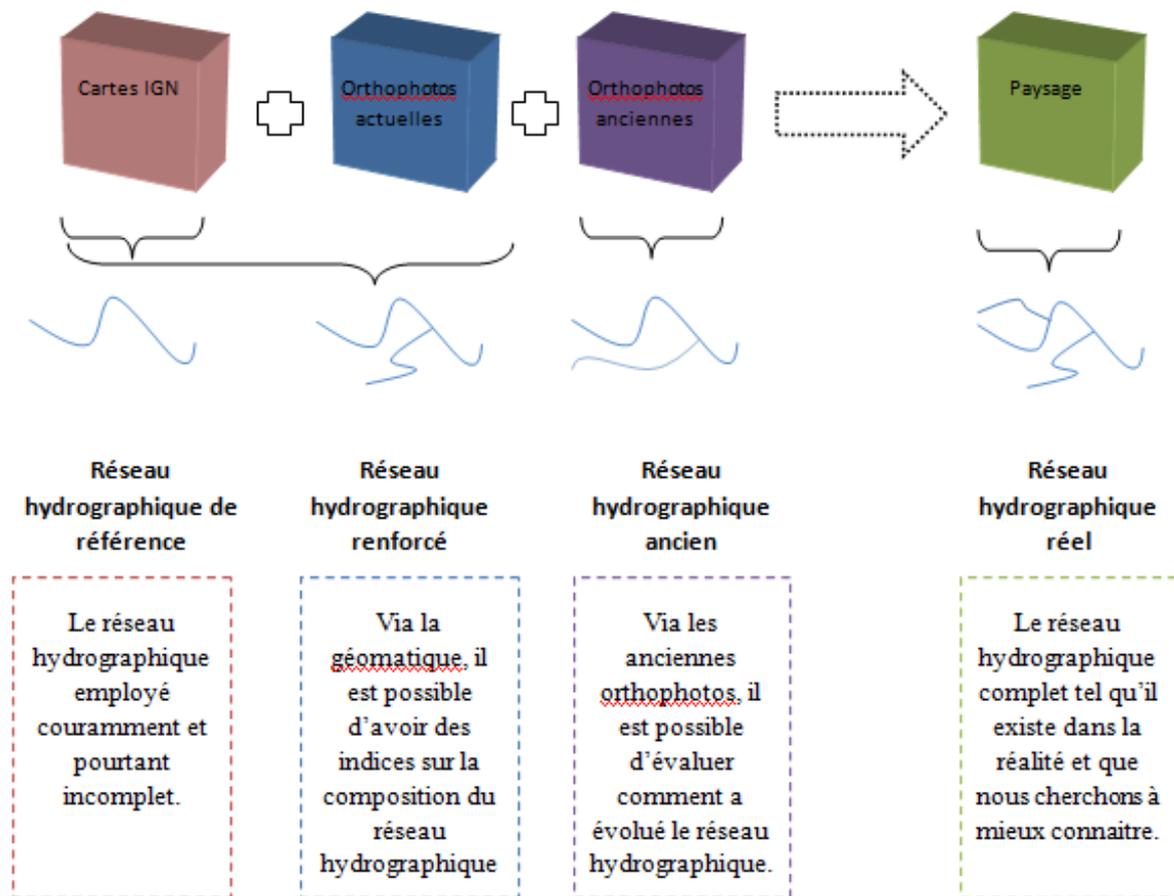


Figure 52 : Schématisation de la démarche d'élaboration des réseaux théoriques. Source : réalisation personnelle

L'utilisation de R.TOPO va permettre d'extraire 4 à 5 éléments qui guideront cette démarche.

R.TOPO : LA PENTE ET LES ISOLIGNES

R.TOPO extrait du MNT les isolignes (5m d'écart) et l'intensité des pentes, ces deux éléments sont des indicateurs visuels utilisables lorsqu'un doute persiste (cf figure 53 et 54).

Ces deux éléments serviront à élaborer les indicateurs suivants pour guider nos recherches.

— Tracé de la BD TOPO — Isolignes

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

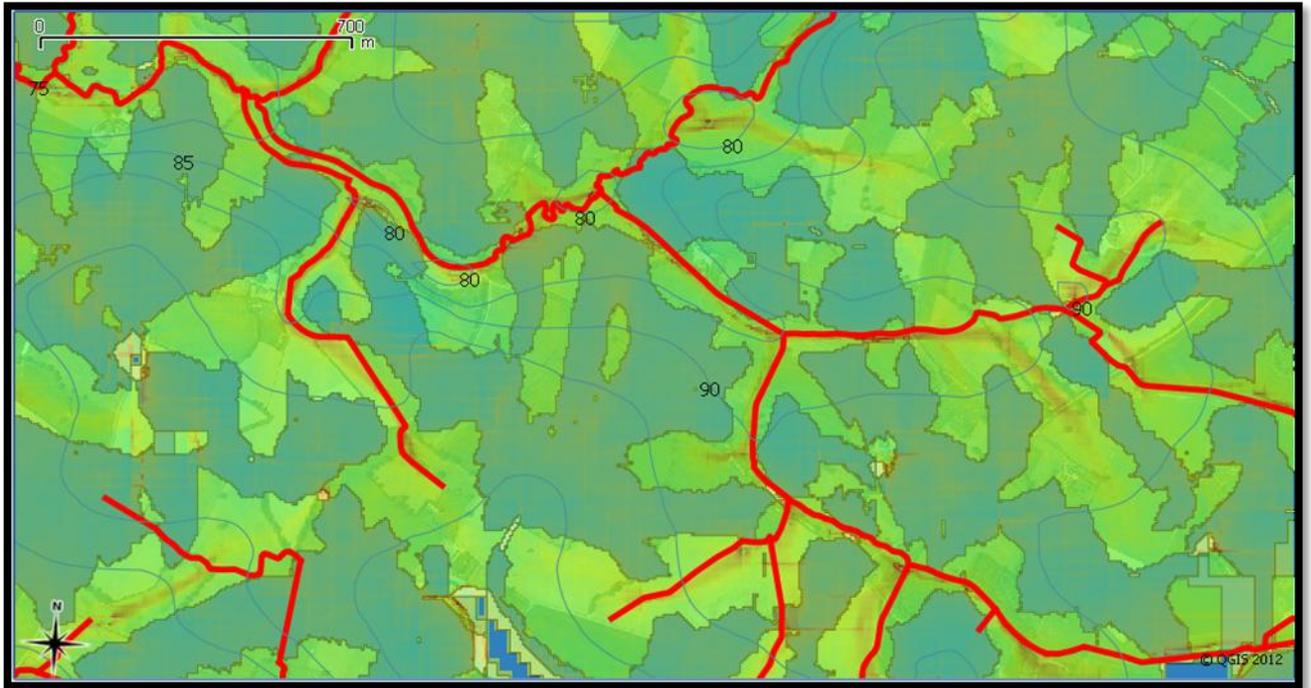


Figure 53 : Carte comportant les isolignes extraites par le module R.topo sur le site de Bazougers. Source : réalisation personnelle

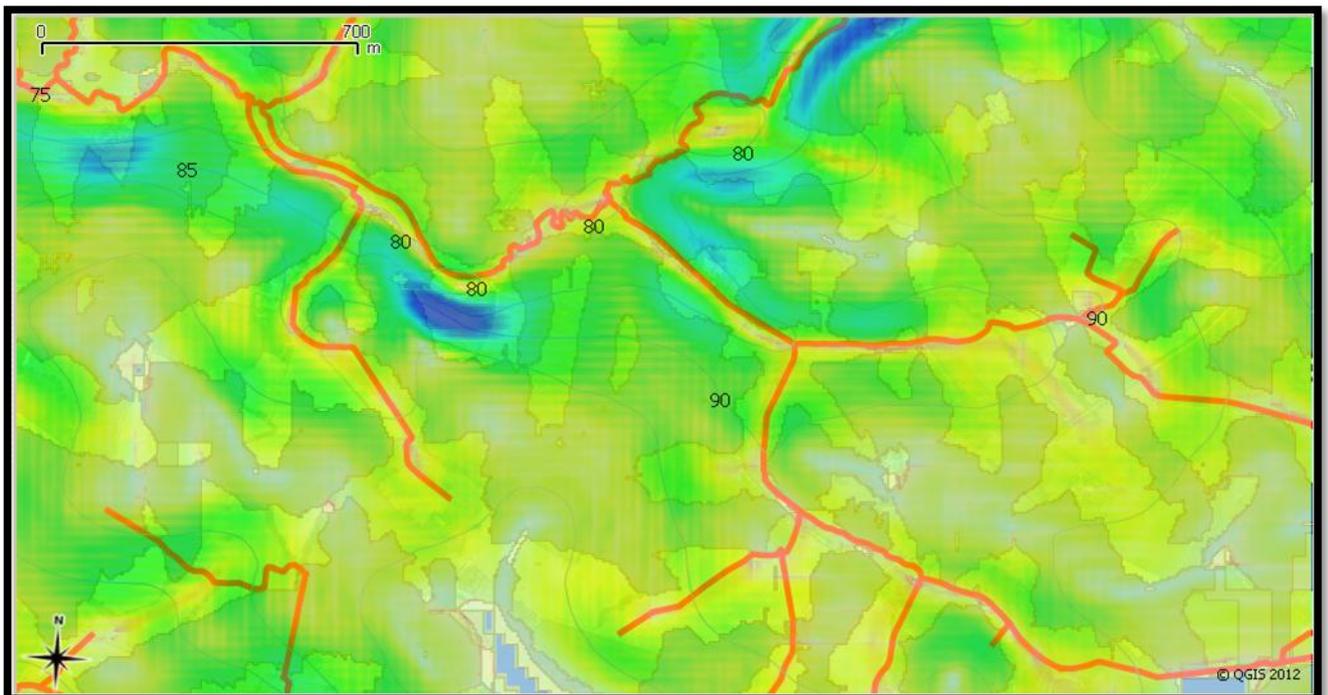


Figure 54 : Carte comportant l'intensité des pentes extraite par le module R.topo sur le site de Bazougers. Source : réalisation personnelle

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

R.TOPO : LA CLASSIFICATION MORPHOLOGIQUE DE WOOD (1996)

WOOD a établi une classification morphologique à partir de MNT en **1996**, elle est basée sur l'analyse d'altitude entre les pixels (*cf* figure 55).

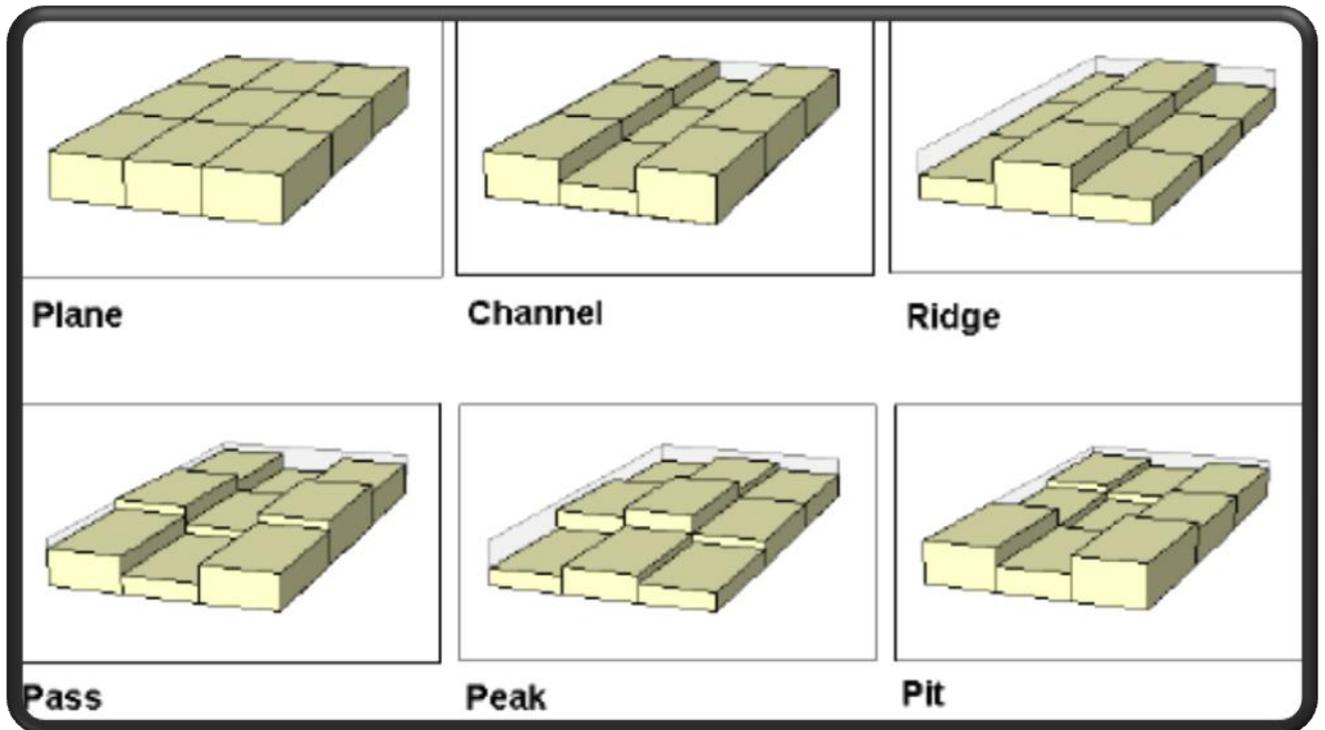


Figure 55 : Classification morphologique de WOOD (1996)

Il différencie 6 types de morphologie (plat, talweg, crête, col, sommet et dépression), la couche qui ressort est un morcellement de la zone d'étude sous forme de zone vectorielle.



Figure 56 : Cartographie d'une zone du site de Bazougers (53) avec la classification de WOOD

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Ici il est possible d'observer en rouge la BD TOPO, en vert les zones de talwegs et de dépressions, et en bleu les autres types morphologiques (cf figure 56).

NB : Il existe une méthode pour améliorer la caractérisation des plats en différenciant concave et convexe (**Agence de l'eau Adour-Garonne, 2011**), le premier étant plus susceptible d'accueillir des cours d'eau. Cette classification améliorée n'a pas pu être intégrée.

R.TOPO : L'INDICE TOPOGRAPHIQUE D'HUMIDITE (TWI) OU INDICE DE BEVEN KIRKBY (IBK) (BEVEN ET KIRKBY, 1979)

Cet indice exprime une potentialité de présence d'une zone humide, il est calculé selon l'équation suivante : (**Moore et al., 1991**), application (**SAGE LOIR, 2011 ; Montreuil, 2008**)

$$TWI = \ln \left(\frac{A}{\tan(B)} \right)$$

Équation 1 : TWI ou IBK

Où A est égal à la surface drainée en un point et B est égal la pente de la surface topographique locale (soit la variation d'altitude horizontale et verticale en un point).

Le TWI est un élément du modèle plus puissant mais plus complexe créé en 1979 par **Beven & Kirkby (1979)** et qui connaît une popularité croissante depuis l'avènement de la géomatique et des MNT (**Ducharne, 2011**). Il s'agit d'un modèle topologique qui répond à la question de la diffusivité dans l'espace des phénomènes hydrographiques (**De Marsily, 1986**) en utilisant des données morphologiques (cf figure 57).



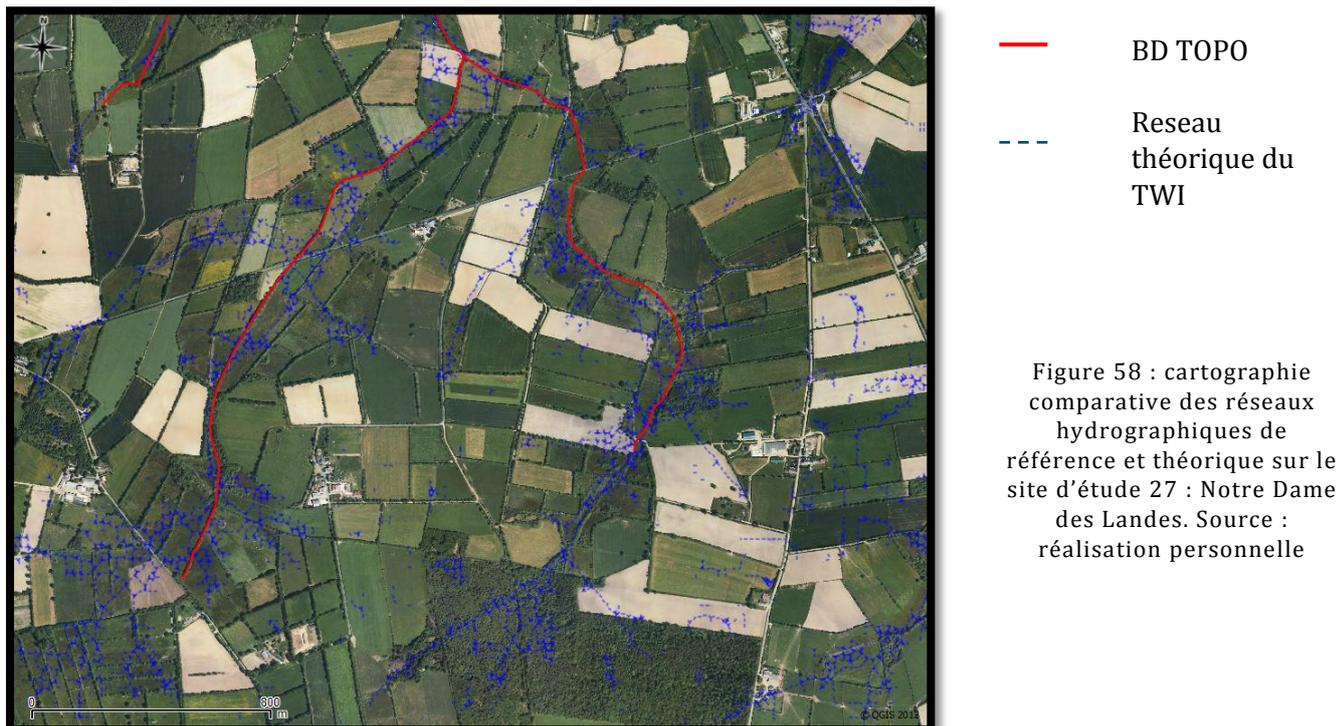
Figure 57 : Cartographie illustrative du TWI dans la zone de Bazougers (53). Source : réalisation personnelle

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Plus la carte est colorée plus cette dernière indique une potentialité forte, cependant sur le site de bazougers (53), la probabilité maximum était de 22% soit 1 « chance » sur 5.

R.TOPO : ELABORATION D'UN RESEAU THEORIQUE ISSU DU TWI

Pour faciliter la comparaison entre le réseau hydrographique de référence (BD TOPO) et le réseau hydrographique théorique, un réseau issu du TWI (cf figure 58) a été élaboré (suggestion après présentation des travaux) :



Ce réseau trace l'ensemble des linéaires qui correspondent à un TWI supérieur à 10%. Cela signifie qu'il existe des erreurs.

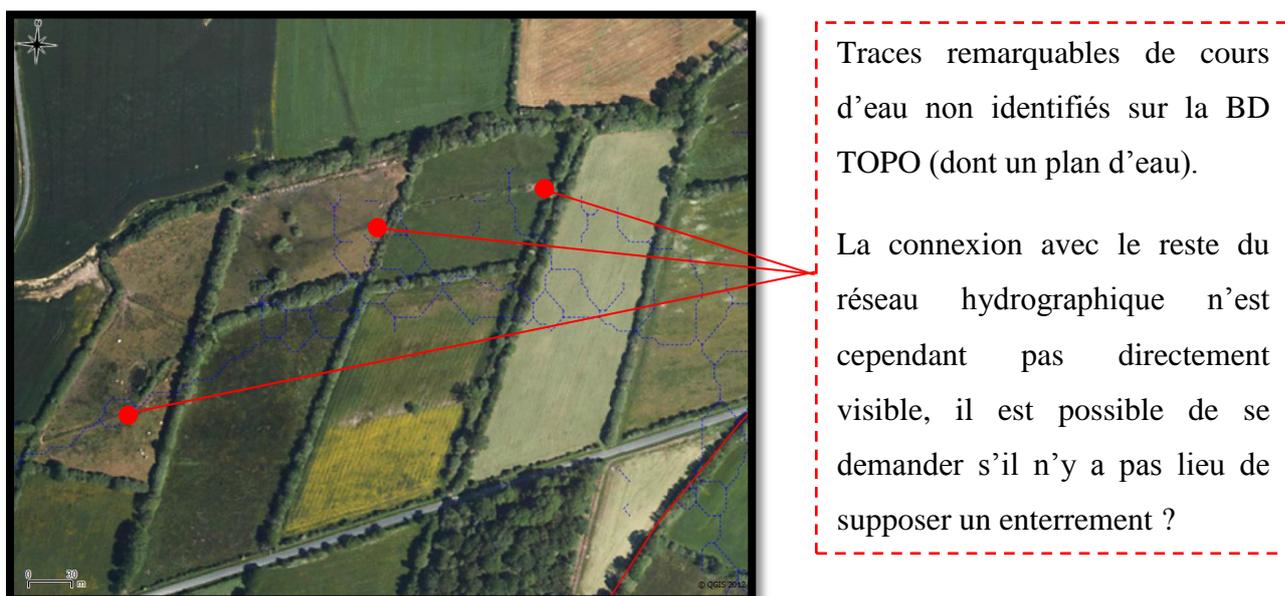


Figure 59 : Cartographie, exemple d'un repérage de cours d'eau absent de la bd topo sur le site de Notre Dame des Landes

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

D'autres cas ne sont pas aussi flagrants, étant donné qu'il s'agit d'une probabilité, il est nécessaire de vérifier chaque bras. Les zones de forêts ne peuvent pas non plus être vérifiées visuellement (*cf* figure 59).

R.TOPO : AMELIORER L'INTERPRETATION VIA LA TELEDETECTION : LE NDWI

En télédétection, il existe des indices simples qui comparent les différentes réponses du terrain sur plusieurs champs spectraux, ce sont des indices normalisés. Le plus connu d'entre eux est le Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) utilisé pour classifier la végétation et notamment en matière d'humidité c'est cette particularité qui permet d'utiliser cet indicateur (**Tucker, 1979**).

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{NIR + RED}$$

Équation 2 : NDVI

Il existe également un indice qui touche notre sujet de près, le Normalised Difference Water Index (NDWI) (**Mcfeeters, 1996**). Ce dernier a été rajouté en option dans R.Topo. Il s'agit d'inverser l'équation du NDVI et d'utiliser la bande spectrale verte pour gommer les effets de la végétation et ne garder que les réponses liées à l'eau. L'équation du NDWI est alors la suivante :

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)}$$

Équation 3 : NDWI

Où Green est la réponse spectrale entre les longueurs d'onde de 520 à 590 nm et le NIR (ou proche infrarouge) représente la réponse spectrale enregistrée entre les longueurs d'onde de 760 et 850nm. A noter qu'il existe aussi d'autres sortes de NDWI mettant en relation des longueurs d'onde plus importantes mais les données à disposition ne permettent pas de les calculer.

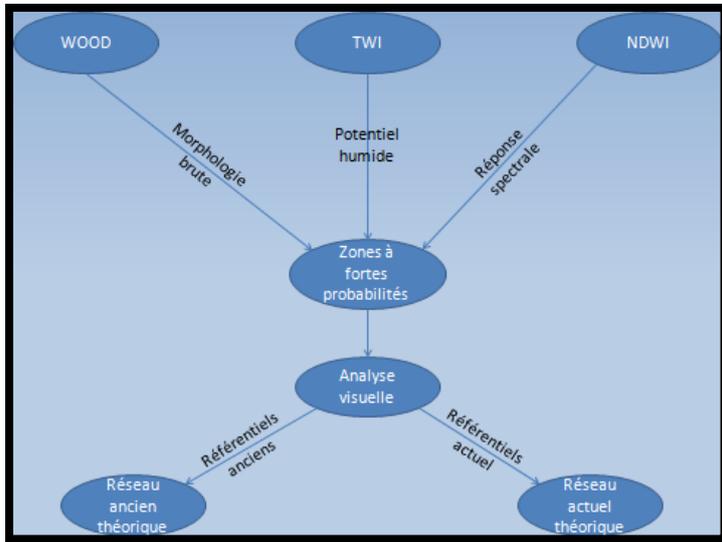


Figure 60 : Schématisation du processus d'élaboration des réseaux théoriques

R.TOPO : ELABORATION DES RESEAUX ANCIENS ET ACTUELS

En utilisant cette méthode, l'œil de l'examineur est guidé par les différents indices calculés par **R.topo**. Il existe toujours un biais d'observation, celui-ci a été réduit de façon considérable. **R.topo** en indiquant les zones d'intérêt permet également de gagner du temps lors de l'analyse. Jusqu'à la création d'un modèle hydrographique parfait, seule l'amélioration des indices peut amener de meilleurs résultats (cf figure 60).

2.4.2.4 V.HYDRO : ANALYSE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le module **V.Hydro** est assez simple d'utilisation, il suffit d'y incorporer les deux couches de réseaux (théorique ancien et actuel) ainsi que le MNT de la zone et de le laisser renseigner les bases de données sur les réseaux hydrographiques.

Ce module récupère les informations suivantes sur les réseaux :

RECTITUDE ET SINUOSITE

Parmi les éléments morphologiques qui sont évaluables sur une carte, la sinuosité est le plus facilement calculable. Cette simplicité apparente est cependant à nuancer puisqu'il est nécessaire de définir la méthode de calcul employée et d'analyser l'évolution qu'a subie cet indicateur.

De manière classique, la sinuosité se calcule en comparant le rapport entre la distance à vol d'oiseau et la distance parcourue par le cours d'eau. Cependant cette méthode a une faiblesse puisqu'elle n'enregistre pas de différence entre des cours d'eau ayant des angles naturels (méandres) et un cours d'eau rectifié en angle droit s'ils possèdent la même longueur parcourue. Certains référentiels (SYRAH par exemple), pour éviter ce biais, réalisent un découpage intermédiaire en tronçons plus petits.

Pour tenter d'éliminer ce biais, le calcul de la dimension fractale est expérimenté. La dimension fractale de **Mandelbrot (1982)** est une notion d'analyse des formes les plus complexes que les mathématiques classiques ne permettent pas d'étudier. Cette dimension

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

mesure la complexité d'une forme, elle peut être calculée de différentes manières selon les géométries à évaluer. La dimension utilisée est la première formule de Mandelbrot :

$$T_F = 2 * \frac{\log(A)}{\log(B)}$$

Équation 4 : Dimension fractale de Mandelbrot

Où A est le périmètre (m) du linéaire et B l'aire du linéaire (m²).

La dimension fractale est définie de la manière suivante par **Mandelbrot (1983)** « *une des caractéristiques principales de tout objet est sa dimension fractale. Elle correspond à un nombre qui quantifie le degré d'irrégularité et de fragmentation d'un ensemble géométrique ou d'un objet naturel.* ». Ces dimensions sont particulièrement utilisées en analyse du paysage.

Le calcul de ces indices permet d'évaluer la sinuosité des cours d'eau à un instant T, des calculs de leurs variations ont été rajouté afin d'évaluer la modification du réseau hydrographique.

$$VS = \sqrt{\left(\frac{Ts - Tsa}{Tsa}\right)^2} * 100$$

Équation 5 : Variation de la sinuosité

Où Vs = Variation de sinuosité, Ts = Taux de sinuosité actuel et Tsa = Taux de sinuosité ancien.

Les données récoltées sur la sinuosité et la dimension fractale : (cf annexe I sur l'ensemble des données)

DEPLACEMENT

Les données de déplacement permettent d'évaluer la translation subie par le cours d'eau. Il est possible de chiffrer cette translation en calculant la distance entre le cours d'eau ancien et le nouveau.

$$Dap = \sqrt{(Sxp - Sxpa)^2 + (Exp - Expa)^2} + \sqrt{(Syp - Sypa)^2 + (Eyp - Eypa)^2}$$

Équation 6 : distance de déplacement

Où Dap = La distance entre le linéaire actuel et l'ancien, Sxp = Les coordonnées d'origines du linéaire en abscisses actuelles, Sxpa = Les coordonnées d'origines du linéaire en abscisses anciennes, Exp = Les coordonnées de sortie du linéaire en abscisses actuelles, Expa = Les coordonnées de sortie du linéaire en abscisses anciennes, Syp = Les coordonnées d'origines du linéaire en ordonnées actuelles, Sypa = Les

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

coordonnées d'origines du linéaire en ordonnées anciennes, Eyp = Les coordonnées de sortie du linéaire en ordonnées actuelles, Eypa = Les coordonnées de sortie du linéaire en ordonnées anciennes. Exprimé en m, sous la projection L93 (EPSG : 2154)

Un indicateur binaire D (en 1 ou 0) indique si le déplacement est conséquent c'est-à-dire s'il est plus important que 5 m.

La classification de WOOD permet de caractériser les critères morphologiques des linéaires en leur attribuant une note selon le type de morphologie où ils se situent.

Chaque classe de la classification de WOOD s'est vue attribuer une note selon son potentiel humide (inspiré de l'[agence de l'eau Adour – Garonne, 2011](#)) :

- ❖ 0 : potentiel humide faible (crête et sommet)
- ❖ 1 : potentiel humide moyen (col, plat)
- ❖ 2 : potentiel humide élevé (Talweg, Dépression)

Un indicateur a également été créé pour indiquer la présence de modifications suite à un déplacement des caractéristiques morphologiques du cours d'eau.

$$CHT = WOOD - WOOD_A$$

Équation 7 : CHT, indice de modifications des caractéristiques morphologiques

Où CHT = CHangement Talweg, WOOD_A = classification de wood du cours d'eau ancien associé et WOOD = la classification actuel du cours d'eau.

Quatre résultats sont possibles sur le CHT : (si négatif, il y a détérioration, si positif, il y a amélioration du positionnement)

- -2 : Le cours d'eau n'est plus dans un talweg (détecté).
- -1 : Le cours d'eau a été déplacé dans une zone à potentiel humide plus faible
- 0 : Le cours d'eau n'a pas changé de classe morphologique
- 1 : Le déplacement a entraîné un changement de classe positif
- 2 : Le cours d'eau n'était pas dans un talweg, il s'y trouve maintenant.

ENTERREMENT

Les enterrements ne sont pas directement indiqués sur la base de données du linéaire mais sur une couche différente qui retrace les différences de tracés entre les réseaux anciens et actuels. Sur cette couche, le linéaire potentiellement enterré est identifié sous l'appellation « enterrement » dans le champ Label. Il est intéressant de comparer ces données à d'autres

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

référentiels. (cf rapport Méthode de pré-identification des cours d'eau enterrés (Le Bihan, 2009) ou le Rapport enterrement Tête de bassin versant Ille et Vilaine (Le Bihan, 2010).

PLANS D'EAU

La BD TOPO « surface eau » est assez bien renseignée sur ce sujet mais elle n'apporte que peu d'informations sur ces derniers mis à part en terme de localisation. Le NDWI permet de localiser une grande partie des plans d'eau actuels afin de mettre à jour les données de la BD TOPO (cf figure 61 et 62).



Figure 62 : Photographie actuel d'un plan d'eau dans la zone de Bazougers source : réalisation personnelle

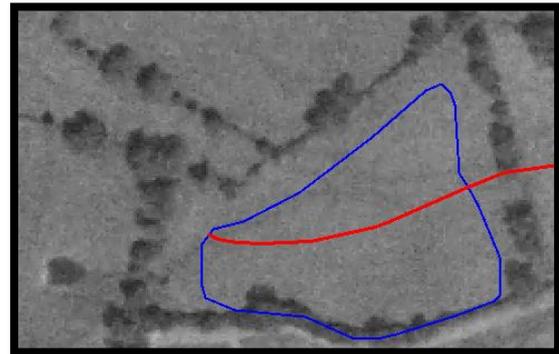


Figure 61 : Photographie ancienne permettant de constater la création d'un plan d'eau. Source : réalisation personnelle

Concernant le phénomène de création des plans d'eau comme peuvent l'illustrer les deux figures précédentes un indicateur binaire a été créé EA, il détecte s'il existe une correspondance entre le plan d'eau actuel et un ancien plan d'eau au même endroit.

Les plans d'eau sont également associés aux cours d'eau à proximité d'eux, cette correspondance est limitée à 80m et répertoriée dans une donnée ID_CE (qui correspond à l'ID tronçon du dit cours d'eau).

Un indicateur sur la nature des plans d'eau est également calculé. Les plans d'eau sans correspondance CE (donc à plus de 80m d'un cours d'eau) sont identifiés comme des plans d'eau isolés. Lorsque qu'un plan d'eau est situé à moins de 10m, il est considéré en barrage et entre 10m et 80m, il est considéré en dérivation. Un champ Nature [NAT] est renseigné avec les codes :

- ❖ 1 : Plan d'eau isolé
- ❖ 2 : Plan d'eau en dérivation
- ❖ 3 : Plan d'eau en barrage

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Des indicateurs supplémentaires sont calculés sur les plans d'eau au niveau des cours d'eau. 3 données peuvent être recueillies en utilisant l'association entre les plans d'eau et les cours d'eau (au niveau d'ID_CE), le nombre de plans d'eau associés [NB_PE], le nombre de plans d'eau en dérivation associés [NB_PED] et le nombre de plans d'eau en barrage associés [NB_PEB].

En utilisant les aires de chacun, trois données surfaciques sont calculées : l'aire cumulée des plans d'eau associés [A_PE], l'aire cumulée des plans d'eau associés en dérivation [A_PED] et l'aire des plans d'eau associés en barrage [A_PEB].

Deux indicateurs ont ensuite été produits pour indiquer la probabilité d'impact des plans d'eau sur les cours d'eau. Ils mettent en relation la surface de linéaire du cours d'eau et la surface des plans d'eau qui leur sont associées. Ils sont calculés de la manière suivante :

$$IND_{PE} = \frac{A_{PE}}{LONG}$$

Équation 8 : Indice plan d'eau

$$IND_{PE_{POND}} = \frac{\left(\frac{A_{PED}}{2}\right) + (A_{PEB})}{LONG}$$

Équation 9 : Indice plan d'eau pondéré

Où LONG = la longueur du tronçon (en km), IND_PE = indicateur plan d'eau, IND_PE_POND, indicateur plan d'eau pondéré, A_PE = aire plan d'eau associé (en km²), A_PED = aire plan d'eau en dérivation associé (en km²), A_PEB = aire plan d'eau en barrage associé (en km²).

Cette pondération a pour but de différencier l'impact des plans d'eau en dérivation qui est relativement moins important que celui des plans d'eau en barrage. (Febrey et al., 1979).

BILAN

V.Hydro ressortira entre 3 et 5 (si les Plans d'eau sont intégrés) couches SIG associées à des bases de données : (voir annexe I : pour un bilan des données par couche)

- ✓ Réseau théorique actuel dont la base de données a été renseignée
- ✓ Réseau théorique ancien dont la base de données a été renseignée
- ✓ Réseau ancien de plans d'eau dont la base de données a été renseignée
- ✓ Réseau actuel de plans d'eau dont la base de données a été renseignée
- ✓ Un réseau supplémentaire où figurent les différences entre les réseaux anciens et actuels (y figure notamment les possibles enterrements).

2.5 RESULTATS ET EXPLOITATIONS

L'analyse statistique des distributions des données récoltées lors de l'étude est disponible en annexe (cf annexe N, annexe O, annexe P, annexe Q). L'exploitation des données qui va suivre est basée sur un total de 11610 tronçons sur le réseau théorique actuel et 13312 tronçons sur le réseau théorique ancien.

2.5.1 EXPLOITATIONS STATISTIQUES

L'analyse porte sur plusieurs échelles spatiales (total, département, sites) et temporelles (réseau actuel et ancien), elle prête aussi une attention particulière aux cours d'eau en tête de bassin (rang de Strahler inférieur à 3).

2.5.1.1 LA MISE A JOUR DU LINEAIRE

Sur l'ensemble des 26 sites testés, **1516km** de linéaire de cours d'eau ont été rajoutés entre la BD TOPO et le réseau théorique actuel. Et entre les réseaux théoriques actuel et ancien, **1408km** de cours d'eau ont été rajoutés. Au total sur la totalité des sites entre la BD TOPO et le réseau théorique ancien (le plus exhaustif), il y a une différence de **2924km** de linéaire de cours d'eau, ce qui représente une augmentation de **51,9%** du linéaire par rapport à la BD TOPO.

Cet ajout de linéaire est théorique, il comporte des erreurs mais il illustre les lacunes des référentiels actuels (BD TOPO, BD CARTHAGE) en termes d'exhaustivité de la représentation du linéaire. Au niveau des têtes de bassin, les résultats sont les suivants :

Tableau VIII : Comparatif des données sur le linéaire

Données (T2BV)	Résultats
Ecart BD TOPO – Réseau théorique actuel	680km
Ecart Réseau théorique actuel – Réseau théorique ancien	436km
Ecart BD TOPO – Réseau théorique ancien	1117km
Augmentation de linéaire entre BD TOPO – Réseau théorique ancien	41%
Contribution des têtes de bassin aux rajouts	38%

La part moins importante des têtes de bassin peut paraître surprenante, elle trouve son explication à cause du changement de rang de Strahler induit par l'apport de linéaire. Certains cours d'eau classés actuellement en tête de bassin, ne le sont plus sur le réseau ancien. Pour pallier ce biais et obtenir les véritables chiffres, il faudrait créer un rang 0 pour les rajouts de linéaire.

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

A l'échelle des départements, **l'Ille-et-Vilaine (35)** se détache considérablement des autres départements bretons, **584km** de cours d'eau ont été rajoutés, soit **39%** de la contribution. Il ne s'agit pas d'une anomalie sur un site, puisque les 3 sites d'Ille et Vilaine connaissent plus qu'un doublement du linéaire de leur réseau après la mise à jour. Seuls les sites de Kerfourn (N°13) dans le Morbihan et de Bolazec (N°22) dans les côtes d'Armor sont également dans ce cas.

Il existe de même un écart important entre les sites, celui de Bolazec (N°22) gagne près de 217% de réseau supplémentaire tandis que le site de Bazougers (N°5) n'obtient qu'un supplément de 30% de linéaire. Ces chiffres varient en partie à cause de la qualité des anciennes orthophotos et de l'occupation du sol. Les sites du 29 sont couverts par une part importante de forêt qui rend impossible l'établissement du réseau théorique, ils ont un gain de 54% de linéaire en moyenne.

En se basant sur les résultats précédents, il est possible d'estimer à **66678km** de réseau absent sur le territoire de la DIR2 dont **25337km** de Tête de bassin versant.

2.5.1.2 L'EVOLUTION DE LA SINUOSITE

La sinuosité et son évolution ont été globalement analysées au cours de cette étude, il s'agissait d'expérimenter la capacité des orthophotos anciennes à récolter cette information. En annexe M, il est possible de voir que ponctuellement ces référentiels peuvent être particulièrement intéressants pour retrouver des situations de références.

En prenant en compte tous les cours d'eau du test, le taux de sinuosité a baissé de **0.00577** entre le réseau théorique actuel et l'ancien. Ce qui représente une perte de linéaire due à la simplification de 19,4km.

Tableau IX : Comparatif des données sur la sinuosité

Réseau	Linéaire perdu (km)	Part explicative de la perte de linéaire(%)
Réseau théorique ancien	19,4	1,3
Réseau théorique actuel	14,56	2,21
BD TOPO	10,76	N/A
DIR2 (estimation)	438,52	0,72

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Ces résultats très faibles comparés aux 71,14% de l'annexe M illustrent une lacune sur l'évaluation de l'évolution du taux de sinuosité dans l'étude. Le taux de variation de la sinuosité, permet cependant de localiser les lieux de forte modification. Cela confirme aussi, que la plus grande partie de la perte de linéaire est due à la méconnaissance des linéaires plutôt qu'à la diminution de leur sinuosité.

Cependant d'autres informations peuvent être tirées des données récoltées sur la sinuosité. En premier lieu, il est possible d'étudier la répartition des données (cf tableau XI) :

Tableau X : Etude de la distribution des données statistiques sur la sinuosité

	1 ^{er} Quartile	Médiane	3 ^{ème} Quartile	90 ^{ème} centile	Ecart interquartile
Moyenne Actuelle	1.013	1.046	1.106	1.215	0.093
Moyenne ancienne	1.013	1.049	1.115	1.217	0.102269
Ecart	0	-0.003	-0.009	-0.002	-0.009269
Moyenne actuelle des T2BV	1.010	1.041	1.095	1.179	0.085
Moyenne ancienne des T2BV	1.013	1.046	1.097	1.190	0.0845
Ecart T2BV	-0.003	-0.005	-0.002	-0.011	0.0005

Il faut noter que :

Quelque soit le type de données, la médiane est toujours inférieure à 1,05 soit la classe de sinuosité la plus basse selon la classification de Malavoi (cf Partie sinuosité) et donc plus de la moitié des tronçons ont une sinuosité très faible. Sur les têtes de bassin versant, la moitié des cours d'eau présente une sinuosité inférieure à 1,4.

A l'inverse le 90^{ème} centile indique que moins de 10% des individus ont une sinuosité supérieure à 1,2 au niveau des têtes de bassin versant. Il est déjà possible de dire que les têtes de bassin versant ont une sinuosité plus faible que la moyenne des cours d'eau.

Ensuite la quasi-totalité des écarts est négative, il y a donc d'une manière globale une dégradation de la sinuosité.

L'écart interquartile, permet d'évaluer la distribution des populations « centrales » c'est-à-dire qu'elle omet les populations à valeur extrême. Plus il est important, plus la population est dispersée. A l'inverse, plus il est faible, plus cette population est homogène. Ici la tendance

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

générale et celle des têtes de bassin sont différentes. Les têtes de bassin, ont une tendance à la dispersion qui traduit le glissement progressif des populations moyennes vers la rectification.

Dernier point sur les têtes de bassin versant, il faut remarquer que le 1^{er} quantile baisse, ce qui signifie que de plus en plus d'individus passent sous la barre des 1.01 de sinuosité soit une rectitude totale.

2.5.1.3 VERS DES CLASSES DE SINUOSITES PLUS ADAPTEES AUX TETES DE BASSIN VERSANT ?

En appliquant la classification de sinuosité de Malavoi à l'échantillon, les données suivantes se dégagent :

Tableau XI : Répartition des tronçons de l'étude dans les classes de sinuosité de Malavoi

	< 1,05 (%)	1,05 - 1,25(%)	1,25 - 1,5 (%)	> 1,5 (%)
Ensemble	56,56%	36,35%	5,79%	1,31%
Ensemble_T2BV	61,63%	33,82%	3,79%	0,77%

Ce tableau vient confirmer, la répartition différente des têtes de bassin dans les classes de sinuosité. Il est possible de s'interroger sur la création de classes statistiques plus pertinente.

Il ne s'agit pas ici de différencier le fonctionnement écologique mais surtout pouvoir différencier les cours d'eau ayant un intérêt d'étude. En l'occurrence la seconde classe peut être divisée en deux.

Tableau XII : répartition des tronçons de l'étude dans les classes suggérées par la discrétisation de Jenks

	< 1,04	1,04 - 1,12	1,12 - 1,26	1,26-1,6	>1,6
Ensemble	51,02%	27,44%	14,89%	5,78%	0,88%
Ensemble_T2BV	55,77%	27,60%	12,28%	3,97%	0,38%

La méthode des seuils naturels de Jenks vise à réduire les écarts intragroupes et à maximiser les écarts intergroupes, c'est-à-dire qu'elle tente d'établir des classes où les individus ont des comportements homogènes. En la paramétrant sur 5 classes, les catégories du tableau précédent ressortent. Il est déjà remarquable que les classes de Malavoi sont assez proches de cette méthode. Mais une différenciation plus importante permet de dégager la catégorie 1.12-1.26 qui pourrait abriter une catégorie de cours d'eau à degré de naturalité élevé sans toutefois être naturellement sinueux.

Un autre indicateur a été calculé lors de l'étude, celui de la dimension fractale, il n'a pas été possible d'expérimenter sa pertinence pour l'instant.

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

2.5.1.4 LES INDICES PLAN D'EAU

Il est intéressant d'analyser l'évolution de l'implantation des plans d'eau au sein des sites.

Tableau XIII : Analyse des données plan d'eau

Données	Résultat
Nombre de plans d'eau supplémentaire	3943
Nombre de plans d'eau en barrage supplémentaire	423
Nombre de plans d'eau en dérivation supplémentaire	1778
Nombre de plans d'eau isolés supplémentaires	1742

Sur l'ensemble des sites, 423 plans d'eau en barrage ont été créés, il en existait 249 en 1950, il y en a maintenant 672. Ce sont autant d'obstacles supplémentaires à la continuité écologique. Ces chiffres permettent d'estimer la création de plans d'eau à l'échelle de la DIR. Ainsi d'après ces résultats, il y aurait un total de 89915 plans d'eau créés sur le territoire dont 9351 en barrage.

Il faut noter que ces chiffres, sont à relativiser en effet il existe de forts écarts sur ces données. Il existe un gradient Ouest-Est à l'échelle de la Bretagne, le Finistère (+ 294 plans d'eau) étant très peu impacté au contraire de l'Ille-et-Vilaine (+ 875 plans d'eau) ou de la Mayenne (+ 309 plans d'eau pour un unique site). Il existe aussi une forte différence entre les Pays de la Loire et la région Bretagne, en effet 13,4 plans d'eau ont été créés pour un existant en 1950 en Bretagne alors que ce chiffre n'est que de 1,6 pour les Pays de la Loire. Ce décalage s'explique par le nombre restreint de plans d'eau en Bretagne en 1950. Au total en moyenne sur le territoire, **2,5** plans d'eau ont été créés pour un existant en 1950.

2.5.2 EXERCICES DE COMPARAISON

Deux tests ont été réalisés pour comparer les résultats de l'étude avec d'autres méthodes ou sources de données.

2.5.2.1 SYRAH

Le protocole SYRAH a été présenté précédemment, c'est actuellement un référentiel national sur l'hydromorphologie des cours d'eau.

2. Améliorer la connaissance de ces milieux

Tableau XIV: Comparatif des données SYRAH - ETUDE

	SYRAH	ETUDE	Ecart
Linéaire de cours d'eau	68532	163747	95215
Nombre de tronçons	23	303	280
Information par linéaire de cours d'eau	2979,6	540,4	2439,2

Ce test a été réalisé sur le site de Combourg (N°20) en Ille-et-Vilaine (35), il apporte des informations sur la différence de données au niveau quantitatif entre les deux linéaires. Sans surprise, le linéaire étudié est bien plus important sur cette étude que sur SYRAH (+ 138%) et le découpage de tronçons fait qu'il existe un nombre plus important de tronçons (+280). Concernant l'information disponible par mètre de linéaire, l'étude actuelle fournit une information tous les 540m alors que l'information SYRAH n'est disponible (en moyenne) que tous les 3000m. Cette différence signifie qu'il y a plus de données sur cette étude que sur SYRAH, même en dehors du rajout de linéaire.

Cependant ces chiffres ne comparent pas la qualité des données, cette comparaison est difficile à cause de la différence de découpage entre cette étude et le découpage SYRAH. Il faudrait vérifier plus en détail les tronçons proches (l'assemblage de tronçons n'est pas envisagé au vu de la complexité des données morphologiques). Il est possible par contre de comparer les données récoltées sur les linéaires :

Tableau XV : Comparatif qualitatif des données de l'étude et celles de SYRAH

Types de données	SYRAH	ETUDE
Régime hydrologique	Volume annuel écoulé, surface drainée, surface irriguée...	Aucune
Continuité de la rivière	Analyse de l'occupation des sols, plans d'eau, barrages	Plans d'eau avec leur nature associée (dérivation/barrage).
Conditions morphologiques	Ripisylve, nature de la rive, estimation de la largeur moyenne, imperméabilisation des sols, pente	Pente, sinuosité, fractalité, pente, CHT et WOOD, IBK
Données historiques	Estimation des altérations (recalibrage, rectification, digues) basée sur Corine Land Cover.	Déplacement, évolution de la sinuosité et de la dimension fractale, évolution des plans d'eau, évaluation des enterrements

3. Vers une modification des politiques de l'eau ?

Ce comparatif illustre les lacunes et les avantages de chacun :

SYRAH possède des informations sur le régime hydrologique et la continuité que cette étude n'analyse pas. Concernant les conditions morphologiques, les informations récoltées sont de nature différente, SYRAH possède cependant des informations sur le lit mineur et majeur intéressantes. Par contre sur tout ce qui est données historiques et altérations, cette étude fournit des informations supplémentaires considérables et surtout basées sur d'anciens référentiels plutôt que sur des probabilités d'altérations. A noter que SYRAH, utilise parfois Corine Land Cover pour le calcul de certaines variables, ce référentiel s'il donne une information de qualité intéressante au niveau national, est aussi imprécis sur de petits territoires. Une utilisation d'images satellite locales pourrait être une piste d'amélioration pour analyser l'occupation du sol.

2.5.2.2 LES ANCIENNES CARTES

Une autre expérience comparative a été réalisée pour vérifier l'intérêt des anciennes cartes.

Tableau XVI : Comparatif des résultats de l'étude a partir d'une ancienne carte

	Carte Ancienne	Etude	Ecart
Linéaire de cours d'eau	134328	163747	29419
Linéaire de cours d'eau ancien	134328	283517	149189

Le test a été également réalisé sur le site de Combourg. Cette fois l'écart est moins important qu'avec SYRAH, il manque 2,9419km de cours d'eau (théorique) soit un écart de **18%**. En comparant les résultats sur carte ancienne et sur SYRAH, la différence monte à 96%. Ces chiffres illustrent l'intérêt prononcé des anciennes cartes qui nécessitent un temps de traitement légèrement moins long que les orthophotos et dont les résultats sont assez proches.

Cependant cette étude prend également en compte les anciennes orthophotos les résultats sont cette fois bien plus importants lors de l'étude. En effet, l'écart enregistré est de 14,9km soit une différence de **52,6%**. Il faudrait aussi pousser l'analyse en effectuant des tests sur la fiabilité de ces deux réseaux. Les deux méthodes ne s'opposent cependant pas et pourraient être complémentaires. L'identification sur d'anciennes cartes permettant une étape pour vérifier la fiabilité de certaines interprétations photographiques.

3. VERS UNE MODIFICATION DES POLITIQUES DE L'EAU ?

3.1 POURSUIVRE L'EXPERIENCE

3. Vers une modification des politiques de l'eau ?

Si les résultats de l'étude exposée ci-dessus ont pour vocation d'établir une référence sur l'état des têtes de bassin versant, de proposer des indicateurs de diagnostics traitant de l'évolution des réseaux hydrographiques, de valoriser les connaissances anciennes ou encore de participer à la prise de conscience de l'intérêt des têtes de bassin versant, elle n'est pas absoute de toutes critiques.

3.1.1 LA PRECISION DES DONNEES

Il est nécessaire de critiquer les données utilisées pour réaliser notre expérience, comme la précision de notre Modèle Numérique Terrain, la résolution employée sous GRASS ou encore celle des images satellites employées.

Si les MNT se sont largement démocratisés au sein des organismes chargés de la gestion des eaux, ils ne se valent pas tous. Le MNT utilisé bien qu'ayant une précision de l'ordre de 2m, n'a une résolution que de 25m, ce qui est certes déjà très précis mais les résultats de l'étude pourraient être grandement améliorés via l'acquisition d'un MNT plus précis. Le Référentiel à Grande Echelle (RGE) de l'IGN est en cours d'acquisition par l'ONEMA, il a pour finalité d'offrir un MNT d'une précision de 50cm et d'une résolution métrique.

Quant à la résolution employée sous GRASS, elle est conditionnée à la fois par la qualité des données en entrée (le MNT et les images satellites), la puissance des machines employées et la disponibilité en temps. Avec les moyens actuels aussi bien mécaniques que temporels, il n'était pas envisageable d'améliorer encore la précision de l'étude. Il faut noter que l'amélioration des données et des machines peut permettre une précision accrue des résultats.

L'adhésion au projet GEOSUD (GEOinformation for SUsustainable Development), a permis de récupérer des images satellites Rapideye de 2010 d'une précision de 5m mais qui n'enregistre des canaux que jusqu'au proche infrarouge (NIR – 850nm), la majorité des analyses sur l'humidité s'effectue sur des longueurs d'onde plus grandes ([Ji et al., 2009](#)).

Egalement en cause, les orthophotos actuelles et anciennes qui diffèrent en terme de qualité et de date.

Les données réunies pour cette étude sont de qualité, toutefois elles peuvent être améliorées.

3.1.2 LE CHOIX DES INDICATEURS ET DE LA METHODE

3. Vers une modification des politiques de l'eau ?

3.1.2.1 LE BIAIS OBSERVATEUR ET LES OUTILS D'AIDE A L'ELABORATION DES RESEAUX

Les indicateurs utilisés pour qualifier le terrain peuvent être contestés, ils sont pour autant le fruit d'un travail de fond sur l'association de la géomatique et de l'écologie des paysages. L'utilisation d'un modèle topographique plutôt qu'un modèle complet pluie-débit (**Ducharne, 2011**) est un choix réfléchi afin de faciliter la mise en place de l'expérience en fonction de critères facilement accessibles et de paramètres plus facilement réglables. D'autres modèles pluie-débit plus poussés existent, c'est le cas de TOPMODEL (**Beven & Kirkby, 1979**), GRASS propose d'ailleurs un module TOPMODEL mais il est assez complexe d'utilisation et nécessite des données pluviométriques. Les modèles hydrogéologiques quant à eux nécessitent des données sur les sols (**De Marsily, 1986**). C'est donc dans un souci de simplicité et de reproductibilité que ce choix a été opéré.

Le NDWI de Mc Feeters a été sélectionné car actuellement, il est le seul opérable sur les données disponibles. La classification de WOOD quant à elle est parfaitement adaptée aux MNT et de lecture particulièrement explicite (elle peut être améliorée par la méthode concave-convexe *cf* partie 2.4.2.3).

Reste la question du biais observateur, les indicateurs précédents tentent d'amoindrir ce phénomène, mais il n'est pas possible de nier toute subjectivité dans cette approche. Cela ne signifie pas qu'elle n'est pas scientifique ou exploitable mais qu'il faut garder à l'esprit l'existence de ce phénomène. La création d'un atlas d'interprétation constitue une possibilité de réduire ce biais.

3.1.2.2 LIMITES DE L'ECHANTILLONAGE

Le choix d'utiliser la grille IGN comme maillage sur le territoire national peut être critiqué, une échelle de 10km² peut par exemple masquer des occupations du sol de taille réduite ou au contraire en valoriser certaines, dans ce cas c'est une logique pratique qui a été privilégiée. D'autre part, l'emploi de Corine Land Cover comme référence sur l'occupation du sol peut aussi être critiqué, ce référentiel spatial étant d'échelle très vaste, il manque de finesse. Il faut aussi prendre en compte la disponibilité de l'information à l'échelle nationale, si des données locales sont très souvent plus précises, il n'existe que très peu de bases fiables à l'échelle du territoire entier (hors CLC).

3.1.2.3 LES INDICATEURS D'EVOLUTIONS ET D'ANALYSE DES RESEAUX

3. Vers une modification des politiques de l'eau ?

Les autres types d'indicateurs utilisés dans cette étude sont pour la plupart complètement expérimentaux. C'est le cas par exemple de l'indice pondéré plan d'eau qui établit une différence entre les impacts des plans d'eau en barrage et en dérivation sur les cours d'eau. La plupart des choix ont été effectués en considérant les connaissances actuelles et sans études de références. Ces indicateurs semblent être pertinents puisqu'ils ont la capacité de caractériser les phénomènes étudiés. Cependant, ils demandent à être encore améliorés et remis en question.

La dimension fractale de Mandelbrot est aussi une application expérimentale, quelques rares études mentionnent la possibilité de l'utiliser pour qualifier le réseau hydrographique mais cette étude est probablement l'une des premières à utiliser cette notion dans ce but.

3.1.3 LA REPRODUCTIBILITE

Une des motivations de cette étude était de proposer une expérience renouvelable sur de larges territoires. Une attention particulière a été portée afin qu'elle soit la plus simple possible tout en restant pertinente. D'après l'expérience, il est possible d'analyser 2 sites de 100km² par jour en omettant l'étape d'orthorectification qui prend autant de temps que le reste de l'étude. L'étape d'orthorectification n'est nécessaire que si les référentiels anciens ne sont pas rectifiés, l'IGN propose ainsi une BD ORTHO historique. Certains organismes proposent cette même BD sous flux Web Map Service (affichable sur logiciel SIG).

En se basant sur le pas de temps de 2 sites de 100 km² par jour, il est possible d'estimer à approximativement 36 jours en temps plein l'analyse de 72 sites (Le Maine et Loire, le plus grand département du territoire de la DIR mesure 7166 km²) sans prendre en compte toute sortie terrain pour examiner les résultats. La Gironde, le plus grand département français, nécessiterait 54 jours de traitement. Pour chaque département, il faut au moins une personne sachant lancer un script GRASS (apprentissage en une demi-journée maximum avec le TP fourni en annexe G) et une personne sachant utiliser un SIG classique (Map Info, QGIS) pour la numérisation. En considérant la formation, la préparation des données (hors rectification) et la réalisation, il est possible d'estimer à 3 mois pour une personne l'étude d'un département.

3.1.4 LA CONFRONTATION AVEC LE TERRAIN

Il est nécessaire qu'en aval de cette étude, il y ait aussi une démarche sur le terrain. Un Programme d'Observation Guidé (POG) peut être initié afin de compléter les informations recueillies sur les réseaux théoriques et les avaliser ou les rejeter. Un module (V.POG) a été

3. Vers une modification des politiques de l'eau ?

écrit pour permettre de cibler les zones des réseaux les plus opportunes à un recueil terrain. Il qualifie la zone (enterrement, absence, rajout) et en fournit les coordonnées GPS. (cf annexe L : exemple de POG)

3.2 INITIATIVES POUR UNE MEILLEURE PRISE EN COMPTE DES TÊTES DE BASSIN

3.2.1 AMELIORER DE LA CONNAISSANCE

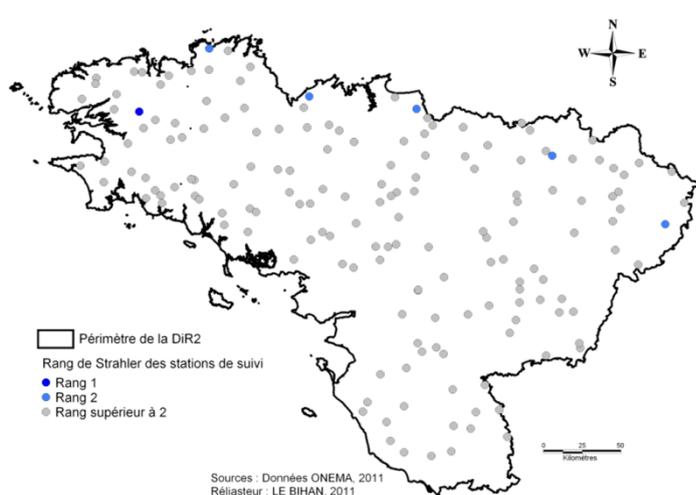


Figure 63 : Carte de la répartition des stations RCS sur le territoire de la dir2. Source : Le Bihan, 2011

L'initiative primordiale à opérer sur les têtes de bassin versant est de caractériser leur état général qu'il s'agisse de têtes de bassin actuellement identifiées ou de celles qui appartiennent encore aux « aqua incognita ». En effet, sur l'ensemble des stations de suivis piscicoles (Stations du Réseau de Contrôle et Surveillance (RCS) et du Réseau Hydrobiologique Piscicole (RHP), cf

figure 63), seul 3.75% des stations sont localisées sur des cours d'eau en têtes de bassin (Le Bihan, 2011). Quant aux têtes de bassin qui ne sont pas repérées sur les cartes, aucune donnée n'est encore disponible sur elles.

La mise en place du POG (Programme d'Observation Guidé) peut inclure des relevés rapides sur les cours d'eau observés. (Voir en annexe J et K les recherches déjà effectuées sur le sujet lors de ces 6 mois). Il pourrait y être évalué de manière succincte la présence d'écoulement, de vie biologique, de faciès variés, d'une granulométrie variée, de piétinement, de pollution visible etc... Il faut noter que le POG à cause des conditions d'encombrement en période estivale (mai à septembre), ne peut être réalisé que pendant des périodes plus fraîches (octobre à mars-avril). Le matériel nécessaire est précisé dans l'annexe J.

Un dernier type de connaissances, est particulièrement intéressant, il s'agit du bénéfice à tirer en termes de coût et d'efficacité en agissant sur les têtes de bassin plutôt que sur l'aval du réseau hydrographique.

3. Vers une modification des politiques de l'eau ?

3.2.2 QUELS TRAVAUX EN TÊTE DE BASSIN ?

3.2.2.1 CONCILIER ET AMÉLIORER LES USAGES

L'occupation du sol près des têtes de bassin est particulièrement influente sur l'état des têtes de bassin versant. En zone agricole comme urbaine de nombreux travaux de rectification et de recalibration voire d'enterrement ont été réalisés avec des conséquences qui commencent seulement à être appréhendées. Pour autant il n'est pas impossible et il est même particulièrement souhaitable de chercher à concilier les usages des cours d'eau.



Figure 64 : Cours d'eau en tête de bassin versant en Moselle (57) avec bandes enherbées couplées à une bande de prairie fauchée dans la bande riveraine, après la bande riveraine présence de cultures, présence d'une ripisylve en rideau avec différentes strates. Source : photothèque de l'ONEMA

Cette photographie (cf figure 64) illustre par exemple un système de noues (autrement appelées Grass Waterways) qui substituées aux fossés classiques permet une amélioration des fonctions des têtes de bassin versant. Les noues permettent de réduire la vitesse des écoulements, les problèmes d'érosion via une morphologie de

lit plus proche d'un régime naturel (**Grosprêtre & Schmitt, 2008**). Les bandes enherbées quant à elles

réduisent les flux liés au ruissellement (sédiments et polluants) (**Barling & Moore, 1994 ; Udawatta et al. 2002**). Les noues sont particulièrement utilisées pour gérer les problèmes de ruissellement en milieux urbains (**Chocat et al., 2004**). Il existe d'autres méthodes de conciliation des usages notamment en matière de gestion des troupeaux, où un morcellement des pâturages peut permettre une diminution des impacts de l'activité (**Grosprêtre & Schmitt, 2008**). **Mathieu (2010)** montre également qu'il est possible de réduire l'impact du drainage via certaines méthodes comme la création de fossés tampons, ou en sectionnant les drains avant leur arrivée dans les cours d'eau (pour permettre une épuration artificielle).

3. Vers une modification des politiques de l'eau ?

3.2.2.2 PRINCIPE DE NON INTERVENTION ET SITUATION DE REFERENCE

Cependant les méthodes de conciliation des usages ne sont pas toujours les plus efficaces et il est parfois nécessaire d'offrir la possibilité aux cours d'eau de retrouver leur état originel par résilience. Cette méthode est celle de la non intervention : elle vise à laisser les cours d'eau retrouver un état de fonctionnement morphologique et écologique « naturel » en laissant leur lit se reformer. Voir par exemple, la notion d'espaces de liberté et de zone tampon qui offre une alternative à de trop lourdes interventions (OFEG, 2001 ; CORPEN, 2008). Malheureusement, les têtes de bassin versant ont des débits relativement faibles et de ce fait ne peuvent pas toujours retrouver leur état « naturel » rapidement. De plus, il est souvent difficile de connaître l'état de fonctionnement ou de disfonctionnement de ces milieux. L'ONEMA a entamé un programme de recherche à ce sujet en lien avec l'université de Metz afin de développer des indices de fonctionnalité écologique (voir la thèse de Le cerf, 2005).

Les autres types d'indicateurs nécessitent la connaissance de l'état initial des têtes de bassin, ce schéma illustre ce problème : (cf figure 65)

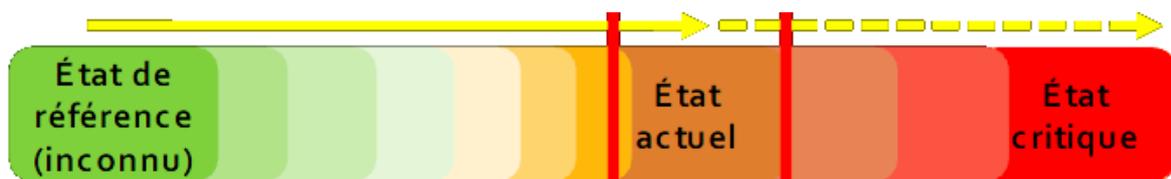


Figure 65 : schéma illustrant la problématique d'absence de connaissance sur les états de référence et la restauration des cours d'eau : Steiger & Peiry, 2009

Dans le cas des têtes de bassin versant c'est encore plus vrai, il n'existe que très peu d'études pour déterminer des références générales sur les têtes de bassin. Le Bihan et Le Double sont actuellement en train de réaliser des expériences sur des têtes de bassin versant ayant un degré de naturalité élevé afin de déterminer des caractéristiques en situation de référence. Cette étude peut également proposer des valeurs de référence.

3.2.2.3 INTERVENIR SUR CES MILIEUX ?

Il est possible de qualifier les méthodes exposées précédemment comme étant des méthodes de gestion douces c'est-à-dire qu'elles ne nécessitent pas de travaux importants et conséquents en tête de bassin ou qu'elles agissent plutôt sur l'impact des Hommes que sur le lit du cours d'eau. Cependant il est légitime de s'interroger sur la pertinence de travaux plus importants visant à reproduire les fonctionnements « naturels » des cours d'eau afin d'en restaurer les fonctions.

3. Vers une modification des politiques de l'eau ?

Ainsi **Jaeggi & Zarn (1999)** proposent de nombreux travaux pour restaurer la fonction des cours d'eau, une partie de leurs propositions est la source de dysfonctionnement, l'autre vise véritablement à améliorer les fonctions des têtes de bassin versant. Il est d'autant plus légitime de s'interroger sur le bon sens de ces travaux. En effet, avec la connaissance que nous avons du fonctionnement des écosystèmes et de ces écosystèmes en particulier, est-il vraiment pertinent de tenter de reproduire leurs fonctionnements ? (voir par exemple les propositions d'armurage du lit de **Bray et Church, 1980** ou d'élargissement proposé par **Jaeggi & Zarn, 1999**).

Plus récemment de nombreux gestionnaires, ressentent la nécessité de réaliser des travaux conséquents sur les cours d'eau. D'une manière générale, il est préférable au vu de notre manque de connaissance, de la complexité des écosystèmes (problème de fongibilité notamment) et de l'échec d'un certain nombre d'actions, de privilégier des méthodes douces visant à permettre aux têtes de bassin de retrouver leurs fonctionnalités naturellement. Il vaut mieux favoriser les actions de renaturalisation des lits (apports de charge grossière **Bravard et al., 1999**), de sensibilisation des acteurs et de la conciliation des usages.

3.2.3 CHIFFRER ET ANALYSER L'IMPORTANCE DES TÊTES DE BASSIN VERSANT

Dernier point pour vraiment changer le mode de penser sur les têtes de bassin versant, il est nécessaire de chiffrer certains phénomènes. En utilisant par exemple nos données, il est possible d'estimer la perte de la capacité d'autoépuration à l'échelle du territoire de la DIR2 et de chiffrer le coût impliqué pour obtenir la même capacité d'épuration avec des systèmes artificiels.

Il est aussi pertinent de commencer à chiffrer les coûts de travaux en tête de bassin versant pour les mettre en relation avec le coût des travaux en aval. A ce sujet, l'étude de **Chassignol & Valli (2010)** sur les têtes de bassin de la Grosne propose des fiches qui estiment les coûts de certains travaux.

3.3 PERSPECTIVES

3.3.1 VERS DES PROGRAMMES D'ACTION ISSUS DES DONNEES RECOLTEES

Les données récupérées lors de cette étude et celles qui pourraient être récoltées par la suite en cas de généralisation de l'étude sur de grands territoires peuvent permettre de déterminer des

3. Vers une modification des politiques de l'eau ?

zones où porter une attention particulière selon les thématiques. Ces exploitations pourraient permettre de :

- ❖ En termes de restauration de localiser les zones les plus morphologiquement endommagées et donc les plus susceptibles de faire l'objet d'une étude poussée pour étudier leur possible restauration (en couplant les données sinuosité, rectitude et déplacement). (Cf Annexe M, exemple du ruisseau de Kerustang)
- ❖ Concernant les enterrements, l'utilisation des réseaux théoriques, des études déjà réalisées sur les zones « sensibles » à l'enterrement et les zones d'enterrement suspecté par l'étude pourrait permettre d'approfondir cette problématique. (En couplant réseau théorique, zones d'intérêts dégagées par **V. Hydro** et les études déjà existantes sur le sujet). (cf Annexe L)
- ❖ Ces données pourraient permettre également de détecter des zones particulières où étudier les populations piscicoles et déterminer l'impact des plans d'eau sur les espèces invasives. (cf Annexe R) (En couplant les données sur l'indice de pondération et les études sur les espèces invasives)
- ❖ Enfin, elles pourraient permettre de différencier des zones altérées récemment, de zones anciennement altérées et permettre d'étudier l'impact de la temporalité des modifications morphologiques ou a contrario de désigner des zones correspondant à des critères de naturalité élevés et pouvant servir de référence sur les têtes de bassin versant.

3.3.2 VERS UN INDICE SYNTHETIQUE D'ALTERATION

Lors de l'élaboration de cette étude, il a été envisagé la création d'un indice synthétique de modifications hydromorphologiques. Si cette idée n'a pas été conservée et que les indices synthétiques peuvent être sujets à caution, dans d'autres domaines, de nombreux indices composites comme l'Indice de Développement Humain (IDH) sont couramment utilisés. Il est possible de créer un indice synthétique basé sur l'évolution de la sinuosité, de la dimension fractale, du CHT (déplacement morphologique) et de l'évolution des indices plans d'eau pour élaborer un indice général de modification sur les réseaux.

3.3.3 AMELIORER LA CARTOGRAPHIE DES COURS D'EAU

Les cartes IGN au 1 : 25000 réalisées par l'IGN servent encore régulièrement de référence pour définir la notion de cours d'eau, cette étude montre largement les lacunes en matière de

Conclusion

réseau hydrographique que ces dernières comportent. Il est nécessaire pour la préservation des milieux de mettre fin à ces oublis. Un diagnostic général des têtes de bassin pour reconstituer l'ensemble du réseau hydrographique pourrait être communiqué à l'IGN. Cette association profiterait aux deux organismes, à l'IGN pour rendre ses cartes encore plus précises et à l'ONEMA pour améliorer la prise en compte des têtes de bassin versant en matière de législation.

3.3.4 DES OUTILS POUR DES UTILISATIONS DIVERSIFIEES

Les outils créés au cours de cette étude peuvent également avoir d'autres applications au bénéfice de la protection des milieux aquatiques. Ainsi, V.POG pourrait servir à comparer le réseau hydrographique de 1993 (*cf* décret nomenclature, partie 1.5.2) et celui de maintenant afin de repérer les travaux effectués entre temps et soumis à déclaration ou autorisation. Cela permettrait de repérer les travaux potentiellement illégaux qui peuvent faire l'objet d'une restauration (*cf* [Goron, 2012](#)).

Cette étude permet de mettre également en évidence la possible utilisation d'anciens référentiels sur de toutes petites échelles afin de connaître l'ancienne morphologie du cours d'eau, en annexe M, il y a un exemple sur le ruisseau de Kerustang (56). Il est alors possible d'analyser les altérations et d'évaluer les ambitions de restauration à avoir.

Autre possibilité, la création de références en analysant précisément la densité de drainage de zones hydrologiquement proches afin de déterminer les attentes en termes de densité de drainage des autres zones. Il serait possible à terme d'établir un modèle croisant l'IBK et cette attente en terme de densité de drainage afin de déterminer les zones les moins bien renseignées et les plus susceptibles de nécessiter une attention particulière.

Une application sur téléphone pourrait être créée pour permettre aux agents de repérer les cours d'eau oubliés qu'ils croisent lorsqu'ils sont sur le terrain. Les résultats de cette dernière pourraient être intéressants et étendus à un ensemble plus vaste de collecteurs ou d'objets.

CONCLUSION

Le manque criant de prise en compte des têtes de bassin versant apparaît à l'aune de nos travaux comme une déficience importante du système d'évaluation de l'état des eaux continentales. Plus grave encore, notre connaissance lacunaire des têtes de bassin versant peut

Biblio

conduire si ce n'est à la disparition d'une grande partie du réseau hydrographique au moins à une forte altération de son fonctionnement.

Alors que les objectifs de « bon état » de la DCE traduisent une volonté de préserver nos ressources en eau, il apparaît nécessaire et évident de prendre des mesures pour améliorer en premier lieu la connaissance de ces milieux et dans le même temps de les intégrer pleinement aux politiques de l'eau.

La méconnaissance des écosystèmes si elle complique toute forme d'action en tête de bassin ne peut justifier, le manque de considération qui leur est porté. Progressivement mais de manière encore insuffisante, des études comme celle réalisée commencent à permettre d'entrevoir les bénéfices générés par une préservation accrue et une restauration réfléchie des têtes de bassin.

Cette étude n'est pas une finalité, si elle dresse un panorama et un bilan des modifications du réseau hydrographique, en particulier sur les zones en têtes de bassin, elle a pour vocation de sensibiliser les lecteurs à cette thématique méconnue et pourtant prometteuse.

Rappelons qu'en considérant cette étude comme représentative de la situation au niveau la Bretagne – Pays de la Loire près de 60800 km de cours d'eau reste encore non identifiés, ce qui représenterait environ 44,44% du réseau hydrographique total et 80% du réseau reconnu actuellement.

L'un des objectifs de ceux qui se disent ou se sentent concernés par la protection des eaux et l'ensemble des services qui y sont inféodés ne devrait-il par être en priorité de dévoiler « aqua incognita » ? Il est maintenant vital d'établir un inventaire des têtes de bassin versant et de les prendre en considération dans les politiques de l'eau, sans quoi les politiques de l'eau seront vouées à être vidées de leur substance.

BIBLIO

ADAMS R.K., SPOTILA J.A. -2005- The form and function of headwater streams based on field and modeling investigations in the Southern Appalachian Mountains. *Earth surface processes and landforms*, 30 : 1521-1546.

ADDY, K.L., GOLD, A.J., GROFFMAN, P.M., JACINTHE, P.A. -1999- Ground water nitrate removal in subsoil of forested and mowed riparian buffer zones. *Journal of Environmental Quality*, 28 : 962-970.

AGENCE DE L'EAU ADOUR- GARONNE -2011- « *Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux 2010-2015* », 370 p.

Biblio

ALEXANDER R.B., BOYER E.W., SMITH R.A., SCHWARZ G.E. & MOORE R.B. - 2007- The role of headwater streams in downstream water quality. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 43 : 41-59.

ALEXANDER R.B., SMITH R.A. AND SCHWARTZ G.E. -2000- Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico. *Nature*, 403 : 758-761.

AMOROS C., PETTS G.E. -1993- « *Hydrosystèmes fluviaux* », Masson, 300 p.

AQUALIS -1996- « *Impacts constatés des barrages réservoirs sur l'environnement, rapport n°1, état initial (phase 1)* ». », Institution Interdépartementale des Barrages-réservoirs du Bassin de la Seine, Agence de l'Eau Seine Normandie, 142 p.

ARNOLD C., BOISON P., PATTON P. -1982- Sawmill Brook : an example of rapid geomorphic change related to urbanization. *Journal of Geology*, 90 : 155-166.

BAGLINIERE J.L., MAISSE G. -1991- « *La truite, biologie et écologie* », INRA, 303 p.

BARLING R.D., MOORE I.D. -1994- Role of buffer strips in management of waterway pollution : a review. *Environmental Management*, 18 : 543-558.

BEN REBAH M., PLUMEJEAUD C., YSEBAERT R., PEETERS D. -2011- « *Modeling territorial changes and time series database building process : empirical approach and applications* », UMS RIATE, University Paris Diderot. 31 p.

BINCKLEY C.A., MEDHURST R.B., WIPFLI M.S., POLIVKA K., HESSBURG P., SALTER B. -2010- Headwater streams and forest management: Logging effects on headwater benthos and community resilience in dry and wet ecoregions within the Cascade Range, Washington, USA. *Hydrobiologia*, 641 : 71-83.

BENDA L., HASSAN M.-A., CHURCH M., MAY C.L. -2005- Geomorphology of steepheadwaters: the transition from hillslopes to channels. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 41 : 835-851.

BERKOWITZ J., CASPER A. F., NOBLE C. -2011- A multiple watershed field test of hydrogeomorphic functional assessment of headwater streams – Variability in field measurements between independent teams. *Ecological Indicators*, 11 : 1472-1475.

BERNARD P. -1994- « *Les zones humides. Rapport d'évaluation* », Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, commissariat au plan. 391 p.

BERNHARDT E.S., LIKENS G.E., BUSO D.C., DRISCOLL C.T. -2003- In-stream uptake dampens effects of major forest disturbance on watershed nitrogen export. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100 : 10304-10308.

BEVEN K., KIRKBY M.J. -1979- A physically based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24 : 43-69.

BIOTOPE-GREET Nord – Pas-de-Calais -2008- « *Analyse des potentialités Ecologiques du territoire régional* », DIREN 59-62, 66 p.

BISHOP K., BUFFAM I., ERLANDSSON M., FÖLSTER J., LAUDON H., SEIBERT J., TEMNERUD J. - 2008- Aqua incognita the unknown headwaters. *Hydrological processes*, 22 : 1239-1242.

BÖHLKE J.K., J.W. HARVEY, M.A. VOYTEK -2004- Reachscale Isotope Tracer Experiment to Quantify Denitrification and Related Processes in a Nitrate-Rich Stream, Mid-continent USA. *Limnology and Oceanography*, 49 : 821-838.

BOOTH D.B. -1991- Urbanization and the natural drainage system : impacts, solutions and prognoses. *The Northwest Environmental Journal*, 7 : 93-118.

Biblio

- BOOTH D.B., JACKSON C.R. -1997- Urbanization of aquatic systems : degradation thresholds, stormwater detection, and the limits of mitigation. *Journal of the American Water Resources Association*, 33 : 1077-1090.
- BOYER E.W., ALEXANDER R.B., PARTON W.J., LI C.S., BUTTERBACH- BAH L. K., DONNER S.D., SKAGGS R.W., DEL GROSSO S.J. -2006- Modeling Denitrification in Terrestrial and Aquatic Ecosystems at Regional Scales. *Ecological Applications*, 16: 2123-2142.
- BRAVARD J.P., LANDON N., PEIRY J.L., PIEGAY H. -1999- Principles of engineering geomorphology for managing channel erosion and bedload transport, examples from French rivers. *Geomorphology*, 31 : 291-311.
- BRAVARD J.P., PETIT F. -2000- « *Les cours d'eau : dynamique du système fluvial* », Armand Colin, 222 p.
- BRAY D.I., CHURCH M. -1980- Armored versus paved gravel beds. *ASCE Journal of the Hydraulics Division*, 106 : 1937-1940.
- BREIL P., LAFONT M., NAMOUR P., PERRIN J.-F., VIVIER A., BARIAC T., SEBOLO M., SCHMITT L., CHOCAT B., AUCOUR A.-M., ZUDDAS P. -2005- Dynamique du carbone et de l'azote en rivière dans un gradient rural-urbain (projet PNRH-65). In « *Ecosphère continentale, risques environnementaux (ECCO)* », ACTE DU COLLOQUE DE RESTITUTION SCIENTIFIQUE ECCO, CNRD, France : 387-392.
- BROOKES A. -1988- « *Rivers channelization, Perspectives for environmental management* », Wiley interscience, 326 p.
- BROOKS K. N. , FFOLLIOTT P. F., GREGERSEN H. M., DEBANO L. F. -2003- « *Hydrology and the management of watersheds* », Iowa State Press, 574 p.
- BUREL F., BAUDRY J. -1999- « *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications.* » Éditions Lavoisier Tec & Doc, Paris, 359 p.
- CAMPANA N.A., TUCCI C.E.M. -2001- Predicting floods from urban development scenarios : case study of the Diluvio basin, Porto Alegre, Brazil. *Urban Water*, 3 : 113-124.
- CASTEL L., CATALON E., FIEVET E. -2009- « *Recensement et analyse critique d'indicateurs dans le domaine de l'eau* », ONEMA-ASCONIT, 165 p.
- CIZEL O. -2010- « *Protection et gestion des espaces humides et aquatiques, Guide juridique d'accompagnement des bassins Rhône-Méditerranéens et de Corse* » Groupe d'histoire des zones humides, 557 p.
- CHARBONNEAU R., RESH V.H. -1992- Strawberry Creek on the University of California, Berkeley Campus: A case history of urban stream restoration. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2 : 293-307.
- CHASSIGNOL R., VALLI J. -2010- « *Etude piscicole et astacicole du Bassin de la Grosne : Etude préalable au Contrat de Rivière Grosne – Les têtes de bassin de la Grosne* », Fédération Départementale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique de Saône et Loire, 190 p.
- CHE X. -2005- *Extraction et reconstruction du réseau hydrographique à partir du modèle numérique de terrain*. Informatique, Marseille, Université de la Méditerranée Aix-Marseille II, 129 p.
- CHETKIEWICZ C.-L.B., ST. CLAIR C.C., BOYCE M.S. -2006- Corridors for Conservation : Integrating Pattern and Process. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37 : 17-42.
- CHOCAT B., FUJITA S., MARSALEK J., RAUCH W. -2004- « *Urban Drainage : A multilingual glossary* », IWA Pub, 528 p.
- CHOUCARD P. -2011- « *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.* », Université de Rennes 1, 30 p.
- CLERGEAU P., DESIRE G. -1999- Biodiversité, Paysage et aménagement : du corridor à la zone de connexion biologique. *Mappemonde*, 55 : 19-23.

Biblio

- COLLIN J.J. -2004- « *Les eaux souterraines, connaissance et gestion* », Hermann, 176 p.
- CORBOZ A. -2001- « *Le Territoire comme palimpseste et autres essais* », Les éditions de l'Imprimeur, 288 p.
- CORPEN -2008- « Les zones tampon, un moyen de préserver les milieux aquatiques », 20p.
- COTE E. -1994- « *Impact des étangs sur le Falkenstein et ses affluents* », Fédération Départementale de pêche de la Moselle et DDAF 57, 53 p.
- CUFFNEY T.F., WALLACE J.B. & LUGTHART G.J. -1990- Experimental evidence quantifying the role of benthic invertebrates in organic matter dynamics of headwater streams. *Freshwater Biology*, 23 : 281-299.
- DATRY T., SNELDER T., SAUQUET E., PELLA H., CATALOGNE C., LAMOUREUX N. -2012- « *Typologie des cours d'eau temporaires et cartographie nationale* », ONEMA, 41p.
- DE MARSILY G. -1986- « *Quantitative hydrogeology. Groundwater hydrology for engineers* », Academic Press Inc, 440 p.
- DEGOUTTE G. -2006- « *Hydraulique et morphologie fluviales appliquées au diagnostic, à l'aménagement et à la gestion des rivières* », Editions Lavoisier Tec et Doc, 384 p.
- DESCAMPEAUX C. -2011- « *Diagnose d'une tête de bassin de plateau d'altitude à dominante pastorale : un affluent du Piou sur l'Aubrac (48), Gestion et potentialités de restauration.* », Université de Franche-Comté, 58 p.
- DIETERICH M., N.H. ANDERSON -2000- The Invertebrate Fauna of Summer-Dry Streams in Western Oregon. *Archiv fur Hydrobiologie*, 147 : 273-295.
- DIRECTIVE N°2000/60/CE DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL DU -23 octobre 2000- « *établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau* », Journal Officiel de l'Union Européenne L327 du 22 décembre 2000, 73 p.
- DUCHARNE A. -2011- *Hydrologie Continentale et Environnement, Apports de la modélisation pour comprendre le milieu physique et les impacts de l'anthropisation.* Sciences de la Terre et de l'Univers, Paris, Université Pierre et Marie Curie Paris VI, 153 p.
- ESCURAT J.-M.- 1995-« *Chronologie forestière* », Etablissement Public Local d'Enseignement Agricole de Mirecourt, 9 p.
- FAGAN W.F. -2002- Connectivity, fragmentation, and extinction risk in dendritic metapopulations. *Ecology*, 83 : 3243-3249.
- FEBREY R., MORHAIN J., MOUILLE J., PALISSON A. -1979- « *Bassin de la Saonelle. Influence des étangs sur le régime thermique du cours d'eau.* », SRAE Lorraine, 28 p.
- FEELEY H.B., WOODS M., BAARS J.R., KELLY-QUINN M., 2012, Refining a kick sampling strategy for the bioassessment of benthic macroinvertebrates in headwater streams. *Hydrobiologia*, 683 : 53-68.
- FINLAYSON C.M., D'CRUZ R. & DAVIDSON, N.C. -2005- « *Ecosystems and human well-being: wetlands and water. Synthesis. Millennium Ecosystem Assessment.* », World Resources Institute, 80 p.
- FOUQUE C., XIMENES M.-C., BARNAUD G. -2006- Les zones humides françaises, évolutions récentes. Première partie : les milieux. *Faune Sauvage*, 271 : 4-12.
- FREEMAN M.C., C.M. PRINGLE, C.R. JACKSON -2007- Hydrologic Connectivity and the Contribution of Stream Headwaters to Ecological Integrity at Regional Scales. *Journal of the American Water Resources Association*, 43 : 5-14.

Biblio

- FUSTEC E., GARNIER I, SCHANEN O., GAILLARD S., DZANA J. G. -1998- Les zones riveraines : des milieux divers aux multiples fonctions. In « *La Seine en son bassin, Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé* », MEYBECL M., DE MARSILY G., FUSTEC E., Elsevier, Paris : 211-262.
- GALAY V.J. -1983- Causes of river bed degradation. *Water Resources Research*, 19 : 1057-1090.
- GAYRAUD S., HEROUIN E., PHILIPPE M. -2002- Le colmatage minéral du lit des cours d'eau : revue bibliographique des mécanismes et des conséquences sur les habitats et les peuplements de macroinvertébrés. *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture*, 336 : 339-355.
- GOMI T., SIDLE R.-C. & RICHARDSON J.-S. -2002- Understanding processes and downstream linkages in headwater systems. *BioScience*, 52 : 905-916.
- GORON E. -2012- « *Quel avenir pour les cours d'eau de têtes de bassins ?* », université de Rennes 1, soumis.
- GRANT E.H.C., GREEN L.E., LOWE W.H. -2009- Salamander occupancy in headwater stream networks. *Freshwater Biology*, 54 : 1365-2427.
- GROSPRETRE L., SCHMITT L. -2008- « *Etude hydro-géomorphologique de l'Yzeron et définition d'indicateurs de suivi. Partie 1 : Diagnostic hydro-géomorphologique des affluents et sous-affluents de l'Yzeron et des branches principales du réseau hydrographique et mesures de réhabilitation.* », SAGYRC, Grand Lyon, 130 p.
- HAMMER T.R. -1972 - Stream channel enlargement due to urbanization. *Water Resources Research*, 8 : 1530-1540.
- HARVEY J.W., CONKLIN M.H., KOELSCH R.S. -2003- Predicting changes in hydrologic retention in an evolving semi-arid alluvial stream. *Advances in Water Resources*, 26 : 939- 950.
- HARVEY J.W., WAGNER B.J. -2000- Quantifying Hydrologic Interactions Between Streams and Their Subsurface Hyporheic Zones. In « *Streams and Groundwaters* », JONES J.A., MULHOLLAND P.J., Academic Press, USA : 3-44.
- HOCINE F., BELHADJ AISSA M., HADDOUD F., OUARZEDDINE M., BELHADJ AISSA A. -2007- Simulation du comportement des écoulements d'eau en utilisant le réseau hydrologique d'un bassin versant : cas de l'ouest Benimessous. *Téledétection*, 8 : 179-191.
- HOLLIS G.E. -1975- The effects of urbanization on floods of different recurrence intervals. *Water Resources Research*, 11 : 431-435.
- HOWARTH R.W., BILLEN G., SWANEY D., TOWNSEND A., JAWORSKI N., LAJTHA K., DOWNING J.A., ELMGREN R., CARACO N., JORDAN T., BERENDSE F., FRENEY J., KUDEYAROV V., MURDOCH P., ZHAO-LIANG Z. -1996- Regional Nitrogen Budgets and Riverine N & P Fluxes for the Drainages to the North Atlantic Ocean : Natural and Human Influences. *Biogeochemistry*, 35 : 75-139.
- JAEGGI M.N.R. & ZARN B. -1999- Stream channel restoration and erosion control for incised channels in alpine environments. In « *Incised river channels* », DARBY S.E. et SIMON A., Edition J.Wiley & Sons, Royaume-Uni : 343-370. 3
- JANISCH J.E., FOSTER A.D., EHINGER W.J. -2011- Characteristics of small headwater wetlands in second-growth forests of Washington, USA. *Forest Ecology and Management*, 261 : 1265-1274.
- JI L., ZHANG L., WYLIE B. -2009- Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water Index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75 : 1307-1317.
- JOLY M. -1982- « *Etude de l'impact des plans d'eau sur une rivière de 1ère catégorie du Morvan.* », DDA Côte d'or, 80 p.
- JONES C.J., LAWTON J.H., SCHACHAK M. -1994- Organisms as ecosystem engineers. *OIKOS*, 69 : 373-386.

Biblio

- KLAMINDER J., BINDLER R., LAUDON H., BISHOP K., EMTERYD O. & RENBERG I. -2006- Flux rates of atmospheric lead pollution within soils from a small catchment in northern Sweden and their implication for future stream water quality. *Environmental Science and Technology*, 40 : 4639-4645.
- KREUGER J. -1998- Pesticides in stream water within an agricultural catchment in southern Sweden, 1990-1996. *The Science of the Total Environment*, 216 : 227-251.
- LAFLEUR P. E., GRANDIENNOT C., GREGOIRE S. -1999- « *Etude préalable à la définition des conditions relatives à l'implantation de nouveaux plans d'eau dans le secteur Seine-amont.* », O.G.E., Agence de l'eau Seine Normandie, 59 p.
- LAFONT M., VIVIER A., BREIL P., PERRIN J.-F., BERNOUD S., SCHMITT L. -2010- Proposals of biomonitoring methodologies for urban watercourses. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 10 : 3-11.
- LAKE P.S. -2003- Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology*, 48: 1161-1172.
- LANDWEHR K. & RHOADS B.L. -2003- Depositional response of a headwater stream to channelization, East Central Illinois, USA. *River Research and Applications*, 19 : 77-100.
- LARNED S.T., DATRY T., ARSCOTT D.B., & TOCKNER K. -2010- Emerging concepts in temporary river ecology. *Freshwater Biology*, 55 : 717-738.
- LASSALETTA L., GARCIA-GOMEZ H., GIMENO B. S., ROVIRA J. V. -2010- Headwater streams: neglected ecosystems in the EU Water Framework Directive. Implications for nitrogen pollution control. *Environmental Science et Policy*, 13 : 423-433.
- LE BIHAN M. -2009- « *L'enterrement des cours d'eau en tête de bassin en Moselle (57).* », Université Paul Verlaine de Metz, 46 p.
- LE BIHAN M. -2010- « *Méthode de pré-identification cartographique des cours d'eau enterrés en tête de bassin* », Délégation interrégionale du Nord-Est de l'ONEMA, 5 p.
- LE BIHAN M. -2011- « *Pré-identification cartographique des cours enterrés d'eau en tête de bassin dans le département d'Ille-et-Vilaine (35)* », ONEMA, 8 p.
- LE BIHAN M. -2012- « *Analyse technique des photographies aériennes, un appui à la définition des cours d'eau* », ONEMA, 3 p.
- LE BIHAN M. & BURGUN -2010- « *BD TOPO, Note de synthèse sur la qualité des données hydrographiques de la BD Topo V2, Test effectué sur le département de la Moselle (57)* », Délégation interrégionale du Nord-Est de l'ONEMA, 14 p.
- LE BIHAN M. & THERIN E. -2008- « *Méthodologie d'inventaire des cours d'eau. Syndicat mixte de la Côte du Goëlo* », Université Paul Verlaine de Metz, 46 p.
- LE BROCH M. -1998- « *Etude de l'impact des étangs sur les peuplements piscicoles – Application au RHP Loire Bretagne.* », Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier – département Sciences et Technologies de l'Eau, 42 p.
- LE CERF A. -2005- *Perturbations anthropiques et fonctionnement écologique des cours d'eau de tête de bassin : Etude du processus de décomposition des litières.* Ecologie fonctionnelle, Toulouse, Université Paul Sabatier Toulouse III, 176 p.
- LEDUC & ROY -1990- L'impact du drainage agricole souterrain sur la morphologie des petits cours d'eau dans la région de Cookshire, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 : 235-239.
- LEFEUVRE J.C. -1986- La connaissance des écosystèmes aquatiques est un préalable à tout type d'exploitation et d'aménagement. In « *Journée sur l'eau continentale et les carrières* », UNION NATIONALE DE PRODUCTEURS DE GRANULATS, collection technique n°5, France : 15-42.
- LEGUAY J.P. -2002- « *L'eau dans la villa au Moyen-Âge* ». Université du Michigan, 493 p.

Biblio

LEOPOLD L.B. -1968- « *Hydrology for urban land planning – a guidebook on the hydrologic effects of urban land use.* », U.S. Geological Survey Circular 554, 18 p.

LEOPOLD L.B. -1994- « *A View of the River* », Harvard University Press, 298 p.

LEOPOLD L.B., WOLMAN G.M., MILLER J.P. -1964- « *Fluvial Processes in Geomorphology* », W.H. Freeman and Company, San Francisco, 522 p.

LIFE « RUISSEAUX » -2007 – « *Rencontres nationales techniques : Gestion des ruisseaux de têtes de bassin et zones humides associées, recueil des interventions et compte rendu des débats.* », LIFE, Dijon, 179 p.

LIFE « RUISSEAUX » -2009- « *De l'expérimentation à la gestion des ruisseaux de têtes de bassins* » LIFE, Dijon, 77 p.

LIFE -2009- « *Rapport POSTLIFE : Ruisseaux de têtes de bassins et faune patrimoniale associée* », LIFE, 38p.

LOCHER F. & QUENET G. -2009- L'histoire environnementale : origines, enjeux et perspectives d'un nouveau chantier. *Revue d'Histoire Moderne & Contemporaine*, 56 : 7-38.

LOWE W.H. -2002- Landscape-scale spatial population dynamics in human-impacted stream systems. *Environmental Management*, 30 : 225-233.

LOWE WINSOR H., LIKENS GENE E. -2005- Moving Headwater Streams to the Head of the Class. *BioScience*, 55 : 196-197.

LOWRANCE R., ALTIER L.S., NEWBOLD J.D., SCHNABEL R.R., GROFFMAN P.M., DENVER J.M., CORRELL D.L., GILLIAM J.W., ROBINSON J.L., BRINSFIELD R.B., STRAVER K.W., LUCAS W., TODD A.H. -1997- Waterquality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. *Environmental Management*, 21 : 687-712.

Mc CARTNEY -1998- Use of deuterium to understand runoff generation in headwaters catchment containing a dambo, *Hydrology and Earth System Sciences*, 2 : 65-76.

MAC FEETERS S.K. -1996- The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17 : 1425-1432.

MALAVOI J.R. & BRAVARD J.P. -2010- « *Eléments d'hydromorphologie fluviale* », ONEMA, 224 p.

MALAVOI J.R., ADAM P. -2007- Les interventions humaines et leurs impacts hydromorphologiques sur les cours d'eau. *Ingénieries*, 50 : 35-48.

MANDELBROT B.B. -1982- « *The Fractal geometry of nature* », Henry Holt and Company, 480 p.

MAROCHINI E. -1999- *Les remembrements en Moselle entre économie, environnement et société*. Géographie, Metz, Université Paul Verlaine de Metz, 600 p.

MATHIEU A. -2010- « *Quels pré-requis pour la restauration des cours d'eau enterrés en tête de bassin ?* », Université Rennes I, 41 p.

MATTINGLY R.L., HERRICKS E.E., JOHNSTON D.M. -1993- Channelization and levee construction in Illinois: review and implications for management. *Environmental Management*, 17 : 781-795.

MAY C.W., E.B. WELCH, R.R. HORNER, J.R. KARR, B.W. MAR -1997- « *Quality Indices for Urbanization Effects on Puget Sound Lowland Streams.* », Environmental Engineering and Science, Department of Civil Engineering, University of Washington, Washington, 229 p.

MEEHAN W.R., SWANSON F.J., SEDELL J.R. -1977- Influences of riparian vegetation on aquatic ecosystems with particular reference to salmonid fishes and their food supply. In « *General Technical Report RM-43* », USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, USA : 137-145.

Biblio

- MEYER J.L., POOLE G.C., JONES K.L. -2005- Buried alive: potential consequences of burying headwater streams in drainage pipes. In « *Proceedings of the 2005 Georgia Water resources Conference* », HATCHER K.J., University of Georgia, USA.
- MEYER J.L. & WALLACE J.B. -2001- Lost Linkages and Lotic Ecology: Rediscovering Small Streams. In « *Ecology: Achievement and Challenge* », PRESS M., HUNTLY N., LEVIN S., Cambridge University Press, Royaume-Uni : 295-317.
- 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., ZEDLER P.H. -2003- « *Where rivers are born: The Scientific Imperative for Defending Small Streams and Wetlands* », American Rivers and Sierra Club, 23 p.
- MEYER J.L., STRAYER D.L., WALLACE J.B., EGGERT S.L., HELFMAN G.S, LEONARD N.E. -2007- The contribution of headwaters streams to biodiversity in river networks. *Journal of the American water resources association (JAWRA)*, 43 : 86-103.
- MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE -2008- « *Le Génie végétal, un manuel technique au service de l'aménagement et de la restauration des milieux aquatiques* », La documentation française, 290p.
- MONTGOMERY D.R., B.D. COLLINS, J.M. BUFFINGTON, T.B. ABBE -2003- Geomorphic Effects of Wood in Rivers. *American Fisheries Society Symposium*, 37 : 21-47.
- MONTREUIL O. -2008- *Relation entre l'ordre des bassins versants, l'organisation spatiale et le fonctionnement hydrologique et hydrochimique des zones humides riveraines*. Science de l'environnement, Rennes, Institut national d'enseignement supérieur et de recherche agronomique et agro-alimentaire, 242p.
- MONTREUIL O., CUDENNEC C., MEROT P. -2011- « *Contrasting behaviour of two riparian wetlands in relation to their location in the hydrographic network* », INRA, 21 p.
- MOORE , I.D., R.B. GRAYSON, A.R. LADSON -1991- Digital terrain modeling : A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5 : 3-30.
- MOORE, R.D., RICHARDSON J.S. -2003- Progress towards understanding the structure, function, and ecological significance of small stream channels and their riparian zones. *Can. J. Forest Research*, 33: 1349-1351.
- MOUILLE J. -1982- « *Influence des plans d'eau sur les eaux courantes superficielles* ». SRAE Lorraine, Ministère de l'Agriculture, Région Lorraine, Service de l'Aménagement des eaux, Centralisateur du bassin Rhin Meuse, 38 p.
- MULHOLLAND P.J., H.M. VALETT, J.R. WEBSTER, S.A. THOMAS, L.W. COOPER, S.K. HAMILTON, B.J. PETERSON -2004- Stream Denitrification and Total Nitrate Uptake Rates Measured Using a Field 15N Tracer Addition Approach. *Limnology and Oceanography*, 49 : 809-820.
- NADEAU T.L., RAINS M.C. -2007- Hydrological connectivity between headwater streams and downstream waters: how science can inform policy. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 43 : 118-133.
- NAKAMURA F., SUDO T., KAMEYAMA S., JITSU M. -1997- Influences of channelization on discharge of suspended sediment and wetland vegetation in Kushiro Marsh, northern Japan. *Geomorphology*, 18 : 279-289.
- NAMOUR P., BREIL P., PERRIN J.F, GNOUMA R., LAFONT M., VIVIER A., SCHMITT L., GROSPRETRE L. -2007- Rejets par temps de pluie en rivière péri-urbaine : diagnostic et gestion. *L'Eau, l'Industrie et les Nuisances*, 304 : 78-86.
- NAVRATIL O. -2005- *Débit de pleins bords et géométrie hydraulique : une description synthétique de la morphologie des cours d'eau pour relier le bassin versant et les habitats aquatiques*. Mécanique des Milieux Géophysiques et Environnement, Grenoble, Institut National Polytechnique de Grenoble, 328 p.

Biblio

- OFEG -2001- « Protection contre les crues des cours d'eau », Office Fédéral des Eaux et de la Géologie, 73p.
- ONEMA -2010- « *La restauration des cours d'eau : recueil d'expériences sur l'hydromorphologie.* », ONEMA, Agences de l'eau, MEEDDM, 184 p.
- PARK C.C. -1977- Man-induced changes in stream channel capacity. In « *River channel changes* », GREGORY K.J., Edition J.Wiley & Sons, USA : 121-144.
- PEIRY J-L. -1987- Channel degradation in the Middle Arve river, France. *Regulated Rivers : Research and Management*, 1 : 183-188.
- PENYEN M.J., MUXART T. -1995- Le drainage agricole : un rôle fondamental dans les transferts d'eau et de matière, l'exemple du plateau briard. *Annale de Géographie*, 104 : 88-104.
- PETERMAN W.E., CRAWFORD J.A, SEMLITSCH R.D. -2008- Productivity and significance of headwater streams: population structure and biomass of the black-bellied salamander (*Desmognathus quadramaculatus*). *Freshwater Biology*, 53 : 347-357.
- PETERSON B.J., WOLLHEIM W.M., MULHOLLAND P.J., WEBSTER J.R., MEYER J.L., TANK J.L., MARTI E., BOWDEN W.B., VALETT H.M., HERSHEY A.E., McDOWELL W.H., DODDS W.K., HAMILTON S.K., GREGORY S., MORRALL D.D. -2001- Control of nitrogen export from watersheds by headwater streams. *Science*, 229 : 1383-1386.
- PETRANKA J.W, -1998- « *Salamanders of the United States and Canada* », Smithsonian Institution Press, District of Columbia, 592 p.
- PETTS G.E. -1984- « *Impounded rivers : perspectives for ecological management* », Ed. J.Wiley & Sons, New York, 328 p.
- PIÉGAY H., MARIDET L. -1994- Formations végétales arborées riveraines des cours d'eau et potentialités piscicoles. *Bulletin Français de Pêche et Pisciculture*, 333 : 125-147.
- PINKHAM R. -2000- « *Daylighting: New life for buried streams* », Rocky Mountain Institute, 73 p.
- PLUMEJEAUD C., MATHIAN, H., GENSEL, J., GRASLAND, C. -2011- Spatio-temporal analysis of territorial changes from a multi-scale perspective. *International Journal of Geographical Information Systems*, 25 : 1597-1612.
- RENARD J. -2002- « *Les mutations des campagnes - Paysages et structures agraires dans le monde* », Armand Colin, 221 pages.
- ROLLET A.J. -2007- *Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage*. Géographie et Aménagement, Lyon, Université Jean Moulin Lyon III, 305 p.
- SAGE LOIR -2010- « *Etude de prélocalisation des zones humides du bassin versant du Loir pour la définition d'orientations de gestion et de préservation de ces milieux dans le cadre du SAGE, phase 1 : prélocalisation zones humides par photointerprétation* », Earth Observation Consulting Services, Etablissement public Loire, 122 p.
- SANFORD S.E., CREEDI. F., TAGUE C.L., BEALL F.D., BUTTLE J.M. -2007- Scale dependence of natural variability of flow regimes in a forested landscape. *Water Resources Research*, 43.
- SAUNDERS J.D., MEEUWIG J.J., VINCENT A.C.J. -2002- Freshwater protected areas! Strategies for conservation. *Conservation biology*, 16 : 30-41.
- SCHMITT L., GROSPRETRE L., BREIL P., LAFONT M., VIVIER A., PERRIN J.F., NAMOUR P., JEZEQUEL C., VALETTE L., VALIN K., CORDIER R., COTTET M. -2008- Préconisations de gestion physique de petits hydrosystèmes périurbains : l'exemple du bassin de l'Yzeron (France). In « *Actes du Colloque "La gestion physique des cours d'eau : bilan d'une décennie d'ingénierie écologique"* », VERNIERS G., PETIT F., Groupe Interuniversitaire de Recherches en Ecologie Appliquée, Laboratoire d'Hydrographie et de

Biblio

Géomorphologie Fluviale, Direction des Cours d'Eau Non Navigables, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement - Ministère de Région wallonne, Belgique : 177-186.

SCHUMM S.A. -1956- Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67 : 597-646.

SEDELL J.R., BISSON P.A., SWANSON F.J., GREGORY S.V. -1988- What we know about large trees that fall into streams and rivers. In « *From the forest to the sea : a story of fallen trees* », MASER C., TARRANT R.F., TRAPPE J.M., FRANKLIN J.F., USDA Forest Service, USA : 47-81.

SHREVE R.W. -1969- Stream lengths and basin areas in topologically random channel networks. *Journal of Geology*, 77 : 397-414.

SIMMONS G.M. JR., WAYE D.F., HERBEIN S. MEYERS S., WALKER E. -2002- Estimating nonpoint source fecal coliform sources using DNA profile analysis. In « *Advances in Water Monitoring Research* », YOUNOW T., Water Resources Publications, USA : 143-167.

SMILEY P.C. Jr., DIBBLE E.D., SCHOENHOLTZ S.H. -2005- Fishes of first order streams in north-central Mississippi. *Southeastern Naturalist*, 4 : 219-236.

SMILEY P.C., GILLESPIE R.B., KING K.W., HUANG C.H. -2009- Management implications of the relationships between water chemistry and fishes within channelized headwater streams in the midwestern United States. *Ecohydrology*, 3 : 294-302 .

SOGON S., PENVEN M.-J., BONTE P. & MUXART T. -1999- Estimation of sediment yield and soil loss using suspended sediment load and ¹³⁷Cs measurements on agricultural land, Brie Plateau, France. *Hydrobiologia*, 410 : 251-261.

SOUCHON Y., PHILIPPE M., MARIDET L., COHEN P., WASSON J. G. -1996- « *Rôle et impact des étiages dans les cours d'eau. Les sécheresses menacent-elles les communautés végétales et animales des cours d'eau ?* », CEMAGREF Lyon, Département Gestion des Milieux Aquatiques, Division des Ecosystèmes aquatiques, Laboratoire d'hydroécologie Quantitative, Ministère de l'Environnement, Direction de l'Eau, 89 p.

STEEL E.A., RICHARDS W.H., KELSY K.A. -2003- Wood and wildlife : benefits of river wood to terrestrial and aquatic vertebrates. *American Fisheries Society Symposium*, 37 : 235-247.

STRAHLER A.N. -1952- Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63 : 1117-1142

SUTTON M.A., HOWARD C.M, CLARE M.H., JAN W.E.; GILLES B., ALBERT B., PERINGE G., HANS VAN G., BRUNA G. -2011- «The European Nitrogen Assessment, Sources Effects and Policy Perspectives», Cambridge University Press, 664 p.

SWANSON F.J., LIEKAEMPER G.W. -1982- Interactions among fluvial processes, forest vegetation and aquatic ecosystems, South Fork Hoh River, Olympic National Park. In « *Ecological research in national parks of the Pacific Northwest* », FRANKLIN F.J., STARKEY E.E., MATTHEWS J.E., National Park Service, Cooperative Park Studies Unit , Oregon State University, USA : 30-34.

THOMAS S.A., VALETT H.M., MULHOLLAND P.J., FELLOWS C.S., WEBSTER J.R., DAHM C.N., PETERSON C.G. -2001- Nitrogen Retention in Headwater Streams : The Influence of groundwater- Surface Water Exchange. *The Scientific World*, 1: 623-631.

TUCKER C.J. -1979- Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation?. *Remote Sensing of Environment*, 8 : 127-150.

UCHIDA T., ASANO Y., ONDA Y., MIYATA S. -2005- Are headwaters just the sum of hillslopes?. *Hydrological processes*, 19 : 3251-3261.

Biblio

- UDAWATTA R.P., KRSTANSKY J.J., HENDERSON G.S., GARRETT H.E. -2002- Agroforestry practices, runoff, and nutrient loss : a paired watershed comparison. *Journal of Environmental Quality*, 31 : 1214-1225.
- VANNOTE R.L., MINSHALL G.W., CUMMINS K.W., SEDELL J.R., CUSHING C.E. -1980- The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37 : 103-137.
- VIDON, P.G.F. & HILL, A.R. (2004). Landscape controls on nitrate removal in stream riparian zones. *Water Resources Research*, 40 : W03201, doi:10.1029/2003WR002473
- VIGNERON T., PERNET A. -2000- « Réseau hydrologique et piscicole Loire Bretagne, synthèse des données 1998 », Conseil supérieur de la pêche, 72 p.
- VIGNERON T. -1999- « Réseau hydrobiologique et piscicole, Bassin Loire – Bretagne, Synthèse des données 1997 », Conseil supérieur de la pêche, 55 p.
- WALLACE J.B., S.L. EGGERT, J.L. MEYER, J.R. WEBSTER -1997- Multiple trophic levels of a forest streams linked to terrestrial litter inputs. *Science*, 277: 102-104.
- WALLACE J.B., EGGERT S.L., MEYER J.L., WEBSTER J.R. -1999- Effects of resource limitation on a detrital-based ecosystem. *Ecological Monographs*, 69 : 409-442.
- WARD J.V. -1989- The Four-Dimensional Nature of Lotic Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 8 : 2-8.
- WILLIAMS G.P. & WOLMAN M.G. -1984- « Downstream effects of dams on alluvial rivers. », USGS Circular 781, 48 p.
- WIPFLI M.S., RICHARDSON J.S., NAIMAN R.J. -2007- Ecological linkages between headwaters and downstream ecosystems: transport of organic matter, invertebrates, and wood down headwater channels. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 43 : 72-85.
- WIPFLI M.S. & GREGOVICH D.P. -2002- Export of invertebrates and detritus from fishless headwater streams in southeastern Alaska : implications for downstream salmonid production. *Freshwater Biology*, 47 : 957-969.
- WOOD, J. -1996- *The Geomorphological characterization of Digital Elevation Models*. Geography, Leicester, University of Leicester, 185 p .
- WOODCOCK T.S., HURYN A.D. -2007- The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater Biology*, 52 : 177-196.
- WOODYER K.D. -1966- Bankfull frequency in rivers. *Journal of hydrology*, 6: 144-142.

INTERNET :

- AERM -2009- Les données par masse d'eau (janvier 2009) [en ligne], disponible sur http://www.eau2015-rhin-meuse.fr/masses_d_eau-2009/ (consulté le 11 août 2012).
- AGRO TRANSFERT BRETAGNE –2012- Les zones humides : Territ'eau. [en ligne] Disponible sur http://agro-transfert-bretagne.univ-rennes1.fr/Territ_Eau/CONNAISSANCES/Zones_humides/definition.asp. (consulté le 11 Août 2012).
- OFEV -2009- Réseau hydrographique : ordre des cours d'eau pour le réseau hydrographique numérique au 1/25 000 de la Suisse [en ligne], disponible sur <http://www.bafu.admin.ch/hydrologie/01835/02118/02120/index.html?lang=fr> (consulté le 11 Août 2012).
- ONF -2012- Le patrimoine Français en forte exepension [en ligne]. Disponible sur http://www.onf.fr/gestion_durable/sommaire/milieu_vivant/patrimoine/forets_francaises/20071001-133331-958050/@@index.html (consulté le 14 Août 2012).

TORONTO GREEN COMMUNITY -2009- Lost river walks urban ecology [en ligne], disponible sur <http://www.lostrivers.ca> (consulté le 11 Août 2012).

VINCENT B. -2010- Drainage et assainissement agricole : quelques points de repère. Exposé du séminaire de restitution du projet Life Environnement ARTWET. Disponible sur : <https://omer1.cemagref.fr> (consulté le 16 Juin 2012)

STOUT B. & WALLACE J.B. -2003- A Survey of Eight Aquatic Insect Orders Associated with Small Headwater Streams Subject to Valley Fills from Mountaintop Mining, <http://www.epa.gov/region3/mtntop/pdf/appendices/d/StoutWallaceMacroinvertebrate.pdf> (consulté le 11 Août 2012)

ANNEXES

ANNEXE A : QUELQUES TEXTES REGLEMENTAIRES SUR LES COURS D'EAU

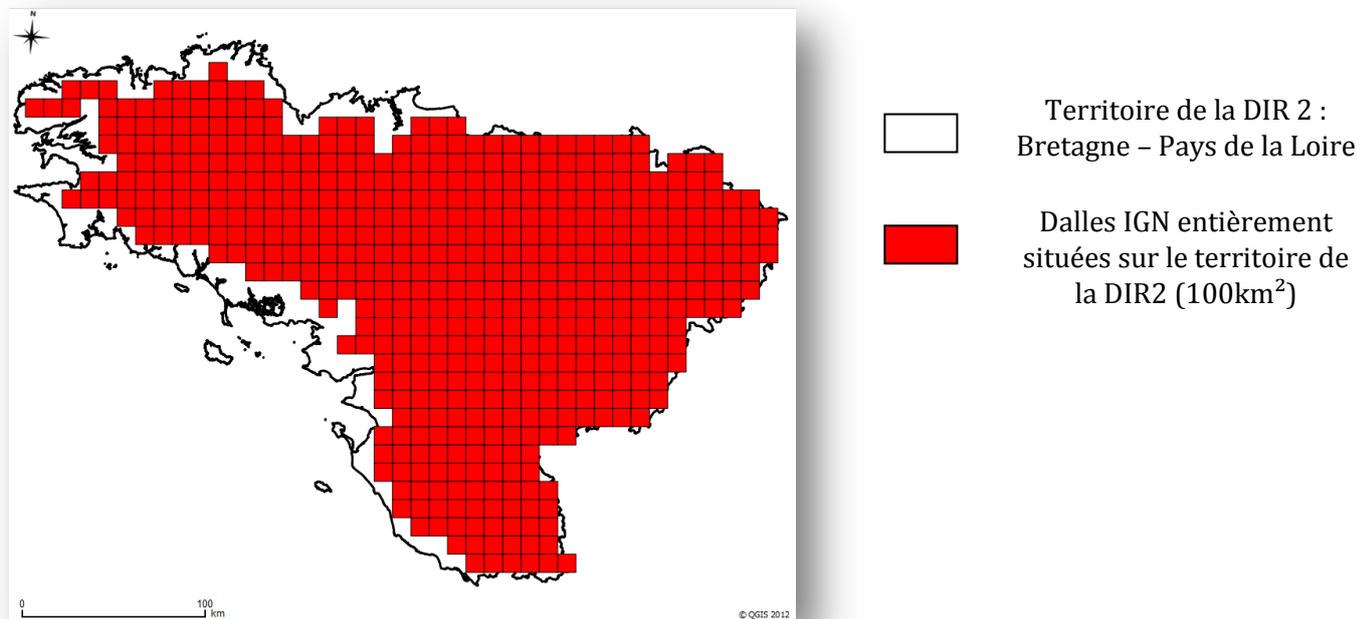
Aides PAC : Dans le cadre de la conditionnalité des aides PAC et en application des articles R615-10 et R615-12 du Code rural relatifs aux exigences réglementaires en matière de gestion des exploitations et aux Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales (BCAE), les exploitants agricoles ayant une production théorique de plus de 92 tonnes de céréales doivent disposer, sur leur exploitation, d'une surface consacrée à un couvert environnemental équivalente au minimum à 3% des surfaces déclarées pour l'obtention de l'aide aux grandes cultures (céréales, oléagineux et protéagineux, lin, chanvre et gelé). Ces surfaces en couvert environnemental doivent être localisées en priorité le long des cours d'eau sous forme de bandes enherbées. L'arrêté du 12 janvier 2005 pris en application du code rural indique que les cours d'eau concernés par la localisation de surfaces en couvert environnemental correspondent aux cours d'eau représentés par les traits bleus pleins sur les cartes les plus récemment éditées au 1:25 000 par l'IGN. Cette liste peut être complétée par d'autres cours d'eau identifiés par arrêté du préfet compte tenu de leur intérêt pour la protection de l'environnement ou, à défaut, à compter du 1^{er} juillet 2006, aux cours d'eau représentés par les traits bleus pointillés portant un nom sur les cartes les plus récemment éditées au 1:25 000 par l'Institut Géographique National (IGN), à l'exception des cours d'eau busés à la suite d'une autorisation administrative ou des canaux bétonnés. Les préfets avaient ainsi jusqu'au 30 juin 2006 pour établir la liste des cours d'eau au titre de la conditionnalité. Par la suite, les cours d'eau au sens du deuxième alinéa de l'article R615-10 du code rural seront désignés sous le terme de « cours d'eau pour la conditionnalité » afin d'éviter toute confusion avec ceux définis au titre de la police des eaux.

Zones Non Traitées : L'arrêté du 12 septembre 2006 (publication au JO le 21 septembre 2006) définit 3 classes de largeur de Zones Non Traitées (ZNT) de 5m, 20m et 50m à

Annexe B : Dallage IGN

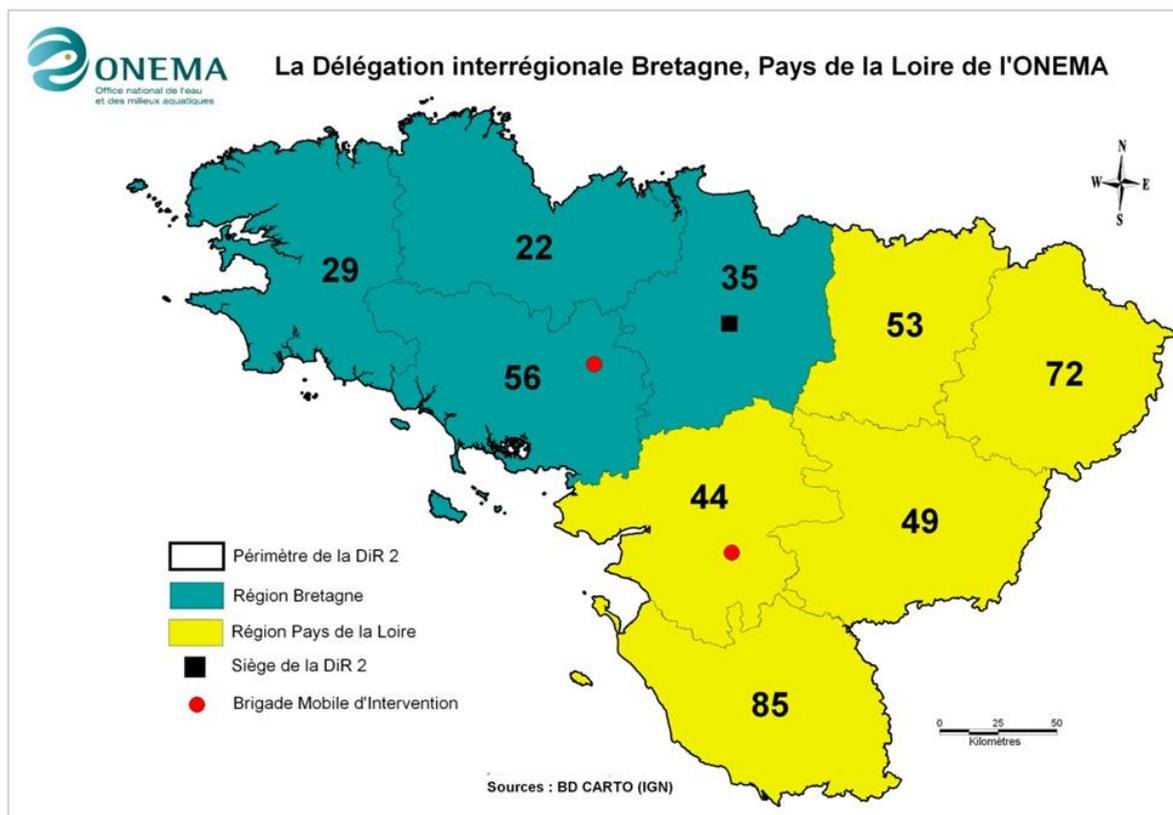
respecter au voisinage des points d'eau en fonction des produits phytosanitaires utilisés, afin de protéger les organismes aquatiques. Dans cet arrêté, les points d'eau incluent « les cours d'eau, plans d'eau, fossés et points d'eau permanents ou intermittents figurant en points, traits continus, ou discontinus sur les cartes au 1:25 000 de l'IGN ». Par ailleurs, l'arrêté interministériel prévoit également des dispositions permettant, sous réserve du respect de conditions particulières, de gérer les fonds de cuve de pulvérisateur et les effluents phytosanitaires à la parcelle, de traiter ces effluents et de réduire ainsi la largeur de la Zone Non Traitée de 50m ou 20m à 5m.

ANNEXE B : DALLAGE IGN



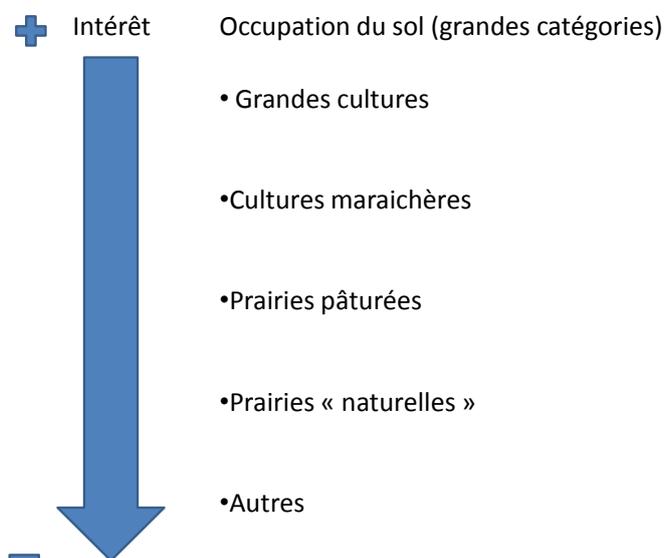
Carte des dalles IGN sélectionnable sur le territoire de la DIR2

ANNEXE C : LES DEPARTEMENTS DE LA DIR2



Carte des départements sur le territoire de la DIR2

ANNEXE D : HIERARCHISATION DE L'INTERET DES OCCUPATIONS DU SOL



Schématisation de l'intérêt attribué aux différentes occupations du sol

	211	212	213	221	222	223	231	241	242	243	244	321	322	323
211		0	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+
212	0		+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	+
213	-	-		-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-
221	-	-	+		+	0	-	+	0	+	+	-	+	+
222	-	-	+	-		-	-	-	-	-	0	-	+	+
223	-	-	+	0	+		-	0	0	+	+	-	+	+
231	0	0	+	0	+	+		+	+	+	+	+	+	+
241	-	-	+	-	+	0	-		0	0	+	-	+	+
242	-	-	+	0	+	0	-	0		0	+	-	+	+
243	-	-	+	-	+	-	-	0	0		+	-	+	+
244	-	-	0	-	0	-	-	-	-	-		-	+	+
321	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+		+	+
322	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-		0
323	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	

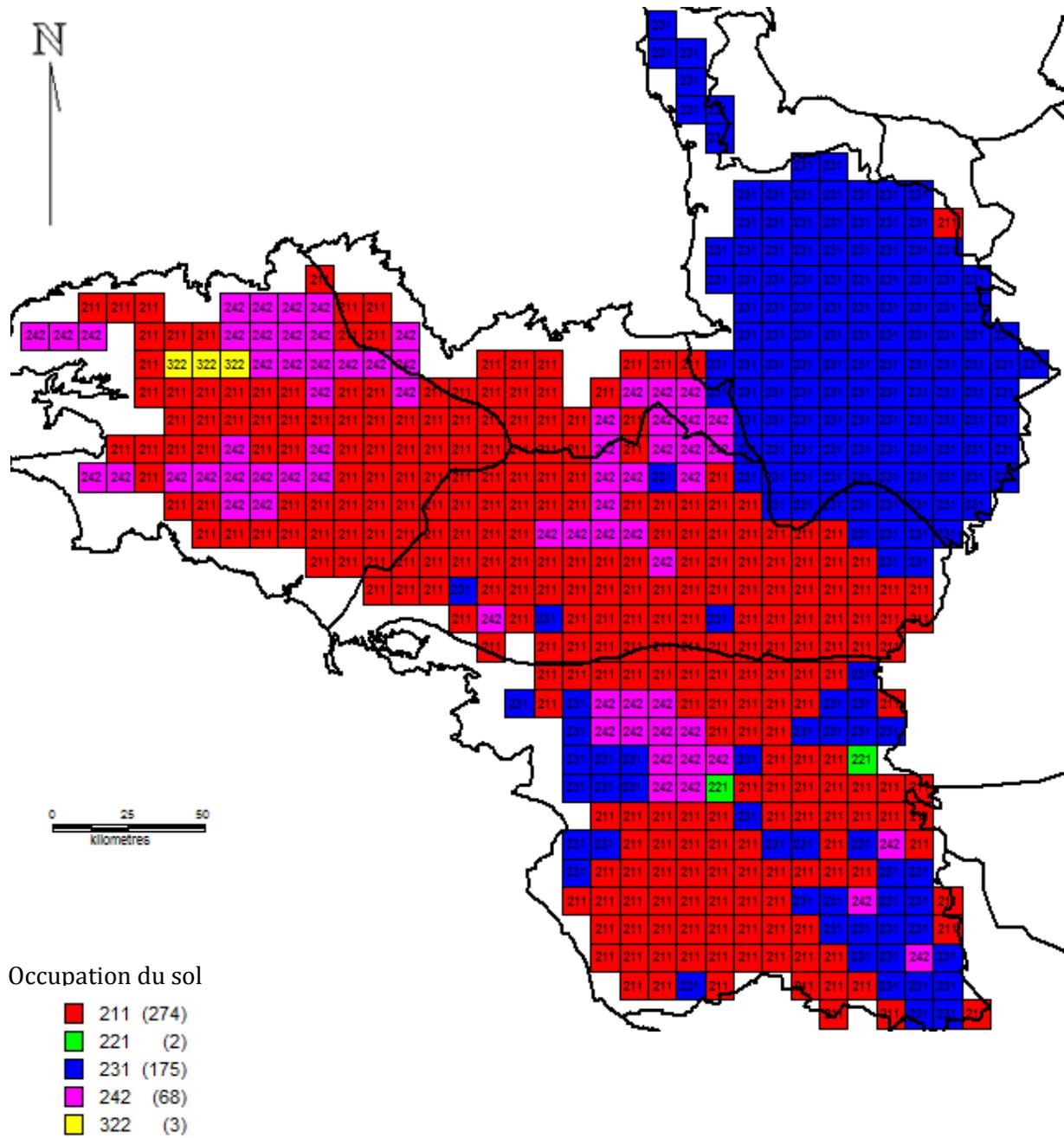
Tableau comparatif à double entrée entre les différentes occupations du sol

Ce tableau se lit de la manière suivante : occupation du sol en ligne est plus(+)/moins(-)/sans hiérarchie(0) par rapport à l'occupation du sol en colonne.

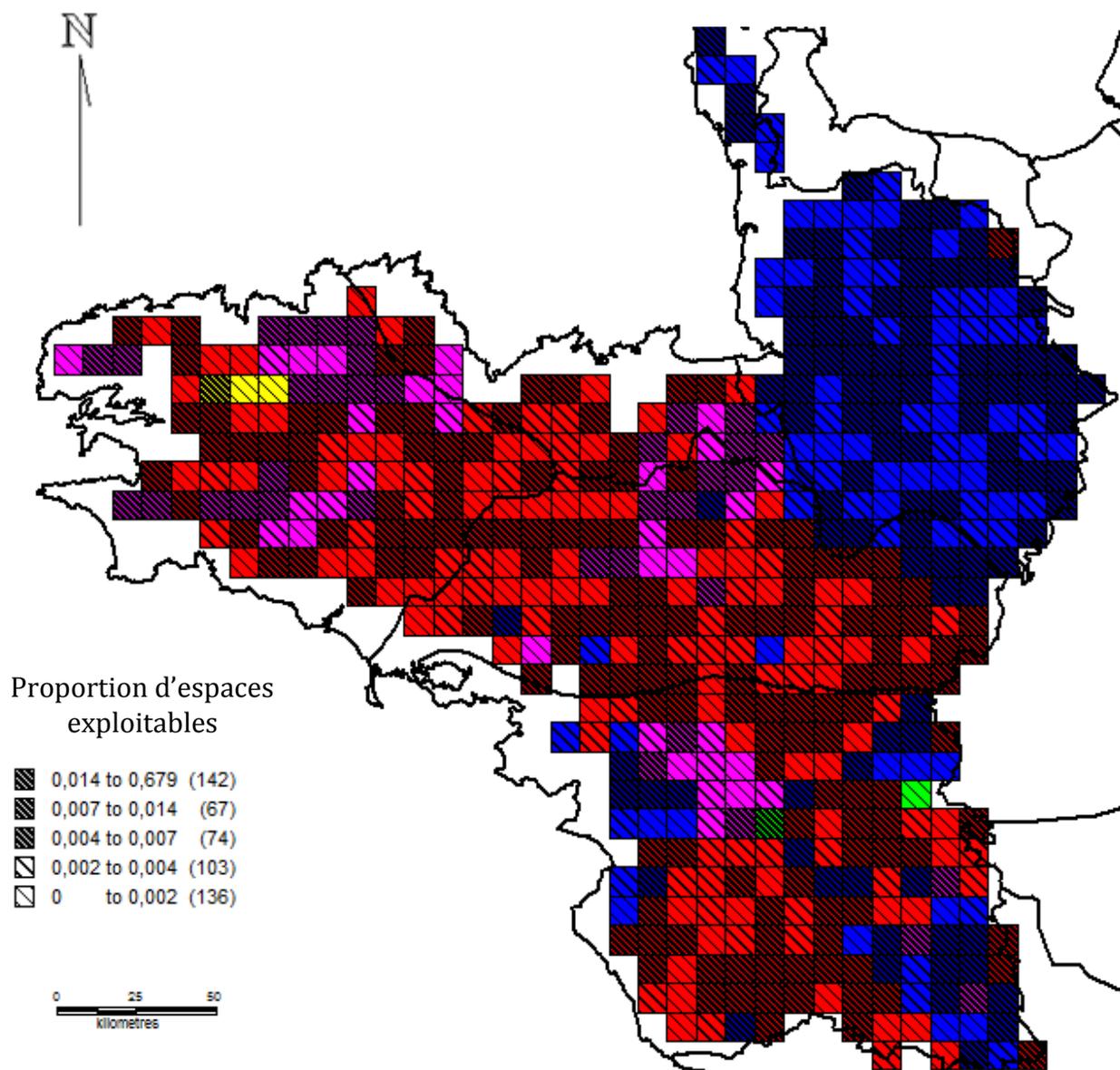
classement	Nom	N°	Indice
1	Terres arables hors périmètres d'irrigation	211	12
2	Périmètres irrigués en permanence	212	12
3	Prairies	231	11,5
4	Pelouses et pâturages naturels	321	10
5	Vignobles	221	8
6	Oliveraies	223	7,5
7	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	242	7
8	Cultures annuelles associées aux cultures permanentes	241	6,5
9	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	243	6
10	Vergers et petits fruits	222	3,5
11	Territoires agro-forestiers	244	3
12	Landes et broussailles	322	1,5
13	Végétation sclérophylle	323	1,5
14	Rizières	213	0,5

Indice hiérarchique des occupations du sol (+ = 1 point et 0 = 0,5 point)

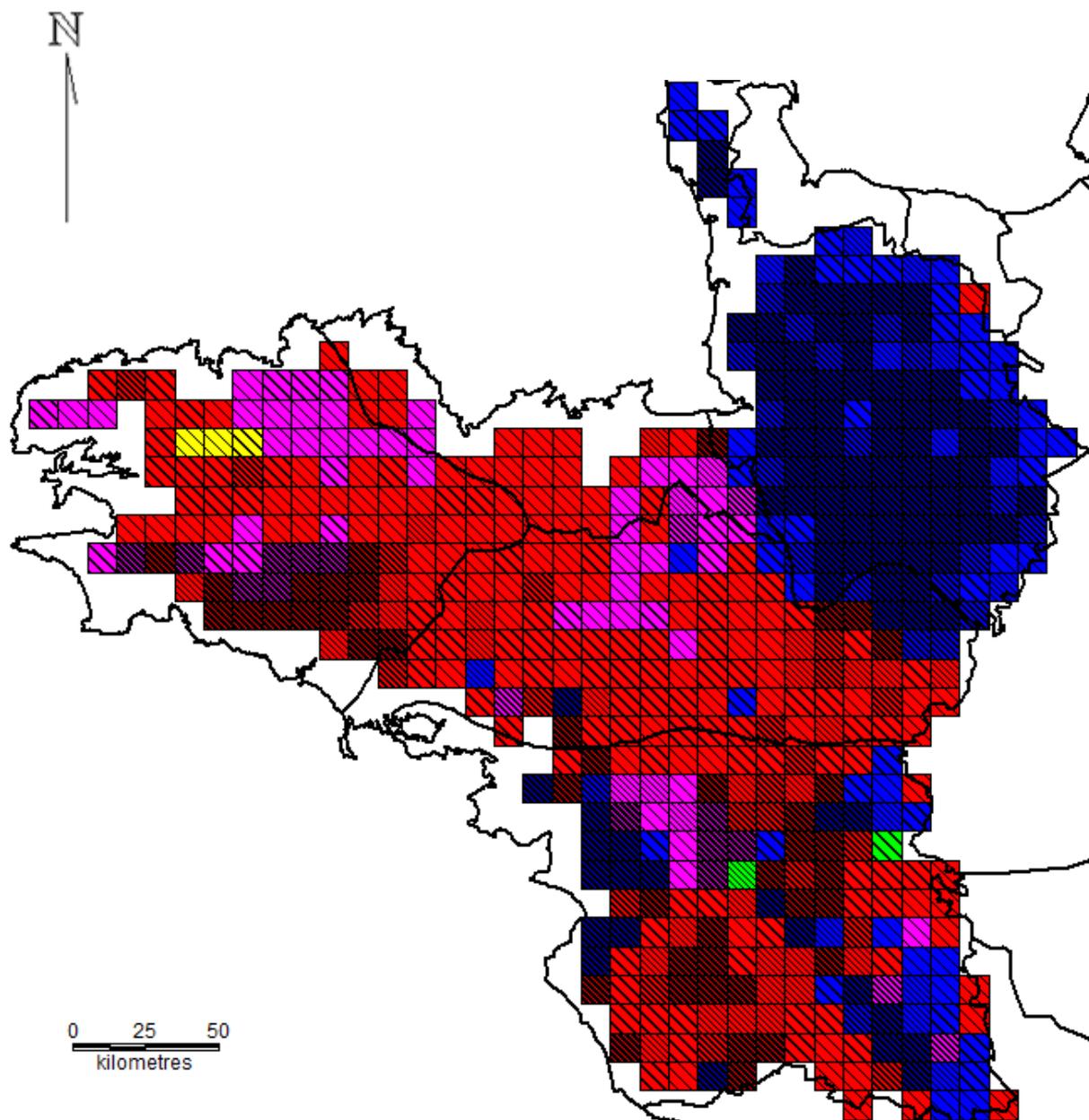
ANNEXE E : CARTES DE SYNTHESE POUR L'ECHANTILLONNAGE DIR2



Carte de l'occupation du sol majoritaire « utile »

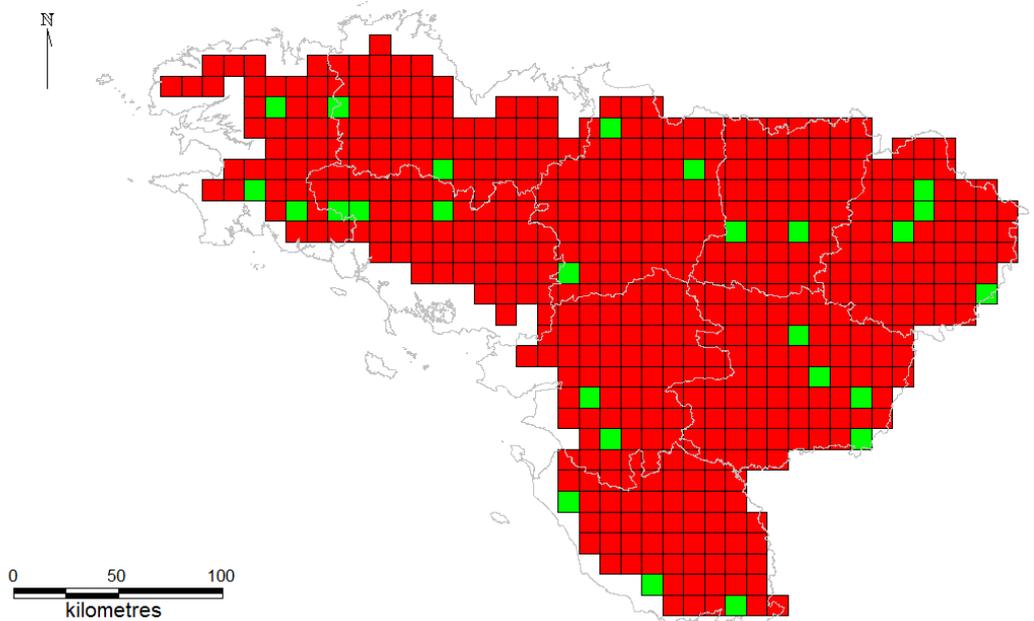


Cartographie de la part des occupations du sol exploitables



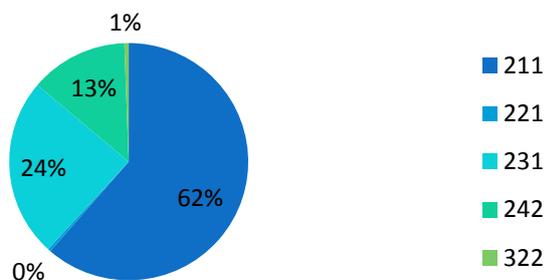
Cartographie du taux de drainage sur le territoire de la DIR2

ANNEXE F : SYNTHÈSE DES INFORMATIONS SUR L'ÉCHANTILLONNAGE DE SITE TEST DU TERRITOIRE DE LA DIR 2

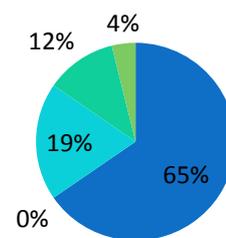


Nouveaux sites sélectionnés

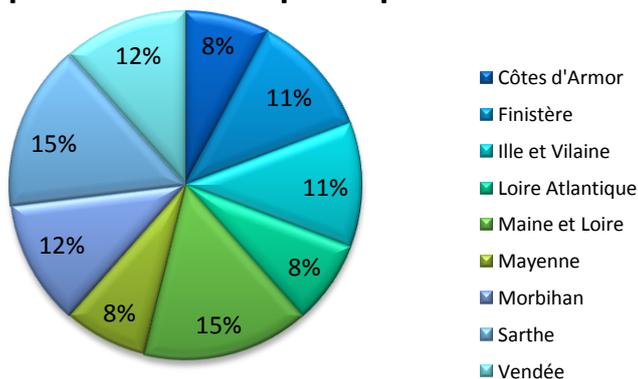
Part de l'occupation du sol majoritaire "utile" dans le périmètre de la DIR2



Répartition effective des sites test en fonction de l'occupation du sol majoritaire "utile"



Répartition de sites par département



Répartition des sites par région



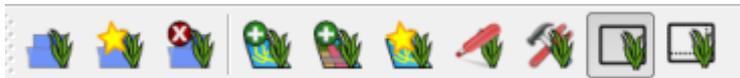
ANNEXE G : TRAVAUX PRATIQUES, SE FAMILIARISER AVEC GRASS



GRASS (Géographic Ressources Analysis Support System) a été développé en premier lieu par l'USA-CERL (United State Army) en lien avec le National Environment Policy Act [Pour la petite histoire]. C'est un logiciel SIG d'un type bien particulier, il est dit topologique (au contraire des SIG dit en « spaghetti » que sont aussi bien map info, QGIS ou Arc GIS) c'est-à-dire qu'il adopte des logiques spatiales particulières (limite, centroïd, ...). C'est aujourd'hui un projet libre (sous licence GNU) compatible sous tous les OS (Linux, Windows et Mac). Il adopte un fonctionnement modulaire, c'est-à-dire qu'il est composé d'extensions créées indépendamment et pouvant traiter aussi bien l'imagerie (i.), les rasters (r.), les vecteurs (v.) que la 3d (r3. ou v3.). Ces modules sont écrits en python (et shell) un langage machine qui n'a pas besoin d'être compilé et facile d'utilisation. Ce langage est utilisé par de nombreux logiciels et permet de les faire fonctionner ensemble (R ou QGIS par exemple). Ce qu'il faut retenir c'est que GRASS fait beaucoup de traitements, il pêche un peu sur l'interaction des données mais bien configuré, il n'a rien à envier à ses concurrents.

UTILISER GRASS DANS QGIS

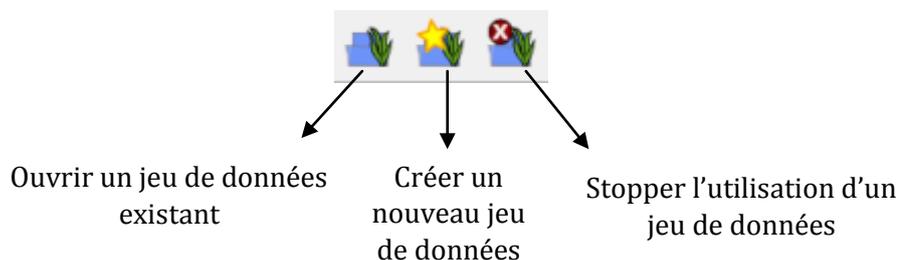
Il faut une extension pour utiliser GRASS dans QGIS mais cette dernière est installée de base.



Voici le menu de l'extension GRASS



Commençons par ouvrir un jeu de données GRASS, ces 3 icônes permettent de gérer les jeux de données GRASS.



Annexe G : Travaux pratiques, se familiariser avec grass

Si vous possédez déjà un jeu de données configuré, il vous suffit de lui indiquer le répertoire sur votre ordinateur puis de valider la localisation et le jeu de données que vous souhaitez modifier. Si cela n'a aucun sens pour vous, nous allons configurer un jeu de données GRASS avec QGIS.



Ici on vous demande de choisir un répertoire pour accueillir la base de données GRASS.

NB : Choisissez un dossier que vous retrouverez facilement !

Cliquez ensuite sur NEXT (en bas)

Localisation

Sélectionnez le Secteur

Créez un nouveau Secteur

Entrez le nom du secteur (location) !

Créez un nouveau Secteur

Projection

Système de coordonnées

Non défini

Projection

Filtre

Systèmes de coordonnées de références récemment utilisés

Système de coordonnées de référence	ID Certifié
* SCR généré (+proj=eqc +lat_ts=4...	USER:100008
Geoportail - France métropolitaine	IGNF:GEOPORTALFXX
* SCR généré (+proj=lcc +lat_1=44 ...	USER:100002
WGS 84	EPSG:4326
* SCR généré (+proj=lcc +lat_1=44 ...	USER:100001
RG 502 / Lambert 93	EPSG:3154

Liste des Systèmes de Coordonnées de Référence Masquer les SCR obsolètes

Système de coordonnées de référence	ID Certifié
Systèmes de coordonnées g	
Système de coordonnées pr	
Albers Equal Area	
GDA94 / Australian Albers	EPSG:3577

GRASS a alors besoin d'un secteur pour travailler, pas d'inquiétudes vous n'avez pas besoin de sélectionner expressément votre zone de travail. Choisissez la France, vous serez sûre de ne jamais vous retrouver hors zone.

On vous demande ensuite de choisir un système de projection.

Choisissez soit WGS84 avec le code 4326 (données GPS)

Soit Lambert 93 avec le code 2154 (de préférence celui là)

Tapez les codes dans le filtre après avoir sélectionné la projection

Région GRASS par défaut

N

O E

S

Fixer l'emprise courante de QGIS



Jeu de données

Nouveau jeu de données:

Entrez le nom du jeu de donnée (mapset).

Maintenant votre barre GRASS ne sera plus grisée :



Si vous n'êtes pas familier du concept de région, ne touchez pas à ces boutons

Boutons pour afficher des couches GRASS (vecteur à gauche, raster à droite)

Créer une couche GRASS

Modifier une couche GRASS (peu conseillé, difficile d'usage)

La boîte à outils (ou module) GRASS, c'est cette touche qui est vraiment intéressante

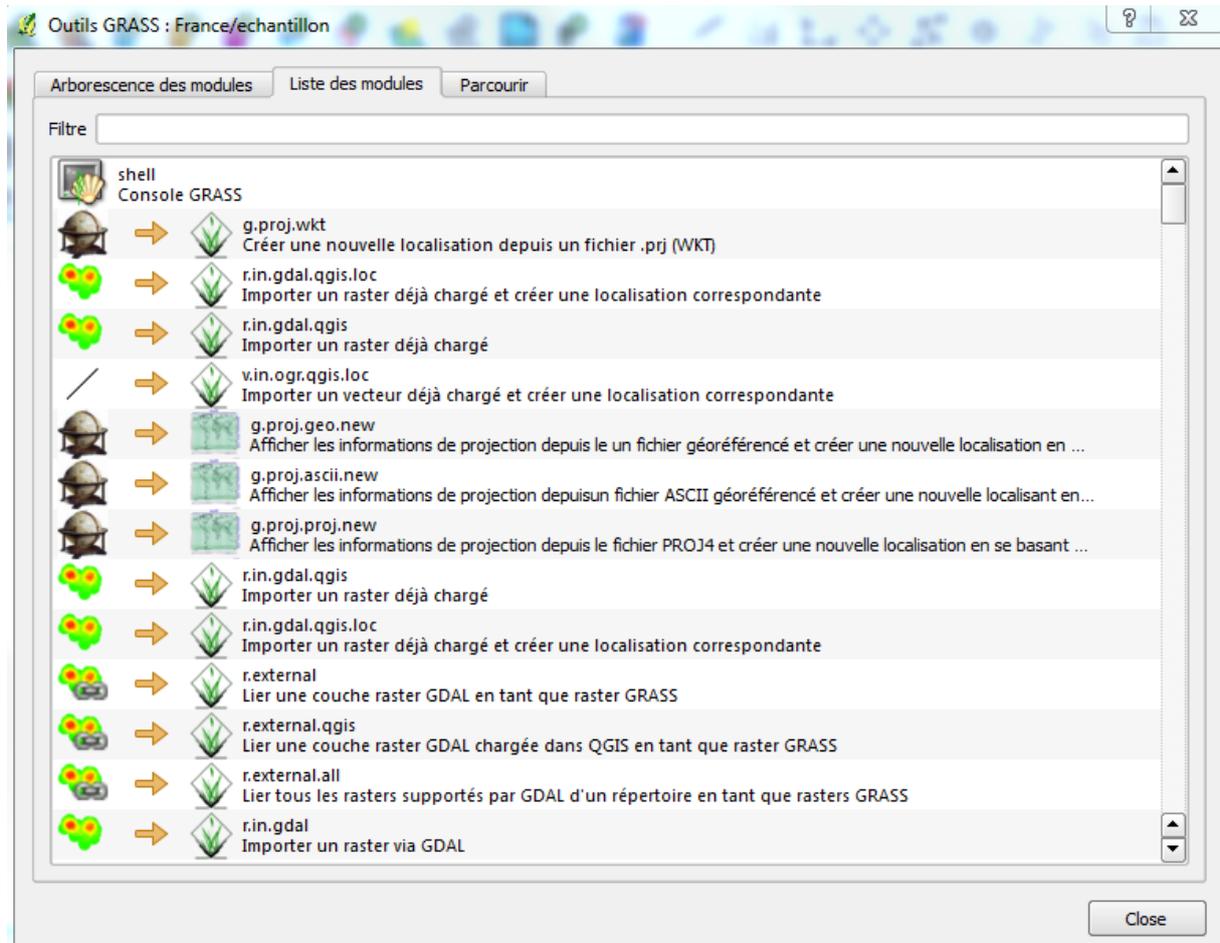
Il faut ensuite préciser l'emprise de la région, en l'occurrence on va chercher la France dans le menu déroulant.

Attention pensez à cliquer sur le bouton données avant de valider !

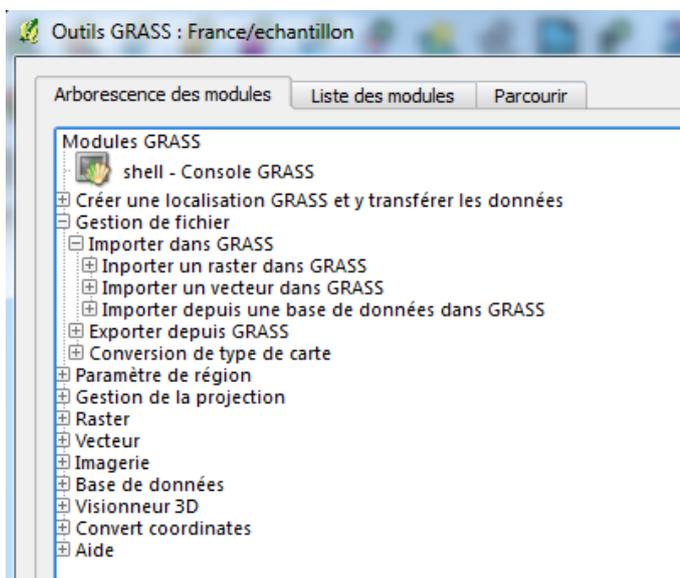
Vous constaterez que le carré rouge et les coordonnées auront été modifiés. Vous pourrez alors finaliser la création du jeu de données en le nommant dans la fenêtre suivante.

Le répertoire que vous avez créé peut contenir plusieurs jeux de données, il n'est pas nécessaire de tout refaire à chaque fois, il vous suffit de choisir le même répertoire, de sélectionner votre secteur (France) et de donner le nom du nouveau jeu de données

UTILISER LES OUTILS GRASS DANS QGIS



Nous voilà dans la boîte à outil GRASS, ça va commencer à devenir intéressant, mais avant toute chose, il est nécessaire de donner des informations à GRASS.



Pour trouver les modules, il est plus facile au départ d'utiliser l'onglet « Arborescence des modules » qui propose un classement des modules disponibles selon leurs fonctions.

Dans gestion de fichier > importer dans GRASS nous pouvons trouver les modules d'importation depuis QGIS (v.in.ogr.qgis / r.in.gdal.qgis) ou depuis l'extérieur (v.in.ogr / r.in.gdal). Il faut au préalable que vous ayez affiché votre couche dans QGIS, il ne vous reste plus qu'à la sélectionner une fois dans le module et à lui donner un nom pour la couche GRASS.

NB : Bien que GRASS et QGIS puissent travailler ensemble, il n'est pas possible que GRASS modifie directement une couche QGIS (.shape), il doit travailler sur une couche GRASS.

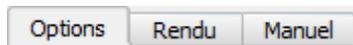


Lorsque vous lancez un module GRASS, cliquez sur « Lancer » pour le démarrer, lorsque l'opération est terminée (si cette dernière s'est bien déroulée), il vous faut appuyer sur « Vue » pour le voir dans QGIS (le bouton ne sera plus grisé).

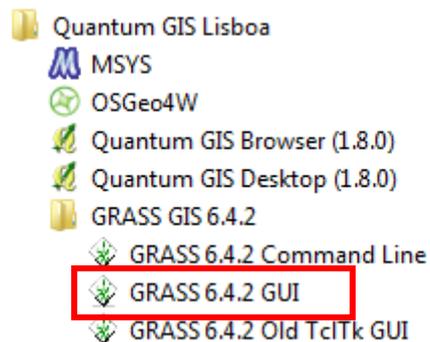
EXERCICE : GRASS DANS QGIS

Introduisez un réseau hydrographique et divisez le en petits segments d'une longueur de 100m en utilisant le module v.split.

NB : l'onglet « Manuel » «est une sorte de notice pour chaque module, n'hésitez pas à le consulter pour vous renseigner lorsque vous avez un doute.



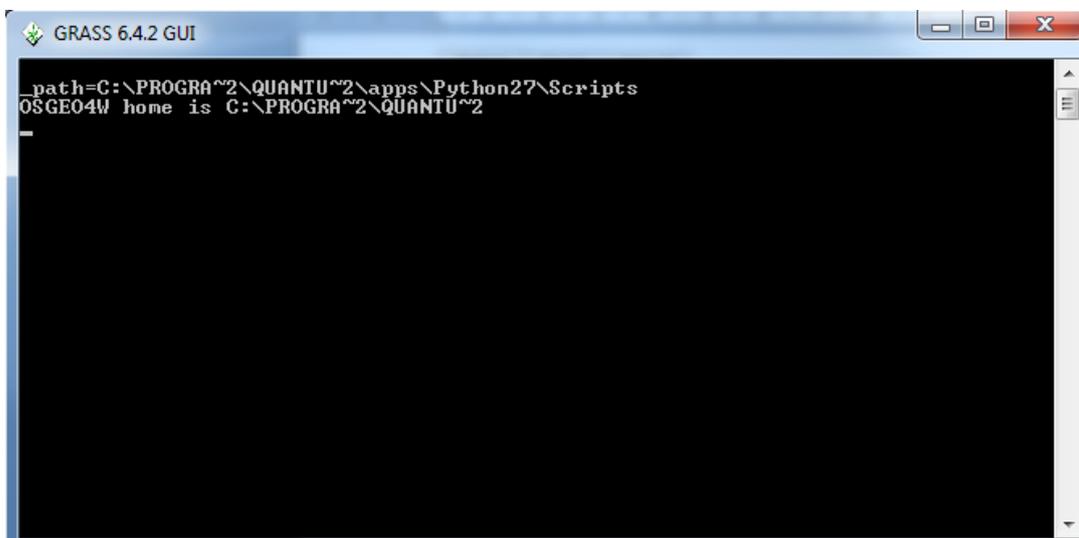
UTILISER GRASS



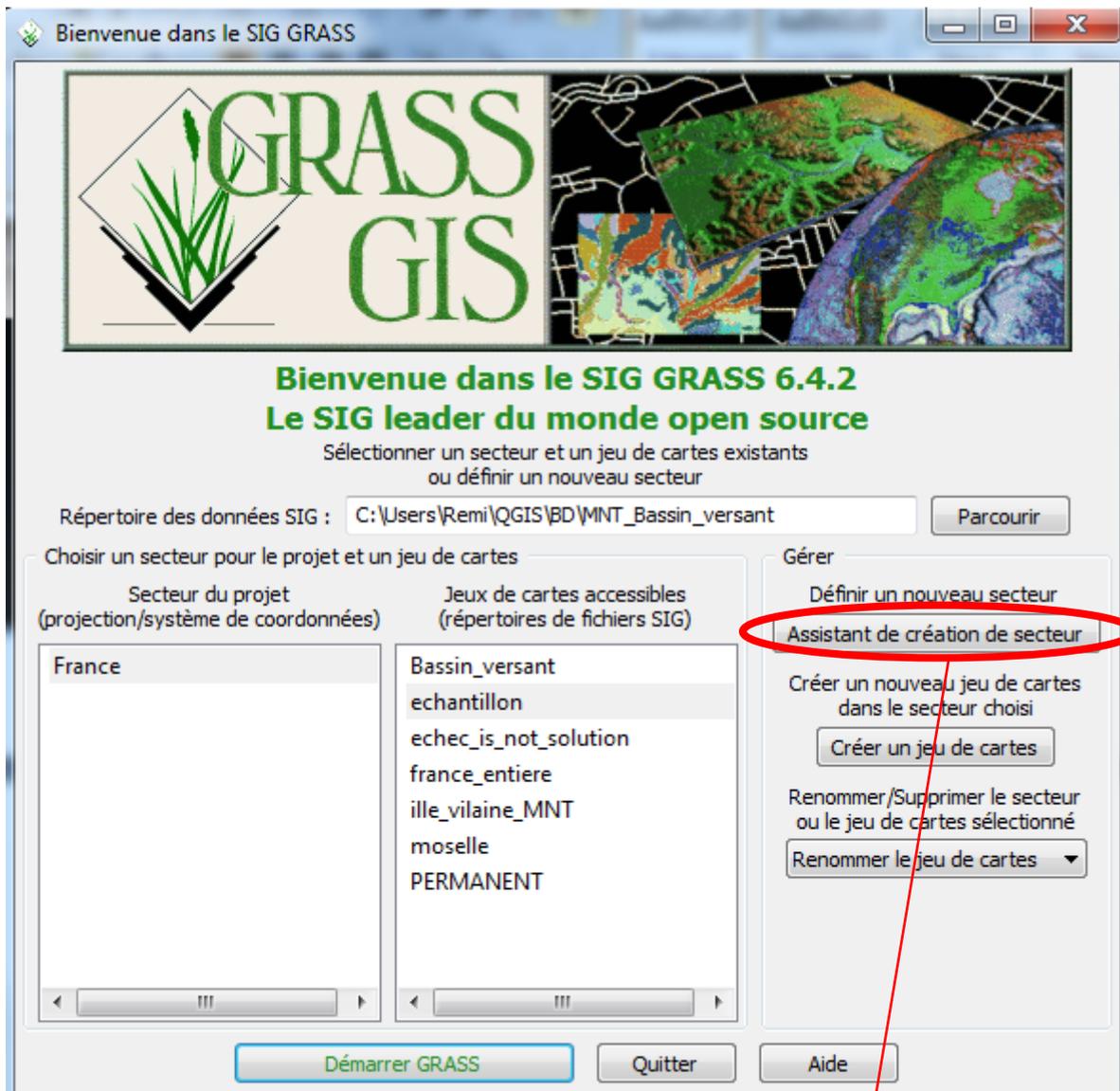
Pour ouvrir GRASS allez dans le répertoire de QGIS et sélectionnez le répertoire GRASS. Il vous propose plusieurs options avec le logo GRASS, choisissez GRASS 6.4.2 (ou autre version) GUI.

GUI : Graphical User Interface autrement dit interface graphique.

L'option « command line », utilise des lignes de commandes sans interface graphique et la dernière option utilise une ancienne interface graphique.

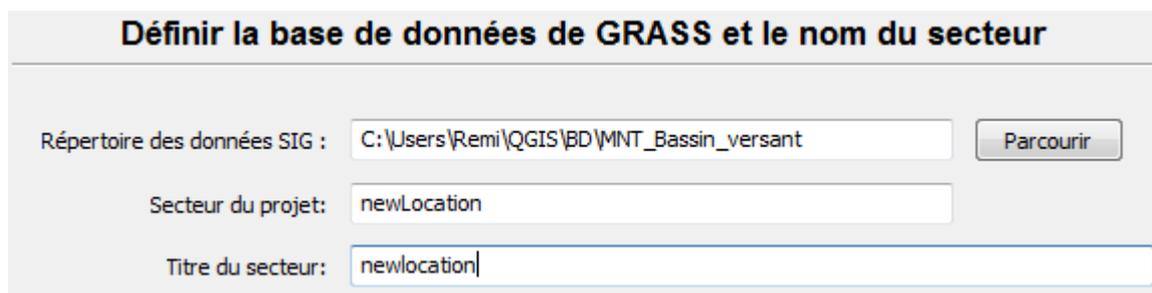


GRASS, se lance il suffit de patienter un peu

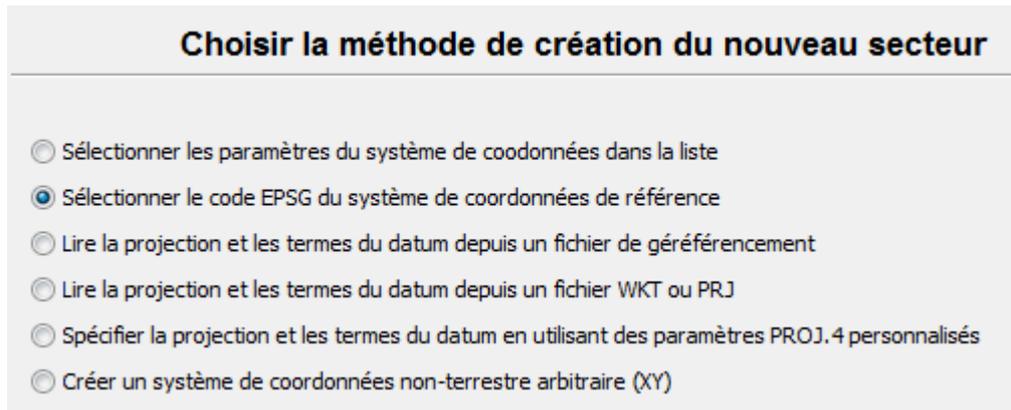


Voici l'interface de lancement de GRASS, c'est à partir de là que nous allons choisir le jeu de données sur lequel travailler. Vous remarquez les similitudes avec un lancement sous QGIS à savoir (le répertoire à sélectionner, le secteur à choisir et le jeu de cartes à utiliser.

CREER UN NOUVEAU JEU DE DONNEES :

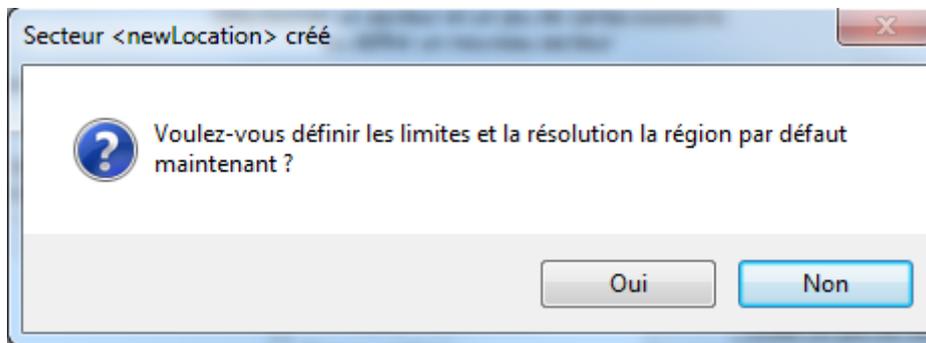


On choisit le répertoire pour la base de données et le nom du secteur



Sélectionnez ensuite cette option pour choisir la projection du secteur puis choisissez lamber 93 (code 2154) dans la fenêtre suivante.

Attention même si vous cliquez sur finish votre configuration n'est pas terminée :



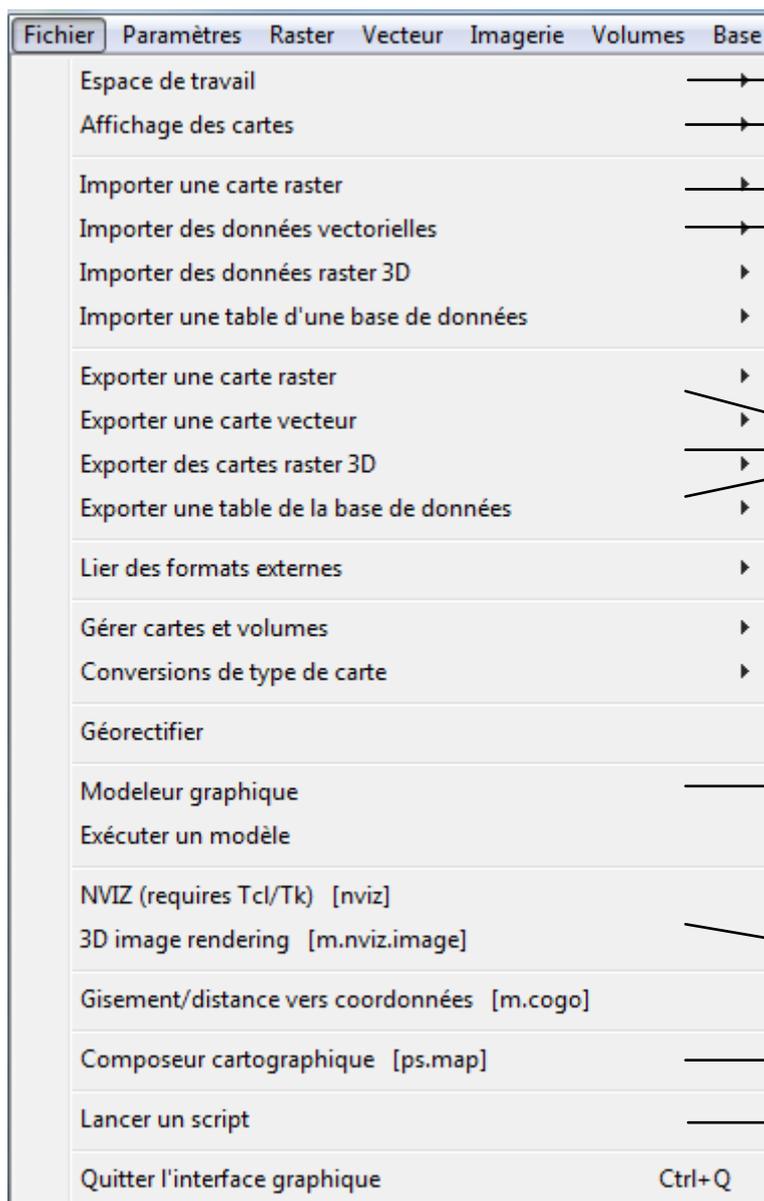
Sélectionnez « Non », le système de sélection de GRASS est trop complexe, il est préférable de se baser sur votre région sur les couches que vous introduirez, je vous conseille de créer les nouveaux jeux de données en utilisant plutôt QGIS pour éviter tout problème.

Ensuite pour créer un jeu de données, cliquez sur jeu de cartes et donnez lui un nom (rien de plus compliqué).

Bien vous pouvez (enfin) démarrer GRASS.

Deux fenêtres s'affichent : à gauche le gestionnaire des couches et à droite un moniteur d'affichage des cartes. Explorez un peu les menus, vous verrez qu'ils sont constitués d'une multitude de modules.

Il vous faut d'abord utiliser le menu fichier :



GRASS, un OVNI ? Pas tellement vous retrouvez ici la notion de projet(QGIS) ou de workspace (Map info)

Afficher des cartes sur le moniteur

Importer des données depuis l'extérieur (vecteur ou raster)

Toutes les options d'export mais il est plus facile d'utiliser QGIS pour cela en utilisant couche>sauvegarder sous...

Le modeleur graphique est un outil très intéressant, il permet de faire fonctionner successivement des modules lorsqu'on sait s'en servir. Bien qu'il y ait moins d'options que lorsqu'on utilise directement un code python personnel, il ne nécessite aucune connaissance en programmation !

Oui la 3D ! Arrêtez de rêver, ce n'est pas pour tout de suite...

L'éditeur de cartes (pas top)

Cette fonction va nous permettre de lancer les modules dont nous aurons besoin

EXERCICE 2 : MEME CHOSE QUE L'EXERCICE 1 MAIS DANS GRASS (ET INTERDICTION D'UTILISER UNE COUCHE DEJA CHARGEE)

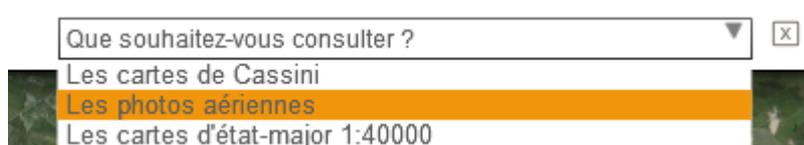
NB : le menu paramètres de GRASS permet de modifier la région, la résolution et la projection (autrement dit n'y toucher qu'en connaissance de cause)

GEOREFERENCEMENT ET ORTHORECTIFICATION

Récupérer ses anciens référentiels

Se rendre sur le site géoportail et chercher la zone où récupérer les anciennes photos aériennes.

En haut à droit cliquez sur : 



Vous parvenez à une fenêtre présentant les informations disponibles. La petite flèche :  indique s'il est possible de télécharger l'information

1919 - 2012 : 53 missions trouvées sur cette zone 

1919 1950 1975 2000 2012



Sélectionnez votre mission :

31/12/1948 	31/12/1948 	31/12/1954	31/12/1957 
id : 1619-0011	id : 1618-0051	id : 1418-0081	id : 1618-0041

Zoomez ensuite au 1 : 200000 (environ) et sélectionnez la mission la plus ancienne et d'une taille suffisante (l'espacement entre les photographies n'est pas toujours le même)



A gauche l'image est plus grande, on choisit cette mission pour nous éviter d'avoir trop de recalages à effectuer (NB : la précision n'est pas forcément moins bonne pour l'image de gauche, l'échelle des cartes est donnée lorsqu'on clique sur le point orange en leur centre et qui offre la possibilité de les télécharger)

Caractéristiques du cliché 

Nom de la mission
C1619-0021_1958_F1319-1619_0022

Cliché n° :
22

Echelle :
1:25.148

Pris le :
14/06/1958

[Aperçu de l'image](#)

[Télécharger l'image](#)

[Acheter sur la boutique](#)

En utilisant des repères IGN (plus facile) il vous suffit de sélectionner une photo sur deux pour éviter des recoupements :

Il vous faut ensuite utiliser un logiciel de

retouche d'images tel Xnview , les photographies ne sont pas dans le bon sens. Il faut se fier à l'orthophoto de l'IGN pour les basculer dans le bon sens. Ce qui représente soit une rotation à gauche de 45° soit une rotation à droite. Si vous n'avez pas changé de mission, la rotation sera inverse entre chaque ligne de photo :

Par exemple :



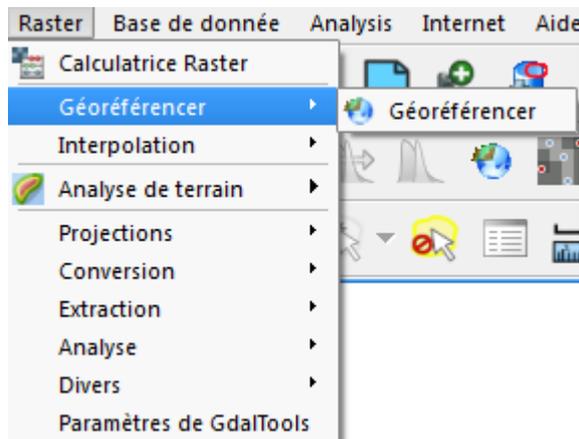
Les carrés rouges représentent ici les photographies sélectionnées pour l'étude.

Les deux images de la « ligne » du haut doivent subir une rotation de 45° à gauche.

Celles de la « ligne » du bas doivent subir une rotation à droite.

Après avoir effectué ces rotations, il faut enregistrer ces photos sous un format image exploitable. Le format BIPMAP est le plus détaillé, il est cependant incompatible avec le géoréférencement et le format de téléchargement (JPEG2000) n'est pas non plus compatible. Nous avons opté pour le format Tif bien reconnu par les SIG

Nous pourrons alors enfin ouvrir QGIS.

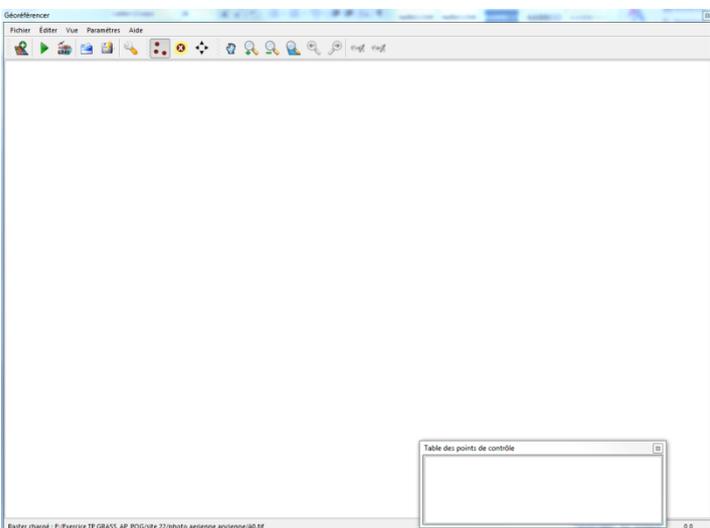


Il faut aller dans Raster>géoréférencer>géoréférencé sur la version 1.8 de QGIS pour y accéder, sur la version 1.7.4 il faut aller la chercher dans le menu extension (de base sur le logiciel).

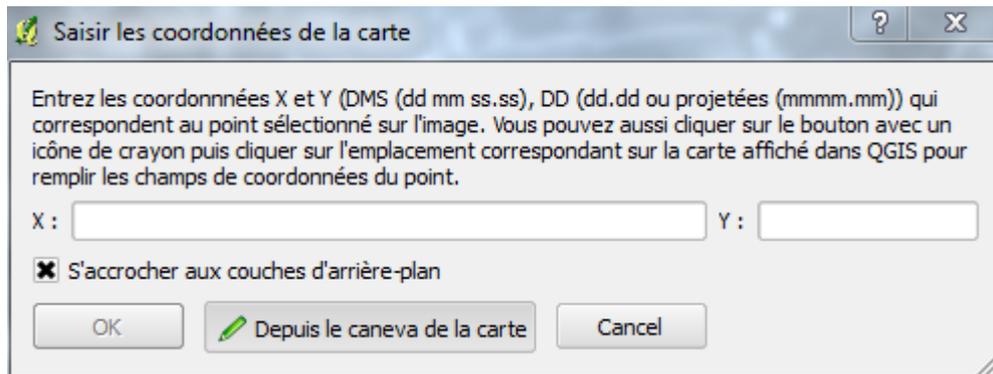
Une nouvelle fenêtre va s'ouvrir pour permettre le géoréférencement. La théorie est assez simple, nous allons rechercher des points correspondant entre la photographie ancienne et l'actuelle pour permettre d'attribuer des coordonnées à chaque pixel de la photographie ancienne.

Pour se faire QGIS offre une possibilité très intéressante, c'est-à-dire sélectionner directement ces points d'une carte à l'autre sans avoir à entrer de coordonnées (méthode préférable avec deux écrans pour plus de lisibilité).

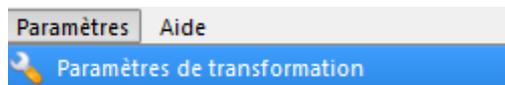
Tout d'abord il faut ouvrir d'un côté la photo actuelle et de l'autre dans la fenêtre « géoréférencer » votre image TIF précédemment sauvegardée. Vous choisirez alors la projection 2154 (Lambert 93 à la fois dans QGIS et pour l'image, il est très important que les deux projections soient les mêmes.



Une fois cela effectué, votre photographie va apparaître, cliquez sur un élément reconnaissable vous verrez apparaître la fenêtre :



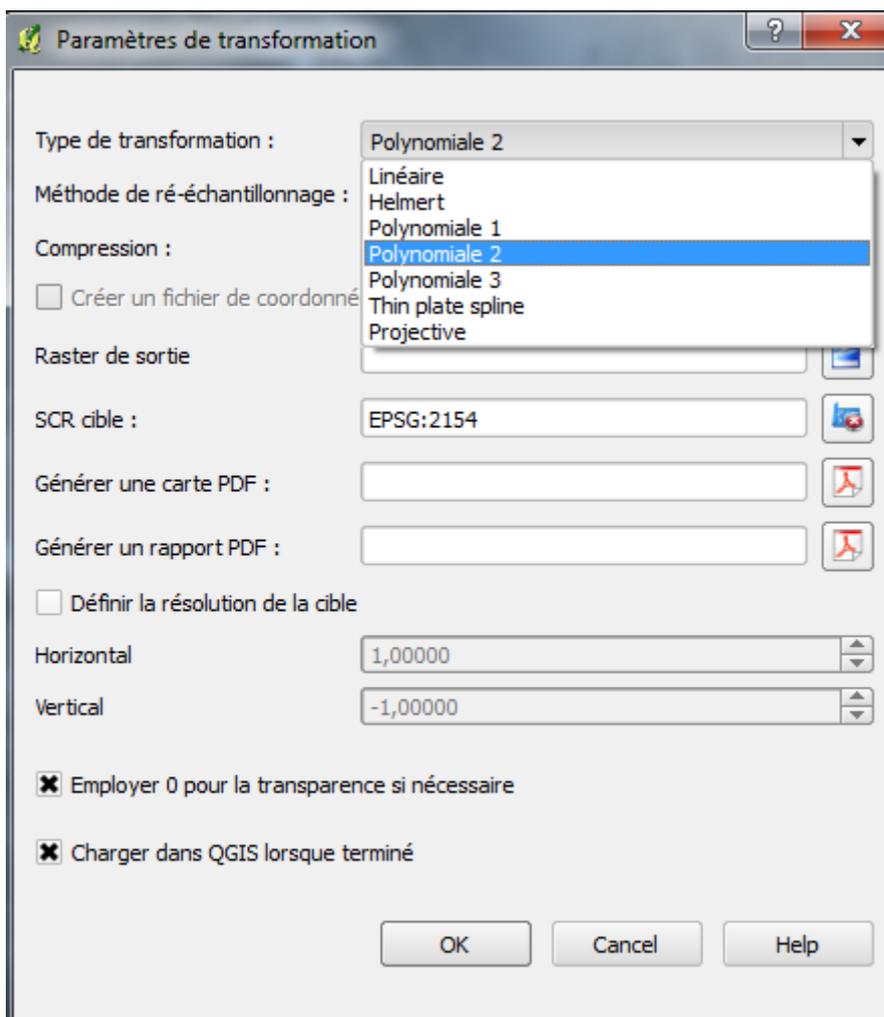
En cliquant sur le bouton « Depuis le canevas de la carte » il vous suffit de cliquer sur le point correspondant sur votre photographie aérienne, QGIS vous propose directement des coordonnées à assigner.



Après avoir sélectionné un nombre de points conséquent (au moins 30 et en essayant de les répartir sur l'ensemble de la photographie), il faut sélectionner l'algorithme de transformation à appliquer.

Auparavant vous avez sans doute déjà utilisé polynomiale 1, il s'agit d'une

transformation particulièrement simple qui est efficace pour des cartes non déformées. Seulement nos photos aériennes sont déformées par l'appareil de prise de vue, le vol, la météo et la sphéricité de la terre, il faut donc une transformation plus conséquente (en fait il faut connaître les conditions de prise de vue pour réaliser une rectification parfaite). Nous nous contenterons d'une transformation assez conséquente pour gommer un maximum de déformations.



Thin plate spline ou Polynomiale 3 ?

Utilisez un polynomiale 3,

même si le résultat est moins bon qu'avec Thin plate spline (qui recalcule complètement l'image et ne la transforme pas) le nombre de points nécessaires pour un résultat satisfaisant est moindre. Cet algorithme géoréférence et rectifie dans le même temps.

EXERCICE 3 : RECUPERER LES PHOTOGRAPHIES ANCIENNES DE VOTRE SITE ET GEOREFERENCEZ LES

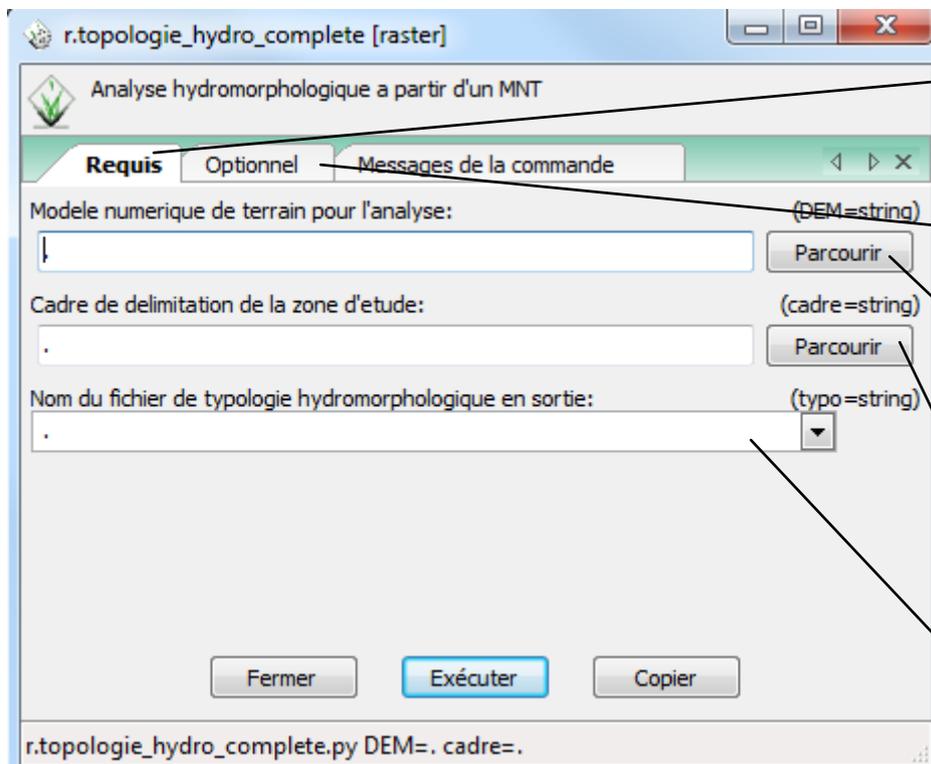
ETABLIR UN RESEAU THEORIQUE

Pour constituer les réseaux théoriques, il est nécessaire d'utiliser GRASS en lançant un script celui-ci sera `R.topo_hydro_complete`. C'est un module qui va nous permettre de calculer à l'aide de la topologie des zones plus propices à accueillir des T2BV.

Pour cela il faut se munir du MNT de la zone (le plus précis possible) et d'un cadre soit en utilisant l'option QGIS : vecteur > outils de recherche > créer un polygone sur l'étendue de la couche ou en le traçant directement. [Il est déjà disponible dans vos couches].

Pour lancer un script : Ouvrez GRASS comme expliqué précédemment (vous pouvez créer un nouveau jeu de données si vous le souhaitez pour plus de clarté) et cliquez sur l'option lancer un script. [Fichier > lancer script].

GRASS va vous demander où se trouve ce script sur l'ordinateur indiquez le lui (pensez à sélectionner le type python dans le menu déroulant en bas à droite, l'autre type shell ne vous permettra pas de voir le script). Vous obtiendrez alors la fenêtre suivante (ceux qui sont familiers des modules GRASS reconnaîtront l'interface typique des modules):



L'onglet requis, présente les informations nécessaires pour lancer le module (tous les champs doivent être remplis)

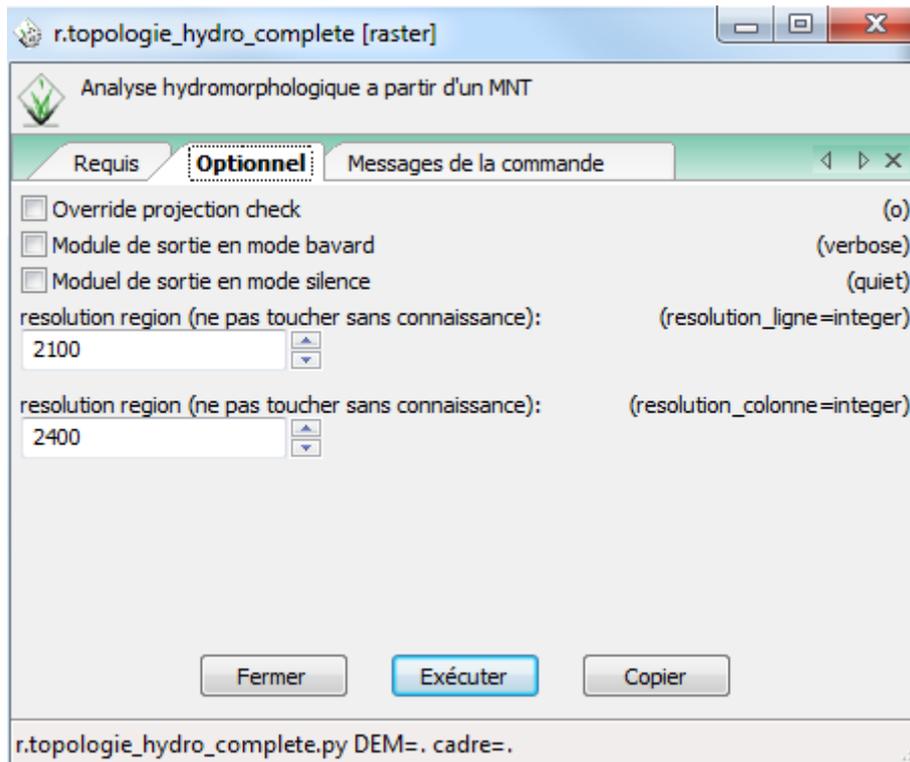
L'onglet optionnel propose des options pour améliorer le fonctionnement du module (détail après)

Indiquez lui où se trouve le MNT (rien de plus)

Indiquez lui où se trouve le cadre (rien de plus)

Indiquez le nom des fichiers que vous désirez en sortie

Puis exécuter le module (pas besoin de modifier les options)

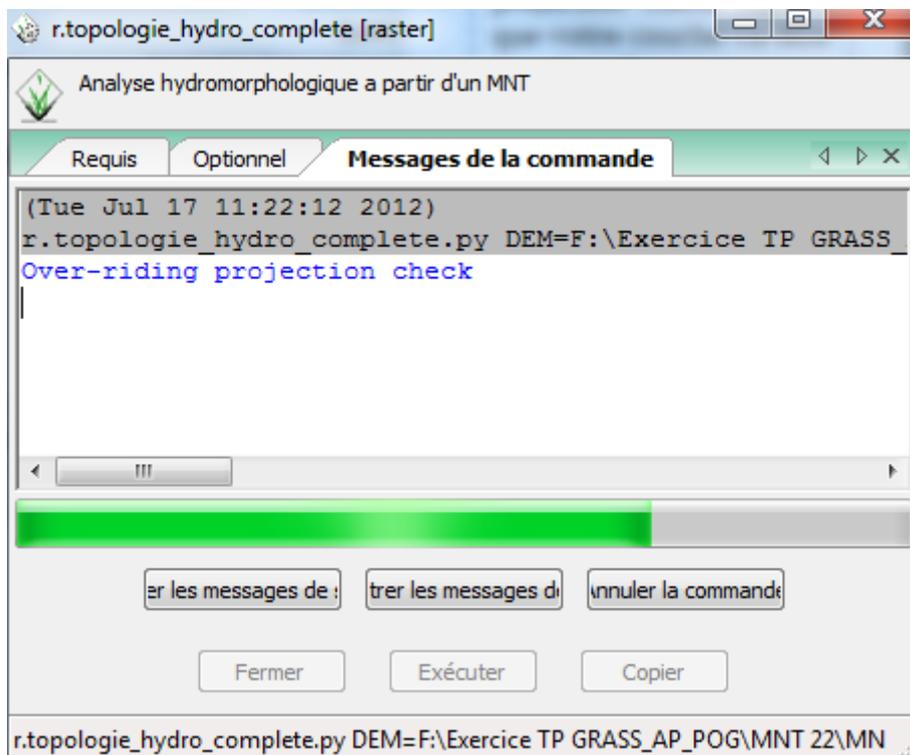


Le menu des options propose, des options pour l'affichage (mode bavard, silence)

L'option Override projection check signifie que votre couche va être transformée pour correspondre au système de projection que vous avez précédemment sélectionné (création du secteur), elle est validée de base sur ce script pour éviter des incompatibilités.

Les deux autres colonnes vous proposent de modifier la résolution plus le produit de ces deux chiffres est important, plus le traitement est précis et long. De base à 3m² près.

Une fois lancé le script va démarrer (durée 4 min environ)



Les étapes vont se succéder, des écritures bleues sont normales.

Par contre si vous observez une écriture rouge, il y a eu un problème lors du fonctionnement du module. (appelez moi !)

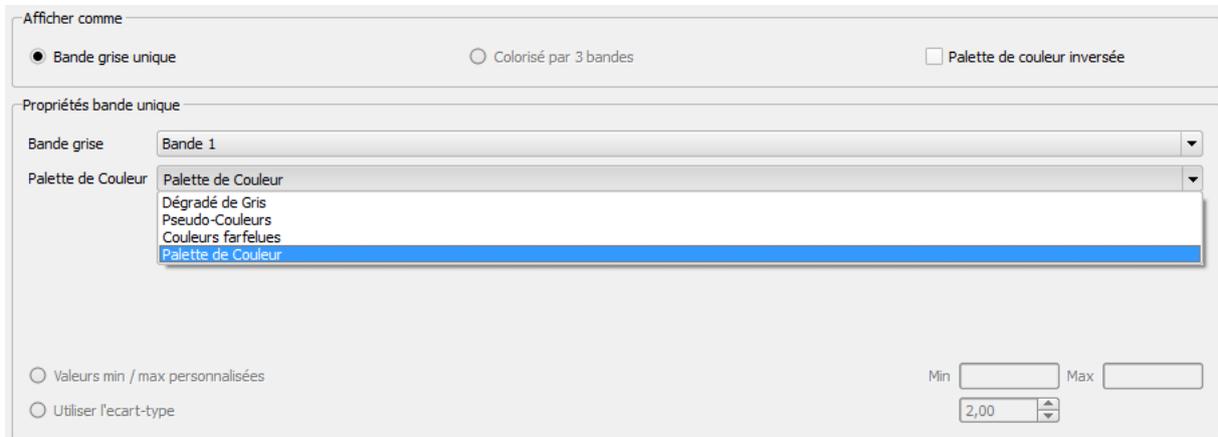
Le module va se terminer correctement, il vous délivrera un message grisé pour le signaler.

Vous pouvez afficher les 4 cartes que fournit ce module dans GRASS mais ce qui va nous intéresser c'est de les utiliser sur QGIS pour nous servir d'aide à la construction réseau. Il vous suffit d'aller dans QGIS et d'ouvrir le jeu de données où vous avez travaillé. Vous aurez alors la

Annexe G : Travaux pratiques, se familiariser avec grass

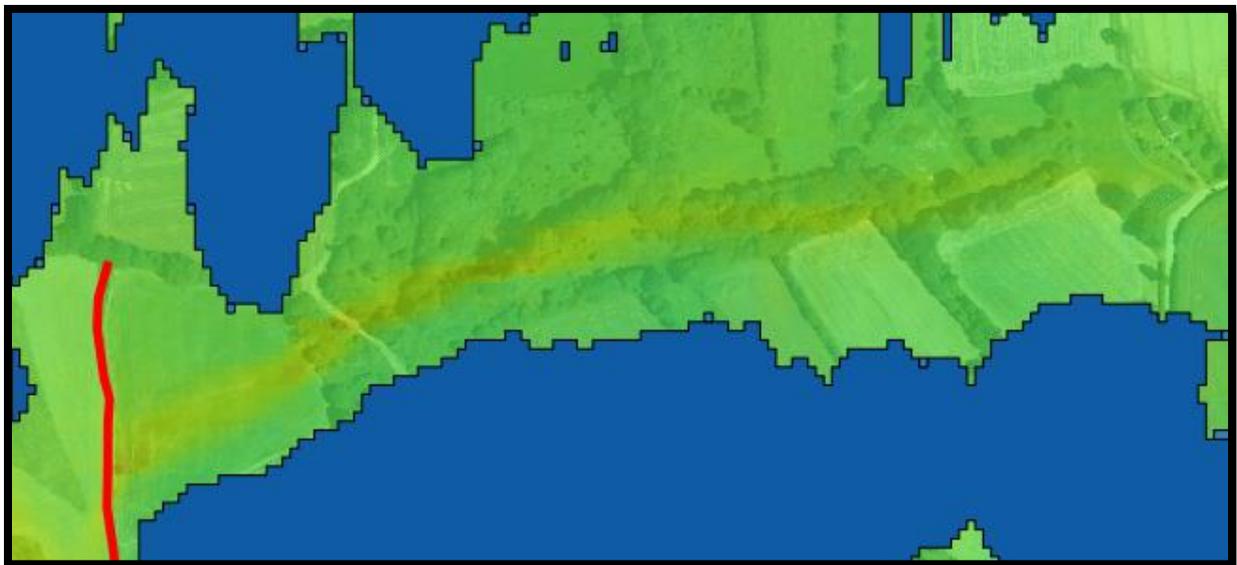
possibilité d'afficher 2 cartes vecteur (isoligne et typologie) et 2 cartes raster (indice humide et cartes des pentes)

NB : vos cartes raster seront grisées ou illisible si vous ne les représentez pas correctement dans QGIS. Pour ce faites un clic droit sur vos couches et sélectionnez propriétés et dans l'onglet style sélectionnez pseudo couleurs :



Vous pourrez alors utiliser la 2.5D des cartes et pourrez les utiliser en jouant sur la transparence de ces dernières (dans propriétés, l'onglet transparence).

Félicitation ! Vous avez lancé, votre premier module/script sous GRASS ! Vous pouvez maintenant refaire la même opération en modifiant la résolution vous verrez le résultat changer (n'augmentez pas trop les chiffres sinon, le module sera lent, vous risqueriez d'avoir un message signalant qu'il faut trop de mémoire pour ce calcul).



EXERCICE 4 : ETABLISSEZ LES RESEAUX THEORIQUES :

Conseil : commencez par les plans d'eau (sans aide vous pourrez facilement supprimer ceux qui n'étaient pas présents en 1951).

Puis passez à l'étape avec masque pour repérer les cours d'eau oubliés (jongler entre orthophoto ancienne et actuelle pour éviter certains oublis).

ETUDIER ET RENSEIGNER LES LINEAIRES : V.HYDRO

Maintenant que les réseaux sont constitués, il faut les renseigner pour cela, vous devez utiliser le script **V.Hydro**. Il est un peu plus complexe à lancer que **R.topo**, car il utilise des fichiers SQL et des opérations plus longues et délicates.



1°) Le fichier de script **V.Hydro** (v.hydro.py) doit toujours être accompagné des fichiers texte : `SQL_PE` et `traitement_sql_module_v_hydro`. Sans rentrer dans les détails ceux qui sont familiers du langage SQL peuvent ouvrir ces fichiers avec le bloc note, ils y trouveront des requêtes familières. Il faut savoir que GRASS a quelques lacunes sur la gestion des données, il est donc nécessaire de l'utiliser en lien avec un DBMS (DataBase Management System) en l'occurrence dans notre cas, `SQLITE` a été utilisé. [Ce qu'il faut retenir c'est qu'il s'agit d'un système de gestion des bases de données complémentaires à l'utilisation de GRASS, ce dernier est lié de base avec le logiciel et appelé par le script, vous n'avez donc rien à faire]



2°) Ce script est rédigé en langage python, qui permet d'utiliser et de faire interagir de nombreux logiciels. Vous n'avez pas à connaître ce langage pour utiliser le script/module, une interface graphique existe.

3°) Sensibilité du module : il faut impérativement qu'aucun traitement n'ait été réalisé dans le jeu de données GRASS lors du lancement du module (**r.topo** n'est pas incompatible), en effet de base GRASS utilise le DBMS : `DBF` (plus depuis la version 7). Si une base `DBF` existe, il y a des conflits et le script ne peut pas être mené à terme.

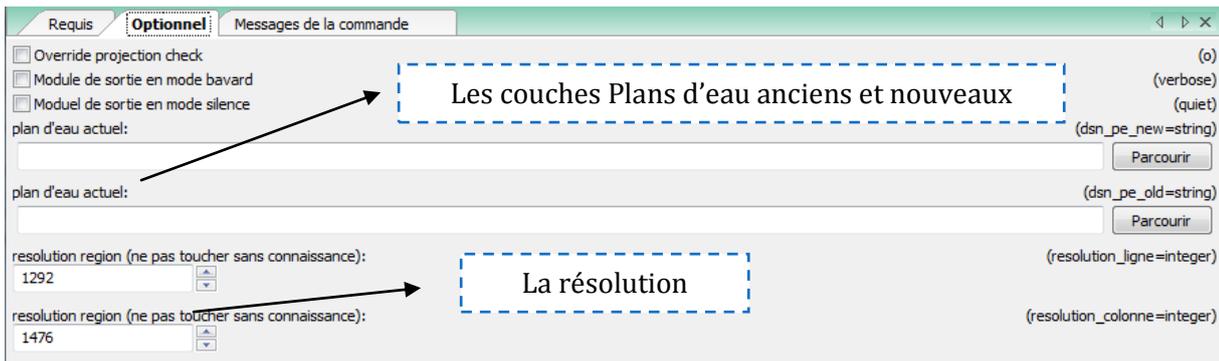
4°) Lancement du script/module :

Annotations:

- Réseau théorique actuel
- Réseau théorique ancien
- MNT
- Nom en sortie (doit être explicite et bien reconnaissable)

Rien de très compliqué : pas besoin d'introduire les couches sous GRASS, vos couches shape (ou TAB) fonctionneront parfaitement.

Les options : Le module peut fonctionner sans les plans d'eau mais les informations relatives à ces derniers ne seront donc pas extraites



La résolution est dans ce module moins importante, les calculs qui y sont effectués étant plus complexes, le temps de calcul peut être très long avec une résolution trop forte. Elle est ici à 5m², ce qui reste relativement acceptable.

Une fois les calculs effectués vous possédez les couches suivantes :

8 couches vectorielles :

- ✓ La couche « _new » linéaire théorique actuel renseigné
- ✓ La couche « _old » linéaire théorique ancien renseigné
- ✓ La couche PE_old, PE ancien renseigné
- ✓ La même pour les PE actuels
- ✓ Les isolignes
- ✓ L'indice topographique d'humidité (WTI) [! couche lourde]
- ✓ La typologie topologique selon J.WOOD
- ✓ Les zones modifiées

2 couches raster :

- ✓ La carte des pentes
- ✓ Le WTI

EXERCICE 5 : PASSEZ VOS COUCHES (PE ET CE) DANS LE SCRIPT V.HYDRO

POUR ALLER PLUS LOIN : LE POG (PROGRAMME D'OBSERVATION GUIDE) ET R



Basé sur la couche « zones de modifiées » il est encore en cours d'élaboration, il met en évidence les zones modifiées dans le secteur d'étude.

Statistique spatiale : un dernier module est en cours de réalisation basé sur le logiciel R (en interaction avec GRASS), il permet d'étudier automatiquement les résultats et d'en ressortir une exploitation viable.

EXERCICE 6 : TRACEZ UN CHEMIN POUR LE POG SUR VOTRE SECTEUR.

ANNEXE H : PRESENTATION D'AVANT TRAVAUX PRATIQUE GRASS

ONEMA
Office National de l'Eau et des Ressources Aquatiques

A la recherche du réseau hydrographique inconnu

Usage des anciens référentiels photographiques et des modules d'études topologiques & hydrographiques

Remi Nguyen Van 18/07/12

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

- A la recherche de l'ancien réseau hydrographique
- Les anciens référentiels photographiques et cartographiques
- Etapes :
 - Acquisition des données
 - Constitution des réseaux hydrographiques
 - Acquisition des données d'études
 - Exploitation

ONEMA

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

- Quelles données va-t-on récolter ?
 - Evaluer les phénomènes de rectification
 - Evaluer les phénomènes de déplacements
 - Evaluer les phénomènes d'enterrements
 - Evaluer l'évolution des PE
- Dans une logique temporelle

ONEMA

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

Q Geographic Resources Analysis Support System [GRASS]

- Le concept de région
- La projection
- La 2,5 D

D

ONEMA

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

Q Résolution et précision

Module: R.topologie_hydro_complexe				
Ligne	Colonne	Nombre_Pixel	Tps (s)	Resolution (m2)
574	656	376544	35	26.55732132
861	984	847224	65	11.80325392
1292	1476	1906992	118	5.243860488
1615	1845	2979675	163	3.356070712
2019	2306	4655814	216	2.147852126
2100	2400	5040000	241	1.984126984
2221	2536	5632456	258	1.775424433
2888	3297	9521736	502	1.050228056

Module: V.hydro				
Ligne	Colonne	Nombre_Pixel	Tps (s)	Resolution (m2)
574	656	376544	496	26.55732132
861	984	847224	836	11.80325392
1292	1476	1906992	1182	5.243860488
1615	1845	2979675	1828	3.356070712

ONEMA

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

Q **python**

- Les scripts et la logique de module
- GRASS dans QGIS

Icônes de gestion des jeux de données
 Afficher des vecteurs ou raster déjà présent dans le jeu de données
 La boîte à outil GRASS qui permet d'accéder aux modules
 Paramètres de région

ONEMA

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

Orthorectification et géoréférencement ?

Ortho quoi?

Méthode de rectification : Thin plate spline ou polynomiale 2 ?

- Linéaire
- Helmert
- Polynomiale 1
- Polynomiale 2
- Polynomiale 3
- Thin plate spline
- Projective

Thin plate spline : recompose complètement l'image / précise / nécessite de nombreux points de calage (dans les environs de 100).

Polynomiale 2 : transformation plus simple / moins précise / nécessite dans les 40-50 points.

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

Aide à la constitution des réseaux

Le réseau hydrographique complet tel qu'il existe dans la réalité et que nous cherchons à mieux connaître.

Le réseau hydrographique employé couramment et pourtant incomplet.

Via des relevés sur les orthophotos actuelles et les cartes IGN, il est possible de se rapprocher du réseau réel.

Via les anciennes orthophotos, il est possible d'évaluer comment à évoluer le réseau hydrographique.

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

Le problème du biais observateurs ?

L'usage du module R.topo_hydro_complete :
L'approche topologique
Le MNT

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

Classification de J.WOOD

Echelle d'étude

Qualité hydrographique ?

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

Le potentiel zone humide de Beven Kirkby (IBK) ou Topographic wetness index (TWI)

$TWI = \ln(a/\tan(b))$ où a = surface drainée en un point et b= pente

100 = Probabilité certaine

Test bazougers : de 1% à 22%

0 = Aucune probabilité

Illustration de l'indice du TWI

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

Technique d'investigation: le masque

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

- **Technique d'investigation : compléments**

ISOLIGNE

INTENSITÉ DES PENTES

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

- **Bilan de l'information au préalable de r.topo_hydro_complete**
 - MNT
 - Ortho ancienne [rectification]
 - Ortho actuelle [découpage]
 - Carte IGN [découpage]
- **Les plus :**
 - Les routes
- **Sortie :**
 - ISOLIGNES (5m)
 - Intensité des pentes
 - Classification de WOOD
 - Indice de beven kirkby

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

- **Données nécessaires en entrée :**
 - Ancien réseau hydrographique théorique
 - Réseau hydrographique actuel
 - Ancien PE
 - Nouveaux PE
 - MNT
- **Données en sortie : (BRUT)**
 - Taux de sinuosité
 - Dimension fractale (Mandelbrot)
 - Longueur
 - Classement WOOD
 - Potentiel TWI
 - Nombre de PE associé

- Nombre de PE associé selon la nature
- Présence dans un talweg
- ID ancien associé
- Dap : Distance de déplacement
- Pente
- Ancien taux de sinuosité
- Ancienne dimension fractale
- Aire de PE associé
- Variation de sinuosité
- Variation de la dimension fractale
- Indice PE
- Indice PE pondéré

Temps de traitement : environ 20min pour une précision à 3m² près

Concepts de l'étude - Initiation à GRASS - Mise en pratique - V.HYDRO - Résultats et perspectives

- **Exploitation statistique - Etat des lieux et logiques spatiales**
- **Compléments d'information terrain par Protocole d'Observation Guidé (POG)**

Vers des plans d'actions (Note pondération plan d'eau, déplacement, variation de sinuosité et fractalité, enterrement)

Extrait du vecteur en sortie de V.hydro : irrégularité

Merci de votre attention

C'est l'heure du TP !

ANNEXE I : TABLE DES DONNEES RECUPEREES SUR LES RESEAUX

LA BASE DE DONNEES TRONÇON THEORIQUE ACTUEL : 37 CHAMPS

GENERALITES

- ❖ ID_TRON : l'identifiant du tronçon servant de clé primaire (identifiant unique pour chaque entité) [ENTIER]
- ❖ ID_SITE : Chaque tronçon est étiqueté en fonction de son appartenance à un site [ENTIER]
- ❖ INDICE_KIRKBY : Précédemment explicité, cette donnée sert au calcul de la note de fiabilité [ENTIER]
- ❖ WOOD : Type de morphologie (selon J.WOOD) où se situe le cours d'eau [STRING]
- ❖ STRAHLER : Rang attribué au cours d'eau selon l'ordination de Strahler [ENTIER]
- ❖ LONG : Longueur du linéaire [DECIMAL / FLOAT en Km]
- ❖ Pente : La pente [FLOAT en %]

SINUOSITE

- ❖ T_S : Le taux de sinuosité du cours d'eau actuellement [FLOAT]
- ❖ T_F : Le taux de « fractalité » du cours d'eau actuellement [FLOAT]
- ❖ ID_A : Identifiant de l'ancien cours d'eau associé au cours d'eau [ENTIER, clé secondaire]
- ❖ T_S_A : Le taux de sinuosité du cours d'eau ancien [FLOAT]
- ❖ T_F_A : Le taux de « fractalité » du cours d'eau ancien [FLOAT]
- ❖ V_S : La variation de la sinuosité du cours d'eau au cours des 50 dernières années [FLOAT, pourcentage]⁹
- ❖ V_F : La variation de la « fractalité » du cours d'eau au cours des 50 dernières années [FLOAT, pourcentage]

DEPLACEMENT

- ❖ D : Entier renseignant sur la possibilité d'un déplacement important [ENTIER]
- ❖ Dap : Distance de déplacement du linéaire [FLOAT]
- ❖ CHT : Entier qualifiant le déplacement du linéaire [FLOAT, décimal] (nul si pas de déplacement)

PLANS D'EAU

- ❖ NB_PE : Nombre de plans d'eau associé au cours d'eau [ENTIER]
- ❖ NB_PED : Nombre de plans d'eau en dérivation associés au cours d'eau [ENTIER]
- ❖ NB_PEB : Nombre de plans d'eau en barrage associés au cours d'eau [ENTIER]
- ❖ A_PE : Aire cumulée des plans d'eau associés au cours d'eau [FLOAT en km²]
- ❖ A_PED : Aire cumulée des plans d'eau en dérivation associés au cours d'eau [FLOAT en km²]
- ❖ A_PEB : Aire cumulée des plans d'eau en barrage associés au cours d'eau [FLOAT en km²]
- ❖ IND_PE : Indice plan d'eau [FLOAT sans unité]
- ❖ IND_PE_POND : Indice plan d'eau pondéré [FLOAT sans unité]

LA BASE DE DONNEES PLANS D'EAU

- ❖ ID_PE : Clé primaire définissant les plans d'eau (ENTIER / clé primaire)
- ❖ ID_CE : Clé primaire du cours d'eau associé au plan d'eau [ENTIER]
- ❖ NAT : Entier désignant la nature du plan d'eau [ENTIER]
- ❖ AIRE : Aire en km² [FLOAT]
- ❖ EA : Entier renseignant sur l'existence du plan d'eau sur un référentiel ancien. [ENTIER]
- ❖ ID_SITE : Identifiant du site dans lequel se trouve le cours d'eau

LA BASE DE DONNEES SITES

- ❖ ID_SITE : Clé primaire pour les sites (identifiant unique) [ENTIER]
- ❖ LONG_ANC : Longueur de linéaire cumulée du réseau ancien théorique sur le site [DECIMAL / FLOAT en km]
- ❖ LONG_ACT : Longueur de linéaire cumulée du réseau actuel théorique sur le site [DECIMAL / FLOAT en km]
- ❖ LIN_T2BV_ANC : Longueur de linéaire en tête de bassin versant cumulée du réseau ancien théorique sur le site (rang de strahler 1 et 2). [DECIMAL / FLOAT en km]
- ❖ LIN_T2BV_ACT : Longueur de linéaire en tête de bassin versant cumulée du réseau actuel théorique sur le site (rang de strahler 1 et 2). [DECIMAL / FLOAT en km]

- ❖ DENSITE_DRAINAGE_ANC : Densité de drainage du réseau ancien théorique sur le site [DECIMAL / FLOAT]
- ❖ DENSITE_DRAINAGE_ACT: Densité de drainage du réseau actuel théorique sur le site [DECIMAL / FLOAT]
- ❖ DENSITE_DRAINAGE_T2BV_ANC : Densité de drainage en tête de bassin versant (rang de strahler 1 et 2) du réseau ancien théorique sur le site.
- ❖ DENSITE_DRAINAGE_T2BV_ACT : Densité de drainage en tête de bassin versant (rang de strahler 1 et 2) du réseau actuel théorique sur le site

ANNEXE J : NOTICE ASSOCIEE A LA FICHE DE TERRAIN T2BV RNV

ID TRONCON

Identifier du tronçon sur l'étude nationale

GENERALITES

STRAHLER

Rang de strahler présumé

CARTE IGN

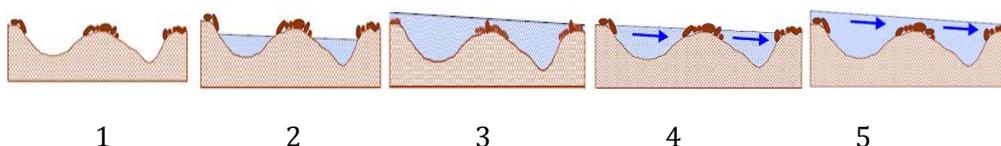
- 0 : Non présent sur la carte IGN (au 1 : 25000)
- 1 : Présent sur la carte

COORDONNEES GPS (AMONT, AVAL)

Fournir les coordonnées amont et aval, permet à la fois de localiser le cours d'eau et d'évaluer la longueur de linéaire parcourue.

AIDE A LA DEFINITION CE

MODALITE D'ECOULEMENT



- 1 : Pas d'eau visible
- 2 : Surface en eau dans les « profonds » uniquement
- 3 : Surface en eau mais absence d'écoulements
- 4 : Ecoulement visible et interstitiel
- 5 : Ecoulement continu

BERGES MARQUEES [OUI/NON]

Le cours d'eau possède t-il des berges marquées ? (> 10cm)

VIE BIOLOGIQUE

Une vie biologique est elle observable ?

- 0 : Non
- 1 : Oui (Flore)
- 2 : Oui (Faune)
- 3 : Oui (Faune & Flore)

VARIATION DE FACIES [OUI/NON]

Peut-on observer des changements de faciès ?

- 0 : Non
- 1 : Oui

DISTANCE DE VARIATION MOYENNE

Quel est la distance moyenne de changement de faciès sur le cours d'eau ? (en m)

NOMBRE DE RADIERS

Combien de radiers sont visibles sur le cours d'eau ?

GRANULOMETRIE MAJEURE

Quelle est la granulométrie la plus représentée du radier le plus important ?

- 1 : Limon ou Vase (0 à 50 μm)
- 2 : Sables fins (50 μm à 2mm)
- 3 : Graviers (2mm à 2cm)
- 4 : Cailloux (2 à 20 cm)
- 5 : Blocs (>20cm)

SECONDAIRE

Quelle est la seconde granulométrie la plus représentée du radier le plus important ?

- 1 : Limon ou Vase (0 à 50 μm)
- 2 : Sables fins (50 μm à 2mm)
- 3 : Graviers (2mm à 2cm)

- 4 : Cailloux (2 à 20 cm)
- 5 : Blocs (>20cm)

TYPOLOGIE

- 0 : Fossé
- 1 : Talweg
- 2 : Cours d'eau

ETAT DU LIT MINEUR

ANTRHOPISATION

Observe-t-on des modifications du profil du cours d'eau par l'homme ?

0 : Non, le profil semble naturel

1 : Enterrement

2 : Recalibration

3 : Déplacement

4 : Déplacement Hors Talweg

PIETINEMENT [OUI/NON]

Y a-t-il une suspicion de piétinement excessif du cours d'eau ?

RESEAU HYDROGRAPHIQUE

PRELEVEMENT [OUI/NON]

Est il possible d'observer des prélèvements sur le linéaire parcouru ?

FOSSE [OUI/NON]

Peut-on observer des fosses sur le linéaire parcouru ?

DRAIN [OUI/NON]

Peut-on observer du drainage sur le linéaire parcouru ?

PROTECTION DES BERGES [OUI/NON]

Les berges du cours d'eau sont elles artificialisées ?

LIT MAJEUR

RIPISYLVE

- Une ripisylve est elle présente ?

- 0 : Non
- 1 : Oui (1 rive)
- 2 : Oui (2 rives)

RIPISYLVE (FORME)

Cette ripisylve est elle sous forme de bandes ou de bosquet [Zone boisée et pas seulement un corridor] ?

- 0 : Absence de ripisylve
- 1 : Ripisylve linéaire
- 2 : Ripisylve zonale

ZONES HUMIDES [OUI/NON]

Indiquer dans la case si des zones humides ont pu être observées

ZNT (ZONES NON TRAITEES) [OUI/NON]

Y a-t-il une infraction sur le respect des zones non traitées ?

0 : Non il n'y a pas infraction où il n'y a pas de traitements observables aux alentours

1 : Oui, il semble y avoir un non respect des ZNT

BANDES ENHERBÉES [OUI/NON]

Existe-t-il des bandes enherbées autour du linéaire ?

ESPACES DE LIBERTES [OUI/NON]

Existe-t-il des espaces de liberté autour du linéaire ?

LARGEUR PLEIN BORD (LPB)

Mesure sur le transect le plus représentatif de la largeur plein bord.

HAUTEUR DE PLEIN BORD (HPB)

Effectuer 5 mesures de la hauteur plein bord sur le transect le plus représentatif selon la règle : une station tous les 1/7 de la largeur plein bord (sans faire de relevés pour les deux extrémités).

HAUTEUR ET LARGEUR MOUILLÉE (HM ET LM)

Mesure de la Hauteur et Largeur mouillées sur le transect le plus représentatif.

MESURES DE LA FICHE PONCTUELLE

IDENTIFIANT DU POINT

Uniquement l'identifiant du point.

IDENTIFIANT DU COURS D'EAU

Il s'agit de l'identifiant du cours d'eau sur lequel le point est localisé

COORDONNEES DU POINT

Coordonnées GPS du point

NATURE

Nature du point

1. Obstacles
2. Seuils
3. Pollution phyto
4. Pollution matière organique
5. Pollution hydrocarbure
6. Autres pollutions
7. Plans d'eau en dérivation
8. Plans d'eau en barrage

INTENSITE

Relevé de l'intensité du point variant selon sa nature

- 1 : Hauteur de chute (m)
- 2 : Hauteur de chute (m)
- 3 : ?
- 4 : ?
- 5 : ?
- 6 : ?
- 7 : Surface d'eau approximative (m²)
- 8 : Surface d'eau approximative (m²)

PHOTO

A-t-on pris une photo ?

- 0 : Non
- 1 : Oui

REMARQUES

INVENTAIRE

- GPS

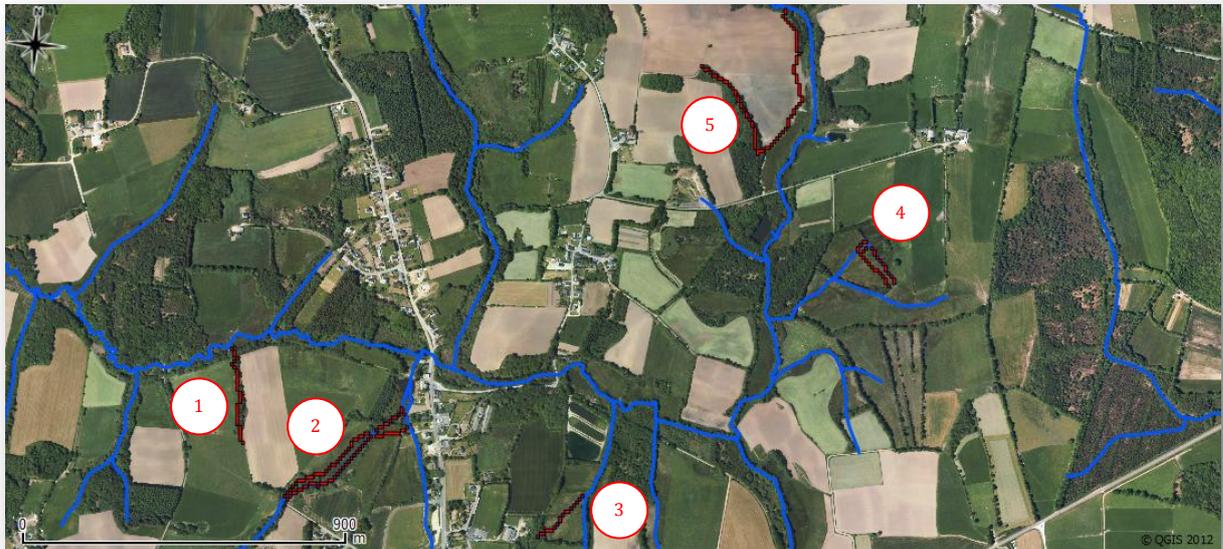
Annexe J : Notice associée à la fiche de terrain T2BV RNV

- FICHE SITE
- FICHE ITINERAIRE
- 10 FICHES LINEAIRE
- 5 FICHES PONCTUELLE
- APPAREIL PHOTO
- PERCHE DE MESURE
- 2 SUPPORTS POUR ECRIRE
- BOTTES
- STYLO

Annexe J : Notice associé à la fiche de terrain T2BV RNV

ID TRONCON	Réseau hydrographique				Lit Majeur														Remarques
	Prélèvement	Fossé	Drain	Protection des berges	Ripisylve	Ripisylve (forme)	Zones humides	ZNT	Bandes enherbées	Espaces de libertés	LPB	HPB (1)	HPB (2)	HPB (3)	HPB (4)	HPB (5)	LM	HM	
32	1	3	1	0	1		1		1	1	12	20	13	15	9	5	22	9	Ceci est un exemple

ANNEXE L : EXEMPLE DE POG



Carte illustrant la sortie de la couche zones d'intérêt dans une zone du site 9, Berne (56)

-  Zones signalées comme modifiées par V.hydro
-  Réseau hydrographique théorique actuel
-  Sites remarquables

Le POG désigne 5 points à visiter :

Les sites 1, 3 et 5 semblent désigner de possibles oublis ou enterrements

Les sites 2 et 4 semblent plutôt désigner des modifications importantes du réseau

A noter qu'il faut rajouter à ces points, les zones qui sont identifiées par la comparaison du réseau théorique avec la BD TOPO et qui permettront de mettre à jour le réseau sur le terrain.

Pour la procédure du POG qui consiste en un relevé de terrain, consulter l'annexe O « notice terrain du POG ».

ANNEXE M : ZONES MORPHOLOGIQUEMENT ENDOMMAGEES (EXPLOITATION DES DONNEES)





Jeu de cartes illustrant la dégradation de la sinuosité du ruisseau de Kerustang à Kernascléden sur le site 9 (Berne dans le 56)

- Réseau théorique actuel
- Réseau théorique ancien

La variation de sinuosité considérablement élevée (-39%) est un indicateur pertinent pour repérer des dégradations importantes du réseau hydrographique. Ainsi, il a été possible d'identifier le secteur suivant à partir de cet indice. Il est possible d'en dresser le bilan suivant : (entre les deux confluences au centre).

	Longueur (en mètres)	Sinuosité (en degrés)
Réseau actuel	205	1.02
Réseau ancien	348	1.73
A vol d'oiseau	201	1.00

Perte de sinuosité	0.71
Variation de sinuosité	41% (différence due à la modification de la structure du réseau hydrographique et du découpage par confluence)
Perte de linéaire de cours d'eau	143m

Ces travaux de rectification (recalibrage sans doute aussi au vu de l'importance des travaux), n'ont certes pas entraîné l'enterrement d'un cours d'eau mais **143m** de linéaire ont disparu à cause de la diminution de la sinuosité.

ANNEXE N : DISTRIBUTION STATISTIQUE DU TAUX DE SINUOSITE (TS)

Données	Effectifs	Moyenne	Ecart type	variance	Mediane	Maximum	Ecart max	coefficient de variation	1er quartile	3ème Quartile	90% des données	Ecart interquartile
Ensemble	6353	1,080	0,139	0,019	1,038	2,580	1,580	0,129	1,006	1,104	1,206	0,098
Dpt22	582	1,101	0,139	0,019	1,064	2,377	1,377	0,126	1,020	1,133	1,220	0,113
Dpt29	2147	1,084	0,163	0,026	1,044	2,588	1,588	0,150	1,007	1,111	1,207	0,103
Dpt35	1395	1,076	0,123	0,015	1,027	2,067	1,067	0,114	1,001	1,094	1,230	0,092
Dpt56	1192	1,065	0,087	0,008	1,036	1,676	0,676	0,082	1,007	1,036	1,161	0,029
Ensemble_T2BV	3909	1,071	0,103	0,011	1,038	2,588	1,588	0,097	1,008	1,093	1,174	0,085
Dpt22_T2BV	358	1,080	0,089	0,008	1,053	1,767	0,767	0,082	1,022	1,110	1,167	0,089
Dpt29_T2BV	1169	1,074	0,102	0,010	1,044	2,588	1,588	0,095	1,010	1,098	1,184	0,088
Dpt35_T2BV	964	1,067	0,107	0,011	1,024	1,889	0,889	0,100	1,001	1,082	1,203	0,081
Dpt56_T2BV	871	1,056	0,074	0,005	1,034	1,676	0,676	0,070	1,001	1,076	1,139	0,075
Site 5	888	1,089	0,163	0,027	1,033	2,634	1,634	0,150	1,002	1,109	1,226	0,107
Site 9	851	1,064	0,085	0,007	1,036	1,594	0,594	0,080	1,008	1,085	1,160	0,077
Site 12	388	1,062	0,097	0,009	1,025	1,608	0,608	0,091	1,001	1,075	1,181	0,073
Site 13	241	1,075	0,098	0,010	1,049	1,676	0,676	0,091	1,014	1,092	1,169	0,078
Site 14	617	1,067	0,113	0,013	1,024	2,067	1,067	0,106	1,001	1,024	1,196	0,022
Site 19	753	1,074	0,108	0,012	1,044	1,744	0,744	0,100	1,010	1,109	1,213	0,099
Site 20	270	1,103	0,146	0,021	1,043	1,889	0,889	0,133	1,005	1,141	1,296	0,136
Site 21	235	1,112	0,119	0,014	1,070	1,931	0,931	0,107	1,034	1,147	1,257	0,113
Site 22	246	1,093	0,090	0,008	1,070	1,529	0,529	0,083	1,027	1,132	1,212	0,105
Site 23	474	1,076	0,132	0,017	1,038	2,588	1,588	0,123	1,006	1,094	1,201	0,087
Site 24	541	1,095	0,255	0,065	1,048	1,786	0,786	0,233	1,008	1,121	1,211	0,113
Site 25	231	1,126	0,187	0,035	1,074	2,378	1,378	0,166	1,033	1,141	1,263	0,108
Site 5_T2BV	547	1,075	0,138	0,019	1,030	2,531	1,531	0,128	1,003	1,098	1,192	0,095

Annexe O : Distribution statistique du Taux Sinuosité Ancien (TSA)

Site 9_T2BV	640	1,054	0,070	0,005	1,033	1,549	0,549	0,066	1,006	1,075	1,139	0,069
Site 12_T2BV	300	1,062	0,096	0,009	1,024	1,592	0,592	0,090	1,001	1,074	1,191	0,073
Site 13_T2BV	231	1,061	0,085	0,007	1,040	1,676	0,676	0,080	1,011	1,078	1,128	0,067
Site 14_T2BV	456	1,059	0,095	0,009	1,022	1,662	0,662	0,089	1,001	1,070	1,154	0,070
Site 19_T2BV	455	1,068	0,089	0,008	1,039	1,640	0,640	0,084	1,010	1,088	1,169	0,078
Site 20_T2BV	208	1,092	0,139	0,019	1,039	1,889	0,889	0,128	1,000	1,117	1,249	0,117
Site 21_T2BV	157	1,100	0,111	0,012	1,069	1,931	0,931	0,010	1,031	1,130	1,227	0,099
Site 22_T2BV	235	1,075	0,075	0,006	1,052	1,529	0,529	0,070	1,018	1,108	1,167	0,091
Site 23_T2BV	300	1,066	0,117	0,014	1,038	2,588	1,588	0,109	1,006	1,083	1,158	0,078
Site 24_T2BV	257	1,077	0,096	0,009	1,046	1,630	0,630	0,089	1,009	1,108	1,190	0,099
Site 25_T2BV	123	1,090	0,110	0,012	1,057	1,767	0,767	0,101	1,028	1,111	1,183	0,084

ANNEXE O : DISTRIBUTION STATISTIQUE DU TAUX SINUSITE ANCIEN (TSA)

Données	Effectifs	Moyenne	Ecart type	variance	Mediane	Maximum	Ecart max	coefficient de variation	1er quartile	3ème Quartile	90% des données	Ecart interquartile
Ensemble	8073	1,086	0,156	0,024	1,044	4,700	3,700	0,144	1,007	1,109	1,216561	0,101335
Dpt22	839	1,096	0,131	0,017	1,058	2,378	1,378	0,119	1,017	1,126	1,219966	0,108265
Dpt29	2496	1,081	0,150	0,022	1,045	2,580	1,580	0,138	1,008	1,111	1,205093	0,102707
Dpt35	2245	1,089	0,200	0,040	1,034	4,700	3,700	0,184	1,001	1,103	1,22975	0,101362
Dpt56	1421	1,065	0,086	0,007	1,037	1,676	0,676	0,081	1,008	1,087	1,163899	0,079253
Ensemble_T2BV	4888	1,076	0,108	0,012	1,044	2,710	1,710	0,100	1,009	1,099	1,197603	0,089837
Dpt22_T2BV	462	1,084	0,092	0,009	1,058	1,767	0,767	0,085	1,022	1,109	1,18258	0,086154
Dpt29_T2BV	1378	1,074	0,096	0,009	1,047	2,588	1,588	0,089	1,012	1,099	1,184918	0,086261
Dpt35_T2BV	1395	1,076	0,125	0,016	1,033	2,710	1,710	0,116	1,002	1,094	1,212823	0,091681
Dpt56_T2BV	977	1,059	0,075	0,006	1,036	1,676	0,676	0,071	1,008	1,079	1,143217	0,070432
Site 5	988	1,111	0,148	0,022	1,058	2,443	1,443	0,133	1,012	1,144	1,276507	0,132702

Annexe O : Distribution statistique du Taux Sinuosité Ancien (TSA)

Site 9	889	1,064	0,085	0,007	1,036	1,614	0,614	0,080	1,008	1,087	1,158826	0,078511
Site 12	507	1,071	0,101	0,010	1,033	1,672	0,672	0,095	1,003	1,093	1,187563	0,089591
Site 13	309	1,075	0,093	0,009	1,049	1,676	0,676	0,087	1,017	1,090	1,167591	0,073055
Site 14	777	1,089	0,198	0,039	1,034	2,449	1,449	0,182	1,002	1,107	1,235301	0,104937
Site 19	793	1,082	0,104	0,011	1,046	1,744	0,744	0,096	1,011	1,112	1,21274	0,101524
Site 20	371	1,098	0,164	0,027	1,045	2,710	1,710	0,149	1,007	1,128	1,247113	0,121168
Site 21	263	1,107	0,109	0,012	1,069	1,642	0,642	0,099	1,034	1,141	1,257181	0,116589
Site 22	314	1,094	0,088	0,008	1,070	1,417	0,417	0,080	1,025	1,133	1,221355	0,107666
Site 23	503	1,074	0,112	0,012	1,040	2,588	1,588	0,104	1,007	1,093	1,199984	0,086122
Site 24	605	1,090	0,241	0,058	1,046	1,768	0,768	0,221	1,009	1,121	1,203826	0,111533
Site 25	288	1,112	0,173	0,030	1,064	2,738	1,738	0,155	1,023	1,127	1,234958	0,10383
Site 5_T2BV	676	1,102	0,133	0,018	1,059	2,192	1,192	0,121	1,017	1,140	1,256291	0,122525
Site 9_T2BV	670	1,055	0,069	0,005	1,033	1,549	0,549	0,066	1,007	1,075	1,139758	0,067242
Site 12_T2BV	307	1,067	0,086	0,007	1,045	1,676	0,676	0,081	1,013	1,082	1,15612	0,069337
Site 13_T2BV	619	1,078	0,124	0,015	1,032	2,449	1,449	0,115	1,001	1,099	1,22975	0,097286
Site 14_T2BV	499	1,071	0,088	0,008	1,041	1,640	0,640	0,083	1,012	1,094	1,174062	0,082286
Site 19_T2BV	323	1,087	0,154	0,024	1,040	2,710	1,710	0,142	1,003	1,099	1,203378	0,095992
Site 20_T2BV	189	1,098	0,097	0,009	1,069	1,642	0,642	0,089	1,034	1,130	1,227846	0,096017
Site 21_T2BV	453	1,066	0,101	0,010	1,032	1,672	0,672	0,095	1,003	1,084	1,176525	0,080735
Site 22_T2BV	262	1,084	0,073	0,005	1,065	1,388	0,388	0,068	1,029	1,115	1,191967	0,085569
Site 23_T2BV	348	1,067	0,111	0,012	1,042	2,588	1,588	0,104	1,008	1,042	1,160018	0,034341
Site 24_T2BV	342	1,073	0,086	0,007	1,042	1,615	0,615	0,080	1,011	1,104	1,185413	0,093495
Site 25_T2BV	200	1,083	0,113	0,013	1,047	1,767	0,767	0,104	1,015	1,105	1,173167	0,090043

ANNEXE P : DISTRIBUTION STATISTIQUE DES DONNEES SUR LA LONGUEUR DE LINEAIRE (EN M)

Données	BD TOPO	Theorique actuel	Theorique ancien	Ecart Topo_Theorique	Ecart ancien_actuel	Densite drainage actuel	Densite drainage ancien	Densite drainage TOPO
Ensemble	5634804	7151514	8559252	1516710	1407738	2,751	3,292	2,167
Dpt22	246667	377477	515561	130810	138084	1,887	2,578	1,233
Dpt29	651553	812632	982516	161079	169884	2,032	2,456	1,629
Dpt35	354532	543524	939454	188992	395930	1,812	3,132	1,182
Dpt56	352782	472134	587807	119352	115673	2,361	2,939	1,764
Dpt44	757594	881908	921086	124314	39178	4,410	4,605	3,788
Dpt53	418998	578074	772563	159076	194489	2,890	3,863	2,095
Dpt49	620931	751548	876459	130617	124911	1,879	2,191	1,552
Dpt72	517162	896898	1049450	379736	152552	2,242	2,624	1,293
Dpt85	1714585	1837319	1914358	122734	77039	6,124	6,381	5,715
Ensemble_T2BV	2726060	3406475	3843266	680415	436791	1,310	1,478	1,048
Dpt22_T2BV	143431	223277	256215	79846	32938	1,116	1,281	0,717
Dpt29_T2BV	424098	477396	982515	53298	505119	1,193	2,456	1,060
Dpt35_T2BV	268029	359829	939453	91800	579624	1,199	3,132	0,893
Dpt44_T2BV	240037	278011	292724	37974	14713	1,390	1,464	1,200
Dpt53_T2BV	278379	339099	432187	60720	93088	1,695	2,161	1,392
Dpt49_T2BV	330426	361248	402619	30822	41371	0,903	1,007	0,826
Dpt72_T2BV	358635	591856	545429	233221	-46427	1,480	1,364	0,897
Dpt85_T2BV	421519	445984	484512	24465	38528	1,487	1,615	1,405
Dpt56_T2BV	261506	329775	587807	68269	258032	1,649	2,939	1,308
Site 5	259724	317674	336736	57950	19062	3,177	3,367	2,597
Site 9	238160	277109	312790	38949	35681	2,771	3,128	2,382
Site 12	118783	177909	272655	59126	94746	1,779	2,727	1,188
Site 13	114622	195025	275017	80403	79992	1,950	2,750	1,146

Annexe P : Distribution statistique des données sur la longueur de linéaire (en m)

Site 14	140130	201868	383281	61738	181413	2,019	3,833	1,401
Site 19	203899	275895	309884	71996	33989	2,759	3,099	2,039
Site 20	95619	163747	283517	68128	119770	1,637	2,835	0,956
Site 21	103932	149836	192382	45904	42546	1,498	1,924	1,039
Site 22	93040	218098	294855	125058	76757	2,181	2,949	0,930
Site 23	168403	199922	228254	31519	28332	1,999	2,283	1,684
Site 24	175319	186979	251995	11660	65016	1,870	2,520	1,753
site1	161266	320519	348286	159253	27767	3,205	3,483	1,613
site2	126313	188686	230332	62373	41646	1,887	2,303	1,263
site3	123243	174241	250462	50998	76221	1,742	2,505	1,232
site4	82367	194649	210339	112282	15690	1,946	2,103	0,824
site6	145978	146916	159877	938	12961	1,469	1,599	1,460
site7	419182	457073	478424	37891	21351	4,571	4,784	4,192
site27	102279	188552	216170	86273	27618	1,886	2,162	1,023
site10	163085	215742	233896	52657	18154	2,157	2,339	1,631
site11	1089464	1144635	1169537	55171	24902	11,446	11,695	10,895
site15	655315	693356	704916	38041	11560	6,934	7,049	6,553
site16	188625	214649	232224	26024	17575	2,146	2,322	1,886
site17	205939	235611	266397	29672	30786	2,356	2,664	2,059
site18	147216	193044	260493	45828	67449	1,930	2,605	1,472
site26	159274	260400	435827	101126	175427	2,604	4,358	1,593
Site 25	153627	159379	220706	5752	61327	1,594	2,207	1,536
Site 5_T2BV	165394	192066	201859	26672	9793	1,921	2,019	1,654
Site 9_T2BV	174113	188365	204714	14252	16349	1,884	2,047	1,741
Site 12_T2BV	85848	119514	154419	33666	34905	1,195	1,544	0,858
Site 13_T2BV	87393	141410	163587	54017	22177	1,414	1,636	0,874
Site 14_T2BV	104834	136333	196912	31499	60579	1,363	1,969	1,048
Site 19_T2BV	129045	162740	176598	33695	13858	1,627	1,766	1,290

Annexe q : Distribution statistique des données plans d'eau

Site 20_T2BV	77347	103982	156245	26635	52263	1,040	1,562	0,773
Site 21_T2BV	75249	90272	108807	15023	18535	0,903	1,088	0,752
Site 22_T2BV	63574	141410	152724	77836	11314	1,414	1,527	0,636
Site 23_T2BV	115142	120386	136965	5244	16579	1,204	1,370	1,151
Site 24_T2BV	104662	103998	131333	-664	27335	1,040	1,313	1,047
Site 25_T2BV	79857	81867	103491	2010	21624	0,819	1,035	0,799
site1_T2BV	99823	168542	142172	68719	-26370	1,685	1,422	0,998
site2_T2BV	89281	125754	135903	36473	10149	1,258	1,359	0,893
site3_T2BV	85640	102016	124726	16376	22710	1,020	1,247	0,856
site4_T2BV	57729	104516	99229	46787	-5287	1,045	0,992	0,577
site6_T2BV	96691	85599	86546	-11092	947	0,856	0,865	0,967
site7_T2BV	137318	143232	155803	5914	12571	1,432	1,558	1,373
site10_T2BV	77926	95311	112553	17385	17242	0,953	1,126	0,779
site11_T2BV	178737	191930	200780	13193	8850	1,919	2,008	1,787
site15_T2BV	167380	168541	173559	1161	5018	1,685	1,736	1,674
site16_T2BV	70169	78322	78794	8153	472	0,783	0,788	0,702
site17_T2BV	105464	110822	127929	5358	17107	1,108	1,279	1,055
site18_T2BV	111802	193044	168125	81242	-24919	1,930	1,681	1,118
site26_T2BV	112985	147033	230328	34048	83295	1,470	2,303	1,130
site_27_T2BV	72657	109470	119165	36813	9695	1,095	1,192	0,727

ANNEXE Q : DISTRIBUTION STATISTIQUE DES DONNEES PLANS D'EAU

Données	Effectifs	Effectifs_barrage	Effectifs derivation	Effectifs isolés	PE/site	PE/km ²
Ensemble	6452	672	2728	3052	248,2	2,5
Bretagne	1661	211	855	595	151,0	1,5
Pays de la Loire	4791	461	1873	2457	319,4	3,2

Annexe q : Distribution statistique des données plans d'eau

Dpt22	83	14	45	24	41,5	0,4
Dpt29	342	52	160	130	85,5	0,9
Dpt35	900	77	471	352	300,0	3,0
Dpt56	336	68	179	89	168,0	1,7
Dpt44	402	47	193	162	201,0	2,0
Dpt53	1063	140	425	498	531,5	5,3
Dpt49	974	55	317	602	243,5	2,4
Dpt72	1246	98	391	757	311,5	3,1
Dpt85	1106	121	547	438	368,7	3,7
Ensemble_old	2509	249	950	1310	96,5	1,0
Bretagne_old	124	27	86	11	11,3	0,1
Pays de la Loire_old	2994	297	1089	1608	199,6	2,0
Dpt22_old	48	4	37	7	24,0	0,2
Dpt29_old	48	7	41	0	12,0	0,1
Dpt35_old	25	13	8	4	8,3	0,1
Dpt56_old	3	3	0	0	1,5	0,0
Dpt44_old	206	30	85	91	103,0	1,0
Dpt53_old	448	39	142	267	224,0	2,2
Dpt49_old	528	60	162	306	132,0	1,3
Dpt72_old	692	42	183	467	173,0	1,7
Dpt85_old	511	51	292	168	170,3	1,7
Site 5	609	75	225	309	609,0	6,1
Site 9	168	55	70	43	168,0	1,7
Site 12	237	20	180	37	237,0	2,4
Site 13	168	13	109	46	168,0	1,7
Site 14	303	26	149	128	303,0	3,0
Site 19	122	16	63	43	122,0	1,2
Site 20	360	31	142	187	360,0	3,6

Annexe q : Distribution statistique des données plans d'eau

Site 21	82	9	46	27	82,0	0,8
Site 22	24	4	18	2	24,0	0,2
Site 23	54	14	18	22	54,0	0,5
Site 24	84	13	33	38	84,0	0,8
Site 25	59	10	27	22	59,0	0,6
site1	321	8	63	250	321,0	3,2
site2	337	50	160	127	337,0	3,4
site3	139	6	62	71	139,0	1,4
site4	152	19	38	95	152,0	1,5
site6	238	11	92	135	238,0	2,4
site7	96	3	55	38	96,0	1,0
site27	199	29	68	102	199,0	2,0
site10	304	17	69	218	304,0	3,0
site11	597	70	330	197	597,0	6,0
site15	203	18	125	60	203,0	2,0
site16	293	21	94	178	293,0	2,9
site17	413	48	162	203	413,0	4,1
site18	436	21	130	285	436,0	4,4
site26	454	65	200	189	454,0	4,5
Site 5_old	300	21	84	195	300,0	3,0
Site 9_Old	3	3	0	0	3,0	0,0
Site 12_Old	4	3	1	0	4,0	0,0
Site 13_Old	0	0	0	0	0,0	0,0
Site 14_Old	3	0	1	2	3,0	0,0
Site 19_Old	48	3	22	23	48,0	0,5
Site 20_Old	18	10	6	2	18,0	0,2
Site 21_Old	19	2	12	5	19,0	0,2
Site 22_Old	24	3	21	0	24,0	0,2

Annexe q : Distribution statistique des données plans d'eau

Site 23_Old	11	0	5	6	11,0	0,1
Site 24_Old	4	2	2	0	4,0	0,0
Site 25_Old	24	1	14	9	24,0	0,2
site1_old	288	7	54	227	288,0	2,9
site2_old	103	12	46	45	103,0	1,0
site3_old	53	2	22	29	53,0	0,5
site4_old	59	11	16	32	59,0	0,6
site6_old	186	9	89	88	186,0	1,9
site7_old	43	1	22	20	43,0	0,4
site27_old	125	24	37	64	125,0	1,3
site10_old	112	4	32	76	112,0	1,1
site11_old	287	35	191	61	287,0	2,9
site15_old	81	6	48	27	81,0	0,8
site16_old	177	45	19	113	177,0	1,8
site17_old	181	15	79	87	181,0	1,8
site18_old	242	12	67	163	242,0	2,4
site26_old	148	18	58	72	148,0	1,5

ANNEXE R : ZONES PLAN D'EAU SENSIBLE (EXPLOITATION DE DONNEES)



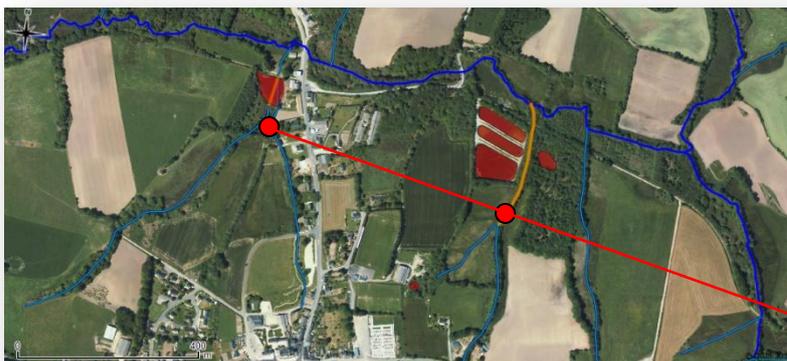
Indice plan d'eau (sans unité)

0.0224 - 0.9935	0.0224 - 0.9935
0.9935 - 2.8867	0.9935 - 2.8867
2.8867 - 5.2990	2.8867 - 5.2990
5.2990 - 15.6693	5.2990 - 15.6693
15.6693 - 34.9655	15.6693 - 34.9655
34.9655 - 182.7995	34.9655 - 182.7995

— Cours d'eau du réseau actuel théorique

■ Plan d'eau actuel

Cartographie représentant la valeur de l'indice plan d'eau d'une zone du site 9 : Bernes (56)



— Têtes de bassin

Ces deux têtes de bassin versant sont mises en évidence par l'indice plan d'eau.

En effet, il semble qu'elles soient toutes les deux exposées à une possible altération due aux plans d'eau.

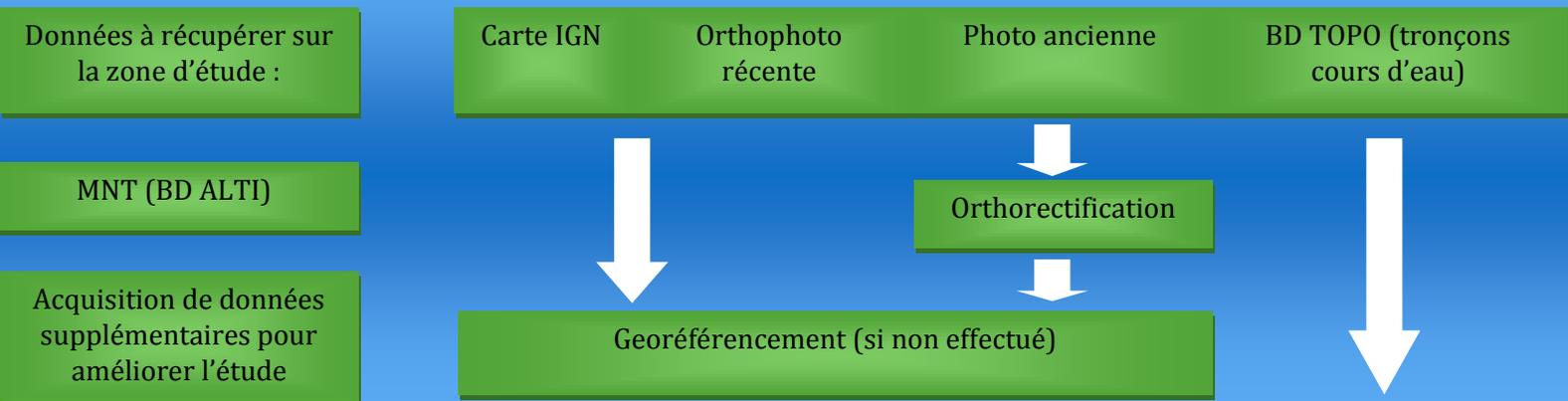
Ce sont donc des zones d'étude particulièrement indiquées pour tester la qualité chimique, ou encore les espèces invasives

Cartographie d'un secteur du site 9 (Bernes dans le 56) pointant deux têtes de bassin susceptibles d'être impactées par les plans d'eau

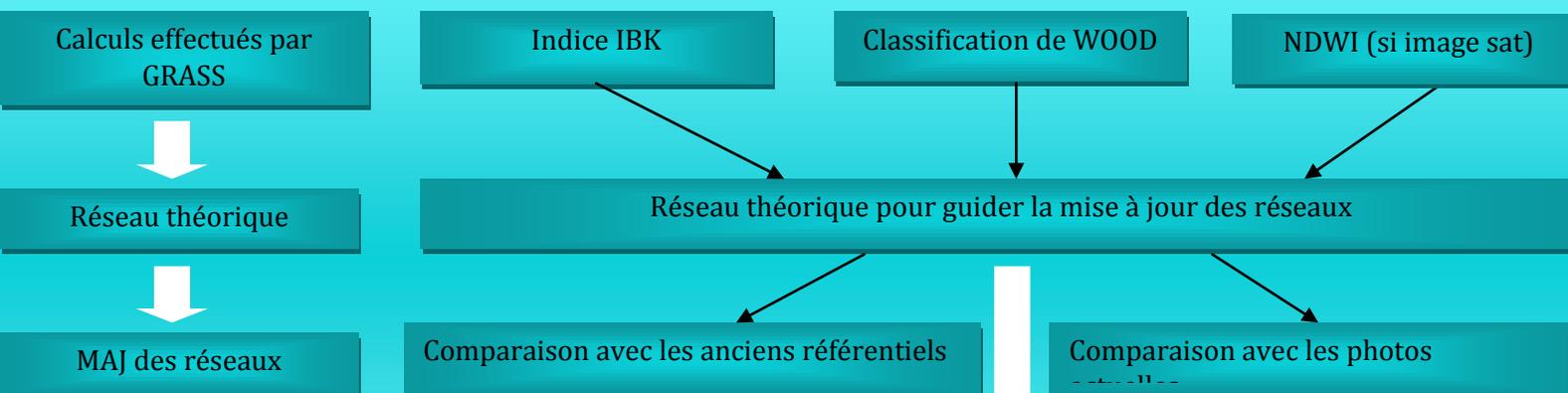
NB : Sur ces cartes les cours d'eau ayant une note supérieure à 34 ne sont pas indiqués, en fait, il s'agit d'un seul cours d'eau à côté d'un grand lac (plus à l'est).

Annexe S : Méthodologie Informatique de renseignement de la base de données temporelle

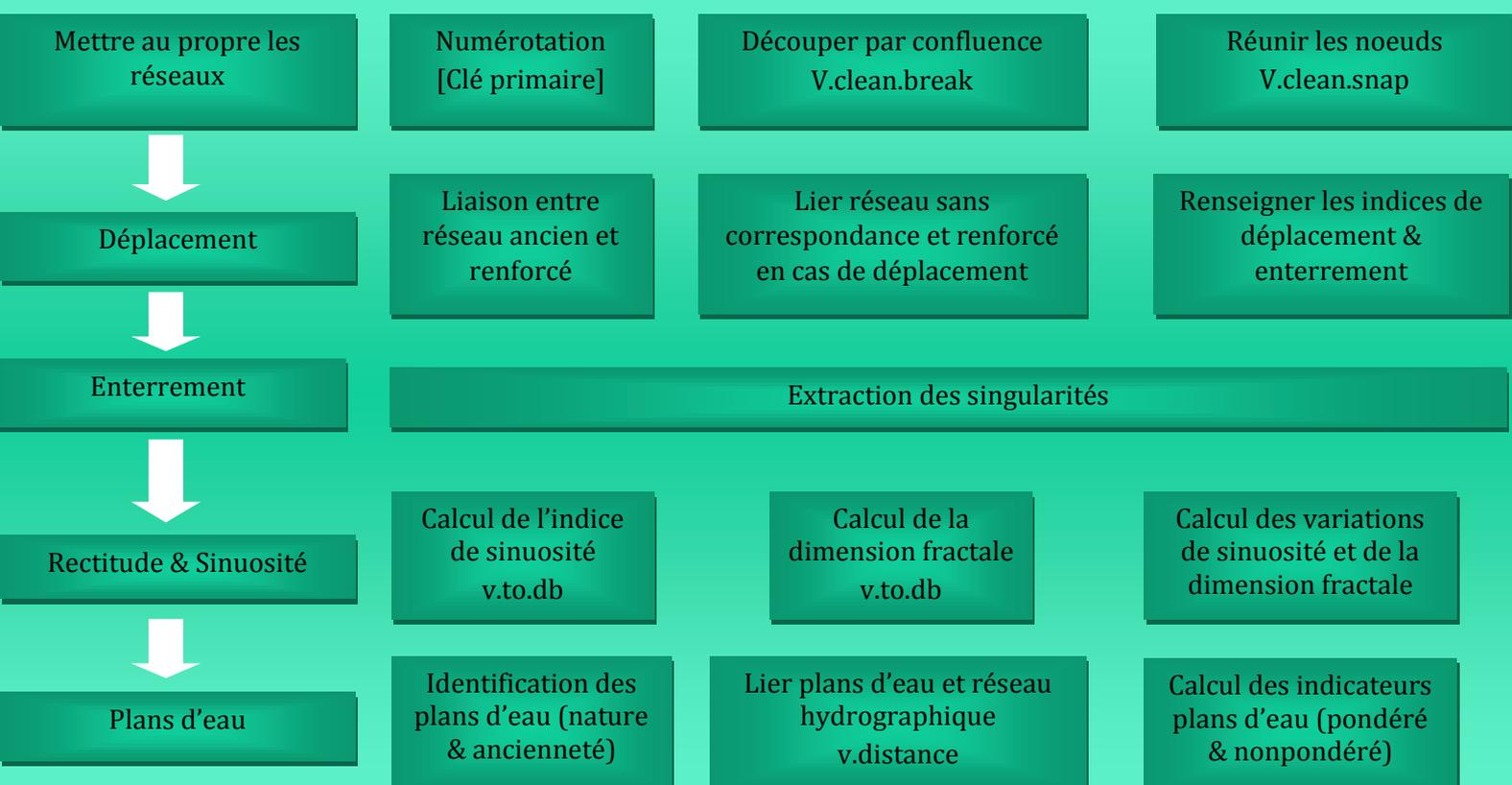
Préparation et acquisition des couches de travail



Mise à jour du réseau hydrographique (R.TOPO)



Acquisition des données (V.Hydro)



RESUME

Les politiques de l'eau prennent encore peu en compte les cours d'eau en têtes de bassin versant comme des espaces primordiaux pour la gestion des ressources en eaux. Cette étude illustre les services fondamentaux que ces milieux fournissent et suggère d'en améliorer la connaissance afin de les préserver.

Les travaux présentés ici, proposent d'exploiter les anciens référentiels cartographiques et photographiques en associant des domaines variés comme la géomatique, l'écologie des milieux aquatiques, l'écologie du paysage, la télédétection, les statistiques et la programmation pour retracer l'évolution des réseaux hydrographiques entre l'après guerre et l'époque actuelle et pour retrouver « aqua incognita », les eaux de surfaces ignorées. De vastes territoires peuvent ainsi être analysés et il est possible d'utiliser les données récoltées pour permettre une meilleure protection des milieux.

Mots clés : Têtes de bassin, géomatique, écologie du paysage, évolution des réseaux, hydroécologie, télédétection, services écosystémiques.

ABSTRACT

Headwater watershed are still underestimated in water policies. However they could be essential spaces in the water resources management. This study illustrates the fundamental services that provide these environments and proposes to improve knowledge in order to preserve them.

The work presented here proposes to operate the old cartographic and photographic repositories by combining various fields such as geomatics, hydroecology, landscape ecology, remote sensing, statistics and programming to trace the evolution of river systems between post-war and current time and to find « aqua incognita », ignored water surfaces. Vast areas can be analyzed and thus it is possible to use the data collected to better of the environment conservation.

Keywords : Headwater watershed, geomatics, landscape ecology, evolution of networks, hydroecology, Remote sensing, ecosystem services.