

Élaboration d'une méthode de délimitation et de caractérisation des têtes de bassin versant de la Vilaine par approche cartographique : application aux bassins versants de l'Aff et du Don

Julien Cirou

▶ **To cite this version:**

Julien Cirou. Élaboration d'une méthode de délimitation et de caractérisation des têtes de bassin versant de la Vilaine par approche cartographique : application aux bassins versants de l'Aff et du Don. Ecologie, Environnement. 2017. dumas-01631603

HAL Id: dumas-01631603

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01631603

Submitted on 9 Nov 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AGROCAMPUS OUEST

☐ **CFR Angers**

☑ **CFR Rennes**

Année universitaire : 2016 - 2017 Spécialité : Génie de l'environnement Spécialisation (et option éventuelle) : Préservation et Aménagement des Milieux, Ecologique Quantitative (PAMEQ)	**Mémoire de fin d'études** ☑ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage ☐ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage ☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Elaboration d'une méthode de délimitation et de caractérisation des têtes de bassin versant de la Vilaine par approche cartographique
– Application aux bassins versants de l'Aff et du Don -

Par : Julien CIROU



Soutenu à Rennes le Vendredi 15 septembre 2017

Devant le jury composé de :

Président : Jacques Haury

Maître de stage : Nathalie Pécheux

Enseignant référent : Ivan Bernez

Autres membres du jury : Laurent Beaulaton (Agence Française pour la Biodiversité)

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

☑ Non ☐ Oui si oui : ☐ 1 an ☐ 5 ans ☐ 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible (1).

Date et signature du maître de stage (2) :

le 28/09/2017

INSTITUTION D'AMÉNAGEMENT DE LA VILAINE
Boulevard de Bretagne - B.P. 11
56130 LA ROCHE-BERNARD

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner)

Droits d'auteur

L'auteur(3) Nom Prénom Julien CIROU

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☒ Oui ☐ Non

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☒ la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) ☐ accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur : le 20/09/17

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☒ Oui ☐ Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☒ la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant : PO J. HAURY Professeur

Rennes le 13/X/2017

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.
(2) Signature et cachet de l'organisme
(3).Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études
(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé




Elaboration d'une méthode de délimitation et de caractérisation des têtes de bassin versant de la Vilaine par approche cartographique

- Application aux bassins versants de l'Aff et du Don -





M2 Ingénieur Agronome – Spécialité Génie de l'Environnement –
Spécialisation Préservation et Aménagement des Milieux Ecologie Quantitative

Auteur : Julien Cirou

Maître de stage : Nathalie Pécheux

Professeur référent : Ivan Bernez

Stage réalisé du 01/03/17 au 31/08/17 à
l'Institution d'Aménagement de la Vilaine

AGRO CAMPUS OUEST

SAGE Vilaine
Commission Locale de l'Eau

Institution d'Aménagement de la Vilaine

1ère page de couverture - Crédits photo : Nathalie Pécheux

Remerciements :

Naturellement, mes premiers remerciements vont à ma maître de stage, Nathalie Pécheux, qui m'a accordé sa confiance pour accomplir cette mission sur une thématique passionnante. J'ai apprécié sa disponibilité, son soutien, ses conseils, ses relectures, son suivi régulier et les nombreux échanges et réflexions que nous avons pu avoir.

Merci également à Christophe Danquerque et Benjamin Magand, géomaticien et sigiste qui m'ont apporté leur soutien sur l'utilisation des logiciels de cartographie. Merci à Benjamin pour toutes ces petites aides et moments de recherche commune afin de trouver la solution à tel ou tel problème ou caprice du SIG.

Plus globalement, je tiens à remercier l'ensemble du personnel de l'IAV que j'ai pu côtoyer durant ces 6 mois. Ce fût un plaisir de travailler dans une bonne ambiance, entouré de personnes intéressées et impliquées. Merci aux autres stagiaires de la maison des pandas pour leur bonne humeur. Merci notamment à Cédric Briand, Benjamin Bottner, Anne Le Normand, Stéphanie Woimand, Gabriel Beduneau et Aurore Lebreton pour leurs conseils avisés, que ce soit pour échanger sur des questions statistiques, pour mieux aborder la problématique des têtes de bassin, mieux comprendre et choisir les bases de données ou pour leur vision plus pragmatique.

Je remercie également mon professeur référent, Ivan Bernez, pour les conseils qu'il m'a apporté pour cette mission, mais aussi pour avoir certainement été l'élément déclencheur de mon intérêt pour les têtes de bassin versant (et leurs arbres rivulaires si importants).

J'adresse enfin mes remerciements à l'ensemble des personnes que j'ai pu rencontrer au cours des différentes étapes : opérateurs de bassin, partenaires institutionnels, scientifiques,… Intéressés et impliqués, ils m'ont permis de mieux forger ma vision des têtes de bassin. Merci notamment à Olivier Guindon et Sébastien Noblet, techniciens des syndicats de bassin du Don et de l'Aff qui ont associé leur vision de terrain à mes cartographies. Je remercie également Mikael Le Bihan, de l'AFB, pour ses nombreux conseils ainsi que Hervé Squividant, de l'UMR SAS, pour son aide sur les questions de délimitation de bassin versant. Merci à Emmanuel Therin, Benoît Salpin et Arnaud Mével pour avoir partagé leur expérience sur un travail similaire au mien.

Sommaire :

A. Introduction : 1
B. Matériel et méthode 3
1) Le territoire d'étude 3
a. Le territoire du SAGE Vilaine 3
b. Les sous-bassins versants du Don et de l'Aff comme base de travail 3
2) Têtes de bassin versant : importance et enjeux associés 4
a. Convenir d'une définition avant de délimiter les têtes de bassin versant 4
b. Importance des têtes de bassin versant et enjeux 5
3) Outils informatiques 6
4) Délimitation des têtes de bassin versant 6
a. Prétraitement du réseau hydrographique 6
b. Prétraitement du modèle numérique de terrain 7
c. Détermination de bassins versants unitaires 7
d. Délimitation des têtes de bassin versant depuis leur exutoire 8
5) Caractérisation des têtes de bassin versant 9
a. Objectifs de la caractérisation et conditions d'utilisation des bases de données utilisées 9
b. Critères proposés pour la caractérisation 9
6) Analyses statistiques 14
C. Résultats 15
1) Délimitation des têtes de bassin versant et lien avec leur morphologie 15
a. Délimitations obtenues sur l'Aff et le Don 15
b. Relation entre la morphologie des têtes de bassin et leur délimitation 16
c. Regroupement des têtes de bassin en classes de morphologie homogène 17
2) Classification des têtes de bassin versant selon leurs enjeux 18
a. Enjeux spécifiques aux classes morphologiques précédemment érigées 18
b. Classification des têtes de bassin à partir de leur profil d'occupation du sol et enjeux associés 18
3) Contribution des têtes de bassin versant de la masse d'eau du St-Méen à son état écologique 22
D. Discussion 23
1) Retour sur les résultats et les méthodes employées 23
a. Délimitation, lien avec la morphologie et limites observées 23
b. Base de données construite et validité des critères utilisés 24
c. Visualiser des têtes de bassin versant à enjeux spécifiques à partir des classifications réalisées 25
d. Se baser sur la caractérisation des têtes de bassin versant pour orienter les actions sur une masse d'eau 27
2) Perspectives 28
a. Propositions pour la suite de la démarche sur le bassin de la Vilaine 28
b. Prise en compte des têtes de bassin versant dans le futur 29
c. Mieux comprendre les spécificités des têtes de bassin 30
E. Conclusion 31
F. Bibliographie 32

Index des figures :

Figure 1 : principe de l'ordination de Strahler 4
Figure 2 : identification des zones de marais et défluences 6
Figure 3 : Prétraitement du Modèle Numérique de Terrain 7
Figure 4 : principe des flux de direction et d'accumulation 7
Figure 5 : bassins versants unitaires associés au réseau de points bas 8
Figure 6 : Délimitation des têtes de bassin versant à partir des exutoires 8
Figure 7 : représentation de la couche d'occupation du sol obtenue 12
Figure 8 : boîte à moustache des surfaces de TdBV par bassin 15
Figure 10 : graphe des individus représentant les dimensions 1 et 2 de l'ACP sur la morphologie des TdBV 16
Figure 9 : graphe des variables représentant les dimensions 1 et 2 de l'ACP sur la morphologie des TdBV 16
Figure 11 : histogrammes de répartition des pourcentages de recouvrement des principales occupation du sol 18
Figure 12 : exemple de représentation des 20 modalités issues des profils d'occupation de sol sur la masse d'eau de la Cône sur le Don 20
Figure 13 : graphe des individus sur les dimensions 1 et 2 de l'ACP décrivant la contribution des têtes de bassin de la masse d'eau du St-Méen à son état écologique 22
Figure 14 : suspicion de cours d'eau enterré d'après l'orthophotographie 23
Figure 15 : différence entre bassin topographique et hydrologique 24

Index des tableaux :

Tableau 1 : Caractéristiques et enjeux des bassins de l'Aff et du Don 3
Tableau 2 : Indices de morphologie générale de la TdBV 10
Tableau 3: Indicateurs du bassin versant d'appartenance et de la position dans le réseau hydrographique 10
Tableau 4 : Critères d'occupation du sol et dérivés 11
Tableau 5 : Critères concernant les haies et ripisylve 11
Tableau 6 : critères concernant les plans d'eau 12
Tableau 7 : Critères concernant les zones humides 13
Tableau 8 : Critères concernant les espaces protégés et zones de frayères 13
Tableau 9 : Critères de risques de fragmentation et d'enterrement des cours d'eau 13
Tableau 10 : Chiffres clés résultant des délimitations de TdBV par bassin 15
Tableau 11 : Chiffres concernant les délimitations qui n'ont pu être effectuées 16
Tableau 12 : Description des classes de morphologie d'après leur BV d'appartenance et leur position dans le réseau hydrographique 17
Tableau 13 : Description des classes de morphologie par les critères de morphologie 17
Tableau 14 : Description résumée des modalités de morphologie de TdBV 17
Tableau 15 : Profils d'occupation du sol obtenus et pourcentages d'occupation du sol associés 19
Tableau 16 : Variables descriptives utilisées dans les ACP pour chaque profil d'occupation de sol 19
Tableau 17 : Résumé des résultats statistiques des ACP et CAH réalisées sur les 4 profils d'occupation du sol 19
Tableau 18 : Description des modalités répartissant les TdBV selon leur profil d'occupation du sol et les enjeux qui y sont associés 21

Abréviations :

- ACP : Analyse en Composantes Principales
- AFB : Agence Française pour la Biodiversité
- BR : Bande Riveraine
- BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
- BV : Bassin Versant
- CAH : Classification Ascendante Hiérarchique
- CTMA : Contrat Territorial Milieux Aquatiques
- IAV : Institution d'Aménagement de la Vilaine
- IGN : Institut Géographique National
- TdBV : Tête de Bassin Versant
- MNT : Modèle Numérique de Terrain
- ONEMA : Office Nationale de l'Eau et des Milieux Aquatiques (maintenant rattaché à l'AFB)
- REH : Réseau d'Evaluation des Habitats
- RPG : Registre Parcellaire Graphique
- SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- SIG : Système d'Information Géographique

Index des critères utilisés :

- ARBO_MAR4 : % surface en arboriculture ou maraîchage
- BR10m_Pp_F : % bande riveraine en prairies permanente, forêt et landes (préservée des risques phytosanitaires)
- BR10m_Urb : % bande riveraine imperméabilisée
- BR10m_ZH : % bande riveraine en zone humide
- BSLOPGM : pente moyenne du bassin versant
- BV : bassin versant incluant la tête de bassin (Aff ou Don)
- Compacite : indice de compacité
- CULTURES31 : % surface en cultures
- Den_arbo : % bande riveraine avec végétation arborée
- Dens_boca : densité de bocage (ml/ha)
- Den_EauFdV : % surface en plans d'eau de fond de vallée
- DensEauTot : % surface en plans d'eau
- DensICE : densité de cours d'eau (inventorié) (ml/ha)
- Den_pt_ba : densité du réseau de points bas (réseau de thalwegs) (ml/ha)
- Den_Zprot : % surface recouverte par au moins une zone de protection
- Dens_ZH : % surface en zones humides
- Dyn_Urba : dynamique d'urbanisation
- Enterr : risque de présence d'enterrement
- FOR_CO_P52 : % surface en forêt de conifères ou peupleraies
- FOR_FE_M51 : % surface en forêt de feuillus, forêt mixtes et bois
- FORET_5 : % surface en forêt
- I_Frag : risque de fragmentation
- LND_LIGN53 : % surface en landes ligneuses
- NB_Frayere : nombre de zones de frayères inventoriées
- PRA_PERM21 : % surface en prairie permanente
- PRA_P_LA2 : % surface en prairie permanente, landes et broussailles
- PRA_TEMP32 : % surface en prairie temporaire
- RatioP_C : part de prairies sur la surface agricole totale
- Strahl_Class : position dans le réseau hydrographique (amont / médian / aval)
- SURF_AGRI3 : % surface en cultures et prairies temporaires
- Surf_ha : surface de la tête de bassin versant
- Tps_Ctrc : temps de concentration
- Tx_SAU : % surface agricole (prairies, cultures, arboriculture et maraîchage)
- URBA_IMP11 : % surface urbaine imperméabilisée
- URBA_PER12 : % surface urbaine perméable
- URBAIN1 : % surface urbaine

A. Introduction :

Que ce soit sur le plan de la qualité physique, chimique, biologique ou hydromorphologique, l'état des milieux aquatiques terrestres s'est progressivement dégradé. (Reyjol et al., 2012). En cause, les modifications profondes engendrées par l'activité humaine : urbanisation croissante, évolution des pratiques agricoles, industrialisation, utilisation de la ressource en eau, remembrement … Afin de restaurer ces milieux, la Directive Cadre sur l'Eau donne pour objectif de reconquérir le « bon état écologique » des masses d'eau continentales d'ici 2021 et 2027. Face à ce constat, les têtes de bassin versant (TdBV) font l'objet d'une préoccupation récente et grandissante (Le Bihan, 2012). Ces zones particulières correspondent aux bassins d'alimentation des petits cours d'eau, ruisseaux et autres rus. Situés à l'amont des réseaux hydrographiques, les TdBV peuvent jouer un rôle essentiel dans le fonctionnement global du bassin versant et de son réseau hydrographique et constituent son capital hydrologique (Alexander et al., 2007). De par leur taille réduite, leur régime souvent intermittent et leur densité importante, les cours d'eau en TdBV ont facilement été jugés insignifiants et ont subi (ou subissent encore) de fortes modifications par l'Homme, que cela soit à cause de travaux d'aménagement, de pressions variées, ou d'un manque de considération dans la gestion des milieux aquatiques (Meyer et Wallace, 2001 ; Meyer et al., 2007). Pourtant, les potentiels services écosystémiques apportés par ces milieux pourraient participer au bon fonctionnement global des hydrosystèmes, notamment dans un souci de considération amont-aval.

Les TdBV sont des espaces globalement méconnus. Si tant est que les cours d'eau de TdBV aient été inventoriés, leur état est rarement évalué (Bishop et al., 2008). Connaître l'emplacement des TdBV sur un territoire constitue une première étape qui permet de mieux les considérer. Toutefois, un simple zonage a une portée limitée. Dans le but de définir des actions adaptées aux spécificités de chacune, il est aussi nécessaire de mieux connaître leurs caractéristiques intrinsèques. Pour cela, une approche cartographique permettrait d'obtenir rapidement de l'information sur ces zones, et ce grâce aux nombreuses bases de données cartographiques disponibles (bien que d'étendues et de qualités variées). En s'intéressant à des thématiques variées, elle permettrait d'adopter une vision holistique à l'échelle de la TdBV et de considérer alors l'effet combiné des multiples facteurs de perturbation affectant ces cours d'eau (Rasmussen et al., 2013).

Ainsi, le SDAGE Loire-Bretagne 2010-2015 a mis en avant le besoin d'appliquer un inventaire des zones de TdBV, d'analyser leurs caractéristiques et de les hiérarchiser en fonction de leur état et des pressions exercées, en vue de les préserver et les restaurer. Le SAGE Vilaine reprend ces objectifs en proposant de mettre en place une cartographie des TdBV, une priorisation des actions à mener sur ces zones et des expérimentations visant à réfléchir sur les modalités de gestion de ces milieux.

Présents sur une grande partie d'un territoire, variés, jugés bien souvent insignifiants par leurs riverains et conditionnant indéniablement le fonctionnement du reste de leur bassin versant, les TdBV ont un rôle important à jouer malgré l'état de forte dégradation actuel de leurs cours d'eau. Afin de les préserver et de restaurer leur état ainsi que celui des milieux en aval, plusieurs questions se posent : comment faire face aux enjeux évoqués en s'attaquant à des zones recouvrant une surface totale si importante ? Quelle stratégie adopter en termes de planification (Commission Locale de l'Eau) ou en termes opérationnel (Opérateurs de bassin) ? Faut-il adopter une priorisation et si oui, laquelle ? Existe-t-il différents types de gestion à adopter au sein de la diversité des têtes de bassin ? Jusqu'où le travail par SIG (Système d'Information Géographique) peut-il aller ? Que peut apporter l'entité de découpage TdBV en complément à d'autres entités de gestion ?

En quelles mesures est-il alors possible, à partir d'une délimitation cartographique des têtes de bassin versant et d'une description de certaines de leurs caractéristiques intrinsèques, de regrouper et différencier les TdBV selon leur fonctionnement, enjeux et/ou besoins de gestion similaires ?

Cette première étude sur le BV Vilaine est un travail exploratoire qui portera sur les sous-bassins versant de l'Aff et du Don.
Elle propose d'examiner les hypothèses de travail suivantes :

- La majorité de la surface des territoires d'étude est recouverte par des TdBV.
- Selon leur position géographique et leur morphologie, il existe plusieurs types de TdBV. Cela va influencer sur leur fonctionnement.
- Il est possible d'ériger une typologie de TdBV basée sur l'occupation du sol et d'évaluer sommairement à partir de celle-ci leur état et leurs pressions.
- A partir des caractéristiques intrinsèques décrites, les TdBV peuvent permettre de mieux orienter les objectifs de reconquête de l'état écologique d'une masse d'eau.

Après avoir présenté le territoire d'étude ainsi que les spécificités des TdBV, les méthodes de délimitation et de caractérisation élaborées dans cette étude seront présentées. A partir de celles-ci, (i) nous examinerons les résultats de la délimitation au regard des limites de la méthode et de leurs caractéristiques physiques et géographiques, (ii) nous proposerons ensuite une analyse exploratoire visant à classifier la globalité des TdBV selon leurs enjeux. Enfin, (iii) nous présenterons la variabilité existant entre les TdBV d'une même masse d'eau et examinerons la possibilité de mettre en avant des TdBV d'intérêt face aux enjeux de cette masse d'eau. Nous discuterons ensuite des résultats et méthodes employées puis nous verrons quelles perspectives offrent ce travail pour la prise en compte des têtes de bassin de la Vilaine.

B. Matériel et méthode

1) Le territoire d'étude

a. *Le territoire du SAGE Vilaine*

Le SAGE Vilaine est un territoire d'une superficie de plus de 10 000 km² pour un réseau hydrographique de plus de 12 600 km. Il se constitue principalement du bassin versant (BV) de la Vilaine, dont le cours d'eau principal, le fleuve côtier Vilaine, chemine sur environ 230 km depuis sa source sur la commune de Juvigné (53) pour rejoindre l'Océan Atlantique entre le golfe du Morbihan et l'estuaire de la Loire. Ce territoire est découpé en 4 hydroécorégions[1] de type 2 (Wasson et al., 2002) qui le définissent comme un territoire au climat principalement océanique, aux reliefs de plaine ou de colline et à la géologie principalement issue du massif armoricain, à dominante métamorphique et plutonique. On retrouve également des pentes plus marquées dans la partie occidentale. L'occupation du sol y est majoritairement agricole et comporte aussi plusieurs grandes agglomérations telles que Rennes, Vitré et Châteaubriant. Par ailleurs, le territoire du SAGE Vilaine se retrouve dans un contexte de découpage administratif complexe, à cheval sur 2 régions (Bretagne et Pays de la Loire) et 6 départements, 527 communes et 16 structures administratives « opérateurs de bassin » (syndicats ou communautés intercommunales ou d'agglomération). Enfin, le territoire du SAGE est découpé en plusieurs sous-bassins selon ses affluents principaux.

b. *Les sous-bassins versants du Don et de l'Aff comme base de travail*

L'Institution d'Aménagement de la Vilaine (IAV) réalise actuellement des inventaires de cours d'eau afin d'actualiser les connaissances du réseau hydrographique du territoire (et ainsi, mieux le préserver). Les premières estimations ont montré qu'environ 30% des cours d'eau présents sur le terrain échappent aux connaissances cartographiques actuelles (Base de données TOPO de l'IGN (Institut Géographique National)). Ces linéaires sont en grande majorité en zones de TdBV (Danquerque, 2011).

Le SAGE prévoit que la délimitation des TdBV soit réalisée en se basant sur les inventaires de cours d'eau actualisés. Cette étude exploratoire portera sur 2 sous-bassins versants : le Don et l'Aff. Ce choix s'est fait de par la validité et la qualité des inventaires réalisés. La topographie de ces deux bassins est également bien différente et plutôt aux extrêmes par rapport à l'ensemble du territoire du SAGE, ce qui permet d'explorer l'étendue des résultats de délimitation possibles. Le Tableau 1 présente quelques caractéristiques clé de ces territoires :

Tableau 1 : Caractéristiques et enjeux des bassins de l'Aff et du Don (d'après les stratégies définies pour le programme d'actions 2014-2018)

	Aff	Don
Superficie	727 km²	716 km²
Forme de BV	Chêne	Peuplier
Relief	Marqué	Peu marqué
Assolement	Agricole et forestier	Agricole
Départements	Ille-et-Vilaine et Morbihan	Loire Atlantique et Maine-et-Loire
Enjeux majeurs	Morphologie, continuité écologique, pesticide, adduction d'eau potable, phosphore	Erosion des sols, nitrates, pesticides, continuité écologique, morphologie assainissement, plantes invasives

L'Annexe 1 situe géographiquement le SAGE Vilaine, et l'état d'avancement des inventaires.

[1] Les hydroécorégions constituent des zones homogènes au point du vue de la géologie, du relief, du climat, et de l'hydrographie, considérés à l'échelle des bassins comme des déterminants primaires du fonctionnement écologique des cours d'eau

2) Têtes de bassin versant : importance et enjeux associés

a. *Convenir d'une définition avant de délimiter les têtes de bassin versant*

La plupart des définitions d'une TdBV font référence à l'ordination de Strahler appliquée au réseau hydrographique, la méthode d'ordination des cours d'eau la plus utilisée aujourd'hui. Elle consiste à attribuer aux cours d'eau un rang qui augmente de l'amont vers l'aval, celui-ci étant incrémenté de 1 dès lors que deux rangs de même ordre entrent en confluence (Strahler, 1957) **(**Figure 1**)**. Selon, ces définitions, les TdBV correspondent aux BV englobant les rangs de Strahler 1 et 2 (Freeman et al., 2007 ; Rasmussen et al., 2013 ; Clarke et al., 2008). Certains auteurs étendent cette définition au rang 3 (Wallace, Eggert, 2009) ou la limitent au rang 1 (Krecek, Haigh, 2006). Toutefois, l'ordination de Strahler dépend de la représentativité du réseau hydrographique et de l'échelle cartographique associée (Tixier et al., 2012)**.** Par ailleurs, les TdBV sont parfois définis selon la largeur de leur cours d'eau, leur débit ou en tant que zones amont sans poissons (Wipfli et al., 2007).

Le SDAGE Loire-Bretagne définit quant à lui les TdBV comme les « bassins versants délimités par les cours d'eau dont le **rang de Strahler est inférieur ou égal à 2** et dont la **pente est supérieure à 1%**. Ce critère de pente peut être adapté localement pour les cours d'eau à faible puissance spécifique présentant un risque de non atteinte des objectifs environnementaux. » (Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 2015). Pour cette étude, la définition choisie a été la suivante : « bassins versants délimités par les cours d'eau de rang 1 et 2 de Strahler». Elle ignore, pour plusieurs raisons, le critère de pente défini par le SDAGE (voir Encadré concernant ce choix)

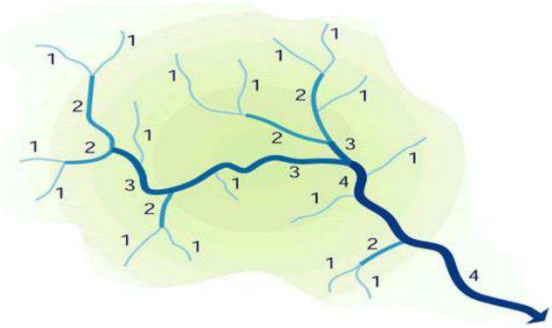


Figure 1 : Principe de l'ordination de Strahler (Environmental Protection Agency, 2009)

Choix d'ignorer le critère de pente :

Comme évoqué précédemment, la définition du SDAGE inclut un critère supplémentaire de pente supérieure à 1% pour la délimitation. Ce critère n'a pas été retenu pour plusieurs raisons :

- La définition du SDAGE manque de précision sur l'application de ce critère (est-ce la pente moyenne du BV ? celle de chaque cours d'eau ? celle du cours d'eau principal du chevelu ?).
- Le calcul de pente par utilisation du modèle numérique de terrain utilisé manque de précision (cf. Annexe 3 : bases de données utilisées et limites associées), ce qui pose encore plus problème pour un seuil égal à 1%.
- En TdBV, les cours d'eau de faible pente ont souvent une faible puissance spécifique (qui caractérise sa potentialité dynamique), ne leur permettant pas d'avoir l'énergie suffisante pour se restaurer par eux-mêmes. De tels cours d'eau sont également souvent sujets à un développement méandriforme (qui favorise par exemple le fonctionnement de la zone hyporhéique et donc la dénitrification). Il s'agit également de cours d'eau facilement aménageables et donc plus exposés aux altérations. (Smiley et al., 2005).
- Aucun autre exemple justifiant ce critère n'a été trouvé dans les publications scientifiques consultées.
- La démarche de délimitation est une démarche d'identification vouée à améliorer la connaissance du territoire. Si des raisons politiques doivent amener à restreindre les surfaces concernées par un zonage de TdBV, c'est à la suite d'une telle délimitation que des choix de hiérarchisation pourront se faire, et sur des critères plus pertinents.
- Le SDAGE précise que ce critère de pente peut être adapté localement pour les cours d'eau à faible puissance spécifique présentant un risque de non atteinte des objectifs environnementaux. La carte d'état écologique des masses d'eau présente en annexe 2 montre que cette condition est remplie sur la majorité du BV Vilaine.

b. *Importance des têtes de bassin versant et enjeux*

Bien que la formation des cours d'eau dépende de leur contexte territorial (sous les effets du relief, du climat et de la géologie), la plupart des travaux concluent que les TdBV représentent une proportion importante d'un territoire, que cela soit en terme de longueur de réseau hydrographique (> 80% (Meyer, Kaplan, et al., 2007 ; Bryant et al., 2007)) ou de surface concernée (3/4 d'un bassin versant (Clarke et al., 2008)). Des travaux réalisés sur le territoire de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne laissent supposer des résultats de même ordre (Therin et al., 2015 ; Salpin, 2016)

De par cette forte proportion, les cours d'eau de TdBV jouent un rôle important pour ceux situés en aval. D'un point de vue hydrologique, on considère que les cours d'eau de rang 1 et 2 contribuent à 50 à 70% de l'alimentation des cours d'eau en aval (Alexander et al., 2007). Les cours d'eau de TdBV sont également la porte d'entrée de la majeure partie des apports sédimentaires et des apports en matière organique et contribuent à l'équilibre de leurs flux (Wipfli et al., 2007 ; Benda et al., 2005). Dans le « River continuum concept », Vannote et al. (1980), décrivent le réseau hydrographique comme un gradient continu de conditions physiques d'amont en aval, accompagné d'ajustements biotiques. En amont, les communautés aquatiques assurent la décomposition grossière de la matière organique afin de la rendre disponible pour l'aval. Les cours d'eau de TdBV peuvent également participer à la réduction des risques liés à la pollution diffuse (les zones de TdBV contribueraient à 65% des apports azotés (Alexander et al., 2007). Ils constituent en effet, dans leur ensemble, une surface d'échange importante où les potentielles zones hyporhéiques (zones sédimentaires saturées en eau, étroites en TdBV mais importantes en surface cumulée) et la rugosité du lit (sinuosité, géologie, bois de rivière …) peuvent favoriser les activités de dénitrification des eaux (Datry et al., 2008 ; Oraison et al., 2011). Grâce à la multitude de micro-habitats, les cours d'eau de TdBV peuvent également accueillir une grande diversité d'espèces strictement affiliées ou non à ces milieux (Wallace et Eggert, 2009 ; Meyer et Wallace, 2001). Certaines de ces espèces sont patrimoniales, comme le chabot (*Cottus gobio*), la lamproie de planer (*Lampetra planeri*), l'écrevisse à pattes blanches (*Austropotamobius pallipes*) ou la moule perlière (*Margaritifera margaritifera*). En termes de continuité écologique, les TdBV sont des espaces d'échanges importants avec les milieux terrestres. Pour les communautés aquatiques, leurs cours d'eau forment des zones de refuge ou de reproduction pour plusieurs espèces ordinairement présentes plus en aval (Meyer et Wallace, 2001).

Ainsi, les caractéristiques des TdBV, leur importance quantitative sur un territoire, et leur lien avec le reste du réseau hydrographique peuvent rendre légitime l'intérêt qu'on leur porte afin de restaurer la qualité de l'eau et des milieux aquatiques. Toutefois, ces rôles peuvent être limités par leur état de dégradation.

En effet, le nombre et la taille réduite des cours d'eau et zones humides de TdBV les rendent insignifiants et sensibles aux modifications (Rasmussen et al., 2013 ; Meyer et al., 2007). Les aménagements ont entraîné une forte modification de la morphologie des cours d'eau (recalibrage, enterrement, drainage, déplacement…) (Guillerme, 2015 ; Nguyen Van, 2012), leurs faibles débits rendent leurs communautés sensibles aux pesticides (Hurst et Sheahan, 2003) et le drainage a fait disparaître d'importantes surfaces de zones humides (Meyer et al., 2007). Freeman et al., (2007) ont par ailleurs montré que les altérations cumulées de ces cours d'eau de TdBV se répercutent également en aval : dysfonctionnements hydrologiques, décalage de la chaîne trophique vers l'aval, dégradation de la qualité des habitats, …

3) Outils informatiques

Le travail cartographique a été effectué principalement à l'aide du logiciel ArcMap® 10.3.1 (licence standard). Les modules Spatial Analyst, 3D Analyst, ETGeoWizard et Arc Hydro Tools ont été utilisés sous ArcGIS. Arc Hydro Tools a notamment été important pour l'étape de délimitation. Il comprend un ensemble d'outils permettant la modélisation et les analyses en hydrographie (génération de bassins versants et de réseaux, calcul d'attributs hydrogéométriques, …). L'outil SIG QGIS 2.14.12 a également été utilisé avec le module Strahler. L'utilisation des logiciels Excel® et R (packages Rcmdr et FactoMineR) a participé à la mise en place des bases de donnée et aux analyses statistiques.

NOTE : Les méthodes de délimitation et de caractérisation présentées ci-dessous ont été accompagnées de phases de concertation. Les choix méthodologiques ont été présentés, discutés et validés durant ces étapes (réunion de commission permanente de la Commission Locale de l'Eau, groupe de travail avec les opérateurs de bassin et groupe de travail avec les autres acteurs du bassin).
Afin de ne pas surcharger ce rapport de détails techniques (ensemble des manipulations SIG), les méthodes détaillées ayant permis la délimitation et la caractérisation sont disponibles sur demande à l'Institution d'Aménagement de la Vilaine. Elles représentent cependant une part importante du travail fourni.

4) Délimitation des têtes de bassin versant

La délimitation de bassins versants par approche cartographique nécessite l'usage d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) et d'un réseau hydrographique. Dans ce cas, le MNT utilisé est le RGE ALTI 5m fourni par l'IGN. Il s'agit d'une grille (ou raster) sur laquelle est renseignée une altitude pour chaque maille de 5m x 5m (25m²). Le réseau hydrographique utilisé est celui issu des inventaires de cours d'eau.

La délimitation peut se décliner en 4 étapes :

a. Prétraitement du réseau hydrographique

Il s'agit de vérifier la numérisation du réseau et de corriger les erreurs topologiques : déconnexions entre deux tronçons[2] de cours d'eau, sens de chaque tronçon, coupure de chaque tronçon à chaque intersection, mauvais tracé.

Après ces vérifications, certains tronçons sont écartés (zones de marais, zones de défluences) pour ne pas gêner l'étape suivante (Figure 2). Ce faisant, l'outil « Strahler » disponible sur QGIS permet d'obtenir l'ordination de Strahler sur le réseau hydrographique depuis un segment de cours d'eau présent à l'exutoire du sous-bassin versant. A partir de ce réseau ordonné, l'ensemble des nœuds à l'intersection des tronçons est récupéré et seuls ceux qui constituent des exutoires de TdBV sont conservés (c'est-à-dire ceux se trouvant à l'extrémité d'un rang 1 ou un rang 2 et se jetant dans un rang 3 ou plus).

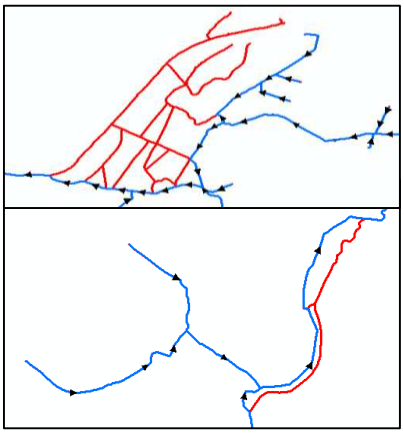


Figure 2 : Identification des zones de marais et défluences (en rouge)

[2] le terme tronçon fait ici référence à une partie de cours d'eau numérisée sous SIG et délimitée par sa confluence avec d'autres tronçons

b. Prétraitement du modèle numérique de terrain

Le principe de la délimitation par approche cartographique est d'utiliser les valeurs d'altitude fournies par le MNT afin de dessiner des bassins versants selon l'emplacement des thalwegs et des lignes de crête. Il s'agira donc de bassins versants topographiques (prise en compte de l'altitude seule) et non de bassins versants hydrologiques (qui dépendent du parcours réel de l'eau, sous l'effet de la géologie ou des aménagements humains). Le prétraitement du MNT consiste à minimiser le décalage existant entre le réseau de thalweg (qu'on appellera réseau de points bas) et le réseau réel issu des inventaires de cours d'eau. Pour cela les mailles du MNT où se trouve le cours d'eau sont creusées de quelques mètres, ce qui modifie l'emplacement des fonds de vallée théoriques (Figure 3).

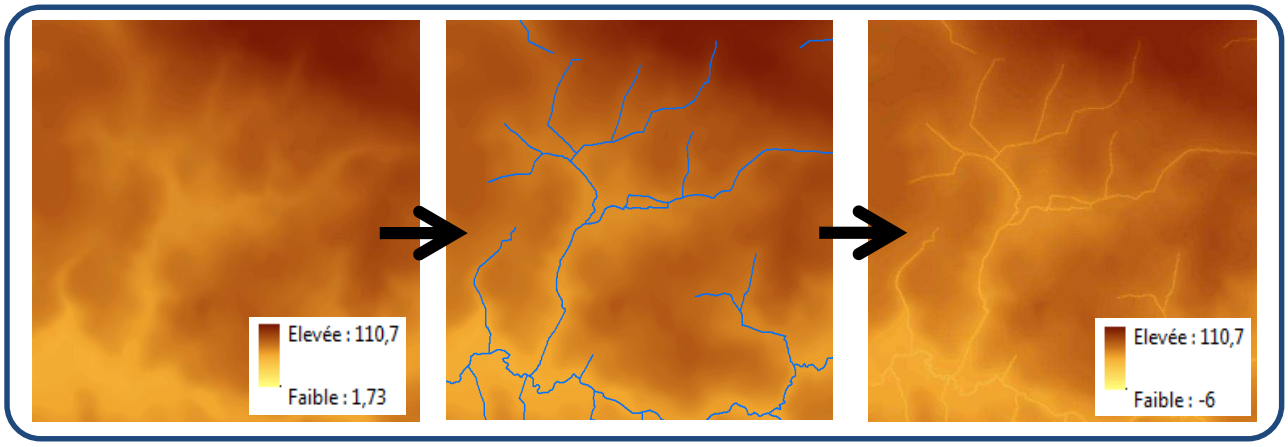
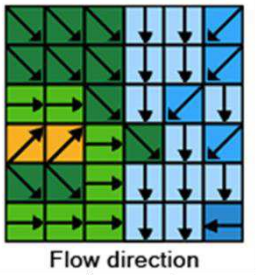


Figure 3 : Prétraitement du Modèle Numérique de Terrain

c. Détermination de bassins versants unitaires

Cette nouvelle étape consiste à obtenir un réseau de points bas à partir du MNT modifié.

A partir des données d'altitude du MNT, un raster de **flux de direction** est créé : pour chaque maille, la valeur d'altitude est comparée à la valeur des mailles voisines. On considère alors que les écoulements provenant de cette cellule sont dirigés en totalité vers la cellule voisine à l'altitude la plus basse. Ceci fait, un raster de **flux d'accumulation** est obtenu. Dans ce dernier, on obtient dans chaque maille une valeur égale au nombre cumulé de cellules qui s'y écoulent (Figure 4). A partir de ce nouveau raster, il s'agit de procéder à **la création du réseau d'écoulement théorique** (réseau de points bas). Pour cela, seules les cellules ayant une valeur d'accumulation de 4000 cellules ou plus sont conservées. Cet ensemble de cellules constitue le réseau. Ainsi, l'extrême amont d'un cours d'eau apical aura une valeur proche de 4000 et cette valeur augmente au fil du réseau. La valeur de 4000 est un seuil choisi, correspondant à une surface drainée en amont égale à 10 ha minimum (chaque cellule du raster faisant 25m²).



0	0	0	0	0	0
0	1	1	2	2	0
0	3	7	5	4	0
0	0	0	20	0	1
0	0	0	1	24	0
0	2	4	7	35	2

Flow accumulation

Figure 4 : Principe des flux de direction et d'accumulation

On peut considérer que la probabilité de présence de cours d'eau devient forte à partir d'une surface drainée de 8 ha sur le massif armoricain (Communication M. Le Bihan, AFB), cependant le réseau ne pouvait techniquement pas se constituer avec ce seuil et la valeur de 10 ha a donc été retenue.

Une fois le réseau d'écoulement obtenu, il est possible d'obtenir des **bassins versants unitaires**, correspondant à l'aire de drainage associée à chaque tronçon (Figure 5).

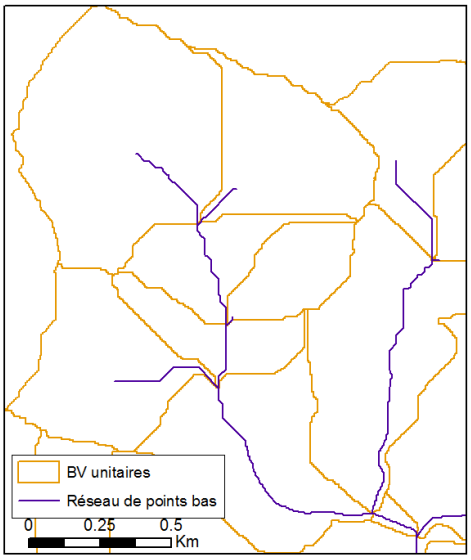


Figure 5 : Bassins versants unitaires associés au réseau de points bas

d. *Délimitation des têtes de bassin versant depuis leur exutoire*

A partir de chacun des exutoires préalablement définis, la délimitation est obtenue par agrégation de l'ensemble des bassins versants unitaires présents en amont (Figure 6). Cette étape nécessite un repositionnement de chaque exutoire sur le tronçon du réseau théorique correspondant. On obtient alors les têtes de bassin versant. Parfois, le cours d'eau n'a pas de réseau de point bas associé (surface drainée inférieure à 10 ha) et la TdBV n'a donc pas pu être délimitée.

Finalement, les critères de délimitation ont été la prise en compte des rangs de Strahler (1-2) et d'une aire minimale de 10ha.

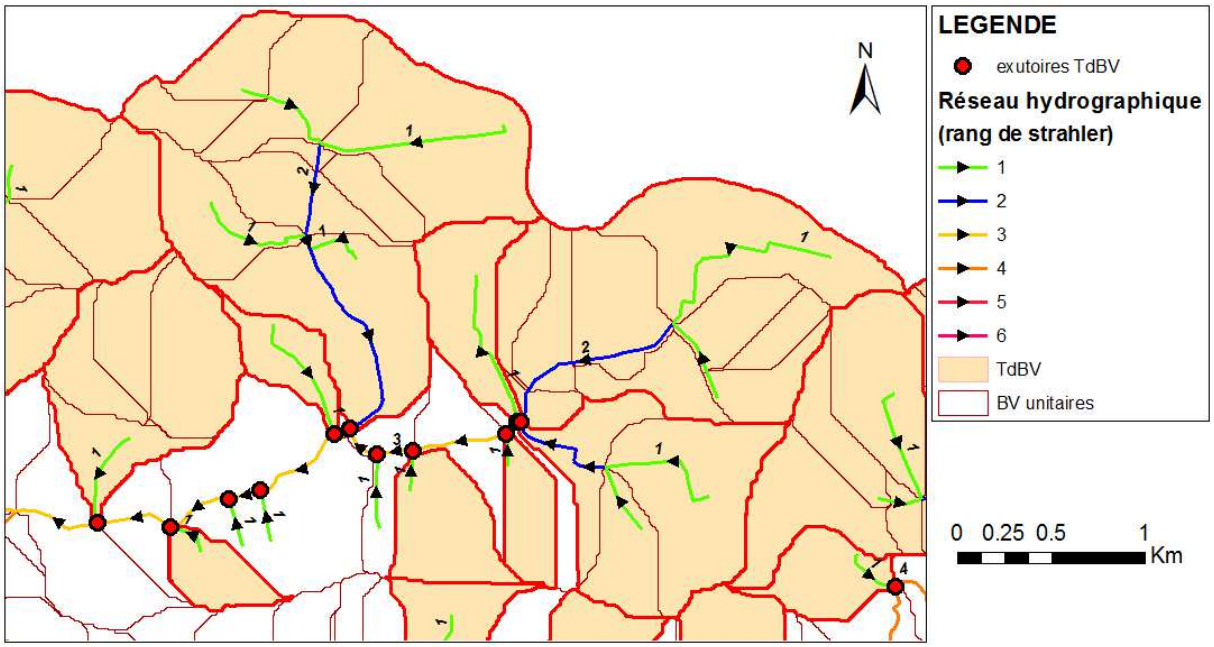


Figure 6 : Délimitation des têtes de bassin versant à partir des exutoires

5) Caractérisation des têtes de bassin versant

a. *Objectifs de la caractérisation et conditions d'utilisation des bases de données utilisées*

Une fois les TdBV délimitées, une caractérisation est mise en place afin de décrire ces zones et améliorer la connaissance à un premier niveau de détail, qui sera à terme homogène à l'échelle du territoire du SAGE Vilaine. D'autres travaux similaires à cette étude ont été effectués sur le territoire Loire-Bretagne (Choucard, 2011 ; Henner, 2013 ; Therin et al., 2015 ; Salpin, 2016). Dans ces cas, la caractérisation a consisté en une analyse multicritères : plusieurs critères, regroupés en famille (exemple : Qualité de l'eau, Biodiversité, Risques morphologiques …) et découpés en classes, pondérées entre elles. Avec une grille de notation, on obtient pour chaque TdBV une note par famille. Une priorisation, basée sur ces notes, peut ensuite faire suite.

Dans le cas de la Vilaine, l'étendue du territoire et la complexité de son découpage administratif impliquent une diminution des bases de données disponibles et de leur précision. Une telle échelle gomme également l'hétérogénéité spatiale des enjeux du territoire. Connaissant ces limites, la caractérisation proposée (qui fait l'objet de cette étude) a seulement une portée informative. Elle tend à être homogène à l'échelle de la Vilaine et permettra de décrire, visualiser et comparer les têtes de bassin du territoire. Toute pondération entre les critères ou au sein des critères est écartée afin d'éviter toute hiérarchisation, qui orienterait déjà vers un choix de gestion et de priorisation alors que cette première étape tend à être généraliste et descriptive.

Ainsi, pour ce premier niveau d'information à l'échelle de la Vilaine, plusieurs critères ont été définis en fonction des bases de données disponibles et de la portée informative souhaitée. Ces bases de données ont été choisies comme suit : elles doivent être présentes et homogènes sur l'ensemble du territoire de la Vilaine, représentatives des enjeux de TdBV, les plus précises possibles et intrinsèques aux TdBV.

Un tableau récapitulant les bases de données utilisées et décrivant sommairement leur domaine d'application, leur construction et leurs limites est présent en Annexe 3

Construction de la base de données : Avant d'obtenir l'ensemble des critères présentés ci-après, il est nécessaire de rechercher les bases de données disponibles, de choisir de manière concertée les critères à utiliser et d'implémenter chacun de ces critères sous SIG.

b. *Critères proposés pour la caractérisation*

Les critères proposés pour la caractérisation peuvent être regroupés en 7 catégories et sont représentés ci-dessous. Certains critères sont déterminés à partir de l'emprise de la bande riveraine des cours d'eau de la TdBV. Une zone tampon de 10m (de part et d'autre du cours d'eau) a été choisie pour représenter la bande riveraine. Cette valeur de 10m a été retenue comme compromis entre les largeurs nécessaires à leur bon fonctionnement selon la littérature scientifique et les réglementations relatives à la bande enherbée agricole de 5m minimum (ONEMA, 2014).

La plupart des critères suggère des effets sur le fonctionnement des TdBV et leurs cours d'eau. Du fait de la précision des bases de données utilisées, la validité de ces informations est évidemment à relativiser.

- Critères concernant le contexte physique et géographique :

Certains indicateurs renseignant sur les caractéristiques physiques du bassin versant sont utilisés. En effet, il existe une certaine variabilité des structures de TdBV (due notamment à la topographie, la géologie ou la pédologie) qui peuvent impliquer des différences de fonctionnement hydrodynamique (Poiraud et al., 2016). Ces critères visent donc à mettre en évidence ces structures afin d'explorer leur lien avec les résultats de délimitation d'une part et avec certains enjeux d'autre part.

Tableau 2 : Indices de morphologie générale de la TdBV

Indices de morphologie générale de la TdBV		
Critère	**Source**	**Description**
Surface de la TdBV		$Surf_{ha} = \text{surface de la TdBV (ha)}$
Pente moyenne de la TdBV	RGE 5m IGN	BSLOPGM : Obtention d'un raster de pente via le MNT (chaque maille comprend le coefficient de pente maximal entre elle et la maille adjacente à l'altitude la moins élevée). La valeur obtenue correspond à la moyenne de ces mailles
Indice de compacité de Gravélius		$Compacite\ (ou\ Kg) = \frac{\text{Périmètre du BV}}{2\sqrt{\pi(Aire\ du\ BV)}}$
Temps de concentration (Formule de Passini)	RGE 5m IGN	$\text{Tps}_{\text{Ctrc}} = 0.108 \times \frac{\sqrt[3]{Surface\ du\ BV\ (km^2) \times Longueur\ du\ plus\ long\ chemin\ de\ l'eau\ (km)}}{\sqrt{Pente\ du\ plus\ long\ chemin\ de\ l'eau}}\ (heures)$
Densité de chevelus inventoriés	Inventaires cours d'eau	$Den_ICE = \frac{\text{linéaire de cours d'eau(m)}}{surface\ du\ BV\ (ha)}$
Densité du réseau de points bas	RGE 5m IGN	$Den_pt_bas = \frac{\text{linéaire du réseau de points bas(m)}}{surface\ du\ BV\ (ha)}$

Pourquoi ces critères : L'indice de compacité renseigne sur la forme du BV (proche de 1 = effusé, supérieur = allongé). Cet indice peut donner une idée de la réactivité du BV suite à une pluie, tout comme le temps de concentration qui exprime le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci. La pente moyenne peut donner des indices sur le type de vallée, plus ou moins accidenté, du BV. Une pente marquée peut également correspondre à un ruissellement plus important. La densité de chevelus inventoriés permet d'estimer l'importance de la surface en interface avec les milieux terrestres, où peuvent se trouver de potentielles zones hyporhéiques fonctionnelles pour l'autoépuration (Meyer et al., 2007). La densité du réseau de points bas informe de la densité de thalwegs marqués sur la TdBV. Une valeur élevée rend compte d'un contexte favorable au ruissellement.

Afin de mettre en lien les contextes physiques et géographiques, deux indicateurs seront également utilisés, l'un permettant de distinguer les TdBV des deux BV afin de les comparer et l'autre informant sur leur position en amont, médiane ou en aval dans le réseau hydrographique.

Tableau 3: Indicateurs du bassin versant d'appartenance et de la position dans le réseau hydrographique

Critère	**Modalités**
Bassin Versant	BV = Aff / Don
Position dans le réseau hydrographique	Strahl_Class = Apical / T3-T4 / T5-T6[3]

[3] Apical : la TdBV se trouve à l'extrême amont d'un cours d'eau de rang 3 / T3-T4 ou T5-T6 : la TdBV est tributaire d'un rang de Strahler 3 ou 4 / ou d'un rang 5 ou 6

- Critères de risques et enjeux :

Tableau 4 : Critères d'occupation du sol et dérivés

Occupation du sol et dérivés		
Critère	**Source**	**Description**
%Occupation du Sol par typologie	(voir Encadré Obtention de l'Occupation du Sol)	$\%OccSol\ x = \frac{\text{surface TYPO}}{\text{surface TdBV}} \times 100$
Dynamique d'urbanisation		$Dyn_Urba = \%\ \text{Z. urbaine imperméable 2015} - \%\ \text{Z. urbaine imperméable 2010}$
Taux de surface agricole		$Tx_SAU = \%(\text{Cultures} + \text{Prairies temporaires et permanentes} + \text{Maraîchage et arboriculture})$
Part de prairie en SAU		$RatioP_C = \frac{\%\ \text{Prairies permanentes et temporaires}}{\%\ SAU} \times 100$
Taux de ***bande riveraine*** imperméabilisée		$BR10m_{Urb} = \frac{\text{surface Z. urba}}{surface\ BR10m} \times 100$
Taux de ***bande riveraine*** préservée (risques phyto)		$BR10m_Pp_F = \frac{\text{surface forêt+prairie permanente+lande}}{surface\ BR10m} \times 100$

Pourquoi ces critères : L'occupation du sol est une composante importante afin d'appréhender le fonctionnement et l'organisation spatiale d'un bassin versant, et les types de pressions qui vont s'y exercer. Elle a un impact significatif sur les variations de qualité de l'eau et peut d'ailleurs jouer un rôle plus important que le climat ou la morphologie du BV sur ce point (Dodds et Oakes, 2008). La dynamique d'urbanisation rend compte de la vitesse d'urbanisation sur le territoire. La modification de l'occupation du sol peut en effet causer de fortes dégradations sur la morphologie des petits cours d'eau (Roy et Sahu, 2016). Les zones urbaines imperméables impactent le fonctionnement hydraulique en favorisant le ruissellement. Sur les bandes riveraines, la présence de surfaces urbanisées va limiter les liens entre le cours d'eau et ses annexes hydrauliques, et peut être associé à une altération de la morphologie du cours d'eau, voire un busage. Toujours en bande riveraine, les forêts, prairies permanentes et landes peuvent être considérées comme un contexte plus préservé, notamment vis-à-vis des risques phytosanitaires (Valle Junior et al., 2014). Parmi la surface agricole totale, on peut également considérer qu'une part de prairie plus importante (au sein de la rotation des cultures) sur le territoire correspond à un contexte agricole moins impactant.

Tableau 5 : Critères concernant les haies et ripisylve

Haies		
Critère	**Source**	**Description**
Densité de haie (échelle BV)	Inventaires de haie (GéoBretagne + FRC Pays de la Loire)	$Dens_boca = \frac{\text{linéaire de haie (m)}}{surface\ du\ BV\ (ha)}$
Densité de ***bande riveraine*** avec végétation arborée	BD_TOPO Végétation	$Den_{BRarbo} = \frac{\text{surface arborée (ha)}}{surface\ BR10m\ (ha)} \times 100$

Pourquoi ces critères : la densité de haie permet d'avoir une idée (hors contexte forestier) des TdBV où la pression de remembrement a été forte (arasement du bocage). Un bocage préservé permet également de limiter l'érosion des sols, de tamponner voire d'épurer les eaux de ruissellement (Wasson et al., 2008). Connaître la densité arborée au niveau de la bande riveraine permet de supposer de la présence ou non de ripisylve et sur les bienfaits de celle-ci sur le cours d'eau (habitats, sous-berges, ombrage et oxygénation de l'eau favorable également à la dégradation de la matière organique) (Olson et al., 2007). Pour cela, la BD TOPO sera préférée aux inventaires de haies afin de ne pas ignorer le contexte forestier et de mieux prendre en compte les ripisylves qui ne seraient pas considérées comme des haies.

Obtention de la couche Occupation du sol :

La couche Corine Land Cover est la seule à couvrir l'ensemble du territoire, mais manque de précision pour décrire des zones de la taille d'une TdBV. Afin d'obtenir plus de détail sur l'occupation du sol, il a été choisi d'effectuer une compilation des informations du Registre Parcellaire Graphique (pour les parcelles agricoles), de la BD TOPO (pour les voies de transport, le bâti transformé en zones urbaines, les surfaces en eau, les forêts et les bois) et du Corine Land Cover (pour combler les lacunes des deux autres). L'idée est d'homogénéiser les attributs de chacune des bases de données pour les regrouper en 6 typologies de niveau 1 et 11 de niveau 2, en s'inspirant de la typologie du Corine Land Cover. Il s'agit ensuite de les empiler selon un ordre de priorité. L'ensemble des typologies utilisées et des regroupements d'attributs effectués est disponible en Annexe 4. La Figure 7 ci-dessous donne une idée du résultat obtenu. Concernant les surfaces agricoles, il a été choisi de regrouper les cultures et les prairies temporaires pour prendre en compte la variabilité liée aux rotations de culture. Notons également que les données ne sont pas suffisament précises pour renseigner si la bande enherbée le long d'une culture est bien respectée.

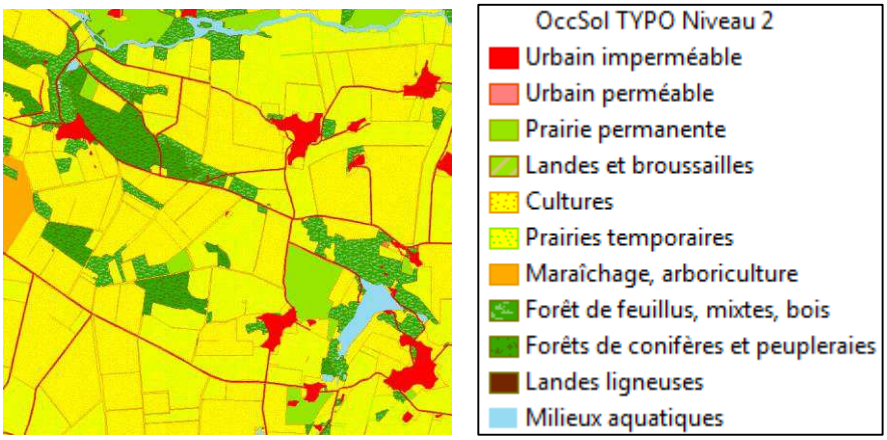


Figure 7 : représentation de la couche d'occupation du sol obtenue

Tableau 6 : critères concernant les plans d'eau

Plans d'eau		
Critère	**Source**	**Description**
Densité surfacique en plans d'eau	BD_TOPO	$Dens_{Eau} = \frac{\text{surface de plans d'eau}}{surface\ BV} \times 100$
Densité surfacique de plans d'eau en fond de vallée[4]		$Den_{EauFdV} = \frac{\text{surface de plans d'eau intersectant la BR 10m}}{surface\ BV} \times 100\ (\%)$

Pourquoi ces critères : Les plans d'eau peuvent impacter le réseau hydrographique à plusieurs niveaux. Les plans d'eau isolés (éloignés du réseau hydrographique) diminuent les apports en eau vers l'aval et augmentent les risques d'étiage. En fond de vallée, les plans d'eau en continuité (au fil de l'eau) ou en dérivation (tributaires du cours d'eau) ont également un impact sur la quantité d'eau mais aussi sur la morphologie et la physico-chimie des cours d'eau (modification des écoulements, eutrophisation, augmentation de la température de l'eau…). Plus les plans d'eau sont situés en amont du réseau hydrographique et plus leur impact sur les cours d'eau est important (Jones, 2010). En plus de fragmenter les milieux aquatiques par des conditions très différentes, les plans d'eau artificiels sont souvent accompagnés d'obstacles à la continuité écologique.

[4] On considère ici les plans d'eau qui intersectent la bande riveraine comme des plans d'eau de fond de vallée

Tableau 7 : Critères concernant les zones humides

Zones humides		
Critère	**Source**	**Description**
Densité de zones humides (échelle BV)	Inventaires de ZH	$Dens_{ZH} = \frac{\text{surface de ZH}}{surface\ du\ BV} \times 100\ (\%)$
Densité de zones humides en ***bande riveraine***		$BR10m_{ZH} = \frac{\text{surface de ZH}}{surface\ BR10m} \times 100\ (\%)$

Pourquoi ces critères : Malgré des mesures de conservation spécifiques aux zones humides, ces milieux font partie des plus dégradés. En tête de bassin versant, les zones humides jouent un rôle important sur les apports en eau et sur la régulation des flux de sédiments de carbone et de nutriments (voire leur épuration). Accompagnées de leurs cortèges d'espèces de zones humides et terrestres, il s'agit également de zones clé pour la reproduction et l'alimentation de nombreuses espèces animales. Leur altération est liée à des changements d'occupation du sol ou des aménagements (drainage, remblais, création de plans d'eau …) (Meyer et al., 2007 ; Barnaud, 2013)

Tableau 8 : Critères concernant les espaces protégés et zones de frayères

Espaces protégés et frayères		
Critère	**Source**	**Description**
Densité du BV en espace protégé[5]	INPN	$Den_{Zprot} = \frac{\text{cumul des surfaces avec au moins 1 aire de protection}}{surface\ BV} \times 100\ (\%)$
Présence de frayères	Inventaires nationaux frayères	$NB_{frayere} = \text{nombre de frayères de poissons de liste 1 ou de crustacés de liste 2recensées}$[6]

Pourquoi ces critères : La présence d'une zone de protection sur une TdBV indique la potentielle présence d'espèces menacées et/ou d'intérêt patrimoniale. Ces zones ne sont pas forcément liées à des espèces affiliées aux milieux humides ou aquatiques et l'aire de protection ne délimite pas exactement l'aire de répartition des espèces et habitats d'intérêt. Cependant, on peut supposer que l'espace est plus préservé grâce à leur prise en compte dans les décisions d'aménagements. Le nombre de frayères informe des capacités d'accueil de la TdBV pour la reproduction de poissons lithophiles de la liste 1 des arrêtés préfectoraux frayères, voire de la présence d'écrevisses à pattes blanches (liste 2 crustacés). Elles attestent à la fois de la présence d'un milieu aquatique préservé (et à préserver) et d'un enjeu de protection du patrimoine naturel. Bien entendu, les inventaires frayères ne sont pas exhaustifs et certaines ne sont peut-être pas encore connues.

Tableau 9 : Critères de risques de fragmentation et d'enterrement des cours d'eau

Fragmentation - obstacles - enterrement		
Critère	**Source**	**Description**
Risque de fragmentation des cours d'eau	BD_TOPO ICE	$I_Frag = \frac{\text{Nombre de routes ou de plans d'eau intersectant le cours d'eau}}{longueur\ de\ cours\ d'eau(km)}$
Risque d'enterrement de cours d'eau	ICE RGE ALTI 5m (IGN)	$Enterr = \text{Dens}_{\text{pt}_{\text{bas}}} - \text{Dens}_{\text{ICE}}(\text{hors cours d'eau notés busés})$ (ml/ha)

Pourquoi ces critères : Les objectifs de bon état morphologique des cours d'eau visent notamment à rétablir la libre circulation des espèces et des sédiments. Le risque de

[5] Espaces protégés considérés : ZNIEFF 1 et 2, ZPS, ZICO, RAMSAR, APB, Natura 2000, ENS

[6] Poissons de liste 1 : truite fario, chabot, lamproie de planer, ombre, vandoise, saumon atlantique
Crustacés de liste 2 : écrevisses à pattes-blanches

fragmentation correspond à un risque de présence d'obstacles à l'écoulement, en considérant que la majorité de ces obstacles se trouve à l'intersection avec des routes (buse traversant la route, seuils sous un pont …) ou en lien avec un plan d'eau de fond de vallée (déversoir, buse, barrage …). Les pratiques d'enterrement ont eu des impacts désastreux sur les cours d'eau : destruction de la totalité des habitats, altération de la continuité écologique, dysfonctionnement hydraulique et hydromorphologique, potentielle perte des règlementations de cours d'eau (bande enherbée, distance d'épandage …) En considérant que le réseau de points bas correspond au réseau hydrographique théorique maximal, sans modifications, le risque d'enterrement a pour objectif de repérer des TdBV avec potentiellement beaucoup de cours d'eau enterrés et/ou non inventoriés. Plus le résultat est élevé et plus il y a de risques que des cours d'eau aient été enterrés (à l'inverse, une valeur fortement négative peut correspondre à un chevelu plus dense du fait des conditions géologiques ou de l'aménagement (remembrement, déplacement de cours d'eau …).

6) Analyses statistiques

A partir de la base de données constituée avec l'ensemble des critères de caractérisation, plusieurs analyses exploratoires ont été proposées pour regrouper et différencier les TdBV selon leur fonctionnement et leurs enjeux :

- Résultats de délimitation et lien avec leur contexte physique et géographique

Après avoir commenté les résultats de délimitation obtenus sur les deux bassins versants, une Analyse en Composante Principale (ACP) sera effectuée afin d'expliquer la répartition des individus selon les caractéristiques morphologiques décrites mais aussi selon le BV auquel ils appartiennent et leur position dans ce bassin versant. Suite à cela, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) basée sur la représentation en composantes principales visera à distinguer des regroupements de TdBV à morphologie semblable. On utilisera ensuite les critères morphologiques pour décrire chacune de ces modalités : il s'agit de tester si, pour chaque critère, la moyenne de la modalité diffère de la population (ANOVA, risque de 0.1 %, sous hypothèse d'homoscédasticité) (Lê et al., 2008 ; Husson et al., 2010)

- Regroupement des têtes de bassin versant par classes de fonctionnement et enjeux semblables :

Dans un premier temps, les classes morphologiques précédemment obtenues seront décrites par l'ensemble des critères autres que morphologiques. Décrire ces classes réalisées à une échelle globale aura pour but de cerner des enjeux particuliers qui pourraient être associés aux tendances morphologiques décrites.

Par la suite, une autre classification sera construite, cette fois-ci directement à partir des critères qui informent des risques et enjeux présents en TdBV (critères autres que morphologiques). Le but est d'obtenir un découpage plus cohérent permettant de mieux représenter la diversité des enjeux. Pour cela, deux classifications consécutives seront réalisées. La première classification répartira les TdBV en fonction de leur profil d'occupation du sol dominant (agricole/forestier/urbain). Cette étape, également réalisée à partir d'une ACP et d'une CAH, est nécessaire pour plusieurs raisons. Plusieurs variables n'ont pas de sens selon l'occupation du sol (par exemple, la densité de bocage n'a aucun sens sur une TdBV totalement forestière). Et selon l'occupation du sol, toutes les variables ne sont pas intéressantes à étudier (par exemple, la dynamique d'urbanisation n'est pas un critère sur lequel on souhaiterait se baser pour discriminer des différences entre des TdBV agricoles). Cela permettra de gagner en pertinence, en évitant de classifier chaque profil avec des

variables qui ne seraient pas spécifiques à leur contexte. Une seconde classification sera donc effectuée sur chaque profil (toujours par ACP et CAH). Chacune des modalités ainsi obtenue sera décrite avec les variables descriptives utilisées, de la même manière que précédemment.

- Contribution des TdBV à l'état écologique de la masse d'eau du St-Méen :

Dans cette dernière partie, on se propose d'utiliser les données de caractérisation à une échelle spatiale plus locale. L'idée est ici d'explorer la variabilité au sein des TdBV d'une masse d'eau : le St-Méen (code FRGR1158). Cette petite masse d'eau, occupée en majeure partie par des cultures et comprenant 13 TdBV, a des enjeux de morphologie de cours d'eau, d'obstacles à l'écoulement et de pollution diffuse (valeur du percentile 90 mesurée en nitrate en 2011 de 64,26 mg/L). Afin de distinguer des TdBV plus à risque face à ces enjeux ou des TdBV ayant un contexte au contraire plus préservé, on réalisera une ACP. Celle-ci se basera sur les critères correspondant au mieux au contexte et enjeux de la masse d'eau.

L'ensemble des ACP est réalisé avec réduction des variables. Les CAH sont réalisées avec consolidation des classes par la méthode des k-means. Pour chacune, le choix du nombre de classe est défini de façon arbitraire, par comparaison entre les résultats obtenus.

C. Résultats

L'annexe 5 représente le résultat de délimitation obtenu sur chaque BV. L'annexe 6 donne également à titre d'exemple une représentation cartographique d'une TdBV, avec un ensemble des critères la définissant. Enfin, l'annexe 7 présente un résumé de la répartition des données sur chaque critère, à partir de boîtes à moustaches.

1) Délimitation des têtes de bassin versant et lien avec leur morphologie

a. *Délimitations obtenues sur l'Aff et le Don*

Tableau 10 : Chiffres clés résultant des délimitations de TdBV par bassin

	Bassin du Don	Bassin de l'Aff
Surface totale du BV	716 km²	727 km²
Nombre de TdBV	285	518
Surface totale en TdBV	521 km² (72.8%)	517 km² (71.5%)
Surface moyenne unitaire	1,83 km²	0,99 km²
% linéaire du réseau hydrographique en TdBV	618 km (72,5%)	783 km (70,0%)

La méthode a permis de délimiter 285 TdBV sur le Don et 518 sur l'Aff. Dans chacun des 2, autour de 70% de la surface du bassin versant – et autant du linéaire du réseau hydrographique – se trouve en TdBV. Plus nombreuses, les TdBV de l'Aff sont également plus petites (moyenne de 1 km² contre 1,8 sur le Don ; écarts-types respectifs de 0.11 et 0.23km²). Les effectifs et la variabilité des deux groupes étant comparable, la comparaison des TdBV selon leur BV d'appartenance est possible. (Tableau 10, Figure 8)

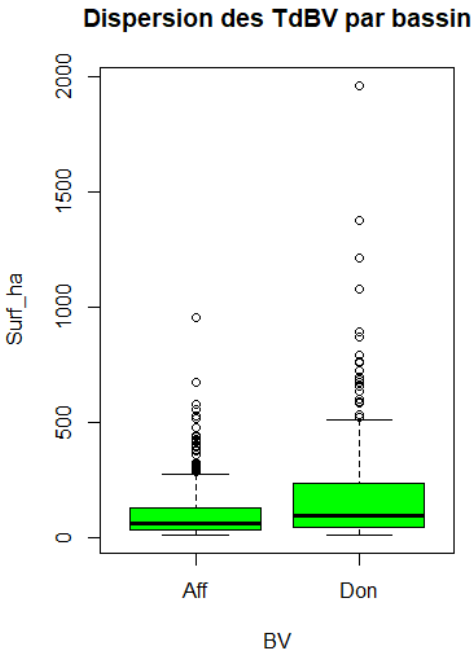


Figure 8 : Boîte à moustache des surfaces de TdBV par bassin

En conséquence des limites présentées dans la méthodologie (aire minimale de 10ha), des délimitations n'ont pas été réalisées pour certains cours d'eau de rangs de Strahler 1-2. Le Tableau 11 récapitule ces données. Au total, 148 exutoires n'ont pas permis de délimitation (148 potentielles TdBV), ce qui représente 35 km de cours d'eau (soit environ 2.5% du linéaire de rangs 1-2). La grande majorité de ces cas se trouve sur l'Aff.

Tableau 11 : Chiffres concernant les délimitations qui n'ont pu être effectuées

	Aff	Don
Nombre d'exutoires totaux	645	306
Nombre d'exutoires sans délimitation	127 (19.7%)	21 (6.9%)
Cours d'eau de rangs 1-2	783 km (68.1%)	618 km (70.5%)
Cours d'eau de rangs 1-2 délimités en TdBV	757 km	609 km
Cours d'eau de rangs 1-2 hors délimitation TdBV	26 km (3.3% des rangs 1-2)	9 km (1.4% des rangs 1-2)

b. *Relation entre la morphologie des têtes de bassin et leur délimitation*

Les figures 9 et 10 représentent les résultats de l'ACP réalisée à partir des critères ayant trait à la morphologie des TdBV (sauf le temps de concentration, utilisé à titre illustratif, qui apporte la même information que la surface (corrélation de 0.92 avec ce critère)). La variabilité des TdBV est expliquée à 57.9% par les deux premières dimensions de l'ACP.

Sur le premier plan de l'ACP, on peut distinguer deux axes séparant les TdBV. Le premier selon la taille et la pente de celles-ci (avec aux extrêmes des pentes faibles pour de grandes surfaces et des pentes fortes pour de petites surfaces). Plus la surface des TdBV est grande et leur pente faible et plus le temps de concentration est long. Le second axe sépare les TdBV selon la densité de leur réseau de point bas et leur indice de compacité. Ils peuvent ainsi indiquer un gradient d'escarpement : une forte densité de points bas correspond à une forte présence de thalwegs marqués et une forte compacité est indicatrice d'un bassin versant allongé. Par ailleurs, la densité de cours d'eau réel construit la première dimension. Elle est plus forte dans les BV escarpés et à forte pente (soit des conditions favorables à un écoulement marqué dans les thalwegs). La faible variabilité existant entre les individus ne permet pas de différencier les TdBV selon leur BV d'appartenance ou leur position (apicale ou tributaire) dans le réseau hydrographique.

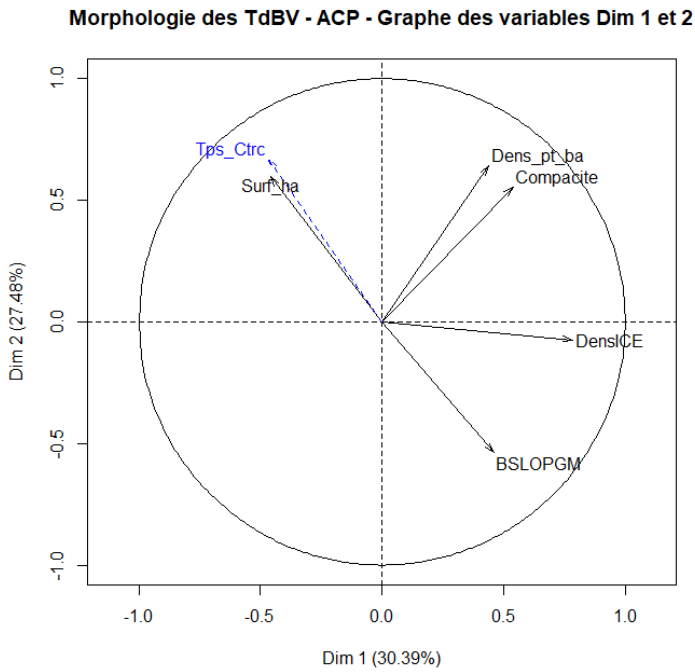


Figure 9 : Graphe des individus représentant les dimensions 1 et 2 de l'ACP sur la morphologie des TdBV

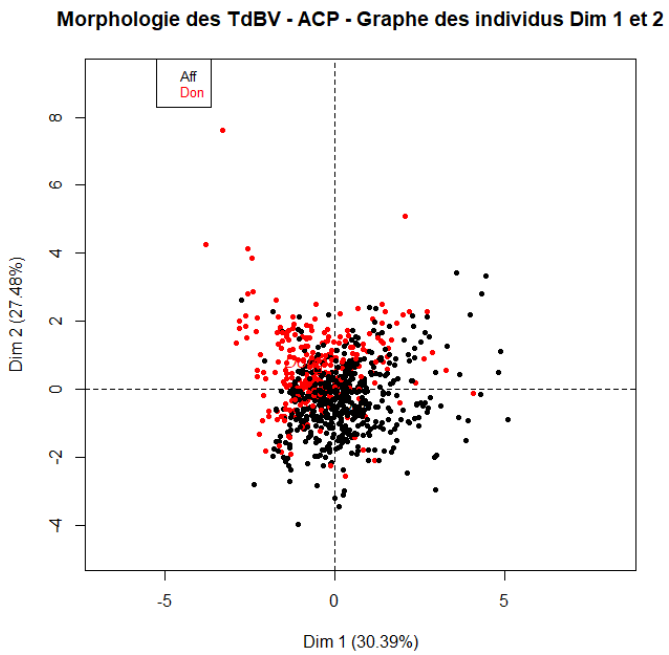


Figure 10 : Graphe des variables représentant les dimensions 1 et 2 de l'ACP sur la morphologie des TdBV

c. *Regroupement des têtes de bassin en classes de morphologie homogène*

A partir des 5 premières dimensions de l'ACP (100% de la variance), une classification est effectuée et permet de découper 5 classes. Les résultats bruts sont présentés dans l'Annexe 8. La part de variance expliquée par ce découpage est d'environ 40% (contre 58% expliqués par les 2 premiers axes de l'ACP).

Ci-dessous, on peut décrire les tendances qui caractérisent chacune des classes obtenues, du point de vue du BV d'appartenance et de la position dans le réseau hydrographique (Tableau 12) et des critères de morphologie (Tableau 13).

Tableau 12 : Description des classes de morphologie d'après leur BV d'appartenance et leur position dans le réseau hydrographique – (les + et – indiquent une tendance significative par rapport à la répartition globale qui est la suivante : 64.5% de TdBV dans l'Aff et 35,5% sur le Don ; 25% des TdBV sont apicales ; 50% sont dans une position médiane (T3-T4) et 25% se trouvent plus en aval (T5-T6)

Classe_Morpho	BV	Strahl_Class
M1	(++) Don (73%)	(++) Apicales (52%) (- -) T3-T4 (21%)
M2	(+) Don (45%)	(+)T3-T4 (54%) (-) T5-T6 (19%)
M3	(+++) Aff (99%)	
M4		(-) Apicales (10%) (+) T5-T6 (37%)
M5	(+) Aff (77%)	

Tableau 13 : Description des classes de morphologie par les critères de morphologie – pour chaque classe, les valeurs moyennes obtenues sont renseignées à moins que celles-ci ne soient pas significativement différentes de la moyenne de l'ensemble des individus (dans ce cas : « ns » est renseigné).

		BSLOPGM	Compacite	Dens_pt_ba	DensICE	Surf_ha	Tps_Ctrc
M1	Moy	0.029	ns	ns	11.06	593.98	3.55
	σ	0.010	ns	ns	2.74	282.14	1.52
M2	Moy	0.034	1.62	16.21	12.64	112.02	ns
	σ	0.010	0.12	3.39	4.66	86.93	ns
M3	Moy	0.069	1.62	15.52	ns	73.90	0.58
	σ	0.015	0.14	4.20	ns	68.81	0.33
M4	Moy	0.039	1.94	22.34	17.85	98.28	ns
	σ	0.016	0.21	4.11	7.02	82.69	ns
M5	Moy	0.057	1.83	15.40	32.29	25.90	0.41
	σ	0.025	0.21	6.34	7.27	23.71	0.23
TOTAL	Moy	0.043	1.70	17.23	15.65	129.37	1.09
	σ	0.020	0.20	4.64	7.65	168.90	0.97

D'après ces deux tableaux précédents, un résumé des informations contenues dans les différentes classes de morphologie peut être apporté (Tableau 14) :

Tableau 14 : Description résumée des modalités de morphologie de TdBV

	NB	Description
M1	57	profil de TdBV très grandes et plus plates, densité de cours d'eau moins importante ; principalement présentes sur le Don et d'avantage représentées en partie apicale
M2	378	profil de TdBV à pente plus faible et moins escarpées (profil plus effusé et densité de thalwegs plus faible) ; d'avantage sur le Don et en milieu de réseau hydrographique
M3	158	petites TdBV à forte pente, de forme plus effusée ; presque en totalité sur l'Aff
M4	146	TdBV très escarpées ; d'avantage présentes en aval
M5	64	très petites TdBV à forte pente et de forme plus allongée comprenant un réseau de cours d'eau dense ; d'avantage présentes sur l'Aff

L'Annexe 9 fournit une représentation cartographique de ces classes sur les TdBV de l'Aff.

Par cette classification, des classes homogènes (faible variabilité intra-groupe) ont été créées et décrites. Cependant, il ne faut pas perdre de vue que la variabilité entre les classes, censée être maximisée, est en fait très faible (cf graphe des individus de la Figure 9).

2) Classification des têtes de bassin versant selon leurs enjeux

a. *Enjeux spécifiques aux classes morphologiques précédemment érigées*

Les 5 classes morphologiques précédentes ont été décrites à partir des critères de risques et enjeux (les résultats statistiques sont disponibles en Annexe 8). Il en ressort que les classes morphologiques M1, M2 et M4 sont caractérisées par des risques d'enterrement plus importants. La classe M2 se distingue aussi par une bande riveraine moins préservée et un assolement d'avantage agricole. La classe M3 se distingue à l'inverse par un contexte forestier plus important. Enfin, la classe M5 se distingue des autres par une densité plus importante de zones humides, un risque d'enterrement moins important et une dynamique d'urbanisation moindre.

b. *Classification des têtes de bassin à partir de leur profil d'occupation du sol et enjeux associés*

Les graphes ci-dessous (Figure 11) illustrent la répartition des pourcentages de recouvrement des principales occupations du sol (Urbain (URBAIN1), Forêt (FORET5) et Agricole (Tx_SAU).

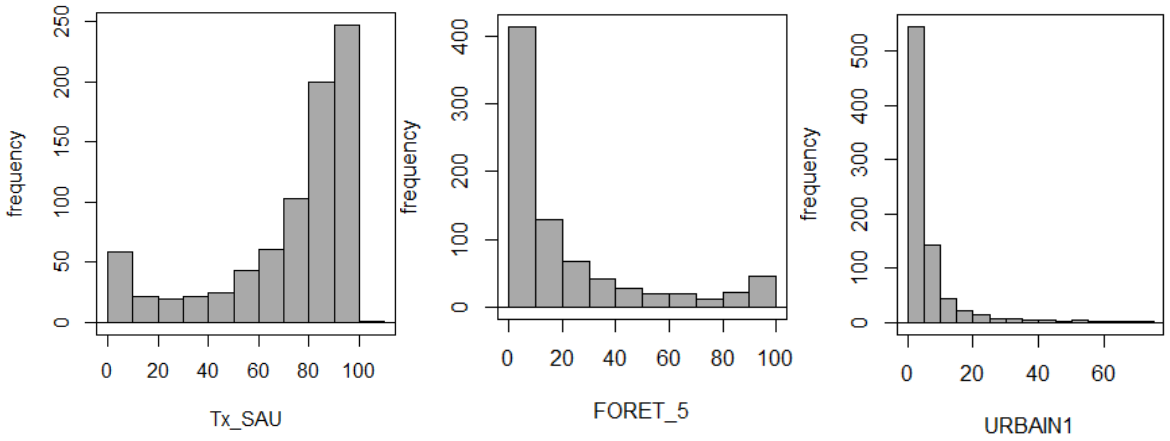


Figure 11 : histogrammes de répartition des pourcentages de recouvrement des principales occupations du sol (de gauche à droite : agricole, forestier, urbain)

Au regard de ces histogrammes, on retrouve une forte proportion de surfaces agricoles dans la majorité des TdBV et quelques TdBV ayant une proportion faible. La tendance est inverse pour les surfaces forestières. Enfin, la majorité des TdBV a une proportion de surface urbanisée faible et celle-ci n'excède que rarement 20% de la TdBV.

Une ACP a été réalisée sur l'ensemble des TdBV selon ces trois types d'occupation du sol. L'Annexe 10 présente la classification effectuée à partir de cette ACP. D'après le dendrogramme, il a été choisi d'effectuer 4 classes. La variance expliquée par la classification est d'environ 83%. On a ainsi pu séparer des TdBV selon leur profil majoritaire (urbain/forestier/agricole). Une dernière classe regroupe des TdBV ayant un profil forestier-agricole plus mixte. Utiliser cette dernière classe permet de resserrer les autres vers leur « occupation de sol majoritaire ». Le profil d'occupation du sol général des 4 classes est décrit dans le Tableau 15 ci-après.

Tableau 15 : Profils d'occupation du sol obtenus et pourcentages d'occupation du sol associés

	Classe 1 (Ag)		Classe 2 (AgFo)		Classe 3 (Ur)		Classe 4 (F)		TOTAL	
Profil	**Agricole**		**Mixte**		**Urbain**		**Forestier**			
NB	530		137		36		100		803	
	Moy	**σ**	**Moy**	**σ**	**Moy**	**σ**	**Moy**	**σ**	**Moy**	**σ**
Tx_SAU	**88.07**	7.19	**59.22**	10.89	41.20	19.28	11.26	11.71	71.48	28.07
URBAIN1	4.94	4.39	3.80	3.89	**43.02**	13.20	2.68	4.87	6.17	9.51
FORET_5	6.42	5.80	**36.19**	11.02	15.2	17.27	**85.60**	12.90	21.75	27.87

Pour chaque profil d'occupation du sol, une seconde classification est effectuée. Les variables descriptives utilisées pour les ACP sur lesquelles elles se basent sont décrites dans le Tableau 16 ci-dessous :

Tableau 16 : Variables descriptives utilisées dans les ACP pour chaque profil d'occupation de sol ; Rappel des codes typologiques d'occupation du sol : 11 = Urbain imperméable ; 2 = Prairies permanentes et Landes ; 3 = Cultures et Prairies Temporaires ; 4 = Arboriculture et maraîchage ; 51 = Forêts de feuillus et mixtes ; 52 = Forêts de conifères ou peupliers ; 53 = Landes ligneuses

Profil	Urbain (Ur)	Agricole (Ag)	Mixte (AgFo)	Forêt (Fo)
Risque d'enterrement	**O**	**O**	**O**	**O**
Risque de fragmentation	**O**	**O**	**O**	**O**
BR préservée (risques phyto)	**O**	**O**	**O**	**O**
Densité de plans d'eau (total ou fond de vallée)	**O**	**O**	**O**	**O**
Densité de zones humides (au BV ou à la BR)	**O**	**O**	**O**	**O**
Densité de zones de protection		**O**	**O**	**O**
Nombre de frayères		**O**	**O**	**O**
Densité arborée	**O**	**O**	**O**	
Densité de bocage		**O**	**O**	
Part de prairie en SAU		**O**	**O**	
BR imperméabilisée	**O**			
Dynamique d'urbanisation	**O**			
Occupation du Sol	TYPO 11	TYPO 2 , 3 et 4		TYPO 51 52 et 54

Les résultats statistiques des ACP et classifications réalisées sur chacun de ces profils d'occupation du sol sont présents dans les annexes 11 (Urbain), 12 (Forêt), 13 (Agricole) et 14 (Mixte). Le Tableau 17 ci-dessous résume les chiffres clés ressortant de ces analyses :

Tableau 17 : Résumé des résultats statistiques des ACP et CAH réalisées sur les 4 profils d'occupation du sol

Profil d'occupation du sol	Urbain (Ur)	Forêt (Fo)	Agricole (Ag)	Mixte (AgFo)
Nombre de variables descriptives utilisées pour l'ACP	9	10	13	10
Variance expliquée par les 2 premières dimensions de l'ACP	46%	44%	33%	32%
Nombre de dimensions utilisées pour la classification (% de variance correspondante)	5 (80%)	5 (76%)	7 (75.2%)	6 (75.5%)
Nombre de classes créées	3	5	8	4
Variance expliquée après découpage	27%	42%	42%	27%

En résumé de ce tableau, les ACP réalisées permettent difficilement d'expliquer la variabilité des TdBV de chaque profil. Pour chaque ACP, la variance est en effet éclatée sur l'ensemble des dimensions et les plans des premières dimensions portent une information réduite (32 à 46%). Leur interprétation, présente en annexe, est donc à relativiser, notamment pour les profils Agricole et Mixte. Les classifications ont été réalisées sur les 5 à 7 premières dimensions de l'ACP. La part de variance ainsi utilisée est comprise entre 75 et 80%. En fonction des dendrogrammes et des résultats obtenus, le profil urbain a été découpé en 3 classes, le profil Forêt en 5, le profil Agricole en 8 et le profil mixte en 4. La variance totale finalement expliquée par ces découpages est faible (27 à 42%). Au sein de chaque profil, la variabilité entre les classes obtenues est donc relativement faible.

Sur la base de ces résultats, une courte description de chacune des 20 modalités est finalement obtenue et présentée dans le Tableau 18, en page suivante.

Il est possible de visualiser cette classification sous forme cartographique, comme dans l'exemple ci-dessous (Figure 12) sur la masse d'eau de la Cône, au nord du Don. On peut par exemple y remarquer la présence de TdBV à tendances plus à risques telles que les TdBV de la classe Ag1 (forte présence de cultures, densité de zones humides et de bocage faibles) concentrées à l'Ouest, la TdBV de classe Ag6 (maraîchage et arboriculture), la position des TdBV urbaines aux risques plus ou moins grands ou encore des TdBV aux contextes agricoles plus préservés tels que dans les classes Ag2 et Ag5 (proportion en prairies temporaires et densité bocagère plus importantes, bande riveraine plus arborée ou risques de fragmentation et d'enterrement plus faibles).

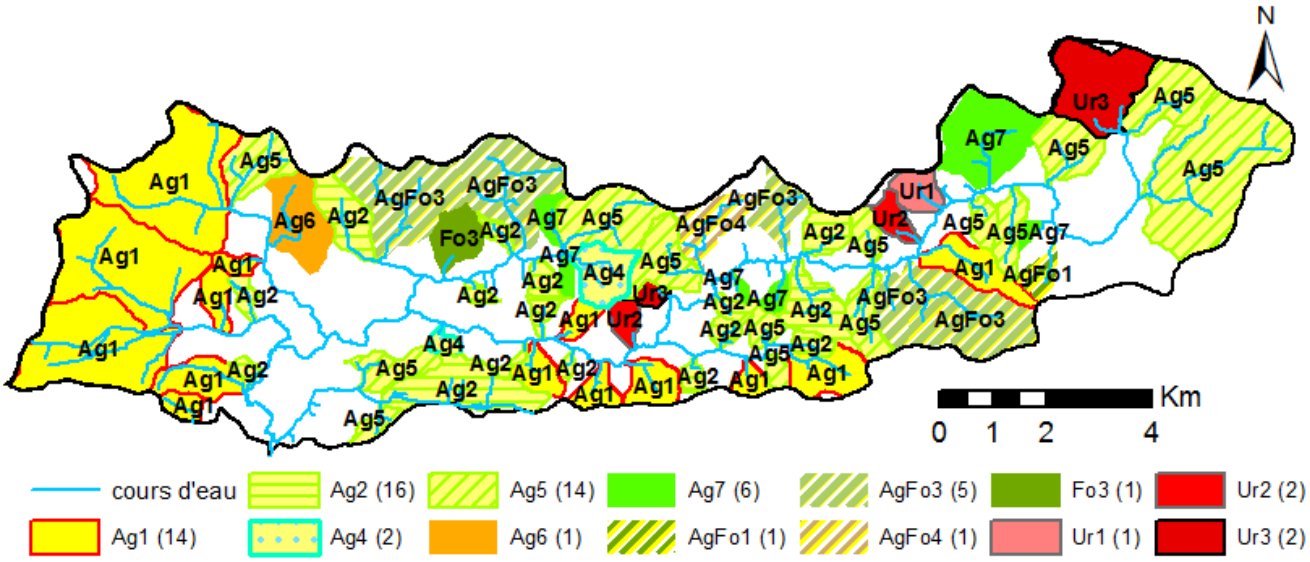


Figure 12 : Exemple de représentation des 20 modalités issues des profils d'occupation de sol sur la masse d'eau de la Cône sur le Don

Aparté - Justesse des données :
Des observations de terrain ont été effectuées au niveau de la bande riveraine de quelques TdBV afin de vérifier si certains critères sont fiables vis-à-vis de la réalité de terrain. Trop peu nombreux, les résultats ne figurent pas ici mais il est intéressant de signaler que sur ces quelques observations, l'occupation du sol, le maillage bocager en bande riveraine et le risque de fragmentation étaient en grande partie cohérents avec la réalité. Il a toutefois été observé que le nombre d'ouvrages est sous-estimé (notamment au niveau des entrées de parcelles) et que tous les ouvrages ne sont pas des obstacles pour la continuité (hauteurs de chute nulles, radiers de ponts transparents …)

Tableau 18 : Description des modalités répartissant les TdBV selon leur profil d'occupation du sol et les enjeux qui y sont associés (critères en rouge : tendance impliquant un risque pour l'état de la TdBV plus important que le risque moyen, critères en vert : tendance inverse)

Classe	NB	Description
Ag1	212	TdBV agricoles majoritairement en cultures ayant des risques d'**enterrement** accrus, ainsi que des densités plus faibles en **zones humides**, **plans d'eau** et **bocage**
Ag2	88	TdBV agricoles caractérisées par une **proportion de prairies** temporaires plus importantes, accompagnés d'un **maillage bocager** plus dense et de **risques d'enterrement et de fragmentation** plus faibles
Ag3	47	TdBV agricoles caractérisées par la présence importante de **frayères**
Ag4	30	TdBV agricoles caractérisées par une densité de **plans d'eau** élevée, associés à des **risques de fragmentation** supérieurs
Ag5	108	TdBV agricoles caractérisées par une plus **forte proportion de prairies** temporaires, un **maillage bocager** plus dense (accompagné par une proportion de **bande riveraine arborée** plus dense) et de plus forts **risques d'enterrement**
Ag6	15	TdBV agricoles caractérisées par la présence importante de **cultures maraîchères et arboricoles**
Ag7	24	TdBV agricoles caractérisées par un **maillage bocager** plus dense et une **forte proportion de prairies** (temporaires et permanentes)
Ag8	6	TdBV agricoles caractérisées par une présence plus importante de **prairie permanente**, de **zones de protection** et de **zones humides**
AgFo1	71	TdBV de profil mixte agricole et forestier, caractérisés par un risque de présence de **cours d'eau enterrés** plus important mais également une plus forte présence de **zones de frayère**
AgFo2	7	TdBV de profil mixte agricole et forestier, caractérisées par des densités de **plan d'eau** plus importantes et un risque de **fragmentation** supérieur
AgFo3	29	TdBV de profil mixte agricole et forestier, caractérisées par une proportion plus importante de **zones de protection** et des cours d'eau ayant une **bande riveraine plus préservée et arborée**
AgFo4	30	TdBV de profil mixte agricole et forestier, caractérisées par des densités en **zone humide** et en **bocage** plus important et un **risque d'enterrement** plus faible
Fo1	13	TdBV forestières à tendance de landes ligneuses et à présence de **frayères** plus importante
Fo2	32	TdBV forestières caractérisées par une plus grande proportion de forêts de feuillus et mixtes, des **risques d'enterrement** plus faibles, une **bande riveraine plus préservée** et des densités de **zone humide** plus faibles
Fo3	18	TdBV forestières peu caractérisables mise à part une plus forte présence de **frayères**
Fo4	18	TdBV forestières de conifères principalement caractérisées par des surfaces plus importantes en **zone de protection** et des densités de **plans d'eau** plus fortes (notamment en fond de vallée)
Fo5	19	TdBV forestières à tendance conifère caractérisée par des cours d'eau ayant un risque de **fragmentation et d'enterrement** plus importants et une **bande riveraine moins préservée** mais un taux de **zones humides** supérieur
Ur1	10	TdBV urbaines à risques moins élevés (risques **d'enterrement et pression urbaine** plus faibles, **BR plus préservée**)
Ur2	17	TdBV urbaines au profil différent d'Ur1 et Ur3 mais peu caractérisables
Ur3	9	TdBV à risques plus élevés (**densités et dynamiques urbaines et risques de fragmentation** plus forts, densité de **zones humides moindres en BR**)

3) Contribution des têtes de bassin versant de la masse d'eau du St-Méen à son état écologique

L'ACP réalisée sur les 13 TdBV de la masse d'eau du St-Méen inclut les critères liés aux problématiques identifiées : risque de fragmentation et d'enterrement, densité de zones humides, densité d'eau en fond de vallée, de bocage ; BR imperméabilisée, taux de zones humides en BR, densité de BR arborée et taux de BR préservée des risques phytosanitaires

Le plan des dimensions 1 et 2 apporte une projection suffisante permettant d'expliquer 63% de la variance totale. La dimension 1 sépare les individus selon un gradient de risques face à des problématiques de pollution diffuse allant de droite à gauche : densité de bocage plus important et bande riveraine en meilleures conditions par une plus forte présence de zones humides, de végétation arborée et de surfaces préservées face aux risques phytosanitaires) mais aussi selon un gradient, positivement corrélé, de risque de présence d'enterrements de cours d'eau. Les TdBV n°5732 et 5945 portent fortement cet axe. Deux axes se dessinent également : le premier répartit les individus selon leur densité d'eau en fond de vallée, une bande riveraine urbanisée et un indice de fragmentation (tous 3 positivement corrélés). Les TdBV n° 5204 et 5949 portent fortement cet axe. Un autre sépare les TdBV selon un gradient de densité de zone humide plus forte pour un ratio de prairies plus faible (Figure 13)

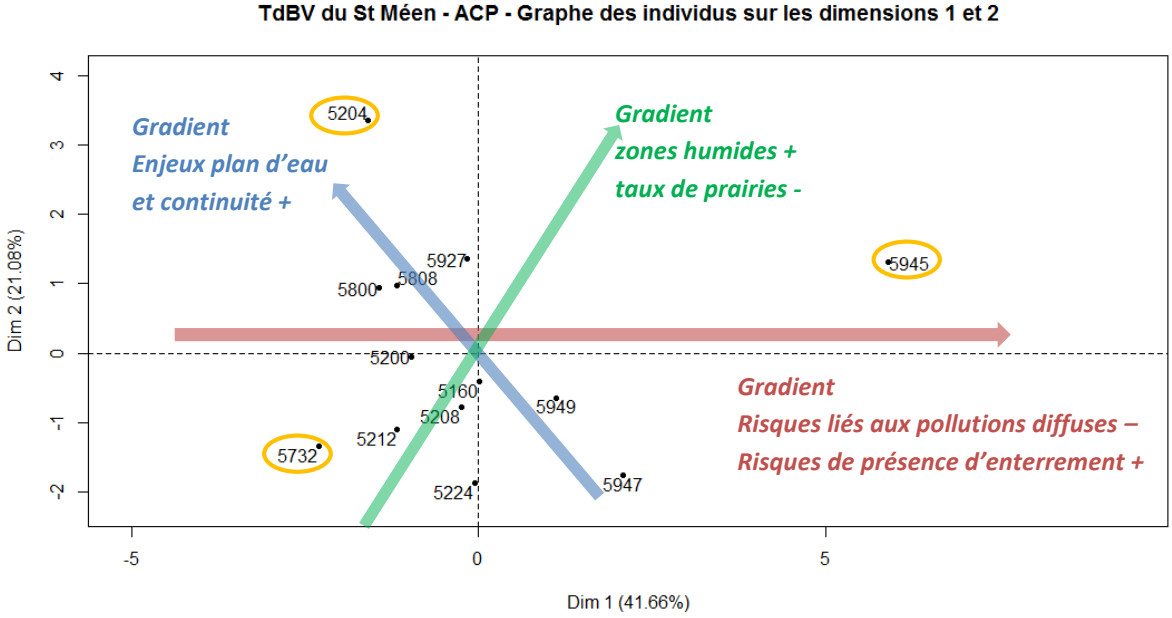


Figure 13 : graphe des individus sur les dimensions 1 et 2 de l'ACP décrivant la contribution des têtes de bassin de la masse d'eau du St-Méen à son état écologique

Face aux enjeux de la masse d'eau, on peut associer les individus ayant des comportements extrêmes sur l'ACP (entourés en orange) aux risques qui y sont associés : n°5204 : risques de morphologie et de continuité ; n°5945 : risques de pollution diffuse moindres et risques de morphologie ; n°5732 : risques de pollution diffuse supérieurs. A partir de leur représentation cartographique (Annexe 15), on peut observer que :

- Le cours d'eau de la TdBV n°5945, très court (105 mètres), est en aval de parcelles agricoles et d'un hameau. Juste avant ce cours d'eau, la présence d'une zone humide et d'un bois peuvent jouer le rôle de zone tampon pour l'épuration des effluents agricoles. Il n'a pas été possible d'identifier un possible enterrement par orthophotographie, au niveau du réseau de points bas.

- Sur la TdBV n°5732, bien que la majeure partie soit renseignée en prairie temporaire (ce qui peut changer en fonction de la rotation des parcelles), on remarque que le bocage est peu dense, les zones humides absentes et la bande riveraine soumise directement aux pressions des parcelles voisines, et sans ripisylve. Ces observations confirment les suspicions d'un risque important lié aux pollutions diffuses.
- D'après la cartographie, la TdBV n°5204 comprend 7 surfaces en eau, et la majeure partie en fond de vallée. 2 routes l'intersectent et représentent de potentielles fragmentation supplémentaires. L'une d'elles longe une partie du cours d'eau (BR imperméabilisée). On retrouve encore une fois les risques mis en évidence par l'ACP.

D. Discussion

1) Retour sur les résultats et les méthodes employées

a. *Délimitation, lien avec la morphologie et limites observées*

La délimitation obtenue sur le territoire d'étude offre des résultats similaires aux ordres de grandeurs trouvés dans la bibliographie, que cela soit pour les linéaires de cours d'eau ou pour les surfaces concernées (Clarke et al., 2008 ; Therin et al., 2015). Les différences en termes de surface et de nombre de TdBV entre l'Aff et le Don peuvent s'expliquer par les différences de faciès qui existent entre les 2 BV (voire les différences géologiques ou pédologiques). En effet, grâce aux résultats observés sur les classes de morphologie, on peut remarquer que les TdBV des classes M1 et M2 (classes aux TdBV les plus grandes et les plus plates) sont d'avantages composées de TdBV du Don alors que celles des classes M3 et M5 (classes aux TdBV les plus petites et aux plus fortes pentes) sont en majorité représentées dans le BV de l'Aff. La relation entre la forme délimitée et la position de la TdBV dans son réseau hydrographique est moins claire, mise à part le fait que l'on trouve les zones les plus grandes à l'amont (M1) et les plus escarpées en aval du réseau (M4).

Malgré les différences existant entre les deux sous-bassins, les surfaces cumulées obtenues sur chacun d'eux sont similaires. Les TdBV (provisoires) d'un troisième sous-BV de la Vilaine (la Seiche) ont été obtenues selon la même méthode avec un résultat comparable (75 %). Ainsi, on peut s'attendre à ce qu'environ 70% de la surface du BV Vilaine et de son réseau hydrographique se retrouvent inclus dans des zones de TdBV. Plus le sous-BV aura un relief marqué et plus le nombre d'entités délimitées sera important.

Du fait de la valeur seuil d'accumulation choisie (qui limite la délimitation à des zones de 10ha minimum), quelques TdBV n'ont pu être délimitées car il n'existait pas de réseau théorique associé (2.5% du linéaire de rangs 1 et 2). Cette tendance est plus marquée sur l'Aff, plus escarpé. A l'inverse, certaines TdBV ont pu ne pas être délimitées car il existait un réseau de point bas (thalweg marqué) mais pas de cours d'eau associé. Il peut alors s'agir, dans certains cas, de cours d'eau entièrement enterrés, et non recensés (Figure 14).

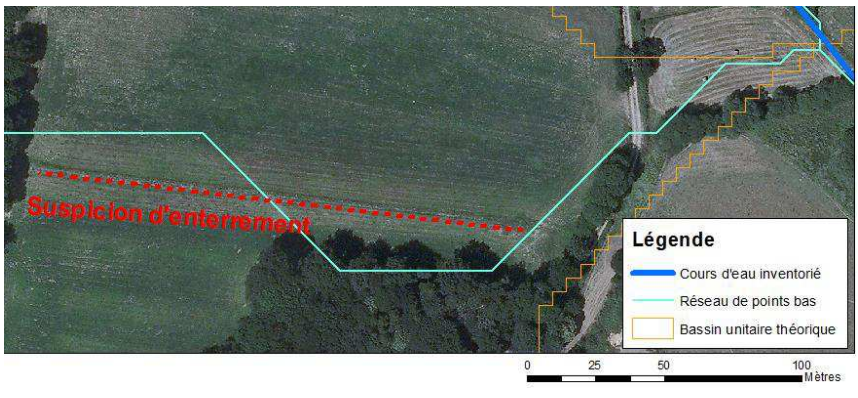


Figure 14 : suspicion de cours d'eau enterré d'après l'orthophotographie - d'après le réseau de points bas, une tête de bassin pourrait y être délimitée

Malgré la qualité des inventaires de cours d'eau, il manque une meilleure connaissance du réseau enterré. Sa prise en compte permettrait d'intégrer les zones de TdBV comprenant des cours d'eau totalement enterrés et d'affiner l'ordination de Strahler, redéfinissant ainsi les limites de certaines TdBV. Cela met en évidence le problème d'une définition qui base les délimitations sur cette ordination, qui dépend directement du niveau de connaissance du réseau hydrographique et néglige les apports quantitatifs (Benda et al., 2005 ; Lheritier, 2012)

La méthode de délimitation proposée ici a l'avantage d'être rapide à mettre en place, notamment grâce à l'automatisation d'une partie du processus (à l'aide des constructeurs de modèle d'ArcGis). Toutefois, l'approche cartographique entraîne plusieurs limites qui amènent plutôt à une localisation approximative des TdBV. En effet, la création de bassins versants se base essentiellement sur les données d'altitude du MNT utilisé (et leur précision discutable). Ainsi, il s'agit de la délimitation de bassins versants topographiques et non de bassins versants hydrologiques (Figure 15). La formation des cours d'eau s'explique par la topographie mais est également due aux formations géologiques, au potentiel d'infiltration du sol, au couvert végétal ou encore aux aménagements (Malavoi, Bravard, 2010). Bien que le traitement du MNT permette en partie de corriger le décalage entre le réseau de thalwegs et le réseau de cours d'eau vrais, il est impossible de reconstituer le véritable cheminement de l'eau. Les routes, par exemple, peuvent modifier localement la topographie (creusement ou élévation) et pourront possiblement modifier la circulation hydraulique. Plus généralement, le réseau de fossé aura une grande influence sur les cours d'eau de TdBV, soit parce que certains y seront connectés, soit parce que le cours d'eau sera utilisé comme tel. Ces limites sont à connaître, mais à moins de développer de meilleurs outils et d'avoir accès à des données de meilleure qualité, il sera difficile de les corriger.

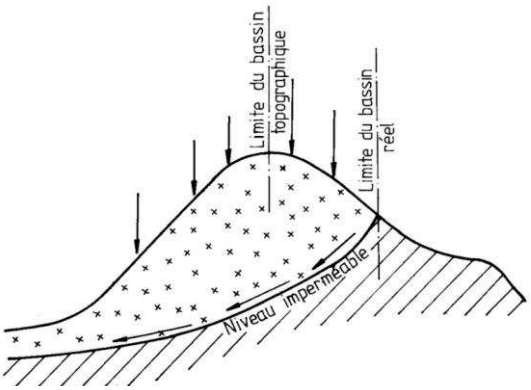


Figure 15 : Différence entre bassin topographique et hydrologique

b. Base de données construite et validité des critères utilisés

Afin d'obtenir l'ensemble des critères présentés précédemment, un travail de prospection des bases de données disponibles a été nécessaire. Le recours aux bases de données a ainsi été limité par l'insuffisance de la précision et/ou de l'étendue géographique (par exemple, des données seulement en partie bretonne ou des recensements anormalement hétérogènes). Les critères finalement définis ont pour objectifs d'être simples et de représenter des caractéristiques diverses, et avec la meilleure précision possible. Toutefois, il aurait été intéressant d'aborder des thématiques supplémentaires. Par exemple les contextes pédologique, géologique et climatique (pluies efficaces) permettraient certainement de mieux comprendre la morphologie des TdBV et leur fonctionnement hydrologique. Grâce au réseau densifié des inventaires de cours d'eau, une version de l'Indice de Développement et de Persistance du Réseau (IDPR) développé par le BRGM (BRGM, 2006) pourrait être recréée à une échelle plus fine et permettrait d'intégrer les tendances au ruissellement ou à l'infiltration en TdBV. Cela permettrait de mieux cerner des problématiques d'étiage, d'inondation ou de pollution diffuse.

D'autre part, aucune base de données disponible de façon homogène à l'échelle de la Vilaine n'a permis d'intégrer des critères relatifs aux caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau. Pourtant, l'altération de la morphologie des cours d'eau est l'un des principaux obstacles au bon état écologique des milieux aquatiques. Utiliser des données de diagnostic de l'état des milieux aquatiques issues d'études CTMA (Contrats Territoriaux Milieux Aquatiques) permettrait d'intégrer ce type de critères. Malheureusement, à ce jour, de telles études se sont moins intéressées aux cours d'eau de TdBV (nombre d'entre eux étant des cours d'eau récemment inventoriés), que ce soit sur les territoires d'étude ou sur l'ensemble du bassin de la Vilaine. Quelques données étaient présentes sur le Don, cependant celles-ci étaient en nombre réduit en TdBV et ne couvraient souvent que partiellement leur chevelu.

Enfin, des données non intrinsèques aux TdBV ont été laissées de côté, telles que celles disponibles sur la qualité de l'eau ou sur l'état écologique, obtenus à l'échelle des masses d'eau. Bishop et al. (2008) mettent pourtant en avant le besoin de s'intéresser à l'aval de ces zones afin d'extrapoler de nouvelles informations, sur la qualité de l'eau par exemple. Ils ajoutent que l'outil cartographique permettrait de mieux prendre en compte les structures paysagères pour affiner la manière dont se feraient ces extrapolations.

Afin de vérifier la fiabilité des données utilisées, une courte phase d'observation terrain a été menée. Celle-ci mériterait d'être poursuivie pour confirmer la précision des données SIG. Concernant le risque d'enterrement, des travaux ont montré que l'utilisation d'orthophotographies peut permettre de soupçonner la présence de cours d'eau enterrés. Toutefois, des observations complémentaires sur le terrain sont nécessaires et les méthodes sont inefficaces pour les zones forestières (Le Bihan, 2009 ; Nguyen Van, 2012 ; Guillerme, 2015).

c. *Visualiser des têtes de bassin versant à enjeux spécifiques à partir des classifications réalisées*

En se focalisant sur une TdBV, les données cartographiques utilisées et les critères qui en sont issus peuvent permettre d'avoir un premier regard sur l'état de la TdBV et les pressions auxquelles elle peut être soumise. Une cartographie individuelle pourrait ainsi servir de premier niveau d'information, dans l'idée d'un support à un diagnostic terrain par exemple. Toutefois, étant donné le nombre de zones délimitées, la multitude des critères utilisés et la diversité des problématiques, étudier individuellement les TdBV d'un territoire aussi large que le bassin de la Vilaine (ou l'un de ses sous-bassins versants) ne peut convenir pour mettre en place une stratégie globale d'action. Face au besoin imminent de mettre en place des actions de gestion et de restauration sur ces zones, une vision d'ensemble est nécessaire. A partir des 803 TdBV délimitées et des critères définis plus tôt, il a alors été proposé de mettre en place une classification permettant de regrouper des TdBV ayant des propriétés similaires et faisant face à des enjeux de même ordre.

Ainsi, les descriptions des classes de morphologie par les critères de risques et enjeux ont permis de constater qu'il peut être pertinent de s'intéresser à la morphologie des TdBV afin de visualiser des enjeux qui se démarqueraient d'avantage dans certaines configurations :

Dans un but d'affiner la délimitation et d'actualiser la connaissance du réseau hydrographique, il serait intéressant de travailler sur les TdBV de la classe M1 (surfaces très

grandes et très plates). En effet, il y a de fortes chances de trouver des cours d'eau méconnus à ces endroits où il existe également un risque d'enterrement plus important. Par ailleurs, les TdBV de la classe M2 représentent quasiment la moitié des TdBV. Leur profil plus effusé, moins escarpé, et aux pentes plus faibles peut représenter des conditions favorisant des contextes de cours d'eau à faible puissance spécifique. Ainsi, cela peut laisser présager qu'une grande part des cours d'eau de TdBV du territoire n'a pas la capacité suffisante pour s'auto-restaurer (Malavoi, Bravard, 2010). Cela amène à envisager l'ampleur de la tâche à accomplir sur ces zones sensibles. Enfin, dans un but de trouver des TdBV préservées (pour inventorier la présence d'espèces d'intérêt patrimonial par exemple), on pourrait s'intéresser à la classe M5 (TdBV de petite taille et escarpées, à forte pente et au réseau de cours d'eau dense). En effet, les zones qui la constituent se distinguent des autres par un contexte qui y serait favorable (d'avantage de zones humides, moins de pression d'urbanisation et de risque de présence de cours d'eau enterrés). Notons toutefois que la variabilité entre les 5 classes décrites est faible et les tendances qui les distinguent en sont de ce fait réduites.

En redécoupant l'ensemble des TdBV selon leur profil d'occupation du sol, on a pu voir que la majorité d'entre elles sera soumise à des problématiques agricoles (ce qui semble normal lorsque l'on sait qu'elles représentent 70% de la surface totale de bassins principalement agricoles). A partir de ces 4 sous-groupes, il a surtout été possible d'expliquer d'avantage la variabilité existant au sein des TdBV en proposant un découpage plus fin en 20 classes. En adaptant l'utilisation des critères impliqués dans la classification en fonction du contexte de chaque profil et en orientant le découpage selon le niveau de distinction qu'on a souhaité faire au sein d'elles (nombre de classes), le résultat obtenu correspond à une représentation qui se veut la plus pertinente possible pour décrire les TdBV face à la diversité des enjeux.

On peut donc, à partir de cette typologie réalisée en 20 classes, décrire des ensembles de TdBV ayant des propriétés similaires. Et à partir de ces propriétés, il est possible d'associer à certaines de ces classes une vulnérabilité liée à des enjeux spécifiques :

- On a ainsi pu mettre en avant 36 TdBV qui sous-entendent un risque face à un contexte urbain qui y est plus dominant (Ur1, Ur2 et Ur3). Parmi celles-ci, la typologie a permis d'en identifier certaines dont le paysage urbain risque d'être plus impactant (Ur3) que d'autres (Ur1).
- En considérant des enjeux relatifs à la biodiversité, il peut être intéressant de s'intéresser à certaines classes où la présence de frayères et/ou de zones de protection y est plus importante (groupes Ag3, Ag8, AgFo1 et Fo1). Sur ces zones où un contexte favorable à certaines espèces d'intérêt a été évalué, des efforts spécifiques devraient être menés pour que celui-ci se pérennise. Pour les espèces piscicoles, il serait également pertinent d'y vérifier l'absence d'éventuels risques de fragmentation qui pourraient limiter la capacité d'accueil de la TdBV.
- En termes de continuité écologique, et plus globalement face aux enjeux liés à l'impact des plans d'eau, la classification met aussi en évidence une cinquantaine de TdBV, réparties en 3 classes (Ag4, AgFo2 et Fo4) où ces problématiques seront plus importantes.
- En termes de problématiques de pollution diffuse, la classe Ag1, qui regroupe le nombre le plus élevé de TdBV (212) pourrait faire l'objet d'une attention plus particulière. En effet, d'après la description établie à partir des critères de caractérisation, il s'agirait de

paysages agricoles risquant d'être plus dégradés, d'être concernés par des pratiques plus intensives (proportion très importante de cultures) et d'être plus impactés par le remembrement (maillage bocager moindre, risques de présence de cours d'eau enterrés supérieurs et densité de zones humide moindre, peut-être en lien avec des drainages). Une attention particulière pourrait également être faite sur les 15 TdBV de la classe Ag6, caractérisée par des proportions de cultures maraîchères et arboricoles plus importantes, qui pourraient possiblement avoir des rejets plus importants en nitrates, phosphates et pesticides.

- Enfin, en termes d'impact sur l'hydromorphologie des cours d'eau, les classes Ag1, Ag5, AgFo1 et Fo5 présentent des risques d'enterrement plus forts.

Cette classification a permis de décrire les TdBV en apportant une information visible assez facilement à une échelle globale, malgré un nombre d'individus et de critères importants, et de l'étendue exploratoire que cela implique. Plusieurs choix ont été déterminants sur l'obtention de ce résultat. Premièrement, pour chaque sous-groupe, le choix des critères utilisés peut être discutable. Dans le but d'obtenir des classes qui correspondent aux mieux aux types d'enjeux auxquels on peut s'attendre, seuls certains critères (ceux qui semblaient les plus pertinents par rapport à l'assolement) ont été utilisés pour le découpage. Ainsi, il est possible que ces choix n'aient pas été les bons et que certaines tendances importantes n'aient pu être décelées. D'autre part, le choix du nombre de classes a également été arbitrairement défini en fonction des différentes descriptions obtenues. Ce nombre de classes détermine la précision avec laquelle on peut décrire la variabilité des TdBV : plus il y a de classes, plus les descriptions seront fines mais il sera également plus complexe d'appréhender le résultat final.

Afin d'avoir un regard plus critique sur les résultats obtenus par cette classification, une étape de diagnostic sur un échantillon aléatoire aurait également permis de déterminer à quel point l'information décrite dans chaque classe s'avère cohérente avec la réalité. En effet, les limites évoquées plus haut concernant la construction de la base de données se répercutent également sur la capacité à pouvoir décrire l'état et les pressions des TdBV au sein des classes. De plus, à cause de la faible variance existant entre les classes, les individus en limite de classe peuvent être mal représentés par la description de celle-ci.

d. *Se baser sur la caractérisation des têtes de bassin versant pour orienter les actions sur une masse d'eau*

A un niveau très local (13 TdBV), l'ACP réalisée sur la masse d'eau du St Méen a permis de mettre en avant des TdBV qui se démarquent des autres vis-à-vis des enjeux qui y sont prioritaires : certaines, ayant une tendance à risque plus ou moins important face aux problématiques de pollution diffuse, d'autres, face aux enjeux de continuité ou de morphologie. Bien qu'il n'ait été possible de distinguer qu'un nombre réduit de TdBV, une telle approche peut permettre d'orienter les choix de gestion en se focalisant sur les zones les plus problématiques. Ainsi, sur cette masse d'eau, les efforts ayant pour but de limiter les risques de pollution diffuse pourront d'avantage s'intéresser aux TdBV représentées le plus à gauche sur la dimension 1 de l'ACP. C'est sur ces zones que des replantations de bocage pourront par exemple se faire en priorité. Ce cas confirme l'intérêt que peut représenter la caractérisation des TdBV pour orienter les actions sur une masse d'eau.

2) Perspectives

a. *Propositions pour la suite de la démarche sur le bassin de la Vilaine*

A partir des méthodes élaborées, la délimitation et le premier niveau de caractérisation des TdBV pourront être appliqués sur tout le BV de la Vilaine, par sous-BV, une fois les inventaires validés. La méthode de délimitation développée ici a permis d'obtenir une première identification des zones de TdBV. Toutefois, une phase de vérification de terrain serait pertinente dans le but d'affiner ces résultats. Une meilleure connaissance des cours d'eau enterrés présents sur le territoire permettrait de redélimiter de nouvelles TdBV ou de redécouper les plus grandes. D'autre part, il serait souhaitable de trouver un moyen d'adapter le seuil de délimitation de 10 ha minimum pour convenir au contexte topographique ou d'adopter une méthode permettant de les délimiter par un autre. Cette limite risque en effet d'être plus importante dans les territoires aux reliefs les plus marqués, où les TdBV sont les plus petites. Enfin, les bases de données cartographiques s'actualisant au fur et à mesure, il sera nécessaire d'actualiser les critères en conséquence. Cette actualisation permettrait en plus d'appréhender l'évolution de l'état des TdBV dans le temps.

A partir de cette étude exploratoire et des échanges qu'elle a suscités, il pourrait être envisagé de réaliser un deuxième niveau de caractérisation à l'échelle de chaque sous-BV du SAGE Vilaine. Les critères de la base de données développée pourraient être précisés et complétés avec les connaissances locales, les bases de données disponibles à l'échelle du sous-bassin (diagnostic de cours d'eau, par exemple) voire avec une étude complémentaire spécifique. A cette échelle, d'avantage de bases de données sont disponibles et peuvent également être plus précises.

Liste non exhaustive de données supplémentaires pouvant être prises en compte dans un second niveau de caractérisation à l'échelle des sous-bassins :
état hydromorphologique des cours d'eau, obstacles à la continuité, qualité de la bande riveraine et de sa ripisylve (données d'études CTMA) ; présence ponctuelle de stations d'épuration et assainissements non collectifs ou de prélèvements d'eau ; répartition d'espèces d'intérêt patrimonial ou invasives ; présence de zones à risque d'érosion ; distinction des zones humides selon leur code CORINE ; qualité des haies ; zones vulnérables vis-à-vis de la pollution diffuse …

Si, conformément aux dispositions énoncées dans le SAGE et le SDAGE, le travail sur les TdBV amène à une priorisation, la prise en compte du contexte du sous-bassin versant est primordiale afin d'y adapter les enjeux et d'appliquer une hiérarchisation pertinentes sur les critères (accorder d'avantage d'importance à certains critères si par exemple, l'enjeu majeur sur le sous-bassin est lié à une sensibilité à l'étiage ou à l'inondation, à un contexte très urbanisé, à d'importants problèmes de rejets de pesticides ou d'obstacles à la continuité écologique…)

Afin de hiérarchiser la priorité sur les TdBV, une méthode statistique d'optimisation pourrait être appliquée : cette méthode permet de modéliser une fonction de coût basée sur un ensemble de critères. Pour chaque critère est attribué un poids, en fonction de son importance relative aux autres critères (à décider selon les enjeux du sous-BV et à pondérer selon des avis experts), et la valeur idéale vers laquelle elle doit tendre (exemple : pour des problèmes de pollution diffuse, le bocage doit être le plus dense, le ratio de prairie devra être le plus élevé possible, etc…). Cela permettrait d'obtenir au final, pour chaque TdBV, une distance à l'optimalité qui peut se traduire par la prédiction de l'importance de considérer la TdBV face aux enjeux définis sur le sous-BV.

b. *Prise en compte des têtes de bassin versant dans le futur*

L'intérêt fonctionnel et les fortes pressions des cours d'eau et zones humides de TdBV rendent légitime le besoin de prendre d'avantage en compte ces espaces dans les décisions futures. Si le concept de tête de bassin versant (en tant qu'aire d'alimentation de ces cours d'eau et zones humides) s'est répandu, c'est bien parce qu'il existe une volonté d'adopter une vision holistique élargie à l'ensemble de leur bassin d'alimentation et aux pratiques et aménagements anthropiques qui s'y trouvent. C'est également le besoin d'adopter une vision intégratrice, combinant les multiples enjeux (biodiversité, pollution diffuse, continuité écologique, morphologie, bocage, …) afin de procéder à des choix de gestion cohérents. Dans cette idée, il est nécessaire de réfléchir dès maintenant aux stratégies à adopter.

En termes de surface, les TdBV recouvrent la majeure partie d'un territoire. Ainsi, avant d'adopter des décisions à une échelle globale, il est nécessaire d'accentuer les efforts de sensibilisation auprès des gestionnaires, des usagers, des élus et du grand public Il s'agira dans un premier temps de faire connaître les spécificités de ces zones, leur rôle, leur état de dégradation, et l'ampleur des surfaces concernées. Cela, dans le but de changer les regards sur l'intérêt qu'il faut porter à la sauvegarde de leurs cours d'eau et zones humides et montrer alors que malgré leurs tailles réduites, ils ne doivent pas pour autant être considérés comme insignifiants. En améliorant la connaissance de l'état de ces TdBV, l'ampleur de certains enjeux pourrait être reconsidérée et leurs problématiques pourraient évoluer.

Dans l'idée de mettre en place des stratégies d'action à une échelle globale, il pourra être nécessaire de centrer les objectifs sur des points précis. En effet, si une démarche de classification équivalente à celle effectuée sur les sous-bassins de l'Aff et du Don devait être effectuée à l'échelle de la Vilaine, un trop grand nombre de classes serait nécessaire pour suffisamment détailler l'hétérogénéité des TdBV d'un territoire si vaste. Pour réduire l'information, plusieurs classifications devraient être réalisées, chacune construite en abordant un seul type d'enjeu. Par exemple, afin de mieux cerner les enjeux de continuité écologique, seuls les critères en lien avec la fragmentation, les plans d'eau ou les zones de frayères seraient utilisés. Bien que cela amène à réduire la portée intégrative (prise en compte d'une multitude d'enjeux pour caractériser les TdBV) des décisions adoptées, celles-ci seraient sans doute plus justes.

Proposer des stratégies d'action à l'échelle d'un sous-bassin versant de la Vilaine semble être une alternative plus appropriée. A cette échelle, l'hétérogénéité des territoires et de leurs enjeux pourra être gommée. C'est dans cet objectif que le second niveau de caractérisation est proposé en suite de la démarche. Par ailleurs, les TdBV pourraient être considérées comme une entité de gestion supplémentaire, consistant en un emboîtement complémentaire aux masses d'eau du sous-bassin versant. En effet, on a pu voir avec l'exemple sur le St-Méen que les données de caractérisation peuvent permettre d'orienter spatialement les objectifs d'actions correspondant aux enjeux de la masse d'eau. Toutefois, si des pistes peuvent ainsi être apportées sur la masse d'eau du St-Méen, ce seul résultat ne permet pas de généraliser la possibilité de le faire sur n'importe quelle masse d'eau. Par exemple, pour certaines masses d'eau qui ne seraient pas apicales, l'état écologique mesuré peut dépendre d'autres masses d'eau connectées, en amont. Les enjeux de la masse d'eau peuvent alors être déconnectés de l'état des TdBV qu'elle inclut.

Au-delà de la planification, le travail sur les TdBV doit également être réfléchi sur le plan opérationnel. Une fois des zones prioritaires définies, la représentation cartographique des données de caractérisation peut être un support qui aidera les aux gestionnaires à adopter une démarche intégrée en diagnostiquant la TdBV. En comparant les critères de caractérisation de cette TdBV à des seuils de risques, l'opérateur pourra avoir une première idée de son contexte et de ses potentielles vulnérabilités.. Une méthode spécifique au diagnostic de l'hydromorphologie des cours d'eau de TdBV est également en cours de développement par l'AFB sur le territoire Bretagne-Pays de la Loire. Elle propose d'adopter un diagnostic paysager par SIG (identification des cours d'eau enterrés ou rectifiés, zones humides, plans d'eau, ripisylves, et de l'occupation du sol en bande riveraine ...) suivi d'évaluations de terrain sur des segments morphologiquement homogènes (évaluation du lit mineur, de la bande riveraine, des obstacles à la continuité écologique et de la présence de réseau hydraulique annexe) (Le Bihan, 2017).

En fonction des objectifs, il est nécessaire de réfléchir au type de priorisation à adopter. En effet, la réponse est plus complexe que de simplement chercher à restaurer les TdBV où les risques de dégradation sont les plus grands. Ces choix, différents selon l'enjeu considéré, orienteront les méthodes de hiérarchisation. Par exemple, pour lutter contre les problèmes de pollution diffuse, les gestionnaires pourront focaliser les efforts sur les TdBV les plus vulnérables. En termes de préservation du patrimoine naturel, on pourra plutôt chercher à préserver ou améliorer l'état des TdBV où des enjeux de biodiversité sont avérés. D'autre part, dans le cas d'objectifs de restauration de l'hydromorphologie des milieux aquatiques, il faudra bien distinguer les zones qui ne peuvent pas se restaurer par elles-mêmes, qui nécessiteront des interventions, et celles qui sont résilientes, pour lesquelles on pourra accompagner l'auto-restauration. La méthode de diagnostic de l'AFB évoquée précédemment permet d'ailleurs de faire cette distinction.

c. *Mieux comprendre les spécificités des têtes de bassin*

Afin d'orienter la gestion des TdBV de la façon la plus adaptée, il est essentiel de mieux comprendre les spécificités des têtes de bassin versant. Pour cela, il pourra être envisagé d'évaluer si une gestion/restauration différente doit être appliquée en TdBV par rapport à l'aval. En effet, historiquement, les travaux de restauration des cours d'eau se sont d'avantage intéressés à de plus grands gabarit. En TdBV, la taille des cours d'eau et leur fonctionnement hydraulique peut amener à des modalités d'intervention différentes. Distinguer des types de bassins versants à l'image de la classification basée sur la morphologie permettrait également de mieux s'adapter aux situations.

Par ailleurs, il serait intéressant d'évaluer les spécificités des TdBV selon leur position dans le réseau hydrographique, notamment au niveau de leur potentiel écologique : on sait par exemple que les petits tributaires en aval de réseau hydrographique jouent souvent un rôle important pour la reproduction ou pour les apports en matière organique grossière, et que certaines espèces sont strictement inféodées aux zones apicales (Meyer et al., 2007). En termes de priorisation face à des questions de pollution diffuse, on pourrait également émettre l'hypothèse que les zones apicales auront un impact plus important, en influençant une part plus importante du réseau hydrographique.

E. Conclusion

Les têtes de bassin versant, définies ici comme les bassins versants délimités par les cours d'eau des rangs 1 et 2 de Strahler, sont des espaces sensibles et fortement dégradés. Leurs spécificités, et notamment leur lien avec le reste du réseau hydrographique, amène les gestionnaires à s'y intéresser afin de reconquérir la qualité de l'eau et des milieux aquatiques. Pour apporter d'avantages de connaissances sur les enjeux et le fonctionnement de ces zones méconnues, les outils cartographiques peuvent permettre de les délimiter et de renseigner certaines de leurs caractéristiques. Sur l'Aff et le Don, 803 TdBV ont pu être localisées. Elles recouvrent plus de 70% du territoire, des résultats similaires à la plupart des autres travaux de délimitation de TdBV. Une meilleure connaissance du réseau hydrographique et une amélioration des méthodes de délimitation permettront d'affiner ce résultat. A partir des bases de données disponibles à l'échelle de la Vilaine, un premier niveau de caractérisation a été proposé. Afin de décrire plus facilement la variabilité du territoire et cerner des groupes de TdBV aux fonctionnement et enjeux de gestion similaires, plusieurs analyses exploratoires ont été adoptées. 1) Les caractéristiques morphologiques décrites supposent l'existence de plusieurs types de têtes de bassin versant aux comportements physiques différents et met notamment en évidence la vulnérabilité d'une grande part de TdBV dont le profil suggère l'incapacité de leurs cours d'eau à se restaurer par eux-mêmes. 2) A partir des profils d'occupation du sol, le découpage des TdBV en 20 classes apporte une description simplifiée de la diversité des TdBV du territoire d'étude, et met également en évidence des TdBV risquant d'être d'avantage préservées ou vulnérables selon les enjeux considérés, ce qui permettrait d'orienter les actions sur ces territoires. 3) Enfin, l'exemple de la masse d'eau du St-Méen a montré qu'il est possible d'envisager les TdBV comme de nouvelles entités de gestion imbriquées à la masse d'eau et permettant d'y orienter les stratégies d'action. La démarche adoptée nécessite toutefois d'être complétée par des vérifications, autant pour juger de la qualité des informations fournies par les critères que pour valider les descriptions des classifications proposées. A l'avenir, la délimitation des TdBV et cette caractérisation pourront être étendues à l'ensemble de la Vilaine. Cependant, à cette échelle, résumer les informations décrites par la caractérisation à partir d'une classification équivalente à celle effectuée ici risque d'être difficile. Pour une planification, l'échelle du sous-bassin, ou de la masse d'eau, sera d'avantage à envisager. Pour cela, un second niveau de caractérisation plus complet et adapté au territoire pourra compléter le premier. A l'avenir, il est nécessaire de continuer à accumuler de la connaissance sur ces zones où l'état des milieux aquatiques est moins connu, que ce soit grâce aux bases de données disponibles ou grâce à des diagnostics de terrain. Cela permettra d'accompagner une transition des mœurs vers une vision qui considère d'avantage le rôle des TdBV et leur état actuel.

F. Bibliographie

AGENCE DE L'EAU LOIRE-BRETAGNE, 2015. *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux 2016-2021 - Bassin Loire-Bretagne*. p. 308

ALEXANDER, Richard B., BOYER, Elizabeth W., SMITH, Richard A., SCHWARZ, Gregory E. et MOORE, Richard B., 2007. The role of headwater streams in downstream water quality. In : *Journal of the American Water Resources Association*. 2007. Vol. 43, n° 1, p. 41‑59. DOI 10.1111/j.1752-1688.2007.00005.x.

BARNAUD, Geneviève, 2013. Spécificités des têtes de bassin cours d'eau et zones humides associées. In : *« Têtes de bassin » Rencontres Eau, Espaces, Espèces - Tours*. 2013.

BENDA, Lee, HASSAN, Marwan A., CHURCH, Michael et MAY, Christine L., 2005. Geomorphology of Steepland Headwaters : the transition from hillslopes to channels. In : *Journal of the American Water Resources Association*. août 2005. Vol. 41, n° 4, p. 835‑851. DOI 10.1111/j.1752-1688.2005.tb03773.x.

BISHOP, Kevin, BUFFAM, I., ERLANDSSON, M., FÖLSTER, J., LAUDON, H., SEIBERT, J. et TEMNERUD, J., 2008. Aqua Incognita: the unknown headwaters. In : *Hydrological Processes*. 15 avril 2008. Vol. 22, n° 8, p. 1239‑1242. DOI 10.1002/hyp.7049.

BRGM, 2006. Carte de vulnérabilité intrinsèque simplifiée des eaux souterraines de la région Aquitaine. In : *BRGM/RP-55311-FR*. 2006. p. 37‑50.

BRYANT, Mason D, GOMI, Takashi et PICCOLO, Jack J, 2007. Structures Linking Physical and Biological Processes in Headwater Streams of the Maybeso Watershed, Southeast Alaska. In : *Forest Science*. 2007. Vol. 53, n° May, p. 371‑383.

CHOUCARD, Pauline, 2011. *Elaboration d 'une méthodologie d 'inventaire cartographique et de hiérarchisation des têtes de bassin versant dans le contexte armoricain Application au bassin versant versant du Couesnon*. Mémoire de Master Gestion des Habitats et des Bassins Versants - Université de Rennes 1 - 30p.

CLARKE, Amber, MAC NALLY, Ralph, BOND, Nick et LAKE, P. S., 2008. Macroinvertebrate diversity in headwater streams: A review. In : *Freshwater Biology*. 2008. Vol. 53, n° 9, p. 1707‑1721. DOI 10.1111/j.1365-2427.2008.02041.x.

DANQUERQUE, Christophe, 2011. *Rapport d'Etude - Recherche des têtes de Bassin*. Institution d'Aménagement de la Vilaine 19p.

DATRY, Thibault, MARMONIER, Pierre et LAFONT, Michel, 2008. La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et la restauration des cours d'eau. In : *Ingénieries*. 2008. n° 54, p. 3‑18.

DODDS, Walter K. et OAKES, Robert M., 2008. Headwater influences on downstream water quality. In : *Environmental Management*. 2008. Vol. 41, n° 3, p. 367‑377. DOI 10.1007/s00267-007-9033-y.

FREEMAN, Mary C., PRINGLE, Catherine M. et JACKSON, C. Rhett, 2007. Hydrologic Connectivity and the Contribution of Stream Headwaters to Ecological Integrity at Regional Scales1. In : *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 26 janvier 2007. Vol. 43, n° 1, p. 5‑14. DOI 10.1111/j.1752-1688.2007.00002.x.

GUILLERME, Noémie, 2015. *Caractérisation de la pression « enterrement des cours d'eau » sur le territoire Bretagne – Pays de la Loire*. Mémoire de Master Gestion des Habitats et des Bassins Versants - Université de Rennes 1 - 31 p.

HENNER, Raphaëlle, 2013. *Les têtes de bassin versant, des espaces à considérer pour une gestion durable et intégrée de la ressource en eau*. Mémoire de Master de géographie Socétés, Territoires, Aménagement, Environnement et Risques - Université de Caen, 128 p.

HURST, Mark R. et SHEAHAN, David A., 2003. The potential for oestrogenic effects of pesticides in headwater streams in the UK. In : *Science of the Total Environment*. 2003. Vol. 301, n° 1‑3, p. 87‑96. DOI 10.1016/S0048-9697(02)00288-7.

HUSSON, François, JOSSE, Julie et PAGÈS, Jérôme, 2010. Principal component methods - hierarchical clustering - partitional clustering: why would we need to choose for visualizing data? In : *Technical Report*. 2010. n° September, p. 1‑17. DOI http://factominer.free.fr/docs/HCPC_husson_josse.pdf.

JONES, Nicholas E, 2010. Incorporating lakes within the river discontinuum: longitudinal changes in ecological characteristics in stream–lake networks. In : *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2010. Vol. 67, n° 8, p. 1350‑1362. DOI 10.1139/F10-069.

KRECEK, J et HAIGH, M J, 2006. Headwater Wetlands. In : *Environmental Role of Wetlands in Headwaters*. 2006. p. 1‑6.

LÊ, Sébastien, JOSSE, Julie et HUSSON, François, 2008. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. In : *J. of Statistical Software*. 2008. Vol. 25, n° 1, p. 1‑18. DOI 10.1016/j.envint.2008.06.007.

LE BIHAN, Mikaël, 2009. *Enterrement des cours d'eau en tête de bassin*. Mémoire de Master Environnement et Aménagement - Université Paul Verlaine Metz.

LE BIHAN, Mikaël, 2012. Connaissances, outils, méthodes et perspectives. In : *Réunion d'information Tête de bassin versant - ONEMA*.

LE BIHAN, Mikaël, 2017. *Méthodologie d'évaluation de l'hydromorphologie des cours d'eau en tête de bassin versant à l'échelle linéaire - Note technique - version provisoire au 20 Février 2017 - Agence Française pour la Biodiversité*. p. 30

LHERITIER, Nicolas, 2012. Les têtes de bassin : de la cartographie aux échelles mondiale et française à la caractérisation des ruisseaux limousins. Thèse de doctorat en géographie - Université de Limoges . 2012.

MALAVOI, Jean-René et BRAVARD, Jean-Paul, 2010. Eléments d ' hydromorphologie fluviale. In : *ONEMA*. 2010. p. 224.

MEYER, Judy L., KAPLAN, Louis A., NEWBOLD, Denis, STRAYER, David L., WOLTEMADE, Christopher J., ZEDLER, Joy B., BEILFUSS, Richard, CARPENTER, Quentin, SEMLITCH, Ray, WATZIN, Mary C. et ZEDLER, Paul H., 2007. Where Rivers Are Born: The Scientific Imperative for Defending Small Streams and Wetlands. In : *American Rivers*. 2007. p. 1‑26.

MEYER, Judy L., STRAYER, David L., WALLACE, J. Bruce, EGGERT, Sue L., HELFMAN, Gene S. et LEONARD, Norman E., 2007. The contribution of headwater streams to biodiversity in river networks. In : *Journal of the American Water Resources Association*. 2007. Vol. 43, n° 1, p. 86‑103. DOI 10.1111/j.1752-1688.2007.00008.x.

MEYER, Judy L et WALLACE, J B, 2001. Lost linkages and lotic ecology: rediscovering small streams. In : *Ecology: Achievement and Challenge: the 41st Symposium of the British Ecological Society of America*. 2001. n° April 2001, p. 259‑317.

NGUYEN VAN, Rémi, 2012. *Les altérations physiques en têtes de bassin versant sur les régions Bretagne-Pays de la Loire*. Mémoire de Master Espace et Mileux - Université Paris Diderot

OLSON, Deanna H., ANDERSON, Paul D., FRISSELL, Christopher A., WELSH, Hartwell H. et BRADFORD, David F., 2007. Biodiversity management approaches for stream-riparian areas: Perspectives for Pacific Northwest headwater forests, microclimates, and amphibians. In : *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol. 246, n° 1 SPEC. ISS., p. 81‑107. DOI 10.1016/j.foreco.2007.03.053.

ONEMA, 2014. Quel espace dédier aux cours d'eau ? In : *Note de synthèse bibliographique*. 2014. p.4

ORAISON, Federica, SOUCHON, Yves et LOOY, Kris Van, 2011. Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments: une voie commune? In : *ONEMA - Pôle Hydroécologie des cours d'eau*. 2011. p. 8.

POIRAUD, Alexandre, SORREL, Diane-laure et LAVEUF, Cédric, 2016. Cartographie des têtes de bassin versant sur le territoire du SAGE Estuaire de la Gironde. In : Ateliers "Zones humides et têtes de bassins versants" 21 novembre 2016 à Lathus.

RASMUSSEN, Jes J., MCKNIGHT, Ursula S., LOINAZ, Maria C., THOMSEN, Nanna I., OLSSON, Mikael E., BJERG, Poul L., BINNING, Philip J. et KRONVANG, Brian, 2013. A catchment scale evaluation of multiple stressor effects in headwater streams. In : *Science of the Total Environment*. 2013. Vol. 442, p. 420‑431. DOI 10.1016/j.scitotenv.2012.10.076.

REYJOL, Yorick, SPYRATOS, Vassilis et BASILICO, Laurent, 2012. *Bioindication : des outils pour évaluer l'état écologique des milieux aquatiques. Perspectives en vue du 2e cycle DCE-Eaux de surface continentales*. Les rencontres de l'ONEMA, p. 55. ISBN 979-10-91047-12-8.

ROY, Suvendu et SAHU, Abhay Sankar, 2016. International Soil and Water Conservation Research Effect of land cover on channel form adjustment of headwater streams in a lateritic belt of West Bengal (India). In : *International Soil and Water Conservation Research*. 2016. Vol. 4, n° 4, p. 267‑277. DOI 10.1016/j.iswcr.2016.09.002.

SALPIN, Benoît, 2016. *Elaboration d'une démarche concertée d'inventaire cartographique et de caractérisation des têtes de bassin versant du périmètre du SAGE estuaire de la Loire*. S.l. : Université de Rennes 1.

SMILEY, Peter C., DIBBLE, Eric D. et SCHOENHOLTZ, Stephen H., 2005. Fishes of First-Order Streams in North-Central Mississippi. In : *Southeastern Naturalist*. juin 2005. Vol. 4, n° 2, p. 219‑236. DOI 10.1656/1528-7092(2005)004[0219:FOFSIN]2.0.CO;2.

STRAHLER, Arthur N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. In : *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 1957. DOI 10.1029/TR038i006p00913. p.

THERIN, Emmanuel, VAROQUIER, Sébastien et JACOB, Fabien, 2015. *Évaluation des atteintes aux têtes de bassin versant Caractérisation & hiérarchisation*. Rapport du Syndicat Mixte Environnemental Goëlo Argoat, p. 154.

TIXIER, Guillaume, DANGER, Michael, FELTEN, Vincent, MAUNOURY-DANGER, Florence, DEVIN, Simon et GUÉROLD, François, 2012. Enjeux des têtes de bassin versants pour la préservation et la restauration du bon état des masses d'eau. p. 38.

VALLE JUNIOR, Renato F., VARANDAS, Simone G P, PACHECO, Fernando A L, PEREIRA, Vítor R., SANTOS, Cátia F., CORTES, Rui M V et SANCHES FERNANDES, Luís F., 2014. Impacts of land use conflicts on riverine ecosystems. In : *Land Use Policy*. 2014. Vol. 43, p. 48‑62. DOI 10.1016/j.landusepol.2014.10.015.

VANNOTE, Robin L., MINSHALL, G. Wayne, CUMMINS, Kenneth W., SEDELL, James R. et CUSHING, Colbert E., 1980. The River Continuum Concept. In : *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. janvier 1980. Vol. 37, n° 1, p. 130‑137. DOI 10.1139/f80-017.

WALLACE, J Bruce; et EGGERT, S. L, 2009. Benthic Invertebrate Fauna, Small Streams. In : *Encyclopedia of Inland Waters*. 2009. Vol. 2, p. 173‑190. DOI http://dx.doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00163-0.

WASSON, Jean-Gabriel, CHANDESRIS, André, PELLA, Hervé et BLANC, Laurence, 2002. Les hydro-écorégions de France métropolitaine approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés . In : *Cemagref report*. 2002. p. 1‑190.

WASSON, Jean-Gabriel, DÉCAMPS, Henri, BLONDEL, Jacques, JOLY, Pierre, LUGINBUHL, Yves et GRIL, Jean-Noël, 2008. *L'arbre, la rivière et l'homme*. CSPNB p. 64. ISBN 9782110974730.

WIPFLI, Mark S., RICHARDSON, John S. et NAIMAN, Robert J., 2007. Ecological Linkages Between Headwaters and Downstream Ecosystems: Transport of Organic Matter, Invertebrates, and Wood Down Headwater Channels1. In : *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 26 janvier 2007. Vol. 43, n° 1, p. 72‑85. DOI 10.1111/j.1752-1688.2007.00007.x.

ANNEXES

Table des annexes :

Annexe 1 : situation géographique du SAGE Vilaine et état d'avancement des inventaires de cours d'eau selon ses sous-bassins II

Annexe 2 : Cartographie de l'état écologique des masses d'eau de la Vilaine en 2015 III

Annexe 3 : Bases de données utilisées et limites associées : IV

Annexe 4 : Construction de la typologie d'occupation du sol et regroupement des attributs des bases de données qui la constitue : V

Annexe 5 : Aperçu cartographique des délimitations des têtes de bassin versant sur l'Aff et le Don . VII

Annexe 6 : Exemple d'une représentation cartographique des données de caractérisation sur la tête de bassin versant n° 5172 X

Annexe 7 : Résumé statistique – répartition des données sur chaque critère représentée par des boîtes à moustache XI

Annexe 8 : résultats statistiques – morphologie des têtes de bassin versant XIV

Annexe 9 : représentation cartographique des classes morphologiques sur le bassin de l'Aff..... XVIII

Annexe 10 : résultats statistiques – découpage en sous-groupes (profils) basé sur l'occupation du sol XIX

Annexe 11 : résultats statistiques – ACP et classification sur le profil Urbain XX

Annexe 12 : résultats statistiques – ACP et classification sur le profil Forêt XXIV

Annexe 13 : résultats statistiques – ACP et classification sur le profil Agricole XXVII

Annexe 14 : résultats statistiques – ACP et classification sur le profil Mixte Forêt-Agricole..... XXXII

Annexe 15 : résultats statistiques – ACP sur les TdBV de la masse d'eau du St-Méen et représentation des individus à forte contribution XXXVI

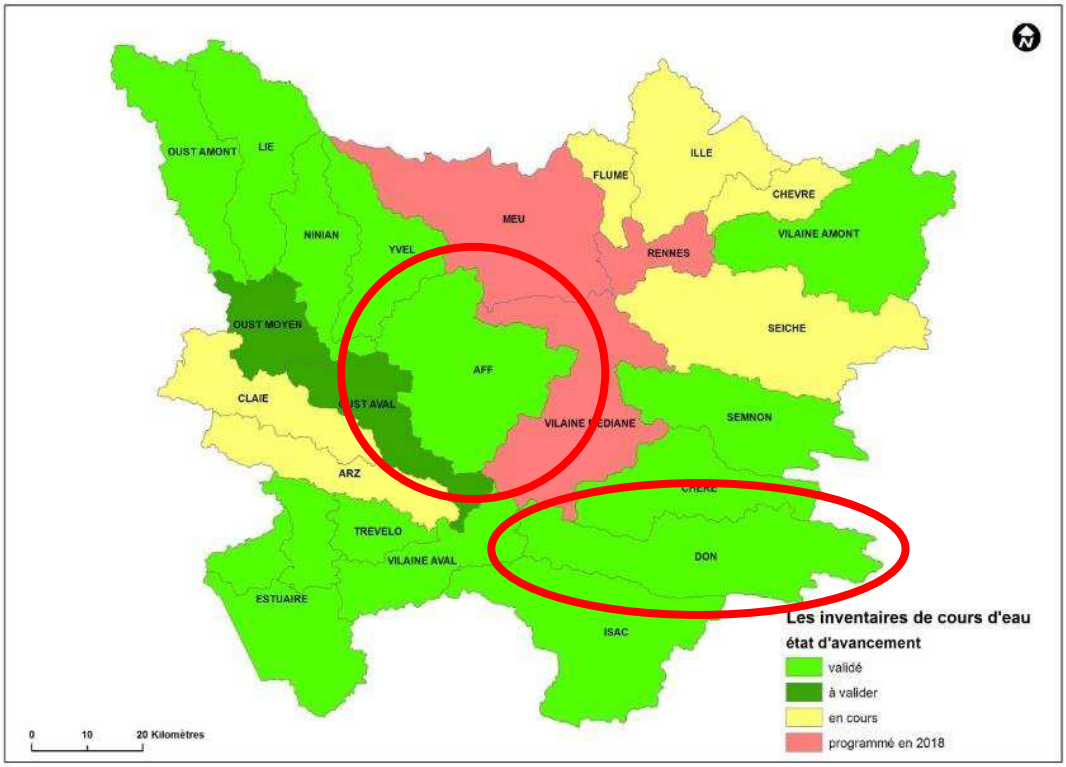
Annexe 1 : situation géographique du SAGE Vilaine et état d'avancement des inventaires de cours d'eau selon ses sous-bassins

- **Situation géographique :**

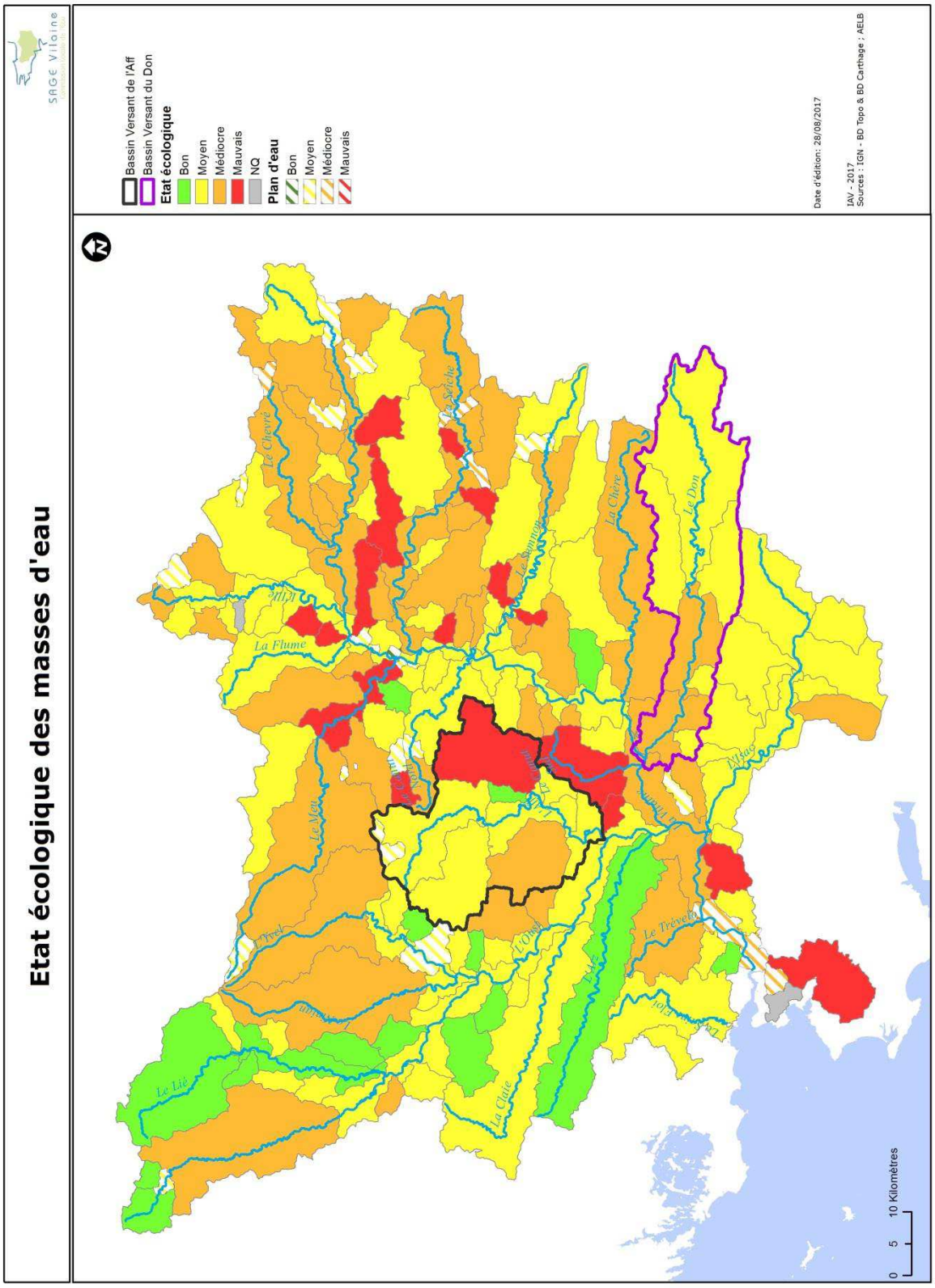
Situation géographique du bassin Vilaine et découpage départemental



- <u>Etat des lieux des inventaires de cours d'eau (bassins de l'Aff et du Don entourés en rouge :</u>



Annexe 2 : Cartographie de l'état écologique des masses d'eau de la Vilaine en 2015



Annexe 3 : Bases de données utilisées et limites associées :

Bases de données (sources)	Echelle/précision	Commentaires
BD TOPO 2015 (IGN)	1/5 000ème à 1/50 000ème	Précise, la BD TOPO fournit un large panel d'informations tel que l'emplacement du bâti, des voies de transport, des plans d'eau ou de la végétation arborée (forêts, bois, haies)
RGE ALTI 5m (IGN)	Raster au pas de 5m Echelle 1/3000ème au 1/20000ème	Le RGE ALTI est le MNT également utilisé pour la délimitation. Il est constitué de plusieurs types de données de plusieurs qualités (LiDAR, RADAR, corrélations de photographies aériennes, données issues de courbes de niveau de cartes anciennes lorsqu'aucune autre donnée n'existe). L'exactitude altimétrique dépend de la source des données.
Corine Land Cover 2012 (Copernicus)	1/100 000ème	Effectué à l'échelle européenne, le Corine Land Cover décrit l'occupation du sol sur de grands ensembles.
Registre Parcellaire Graphique (RPG) 2014 (IGN)	1/5 000ème	Le RPG offre l'information la plus précise sur l'occupation des sols dans le milieu agricole. Il est obtenu via les déclarations PAC par les agriculteurs. Il présente cependant 2 désavantages : chaque entité est un îlot cultural, c'est à dire un ensemble de parcelles contigües dont l'assolement renseigné est celui présent en majorité. De plus, il s'agit d'une information basée sur un assolement annuel, déconnecté de toute variation liée aux rotations des cultures.
Espaces protégés (INPN)	1/10 000ème à 1/100 000ème	Les zones délimitées par des espaces protégés sont régulièrement actualisées par le MNHN. On utilisera ici les ZNIEFF 1 et 2, zones Natura 2000, APB, sites RAMSAR, ENS et ZICO
Inventaires de ZH (IAV)	(variable selon les inventaires)	L'IAV travaille sur la validation des inventaires communaux de zone humide sur le bassin de la Vilaine. Ce travail est en cours et la donnée sera utilisée dans l'analyse malgré la proportion d'inventaires absents ou non validés (environ 30 % des surfaces sur l'Aff et 75% sur le Don). Pour cette étude, les TdBV recouvrant des communes sans inventaires sont ignorés pour les critères relatifs aux zones humides. Le reste est considéré validé.
Inventaires de cours d'eau (IAV)	1/1000	Il s'agit d'une donnée basée sur les réseaux hydrographiques de la BD TOPO, complétés par des inventaires sur des « zones de doutes » et ajoutés après vérification sur le terrain et concertation
Inventaires de haie (DRAAF Bretagne et FRCFS Pays de la Loire)	1/5000	Les linéaires de haies sont obtenus en majeure partie par photointerprétation. Il n'existe malheureusement pas de données sur la qualité de ces haies (strates présentes, âge, talus, …)

(sources : trameverteetbleue.fr, geobretagne.fr ; professionnels.ign.fr ; inpn.mnhn.fr ; bocage-paysdelaloire.fr)

Annexe 4 : Construction de la typologie d'occupation du sol et regroupement des attributs des bases de données qui la constitue :

Les colonnes CORINE, TOPO et RPG renseignent des attributs rentrant dans les catégories typologiques de niveau 1 (TYPO1) et de niveau 2 (TYPO2)

TYPO1	TYPO2	CORINE	TOPO	RPG
1 Surfaces urbanisées	1.1 Zones urbaines imperméables	111-Tissu urbain continu 121-Zones industrielles ou commerciales et installations publiques 122-Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés 123-Zones portuaires 124-Aéroports 131-Extraction de matériaux 132-Décharges 133-Chantiers	ROUTE ET VOIES FERREES : SURFACE ROUTE, ROUTE (+ emprise), AIRE_TRIAGE, GARE, TRONCON_VOIE_FERREE (+emprise) BATI : BATI_INDIFFERENCIE, BATI_INDUSTRIEL, BATI_REMARQUABLE, CONSTRUCTION_LEGERE, CIMETIERE	
	1.2 Zones urbaines perméables	112-Tissu urbain discontinu 141-Espaces verts urbains 142-Equipements sportifs et de loisirs	BATI : PISTE AERODROME, TERRAIN_SPORT	
2 Prairies permanentes, landes et broussailles	2.1 Prairies permanentes	231-Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole		PRAIRIES PERMANENTES
	2.2 Landes et broussailles	231-Landes et broussailles		ESTIVES LANDES
3 Surfaces agricoles	3.1 Cultures	211-Terres arables hors périmètres d'irrigation 242-Systèmes culturaux et parcellaires complexes 243-Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants		BLE TENDRE MAIS GRAIN ET ENSILAGE ORGE AUTRES CEREALES COLZA TOURNESOL AUTRES OLEAGINEUX PROTEAGINEUX AUTRES CULTURES INDUSTRIELLES SEMENCES

	3.2 Prairies temporaires, Fourrages, Gels	231-Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole		PRAIRIES TEMPORAIRES FOURRAGE AUTRES GELS
4 Maraîchage + arboriculture	4 Maraîchage + arboriculture	222-Vergers et petits fruits	BD VEGETATION : verger, vigne	VERGERS VIGNES FRUITS A COQUE LEGUMES-FLEURS ARBORICULTURE
5 Forêts et bois	5.1 Forêts feuillus et mixtes, bois	311-Forêts de feuillus 313-Forêts mélangées	BD VEGETATION : forêt fermée de feuillus, forêt fermée mixte, forêt ouverte, bois …	
	5.2 Forêts conifères et peupleraie	312-Forêts de conifères	BD VEGETATION : forêt fermée conifères BD VEGETATION : peupleraie	
	5.3 Landes ligneuses	324-Forêt et végétation arbustive en mutation	BD VEGETATION : lande ligneuse	
6 Milieux aquatiques et humides	6 Milieux aquatiques et humides	411-Marais intérieurs 421-Marais maritimes 422-Marais salants 423-Zones intertidales 511-Cours et voies d'eau 512-Plans d'eau 523-Mers et océans	SURFACE_EAU	
7 Espaces plages/dunes/ roches	6 Espaces plages/dunes/ roches	331-Plages, dunes et sable		

Annexe 5 : Aperçu cartographique des délimitations des têtes de bassin versant sur l'Aff et le Don

- Délimitation des têtes de bassin versant sur le Don

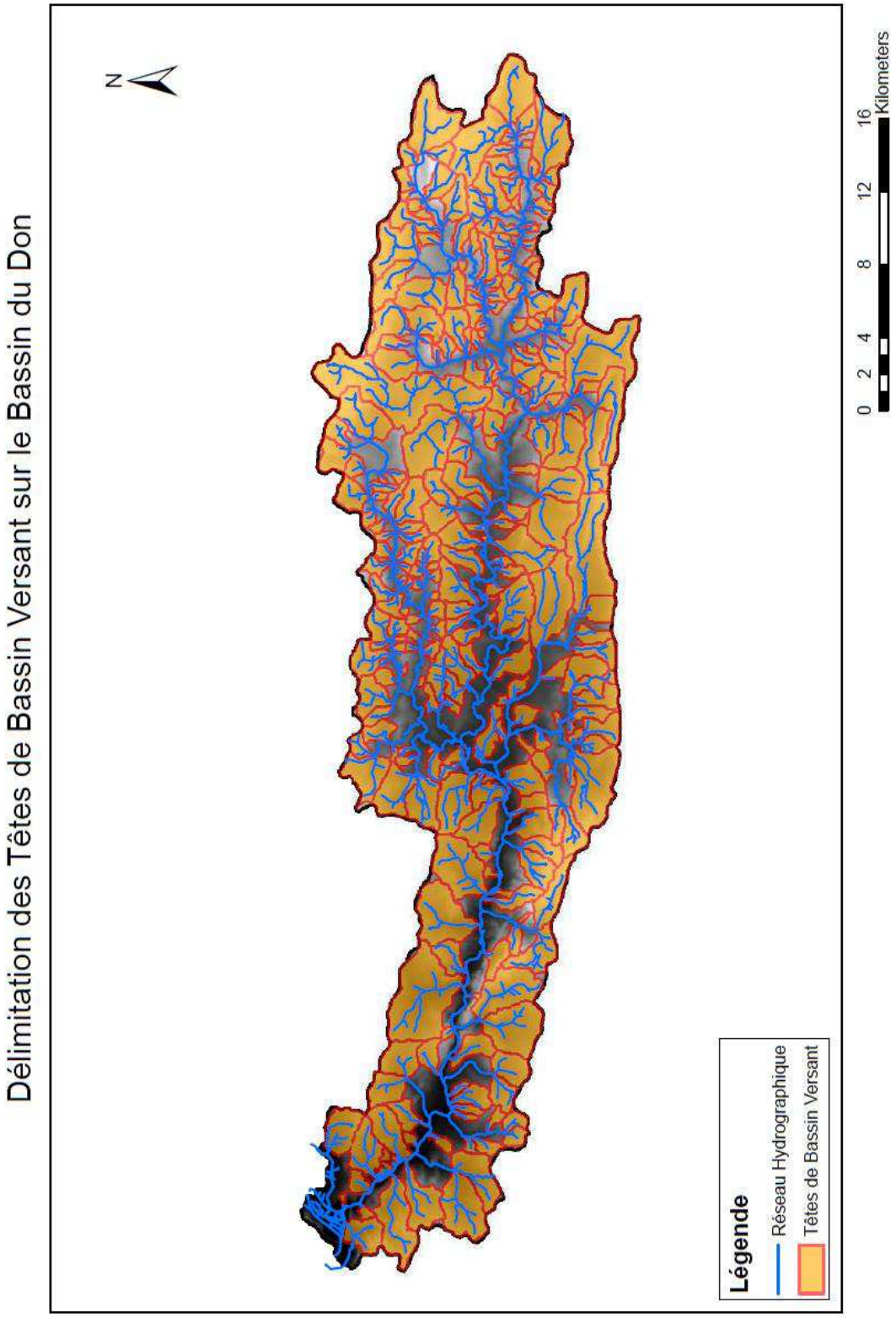


Figure 1 : aperçu des délimitations de têtes de bassin versant sur le Don - Source des données : inventaires de cours d'eau de la Vilaine (IAV) - RGE ALTI 5m (IGN)

- Délimitation des têtes de bassin versant sur l'Aff

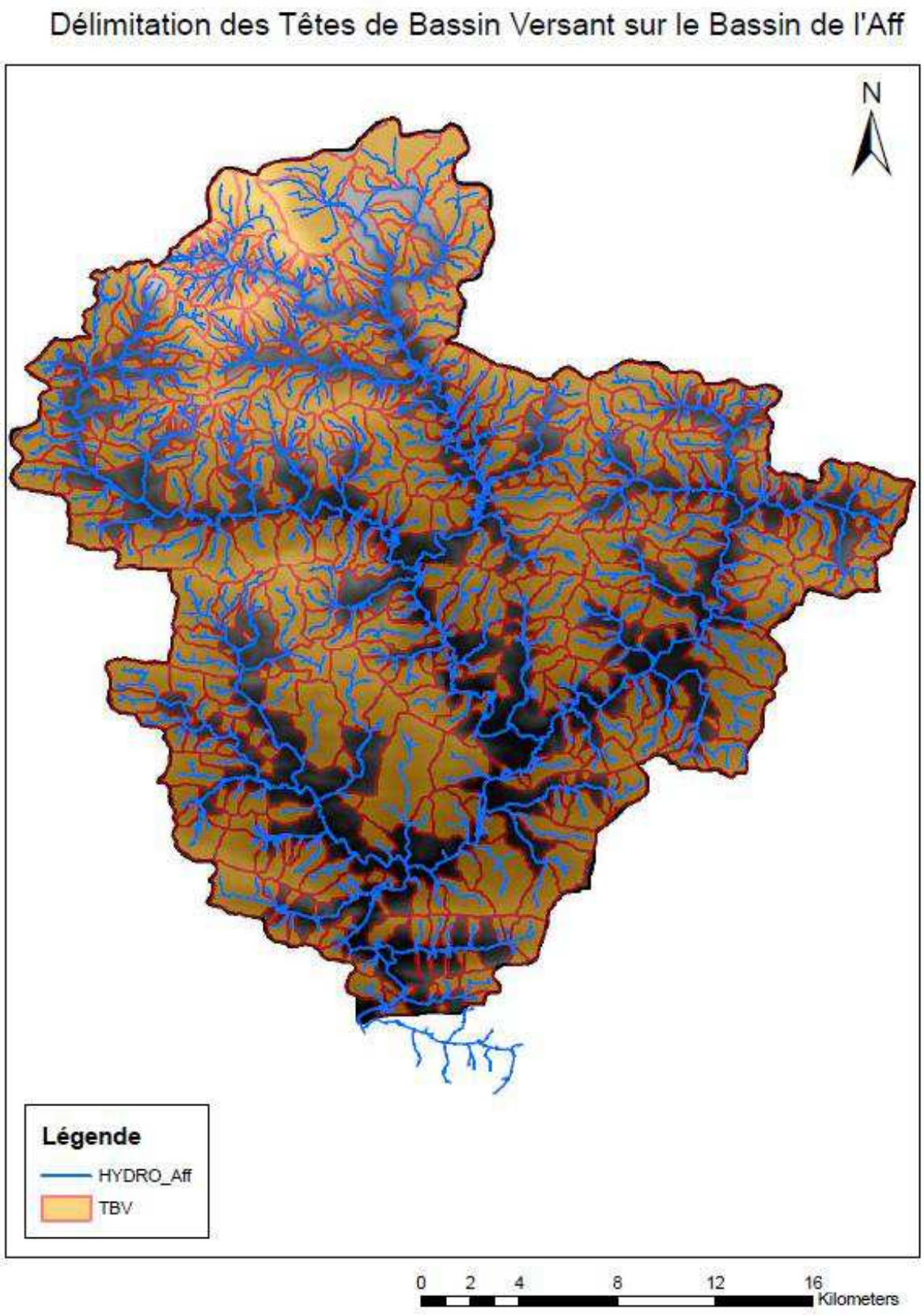


Figure 2 : aperçu des délimitations de têtes de bassin versant sur l'Aff - Source des données : inventaires de cours d'eau de la Vilaine (IAV) - RGE ALTI 5m (IGN)

- Aperçu des résultats de délimitation zoomé sur une partie du bassin de l'Aff (environs de Guer et Carentoir)

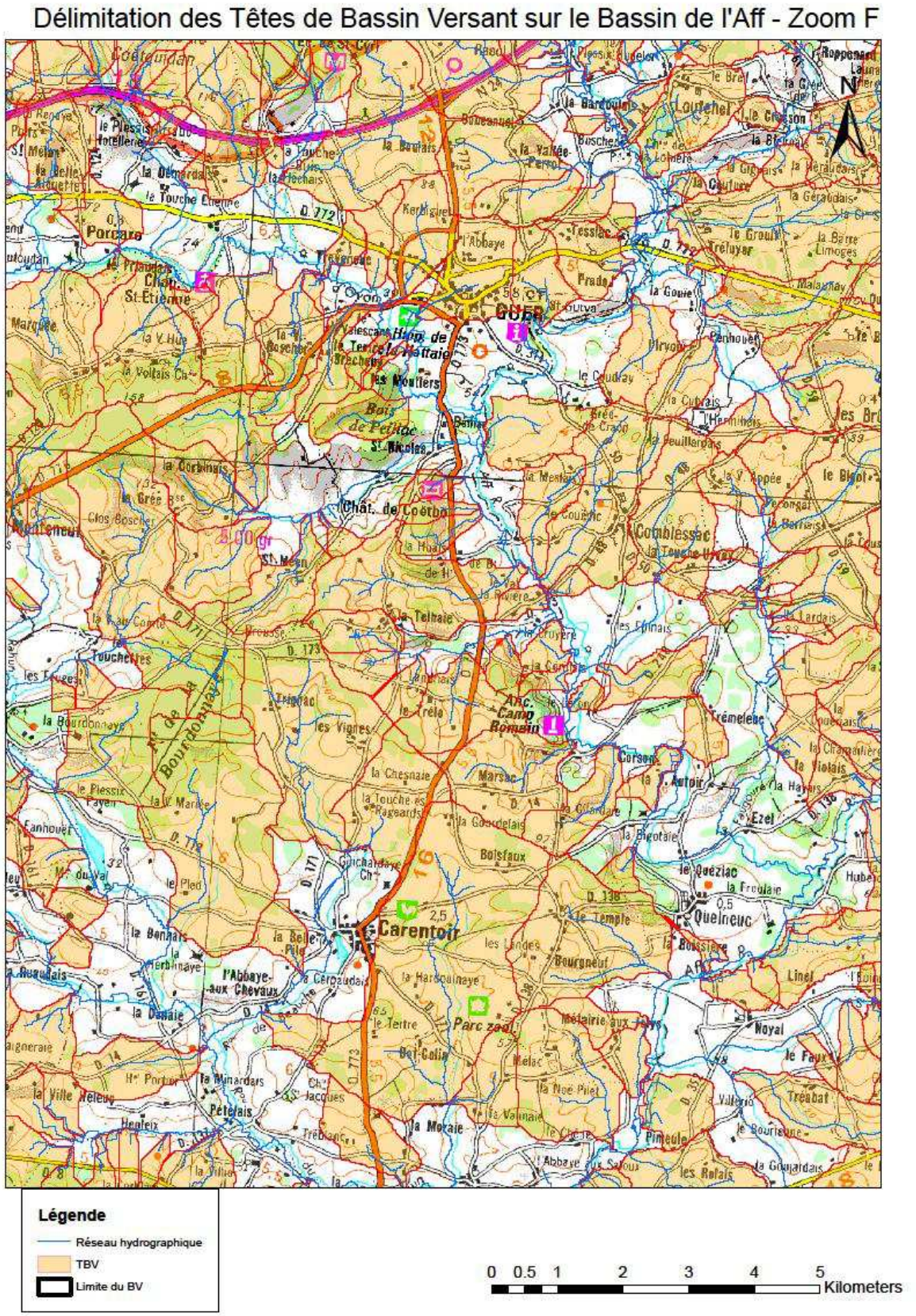
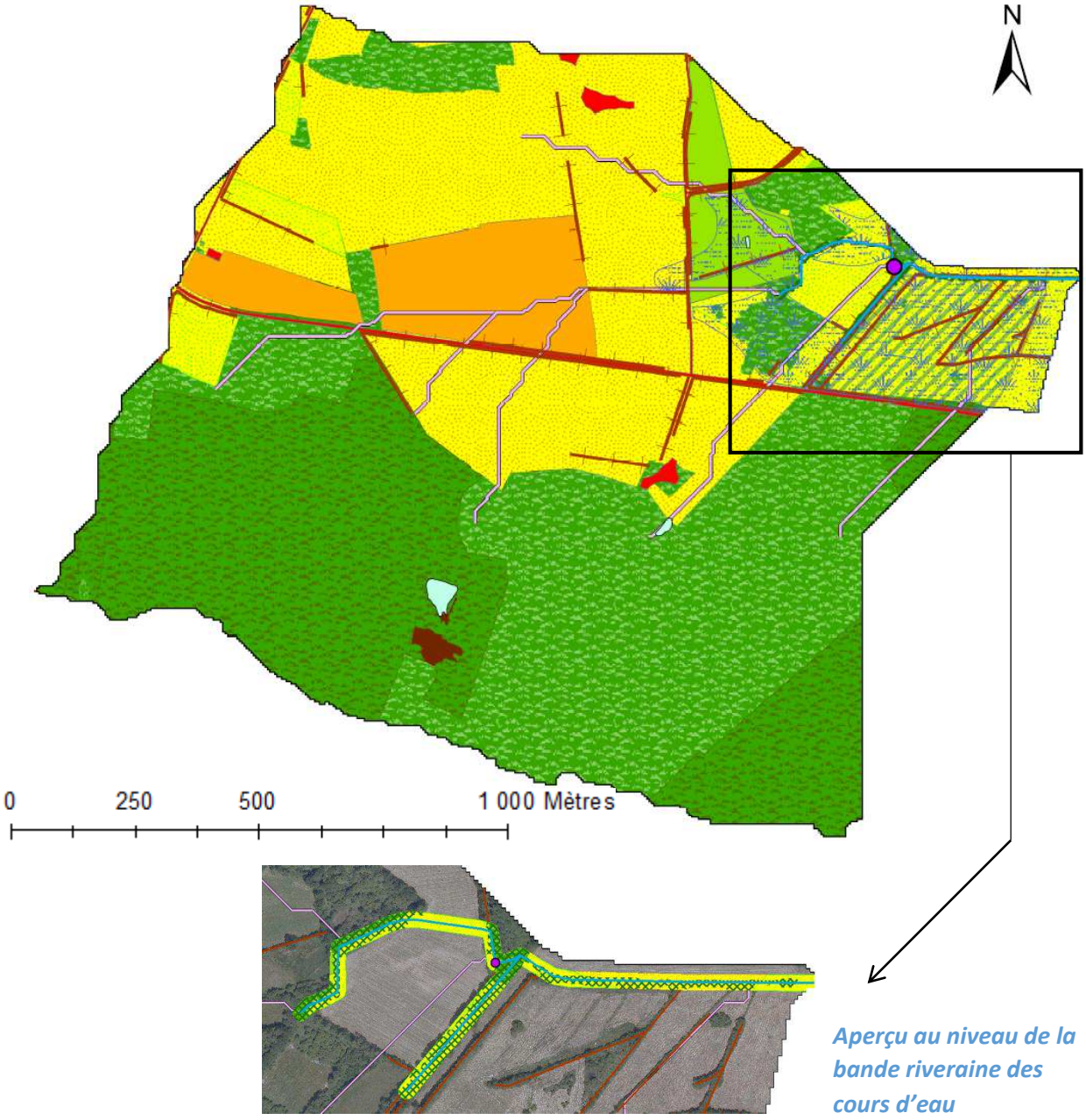


Figure 3 : Aperçu des délimitations de Têtes de Bassin versant sur une partie de l'Aff (environs de Carentoir et Guer) - Source des données : inventaires des cours d'eau de la Vilaine (IAV), SCAN25 (IGN)

Annexe 6 : Exemple d'une représentation cartographique des données de caractérisation sur la tête de bassin versant n° 5172



Aperçu au niveau de la bande riveraine des cours d'eau

Légende

- Intersection avec routes
- Cours d'eau
- Plans d'eau
- Bande riveraine arborée
- Zones humides
- Haies
- Réseau de points bas
- ZNIEFF1
- Limites de la Tête de bassin

Occupation du sol

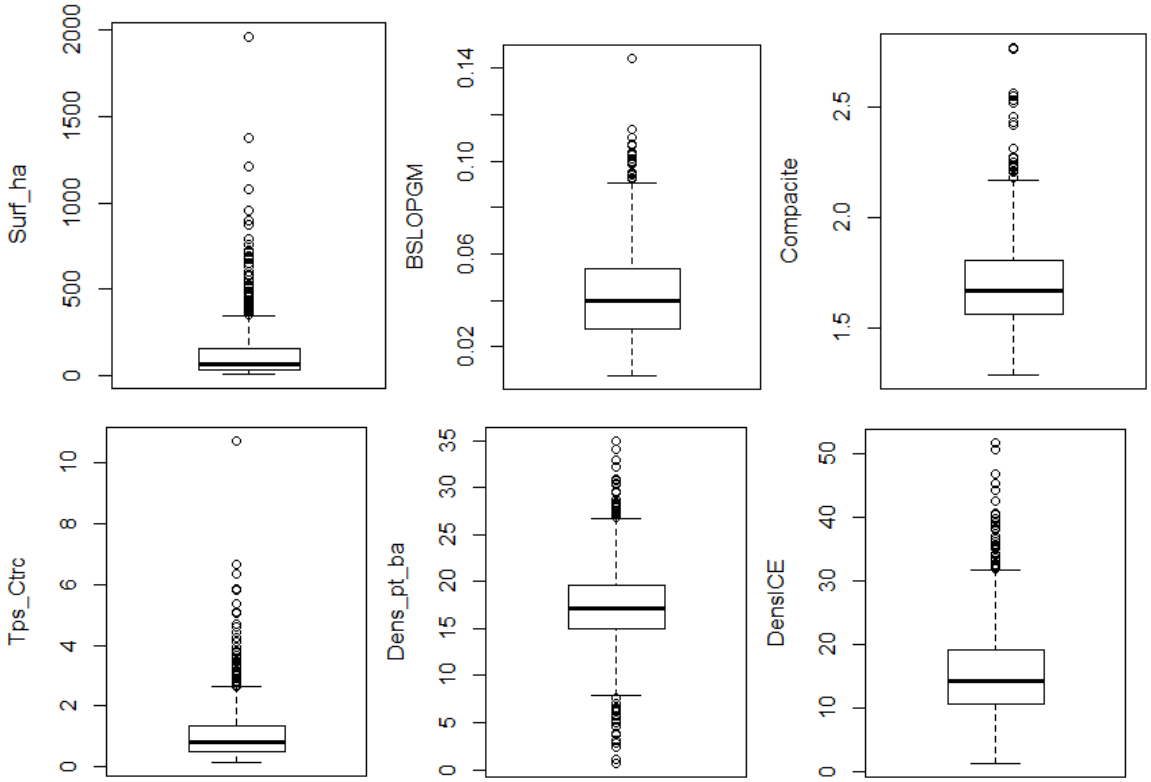
- Urbain imperméable
- Prairie permanente
- Cultures
- Prairies temporaires
- Maraîchage, arboriculture
- Forêt de feuillus, mixtes, bois
- Forêts de conifères et peupleraies
- Landes ligneuses
- Milieux aquatiques

Source des données : inventaires de cours d'eau de la Vilaine (IAV), BD_TOPO 2015 (IGN), RPG 2014 (IGN), Corine Land Cover (Copernicus), inventaires de zones humides (IAV), inventaires de haies (DRAAF Bretagne), INPN

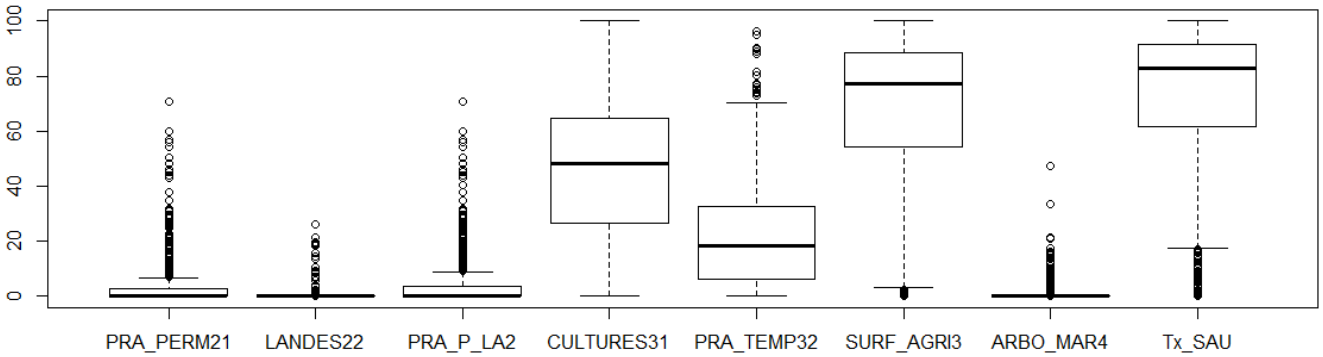
X

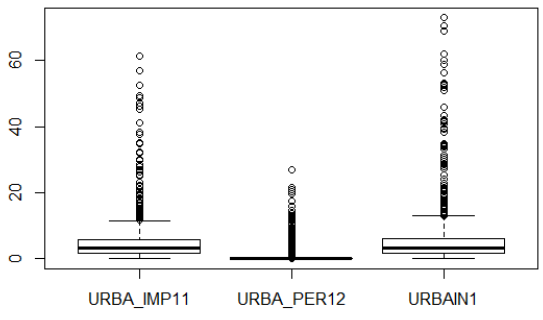
Annexe 7 : Résumé statistique – répartition des données sur chaque critère représentée par des boîtes à moustache

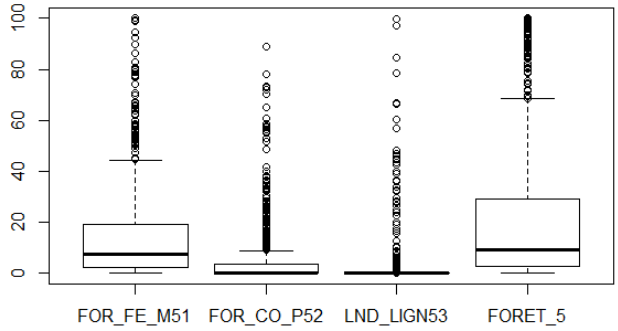
Morphologie :

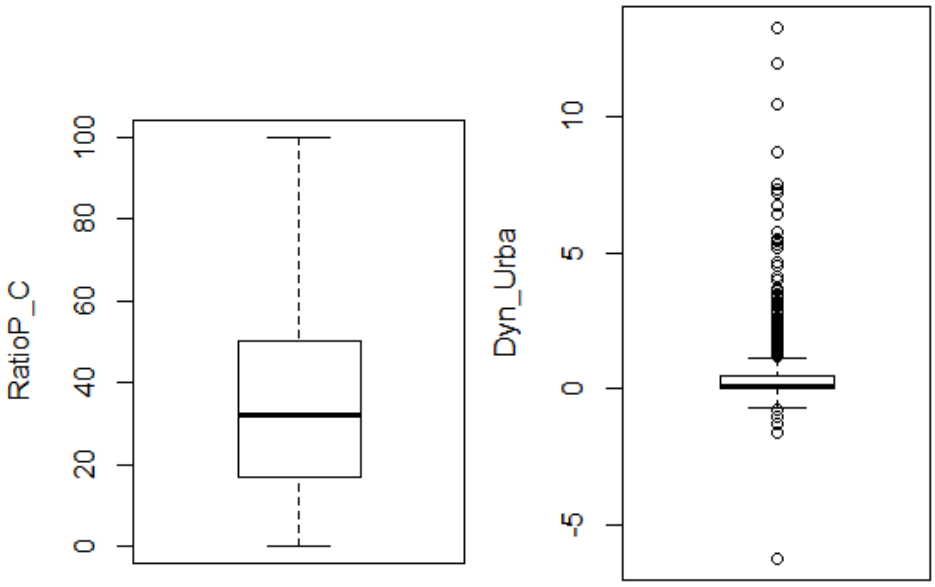


- Occupation du sol :

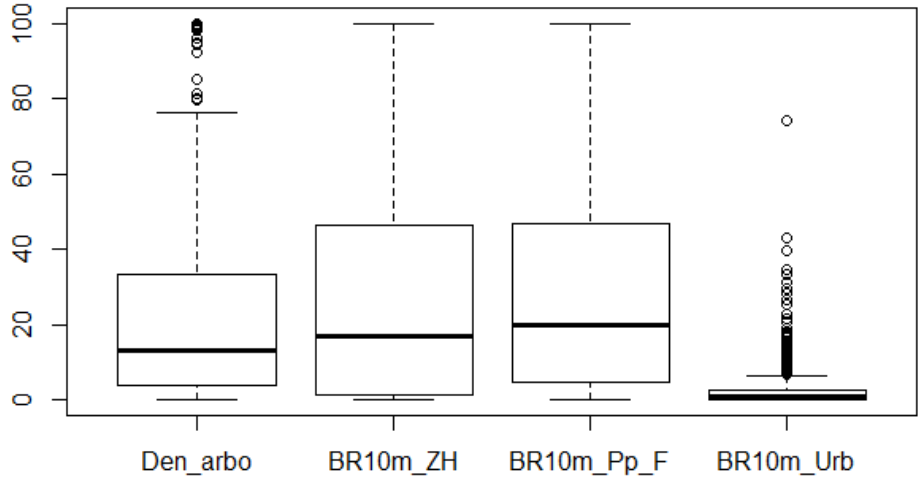




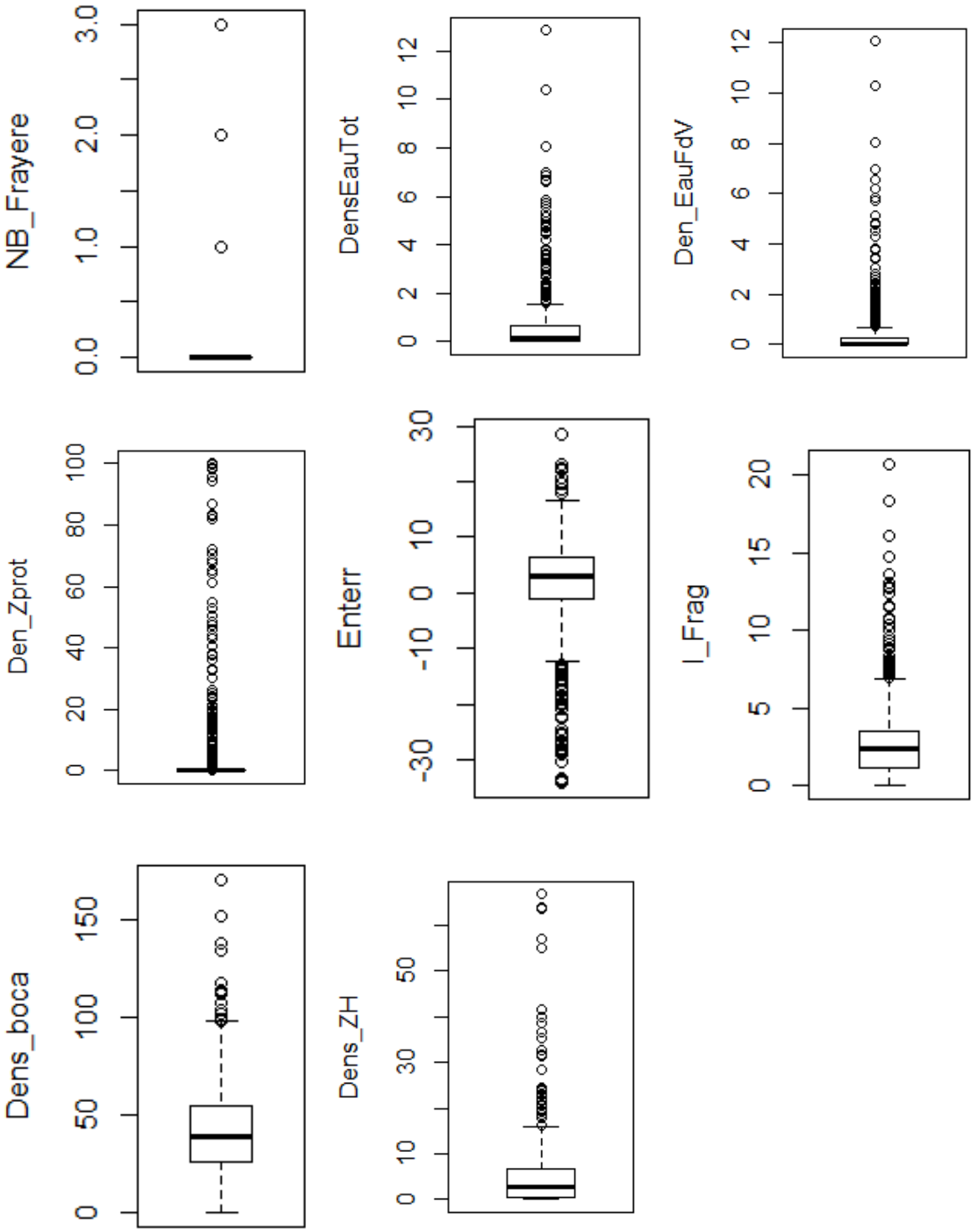




Bande riveraine :

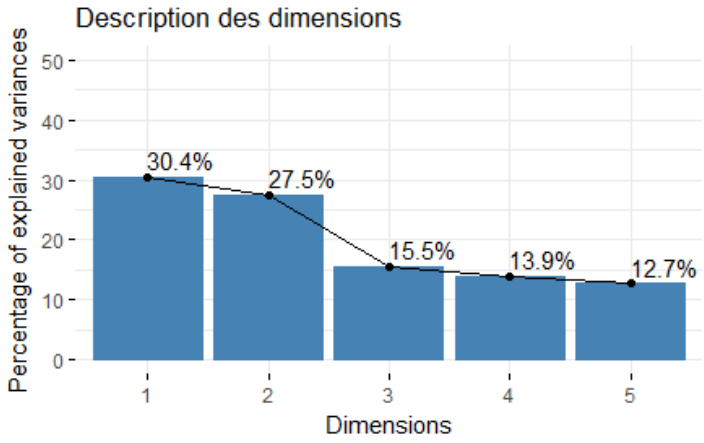


- <u>Autres :</u>


NB_Frayere
0.0
1.0
2.0
3.0
DensEauTot
0
2
4
6
8
10
12
Den_EauFdV
0
2
4
6
8
10
12
Den_Zprot
0
20
40
60
80
100
Enterr
-30
-10
0
10
30
I_Frag
0
5
10
15
20
Dens_boca
0
50
100
150
Dens_ZH
0
10
30
50

Annexe 8 : résultats statistiques – morphologie des têtes de bassin versant

- Variance expliquée par les dimensions de l'ACP :



- Contribution des variables :

		Dim.1	ctr	cos2		Dim.2	ctr	cos2		Dim.3	ctr	cos2
Surf_ha	|	-0.46	13.87	0.21	|	0.60	25.92	0.36	|	0.53	36.13	0.28
BSLOPGM	|	0.46	13.87	0.21	|	-0.54	21.11	0.29	|	0.69	60.44	0.47
Compacite	|	0.54	19.03	0.29	|	0.56	22.47	0.31	|	0.08	0.79	0.01
DensICE	|	0.79	40.63	0.62	|	-0.08	0.41	0.01	|	-0.14	2.64	0.02
Dens_pt_ba	|	0.44	12.60	0.19	|	0.64	30.09	0.41	|	0.00	0.00	0.00

- Variables qualitatives illustratives :

$coord

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
Apical	-0.29	0.13	0.17	0.06	0.30
T3-T4	0.03	-0.17	-0.12	0.01	-0.11
T5-T6	0.23	0.22	0.07	-0.08	-0.07
Aff	0.28	-0.32	0.21	0.00	-0.08
Don	-0.50	0.57	-0.39	0.00	0.15

$cos2

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
Apical	0.37	0.08	0.13	0.02	0.40
T3-T4	0.02	0.51	0.26	1.4E-03	0.22
T5-T6	0.46	0.40	0.05	0.05	0.04
Aff	0.34	0.44	0.20	4.7E-07	0.03
Don	0.34	0.44	0.20	4.7E-07	0.03

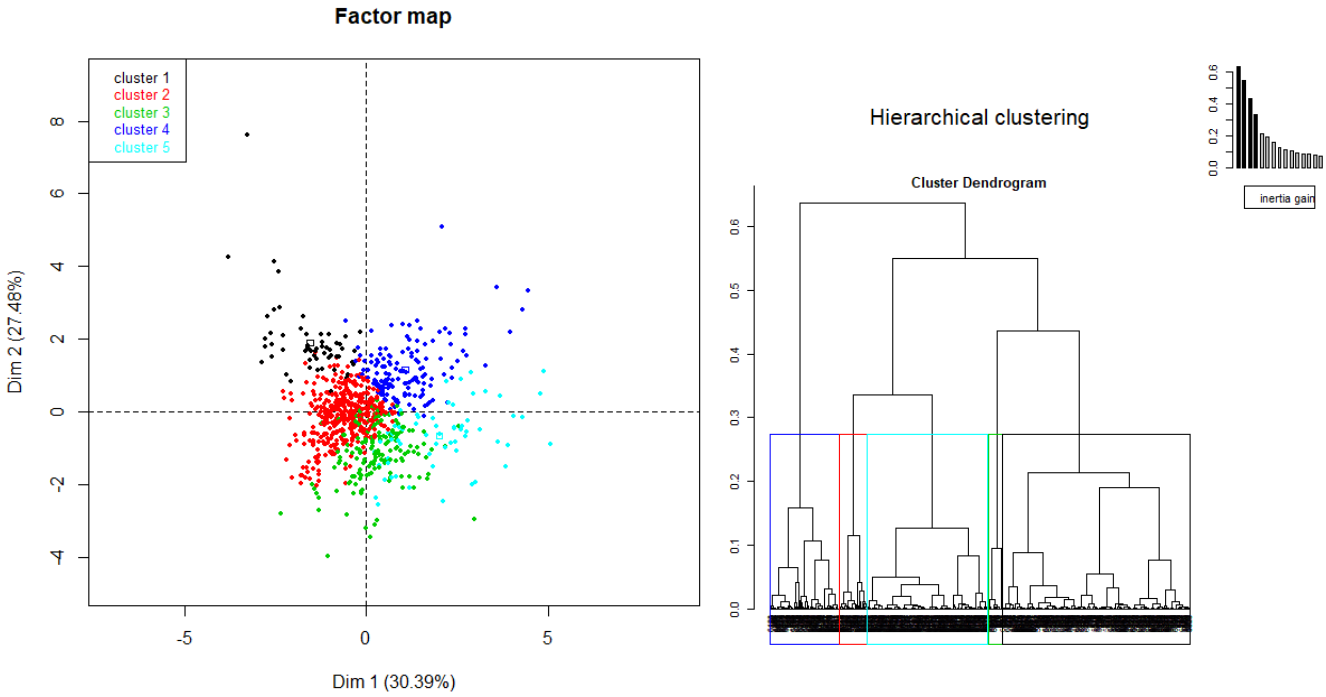
$v.test

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
Apical	-3.82	1.83	3.20	1.15	6.09
T3-T4	0.69	-4.19	-3.94	0.31	-4.04
T5-T6	3.03	3.00	1.34	-1.51	-1.44
Aff	8.60	-10.30	9.30	0.01	-3.86
Don	-8.60	10.30	-9.30	-0.01	3.86

$dist

Apical	**T3-T4**	**T5-T6**	**Aff**	**Don**
0.47	0.24	0.34	0.48	0.87

- Dendrogramme de la classification et représentation sur le graphe des individus de l'ACP :



- Description des classes morphologiques par les variables quantitatives descriptives :

$quanti$`1`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Surf_ha	21.53	593.98	129.37	282.14	168.90	7.52E-103
Tps_Ctrc	19.84	3.55	1.09	1.52	0.97	1.30E-87
DensICE	-4.70	11.06	15.65	2.74	7.65	2.59E-06
BSLOPGM	-5.52	0.03	0.04	0.01	0.02	3.43E-08

$quanti$`2`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Surf_ha	-2.74	112.02	129.37	86.93	168.90	6.09E-03
Dens_pt_ba	-5.84	16.21	17.23	3.39	4.64	5.10E-09
DensICE	-10.51	12.64	15.65	4.66	7.65	7.80E-26
Compacite	-10.97	1.62	1.70	0.12	0.20	5.58E-28
BSLOPGM	-12.07	0.03	0.04	0.01	0.02	1.59E-33

$quanti$`3`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
BSLOPGM	17.86	0.07	0.04	0.02	0.02	2.53E-71
Surf_ha	-4.60	73.90	129.37	68.81	168.90	4.15E-06
Dens_pt_ba	-5.17	15.52	17.23	4.20	4.64	2.36E-07
Compacite	-5.98	1.62	1.70	0.14	0.20	2.21E-09
Tps_Ctrc	-7.37	0.58	1.09	0.33	0.97	1.74E-13

$quanti$`4`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Compacite	15.57	1.94	1.70	0.21	0.20	1.10E-54
Dens_pt_ba	14.69	22.34	17.23	4.11	4.64	7.15E-49
DensICE	3.84	17.85	15.65	7.02	7.65	1.23E-04
Surf_ha	-2.46	98.28	129.37	82.69	168.90	1.40E-02
BSLOPGM	-3.02	0.04	0.04	0.02	0.02	2.49E-03

$quanti$`5`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
DensICE	18.14	32.29	15.65	7.27	7.65	1.50E-73
BSLOPGM	5.56	0.06	0.04	0.02	0.02	2.63E-08
Compacite	5.43	1.83	1.70	0.21	0.20	5.67E-08
Dens_pt_ba	-3.29	15.40	17.23	6.34	4.64	1.01E-03
Surf_ha	-5.11	25.90	129.37	23.71	168.90	3.30E-07
Tps_Ctrc	-5.90	0.41	1.09	0.23	0.97	3.63E-09

- <u>Description des classes morphologiques par les variables qualitatives :</u>

$test.chi2

	p.value	df
BV	1.12E-28	4
Strahl_Class	1.33E-09	8

$category

$category$`1`

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
BV=Don	14.74	73.68	35.49	1.42E-09	6.05
Strahl_Class=Apical	14.85	52.63	25.16	4.33E-06	4.59
Strahl_Class=T3-T4	2.99	21.05	49.94	4.11E-06	-4.61
BV=Aff	2.90	26.32	64.51	1.42E-09	-6.05

$category$`2`

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
BV=Don	60.00	45.24	35.49	5.36E-08	5.44
Strahl_Class=T3-T4	51.12	54.23	49.94	2.20E-02	2.29
Strahl_Class=T5-T6	36.50	19.31	24.91	5.33E-04	-3.46
BV=Aff	39.96	54.76	64.51	5.36E-08	-5.44

$category$`3`

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
BV=Aff	30.12	98.73	64.51	2.31E-31	11.65
BV=Don	0.70	1.27	35.49	2.31E-31	-11.65

$category$`4`

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
Strahl_Class=T5-T6	27.00	36.99	24.91	3.17E-04	3.60
Strahl_Class=Apical	7.43	10.27	25.16	1.04E-06	-4.88

$category$`5`

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
BV=Aff	9.46	76.56	64.51	0.033206	2.13
BV=Don	5.26	23.44	35.49	0.033206	-2.13

- Description des modalités de Classe-Morpho par l'ensemble des autres variables quantitatives :
  (seuil de risque choisi : 0.001)

$M1

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Enterr	4.61	6.74	1.88	2.60	8.24	4.04E-06
Den_EauFdV	3.31	0.80	0.37	1.67	1.02	9.24E-04

$M2

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Tx_SAU	8.85	80.78	71.48	21.01	28.07	9.04E-19
SURF_AGRI3	8.18	75.77	66.90	22.30	28.95	2.80E-16
Enterr	5.86	3.69	1.88	5.66	8.24	4.64E-09
CULTURES31	5.82	50.50	44.92	22.89	25.65	6.04E-09
PRA_TEMP32	4.54	25.26	21.98	19.59	19.30	5.53E-06
Dens_boca	3.77	44.91	41.36	22.53	25.11	1.64E-04
Den_Zprot	-4.37	2.85	6.15	12.96	20.17	1.22E-05
LND_LIGN53	-4.75	0.43	2.19	3.96	9.86	2.02E-06
FOR_CO_P52	-5.10	2.75	5.01	7.96	11.84	3.46E-07
BR10m_Pp_F	-6.95	22.99	31.31	25.76	31.99	3.77E-12
FOR_FE_M51	-7.74	9.19	14.55	13.84	18.51	1.01E-14
FORET_5	-8.98	12.38	21.75	19.96	27.87	2.62E-19

$M3

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
FORET_5	12.19	46.00	21.75	34.47	27.87	3.40E-34
BR10m_Pp_F	9.70	53.45	31.31	37.80	31.99	2.90E-22
FOR_FE_M51	9.69	27.36	14.55	23.72	18.51	3.18E-22
FOR_CO_P52	8.20	11.93	5.01	19.42	11.84	2.46E-16
LND_LIGN53	6.43	6.71	2.19	16.60	9.86	1.31E-10
LANDES22	4.49	1.09	0.36	3.81	2.27	7.27E-06
Den_Zprot	3.41	11.05	6.15	28.07	20.17	6.57E-04
PRA_TEMP32	-7.03	12.30	21.98	16.05	19.30	2.00E-12
Dens_boca	-7.06	28.71	41.36	28.32	25.11	1.62E-12
CULTURES31	-7.63	30.96	44.92	28.75	25.65	2.35E-14
SURF_AGRI3	-11.45	43.25	66.90	33.57	28.95	2.37E-30
Tx_SAU	-12.06	47.33	71.48	32.95	28.07	1.82E-33

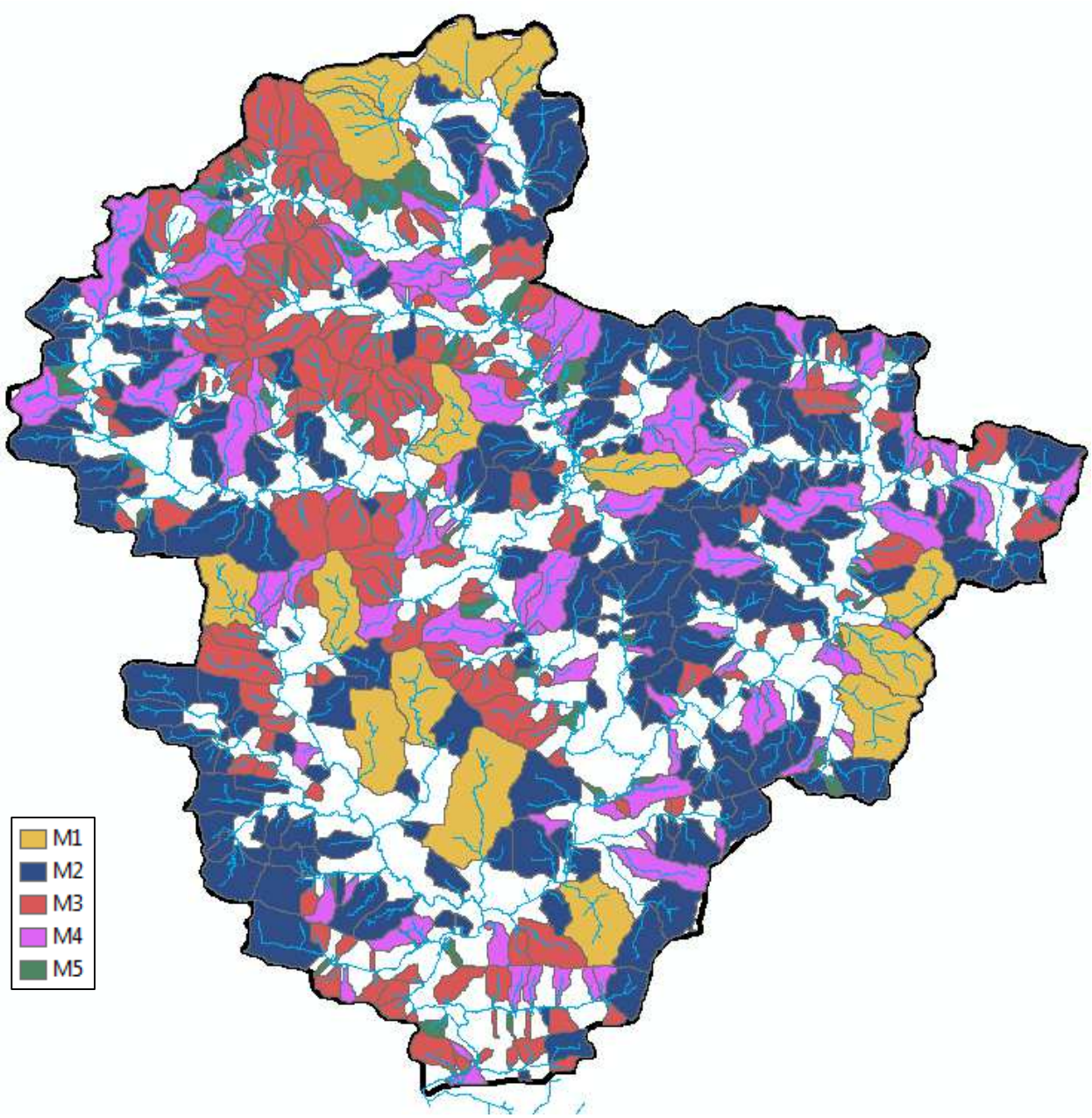
$M4

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Enterr	4.58	4.71	1.88	7.02	8.24	4.65E-06

$M5

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Dens_ZH	4.17	8.92	5.02	13.83	7.80	3.10E-05
Dyn_Urba	-3.36	-0.02	0.50	0.93	1.28	7.93E-04
Enterr	-18.04	-15.96	1.88	8.41	8.24	9.56E-73

Annexe 9 : représentation cartographique des classes morphologiques sur le bassin de l'Aff



	Description
M1	profil de TdBV très grandes et plus plates, densité de cours d'eau moins importante ; principalement présentes sur le Don et d'avantage représentées en partie apicale
M2	profil de TdBV à pente plus faible et moins escarpées (profil plus effusé et densité de thalwegs plus faible) ; d'avantage sur le Don et en milieu de réseau hydrographique
M3	petites TdBV à forte pente, de forme plus effusée ; presque en totalité sur l'Aff
M4	TdBV très escarpées ; d'avantage présentes en aval
M5	très petites TdBV à forte pente et de forme plus allongée comprenant un réseau de cours d'eau dense ; d'avantage présentes sur l'Aff

Annexe 10 : résultats statistiques – découpage en sous-groupes (profils) basé sur l'occupation du sol

- Description des classes par les variables quantitatives :

$quanti$`1`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Tx_SAU	23.32	88.07	71.48	7.19	28.07	3.02E-120
URBAIN1	-5.11	4.94	6.17	4.39	9.51	3.22E-07
FORET_5	-21.71	6.42	21.75	5.80	27.87	1.76E-104

$quanti$`2`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
FORET_5	6.65	36.19	21.75	11.02	27.87	2.87E-11
URBAIN1	-3.20	3.80	6.17	3.89	9.51	1.37E-03
Tx_SAU	-5.61	59.22	71.48	10.89	28.07	2.03E-08

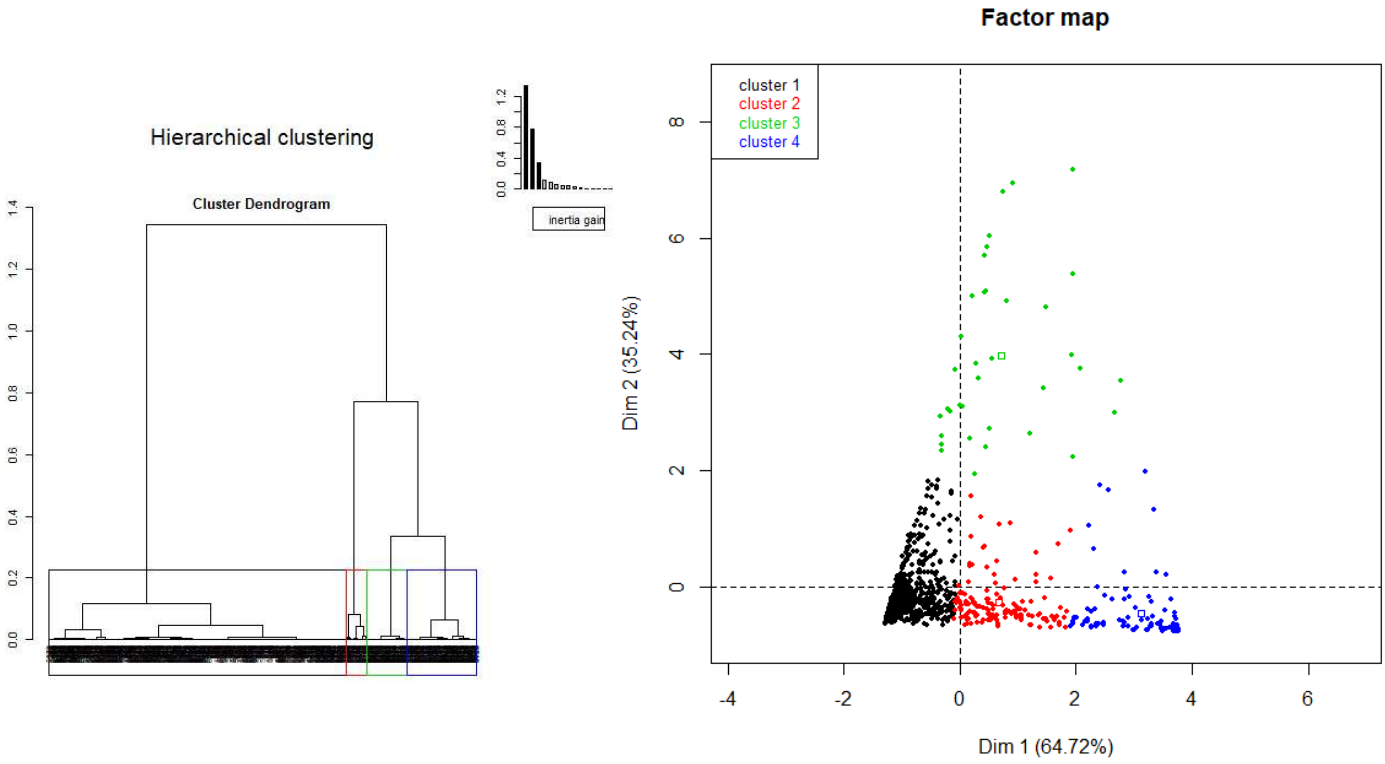
$quanti$`3`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
URBAIN1	23.78	43.02	6.17	13.20	9.51	6.05E-125
Tx_SAU	-6.62	41.20	71.48	19.28	28.07	3.65E-11

$quanti$`4`

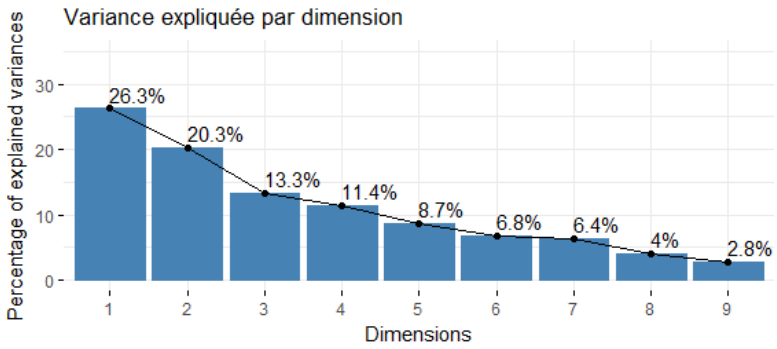
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
FORET_5	24.47	85.60	21.75	12.90	27.87	3.47E-132
URBAIN1	-3.92	2.68	6.17	4.87	9.51	8.75E-05
Tx_SAU	-22.91	11.26	71.48	11.71	28.07	3.43E-116

- Dendrogramme et graphe de répartition des individus :

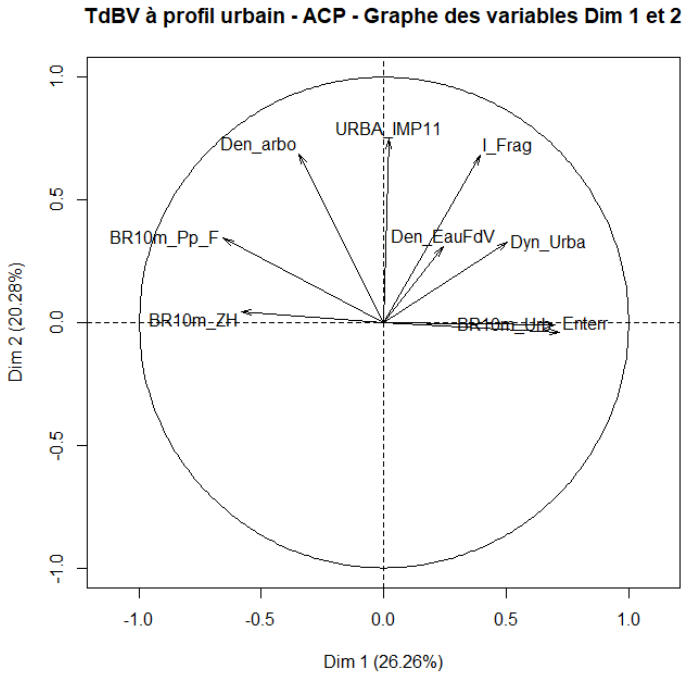


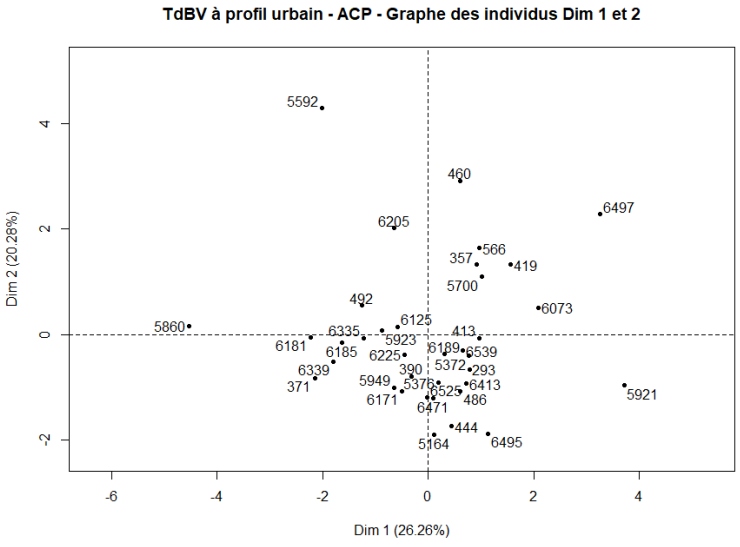
Annexe 11 : résultats statistiques – ACP et classification sur le profil Urbain

- Variance expliquée par les dimensions de l'ACP :



- Graphes des variables et des individus sur les dimensions 1 et 2 :





- Contribution des variables et des individus aux dimensions de l'ACP :

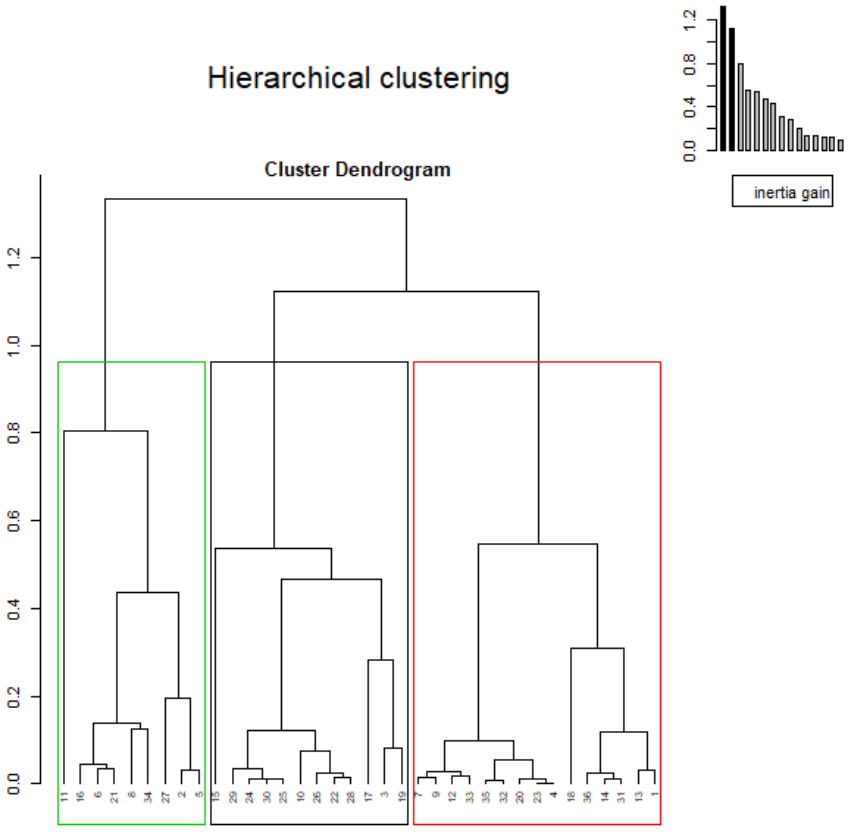
Variables

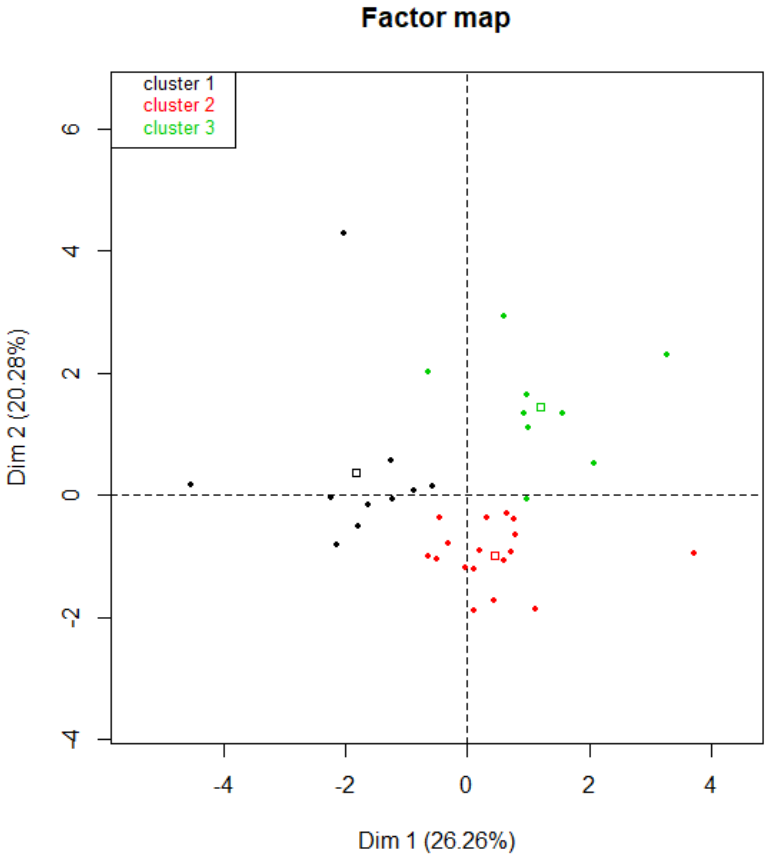
		Dim.1	ctr	cos2		Dim.2	ctr	cos2		Dim.3	ctr	cos2	
Enterr	|	0.72	21.84	0.52	|	-3.90E-02	0.085	0.002	|	0.076	0.476	0.006	|
I_Frag	|	0.40	6.63	0.16	|	6.82E-01	25.515	0.466	|	0.44	16.11	0.193	|
Den_EauFdV	|	0.24	2.45	0.06	|	3.08E-01	5.204	0.095	|	0.145	1.755	0.021	|
Den_arbo	|	-0.35	5.03	0.12	|	6.88E-01	25.944	0.474	|	-0.129	1.393	0.017	|
BR10m_ZH	|	-0.58	14.37	0.34	|	4.60E-02	0.115	0.002	|	0.515	22.11	0.266	|
BR10m_Pp_F	|	-0.66	18.15	0.43	|	3.43E-01	6.46	0.118	|	0.137	1.564	0.019	|
BR10m_Urb	|	0.70	20.75	0.49	|	-1.00E-02	0.006	0	|	0.549	25.084	0.301	|
URBA_IMP11	|	0.02	0.02	0.00	|	7.50E-01	30.842	0.563	|	-0.166	2.305	0.028	|
Dyn_Urba	|	0.51	10.78	0.26	|	3.26E-01	5.83	0.106	|	-0.592	29.203	0.351	|

- Interprétations du premier plan de l'ACP :

46% de la variance est expliquée par les deux premières dimensions de l'ACP. La dimension 1 répartit les individus selon l'état de la bande riveraine et la pression d'enterrement avec d'un côté les bandes riveraines avec un fort risque d'enterrement et un taux d'imperméabilisation plus important et de l'autre des bandes riveraines en milieux plus préservés, avec d'avantage de ZH. La dimension 2 répartit les TdBV selon le taux d'imperméabilisation du BV, corrélé positivement au risque de fragmentation et à une arborée.

- <u>Dendrogramme et représentation des clusters réalisés sur les deux premières dimensions de l'ACP :</u>





- Interprétations sur la classification réalisée : réalisé sur les 5 premières dimensions de l'ACP (80% de la variance), le découpage en 3 classes permet d'expliquer environ 27% de la variance totale. La classe 1 se retrouve à gauche de la dimension 1 (impacts moins importants sur la BR) et la classe 2 en bas de la dimension 2 (taux d'imperméabilité et risques d'enterrement moins importants, taux de BR arboré plus faible). La 3ème classe est positivement corrélée aux 2 premières dimensions (risques plus importants).

- Description des clusters obtenus :

$quanti$`1`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Dim.1	-4.37	-1.83	0.00	1.04	1.54	1.26E-05

$quanti$`2`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Dim.2	-4.07	-0.98	0.00	0.49	1.35	4.65E-05

$quanti$`3`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Dim.2	3.67	1.45	0.00	0.85	1.35	2.40E-04
Dim.1	2.65	1.19	0.00	1.01	1.54	8.10E-03

$quanti$`1`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
BR10m_ZH	3.77	49.32	24.10	30.30	24.56	1.65E-04
BR10m_Pp_F	3.64	59.05	30.36	22.72	28.96	2.77E-04
BR10m_Urb	-2.01	1.97	10.84	3.65	16.22	4.48E-02
Dyn_Urba	-2.22	1.97	4.13	3.47	3.58	2.64E-02
Enterr	-2.92	-3.79	4.21	13.83	10.03	3.45E-03

$quanti$`2`

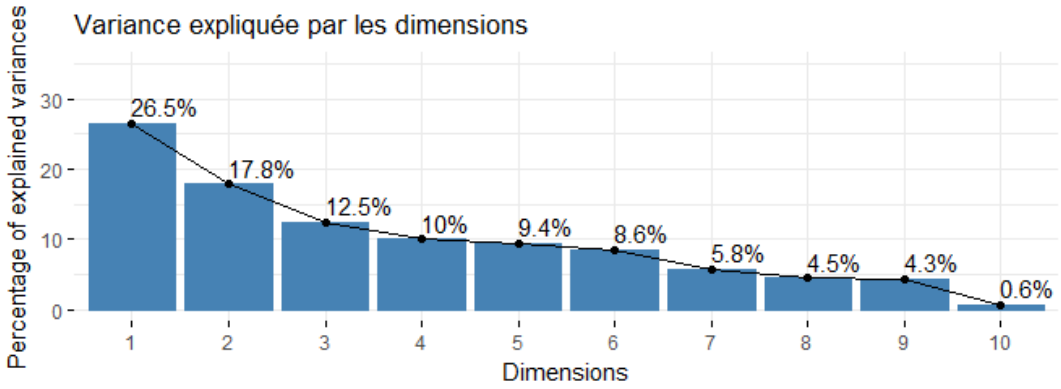
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
BR10m_Pp_F	-2.26	18.65	30.36	18.93	28.96	2.37E-02
Den_arbo	-2.91	7.12	17.29	9.68	19.55	3.59E-03
URBA_IMP11	-3.79	24.64	32.51	4.74	11.63	1.52E-04

$quanti$`3`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
URBA_IMP11	3.81	45.49	32.51	9.96	11.63	1.37E-04
Dyn_Urba	3.66	7.97	4.13	3.25	3.58	2.50E-04
I_Frag	2.45	7.16	4.69	4.01	3.45	1.45E-02
BR10m_ZH	-2.15	8.64	24.10	9.57	24.56	3.15E-02

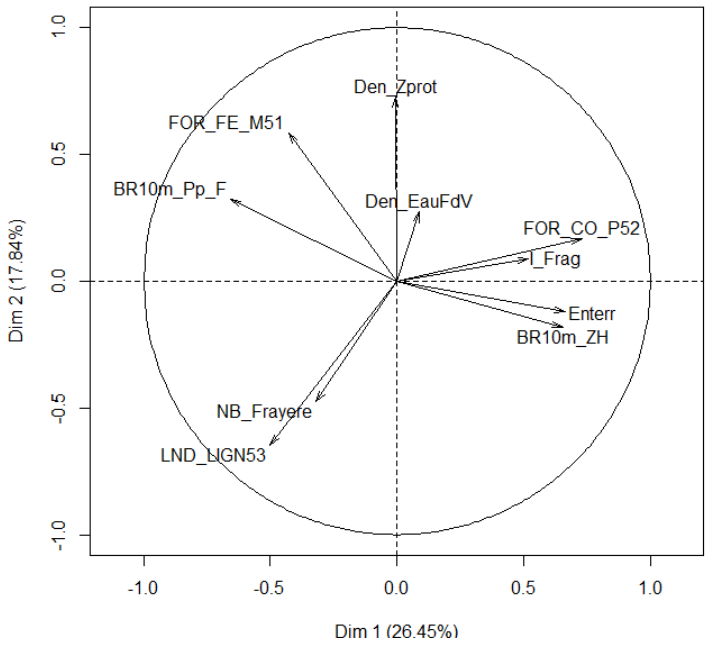
Annexe 12 : résultats statistiques – ACP et classification sur le profil Forêt

- Variance expliquée par les dimensions de l'ACP :

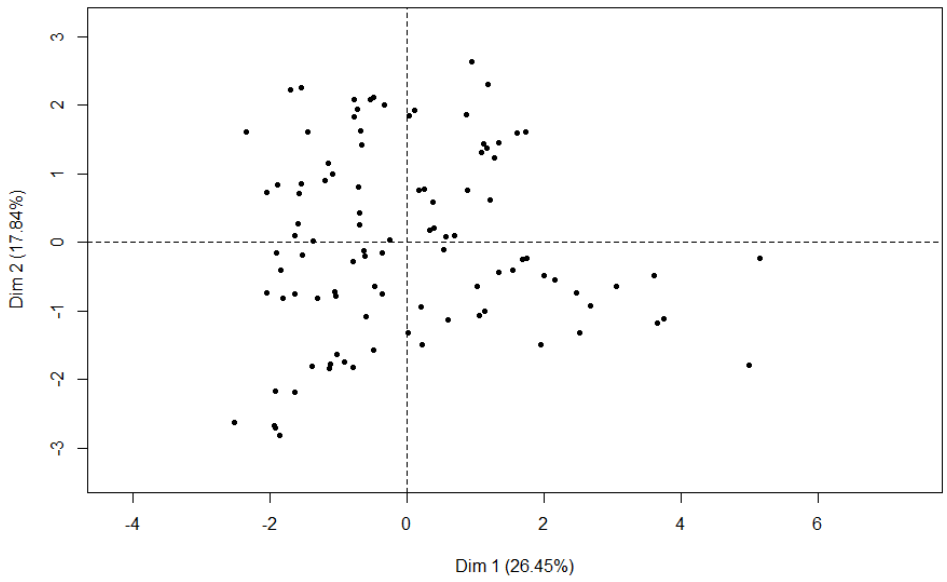


- Graphes des variables et des individus sur les dimensions 1 et 2 :

TdBV à profil forestier - ACP - Graphe des variables Dim 1 et 2



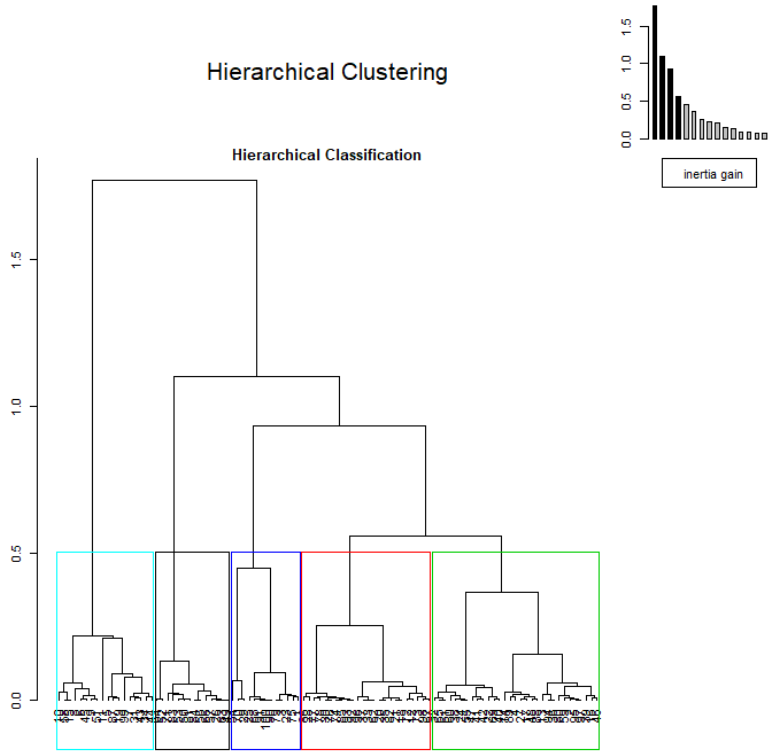
TdBV à profil forestier - ACP - Graphe des indvidus Dim 1 et 2

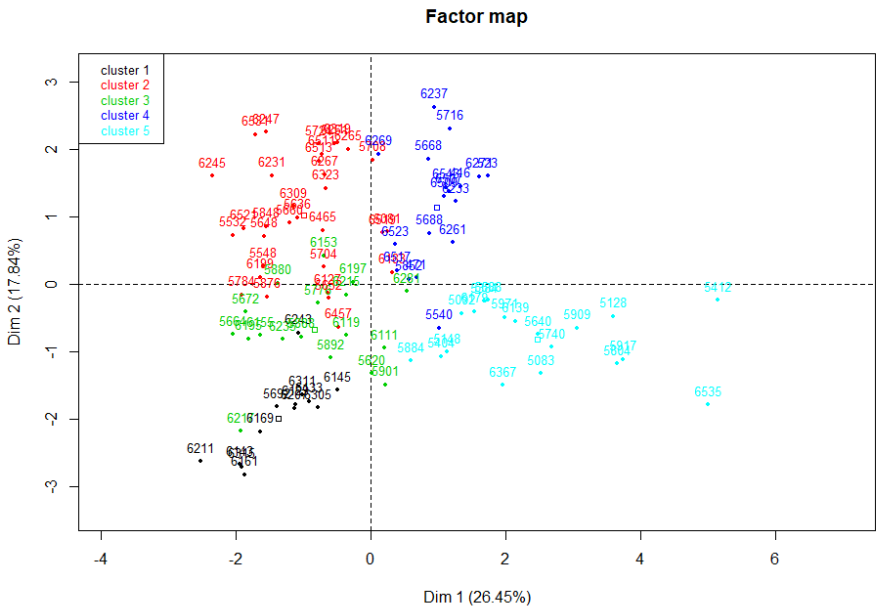


- <u>Commentaires sur le premier plan de l'ACP :</u>

44% de la variance est expliquée par les deux premières dimensions de l'ACP. La dimension 1 sépare des individus de forêts majoritairement de conifères et peupleraies, comportant des risques d'enterrement plus importants et une présence de zones humides en BR à des individus dont les cours d'eau ont une bande riveraine « préservée ». La dimension 2 sépare les individus ayant de fortes présences de zones de protection de ceux, à tendance de landes ligneuses où sont recensés plus de frayères.

- <u>Dendrogramme et représentation des clusters réalisés sur les deux premières dimensions de l'ACP :</u>





- Commentaires sur la classification réalisée :

Réalisée sur les 5 premières dimensions de l'ACP (76% de la variance), le découpage en 5 classes permet d'expliquer environ 42% de la variance totale. Les classes semblent à peu près bien séparées sur le plan des dimensions 1-2 de l'ACP. La classe 5 est positivement corrélée à la dimension 1. On retrouve la classe 1 là le nombre de frayères et la proportion de landes ligneuse sont plus élevés et la classe 2 là où la bande riveraine est d'avantage préservée et avec une proportion de forêt de feuillus, mixtes et bois plus importante.

- Description des clusters obtenus :

$quanti
$quanti$`1`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
LND_LIGN53	8.02	64.18	14.98	19.62	23.59	1.04E-15
NB_Frayere	2.38	0.69	0.34	0.46	0.57	1.74E-02
FOR_CO_P52	-2.27	7.84	21.53	10.90	23.24	2.34E-02
FOR_FE_M51	-4.80	18.37	49.09	9.67	24.61	1.58E-06

$quanti$`2`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
FOR_FE_M51	6.67	73.13	49.09	15.16	24.61	2.59E-11
BR10m_Pp_F	2.99	97.53	88.37	5.13	20.87	2.75E-03
BR10m_ZH	-2.80	1.22	10.90	3.63	23.57	5.06E-03
NB_Frayere	-3.70	0.03	0.34	0.17	0.57	2.16E-04
FOR_CO_P52	-3.91	8.21	21.53	9.31	23.24	9.10E-05
Enterr	-4.65	-4.86	-0.26	6.19	6.76	3.28E-06

$quanti$`3`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
NB_Frayere	6.77	1.17	0.34	0.60	0.57	1.32E-11
Den_Zprot	-1.96	11.37	28.86	22.65	41.59	4.99E-02
FOR_CO_P52	-2.61	8.55	21.53	11.32	23.24	9.18E-03

$quanti$`4`

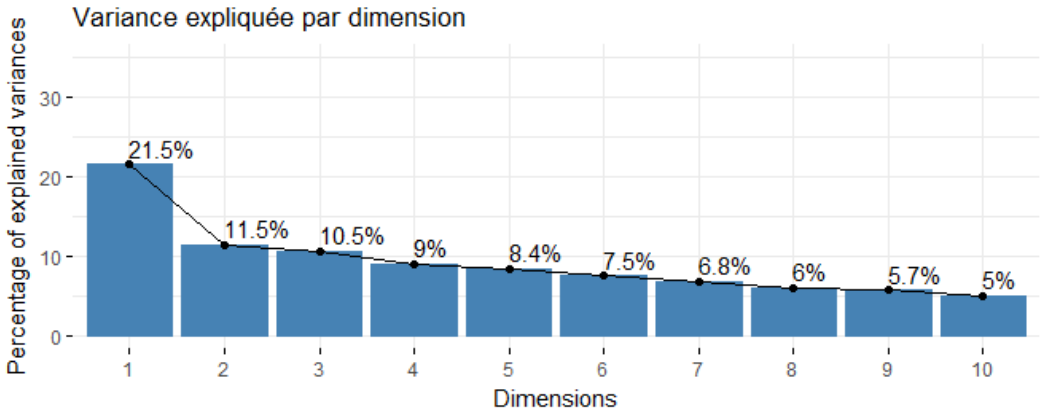
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
FOR_CO_P52	5.94	51.15	21.53	16.15	23.24	2.82E-09
Den_Zprot	4.74	71.18	28.86	40.42	41.59	2.10E-06
Den_EauFdV	2.56	1.05	0.41	1.83	1.16	1.05E-02
NB_Frayere	-2.33	0.06	0.34	0.23	0.57	1.99E-02
FOR_FE_M51	-2.59	35.43	49.09	13.37	24.61	9.68E-03
LND_LIGN53	-2.65	1.56	14.98	5.21	23.59	8.04E-03

$quanti$`5`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
BR10m_ZH	7.94	49.75	10.90	31.42	23.57	1.95E-15
Enterr	3.72	4.96	-0.26	7.19	6.76	1.96E-04
FOR_CO_P52	3.33	37.59	21.53	23.88	23.24	8.71E-04
l_Frag	2.64	4.00	2.52	4.41	2.71	8.39E-03
NB_Frayere	-1.99	0.11	0.34	0.31	0.57	4.70E-02
LND_LIGN53	-2.69	1.81	14.98	5.72	23.59	7.16E-03
FOR_FE_M51	-3.00	33.79	49.09	16.29	24.61	2.74E-03
Den_Zprot	-3.31	0.29	28.86	1.13	41.59	9.32E-04
BR10m_Pp_F	-7.21	57.15	88.37	29.21	20.87	5.52E-13

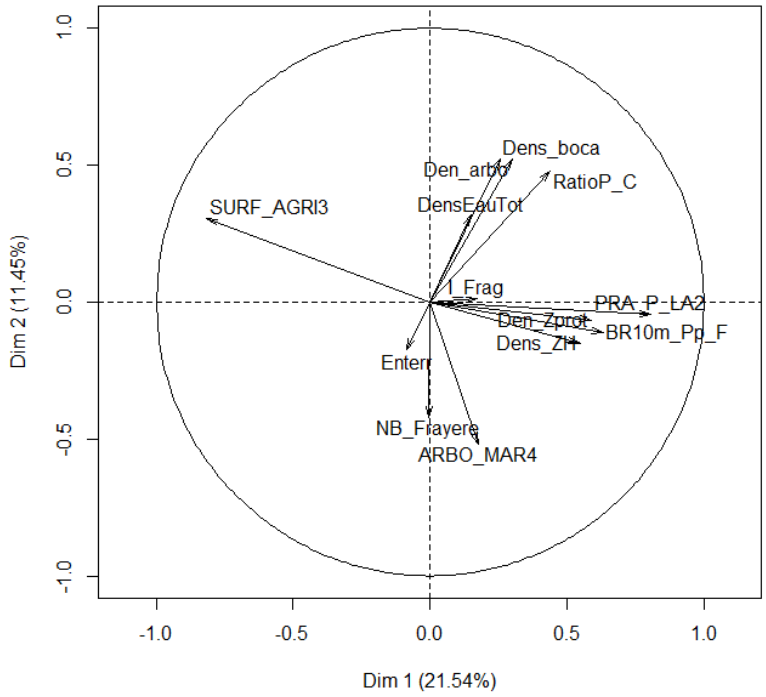
Annexe 13 : résultats statistiques – ACP et classification sur le profil Agricole

- Variance expliquée par les dimensions de l'ACP :

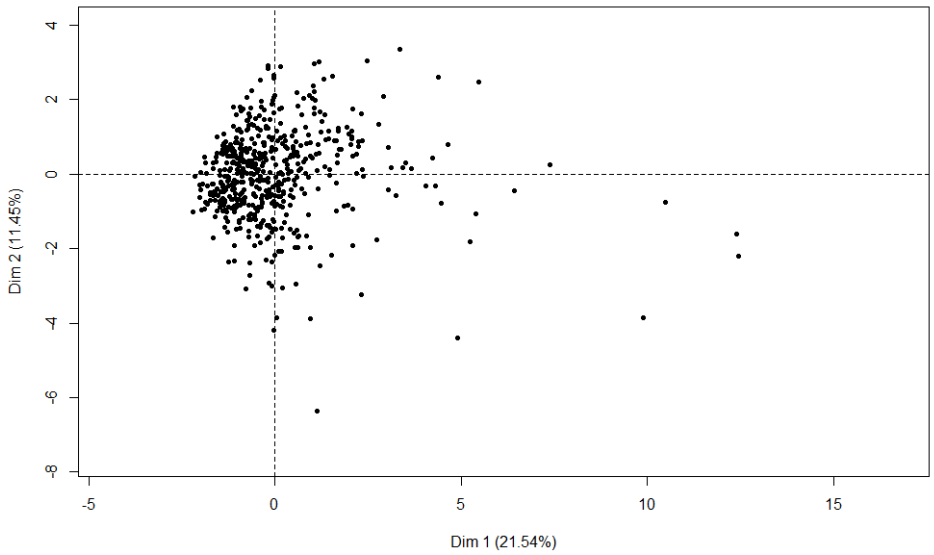


- Graphes des variables et des individus sur les dimensions 1 et 2 :

TdBV à profil agricole - ACP - Graphe des variables Dim 1 et 2

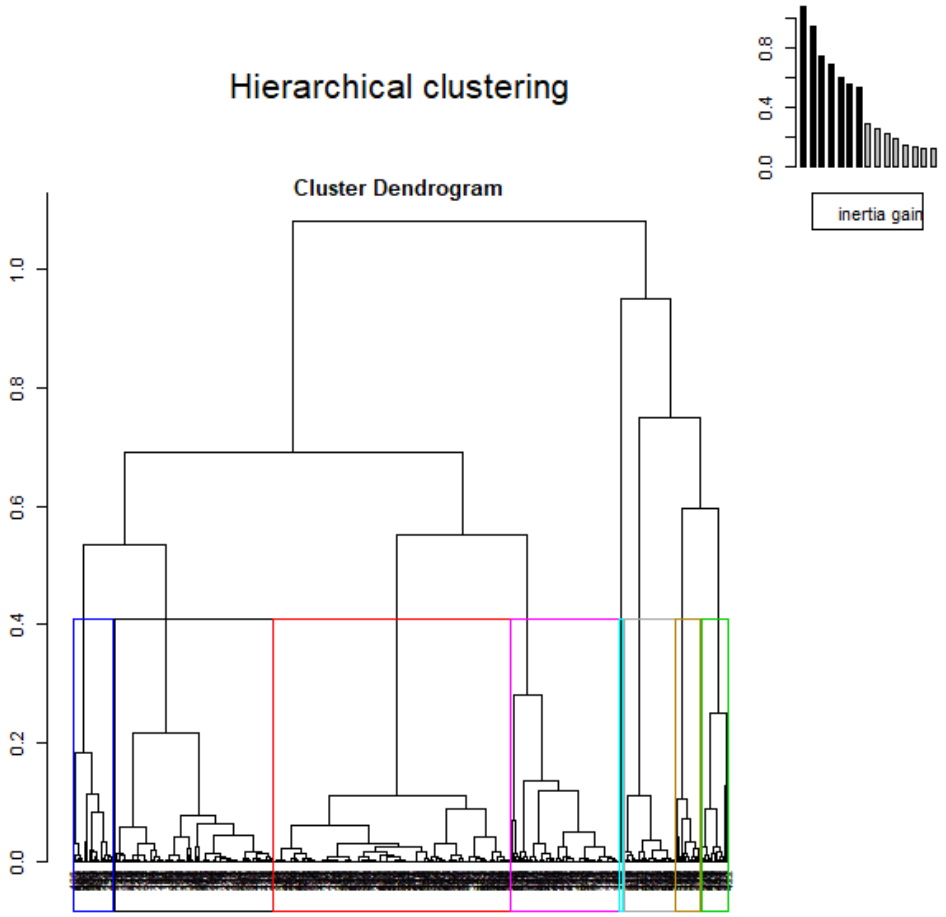


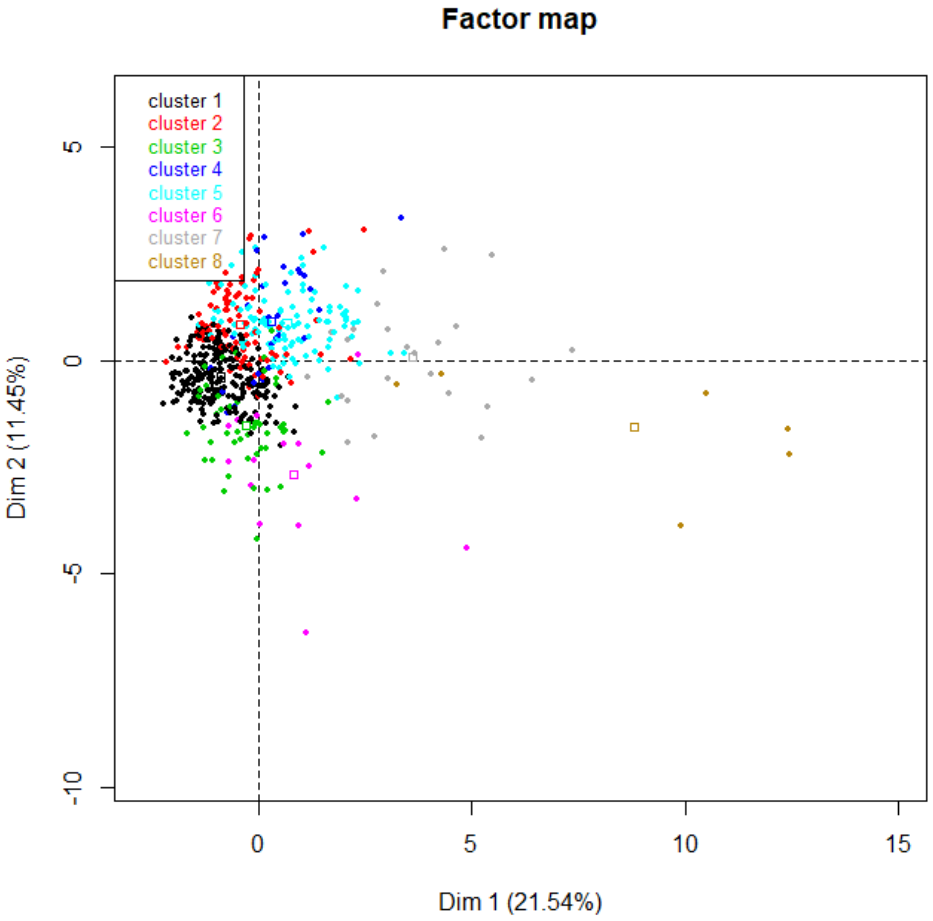
TdBV à profil agricole - ACP - Graphe des individus Dim 1 et 2



- Commentaires sur le premier plan de l'ACP : Les résultats statistiques de l'ACP et de la classification sont présents dans l'annexe 13. La variance est éclatée sur l'ensemble des dimensions et les deux premières en expliquent 33%. La dimension 1 sépare les TdBV selon les types d'assolement plus ou moins impactants : les TdBV ayant de plus forte présence de prairie permanentes (et landes et broussailles) et une bande riveraine préservée sont opposées à des TdBV ayant d'avantage de surfaces en culture ou en prairie temporaire. La dimension 2 est peu interprétable.

- Dendrogramme et représentation des clusters réalisés sur les deux premières dimensions de l'ACP :





- <u>Commentaires sur la classification :</u>

La classification a été construite sur les 7 premières dimensions de l'ACP (75.2% de la variance) (les dimensions suivantes n'ayant aucune variable avec une contribution forte). Le découpage en 8 classes permet d'expliquer environ 42% de la variance totale (soit plus que le plan 1-2 de l'ACP). La dispersion des classes sur le premier plan de l'ACP et la trop faible variance expliquée par celui-ci ne permettent pas d'interpréter le graphique des individus.

- Description des clusters obtenus :

$quanti$`1`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
SURF_AGRI3	6.64	87.58	83.43	6.85	11.74	3.20E-11
Enterr	6.02	4.92	2.25	5.05	8.33	1.71E-09
ARBO_MAR4	-2.60	0.32	0.73	0.98	2.94	9.21E-03
Den_Zprot	-2.89	0.29	1.53	1.40	8.09	3.88E-03
Dens_ZH	-3.94	3.66	5.21	3.85	7.39	8.20E-05
DensEauTot	-4.28	0.30	0.55	0.38	1.07	1.86E-05
BR10m_Pp_F	-4.36	13.12	17.74	16.02	19.89	1.30E-05
NB_Frayere	-5.75	0.00	0.12	0.00	0.40	8.92E-09
PRA_P_LA2	-5.86	1.12	3.90	2.13	8.91	4.63E-09
Den_arbo	-7.28	12.82	20.57	12.92	20.00	3.32E-13
RatioP_C	-9.05	24.37	35.59	15.85	23.29	1.38E-19
Dens_boca	-10.55	35.85	47.95	14.79	21.53	4.87E-26

$quanti$`2`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Dens_boca	6.48	61.55	47.95	25.99	21.53	9.02E-11
SURF_AGRI3	5.58	89.81	83.43	7.20	11.74	2.44E-08
RatioP_C	5.37	47.79	35.59	28.15	23.29	7.71E-08
Dens_ZH	2.35	6.91	5.21	9.97	7.39	1.86E-02
Den_arbo	-2.34	16.01	20.57	12.58	20.00	1.93E-02
ARBO_MAR4	-2.45	0.03	0.73	0.19	2.94	1.43E-02
DensEauTot	-2.84	0.25	0.55	0.48	1.07	4.55E-03
PRA_P_LA2	-3.07	1.24	3.90	3.19	8.91	2.14E-03
NB_Frayere	-3.14	0.00	0.12	0.00	0.40	1.68E-03
l_Frag	-4.62	1.53	2.57	1.67	2.32	3.87E-06
BR10m_Pp_F	-4.88	8.28	17.74	12.69	19.89	1.08E-06
Enterr	-11.93	-7.43	2.25	9.98	8.33	8.11E-33

$quanti$`3`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
NB_Frayere	20.67	1.28	0.12	0.49	0.40	6.40E-95
Den_arbo	-5.08	6.42	20.57	11.45	20.00	3.80E-07

$quanti$`4`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
DensEauTot	13.58	3.12	0.55	2.75	1.07	5.17E-42
l_Frag	11.52	7.33	2.57	3.95	2.32	1.08E-30

$quanti$`5`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Den_arbo	13.55	43.85	20.57	18.40	20.00	8.17E-42
BR10m_Pp_F	6.50	28.84	17.74	21.69	19.89	8.14E-11
RatioP_C	4.89	45.38	35.59	18.76	23.29	1.02E-06
Dens_boca	4.40	56.08	47.95	14.83	21.53	1.10E-05
Enterr	4.26	5.30	2.25	6.64	8.33	2.03E-05
ARBO_MAR4	-2.39	0.13	0.73	0.70	2.94	1.68E-02
NB_Frayere	-3.02	0.02	0.12	0.13	0.40	2.49E-03

$quanti$`6`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
ARBO_MAR4	18.26	14.40	0.73	6.31	2.94	1.85E-74
RatioP_C	-2.75	19.29	35.59	18.08	23.29	5.99E-03
SURF_AGRI3	-5.11	68.16	83.43	14.31	11.74	3.25E-07

$quanti$`7`

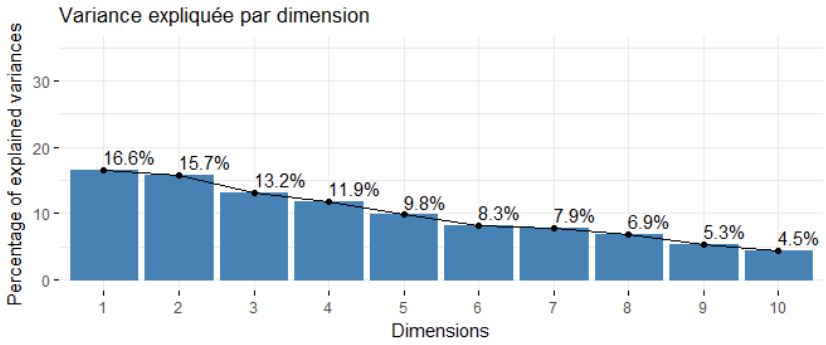
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
PRA_P_LA2	15.98	32.34	3.90	12.67	8.91	1.65E-57
RatioP_C	6.45	65.58	35.59	17.98	23.29	1.12E-10
BR10m_Pp_F	5.77	40.66	17.74	27.23	19.89	7.82E-09
Dens_boca	2.58	59.05	47.95	25.81	21.53	9.79E-03
SURF_AGRI3	-12.02	55.27	83.43	11.74	11.74	2.80E-33

$quanti$`8`

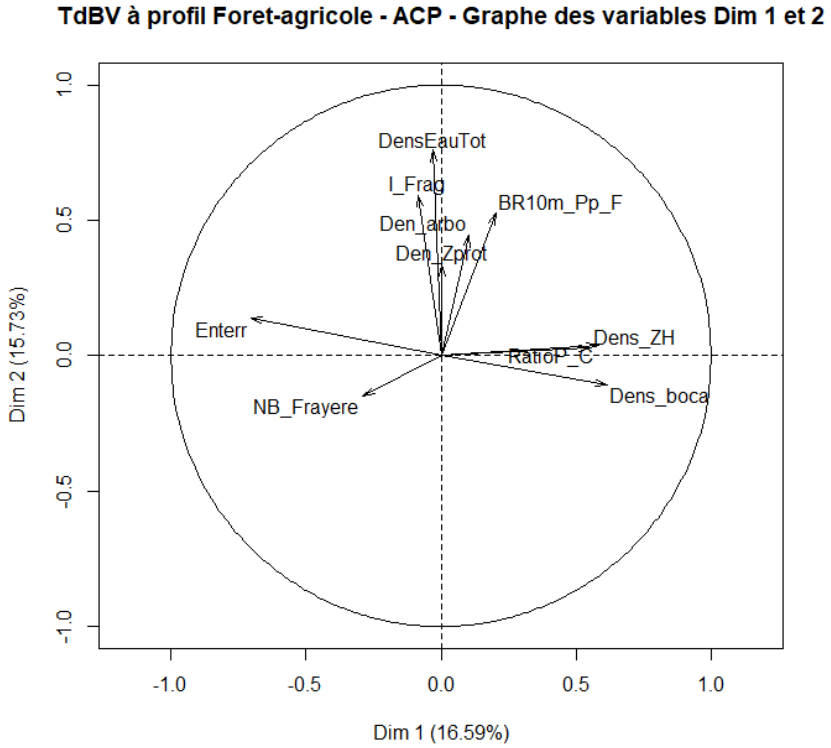
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Den_Zprot	21.00	70.55	1.53	16.21	8.09	6.68E-98
Dens_ZH	12.11	41.60	5.21	25.99	7.39	8.86E-34
PRA_P_LA2	7.49	31.01	3.90	26.09	8.91	7.11E-14
BR10m_Pp_F	5.47	61.92	17.74	31.01	19.89	4.58E-08
ARBO_MAR4	2.36	3.55	0.73	7.77	2.94	1.83E-02
RatioP_C	2.26	56.99	35.59	38.28	23.29	2.38E-02
SURF_AGRI3	-6.75	51.25	83.43	23.48	11.74	1.49E-11

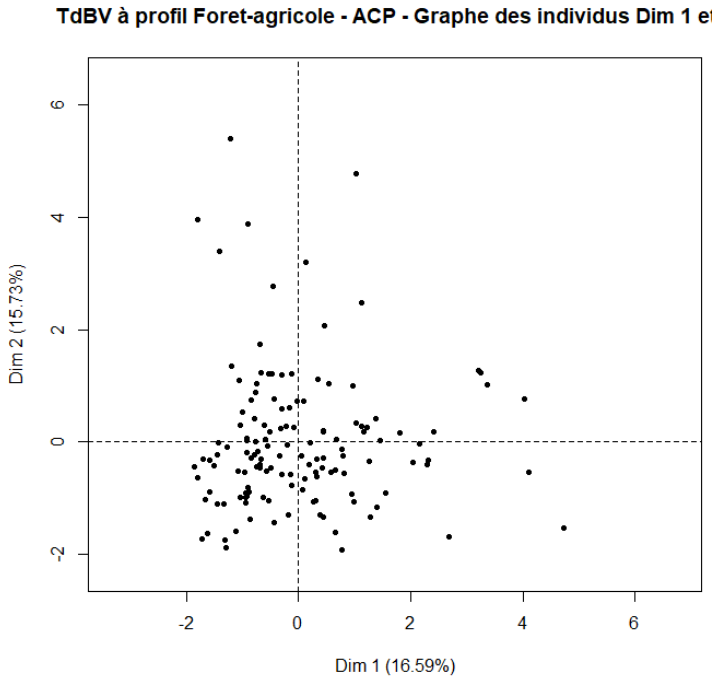
Annexe 14 : résultats statistiques – ACP et classification sur le profil Mixte Forêt-Agricole

- Variance expliquée par les dimensions de l'ACP :



- Graphes des variables et des individus sur les dimensions 1 et 2 :

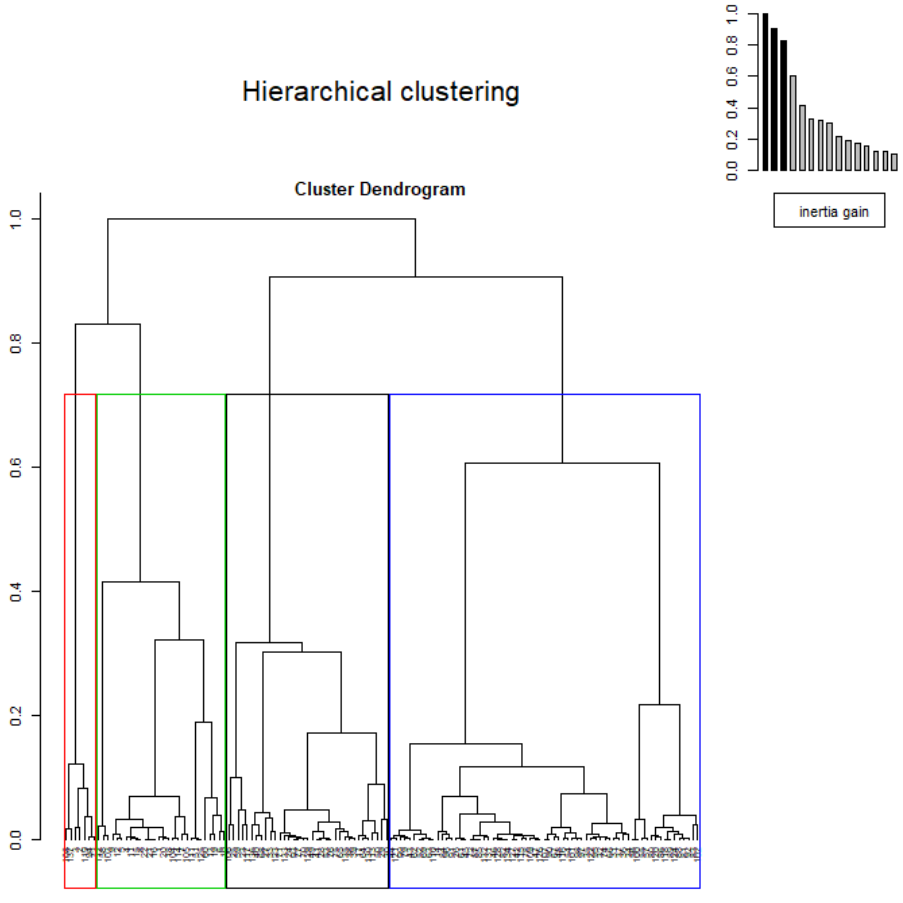


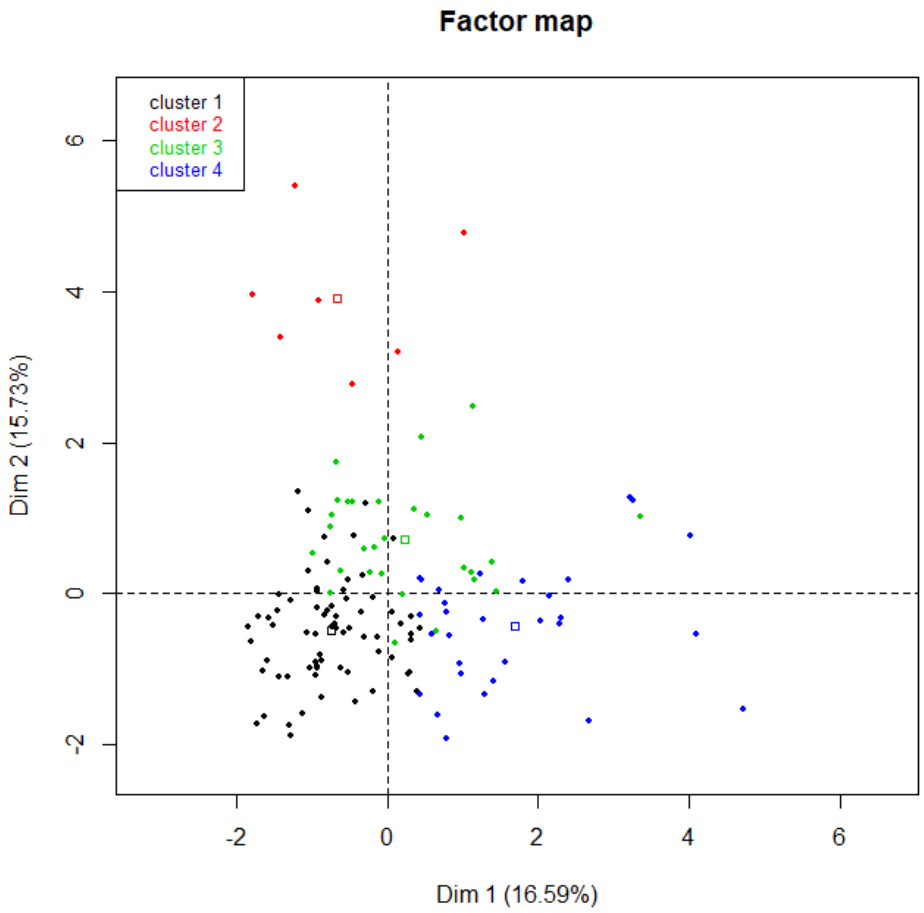


- Commentaires sur l'ACP :

Les dimensions 1 et 2 de l'ACP expliquent 32% de la variance totale. Cette variance est éclatée sur l'ensemble des dimensions et les premières ne permettent pas d'avoir une bonne représentation de la variabilité des individus (graphe des individus). La dimension 1 peut représenter la pression exercée par l'agriculture (remembrement, enterrement, drainage, intensification), en séparant les TdBV ayant un plus fort risque d'enterrement de celles qui ont une trame bocagère plus dense, accompagnée d'une plus forte densité de zones humides et d'une plus forte proportion de prairies. La dimension 2 sépare principalement les TdBV selon la problématique de la pression par les plans d'eau (densité de plans d'eau présente et risques de fragmentation associés).

- Dendrogramme et représentation des clusters réalisés sur les deux premières dimensions de l'ACP :





- <u>Commentaires sur la classification :</u>

La classification a été construite sur les 6 premières dimensions de l'ACP (75.5% de la variance) (les dimensions suivantes n'ayant aucune variable avec une contribution forte). Le découpage en 4 classes permet d'expliquer environ 27% de la variance totale. La classe 2 a des valeurs fortes sur la dimension 2 tandis que la classe 4 a des valeurs fortes sur la dimension 1.

- Description des clusters obtenus :

$quanti$`1`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Enterr	4.64	4.49	1.40	4.57	8.04	3.41E-06
NB_Frayere	3.91	0.56	0.33	0.92	0.73	9.10E-05
DensEauTot	-2.66	0.45	0.78	0.66	1.50	7.74E-03
Dens_ZH	-3.04	5.01	7.30	4.18	9.14	2.34E-03
RatioP_C	-3.19	29.12	36.09	19.72	26.44	1.44E-03
BR10m_Pp_F	-3.27	35.19	42.41	22.10	26.73	1.07E-03
Den_Zprot	-3.90	2.52	8.91	6.89	19.83	9.78E-05
Dens_boca	-3.99	31.15	39.34	12.53	24.81	6.47E-05
Den_arbo	-5.59	6.49	17.05	7.28	22.83	2.21E-08

$quanti$`2`

	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
DensEauTot	9.12	5.84	0.78	2.73	1.50	7.39E-20
l_Frag	5.71	6.40	2.48	2.91	1.86	1.11E-08
BR10m_Pp_F	2.85	70.54	42.41	22.15	26.73	4.41E-03

$quanti$`3`

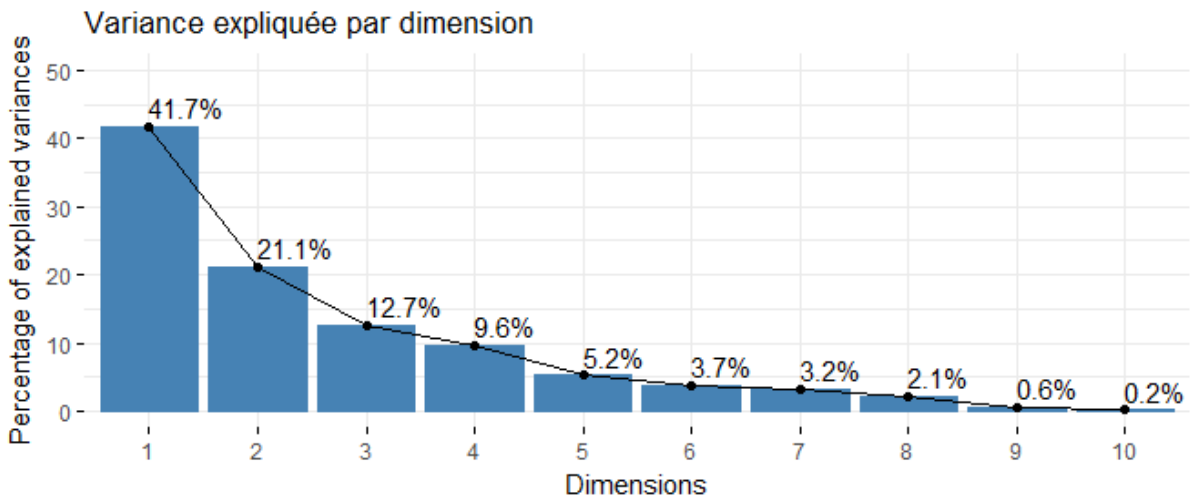
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Den_arbo	7.55	45.57	17.05	29.43	22.83	4.38E-14
Den_Zprot	5.59	27.23	8.91	30.40	19.83	2.34E-08
BR10m_Pp_F	3.31	57.04	42.41	30.71	26.73	9.43E-04
RatioP_C	2.09	45.23	36.09	33.08	26.44	3.67E-02
l_Frag	-2.06	1.84	2.48	1.33	1.86	3.90E-02
NB_Frayere	-2.16	0.07	0.33	0.25	0.73	3.08E-02
Dens_ZH	-2.66	3.28	7.30	3.74	9.14	7.79E-03

$quanti$`4`

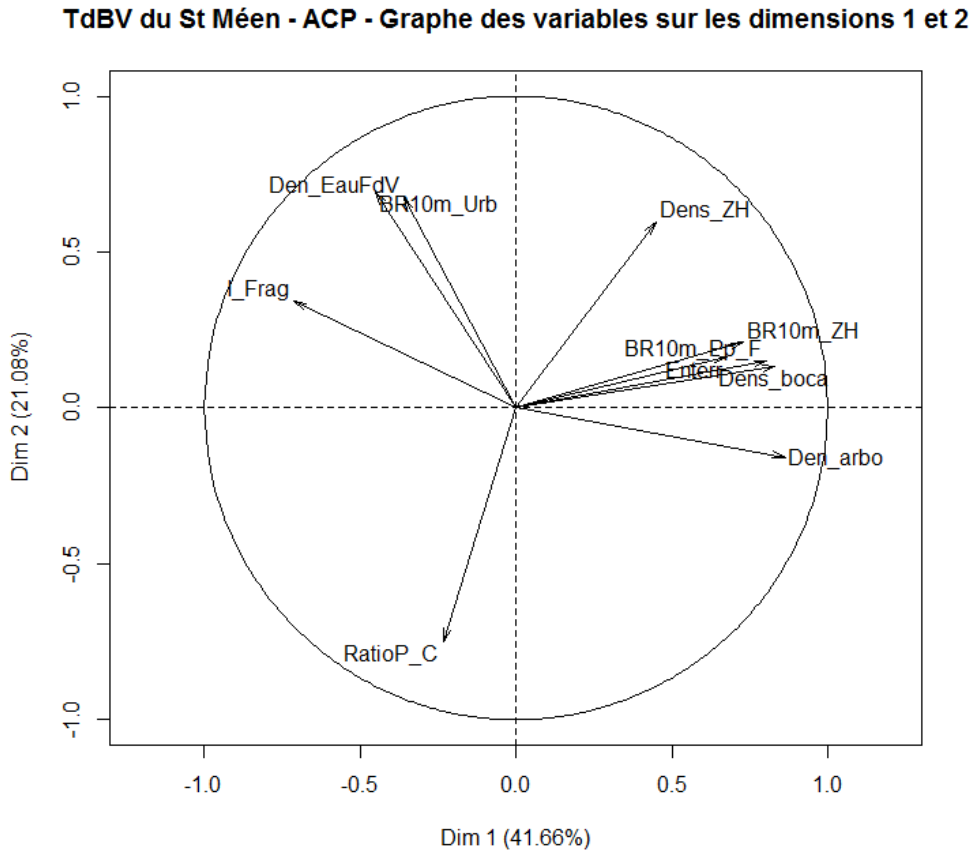
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Dens_ZH	6.14	16.39	7.30	14.36	9.14	8.07E-10
Dens_boca	5.91	63.10	39.34	34.52	24.81	3.40E-09
RatioP_C	2.49	46.75	36.09	27.87	26.44	1.28E-02
NB_Frayere	-2.23	0.07	0.33	0.25	0.73	2.60E-02
Enterr	-6.43	-6.96	1.40	9.45	8.04	1.31E-10

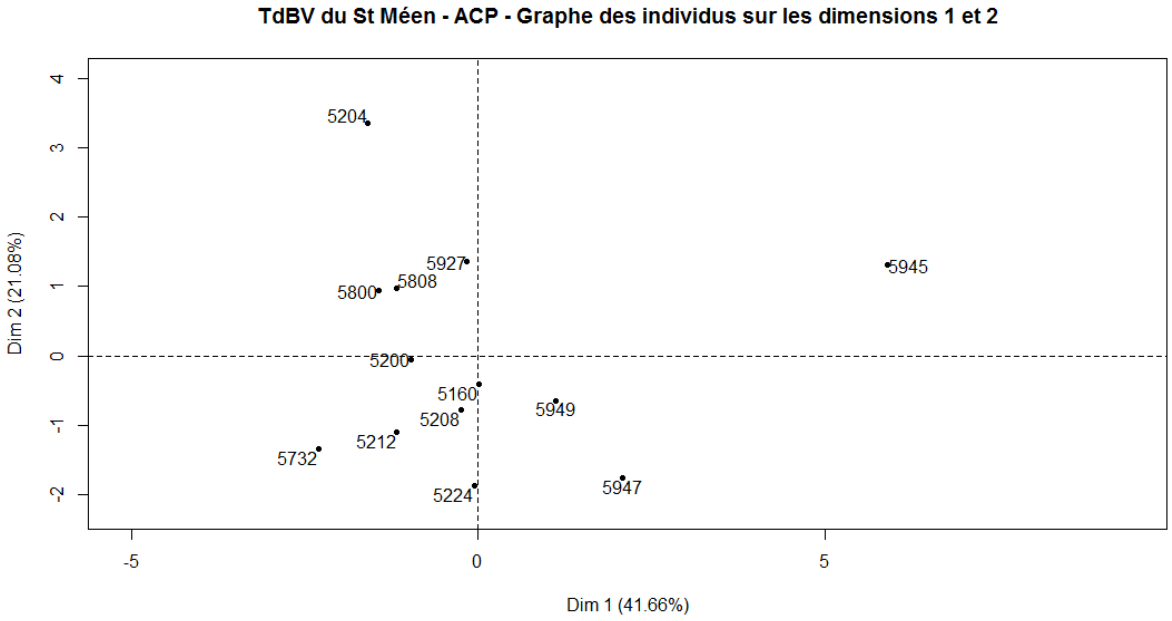
Annexe 15 : résultats statistiques – ACP sur les TdBV de la masse d'eau du St-Méen et représentation des individus à forte contribution

- Variances expliquées par les dimensions de l'ACP :



- Graphe des variables et des individus sur les dimensions 1 et 2 :





- Contribution des variables aux 3 premières dimensions de l'ACP :

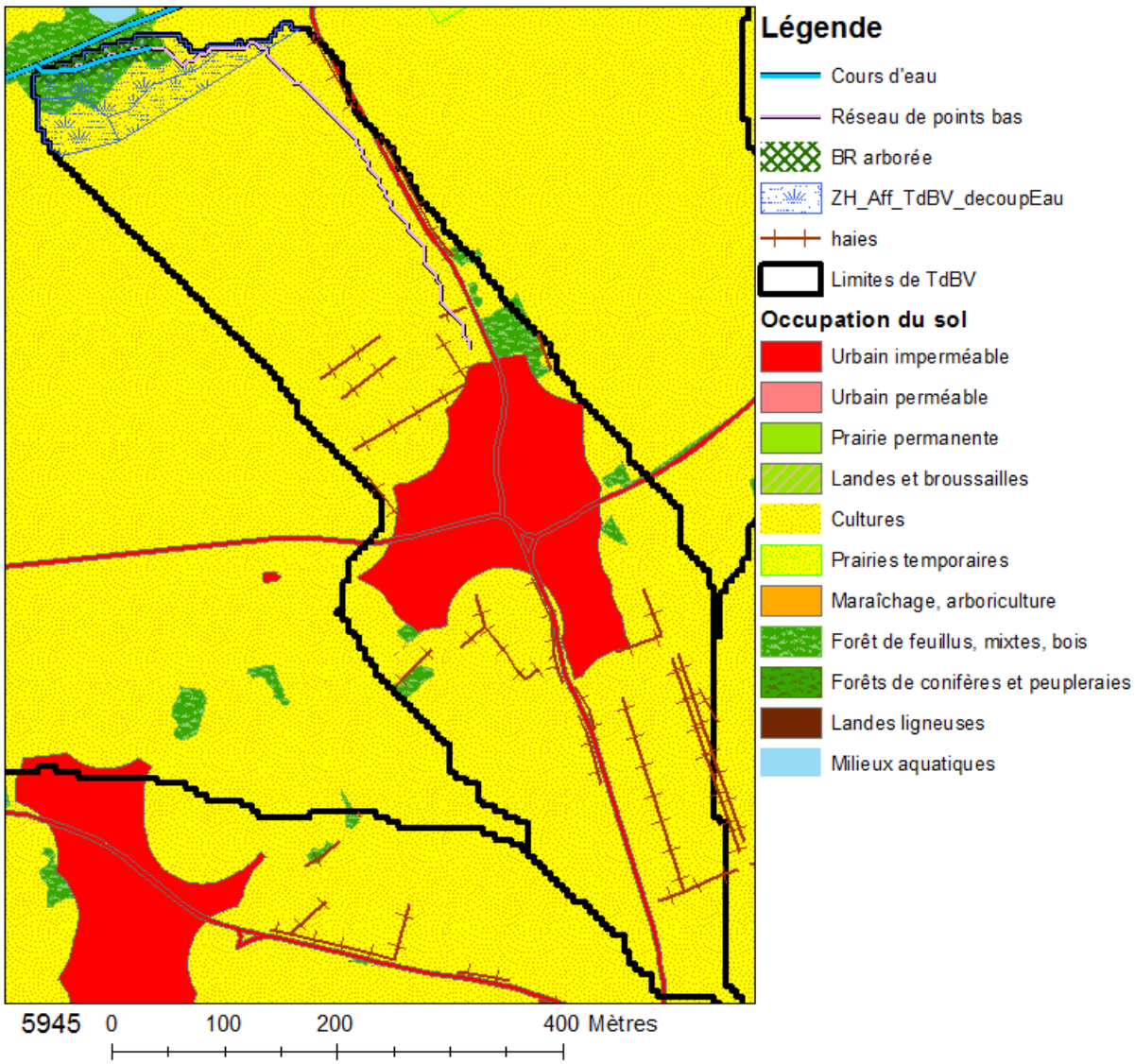
		Dim.1	ctr	cos2		Dim.2	ctr	cos2		Dim.3	ctr	cos2	
Enterr	|	0.68	10.93	0.46	|	0.17	1.29	0.03	|	0.41	13.55	0.17	|
Dens_boca	|	0.83	16.56	0.69	|	0.13	0.83	0.02	|	-0.39	12.12	0.15	|
Dens_ZH	|	0.45	4.82	0.20	|	0.60	16.81	0.35	|	-0.60	28.36	0.36	|
I_Frag	|	-0.71	12.22	0.51	|	0.34	5.61	0.12	|	0.15	1.69	0.02	|
Den_EauFdV	|	-0.36	3.10	0.13	|	0.68	21.73	0.46	|	0.27	5.60	0.07	|
Den_arbo	|	0.86	17.85	0.74	|	-0.16	1.18	0.03	|	0.42	14.08	0.18	|
BR10m_ZH	|	0.73	12.81	0.53	|	0.21	2.08	0.04	|	0.45	16.08	0.20	|
BR10m_Pp_F	|	0.80	15.53	0.65	|	0.15	1.05	0.02	|	-0.02	0.02	0.00	|
BR10m_Urb	|	-0.45	4.85	0.20	|	0.69	22.76	0.48	|	0.29	6.61	0.08	|
RatioP_C	|	-0.23	1.32	0.06	|	-0.75	26.66	0.56	|	0.16	1.90	0.02	|

- Contribution des individus aux dimensions de l'ACP :

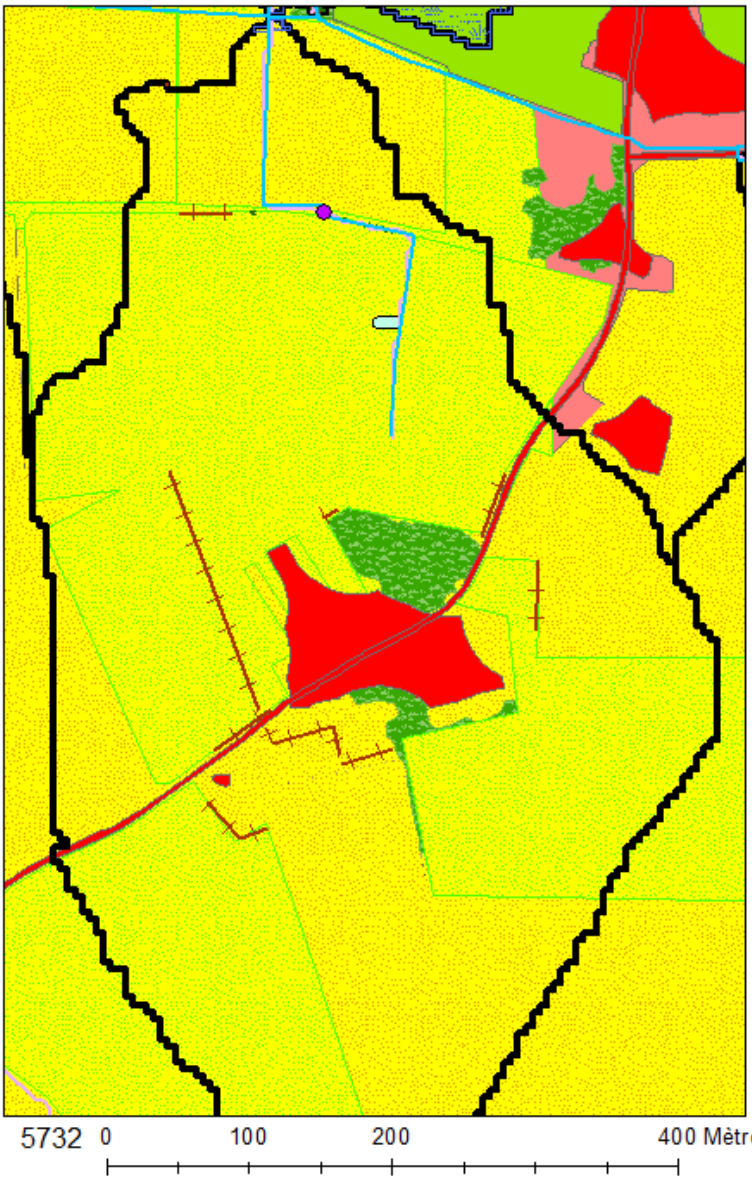
$contrib

HydroID	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
5160	0.00	0.61	4.72	3.22	0.34
5200	1.75	0.01	0.28	20.11	5.49
5204	4.67	41.17	5.96	9.01	0.42
5208	0.11	2.16	0.02	8.51	41.24
5212	2.54	4.39	0.31	1.67	0.01
5224	0.01	12.68	0.51	42.44	3.61
5732	9.83	6.59	1.18	2.99	23.48
5800	3.79	3.23	4.63	0.42	8.29
5808	2.57	3.44	0.02	0.31	0.06
5927	0.05	6.69	14.60	0.45	5.93
5945	64.37	6.22	1.34	2.99	4.63
5947	8.01	11.33	22.42	1.20	1.56
5949	2.31	1.49	44.00	6.65	4.95

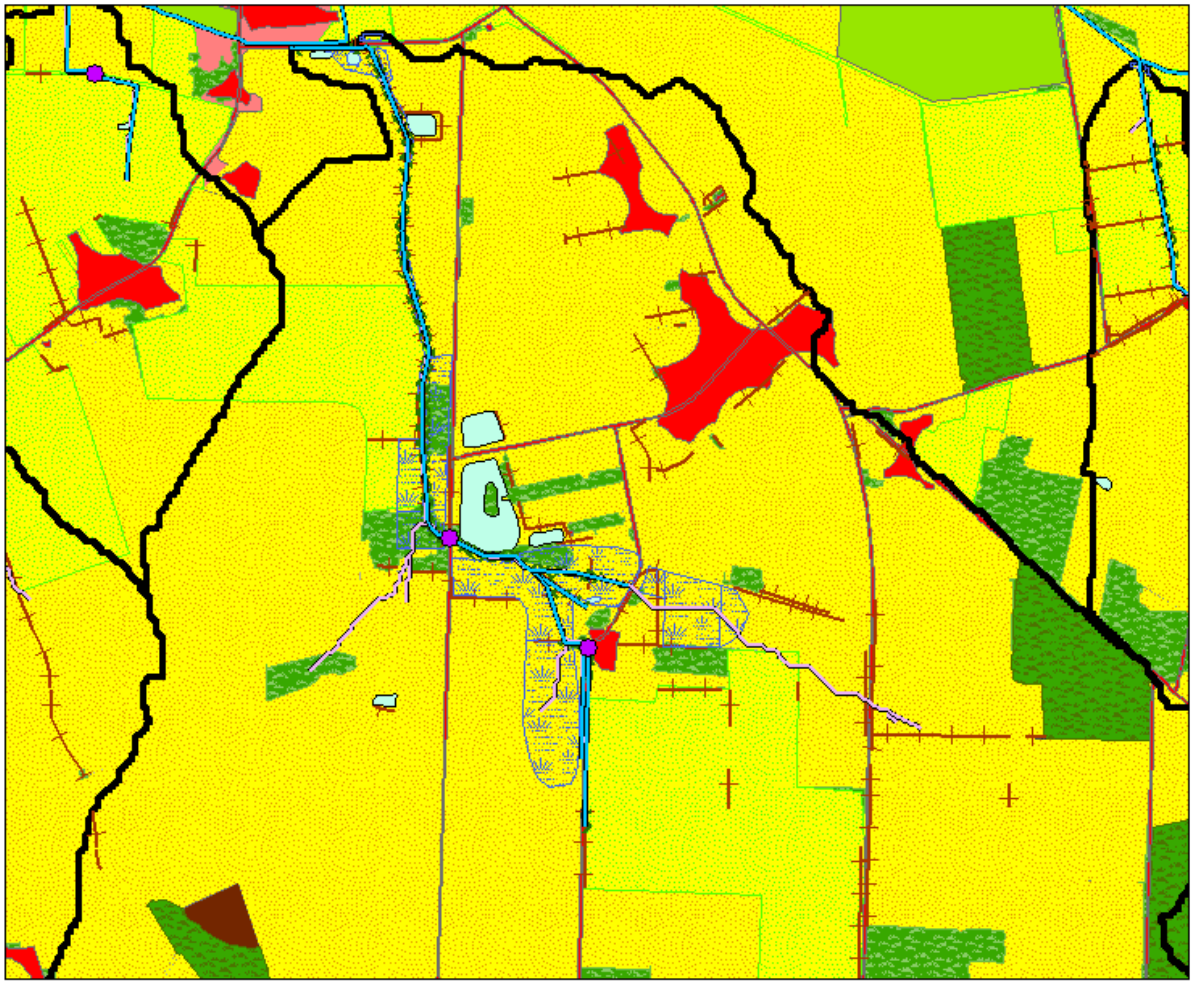
- Représentation cartographique des individus à forte contribution :



Source des données : inventaires de cours d'eau de la Vilaine (IAV), BD_TOPO 2015 (IGN), RPG 2014 (IGN), Corine Land Cover (Copernicus), inventaires de zones humides (IAV), inventaires de haies (DRAAF Bretagne), INPN



Source des données : inventaires de cours d'eau de la Vilaine (IAV), BD_TOPO 2015 (IGN), RPG 2014 (IGN), Corine Land Cover (Copernicus), inventaires de zones humides (IAV), inventaires de haies (DRAAF Bretagne), INPN



5204 0 200 400 800 Mètres

Légende

- Intersection avec routes
- Cours d'eau
- Réseau de points bas
- BR arborée
- zones humides
- plans d'eau
- haies
- Limites de TdBV

Occupation du sol

- Urbain imperméable
- Urbain perméable
- Prairie permanente
- Landes et broussailles
- Cultures
- Prairies temporaires
- Maraîchage, arboriculture
- Forêt de feuillus, mixtes, bois
- Forêts de conifères et peupleraies
- Landes ligneuses
- Milieux aquatiques

Source des données : inventaires de cours d'eau de la Vilaine (IAV), BD_TOPO 2015 (IGN), RPG 2014 (IGN), Corine Land Cover (Copernicus), inventaires de zones humides (IAV), inventaires de haies (DRAAF Bretagne), INPN

XL

	Diplôme : Ingénieur Agronome Spécialité : Génie de l'Environnement Spécialisation / option : Préservation et Aménagement des Milieux, Ecologie Quantitative Enseignant référent : Ivan Bernez

Auteur(s) : Julien Cirou Date de naissance* : 26/06/1994	Organisme d'accueil : Institution d'Aménagement de la Vilaine Adresse : Boulevard de Bretagne, 56130 LA-ROCHE-BERNARD Maître de stage : Nathalie Pécheux
Nb pages : 35 Annexe(s) : 15	
Année de soutenance : 2017	

Titre français : Elaboration d'une méthode de délimitation et de caractérisation des têtes de bassin versant de la Vilaine par approche cartographique

Titre anglais : Development of a cartographic method for delineation and characterisation of the Vilaine's headwater basins

Résumé :

Face à l'état de dégradation des milieux aquatiques terrestres, les gestionnaires souhaitent avoir une meilleure connaissance des têtes de bassin versant. Nombreux et de taille réduite, les cours d'eau et zones humides de ces espaces peuvent jouer un rôle important pour le fonctionnement du reste de leur bassin versant. La présente étude initie la démarche de prise en compte des têtes de bassin versant sur le territoire du SAGE Vilaine. Pour cela, des méthodes cartographiques de délimitation et de caractérisation ont été mises en place et testées sur deux sous-bassins : l'Aff et le Don. A partir des critères définis pour la caractérisation, plusieurs analyses exploratoires ont visé à décrire plus facilement la variabilité de ces zones et de cerner des têtes de bassin versant aux fonctionnements et enjeux de gestion similaires. Plus de 70% des surfaces du territoire d'étude est recouverte par de telles zones. Des classifications basées sur des profils de morphologie et d'occupation du sol mettent en évidence des groupements caractérisés par une vulnérabilité ou un intérêt face à certains enjeux. Cette étude a également montré l'avantage d'utiliser ces zones pour orienter les actions visant l'amélioration de l'état écologique des masses d'eau. Toutefois, certaines lacunes existent dans la base de données constituée et la validité des critères et classes proposées reste à confirmer par des vérifications. Ainsi, un second niveau de caractérisation est proposé à l'échelle du sous-bassin versant, adapté aux enjeux de ce territoire et pouvant être utilisé pour une hiérarchisation.

Abstract :

Considering the actual terrestrial water ecosystems state of decay, managers wish to improve their knowledges on headwater systems. Small and numerous, headwater streams and wetlands may have a critical influence on the entire watershed. This study initiates the process of taking into account the headwaters of the SAGE Vilaine territory. In this issue, GIS methods for the delineation and the characterisation of headwaters have been elaborated and applied on two first watersheds: the "Aff" and the "Don". More than 70% of their total surface is covered by headwater small watersheds. From the characterisation criteria, several explanatory analyses intended to describe the variability of these headwaters and underline their link with management issues. Classifications based on morphology and land use show particular groups characterised by superior vulnerabilities or specific environmental issues. Also, it underlines the opportunity to use those areas to aim the restoration goals of some considered water bodies in a better way. However, the database that has been built is lacking on several types of data and the validity of the proposed criteria and classes needs to be verified. A second level of characterization is proposed at the scale of smaller watersheds, expecting more accurate and more suitable criteria that could bring to a proper prioritization.

Mots-clés : tête de bassin versant ; délimitation ; caractérisation ; classification ; cartographie

Key Words: headwater, delineation, characterization, classification ; cartography

* *Elément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires*