

Les enjeux de la ressource en eau face au changement climatique en Bourgogne

Représentativité des bassins versants choisis pour les simulations

par
Séverine FOCK

Mémoire pour l'obtention du Master 1 Transport, Mobilité,
Environnement, Climat

Sous la direction d'Yves Richard

Juin 2013

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, je souhaitais adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce travail.

Je tiens à remercier sincèrement Yves Richard, qui, en tant que Directeur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et disponible tout au long de ce travail, ainsi que pour l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer.

J'adresse un remerciement tout particulier à Hélène Toussaint, en charge d'HYCCARE, qui m'a accueillie chaleureusement au sein du projet et qui m'a conseillé et soutenu tout le long. Et aussi pour sa disponibilité, sa sympathie et sa bonne humeur en permanence.

Je remercie également Etienne Brulebois, stagiaire également sur HYCCARE, qui m'a aidé et conseillé à de nombreuses reprises lors de mes problèmes de logiciel SIG.

Mes remerciements s'adressent aussi aux membres du laboratoire Théma pour leur accueil lorsque j'avais besoin d'un accès au logiciel ArcGIS.

Enfin je remercie l'ensemble de mes proches et amis pour leur soutien et encouragements tout au long de ce travail.

LISTE DES ACRONYMES

AELB : Agence de l'eau Loire-Bretagne

AERMC : Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse

AESN : Agence de l'eau Seine Normandie

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DREAL: Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

GICC : Gestion et Impacts du Changement Climatique

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

HYCCARE: HYdrologie, Changement Climatique, Adaptation, Ressource en Eau en Bourgogne

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

MCG : Modèles de Circulation Générale

MCR : Modèle de Climat Régional

MEDDE : ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie

MNT : Modèle Numérique de Terrain

PPRI : Plan de Prévention du Risque Inondation

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SANDRE: Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau

ZICO : Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux

ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	2
LISTE DES ACRONYMES	3
INTRODUCTION	5
I. Contexte de l'étude.....	6
1) Changement climatique	6
2) L'évaluation de l'aléa climatique et de la sensibilité de la ressource	7
3) Le projet HYCCARE.....	8
4) Le choix des bassins versants	10
II. Les critères descriptifs des bassins versants	13
1) Le choix des critères et la collecte des données.....	13
2) Présentation des critères retenus	14
3) Quelques critiques sur les données	18
III. Les spécificités des bassins versants	19
A. Les caractéristiques des bassins versants	19
1) Méthodologie.....	19
2) Présentation des résultats.....	19
3) Critique des résultats	23
B. Les fiches descriptives	24
1) Méthodologie.....	24
2) Présentation des fiches descriptives réalisées	25
3) Critiques	28
IV. La cartographie et la représentativité des bassins versants sur la Bourgogne	28
A. La cartographie des bassins versants.....	28
1) Méthodologie.....	28
2) Présentation des cartes.....	29
3) Critique des résultats	31
B. La représentativité des bassins versants sur la Bourgogne.....	32
1) Méthodologie.....	32
2) Présentation des résultats.....	32
3) Critique des résultats	37
CONCLUSION.....	38
BIBLIOGRAPHIE	40
TABLE DES FIGURES.....	43
TABLE DES TABLEAUX.....	43
TABLE DES ANNEXES.....	44

INTRODUCTION

D'après le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), le réchauffement du système climatique est sans équivoque. On note déjà, à l'échelle du globe, une hausse des températures moyennes de l'atmosphère et des océans, une fonte massive de la neige et de la glace ainsi qu'une élévation du niveau moyen des océans (GIEC, 2007).

Le changement climatique est une réalité largement reconnue aujourd'hui dans la communauté scientifique. Celui-ci ayant des conséquences sur le régime hydrologique car les variations des précipitations et de la température entraînent une modification du ruissellement et des disponibilités en eau. C'est ce que montre également Arnell N. (2003) : le changement climatique augmente les stress hydriques dans plusieurs endroits du globe où les ruissellements diminuent. Il est prévu que le changement climatique va entraîner un accroissement des ressources en eau disponibles dans les zones tropicales humides et aux hautes latitudes. Et au contraire une diminution des ressources disponibles et une accentuation de la sécheresse aux latitudes moyennes et dans les zones semi-arides des basses latitudes, ainsi des centaines de millions de personnes seront exposées à un stress hydrique accru (GIEC, 2007). Le changement climatique, et ses effets sur la ressource en eau disponible, affecte des domaines variés : l'agriculture (culture, élevage, viticulture), la forêt, les espaces naturels, les collectivités pour l'alimentation en eau, l'équipement et les réseaux d'infrastructures, etc.

Face au changement climatique, les politiques publiques se doivent donc de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation, ce qui implique que les effets du changement climatique soient clairement identifiés à l'échelle des territoires. Jusqu'à maintenant, seuls des projets pour étudier les impacts sur de grands bassins versants ont été menés. Et les données locales sont trop peu nombreuses ou pas toujours accessibles pour les décideurs. Une démarche d'action suppose de mieux caractériser localement les impacts du changement climatique, c'est l'objectif du projet HYCCARE mené sur la Bourgogne. Pour cela, le choix des bassins versants sur lesquels va porter l'étude s'est fait à une échelle fine, proche des acteurs du territoire (ALTERRE, 2012). Il est attendu de ce choix de bassins versants :

- Qu'il soit une aide aux Agences de l'eau et acteurs du territoire pour leurs décisions futures ;
- Qu'il permette aux climatologues et aux hydrologues, modélisant le climat et les échanges en surface, de valider la chaîne méthodologique.

L'étape de sélection de quelques bassins versants parmi l'ensemble des bassins versants de Bourgogne est donc décisive pour la suite du projet. Ce mémoire veut, dans le cadre du projet HYCCARE, expliciter les choix de bassins versants sélectionnés pour les modélisations hydroclimatiques et élaborer des fiches descriptives, comportant des critères suffisamment synthétiques en termes de fonctionnement et d'enjeux pour chacun de ces bassins. Les caractéristiques des bassins versants non sélectionnés pourront être comparées à celles d'un bassin versant similaire pour lequel une simulation a eu lieu, ainsi tout acteur pourra utiliser

les résultats obtenus par l'étude du bassin versant sélectionné. Dans ce contexte, l'objectif de ce mémoire est d'apporter des éléments de réponse à la question suivante: A quel point le choix effectué est-il représentatif et jusqu'à quel point peut-on en tirer des enseignements pour un autre bassin versant, non sélectionné pour les modélisations?

Après une présentation du contexte de l'étude et du détail de la sélection des bassins versants, les résultats seront présentés, ainsi que les limites rencontrées.

I. Contexte de l'étude

1) Changement climatique

D'après la définition du GIEC, « *le changement climatique s'entend d'une variation de l'état du climat que l'on peut déceler (par exemple au moyen de tests statistiques) par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus. Il se rapporte à tout changement du climat dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine. Cette définition diffère de celle figurant dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), selon laquelle les changements climatiques désignent des changements qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables.* ». De nombreux travaux ont déjà été réalisés sur la problématique du changement climatique et d'après l'évaluation du GIEC pour l'Europe (2007) :

- Les risques liés au changement climatique seront globalement en hausse (crues et sécheresses) ;
- La population vivant dans des bassins soumis à des stress hydriques augmentera ;
- Il y aura une accentuation des différences entre les régions ;
- Il y aura un recul des glaciers dans les zones montagneuses ;
- Il y aura une difficulté d'adaptation pour les écosystèmes naturels et pour de nombreux secteurs économiques.

De plus Renard B. (2006) a détecté, en France métropolitaine, des évolutions au niveau régional :

- Liées à la neige/glace en région alpine: les étiages d'hiver sont moins sévères en raison des écoulements d'origine glaciaire en hausse dans les Alpes du Nord ;
- Dans le sud-ouest (Pyrénées/Pays basque, rivières à dominantes pluviales): il y a une diminution des débits d'étiage, des volumes annuels écoulés (dans une moindre mesure) et des pics de crue ;
- Dans le nord-est de la France: il y a une tendance à une légère aggravation des crues.

D'après le descriptif du projet HYCCARE (ALTERRE, 2012), en Bourgogne le changement climatique pose plusieurs questions vis-à-vis des ressources hydriques des différents territoires :

- Avec des températures plus élevées, il est probable que la longueur moyenne de la période de recharge des ressources en eau se rétracte au profit de celle de vidange.
- Il est également probable que l'intensité de la période de vidange soit accrue, principalement en raison de la hausse des températures. Une évolution de plus de 1°C a été observée de 1961 à 2010 en Bourgogne, tandis que les précipitations de saison chaude sont restées stationnaires.
- Concernant l'intensité de la recharge qui dépend beaucoup de l'évolution des précipitations de saison froide, des incertitudes prédominent. En Bourgogne, l'évolution observée du climat depuis 50 ans (1961-2010) atteste d'une légère augmentation des précipitations de saison froide, en particulier en automne. Mais il n'est pas certain que celle-ci compense le raccourcissement de la saison de recharge.
- Les incertitudes prévalent également pour la variabilité interannuelle des 3 points ci-dessus. Une variabilité climatique interannuelle accrue (un aléa plus fort, à sensibilité égale) impacterait d'avantage la vulnérabilité des territoires.

2) L'évaluation de l'aléa climatique et de la sensibilité de la ressource

Les projections climatiques montrent, à l'échelle du globe, que les ressources en eau vont être significativement affectées par le changement climatique avec des répercussions sur les sociétés humaines et sur les écosystèmes (Bates et al., 2008). Pour la France, le changement climatique pourrait entraîner une diminution moyenne de la ressource disponible de 10 à 30% à l'horizon 2050 (Milly et al., 2005). Il paraît donc indispensable d'anticiper ces changements pour mieux s'y adapter, et ce à partir d'études d'impact les plus fines et fiables possibles. L'échelle fine (quelques dizaines de kilomètres carrés), la plus appropriée pour la mise en place de politiques d'adaptation, reste encore trop peu documentée. Cette lacune est en grande partie liée à la complexité des processus associés aux précipitations, qui sont liées à des processus multi-scalaires. Leurs variations étaient, jusqu'à très récemment, associées à une forme de stationnarité hydro-météorologique et le réchauffement remet en cause ce paradigme (Milly et al., 2008). Aux latitudes tempérées leur évolution pourrait se décliner saisonnièrement (modification des régimes) et spatialement (selon les états de surface, le relief, l'occupation du sol ou la géographie des territoires). Dans le même temps, la hausse des températures va générer une augmentation de l'évaporation et de l'évapotranspiration. Ces évolutions différenciées (saisonnièrement et spatialement) des entrées (précipitations) et des sorties (évaporation) nécessitent une étude croisée en termes de ressource en eau de surface (ruissellement) et de ressource profonde (infiltration). Le lien entre modèles climatiques et hydrologiques a donc été une préoccupation forte ces dix dernières années en France et en Europe. Les travaux montrent en général que le débit moyen des cours d'eau diminue significativement (par exemple de -11 % pour la Seine selon Ducharne (2009)), notamment en raison d'étiages estivaux plus fréquents et plus prononcés (Etchevers et al., 2002 ; Sauquet, 2009 ; Beniston et al., 2011). Ces résultats sont confortés par l'étude de Stahl et al. (2010) qui

montre que sur les 30 dernières années, si les débits moyens observés peuvent montrer des tendances à l'augmentation en Europe du Nord, les débits printaniers et estivaux sont en décroissance forte partout ailleurs en Europe.

La plupart des travaux a consisté en une descente d'échelle statistique des Modèles de Circulation Générale (MCG) dont les résultats ont permis d'alimenter différents modèles hydrologiques (par exemple Déqué, 2007). En France, plusieurs études ont été conduites, souvent dans le cadre du programme GICC, sur les bassins du Rhône (GEWEX, Etchevers et al., 2002), de la Seine (REXHYSS, Ducharne et al., 2009), de la Loire (ICC-HYDROQUAL, Ducharne et al., 2010) ou de la Garonne (IMAGINE 2030, Sauquet, 2009). La multiplication des modèles hydrologiques est justifiée par la prise en compte des incertitudes liées aux modèles (6 modèles pour le programme REXHYSS et 2 pour le programme IMAGINE 2030). Ces études montrent que les résultats des différents modèles convergent notamment pour la simulation des débits d'étiage. Cependant, elles restent encore insuffisantes pour fournir un outil d'aide à la décision permettant aux gestionnaires et aux acteurs de l'eau de prévoir et d'anticiper les tensions sur la ressource (Sauquet, 2009). Les raisons de cette inaptitude sont notamment la non prise en compte du contexte socio-économique et la résolution spatiale trop grossière.

L'utilisation de Modèles de Climat Régionaux (MCR) pour alimenter les modèles hydrologiques constitue depuis quelques années une approche privilégiée (Pal et al., 2007 par exemple), pour quantifier les modifications projetées des composantes du cycle de l'eau (précipitations, évapotranspiration). Celle-ci consiste en une désagrégation dynamique du climat à l'échelle régionale. Cette approche implique le développement de simulations avec des MCR qui permettent par emboîtement de domaines de résolution croissante de reproduire finement la variabilité climatique d'une région allant de quelques dizaines de milliers de kilomètres carrés à quelques kilomètres carrés. L'une des équipes impliquée dans le projet HYCCARE (équipe CRC, UMR Biogéosciences) a récemment réalisé d'importantes avancées (paramétrisation physique, emprise et résolution des domaines), dans des travaux (Castel et al. 2010 ; Crétat et al., 2012) visant à la descente d'échelle avec le MCR ARW/WRF, pour l'analyse des processus de la variabilité (Pohl et al., 2011 ; Xu et al., 2012) et pour l'étude des impacts du changement climatique sur les agro-systèmes en Bourgogne (Xu et al., 2012).

3) Le projet HYCCARE

Le projet s'articule autour de deux axes (ALTERRE, 2012) :

- *« l'un, sur la construction de connaissances relatives aux impacts du changement climatique sur la ressource en eau de 12 bassins versants et sur les vulnérabilités qui en découlent. Des simulations climatiques, effectuées avec un Modèle de Climat Régional (MCR) à de hautes résolutions spatiales, seront effectuées sur le XXI^e siècle. Leurs sorties serviront de données d'entrées pour des simulations hydrologiques. Les résultats attendus sont une meilleure connaissance des évolutions probables de l'aléa climatique et une estimation de la sensibilité des bassins versants au travers de l'évolution de la capacité de la ressource à se régénérer. L'échelle spatio-temporelle*

fine de ces résultats contribuera à rendre lisible le risque pour les acteurs du territoire. Des échanges à différentes phases de ces travaux entre chercheurs et parties prenantes (institutionnels et gestionnaires de la ressource) permettront de sélectionner les critères de simulations en fonction des attentes et des besoins et de favoriser l'appropriation des résultats.

- *l'autre, sur le jeu des acteurs qui se construit autour des modes d'adaptation et de gestion de la ressource. L'analyse des dynamiques collectives autour des vulnérabilités et des pistes d'adaptation permettra de discerner où sont les leviers pour qu'émerge une politique publique autour des questions du changement climatique et de ses impacts. »*

En France, la plupart des travaux conduits sur l'impact du changement climatique sur la ressource en eau ont adopté une démarche de couplage climat/hydrologie à l'échelle de grands bassins versants comme la Seine (programme REXHYSS Seine/Somme, Ducharne et al., 2009), la Loire (programme ICC-HYDROQUAL, Ducharne et al., 2010), la Garonne (programme IMAGINE2030, Sauquet, 2009) ou le Rhône (programme GEWEX, Etchevers et al., 2002). Si ces approches ont effectivement permis de grandes avancées dans la connaissance des impacts du changement climatique sur l'hydrologie des cours d'eau à large échelle, elles ne permettent pas d'apporter des réponses claires et adaptées aux gestionnaires locaux de la ressource. La Bourgogne, dont la surface couvre les « têtes de bassins » des trois plus grands bassins hydrographiques français (Rhône, Loire et Seine), est caractérisée par l'absence de grands systèmes aquifères en raison des caractéristiques géologiques. Les nappes d'eau souterraines sont fragmentées et la ressource en eau, nécessairement localisée, est contrôlée par des fonctionnements hydrogéologiques très variables spatialement. C'est pourquoi le choix d'une approche régionale a été fait (au sens administratif du terme), combinant la simulation des variables climatiques à une résolution spatiale fine avec des modèles hydrologiques simulant les débits à l'échelle des bassins versants de taille moyenne (50-200 km²). Cette approche correspond en outre à l'échelle d'aménagement du territoire et est compatible avec les contraintes de la gestion de l'eau en Bourgogne.

Les simulations portent sur un nombre limité de bassins versants bourguignons. Le choix de ces bassins constitue donc une étape importante du projet. Une rencontre en visioconférence a été organisée entre les chercheurs et les acteurs ayant la connaissance des enjeux de la ressource en eau sur le territoire (25 personnes y ont participé, sur 6 sites distants). Une soixantaine de bassins avaient été sélectionnés sur des critères de fiabilité de données et de longueur de chronique. Et chaque organisme lié au projet a été invité à affiner la sélection. Un choix définitif de 12 bassins versants a été fait (plus 8 autres qui seront utilisés dans le cas de difficultés rencontrées lors de la modélisation des 12 sélectionnés) (ALTERRE, 2013a).

4) Le choix des bassins versants

La présélection des bassins versants a été effectuée par Philippe Amiotte-Suchet (UMR 6282 Biogéosciences SEDS). Les bassins versants retenus pour l'étude ont été sélectionnés à partir des stations hydrométriques de la Banque HYDRO. En effet, le calibrage étant nécessaire pour chaque bassin versant, il est important de disposer de chroniques de débits sur une longue période afin d'ajuster au mieux les paramètres du modèle. La banque HYDRO possède 172 stations en Bourgogne, dont les chroniques sont tenues par la DREAL. Ces 172 stations ont fait l'objet d'un tri à partir de critères objectifs, afin d'éliminer les stations non éligibles à l'étude, dans le but de garantir une modélisation « réalisable » :

- Taille comprise entre 10 et 5000km² ;
- Elimination des stations douteuses (selon la DREAL) ;
- Elimination des stations très influencées par les activités humaines.

Après quoi, il reste 61 stations. La Bourgogne étant la tête de bassin de 3 grands bassins versants (Rhône, Seine, Loire), les agences de l'eau concernées (Rhône-Méditerranée-Corse, Seine-Normandie et Loire-Bretagne) ont souhaité un travail sur un nombre égal de bassins versants. Un pool de 12 bassins versants (soit 4 par agence de l'eau) a donc été choisi (tableau 1). Ces 12 bassins versants devront recouvrir de manière représentative les grandes entités hydrogéologiques présentes en Bourgogne (par ordre d'importance) :

- les calcaires du jurassique inférieur et supérieur de la série Dijonnaise ;
- les sables et la craie du Crétacé ;
- socle granitique et métamorphique du Morvan ;
- les sédiments du tertiaire et du quaternaire ;
- les grès triasiques.

Au-delà de cette représentativité hydrogéologique, des enjeux ont été ciblés par les différents partenaires approchés pour cette étude. Le choix des stations s'est donc fait en prenant compte des enjeux cités par les partenaires, de la qualité des données de débit (influence, durée des chroniques) tout en gardant une certaine représentativité hydrogéologique et de manière équitable entre les agences de l'eau. Des bassins versants « suppléants » ont également été identifiés (annexe 1). Ils seront utilisés dans le cas de difficultés rencontrées lors de la modélisation du pool 1. Cependant les bassins versants du pool 2 ne seront pas traités dans ce mémoire, seul le pool 1 a été étudié (voir récapitulatif en annexe 2).

Tableau 1 : Bassins versants sélectionnés pour le pool 1

Pool 1 (prioritaire)	Enjeux	Contexte hydrogéologiques
L'Ource à Leuglay	Référence karstique non influencée	calcaire jurassique, karstifié
L'Armançon à Briennon sur Armançon	Approvisionnement en eau potable (AEP)	craie crétacé, calcaires jurassiques
L'Yonne à Corancy	AEP (Lac de Pannecière)	socle métamorphique et plutonique
Le Serein à Chablis	Enjeu quantitatif (EQ)	calcaire jurassique, karstifié
La Tille à Crecey (amont)	solidarité amont/aval + (EQ)	calcaires jurassiques
La Tille à Champdôtre (aval)	solidarité amont/aval + (EQ)	sédiments récents
La Tille à Arceau	solidarité amont/aval + (EQ)	calcaires jurassiques/sédiments récents
La Seille à Saint-Usuge	Petite hydroélectricité	sédiments récents
L'Arroux à Dracy-saint-loup	Problème amont/aval	socle métamorphique, grès triasiques et calcaires jurassiques
L'Arroux à Rigny sur Arroux	Problème amont/aval	socle métamorphique, grès triasiques et calcaires jurassiques
Le Nohain à Saint-Martin sur Nohain	Irrigation	calcaires jurassiques
La Nièvre d'Arzembouy à Poiseux	Petit bassin	calcaires jurassiques

Les contours des bassins versants ont été fournis par la DREAL. En effet, les chroniques de débits étant affranchies de leur surface pour obtenir des débits spécifiques (en l/s/km²), il est nécessaire d'avoir des données homogènes en termes de surface. La cartographie du pool 1 est présentée dans la figure 1 ci-dessous. Il est à noter que trois bassins se superposent pour la Tille et deux pour l'Arroux, de plus les limites de plusieurs bassins versants dépassent la Bourgogne (voir carte, fig.1).

Les 12 bassins versants sélectionnés

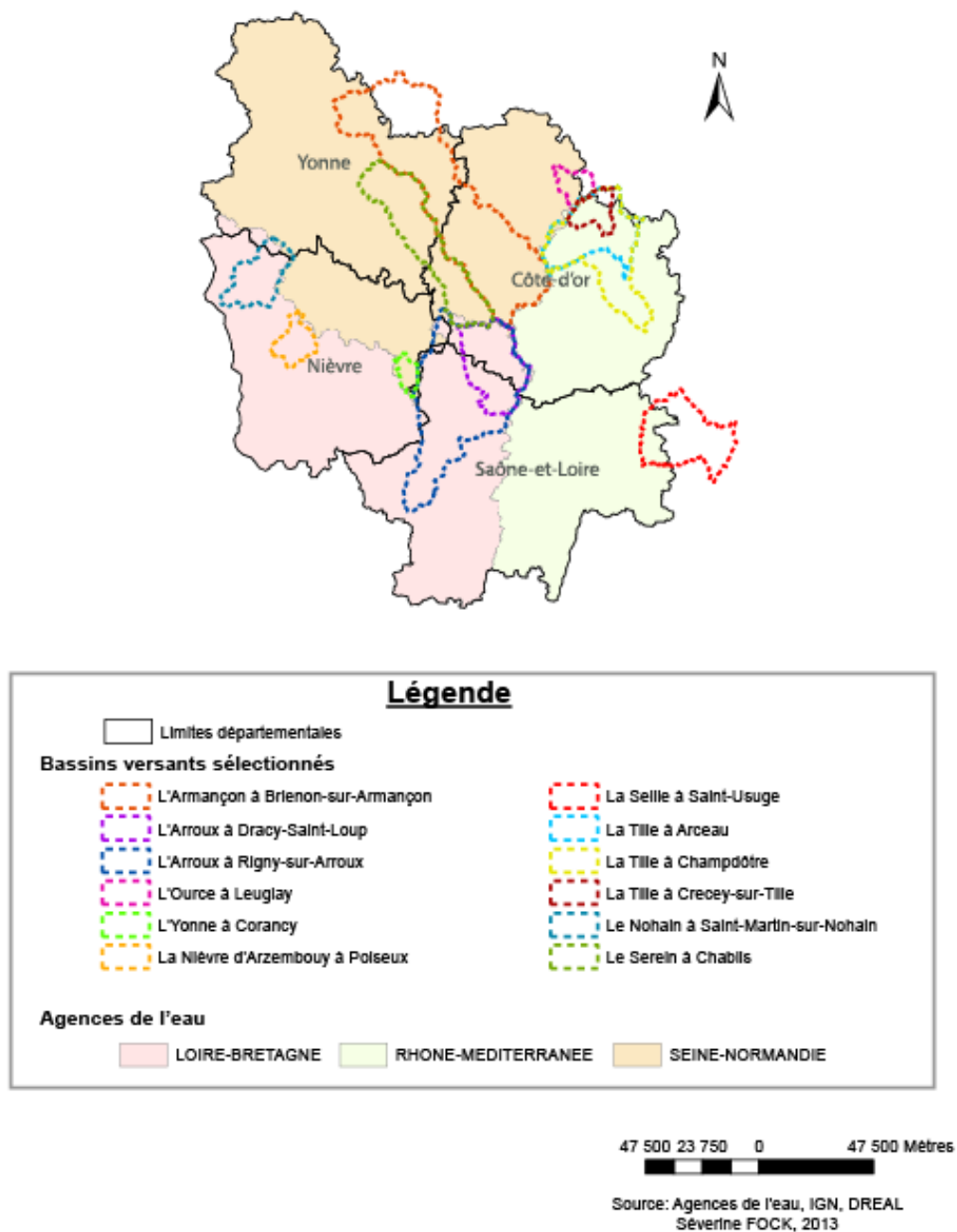


Figure 1 : Carte des bassins versants sélectionnés (pool 1)

II. Les critères descriptifs des bassins versants

La première étape consiste en l'identification d'un ensemble de critères impliqués dans le choix des bassins versants, aussi bien en termes de fonctionnement que d'enjeux socio-économiques ou environnementaux.

1) Le choix des critères et la collecte des données

La mise à plat des critères à analyser a été faite en concertation avec Hélène Toussaint, d'ALTERRE Bourgogne. Cette première réflexion a porté sur les critères à traiter. Pour la majorité des bassins versants, on pointe des enjeux de tête de bassin comme par exemple les zones humides, les intérêts écologiques, la continuité morphologique, les risques d'inondation, etc. De plus on distingue les critères physiques /de fonctionnement des critères d'enjeux socio-économiques et environnementaux. S'en est suivi une recherche de données, de préférence sous la forme de « fichier de formes », elles sont ainsi utilisables avec un logiciel SIG et permettent de consulter les données brutes mais aussi de les cartographier. Après la collecte et le tri des données obtenues, les critères analysés sont présentés dans les tableaux 2 et 3 ci-dessous. Des données supplémentaires (tableau 4) sont également nécessaires pour traiter les critères sélectionnés.

Tableau 2 : Critères physiques et de fonctionnement

Critère	Source	Bases de données	Accessibilité
Hydrogéologie	BRGM	BD LISA (niveau 3)	Accès limité (données fournies par P. Amiotte-Suchet)
Occupation du sol	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE)	BD Corine Land Cover (niveau 3)	Forte
Forêts	IGN-IFN	Inventaire forestier	Accès limité (fourni)
Masses d'eau souterraines	BRGM, SANDRE	Référentiel des masses d'eau souterraines	Moyenne
Obstacles	ONEMA, ADéLie	Référentiel des obstacles à l'écoulement	Forte (sur ADéLie)
Nœuds hydrographiques	IGN, SANDRE	BD Carthage	Données fournies par P. Amiotte-Suchet

Tableau 3 : Critères d'enjeux socio-économiques et environnementaux

Critère	Source	Bases de données	Accessibilité
Inondations/PPRI	MEDDE	Cartorisque	Forte
Irrigation	Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt	Agreste – recensement agricole 2010	Faible (seulement une carte)
Sites Natura 2000	DREAL, ADéLie	Inventaire des Sites d'Importance Communautaire et des Zones de Protection Spéciales	Forte
Stations de surveillance DCE	DREAL, ADéLie	BD Carthage	Forte
Stations de contrôle qualité DCE des eaux souterraines	DREAL, ADéLie	BD Carthage	Forte
SAGE	DREAL, ADéLie	Inventaire des SAGE	Forte
Zones humides	DREAL, ADéLie	Inventaire des zones humides	Forte
ZICO	DREAL, ADéLie	Inventaire ZICO	Forte
ZNIEFF (type 1 et 2)	DREAL, ADéLie	Inventaire ZNIEFF	Forte

Tableau 4 : Données supplémentaires

Critère	Source	Bases de données	Accessibilité
Limites des bassins versants	DREAL		Données fournies par P. Amiotte-Suchet (proviennent de la DREAL)
Limites région	IGN	GEOFLA	Forte
MNT Bourgogne (relief)	IGN	BD ALTI 25m	Données fournies par P. Amiotte-Suchet

2) Présentation des critères retenus

Après avoir exposé les critères étudiés, il convient de les présenter de manière plus détaillée et d'explicitier leurs intérêts. Les critères physiques et de fonctionnement sont expliqués dans un premier temps.

L'hydrogéologie :

Pour ce travail, la base de données LISA a été utilisée pour décrire les différentes entités hydrogéologiques (entités aquifères mais aussi entités non ou peu aquifères) représentant le territoire de la Bourgogne. Il y a trois niveaux d'identification des entités hydrogéologiques dans ce référentiel qui correspondent à des échelles d'utilisation et de représentation de l'information (BRGM, 2009):

- Le niveau national (NV1) fournit une représentation nationale des grands ensembles hydrogéologiques dont il montre la distribution spatiale et l'importance en tant que ressource quantitative. C'est le support d'études d'orientation à l'échelle nationale ;

- Le niveau régional (NV2) fournit une représentation régionale ou par bassin des entités hydrogéologiques (échelle de visualisation de l'ordre du 1/250 000). Il permet de caractériser les systèmes aquifères au regard de leur importance en tant que ressource régionale, de leur vulnérabilité (à la sécheresse, aux pollutions).

- Le niveau local (NV3) correspond à la représentation la plus détaillée du référentiel, à une échelle de l'ordre du 1/50 000. Il identifie l'ensemble des entités connues, en s'appuyant sur les deux niveaux précédents et en les complétant, dans certaines zones, par l'identification des unités aquifères locales. Il constitue le support d'études ponctuelles permettant d'améliorer les connaissances hydrogéologiques (carte piézométrique, carte de vulnérabilité, modélisation,...).

C'est le niveau local qui a été sélectionné pour le traitement de données, de plus l'étude s'est limitée à l'ordre 3 de superposition (les couches inférieures n'ont pas été prises, car leurs superficies étaient réduites).

L'occupation du sol :

L'occupation du sol est un déterminant important des pressions exercées sur l'environnement, et en particulier sur l'eau (EAUFRANCE, 2013b). L'outil Corine Land Cover (CLC) a été utilisé. C'est un inventaire biophysique de l'occupation du sol à partir d'images satellites. La nomenclature de CORINE Land Cover est une nomenclature hiérarchisée en 3 niveaux. Elle permet de couvrir l'ensemble du territoire. Elle comprend 5 postes au niveau 1, 15 au niveau 2 et 44 au niveau 3. Le premier niveau (5 postes) correspond aux grandes catégories d'occupation du sol repérables à l'échelle de la planète, le second niveau (15 postes) est utilisable pour les échelles de 1/500 000 et 1/1 000 000 et le troisième niveau (44 postes) est utilisé au 1/100 000 (CGDD, SOeS, 2009). C'est le troisième niveau, le plus détaillé, qui a été utilisé.

Les forêts :

Le type de forêt influe sur le régime hydrologique des bassins versants. De plus il peut y avoir parfois d'autres enjeux, c'est le cas du douglas en Bourgogne qui présente un intérêt économique (DRYADE 2008), ou encore de l'hêtre qui est un indicateur naturel car il est sensible au stress hydrique (DRYADE, 2009). Pour cela les données de l'inventaire forestier de l'IGN ont été utilisées. Elles permettent de connaître l'état, l'évolution dans le temps et les potentialités de la forêt française.

Les masses d'eau souterraines :

La Directive Cadre introduit la notion de « masses d'eaux souterraines » qu'elle définit comme « un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères ». Un aquifère représentant « une ou plusieurs couches souterraines de roches ou d'autres couches géologiques d'une porosité et d'une perméabilité suffisantes pour permettre soit un courant significatif d'eau souterraine, soit le captage de quantités importantes d'eau

souterraine » (Agence de l'eau Seine Normandie, 2013). Le référentiel des masses d'eau souterraine est organisé en trois dimensions. Les deux premières décrivent l'extension horizontale des masses d'eau souterraine. La troisième décrit l'ordre de superposition des masses d'eau souterraine. Cette indication ne peut pas être liée à un référentiel altimétrique. La transcription de cet ordre de superposition est codée sous forme d'un ordre qui varie, en l'état actuel du référentiel, de 1 (première masse d'eau rencontrée depuis la surface des terrains naturels), à 10 (masse d'eau maximale rencontrée) (BRGM, 2004).

Les obstacles :

Un obstacle à l'écoulement est un ouvrage lié à l'eau qui est à l'origine d'une modification de l'écoulement des eaux de surface (dans les talwegs, lits mineurs et majeurs de cours d'eau et zones de submersion marine). Dans le référentiel utilisé, seuls les obstacles artificiels (provenant de l'activité humaine) sont pris en compte (ADéLie, 2011a). Dans ce travail, les obstacles posent problème car ils perturbent l'écoulement de l'eau et donc les modélisations. Il est intéressant de se rendre compte de leur nombre et donc de leur impact sur les bassins versants.

Les nœuds hydrographiques :

Un nœud hydrographique correspond à une modification de l'écoulement de l'eau. Il est toujours localisé à l'extrémité d'un tronçon hydrographique élémentaire (Géocatalogue, 2012). Ces données sont contenues dans la base de données CARTHAGE qui constitue un référentiel hydrographique.

Des critères d'enjeux socio-économiques et relatifs à l'environnement sont également étudiés dans le choix des bassins versants. Ceux-ci ont de l'importance, notamment pour les acteurs du territoire.

Les inondations/Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) :

L'inondation est une submersion (rapide ou lente) d'une zone pouvant être habitée, elle correspond au débordement des eaux lors d'une crue. Une inondation peut être due à des précipitations importantes, à la fonte des neiges, à la remontée d'une nappe phréatique, au ruissellement de la pluie sur des surfaces peu perméables, à la marée (dans les estuaires) ou à la rupture d'un ouvrage. Les inondations constituent un risque majeur sur le territoire national, mais également en Europe et dans le monde entier (environ 20.000 morts par an). En raison de pressions économiques, sociales, foncières ou encore politiques, les cours d'eau ont souvent été aménagés, couverts, déviés, augmentant ainsi la vulnérabilité des hommes et des biens. Pour remédier à cette situation, la prévention reste l'outil essentiel, notamment à travers la maîtrise de l'urbanisation en zone inondable (DREAL, 2013). Pour cela il existe le Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) qui est un document qui régit l'urbanisation dans les zones soumises aux risques d'inondation (Services de l'Etat, 2013). Les données d'inondation et de PPRI sont disponibles sur Cartorisque. C'est la publication sur l'internet de l'ensemble des cartes des risques naturels et technologiques majeurs.

L'irrigation :

L'irrigation est « *l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides* » (Techno-Science.net, 2013). Cette opération risque d'être impactée par un changement climatique, c'est pourquoi ce critère est étudié. Pour cela, les données Agreste (recensement agricole de 2010) ont été utilisées.

Les sites Natura 2000 :

En 1992, au « sommet de la Terre » de Rio de Janeiro, en réponse aux inquiétudes croissantes concernant la diminution de notre patrimoine naturel, l'Union européenne s'est engagée à enrayer la perte de la biodiversité sur ses territoires en créant un réseau de sites écologiques nommé Natura 2000. Avec près de 25 000 sites terrestres et marins, il s'agit du plus vaste maillage de sites protégés au monde (MEDDE, 2011b). Ce réseau mis en place en application de la Directive "Oiseaux" de 1979 et de la Directive "Habitats" de 1992 vise à assurer la survie à long terme des espèces et des habitats particulièrement menacés, à forts enjeux de conservation en Europe. Il est constitué d'un ensemble de sites naturels, terrestres et marins, identifiés pour la rareté ou la fragilité des espèces de la flore et de la faune sauvage et des milieux naturels qu'ils abritent. Le réseau européen Natura 2000 comprend deux types de sites :

- Des Zones de Protection Spéciales (ZPS), visant la conservation des espèces d'oiseaux sauvages figurant à l'annexe I de la Directive "Oiseaux" ou qui servent d'aires de reproduction, de mue, d'hivernage ou de zones de relais à des oiseaux migrateurs
- Des Zones Spéciales de Conservation (ZSC), futurs Sites d'Importance Communautaire (SIC), visant la conservation des types d'habitats et des espèces animales et végétales figurant aux annexes I et II de la Directive "Habitats".

Les réseaux de surveillance DCE :

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) requiert, dans son article 8, la mise en œuvre de programmes de surveillance pour suivre au sein de chaque district hydrographique (MEDDE, 2011a):

- L'état, ou le potentiel, écologique et l'état chimique des eaux superficielles ;
- L'état chimique et quantitatif des eaux souterraines

Les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) :

Les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) fixent, dans un groupement de sous-bassins ou un sous-bassin correspondant à une unité hydrographique ou à un système aquifère, les objectifs généraux d'une gestion équilibrée de l'eau afin de satisfaire aux principes énumérés à l'article 1 de la loi sur l'eau n°92-3 du 3 janvier 1992. Les SAGE fixent notamment, dans le respect des orientations retenues dans le schéma directeur (SDAGE) correspondant, les objectifs de protection des écosystèmes aquatiques et des ressources en eau, d'utilisation et de mise en valeur de ces ressources et de préservation des zones humides,

pour l'ensemble des ressources situées dans leurs périmètres respectifs et la totalité des usages qui y sont exercés, de manière à satisfaire les besoins présents et futurs (ADéLie, 2011b).

Les Zones humides :

Selon le code de l'environnement, les zones humides sont des « terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année». Leur inventaire (non exhaustif) constitue un outil d'alerte en faveur du maintien de ces zones particulièrement fragiles (EauFrance, 2013a).

Les Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (ZICO):

Une ZICO est une zone terrestre, fluviale ou marine, qui héberge des effectifs d'oiseaux sauvages d'importance internationale ou européenne (DREAL, 2010).

Les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique de type 1 et 2 (ZNIEFF):

Lancé en 1982, l'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF) a pour objectif d'identifier et de décrire des secteurs présentant de fortes capacités biologiques et un bon état de conservation (INPN, 2013). On distingue 2 types de ZNIEFF :

- les ZNIEFF de type I : secteurs de grand intérêt biologique ou écologique
- les ZNIEFF de type II : grands ensembles naturels riches et peu modifiés, offrant des potentialités biologiques importantes.

3) Quelques critiques sur les données

Des limites sont apparues lors de la recherche de données :

- Dans la collecte et la disponibilité des données ;
- Dans la finesse de renseignement ;
- Dans la fiabilité des données.

La qualité des données est mise en doute, celles-ci sont parfois hétérogènes car elles sont renseignées par des personnes différentes, qui ne le font pas de la même façon (exemple : inondations, obstacles). Certaines données ont nécessité une conversion (avec l'exécutable ogr2gui) car elles n'étaient pas compatibles avec le logiciel de SIG (ArcMap pour ce travail), c'est le cas des inondations et des masses d'eau souterraines. Des problèmes de projections ont également été rencontrés. Pour les données d'irrigation, seule une carte était disponible, ce qui a nécessité de rentrer manuellement les données pour chaque canton. De plus le degré de précision est faible car les données sont présentées sous la forme d'intervalles de pourcentages et au niveau cantonal. Pour l'instant, seule une mise à plat de plusieurs critères a été faite, il n'y a aucune hiérarchie d'établie car tous les critères sont traités, mais celle-ci peut être variable en fonction des situations et des besoins. En raison du nombre élevé de critères étudiés et pour éviter un travail trop descriptif, seuls deux critères seront présentés dans la suite de l'étude pour illustrer les résultats : l'occupation du sol et les obstacles à l'écoulement.

III. Les spécificités des bassins versants

A. Les caractéristiques des bassins versants

La première étape du travail est principalement descriptive avec la présentation des critères pour chaque bassin versant. Cela permet d'observer facilement les similitudes et les différences entre les bassins versants.

1) Méthodologie

Les tableaux de données de ce mémoire (en annexe 9 et 10) ont été produits à l'aide du logiciel ArcGIS (application ArcMap) à partir des données collectées. La base de données Corine Land Cover (nationale) a été découpée avec les limites des bassins versants grâce à l'outil « intersecter ». Ensuite l'outil « fusionner » a été utilisé pour regrouper les zones ayant le même libellé, puis la table de nomenclature a été jointe. Pour finir, les aires de chaque type d'occupation du sol pour chaque bassin versant ont été calculées. Toutes ces actions ont permis d'obtenir un tableau final présentant l'occupation du sol pour chaque bassin versant, avec les surfaces de chaque type d'occupation. Pour le référentiel des obstacles à l'écoulement, le même travail a été réalisé. En revanche, seules les données en Bourgogne étaient disponibles, les parties de bassins versants dépassant les limites de région ne sont donc pas renseignées. De plus, cette données étant ponctuelle, le tableau présente un nombre d'obstacle et non pas des surfaces comme c'est le cas pour l'occupation du sol. Après le travail sous ArcMap, les données de la table attributaire ont été ensuite exportées et traitées sous Excel.

2) Présentation des résultats

Pour chacun des douze bassins versants, les types d'occupation du sol sont représentés sur des diagrammes circulaires (figures 2 et 3). Les types d'occupation du sol faiblement présents ont été regroupés :

- Activités humaines : chantiers, espaces verts urbains, tissu urbain continu, aéroports, réseaux routier et ferroviaire et espaces associés, équipements sportifs et de loisirs, extraction de matériaux, zones industrielles et commerciales ;
- Espaces naturels : marais intérieurs, pelouses et pâturages naturels, landes et broussailles, plans d'eau

L'occupation du sol est très variable d'un bassin à l'autre (figure 2 et 3). Les forêts de feuillus représentent une part importante pour chaque bassin versant, viennent ensuite les terres arables hors périmètres d'irrigation et les prairies. Cette information donne déjà une idée sur les activités qu'il peut y avoir sur un bassin versant, notamment pour l'agriculture. Par exemple le Nohain qui est recouvert à 62% de terres arables hors périmètre d'irrigation se distingue du bassin versant de l'Yonne essentiellement composé de prairies ainsi que de forêts de feuillus et de conifères (environ 80%). Ces deux bassins versants n'ont donc pas les mêmes enjeux ni les mêmes fonctionnements.

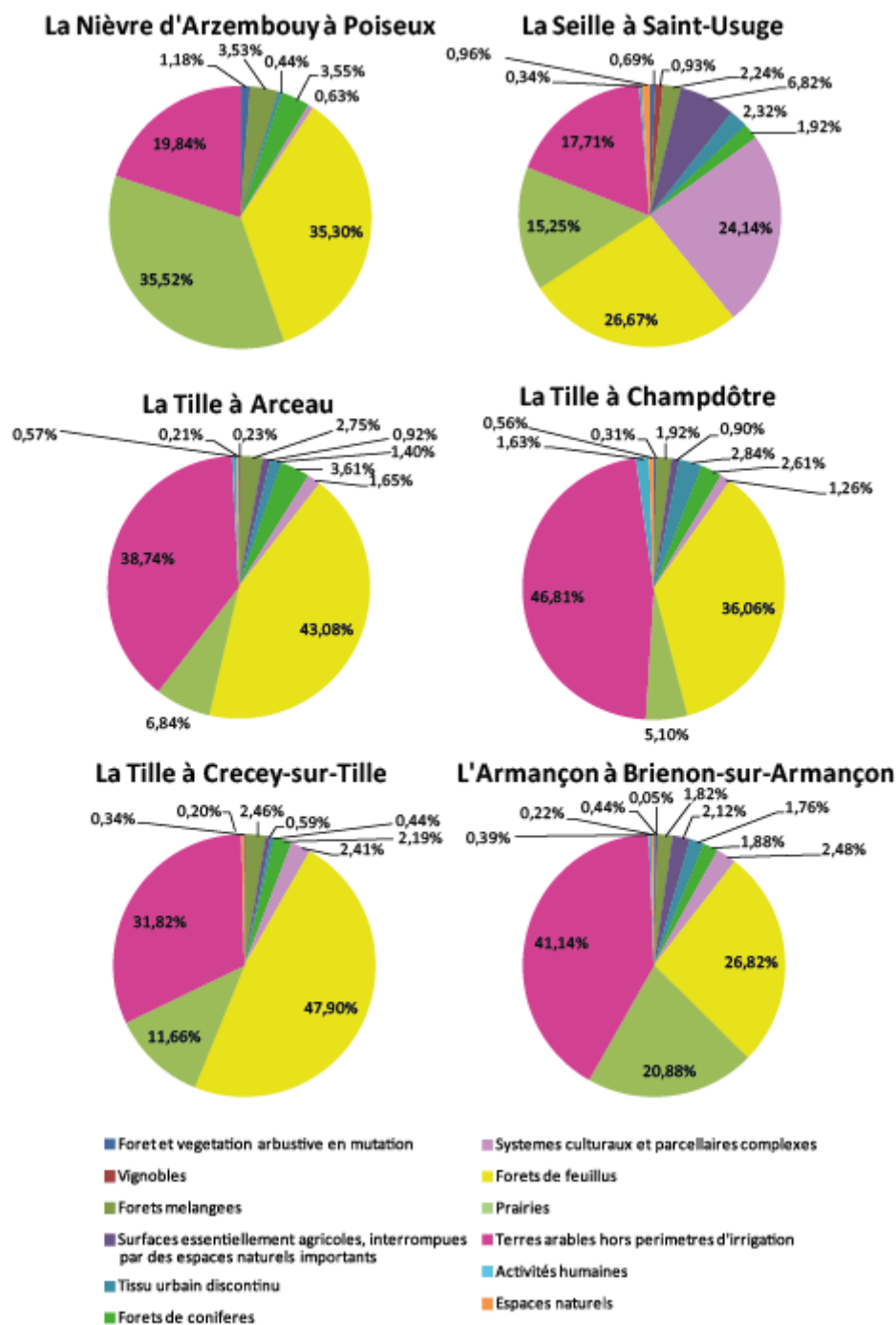


Figure 2 : L'occupation du sol pour les 12 bassins versants (1)

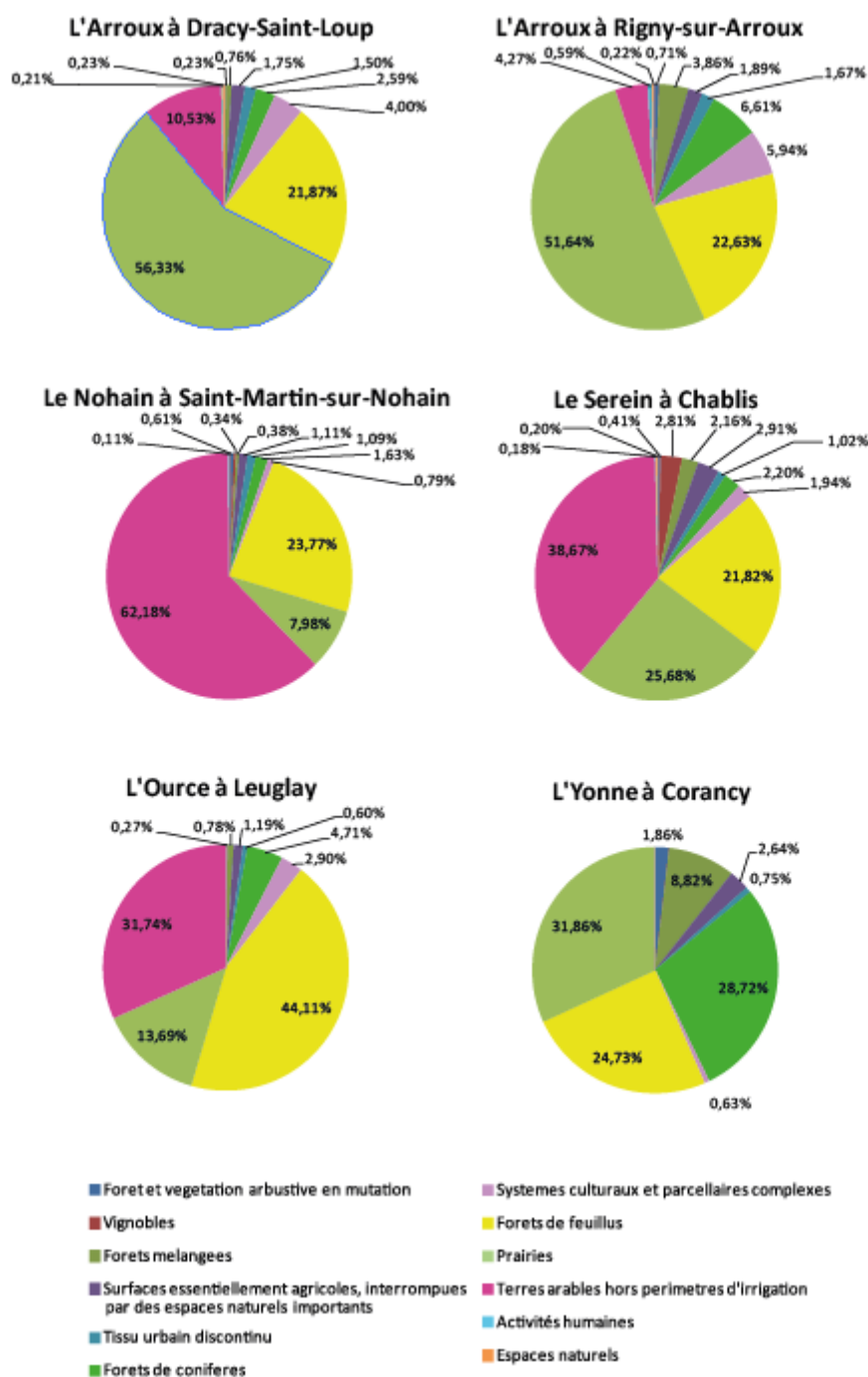
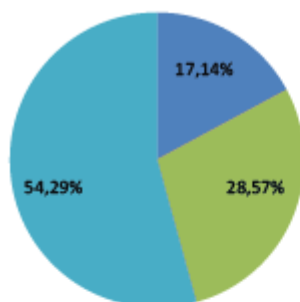


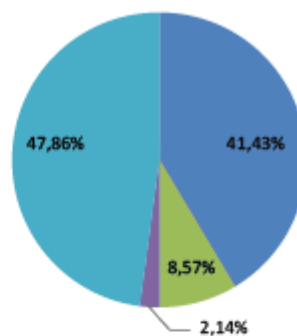
Figure 3 : L'occupation du sol pour les 12 bassins versants (2)

Les obstacles à l'écoulement sont présentés en figures 4 et 5. Pour la plupart des bassins versants, ce sont les seuils en rivière qui sont majoritaires, sauf pour quelques exceptions comme l'Ource à Leuglay qui est perturbé à 37% par des obstacles induits par un pont. Ces obstacles perturbent l'écoulement de l'eau et cela peut compliquer les modélisations, d'autant plus que chaque type d'obstacle modifie l'écoulement de manière spécifique.

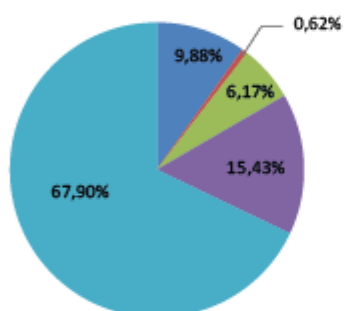
La Nièvre d'Arzembouy à Poiseux



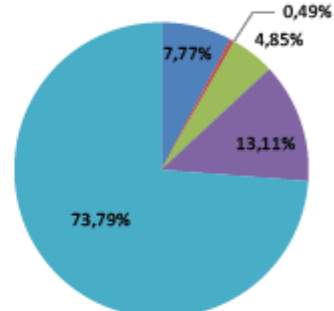
La Seille à Saint-Usuge



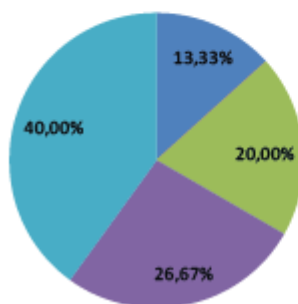
La Tille à Arceau



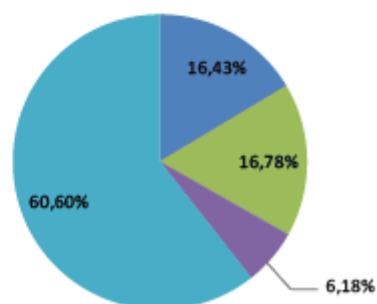
La Tille à Champdôtre



La Tille à Crecey-sur-Tille



L'Armançon à Brienon-sur-Armançon



■ Barrage ■ Digues ■ NR ■ Obstacle induit par un pont ■ Seuil en rivière

Figure 4 : Les obstacles à l'écoulement pour les 12 bassins versants (1)

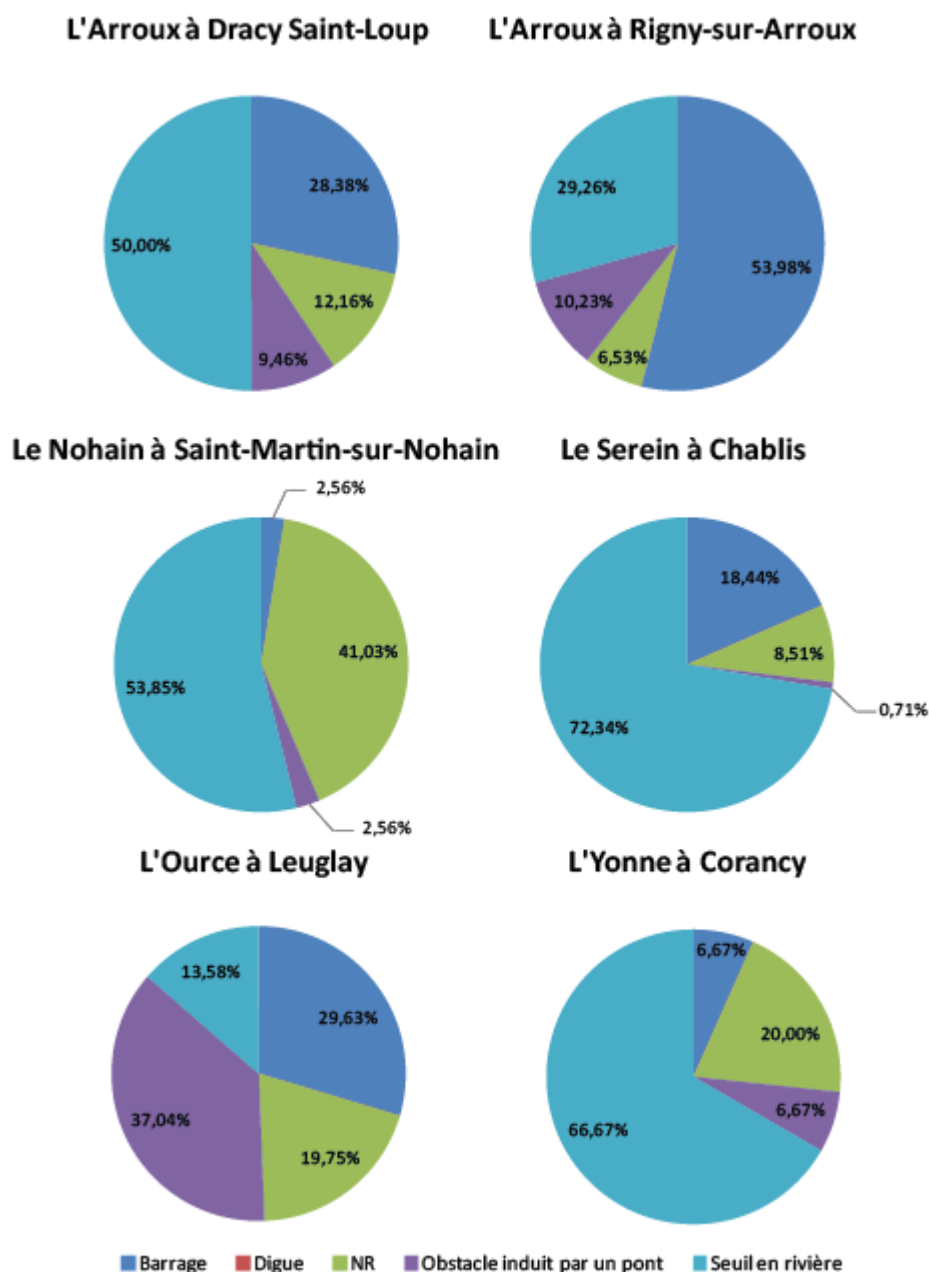


Figure 5 : Les obstacles à l'écoulement pour les 12 bassins versants (2)

3) Critique des résultats

Pour certains critères, dont les obstacles à l'écoulement, seules les données régionales étaient disponibles. Il y a donc des données manquantes pour les parties de bassins versants qui dépassent les limites de la Bourgogne, ce qui implique que certaines valeurs sont sous-estimées car elles ne concernent que la partie bourguignonne. Il serait intéressant également de voir dans quelle mesure chaque type d'obstacle modifie l'écoulement de l'eau afin de savoir si leur impacts sont importants sur le fonctionnement des bassins versants.

B. Les fiches descriptives

La seconde partie du travail est de permettre aux bassins versants, qui n'ont pas bénéficié de modélisation, de se comparer à ceux qui en ont bénéficié pour comprendre les effets du changement climatique sur leur territoire. C'est dans ce but que des fiches descriptives ont été réalisées pour chaque bassin versant, elles présentent un grand nombre de caractéristiques permettant la comparaison entre bassins versants.

1) Méthodologie

Plantier M. (2003) a décrit les principaux indicateurs descriptifs d'un bassin versant. Dans ce présent mémoire, il a été décidé d'employer des critères simples et compréhensibles pour que la lecture de ces fiches ne nécessite pas une connaissance approfondie du sujet. Après réflexion, les critères présentés permettront :

- Une analyse physique : taille, dimensions, localisation hydrogéologique, type de nappe, etc ;
- Une analyse du fonctionnement : ramification des cours d'eau, indicateurs de fonctionnement, etc ;
- Une analyse des enjeux : occupation majoritaire du sol, potentiel d'irrigation, enjeux réglementaires (ZRE, DCE, ZSCE), continuité morphologique/écologique (ouvrages), zones humides, inondation/PPRI, etc.

Pour ces critères, soit les données sont tirées de l'exploitation des données (par exemple : l'occupation des sols, les masses d'eau souterraines), soit il est nécessaire d'effectuer un traitement sous logiciel SIG (arcGIS ou autre). C'est le cas de la mesure des altitudes minimales, maximales et moyennes où le logiciel gvSIG a été employé (voir annexe 4). Celui-ci est bien adapté à la gestion en mode raster et a été utilisé pour traiter le Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la Bourgogne. L'estimation des altitudes a été faite de la manière suivante :

- Tools ;
- Geoprocessing ;
- Toolbox ;
- Outils pour couche de polygone ;
- Statistiques de cellules par polygone d'appartenance.

La méthode suivie pour mesurer les ordres de Strahler (pour la ramification des cours d'eau) est celle expliquée par Plantier (2003). En ce qui concerne les cases « commentaires » pour les fiches, les informations proviennent du compte-rendu d'ALTERRE (2013b) sur le choix des bassins versants.

2) Présentation des fiches descriptives réalisées

Au préalable une fiche modèle a été réalisée afin de servir de base (voir annexe 7). Ce modèle pourra être modifié par la suite, il pourrait par exemple être présenté sur deux pages avec la présentation du bassin versant et son fonctionnement au recto et les enjeux au verso. Les cases commentaire peuvent également être plus grandes, cela permettrait de renseigner plus d'informations dans ces fiches. Par la suite, il a été décidé de présenter deux exemples de fiches qui s'appuient sur ce modèle : la Seille à Saint-Usuge (figure 6) et le Serein à Chablis (figure 7). Il a été fait le choix de présenter le cas problématique de la Seille à Saint-Usuge qui a une partie importante de sa surface en-dehors de la Bourgogne. Ces exemples ont pour but d'appliquer le modèle et d'obtenir un aperçu. Cependant toutes les données ne sont pas disponibles. Les fiches seront donc complétées à la suite de ce mémoire dans le cadre d'HYCCARE. Certaines données utilisées pour compléter ces fiches sont présentées en annexe (3, 4, 5, 6, 9, 10).

	La Seille à Saint-Usuge	
	Département	Agence de l'eau
	Saône-et-Loire (+ en Franche-Comté)	Rhône-Méditerranée-Corse
	Surface (en km²)	Longueur du cours d'eau (en km²)
	884,86	(à renseigner)

FONCTIONNEMENT		
Hydrogéologie	Ordre 1	61,5% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Formations argilo-marneuses du Plio-pléistocène du fossé bressan et du Val de Saône + 37,5% NV3 absent, NV2 absent, nom de l'entité NV1 : Formations secondaires et tertiaires du Jura
	Ordre 2	26,6% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Formations molassiques de la Dombes et de la Bresse + 26% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Cailloutis de la forêt de Chaux du Pliocène moyen au sud de la Loue
	Ordre 3	17% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Formations molassiques de la Dombes et de la Bresse + 17% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Marnes et calcaires lacustres de l'Oligocène et de l'Eocène du fossé bressan + 11,8% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Formations calcaires jurassiques sous couverture du fossé bressan
Type de nappe (niveau 1)	58,6% Domaine marneux de la Bresse + 20,5% Calcaires jurassiques chaîne du Jura 1er plateau	
Altitude (en mètres)	Altitude moyenne	(hors raster)
	Altitude minimale	(hors raster)
	Altitude maximale	(hors raster)
Forme	Longueur maximale (en m)	38445
	Largeur maximale (en m)	13889
	Commentaires	Forme arrondie
Arborescence du réseau hydrographique	Ordre de Strahler (maximal du réseau):3	
Commentaires	Enjeux quantitatifs: relation avec le canal (pas de réservoir) qui a dû être interdit à la navigation en 2003. Une étude de volumes prélevables est en cours sur la nappe de Bletterans.	

ENJEUX	
Occupation majoritaire du sol	26,7% de forêts de feuillus, 24,1% de systèmes culturaux et parcellaires complexes, 17,7% de terres arables hors périmètres d'irrigation, 15,2% de prairies
Irrigation	(à renseigner)
Industries	(à renseigner)
Continuité écologique/morphologique	58 barrages, 12 Non renseignés, 3 obstacles induits par un pont, 67 seuils en rivière
Enjeux réglementaires	4,6% de zones humides
	Natura 2000: 10,9% Sites d'Importance Communautaire + 11,5% Zones de Protection Spéciale
	ZNIEFF: 5,4% de type 1 + 32,7% de type 2
Commentaires	Enjeux de milieu naturel aquatique zone inondable, réhabilitation de la zone humide annexe de la Seille (rive droite) en aval du Moulin de Romain à Saint-Usuge.

Figure 6 : Fiche descriptive de la Seille à Saint-Usuge

	Le Serein à Chablis	
	Département	Agence de l'eau
	Yonne/ Côte-d'or	Seine-Normandie
	Surface (en km²)	Longueur du cours d'eau (en km)
	1116,896	(à renseigner)

FONCTIONNEMENT		
Hydrogéologie	Ordre 1	28,6% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Calcaires de l'Oxfordien supérieur au Kimméridgien dans les bassins Seine-Normandie et Artois-Picardie + 20,6% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Socle du Morvan dans le bassin versant de l'Yonne de sa source au confluent de la Seine
	Ordre 2	28,6% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Marnes du Callovo-Oxfordien du Bassin Parisien + 18,9% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Grès rhétiens (Trias supérieur) du Bassin Parisien dans les bassins Seine-Normandie (majoritairement) et Artois-Picardie
	Ordre 3	28,6% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Calcaires du Bathonien-Callovien inférieur (Dogger) du Bassin Parisien à l'est du sillon marneux du Bathonien-Callovien + 9,7% NV3 absent, nom de l'entité NV2 : Calcaires de l'Aalénien-Bajocien du Bassin Parisien
Type de nappe (niveau 1)	46,7% Calcaires kimmeridgien-oxfordien karstique entre Yonne et Seine + 28,4% Socle du Morvan + 23,2% Marnes et calcaires de la bordure lias trias de l'est du Morvan	
Altitude (en mètres)	Altitude moyenne	310
	Altitude minimale	129
	Altitude maximale	596
Forme	Longueur maximale (en m)	83365
	Largeur maximale (en m)	8023
	Commentaires	Forme allongée
Arborescence du réseau hydrographique	Ordre de Strahler (maximal du réseau): 4	
Commentaires	Enjeu quantitatif en termes de débit (étiages sévères), Il a pour particularité d'avoir des pertes.	

ENJEUX	
Occupation majoritaire du sol	38,7% de terres arables hors périmètres d'irrigation, 25,7% de prairies, 21,8% de forêts de feuillus
Irrigation	(à renseigner)
Industries	(à renseigner)
Continuité écologique/morphologique	26 barrages, 12 Non renseignés, 1 obstacle induit par un pont, 102 seuils en rivière
Enjeux réglementaires	3,8% de zones humides
	Natura 2000: 2,3% de Sites d'Importance Communautaire
	ZNIEFF: 1,1% de type 1 + 13% de type 2
Commentaires	Pas d'enjeux industriels ou d'Alimentation en Eau Potable forts actuellement.

Figure 7 : Fiche descriptive du Serein à Chablis

Ces deux fiches permettent de comparer facilement les bassins versants entre eux. Tout d'abord en termes de forme : le bassin versant de la Seille présente une forme arrondie tandis que celui du Serein est plus allongé. Ensuite les données chiffrées permettent de se rendre compte des différences de fonctionnement entre les deux. En outre, les enjeux socio-économiques et environnementaux ne sont pas les mêmes. Ainsi pour un bassin versant qui n'aura pas été choisi pour les simulations, il sera aisé de fabriquer une fiche de ce type, en reprenant les mêmes critères et les mêmes bases de données. De cette façon, ce bassin versant pourra être comparé aux 12 bassins simulés via les fiches qui leur sont associées. Il sera par exemple possible de repérer celui qui correspond le plus à sa situation pour en utiliser les résultats et en tirer des enseignements.

3) Critiques

Les données ne sont pas toujours disponibles pour la partie du bassin versant de la Seille qui est en-dehors de la Bourgogne. La fiche descriptive ne peut être faite que sur la partie en Bourgogne et parfois sur la partie en Franche-Comté si les données ont pu être trouvées. Elle n'est donc pas fiable pour caractériser le fonctionnement et les enjeux de ce bassin versant. De plus certains critères n'ont pas pu être renseignés car les données n'étaient pas disponibles, comme par exemple les consommations des industries. Il faudrait s'adresser aux acteurs de territoires qui les possèdent. Les ordres de Strahler sont approximatifs car la cartographie des cours d'eau n'est pas de bonne qualité et les ramifications n'y figurent pas toutes (annexe 5 et 6). Ces exemples de fiches ne sont donc qu'une ébauche pour la réalisation future de fiches plus détaillées et plus complètes.

IV. La cartographie et la représentativité des bassins versants sur la Bourgogne

Après la mise à plat des critères et la description individuelle de chaque bassin versant, la suite du travail consiste à obtenir une vision synthétique des enjeux des principaux bassins versants sur la Bourgogne. Pour cela il a été effectué :

- une cartographie de l'ensemble des bassins versants selon des critères physiques (l'hydrogéologie, l'occupation des sols, etc), puis selon des critères d'enjeux (zonages réglementaires relatifs à l'environnement, types de pression d'usages telle que l'irrigation, etc) ;
- l'étude de la représentativité du pool des 12 bassins versants sélectionnés par rapport au territoire bourguignon.

A. La cartographie des bassins versants

1) Méthodologie

Les cartes ont été réalisées sous ArcGIS (application ArcMap) et mobilisent les données collectées auparavant. Pour chaque carte, la couche présentant les limites des bassins versants est superposée à la couche d'information du critère étudié. Une fois la carte réalisée sous ArcGIS, elle a été exportée puis mise en forme sous Illustrator.

2) Présentation des cartes

Pour la cartographie, les critères présentés sont l'occupation du sol (figure 8) et les obstacles à l'écoulement (figure 9). La représentation des bassins versants sous forme de cartes pour chaque critère permet d'illustrer les caractéristiques de chacun. Ces synthèses cartographiques sont à coupler avec les données par bassin versant afin de mieux se rendre compte de la répartition spatiale du critère et donner une information géographique supplémentaire. Pour l'occupation du sol, tous les bassins versants ne sont pas impactés de la même façon par l'agriculture, certains sont plus recouverts de forêts que de terres agricoles, et inversement. Cela donne déjà une indication quant à la différence de fonctionnement d'un bassin à l'autre. En ce qui concerne les obstacles à l'écoulement (fig. 9), qui sont de nature anthropique, il est remarqué que tous les bassins versants ne sont pas perturbés de la même manière par les activités humaines. C'est ce qui est observable pour le Serein et la Seille. Pour le Serein les obstacles suivent le cours d'eau principal alors que le bassin versant de la Seille est parsemé d'obstacles, ses ramifications sont donc également impactées. Les enjeux ne sont donc pas les mêmes pour ces deux bassins versants.

L'occupation du sol en Bourgogne

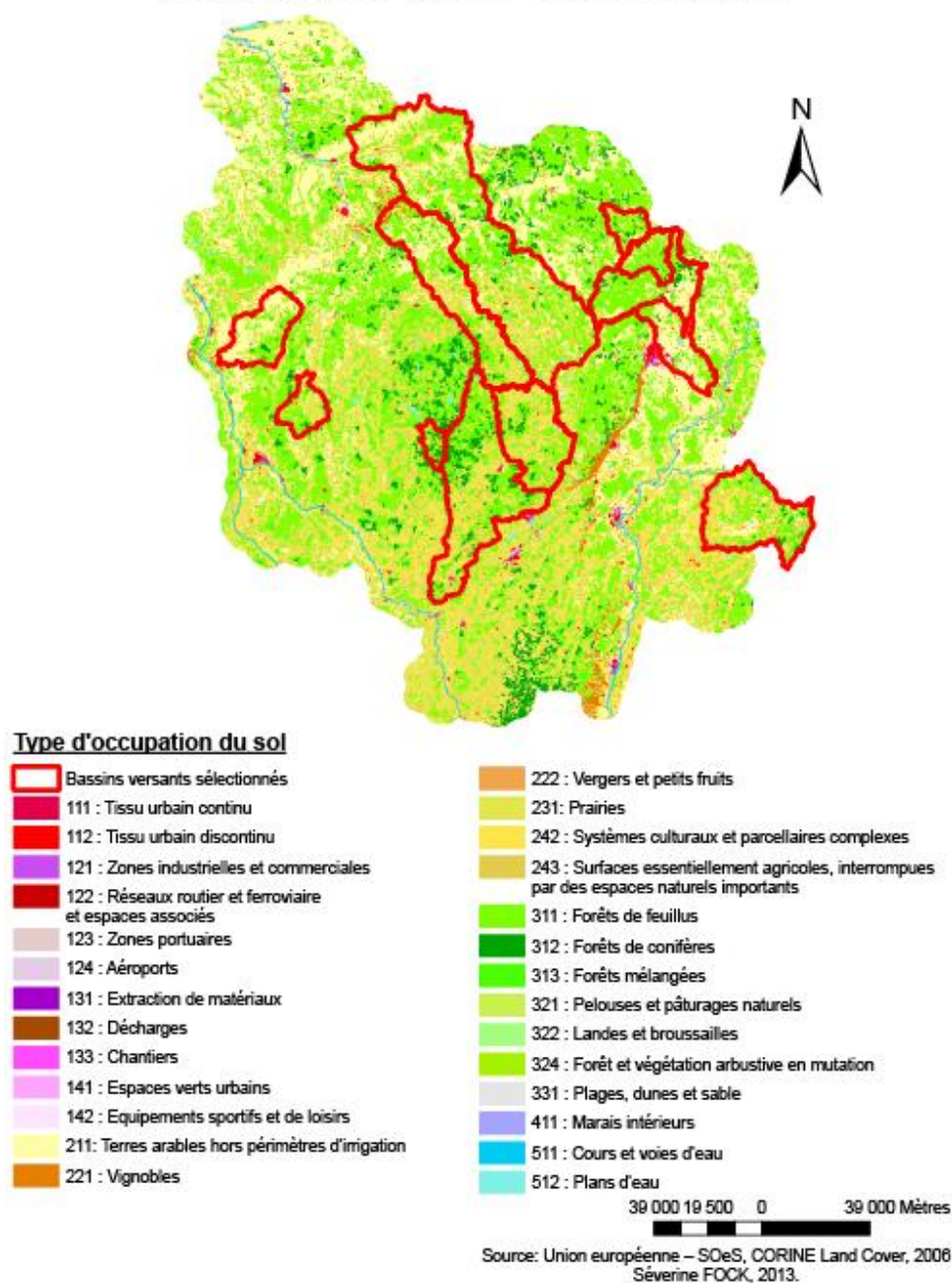


Figure 8 : Carte de l'occupation du sol en Bourgogne

Les obstacles à l'écoulement en Bourgogne

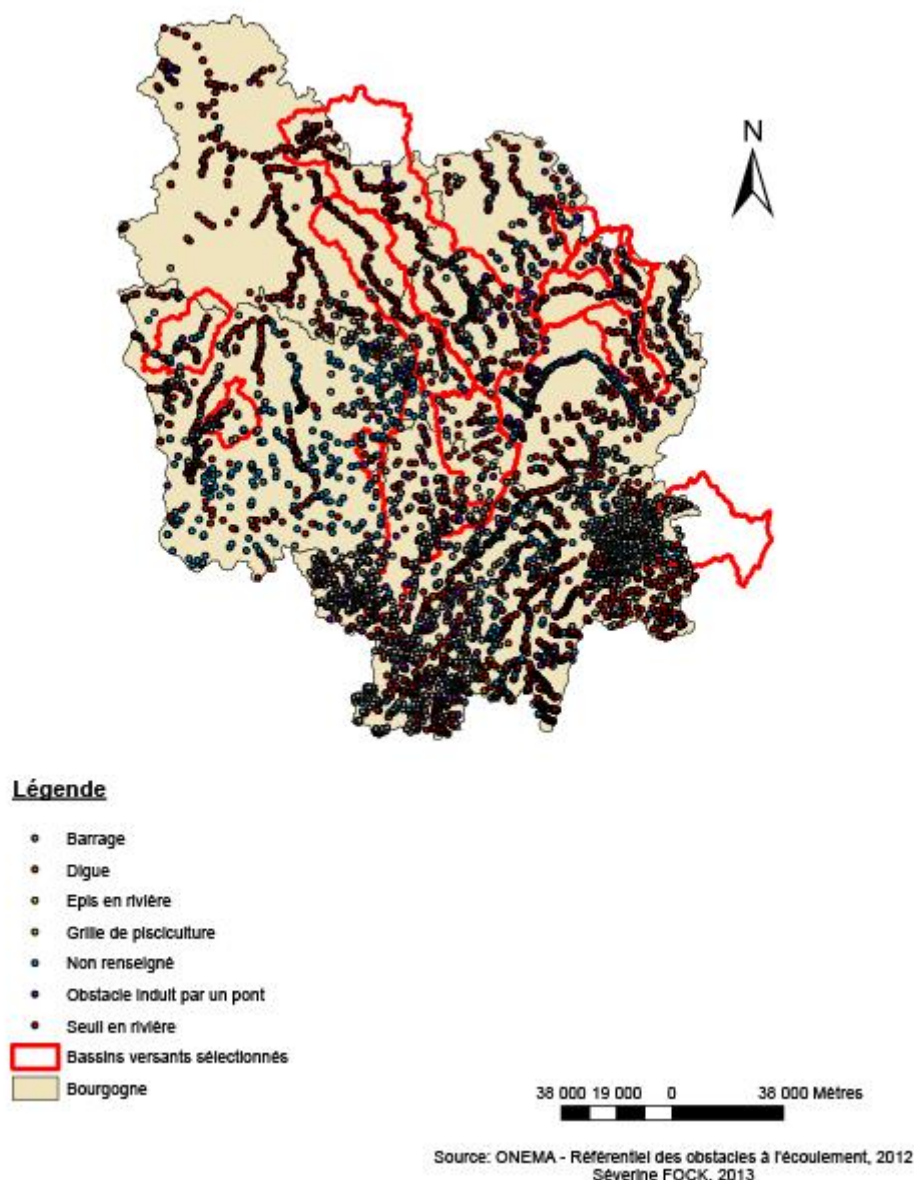


Figure 9 : Carte des obstacles à l'écoulement en Bourgogne

3) Critique des résultats

Il est possible d'émettre quelques critiques à la suite de ce travail cartographique. Parfois les cartes sont illisibles car il y a trop de données à représenter et cela engendre des superpositions (c'est le cas des obstacles). De plus, cela ne figure pas dans les exemples présentés, mais lorsqu'il y a plusieurs niveaux pour un critère (l'hydrogéologie ou les masses d'eaux souterraines par exemple). Il est nécessaire de réaliser une carte pour chaque niveau d'information. Cela multiplie donc les cartes et l'information n'est pas visualisable sur une seule.

B. La représentativité des bassins versants sur la Bourgogne

1) Méthodologie

Des manipulations sous ArcGIS (application ArcMap) ont été effectuées au préalable pour obtenir des tableaux de données facilement exploitables pour la suite du travail. La base de données Corine Land Cover (nationale) a été découpée avec les limites des bassins versants avec l'outil « découper » puis les zones ayant le même libellé ont été regroupées avec l'outil « fusionner » et enfin la nomenclature a été jointe. Pour finir les aires de chaque type d'occupation ont été calculées. Le même travail a été réalisé pour les obstacles à l'écoulement, à la seule différence que cette donnée est ponctuelle et qu'il n'y a donc pas eu besoin de calculer les aires. Pour étudier la représentativité des critères, deux types de graphiques ont été réalisés sous Excel, après exportation de la table attributaire (les données brutes sont présentées en annexe 11 et 12):

- des courbes de fréquences cumulées qui permettent de voir si l'ensemble des bassins versants est représentatif sur la Bourgogne ou non pour ce critère ;
- des histogrammes représentant le pourcentage de la donnée pour l'ensemble des bassins versants sur la Bourgogne. Ce graphique permet de savoir si le critère est surreprésenté dans le choix des bassins versants ou au contraire sous-représenté. Pour cela, d'après le tableau 5, la surface de tous les bassins versants représente 25,8% de la Bourgogne (seulement pour les parties comprises en Bourgogne et sans compter les superpositions pour la Tille et l'Arroux). Ainsi pour chaque critère, en appliquant la même méthode de comparaison, une valeur dépassant 25,8% indique que celui-ci est surreprésenté et inversement.

Tableau 5 : Récapitulatif des aires et comparaison

Aire Bourgogne (km ²)	Bassins versants totaux (km ²)	Bassins versants uniquement en Bourgogne (km ²)
31696,74	9494,47	8167,71

Pourcentage par rapport à Bourgogne	29,95	25,77
	30%	25,80%

2) Présentation des résultats

D'après la figure 10 qui présente la courbe des fréquences cumulées pour l'occupation du sol, trois types sont majoritaires : les forêts de feuillus, les prairies et les terres arables hors périmètres d'irrigation. Ils représentent à eux-seuls environ 80% de la surface en Bourgogne et 80% de la surface pour l'ensemble des bassins versants. La superposition des courbes

indique que, sur ce critère, le pool de 12 bassins versants sélectionnés est représentatif de la Bourgogne. La figure 11, quant à elle, fournit une double information : la comparaison des aires pour l'ensemble des bassins versants avec la Bourgogne et l'importance en termes de surface (tiré de la figure 10). Ce sont donc les trois derniers types d'occupation qui sont les plus importants en Bourgogne (forêt de feuillus, prairies et terres arabes hors périmètres d'irrigation). De plus ils sont bien représentés dans le choix des bassins versants car ils représentent environ 25,8% de la Bourgogne. Il est remarqué également que les zones urbanisées sont sous-représentées, ce qui est normal car le choix s'est porté sur des bassins versants subissant peu d'influences anthropiques.

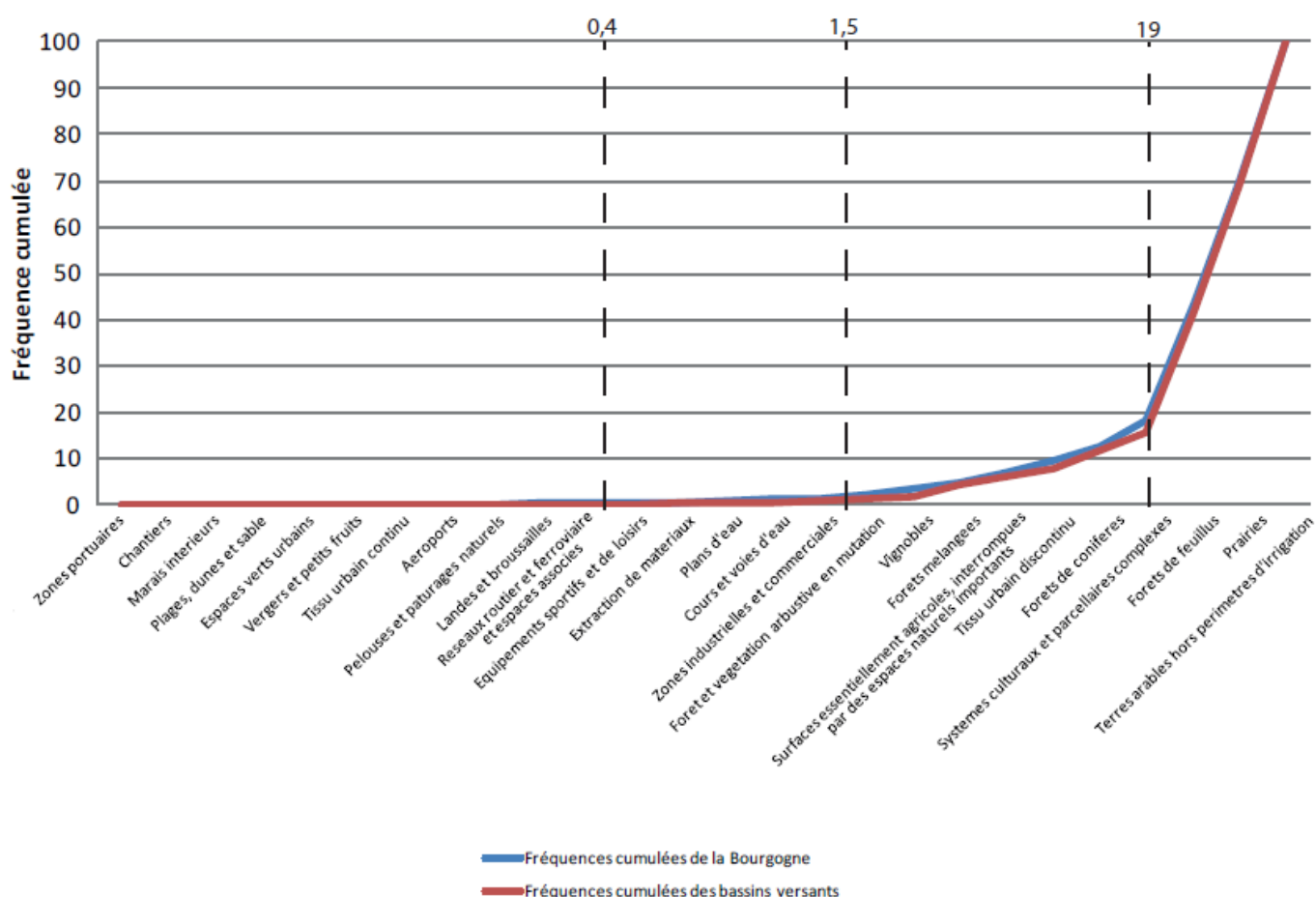


Figure 10 : Courbe des fréquences cumulées pour l'occupation du sol

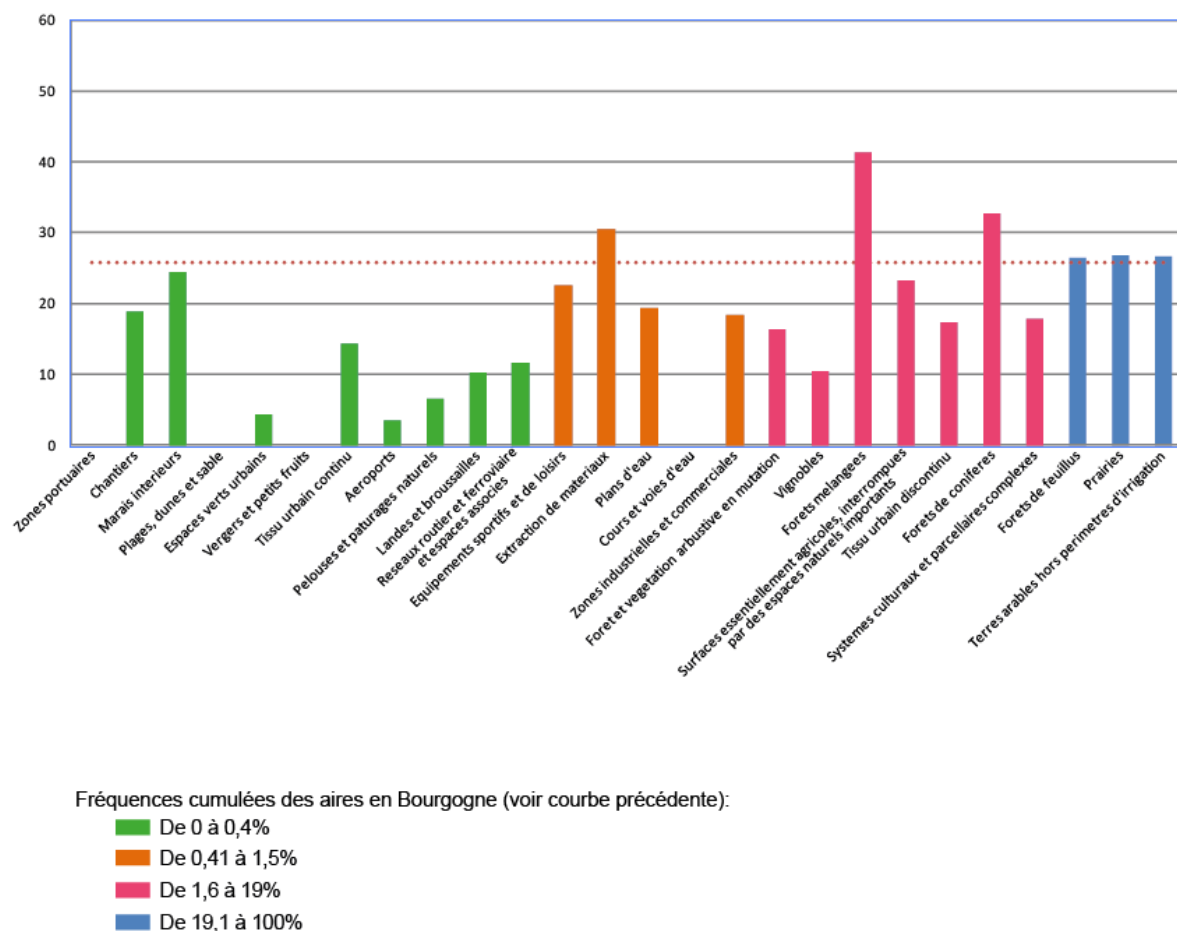


Figure 11 : Histogramme de la comparaison des aires par type d'occupation du sol pour les bassins versants par rapport à la Bourgogne (en pourcentages)

D'après les deux figures précédentes, il est observé que les forêts occupent une part importante de l'occupation du sol en Bourgogne. Il est donc intéressant d'observer le détail des essences présentes grâce à l'inventaire forestier pour voir si le choix est représentatif pour ce seul critère (voir figure 12). La comparaison des aires des bassins versants par rapport à la Bourgogne est présentée en annexe 8. D'après la figure 12, la superposition des courbes renseigne sur la bonne représentativité de ce critère. L'ensemble des bassins versants sélectionnés sont représentatifs sur la Bourgogne, à la fois pour le critère de l'occupation du sol et aussi pour les types d'essences présentes dans les forêts.

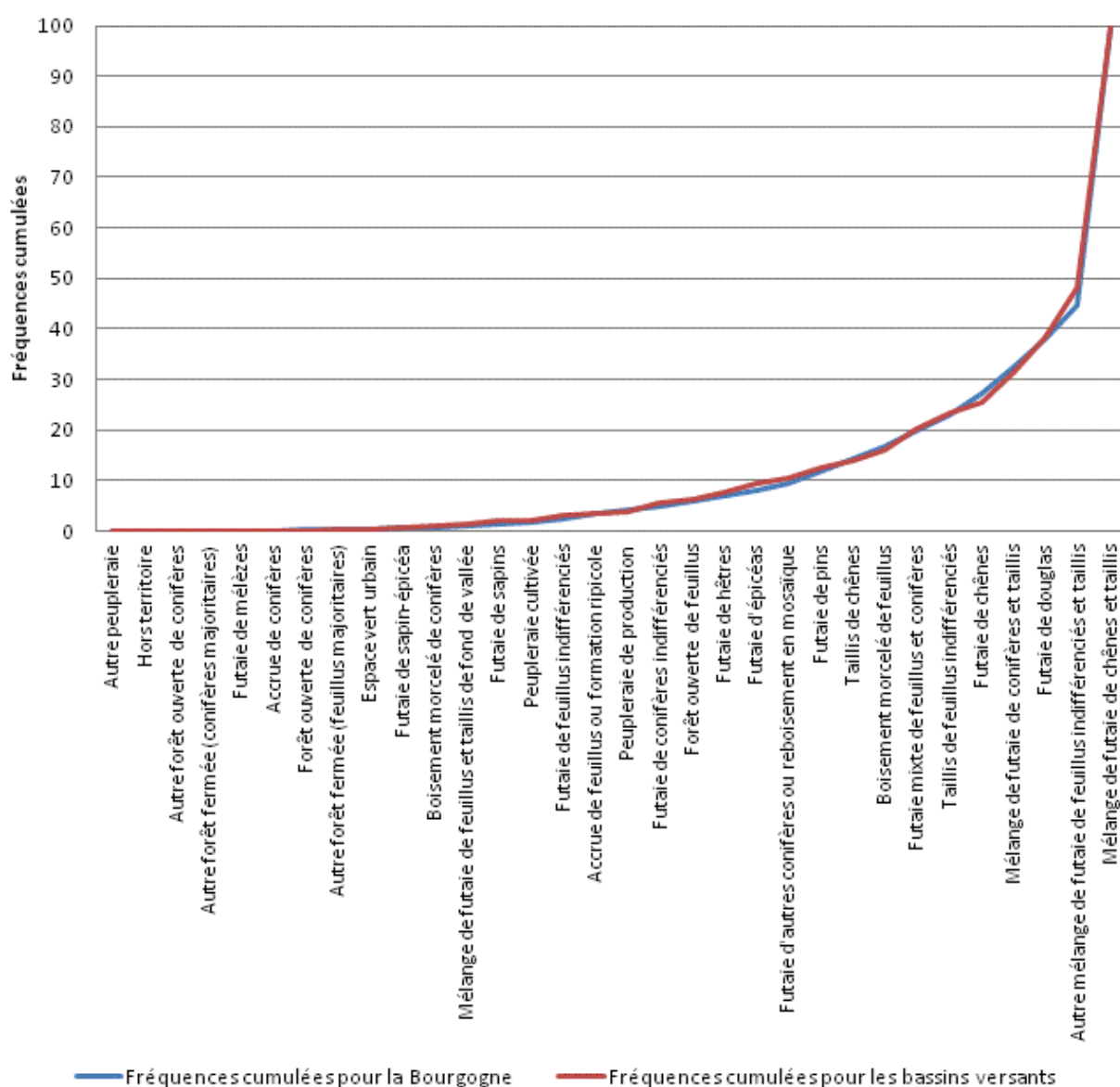


Figure 12 : Courbe des fréquences cumulées pour les forêts

En ce qui concerne les obstacles à l'écoulement, les résultats sont présentés dans les deux figures suivantes (13 et 14). Ils montrent que pour la Bourgogne et pour l'ensemble des bassins versants, les seuils en rivière représentent à eux-seuls près de 50% du total des obstacles. La figure 13 montre que la superposition des courbes est moins bonne que pour l'occupation du sol mais la représentativité du critère semble tout de même satisfaisante. Il est à noter que les épis en rivière et les grilles de pisciculture sont largement sous-représentés (figure 14). Cependant il faut se reporter à la donnée brute (annexe 12) pour remarquer qu'il n'y en a respectivement que 1 et 5 pour toute la Bourgogne. Vu le faible nombre, la chance qu'il y en ait à l'intérieur d'un bassin versant sélectionné est faible.

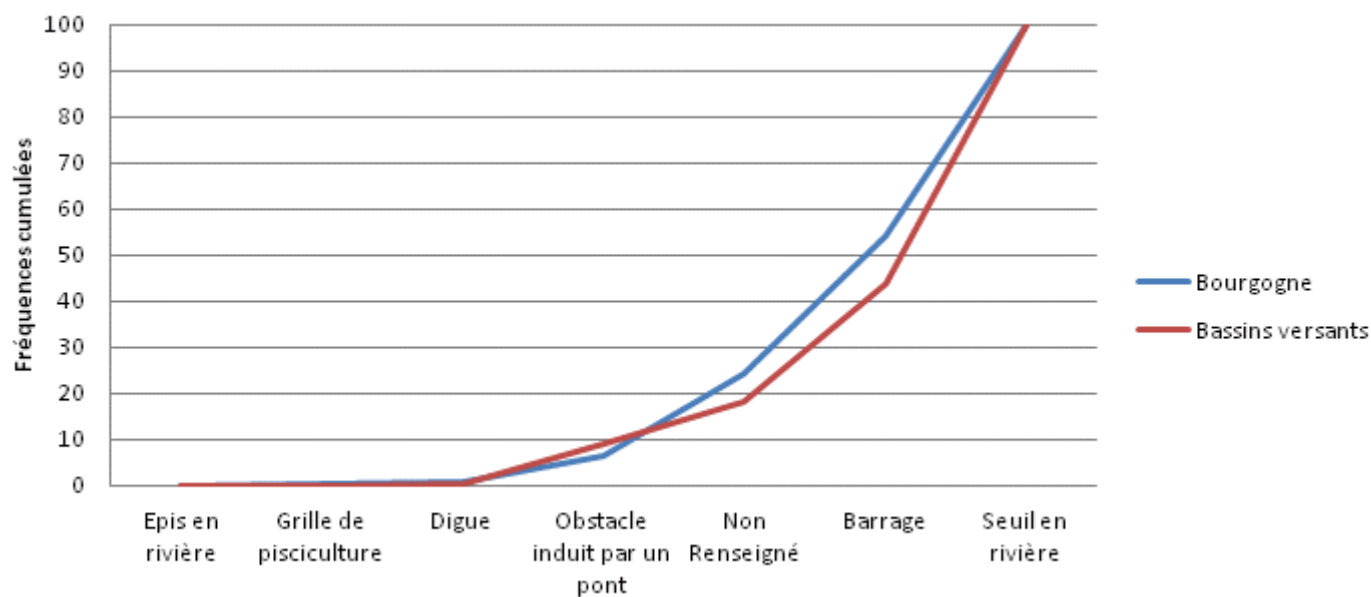


Figure 13 : Courbe des fréquences cumulées pour les obstacles à l'écoulement

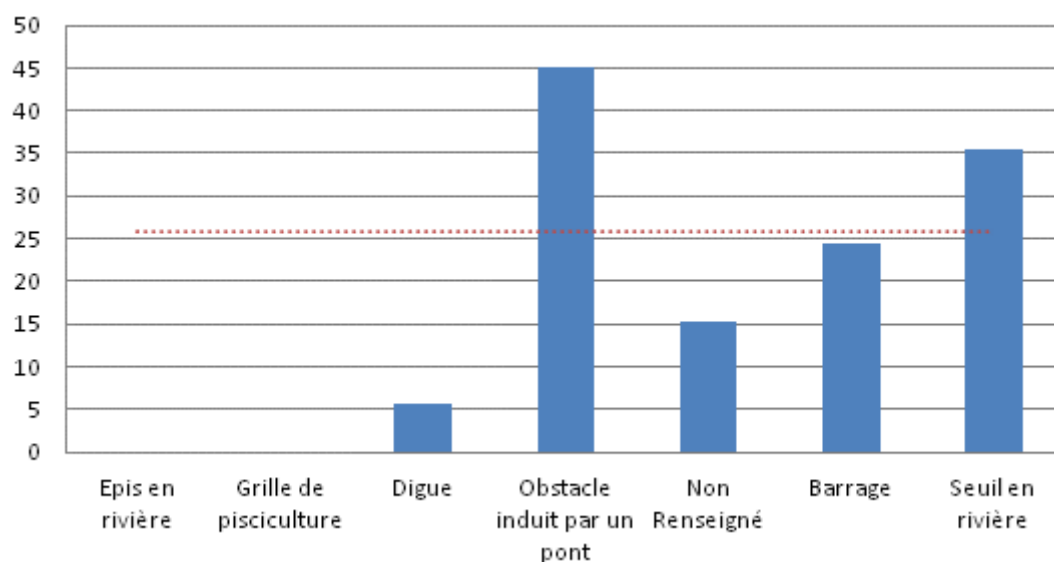


Figure 14 : Histogramme de la comparaison du nombre d'obstacles à l'écoulement pour les bassins versants par rapport à la Bourgogne (en pourcentage)

3) Critique des résultats

La réalisation de ces deux types de graphiques (courbe des fréquences cumulées et histogrammes) pour l'ensemble des critères a montré que grâce à la courbe des fréquences cumulées il est possible de constater facilement si le critère pour l'ensemble des bassins versants est représentatif ou non sur la Bourgogne. En revanche la comparaison des aires ou des effectifs entre les bassins versants et la Bourgogne (histogrammes) ne permet pas toujours d'apporter une information claire et pertinente. Ceci s'explique par la multiplication des classes pour certains critères (99 pour l'ordre 1 de l'hydrogéologie par exemple) ou encore lorsque l'effectif d'une classe est faible pour la Bourgogne et qu'il y a donc peu de chance que le pool des 12 bassins versants sélectionné le documentent correctement. Il faudrait un effectif minimal sur la Bourgogne pour que cela apporte une réelle information. Cela vaut également pour des données en surface, le problème est aussi rencontré lorsque la surface est faible pour l'ensemble de la Bourgogne. Autrement, les mêmes problèmes qu'auparavant ont été rencontrés : certains bassins versants dépassent les limites de la Bourgogne donc les données ne sont pas toujours disponibles et les données ne sont pas toujours homogènes. Par ailleurs, l'irrigation qui semble être un critère important n'a pas pu être étudiée à cause de la forme des données, seules une indication géographique est possible, il faudrait des données plus détaillées pour étudier sa représentativité.

CONCLUSION

Le projet HYCCARE Bourgogne a pour objectif de mieux caractériser les impacts du changement climatique sur la ressource en eau, à l'échelle de petits bassins versants, souvent situés en tête de bassin. Pour cela, l'étape de sélection de quelques bassins versants pour les modélisations hydroclimatiques parmi l'ensemble des bassins versants de Bourgogne est importante pour la suite du projet. Le but de ce mémoire était d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes : le choix effectué est-il représentatif du territoire bourguignon et peut-on tirer des enseignements transposables à un bassin versant, non sélectionné pour les modélisations ?

Pour les exemples présentés, que sont l'occupation du sol et les obstacles à l'écoulement, les résultats ont montré que l'ensemble des bassins versants sélectionnés étaient représentatifs de la Bourgogne. En revanche ce constat n'est pas si évident pour tous les critères étudiés. Le référentiel des obstacles à l'écoulement informe quant au nombre élevé d'obstacles. On peut se demander en quoi ceux-ci peuvent être une gêne ou au contraire une aide pour réguler l'eau car ils pourraient être vus en perspective d'un changement climatique comme nouveau fonctionnement de régulation. En ce qui concerne les fiches descriptives, il a été remarqué que chaque bassin versant avait une situation qui lui était propre, ils se distinguent par des fonctionnements et des enjeux socio-économiques et environnementaux différents. Il y a donc un réel intérêt à réaliser ces fiches descriptives pour chacun d'eux. Ainsi les modélisations couvriront tout un ensemble de situation et les bassins versants non sélectionnés seront en mesure de bénéficier des résultats d'un bassin versant ayant des caractéristiques similaires. Les fiches seront testées lors de groupes de travail d'HYCCARE. Ceci permettra de les mettre en situations et de récolter des avis qui seront utiles pour les améliorer afin qu'elles soient le plus adaptées pour aider des bassins versants non étudiés. Cependant de nouvelles questions émergent :

- Est-ce que ces fiches seront réellement utiles pour les autres bassins versants ? Les critères sont-ils suffisants ?
- Ces fiches sont-elles faciles à comprendre ou sont-elles trop techniques ? Est-ce qu'elles nécessitent un certain niveau de spécialisation et sont donc plutôt réservées à des « experts » ?

A la suite de ce travail, on peut se demander si l'ensemble des critères qui ont été sélectionnés sont les bons et la question essentielle est de savoir comment traiter l'ensemble des critères et les liens entre eux. De plus, tous les critères ont été étudiés de la même manière sans qu'aucun n'ait priorité sur un autre, mais il serait intéressant de s'interroger sur la possible existence d'une hiérarchie, ou s'il y en aurait une seulement pour certaines situations. La plupart des réponses à ces questions seront apportées lors de la mise en pratique d'HYCCARE qui apportera des éclaircissements sur le travail réalisé dans ce mémoire. En outre, il n'a pas toujours été possible d'obtenir des données de bonne qualité. De plus elles étaient souvent disponibles pour la Bourgogne mais pas pour les parties de bassins versants en

dehors des limites. Cela induit donc des résultats parfois éloignés de la réalité physique. Ce problème de fiabilité et de qualité des données s'observe pour les inondations où elles sont renseignées par plusieurs personnes et de manière différente ou encore pour les données d'irrigation qui ne sont fournies qu'en pourcentage et au niveau cantonal. Pour les inondations les résultats montrent qu'elles sont sous-estimées et qu'il y a peu de Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) définis sur la Bourgogne. Pourtant cette problématique peut être plus importante qu'il n'y paraît aujourd'hui, notamment dans un contexte de changement climatique. En ce qui concerne l'irrigation, les données n'ont pas permis l'étude de ce critère. Mais ce n'est pas réellement un problème car on cherche surtout à savoir où il y a des enjeux, en effet avec le changement climatique les agriculteurs vont vouloir irriguer d'avantage, ce qui entraînera des tensions supplémentaires. Il faudra rechercher de l'eau, en conséquent des conflits risquent d'apparaître. (Ducharne, 2012). Néanmoins il serait intéressant de rechercher d'autres données plus fiables et complètes de ces critères, par exemple en s'adressant directement aux acteurs de territoires détenteurs de ces informations.

BIBLIOGRAPHIE

- ADELIE** (2011a). Synthèse de la fiche de métadonnées - Référentiel des obstacles à l'écoulement - version novembre 2011 (FICHE_18973). Disponible sur : <http://adelie.application.equipement.gouv.fr/syntheseFiche.do?fiche=18973&visu=ok&page=1> (consulté le 15 mai 2013)
- ADELIE** (2011b). Synthèse de la fiche de métadonnées - Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) en Bourgogne (FICHE_16180). Disponible sur : <http://adelie.application.equipement.gouv.fr/syntheseFiche.do?fiche=16180&visu=ok&page=1> (consulté le 15 mai 2013)
- AGENCE DE L'EAU SEINE NORMANDIE** (2013). Les masses d'eau souterraines...en bref. Disponible sur : <http://sigessn.brgm.fr/spip.php?rubrique40> (consulté le 15 mai 2015)
- ALTERRE BOURGOGNE** (2012). HYCCARE Bourgogne - Réponse à l'Appel à Projet de Recherche GICC 2012, 23p.
- ALTERRE BOURGOGNE** (2013a). Lettre 1 d'info à destination des partenaires et autres personnes intéressées par le projet HYCCARE
- ALTERRE BOURGOGNE** (2013b). Choix des bassins versants pour simulation hydroclimatique -Validation et argumentaire du choix, 14p.
- ARNELL N.** (2003). Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14, p. 31–52
- BATES B. C., KUNDZEWICZ Z. W., WU S. et PALUTIKOF J.P.** (2008). Le changement climatique et l'eau. Document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, 236 p.
- BENISTON M., STOFFEL M., HILL M.**(2011). Impacts of climatic change on water and natural hazards in the Alps: Can current water governance cope with future challenges? Examples from the European "ACQWA" project. *Environmental Science & Policy*, 14(7), p. 734-743.
- BRGM** (2004). Appui technique BRGM au MEDD/DE – Mise en œuvre de la DCE référentiel national des masses d'eau souterraine
- BRGM** (2009). Référentiel Hydrogéologique Français BDLISA - Principes de construction et mise en œuvre
- CASTEL T., XU Y., RICHARD Y., POHL B., CRETAT J., THEVENIN D., CUCCIA C., BOIS B., ROUCOU P.**(2010). Assessment of Dynamic Downscaling of the Continental East French Regional Climate at high-resolution using the ARW/WRF model. *Association Internationale de Climatologie*, 23, p. 107-112.
- CGDD, SOeS** (2009). CORINE Land Cover France - Guide d'utilisation
- CRETAT J., POHL B., RICHARD Y. et DROBINSKI P.** (2012). Uncertainties in simulating regional climate of Southern Africa: sensitivity to physical parameterizations using WRF. *Climate Dynamics*, 38, p. 613-634. doi:10.1007/s00382-011-1055-8

- DEQUE M.** (2007). Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57(1-2), p. 16-26.
- DREAL** (2010). Zone Importante pour la conservation des oiseaux. Disponible sur : <http://www.haute-normandie.developpement-durable.gouv.fr/zone-importante-pour-la-a456.html> (consulté le 15 mai 2013)
- DREAL** (2013). Risque inondation. Disponible sur : <http://www.centre.developpement-durable.gouv.fr/risque-inondation-r48.html> (consulté le 15 mai 2013)
- DRYADE** (2008). Le douglas. Disponible sur : http://www7.inra.fr/dryade/les_essences_forestieres/le_douglas (consulté le 27 mai 2013)
- DRYADE** (2009). Le hêtre. Disponible sur : http://www7.inra.fr/dryade/les_essences_forestieres/le_hetre (consulté le 27 mai 2013)
- DUCHARNE A et al.**(2009). Projet RExHySS - Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme. Rapport de fin de contrat, 62 p. [en ligne] Disponible sur : http://www.sisyphe.upmc.fr/~agnes/rexhyss/DOCS/Rapport_final_0000454_web.pdf
- DUCHARNE A.** (2012). Que peut-on dire de l'évolution des ressources en eau au cours des prochaines décennies en réponse au changement climatique ?. Journée SMF « Prévision météorologique et hydrologique », 20 Novembre 2012, Paris [en ligne]. Disponible sur : http://meteoetclimat.fr/wp-content/uploads/JS2012_ducharne.pdf
- DUCHARNE A. et al.** (2010). ICC-HYDROQUAL - Impact du Changement Climatique sur l'hydrosystème Loire : HYDROlogie, Régime thermique, QUALité des eaux. Rapport final, 107 p. [en ligne] Disponible sur : http://www.plan-loire.fr/fileadmin/pce/PF_RDI/ProjetsRecherche/Docs/ICC-HYDROQUAL/ICC-HYDROQUAL_action_1__Hydrologie.pdf
- EAUFRANCE** (2013a). Occupation du sol. Disponible sur : <http://www.eaufrance.fr/observer-et-evaluer/pressions-sur-les-milieus/usages-des-sols/occupation-du-sol> (consulté le 15 mai 2013)
- EAUFRANCE** (2013b). Les zones humides. Disponible sur : <http://www.zones-humides.eaufrance.fr/?q=node/61> (consulté le 15 mai 2013)
- ETCHEVERS P., GOLAZ C., HABETS F., NOILHAN J.** (2002). Impact of a climate change on the Rhone river catchment hydrology. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres*, 107(D16).
- GEOCATALOGUE** (2012). BD Carthage Métropole / Noeuds hydrographiques. Disponible sur : <http://www.geocatalogue.fr/geocat/Detail.do?fileIdentifier=d5a37d86-cc08-4be9-aa52-ee49cfc5dbae> (consulté le 15 mai 2013)
- GIEC** (2007). Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse, 103 p.
- INPN** (2013). L'inventaire ZNIEFF. Disponible sur : <http://inpn.mnhn.fr/programme/inventaire-znieff/presentation> (consulté le 15 mai 2013).

- MEDDE** (2011a) Le réseau européen Natura 2000. Disponible sur : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Le-reseau-europeen-Natura-2000,24255.html> (consulté le 15 mai 2013)
- MEDDE** (2011b). DCE – Les réseaux de surveillance. Disponible sur : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/240/1108/dce-reseaux-surveillance.html> (consulté le 15 mai 2013)
- MILLY P.C.D., BETANCOURT J., FALKENMARK M., HIRSCH R.M., KUNDZEWICZ Z.W., LETTENMAER D.P. et STOUFFER R.J.** (2008). Stationarity is dead: Whither water management?. *Science*, 319(5863), p. 573-574, doi:10.1126/science.1151915.
- MILLY P.C.D., DUNNE K.A. et VECCHIA A.V.** (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in changing climate. *Nature*, Vol. 438(17), 347-350, doi:10.1038/nature04312.
- PAL J. S., GIORGI F., BI X.Q., ELGUINDI N., SOLMON F., GAO X.J., RAUSCHER S.A., FRANCISCO R., ZAKAY A., WINTER J., ASHFAQ M., SYED F.S., BELL J.L., DIFFENBAUGH N.S., KARMACHARYA J., KONARE A., MARTINEZ D., DA ROCHA R.P, SLOAN L.C., STEINER A.L.**(2007). Regional climate modeling for the developing world - The ICTP RegCM3 and RegCNET. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(9), 1395-+.
- PLANTIER M.** (2003). Prise en compte de caractéristiques physiques du bassin versant pour la comparaison des approches globale et semi-distribuée en modélisation pluie-débit. Mémoire de fin d'études. Strasbourg : Ecole nationale du génie de l'eau et de l'environnement de Strasbourg, 93p.
- POHL B., CRETAT J. et CAMBERLIN P.** (2011). Testing WRF capability in simulating the atmospheric water cycle over Equatorial East Africa. *Climate Dynamics*. doi:10.1007/s00382-011-1024-2.
- RENARD B.** (2006). Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France. Thèse INP Grenoble, Cemagref Lyon, 361p.
- SAUQUET E.** (2009). Imagine 2030 - Climat et aménagements de la Garonne : quelles incertitudes sur la ressource en eau en 2030 ?. Rapport de fin de contrat, 149 p.
- SERVICES DE L'ETAT** (2013). Les Plans de Prévention du Risque Inondation. Disponible sur : <http://www.saone-et-loire.gouv.fr/les-plans-de-prevention-du-risque-r434.html> (consulté le 15 mai 2013)
- STAHL K., HISDAL H., HANNAFORD J., TALLAKSEN L.M., VAN LANEN H.A.J., SAUQUET E., DEMUTH S., FENDEKOVA M., JODAR J.** (2010). Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(12), p. 2367-2382.
- TECHNO-SCIENCE.NET** (2013). Irrigation. Disponible sur : <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=3464> (consulté le 15 mai 2013)
- XU Y., CASTEL T., RICHARD Y., CUCCIA C. et BOIS B.** (2012). Burgundy regional climate change and its potential impact on grapevines. *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-011-1284-x.

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Carte des bassins versants sélectionnés (pool 1).....	12
Figure 2 : L'occupation du sol pour les 12 bassins versants (1)	20
Figure 3 : L'occupation du sol pour les 12 bassins versants (2)	21
Figure 4 : Les obstacles à l'écoulement pour les 12 bassins versants (1)	22
Figure 5 : Les obstacles à l'écoulement pour les 12 bassins versants (2)	23
Figure 6 : Fiche descriptive de la Seille à Saint-Usuge	26
Figure 7 : Fiche descriptive du Serein à Chablis	27
Figure 8 : Carte de l'occupation du sol en Bourgogne.....	30
Figure 9 : Carte des obstacles à l'écoulement en Bourgogne	31
Figure 10 : Courbe des fréquences cumulées pour l'occupation du sol.....	33
Figure 11 : Histogramme de la comparaison des aires par type d'occupation du sol pour les bassins versants par rapport à la Bourgogne (en pourcentages)	34
Figure 12 : Courbe des fréquences cumulées pour les forêts	35
Figure 13 : Courbe des fréquences cumulées pour les obstacles à l'écoulement.....	36
Figure 14 : Histogramme de la comparaison du nombre d'obstacles à l'écoulement pour les bassins versants par rapport à la Bourgogne (en pourcentage)	36

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Bassins versants sélectionnés pour le pool 1	11
Tableau 2 : Critères physiques et de fonctionnement.....	13
Tableau 3 : Critères d'enjeux socio-économiques et environnementaux.....	14
Tableau 4 : Données supplémentaires	14
Tableau 5 : Récapitulatif des aires et comparaison	32

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Bassins versants sélectionnés pour le pool 2.....	45
ANNEXE 2 : Nombre de bassins versants par Agence de l'eau et par département.....	45
ANNEXE 3 : Surfaces des bassins versants du pool 1.....	45
ANNEXE4 : Altitudes des bassins versants du pool 1.....	46
ANNEXE 5 : Ordres de Strahler de la Seille à Saint-Usuge.....	46
ANNEXE 6 : Ordres de Strahler du Serein à Chablis.....	47
ANNEXE 7 : Modèle des fiches descriptives.....	48
ANNEXE 8 : Histogramme de la comparaison des aires par type de forêt pour les bassins versants par rapport à la Bourgogne (en pourcentages).....	49
ANNEXE 9 : Tableau de données de l'occupation du sol par bassin versant.....	50
ANNEXE 10 : Tableau de données des obstacles à l'écoulement par bassin versant.....	52
ANNEXE 11 : Tableau de données récapitulatif de l'occupation du sol pour la Bourgogne et l'ensemble des bassins versants sélectionnés.....	53
ANNEXE 12 : Tableau de données récapitulatif des obstacles à l'écoulement pour la Bourgogne et l'ensemble des bassins versants sélectionnés.....	54

ANNEXE 1 : Bassins versants sélectionnés pour le pool 2

Pool 2	Enjeux	Contexte hydrogéologiques
La Brenne à Montbard	-	calcaires jurassiques
La Seine à Nod-sur-Seine	-	calcaires jurassiques
L'Houssière à Chaumard	lac de Pannecière AEP	socle métamorphique
La Cent-Fond à Saulon-la-Rue	modélisation de la nappe (syndicat de la Vouge)	calcaires jurassiques et sédiments récents
L'Ignon à Villecomte	-	calcaires jurassiques
La Guye à Sigy le Chatel	-	calcaires jurassiques et socle métamorphique
Bourbince à Vitry en charollais	Petite hydroélectricité	calcaires jurassiques et socle métamorphique
La Celle à la Celle en Morvan	-	permians et socle granitique

ANNEXE 2 : Nombre de bassins versants par Agence de l'eau et par département

Agences de l'eau	Pool 1	Pool 2	Département	Pool1	Pool 2
AESN	4	3	Saône et Loire	4	3
AERMC	4	3	Côte d'Or	3	4
AELB	4	2	Nièvre	3	1
			Yonne	2	0

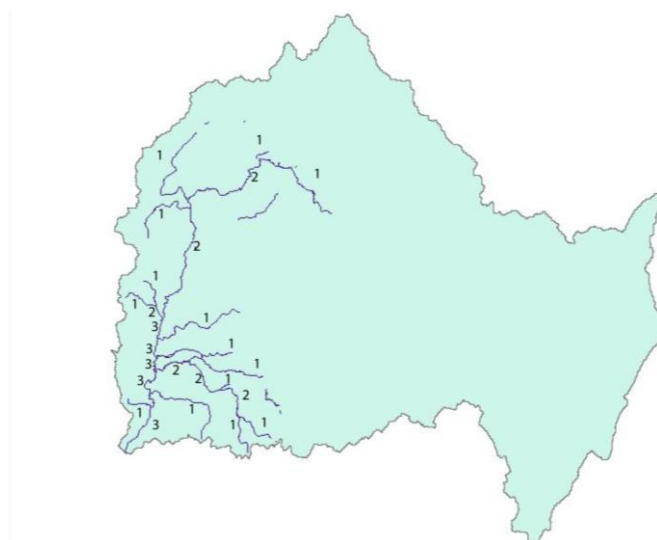
ANNEXE 3 : Surfaces des bassins versants du pool 1

	En entier (km²)	En Bourgogne (km²)
L'Armançon à Brienon-sur-Armançon	2977,34	2445,95
L'Arroux à Dracy-Saint-Loup	773,08	773,08
L'Arroux à Rigny-sur-Arroux	2265,6	2265,60
La Nièvre d'Arzembouy à Poiseux	234,87	234,87
Le Nohain à Saint-Martin-sur-Nohain	476,34	476,34
L'Ource à Leuglay	176,12	118,12
La Seille à Saint-Usuge	884,86	224,07
Le Serein à Chablis	1116,9	1116,90
La Tille à Arceau	844,19	767,62
La Tille à Champdôtre	1256,48	1179,91
La Tille à Crecey-sur-Tille	230,35	182,95
L'Yonne à Corancy	105,96	105,96

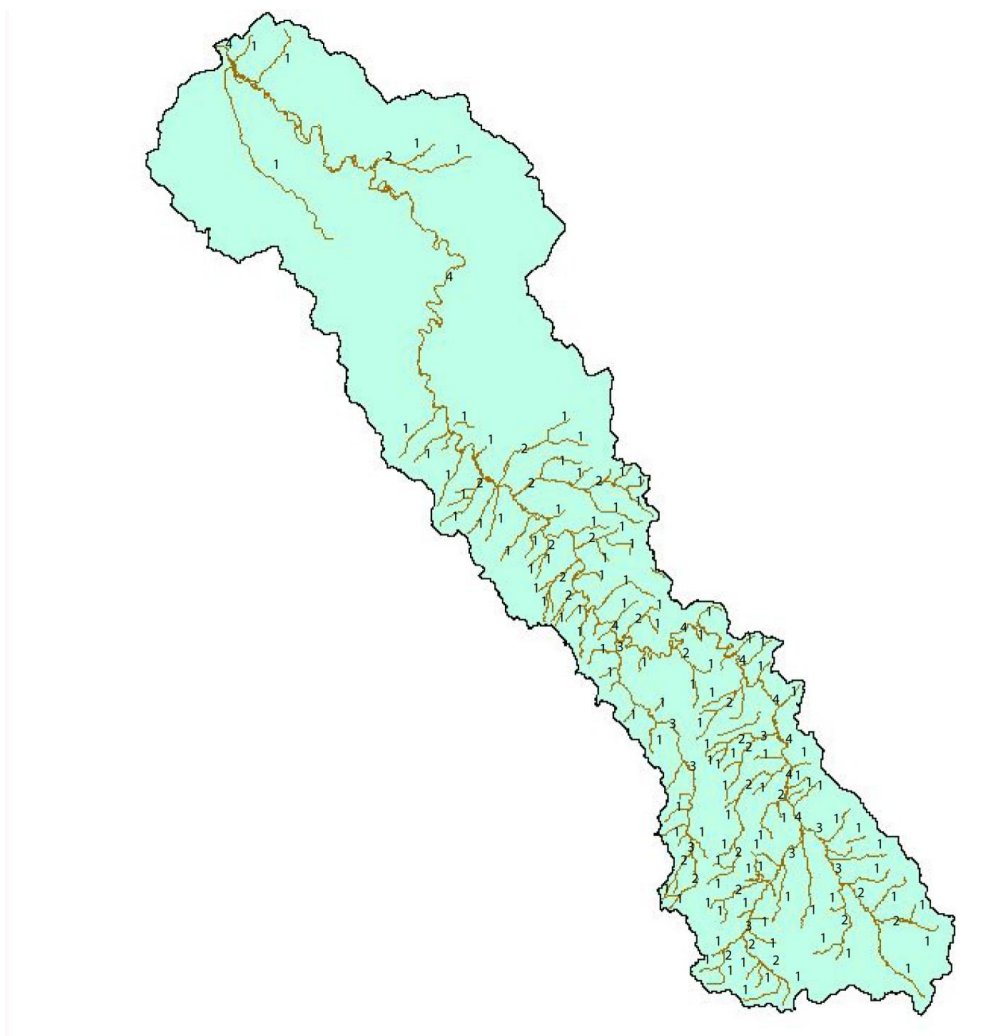
ANNEXE4 : Altitudes des bassins versants du pool 1

	Altitude moyenne (en m)	Altitude minimale (en m)	Altitude maximale (en m)
L'Armançon à Brienon-sur-Armançon	282.25357	88.0	599.0
L'Arroux à Dracy-Saint-Loup	406.25752	293.0	566.0
L'Arroux à Rigny-sur-Arroux	406.44288	233.0	897.0
La Nièvre d'Arzembouy à Poiseux	302.43114	204.0	443.0
Le Nohain à Saint-Martin-sur-Nohain	236.83736	157.0	382.0
L'Ource à Leuglay	412.0685	276.0	511.0
La Seille à Saint-Usage	-48501.4284	-99999.0	242.0
Le Serein à Chablis	310.03841	129.0	596.0
La Tille à Arceau	395.88658	225.0	591.0
La Tille à Champdôtre	349.04708	187.0	591.0
La Tille à Crecey-sur-Tille	413.09232	273.0	527.0
L'Yonne à Corancy	587.16335	331.0	900.0

ANNEXE 5 : Ordres de Strahler de la Seille à Saint-Usage



ANNEXE 6 : Ordres de Strahler du Serein à Chablis



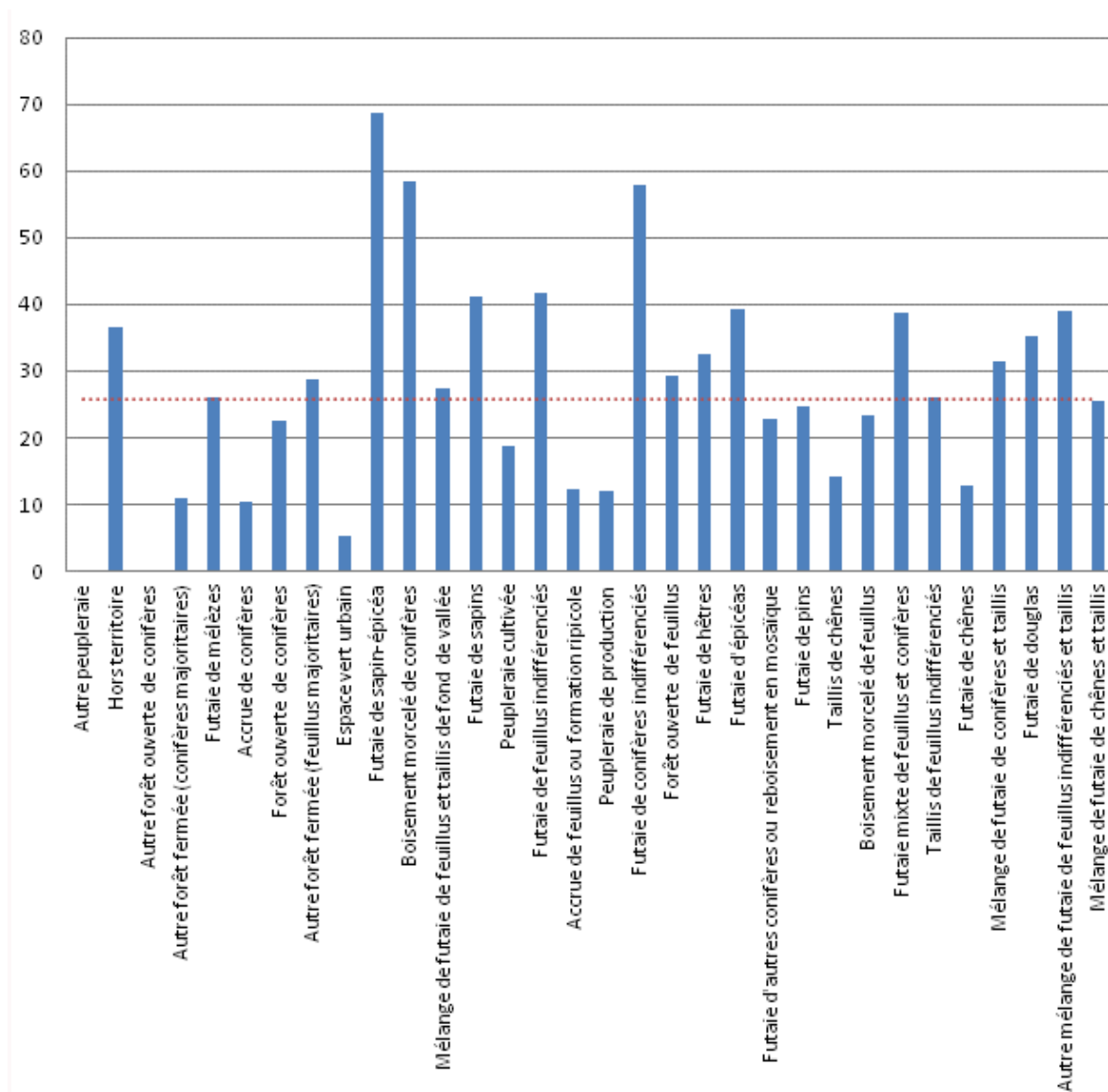
ANNEXE 7 : Modèle des fiches descriptives

Carte localisation géographique	NOM	
	Département	Agence de l'eau
	Surface (en km²)	Longueur du cours d'eau (en km²)

FONCTIONNEMENT		
Hydrogéologie	BD Lisa (niveau 3)	
Type de nappe	BD Carthage	
Altitude	Altitude moyenne	
	Altitude minimale	
	Altitude maximale	
Forme	Longueur maximale	
	Largeur maximale	
	Commentaires	
Arborescence du réseau hydrographique	Ordre de Strahler (maximal du réseau). Renseigne sur la quantité de confluence et donc sur le degré d'expansion du réseau.	
Commentaires		

ENJEUX	
Occupation majoritaire du sol	BD Corine Land Cover (niveau 3)
Irrigation	Part de la surface Irriguée (agreste)
Industries	Part de la consommation par Industries (DREAL)
Continuité écologique/morphologique	Nombre d'ouvrage (DREAL)
Enjeux réglementaires	Zonages environnementaux, SAGE, ZRE, etc
Commentaires	

ANNEXE 8 : Histogramme de la comparaison des aires par type de forêt pour les bassins versants par rapport à la Bourgogne (en pourcentages)



ANNEXE 9 : Tableau de données de l'occupation du sol par bassin versant

Bassin versant	Type d'occupation du sol	Aire du BV (en km²)	Aire (en km²)	Pourcentage	Cumul
La Nièvre d'Arzembouy à Poiseux	Tissu urbain discontinu	234,866	1,03	0,44	0,44
	Terres arables hors perimetres d'irrigation	234,866	46,59	19,84	20,27
	Prairies	234,866	83,43	35,52	55,80
	Systemes cultureux et parcellaires complexes	234,866	1,49	0,63	56,43
	Forêts de feuillus	234,866	82,90	35,30	91,73
	Forêts de coniferes	234,866	8,35	3,55	95,28
	Forêts melangees	234,866	8,30	3,53	98,82
La Seille à Saint-Usuge	Forêt et végétation arbustive en mutation	234,866	2,78	1,18	100,00
	Tissu urbain discontinu	884,607	20,53	2,32	2,32
	Zones industrielles et commerciales	884,860	1,08	0,12	2,44
	Reseaux routier et ferroviaire et espaces associes	884,860	0,68	0,08	2,52
	Extraction de matériaux	884,860	1,23	0,14	2,66
	Terres arables hors perimetres d'irrigation	884,860	156,66	17,70	20,36
	Vignobles	884,860	8,26	0,93	21,30
	Prairies	884,860	134,89	15,24	36,54
	Systemes cultureux et parcellaires complexes	884,860	213,53	24,13	60,67
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	884,860	60,31	6,82	67,49
	Forêts de feuillus	884,860	235,94	26,66	94,15
	Forêts de coniferes	884,860	17,02	1,92	96,08
	Forêts melangees	884,860	19,84	2,24	98,32
	Pelouses et paturages naturels	884,860	3,17	0,36	98,68
	Forêt et végétation arbustive en mutation	884,860	6,14	0,69	99,37
	Plans d'eau	884,860	5,32	0,60	99,97
La Tille à Arceau	Tissu urbain discontinu	844,188	11,84	1,40	1,40
	Zones industrielles et commerciales	844,188	3,40	0,40	1,80
	Reseaux routier et ferroviaire et espaces associes	844,188	0,26	0,03	1,84
	Extraction de matériaux	844,188	0,50	0,06	1,89
	Equipements sportifs et de loisirs	844,188	0,65	0,08	1,97
	Terres arables hors perimetres d'irrigation	844,188	327,01	38,74	40,71
	Prairies	844,188	57,74	6,84	47,55
	Systemes cultureux et parcellaires complexes	844,188	13,92	1,65	49,20
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	844,188	7,79	0,92	50,12
	Forêts de feuillus	844,188	363,63	43,08	93,19
	Forêts de coniferes	844,188	30,45	3,61	96,80
	Forêts melangees	844,188	23,25	2,75	99,56
	Pelouses et paturages naturels	844,188	0,78	0,09	99,65
	Landes et broussailles	844,188	0,26	0,03	99,68
	Forêt et végétation arbustive en mutation	844,188	1,95	0,23	99,91
	Marais interieurs	844,188	0,25	0,03	99,94
	Plans d'eau	844,188	0,51	0,06	100,00
La Tille à Champdôtre	Tissu urbain discontinu	1256,481	35,74	2,84	2,84
	Zones industrielles et commerciales	1256,481	11,44	0,91	3,76
	Reseaux routier et ferroviaire et espaces associes	1256,481	1,59	0,13	3,88
	Extraction de matériaux	1256,481	3,57	0,28	4,17
	Chantiers	1256,481	0,36	0,03	4,19
	Espaces verts urbains	1256,481	0,28	0,02	4,22
	Equipements sportifs et de loisirs	1256,481	3,20	0,25	4,47
	Terres arables hors perimetres d'irrigation	1256,481	588,18	46,81	51,28
	Prairies	1256,481	64,14	5,10	56,39
	Systemes cultureux et parcellaires complexes	1256,481	15,79	1,26	57,64
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	1256,481	11,32	0,90	58,55
	Forêts de feuillus	1256,481	453,04	36,06	94,60
	Forêts de coniferes	1256,481	32,83	2,61	97,21
	Forêts melangees	1256,481	24,13	1,92	99,13
	Pelouses et paturages naturels	1256,481	0,78	0,06	99,20
	Landes et broussailles	1256,481	0,26	0,02	99,22
	Forêt et végétation arbustive en mutation	1256,481	3,89	0,31	99,53
	Marais interieurs	1256,481	0,25	0,02	99,55
	Plans d'eau	1256,481	5,69	0,45	100,00
La Tille à Crecey-sur-Tille	Tissu urbain discontinu	230,349	1,00	0,44	0,44
	Terres arables hors perimetres d'irrigation	230,349	73,29	31,82	32,25
	Prairies	230,349	26,87	11,66	43,92
	Systemes cultureux et parcellaires complexes	230,349	5,55	2,41	46,33
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	230,349	1,36	0,59	46,92
	Forêts de feuillus	230,349	110,33	47,90	94,81
	Forêts de coniferes	230,349	5,05	2,19	97,01
	Forêts melangees	230,349	5,66	2,46	99,47
	Pelouses et paturages naturels	230,349	0,78	0,34	99,80
	Forêt et végétation arbustive en mutation	230,349	0,46	0,20	100,00
L'Armançon à Brienon-sur-Armançon	Tissu urbain continu	2977,340	0,61	0,02	0,02
	Tissu urbain discontinu	2977,340	52,53	1,76	1,78
	Zones industrielles et commerciales	2977,340	6,19	0,21	1,99
	Reseaux routier et ferroviaire et espaces associes	2977,340	1,12	0,04	2,03
	Aeroports	2977,340	0,38	0,01	2,04
	Extraction de matériaux	2977,340	1,60	0,05	2,10
	Equipements sportifs et de loisirs	2977,340	1,62	0,05	2,15
	Terres arables hors perimetres d'irrigation	2977,340	1224,93	41,14	43,29
	Vignobles	2977,340	1,52	0,05	43,34
	Prairies	2977,340	621,60	20,88	64,22
	Systemes cultureux et parcellaires complexes	2977,340	73,74	2,48	66,70
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	2977,340	63,06	2,12	68,82
	Forêts de feuillus	2977,340	798,65	26,82	95,64
	Forêts de coniferes	2977,340	55,84	1,88	97,52
	Forêts melangees	2977,340	54,18	1,82	99,34
	Pelouses et paturages naturels	2977,340	0,46	0,02	99,35
	Landes et broussailles	2977,340	2,13	0,07	99,42
	Forêt et végétation arbustive en mutation	2977,340	13,19	0,44	99,87
	Plans d'eau	2977,340	3,98	0,13	100,00

L'Arroux à Dracy-Saint-Loup	Tissu urbain discontinu	773,082	11,57	1,50	1,50
	Extraction de matériaux	773,082	0,98	0,13	1,62
	Équipements sportifs et de loisirs	773,082	0,61	0,08	1,70
	Terres arables hors périmètres d'irrigation	773,082	81,43	10,53	12,24
	Prairies	773,082	435,46	56,33	68,56
	Systèmes cultureux et parcellaires complexes	773,082	30,92	4,00	72,56
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	773,082	13,54	1,75	74,32
	Forêts de feuillus	773,082	169,06	21,87	96,18
	Forêts de conifères	773,082	20,01	2,59	98,77
	Forêts mixées	773,082	5,90	0,76	99,53
	Forêt et végétation arbustive en mutation	773,082	1,78	0,23	99,77
	Marais intérieurs	773,082	0,25	0,03	99,80
	Plans d'eau	773,082	1,56	0,20	100,00
L'Arroux à Rigny-sur-Arroux	Tissu urbain continu	2265,596	0,90	0,04	0,04
	Tissu urbain discontinu	2265,596	37,76	1,67	1,71
	Zones industrielles et commerciales	2265,596	3,80	0,17	1,87
	Extraction de matériaux	2265,596	5,33	0,24	2,11
	Équipements sportifs et de loisirs	2265,596	3,24	0,14	2,25
	Terres arables hors périmètres d'irrigation	2265,596	96,70	4,27	6,52
	Prairies	2265,596	1169,92	51,64	58,16
	Systèmes cultureux et parcellaires complexes	2265,596	134,47	5,94	64,09
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	2265,596	42,71	1,89	65,98
	Forêts de feuillus	2265,596	512,60	22,63	88,60
	Forêts de conifères	2265,596	149,67	6,61	95,21
	Forêts mixées	2265,596	87,41	3,86	99,07
	Landes et broussailles	2265,596	0,26	0,01	99,08
	Forêt et végétation arbustive en mutation	2265,596	16,08	0,71	99,79
	Marais intérieurs	2265,596	0,25	0,01	99,80
	Plans d'eau	2265,596	4,50	0,20	100,00
Le Nohain à Saint-Martin-sur-Nohain	Tissu urbain discontinu	476,344	5,21	1,09	1,09
	Extraction de matériaux	476,344	0,54	0,11	1,21
	Terres arables hors périmètres d'irrigation	476,344	296,20	62,18	63,39
	Vignobles	476,344	1,60	0,34	63,72
	Prairies	476,344	38,03	7,98	71,71
	Systèmes cultureux et parcellaires complexes	476,344	3,77	0,79	72,50
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	476,344	5,27	1,11	73,61
	Forêts de feuillus	476,344	113,23	23,77	97,38
	Forêts de conifères	476,344	7,75	1,63	99,01
	Forêts mixées	476,344	1,81	0,38	99,39
	Forêt et végétation arbustive en mutation	476,344	2,93	0,61	100,00
Le Serein à Chablis	Tissu urbain discontinu	1116,896	11,42	1,02	1,02
	Extraction de matériaux	1116,896	1,70	0,15	1,17
	Équipements sportifs et de loisirs	1116,896	0,28	0,03	1,20
	Terres arables hors périmètres d'irrigation	1116,896	431,93	38,67	39,87
	Vignobles	1116,896	31,42	2,81	42,69
	Prairies	1116,896	286,77	25,68	68,36
	Systèmes cultureux et parcellaires complexes	1116,896	21,66	1,94	70,30
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	1116,896	32,48	2,91	73,21
	Forêts de feuillus	1116,896	243,75	21,82	95,03
	Forêts de conifères	1116,896	24,58	2,20	97,23
	Forêts mixées	1116,896	24,09	2,16	99,39
	Landes et broussailles	1116,896	1,35	0,12	99,51
	Forêt et végétation arbustive en mutation	1116,896	4,61	0,41	99,92
	Plans d'eau	1116,896	0,86	0,08	100,00
L'Ource à Leuglay	Tissu urbain discontinu	176,121	1,06	0,60	0,60
	Terres arables hors périmètres d'irrigation	176,121	55,90	31,74	32,34
	Prairies	176,121	24,11	13,69	46,03
	Systèmes cultureux et parcellaires complexes	176,121	5,10	2,90	48,93
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	176,121	2,10	1,19	50,12
	Forêts de feuillus	176,121	77,69	44,11	94,23
	Forêts de conifères	176,121	8,30	4,71	98,95
	Forêts mixées	176,121	1,38	0,78	99,73
L'Yonne à Corancy	Forêt et végétation arbustive en mutation	176,121	0,48	0,27	100,00
	Tissu urbain discontinu	105,963	0,79	0,75	0,75
	Prairies	105,963	33,76	31,86	32,60
	Systèmes cultureux et parcellaires complexes	105,963	0,67	0,63	33,23
	Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	105,963	2,79	2,64	35,87
	Forêts de feuillus	105,963	26,20	24,73	60,60
	Forêts de conifères	105,963	30,44	28,72	89,32
	Forêts mixées	105,963	9,35	8,82	98,14
	Forêt et végétation arbustive en mutation	105,963	1,97	1,86	100,00

ANNEXE 10 : Tableau de données des obstacles à l'écoulement par bassin versant

Type	Bassin versant	Aire du BV (en km ²)	Nombre d'obstacles
Barrage	La Nièvre d'Arzembouy à Poiseux	234,865665	6
Digue		234,865665	0
NR		234,865665	10
Obstacle induit par un pont		234,865665	0
Seuil en rivière		234,865665	19
Barrage	La Seille à Saint-Usage	884,859997	58
Digue		884,859997	0
NR		884,859997	12
Obstacle induit par un pont		884,859997	3
Seuil en rivière		884,859997	67
Barrage	La Tille à Arceau	844,187613	16
Digue		844,187613	1
NR		844,187613	10
Obstacle induit par un pont		844,187613	25
Seuil en rivière		844,187613	110
Barrage	La Tille à Champdôtre	1256,48105	16
Digue		1256,48105	1
NR		1256,48105	10
Obstacle induit par un pont		1256,48105	27
Seuil en rivière		1256,48105	152
Barrage	La Tille à Crecey-sur-Tille	230,349333	4
Digue		230,349333	0
NR		230,349333	6
Obstacle induit par un pont		230,349333	8
Seuil en rivière		230,349333	12
Barrage	L'Armançon à Brienon-sur-Armançon	2977,33983	93
Digue		2977,33983	0
NR		2977,33983	95
Obstacle induit par un pont		2977,33983	35
Seuil en rivière		2977,33983	343
Barrage	L'Arroux à Dracy-Saint-Loup	773,081542	21
Digue		773,081542	0
NR		773,081542	9
Obstacle induit par un pont		773,081542	7
Seuil en rivière		773,081542	37
Barrage	L'Arroux à Rigny-sur-Arroux	2265,5961	190
Digue		2265,5961	0
NR		2265,5961	23
Obstacle induit par un pont		2265,5961	36
Seuil en rivière		2265,5961	103
Barrage	Le Nohain à Saint-Martin-sur-Nohain	476,34419	1
Digue		476,34419	0
NR		476,34419	16
Obstacle induit par un pont		476,34419	1
Seuil en rivière		476,34419	21
Barrage	Le Serein à Chablis	1116,89563	26
Digue		1116,89563	0
NR		1116,89563	12
Obstacle induit par un pont		1116,89563	1
Seuil en rivière		1116,89563	102
Barrage	L'Ource à Leuglay	176,12133	24
Digue		176,12133	0
NR		176,12133	16
Obstacle induit par un pont		176,12133	30
Seuil en rivière		176,12133	11
Barrage	L'Yonne à Corancy	105,96252	1
Digue		105,96252	0
NR		105,96252	3
Obstacle induit par un pont		105,96252	1
Seuil en rivière		105,96252	10

ANNEXE 11 : Tableau de données récapitulatif de l'occupation du sol pour la Bourgogne et l'ensemble des bassins versants sélectionnés

Catégorie	Bourgogne			Bassins versants			Pourcentage BV/B
	Aire (km²)	Pourcentage	Fréquences cumulées de la Bourgogne	Aire (km²)	Pourcentage	Fréquences cumulées des bassins	
Zones portuaires	0,374	0,001	0,001			0,000	0
Chantiers	1,923	0,006	0,007	0,36338	0,00444899	0,004	18,89681066
Marais intérieurs	2,066	0,007	0,014	0,50607	0,00619599	0,011	24,49859854
Plages, dunes et sable	3,560	0,011	0,025			0,011	0
Espaces verts urbains	6,339	0,020	0,045	0,27504	0,00336741	0,014	4,338779419
Vergers et petits fruits	9,192	0,029	0,074			0,014	0
Tissu urbain continu	10,600	0,033	0,107	1,51555	0,0185554	0,033	14,29770895
Aéroports	11,203	0,035	0,143	0,38487	0,00471209	0,037	3,435339357
Pelouses et pâturages naturels	16,074	0,051	0,193	1,05425	0,01290754	0,050	6,58834472
Landes et broussailles	22,790	0,072	0,265	2,33363	0,02857143	0,079	10,23955764
Reseaux routier et ferroviaire et espaces associées	23,289	0,073	0,339	2,7079	0,03315374	0,112	11,62734278
Equipements sportifs et de loisirs	35,066	0,111	0,449	7,91953	0,09696151	0,209	22,58455022
Extraction de matériaux	41,858	0,132	0,582	12,73658	0,1559383	0,365	30,42786278
Plans d'eau	83,098	0,262	0,844	16,05815	0,19660542	0,561	19,32442406
Cours et voies d'eau	89,640	0,283	1,127			0,561	0
Zones industrielles et commerciales	117,146	0,370	1,496	21,42179	0,26227429	0,824	18,28635178
Foret et vegetation arbustive en mutation	274,041	0,865	2,361	44,9265	0,55005048	1,374	16,39410544
Vignobles	330,107	1,041	3,402	34,54301	0,42292187	1,797	10,46417159
Forêts melangées	506,003	1,596	4,999	209,19495	2,56124522	4,358	41,34260669
Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	686,517	2,166	7,164	159,27535	1,95006251	6,308	23,20048667
Tissu urbain discontinu	816,364	2,576	9,740	141,98262	1,73834171	8,046	17,39206648
Forêts de conifères	940,750	2,968	12,708	308,06311	3,77172187	11,818	32,74654023
Systèmes cultureux et parcellaires complexes	1787,703	5,640	18,348	318,50099	3,8995164	15,718	17,81621298
Forêts de feuillus	7976,731	25,166	43,514	2105,00367	25,7722789	41,490	26,38930229
Prairies	8528,566	26,907	70,420	2285,65806	27,9840923	69,474	26,80002693
Terres arables hors périmètres d'irrigation	9375,738	29,580	100,000	2493,27984	30,5260766	100,000	26,59289174

ANNEXE 12 : Tableau de données récapitulatif des obstacles à l'écoulement pour la Bourgogne et l'ensemble des bassins versants sélectionnés

Type	Bourgogne			Bassins versants			Pourcentage BV/ Bourgogne
	Nombre	Pourcentage	Fréquences cumulées de la Bourgogne	Nombre	Pourcentage	Fréquences cumulées des bassins versants	
Epis en rivière	1	0,017749379	0,01774938		0	0	0
Grille de pisciculture	5	0,088746894	0,10649627		0	0	0
Digue	36	0,638977636	0,74547391	2	0,122774708	0,12277471	5,555555556
Obstacle induit par un pont	312	5,537806177	6,28328009	141	8,655616943	8,77839165	45,19230769
Non Renseigné	999	17,73162939	24,0149095	153	9,392265193	18,1706568	15,31531532
Barrage	1699	30,15619453	54,171104	415	25,475752	43,6464088	24,42613302
Seuil en rivière	2582	45,82889599	100	918	56,35359116	100	35,55383424

RÉSUMÉ

Le changement climatique est une réalité largement reconnue aujourd'hui dans la communauté scientifique, mais, à l'échelle régionale, ses caractéristiques restent à préciser. Ce mémoire s'inscrit dans le cadre du programme GICC (Gestion et Impact du Changement Climatique) HYCCARE (Hydrologie, Changement Climatique, Adaptation...) qui étudie l'impact du changement climatique sur la ressource en eau en Bourgogne. Une des spécificités d'HYCCARE, par rapport à d'autres travaux réalisés en France, est de porter sur de petits bassins versants (12 bassins versants ont été retenus). Ce mémoire étudie la représentativité de ces bassins versants par rapport à l'ensemble des bassins versants de Bourgogne et réalise des fiches descriptives dont la méthodologie est transposable aux bassins versants non étudiés dans HYCCARE. Pour cela, une sélection de critères de fonctionnement/morphologiques et des enjeux socio-économiques et environnementaux a été faite. Puis, l'étude de deux critères est présentée pour chacun des bassins versants et la réalisation des fiches descriptives est exposée, avec un modèle de fiche et la mise en pratique pour deux bassins versants. Enfin, pour les deux mêmes critères, la cartographie et l'étude de la représentativité est réalisée en comparant les données sur les bassins versants avec celles pour la Bourgogne. Pour les exemples présentés (occupation du sol et obstacles à l'écoulement), les résultats montrent que le choix des bassins versants est représentatif sur la Bourgogne. De plus les fiches descriptives permettent de récapituler la plupart des caractéristiques des bassins versants et semblent être un bon outil de comparaison pour les bassins versants non étudiés dans HYCCARE. Des limites ont été rencontrées : certains critères sont peu évidents à traiter et l'intérêt des fiches reste à démontrer. La pratique permettra certainement de répondre en partie aux incertitudes restantes.

Mots-clés

- ✓ changement climatique
- ✓ modélisation
- ✓ hydrologie
- ✓ bassin versant
- ✓ ressource en eau
- ✓ représentativité

ABSTRACT

Climate change is widely considered as a reality by scientists currently, but at regional scale, its characteristics remain to be clarified. This memory is linked with the GICC program (Management and Impact of Climate Change) HYCCARE (Hydrology, Climate Change, Adaptation...) studying the impact of climate change on water resources in Burgundy. One of the specificities of HYCCARE, compared to others works in France, is to focus on small watersheds (12 watersheds were selected). This paper studies the representativeness of these watersheds over the entire watershed area of Burgundy and gives descriptive sheets whose the methodology is transferable to watersheds which aren't studied in HYCCARE. For this purpose, a selection of criteria was made involving the functioning/ morphological and socio-economic and environmental issues. Then, the study of two criteria is presented for each watershed and the descriptive sheets realization is exposed with a sheet model and implementation for two watersheds. Finally, for the same two criteria, mapping and study of representativeness are realized by comparing the data for watersheds with the Burgundy ones. For the examples exposed (land use and obstacles to flow), the results show that the choice of watersheds is representative of Burgundy. In addition, the descriptive sheets allow summarizing most of the characteristics of watersheds and seem to be a good tool for comparing watersheds which aren't studied in HYCCARE. Limits have been met during the study: some criteria aren't easy to treat and the interest of descriptive sheets remains to be demonstrated. The practice will certainly solve some of the remaining uncertainties.

Keywords

- ✓ climate change
- ✓ modeling
- ✓ hydrology
- ✓ watershed
- ✓ water resources
- ✓ representativeness