



Programme GICC 2012

Rapport intermédiaire du projet HYCCARE – Bourgogne

(HYdrologie, Changement Climatique, Adaptation, Ressource en Eau en Bourgogne)



Mots-clés: changement climatique – modélisation – hydrologie - bassin versant - territoire -ressource en eau – gouvernance – collectifs - politiques « climat »

Responsable/Coordinateur scientifique :

TOUSSAINT Hélène, Chargée de mission

ALTERRE BOURGOGNE, 9 Boulevard Rembrandt - 21000 - DIJON

Tel : 03.80.68.44.30

fax : 03.80.68.44.31

Email : h.toussaint@alterre-bourgogne.org

Organisme (s) / Laboratoire (s) impliqué (s) dans le projet :

UMR 6282 Biogéosciences

(Équipes CRC (Centre de Recherches de Climatologie) et SEDS (Systèmes, Environnement et Dynamiques Sédimentaires), CNRS / Université de Bourgogne ;

UMR Agroécologie

INRA / AgroSup-Dijon / Université de Bourgogne ;

UMR 1041 CESAER

(Centre d'Economie et Sociologie Appliquées à l'Agriculture et aux Espaces Ruraux), INRA / AgroSup-Dijon ;

BRGM

Service des Actions Régionales, Service Géologique Régional Bourgogne Franche-Comté (27 rue Louis de Broglie, 21000 Dijon) et Service Eau (3 avenue Claude Guillemin, BP36009, 45060 Orléans cedex 2).

Résumé

Face au changement climatique, les politiques publiques se doivent de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation. Cela implique que les effets du changement climatique soient clairement identifiés à l'échelle des territoires. Or, en l'état actuel, les données locales sont trop peu nombreuses ou difficilement accessibles pour les décideurs. Une démarche d'action suppose de mieux caractériser localement les impacts du changement climatique et de développer des synergies entre chercheurs et acteurs du territoire pour préparer la décision publique.

Le projet s'articule autour de deux axes :

- l'un, sur la construction de connaissances relatives aux impacts du changement climatique sur la ressource en eau d'une dizaine de 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 l'action collective face au changement climatique dans une perspective d'adaptation et de conception de la gestion de la ressource en eau ajustée à un horizon temporel pluriannuel. Les résultats des recherches en climatologie et hydrologie de l'axe 1 seront mis en débat auprès des gestionnaires de la ressource en eau pour analyser le rôle des connaissances dans la prise en compte et la gestion du risque climatique. Cette recherche sera déclinée sur trois bassins versants qui ont été choisis dans le périmètre des trois Agences de l'eau partenaires du projet et qui représentent trois situations contrastées d'enjeux autour de la ressource en eau. L'analyse des dynamiques collectives autour des vulnérabilités et des pistes d'adaptation permettra de dégager les leviers pour faire émerger une politique publique autour des questions du changement climatique et de ses impacts. Ce volet sera alimenté par des enquêtes menées sur cinq autres bassins versants. Cet axe associe des regards disciplinaires en géographie, sciences de gestion et économie.

Le projet est porté par un collectif de chercheurs et de partenaires préoccupés par la gestion de l'eau, réuni par Alterre Bourgogne. Agence de l'environnement et du développement soutenable, Alterre joue un rôle reconnu de plateforme d'échanges et de concertation autour des questions de l'environnement pour assurer une de ses missions, « favoriser le passage à l'action ». Ce projet fait suite à des premiers travaux sur « l'impact du changement climatique sur la ressource en eau en Bourgogne », menés en 2009 par une partie de ce même collectif de chercheurs. Ces premiers travaux ont permis d'étudier l'impact de l'année 2003 sur les réserves hydriques des sols, mais n'intégraient ni des simulations sur des décennies futures ni les échanges avec les nappes souterraines.

Les modes de construction de l'interdisciplinarité entre chercheurs et du partenariat entre chercheurs et acteurs seront analysés pour dégager les conditions d'une concertation réussie : à partir de cet exemple de co-construction d'une question climatique concernant la gestion de la ressource en eau, comment peut s'organiser un territoire (région administrative, bassin versant...) pour mettre en place une politique d'adaptation qui réponde au mieux aux enjeux locaux ? L'originalité de ce projet réside tant par le mode de concertation au fil des travaux que par le rapprochement des échelles spatio-temporelle et décisionnelle.

Récapitulatifs des personnels impliqués (période 2013 – 2014)

Organisme Partenaire	nom de l'UMR/ service	Nom du chercheur	Qualification / titre	Financement direct par HYCCARE	WP
CNRS / uB	UMR 6282 Biogéosciences équipe CRC	CASTEL Thierry	Maître de Conférences		Connaissance de l'aléa climatique : évolution du climat et scénarios climatiques
		RICHARD Yves	Professeur		
		ROSSI Aurélien	Post-doc	Oui	
	UMR 6282 Biogéosciences SEDS	AMIOTTE-SUCHET Philippe	Maître de Conférences HDR		Connaissance sur l'impact : évolution de la ressource en eau à l'échelle de bassins versants
		BRULEBOIS Etienne	Stagiaire M2 2013 (Puis doctorant 2014)	Oui	
		UMR 6282 Biogéosciences équipe CRC	FOCK Séverine	Stagiaire M1 2013	
UPMC Paris VI	UMRSisyphé	LE MOINE Nicolas	Maître de Conférences		
BRGM	Orléans (siège)	STOLLSTEINER Philippe	Ingénieur hydrogéologue	Oui	
		PINSON Stéphanie	Ingénieur hydrogéologue	Oui	
	Bourgogne	DONEY Clément	Ingénieur hydrogéologue		
AgroSup- Dijon	UMR Agroécologie	UBERTOSI Marjorie	Maître de Conférences en Science du Sol		Connaissance sur l'impact : évolution de la réserve utile des sols
		VALLON Sophie	Stagiaire M1 2013	Oui	
		LEGRAS Olivier	Stagiaire M2 2014		
	D2A2E, service géomatique	BRAYER Jean-Marc	Ingénieur de recherche		Mise à disposition des données et des connaissances
INRA	UMR CESAER	PETIT Sandrine	Dr Ingénieur recherche		Analyse de la construction de collectifs autour des questions du changement climatique et des pistes d'adaptation
		VERGOTE Marie-Hélène	Maître de Conférences		
		MARTIN Elsa	Maître de Conférences		Analyse des vulnérabilités socioéconomiques
		VAITEVICIUTE Jaüné	Stagiaire puis CDD 2014	Oui	
ERACLES		BERTRAND François	Ingénieur de recherche associé au laboratoire CITERES (UMR CNRS 7324)	Oui	L'intégration du changement climatique dans les politiques de l'eau
Alterre Bourgogne		TOUSSAINT Hélène	chargée de mission	Oui	Coordination et animation du projet
		DE FORNEL Delphine	Stagiaire M2 2014	Oui	Analyse des vulnérabilités socioéconomiques
		SEYDOU Coulibaly	Stagiaire M2 2014	Oui	

Compte-rendu d'activités

1. Tableau d'état d'avancement des différents modules de recherche

module	Etat d'avancement		Date fin prévue
Connaissance de l'aléa climatique : évolution du climat et scénarios climatiques	<ul style="list-style-type: none"> - co-construction de l'axe 1 (échelle de temps climat) - Production des données de calage (1980 – 2010) - Calage du modèle et post-corrrections - Simulation selon 2 trajectoires 	<ul style="list-style-type: none"> Réalisé Réalisé En cours En cours 	Juin 2014
Connaissance sur l'impact : évolution de la ressource en eau à l'échelle de bassins versants	<ul style="list-style-type: none"> - Détermination des territoires d'études (bassins versants) avec les parties prenantes - analyse de leur représentativité - Calage du modèle hydroclimatique (WRF / GR4J) - Simulation sur 13 bassins versants : GR4 J (débits) Gardenia (piézo) - Construction de l'indice IDPR sur l'ensemble de la Bourgogne 	<ul style="list-style-type: none"> Réalisé Réalisé Réalisé En cours En cours 	Automne 2014
Connaissance sur l'impact : évolution de la réserve utile des sols	<ul style="list-style-type: none"> - Choix du modèle (STICS ou SWAT) - Evolution du bilan hydrique à l'échelle de bassins versants en contexte de changement climatique, mise en place d'une méthodologie : Calage du modèle sur un bassin versant (SWAT) 	<ul style="list-style-type: none"> Réalisé En cours 	Automne 2014 (Approfondissement possible en 2015)
Analyse des vulnérabilités socioéconomiques	<ul style="list-style-type: none"> - Vulnérabilité territoriale (1 bassin versant, problématique AEP) : construction d'une matrice de vulnérabilité, entretiens d'acteurs (analyse qualitative) - vulnérabilité de l'agriculture et fonction de production : construction de fonctions de production types, estimation de l'impact de modification des facteurs de production liés au climat sur la production et sur la marge brute - vulnérabilité de l'agriculture et rente foncière : construction d'un modèle explicatif du prix des terres, estimation de l'impact de modifications des déterminants climatiques sur le prix 	<ul style="list-style-type: none"> En cours En cours En cours 	Septembre 2014 (Approfondissement possible en 2015)
Analyse de la construction de collectifs autour des questions du changement climatique et des pistes d'adaptation	<ul style="list-style-type: none"> - Construction du sujet et choix de méthode (3 bassins versants). - organisation de la participation locale (animateurs, élus, CLE) - Entretiens auprès d'acteurs du territoire - Observation de débats locaux (Commission locale de l'eau) - mise en débat local et travaux prospectifs 	<ul style="list-style-type: none"> Réalisé Réalisé Démarré Démarré A venir 	mars 2015
L'intégration du changement climatique dans les politiques de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> - Cadrage de l'étude et de la méthode (5 bassins versants) - Entretiens auprès d'acteurs du territoire - restitution et croisement avec les études et observation participante des autres BV : a venir 	<ul style="list-style-type: none"> Démarré A venir A venir 	Automne 2014
Mise à disposition des données et des connaissances	<ul style="list-style-type: none"> - rencontre chercheurs –gestionnaires de l'eau - co-construction chercheurs – utilisateurs potentiels des types de connaissances et données à mettre à disposition - mise en ligne et élaboration d'une charte de fonctionnement 	<ul style="list-style-type: none"> Démarré A venir A venir 	Automne 2014
Coordination du projet	<ul style="list-style-type: none"> - rencontres périodiques entre chercheurs (comité de suivi) - alimentation d'une plateforme collaborative AGORA - organisation de rencontres avec les parties prenantes 	<ul style="list-style-type: none"> Réalisé Réalisé Réalisé 	

2. Suivi du calendrier

axe	module	tâche	2013				2014				2015			
			T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
axe 1	connaissance de l'aléa climatique : évolution du climat	modélisation WRF	[prévu]				[prévu]							
		estimer l'impact sur les ressources en eau à l'échelle des BV, modélisation GR4J	[prévu]				[prévu]				[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]
	connaissance sur l'impact : évolution de la ressource en eau	modélisation avec Gardenia sur 10 BV					[prévu]							
		modélisation IDPR pour extension à l'ensemble de la région					[prévu]	[prévu]						
	connaissance sur l'impact : évolution de la réserve utile des sols	bilan hydrique et mise en perspective activité agricole	[prévu]	[réalisé]			[prévu]	[réalisé]	[réalisé]	[réalisé]				
		comité de suivi scientifique et échanges partenaires	[prévu]	[réalisé]	[réalisé]	[réalisé]	[prévu]	[réalisé]	[réalisé]	[réalisé]	[prévu]	[réalisé]	[réalisé]	[réalisé]
co-construction de l'axe 1		[réalisé]	[réalisé]	[réalisé]	[réalisé]	[prévu]	[réalisé]	[réalisé]	[réalisé]	[prévu]	[réalisé]	[réalisé]	[réalisé]	
interface axe 1 et axe 2	organiser la concertation autour des questions de vulnérabilité et des pistes d'adaptation	organisation et animation des groupes de travail					[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]
		Vulnérabilité socioéconomique et territoriale					[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]
axe 2	analyse de la construction des collectifs autour des questions du CC et pistes d'adaptation	construction de l'action collective (travaux de groupes, enquêtes, analyse), place des savoirs, question climatique et politiques de l'eau					[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]
		Mise à disposition des données et des connaissances	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]
	plateforme collaborative WEB-SIG					[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	
	organisation d'un séminaire fin de travaux									[prévu]	[prévu]	[prévu]	[prévu]	

[prévu] prévu dans la réponse à l'APR 2012

[réalisé] Réalisé ou revu au 31 mars 2014

Le calendrier initial du projet HYCCARE est globalement bien suivi. A mi-parcours, les travaux de l'axe 1 sont en voie d'achèvement (simulations hydroclimatiques) et ceux de l'axe 2 sont aujourd'hui clairement définis et construits. Quelques retards sont toutefois apparus, sans conséquence majeure pour le projet :

- la production de données hydroclimatiques : la modélisation des pluies s'est avérée imparfaite à l'étape de calage de modèle et donc insatisfaisante pour passer à l'étape de simulation selon les trajectoires climatiques. Une post-correction a dû être testée et validée. Elle est opérationnelle depuis décembre 2013. L'ensemble des résultats pourront donc être disponibles mi-2014.
- Les travaux de groupe prévus sur le terrain : l'organisation des temps collectifs avec les parties prenantes est réfléchi avec les acteurs des territoires ciblés (3 bassins versants, soit un par agence de l'eau), plus particulièrement les animateurs des SAGE concernés. En 2014, deux événements majeurs affectent le calendrier d'animation des SAGE : le contexte des élections municipales de mars 2014 oblige les animateurs à revoir la composition des commissions locales de l'eau qui constituent le public prioritaire des travaux de groupe, et la révision des SDAGE est fortement mobilisatrice pour tous. Pour ces deux raisons, les travaux de groupe, prévus initialement début 2014, se dérouleront plutôt en fin d'année 2014- début 2015.

3. Tableau synthétique des principales réunions de coordination

Date	Chercheurs	Chercheurs/ acteurs	Ordre du jour et principales décisions	Nb présents
29/06/12		X	Obj : Présentation des modules de recherche, échanges, coordination générale Discuté : échelle de temps des simulations, périmètres des acteurs, localisation des simulations, vulnérabilité avec entrée agricole	20
6/07/12	X		Obj : échelle de temps, et choix des trajectoires Décidé : 120 ans en continu (1980 – 2100), 2 trajectoires (8.5 et 2.6), simulation avec WRF et forçage EURO-CORDEX	6
12/11/12	X		Obj : démarrage travaux de climatologie, coordination des modules Décidé : profil du CDD, simulations climato et hydro en continu, critères de préselection de BV possibles à tester	9
16/01/13	X		Obj : préparation choix des BV Décidé : sélectionner 10 BV, avec pool complémentaire de 15 BV, M1 sur la représentativité des BV / région Bourgogne	12
7/02/13		X	Obj : choix des bassins versants pour simulations hydroclimatiques Présentations et échanges avec les acteurs	24
mars			Newsletter n°1	80
9/04/13	X		Obj : choix des BV, présentation de la méthodologie des climatologues Discuté : calendrier des travaux (hydro/climato/pédo) ; collecte de données pour les aires géographiques hors Bourgogne des BV ; organisation des échanges de données climato/hydro ; coordination travaux stagiaires	15
mai			Newsletter n° 2	100
8/07/13	X		Obj : point d'avancement des travaux Discuté : calendrier des travaux des climatologues ; nécessité de post-corrections ; choix in fine du modèle de bilan hydrique (SWAT) ; offres de stages vulnérabilité et contour des sujets ; précisions sur l'orientation de l'axe 2 ; préparation de la rencontre chercheurs acteurs du 10 sept 2013	13
10/09/13		X	Obj : présentation par les chercheurs, questions avec la salle, travaux d'échange en sous-groupe Discuté : la représentation qu'ont les gestionnaires de l'eau du changement climatique ; le périmètre des acteurs pour les travaux de l'axe 2	35
19/11/13		X	Obj : préparation des travaux axe 2 sur les 3 BV Décidé : calendrier et phases des travaux	7
14/01/13	X		Obj : tour de table des travaux en cours Discuté : préparation et coordination des stages ; nécessité de préparer la mise à disposition des données ; intérêt d'utiliser le design territorial pour l'axe 2	12
11/02/13		X	Présentation du design territorial par un consultant	12
mars			Newsletter n° 3	120
7/03/13	X		Obj : transfert des données climato au BRGM (axe 1)	7
21/03/13	X		Obj : organisation collecte de données pour stage rente foncière	6

La coordination scientifique du projet se fait de plusieurs façons :

- en interdisciplinarité avec l'ensemble des chercheurs impliqués : des rencontres régulières ont eu lieu pour anticiper l'articulation entre les modules et finaliser le contenu de certains modules (comptes-rendus de COS disponibles),
- entre chercheurs concernés par un même axe ou d'un même module pour décider de choix méthodologiques, pour organiser le transfert de données ou pour valider des résultats intermédiaires,
- Par la mise en place d'une plateforme collaborative AGORA où sont stockés les différents documents de travail.

4. un projet de territoire associant les parties prenantes dans une perspective de recherche et d'innovation

Dans sa réponse à appel à projet de recherche, HYCCARE affichait une co-construction avec les acteurs utilisateurs de la ressource en eau et mobilisés pour sa gestion.

Cette « co-construction » s'opère à trois niveaux :

- dans l'échantillonnage des situations étudiées (choix des bassins versants avec l'aide de la DREAL ; concertation pour le choix des 3 bassins versants retenus dans l'axe 2 avec les agences de l'eau et EPTB)
- dans le porté à connaissance du dispositif de recherche et la mise en débat des premiers résultats des simulations climatiques (séminaire du 10 septembre 2013)
- dans l'ajustement entre le dispositif de recherche de l'axe 2 et l'animation des CLE et des SAGE sur les 3 bassins versants retenus pour l'axe 2 (rencontres des 19 novembre 2013 et 11 février 2014, contacts personnalisés). Les animateurs des SAGE ont été contactés pour être les relais entre la recherche et les acteurs du territoire. Des échanges ont eu lieu pour s'assurer de leur intérêt pour le projet et de leur implication en tant que relais. Le calendrier des travaux de groupe a été discuté en concertation pour ceux-ci s'intègrent au mieux au rythme de l'animation locale.

L'édition d'une newsletter permet de diffuser auprès de toute personne intéressée par le projet les informations relatives à l'avancement des travaux d'HYCCARE.

5. Inflexions du projet

Sur le module « hydroclimatique » :

- L'échelle de temps : la définition de l'échelle de temps des simulations climatiques a été réfléchi de façon concertée avec les parties prenantes, gestionnaires de l'eau et chercheurs. Les échanges organisés lors du lancement du projet HYCCARE (comité de suivi du 29 juin 2012) ont amenés les chercheurs à modifier leurs réflexions : peu d'intérêt pour tester plusieurs modèles, intérêts pour la période longue avec le poids des trajectoires, importance de la proximité temporelle pour les décideurs. L'échelle en continu présente aussi une originalité de recherche pour les sciences sociales : elle permet de cerner les logiques d'action en fonction des échelles temporelles (court-moyen-long-très long terme). Cela a rarement été testé grandeur nature à des échelles spatiales qui font sens pour la prise de décision et l'action. Les processus dynamiques de décision pourront être mis à jour dans l'adaptation au changement climatique.
- la modélisation hydroclimatique : le calage des modèles climatique et hydrologique s'est fait de façon interactive. Cela a permis de cerner les biais et d'en identifier l'origine précise (cf. résultats préliminaires).
- Initialement prévues sur 10 bassins versants, les simulations sont faites sur 12 bassins (soit 4 BV par agence de l'eau). Un 13^{ème} BV a été ajouté sur demande d'un animateur de SAGE concerné par les travaux de l'axe 2.

Le module « vulnérabilité » s'est précisé :

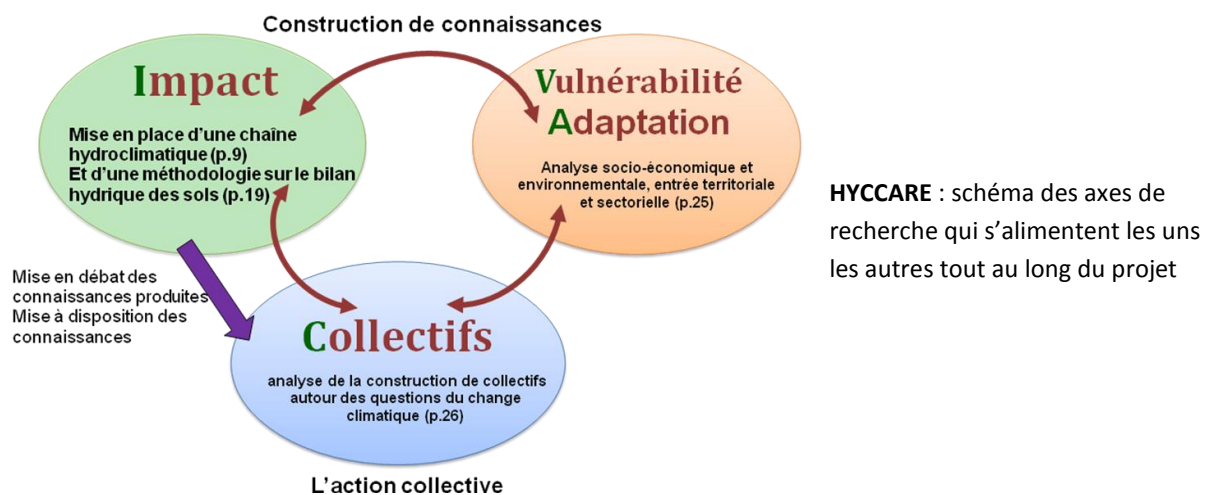
- Envisagée initialement sous l'angle de la confrontation entre besoins et offre potentiels en eau sur quelques bassins versants, l'analyse des vulnérabilités sera développée selon deux entrées :
 - o L'une sectorielle, avec un regard sur l'économie agricole et sur l'analyse de la formation de la rente foncière (analyse quantitative)
 - o l'autre territoriale, avec un zoom particulier sur l'effet conjugué développement urbain – évolution de la disponibilité en eau à l'avenir. Des entretiens auprès d'acteurs de l'eau et du territoire serviront de support pour l'estimation de cette vulnérabilité, ainsi que les leviers d'adaptations possibles (approche qualitative).
- Par ailleurs, l'application Strateau initialement prévue n'est finalement pas retenue pour quantifier la ressource en eau disponible en lien avec la demande des différents usages du territoire. Cette décision s'est basée sur la complexité du territoire et des ressources locales en eau. L'utilisation de Strateau qui sous-entendait la formulation de scénarii complexes a semblé peu pertinente à cette échelle.

Le module « construction des collectifs » s'est enrichi :

- Nous avons prévu de solliciter une compétence d'animation spécifique pour la mise en forme de scénarios d'adaptation au changement climatique. Initialement, nous avons prévu de mettre en débat les résultats de recherche de l'axe 1 dans des collectifs réunis autour de la gestion de l'eau. Il nous a semblé qu'au-delà d'un constat, l'appropriation de ces connaissances ne se ferait que par une traduction par les gestionnaires de l'eau et les acteurs des territoires des impacts du changement climatique sur la ressource en eau dont ils ont la charge et sur la manière de concevoir sa gestion. C'est pourquoi nous avons envisagé une forme de traduction en scénarios qui leur permettraient de se projeter dans le temps tout en prenant en compte un contexte territorial à plusieurs enjeux (ressources naturelles, habitat, développement économique, etc.). Pour faciliter l'animation, nous aurons recours à des consultants spécialisés en design territorial, une méthodologie de prospective créative basée sur la représentation matérielle d'un territoire sous la forme de maquette.
- La construction d'un module sur l'intégration du changement climatique dans les politiques de l'eau est renforcée.

Le module « mise à disposition des données » s'oriente aussi vers une co-construction :

- Le volume des données étant important, des choix devront être opérés pour une mise à disposition auprès de futurs utilisateurs. A cet effet, une rencontre entre chercheurs et utilisateurs potentiels des données sera organisée.



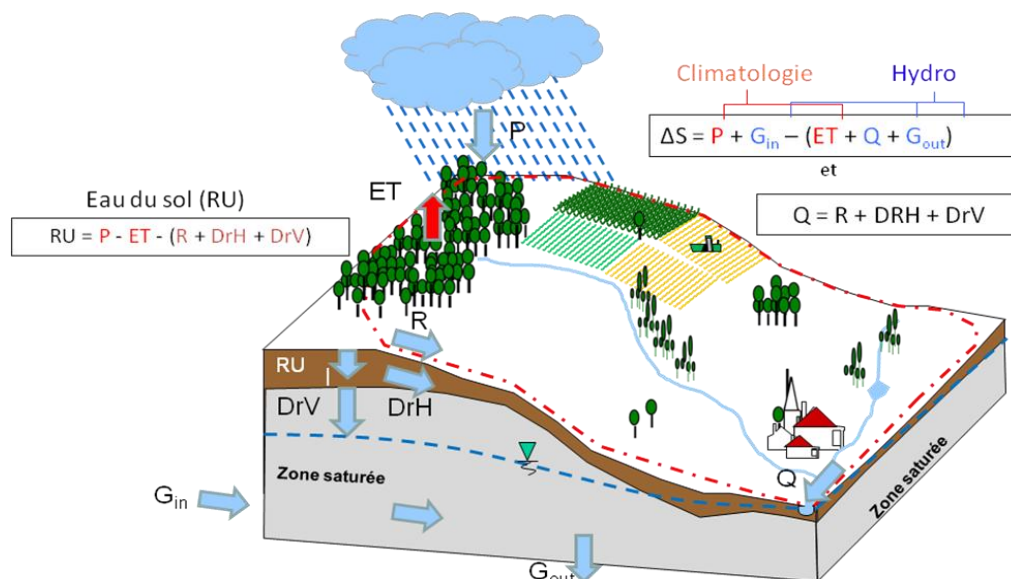
Résultats préliminaires : mise en place d'une chaîne hydroclimatique, calage des modèles et validation

A mi-parcours du programme GICC 2012, les résultats intermédiaires obtenus concerne les travaux relatifs à l'aléa climatique et l'impact sur la ressource en eau. Les travaux sur les autres modules seront présentés dans le chapitre « travaux prévus en seconde partie du projet ».

Le travail présenté ici propose un couplage entre une simulation hydrologique sur une douzaine de bassins versants bourguignons, et une simulation climatique (issue de la désagrégation d'un modèle climatique global par un modèle climatique régional). L'originalité de cette chaîne de modélisation hydroclimatique provient de l'échelle fine de la simulation (climat désagrégé à l'échelle de 3km), ainsi que de l'utilisation de données climatiques simulées pour calibrer un modèle hydrologique sur le temps présent (au lieu de données observées utilisées habituellement).

Les données sont produites par le modèle climatique régional (MCR) ARW/WRF (Skamarock *et al.*, 2008, précédemment utilisé sur la Bourgogne (Castel *et al.* 2010, Marteau *et al.* 2014, Xu *et al.* 2012). La désagrégation du climat est dynamique et les simulations sont effectuées à haute résolution spatiale sur la période 1980-2011, sur l'ensemble de la Bourgogne. Les paramètres climatiques (notamment les précipitations, températures, évapotranspiration) sont produits au pas de temps journalier.

Ces données alimentent des modèles hydro(géo)logiques (GR4J, Gardenia, SWAT) afin d'estimer les impacts du changement climatique sur la ressource en eau. Plusieurs bassins versants sont ainsi analysés selon l'évolution des débits, du remplissage de la réserve utile en eau des sols, et plus largement du bilan hydrique (intensité et la longueur de la recharge / vidange de la ressource).



Climat et cycle de l'eau : schéma des principaux critères alimentant les modèles hydroclimatiques

NB : Les éléments présentés ci-dessous sont issus de publications, modifiées d'après Rossi *et al.* ; Brulebois *et al.*, Ubertosi *et al.* ; actes du 27e colloque de l'Association Internationale de Climatologie (sous presse).

A. La modélisation climatique régionale : simulation du climat à haute résolution spatiale sur la Bourgogne (1980-2011)

L'aléa climatique est issu de la désagrégation dynamique d'un climat global (produit par un GCM ou issu de réanalyses sur le temps présent) par un modèle climatique régional (ARW/WRF). Le climat est ainsi simulé à une échelle spatiale fine avec une résolution de 3km sur l'ensemble de la Bourgogne et au pas de temps journalier.

Afin de valider la méthodologie de modélisation, une confrontation des jeux de données simulés et observés a été effectuée sur le temps présent (1980/2011). Le mode réanalyse assimile des données d'observation réparties sur l'ensemble du globe ce qui permet d'évaluer les simulations au pas de temps journalier.

1. Données climatiques observées et simulées

1.1. Modélisation climatique régionale (WRF)

Les réanalyses ERA-Intérim (Simmons *et al.*, 2006, Dee *et al.* 2011), d'une résolution spatiale 1,5° (~130km), sont utilisées pour alimenter latéralement le premier domaine du MCR (calé sur la fenêtre CORDEX Europe). La descente d'échelle se fait par emboîtements de domaines successifs et de résolution spatiale croissante (3 domaines). Le MCR résout le climat sur une grille finale de 3km de résolution spatiale (dont l'emprise couvre l'ensemble de la « Bourgogne »). Cette résolution permet de résoudre explicitement la convection (i.e. sans schéma de paramétrisation sous maille des cumulus). Les trois domaines (figure 1) communiquent entre eux selon la technique du « two-way nesting » permettant au domaine « enfant » (i.e. domaine 2 et domaine 3) de communiquer ses résultats de simulations au domaine « parent ». Les variables climatiques sont simulées toutes les 300 secondes, sauvegardées au pas horaire et analysées au pas journalier. Cette étape, qui simule le climat qui s'est réellement produit dans le passé récent, permet d'évaluer la robustesse du MCR et des simulations produites.

Domaines de la modélisation climatique régionale (WRF)

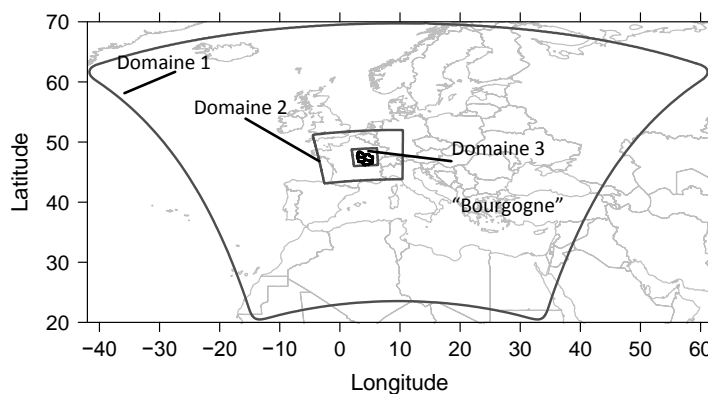


Figure 1 : illustration de l'emboîtement des trois domaines utilisés pour la modélisation climatique régionale en Bourgogne

Résolution spatiale : domaine 1 = 48 km, domaine 2 = 12 km, domaine 3 = 3 km

1.2. Données météorologiques

Afin d'évaluer la robustesse des simulations produites par le MCR, les variables simulées par le modèle WRF-ERA-Interim, notamment les précipitations et les températures, sont comparées aux données météorologiques journalières observées issues d'un réseau de 127 stations (source Météo-France) sur la période 1980-2011. Les stations sont réparties de façon homogène sur le territoire Bourguignon. Elles sont représentatives des principaux types d'occupation du sol en Bourgogne. Enfin, les stations sélectionnées ne présentent aucune lacune sur la période d'étude.

2. Analyse et validation des paramètres hydro-climatiques simulés par WRF_ERA-Interim (1980-2011)

La validation des simulations climatiques est un préalable en vue de leur utilisation pour alimenter des modèles d'impacts. En particulier, les modèles hydro(géo)logiques, utilisés dans le cadre du projet GICC HYCCARE-Bourgogne (modèles GR4J, résultats intermédiaires-B ; Gardenia ; SWAT, résultats intermédiaires-A), nécessitent de disposer comme variables d'entrées de paramètres hydro-climatiques pas ou peu biaisés. La bonne représentativité de la variabilité spatiale et temporelle de ces paramètres, essentiellement les précipitations et l'évapotranspiration, est en effet nécessaire pour effectuer un calage robuste des modèles.

2.1. Précipitations

Les précipitations journalières WRF_ERA-Interim simulées sont analysées et comparées aux données météorologiques observées sur la période 1980-2011 (figure 2). La variabilité spatiale des précipitations (figure 2a) est cohérente avec la géographie (relief, occupation du sol) du territoire Bourguignon. On note une pluviométrie moyenne plus importante au niveau des reliefs (par exemple, dans le Morvan ; ou à l'est de la région, dans le massif du Jura). Dans les secteurs de faible altitude, la plaine de Saône (s'étendant dans les départements de la Côte d'Or et de la Saône-et-Loire) est plus arrosée que les marges sud-est du bassin parisien (ouest de la Nièvre et quasi intégralité de l'Yonne).

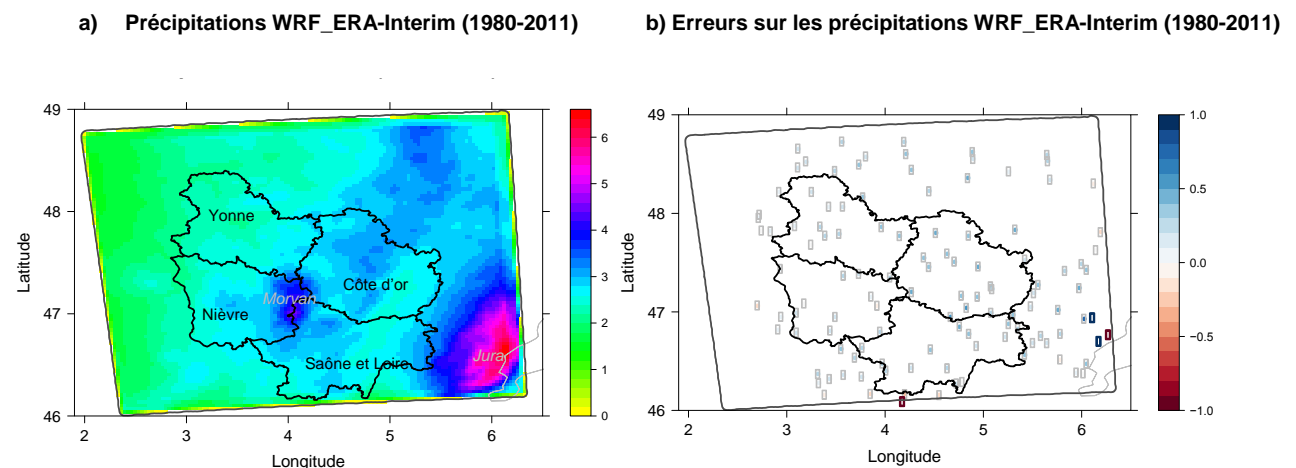


Figure 2 : Précipitations WRF_ERA-Interim sur la période 1980-2011. (a) représentation spatiale de la moyenne journalière ; (b) erreurs en comparaison des données météorologiques observées.

Les précipitations sont exprimées en moyenne journalière sur l'ensemble de la période 1980-2011 (mm/jour). Les erreurs calculées correspondent à la différence entre les précipitations WRF_ERA-Interim (point de grille le plus proche) et les données observées (stations). Les valeurs supérieures (inférieures) aux bornes de l'échelle de variation choisie, à 1 mm/jour (-1 mm/jour) sont figurées par des ronds mis en gras bleu (rouge).

En comparaison avec les précipitations observées, on note une légère surestimation sur la quasi-totalité du domaine « Bourgogne » (à l'exception de quelques points indiquant une sous-estimation). En moyenne, cette surestimation est de 0.37 mm/jour sur la période 1980-2011.

La figure 3 montre que la variabilité interannuelle des précipitations est correctement reproduite (i.e. alternance d'années plus ou moins sèches ou humides). D'un point de vue quantitatif, l'erreur moyenne sur le cumul annuel est de 34,8 mm/an, soit une surestimation d'environ 3,5%. Certaines années sont toutefois moins bien reproduites, comme en 1986 (+ 150 mm/an) ou 2003 (+ 218 mm/an) par exemple.

Comparaison des précipitations annuelles WRF_ERA-Interim / observations (1980-2011)

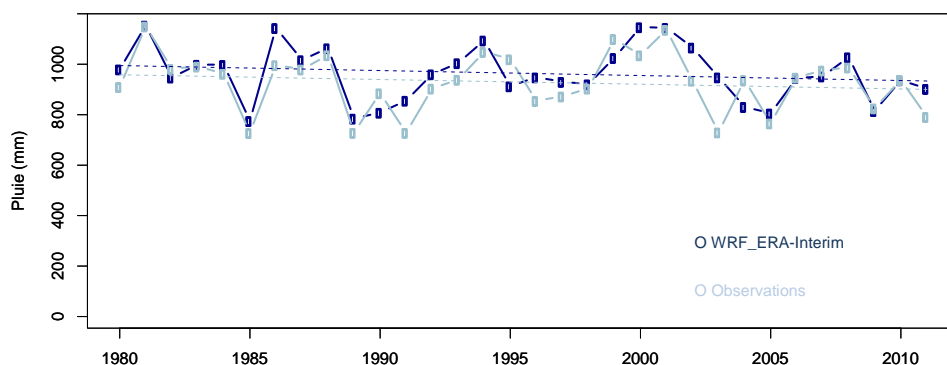


Figure 3 : Comparaison entre les évolutions des cumuls annuels de précipitations WRF_ERA-Interim (bleu foncé) et observées (bleu clair) sur la période 1980-2011.

A l'échelle saisonnière (*tableau 1*), les différences sont maximales pendant la période où les précipitations convectives sont dominantes (globalement de mars à août). Ce comportement rejoint les résultats présentés par Marteau *et al.* (2014).

Saisons	Précipitations WRF_ERA_Interim	Précipitations observées	Différences (WRF – OBS)
DJF	219 mm	228 mm	- 9 mm
MAM	248 mm	224 mm	+ 24 mm
JJA	264 mm	227 mm	+ 37 mm
SON	228 mm	245 mm	-17 mm

Tableau 1: Comparaison entre les cumuls saisonniers des précipitations WRF_ERA-Interim et observées (bleu clair) sur la période 1980-2011.

La surestimation moyenne est de 24 mm au printemps (MAM) et de 37 mm en été (JJA). A l'inverse, une légère sous-estimation, en moyenne de 9 mm, est observée en hiver (DJF). Elle est un peu plus marquée, en moyenne de 17 mm, en automne (SON).

2.2. Evapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle est un paramètre hydro-climatique important. Il est utilisé comme variable d'entrée des modèles d'impacts hydro(géo)logiques. L'avantage conféré par la modélisation climatique régionale est qu'il est possible de calculer une évapotranspiration à très haute résolution spatiale (contrairement aux mesures généralement peu denses en ce qui concerne le rayonnement ou le vent). L'évapotranspiration générée par WRF permet de prendre en compte l'hétérogénéité spatiale des propriétés du territoire.

Le calcul de l'évapotranspiration est basé sur l'équation de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). Cette équation utilise les paramètres climatiques simulés par WRF_ERA-Interim (températures, rayonnement, vitesse du vent, humidité relative de surface). Elle est appliquée à l'ensemble des points de grille du domaine « Bourgogne » au pas de temps journalier et sur la totalité de la période 1980-2011.

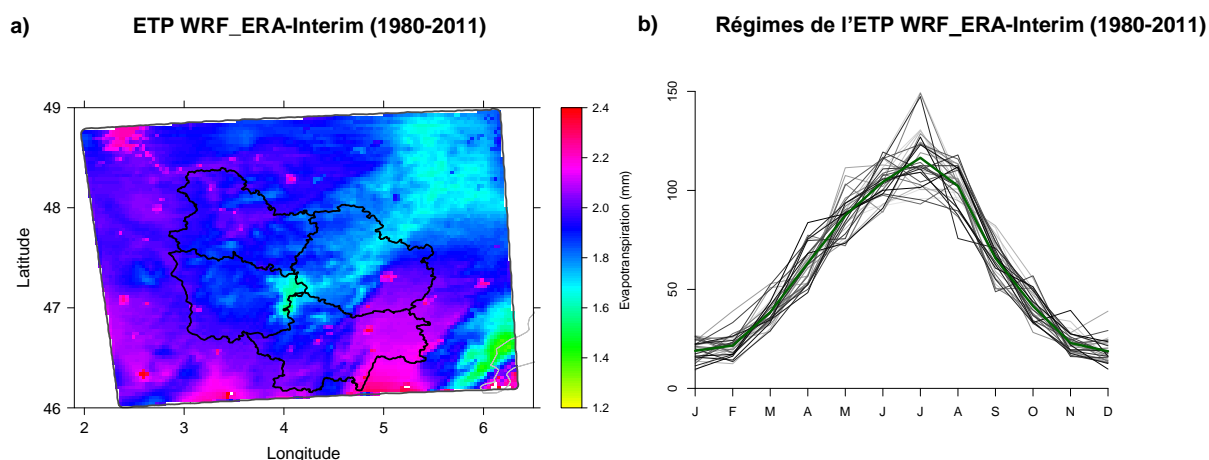


Figure 4 : Evapotranspiration de Penman-Monteith calculée à partir des variables climatiques WRF_ERA-Interim sur la période 1980-2011. (a) représentation spatiale de la moyenne journalière ; (b) évolution interannuelle de la répartition au cours de l'année.

L'évapotranspiration est exprimée en moyenne journalière sur l'ensemble de la période 1980-2011 (mm/jour). Les régimes de l'évapotranspiration au cours de l'année sont représentés des années les plus anciennes (gris foncé) aux années les plus récentes (gris clair). Le module interannuel moyen est représenté en vert (gras).

Même s'il reste difficile d'évaluer les biais de l'évapotranspiration ainsi calculée (du fait notamment du manque d'observations), les résultats indiquent une bonne prise en compte de la variabilité spatiale (*figure 4a*). La carte est conforme aux résultats attendus. L'évapotranspiration présente également un cycle saisonnier cohérent (*figure 4b*). Ces deux points demeurent essentiels quant à la bonne représentativité de ce processus hydro-climatique dans les modèles d'impacts, en particulier vis-à-vis du calcul du bilan hydrique.

D'autre part, ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus par Boulard *et al.*, (in prep.), qui ont permis de valider l'ETP produite par WRF (à une résolution spatiale de 8 km) en la comparant avec celle obtenue par les données SAFRAN (Météo France).

Discussion et conclusion

Les simulations produites par la chaîne de modélisation WRF_ERA-Interim au pas de temps journalier sur la période 1980-2011, pour le domaine « Bourgogne » (résolution spatiale de 3 km), ont été analysées et comparées aux données météorologiques d'observations. Les paramètres hydro-climatiques nécessaires à l'alimentation des modèles d'impacts hydro(géo)logiques, notamment les précipitations et l'évapotranspiration, reproduisent correctement la variabilité spatiale (hétérogénéités du territoire) et temporelle (de l'échelle saisonnière aux variations interannuelles). Les précipitations produites par le MCR montrent toutefois un biais quantitatif (surestimation des pluies - similaire à ceux déjà observé sur la région par Marteau *et al.* 2014) sur l'ensemble du domaine « Bourgogne » ; essentiellement localisé pendant la période des précipitations convectives (mars-août).

La bonne représentation de la variabilité spatiale et temporelle des simulations climatiques produites sur la période récente permet donc d'envisager leur utilisation en vue d'une modélisation hydrologique.

Toutefois, il apparaît nécessaire de mettre en place une méthodologie de post-correction des biais des précipitations. En effet la surestimation des précipitations par WRF empêche d'obtenir une calibration suffisamment robuste des modèles hydrologiques (voir Brulebois *et al.*, résultats intermédiaires-B). Cette méthodologie doit non seulement rendre compte des caractéristiques décrites précédemment des biais observés dans les précipitations simulées par le MCR (i.e. bonne représentativité de la variabilité spatiale et temporelle des pluies, biais quantitatif variant saisonnièrement), mais doit également être applicable dans un contexte de changement climatique (augmentation des températures).

B. La modélisation hydrologique : potentialités d'une chaîne hydroclimatique à l'échelle des bassins versants bourguignons

L'impact du changement climatique sur la ressource en eau est possible grâce au couplage entre une modélisation climatique et une modélisation hydrologique. Les données produites par la modélisation climatique vont donc servir à alimenter les modèles hydrologiques. Au préalable, il est toutefois nécessaire de procéder à la calibration des modèles hydrologiques sur le temps présent. La validation de ces calibrations et du couplage hydroclimatique est développée ici.

1. Principes de la modélisation

1.1. Modélisation climatique

De façon générale, les données climatiques utilisées lors de la calibration d'un modèle hydrologique sur le temps présent proviennent d'observations. L'objectif est de calibrer le modèle hydrologique à partir des données issues de la désagrégation dynamique d'un climat global. Les ré-analyses ERA-Intérim ((Simmons *et al.*, 2006) ont été choisies afin d'alimenter le modèle climatique régional Weather Research and Forecasting (WRF) (Skamarock *et al.*, 2008). Par emboîtements de domaines successifs, il permet d'obtenir une information climatique journalière (initialement sur une maille de 150km de côté) à une résolution spatiale de 3km sur la période 1980-2011, sur toute la Bourgogne. Le jeu de données ainsi obtenu est appelé "simulation WRF".

1.2. Choix du modèle hydrologique

Le modèle hydrologique est le modèle conceptuel GR4J développé par l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA) (Perrin, 2007 ; Perrin *et al.*, 2003). C'est un modèle pluie-débit global, journalier, et à faible nombre de paramètres, choisi pour sa robustesse et sa simplicité. Les données en entrée sont le cumul moyen journalier de précipitations et d'évapotranspiration potentielle sur l'emprise du bassin versant. En sortie le modèle produit le cumul journalier de lame d'eau écoulée à l'exutoire du bassin versant. Le modèle GR4J possède deux réservoirs interconnectés (réservoir de production et de routage), une fonction d'échange souterrain et un hydrogramme unitaire, permettant de représenter l'essentiel du comportement hydrologique du bassin versant. Les paramètres de ces fonctions sont calibrés pour chaque bassin versant, à partir de débit observé. Ces paramètres et leurs intervalles de variation (Perrin, 2007 ; Perrin *et al.*, 2003) sont décrits dans le tableau 1.

Tableau 1 : Paramètres du modèle GR4J et leurs intervalles de variation (Perrin, 2007 ; Perrin *et al.*, 2003)

Paramètre (unité)	Signification	Borne inférieure	Borne supérieure
X1 (mm)	Volume du réservoir de production	100	1200
X2 (mm/jour)	Coefficient d'échange souterrain	-5	3
X3 (mm)	Volume du réservoir de routage	20	300
X4 (jour)	Hydrogramme unitaire	1.1	2.9

1.3. Choix des bassins versants

Les exutoires des bassins versants étudiés sont sélectionnés parmi les stations hydrométriques de la Banque HYDRO (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, 2014) possédant une chronique de débit d'au moins 20 ans entre 1980 et 2011; des débits non-influencés et dont la qualité de la mesure est fiable; des bassins versants représentatifs des différents contextes hydrogéologiques bourguignons et des enjeux liés à la ressource en eau. La localisation géographique des 12 bassins versants retenus est présentée dans la figure 1. Ils ont chacun leur exutoire en Bourgogne, dont ils occupent 26% du territoire (soit 8222 km²). Ils sont répartis équitablement entre les bassins hydrographiques de la Seine, de la Loire et du Rhône. Le régime hydrologique des 12 bassins versants est de type pluvial (figure 2). L'écoulement annuel moyen est d'environ 370 mm/an. La période d'étiage se situe au mois d'Août avec un cumul mensuel moyen d'environ 10 mm et celle de hautes eaux en décembre et janvier, avec environ 60 mm en moyenne au mois de Janvier.

- 1 Armançon à Brienon/A (2982 km²)
- 2 Arroux à Dracy-St-Loup (776km²)
- 3 Arroux à Rigny/A (2277km²)
- 4 Yonne à Corancy (106km²)
- 5 Nièvre d'Arzembouy à Poiseux (224km²)
- 6 Seille à St-Usuge (937km²)
- 7 Tille à Arceau (846km²)
- 8 Tille à Champdôtre (1258km²)
- 9 Tille à Crecey/T (231km²)
- 10 Nohain à St-Martin/N (473km²)
- 11 Serein à Chablis (1119km²)
- 12 Ource à Leuglay (173km²)

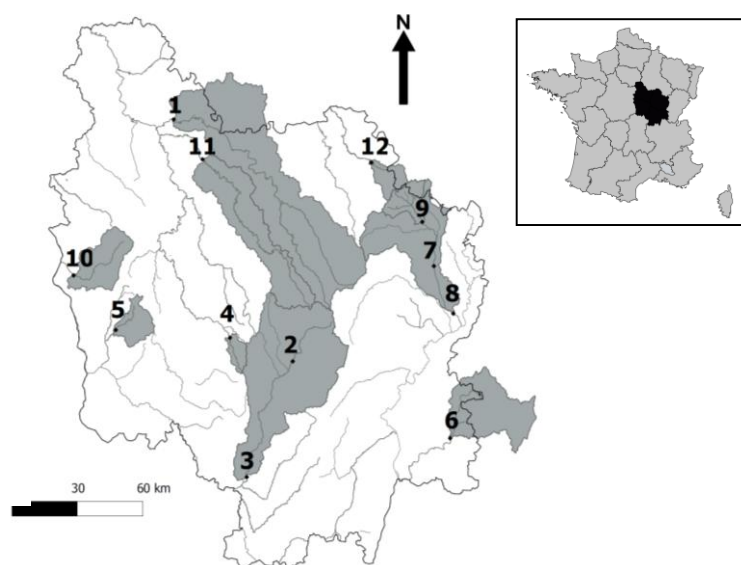


Figure 1 : Localisation géographique des 12 bassins versants étudiés

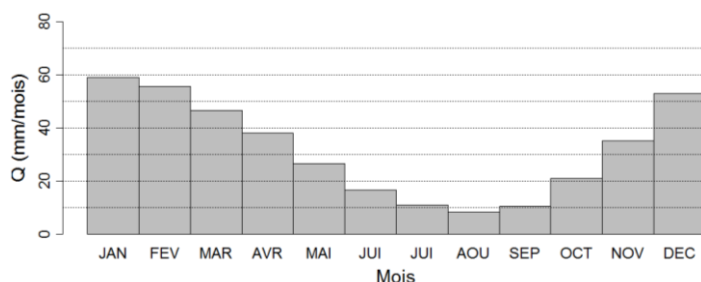


Figure 2 : Régime hydrologique moyen des 12 bassins versants

1.4. Méthode de calibration/contrôle

Pour la calibration de GR4J, une méthode de split/sampling (Klemes, 1986) est utilisée afin d'optimiser le nombre de périodes de calibrations et de contrôles sur la période entière de disponibilité de données. Ainsi, sur la période 1980-2011, on isole 3 sous-périodes (1980-1990, 1990-2000 et 2000-2011) que l'on utilise successivement en calibration et en contrôle. La figure 3 décrit l'utilisation des sous-périodes lors de la calibration sur la sous-période P1. Chaque sous-période sert une fois en calibration et deux fois en contrôle afin d'éprouver plus efficacement la robustesse du modèle. La première année de chaque sous-période servant à l'initialisation du modèle (estimation du remplissage initial des réservoirs), les sous-périodes se chevauchent d'une année.

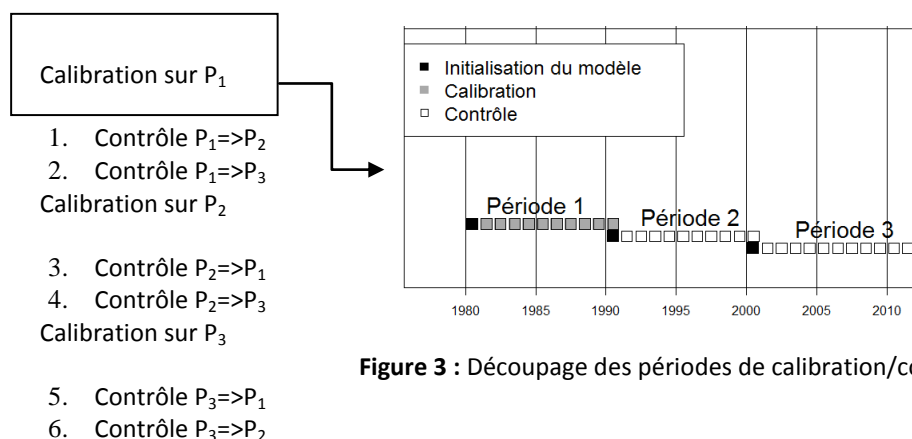


Figure 3 : Découpage des périodes de calibration/contrôle

1.5. Critères de performance

Le critère de Nash et Sutcliffe (NS) (Nash et Sutcliffe, 1970) appliqué aux débits journaliers (figure 4) a été utilisé comme fonction à maximiser durant la calibration des paramètres. Deux variantes de ce critère ont également été utilisées : le NS appliqué à la racine carrée des débits (NS R(Q)) et au logarithme népérien des débits (NS ln(Q)), davantage exigeant sur l'ensemble des débits et sur les faibles débits respectivement (Le Moine, 2008). Lors des contrôles, les mêmes critères sont calculés, auxquels s'ajoute un critère fréquentiel (CF), basé sur la différence maximale entre les courbes de distribution fréquentielle des débits simulés et observés (Massey, 1951). Pour chaque critère, une valeur de 1 signifie une reproduction parfaite des débits observés.

Avec :

1. NS : Critère de Nash et Sutcliff
2. $Q_{obs,i}$: le débit observé au jour i (mm)
3. $Q_{sim,i}$: le débit simulé au jour i (mm)
4. Q_{obs} : le débit moyen observé (mm)

$$NSI = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

Figure 4 : Critère de Nash et Sutcliffe (1970)

2. Résultats

2.1. Performances moyennes en calibration/contrôle

La capacité de GR4J à reproduire les débits observés, en calibration et en contrôle, a été analysée grâce aux critères de performance journaliers décrits précédemment (tableau 2). L'analyse du tableau 2 montre que les valeurs de performances moyennes obtenues avec les simulations WRF sont inférieures à celles obtenues par les développeurs du modèle sur un large échantillon de bassins versants à partir de données climatiques observées (Perrin *et al.*, 2003). Elles sont cependant proches de celles obtenues par Hurkmans *et al.* (2010) sur huit sous-bassins du Rhin, dans une étude utilisant la même méthodologie (désagrégation successive de ré-analyses pour alimenter un modèle hydrologique). Ici, la performance décroît fortement entre la calibration et le contrôle (-0.1 en moyenne). Cela prouve une faible robustesse du modèle, et invalide les valeurs des paramètres fixées lors de ces calibrations. Les difficultés de calibration de GR4J sont imputées à la mauvaise reproduction des précipitations par WRF, mise en évidence par la comparaison de calibrations successives à partir de données d'ETP et de précipitations simulées et observées. Une post-correction a donc été appliquée aux précipitations uniquement (Rossi *et al.*, 2014). Les performances moyennes obtenues en contrôle à partir des précipitations corrigées (WRF corrigé/GR4J, tableau 2) sont proches des valeurs de références du modèle (Perrin *et al.*, 2003) et supérieures à celles obtenues par Hurkmans *et al.* (2010). La différence de performance entre la calibration et le contrôle est cette fois-ci de -0.04 en moyenne (tableau 2).

Tableau 2 : Valeurs moyennes des critères de performance obtenues en calibration (Cal.) et en contrôle (Cont.) selon la chaîne hydroclimatique (Mod.) et le nombre de bassins versants étudiés (BV).

Mod.	Référence	BV	NS		NS R(Q)		NS ln(Q)		CF
			Cal.	Cont.	Cal.	Cont.	Cal.	Cont.	Cont.
WRF/GR4J	Ce travail	12	0.305	0.162	0.363	0.289	0.393	0.302	0.827
WRF corrigé/GR4J		12	0.532	0.492	0.601	0.568	0.612	0.577	0.863
Observations/GR4J	Perrin <i>et al.</i> , 2003	349	-	0.510	-	0.619	-	0.575	-
REMO/VIC	Hurkmans <i>et al.</i> , 2010	8	0.410	0.100	-	-	-	-	-

Légende : NS = critère de Nash et Sutcliff ; NS R(Q) = NS sur la racine des débits ; NS ln(Q) = NS sur le log des débits ; CF = critère fréquentiel

2.2 Application sur le bassin versant de l'Armançon à Brienon-sur-Armançon

Les simulations utilisant les données climatiques simulées (WRF et WRF corrigé) sont comparées à celles utilisant les données climatiques observées. Cette comparaison a été effectuée sur le bassin versant de l'Armançon, choisi pour la présence sur son emprise de 4 stations d'observations des précipitations (MétéoFrance). Le tableau 3 donne les résultats des critères de performances en calibration et en contrôle. Sur ce bassin versant, les performances obtenues lors des calibrations utilisant les précipitations simulées WRF corrigées ou non (tableau 3) sont globalement meilleures que les performances moyennes sur les 12 bassins versants (tableau 2). Bien que la performance soit encore inférieure à la performance de GR4J utilisant les précipitations observées, elles s'en rapprochent nettement lorsqu'on utilise les précipitations WRF corrigées (ou la dépasse même dans le cas du critère fréquentiel CF).

Tableau 3 : Valeurs moyennes des critères de performance obtenues en calibration (Cal.) et en contrôle (Cont.) selon la chaîne hydroclimatique (Mod), sur le bassin de l'Armançon.

Modélisation	NS		NS R(Q)		NS ln(Q)		CF
	Cal.	Cont.	Cal.	Cont.	Cal.	Cont.	
P observées /GR4J	0.869	0.779	0.879	0.794	0.862	0.771	0.890
WRF/GR4J	0.371	0.183	0.417	0.318	0.419	0.313	0.851
WRF corrigé/GR4J	0.648	0.603	0.688	0.641	0.693	0.630	0.903

Légende : NS = critère de Nash et Sutcliffe ; NS R(Q) = NS sur la racine des débits ; NS ln(Q) = NS sur le log des débits ; CF = critère fréquentiel

Concernant la variabilité des débits, les simulations hydrologiques utilisant les précipitations WRF corrigées reproduisent mieux les débits que celles utilisant les précipitations WRF non corrigées (figure 5). De plus, elles sont globalement assez proches de celles utilisant les précipitations observées (P obs).

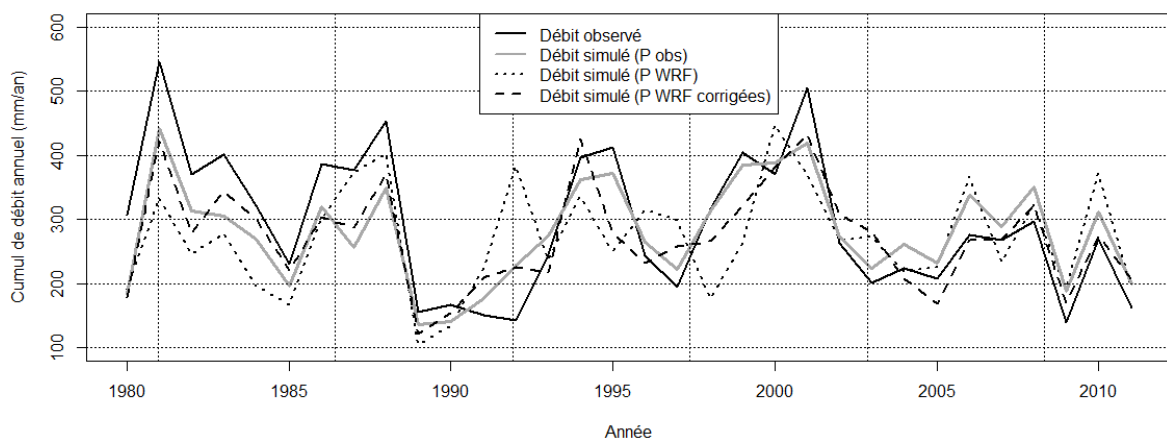
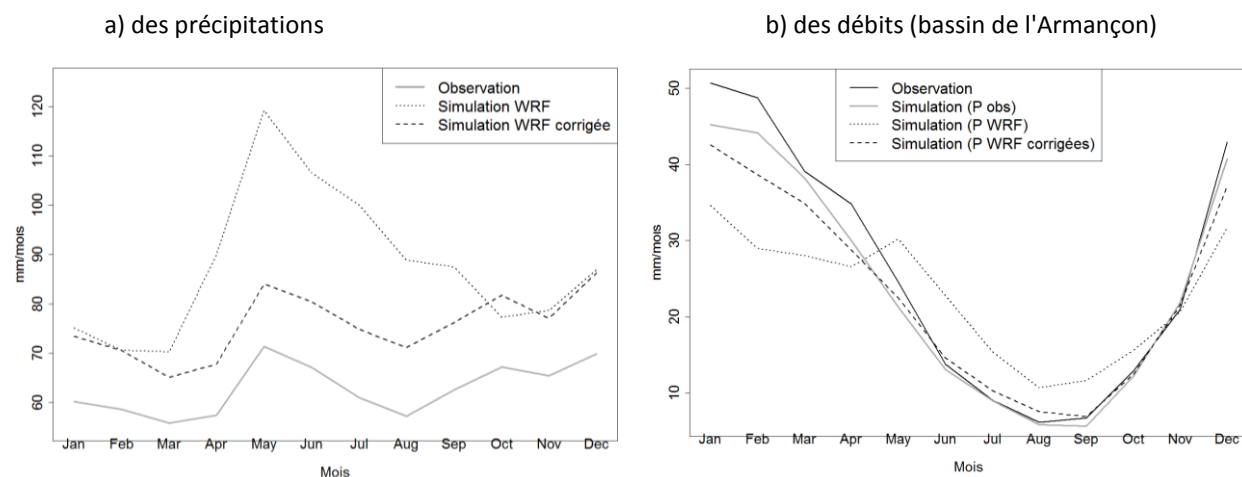


Figure 5 : Débits annuels simulés et observés de l'Armançon à Brienon-sur-Armançon

La comparaison du régime mensuel interannuel des précipitations (figure 6 a) montre une meilleure reproduction du régime après la correction. Bien que les précipitations corrigées restent systématiquement supérieures aux précipitations observées, l'impact de cette surestimation sur les débits simulés semble être faible. En effet, les simulations GR4J utilisant les précipitations WRF corrigées sont proches de celles utilisant les précipitations observées (figure 6 b). La surestimation est compensée lors de la calibration des paramètres (notamment du paramètre X2). On constate alors une très bonne reproduction du régime hydrologique sur la période d'Avril à Novembre alors qu'un léger biais sec demeure durant les mois hivernaux.

Figure 6 : Régimes interannuels simulés et observés



Conclusion

Les premières calibrations utilisant les données WRF (précipitations et évapotranspiration potentielle) n'ont pas permis la validation du couplage, mais la post-correction des précipitations (Rossi *et al.*, 2014) a permis une reproduction nettement meilleure des débits observés, proche de celle du modèle utilisant les précipitations observées. Ces résultats permettent de valider le couplage hydroclimatique. Les paramètres du modèle fixés sur le temps présent pourront donc être réutilisés dans une simulation hydrologique alimentée par les projections climatiques futures. Cela permettra l'évaluation de l'impact du changement climatique à l'échelle de bassins versants de taille réduite, et ainsi une prise de décision efficace par les acteurs de la gestion de l'eau à l'échelle locale.

C. Remplissage de la réserve utile des sols : évolution du bilan hydrique à l'échelle de bassins versants en contexte de changement climatique – mise en place d'une méthodologie

En parallèle, la simulation climatique permettra également d'évaluer l'évolution du bilan hydrique et du remplissage de la réserve utile en eau des sols sur la période 1981-2100. Cette étude analysera des paramètres comme la réserve utile en eau, le ruissellement, le prélèvement par la végétation ou le transfert dans les sols non saturés / saturés. L'échelle spatio-temporelle fine de ces résultats contribuera à rendre lisible le risque pour les acteurs du territoire. La méthodologie envisagée pour la détermination de l'évolution du bilan hydrique durant le 21^{ème} siècle, sur un bassin versant pilote, est développée ici.

Compte tenu du nombre de paramètres en jeu et de la complexité de leur relation, la caractérisation du bilan hydrique des sols et l'évaluation des écoulements dans la zone non saturée à l'échelle d'un bassin versant ne peut être évaluée que par l'utilisation d'un modèle.

1. Choix d'un modèle agronomique

Le choix du modèle agronomique a été réalisé en 2013. Il a consisté à un travail de comparaison entre deux modèles : le modèle STICS (Brisson et Mary, 2002) et le modèle SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold *et al.*, 1998). Tout deux permettent la prise en compte de variations environnementales (climatiques), et anthropiques (occupation du sol, itinéraires techniques...) sur les systèmes culturaux (production agricole et

impacts environnementaux). Ces deux modèles utilisent des relations empiriques différentes pour représenter les termes du bilan hydrique et ne prennent pas en compte tous les processus avec la même finesse.

In fine, le critère déterminant dans le choix du modèle a été l'échelle de simulation. Tandis que le modèle STICS est particulièrement adapté pour la simulation à l'échelle d'une parcelle agricole, le modèle SWAT, lui, est davantage adapté à l'échelle du bassin versant. Il comprend en effet des unités spatiales fines (appelées HRU) qui permettent de calculer des sorties pour chaque sous-bassin et ainsi de les agréger par bassin. Dans le cadre de cette étude, c'est l'échelle du bassin versant qui a été privilégiée. C'est par conséquent le modèle SWAT qui a été choisi pour la modélisation agronomique. Les travaux sont prévus sur un des 13 bassins versants faisant l'objet de simulations hydroclimatiques.

2. Alimentation du modèle : les données nécessaires

Les principales variables d'entrée dynamique de SWAT sont : les précipitations, les températures (moyenne, minimale et maximale), le rayonnement solaire, la vitesse du vent ainsi que l'humidité moyenne.

Les données de sol et d'occupation du sol constituent les principaux jeux de données "statiques" utilisés pour alimenter SWAT. Les données d'occupation des sols sont issues du CORINE Land Cover 2006 (European Environment Agency). Elles ont été reclassées en 24 classes pour s'ajuster aux classes utilisées et paramétrées pour le LSM (Land Surface Model) couplé au modèle de climat WRF. Les données sont de type raster avec une maille de 100m de côté.

La base de données sol utilisée est le Référentiel Pédologique de Bourgogne (<http://igcs-stb.org/>). Il s'agit de la déclinaison régionale du programme national « Inventaire Gestion et Conservation des Sols » (Arrouays *et al.*, 2004). Il est constitué : (i) d'une base de données géographiques où sont délimités les pédopaysages ou Unités Cartographiques de Sols (UCS) qui désignent une portion de la couverture pédologique, représentable à l'échelle du 1/250000^e, dont les contours sont définis en fonction de caractéristiques topographiques, géologiques et pédologiques et (ii) d'une base de données sémantiques décrivant par un ensemble de variables les caractéristiques des différents objets constituant les UCS : l'Unité Typologique de Sol (UTS), portion de la couverture pédologique qui présente la même succession d'horizons (ou strates) en tout lieu de l'espace, le profil et la strate. Chaque strate est caractérisée par les variables de texture, teneur en matière organique, teneur en éléments grossiers, épaisseur... En Bourgogne sont ainsi référencés 450 pédopaysages. Ceux-ci peuvent contenir entre 1 et 10 types de sol (de 3 à 5, le plus souvent). Un type de sol est constitué de 1 à 5 strates (entre 2 et 4, le plus fréquemment).

3. Fonctionnement du modèle SWAT

Le modèle SWAT est un outil d'évaluation de la dynamique de l'eau à l'échelle d'un bassin versant fluvial. Il a été utilisé et validé à de nombreuses reprises en différents contextes : changement climatique, changement d'occupation du sol, effet des pratiques agricoles (Gassman *et al.*, 2007). Ce modèle permet de manipuler et d'analyser de nombreuses données hydrologiques et agronomiques en vue de prédire les effets de la gestion des terres sur la ressource hydrique. Il utilise une imbrication d'échelle spatiale dont l'unité spatiale élémentaire est appelée HRU (Hydrologic Response Unit ou Unité de Réponse Hydrologique) (figure 1).

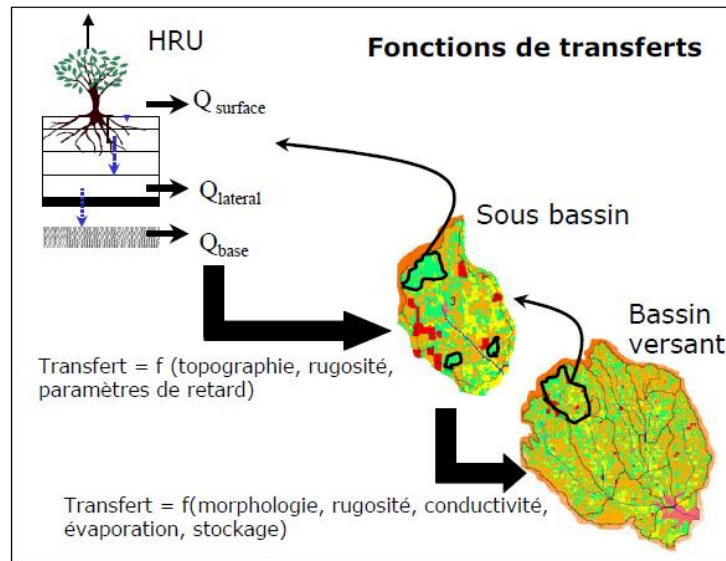


Figure 1 : Schématisation des fonctions de transferts de SWAT (Chaponnière, 2005)

Les HRU sont obtenues par croisement de données de différents types : le climat, l'occupation du sol, le sol et la topographie. Une étape importante consiste à construire la spatialisation des unités typologiques de sols indispensables à la caractérisation des HRU. Le modèle SWAT simule les données agricoles (croissances des cultures, consommation d'intrants) et environnementale (transferts d'eau et de nutriments, sédimentation) pour chacune de ces HRU. Une fonction de transfert permet d'accéder au bilan hydrique à l'échelle de chaque sous-bassin présent dans le bassin versant (chaque sous-bassin est identifié par la présence d'un cours d'eau). Enfin, une fonction de transfert permet l'évaluation du bilan hydrique à l'échelle globale du bassin versant.

La fiabilité des sorties du modèle augmente avec le nombre de HRU. Par conséquent, plus la résolution des données spatiales en entrées sera fine, plus la simulation du modèle sera fiable.

4. Résultats attendus

La première étape du processus de modélisation consiste à calibrer le modèle SWAT pour simuler les aspects quantitatifs (évapotranspiration, percolation). Le calibrage des paramètres de SWAT sera réalisé sur la période 1980 à 2010 sur le bassin pilote en veillant à reproduire de manière satisfaisante plusieurs variables de sorties du modèle. On comparera alors les simulations de rendements aux observations issues de données statistiques agricoles, ainsi que les simulations de flux hydriques aux flux hydriques mesurés à l'exutoire du bassin versant. Une fois que les résultats des simulations seront validés par comparaison avec les valeurs attendues sur le terrain avec un degré de précision suffisant, le calibrage du modèle sera considéré comme validé et des simulations prospectives intégrant les chroniques climatiques futures pourront être réalisées.

Les résultats attendus permettront d'estimer le degré de variation des termes du bilan hydrique selon la trajectoire radiative. Ces éléments conduiront à une cartographie haute résolution de la vulnérabilité des territoires vis à vis de la réserve utile des sols. Les résultats serviront de base à des études prospective sur l'adaptation des activités agricoles, sylvicoles et viticoles.

Conclusions intermédiaires et synthèse

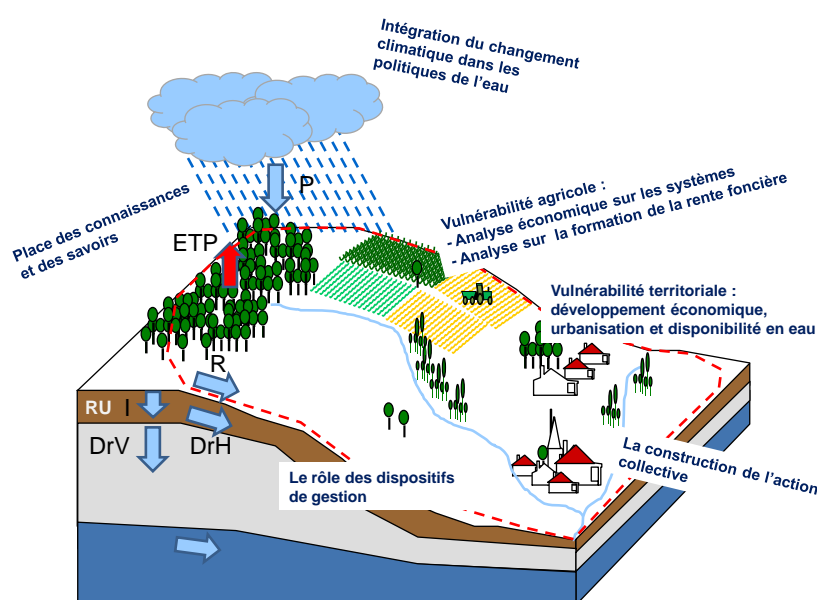
A mi-parcours du projet, des étapes importantes sont maintenant franchies. Après comparaison entre les jeux de données climatiques simulés et les jeux de données SAFRAN, il est apparu que les variables climatiques utilisées dans le calcul de l'ETP étaient correctement reproduites, tandis qu'un biais existait concernant les précipitations (cf. Boulard *et al.*, 2014). Une méthodologie de post-correction des précipitations a donc été développée afin de réduire ce biais. Les nouveaux jeux de données climatiques ont permis une bien meilleure calibration du modèle hydrologique sur le temps présent. Ce résultat valide l'ensemble de la chaîne hydroclimatique.

Ces difficultés rencontrées pour la validation de la chaîne de modélisation ont entraîné un retard de quelques mois dans la mise en débat des connaissances produites. Néanmoins, ce retard a été mis à profit pour mûrir les travaux en sciences économiques et sociales et pour organiser les contacts avec les acteurs de terrain.

Travaux prévus en seconde partie du projet

Les travaux sur l'axe 2 (modules relatifs à l'action collective et à l'émergence de politique climatique), ont bien été prévus en 2^{ème} partie de projet. Depuis le démarrage du projet, les chercheurs en sciences humaines ont participé à toutes les rencontres interdisciplinaires du comité de suivi (ou COS), se familiarisant ainsi avec les contraintes des modèles et la nature des connaissances produites. Les méthodologies des travaux de l'axe 2 se sont ainsi imprégnées des savoirs en cours de construction. 2013 a donc été une année de maturation des modules de sciences économiques et sociales. Elle a abouti à un schéma (fig. p.29) intégrant les différentes dimensions traitées dont les questions de recherche ont été précisées. De plus, des entretiens et des contacts avec des acteurs du territoire ont eu lieu pour valider et concevoir le travail avec les groupes locaux.

Par ailleurs, les travaux de modélisation hydroclimatique se poursuivent pour produire les données selon les deux trajectoires sélectionnées ainsi que les connaissances sur le changement climatique et ses impacts sur les ressources en eau à l'échelle de bassin versant. Ces connaissances seront mises en débat lors d'ateliers participatifs prévus dans l'axe 2.



Le territoire de l'eau : schéma des questions en sciences économiques et sociales traitées dans HYCCARE

A. Poursuite des travaux de modélisation hydroclimatique : simulation et gestion des incertitudes et des biais liés au modèle

1. Simulations hydroclimatiques (1980-2100)

Les données climatiques sont produites au pas de temps journalier et à une échelle spatiale compatible avec la taille du bassin versant. Le modèle climatique régional non hydrostatique ARW/WRF (version 3.3.1, Skamarok *et al.* 2008) forcé latéralement par le Modèle de Circulation Générale ARPEGE-Climat (Voldoire *et al.* 2013) suivant les deux trajectoires RCP 2.6 et RCP 8.5 (Moss *et al.* 2010) est utilisé pour désagréger le climat. Cette désagrégation se fait par descentes successives d'échelles utilisant trois domaines emboîtés jusqu'à une

résolution spatiale de 3 km sur l'ensemble de la Bourgogne. Afin d'étudier l'évolution future de la ressource en eau, les deux trajectoires sont désagrégées en continu sur la période 1980-2100. Ce dernier aspect constitue une des particularités du projet afin de documenter en continu l'évolution de la ressource en tenant compte entre autres de la variabilité climatique multi-décennale et de sa déclinaison à l'échelle des bassins versants bourguignons. L'idée est d'avoir une image robuste, aux incertitudes près, de la trajectoire tant en terme de direction (haussière, baissière ou stable), de forme (e.g. lisse et progressive ou par paliers homogènes ou hétérogènes) que d'amplitude relative, de la ressource en eau en général et du bilan hydrique en particulier.

2. Gestion des incertitudes

2.1. Incertitudes liées au choix des GCM

Notre expérience de régionalisation ne permet toutefois pas d'estimer directement l'incertitude associée aux projections climatiques qui est une source importante des incertitudes dues au changement climatique sur les éléments de la ressource en eau (Teng *et al.* 2012). Cette estimation passe par une approche en runs d'ensemble (multi-MCG, multi-RCP et multi-conditions initiales) impossible à réaliser sur des simulations longues et multi-domaines à partir des RCM avec les moyens de calcul et de stockage actuels (Terray et Boé 2013). Pour approcher l'incertitude, la descente d'échelle adoptée dans notre expérience utilise un premier domaine calé sur le domaine EURO-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>) qui sert de base pour d'autres études de régionalisation. L'incertitude à l'échelle de ce domaine, et en partie à l'échelle des domaines emboîtés, pourra être estimée avec un jeu d'ensemble constitué des simulations réalisées par d'autres équipes dans le cadre d'EURO-CORDEX.

2.2. Identifier la variabilité interne

Le dispositif précédent nous permettra d'appréhender deux des trois principales sources d'incertitude (trajectoire et connaissance des processus physiques et de leurs rétroactions) associées aux trajectoires du forçage radiatif et aux principaux compartiments (océan, atmosphère, cryosphère, surface continentale etc.) qui composent le système climatique. La troisième source qualifiée de variabilité interne ou naturelle du système climatique est principalement portée par la nature chaotique des processus qui gouvernent la dynamique atmosphérique. Cette variabilité pose des limites inhérentes de prévisibilité du climat et il convient de la documenter dans une perspective de prise de décisions en lien avec le changement climatique (Deser *et al.* 2012). Des runs d'ensemble sont généralement utilisés pour quantifier cette variabilité (Crétat and Pohl 2012). Ces expériences visent, toutes choses égales par ailleurs, à produire plusieurs membres dont les conditions initiales ont été perturbées. Cette approche n'est pas directement envisageable pour notre expérience de régionalisation. Afin néanmoins d'aborder cet aspect, nous conduirons des expériences d'ensemble sur des années tests choisies en début, milieu et fin de siècle. Pour chacune de ces années un minimum de 10 runs seront réalisés.

B. Analyse des vulnérabilités socioéconomiques

Les vulnérabilités socio-économiques engendrées par le changement climatique seront abordées suivant deux entrées : une entrée territoriale et une entrée sectorielle. L'ensemble des travaux menés dans cette partie ont une dimension exploratoire.

L'entrée sectorielle se concentrera sur le secteur agricole et sera abordée sous un angle quantitatif. Il s'agira essentiellement d'évaluer les coûts potentiels générés par les conséquences du changement climatique sur les systèmes (secteurs d'activité, milieux, territoire...). Nous nous concentrerons sur les coûts marchands, marge brute agricole et prix du foncier agricole. Deux approches seront mobilisées : une approche par les fonctions de production et une approche ricardienne, en référence à l'analyse de la rente foncière.

La première approche visera à poser les bases d'un **futur couplage entre modèle biophysique et économique** (modélisation bio-économique). Elle sera alimentée par l'analyse des bilans hydriques avec SWAT qui devrait permettre de comprendre quels facteurs pédoclimatiques limitants sont à prendre en compte lors de l'analyse des choix de production (choix de culture, recours à l'irrigation...) actuels et futurs. Cette approche sera donc menée sur les mêmes bassins versants et se concentrera sur des systèmes de grandes cultures. L'analyse économique visera à estimer les conséquences du changement climatique sur les marges agricoles en considérant les autres critères qui influencent de telles prises de décision (cadres réglementaires, contexte des prix agricoles...) comme constants. Le modèle développé dans le cadre d'HYCCARE sera principalement économique et fera donc un certain nombre d'hypothèses simplificatrices sur la formation des rendements agricoles. Ce sera le rôle d'une éventuelle modélisation bio-économique future de tenir compte d'une manière moins simplifiée des contraintes techniques de production.

La seconde approche envisagée sur le secteur agricole est celle de **l'analyse de la formation de la rente foncière**. Cette approche, appelée l'approche ricardienne (voir Mendelsohn, Nordhaus et Shaw, 1994), permet de dépasser l'analyse de l'effet du changement climatique sur une production agricole unique en envisageant les possibilités d'évolution des productions. L'hypothèse sous-jacente à cette prise en compte est que la rente foncière est égale au rendement net de l'usage le plus élevé et le meilleur de la terre. Les déterminants du prix des terres agricoles (hors cultures permanentes) seront recherchés. Parmi ces déterminants, on s'attend à ce que deux grands types de facteurs aient un rôle important : les facteurs ayant une influence sur la productivité agricole (climat, sol...) et les facteurs contribuant à la valeur du foncier agricole sans contribuer à la productivité agricole (la proximité à une zone urbaine).

L'entrée territoriale pose d'emblée la question du périmètre d'étude. Quel territoire choisir pour étudier la vulnérabilité socio-économique induite par l'effet du changement climatique sur la ressource en eau ? Le bassin versant est identifié comme le territoire efficace pour toutes les questions relatives à la gestion de l'eau. (Mermet L., Treyer S., 2001). Dans ce cadre, une première étape a été d'estimer les vulnérabilités grâce à la construction d'une grille d'analyse qui recense les aléas climatiques et les usages de l'eau par secteurs d'activités présents sur le bassin versant de la Tille (Agence de l'eau RMC, 2012). Cette analyse sur les différents secteurs socio-économiques fait ressortir une question majeure relative à l'alimentation en eau potable : Le développement socio-économique du territoire, qui passe par l'urbanisation de celui-ci, est-il interrogé par l'évolution de la disponibilité en eau ? L'impact possible du changement climatique sur la ressource en eau peut-il infléchir ou freiner les stratégies de développement urbain ? Faut-il considérer la croissance urbaine comme génératrice de vulnérabilités pour le territoire dans un futur contexte climatique ? (Lussault M, 2009, 2012)

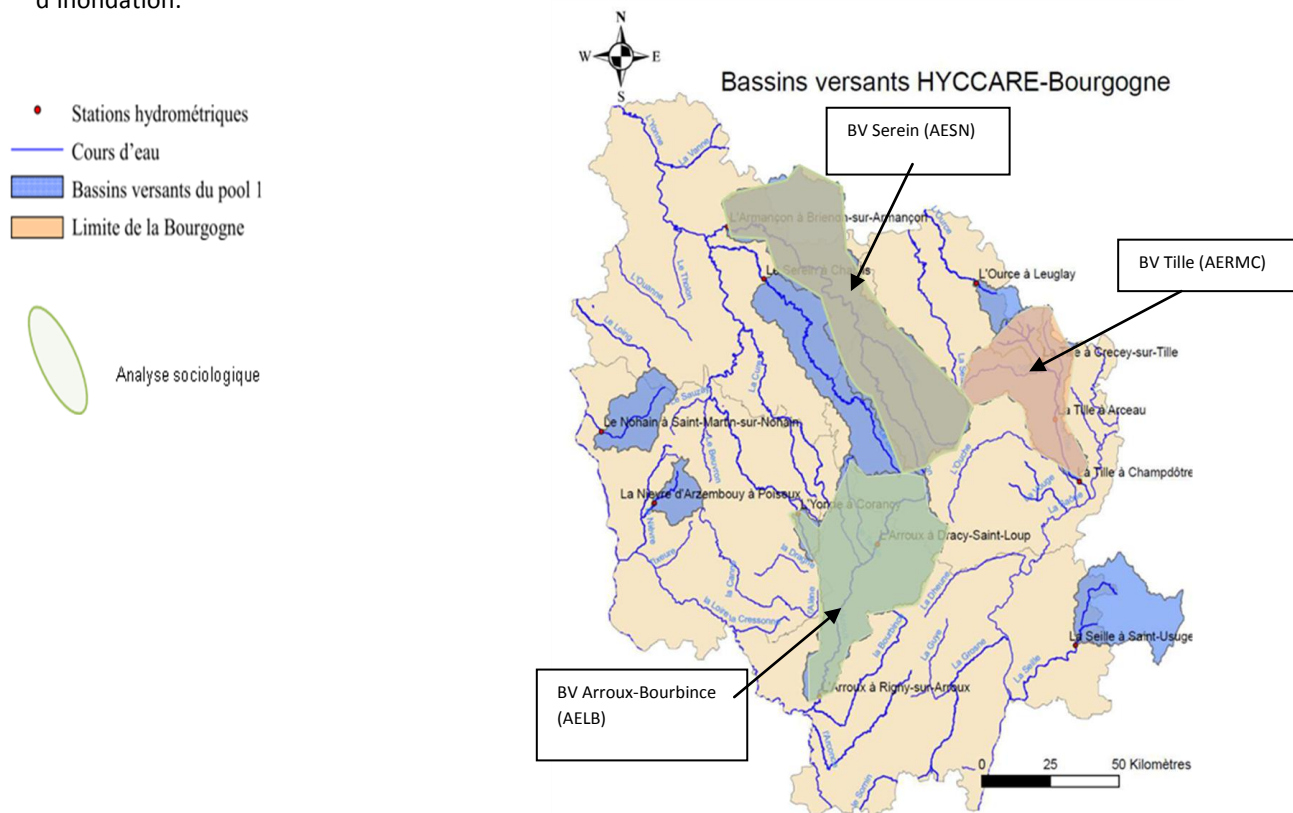
Ce questionnement suppose de préciser le périmètre du territoire à investiguer. Il ne peut être la seule délimitation hydrologique de la ressource en eau, c'est-à-dire celle du bassin versant (en l'occurrence la Tille). Le périmètre doit intégrer la cohérence socio-économique de ce territoire d'étude, sous l'angle approvisionnement en eau potable. Dans ce cas présent, l'agglomération dijonnaise et sa périphérie sont à la

fois le périmètre d’approvisionnement en eau potable (constitué notamment par 3 bassins versants distincts) et celui de consommation d’eau. Or ces périmètres sont déjà sensibles aux tensions récurrentes sur les ressources et sont identifiés comme ZRE (zones de répartition des eaux).

Les vulnérabilités du territoire liées à l’eau potable et à la croissance urbaine (OCDE, 2013) seront abordées par une série d’entretiens d’acteurs de l’eau et de l’aménagement du territoire. La méthode qui semble adaptée à l’extraction des informations issues des entretiens sera une entrée par la sociologie de la traduction (Narcy J.B., 2013 ; Callon M. 1986). Ces entretiens ont pour objectif d’apporter un éclairage sur les points de vulnérabilité actuels de l’agglomération dijonnaise dans son alimentation en eau potable et d’interroger les acteurs du territoire sur le devenir de ces vulnérabilités et sur les leviers d’actions à mettre en œuvre dans un contexte de changement climatique.

C. Analyse de la construction de collectifs autour des questions du changement climatique et des pistes d’adaptation

Dans cet axe de recherche, l’analyse porte sur **l’action collective pour s’adapter au changement climatique**. Les travaux sont menés sur 3 bassins versants contrastés: la Tille (AERMC), l’Arroux - Bourbince (AELB) et l’Armançon (AESN). Le bassin versant de la Tille rassemble de nombreux usages (agricoles / grandes cultures, carrières, golf, ...) associés à une proximité avec l’agglomération de Dijon où les besoins d’alimentation en eau potable sont forts. Les bassins de l’Arroux-Bourbince combinent des enjeux industriels et agricoles (élevage). Enfin, le bassin versant de l’Armançon, essentiellement rural, est fortement sensible au phénomène de crue et d’inondation.



Pour des acteurs locaux, il est difficile de se saisir de la question du changement climatique. Ce sujet est fortement empreint d'incertitudes, à la fois sur les connaissances produites (incertitudes liées aux modèles et aux hypothèses des scénarios), sur les événements-mêmes (quel phénomène, quand surviendra-t-il avec quelle fréquence, quelle intensité, où...) et sur la nature des réponses à apporter. La relation au temps et à l'espace est également inhabituelle, le changement climatique apparaissant comme lointain (100 ans...) et concernant surtout autrui (la planète, d'autres régions du globe...). Une des étapes de l'axe 2 consistera à comprendre, par des entretiens ciblés, comment les acteurs se représentent le changement climatique et ses conséquences locales sur la ressource en eau, **sur quels savoirs s'appuient ces représentations**.

Cela permettra de déterminer comment se construit une représentation plus ou moins partagée, préalable à l'action collective, et quel est le cheminement qui conduit les acteurs locaux **vers un dispositif de gestion collective** de la ressource en eau intégrant les effets du changement climatique. Cette dernière étape fera l'objet d'ateliers participatifs. Si des dispositifs de gestion existent bien aujourd'hui pour que des décisions collectives se construisent, on peut s'interroger sur la capacité de ces espaces à se saisir des enjeux que fait peser le changement climatique sur les ressources en eau. Nous interrogerons la capacité des dispositifs de gestion actuels à intégrer le changement climatique ou à répondre à des événements climatiques imprévus. Ce point sera traité par le biais d'entretiens et d'observation de réunions dédiées à la gestion d'aujourd'hui, les commissions locales de l'eau. En complément de ces observations, l'analyse sur les situations rencontrées en Bourgogne permettra de comprendre comment le risque climatique (en termes de vulnérabilités) est diversement intégré dans les politiques locales de gestion de l'eau à partir d'enquêtes menées sur cinq autres bassins versants.

1. La place des connaissances et des savoirs

Les savoirs locaux sur « le temps qu'il fait » sont parfois consignés dans les agendas d'agriculteurs, qui notent les conditions climatiques du jour et les récoltes faites¹. Ceux-ci font part de moissons précoces et les viticulteurs remarquent une tendance à avancer les vendanges dans la saison. Cette documentation locale ne suffit pas à anticiper quel sera le climat de demain mais les acteurs locaux sont de fins observateurs des dynamiques de la ressource en eau. Quant aux travaux de climatologie à l'échelle locale, ils restent rares et font appel à des techniques sophistiquées de modélisation parfois difficiles à partager avec les profanes. Ainsi, on peut considérer que pour concevoir des actions de gestion de la ressource en eau sur le long terme, une attention spécifique doit être portée aux connaissances. Deux types de savoirs vont entrer en jeu : les savoirs construits par la science et les savoirs empiriques issus de l'observation et de l'expérience personnelle ou collective. Nous faisons l'hypothèse que la mobilisation de ces savoirs pourra faire exister le risque, permettre son appropriation puis d'envisager les conséquences sur les activités.

Les connaissances produites dans l'axe 1 par la mise à disposition de cartes et de simulations d'évolution de la ressource en eau apporteront aux gestionnaires des données spatialisées et quantitatives. Nous observerons les débats suscités par leur présentation. Comment ces informations suscitent-elles l'action ? Pour aller vers la prise de décision, les gestionnaires ont-ils besoin de cartes, de quantités d'eau disponibles sur leur territoire, sur le territoire voisin, de température d'eau, à quelle échelle d'espace et de temps ?

Les savoirs empiriques seront interrogés lors **d'entretiens ciblés**, une quinzaine par territoire enquêté (3 bassins versants) pour permettre de les intégrer dans l'élaboration des scénarios de gestion.

¹ Voir par exemple l'article de Solange Pinton, 2009, Les humeurs du temps. Journal d'un paysan de la Creuse, Ethnologie française, XXXIX, 4 : 587-596)

2. Le rôle des dispositifs de gestion

Les dispositifs locaux de gestion de la ressource en eau constituent un espace de prise de décision, dans différentes situations d'incertitude, telle la détermination de volumes prélevables pour différentes catégories d'usagers face à des perspectives mal connues d'urbanisation, d'évolution des pratiques agricoles et/ou industrielles et face à des enjeux de développement économique et de préservation de la qualité de l'eau.

Nous faisons l'hypothèse que ces dispositifs constituent un espace pour se saisir des enjeux du changement climatique et de son impact sur la ressource en eau. L'expertise de terrain de leurs parties prenantes semble indiquer ces dispositifs de gestion locaux comme des espaces possibles d'échange sur cette question. Ces espaces permettent-ils d'arriver, à partir d'intérêts différents/dissonants des utilisateurs et gestionnaires de la ressource en eau à de nouveaux compromis ou à des compromis différents de gestion en intégrant le changement climatique ? Comment ces compromis sont-ils construits ? Comment sont élaborées les règles de gestion ? La nature des incertitudes soulevées par le changement climatique remet-elle en question le fonctionnement, le périmètre, les modalités d'action de ces dispositifs ? Devraient-ils évoluer pour y faire face ? Et dans ce cas, comment ?

L'étude du rôle des dispositifs de gestion s'appuie sur des entretiens individuels avec les parties prenantes de ces dispositifs locaux et sur l'observation de réunions dédiées à la gestion de la ressource en eau (commission locale de l'eau par exemple), d'une part dans le cadre du suivi des questions habituelles et d'autre part lors de la présentation des résultats préfigurant les conséquences du changement climatique sur la ressource en eau en Bourgogne, à l'horizon de 2100.

3. La construction de l'action collective

Ce point sera travaillé en atelier sur les 3 bassins versants choisis pour les enquêtes. Une mise en situation permettra d'identifier comment se construit la prise de décision dans ce contexte particulier de changement climatique. Elle se fera sous forme **d'ateliers prospectifs et créatifs** autour du changement climatique et de la modification de la disponibilité des ressources en eau. Ces ateliers seront co-animés avec des consultants en design territorial. Un appui complémentaire est attendu d'un intervenant sur la gestion du risque.

La méthode envisagée consiste à faire un pas de côté pour déconstruire la réalité telle qu'elle est connue et pratiquée. Il s'agira en effet d'imaginer un territoire bourguignon sous l'influence d'un changement climatique modifiant la disponibilité des ressources en eau. Les projections du territoire à moyen et long terme seront matérialisées sous forme de maquette. Elles permettront d'imaginer la façon dont les hommes et les sociétés s'organiseront pour faire face aux changements induits par la modification de la disponibilité en eau. L'objectif n'est pas de dégager un plan d'actions précis mais de favoriser l'appropriation des effets du changement climatique en rendant les participants pro-actifs et d'observer leurs réactions quant aux choix et possibilités qui s'offrent à eux. En effet, les acteurs peuvent avoir des intérêts dissonants ou concurrents quant à l'usage de l'eau. Aussi, nous examinerons la manière dont sont arbitrées les positions de chacun et si une vision partagée permet d'aller vers une gestion de l'eau en bien commun.

Les ressorts de l'action collective seront analysés selon plusieurs angles :

- la place des savoirs,
- les relations entre les personnes
- le dispositif de gestion des ressources (partage de compétences, systèmes de suivi, d'alerte, etc.)
- les événements de contexte déclencheurs.

4. L'intégration du changement climatique dans les politiques de l'eau

La gestion de l'eau sur les territoires est à la fois très structurée et très complexe. De nombreux acteurs et structures interviennent à différentes échelles de décision. Au niveau national, la question du changement climatique est nouvellement introduite dans les prochains SDAGE. Localement, les acteurs peuvent la saisir tout à la fois comme une injonction descendante, comme un surplus de légitimité pour agir sur des enjeux déjà identifiés, ou encore comme un révélateur, déclenchant la prise en compte de nouveaux enjeux.

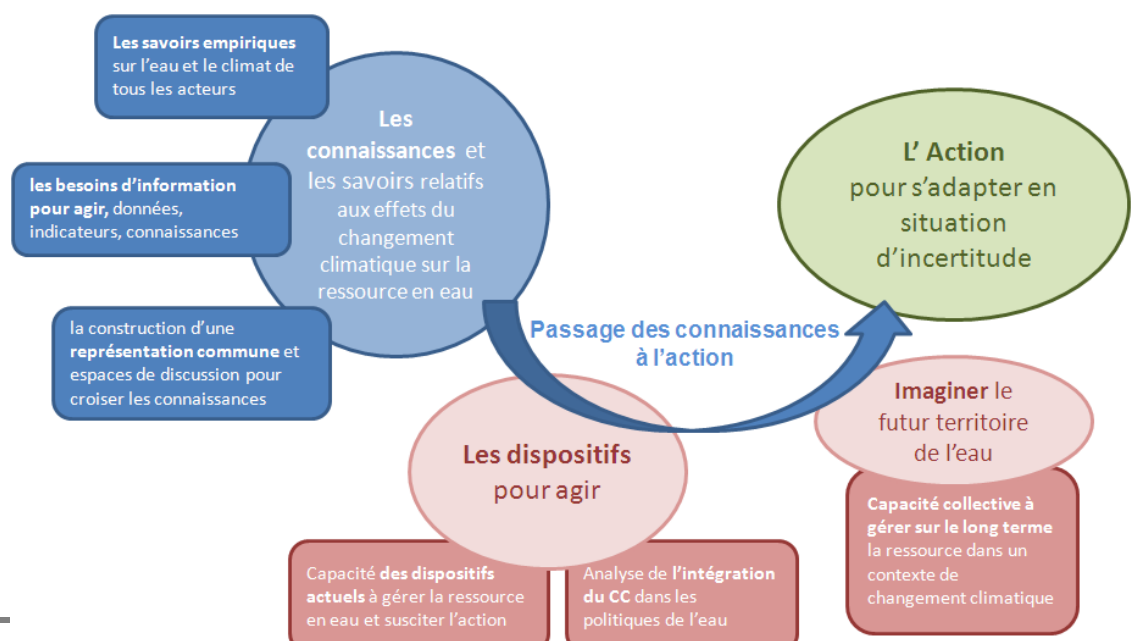
HYCCARE bénéficie de deux types de terrain d'étude : les 3 bassins versants sur lesquels sont présentés et discutés les connaissances produites par l'axe 1, et ceux retenus pour l'analyse hydrologique uniquement. L'observation des formes d'intégration des effets du changement climatique dans les politiques locales de l'eau portera sur ces derniers bassins versants, à savoir les bassins de l'Yonne amont, de la Nièvre, du Serein, du Nohain et de la Seille.

L'échantillon ainsi constituée est marqué par une diversité des problématiques locales auxquelles sont confrontés les acteurs, et par des maturités variables en termes de réflexions sur le changement climatique. Aussi, la nature des questionnements à observer peut varier :

- Dans le cas où la réflexion sur l'intégration des questions de changement climatique dans la gestion de l'eau n'est qu'à peine initiée, les questionnements seront relatifs aux liens et aux associations entre changement climatique et gestion de la ressource en eau.
- Dans les situations où des réflexions sont programmées ou en cours, les questions devraient être davantage appliquées, en termes de gestion comme de ressenti.
- Et dans les situations plus avancées comme celles des bassins versants connaissant déjà des tensions d'usage sur la ressource ou d'inondations récurrentes, les problèmes discutés devraient porter plus précisément sur les difficultés effectives rencontrées par ce travail d'intégration, et comment rendre cette gestion plus efficiente. Ce sera l'objet des travaux sociologiques sur trois des bassins versants observés.

Les enquêtes menées sur les bassins versant où la maturation des réflexions et la construction politique semblent moins avancées devraient permettre de mettre en contexte « l'avance » des terrains plus investis, de pointer les formes de décalage entre situations, notamment avec un panel comportant une variété de cas représentatifs.

5. Schéma du dispositif de recherche en sciences sociales



Valorisations (publications et communications)

Communication scientifiques au 27^{ème} colloque AIC juillet 2014 :

Brulebois E., Rossi A., Le Moine N., Philippe M., Castel Th., Richard Y., Amiotte-Suchet Ph. 2014. Potentialités d'une chaîne de modélisation hydroclimatique à l'échelle des bassins versants bourguignons.

Rossi A., Castel Th., Richard Y., Amiotte-Suchet Ph., Brulebois E., Ubertosi M., Brayer J.-M., Doney C., Toussaint H. 2014. Impact du changement climatique sur la ressource en eau en Bourgogne, France (1980/2100): Analyse des paramètres hydroclimatiques simulés à haute-résolution par un modèle climatique régional (WRF).

Ubertosi M., Legras O., Brayer J.-M., Amiotte-Suchet Ph., Brulebois E., Rossi A., Castel Th., Richard Y., Doney C., Pinson S., Sollsteiner Ph., Toussaint H. 2014. Evolution du bilan hydrique à l'échelle de bassins versants en contexte de changement climatique.

Autre article :

Marteau R., Richard Y., Pohl B., Pohl B., Chateau Smith C. and Castel T., 2014, High-resolution rainfall variability simulated by the WRF RCM: Application to Eastern France, *Climate Dynamics*, in press

Références bibliographiques

Module aléa climatique (p.10)

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 92-5-104219-5.

Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., and Palutikof, J.P., 2008. *Le changement climatique et l'eau*, Secrétariat du GIEC, Genève (GIEC), 237p.

Déqué M., Devreton C., Braun A., Cariolle D., 1994. The climate version of the ARPEGE-IFS: a contribution of French community climate modeling. *Climate Dynamics*, 10:249–266.

Simmons A., Uppala S., Dee D. and Kobayashi S., 2006. ERA-Interim : New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF Newsletter* 110, 26-35.

Dee, D.P et. al., 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137: 553–597. DOI:10.1002/qj.828

Skamarock, W., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., and Powers, J.G.A., 2008: Description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical report. NCAR, 125p.

van Vuuren et al., 2011, The representative concentration pathways: an overview, *Climatic Change*, 109, 5-31.

Xu, Y., Castel, T., Richard, Y., Cuccia, C. and Bois, B., 2012. Burgundy regional climate change and its potential impact on grapevines. *Climate Dynamics*

Suite du module aléa climatique (p.23)

- Boulard D., Castel T., Camberlin P., Sergent A. S., Breda N. and Badeau V., 2014, Apport d'un modèle climatique régional pour l'analyse des contraintes hydriques sur les Douglasaies de Bourgogne, AIC, Dijon – France, 6p.
- Castel, T., Xu, Y., Richard, Y., Pohl, B., Créat, J., Thévenin, 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, AIC, 23, 107-112
- Créat J & B Pohl (2012) How physical parameterizations can modulate internal variability in a regional climate model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 69, 714-724. [doi:10.1175/JAS-D-11-0109.1](https://doi.org/10.1175/JAS-D-11-0109.1)
- Deser C., Knutti R., Solomon S. and Phillips A., 2012, « Communication of the rôle of natural variability in future North American climate, *Nature Climate Change*, vol. 2, November 2012, 775-779.
- Marteau R, Y Richard, B Pohl and T Castel, 2014, High-resolution rainfall variability simulated by the WRF RCM: Application to Eastern France. *Climate Dynamics*, in press. [doi:10.1007/s00382-014-2125-5](https://doi.org/10.1007/s00382-014-2125-5)
- Moss RH, JA Edmonds, K Hibbard, M Manning, SK Rose, D Van Vuuren, T Carter, S Emori, M Kainuma, T Kram, G Meehl, J Mitchell, N Nakicenovic, K Riahi, SJ Smith, R Stouffer, AM Thomson, J Weyant, and T Wilbanks. 2010. "The Next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment." *Nature* 463(7282):747-756. [doi:10.1038/nature08823](https://doi.org/10.1038/nature08823)
- Voldoire, A. E. Sanchez-Gomez, D. Salas y Mélia, B. Decharme, C. Cassou, S.Sénési, S. Valcke, I. Beau, A. Alias, M. Chevallier, M. Déqué, J. Deshayes, H. Douville, E. Fernandez, G. Madec, E. Maisonnave, M.-P. Moine, S. Planton, D. Saint-Martin, S. Szopa, S. Tyteca, R. Alkama, S. Belamari, A. Braun, L. Coquart, F. Chauvin., 2013, The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation, *Clim. Dyn.*, 40(9-10):2091-2121, DOI:10.1007/s00382-011-1259-y

Module Impact sur la ressource en eau (p.14)

- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., and Palutikof, J.P. (2008). *Le changement climatique et l'eau*, Secrétariat du GIEC, Genève (GIEC), 237p.
- Hurkmans, R., Terink, W., Uijlenhoet, R., Torfs, P., Jacob, D., and Troch, P.A. (2010). Changes in Streamflow Dynamics in the Rhine Basin under Three High-Resolution Regional Climate Scenarios. *J. Clim.* 23, 679–699.
- Klemes, V. (1986). Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrol. Sci. J.* 31, 13–24.
- Massey, F.J., Jr. (1951). The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit. *J. Am. Stat. Assoc.* 46, 68–78.
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, 2014 : Fiche descriptive de la donnée : Stations hydrométriques Métropole, SCHAPI, Toulouse, 3p.
- Le Moine, N. (2008). Le bassin versant de surface vu par le souterrain : une voie d'amélioration des performances et du réalisme des modèles pluie-débit ? IRSTEA d'Antony, 348p.
- Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10, 282–290.
- Perrin, C. (2007). Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR), IRSTEA d'Antony, 16p.
- Perrin, C., Michel, C., and Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *J. Hydrol.* 279, 275–289.

Simmons, A., Uppala, S.M., Dee, D.P., and Kobayashi, S. (2006). ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF Newsletter* 110, 26-35.

Skamarock, W., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Wang, W., and Powers, J.G.A. (2008). Description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical report, NCAR, 125p

Module Bilan hydrique des sols (p.19)

Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah, et J. R. Williams. 1998. « Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development1 ». *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 34 (1): 73-89. doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x.

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu, et J.P. Palutikof. 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 ». Document technique VI. GIEC.

Brisson, N., et Bruno M., 2002. « STICS, Notice concepts et formalismes, version 5.0 ». INRA.

Chaponnière A., 2005 : Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride, Cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain), *Institut National Agronomique Paris-Grignon*, 268p.

European Environment Agency. 2007. « CLC2006 Technical Guidelines ». European Environment Agency (EEA). http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007, 17.

Fock S., 2013. Les enjeux de la ressource en eau face au changement climatique en Bourgogne ; Représentativité des bassins versants choisis pour les simulations. *Mémoire pour l'obtention du Master 1, Transport, Mobilité, Environnement, Climat*. 54p.

Gassman P.W., Reyes M.R., Green C.H., Arnold J.G., 2007. The soil water assessment tool : Historical development, applications, and future research directions. *Trans. ASABE*. 50 (4) : 1211-1250.

Infosol, 2005. Référentiel Régional Pédologique. *Cahier des Clauses techniques Général*, 21p.

Moss, R.H. et al., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463: 747-756. Available at <http://dx.doi.org/10.1038/nature08823>.

Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang and J. G. Powers., 2008: *A Description of the Advanced Research WRF Version 3 NCAR Technical Note*, 125p.

Stocker T.F., Dahe Q., and Plattner G.K., 2013. Climate Change 2013 : The Physical Science Basis; *Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers (IPCC, 2013)*.

Teng, J., Vaze, J., Chiew, F. H. S., Wang, B., and Perraud, J.-M.: Estimating the Relative Uncertainties Sourced from GCMs and Hydrological Models in Modeling Climate Change Impact on Runoff, *J. Hydrometeorol.*, 13, 122–139, 2012.

Terray L., and Boé J., 2013. Quantifying 21st-century France climate change and related uncertainties. *C. R. Geosci.*, 345, 136-149.

van Vuuren et al., 2011, The representative concentration pathways: an overview, *Climatic Change*, 109, 5-31.

Module vulnérabilité territoriale (p.25)

Mermet L., Treyer S. (2001), Quelle unité territoriale pour la gestion durable de la ressource en eau ? *Annales des mines, nouveaux regards* (avril 2001) : 67-80.

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse (2012), Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse. Bilan des connaissances pour le Plan d'adaptation au changement climatique (septembre 2012), 65p.

Lussault M. (2009) La vulnérabilité urbaine, notre horizon ? La vulnérabilité urbaine, notre horizon ? Intervention pour le séminaire BABEL, session 12 (14 décembre 2009)

Lussault M. (2012) L'urbain-métropolisé français dans la mondialisation. 5 horizons In : DATAR, 2012, « Des systèmes spatiaux en prospective », Territoires 2040 n°4, La Documentation française : 11-37.

OCDE (2013) Water security for better lives, rapport pour la semaine mondiale de l'eau, 2 septembre 2013

Narcy J.B. (2013) Regards des sciences sociales sur la mise en œuvre des politiques de l'eau. Comprendre pour agir, collection ONEMA, 152p.

Callon M. (1986) Eléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint Briec. L'Année sociologique - 3^e série - Vol. 36 : 169-208

Matinée Echanges autour du projet HYCCARE présenté par les chercheurs

10h00 - 10h15 : **PRESENTATION GENERALE D'HYCCARE**, historique du projet, partenariat en place, calendrier prévisionnel (Hélène Toussaint)

10h15 - 11h45 : **CHANGEMENT CLIMATIQUE ET RESSOURCE EN EAU, DES CONNAISSANCES HYDROCLIMATIQUES A CONSTRUIRE...**

- **Quelles problématiques traitées ?**
 - ✓ Rappels sur l'évolution observée du climat bourguignon (Yves Richard)
 - ✓ Les interactions climat / ressources en eau / territoire, quelles modifications possibles ? (Philippe Amiotte-Suchet)
 - ✓ Echanges avec la salle
- **Mesurer les impacts et la sensibilité des territoires** : modéliser le passé pour mieux connaître l'avenir...
 - ✓ Le recours à la modélisation, pour traiter quelles questions, à quelles échelles ? (Thierry Castel, Clément Doney, Marjorie Ubertosi)
 - ✓ Une méthodologie qui se construit de façon interdisciplinaire et partenariale : exemple, le choix des bassins versants
 - ✓ Echanges avec la salle
- **Les résultats en cours de construction**
 - ✓ Déjà réalisés et restant à faire... (Aurélien Rossi, Etienne Brulebois)
 - ✓ Préparer à la mise à disposition des données (Jean-Marc Brayer)
 - ✓ Echanges avec la salle

11h45 - 12h50 : **LES TERRITOIRES FACE A L'EVOLUTION DE LA RESSOURCE EN EAU : QUELLE VULNERABILITE, QUE VEUT DIRE S'ADAPTER A CES CHANGEMENTS ?**

- **Estimer la vulnérabilité socio-économique** (Elsa Martin)
 - ✓ La vulnérabilité sectorielle : focus sur une activité économique
 - ✓ La vulnérabilité du territoire : prise en compte de l'ensemble des activités d'un territoire
 - ✓ Echanges avec la salle
- **S'adapter au changement climatique, quel défi pour les territoires ?**
 - ✓ Rendre visible le risque, un besoin d'informations fines (Sandrine Petit)
 - ✓ Passer à l'action et décider en situation d'incertitude, les déterminants et les freins (Marie-Hélène Vergote)
 - ✓ Le travail sociologique proposé : zoom sur quelques bassins versants
 - ✓ Echanges avec la salle

12h50 - 13h00 : Présentation des ateliers de l'après-midi

13h00 - 14h30 : Repas en cafétéria, café au bar

Après-midi Ateliers de réflexion et d'expression des gestionnaires

14h30 - 16h00 : **ECHANGES EN GROUPE DE TRAVAIL AUTOUR DES QUESTIONS :**

- Le changement climatique est-il pris en compte dans votre activité, et plus généralement sur votre territoire ? Si oui, comment ?
- Le changement climatique, qu'est-ce que c'est pour vous ? Quels effets pressentez-vous sur votre territoire ?
- Et plus particulièrement sur la ressource en eau de votre territoire, quelles conséquences auraient le changement climatique ? Quels sont les enjeux majeurs pour votre territoire ?

- Quels dispositifs actuels (instances de concertation, cadres réglementaires, moyens disponibles, sensibilité citoyenne...) pourraient déjà intégrer la dimension du changement climatique ? Leurs points forts et leurs faiblesses.
- Quels sont les acteurs et les instances de concertation qui seraient à mobiliser pour participer aux travaux sur la vulnérabilité et l'adaptation au changement ?

16h00 - 16h30 : **RESTITUTION PLENIERE**

- Restitution des travaux de groupe par question
- Conclusion : les suites et le calendrier

PRESENTATIONS (matin)

(voir ppt en pièces jointes)

RESUME DES ECHANGES DES ATELIERS, PRESENTE EN PLENIER (16H15 - 16H30)

Questions relatives à la perception du changement climatique : Le changement climatique qu'est-ce que c'est pour vous ? Est-il pris en compte dans votre activité, et plus généralement sur votre territoire ? Si oui, comment ?

La perception du changement climatique est multiple :

- Le changement climatique est en cours, il est actuel et ses effets sont visibles, notamment les dégradations. Il y a une réaction de notre environnement.
- Il est subi, inévitable. C'est une contrainte en termes d'impacts.
- Il est responsable de l'augmentation des phénomènes extrêmes
- La perception du changement climatique fluctue en fonction des communications (médias), mais il y a également déni.
- Le changement climatique peut être perçu comme une contrainte (nouvelle) ou comme une curiosité.
- Pour le percevoir, cela nécessite un effort pour se projeter dans l'avenir.
- Des modifications sont constatées sur le territoire mais leur prise en compte est difficile

Une interrogation revient : que faire au-delà du constat du changement climatique ?

- Il paraît nécessaire d'étayer la perception du changement climatique par des éléments scientifiques et techniques pour mieux sensibiliser et mettre en place des mesures compensatoires et des stratégies.
- Nécessité de faire accepter l'existence du changement climatique
- L'intérêt du projet HYCCARE est de passer d'une échelle globale à une échelle locale.

Questions relatives aux effets et conséquences du changement climatique sur le territoire et sur la ressource en eau : Quels effets pressentez-vous sur votre territoire ? Et plus particulièrement sur la ressource en eau de votre territoire, quelles conséquences auraient le changement climatique ? Quels sont les enjeux majeurs pour votre territoire ?

Les contraintes attendues sont diverses et suscitent de nombreuses interrogations...

...Sur l'eau et les milieux aquatiques :

- Implications du C.C. dans la disponibilité de la ressource : évolution des capacités d'alimentation des nappes, des cours d'eau ; des coûts seront induits
- augmentation des débits de crue et diminution des débits d'étiage, augmentation des à-secs.

- Interrogation sur l'augmentation des inondations
- Des problèmes de quantité d'eau (disponibilité) peuvent apparaître, avec des déficits quantitatifs des nappes et des cours d'eau...
- Les problèmes d'eau potable des petites ressources seront accentués, d'autant plus que les distances entre captages sont longues (coût, aménagements)
- Le dimensionnement des installations, notamment d'eau potable et des stations de traitement, doivent prendre en compte le C.C selon leur durée de vie.
- Le CC a des effets sur la biodiversité et la biologie, ainsi que sur la qualité de l'eau
- Les modifications potentielles de la qualité du milieu aquatique seront à prendre en compte.

...Sur le territoire dans ses composantes sociales, agricoles et de milieu naturel :

- Avec des problèmes de disponibilité ou de déficit quantitatif en eau, quelles conséquences pour l'eau potable ? pour l'irrigation ? pour le milieu naturel ?
- Craintes en termes d'impact sur les pratiques agricoles et les autres activités socio-économiques. Des modifications attendues des pratiques culturelles.
- Des changements sociaux, une évolution des activités et des politiques sont attendus.
- Il y a (ou aura) des impacts sur les écosystèmes (zones humides...). Le changement climatique se traduit (ou se traduira ?) par un changement au niveau de la biodiversité... Va-t-on vers une régression des zones humides ?
- Selon la durée de vie des installations (Eau potable ; stations de traitement...), leur dimensionnement doit prendre en compte le C.C.
- C'est une source de conflits d'usage à venir (profession agricole, AEP...)... au détriment du milieu naturel ?
- Appui des politiques locales d'adaptation sur des éléments techniques concrets (argumentaire scientifique).

Lors des échanges rapides, le ressenti est pessimiste quant aux conditions d'agir. Le contexte socio-économique est vu comme un amplificateur possible :

- Absence de solidarité amont - aval et entre usages, concurrence entre usagers et individualisme
- S'adapter au CC, c'est une priorité secondaire d'un point de vue budgétaire économique et social
- Une réponse risque de s'imposer d'emblée : construire des retenues d'eau.
- L'organe politique est plus difficile à mobiliser : le temps politique est de quelques années seulement.

Des pistes d'actions ont été énoncées spontanément :

- Mettre en place des actions préventives.
- Besoin de beaucoup de sensibilisation
- Pour la question des zones humides, le CC est une menace. Mais la préservation des zones humides n'est-elle pas aussi une réponse pour protéger la ressource en eau ?
- Informer le plus largement possible les bureaux d'études et autres prestataires intervenant dans la conception de projets, d'études prospectives afin que le C.C. soit pris en compte ;

Questions relatives aux réponses en termes d'adaptation dans les dispositifs actuels et avec les acteurs à mobiliser : Quels dispositifs actuels pourraient déjà intégrer la dimension du changement climatique ? Quels sont les acteurs et les instances de concertation qui seraient à mobiliser pour participer aux travaux sur la vulnérabilité et l'adaptation au changement ?

Plusieurs types de dispositifs ont été énoncés, qu'ils soient du ressort de la planification, de la maîtrise d'ouvrage ou de la réglementation. Les dispositifs relatifs à la gestion de l'eau :

- A l'échelon local, les SAGE (schémas d'aménagement et de gestion de l'eau) avec leur CLE (commission locale de l'eau),

- A l'échelle de bassins hydrographique et interrégional, les SDAGE (schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau).

Les dispositifs plus globaux d'aménagement du territoire, relatifs à la maîtrise d'ouvrage :

- les SCOT (schémas de cohérence territoriale)
- les PLU (plan local d'urbanisme)
- d'autres périmètres d'acteurs sont concernés par les questions de l'eau et peuvent agir, comme les agglomérations, communautés de communes, conseil général (ex : CG 58 a mis récemment en place une charte de développement durable ; les questions de l'eau sont prises en compte).

Les dispositifs s'apparentant à des cadres réglementaires et législatifs plus ou moins centrés sur l'eau :

- La LEMA (loi sur l'eau et les milieux aquatiques)
- Le Grenelle de l'environnement
- Le code de l'urbanisme
- Les PPRI (plan de prévention des risques inondation). [Débat : ils n'existent pas partout et ne sont pas facile à établir lorsque les zones inondables sont déjà construites.]

Il a été souligné que les outils à mobiliser sont fonction des types d'enjeux et de leur importance sur le territoire concerné. La dimension et l'échelle du territoire interviennent aussi (Pays, département, France etc). Les dispositifs à mobiliser dépendront de l'urgence du problème à résoudre (exemple les inondations et les programmes d'action de prévention des inondations, les PAPI).

Un rapide recensement des acteurs à mobiliser a été fait. Il ressort que la CLE (commission locale de l'eau, dont la composition fait l'objet d'un arrêté préfectoral) les intègre déjà tous. C'est par définition l'instance locale de concertation qui élabore le SAGE. Tous les usagers y sont représentés ainsi que tous les planificateurs.

Il existe aussi d'autres instances de concertation d'élus (locale, départementale ou régionale). Les comités de bassin des agences de l'eau sont aussi un cadre pour la concertation.

Annexe 2 LES RAPPORTS

En pièces jointes :

Brulebois E. (2013) ; Impact du changement climatique sur la ressource en eau en Bourgogne - Analyse du couplage entre une modélisation climatique régionale distribuée et une modélisation pluie-débit globale (GR4J) – rapport de stage ; 78 p.

Fock S. (2013) ; Les enjeux de la ressource en eau face au changement climatique en Bourgogne - Représentativité des bassins versants choisis pour les simulations ; 56 p.

Vallon S. (2013) ; Impact du changement climatique sur le bilan hydrique, comparaison des modèles STICS et SWAT ; 63p.