



HAL
open science

Évaluations, impacts et perceptions du changement climatique dans le Grand Ouest : le projet CLIMASTER

Philippe Mérot, Samuel Corgne, Daniel Delahaye, Philippe Desnos, Vincent Dubreuil, Chantal Gascuel, Jean-Luc Giteau, Alexandre Joannon, Olivier Planchon, Hervé Quénol

► To cite this version:

Philippe Mérot, Samuel Corgne, Daniel Delahaye, Philippe Desnos, Vincent Dubreuil, et al.. Évaluations, impacts et perceptions du changement climatique dans le Grand Ouest : le projet CLIMASTER. Symposium PSDR3 Pour et Sur le Développement Régional : Les chemins du développement territorial, Jun 2012, Clermont-Ferrand, France. Editions INRA, 25 p., 2012, Les projets PSDR pour une recherche pluridisciplinaire et partenariale au cœur des Régions. hal-01209164

HAL Id: hal-01209164

<https://hal.science/hal-01209164>

Submitted on 3 Jun 2020

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

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

Évaluations, impacts et perceptions du changement climatique dans le Grand Ouest : le projet CLIMASTER

Auteurs : Merot¹ Ph., S. Corgne³, D. Delahaye⁴, Ph. Desnos⁵, V. Dubreuil³, Ch. Gascuel¹, J-L. Giteau⁶, A. Joannon², O. Planchon³, Hervé Quéno³

Coordonnées :

¹ INRA, UMR SAS, 1069, Rennes, philippe.merot@rennes.inra.fr, chantal.gascuel@rennes.inra.fr,

² INRA, SAD Armorique, Rennes, alexandre.joannon@rennes.inra.fr,

³ UMR 6554, LEGT-COSTEL, CNRS, Univ. Rennes 2, prenom.nom@uhb.fr,

⁴ UMR 6554, LEGT-GEOPHEN, Univ. Caen, Caen, daniel.delahaye@unicaen.fr,

⁵ TRAME, Rennes, p.desnos@trame.org,

⁶ Chambres d'agriculture de Bretagne, Plérin, jean-luc.giteau@bretagne.chambagri.fr

✉ auteur correspondant : Merot Philippe

Mots-clés (5 max.) : ressources en eau, sol, climat, agriculture, territoire ; Projet CLIMASTER

1. Résumé de la communication

Nous nous proposons dans cette communication de décrire la démarche et les principaux résultats qui ont été obtenus dans le cadre du projet CLIMASTER, pour contribuer au débat sur l'état actuel des connaissances sur le changement climatique (CC) dans le Grand Ouest.

Vis-à-vis du climat, nous avons développé des analyses originales portant essentiellement sur différentes longues chroniques climatiques du passé dans le Grand Ouest, pour voir l'évolution déjà en cours du CC. Ces analyses ont porté sur des données « classiques » (températures, précipitations) montrant ainsi qu'environ un degré de température a été « gagné » en moyenne sur les cinquante dernières années. Sur les précipitations, on note des tendances saisonnières opposées avec une augmentation des précipitations l'hiver et une diminution l'été, surtout au nord du grand Ouest. Les analyses ont porté également sur les types de circulations atmosphériques, durant la période disponible (1850-2009) et également sur les types de temps (1971/2010).

Vis-à-vis des ressources naturelles (eau, sol), il n'existe pas dans le Grand Ouest de chroniques longues de données passées permettant de capter une évolution sur le long terme. La vulnérabilité de la ressource en eau à la variabilité climatique annuelle, du fait de l'absence de ressources exogènes et de nappes d'importance, doit être soulignée. L'ensemble de ces travaux conduisent à donner à la variabilité locale des propriétés du sol un rôle clé dans l'évaluation de la vulnérabilité des ressources en eau et en sol.

L'impact direct du CC sur les écosystèmes d'eau douce – dernier point abordé -, montre aujourd'hui un impact peu mesurable, car masqué par des pressions anthropiques plus importantes (agriculture, modification du lit etc..) qui nécessitent une approche intégrant l'effet du bassin versant et pas simplement l'hydrosystème.

Vis-à-vis de l'agriculture, des travaux originaux sur les *jours agronomiquement disponibles ont été réalisés*. Les tendances actuelles et passées des systèmes de culture et de production ont été aussi abordées à partir *des chroniques spatiales d'occupation du sol* sur des données de télédétection (capteur MODIS qui constitue un outil novateur), sur une décennie.

Vis-à-vis des acteurs régionaux et de leur *capacité à prendre en compte l'impact du CC*, il s'est agi de caractériser le regard, la sensibilisation et la capacité à agir des acteurs agricoles face au CC, à partir d'enquêtes, de séminaires d'échange et de réflexions prospectives au sein de groupes d'agriculteurs. En contre point des enquêtes avec les acteurs de l'eau ont été également réalisées.

En conclusion, l'ensemble des travaux de CLIMASTER, les méthodes choisies, le corpus de connaissances élaboré sont là pour « donner à penser » le changement climatique dans le Grand Ouest plus que pour pronostiquer un avenir incertain.

Introduction

Nous nous proposons dans cette communication de décrire la démarche et les principaux résultats qui ont été élaborés dans le cadre du projet CLIMASTER (Merot et al., 2012), pour contribuer au débat sur l'état actuel des connaissances sur le changement climatique (CC) dans le Grand Ouest.

Le Grand Ouest (GO), considéré comme les 4 régions de Basse Normandie, Bretagne, Pays de Loire et Poitou-Charentes - s'interroge sur le CC, plus tardivement que les régions du pourtour méditerranéen, mais avec un questionnement très ouvert, car c'est notamment une région de grande incertitude non pas tant sur la réalité du CC, que sur son ampleur et ses conséquences (Dubreuil et al., 2010).

Pour traiter de cette question, nous avons réuni des chercheurs représentant un large panel de compétences disciplinaires (agronomes, géographes, chercheurs dans le domaine de l'environnement, dans celui des sciences sociales et de la prospective), associés à des acteurs du domaine agricole et de la gestion de l'eau. En effet, le débat sur le CC ne prend de sens qu'au regard de la société, puisque c'est bien la vulnérabilité des systèmes écologiques et sociaux qui est en jeu, avec, *in fine* la prise en compte du CC à toutes les échelles de gestion, depuis celle de l'exploitation agricole jusqu'à celle du territoire régional.

Nous présenterons successivement l'évolution du climat, l'impact du CC sur les ressources en eau et en sol, puis sur l'agriculture et enfin nous développerons une vision prospective sur la perception du CC par les agriculteurs (et secondairement les acteurs de l'eau) dans le GO.

En préalable cependant, il nous semble important de préciser le choix fait pour aborder cette question du CC : On parlera plus de *changement climatique* que de *réchauffement climatique*, même si le point de vue est différent selon un gradient nord - sud. On traitera plus de *l'adaptation* au changement (posture qui nécessite d'être en interaction avec les territoires) que de *l'atténuation*, en s'inspirant notamment des lignes de force de l'APR ADAGE (atelier de prospective de recherche sur l'adaptation de l'agriculture et de la forêt au CC, https://www1.clermont.inra.fr/adage/index.php?page=documents_et_rapports). On s'intéressera autant que possible à la fois à analyser les *données passées*, et à se projeter dans *l'avenir*. Cependant les différentes disciplines proposent des points de vue différents à cet égard, qui laissent peu de marge de manœuvre dans un positionnement homogène à adopter.

Enfin ces travaux, très prospectifs car les premiers dans le GO sur un tel sujet, se sont tenus dans une grande réserve vis-à-vis de 3 notions, essentielles quand on aborde le CC : *l'incertitude* (sur les scénarios du GIEC, sur les projections climatiques qui en découlent, sur leur régionalisation, sur nos propres outils et données...) ; les *scénarios* d'évolution de la gestion territoriale ou agricole d'adaptation que nous n'avons pas voulu aborder, nous contentant de proposer quelques hypothèses, du fait de la complexité des interactions à prendre en compte et hors de portée de nos moyens ; les *événements extrêmes* sur lesquels, malgré leur importance sociétale très forte, nous n'avons encore que très peu d'éléments, comme le confirme le rapport du GIEC de Novembre 2011 (GIEC, 2011).

Le changement du climat dans la France de l'Ouest

Vis-à-vis du climat, nous avons développé des analyses originales portant essentiellement sur plusieurs longues chroniques climatiques du passé dans le GO, pour voir l'évolution déjà en cours du CC. Trois points de vue ont été développés dans le cadre de CLIMASTER : la pluie et les températures, les types de circulation et les types de temps, ainsi qu'une analyse critique des projections climatiques issues du scénario A1B du GIEC.

Pluie et température

Le recours aux observations climatiques sur le long terme (environ une cinquantaine d'années, parfois plus) montre que le réchauffement climatique est une réalité d'une grande homogénéité sur

la France de l'Ouest (Figure 1, trait rouge). Environ un degré a été « gagné » en moyenne sur les cinquante dernières années, ce qui vaudrait, en moyenne en plaine à un déplacement d'une centaine de kilomètres vers le sud ! La tendance est plus marquée l'été que l'hiver mais plus prononcée pour les minimales que les maximales.

Il est plus difficile d'observer des tendances d'évolution du climat pour les précipitations car celles-ci présentent une plus forte variabilité que les températures. En moyenne annuelle, aucune tendance n'est significative malgré une légère augmentation. Par contre, on note des tendances saisonnières opposées avec une augmentation des précipitations l'hiver et une diminution l'été, surtout au nord (figure 1, histogramme). Il faut noter que cette légère accentuation du contraste saisonnier moyen est également visible dans d'autres régions de l'Europe du Nord-Ouest.

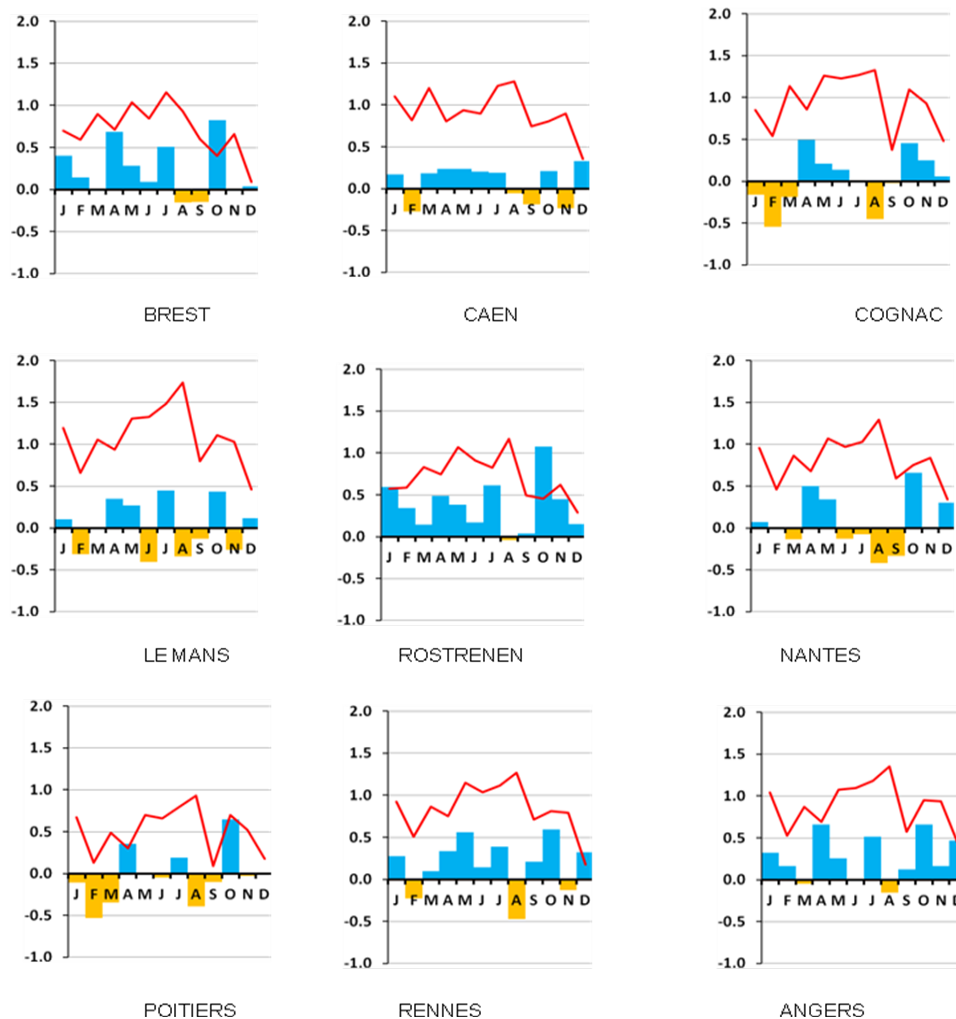


Figure 1 : Évolution des températures moyennes mensuelles (en rouge et en °C.) et précipitations moyennes mensuelles (en bleu ou orange et en mm/jour) : différences entre les normales 1951-1980 et les normales 1981-2010. Source : Météo-France (climathèque). Réalisation : Vincent Dubreuil, COSTEL, Rennes 2

Les types de circulation atmosphérique

Pour évaluer les risques climatiques régionaux (sécheresses, excès d'eau -pluie-crues-inondations, et gelées) dans le grand Ouest français, liés aux changements en cours dans la dynamique des masses d'air sur l'Europe Occidentale, la variabilité de la dynamique atmosphérique depuis 1850 a été mise en relation avec les anomalies climatiques enregistrées en surface dans la région. La variabilité et les tendances dans la fréquence d'occurrence de chaque type de circulation ont été étudiées aux échelles annuelle et saisonnière. Les types de circulation reposent sur la distribution du champ de pression au niveau de la mer et à environ 5000 m d'altitude au-dessus de

l'Océan Atlantique Nord et de l'Europe, Les impacts thermiques ont été étudiés en fonction de l'intensité des anomalies.

L'étude de la variabilité des types de circulations atmosphériques, sur la période totale disponible (1850-2009) fait ressortir quelques tendances statistiquement significatives au pas de temps saisonnier. Certaines tendances ont été décelées très tôt dans la série des types de circulations, ce qui montre la nécessité d'étudier les séries de données climatiques les plus longues. Les tendances ont été observées aussi bien sur des situations faiblement que fortement représentées et peuvent donc avoir des impacts différents. D'autre part, des oscillations irrégulières dans l'évolution de la fréquence des types de circulations permettent d'identifier des groupes d'années avec des caractéristiques particulières.

Une analyse des impacts thermiques et pluviométriques des types de circulations atmosphériques a été effectuée sur trois types (ou groupe de types) de circulations pour lesquels les analyses statistiques ont permis de détecter les tendances les plus significatives. L'analyse des impacts pluviométriques des types de circulations retenus montre, sur l'ensemble des stations en seconde partie du XXe siècle, une homogénéité des impacts, tandis que l'analyse des impacts thermiques fait davantage ressortir certains facteurs géographiques locaux (topographie, occupation du sol...).

Les types de temps

L'évolution du climat dans le Grand Ouest de la France a été également appréhendée à partir d'une étude des *types de temps* qui se sont succédé au cours des quarante dernières années (1971/2010). Cette entrée a été privilégiée car elle offre une approche très synthétique des différents états de l'atmosphère, «réalité vivante faite tout entière de combinaisons». De plus, la connaissance des *types de temps* permet d'envisager les conséquences de cette dynamique de l'atmosphère en mesurant les potentialités et les risques d'origine météo-climatique pour divers secteurs d'activités tels que l'agriculture, le tourisme, les transports ou la santé, par exemple. A cette double fin, une chronique des séquences météorologiques a été établie à partir de trois paramètres « sensibles » du climat : l'état du ciel, la température et les précipitations (Figure 2).

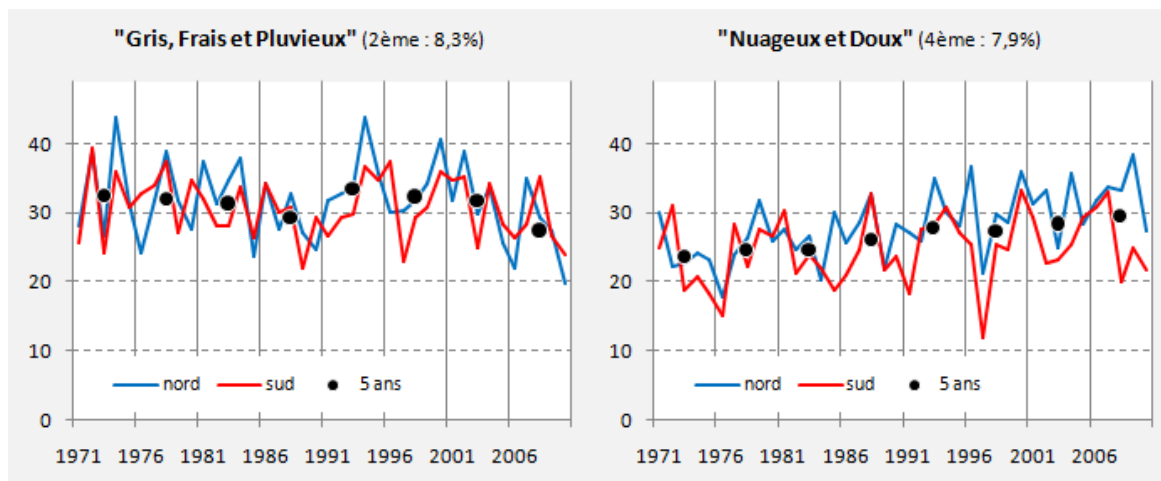


Figure 2. Évolution des 2 *types de temps* les plus fréquents parmi 48 types, dans le Grand Ouest de la France entre 1971 et 2010.

Nombre de jour par an, avec distinction entre le Nord (trait bleu : moyenne Brest, Rennes, Caen) et le Sud (trait rouge : moyenne Poitiers, La Rochelle, Cognac) ; moyenne quinquennale régionale (point noir) ; entre parenthèse : fréquence du type de temps.

Au total, cette étude fait clairement ressortir le poids majeur des influences atlantiques (dominance des conditions nuageuses, tempérées et souvent arrosées) mais également les disparités géographiques entre le nord et le sud de la région. Plus localement, on constate des particularités climatiques liées aux situations littorales. Seconde caractéristique observée, la variabilité

interannuelle marquée des *types de temps*, ce qui occasionne parfois des risques importants tant pour la société que pour l'environnement (par exemple le type de temps « froid et arrosé » l'origine notamment des risques de phénomènes glissants durant la saison froide et le type « beau et chaud », parfois générateurs de sécheresses, voire de canicules en été). Enfin, si de grandes fluctuations pluriannuelles apparaissent dans la fréquence des *types de temps*, cette approche synthétique du climat souligne aussi l'amorce de nouvelles tendances que les prochaines décennies se chargeront ou non de confirmer...

Le climat de la France de l'Ouest au XXIe siècle : que disent les modèles ?

Pour connaître l'évolution du climat sur le XXIe siècle, les climatologues utilisent des modèles physiques. Une des grandes difficultés pour faire fonctionner ces modèles est la grande quantité d'informations qu'il faut leur fournir, d'où leur mise en œuvre sur les ordinateurs les plus puissants : ainsi, leur maille spatiale de travail est généralement de l'ordre de 100 kilomètres en horizontal (50km pour le modèle Arpège-Climat de Météo-France) et sur une trentaine de niveaux verticaux pour l'ensemble du globe. Ils ne permettent donc pas de projeter le climat à une échelle fine, seules des tendances générales pouvant être dégagées avec une telle résolution spatiale. Des méthodes de « descente d'échelle » sont cependant utilisées depuis quelques années et permettent de commencer à approcher les tendances plus fines.

Le modèle Arpège-climat de Météo-France (selon le scénario SRES A1B défini par le GIEC) a été utilisé dans CLIMASTER, les séries ayant en outre subi un ré-échantillonnage statistique afin de mieux décrire la variabilité observée. La condition nécessaire pour réaliser ce type d'étude régionale est de contrôler la capacité du modèle à reproduire le climat actuel. Les tests réalisés pour plusieurs stations de la France de l'Ouest montrent que les écarts entre « modèle » et « observations » sont faibles à l'exception d'un léger biais chaud (surtout en août) et d'une sous-estimation des précipitations en juin.

Les données modélisées montrent que l'élévation de température devrait se poursuivre en moyenne de 0,2°C par décennie, avec des différences minimales en fonction du scénario choisi jusque vers 2030. Ensuite, jusqu'à la fin du XXIe siècle, les écarts se creusent et la variabilité augmente : le nombre de jours chauds double tandis que le nombre de jours de gel est divisé par deux (sans disparaître toutefois). Le réchauffement atteint, selon les stations de 2 à près de 3°C. Trois degrés de moyenne peuvent paraître modestes, rappelons que c'est l'écart qui existe actuellement entre les moyennes thermiques annuelles de Rennes et de Montpellier par exemple. En général, on note que si les hivers deviennent plus doux et les étés plus chauds, le régime des précipitations change également : les étés deviennent ainsi plus secs et les hivers légèrement plus arrosés, des tendances qui vont dans le sens des observations actuelles. L'affaiblissement des pluies de printemps dans la deuxième moitié du siècle fait craindre des pénuries d'eau encore plus marquées pour la fin du siècle.

Eau, Sol et changement climatique

Vis-à-vis des ressources naturelles (eau, sol), il n'existe pas dans le Grand Ouest de chroniques anciennes de données passées permettant d'identifier une évolution sur le long terme. Par ailleurs, concernant les ressources en eau, la variabilité des débits, plus forte encore que celle des pluies, l'influence anthropique sur les débits, voire le cadre théorique de la stationnarité des régimes hydrologiques qui n'est plus applicable, rendent l'analyse du système complexe. La vulnérabilité de cette ressource à la variabilité climatique annuelle et inter-annuelle, du fait de l'absence de ressources exogènes, d'un régime clairement océanique, avec des débits forts en hiver et faibles en été, sans ressources profondes importantes susceptibles d'être mobilisées, doit être soulignée.

Hormis en régime nival ou glaciaire, l'influence du CC sur les chroniques de débits passés a été rarement mise en évidence. L'approche s'est faite ici par des simulations à l'aide de modèles

hydrologiques bien établis, sous contrainte des projections climatiques évoquées. Les chroniques passées donnent cependant un éclairage à la fois en termes de variabilité climatique et en termes d'extrêmes climatiques. Certaines années sèches comme 2003 par exemple peuvent être prises comme des analogues d'années « normales » dans le futur proche ou lointain. Cette réflexion sur les temporalités des systèmes environnementaux faisant le tri entre variabilité du climat et CC est fondamentale car elle permet déterminer à quel point nous pouvons nous appuyer sur le passé pour envisager le futur. Ce point révèle par ailleurs la nécessité cruciale de disposer d'observatoires de qualité susceptibles d'alimenter les réflexions sur le futur.

Les simulations des débits selon les projections climatiques du scénario A1b prédisent une baisse des débits de l'ordre de 20% en futur proche, avec une prolongation des étiages et une reprise plus lente des écoulements (Figure 3).

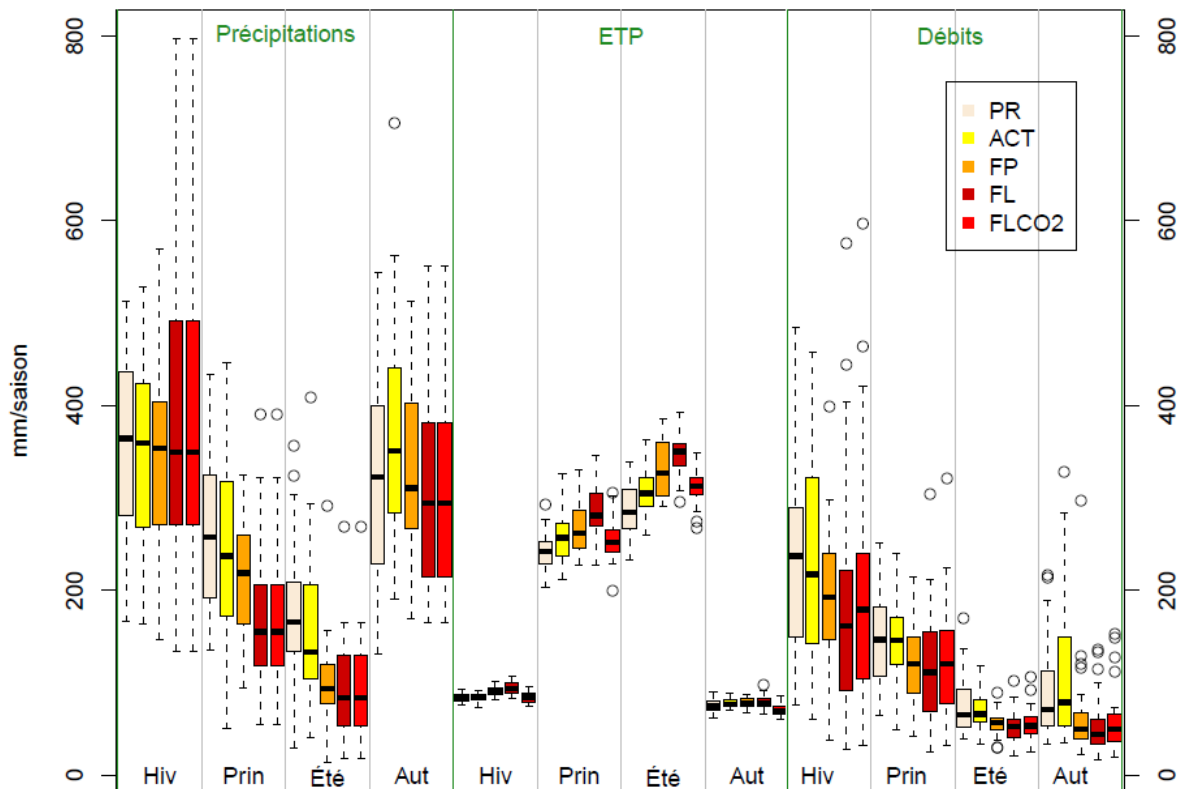


Figure 3. Caractéristiques saisonnières des précipitations, de l'évapotranspiration et des débits simulés sur le bassin du Scorff, calculées sur des périodes de 30 ans (passé récent PR, actuel ACT, futur proche FP, futur lointain FL, et futur lointain avec prise en compte de l'influence du CO₂ sur l'ET0 FL+CO₂), selon les projections climatiques de Ploudaniel (climat de Bretagne centrale)

La comparaison des simulations en futur lointain sans prendre en compte le forçage physiologique dû au CO₂ (FL) ou en en tenant compte (FL-CO₂) indique une rétroaction négative sur les débits dans ce dernier cas (c'est-à-dire une diminution moins forte des débits que ce qui était simulé sans prendre en compte le forçage physiologique) en hiver et au printemps. Lorsqu'on regarde de plus près la dynamique des débits au cours de l'année (non représenté ici), on voit que le pic de fort débit se situe toujours à la même période (Mars), mais que l'étiage se renforce et s'allonge, puisque la reprise des écoulements ne se fait plus en Septembre, mais en Novembre.

Les zones humides, écosystèmes entre terres et eaux, sont par leur nature même, vulnérables à toutes les modifications du cycle de l'eau et donc au CC. Les scientifiques et gestionnaires de l'environnement qui s'intéressent aux fonctions et services écosystémiques qu'elles assurent

(ASWM, 2009), s'inquiètent ainsi des menaces relatives à l'existence des zones humides (Anderson et al., 2008, Kundzewicz et al., 2007). Leur devenir a été simulé à partir d'un modèle géomorphologique apte à prédire leur extension en fonction du climat (Merot et al., 2003) Les *zones humides* voient leur surface diminuer dans les têtes de bassin jusqu'à 25%, en futur lointain.

Les phénomènes de sécheresse des sols sont étudiés en Bretagne de 1950 à 2100 à partir de bilans hydriques stationnels et spatialisés. Les projections climatiques, issues du modèle ARPEGE-Climat de Météo-France dans le cas du scénario A1B, sont utilisées en données d'entrées des modèles de bilan hydrique. La sécheresse est estimée par le déficit d'évapotranspiration, différence entre l'évapotranspiration potentielle (ou de référence, ETo) et l'évapotranspiration réelle (ETR) pour un sol de 100 mm de réserve utile. Ces bilans mettent en évidence une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses au cours du 21ème siècle, ainsi qu'un retard d'un mois de la recharge automnale sur 50 ans. Cette évolution n'est pas continue puisque l'augmentation de l'intensité des sécheresses serait faible, jusque dans les années 2050, par rapport à l'intensité attendue au cours de la seconde moitié du 21ème siècle.

L'étude sur le Calvados, faite à une échelle plus fine, intégrant la variabilité de la réserve utile en eau des sols est particulièrement signifiante pour les acteurs en charge de la gestion et de l'aménagement du territoire mais aussi pour les agriculteurs. Une simulation des conditions pédoclimatiques à l'horizon 2100 met en lumière de nouvelles contraintes à venir pour le Grand Ouest de la France (plus de sécheresses estivales) (Figure 4). Pour ces régions rurales, cela pose à moyen terme la question de la vulnérabilité des systèmes de production agricole face à une sécheresse accrue des sols durant la saison de croissance des cultures.

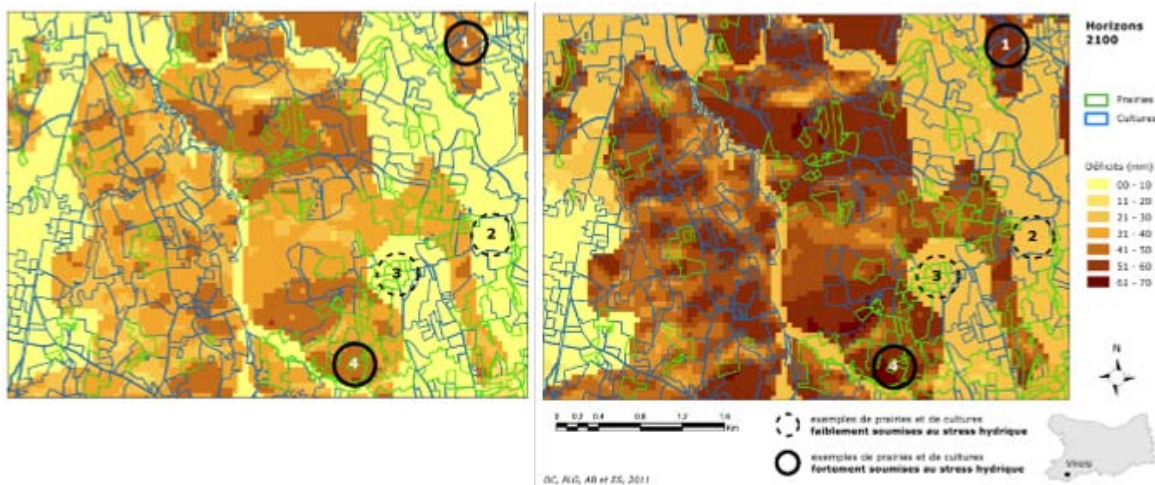


Figure 4. Cartes haute résolution du déficit en eau des sols du Virois (sud-ouest du Calvados) : moyenne juin 2003-2007 et l'horizon 2100 (Cantat et al., 2010).

En terme de *qualité de l'eau* (Nitrate, NO_3 ; Carbone Organique Dissous, COD), les travaux soulignent la forte sensibilité des teneurs aux facteurs du climat (Gascuel-Oudoux et al., 2010), à travers le filtre du sol et du pédo-climat (teneur en eau des sols, température du sol, qui contrôlent les transformations de la matière organique). L'analyse des chroniques passées, tant à l'échelle régionale qu'à celle de petits cours d'eau, montre qu'une forte variabilité des flux et des concentrations est induite par le climat au sein de l'année et sur des cycles pluriannuels, alors que la tendance interannuelle semble dominée par le lien avec l'activité agricole. Le climat semble ainsi moduler les réponses du bassin versant (hystérésis annuelle et pluriannuelle, amplitude de la cyclicité saisonnière, temps de réponse à des options de mitigation). Ce rôle semble d'autant plus important que le bassin versant est réactif, c'est-à-dire que sa nappe a une forte transmissivité.

L'analyse des simulations sous contrainte de scénarios climatiques permet de cerner quelques tendances sur le moyen terme. Les résultats de simulations montrent, sur un petit bassin versant breton, que diverses tendances peuvent être liées au climat. Il s'agit principalement : d'une tendance à la diminution des débits et de l'ETR, d'une accentuation de la saisonnalité du bilan de l'eau, avec une recharge hivernale et déstockage estival plus importants et plus variables. Il s'agit aussi d'une diminution des flux de nitrate à l'exutoire, liée à une augmentation de la dénitrification (Figure 5). Cette tendance est assez forte et se retrouve quelle que soit la saison considérée. Les concentrations sont globalement moins importantes lorsque l'on prend en compte l'évolution du taux de CO₂ que dans le cas inverse. Cette tendance est le résultat d'une augmentation de la dénitrification dans les zones humides comme sur l'ensemble du bassin versant, liée à l'augmentation des températures et et cela malgré l'augmentation de la minéralisation de l'azote du sol, donc de la fourniture d'azote par le sol, et de la relative diminution de l'extension des zones humides.

Il y a aussi une tendance, notamment en futur lointain, à la diminution du stock de matière organique réactive, liée à une augmentation de la minéralisation, elle-même liée à une élévation de la température. L'analyse montre l'effet positif du CO₂ sur les rendements des cultures (blé, maïs, prairie). Vu les incertitudes sur les données d'entrées et sur le modèle, ces tendances constituent de premières indications. Par exemple la diminution des flux d'azote à l'exutoire du bassin versant, liée à l'augmentation de la dénitrification dans les zones humides, donc à l'activité dénitrifiante des micro-organismes, suppose un fonctionnement biologique à l'identique de l'actuel. Or ces zones peuvent subir des perturbations de leur fonctionnement, notamment lors de séquences climatiques atypiques.

Au final, le climat, bien qu'il ne soit pas la contrainte majeure des émissions d'azote, apparaît comme une contrainte importante susceptible de moduler substantiellement les flux d'azote dans un bassin versant, dans sa variabilité mais aussi dans ses tendances à plus long terme.

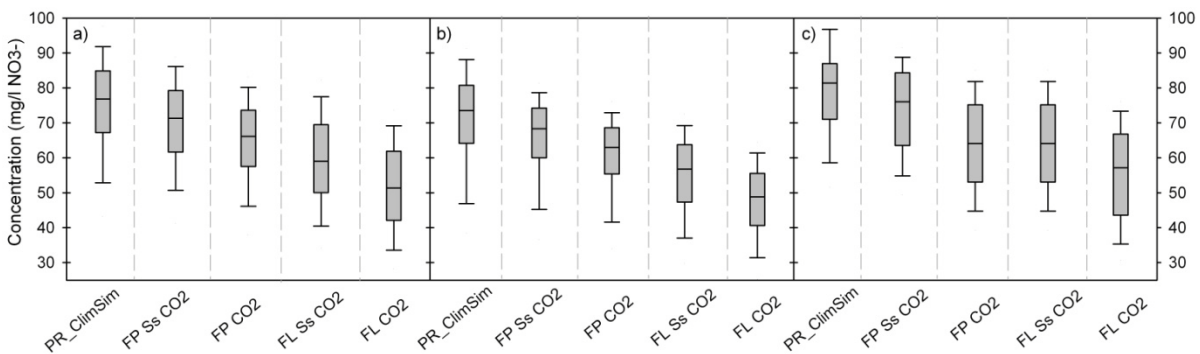


Figure 5. Variations des concentrations en nitrate (exprimée en mg/l de NO₃-) à l'exutoire du bassin versant : a) pour l'année hydrologique, b) en hiver, c) en été. Cas du bassin versant de Kervidy-Naizin. Même légende que figure 3

La qualité organique des eaux ; L'analyse comparée de la qualité organique des captages de Bretagne et des Pays de la Loire confirme le caractère dégradé des masses d'eau superficielles de ces deux régions du point de vue des matières organiques, avec un taux moyen de non-conformité de l'ordre de 40%.

Dans la période récente, les masses d'eau ont évolué différemment, certaines voyant leur concentration augmenter (18% des 140 masses d'eau analysées), d'autres, en majorité, voyant leur concentration se stabiliser, voire diminuer. L'existence d'une divergence des trajectoires temporelles peut remettre en cause l'hypothèse fréquemment avancée d'un rôle du CC en tant que moteur des évolutions à la hausse, eu égard au caractère local de celles-ci et à relative uniformité du climat affectant les régions Bretagne et Pays de la Loire.

La modélisation ouvre cependant une voie pour expliquer ces divergences, puis qu'elle montre que le CC joue un rôle d'autant plus important sur la qualité organique des eaux que les horizons organo-minéraux sont épais, sachant que les ceux-ci sont la source principale de la contamination (Figure 6). L'hypothèse d'une interaction entre les propriétés du sol et le CC comme explication aux divergences temporelles d'évolution de la teneur en matière organique des eaux brutes superficielles devra cependant être vérifiée par des relevés pédologiques et des études expérimentales.

La modélisation montre que les changements attendus à l'horizon 2100 dans les régimes de précipitations ne sont pas de nature, à eux seuls, à générer des évolutions significatives de la teneur en matière organique des eaux superficielles de l'Ouest de la France. Le rôle de l'élévation de la température pour augmenter le stock de matière organique mobilisable des sols reste à quantifier précisément, de même que la capacité des écoulements de l'eau à épuiser ce stock. La modélisation de la dynamique du carbone organique total du sol montre en tout cas que le CC peut se traduire par un déstockage partiel du carbone du sol, pour l'horizon de surface 0-30 cm comme pour les horizons organo-minéraux plus profonds, et donc libérer du carbone. Une fois le partage et les flux solides / dissous connus, le couplage de modèles de dynamique des matières organiques du sol à des modèles de transfert pourra permettre un réexamen des hypothèses et une meilleure prédiction de l'évolution à long-terme de la teneur en matière organique des sols et des eaux de surface en réponse au CC.

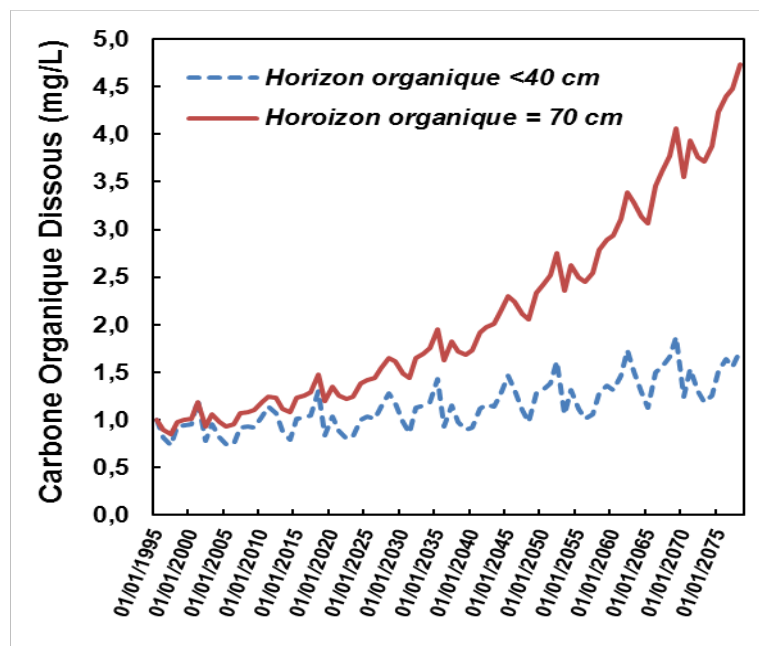


Figure 6. Simulation de l'impact de l'épaisseur des horizons organo-minéraux des sols sur l'évolution temporelle des concentrations moyennes annuelles en carbone organique dissous (COD) dans les eaux superficielles de Bretagne en supposant une augmentation de 3% par an de la production de matière organique

Érosion et CC : Deux modèles de sensibilité des sols agricoles à l'aléa érosion ont été adaptés pour être utilisés dans le cadre de projection liés au CC : SCALES (Le Gouée et al., 2010) et MESALES (Colmar et al., 2010). Leur adaptation a porté sur la prise en compte d'échelle spatiale et temporelle plus fine que celles pour lesquelles ils avaient été conçus : la parcelle agricole et sa gestion, la variabilité climatique et agricole intra-annuelle. Cette adaptation permet de mieux estimer les zones et les périodes à risques, ce qui est important sur des territoires comme ceux testés où les risques restent modérés et liés à certaines situations spatiales et temporelles. L'analyse de la variabilité intra-annuelle montre que la période d'automne et d'hiver est particulièrement sensible au regard des critères choisis pour caractériser l'aléa (état de la réserve en eau et pluie journalière). La projection climatique sur 2100, faite à partir de SCALES sur un territoire normand, montre une diminution estivale de la sensibilité à l'érosion, et un décalage temporel et une aggravation de cette sensibilité de l'automne vers l'hiver. Cette projection n'a pas cependant intégré des caractéristiques

d'intensité de la pluie à un pas de temps fin, caractéristiques qui influent fortement sur le ruissellement et l'érosion. Par ailleurs, elle n'a intégré que des projections climatiques. Elle devra donc encore intégrer des scénarios agricoles futurs dont l'interaction avec le climat pourrait modifier ces premières projections.

L'analyse des flux sédimentaires faite dans le même contexte donne un point de vue complémentaire pour réfléchir à l'impact possible du CC sur érosion et transport particulaire. Les flux sédimentaires annuels mesurés sur ces bassins varient entre 15 et 63 t/km²/an. Ils sont importants en phase hivernale et printanière, quand les sols sont humides, et les capacités de transport par la rivière importantes. Des accidents climatiques – dont l'occurrence plus forte est probable – peuvent contribuer fortement à ces transports sédimentaires. Mais ce sont l'état de surface, l'occupation du sol et la présence de zones tampons (haies, ripisylves) qui sont les éléments déterminant de ces flux érosifs. *L'ensemble de ces travaux sur l'eau et les sols* conduisent à donner à la variabilité locale des propriétés du sol un rôle clé dans l'évaluation de la vulnérabilité des ressources en eau et en sol, et donc une nécessité de renforcer sa caractérisation opérationnelle.

L'impact direct du CC sur *les écosystèmes d'eau douce* – dernier point abordé -, montre aujourd'hui un impact peu mesurable, car masqué par des pressions anthropique plus importantes (agriculture, modification du lit etc..) qui nécessitent une approche intégrant l'effet du bassin versant et pas simplement l'hydrosystème.

Enfin, la question des *accidents climatiques* entraînant des sécheresses ou des inondations, reste entière. Il est vraisemblable que l'augmentation observée au niveau tant régional que mondial de ces accidents soit une conséquence du CC (Coumou & Rahmstorf, 2012), mais cela n'a été prouvé jusqu'ici que dans de rares cas, comme celui des inondations en Angleterre et au Pays de Galles de l'automne 2000 (Pall et al., 2011). Le rapport du GIEC de novembre 2011, le premier consacré aux événements extrêmes, est très prudent : si la responsabilité du CC est vraisemblable dans l'augmentation des sécheresses, elle est difficile à établir vis à vis de l'augmentation des inondations parce que les processus régionaux sont complexes et les occurrences limitées.

Changement climatique et agriculture

Vis-à-vis de l'agriculture, nous avons multiplié les points de vue, avec différentes approches «découplées », mais nous apportant autant d'éclairages. Les *chroniques d'occupation du sol* sur des données de télédétection faites à différentes échelles par le capteur MODIS et d'autres capteurs haute résolution sur une décennie permettent de visualiser l'impact de la variabilité climatique sur les usages du sol et permettent une analyse puissante des relations climat- végétation- topographie.. De façon prospective, les travaux originaux sur les *jours agronomiquement disponibles* simulés sous contrainte de CC apportent une vision de la résilience des systèmes agricoles actuels et de l'évolution de la marge de manœuvre des agriculteurs. Enfin des enquêtes sur l'évolution des pratiques des éleveurs laitiers dans le grand ouest nous informent sur la prise en charge actuelle du CC dans leurs pratiques. Notons que ces travaux se sont nourris des résultats de CLIMATOR (Brisson and Levrault, 2010) qui proposent des références sur l'effet du CC sur les rendements, hors toute considération sociale ou économique. Ces résultats donnent une vision biotechnique, qui ont nourri nos propres travaux, et à coté de laquelle nous avons proposé d'autres points de vue.

Observation des changements d'occupation et d'utilisation des sols par télédétection

Les changements d'occupation et d'utilisation des sols ont des conséquences avérées sur l'environnement et sur le climat (Lobell et al., 2006). Dans les régions caractérisées par une agriculture prédominante, les changements d'occupation des sols sont très fortement liés aux changements de pratiques agricoles (Thenail et Baudry, 2001), motivés par des facteurs locaux, mais aussi par les politiques locales, nationales et européennes (Vannier et al., 2011; Houet et al., 2008;). Plusieurs études récentes ont montré les relations complexes existant entre le CC et les

changements d'occupation des sols (Fischer *et al.*, 2005). Elles mettent en évidence que ces changements apparaissent tour à tour comme un des facteurs explicatifs du CC et comme une conséquence de ce dernier (Lobell et Field, 2007).

Dans le cadre de CLIMASTER,, nous avons exploité la complémentarité des images à moyenne et à haute résolution spatiales pour identifier, caractériser et suivre les changements d'occupation des sols depuis 2000 à deux échelles à l'échelle du Grand Ouest; nous avons ensuite analysé les dynamiques identifiées à l'échelle de sites d'étude représentatifs de la diversité agricole et climatique du Grand-Ouest.

L'identification des changements inter et intra-annuels de la végétation à travers l'analyse de variables biophysiques dérivées des séries temporelles d'images MODIS (Baret *et al.*, 2007) a nécessité au préalable l'élaboration d'une chaîne d'acquisition et de traitement automatique d'images. Sélection des images ; corrections atmosphériques ; corrections géométriques et géo référencement (Lecerf *et al.*, 2008). Les étapes suivantes ont pour objectif de constituer des séries temporelles d'indicateurs de la dynamique de la végétation, qui sont ici des variables biophysiques, et notamment l'indice de surface foliaire ou LAI (Leaf Area Index), qui est la quantité de feuilles vertes par unité de surface, ou encore le fCOVER qui est la fraction de couverture végétale des sols, c'est-à-dire la surface couverte par de la végétation par unité de surface. Ceci permet d'identifier l'évolution de la phénologie des couverts végétaux.

L'étude de la dynamique de la couverture végétale est effectuée ici à travers l'analyse du fCOVER. Nous nous sommes attachés à analyser plus particulièrement la date de fin de croissance de la végétation. Elle met en évidence de fortes variations temporelles de la présence du couvert végétal en hiver. Ainsi, le taux de couverture végétale est particulièrement élevé durant l'hiver 2006/2007 qui a été doux et pluvieux (Figure 7). En revanche, ce taux est très faible au cours des deux hivers suivants, à l'instar de la situation observée au cours de l'hiver 2003-2004. Ceci peut s'expliquer par le climat, par les pratiques agricoles, et par une conjonction des deux. Les agriculteurs peuvent ne pas avoir implanté d'intercultures ou dans le cas contraire, l'avoir implanté tardivement (ce peut être pour des raisons climatiques), ou encore les conditions climatiques de l'automne et du début de l'hiver ne sont pas favorables à la croissance de la végétation.

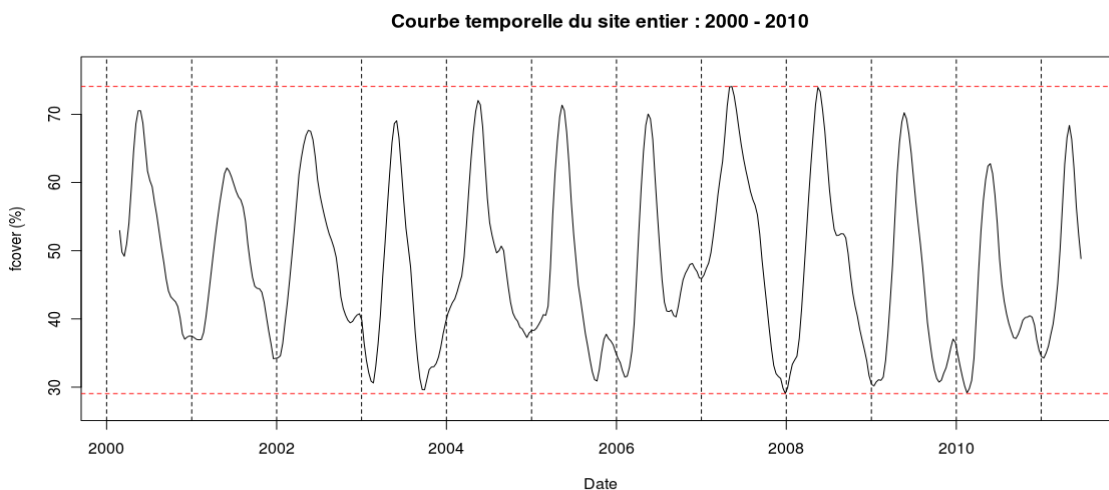


Figure 7. Évolution de la fraction de couverture végétale (fCOVER) sur l'ensemble du G.O. de mars 2000 à mars 2011.

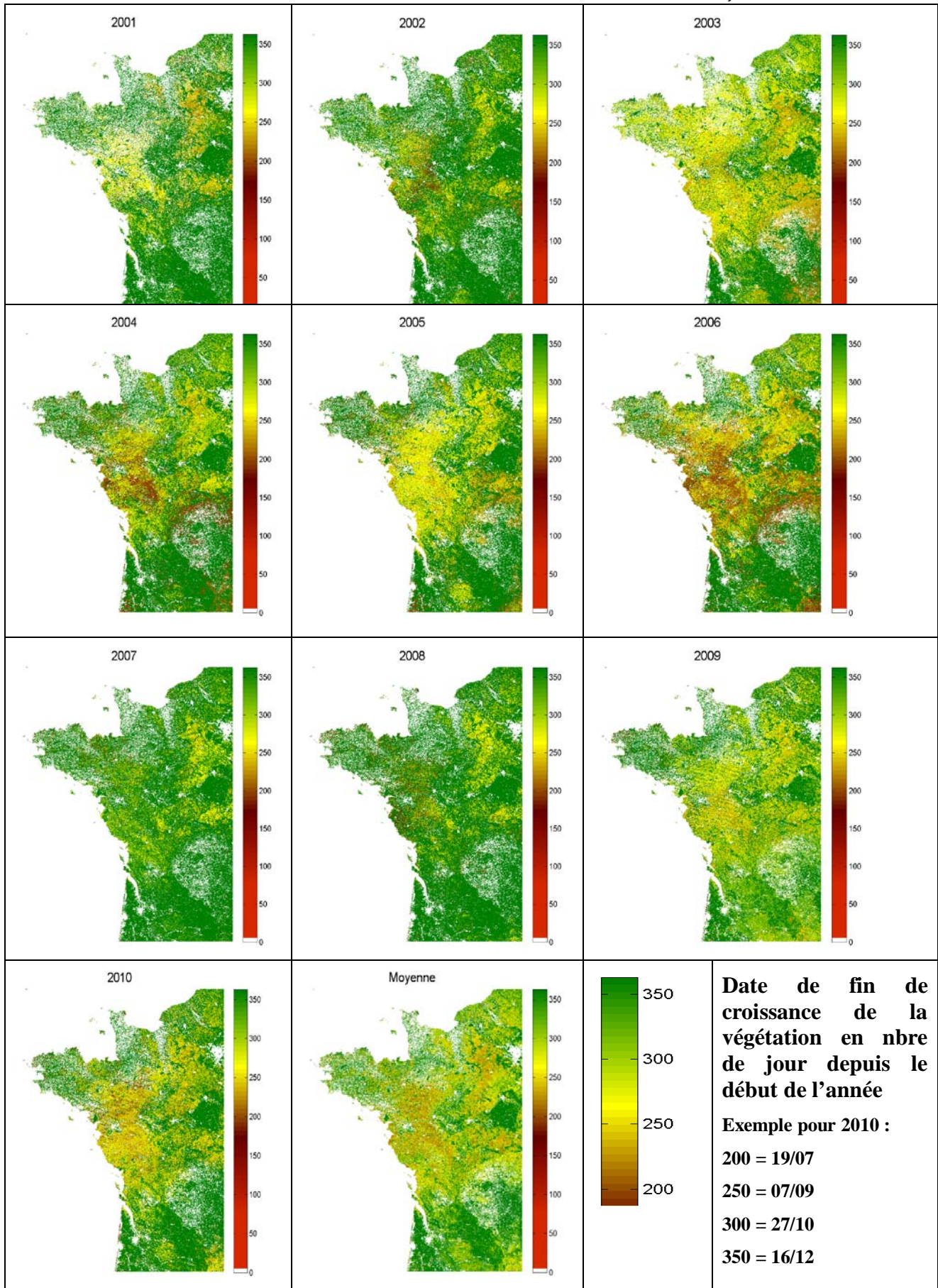


Figure 8. Date de fin de croissance de la végétation vue par MODIS sur le Grand-Ouest de 2001 à 2010

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle de l'évolution de la date de fin de croissance de la végétation montre un gradient relativement marqué entre la frange océanique nord-ouest, caractérisée par une date de fin de croissance prolongée (entre 300 et 350 jours), et les régions du sud-est pour lesquelles cette dernière varie de 250 à 300 jours (Figure 8). L'ouest de la Bretagne et la Basse-Normandie se distinguent ainsi nettement de l'est de la Bretagne (Bassin de Rennes), des Pays de la Loire et du Poitou-Charentes. Si ces deux ensembles se différencient d'un point de vue climatique, ils se distinguent également par des systèmes agricoles et des modes d'usage des sols spécifiques, ce qui explique en partie cette dichotomie : prairie dominante en Bretagne occidentale et Basse Normandie ; cultures céréalières dominantes dans le Bassin de Rennes, le Poitou-Charentes, les Pays de la Loire

L'analyse de cette métrique met également en évidence l'impact de la variabilité climatique sur la couverture végétale. Ainsi, les années sèches de 2005, 2006 et 2010 ressortent bien à cette échelle car elles sont caractérisées par une sénescence relativement précoce de la végétation.

D'autres travaux, non rapportés ici ont permis de suivre à travers le même indice les changements d'occupation des sols à l'échelle locale des sites d'étude (sur les bassins versants du Yar et de la Vie et du Jaunay et sur l'AOC de Saumur-Angers).

Enfin la dynamique infra-annuelle du couvert végétal a été estimée en 2010 sur le bassin-versant du Yar avec une série d'images satellitaires à haute résolution spatiale (utilisant le LAI et le fCOVER) afin de déterminer le mode de gestion des prairies (le pâturage, la fauche et l'exploitation mixte combinant le pâturage et la fauche), et leur lien entre ces modes de gestion et le climat. La méthodologie développée offre ainsi des perspectives intéressantes pour évaluer l'impact du CC sur l'évolution des modes de gestion des prairies qui sont très sensibles au CC en général et aux aléas climatiques en particulier (Vigneau-Loustau et Huyghe, 2008)

Jours agronomiquement disponibles

Nous présentons une analyse des conséquences du CC sur l'organisation du travail dans les exploitations agricoles à partir de la notion de Jour Agronomiquement Disponible avec le modèle JDISPO développé par Arvalis (Gillet, 1992) appliqué aux projections climatiques du scénario A1b à l'horizon 2060. Nous illustrons ici cette approche sur les exploitations de polyculture élevage laitier en Bretagne (climat de Louvigné-du -Désert). Un travail analogue a été fait sur les exploitations viticoles en Val de Loire.

Nos résultats pour le cas d'étude Breton montrent que la situation resterait favorable au maïs avec une augmentation des JAD pour l'implantation et un niveau élevé de jours disponibles à l'automne même si une baisse pourrait se produire dans le FTP (Futur Très Proche 2000-2029). Pour le blé les conditions d'implantation ne devraient que peu changer, ceci surtout pour des semis après le 1^{er} novembre. Enfin, concernant la prairie, l'évolution des jours disponibles ne suivraient pas la même logique que l'évolution de la productivité des prairies. En mars, aurait lieu une forte augmentation de la productivité (Brisson et Levrault, 2010) et on observerait une stabilité des JAD ; en été le nombre de JAD augmenterait fortement alors que la productivité des prairies seraient en forte baisse.

A titre de comparaison (Cooper et al., 1997) pour différentes situations pédoclimatiques en Écosse ont simulé des tendances en partie comparables, à savoir : 1. une légère augmentation des JAD au printemps, ce qui rejoint nos résultats avec une amplitude moindre ; 2. en hiver une réduction significative des JAD due à une augmentation forte de la pluviométrie dans leur modèle climatique

Globalement ce travail a montré que la notion de jour agronomiquement disponible constitue un indicateur sensible au CC tel que modélisé par les climatologues. En ce sens il devrait permettre aux agriculteurs et plus largement au développement agricole d'intégrer le CC dans leurs raisonnements

stratégiques sur les orientations de leur système d'exploitation. Toutefois, nous ne le dirons jamais assez, ces résultats sont emprunts d'incertitude liée aux modèles climatiques, leur régionalisation et leur discrétisation au pas de temps journalier. En aucun cas ces résultats ne doivent être pris comme des prévisions, mais bien comme des tendances pour aider à réfléchir au futur. Par ailleurs la signification de ces résultats est à raisonner en fonction des évolutions des structures des exploitations, L'organisation du travail n'est pas qu'une question de jours disponibles. Si dans le futur les exploitations continuent de s'agrandir et la main d'œuvre agricole de diminuer, la situation du travail des agriculteurs pourrait se dégrader malgré une augmentation des jours disponibles.

Adaptation stratégique ou tactique : évolution climatique dans les élevages laitiers du G.O.

Le choix de l'approche développée dans la cadre de CLIMASTER est d'étudier le lien entre les pratiques agricoles et l'évolution climatique en fondant l'analyse sur le point de vue des agriculteurs, dans une grande région, le GO, encore peu investiguée de ce point de vue. Trois types d'interrogations structurent plus particulièrement notre réflexion : les agriculteurs du GO ont-ils déjà perçu une évolution climatique ? L'ont-ils intégrée au pilotage de leur système d'exploitation et selon quelles modalités ? Nous nous sommes appuyés par les travaux récents sur les relations entre CC et systèmes fourragers de l'Ouest en général (systèmes à base maïs ou prairie) (Andrieu *et al.*, 2008 ; Felten *et al.*, 2010, Lemaire et Pflimlin, 2007 ; Amigues *et al.*, 2006; Brisson et Levraut, 2010 ; Moreau *et al.*, 2010).

Nous avons choisi d'orienter notre travail sur les itinéraires techniques (Doré et Meynard, 2006) du blé et du maïs, les systèmes fourragers (Moreau *et al.*, 2010), ainsi que certaines dimensions de la gestion territoriale de l'exploitation (Martin *et al.*, 2006), de façon à cibler des pratiques communes à tous les exploitants, car i) importantes pour l'élaboration des productions, ii) potentiellement « aux avant-postes » des réponses des agriculteurs aux évolutions climatiques, et iii) aux évolutions significatives sur l'utilisation des terres et les ressources naturelles, étudiées dans d'autres volets du projet CLIMASTER.

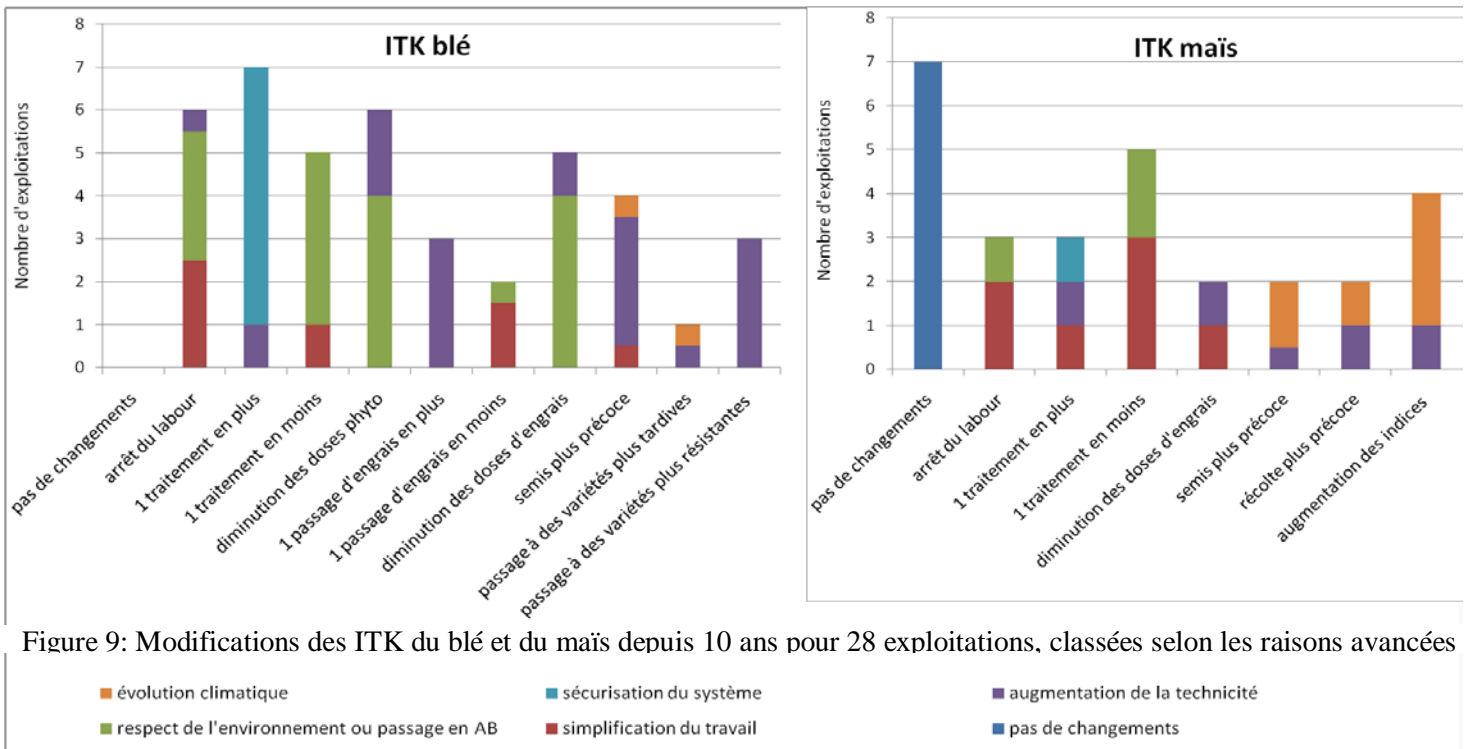
Trois zones d'étude principales, représentant les contrastes climatiques les plus caractéristiques du GO, ont été choisies. Il s'agit du Centre Ouest Bretagne (COB, Côtes d'Armor), caractérisé par un climat humide et peu d'amplitude thermique, du Haut Anjou (Maine et Loire) caractérisé par de fortes amplitudes thermiques liées à des étés chauds, et du Perche (Orne) caractérisé par de fortes amplitudes thermiques liées à des hivers froids. Nous nous sommes appuyés sur les réseaux nous donnant une diversité de situation (part de l'élevage laitier dans la production, âge des éleveurs et de structures d'exploitation (y compris des territoires des exploitations).

Tableau 3 : Les enquêtes de terrain

	1. Enquête agronomique (2010)	2. Enquête sociologique (2011)
Effectif	56 exploitations agricoles (EA)	Retour dans 24 EA
Objectifs	Connaître les changements dans les pratiques agricoles depuis 10 ans et les raisonnements des éleveurs	Connaître la façon dont les éleveurs perçoivent et intègrent la variabilité climatique à leur système de production
Méthode	Entretiens dirigés, questions sur des données pour la plupart techniques	Entretiens compréhensifs, collectes des représentations des éleveurs
Thèmes abordés	- Description de la structure des EA - Les systèmes fourragers pour 33 éleveurs (Aussems, 2010) - Les itinéraires techniques et la gestion territoriale pour 28 éleveurs (Léon, 2010)	La trajectoire de l'éleveur, le pilotage du système de production, les changements depuis + de 10 ans, la perception du climat et de son évolution, la gestion de la sécheresse

Pour étayer cette approche, nous avons également étudié cinq élevages de la Vienne, région sensible aux pénuries d'eau qui seront utilisées en contrepoint dans la discussion. Un travail d'enquête agronomique en 2010, et sociologique, en 2011 a été mené (Tableau 3). Les caractéristiques des exploitations sont détaillées dans le rapport complet de CLIMASTER.

La figure 9 synthétise les *changements d'itinéraires techniques en blé et maïs* réalisés par les 28 agriculteurs interrogés sur ce thème, et les raisons qu'ils expriment pour ces changements, dont notamment l'évolution climatique.



Les exploitants évoquent peu l'évolution du climat comme explication aux changements effectués ; ils l'évoquent, pour le maïs, à propos des dates de récoltes et de semis plus précoces, et du passage à des variétés plus tardives. Le raisonnement d'une meilleure adaptation aux conditions pédoclimatiques apparaît dans les quelques cas de changement de successions culturales. Il s'agit dans ces cas d'une meilleure adaptation aux conditions existantes, et non d'une adaptation à une évolution climatique qui s'exprimerait de façon différente sur le territoire de l'exploitation.

Lorsqu'il s'agit de qualifier l'évolution climatique les avis divergent, mais la plupart des agriculteurs s'accordent à percevoir une transformation du régime des pluies. Cette appréciation est relativement convergente avec l'avis des climatologues. Les distinctions les plus fortes entre les exploitants apparaissent dans la justification de cette évolution, en fonction du niveau d'étude. Il est constaté que la théorie du CC qui reconnaît le rôle de l'homme dans le CC est plutôt partagé par les exploitants ayant un niveau d'étude BTS/ingénieur, les autres exploitants ayant plutôt tendance à privilégier la théorie du cycle ou ne fournissant pas d'explication spécifique.

L'adaptation à l'évolution climatique dans la conduite du système d'exploitation : Le premier constat dressé par cette étude est la *difficulté d'identifier le rôle du facteur climatique dans les changements survenus sur les exploitations*. Plus généralement, l'éleveur semble s'adapter à son environnement sans en faire de « découpage » selon différents facteurs causaux (Delbos et Jorion, 1984). L'adaptation du système de production n'est pas orientée par le facteur climatique, mais par l'adéquation entre les ressources et les besoins alimentaires du troupeau (Andrieu *et al.*, 2008) dont le facteur climatique devient un élément de la composition. Si l'évolution climatique est une

nouveauté, en revanche la variabilité climatique est un paramètre fort de la constitution du stock fourrager jusqu'au pilotage de l'ensemble de l'élevage.

Pour comprendre comment s'effectuent ces ajustements entre ressources et besoins alimentaires, *il a été demandé aux éleveurs d'expliquer comment ils avaient géré la sécheresse de 2010*. Trois catégories d'actions ont pu être ainsi identifiées : i) celles qui permettent d'internaliser les conséquences de la sécheresse sur le système de production (en augmentant la part de fourrages disponibles par la fauchage des dérobés ou des refus, en pâturant des surfaces initialement prévues pour des récoltes, etc.), ii) celles qui permettent d'externaliser ses conséquences (achat de fourrages, adhésion à des assurances contre les aléas climatiques et, en dernier ressort, diminution de la ration alimentaire du troupeau voire décapitalisation partielle du troupeau) et iii) des actions mixtes, à la fois, d'internalisation et d'externalisation des conséquences de la sécheresse (Magnan, 2009). Dans la plupart des cas, les éleveurs ont préféré mettre en place des actions mixtes. Plus précisément, deux échelles temporelles d'ajustement peuvent être identifiées : celles fondant des raisonnements interannuels (une année sur l'autre) et celles portant sur les pas de temps « intra-campagne » en fonction de la situation locale.

La gestion de la sécheresse, montre que les agriculteurs intègrent le facteur climatique dans des actions tactiques mais pas (encore ?) dans le système de production. Cette gestion renvoie à la perception de la variable climatique par les éleveurs. La situation des agriculteurs interrogés dans la Vienne présente un contraste de ce point de vue. Ces éleveurs ont tous spontanément parlé d'évolution climatique et ont développé diverses adaptations : variétés, espèces ou modes d'irrigation moins consommateurs d'eau, extension de la surface en prairies, ou au contraire maximisation des cultures de vente et achat de fourrages (voir aussi Amigues *et al.*, 2006; Brisson, et Levraut, 2010). Cette transition semble avoir déjà effectuée par ces éleveurs de la Vienne pour lesquels la nécessité de l'irrigation a rendu indispensable une action stratégique planifiée car elle nécessitait une coordination d'actions importante et l'identification du facteur climatique en tant que tel pour calculer les besoins.

Conséquences de l'adaptation climatique sur la spécialisation des élevages : L'orientation des systèmes fourragers est apparue fortement structurante de la diversité des exploitations sur un gradient allant de la prédominance du maïs à la prédominance des herbages. Ainsi, les stratégies qui se mettent en place laissent à penser qu'elles renforcent plutôt la spécialisation des exploitations vers un système fourrager à « dominante maïs » ou « à dominante herbagère ».

Le deuxième élément à prendre en compte dans l'analyse du lien entre l'évolution climatique et la spécialisation des élevages concerne l'effet de seuil induit par l'augmentation de la variabilité climatique dans des élevages déjà très contraints par une synergie de facteurs. Dans certains élevages, nous avons pu noter que l'exploitant pensait arrêter à terme l'atelier lait. Dans ce choix, les sécheresses estivales répétitives depuis le début des années 2000 jouaient un rôle, mais jamais comme facteur déclenchant. Cela renvoie à l'importance de la prise en compte de la succession d'événements extrêmes.

Cette étude qualitative a permis de caractériser une diversité de façons de percevoir les évolutions climatiques et de raisonner la gestion et l'évolution des systèmes d'exploitation, par les éleveurs laitiers de l'Ouest (Bretagne, Basse-Normandie, Pays de Loire). Même si beaucoup d'éleveurs constatent une évolution climatique, elle ne constitue pas encore une préoccupation majeure pour eux, au contraire des éleveurs rencontrés en Poitou-Charentes. Le mode d'action des éleveurs de l'Ouest repose sur la gestion tactique de l'évolution climatique, qu'ils intègrent en fait dans la gestion de la variabilité climatique, paramètre fondamental de leur métier. Cela se traduit par une modification de certaines de leurs pratiques sans identification isolée du facteur climatique. Cependant, la prise de conscience des éleveurs, leur sensibilisation au CC et leur formation, en termes de diversité des solutions possibles, sont manifestement des éléments importants pour améliorer la durabilité de leurs exploitations et pour aider à préparer des solutions alternatives : ceci

dépasse la question climatique, mais celle-ci intervient déjà comme un révélateur pour les systèmes d'exploitation de l'Ouest.

Changement climatique et viticulture : le cas du Val de Loire

Dans le cadre de cette étude sur le vignoble du Val de Loire, une analyse comparative des températures issues du réseau Météo France est effectuée à l'échelle régionale, afin de caractériser les premiers effets de ce réchauffement sur l'évolution des températures depuis le milieu du XXème siècle mais aussi sur les dates de vendanges (Figure 10) et la qualité des raisins (Tableau 2). Une analyse de l'évolution des pratiques viticoles et de leurs perspectives face au réchauffement climatique est également effectuée.

Depuis la fin des années 80, la viticulture du Grand Ouest se trouve dans un contexte climatique favorable, où les différents cépages traditionnellement cultivés peuvent exprimer toutes leurs potentialités. Si, auparavant, la Loire était considérée comme la limite septentrionale de la culture de la vigne dans le Grand Ouest, car certaines années les raisins mûrissaient avec difficulté, ce n'est plus vrai aujourd'hui. Par contre de nouveaux problèmes apparaissent : augmentation importante de la teneur en sucres conduisant à des vins trop alcoolisés, décalage croissant entre la maturité technologique (rapport sucres / acidité) et la maturité phénolique des raisins rouges ou la maturité aromatique des raisins blancs, obligeant à mettre en œuvre de nouveaux indicateurs de la maturité globale (ex. développement rapide de la dégustation de baies à la parcelle). La date de vendange devient de plus en plus une variable particulièrement sensible car elle correspond à un équilibre sucres / acides / composés phénoliques / arômes qui va déterminer le mode de vinification et le type de vin à élaborer. Cette question ne se posait pas avec la même acuité auparavant car l'accumulation du sucre dans les baies était plus lente, la récolte plus tardive, et il arrivait un moment où, coûte que coûte il fallait récolter, parce que les conditions climatiques devenaient défavorables et que la vendange se détériorait.

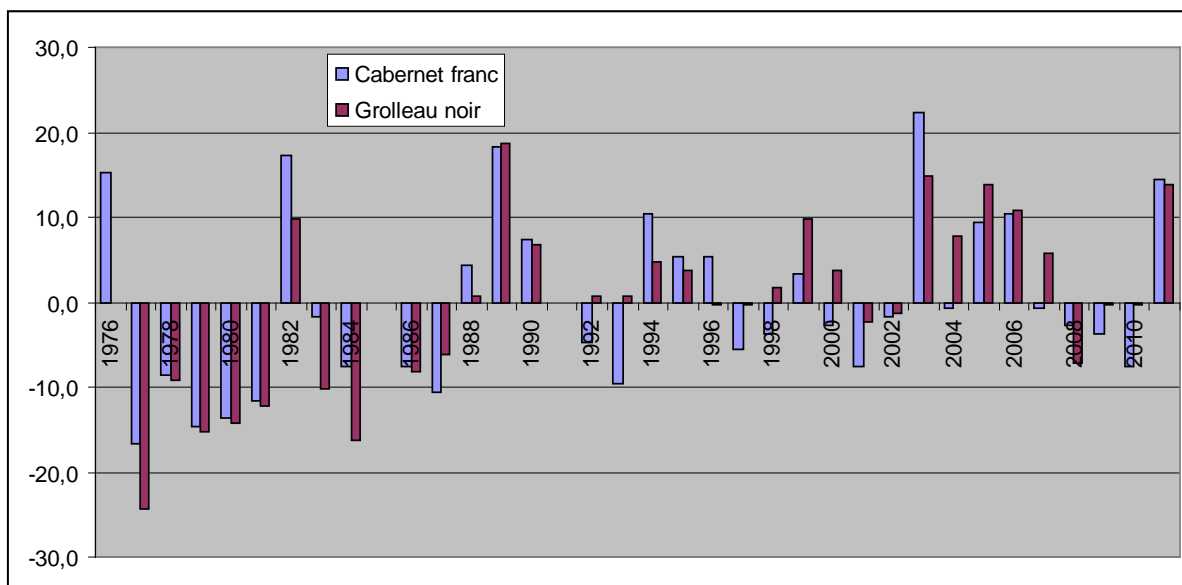


Figure 10. Ecart en jours à la moyenne 1976-2011 des dates de vendanges du Grolleau noir (cépage précoce) et du Cabernet franc (cépage plus tardif) à la station expérimentale INRA de Montreuil-Bellay (49) au sud de Saumur.

Tableau 2. Évolution de la qualité des raisins de 5 cépages en Pays de Loire (Source données : CA 44 ; ATV 49)

Bassin viticole (N°département)	Cépage (nombre de parcelles)	Série temporelle	Teneur en sucre (g/L)	Degré d'alcool potentiel	Acidité Totale (g H ₂ SO ₄ /L)
Muscadet (44)	Melon de Bourgogne (20)	1986–2009	+24.1 *	+1.4°	-0.7
Anjou (49)	Grolleau noir (5)	1981–2010	+36.5 ***	+2.2°	-2.0 *
Anjou (49)	Gamay (6)	1981–2010	+25.0 *	+1.5°	-1.2 *
Anjou (49)	Cabernet franc (10)	1981–2010	+46.6 ***	+2.8°	-2.2 *
Anjou (49)	Chenin (8)	1981–2010	+38.2 **	+2.2°	-2.0 *
Anjou (49)	Sauvignon blanc (2)	1981–2010	+38.9 ***	+2.3°	-1.0
Saumurais (49)	Chenin blanc (2)	1981–2010	+38.0**	+2.3°	-3.0**
Saumurais (49)	Cabernet franc (4)	1981–2010	+54.4 ***	+3.2°	-2.0 **

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ et *** $P < 0.001$ respectivement. Note : 1° d'alcool équivaut à 16.83g/L de sucre.

D'autres problèmes commencent à poindre : augmentation de la fréquence de saisons particulièrement sèches (soit le printemps, soit l'été, ou les deux) induisant parfois des stress hydriques sévères dans des parcelles de vigne implantées sur des sols superficiels ou à faible réserve en eau ; problèmes de qualité du raisin variable selon les cépages. Sur le plan sanitaire, pour le moment, la nouvelle situation est plutôt favorable; la pression de maladies telles que le mildiou (*Plasmopara viticola*) et l'oïdium (*Uncinula necator*) diminue (à l'exception de l'année 2007) ainsi que la pourriture grise sur grappes (*Botrytis cinerea*). Là, encore le CC n'est pas seul en cause ; l'amélioration des pratiques viticoles et la nature des nouvelles molécules fongicides mises en œuvre jouent un rôle non négligeable, mais difficilement quantifiable.

Enfin, la caractérisation du climat d'un terroir aux échelles plus fines, a permis de montrer l'incidence climatiques de la végétation, de l'occupation et de la nature du sol ainsi que la topographie. On constate ainsi dans le Val de Loire, (projet ANR-JC-TERVICLIM¹) par exemple des différences de cumul de degré jour jusqu'à 100 degrés-jours selon la localisation au sein de l'AOC coteau du Layon.

Perception et mise en débat du changement climatique

La question du climat discutée par les acteurs de l'eau. Quelle représentation du changement climatique ? Quelle prise en compte dans la gestion locale de la ressource en eau ?

L'objet de ce paragraphe est d'appréhender le CC tel qu'il est perçu par d'autres acteurs que les acteurs agricoles, à savoir des acteurs dans le domaine de l'eau. Cela a été fait sous l'angle de la psychologie sociale et environnementale. Nous nous sommes intéressés à la manière dont les gestionnaires de l'eau appréhendent et se représentent le CC. Notre objectif est d'identifier leur représentation sociale du CC et d'identifier les éventuelles variabilités individuelles selon leurs appartenances de groupe (statut au sein de la Commission Locale de l'Eau –CLE-, âge, localisation des Schéma Aménagement et de Gestion des Eaux-SAGE-, etc.). Plus précisément, il s'agit de répondre aux questions suivantes : Quelles sont leurs connaissances du phénomène ? Y a-t-il ou non perception de modifications au niveau du climat ? Si oui, quels sont les indicateurs, les causes et les conséquences ? Quels sont les impacts probables, directs ou indirects, du CC sur la ressource en eau ? Cette représentation fait-elle apparaître des distinctions selon les groupes d'acteurs concernés ?

L'enquête porte sur la période 2009-2011. Elle s'est déroulée en deux grandes étapes auprès des SAGE du Grand Ouest, situés en Basse Normandie, Bretagne, Pays de la Loire et Poitou-Charentes.

¹ ANR-JC 07-194103 TERVICLIM "Observation et spatialisation du climat des terroirs viticoles dans un contexte de changement climatique"

Dans une première étape (2009-2010), des entretiens de recherche semi-directifs ont été menés auprès de 49 membres de CLE participant à différents sages bretons. Dans une seconde étape (2011), à partir de ces premiers entretiens, nous avons élaboré un questionnaire, diffusé auprès de l'ensemble des SAGE du Grand Ouest, soit 56 SAGE. Les outils d'enquête (guide d'entretien et questionnaires) portaient sur trois thématiques principales : l'eau, le CC et le développement durable.

Les entretiens semi-directifs (Michel-Guillou, 2010) ont montré que la représentation sociale du CC s'avère fortement influencée par les médias (Cabecinhas et al., 2008). Elle apparaît donc stéréotypée et peu empreinte de vécu. En conséquence, les acteurs locaux interrogés ont conscience d'une modification du climat mais celle-ci n'est pas ressentie comme une réalité au quotidien. Ce problème est identifié comme global plutôt que local et il apparaît imperceptible à court terme.

Les réponses au questionnaire font apparaître une population sensible au CC, qui met peu en doute son existence malgré de relatives incertitudes quant à la projection de ses conséquences à long terme. Le CC est réel, il s'actualise au travers d'un réchauffement des températures. Les enquêtés sont une majorité à penser qu'il existe un lien entre les problématiques liées au SAGE et le CC. Il semble néanmoins important au regard de ces résultats de noter le faible taux de réponses des membres des CLE (5%), ainsi que le taux élevé de membres participant à au moins une association environnementale (36%). Qu'en est-il de l'opinion des non répondants ?

Ainsi, même si les acteurs interrogés croient majoritairement en la réalité d'une modification du climat, la comparaison des conséquences globales et à long terme de ce phénomène à celles des conséquences immédiates et saillantes de la ressource en eau fait que les problèmes liés à l'eau sont perçus comme plus sérieux que les problèmes du climat. En ce sens, le CC n'est pas une priorité (Spence et Pidgeon, 2009), et donc n'est pas envisagé comme un risque imminent. En outre, l'étude met en évidence une représentation sociale du CC relativement consensuelle. Aucune différence importante n'apparaît selon le statut des membres des CLE (élu local, représentant des usagers ou représentant de l'État). Quelques différences apparaissent selon la localisation des SAGE ; les membres des CLE des SAGE traitant d'une problématique quantitative en lien avec la ressource en eau sembleraient plus enclins à reconnaître l'existence de changements locaux liés au climat.

La question du climat discutée par des groupes d'agriculteurs

Les acteurs agricoles de ce projet ont été les groupes de développement (TRAME, Ceta35, Cedapa22), et les Chambres d'agriculture de Bretagne. Associer des agriculteurs à ces travaux a été possible à la fin du projet par la mobilisation de 4 groupes d'agriculteurs de l'Ouest (puis d'autres groupes par la suite), au sein desquels une synthèse des connaissances issues de la recherche sur les relations Agriculture – CC a été mise en discussion.

Le dispositif de mise en discussion repose sur *les principes* suivants, exposés au démarrage :

1. « L'environnement est rempli d'incertitudes (marchés, politiques, climat, etc.), Ce qui ne vous empêche pas de décider, prendre des risques sur vos exploitations. »
2. « Dans cet environnement d'incertitudes, Vous mobilisez un ensemble d'informations, nécessaires pour éclairer les choix que vous faites. »
3. « La recherche ne détient pas la vérité, mais elle dispose de connaissances qui peuvent vous être utiles. »
4. « Vos expériences et vos observations de terrain constituent également des connaissances précieuses pour vous aider à décider. »
5. « Il vous appartient, à vous en tant que décideurs, de construire et assembler les connaissances utiles à la mise en œuvre des adaptations sur vos exploitations. »

La séparation entre l'environnement (externe à l'exploitation) et le système d'exploitation (interne) est un préalable que les participants doivent accepter. Cette réflexion prospective en groupe a été conduite en 4 temps : l'installation du cadre, la présentation des résultats des recherches, la qualification des informations pertinentes, et enfin la production de pistes pour le futur.

Après avoir précisé le cadre (parole libre, pas de jugements de valeur, créativité, expression positive, respect des horaires), un tour de table permet de récolter les représentations spontanées des participants sur le CC. « *Agriculture et CC : quelles questions cela vous pose ?* ». Cette séquence rend compte de la diversité et de la richesse du groupe présent.

Dans un second temps (résultats des recherches), une synthèse des connaissances sur agriculture et CC, élaborée spécifiquement, est présentée pendant une heure par un accompagnateur non – scientifique.

Dans un troisième temps, (qualification des informations) La parole est redonnée aux participants à partir de la question : « *Parmi toutes ces informations, lesquelles constituent une OPPORTUNITE pour vos exploitations ? Lesquelles de ces informations constituent une MENACE pour vos exploitations ?* ». Puis, pour compléter cette séquence, les participants sont invités à porter un regard évaluatif sur leur exploitation : « *Quels sont les ATOUTS que possèdent vos exploitations pour faire face à ces changements ? Quelles sont les CONTRAINTES dont elles sont porteuses ?* ».

Arrive ensuite la séquence de construction de pistes prometteuses pour l'avenir. Par petits groupes de 2 à 4 personnes, il est demandé de sélectionner 1 Atout, 1 Menace, 1 Opportunité et 1 Contrainte (méthode AMOC). Puis, à chaque intersection, (Figure 11) se poser la question « *Quoi faire ? Quelle est la piste d'action envisageable pour l'avenir ?* » (par exemple : L'augmentation des températures printanières et automnales est une opportunité. La production de melons actuellement sur l'exploitation est un atout. La vente des melons localement aux touristes plus longtemps dans l'année est la piste formulée).

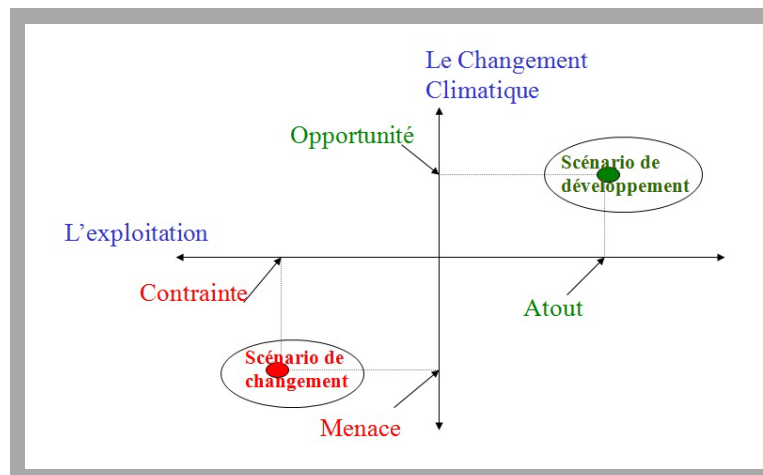


Figure 11 :
Schéma d'organisation
des informations

Avec cette expérimentation, menée sur 30 personnes en 4 groupes du GO, nous avons pu vérifier que cette méthode est adaptée à la mise en discussion des enseignements sur le CC au sein de groupes d'agriculteurs. Les conditions requises pour que cela fonctionne sont les suivantes :

- Que les participants acceptent de s'impliquer et jouent le jeu de la prospective,
- Que l'animateur soit centré sur l'élaboration du cadre et laisse les participants produire par eux-mêmes,
- Que l'animateur fasse confiance à l'intelligence du groupe pour traiter une question aussi complexe.

Toutes les informations issues du projet de recherche CLIMASTER n'ont pas suscité le même intérêt chez les participants. *Les aléas climatiques* du passé se retracent aisément grâce à la mémoire collective. Chacun se souvient des *événements extrêmes* qui ont touché sa sensibilité. Les

projections climatiques qui soulèvent un intérêt sont les *scénarios régionalisés* qui renvoient les agriculteurs à quelque chose qui les concerne directement. Parmi les *opportunités*, ont été citées les températures plus élevées au printemps et à l'automne. Parmi les *menaces*, l'augmentation de la fréquence des événements exceptionnels tels que les inondations, sécheresses, températures élevées ou gels a été citée comme la plus importante, faisant régner l'incertitude en terme de prise de décision et d'incapacité d'anticiper de tels événements. Face à ce CC, les agriculteurs ont eu à analyser leurs exploitations. Ils listent un certain nombre d'*atouts* et de *contraintes* pour y faire face. Ainsi, les systèmes herbagers de l'ouest obtiennent des rendements faibles, voire nuls en automne et en hiver dans les conditions de températures des décennies passées. Sont vues comme des atouts l'augmentation des températures hivernales et la réduction de la pluviométrie estivale.

Parmi les pistes d'action envisagées par les agriculteurs, celles-ci relèvent tantôt de l'adaptation autonome, « *je peux mettre en place ces adaptations seul sans avoir à négocier avec mon environnement* » (dates de semis, mélange d'espèces, gestion des stocks de fourrage réduction des intrants, assurances, diversification –photovoltaïque-,), tantôt de l'adaptation négociée, « *je peux mettre en œuvre ces adaptations à condition que la filière ou le territoire les acceptent* » (irrigation, développement du dialogue et implication dans les controverses locales, nouveaux débouchés, réglementation négociées par territoire...).

Globalement, les participants se rejoignent sur l'idée que les systèmes d'exploitation les plus autonomes (intégrant la conservation de la fertilité des sols) seront les plus résistants face aux aléas climatiques. Les participants de ces groupes sont très confiants dans leurs capacités à trouver les bonnes solutions. Ils font confiance dans « *la recherche paysanne* ».

En adoptant une posture de décideurs et une démarche prospective, les agriculteurs sont des utilisateurs directs des travaux de recherche. La livraison « brute » du matériau de recherche oblige les agriculteurs à traiter cette information. Ce travail est valorisant et a facilité le passage à la formulation d'évolutions de leur propre système. Sur le thème du CC, les agriculteurs ont exprimé différents pistes d'évolution pour être en mesure de s'adapter. Leurs attentes vis-à-vis de la recherche concernent autant les sciences sociales que les techniques de production.

Ce travail de mise en débat des résultats des travaux de CLIMASTER au sein de groupes d'agriculteurs nous amène à tirer des enseignements sur 3 niveaux : le choix de la méthode utilisée, les perspectives envisagées par les participants, la place des partenaires du développement dans un projet de recherche.

La méthode de réflexion prospective, utilisée ici a été mise au point par TRAME, pour aider des agriculteurs à imaginer les futurs de leur exploitation dans un environnement économique et politique en mouvement. L'utilisation de cette méthode pour faire de la prospective avec les hypothèses de CC s'avère pertinente. Pour chacun des groupes expérimentaux, les participants sont repartis avec un ensemble de pistes d'adaptation de leur exploitation au CC. Les scénarios du GIEC à 50 ans ou 100 ans sont finalement un avantage car ils permettent la nécessaire distanciation avec l'actualité pour oser imaginer le futur. A partir d'un phénomène sur lequel il est difficile d'agir et pour lequel la période retenue dépasse largement une carrière professionnelle, ce travail aboutit à une appropriation de leur avenir par les agriculteurs.

Dans ce projet, TRAME et les Chambres d'agriculture de Bretagne étaient partenaires associés aux laboratoires de recherche. Avec nos métiers d'animateurs et agronomes de terrain, nous avons pu jouer un rôle d'interface, essentiel pour aider à formuler des questions de recherche en phase avec les attentes du terrain, et aussi pour accélérer l'appropriation des enseignements de la recherche par les acteurs de terrain, une sorte d'outillage pour la décision. Enfin, ce travail a montré la curiosité et l'intérêt des agriculteurs pour les travaux sur le CC. Le futur n'est pas écrit et reste à construire avec les acteurs concernés, qui plus est quand ceux-ci sont volontaires.

Analyse prospective de l'impact du changement climatique à partir des résultats de CLIMASTER.

Dans le cadre de CLIMASTER un travail spécifique a été demandé à l'AScA (J. B. Narcy et X. Poux) : Ce travail avait 2 objectifs ; il visait à proposer une analyse prospective de l'impact du CC à partir de scénarios élaborés avec les résultats de CLIMASTER, scénarios discutés collectivement par des agriculteurs au cours d'un atelier participatif. Par ailleurs, l'intervention de l'AScA, précoce dans le déroulement du projet (avant même l'élaboration des premiers résultats, ce qui rendait le travail délicat), visait à contribuer à l'émergence d'une réflexion collective des chercheurs et des acteurs, d'origines très diverses, et dispersés dans les différents volets de recherche. Ce deuxième objectif a été largement atteint ; les différentes réunions et débats entre chercheurs et acteurs participant au projet ayant montré la nécessité d'arriver à cette réflexion commune. On retiendra les acquis suivants :

- La difficulté d'aborder la rupture lorsque l'on parle d'adaptation a été rappelée : Les adaptations passées (adaptations autonomes), mentionnées par les agriculteurs enquêtés, peuvent être qualifiées de « premier ordre » (évolution des pratiques et des références techniques conservant la logique d'ensemble du système de production) (B. Hubert, 2009). Dans le futur, le climat peut-il induire des changements de « second ordre » (mise en cause des raisonnements sous-jacents aux pratiques et références techniques, débouchant sur d'éventuelles réorientations des systèmes dans leur ensemble) et peser ainsi autant que la Politique Agricole Commune (PAC) ou la volatilité des marchés dans les stratégies des agriculteurs ? Les agriculteurs peuvent ils se saisir de ces changements de second ordre ?

- La spécificité de CLIMASTER a été soulignée : aborder la question du CC du point de vue de l'exploitant et de l'écosystème, et non pas simplement du point de vue uniquement biophysique comme par exemple dans Climator, dont l'objectif était l'évaluation de l'impact du climat (seule variable de forçage) sur la productivité des cultures.

- La nécessité de prendre en compte d'autres forces motrices (la PAC, les marchés, le prix de l'énergie, les politiques publiques). Cela augmente l'incertitude, mais permet également de hiérarchiser et d'articuler les différentes forces motrices.

- La valorisation des données brutes par l'élaboration des « variables d'intérêt », qui ont une triple fonction : 1) porter de l'information climatique dans la compréhension de l'agro-écosystème et, le cas échéant, révéler ainsi des variables « cachées » dans son fonctionnement, qui ne se manifestent que sous ce forçage ; 2) être significatives, pour le scientifique, ce qui suppose qu'elle soit accessible (CAD qu'elle soit mesurée ou calculée et qu'on puisse la manipuler dans le cadre d'une modélisation) ; 3) être significatives dans une optique de sensibilisation pour le public et les gestionnaires, en tant qu'elles constituent des manifestations observables et interprétables du CC et renvoient à des enjeux territorialisés.

- L'élaboration d'un graphe articulant les approches disciplinaires de CLIMASTER exprimant les relations entre les variables motrices (par exemple la pluie ou les politiques publiques), les variables relais (parexemple la réserve en eau des sols) et les variables dépendantes (par exemple la qualité de l'eau).

Ce travail a abouti à la construction de 2 scénarios contrastés sur le terrain de pleine Fougère, scénarios à l'horizon 2030 partant de la situation actuelle : un scénario « tout herbe » et un scénario « tout maïs ». Ces scénarios ont été mis en discussion dans un groupe d'agriculteurs. Les images ont été produites pour encourager la réflexion prospective (Figure 12). Cependant la réflexion n'a pu porter que sur le système « Maïs », système agricole de référence dans lequel les agriculteurs présents se reconnaissaient, et rattaché à une filière à laquelle ils accordaient toute confiance pour de possibles adaptations. La rupture qu'aurait été le cas « tout herbe » ne pouvait être considérée par eux comme une alternative.

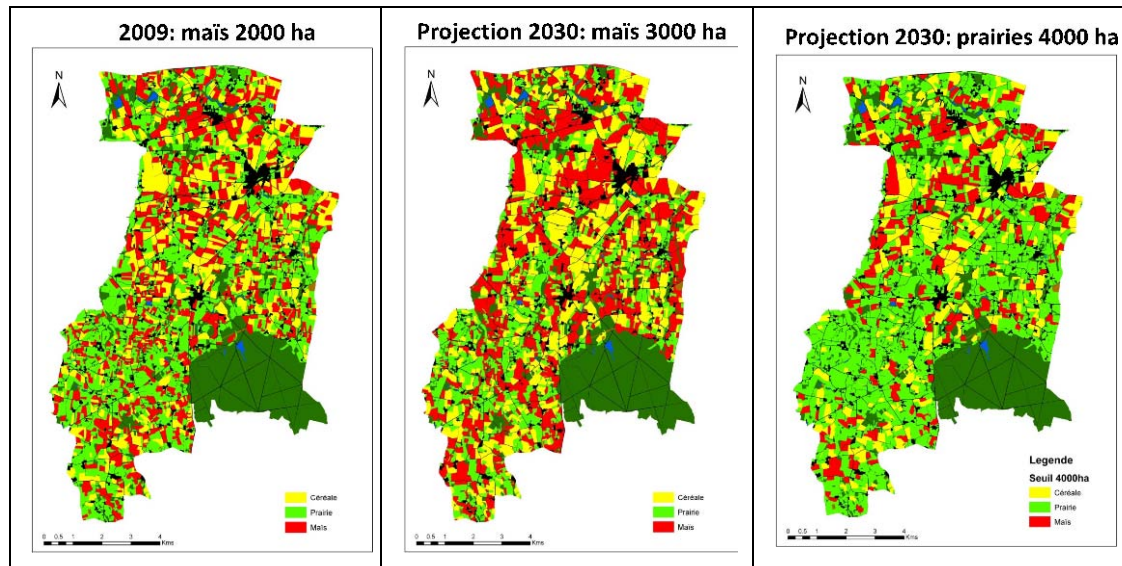


Figure 12: l'occupation des sols de Pleine-Fougère ; situation actuelle (2009) ; image « maïs » à 2030 et image « herbe » à 2030

Conclusion générale

En conclusion, l'ensemble des travaux de CLIMASTER portent une très forte incertitude. Les méthodes choisies, le corpus de connaissances élaboré sont là pour « donner à penser » le CC dans le grand Ouest plus que pour pronostiquer un avenir incertain. Nous avons travaillé simultanément sur l'évolution du climat, sur l'impact du CC sur les ressources en eau et en sol, et sur l'agriculture, et enfin nous avons développé une vision prospective sur la perception du CC et les capacités d'adaptation au CC des agriculteurs du GO. Il montre : la réalité du CC dans le Grand Ouest, actuels et à venir ; la vulnérabilité des ressources naturelles, qui présentent cependant une forte hétérogénéité territoriale et demandent à être caractérisée à une échelle fine ; la bonne capacité d'adaptation des acteurs agricoles, pour peu qu'elle n'induisse pas de rupture dans leur système de production ; la sensibilisation variable et parfois moindre des acteurs de l'eau (d'autant plus qu'on va du sud au nord du GO), plus préoccupés au quotidien par des questions de qualité de la ressource.

En terme scientifique, ce questionnement nous a permis de renouveler le point de vue et d'ouvrir ainsi de nouvelles pistes de recherche dans le terrain parfois rebattu des relations agriculture – environnement, de s'approprier des outils et des méthodes (modèles, scénarios du GIEC), pour être prêt à engager des travaux plus ciblés sur les aspects identifiés comme les plus importants..

En terme opérationnel, l'importance des menaces, mais l'importance encore plus grande des incertitudes nous fait comprendre qu'il faut proposer des réponses "sans regret", c'est-à-dire des réponses qui permettront une moins grande vulnérabilité des systèmes agricoles et une plus grande résilience des ressources naturelles, quelles que soient les évolutions à venir. Il s'agit in fine d'une opportunité pour élaborer des systèmes plus durables.

A cette phase du projet, le collectif CLIMASTER est persuadé – ce qui n'était pas acquis d'avance -, qu'un projet sur le CC était parfaitement à sa place dans le programme PSDR-GO, pour apporter aux acteurs du développement régional des références, outils et méthodes répondant à leurs besoins. Nous avons suivi B. Chevassus-au-Louis, qui résume ainsi la démarche qu'il faut développer pour travailler sur le CC: « analyser le risque climatique, pour en déduire des réponses appropriées, aux 2 sens du terme » : les bonnes réponses, qui feront l'objet d'une appropriation par les acteurs.

Remerciements :

Que soient remerciés ici tous les contributeurs à CLIMASTER : Arrondeau J.P., Aubert A., Aussems E., Baglinière J.L., Bal G., Barbeau C., Barbeau G., Bensaid A., Bonnefoy C., Boulet A., Cantat O., Codet C., Cordier M.O., Corgne S., Delahaye D., Denès J., Desnos Ph., Douvinet J., Dubreuil V., Durand P., Dusseux P., Gascuel-Oudoux C., Gilliet N., Giteau J.L., Goulet A., Grimaldi C., Gruau G., Huard F., Hubert-Moy L., Jaffrezic A., Jambou N., Viel V., Joannon A., Joss J., Lamy C., Le Bouler H., Le Gouée P., Le Henaff G., Le Pavin E., Lecerf R., Lemerrier B., Léon A.S., Lespez L., Lucas J.R., Madelin M., Martignac F., Michel-Guillou E., Nicolas H., Montreuil O., Narcy J.B., Neethling E., Panaget T., Person Wickman A.C., Petitjean P., Planchon O., Poux X., Quénot H., Reullier R., Rollet A.-J., Roussel J.M., Rouxel M., Ruiz L., Salmon-Monviola J., Savouret E., Thenail C., Thomas A., Troccaz O., Van Tilbeurgh V., Vertes F., Viaud V., Viel V., Vongvixay A., Walter C.

Bibliographie

- Amigues, J.P., Debaeke, P., Itier, B., Lemaire, G., Seguin, B., Tardieu, F., Thomas, A., 2006. *Sécheresse et agriculture: réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau*, Expertise scientifique collective. INRA, Paris, p. 72.
- Anderson, J. E., Arblaster, K., Bartley, J., Cooper, T., Kettunen, M., Kaphengst, T., Leipprand, A., Laaser, C., Umpfenbach, K., Kuusisto, E., Lepistö, A., and Holmberg, M., 2008. *Climate change induced water stress and its impact on natural and managed ecosystems*. European Parliament, Policy Department Brussels
- Andrieu, N., Coléno, F., Duru, M., 2008. L'organisation du système fourrager, source de flexibilité face aux variations climatiques. In: Dedieu, B., Chia, E., Leclerc, B., Moulin, C.H., Tichit, M. (Eds.), *L'élevage en mouvement: flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*. Quae, Versailles, pp. 95-111.
- ASWM, 2009. *Recommendations for a National Wetland and Climate Change Initiative*. Ass. of State Wetland Managers), Berne, NY19.
- Aussems, E., 2010. *Place du changement climatique parmi les facteurs d'évolution des systèmes fourragers dans les élevages laitiers du Grand Ouest de la France*, Agronomie. ESA, Angers, Quimper, Angers, 135p + annexes.
- Baret F., Hagolle O., Geiger B., Bicheron P., Miras B., Huc M., Berthelot B., Niño F., Weiss M., Samain O., Roujean J.L., M. Leroy, 2007. LAI, fAPAR and fCOVER CYCLOPES global products derived from VEGETATION. Part 1: principles of the algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 110, 3, pp. 275-286.
- Brisson, N. and Levrault, F., 2010. *Livre vert du projet CLIMATOR. Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces*. ADEME-INRA, Angers.
- Cabecinhas, R., Lázaro, A. & Carvalho, A., 2008. Media uses and social representations of climate change. In A. Carvalho (ed.), *Communicating Climate Change: Discourses, Mediations and Perceptions*. Braga: Centro de Estudos de Comunicação e Sociedade, Universidade do Minho.
- Cantat O., Le Gouée P., Bensaid A., Savouret E., 2010 : Une méthode originale de spatialisation d'échelle fine des bilans hydriques. *Actes du 23^{ème} colloque de l'AIC « Risque et Changement climatique »*, Rennes, **23**, 101-106.
- Colmar A., Walter C., Le Bissonnais Y., Daroussin J., 2010. Démarche de validation régionale par avis d'experts du modèle MESALES d'estimation de l'aléa érosif. *Etude et Gestion des Sols*, 71 (1) : 19-32.
- Cooper, G., McGechan, M.B., Vinten, A.J.A., 1997. The Influence of a Changed Climate on Soil Workability and Available Workdays in Scotland. *Journal of Agricultural Engineering Research* 68, 253-269.
- Coumou D. & Rahmstorf, S., 2012. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*. doi:10.1038/nclimate1452
- Delbos, G., Jorion, P., 1984. *La transmission des savoirs*. Ed. de la Maison des sciences de l'homme, Paris.
- Doré, T., Meynard, J.M., 2006. Itinéraire technique, système de culture: de la compréhension du fonctionnement du champ cultivé à l'évolution des pratiques agricoles. Introduction. In: Doré, T., Le bail, M., Martin, P., Ney, B., Roger-Estrade, J. (Eds.), *L'agronomie aujourd'hui*. Quae, Versailles, 33-41.
- Dubreuil V., Planchon O., Quénot H., Bonnardot V., 2010 : *Risques et changement climatique*. Volume d'actes du 23^e colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC), Rennes, 1-3 septembre 2010, 694 p
- Felten, B., Martin, G., Theau, J.P., Thenard, V., Magne, M.A., Duru, M., 2010. *Conception de systèmes d'élevage adaptés au changement climatique*. Projet Climfourrel, Midi- Pyrénées Série Les Focus PSDR3, p. 12.
- Fischer G., Shah M., Tubiello F.N., van Velhuizen H., 2005. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990-2080. *Phil. Trans. Royal. Soc. B*, 360, 2067-2073, doi:10.1098/rstb.2005.1744.

- Gascuel-Odoux C., Arousseau P., Durand P., Ruiz L., Molenat J. 2010. *The role of climate on inter-annual variation of stream nitrate fluxes and concentration*. Sc. of the Total Environment, 408, 5657–5666.
- GIEC, 2011, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation A Special Report of Working Group I and Working Group II of the IPCC Drafting.
- Gillet J.P., 1992. Simulations: une méthode de calcul des jours disponibles. *Perspectives Agricoles* 172, 95-98.
- Houet T., Hubert-Moy L., Marchand J.P., Corgne S., 2008. Approche systémique du fonctionnement d'un territoire agricole bocager, *Espace géographique*, 3/08, 3, pp. 270-286.
- Kundzewicz, Z.W., Mata, L.J., Arnell, N.W., Döll, P., Kabat, P., Jiménez, B., Miller, K.A., Oki, T., Sen, Z. & Shiklomanov, I.A., 2007. Freshwater resources and their management. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC.*, M.L. Parry, et al.), 173-210. , Cambridge, UK,
- Le Gouée P., Delahaye D., Bermond M., Marie M., Douvinet J., Viel V., 2010. SCALES : a large-scale assessment model of soil erosion hazard in Basse-Normandie (Northern-Western France), *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 8, 30, 887–901.
- Lecerf R., Hubert-Moy L., Corpetti T., Baret F., Latif B. A., Nicolas H., 2008. Estimating Biophysical Variables at 250 M with Reconstructed EOS/MODIS Time Series to Monitor Fragmented Landscapes. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2008, IEEE International*, Boston, MA, USA, II-954-II-957.
- Lemaire, G., Pflimlin, A., 2007. Les sécheresses passées et à venir: quels impacts et quelles adaptations pour les systèmes fourragers? *Fourrages* 190, 163-180.
- Léon, A.S., 2010. *Influence des changements climatiques sur la gestion territoriale des exploitations de polyculture-élevage*. ENITA de Bordeaux, Rennes - Bordeaux, p. 117 + annexes.
- Lobell D.B, Field C.B., 2007. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. IOP Publishing Ltd, *Environmental Research Letters*, 2, 1, 7 p.
- Lobell D.B., Field C.B., Cahill K.N., Bonfils C., 2006. Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. *Agr. Forest Meteo.*, 141, pp. 208-18.
- Magnan, A., 2009. Proposition d'une trame de recherche pour appréhender la capacité d'adaptation au changement climatique. *Vertigo*, Volume 9, Numéro 3, URL : <http://vertigo.revues.org/9189> ; DOI : 10.4000/vertigo.9189.
- Martin, P., Joannon, A., Mignolet, C., Souchère, V., Thenail, C., 2006. Chapitre 10. Systèmes de culture et territoires: cas des questions environnementales. In: Doré, T., Le bail, M., Martin, P., Ney, B., Roger-Estrade, J. (Eds.), *L'Agronomie aujourd'hui*. Editions Quae, 253-283.
- Merot Ph., D. Delahaye, V. Dubreuil, Ph. Desnos, 2012. *Le climat change dans le Grand Ouest : évaluation, impacts, perceptions*. À paraître aux PUR, Rennes
- Merot, P., Squiquidant, H., Arousseau, P., Hefting, M., Burt, T., Maitre, V., Kruk, M., Butturini, A., Thenail, C., and Viaud, V., 2003. Testing a climato-topographic index for predicting wetlands distribution along an European climate gradient. *Ecol. Model.* 163, 51-71.
- Michel-Guillou, E., 2010. Problème local / problème global : La prise en compte de la dimension temporelle dans la dualité des problèmes environnementaux. *Second colloque fédérateur de l'Institut des Sciences de l'Homme et de la Société (ISHS-UBO) : « Penser le présent comme un passé pour demain »*. Brest, 15-16 /12/ 2010.
- Moreau, J.C., Poisson, S., Gate, P., Lacroix, B., Lorgeou, J., Ruget, F., 2010. Impacts du changement climatique sur les systèmes d'élevage et les grandes cultures résultats du programme ACTA 2007-2009. In: Brisson, N. (Ed.). INRA, Arvalis, Versailles, pp. 48-51.
- Pall, P., Aina, T., Stone, D., Stott, P., Nozawa, T., Hilberts, A., Lohmann, D., and Allen, M., 2011. Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. *Nature* 470, 382-386.
- Spence, A., & Pidgeon, N., 2009. Psychology, climate change & sustainable behavior. *Environment*, 51, 9-18.
- Thenail C., Baudry J., 2001. *Modélisation des systèmes techniques agricoles contribuant aux dynamiques des structures paysagères: de la parcelle à l'exploitation agricole et au paysage*. Hubert-Moy L. éd., Etude des changements d'utilisation et d'occupation du sol par télédétection: échelles et modèles, Séminaire de l'UMR LETG, 16-24.
- Vannier C., Hubert-Moy L., Nabucet J., 2011. Analyse spatiale de la dynamique de l'occupation du sol aux échelles de la parcelle et de l'îlot parcellaire : Application en paysage agricole bocager. *Revue Internationale de Géomatique*, Eds inv. Corgne et Quéno, Vol. 21- n° 3/2011, pp. 359-380.
- Vigneau-Loustau L., Huyghe C., 2008. *Stratégies Fourragères*. Editions France Agricole, Paris, 336p.