



HAL
open science

Acclima Terra

Alain Dupuy, Marie-Pierre Ellies-Oury, Daniel Compagnon, Lionel Alletto, Xavier Barat, Sylvain Barone, Olivier Cabaret, Yohana Cabaret, L. Caner, Philippe Chéry, et al.

► **To cite this version:**

Alain Dupuy, Marie-Pierre Ellies-Oury, Daniel Compagnon, Lionel Alletto, Xavier Barat, et al.. Acclima Terra. Editions Acclima Terra, Cahier n°4, 68 p., 2024, 978-2-9574665-4-2. hal-04477793

HAL Id: hal-04477793

<https://brgm.hal.science/hal-04477793v1>

Submitted on 26 Feb 2024

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.



**GESTION
QUANTITATIVE
DE L'EAU ET USAGES
AGRICILES
SOUS CONTRAINTE
CLIMATIQUE**



**GESTION
QUANTITATIVE
DE L'EAU ET USAGES
AGRICILES
SOUS CONTRAINTE
CLIMATIQUE**

Sommaire

Introduction 10



1 • Disponibilité physique de l'eau dans un contexte de changement climatique 14

Introduction	15
1.1 - Effet du changement climatique sur le grand cycle de l'eau.....	15
1.1.1 - Le changement climatique	15
<i>Encadré</i> : Que veut dire RCP ?.....	16
1.1.2 - Projections climatiques nationales et régionales disponibles.....	16
1.1.3 - Impact sur le cycle de l'eau.....	18
1.2 - Modification spatiale et temporelle de la disponibilité de la ressource	19
1.2.1 - Impacts du changement climatique sur le fonctionnement hydrique des sols agricoles.....	19
1.2.2 - Impact des modes d'utilisation du sol	20
1.3 - Disponibilité des ressources pour l'agriculture	21
1.3.1 - État des lieux et types de ressources.....	21



2 • Usages agricoles de l'eau et disponibilité de la ressource 26

Introduction	27
2.1 - Retenues et réserves de substitution	28
2.1.1 - Définition et principe	28
2.1.2 - Impacts.....	28
2.2 - Vulnérabilités et besoins de l'agriculture en eau	30
2.2.1 - Quelles vulnérabilités des usages agricoles de l'eau ?.....	30
<i>Encadré</i> : L'élaboration de la démarche d'adaptation au changement climatique de la Commission locale de l'eau de la vallée de la Garonne.....	30
2.2.2 - Besoins en eau des herbivores.....	31
2.2.2.1 - Les rôles de l'eau dans le corps des êtres vivants	31
2.2.2.2 - L'abreuvement : enjeux actuels et à venir.....	32
<i>Encadré</i> : Une solution pour pérenniser la ressource en eau limousine pour le bétail	33
2.2.3 - Besoin d'irrigation et mesure des trajectoires d'économie d'eau.....	34
2.2.4 - Bilans hydriques spatialisés pour différentes cultures en Nouvelle-Aquitaine	36
2.2.4.1 - Quelques éléments de méthode	36
2.2.4.2 - Quelques exemples de résultats.....	37

2.3 - Adaptation de l'agriculture régionale à la moindre disponibilité de la ressource	38
2.3.1 - La diversité du matériel végétal comme levier d'adaptation du vignoble au changement climatique	38
2.3.1.1 - L'interaction cépages - climat déterminante pour la qualité du vin.....	38
2.3.1.2 - Résistance et adaptation à la sécheresse.....	39
2.3.2 - Efficience technique, résilience climatique et impacts agro-environnementaux dans l'élevage herbivore.....	40
2.3.2.1 - Performances productives des prairies en pâturage tournant dynamique.....	40
2.3.2.2 - Optimisation des prairies par le pâturage tournant dynamique et amélioration de l'autonomie productive des fermes d'élevages	41
2.3.2.3 - Impacts environnementaux du développement de systèmes herbivores pâturant en Nouvelle-Aquitaine	42
2.3.2.4 - Une possible feuille de route pour le développement de systèmes herbagers pâturant en Nouvelle-Aquitaine visant la conservation de l'eau et l'atténuation climatique.....	43
<i>Encadré</i> : Outil CANARI - Visualiser les évolutions climatiques à venir localement.....	45



3 • Enjeux de gouvernance territoriale pour une meilleure gestion quantitative de l'eau en Nouvelle-Aquitaine 46

3.1 - Une perspective historique sur l'assèchement des marais et landes de l'actuelle Nouvelle-Aquitaine	47
3.1.1 - Une tendance de fond (XVII ^e -XIX ^e siècles)	47
3.1.2 - Un cas d'école : l'évolution paysagère de Sainte-Soline	48
3.2 - Un système complexe de «gouvernance de l'eau».....	49
3.2.1 - Le statut juridique ambivalent de l'eau	49
3.2.2 - Le dispositif institutionnel de gouvernance.....	50
3.3 - Travailler politiquement les conditions du partage de la ressource en eau.....	53
3.3.1 - Prendre en compte le changement climatique et en tirer les conséquences	53
3.3.2 - Le stockage souvent utile, mais très controversé	54
3.4 - Définir des priorités d'adaptation dans une perspective de long terme	56
Retours d'expérience des agriculteurs.....	56
Fermes pilotes.....	57

Conclusion générale..... 58

Bibliographie..... 60

Édito



En confiant à des scientifiques et des professionnels de renom la mission essentielle d'établir un diagnostic étayé et partagé en matière de transition énergétique, agricole et écologique, la Nouvelle-Aquitaine a pu poser des bases scientifiques indiscutables pour Néo Terra. Nouveau contrat écologique et social de la Nouvelle-Aquitaine, la valeur de Néo Terra repose d'abord et avant tout sur les conclusions du Comité scientifique. Une boussole par temps de tempête, qui nous permet de tracer notre chemin pour y parvenir. A cet égard, la question de l'eau et de l'agriculture est centrale, vitale.

En effet, pour pousser, les plantes ont besoin d'eau, de lumière et de nutriments. Les travaux du comité scientifique régional AcclimaTerra ont mis en évidence que le changement climatique entraîne des répercussions sur la variabilité de la pluviométrie intra-annuelle et inter-annuelle, ainsi que des effets négatifs sur la qualité des eaux en Nouvelle-Aquitaine. Cette dégradation vient rendre plus aigu encore l'enjeu du volet quantitatif, avec l'absolue nécessité de gérer l'eau comme un bien commun afin de répondre aux besoins alimentaires de la population, dans le respect des écosystèmes et des autres usages.

Ainsi, les deux tiers des masses d'eau ne sont pas en bon état écologique, avec de fortes disparités régionales ; un tiers des masses d'eau souterraine ne sont pas en bon état chimique, les produits phytosanitaires et les nitrates constituant les deux premiers paramètres déclassants ; la concentration de polluants dans les milieux aquatiques augmente parce que la diminution des débits des cours d'eau entraîne une moindre dilution.

La transition agroécologique doit notamment permettre de réduire les pollutions diffuses et les besoins en eau des exploitations. En utilisant moins de pesticides et moins de fertilisants, les pratiques agroécologiques préservent et, même, visent à reconquérir la qualité des masses d'eau de surface et souterraine. Sur le plan quantitatif, la rareté de la ressource en eau demande de mieux utiliser l'eau de pluie, tout en tendant vers une agriculture moins gourmande en eau ; mais aussi qui favorise la recharge d'eau dans le sol en ralentissant l'écoulement dynamique de l'eau et qui encourage la sobriété de l'usage par le choix de productions adaptées aux conditions pédoclimatiques – sans oublier des variétés aux moindres besoins en eau, ou l'allongement des rotations...

Vous l'aurez compris, ce cahier thématique est donc plus que le bienvenu pour proposer des solutions à la profession agricole et aux pouvoirs publics afin d'accélérer la transition agroécologique. Pour cela, je tiens à remercier l'ensemble des rédactrices et rédacteurs pour la qualité du travail fourni ; puissions-nous, élues et élus, leur rendre hommage en faisant les choix politiques qui s'imposent.

Alain ROUSSET
Président du Conseil régional
de Nouvelle-Aquitaine

Édito



Après une année 2023 la plus chaude à l'échelle planétaire jamais enregistrée depuis que l'on fait des mesures de température, les manifestations du changement climatique sont de plus en plus visibles dans notre région comme partout. Progressivement tous les domaines de l'action publique sont impactés, y compris bien sûr l'agriculture, dans cette grande région productrice qu'est la Nouvelle-Aquitaine.

C'est la vocation d'AcclimaTerra de contribuer à alimenter le débat public, au sens le plus large, en Nouvelle-Aquitaine notamment, sur les enjeux et perspectives liés à cette modification profonde de notre cadre de vie, en s'appuyant sur la progression du savoir dans tous les champs disciplinaires, fondamentaux ou appliqués.

Dans les controverses qui ont défrayé la chronique ces dernières années sur la question des réserves et retenues d'eau à usage agricole, il est essentiel de s'appuyer sur des données scientifiques et d'objectiver les contraintes pesant sur l'ensemble des acteurs. Les évolutions des différentes disciplines jouent chacune un rôle indispensable. Dans ce type de situation en effet, ce n'est pas de moins de science dont nous avons besoin, mais bien au contraire d'une science davantage à l'écoute des attentes de nos concitoyens.

Bien entendu, la science ne fait pas la décision, laquelle relève de la responsabilité des différentes autorités légitimes et suppose une délibération démocratique sur les fins collectives, en l'occurrence le partage équilibré, juste et écologiquement soutenable de la ressource en eau.

Néanmoins ce nouveau cahier d'AcclimaTerra confirme la sensibilité de la disponibilité en eau aux effets du changement climatique et donc l'impérieuse nécessité d'adapter nos pratiques à ces nouvelles conditions. Dans ce contexte, le monde agricole doit faire sa part du chemin, mais doit être aussi accompagné et épaulé, tant par l'expertise scientifique que par l'action publique avisée. Loin des postures adoptées de part et d'autre, la question des réserves et retenues d'eau à usage agricole doit être abordée dans une approche de gestion intégrée de la ressource à une échelle territoriale fine.

Ce cahier a été construit dans un esprit de dialogue avec la profession agricole mais sans concession sur le diagnostic scientifique. Cette écoute vis-à-vis des acteurs sociaux et économiques du territoire est aussi au cœur de la mission d'AcclimaTerra, qu'elle mène avec le soutien, jamais démenti depuis plus de dix ans, de la Région Nouvelle-Aquitaine.

Hervé LE TREUT
Président d'AcclimaTerra

Introduction

Les impacts de la sécheresse estivale sur l'agriculture, un phénomène récurrent depuis quelques décennies et qui s'est accentué depuis la canicule de 2003, et leurs répercussions sur les productions, donc le revenu des agriculteurs, ont attiré l'attention du grand public sur la question de l'eau. L'année 2022 a été particulièrement marquante à cet égard, quand la quasi-totalité du territoire national a connu des mesures de restriction et que près de 2 000 communes dans le Sud-Est ont souffert de difficultés d'approvisionnement en eau potable, un choc pour l'opinion publique. Cette situation nouvelle par sa gravité et sa récurrence fait naître le spectre d'une compétition entre les différentes formes d'usage pour s'approprier l'eau douce. Le système français de gestion de l'eau, dont les bases remontent aux années 1960, pourrait se trouver mis à mal par les tensions croissantes qui résulteront probablement de l'impact du réchauffement climatique sur la disponibilité de cette ressource.

À l'échelle nationale, les prélèvements d'eau destinés à l'irrigation ont plus que doublé (+ 117,6 %) entre 2010 et 2020, mais ils ont diminué dans le bassin Adour-Garonne sur la même période (- 8,7%) en raison notamment des étiages¹ très bas ou d'un niveau de précipitations supérieur à la moyenne comme en 2014². Bien que la grande majorité de l'agriculture dépende des précipitations naturelles, les irrigants constituent une minorité significative en Nouvelle-Aquitaine : 21 % des exploitants et 10,5 % de la surface agricole utile en 2020 [1]. Notons que les surfaces irriguées sont en légère augmentation dans la région (+3 % en dix ans), mais on peut s'attendre à ce que la demande de capacité d'irrigation croisse à l'avenir (à production agricole identique ou en augmentation) face au caractère de plus en plus erratique des précipitations. 51,59 % des surfaces sont encore consacrées au maïs grain – plante d'origine tropicale aux besoins estivaux en eau particulièrement importants – mais la part des oléagineux augmente fortement, ainsi que celle du maraîchage ou de l'arboriculture.

La Nouvelle-Aquitaine dispose d'importantes ressources en eau et de milieux aquatiques variés, particulièrement riches en biodiversité. Cependant, ces ressources, fortement sollicitées par les différents usages de l'eau, sont fragilisées. Une large partie du territoire régional présente une situation de déséquilibre chronique entre usages et ressource disponible, une situation exacerbée par les changements climatiques [2]. Face à l'exigence d'une partie du monde agricole – mais pas de tous les agriculteurs, voir les positions minoritaires de la Confédération paysanne [3] et de la Fédération régionale d'agriculture biologique [4] - de se voir garantir un accès à l'eau pour continuer à produire, les associations de protection de la nature mettent en avant la protection du milieu naturel (rivières, zones humides), mais aussi la préservation de la qualité de l'eau qui dépend pour partie de la gestion quantitative.

C'est dans ce contexte de controverse publique, assez vive dans les mois passés, qu'AcclimaTerra s'est proposé d'apporter une contribution au débat, en essayant d'y réintroduire des données et des résultats scientifiques sur la ressource en eau, une perspective parfois perdue de vue par les différents protagonistes.

1 Période de l'année où le débit d'un cours d'eau est le plus bas. En cas d'étiage sévère, il n'est plus possible de satisfaire tous les besoins.
2 Chiffres calculés à partir des données BNPE, cf. <https://bnpe.eaufrance.fr/acces-donnees/coderRegion/75/annee/2021/usage/IRR>. Sur la période 2012-2020 on constate une quasi-stabilité en Adour-Garonne et une augmentation en Loire-Bretagne. Ces volumes déclarés ne représentent cependant qu'une partie des prélèvements réels (voir infra).

Comme toutes les productions du Comité scientifique régional sur le changement climatique en Nouvelle-Aquitaine, ce cahier rassemble des contributions issues de plusieurs disciplines scientifiques, lesquelles n'abordent d'ailleurs pas nécessairement la question de la même façon.

Par choix, ce cahier ne traite pas de toutes les dimensions de l'eau dans notre région, ni même de toutes les relations entre l'eau et l'activité agricole. En particulier, il n'aborde pas directement un sujet tout aussi épineux que la gestion quantitative de l'eau, celui de la qualité de l'eau et de l'impact du recours massif aux engrais azotés et aux produits phytosanitaires dans la pollution des eaux de surface et souterraines. Le sujet est d'importance puisque l'utilisation d'engrais azotés est la deuxième source d'émission de gaz à effet de serre de l'agriculture française [5] et qu'elle est étroitement associée, dans l'agriculture conventionnelle, à l'utilisation des produits phytosanitaires. Bien entendu, les deux dimensions sont liées en pratique. Ainsi l'eau utilisée pour le refroidissement d'une centrale nucléaire et restituée au milieu à une température trop élevée (qualité) peut la rendre inutilisable par d'autres usages en aval (quantité). De même, une trop faible quantité d'eau dans le milieu naturel (du fait du manque de précipitations ou de l'excès de prélèvements par exemple) peut conduire à une concentration plus élevée d'éléments non désirables (qualité) comme des produits toxiques.

Il nous a paru cependant que la question de la disponibilité en eau et des pressions exercées sur la ressource par les usages agricoles était suffisamment complexe pour justifier le focus du présent cahier.

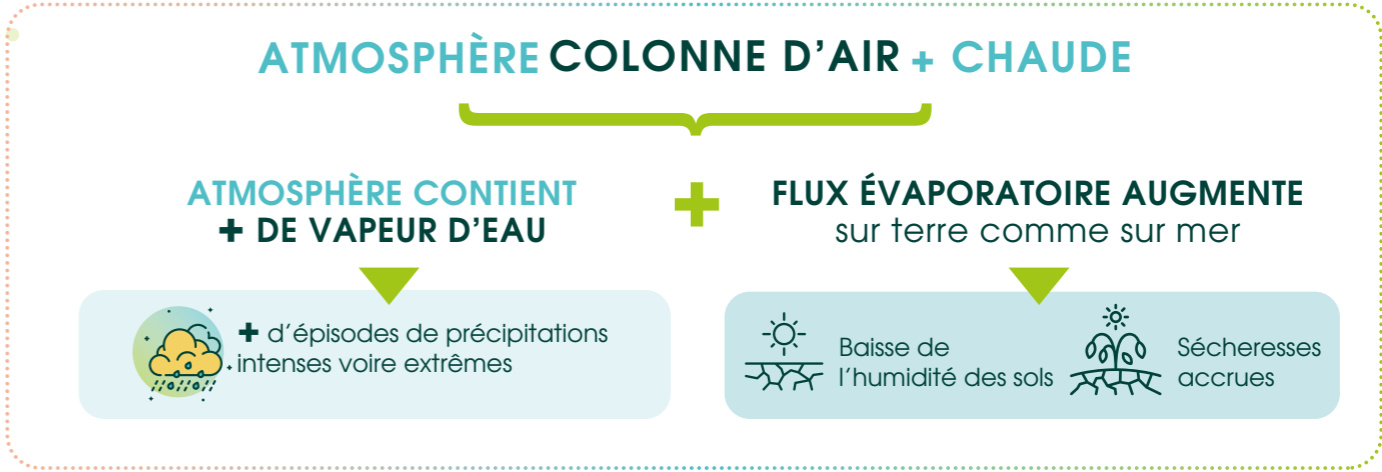
Ce cahier se divise en trois parties complémentaires, l'une centrée sur l'hydrologie de la ressource et sa disponibilité pour l'agriculture ; la suivante traitant dans une perspective agronomique des usages agricoles de l'eau ; enfin, la dernière mobilisant les sciences humaines et sociales sur la gouvernance de la gestion quantitative de l'eau et de la question des réserves d'eau à usage d'irrigation.

Coordination : Daniel Compagnon, Alain Dupuy, Marie-Pierre Ellies-Oury

Contribution : Lionel Alletto, Xavier Barat, Sylvain Barone, Olivier Cabaret, Yohana Cabaret, Laurent Caner, Philippe Chéry, Bruno Couprie, Agnès Destrac Irvine, Emmanuel Garnier, Benoît Grimonprez, Virginie Hugues, Stéphanie Jalabert, Alexandre Lee, Elisa Marguerit, Nicolas Métayer, Nathalie Ollat, Maxime Pantarotto, Lionel Savignan, Cornelis van Leeuwen

Relecture : Simon Ferrière, Jérôme Labanowski, Clémence Marcher, Mohamed Taabni, Alban Thomas

DISPONIBILITÉ DE L'EAU



AGRICULTURE

AGRICULTURE EN NOUVELLE-AQUITAINE

DIVERSITÉ SUR LE PLAN AGRICOLE

- Viticulture
- Céréales
- Marais
- Forêts
- Élevage
- Arboriculture
- Aquaculture
- Productions spécifiques

BESOINS EN EAU PAR FILIÈRE

HERBIVORES
Les flux d'eau dans un être vivant sont qualifiés d'apport et de perte. Ils varient selon :
• Espèce/race
• Morphologie
• État et stade physiologique
• Activité
• Environnement
• Alimentation
• Goût et odeur de l'eau
• Accès à l'eau

IRRIGATIONS
Prélèvements sur :
• cours d'eau soutenus ou pas
• grandes nappes libres
• certaines nappes captives
• retenues

CULTURES DANS LE FUTUR

Sans irrigation

BLÉ
HIVER ► SEC = Maintien ou amélioration du potentiel
HIVER ► HUMIDE = Problème d'excès d'eau
ÉTÉ = Culture remise en cause : Risque de sécheresse

MAÏS
Avec irrigation
Insuffisante pour combler les déficits hydriques en années sèches

ÉVOLUTIONS NÉCESSAIRES DES PRATIQUES AGRICOLES

- Gestion de l'eau dans les zones humides littorales
- Préserver les prairies permanentes
- Étude au cas par cas de la pertinence des retenues et réserve de substitution
- Diversité des cépages
- Utilisation du porte greffe pour s'adapter à la sécheresse
- Efficience technique

GOVERNANCE DE L'EAU

SYSTÈME COMPLEXE
• Statut ambivalent de l'eau
• Nombreux acteurs décisionnaires

PARTAGE DE LA RESSOURCE
• Prendre en compte le changement climatique et en tirer les conséquences
• Le stockage souvent utile, mais très controversé

DÉFINIR DES PRIORITÉS D'ADAPTATION À LONG TERME

Disponibilité physique de l'eau dans un contexte de changement climatique

INTRODUCTION

Le concept de disponibilité d'une ressource en eau implique un besoin ou un usage qui s'exprime en un lieu et à un moment donné. Il n'y a de disponibilité de cette ressource que vis-à-vis des différents réservoirs en eau qui forment en considérant les flux qu'ils échangent, le cycle naturel de l'eau ou Grand Cycle de l'Eau au sein de l'hydrosphère terrestre.

Environ 97 % de l'hydrosphère terrestre est salée, et constitue le réservoir océanique. L'atmosphère, le sol, les eaux de surface solides ou liquides et souterraines constituent les autres grands réservoirs qui représentent les 3 % restants de l'hydrosphère et constituent le volume total d'eau douce présent sur Terre. 69 % de ce volume se présente sous la forme de glace. Les eaux libres et douces de surface (lacs, rivières, fleuves, zones humides...) ne représentent que 0,4 % des eaux douces, tout le reste (~30 %) étant stocké sous terre, dans les nappes et aquifères.

Les interactions et échanges qui s'opèrent entre ces différents réservoirs sont commandés par des flux (évaporation, précipitation, sublimation, ruissellement, infiltration, percolation...) dont le moteur énergétique est le soleil et où intervient également la gravité. L'augmentation rapide des concentrations en gaz à effet de serre (GES) dans la troposphère, qui induit le changement climatique, vient modifier l'équilibre énergétique au sein de l'atmosphère terrestre. Ces perturbations induisent en retour, selon les *scenarii* de perturbations du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat-IPCC en anglais), des effets différenciés sur les flux et le fonctionnement du Grand Cycle de l'Eau. La présence et la disponibilité de l'eau au sein des différents réservoirs s'en trouve ainsi impactées, y compris pour l'usage agricole.

1.1

EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE GRAND CYCLE DE L'EAU

1.1.1 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le bilan énergétique de l'atmosphère terrestre – ou bilan radiatif – (Figure 1) est globalement équilibré au niveau de la haute atmosphère. Selon ce bilan, la température radiatif de notre planète, en prenant comme valeur moyenne un albédo (la part des rayonnements solaires qui sont renvoyés vers l'atmosphère) de 0,3, correspond à une température de 255 °K, soit -18 °C. La température moyenne la plus élevée régnant à la surface, environ +15 °C, est due à l'effet de serre atmosphérique. Celui-ci induit par les gaz à

effet de serre (GES) (dont les principaux sont la vapeur d'eau, le CO₂, O₃, N₂O, CH₄ et CFCs - chlorofluorocarbures) amplifie le rayonnement infrarouge renvoyé vers la surface.

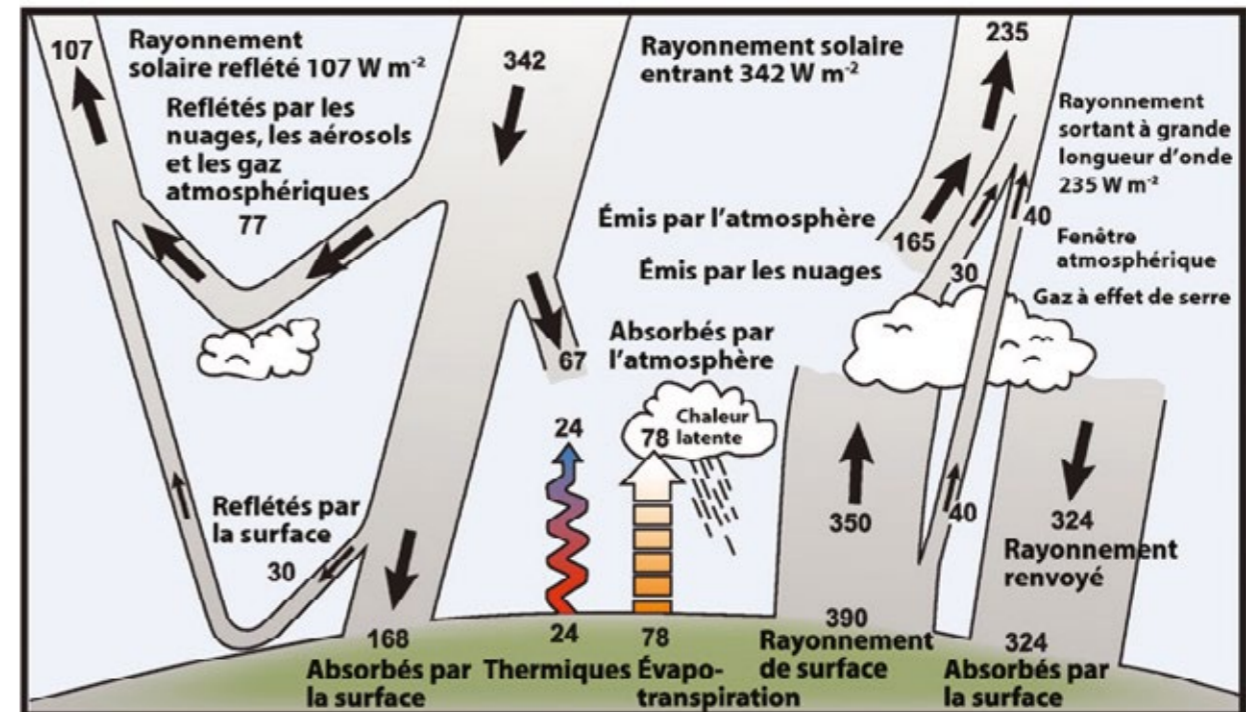


Figure 1 : Estimation de la moyenne annuelle et mondiale du bilan énergétique de la Terre (6).

Les activités humaines ont depuis l'entrée dans l'ère industrielle (1840) sensiblement fait augmenter les concentrations en GES dans la troposphère. Cette augmentation de concentration en GES pourrait conduire selon des *scenarii* d'émission à différents *scenarii* d'augmentation du rayonnement infrarouge renvoyé. Le GIEC a ainsi scénarisé 4 évolutions possibles en référence à la quantité d'énergie supplémentaire renvoyée vers la surface en W/m². Il s'agit des RCP (Representative Concentration Pathways ou trajectoires de concentration représentatives - voir encadré) 2.6, 4.5, 6.0 et 8.5. Dans son dernier rapport, le GIEC n'utilise plus les RCP pour décrire les évolutions possibles mais s'appuie sur des *scenarii* socio-économiques. Les SSP (socio economic pathways) sont découplés des scénarios climatiques, ce qui permet d'adopter une approche en matrice et décliner, pour chaque scénario d'évolution socio-économique (SSP1, SSP2, etc.) (Figure 2), les efforts à consentir (ou coût d'atténuation) à l'échelle mondiale pour parvenir au degré de changement climatique ou plutôt l'intensité du forçage radiatif supplémentaire (dû à l'effet de serre d'origine humaine) correspondant à chaque RCP [7].

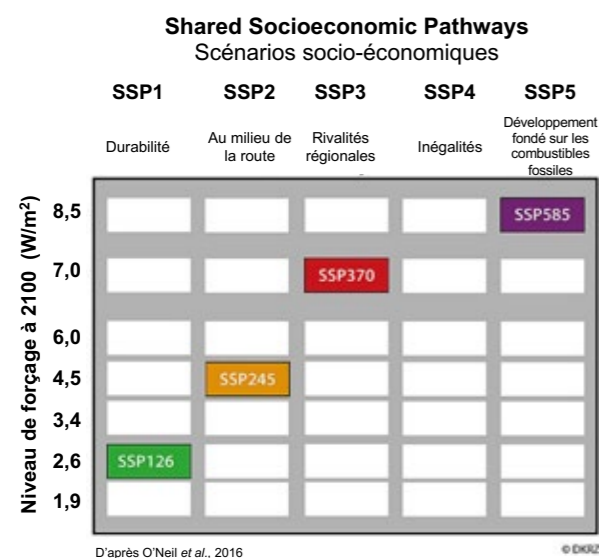


Figure 2 : Matrice des scénarii SSP-RCP. Chaque cellule de la matrice indique une combinaison de trajectoire de développement socio-économique (c'est-à-dire un SSP) et de résultat climatique basé sur une trajectoire de forçage particulière. Les cellules colorées indiquent les scénarii qui serviront de base aux projections des modèles climatiques du programme CMIP6. Traduit en français par AcclimaTerra d'après O'Neil et al. 2016 (8)

1.1.2 PROJECTIONS CLIMATIQUES NATIONALES ET RÉGIONALES DISPONIBLES

Les données disponibles actuellement en termes de projections climatiques régionalisées sont synthétisées dans le rapport Météo France – Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS2020 pour la Métropole (Figure 3).

En termes de synthèse, concernant l'évolution des températures, le rapport conclut en trois points :

- « La température moyenne est en hausse pour les trois scénarios. Le réchauffement est continu jusqu'en fin de siècle pour le RCP4.5 et RCP8.5, avec des valeurs médianes atteignant respectivement +2,1°C et +3,9°C, et jusqu'à +2,7°C et +4,9°C dans l'enveloppe haute de la distribution.
- La hausse de température est plus forte l'été dans les scénarios RCP4.5 et RCP8.5 avec respectivement +2,2°C et +4,5°C en valeur médiane et jusqu'à +3,3°C et +6°C dans l'enveloppe haute de la distribution.

BON À SAVOIR QUE VEUT DIRE RCP ?

Les RCP sont les trajectoires de concentration représentatives ou Representative Concentration Pathways (RCP) en anglais. Il s'agit des scénarios comprenant des séries chronologiques d'émissions et de concentrations de l'ensemble des gaz à effet de serre (GES), des aérosols et des gaz chimiquement actifs, ainsi que de l'utilisation et de la couverture des sols [8]. Le terme "représentatif" signifie que chaque RCP ne fournit qu'un des nombreux scénarios possibles qui conduiraient aux caractéristiques spécifiques du forçage radiatif. Le terme "pathway" souligne que ce ne sont pas seulement les niveaux de concentration à long terme qui sont intéressants, mais aussi la trajectoire suivie au fil du temps pour atteindre ce résultat [9].

Les RCP font généralement référence à la partie de la trajectoire de concentration s'étendant jusqu'en 2100, pour laquelle les modèles d'évaluation intégrée ont produit des scénarios d'émission correspondants. Les trajectoires de concentration étendues (ECP pour *Extended Concentration Pathways* en anglais) décrivent les extensions des RCP de 2100 à 2500 qui ont été calculées à l'aide de règles simples générées par les consultations des parties prenantes, et ne représentent pas des scénarios totalement cohérents [11].

Dans son 6^e rapport, le GIEC remplace les RCP par les SSP (Shared Socio-economic Pathways) qui permettent de mieux appréhender les futurs possibles en termes de dérive climatique. [12]

- Cette évolution connaît une forte modulation saisonnière avec une hausse systématique en hiver, souvent supérieure à +10 % (atteignant même 40 % dans l'enveloppe supérieure du RCP8.5) et à l'inverse, une baisse quasi systématique en été, se renforçant au cours des horizons pour atteindre -10 à -20 % en fin de siècle avec les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. À noter que l'enveloppe basse du RCP8.5 prévoit même une baisse d'un facteur 2 du cumul de précipitation en été.
- Cette évolution des précipitations présente aussi une variabilité géographique sensible avec un gradient nord/sud ou nord-est/sud-ouest se traduisant par une hausse plus marquée sur la moitié nord et une baisse sur certaines régions de la moitié sud. »

Plus en détail, l'interprétation fournie pour l'évolution des précipitations est la suivante (Figure 4) : « La variabilité spatiale de l'évolution du cumul de précipitation est peu marquée à tous les horizons même si un contraste nord-sud apparaît sur l'horizon fin de siècle avec une légère baisse sur la moitié sud accentuée aux abords des Pyrénées et une légère hausse sur la moitié nord, notamment vers les frontières Nord-Est. On constate en revanche une différence

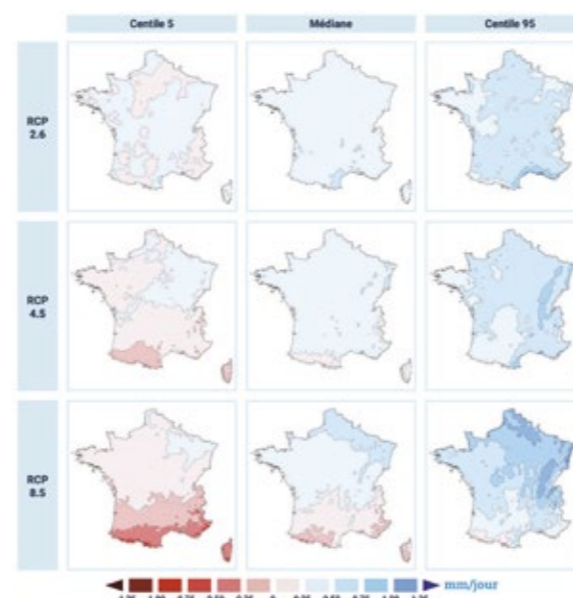


Figure 3 : Cartes des écarts de cumul annuel de précipitation à l'horizon fin de siècle pour les trois RCP et selon les paramètres de la distribution C5, C50 et C95 (7).

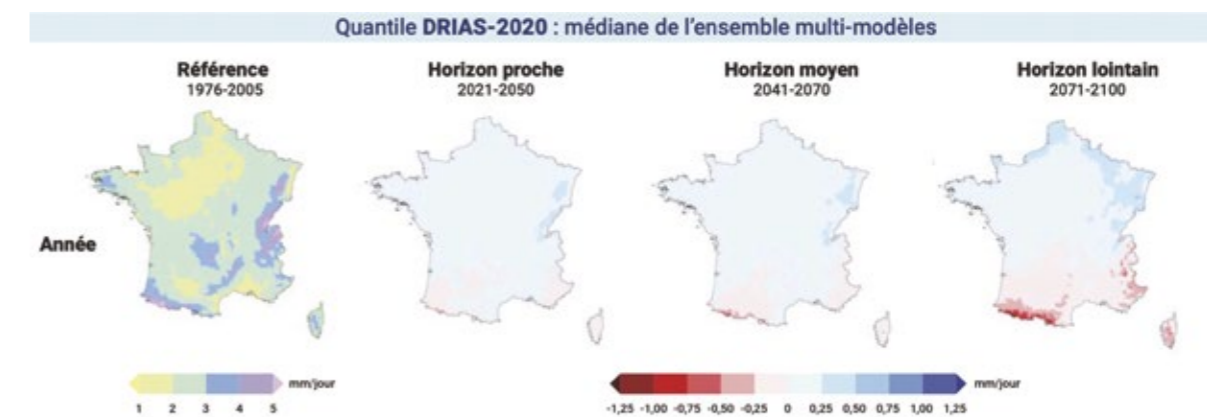


Figure 4 : Comparaison entre la climatologie de référence (1976-2005) pour des précipitations annuelles et écarts des précipitations annuelles par rapport à la référence pour le scénario RCP8.5 pour les différents horizons (H1, H2, H3) et la distribution médiane de l'ensemble (7).

1.1.3 IMPACT SUR LE CYCLE DE L'EAU

Le grand cycle de l'eau (**Figure 5**), est le mouvement perpétuel de l'eau sous tous ses états, entre l'ensemble des réservoirs et à l'échelle du globe. C'est le cycle dont les flux sont engendrés par des phénomènes naturels. Il est souvent distingué du petit cycle de l'eau, cycle totalement artificiel, créé par l'Homme, pour capter, éventuellement traiter l'eau pour sa consommation, l'utiliser puis la traiter à nouveau avant de la réinjecter dans le grand cycle de l'eau.



Figure 5 : Le cycle de l'eau, ou grand cycle de l'eau (14).

- 1 Évaporation : sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau s'évapore en passant de l'état liquide ou solide à l'état gazeux.
- 2 Formation des nuages : quand la température refroidit les gouttelettes d'eau se regroupent pour former des nuages.
- 3 Précipitation : les gouttelettes d'eau se rassemblent et s'alourdissent. Trop lourdes, elles tombent sous la forme de pluie ou de neige.
- 4 Évapotranspiration : les arbres et les plantes respirent, transpirent et se nourrissent. La transpiration est un processus continu causé par l'évaporation d'eau par les feuilles.
- 5 Infiltration : l'eau de pluie s'infiltré dans le sol soit en passant par des fissures, soit en traversant le sol s'il est perméable (sable par exemple).
- 6 Nappe souterraine : l'eau infiltrée est arrêtée par une couche imperméable. Elle s'accumule sous terre pour former de grands réservoirs souterrains.
- 7 Source : c'est un lieu où sortent les eaux souterraines donnant ainsi naissance aux cours d'eau (rivière, ruisseau).

Le grand cycle de l'eau est impacté par les effets du changement climatique. En effet, l'augmentation des concentrations atmosphériques des différents gaz à effet de serre (GES) émis continuellement induit une croissance du rayonnement renvoyé par l'atmosphère vers la surface terrestre. Cette énergie supplémentaire a pour effet de renforcer le flux thermique en surface et d'élever la température de l'atmosphère sur la colonne d'air (**Figure 6**).

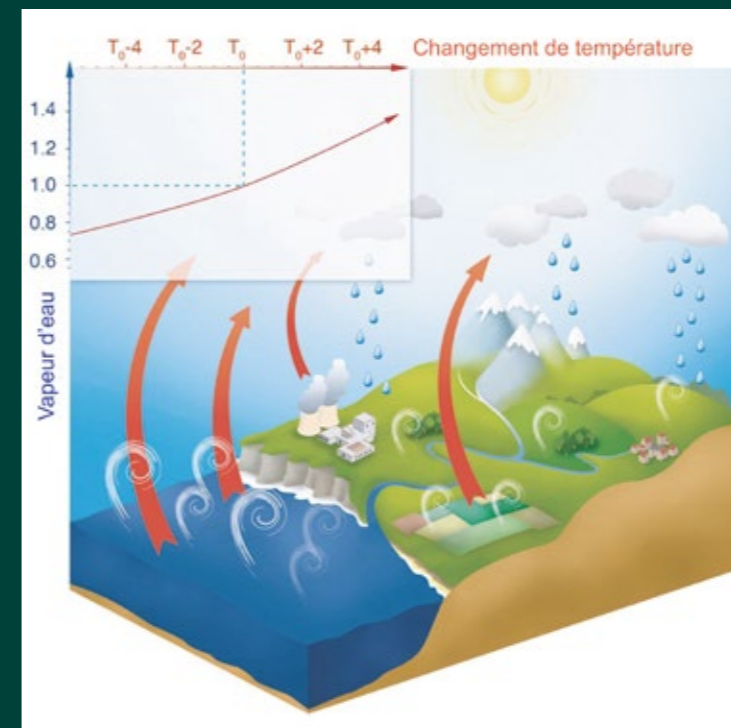


Figure 6 : Illustration du cycle de l'eau et de son interaction avec l'effet de serre. L'encart supérieur gauche indique l'augmentation relative de la teneur potentielle en vapeur d'eau dans l'air avec une augmentation de la température (15).

1.2

MODIFICATION SPATIALE ET TEMPORELLE DE LA DISPONIBILITÉ DE LA RESSOURCE

1.2.1 IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE FONCTIONNEMENT HYDRIQUE DES SOLS AGRICOLES

Le sol joue un rôle important dans le cycle de l'eau sur des aspects quantitatifs et qualitatifs [16]. Les propriétés des sols, sous l'influence majeure des pratiques agricoles dans les parcelles cultivées, conditionnent également la répartition et la qualité de l'eau et présentent une forte variabilité spatiale et temporelle [17][18]. L'eau des précipitations, et/ou d'irrigation, est partagée à la surface du sol entre ruissellement et infiltration dans le sol. Ces deux flux sont importants pour le cycle hydrologique car l'eau qui ruisselle rejoint rapidement les cours d'eau. L'eau qui s'infiltré dans le sol quant à elle est soit temporairement stockée, et retourne à l'atmosphère par l'évapotranspiration, soit rejoint les cours d'eau ou les nappes souterraines par infiltration dans la zone non saturée [16]. Le partage entre ruissellement et infiltration dépend fortement des propriétés du sol, notamment la porosité, la conductivité hydraulique (communément appelée perméabilité), la capacité à stocker l'eau, l'état du sol (structure, compaction), de la végétation (naturelle ou cultures) et du mode de travail du sol. La capacité maximale des sols à retenir l'eau disponible pour les plantes est définie comme la réserve utile (ou le réservoir utile) (RU) [19][20][21][22]. La RU correspond à la quantité d'eau contenue dans le sol après l'écoulement de l'eau gravitaire (définie comme la capacité au champ ou la capacité de rétention) et la quantité d'eau contenue dans le sol non disponible (extractible) pour les plantes (définie comme le point de flétrissement permanent) [22][23]. La RU dépend donc de paramètres pédologiques (propriétés hydriques) et de la capacité des plantes à absorber l'eau des sols (profondeur d'enracinement).

En conséquence, la réserve utilisable par les plantes dépend de la RU du sol et de la profondeur d'enracinement des

plantes pour exploiter cette réserve en eau. Cette eau est retenue dans les pores des sols mais est disponible pour les plantes. La porosité totale et la distribution des tailles de pores des sols est contrôlée par des facteurs intrinsèques tels que la granulométrie (proportion d'argiles, de limons et de sable) mais aussi par la teneur en matière organique, l'activité biologique et le travail du sol qui sont affectés par l'activité agricole. L'eau présente dans les macropores est disponible pour les plantes mais seulement de manière transitoire car elle n'est pas retenue dans ces pores de grande taille qui participent cependant à la circulation de l'eau (conductivité hydraulique). L'eau fortement retenue dans les micropores est peu accessible pour les plantes. La RU correspond grossièrement aux mésopores présents dans le sol ; elle est indépendante du climat mais son taux de remplissage, qui varie au cours de l'année, dépend du climat et de la croissance des plantes. La RU est un réservoir dynamique qui est « rempli » par les pluies et/ou l'irrigation et « vidé » par l'absorption racinaire, le transfert d'eau dans le sol (en profondeur, latéralement) et par l'évapotranspiration.

La RU est fonction du type de sol, de l'épaisseur des horizons et du sol [22] et est affectée par le travail du sol qui modifie le réseau poral. Certaines pratiques agricoles peuvent améliorer sensiblement la rétention en eau des sols, ce qui peut permettre une meilleure valorisation des pluies ou de l'irrigation. Cette augmentation de rétention d'eau est la plupart du temps expliquée par l'augmentation de la quantité de carbone organique dans la zone racinaire qui retient davantage d'eau mais aussi par la modification de la distribution de taille des pores et de leur connectivité en lien avec l'amélioration de la structure du sol et de sa stabilité [24][25] [26][27].

La quantification de la RU des sols et de ses variations est complexe et longue à déterminer. Elle varie assez fortement en fonction des types de sol, du niveau initial de rétention et des pratiques agricoles mises en œuvre. Les augmentations peuvent varier de 5 à 20 % et les effets les plus importants (en proportion) sont observés sur des sols initialement pauvres en matières organiques et en argile, et donc avec un réservoir utilisable initialement faible (ex. sols sableux). Des travaux récents ont montré que la RU pouvait être calculée à partir d'autres paramètres du sol (fonctions de pédotransfert) [28] [29] et que celle-ci pouvait être cartographiée à différentes échelles [22].

1.2.2 IMPACT DES MODES D'UTILISATION DU SOL

La rétention et le transfert de l'eau dans les sols sont affectés par la structure et la porosité du sol qui sont elles-mêmes influencées par le mode de travail et d'utilisation du sol. Il existe une grande diversité de pratiques agricoles, avec de nombreuses combinaisons possibles, ce qui génère une grande diversité d'effets sur les propriétés des sols et leur fertilité. Comparativement à des systèmes avec labour régulier (considéré comme l'une des pratiques de travail du sol les plus intensives), les systèmes en agriculture de conservation (AC), combinant diversification des cultures, couverture maximale des sols par des couverts vivants ou un mulch (paillage de résidus organiques) et réduction/suppression des opérations de travail du sol, aboutissent à des modifications profondes du fonctionnement hydrique des sols [27] (Figure 7).

En premier lieu, l'énergie cinétique des précipitations est fortement réduite grâce à leur interception par la couverture permanente des sols par des couverts vivants ou un mulch de résidus, ce qui limite la désagrégation et les risques de ruissellement et d'érosion. Par ailleurs l'accumulation de carbone organique à la surface du sol (par le non-enfouissement des résidus) permet d'améliorer la structure des sols et la stabilité des agrégats et ainsi renforcer l'effet d'atténuation des phénomènes [30][31] [32]. Ce premier effet est particulièrement important pour tenir compte des évolutions de la distribution des pluies

en lien avec le changement climatique, et notamment de l'augmentation de la fréquence d'épisodes de pluie à forte intensité.

En parallèle, l'infiltration de l'eau est le plus souvent accrue en agriculture de conservation (AC) [27][33], et donc le ruissellement réduit, ce qui s'explique principalement par la non destruction des macropores issus des racines et de l'activité biologique des sols, notamment de la macrofaune (vers de terre). Compte tenu de son origine biologique, et non mécanique comme dans des systèmes travaillés, l'évolution du réseau poral d'un sol se fait progressivement et dépend de nombreux facteurs tels que la nature du sol (composition minéralogique, richesse initiale en matières organiques, etc.), la topographie, l'abondance et la diversité initiale de la biodiversité du sol ou encore les niveaux de performances obtenus pour les pratiques mises en œuvre (par exemple une forte biomasse d'un couvert végétal génèrera plus d'effets sur la porosité issue des racines), ce qui induit une durée variable de la période de transition des propriétés, communément considérée par les agriculteurs comme variant de 3 à 5 ans. L'amélioration des capacités d'infiltration peut également s'expliquer par une meilleure connectivité du réseau poral en systèmes non travaillés, celui-ci étant créé en partie par l'activité [34][35][36]. Là-encore, l'accroissement des capacités d'infiltration des sols est un enjeu important pour favoriser l'adaptation des systèmes agricoles aux effets du changement climatique et contribuer à rallonger le cycle de l'eau dans les territoires. Les sols avec une proportion importante de macropores ont ainsi une conductivité hydraulique supérieure à celle des sols tassés/compactés et peuvent « absorber » des pluies plus intenses. L'eau sera ainsi stockée temporairement dans le sol et les écoulements/transferts par ruissellement seront ralentis. Cette eau sera ensuite restituée progressivement aux cours d'eau ou aux nappes souterraines après infiltration dans le sol et la zone non saturée.

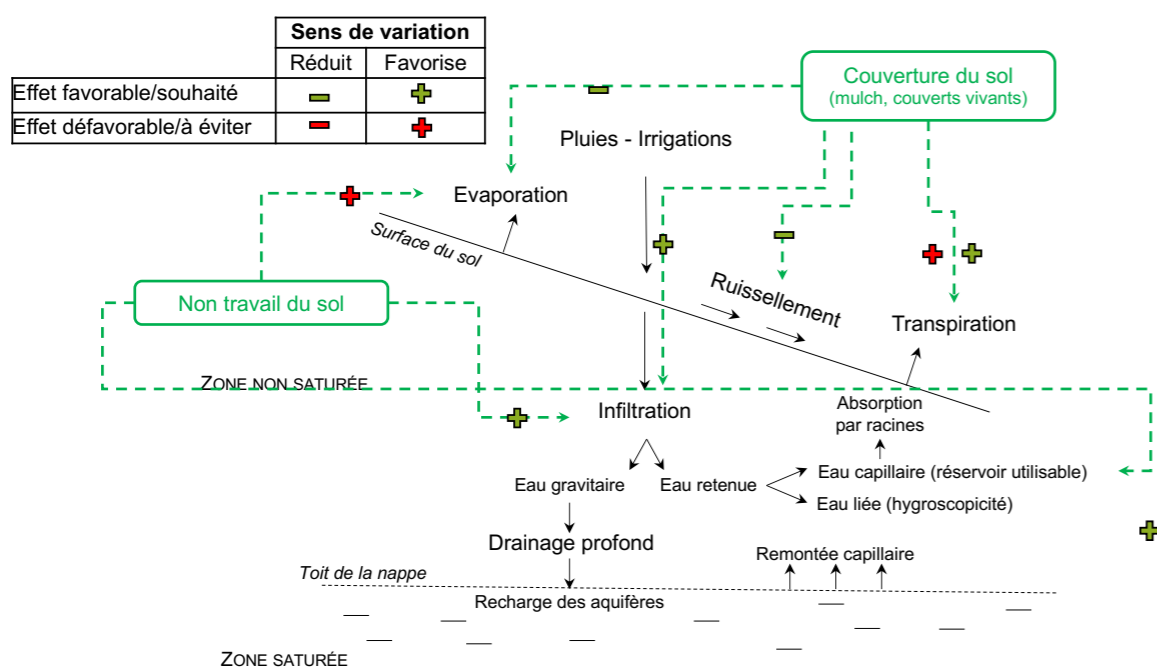


Figure 7 : Synthèse des principaux effets de pratiques agricoles sur le fonctionnement hydrique des sols

Concernant l'évaporation du sol, elle est le plus souvent réduite par la présence d'un mulch/paillis (résidus de culture) à la surface du sol notamment grâce à une rupture de continuité capillaire entre le sol et la barrière formée par les résidus et par une dynamique de réchauffement de la surface du sol ralentie [37][38][32]. En revanche, l'allongement de la durée de couverture des sols par des plantes vivantes, notamment par l'introduction de plantes de services pendant la période d'interculture en agriculture de conservation (AC), augmente les flux d'eau par transpiration comparativement à un sol nu durant l'interculture. Cette augmentation de la transpiration peut être à l'origine d'une réduction du drainage ce qui peut d'un côté réduire la recharge de la RU du sol pour la culture de rente suivante et avoir un impact négatif sur celle-ci [39]. Pour contrôler ces éventuels dys-services d'assèchement du profil de sol, la gestion des plantes de services, et notamment leur date de destruction, doit être raisonnée en lien avec l'état hydrique du sol.

Les scénarios du changement climatique pour la région Nouvelle-Aquitaine mettent en évidence [7] :

- une augmentation de la durée des épisodes de sécheresses météorologiques estivales (RCP8.5) ;
- une forte modulation saisonnière des précipitations avec une hausse systématique en hiver et une baisse quasi systématique en été ;
- un gradient géographique nord-est/sud-ouest négatif des enlèvements totaux annuels (RCP8.5) ;
- des événements pluvieux de forte intensité plus nombreux.

1.3

DISPONIBILITÉ DES RESSOURCES POUR L'AGRICULTURE

Les données compilées issues des agences de l'eau Adour-Garonne et Loire-Bretagne donnent pour la Nouvelle-Aquitaine un volume de prélèvement de 1,377 milliards de m³ pour l'année 2020 (hors prélèvement dans les eaux saumâtres de l'estuaire de la Gironde pour le refroidissement de la centrale nucléaire du Blayais).

En termes de pourcentages, l'agriculture était le premier poste de consommation avec 46,2 % du volume, suivi de la production d'eau potable (37,1 %), puis l'industrie (10,1 %) et enfin l'énergie avec 6,6 % du volume total [40].

Ces volumes sont prélevés au sein de masses d'eau superficielles (1657) et souterraines (142) qui découpent en autant d'unités de gestion les 74 000 km de cours d'eau et l'ensemble des systèmes aquifères de Nouvelle-Aquitaine. Les 142 masses d'eau souterraines (MESO) de Nouvelle-Aquitaine assurent environ 60 % des prélèvements sur le territoire régional et 113 (79,6 %) sont en bon état quantitatif (L'état quantitatif d'une eau souterraine est considéré comme bon lorsque les prélèvements ne dépassent pas la capacité de renouvellement de la ressource disponible, compte tenu de la nécessaire alimentation en eau des écosystèmes aquatiques de surface et des zones humides directement dépendantes en application du principe de gestion équilibrée énoncé à l'article L.211-1 du code de l'environnement).

L'augmentation de la durée des épisodes de sécheresses conduit à une sollicitation plus importante (et plus longue) de la réserve utile des sols par les plantes pour assurer leurs besoins hydriques et un accroissement de l'évapotranspiration. Dans certains sols, la RU pourra être insuffisante pour certaines cultures, notamment les cultures qui ont leur cycle de production en été (maïs, tournesol). Lors d'hivers secs la RU pourrait ne pas être totalement rechargée et ne pas permettre une alimentation correcte des plantes lors de la saison de culture suivante.

Les événements à pluviométrie intense sur une courte période ne participent pas à une forte recharge du réservoir utile sol. En effet, si la pluviométrie journalière dépasse la conductivité hydraulique journalière du sol, le sol n'aura pas la capacité d'infiltrer la totalité de l'eau, sera rapidement saturé et l'eau ruissellera à la surface du sol. Ce phénomène est accentué dans les parcelles cultivées, notamment en agriculture conventionnelle, car les sols y sont souvent déstructurés en surface et/ou compactés.

Les outils développés pour une meilleure estimation de la RU des sols, et de calcul de l'évapotranspiration, pourraient être utilisés (après adaptation aux contextes pédologiques et agronomiques locaux) comme des outils d'aide à la décision pour implanter les cultures et/ou pour piloter l'irrigation des cultures en fonction des besoins réels et ainsi avoir une utilisation plus raisonnée/maîtrisée de l'eau.

1.3.1 ÉTAT DES LIEUX ET TYPES DE RESSOURCES

La distribution spatiale des ressources en eau dans le territoire néo-aquitain est fortement influencée par la géologie locale. En effet, la géologie et la typologie des roches qui constituent le sous-sol, au-delà de la pédologie de couverture, induisent d'une part la présence ou l'absence de systèmes aquifères, d'autre part la densité du chevelu hydrographique (voir Figure 8).

Les zones des massifs Armoricaïn, Central et Pyrénéen (secteurs de roches cristallines et de roches métamorphiques) sont caractérisées par un sous-sol faiblement voire très faiblement perméable. Ce type de sous-sol est ainsi propice aux écoulements de surface mais défavorable à l'infiltration de l'eau en profondeur. Le réseau hydrographique y est ainsi très développé, et à l'inverse, ces secteurs sont quasiment démunis de ressources en eau souterraine et d'aquifères importants. Le Massif Central et les Pyrénées sont ainsi le lieu de naissance de très nombreux fleuves et rivières qui irriguent les plaines situées en aval (Loire, Allier, Charente, Garonne, Adour).

À l'opposé, dans les zones des bassins sédimentaires parisien et aquitain (roches calcaires et sables), la perméabilité du sous-sol est plus favorable à l'infiltration de l'eau et sa percolation vers les nappes au sein d'importants aquifères régionaux. Au sein des deux bassins sédimentaires, l'hydrogéologie et l'hydrographie

sont également très marquées par la nature géologique du sous-sol, nature dont découle d'importantes disparités, et des inégalités en termes de ressources en eau.

Ainsi, le triangle landais développé sur la formation du Sable des Landes d'âge plioquaternaire (formation très poreuse et perméable) renferme un très important système aquifère libre et relativement peu de cours d'eau drainent l'ensemble du système. L'eau y est disponible et abondante relativement proche de la surface, et le cycle de renouvellement de cette ressource est associé au cycle climatologique annuel. Au sud-ouest, les formations affleurantes du Miocène acquièrent une composante plus argileuse, qui rend ces formations très peu perméables à l'infiltration/percolation, y favorisant ainsi le développement d'un réseau de surface très développé (système Adour). Il en est de même en direction du Sud où affleurent les formations marno-calcaires et gréseuses du piémont pyrénéen. Ici encore, le réseau hydrographique de surface est très largement développé (gaves), traduisant la prépondérance du ruissellement au détriment de l'infiltration/percolation.

Au centre du territoire néo-aquitain, des terrains à dominante carbonatée d'âge oligocène et éocène se développent depuis la Garonne en direction du Massif Central et vers le Seuil du Poitou. Entre Garonne et Dordogne et jusqu'au sud de la Charente-Maritime, des plateaux calcaires (Entre-Deux Mers...) sont entaillés par l'importants cours d'eau (Garonne, Lot, Dordogne, Isle, Dronne). Ils forment des vallées marquées dans lesquelles se développent d'importantes nappes d'accompagnement au sein de leurs systèmes sédimentaires alluviaux.

Au-delà de ce secteur, se développe une importante bande de puissants systèmes calcaires du Crétacé qui forment des plateaux dans lesquels les cours d'eau précédents s'enfoncent dans des vallées très encaissées, formant souvent d'importantes falaises et donnant lieu à des sites remarquables (vallées du Lot et de la Dordogne). Cette couronne de terrains calcaires crétacés est marquée par le développement de très imposants systèmes karstiques (couches marqués par la dissolution du calcaire par les eaux météoritiques) sièges de nappes et aquifères remarquables donnant naissance à de très importantes sources (La Touvre). Ces terrains largement poreux, perméables et karstifiés marquent le paysage par une très faible présence d'eau de surface et un chevelu extrêmement limité.

En remontant en direction du nord, vers le Seuil du Poitou et au-delà vers le bassin parisien, le sous-sol est essentiellement formé par les calcaires fissurés du Jurassique. Les épaisseurs de ces derniers s'amenuisent au Seuil du Poitou, avant de réaugmenter dans le Bassin Parisien. À l'instar des terrains crétacés, ces calcaires fissurés du Jurassique sont souvent marqués par la karstification, et sont le siège de nappes libres qui deviennent captives en direction du centre des bassins sédimentaires aquitain et parisien.

Cette description du sous-sol néo-aquitain donne une lecture macroscopique d'une part du type de fonctionnement hydrique d'un territoire (ruissellement *versus* infiltration/percolation), et d'autre part du type de ressources disponibles au droit du secteur considéré (surfactive et/ou souterraine).

Le nord des Deux-Sèvres, la quasi-totalité du Limousin et le Sud des Pyrénées-Atlantiques ne disposent pas de ressources en eaux souterraines. Ces territoires sont ainsi quasi entièrement dépendant des ressources en eau de surface.

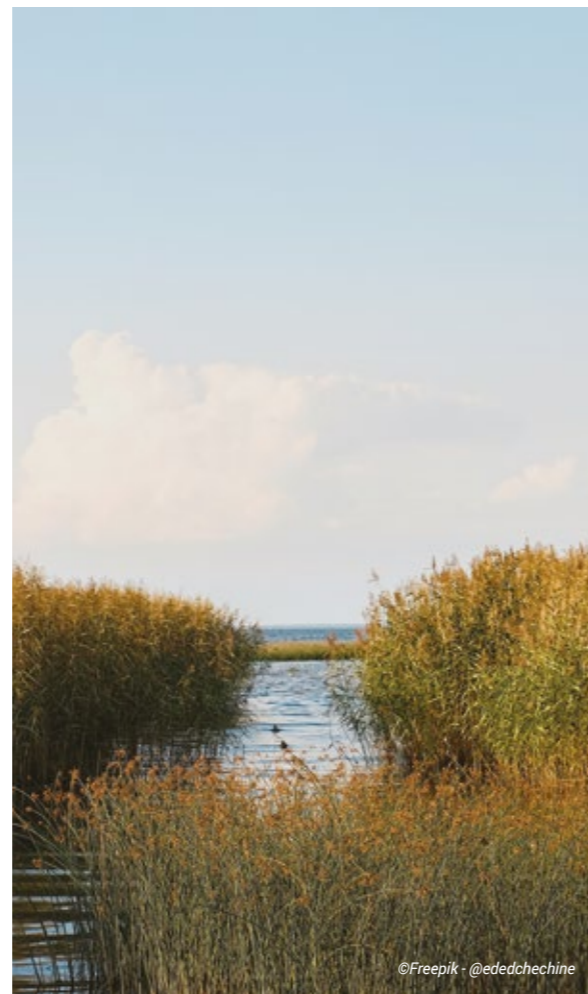
Les territoires des départements de la Vienne, de la Charente-Maritime, de la Charente, le nord de la Dordogne et l'est du Lot-et-Garonne sont concernés par un sous-sol calcaire marqué par d'importants aquifères et nappes karstiques. Très poreux et perméables, les modelés karstiques de ces territoires sont pauvres en termes de cours d'eau : seules les grandes rivières marquent le paysage. Pour ces territoires, les ressources en eau souterraines peuvent toutefois être limitées d'autant qu'ils sont proches des massifs Central et Armoricaïn du fait de la faible épaisseur des aquifères.

Le sud de la Dordogne, l'ouest du Lot-et-Garonne et l'est de la Gironde sont plus richement doté à la fois en cours d'eau et en ressources en eau souterraine. Les terrains carbonatés mais moins sujets à la karstification confèrent de bonnes propriétés réservoir au sous-sol (système aquifère multicouche) tout en accueillant d'importants cours d'eau avec leurs systèmes alluviaux d'accompagnement.

Le centre du bassin avec le reste du territoire girondin et le triangle landais sont les territoires les plus richement doté en termes de ressources en eau tant souterraine que de surface.

Le sud-ouest du Lot-et-Garonne et le sud-est des Landes sont quant à eux privilégiés par rapport aux eaux de surface avec des chevelus hydrographiques très développés, mais sont peu favorisés en termes de ressources souterraines.

En complément de l'état des lieux précédent, le changement climatique va imposer d'importantes évolutions quant au fonctionnement des hydrosystèmes néo-aquitains, et donc sur la disponibilité des ressources en eau, de surface comme souterraine, pour satisfaire les différents usages anthropiques comme naturels.



©Freepik - @ededchechine

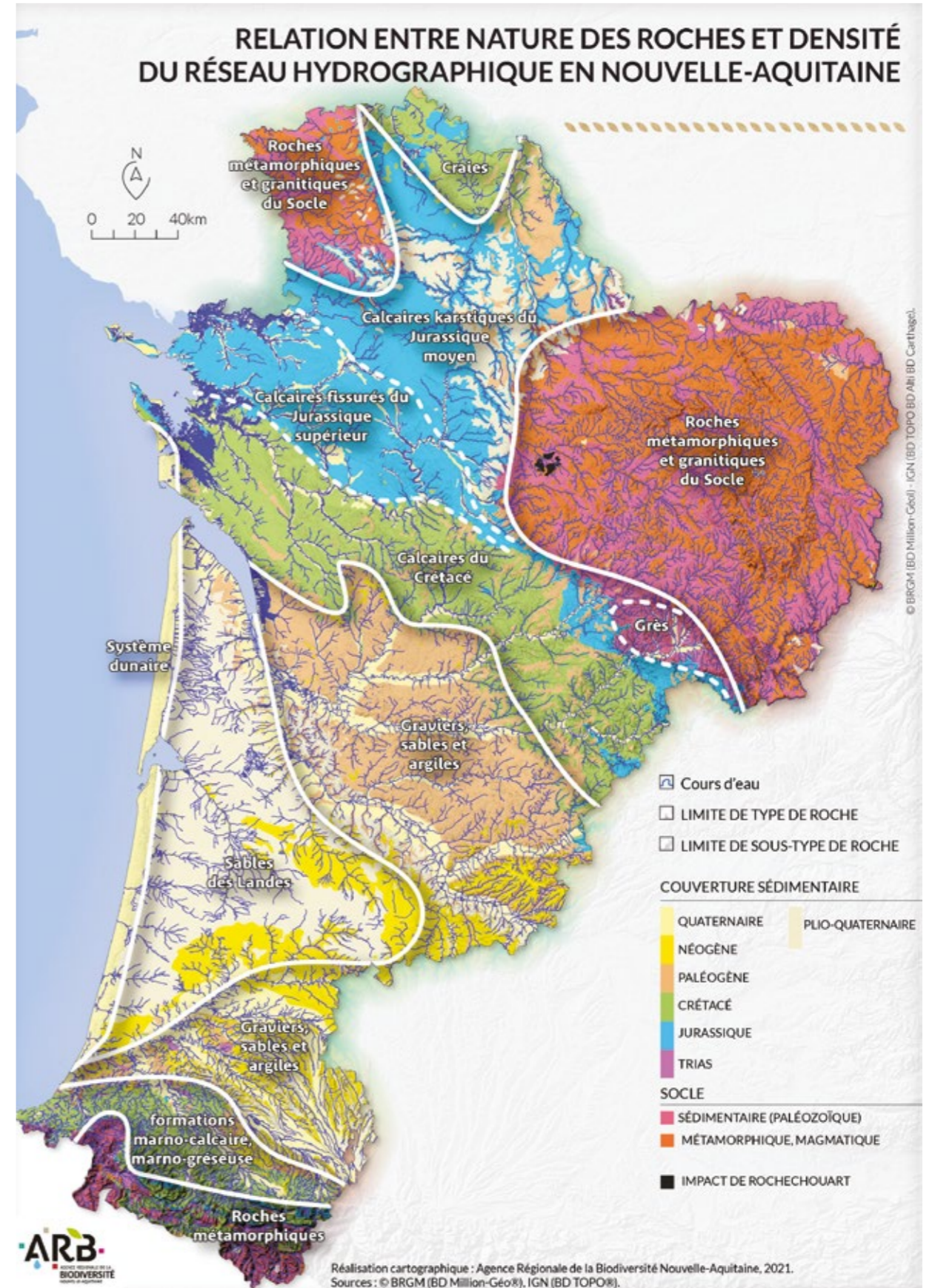


Figure 8 : Cartographies hydrologique, hydrogéologique et géologique en Nouvelle-Aquitaine (41).

La **Figure 9** montre pour le scénario RCP8.5 et pour la période de la fin du siècle (2071-2100) l'écart en moyenne annuelle des précipitations, écart exprimé en mm/j - par l'ensemble des modèles par rapport à la période de référence 1976-2005. On y constate que dans l'hypothèse d'une évolution sans politique climatique efficiente (pas de réduction importante des émissions de GES), que la zone géographique avec la plus importante baisse des précipitations se situerait au niveau des Pyrénées et du piémont. Tout le sud-est de la région Nouvelle-Aquitaine est également très affecté. La distribution temporelle des précipitations au long de l'année doit également être prise en considération.

Concernant la scénarisation des effets du changement climatique sur le territoire métropolitain, le projet EXPLORE2 (INRAE, OIEAU 2021) a pour objectifs d'une part d'actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie à partir des dernières publications du GIEC, d'autre part d'accompagner les acteurs des territoires dans la compréhension et l'utilisation de ces résultats pour adapter leurs stratégies de gestion de la ressource en eau. Le Projet EXPLORE2 est basé sur des points d'évaluation des débits sur la période 1976-2019, et disposant de chroniques peu ou pas influencées par les actions de prélèvements, consommation ou rejet des eaux de surface ou souterraines. Ces points sont ensuite utilisés pour rendre compte de l'incidence du changement climatique sur la ressource en eau. La **Figure 10** présente les premiers résultats disponibles issus du projet EXPLORE2 et mis à disposition sur le site DRIAS-Eau (<http://www.drias-eau.fr>).

Y est reporté l'écart relatif de la moyenne annuelle du débit (différence entre la période considérée et la période de référence) sur les stations retenues dans le projet EXPLORE2, pour le scénario RCP8.5 et à l'horizon 2071-2100. Les résultats présentés correspondent à la médiane des simulations du modèle SIM2.

Figure 10 : Écart relatif de la moyenne du débit : différence entre la période considérée et la période de référence. RCP8.5 : Scénario avec émissions non réduites, Horizon lointain (2071-2100) - Moyenne annuelle. Produit multi-modèles : médiane de l'ensemble modèle hydrologique SIM2 forcé par l'ensemble DRIAS-2020. Modélisation sur le site <https://www.drias-eau.fr>.

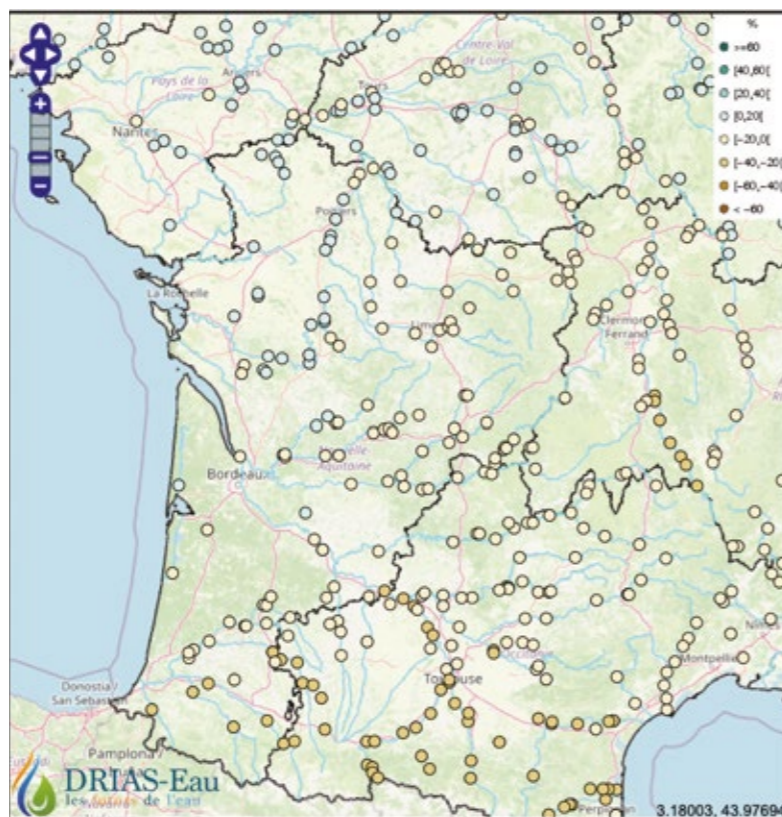
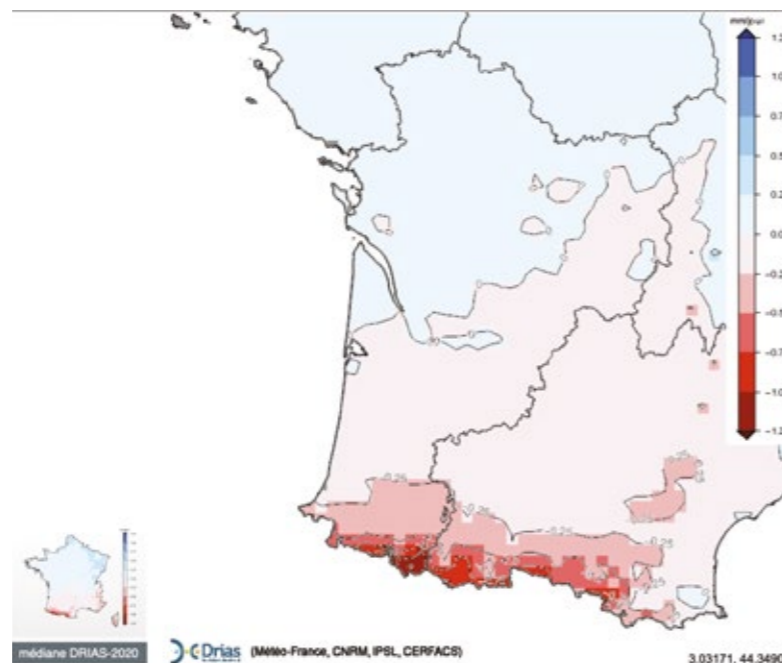


Figure 9 : Écart de précipitations moyennes (mm) : différence entre la période considérée et la période de référence. RCP8.5 : Scénario sans politique climatique. Horizon lointain (2071-2100) - Moyenne annuelle. Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble. Modélisation sur le site <https://www.drias-climat.fr>.



Seule la partie nord-ouest du territoire néo-aquitain présente des valeurs d'écart relatif légèrement positives [0, +20 %] en termes de moyenne annuelle de débit. Le reste du territoire et les cours d'eau pris en compte figurent des valeurs d'écart négatives [-20, 0] avec un gradient d'augmentation en allant vers les Pyrénées. Ces évolutions proches de la stabilité sauf pour les Pyrénées, traduisent – pour les eaux de surfaces – les projections climatiques indiquant une baisse des cumuls estivaux d'ici la fin du siècle, dans les scénarios de fortes émissions (RCP8.5) et d'émissions modérées (RCP4.5).

Les données issues d'EXPLORE2 indiquent à l'horizon 2071-2100 une baisse relative de l'indice d'humidité du sol de l'ordre de 25 % sur l'ensemble du territoire régional à l'exception de secteurs limités en Deux-Sèvres, Vienne et Charente-Maritime, pour lesquels la baisse de l'index serait seulement de l'ordre de 10 % (**Figure 11**).

Les effets du changement climatique vont ainsi réduire de manière assez importante la disponibilité directe de la RU du sol pour les plantes. Cette baisse de disponibilité en eau dans les premiers mètres du sol va ainsi fortement impacter l'agriculture, notamment si l'on considère l'augmentation globale des températures et du nombre de jours de forte chaleur.

Plus en profondeur, le fonctionnement des systèmes aquifères et des nappes va également être impacté par les effets du changement climatique. Les résultats disponibles fournis par le projet EXPLORE2 donnent un indicateur de variation relative du drainage cumulé¹, qui illustre la variation relative de la recharge des nappes (**Figure 12**). Les résultats produits font apparaître qu'une partie de notre région verrait la recharge des aquifères et nappes libres préservée par rapport à la période de référence, voire augmenter pour les Deux-Sèvres et la Vienne. En revanche, le Limousin, la Dordogne et le nord de la Gironde seraient impactés par une baisse de la recharge (avec un gradient de la baisse en direction de l'est).

L'axe Gironde-Garonne et l'Entre-Deux-Mers bénéficieraient quant à eux d'une recharge potentiellement plus importante. Mais plus au sud, le triangle landais et les Pyrénées-Atlantiques seraient les plus impactés par des baisses de recharge importantes, avec un gradient accentué vers les Pyrénées.

Les résultats de ces travaux toujours en cours, incitent à examiner avec prudence les effets du réchauffement climatique sur la ressource en eau disponible pour l'agriculture dans notre région et à tenir compte des particularités des différents territoires sous-régionaux.



¹ Drainage cumulé : Cumul des drainages quotidiens pendant la période de recharge c'est-à-dire la quantité d'eau qui s'est infiltrée dans le sol au 31 mars depuis le 1^{er} septembre de l'année qui la précède.
² Le SWI (Soil Wetness Index) est un indice d'humidité des sols qui représente, sur une profondeur d'environ deux mètres, l'état de la réserve en eau du sol par rapport à la réserve utile (eau disponible pour l'alimentation des plantes). Lorsque le SWI est voisin de 1, le sol est humide (supérieur à 1, le SWI indique un sol tendant vers la saturation), lorsqu'il tend vers 0, le sol est en état de stress hydrique (inférieur à 0, le sol est très sec).

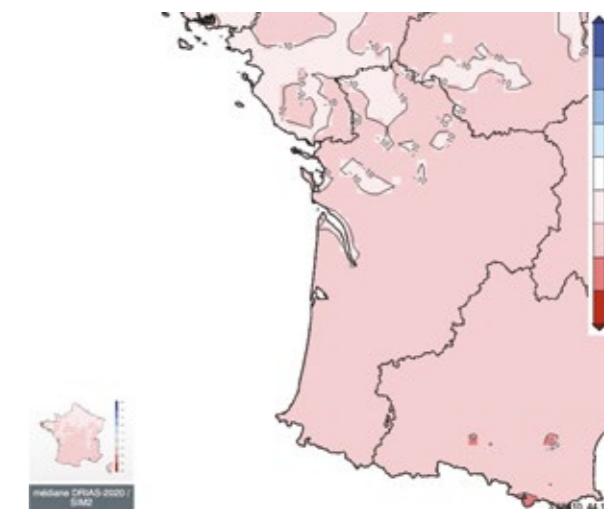


Figure 11 : Écart relatif de l'indicateur moyen d'humidité des sols (SWI)² : différence entre la période considérée et la période de référence. RCP8.5 : Scénario avec émissions non réduites, Horizon lointain (2071-2100) - Moyenne annuelle. Produit multi-modèles : médiane de l'ensemble modèle hydrologique SIM2 forcé par l'ensemble DRIAS-2020. Modélisation sur le site <https://www.drias-eau.fr>.

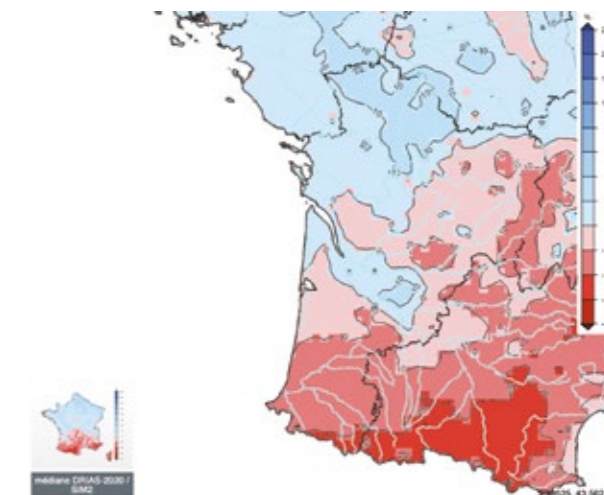


Figure 12 : Écart relatif du drainage cumulé : différence entre la période considérée et la période de référence. RCP8.5 : Scénario avec émissions non réduites. Horizon lointain (2071-2100) - Moyenne annuelle. Produit multi-modèles : médiane de l'ensemble modèle hydrologique SIM2 forcé par l'ensemble DRIAS-2020. Modélisation sur le site <https://www.drias-eau.fr>.

2

Usages agricoles de l'eau et disponibilité de la ressource

INTRODUCTION

Plus grande région de France en termes de superficie et la troisième la plus peuplée, la Nouvelle-Aquitaine est également l'une des plus diverses sur le plan agricole, notamment en raison de sa géographie variée, qui va des montagnes des Pyrénées, aux plaines céréalières du Poitou et de la Charente, en passant par les vignobles de renom à Bordeaux, les zones d'élevage du Limousin et des zones de polyculture et polyélevage (Figure 13). L'agriculture de la région est donc adaptée à ces conditions variées, ce qui contribue à sa richesse et à sa diversité.

Toutefois, l'année 2022 restera gravée dans les mémoires comme une année marquée par des extrêmes climatiques sans précédent. Pour l'ensemble de la région, elle a été la plus chaude jamais enregistrée, et les conséquences se sont fait sentir dans tous les secteurs de l'agriculture. L'une des caractéristiques marquantes de 2022 a été la sécheresse persistante. Les précipitations ont été nettement inférieures à la normale dans la région, ce qui a entraîné une diminution globale des niveaux des cours d'eau et réservoirs. La sécheresse a intensifié la concurrence pour l'eau entre les différents usages, entre l'agriculture, l'industrie (y compris le refroidissement des centrales nucléaires) et l'approvisionnement en eau potable, créant des tensions dans un contexte où l'agriculture en région dépend fortement de l'eau pour l'irrigation des cultures et l'abreuvement du bétail.

Malgré une légère augmentation des surfaces consacrées aux céréales, aux oléagineux et aux protéagineux (COP), la production régionale a connu un déclin significatif des grandes cultures en raison de rendements très faibles. Ces cultures ont souffert des températures élevées et du manque de précipitations. La production totale est estimée à seulement 7,8 millions de tonnes (contre 9,0 millions en moyenne en général), marquant ainsi la plus faible valeur enregistrée depuis l'an 2000. La filière fruits

et légumes n'a pas été épargnée par les caprices de la météo. L'été brûlant et sec a été précédé par des épisodes de gel printaniers, créant ainsi des déficits conjoncturels. La production a enregistré d'importantes baisses, notamment dans les pruneaux, les pommes, et les carottes, tandis que le kiwi et la tomate ont maintenu une stabilité relative. Après une année désastreuse, la production de melons a connu un rebond, offrant un peu de répit aux producteurs. La viticulture, toujours sensible aux aléas climatiques, a également été affectée. La récolte de 2022 a été marquée par une série de conditions climatiques imprévisibles. Avec près de 15,8 millions d'hectolitres, la production viticole régionale a augmenté (+6,8 %) par rapport à la petite récolte précédente, mais les disparités entre les départements étaient importantes, reflétant les variations climatiques locales.

Concernant l'élevage, l'année 2022 a été marquée par des défis pour cette filière en Nouvelle-Aquitaine, avec des fluctuations de prix pour les porcs charcutiers et une forte baisse de la production de volailles due aux épizooties de grippe aviaire et aux mesures sanitaires induites. Le cheptel herbivore a quant à lui diminué, les éleveurs ayant dû faire face à l'augmentation des coûts de l'énergie et des coûts des intrants dans un contexte climatique défavorable. Les conditions climatiques extrêmes de 2022 ont également influencé la reproduction, la mortalité et la croissance des huîtres dans le bassin d'Arcachon et en Charente-Maritime. La situation subie en 2022 en Nouvelle-Aquitaine a exacerbé les défis liés à la disponibilité de l'eau pour l'agriculture. Les agriculteurs ont dû faire preuve d'une grande résilience pour faire face aux conditions météorologiques exceptionnellement difficiles, et les conséquences de cette année resteront probablement ressenties dans le secteur agricole pendant longtemps.

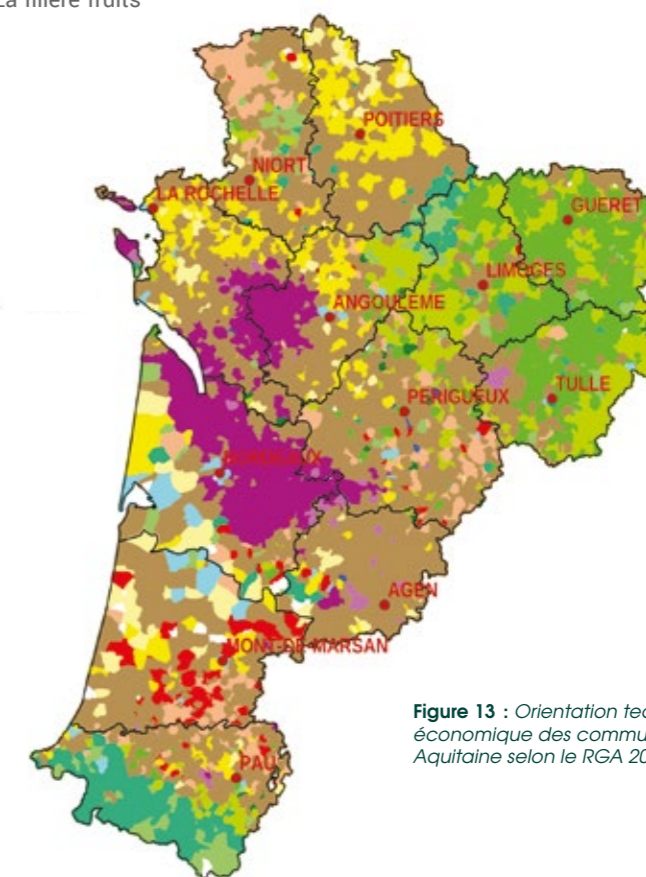


Figure 13 : Orientation technico-économique des communes de Nouvelle-Aquitaine selon le RGA 2010 (AGRESTE)(42)

2.1

RETENUES ET RÉSERVES DE SUBSTITUTION

Actuellement, peu de recherches scientifiques existent sur les projets des réserves de substitution et leurs impacts. Ce texte synthétique survole les différents types de solutions de substitution et évoque leurs impacts potentiels sur l'environnement. Il est néanmoins nécessaire d'aborder ces solutions dans un cadre hydrologique et hydrogéologique afin d'évaluer la pertinence de chaque solution au regard des enjeux environnementaux.

2.1.1 DÉFINITION ET PRINCIPE

La **substitution** consiste à utiliser des installations ou des ouvrages artificiels pour permettre de prélever de l'eau dans un milieu (une nappe, un cours d'eau) lorsque les conditions hydrologiques (débit dans le cours d'eau) ou hydrogéologiques (niveau d'eau dans les nappes) sont favorables (en hiver généralement, on parle de hautes eaux) pour la stocker dans un ouvrage et l'utiliser en été, afin de diminuer les prélèvements en période sèche (on parle de basses eaux ou de période d'étiage). Le mode d'alimentation de ces ouvrages artificiels diffère selon leur positionnement par rapport au cours d'eau et selon leur mode de remplissage :

- Les **retenues** de substitution stockent l'eau qui s'écoule de façon gravitaire dans les cours d'eau ;
- Les **réserves** de substitution sont alimentées par prélèvement en cours d'eau et/ou en nappe superficielle.

On distingue différents types d'ouvrages de substitution comme illustré dans la figure suivante (**Figure 14** [43]) et qui répondent aux définitions ci-dessous :

- 1. Réserve alimentée par pompage dans la nappe d'eau souterraine.** La ressource utilisée pour le remplissage est un aquifère proximal de la réserve. Elle est totalement déconnectée du réseau hydrographique superficiel.
- 2. Réserve alimentée par pompage dans un cours d'eau.** Le remplissage s'effectue strictement par prélèvement dans la rivière.
- 3. Retenue collinaire.** Le ruissellement est le seul mode de remplissage de ces retenues qui sont normalement déconnectées du réseau hydrographique. Elles sont généralement installées dans les fonds de talwegs (lignes

de plus grande pente d'une vallée) de manière à intercepter le plus de ruissellement.

4. Retenue en dérivation. Une telle retenue s'apparente à une réserve alimentée par pompage dans un cours d'eau (2), mais l'alimentation est ici gravitaire.

5. Retenue en barrage. Ce type de retenue est situé sur un cours d'eau : sauf dispositif de débit minimum (avec prise de l'eau en amont), toute l'eau qui rejoint le cours d'eau à l'aval transite par la retenue [44].

2.1.2 IMPACTS

Aucune retenue ou réserve de substitution n'est neutre pour l'environnement. Les impacts induits sont variés puisqu'ils concernent aussi bien les nappes d'eau souterraines que le réseau hydrographique et leurs écosystèmes associés.

En modifiant potentiellement les écoulements d'eau en surface par leur implantation et leur mode de remplissage, les retenues de substitution perturbent les transports de sédiments et de nutriments via le réseau hydrographique. L'hydromorphologie naturelle même des cours d'eau peut être modifiée et leurs caractéristiques hydrologiques, hydrogéologiques, biologiques ou écologiques être bouleversées. Le fonctionnement écologique des milieux aquatiques s'en voit alors perturbé voire mis en péril dans certains cas, lorsque la continuité des écoulements et des écosystèmes associés n'est plus assurée.

Le remplissage d'une retenue ou d'une réserve de substitution par prélèvement dans une nappe n'est pas neutre non plus pour les milieux souterrains et superficiels aval. Les impacts potentiels sont multiples selon le contexte hydrogéologique, le débit de prélèvement, etc. Parmi ces impacts, la modification locale des sens de circulation des nappes, la modification des

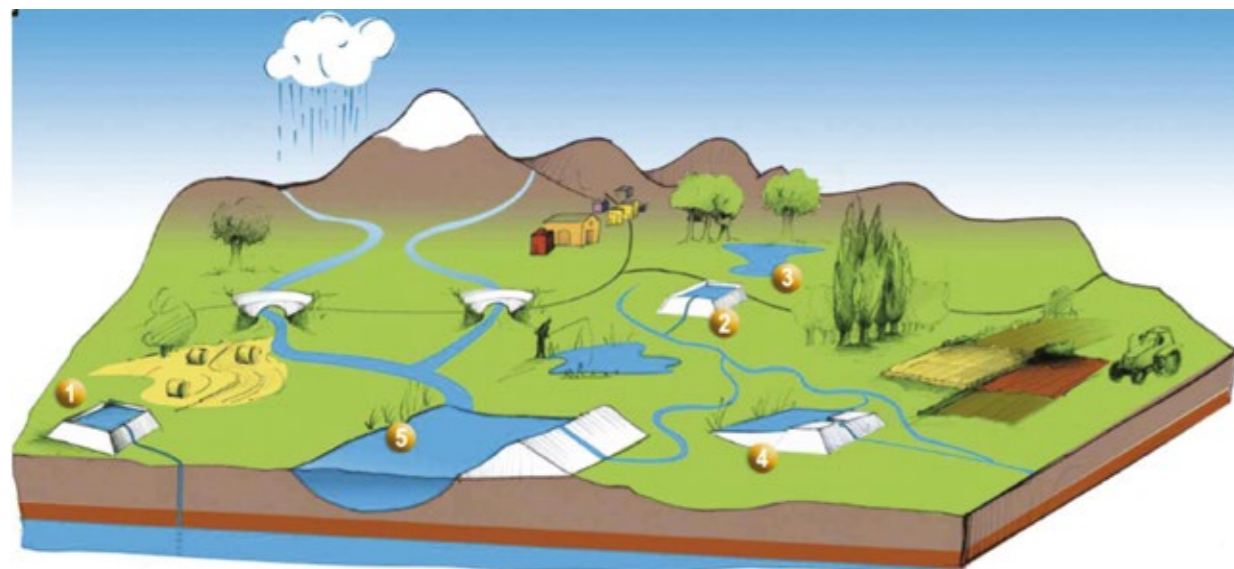


Figure 14 : Les modes d'alimentation des retenues. Figure reprise d'une expertise scientifique collective (ESCo) menée par le BRGM et l'Irstea (actuel INRAE) et reprise par Cartier et al. 2017 (44).

flux d'échanges nappe-rivière, la potentielle salinisation de la nappe (en bord de mer uniquement), et le potentiel d'ennoyage localisé de la nappe sont possibles. Les effets induits par les prélèvements pour le remplissage des réserves de substitution doivent donc s'envisager obligatoirement selon d'une part les contextes hydrogéologiques et environnementaux locaux, et d'autre part au regard des futures contraintes imposées par les effets du changement climatique. Pour ce faire les *scenarii* d'évolution climatiques sont à prendre en compte, tout comme les *scenarii* de prélèvement à l'échelle du territoire considéré.

L'étendue de ces incidences est donc variable et leurs impacts plus ou moins prononcés selon la taille des retenues, leur modalité de fonctionnement et de gestion.

Par ailleurs, la question de l'évolution de la qualité des eaux stockées dans ces réservoirs est également importante mais elle l'est d'autant plus en fonction de leur usage final. En effet, le stockage en surface d'un volume d'eau induit inévitablement l'élévation de la température de ce dernier et donc s'accompagne d'une évolution de la qualité de l'eau. En général, le problème le plus fréquemment rencontré est le développement de micro-organismes et d'algues. Les premiers – souvent des cyanobactéries, altèrent la qualité globale de l'eau. Les incidences de cette altération sont prégnantes si l'eau stockée est renvoyée dans le milieu naturel récepteur (cours d'eau, zone humide, etc.) ou en amont d'un usage sensible à la qualité des eaux. Il n'en sera pas de même si l'eau stockée est utilisée dans un processus ou un usage moins exigeant, ou si l'eau n'est renvoyée vers le milieu naturel qu'après utilisation.

Au-delà de la modification de la qualité de l'eau, l'eau stockée en surface est soumise à l'évaporation. C'est un sujet complexe car la mesure du flux évaporatoire est difficile, et malgré le recours à des techniques complexes, reste entachée d'incertitude. L'estimation numérique à partir de variables atmosphériques est également possible mais reste un sujet de recherche. De plus, le flux d'évaporation dépend à la fois des particularités

climatiques, des spécificités de la retenue (surface, profondeur, configuration, écoulement ou non) et de celles de son environnement (humidité de l'air, vent, etc.). Dans le quart sud-ouest de la France, les données disponibles, notamment issues des bilans réalisés sur les réserves de substitution vendéennes gérées par la CACG¹, indiquent des taux d'évaporation volumique ne dépassant pas 7 % [45]. Toutefois, il est nécessaire d'engager des recherches qui puissent estimer plus précisément ces taux dans diverses parties du territoire.

Dans certains pays, des techniques ont été développées pour réduire ce flux évaporatoire : 1/ ajout d'un produit créant un film en surface, 2/ ajout de colorant pour modifier l'albédo de la retenue (sa capacité à réfléchir la lumière), 3/ couverture partielle ou totale de la retenue, 4/ aménagement des berges pour limiter le vent, 5/ optimisation d'un réseau de retenues (en exploitant tout d'abord les retenues dont la température est la plus élevée [44]).

Le nombre de retenues et de réserves de substitution est en augmentation depuis les dernières décennies. Il est donc indispensable d'estimer leurs impacts sur le milieu aquatique, non plus isolément, mais de manière intégrée à l'échelle d'un bassin versant ou d'un sous-bassin. Depuis 2010 (loi Grenelle 2), des études doivent évaluer les effets cumulés d'un projet avec les autres ouvrages équivalents connus, mais cette exigence se heurte à la faiblesse des connaissances dans ce domaine. Bureaux d'étude, organismes de gestion et services de l'État en charge de l'instruction opérationnelle de tels projets font souvent face à un défaut de données locales et parfois d'outils opérationnels [46]. Cependant, certains territoires souhaitent prendre en compte, *via* les SDAGE et les SAGE, le cumul des plans d'eau pour en limiter l'impact conjoint sur le grand cycle de l'eau. De ce fait, il n'est donc pas possible d'apporter une réponse générale à la question de la pertinence des retenues de substitution, chaque cas devant être traité dans son contexte territorial spécifique.

¹ Compagnie d'aménagement des Coteaux de Gascogne



2.2

VULNÉRABILITÉS ET BESOINS DE L'AGRICULTURE EN EAU

2.2.1 QUELLES VULNÉRABILITÉS DES USAGES AGRICOLES DE L'EAU ?

Dans un contexte où l'impact croissant du changement climatique crée des défis considérables pour la gestion de la précieuse ressource qu'est l'eau, la Commission locale de l'eau (CLE) de la vallée de la Garonne joue un rôle central en élaborant des stratégies d'adaptation au changement climatique visant à atténuer les vulnérabilités des usages de l'eau par l'agriculture.

BON À SAVOIR

L'ÉLABORATION DE LA DÉMARCHÉ D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DE LA COMMISSION LOCALE DE L'EAU DE LA VALLÉE DE LA GARONNE

Approuvé en 2020, le Schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) de la vallée de la Garonne élaboré par la Commission locale de l'eau (CLE) est un outil de planification destiné à élaborer une politique locale de la ressource en eau de façon concertée.

La CLE, qui est adossée au SMEAG, structure porteuse, a souhaité engager une démarche d'adaptation en développant notamment les études socio-économiques (cf. disposition II.10 du SAGE [47]). Peu de temps après son adoption, le périmètre du SAGE est donc devenu l'un des 21 territoires démonstrateurs du projet LIFE Eau & Climat [48] coordonné par l'OIEau. L'objectif étant de bénéficier de l'accompagnement d'experts (Météo-France, INRAE, etc.) pour étudier les conséquences locales du réchauffement climatique afin de mettre au point des solutions pour s'y adapter.

Un premier travail de diagnostic des vulnérabilités au changement climatique des usages de l'eau et des milieux à l'horizon 2050 a ainsi pu être réalisé. D'une part sur la base d'une analyse hydroclimatique conduite à partir d'un scénario d'émission de gaz à effet de serre croissant (RCP8.5) choisi par la CLE et d'un scénario hydroclimatique issu des premiers résultats du projet EXPLORE2 [49]. Concernant l'usage agricole, les deux régions du SAGE les plus exposées en termes climatiques sont la Garonne de Piémont et la Garonne Agenaise. Sur ces territoires on observe un écart relatif de cumul de l'évapotranspiration réelle respectivement de -9 et -8 %.

D'autre part, des ateliers de concertations territorialisés ont permis d'effectuer parallèlement une analyse de sensibilité selon une méthodologie mise au point par le bureau d'étude Acterra partenaire du projet LIFE Eau & Climat. En vallée de la Garonne, la majorité des prélèvements s'opère dans les eaux superficielles. Concernant l'usage agricole, les prélèvements moyens à l'hectare pour l'irrigation sont les plus élevés en Garonne débordante (de Beauzelle à Malause) avec 312 m³.ha⁻¹. De plus, un indicateur de risque d'érosion des sols (évalué à partir du degré de pente et de couverture des sols) a été utilisé pour apprécier la résilience des sols. Il fait ressortir un risque plus élevé en Garonne Montagnarde et Agenaise.

Finalement, le croisement de ces indicateurs d'exposition et de sensibilité a permis de mettre en évidence un score de vulnérabilité pour chaque commission géographique du SAGE et pour chaque catégorie d'usagers. **L'usage agricole apparaît particulièrement menacé en Garonne débordante et Agenaise.**

C'est sur la base de ce travail que la CLE conduit désormais l'élaboration d'une trajectoire d'adaptation en s'appuyant sur un outil d'aide à la décision également développé par le partenaire Acterra. Pour cela deux nouvelles séries d'ateliers territorialisés ont rassemblé les membres de la CLE. Les premiers prévoient d'amener les participants à compléter la liste des actions d'adaptation déjà programmées. Les seconds visent à mettre en débat des bilans besoin-ressource actualisés selon un scénario de laisser-faire. L'objectif étant d'activer la prise de conscience sur l'état de la ressource et de mettre en réflexion le niveau d'adaptation à consentir par chaque catégorie d'usager pour faire émerger un scénario d'adaptation concerté à la hauteur des enjeux futurs.

La dernière phase de l'étude complétera la démarche en chiffrant le coût des solutions mises en place dans chaque scénario et leurs bénéfices respectifs avec et sans adaptation. Une analyse coût-bénéfice évaluera le véritable coût de l'adaptation en comparant les deux scénarios. Cet indicateur apportera un ordre de grandeur monétaire plus appropriable par les décideurs pour estimer le coût de l'adaptation à répartir entre les catégories d'usagers.

Après avoir ainsi illustré les vulnérabilités des usages agricole de l'eau, il convient de s'intéresser aux besoins spécifiques en eau des différentes filières agricoles. En effet, comprendre ces besoins est essentiel pour élaborer des stratégies d'allocation optimale, dans un contexte de changement climatique. Les filières agricoles ont des besoins en eau variés et souvent spécifiques. Il convient d'identifier les facteurs qui influencent ces besoins, les pratiques agricoles qui les conditionnent, et comment ces besoins peuvent évoluer en réponse aux changements climatiques. Au sein des filières agricoles, nous aborderons dans un premier temps l'abreuvement des animaux et l'irrigation des cultures avant de focaliser notre propos sur l'évaluation des bilans hydriques spatialisés pour différentes cultures. Nous explorerons de manière approfondie ces trois facettes essentielles de la gestion de l'eau dans le contexte agricole, mettant en évidence leur importance dans la recherche d'une agriculture durable et efficiente.

2.2.2 BESOINS EN EAU DES HERBIVORES

Les animaux d'élevage sont utilisateurs de la ressource en eau. Ils sont directement impactés par le changement climatique puisque leurs besoins en eau augmentent avec la hausse de la température [50].

2.2.2.1- LES RÔLES DE L'EAU DANS LE CORPS DES ÊTRES VIVANTS

L'eau est le principal constituant des animaux mais sa teneur diminue avec l'âge : de 85 % pour un veau à 65 % pour un bovin âgé. La moitié de l'eau se trouve dans les compartiments hydriques intracellulaires et l'autre moitié est dans les compartiments extracellulaires dont le sang et le liquide interstitiel.

L'eau libre permet la solubilisation, le transport et l'échange des ressources métaboliques (nutriments, oxygène, minéraux) et déchets métaboliques (eau, CO₂, urée, ammoniac, acides) mais aussi la régulation de la pression osmotique¹, de la température corporelle, l'humidification des muqueuses, la lubrification des articulations et la facilitation du transit digestif. Le maintien de la quantité d'eau nécessaire pour assurer ces fonctions et son renouvellement pour compenser les pertes est essentiel pour la vie de l'animal. C'est le rôle des mécanismes d'excrétion rénale et de la soif [51]. Si le bilan hydrique en vient à être négatif, une réduction de la consommation alimentaire est provoquée ce qui peut impacter les performances de production. En cas d'aggravation du déficit hydrique,

les conséquences peuvent être plus importantes. C'est particulièrement vrai chez le veau, qui possède peu de réserves, où une déshydratation de 12 % peut entraîner la mort [52].

Les flux d'eau dans un être vivant sont qualifiés d'apport et de perte. À titre d'exemple, pour une vache laitière, ayant une ration à base d'ensilage de maïs et en condition de thermo-neutralité, c'est-à-dire des températures ambiantes inférieures à 20 °C, le bilan hydrique est présenté dans le **Tableau 1** [53].

Les flux d'eau varient selon de nombreux paramètres :

- l'espèce et la race considérées,
- la morphologie des animaux (poids, taille, etc.),
- leur état et leur stade physiologiques (croissance, gestation, lactation) ou pathologique (diarrhée, syndrome fébrile, etc.),
- leur activité,
- leur environnement (température ambiante, hygrométrie),
- de l'alimentation (quantités ingérées, taux d'humidité des aliments, teneur en protéines, en fibres et en sel de la ration),
- du goût et de l'odeur de l'eau (salinité, chlore, etc.),
- de l'accès à l'eau [54].

¹ La pression osmotique est la pression qui doit être appliquée à une solution pour empêcher l'écoulement entrant de l'eau à travers une membrane semi perméable.

ENTRÉES	RÉTENTION D'EAU CORPORELLE	ÉVAPORATION CUTANÉE ET RESPIROTOIRE	PERTES
Eau bue : 74 L par jour	1 L par jour	19 L par jour	Eau fécale : 48 L par jour
Eau ingérée avec les aliments : 31 L par jour			Eau urinaire : 15 L par jour
Eau métabolique : 6 L par jour			Eau du lait : 28 L par jour

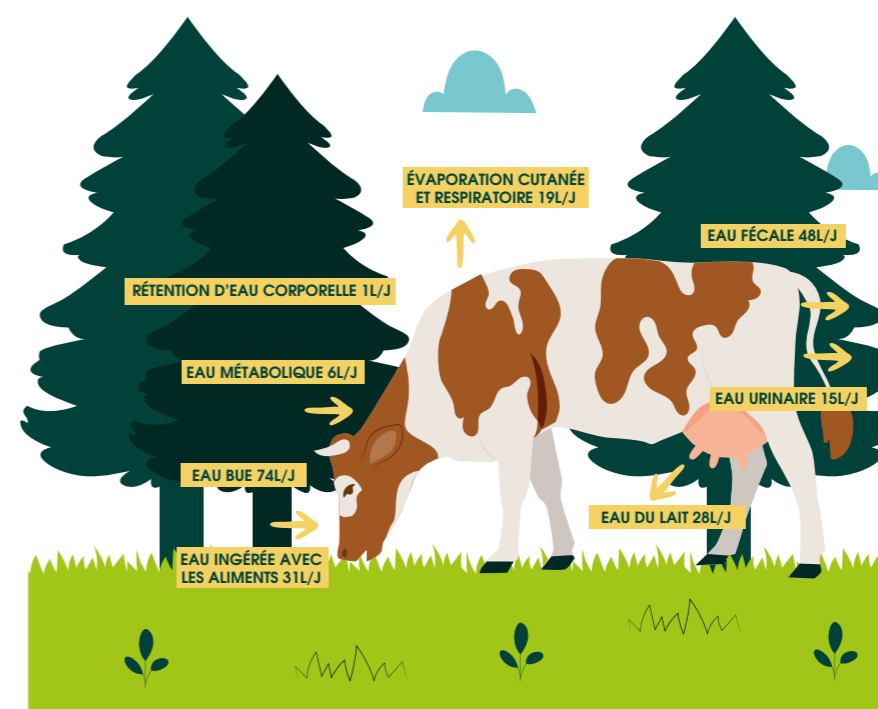


Tableau 1 : Les flux d'eau dans un être vivant

LES BESOINS DES ANIMAUX D'ÉLEVAGE

ESPÈCE	CATÉGORIE	BESOIN ASSOCIÉ EN L D'EAU / JOUR
BOVIN	• Vache laitière • Vache allaitante et son veau • Vache tarie / une génisse de plus de 2 ans • Bovin à l'engraissement • Veau en croissance	60 à 120 25 à 65 et 5 à 15 20 à 60 20 à 80 10 à 40
	À noter qu'il est aussi possible de rapporter la consommation d'eau à la consommation alimentaire pour les bovins en croissance ou en engraissement : 3,5 L.kg ⁻¹ de matière sèche [55].	
OVIN	• Brebis en lactation • Brebis gestante ou bélier • Agneau à l'engraissement • Agnelle de renouvellement	2,5 à 12 2 à 7 3 à 5 1,5 à 2,5
CAPRIN	• Chèvre tarie • Chèvre en lactation • Chevrete	4 à 8 8 à 13 1,5 à 2,5
ÉQUIN	• 5 L d'eau / 100 kg de poids vif / jour / animal • +50 % pour une jument en lactation • x 2 à 3 pour un animal au travail	
VOLAILLE	1,8 fois la quantité d'aliment ingéré / jour	
LAPIN	1,5 à 2 L.kg ⁻¹ de matière sèche ingérée	
PORCIN	• Truie • Porc en post sevrage • Porc en engraissement	10 à 30 2 à 4 5,5 à 8,5
ABELLE	10 à 25 L / an / colonie	

À noter que par sécurité, il convient d'appliquer une marge de 15 % supplémentaire qui permet de s'assurer que l'ensemble des besoins seront couverts [50].

2.2.2.2- L'ABREUVEMENT : ENJEUX ACTUELS ET À VENIR

Depuis quelques années, les éleveurs doivent faire face à un tarissement des ressources en eau utilisées pour l'abreuvement de leurs animaux. De plus en plus de projets d'investissement liés à l'eau voient donc le jour. En plus du coût financier impliqué par ces investissements, c'est-à-dire le transport et le paiement de l'eau, lorsque la seule alternative est l'eau du réseau, le coût temporel est important puisqu'il serait de l'ordre de 1 h supplémentaire par jour pour apporter de l'eau dans ces nouveaux points d'eau à sec.

En 2015, 40 % des élevages (avec de fortes variations inter-régions) utilisaient le réseau pour abreuver les animaux au pâturage (et 58 % pour l'abreuvement en bâtiment). Les autres élevages utilisaient des ressources propres : puits, forages, sources, cours d'eau...[42].

Une enquête [56] menée en 2022 dans les départements du Loiret et du Cher a permis de mettre en évidence que 70 % des éleveurs utilisaient le réseau communal [10 % y étaient totalement branchés et 1/3 l'utilisaient à moins de 30 %]. Cette enquête a également permis de noter que plus de 50 % des éleveurs interrogés avaient apporté de l'eau avec une tonne à eau et 35 % avaient enlevé les animaux de la parcelle. Ces conséquences sur la gestion du pâturage et le temps passé pour l'approvisionnement en eau amènent les éleveurs à se poser des questions sur leurs pratiques, d'autant plus que le changement climatique laisse présager des situations de cours d'eau en assec plus importantes dans le futur.

C'est pourquoi il devient indispensable pour les éleveurs de chercher à sécuriser l'abreuvement des animaux d'élevage en s'assurant un accès à l'eau en quantité mais aussi en qualité. Pour cela, plusieurs points sont à privilégier :

- la bonne connaissance des besoins journaliers du troupeau et de la disponibilité de la ressource en eau ;

- le bon dimensionnement des installations en fonction du nombre d'animaux présents et de l'environnement ;

- la diversification des ressources en eau en les adaptant aux différents usages. Le stockage de l'eau peut être par exemple une solution pour limiter le risque d'assec, notamment dans les zones où les variations de disponibilité de l'eau sont fortes et celles amenées à l'être à moyen terme ;

- l'adaptation du régime des animaux : lorsque la ressource en eau vient à manquer, il est possible de diminuer les besoins en eau d'abreuvement des animaux en augmentant le taux d'humidité de la ration. Cette variation rapide peut être utilisée en période de forte tension à condition de disposer de fourrages humides. Dans l'autre sens, lorsque les apports en eau sont insuffisants, il est possible que cela provienne d'un manque de sel. En effet, s'il est en quantité réduite, l'animal peut baisser son ingestion d'aliment et d'eau. Ainsi, il est recommandé de mettre à disposition des animaux toute l'année et à tous les stades physiologiques des pierres à sel ;

- l'adaptation des espèces élevées : la consommation en eau rapportée à la quantité de matière sèche ingérée varie en fonction des espèces et des stades physiologiques [57]. Ainsi, une brebis consomme moins d'eau qu'une chèvre, qui consomme elle-même moins qu'une vache par quantité de matière sèche ingérée. De même un animal en lactation boit plus qu'un animal en gestation ou à l'entretien. La conduite de troupeaux peut alors être réfléchi de manière à limiter les prélèvements en eau aux périodes d'assec et de les maximiser lorsque la ressource en eau est abondante.

La rusticité peut être une caractéristique de choix de la race des animaux, notamment dans les zones de forte variabilité de la disponibilité de l'eau. En effet, dans ces zones, la capacité d'adaptation des animaux à la ressource peut permettre de limiter l'impact des variations.

BON À SAVOIR

UNE SOLUTION POUR PÉRENNISER LA RESSOURCE EN EAU LIMOUSINE POUR LE BÉTAIL

Cadre : projet ISABEL - Identification de Solutions adaptées pour l'Abreuvement du Bétail en vue de limiter la pression sur l'hydrosystème du Limousin.

Partenaire : BRGM, Chambre d'Agriculture de la Haute-Vienne et le laboratoire E2Lim de l'Université de Limoges.

Le Limousin est de longue date une région d'élevage. Le cheptel est évalué à plus d'un million de têtes (5,6 % du cheptel bovin français) mais aussi à plus de 500 000 ovins (8,3 % du cheptel ovin français). Pour maintenir cette activité, il est nécessaire de posséder des surfaces de pâtures suffisantes mais surtout de disposer d'une ressource en eau en quantité suffisante et de qualité adaptée pour l'abreuvement du bétail. Cela n'est plus garanti avec les effets du changement climatique. En effet, les assècs sont de plus en plus courants. Cela limite l'abreuvement au droit des cours d'eau et cette situation est classiquement associée à 1/ une baisse de la qualité des eaux et 2/ une dégradation des berges en relation avec le piétinement du bétail et les déjections animales (organismes pathogènes, déjections, virus ou bactéries). Ce phénomène a notamment été identifié dans le cadre des travaux du SAGE Vienne ou SAGE Cher amont. Ceci contraint naturellement les éleveurs à recourir au réseau d'eau potable pour l'abreuvement des animaux entraînant des coûts importants de production et des temps de roulage de l'eau trop conséquent. D'autres solutions doivent être recherchées pour retrouver une autonomie dans l'alimentation en eau. En effet, le contexte hydrogéologique Limousin consiste en un complexe multicouche (altérites meubles + roche fissurée/fracturée avant d'atteindre la roche saine) dans un contexte géologique de socle. Ces deux entités distinctes se caractérisent par la présence d'eau mais ne présentent pas les mêmes caractéristiques physiques de porosité et de perméabilité. Cette dernière est faible dans la formation d'altérites (de l'ordre de 10^{-7} et 5.10^{-6} m.s⁻¹) conférant une faible productivité associée (<1 m³.h⁻¹). Pourtant ce milieu meuble, d'épaisseur variable comprise entre 2 et 20 m en Limousin, constitue une réserve pérenne d'eau, pouvant servir entre autres naturellement de soutien aux zones humides ou au réseau hydrographique. Par exemple, à l'échelle d'une parcelle agricole dédiée aux pâturages du bétail, les études géophysiques mettent clairement en évidence la présence de milieux conducteurs à différentes profondeurs, et assimilés comme aqueux même en périodes estivales à la suite d'une sécheresse prolongée par la mise en place de piézomètres (Figure 15) sur diverses parcelles de plusieurs bassins versants.

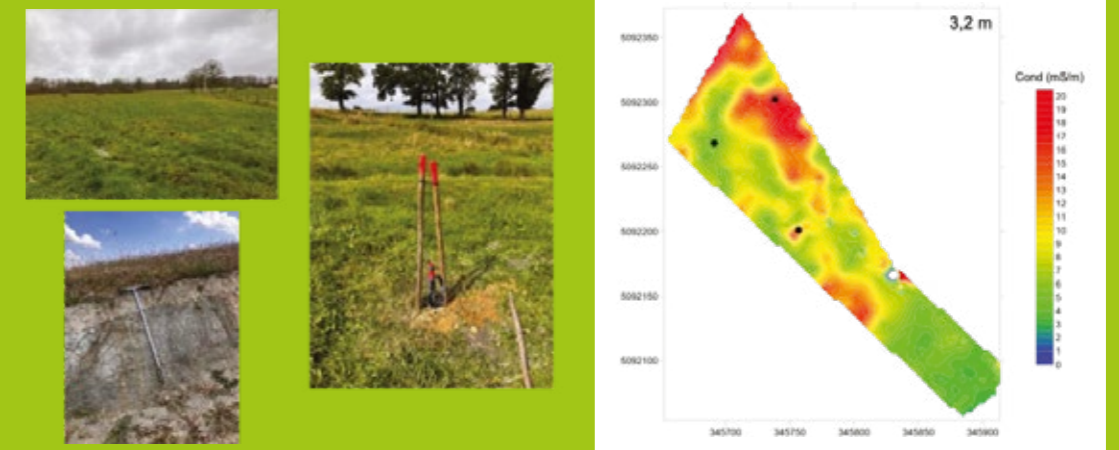


Figure 15 : Exemple d'une parcelle en Haute-Vienne utilisée pour le pâturage des bovins (en haut à gauche), d'une altérite affleurante (dessous), d'un piézomètre de suivi de la nappe d'altérite (au centre) et de la cartographie géophysique de surface des zones conductrices où ont été implantées des piézomètres de suivi et de validation (à droite).

Par conséquent ce milieu, bien que contraint, peut servir de ressource de substitution en eau pour l'élevage. C'est une solution prometteuse face aux changements climatiques avec un décrochage moindre et qui est actuellement peu sollicitée. Bien que l'extraction de volumes d'eau importants y soit impossible, l'apport reste cependant suffisant pour les besoins spécifiques de l'abreuvement animal sans mettre en danger la ressource en eau disponible, ni le milieu naturel. En effet, pour l'abreuvement animal, les besoins quotidiens sont assez faibles : de l'ordre de 2 m³.jour⁻¹ à 3 m³.jour⁻¹ mais sont souvent dispersés sur un territoire. Cette nappe d'eau souterraine, négligée pour les autres usages, devient une unité aquifère d'intérêt économique pour l'abreuvement des animaux. C'est une solution d'adaptation durable des exploitations au changement climatique par la pratique d'une gestion équilibrée de la ressource, a priori sans conflit d'usage.

Ainsi, l'implantation de pointes filtrantes, isolées ou groupées en batteries selon les besoins, deviendrait pertinente dans le cadre de formations aquifères trop peu épaisses ou au rendement trop faible pour pouvoir être exploitées par des forages sans perturber l'équilibre d'un contexte multicouche, où les pressions d'usage sont importantes.

L'étude en cours a pour but de proposer une méthodologie reproductible et transposable pour le prélèvement de la ressource tout en améliorant l'état des masses d'eau (cf. Directive Cadre sur l'Eau).

2.2.3 BESOIN D'IRRIGATION ET MESURE DES TRAJECTOIRES D'ÉCONOMIE D'EAU

La question des économies d'eau est au cœur des politiques de planification mais sa mesure n'est pas évidente pour des activités à forte variabilité saisonnière comme l'irrigation.

En France et particulièrement dans le Sud-Ouest, l'évaluation des impacts quantitatifs de l'irrigation est particulièrement importante eu égard aux volumes prélevés notamment en période d'étiage et à la très forte sensibilité à la météorologie. Cependant l'analyse des tendances à moyen termes de l'irrigation affronte la difficulté à disposer de données de qualité, c'est-à-dire fiables et homogènes. À l'évidence, un recensement agricole tous les dix ans est très insuffisant pour décrire la réalité de la pression exercée par l'irrigation sur la ressource, d'autant que les objectifs des enquêtes ont évolué dans le temps¹.

Dans ce contexte, il faut saluer le travail de longue haleine, de collecte des informations sur les volumes prélevés et les ressources exploitées porté par l'agence de l'eau Adour Garonne dans le cadre de ses redevances, en partie conforté par les Organismes uniques de gestion collective (OUGC). Bien que fondé sur un système de déclaration, la base des données disponibles entre 2003 et 2020, offre un recul considéré comme fiable et qui permet d'analyser des tendances. En effet, la forte variabilité interannuelle de cette activité météo-dépendante impose une grande vigilance quant à des interprétations de court-terme d'une variation des volumes prélevés. Les graphiques suivants sont éloquent. Ainsi, l'année 2003 qui apparaît comme celle du maximum de prélèvement d'eau pour l'irrigation (1,2 milliard de m³) dans la période contemporaine (avec 2022 sans doute), s'explique par des conditions de sécheresse. Au contraire, 2014 qui apparaît comme celle du minimum de prélèvement d'eau, pourrait être interprétée comme une année d'économie d'eau. En réalité, c'est juste une année pluvieuse ! (Figure 16)

Le test de Mann-Kendall est particulièrement adapté pour déterminer s'il existe une tendance linéaire statistiquement significative sur ce type de chroniques. Sur l'ensemble d'Adour Garonne il existe une tendance significative (avec un intervalle de confiance de 95 %) à la diminution du total des prélèvements, avec en moyenne sur la période 2003-2020, environ -13 millions m³ par an (soit environ -1 % par an). Il ne faut pas en tirer des conclusions hâtives sur un secteur agricole subitement devenu « vertueux ». Sur le même bassin, les surfaces équipées pour l'irrigation ont augmenté de 12 % sur la période 2010-2020, passant de 710 000 ha à 793 000 ha.

Nous avons orienté l'analyse autour du couplage entre dynamique de long terme et origine de l'eau pour évaluer d'éventuelles tendances selon le type de ressource mobilisée. Les enseignements suivants peuvent être retenus (Figure 17) :

- Les prélèvements en cours d'eau non réalimentés (c'est-à-dire ne bénéficiant pas d'un nouveau volume d'eau - *via* une source ou par la nappe ou des annexes hydrauliques - ; en orange) ont significativement diminué, avec une baisse statistique de 1,9 Mm³ par an, soit environ 3 % en moins chaque année. *A contrario*, les prélèvements sur les cours d'eau réalimentés (en bleu) ne présentent pas de tendance statistiquement significative. Sur les axes non réalimentés, l'augmentation régulière des mesures de restriction motivées par des constats d'insuffisance de la ressource, a manifestement des effets conjoncturels mais aussi structurels. On peut parler de déprise de l'irrigation.

- Pour les nappes captives non réalimentées moins soumises aux aléas climatiques saisonniers, aucune tendance ne se dégage, ce qui est peut-être une conséquence de la politique de réservation de ces ressources au profit de l'eau potable qui a imposé une forme de moratoire. Les nappes captives réalimentées quant à elles présentent une tendance significative à la baisse (environ -2 % / an). L'enjeu est d'environ 66 Mm³ de prélèvement annuel soit 6 % des volumes d'irrigation.

- Pour les grandes nappes phréatiques, type sable des landes, aucune tendance ne se dégage. Ces ressources combinent la facilité d'exploitation au droit des parcelles et l'inertie des stocks d'eaux souterraines.

- Pour les retenues (souvent collinaires), une tendance significative à la baisse est observée, (-3,25 Mm³.an⁻¹ sur 180 Mm³.an⁻¹ soit -1,8 % par an). Pour ce type de ressource, la fiabilité du système déclaratif est sans doute moindre sur les premières années de la chronique. Néanmoins cette tendance est à suivre avec attention car elle suggérerait la libération de volume stocké et donc disponible pour d'autres fonctions ou usages.

La planification d'une réduction structurelle des volumes prélevés suggérée par les Assises de l'eau² et par le plan d'action pour une gestion résiliente et concertée de l'eau, fixe des objectifs quantitatifs. La question de la mesure de ces objectifs n'est cependant pas triviale pour l'irrigation qui constitue une activité à très forte variation interannuelle.

Nous suggérons de s'appuyer sur des paramètres agrométéorologiques (Figure 18) permettant de corriger les prélèvements observés des fluctuations météorologiques et accéder ainsi à la réalité des économies d'eau.

Les données nécessaires concernent l'assolement, décrivant la répartition des cultures irriguées, la météorologie, et la pédologie. Ces informations ne sont que rarement disponibles ensemble et certaines peuvent être controversées. Sur le Projet de territoire Garonne amont, cette question des références techniques a même motivé la constitution d'un observatoire associant de multiples parties prenantes pour s'entendre sur un état des lieux partagé. Par exemple l'évaluation des surfaces et des assolements irrigués (différentes de irrigables) pose de très grands défis techniques à l'observation par satellite et sont toujours au cœur de recherches actives. Les alternatives opérationnelles sont des enquêtes par sondage voire des dispositifs impliquant les irrigants comme Gest'eau ou Hydrim® sur la Charente amont.

D'autre part, l'observation attentive des données entre 2003 et 2020 montre que la répétition des situations de restriction administrative (« arrêts sécheresse ») et d'indisponibilité de la ressource a orienté à la baisse, significativement et structurellement, l'exploitation des rivières les plus vulnérables *contrario* d'autres ressources en eau. Dans le futur, en prolongement de ces tendances, il doit être envisagé que les objectifs globaux de réduction des volumes de prélèvement, auront donc des répercussions hétérogènes en fonction des ressources.

Évolution des prélèvements pour l'irrigation en Adour Garonne : Mm³/an - 42 % depuis les vallées réalimentées



Figure 16 : Évolution des volumes prélevés pour l'irrigation en Adour Garonne (source eaucéa - données SIE Agence de l'eau Adour Garonne).

Évolution des prélèvements pour l'irrigation en Adour Garonne : Eau de surface

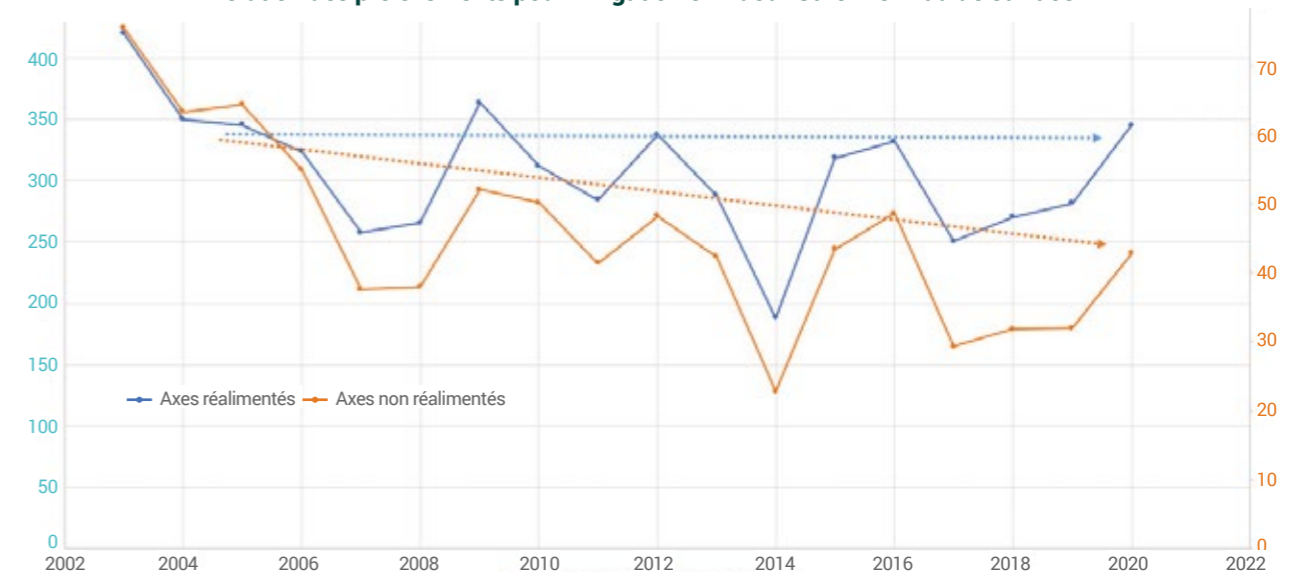


Figure 17 : Différence de trajectoire de l'irrigation depuis les rivières selon le niveau de sécurisation des débits (Source eaucéa - données SIE AEAG)

Prélèvements en cours d'eau et nappes libres

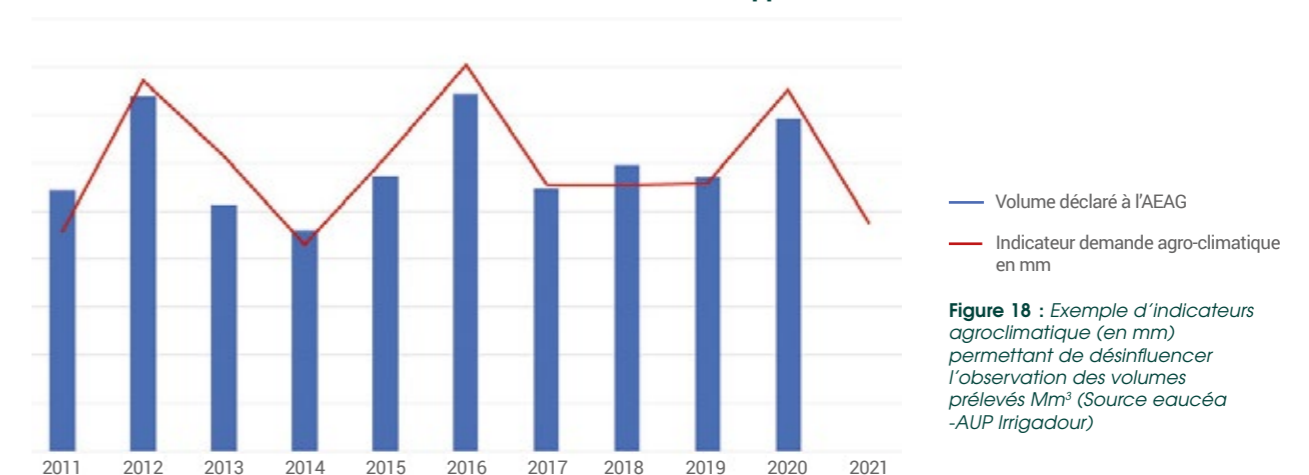


Figure 18 : Exemple d'indicateurs agroclimatiques (en mm) permettant de désinfluencer l'observation des volumes prélevés Mm³ (Source eaucéa - AUP Irrigadour)

¹ Cependant les recensements agricoles de 2010 et 2020 contiennent des variables sur l'origine de l'eau et le mode d'irrigation ainsi que les surfaces irriguées. Elles sont aussi mentionnées dans le Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA). En revanche, l'origine de l'eau n'est pas suffisamment renseignée pour une analyse quantitative.
² Vouées par le Président de la République, les Assises de l'eau ont constitué un moment de concertation des élus locaux, des acteurs de l'eau au niveau national et à travers les comités de bassins au niveau local et se sont déroulées en plusieurs phases en 2018 et 2019.

2.2.4 BILANS HYDRIQUES SPATIALISÉS POUR DIFFÉRENTES CULTURES EN NOUVELLE-AQUITAINE

Entre 2010 et 2020, l'équipe Sols de Bordeaux Sciences Agro a réalisé des bilans hydriques spatialisés sur plusieurs départements de la Nouvelle-Aquitaine (Dordogne, Lot-et-Garonne, Pyrénées-Atlantiques et Deux-Sèvres) afin d'estimer l'impact du changement climatique sur différentes cultures annuelles (blé, maïs, pois, soja, colza, orge, tournesol, sorgho, etc.) par rapport à la disponibilité de la ressource en eau. Deux périodes ont été comparées : la situation actuelle (2005-2015) et l'horizon 2050.

2.2.4.1- QUELQUES ÉLÉMENTS DE MÉTHODE

En agriculture, un bilan hydrique (Figure 19) consiste à confronter l'offre en eau (sol, climat, irrigation) avec la demande des cultures tout au long de leur cycle.

Ici, ce bilan hydrique est spatialisé : les paramètres sont cartographiés séparément puis croisés et le résultat est présenté pour chaque îlot agricole du Registre Parcellaire Graphique.

La RU en eau des sols a été estimée à partir des Référentiels Régionaux Pédologiques issus du programme Inventaire Gestion et Conservation des Sols [58] en agrégeant les résultats par unité cartographique de sol. Les données météorologiques sont issues de stations Météo-France (données actuelles) et du portail DRIAS (données futures basées sur un scénario « moyen » du GIEC). C'est le scénario RCP 4.5 du GIEC qui a été retenu (DRIAS et MÉTÉO FRANCE, 2020). Des années de référence ont également été définies pour caractériser des périodes estivales et hivernales sèches ou humides, actuelles et futures.

La demande en eau des cultures est estimée par l'évapotranspiration maximale, dépendant des données météorologiques (Évapotranspiration Potentielle) et des coefficients culturaux qui traduisent les besoins de la plante selon son stade de développement.

L'ensemble de ces données permet de calculer un bilan hydrique tous les 10 ans en estimant la réserve en eau disponible pour chaque îlot agricole. Lorsque la demande en eau est supérieure à l'offre, la réserve disponible est négative : il y a déficit hydrique. L'itération de cette opération permet ensuite d'estimer un déficit hydrique cumulé sur l'ensemble de la période culturale.

Enfin, nous présentons les résultats cartographiques de ces calculs en déterminant trois niveaux de couverture des besoins en eau (Tableau 2). Nous considérons qu'il existe une correspondance entre le pourcentage de couverture des besoins et le rendement des cultures.

NIVEAU DE COUVERTURE DES BESOINS EN EAU	POURCENTAGE DE COUVERTURE DES BESOINS EN EAU	NIVEAU DE RENDEMENT
OPTIMAL	Supérieur à 100 %	Optimal
CONVENABLE	Entre 60 et 100 %	Convenable
INSUFFISANT	Inférieur à 60 %	Insuffisant

Tableau 2 : Pourcentage de couverture des besoins

Pour les projections en 2050, les calculs ont été refaits en changeant uniquement les données climatiques.

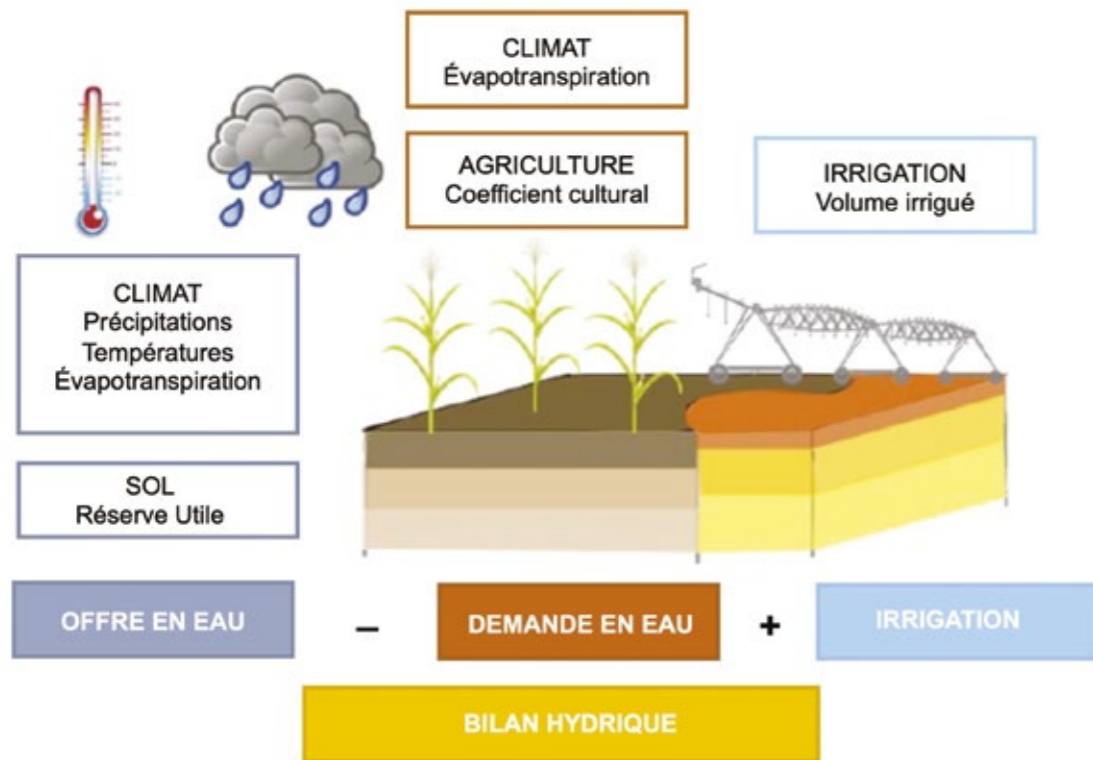


Figure 19 : Principe du calcul d'un bilan hydrique

2.2.4.2- QUELQUES EXEMPLES DE RÉSULTATS

Les cartes présentées ici (Figure 20) concernent une culture d'été (le maïs) et une culture d'hiver (le blé) en Dordogne, réalisées dans le cadre d'une étude pour le compte de la Direction Départementale des Territoires, la Chambre départementale d'agriculture et le Département en 2018. Elles ne prennent pas en compte l'eau apportée par irrigation.

Ces exemples résument les tendances observées en Nouvelle-Aquitaine. Lors d'hivers futurs secs, les cultures hivernales maintiendront, voire parfois amélioreront, leur potentiel avec une meilleure réponse des précipitations aux besoins en eau des cultures. Lors d'hivers futurs humides, ceux-ci étant susceptibles, selon les projections climatiques, d'être plus fréquents à l'avenir, c'est plutôt une question d'excès d'eau qui se posera (cartes non présentées).

En revanche, les possibilités de cultiver des céréales estivales (exemple du maïs) seront remises en cause par une prévision de dégradation du potentiel de rendement due à une augmentation des risques de sécheresse.

En rajoutant des données d'irrigation (volumes consommés par pompe et délimitation des zones hydrographiques) la tendance est claire : l'irrigation est actuelle-

ment loin de pouvoir combler les déficits hydriques lors d'années sèches. Dans le futur, les déficits hydriques lors d'années sèches vont se creuser fortement, posant ainsi la question du stockage de l'eau.

Le décalage des dates de semis et de récolte, l'adaptation des variétés culturales au potentiel hydrique du sol, l'évolution des techniques culturales, des rotations de cultures, voire le changement de cultures (tout en garantissant des débouchés locaux) sont autant de leviers d'action pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique.

Après avoir exploré les besoins en eau spécifiques à différentes filières agricoles dans le paragraphe précédent, il est désormais temps de nous pencher sur les évolutions nécessaires des pratiques agricoles. En effet, la gestion de l'eau en agriculture est étroitement liée aux techniques et aux méthodes employées par les agriculteurs. Ces pratiques peuvent avoir un impact significatif sur la quantité d'eau nécessaire, son utilisation efficace, ainsi que sur la résilience de l'agriculture face aux changements climatiques.

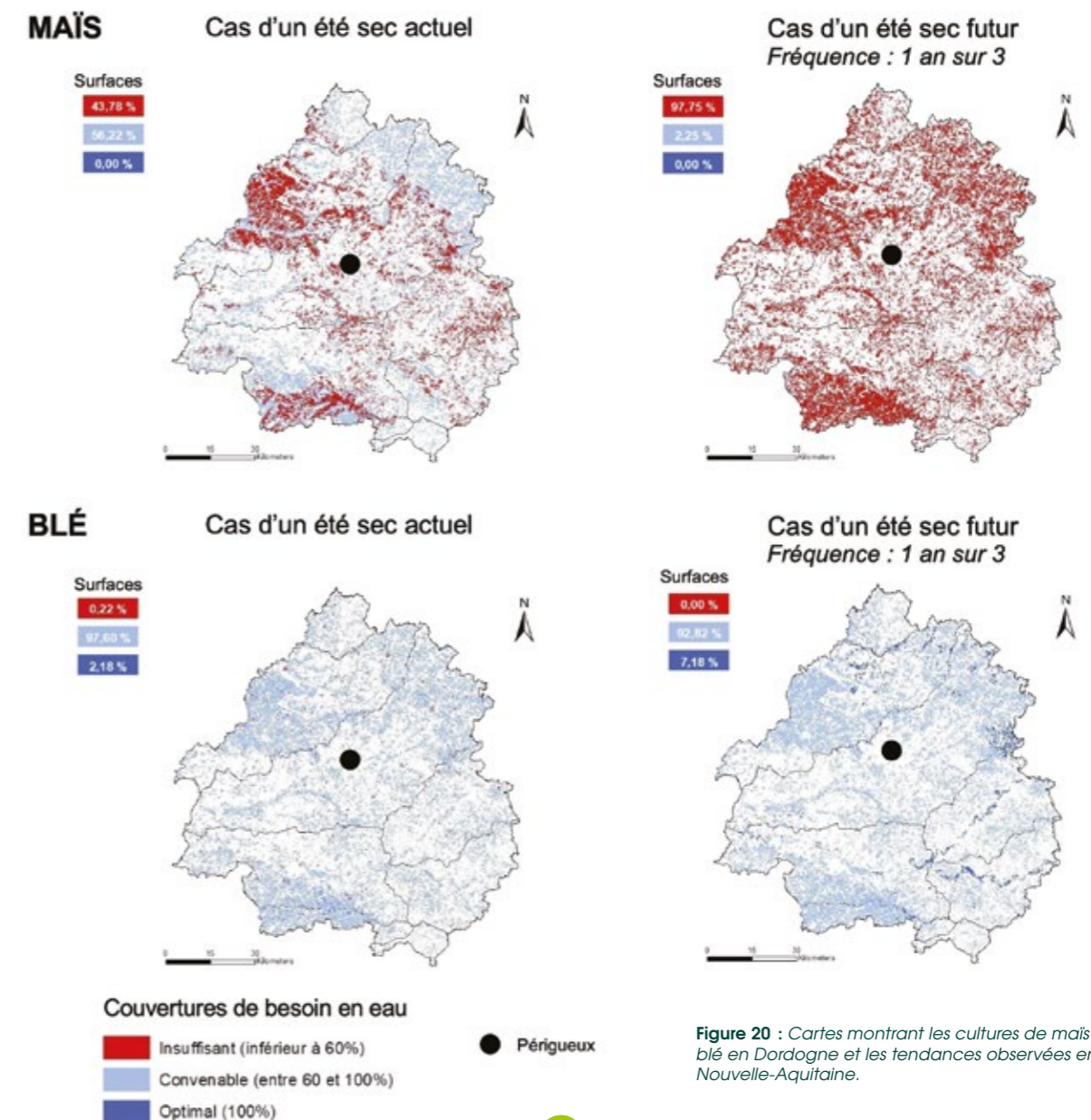


Figure 20 : Cartes montrant les cultures de maïs et de blé en Dordogne et les tendances observées en Nouvelle-Aquitaine.

2.3

ADAPTATION DE L'AGRICULTURE RÉGIONALE À LA MOINDRE DISPONIBILITÉ DE LA RESSOURCE

2.3.1 LA DIVERSITÉ DU MATÉRIEL VÉGÉTAL COMME LEVIER D'ADAPTATION DU VIGNOBLE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le changement climatique modifie la composition des raisins et des vins. Pour continuer à produire des vins de qualité dans un environnement changeant, les viticulteurs doivent s'adapter. La diversité des cépages constitue une ressource précieuse pour opérer cette adaptation.

2.3.1.1- L'INTERACTION CÉPAGES - CLIMAT DÉTERMINANTE POUR LA QUALITÉ DU VIN

La culture de la vigne est très dépendante du climat. Pour produire du vin de qualité, il faut que le raisin arrive à maturité, sinon le vin produit est peu alcoolisé, acide et végétal. Mais en même temps, il ne faut pas que le raisin atteigne la pleine maturité quand il fait très chaud, car dans ce cas les raisins risquent d'être trop sucrés (et les vins trop alcoolisés), pas assez acides (les vins peuvent manquer de fraîcheur) et avec une palette aromatique dominée par le fruit cuit [59][60]. La plupart des vins de qualité sont produits entre les 30° et 50° parallèles de latitude pour l'hémisphère Nord ce qui correspond aux Etats-Unis, à l'Europe, etc., et entre les 20° et 50° parallèles de latitude pour l'hémisphère Sud ce qui correspond au Chili, à l'Argentine, l'Australie, etc. (Figure 21). Dans les régions situées entre ces deux limites, les meilleures conditions de maturation sont généralement réunies aux mois de septembre et octobre (dans l'hémisphère Nord). Il fait en effet encore suffisamment chaud pour atteindre la pleine maturité, avec moins de risques de chaleurs excessives qui déséquilibreraient la composition du raisin, au détriment de la qualité du vin [61]. Les viticulteurs ne peuvent pas modifier le climat, mais en choisissant la précocité des cépages cultivés en fonction du contexte climatique, ils peuvent orienter l'époque de maturation. Pour cette raison, des cépages précoces comme le Pinot noir et le Chardonnay valorisent bien le climat frais de la Bourgogne et un cépage tardif comme le Mourvèdre produit de grands vins à Bandol, une des appellations les plus chaudes de France. Logiquement, sous le climat tempéré océanique bordelais ce sont des cépages à époque de maturité intermédiaire comme le Merlot et le Cabernet-Sauvignon qui permettent d'obtenir les vins les plus qualitatifs.

Avec le changement climatique, le cycle phénologique de la vigne est avancé et les raisins mûrissent de plus en plus tôt dans la saison, avec le risque d'altérer l'équilibre du raisin. Nous constatons que les vins ont des degrés alcooliques de plus en plus élevés et des acidités de plus en plus faibles (Figure 22). Une possibilité d'adaptation est de sélectionner des génotypes plus tardifs. Il existe, à l'intérieur de chaque cépage, une certaine variabilité génétique dite clonale. Si nous souhaitons continuer à cultiver un cépage donné, nous pouvons chercher des clones à maturité plus tardive, mais nous ne pouvons guère espérer de cette façon retarder la maturité de plus d'une semaine. Pour les vignobles dont le vin est un assemblage de plusieurs cépages, nous pouvons favoriser les cépages tardifs. Dans le vignoble Bordelais, le Merlot mûrit environ deux semaines avant le Cabernet-Sauvignon et il est, logiquement, plus exposé aux effets du changement climatique. Augmenter la proportion de Cabernet-Sauvignon dans le vignoble bordelais peut permettre de continuer à produire des vins équilibrés avec une fraîcheur aromatique. Il est possible qu'au-delà de 2050, en particulier pour les scénarios les plus pessimistes d'évolution du climat, il soit nécessaire d'avoir recours à des cépages encore plus tardifs que le Cabernet-Sauvignon.

Le projet de recherche VitAdapt de l'UMR EGFV (Ecophysiologie et Génétique Fonctionnelle de la Vigne) a pour objectif d'étudier le comportement de cépages candidats à une introduction dans l'encépagement du Bordelais [62]. Plusieurs cépages étudiés dans ce projet et appelés VIFA (variétés d'intérêt à fin d'adaptation), sont admis à hauteur de 5 % dans les appellations Bordeaux et Bordeaux-Supérieur depuis 2019, pour tester leur comportement en conditions de production.

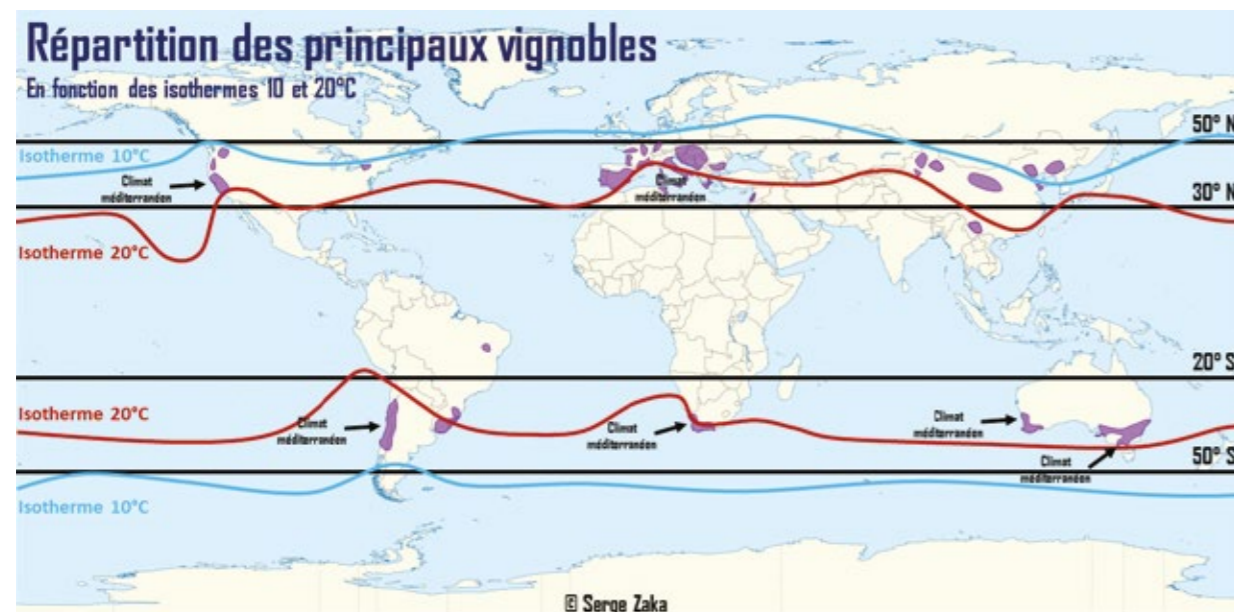


Figure 21 : Distribution de croissance des raisins selon la latitude. Source : Serge Zaka.

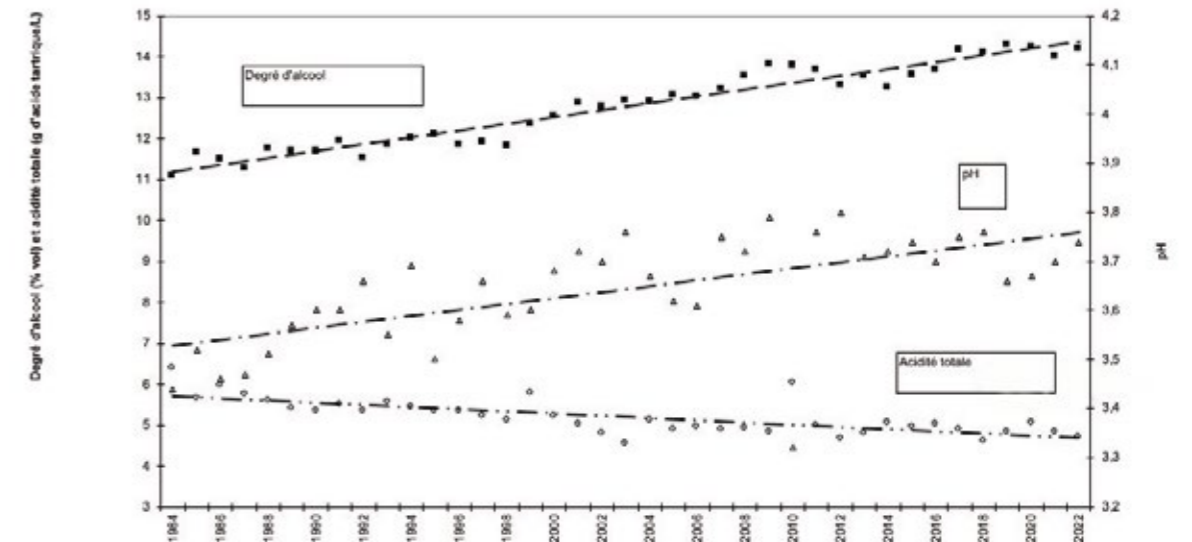


Figure 22 : Évolution de la composition du vin en Languedoc. Données : laboratoire Dubernet, (11100 Montredon les Corbières (60))

2.3.1.2- RÉSISTANCE ET ADAPTATION À LA SÉCHERESSE

Avec le changement climatique, le climat devient aussi plus sec, soit à cause d'une diminution ou d'une modification de la répartition des précipitations, soit à cause d'une augmentation de la demande évaporative (conséquence mécanique de l'augmentation des températures). Les différents cépages présentent des comportements très variables en conditions de sécheresse. Les mécanismes sous-jacents sont complexes et pas encore totalement élucidés, mais nous pouvons déjà identifier les cépages tolérants à la sécheresse par modélisation [63] ou par simple observation. Ainsi, au cours de l'été 2022, qui fut très sec, le Cabernet-Sauvignon montrait peu de symptômes de sécheresse (Figure 23A), tandis que la Syrah était partiellement défoliée (Figure 23B) et que le Vinhão (cépage d'origine portugaise) était en état de sécheresse avancé (Figure 23C).

Il est très important de tenir compte de la résistance à la sécheresse des cépages pour les futures plantations, car l'irrigation de la vigne n'est pas une solution généralisable et durable dans un contexte de raréfaction de la ressource en eau. La vigne est cultivée greffée depuis la crise phylloxérique à la fin du XIX^e siècle. Outre la résistance au phylloxéra, le porte-greffe, à l'interface du sol et du cépage, qui produit les raisins vinifiés par la suite, est un puissant levier d'adaptation à l'environnement.

La tolérance à la sécheresse des porte-greffes est bien connue empiriquement mais les mécanismes qui la sous-tendent ne sont pas clairement identifiés. Ce travail d'identification de caractères marqueurs de la tolérance à la sécheresse est pourtant important afin de caractériser le plus précocement possible, au stade plantule, les individus qui seraient performants. Pour répondre à la question du « comment le porte-greffe peut agir sur l'adaptation à la sécheresse ? », trois catégories de mécanismes sont identifiées : la première concerne la capacité d'extraction de l'eau, la deuxième, le transfert de l'eau du porte-greffe vers le greffon et la troisième, les pertes en eau par la surface foliaire et leurs régulations.

Il a été démontré dans le cadre d'études sur l'anatomie du système racinaire que les porte-greffes réputés comme tolérants au vignoble, avaient un plus grand nombre de vaisseaux et ce quel que soit le statut hydrique auquel ils étaient soumis [64] et qu'ils avaient une plus grande production de racines au cours de l'été [65]. Des régions génétiques impliquées dans le contrôle de caractères racinaires tels que le nombre de racines, le nombre de petites, moyennes et grosses racines ont été identifiées malgré des interactions porte-greffe x greffon [66]. Les travaux sur le système racinaire et la mise au point de techniques de mesures rapides font l'objet de toute notre attention.

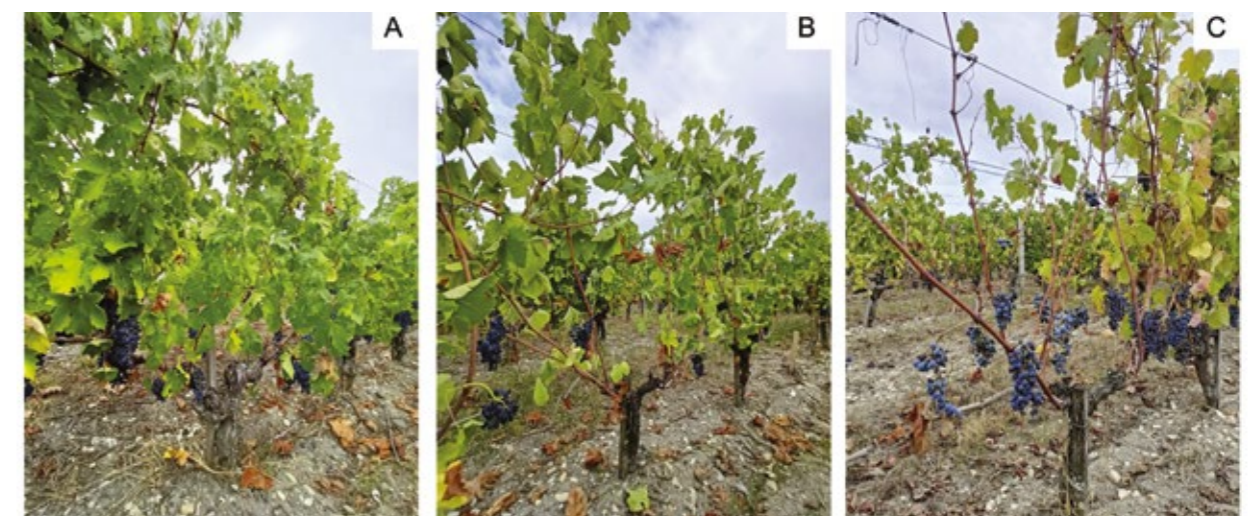


Figure 23 : Comportement de cépages et symptômes de sécheresse au cours de l'année 2022 dans le dispositif VitAdapt (A) Cabernet-Sauvignon, (B) Syrah et (C) Vinhão.

Le transfert de l'eau du système racinaire vers le greffon est souvent appréhendé par des mesures de conductivité hydraulique. L'hydraulique a montré une relation forte avec la tolérance à la sécheresse chez les arbres forestiers avec en particulier les travaux d'Hervé Cochard et Sylvain Delzon. Toutefois, chez la vigne, la relation directe et simple entre des mesures de conductivité hydraulique et la tolérance à la sécheresse au vignoble n'est pas établie pour un large panel de porte-greffes.

Au niveau du système aérien, le porte-greffe influence la vigueur conférée et donc la taille de la surface foliaire du greffon par laquelle se produit la transpiration. Le porte-greffe influence la transpiration diurne et nocturne du greffon [67] mais également la régulation de cette transpiration [68]. Des régions génétiques ont également été identifiées mais sont nombreuses et expliquent une petite part de variabilité. Les travaux se poursuivent en particulier sur le maintien du rendement en conditions séchantes. Les résultats obtenus au cours de 2022 ont permis de mettre en évidence que les porte-greffes actuels se sont bien comportés. Soulignons toutefois que le scénario hydrique était particulier avec de fortes températures entraînant certainement un fort stress thermique, un déficit hydrique qui s'est installé petit à petit et avec des effets cumulés de plusieurs années similaires encore inconnus.

Des avancées importantes ont donc eu lieu au cours des

dix dernières années. Des ressources génétiques sont disponibles à Bordeaux (dispositif GreffAdapt établi avec des porte-greffes commerciaux utilisés en France et dans d'autres pays [69], population de *V. berlandieri*, espèce américaine qui confère une tolérance à la sécheresse et croisements en cours d'études) et sont d'ores et déjà caractérisées. Les travaux vont se poursuivre en particulier pour bien appréhender les interactions porte-greffe x greffon, mieux caractériser le système racinaire sur un grand nombre d'individus mais aussi travailler sur le rôle du microbiome¹ et son interaction avec le porte-greffe.

Un projet soutenu par le Plan National du Dépérissement de la Vigne (PG-vigne.net) vise à synthétiser les résultats d'un très grand nombre d'essais porte-greffes conduits dans le passé par des organismes de développement afin de proposer des classifications quantitatives des porte-greffes pour les caractères agronomiques d'intérêt.

Il convient de rappeler que de tels travaux sur le matériel végétal demandent du temps pas toujours en accord avec le temps de notre fonctionnement sociétal actuel. Les travaux sur des variétés résistantes au mildiou et à l'oïdium avaient commencé dans les années 70 pour aboutir à une première vague d'inscription en 2018. Si ces délais doivent être accélérés, il sera alors nécessaire d'accepter des erreurs et de plus grandes incertitudes sur les résultats produits.

¹ Le microbiome de la vigne est constitué par l'ensemble des communautés de micro-organismes vivant en interaction avec la plante.

2.3.2 EFFICIENCE TECHNIQUE, RÉSILIENCE CLIMATIQUE ET IMPACTS AGRO-ENVIRONNEMENTAUX DANS L'ÉLEVAGE HERBIVORE

Suite à des actions de formation et d'accompagnement technique menées depuis 2012 par la SCOP Innov-Eco2, plusieurs centaines d'élevages herbivores néo-aquitains consolident des pratiques de gestion de prairies et de couverts fourragers via un pâturage tournant dynamique aux modalités en permanentes adaptations - en fonction des prairies et des variations climatiques - et dont l'adoption devient la forme prioritaire d'alimentation du cheptel sur la ferme.

L'adaptation permanente et la maximisation des pratiques de pâturage tournant s'accompagnent de la construction progressive de systèmes d'élevages autonomes et économes. Capitalisées lors de deux études en 2019 et 2021, les références de terrain mettent en évidence des voies possibles pour une transition agroécologique des élevages herbivores en Nouvelle-Aquitaine vers des systèmes économes en intrants et en eau (d'irrigation notamment) et adaptables aux

aléas climatiques.

2.3.2.1 - PERFORMANCES PRODUCTIVES DES PRAIRIES EN PÂTURAGE TOURNANT DYNAMIQUE

Douze années d'observations¹ permettent de valider des rendements potentiels des prairies temporaires devenant de longue durée conduites en Pâturage Tournant Dynamique² (PTD) et des durées de pâturage observées³ sur les exploitations innovantes en Nouvelle-Aquitaine (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Performances du pâturage en Nouvelle-Aquitaine en fonction des zones pédoclimatiques (estimés sur la base des calendriers de pâturage 2013-2018 des éleveurs accompagnés)

	NOMBRE DE TOURS DE PÂTURAGES / AN	NOMBRE DE JOURS DE PÂTURAGE / AN DU CHEPTEL DE BASE	RENDEMENTS ESTIMÉS DES PRAIRIES EN PTD (EN TONNES DE MATIÈRE SÈCHE D'HERBE / HA) MOYENNE ET ÉCARTS OBSERVÉS	
			Prairies naturelles	Prairies temporaires
Zone 1 : > 900 mm de pluies et sols favorables	8 à 10 tours de pâturage / an	220 à 300 jours	6,5 T / ha – de 6 à 8,5 T / ha	8,5 T / ha – de 7 à 12 T / ha
Zone 2 : < 850 mm / an et sols corrects	5 à 7 tours de pâturage / an	150 à 220 jours	5 T MS / ha – de 4 à 6 T MS / ha	6 T MS / ha – de 5 à 7 T MS / ha

¹ Le suivi technique en élevages de référence et l'analyse des résultats productifs et des effets agroécologiques ont débuté en 2012 et continuent aujourd'hui.
² Voir sa définition dans l'étude SPEHI – phase 1 / Innov-Eco2 / 2019 ou celle présentée lors du séminaire de lancement du projet Life + « PTD en Gâtine » / CAVEB / 2014.
³ L'estimation des rendements et des durées de pâturage sont permis par l'usage systématique de calendriers de pâturage où sont annotés tout au long de l'année la présence des animaux (nombre et temps de présence par parcelles) et la réalisation de récoltes fourragères, ainsi que la distribution supplémentaire d'aliments lorsqu'il a lieu sur la phase de pâturage.

Ces rendements sont obtenus en absence complète d'utilisation d'engrais azotés minéraux¹. En gestion optimisée des prairies en pâturage tournant, les exportations d'éléments minéraux Azote (N), Phosphore (P) et Potassium (K) (et oligoéléments) liés au prélèvement de la biomasse fourragère par les animaux sont en grande partie compensées par les retours de minéraux *via* les déjections animales (pissats et bouses) - en cas d'une présence jour/nuits des animaux sur les prairies – et, indirectement pour l'Azote, par le renforcement des populations de trèfles blancs² et autres légumineuses pérennes dans les prairies.

On observe toutefois - en fonction de la pluviométrie et de sa répartition annuelle - une variabilité interannuelle de l'ordre de 20 à 30 % (en positif ou en négatif) de la production d'herbe, impactant le nombre de tours de pâturage et les rendements annuels. Une période plus ou moins longue de pâturage se traduit sur l'élevage par l'arrêt de la distribution d'une ration alimentaire, à équilibrer avec des concentrés en fonction de la qualité des fourrages récoltés et des besoins animaux.

Les analyses de la valeur nutritive des coupes d'herbe successives - réalisées par le projet Life + « PTD en Gâtine » avec l'INRAE de Lusignan entre 2014-2019 - sur divers types de prairies gérées en PTD dans les Deux-Sèvres, ont démontré que l'herbe pâturée à 3-4 feuilles présente des valeurs stables : 1) entre 0,92 et 1,05 Unité Fourragère³ (UF), avec des valeurs supérieures à 1 UF au printemps, automne et hiver ; et 2) de 16,5 à 20 % de teneur en Matière Azotée Totale (MAT) entre printemps, automne et hiver, avec un affaïssissement à 14,5 % de MAT en été. La teneur en Cellulose Brute⁴ de l'herbe est souvent située autour de 20 %, avec une limite parfois un peu basse en début de printemps.

Ainsi, l'herbe de printemps, d'automne ou d'hiver pâturée à un stade « trois ou quatre feuilles graminées » en système de PTD présente des valeurs alimentaires élevées et équilibrées⁵. Ces valeurs sont optimales pour accompagner le besoin d'entretien, de croissance ou de lactation d'un grand nombre d'herbivores (bovins, ovins ou caprins) avec un niveau de production optimisée⁶. La valeur de l'herbe estivale diminue en fonction des processus naturels de montaison/épiaison difficiles à limiter entre mai et juin – et donc de leur maintien en pousse végétative en été – mais, également de la résistance au dessèchement estival des prairies directement associé au déficit hydrique estival que présente chaque micro-région⁷ et aux variations climatiques de l'année en cours.

Dès les premières années de PTD, on observe dans les prairies pâturées une densification des couverts de graminées et une augmentation de l'offre herbagère de printemps à chaque tour de pâturage. Ce renforcement du couvert printanier est en partie stoppé en été par le ralentissement de la végétation, les arrêts de pousse et le dessèchement des prairies liés aux déficits hydriques et à leur composition floristique.

La pratique de PTD sur prairies multi-espèces participe à l'entretien et à la résilience climatique des prairies multi-espèces implantées ou naturelles :

- en permettant le renouvellement et l'approfondissement des appareils racinaires et une remise à niveau des réserves énergétiques de la ressource en herbe avant chaque cycle de pâturage ;

- en limitant le surpâturage⁸ et la durée du pâturage ras ;

- en rendant possible des périodes de repousse végétative adaptables en fonction des saisons et continues - c'est-à-dire sans pâturage des repousses ;

- en assurant la reconstitution au cours de l'année des biomasses herbagères abondantes⁹ par des durées suffisantes de non pâture ;

- en permettant l'entretien permanent de la fertilité des sols et de la fertilisation des prairies par les retours organiques élevés liés au pâturage dense des cheptels (entre 60 et 300 UGB / ha en chargement instantané).

2.3.2.2- OPTIMISATION DES PRAIRIES PAR LE PÂTURAGE TOURNANT DYNAMIQUE ET AMÉLIORATION DE L'AUTONOMIE PRODUCTIVE DES FERMES D'ÉLEVAGES

Le pâturage tournant (dynamique et/ou régénératif) représente un mode peu onéreux de production et de consommation de fourrage vert de qualité ; les principales dépenses étant : l'installation des systèmes de clôtures (constituant ainsi un réseau de paddocks ou micro-parcelles), d'un réseau de cheminement et d'abreuvement en limite de paddocks, puis le temps pour gérer le pâturage des différents lots d'animaux.

La biomasse pâturée sur des prairies ou dans les couverts fourragers - ou la même biomasse distribuée en vert - présente un encombrement plus limité que son équivalent récolté en foin ou en enrubanné. Le pâturage au bon niveau d'offre fourragère permet donc d'optimiser l'ingestion alimentaire des herbivores. Moins encombrante, l'herbe pâturée permet souvent une ingestion supérieure de 10 à 20 % à son équivalent fourrage récolté. De plus, à stade fourrager équivalent, les modes de récolte et conservation s'avèrent toujours moins efficaces¹⁰, plus énergivores¹¹ et plus onéreux¹² qu'une récolte par la pâture¹³.

Lorsqu'elle est prélevée et ingérée au stade optimale – voir au-dessus le rapport UF / MAT / CB -, la biomasse fourragère permet de répondre aux besoins alimentaires, énergétiques et protéiques des herbivores. Cela évite des dépenses de rationnement inutiles¹⁴, en particulier dans les périodes propices à la pousse végétative de l'herbe et/ou des couverts hivernaux ou estivaux.



@Xavier Barat

¹ Des apports de 30 à 60 unités d'azote étaient pratiqués auparavant en début de printemps chez la majorité des éleveurs conventionnels suivis.
² Dont la consommation par les animaux renforce le niveau d'azote d'origine foliaire consommé puis (ré)excrété.
³ Les unités fourragères (UF) sont utilisées pour estimer la valeur énergétique.
⁴ La cellulose brute (CB) est favorable à la production d'acides gras volatiles de type acide acétique.
⁵ <https://www.life-ptd.com/seminaire-de-cloture/receuil-scientifique-de-synthese/> et notamment l'onglet composition et production herbagère.
⁶ « Optimisée » concerne à la fois l'obtention d'un rendement « viande » ou « lait » par animal permis par le niveau d'ingestion des aliments offerts en fonction de leur qualité nutritive (cf. Tables INRA), et le maintien de la bonne santé de l'animal.
⁷ Caractérisé par son couple sol-climat.
⁸ Des temps de présence du cheptel toujours inférieurs à trois ou quatre jours sur les parcelles limitent l'accessibilité aux repousses après un premier pâturage.
⁹ Les volumes d'herbe offerts en pâturant des prairies avec des stades de graminées entre 3 et 4 feuilles varient au cours des saisons (printemps) et en fonction des reprises de pousse (automne et début printemps).
¹⁰ Absence de retour direct d'éléments minéraux fertilisants lors de la récolte pour compenser les exportations.
¹¹ Entre 1 et 3 heures de tracteur/faucheuse/andaineur par ha pour la récolte et de quelques kg à quelques dizaines de kg de matière plastique (entre film d'enrubannage et filets ou ficelles pour le foin).
¹² Les fermes d'élevage présentent des coûts de 200 et 350 euros par ha pour récolter 4 à 6 tonnes d'herbe et les conserver sous forme d'ensilage, d'enrubannage ou de foin.
¹³ Hors implantation des prairies et de systèmes d'abreuvement spécifiques, la mise en place et l'entretien des clôtures représentent des coûts estimés entre 30 et 60 euros par hectare et par an.
¹⁴ Une ration d'herbe journalière est jusqu'à trente fois moins chère à produire que les rations de même équilibre alimentaire issues de fourrages récoltés.

En conditions non optimales – avec de moindres pousses herbagères en fonction de déficits hydriques plus fréquents ou une accessibilité limitée des prairies au cheptel de la ferme - la PTD des prairies accessibles peut être combinée avec la pratique de pâturage rationnée¹ de dérobées fourragères². Il est alors possible d'utiliser des plantes fourragères en C3 pour pâturer en sortie d'hiver et en C4³ pour pâturer en été et début d'automne, périodes de moindre pousse herbagère.

Des effets systémiques et cumulatifs permettent aux fermes pratiquant le PTD ou une forme de pâturage tournant suffisamment régénératif, d'améliorer progressivement leur viabilité technico-économique :

- Le passage à une gestion optimisée de l'herbe par le pâturage du cheptel et la fauche des excédents en période printanière permettent d'assurer en élevages herbivores une autonomie quasi complète de l'alimentation, source d'économies cumulatives ;
- Un pâturage maximisé à l'année est possible entre 250 et 300 jours en Nouvelle-Aquitaine ; il dépend cependant : 1) du chargement⁴ initial de la ferme et du chargement objectif - en fonction des microrégions et de leur potentiel fourrager, un chargement entre 0,7 et 1,2 UGB / ha de SAU élevage permet de respecter un point d'équilibre entre ressources herbagères et besoins fourragers des animaux ; et, 2) de l'accessibilité des surfaces pâturables au troupeau et de la possibilité de gestion de l'abreuvement au pâturage.
- L'autonomie alimentaire du cheptel bovin laitier est possible à l'herbe, en gérant pâturage et stocks fauchés ; l'autonomie complète et l'équilibre alimentaire atteints sont également dépendants du niveau de production exigée par l'éleveur sur les vaches laitières : des niveaux de production entre 3500 (mono-traite) à 5500 litres par vache (en bi-traite) et par an semblent constituer un optimum en fonction de la génétique existante à l'origine ;
- En élevage bovin allaitant, le passage à une gestion PTD du troupeau principal mères/veaux permet d'améliorer la marge nette sur les produits vendus, grâce à : 1) un rajeunissement de l'âge des brouillards/veaux vendus et leur finition en absence de distribution de concentrés ; 2) une diminution du recours aux concentrés distribués aux mères comme aux veaux ; et, 3) une diminution des temps de finition des réformes, grâce au maintien d'état du cheptel au pâturage.
- Sous conditions de pousse herbagère devenant encore plus limitantes – hypothèse probable au vu des évolutions actuelles - des adaptations sont également possibles pour maintenir un pâturage maximisé sur les fermes, en adaptant le choix des herbivores (espèces, races, capacités à valoriser l'herbe et rusticité) et de cycle de reproduction et de production⁵.

La recherche d'une autonomie alimentaire maximale, avec une base herbagère élevée et pâturée en priorité, participe activement à l'autonomie productive des élevages au sens large.

Cette recherche induit dans les fermes d'élevages des adaptations techniques permanentes, à la fois tactiques et stratégiques, concernant leurs différentes pratiques :

- d'entretien (sur semis de méteils c'est-à-dire des mélanges de plantes à base de céréales et légumineuses annuelles, ou de fourragères pérennes) et de renouvellement de prairies multi-espèces (inclusion en rotations ou allongement / pérennisation de la prairie temporaire) ;
- de conduites à l'herbe en fonction des opportunités de pousse herbagère / récolte fourragère / création de stocks sur pied⁶ ;
- d'ajustement du chargement animal pour s'adapter aux variations des disponibilités fourragères pâturables et à leur qualité au cours du temps ;
- de la conduite de reproduction (périodes de vélages, choix de race et de génétique, croisement de races) pour s'adapter à l'offre herbagère saisonnière et développer une génétique plus adaptée à la valorisation de l'herbe ;
- et – peut être d'ici quelques années pour la grande majorité - de reprise en main de leurs modes de sélection massale du cheptel herbivore, pour développer des troupeaux adaptés à la « donne » herbagère de leur territoire.

Ces nouvelles pratiques constituent autant d'opportunités multiples à ajuster et déployer en élevage. Elles rendent possibles une amélioration de la résilience de l'élevage herbivore, en se basant sur la capacité de résistance des prairies longue durée ou permanentes aux variations du climat et aux possibilités d'adaptations tactiques que constitue un stock élevé de ressources herbagères pâturables sur l'assolement.

2.3.2.3 - IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU DÉVELOPPEMENT DE SYSTÈMES HERBIVORES PÂTURANT EN NOUVELLE-AQUITAINE

Selon les suivis réalisés sur une soixantaine de fermes de référence, les bilans énergétiques⁷ (méthode Diaterre©) des fermes laitières sont proches de l'équilibre malgré un niveau de production moindre que les fermes laitières conventionnelles. Cela signifie que les fermes strictement laitières sont à énergie neutre ou légèrement positive. Les bilans des fermes d'élevages avec vente de cultures céréalières s'avérant toujours très positifs (même pour des surfaces de vente limitées) alors que ceux des fermes strictement allaitantes (au vu de la densité énergétique faible du produit viande vendu) présentent plutôt des bilans énergétiques de l'ordre de 30 à 60 %, qui restent à améliorer pour atteindre la neutralité.

Du point de vue agronomique, les bilans d'équilibre en éléments minéraux NPK⁸ calculés à l'aide la méthode bilan CORPEN (Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement)⁹ sur les fermes laitières comme allaitantes sont proches de zéro ou légèrement positifs, avec entre + 10 et + 30 NPK / ha. Parallèlement, les bilans humiques (méthode AMG/INRAE mode de calcul pour estimer l'évolution des stocks d'humus - matière organique relativement stable - dans le cycle des rotations de cultures) des rotations les plus évoluées de certaines fermes sont positifs, avec parfois plus de deux tonnes d'humus par hectare et par an - soit plus d'une tonne d'équivalent carbone stabilisé par hectare.

1 Ou de distribution en vert lorsque le pâturage est impossible.

2 Introduites en Semis direct après céréales/légumineuses d'hiver pour l'été ou l'hiver.

3 Cycle métabolique du carbone différent : C4 plantes tropicales ; C3 plantes tempérées

4 Souvent ce changement est similaire à celui pratiqué par les élevages représentatifs de la région, avec une dépendance moindre aux aliments achetés et donc avec une surface réelle impliquée par l'élevage moindre.

5 Dans les climats avec fort déficit estival et printemps limité, des élevages ovins allaitants peuvent ainsi s'avérer plus adaptés à la valorisation des prairies, en articulant la production des agneaux avec le cycle de pousse végétative de l'herbe.

6 Les stocks sur pied sont produits en laissant monter et épier une partie des parcelles de prairies ; ces stocks fourragers sont à consommer sur une période longue (peu ou pas poussante) et en un seul cycle de pâturage avec une densité d'animaux dédoublée (150 à 250 UGB / ha) de celle pratiquée en PTD.

7 Rapport entre les contenus énergétiques exprimés en équivalent litre de fioul des produits vendus / contenus énergétiques des intrants (alimentaires, non alimentaires directs et indirects) et des services achetés.

8 Les engrais NPK représentent une formule classique de fertilisant qui correspond à l'abréviation des éléments chimiques qui les composent : azote, phosphore, potassium.

9 [https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/CORPEN%20\(2001\).pdf](https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/CORPEN%20(2001).pdf)

Il est communément admis que « rallonger le temps de vie des prairies » augmente la quantité de matière organique (MO) stockée dans les sols sous prairies. Le Projet Life + « PTD en Gâtine » a réalisé des analyses comparatives de MO sur une quarantaine de sols très diversifiés - sous prairies gérées en PTD pendant 5 ans - et à trois profondeurs (0-25 cm, 25-50 cm et 50-75 cm). Les résultats permettent d'observer sur l'ensemble des échantillons une accumulation moyenne de 1,34 tonne de carbone/ha/an sur l'ensemble des trois horizons.

Selon l'étude statistique menée sur ces données, le stock de l'horizon 25-50 cm - qui a bénéficié de cette accumulation de MO entre l'année 1 et l'année 5 - est statistiquement supérieur (différence significative au seuil de 1 %) au stock initial. Il est important de noter que la part de l'accumulation de carbone (C) dans cet horizon représente 70 à 80 % de la valeur totale cumulée observée sur les trois horizons.

Rendre pérennes les prairies en les gérant de manière autonome¹ - entre pâturage tournant, fauche qualitative et fertilisation organique compensatoire - pourrait permettre de stocker durablement du carbone dans le sol. Il est probable que l'accumulation annuelle de MO sous prairies longue durée gérées en PTD – et son corollaire sur le stockage de carbone dans les sols sous prairies - soit plus élevée que celle référencée par la littérature scientifique² qui ne considère souvent que le premier horizon arable des sols agricoles (0 – 30 cm) - ni n'a expérimenté suffisamment les modes de gestion pérenne des prairies au pâturage sans fertilisation chimique.

Au vu des rendements potentiels d'herbe dans la région Nouvelle-Aquitaine et du niveau de stockage carbone potentiellement atteint dans l'horizon 25-50 cm des sols sous prairies, on peut estimer que des prairies - qui ne seraient plus retournées mais entretenues par des formes de pâturage régénératif sans engrais chimique - sont capables de stocker environ 1 T de C/ha/an – soit 15 % de leur rendement fourrager annuel. Au vu des stocks initiaux de MO existants aujourd'hui dans les sols cultivés de Nouvelle-Aquitaine, la période durant laquelle ce stockage additionnel pourrait avoir lieu devrait dépasser plusieurs décennies.

Dans ces conditions, il est probable que les systèmes d'élevages de ruminants - se basant sur une maximisation du pâturage, un allongement du temps de vie des prairies, une gestion équilibrée des prairies fauchées, grâce à un chargement optimisé en fonction de la microrégion et de son potentiel fourrager – ne soient pas émetteur net de gaz à effet de serre (GES) : la captation de carbone des sols sous prairies (horizon 25-50 cm) compensant les émissions de GES liées au méthane (CH₄) et protoxyde d'azote (N₂O) - que le chargement animal induit - et aux émissions de dioxyde de carbone (CO₂) liées à la consommation limitée d'intrants de base énergétique (direct ou indirect).

Dans le cadre de l'adaptation au changement climatique des systèmes de polyculture-élevage herbivore, encore peu herbager et/ou peu pâturant, mais également des systèmes de grandes cultures, les couverts fourragers en double culture, les prairies de moyenne et longue durée pâturée incluses en rotation et leur association à un bocage agro-forestier ont un rôle évident à jouer sur la captation, l'infiltration de l'eau de pluies (eau bleu) mais aussi sur le maintien de l'eau dans les sols (par augmentation et approfondissement de la MO dans les horizons des sols).

Des partenariats régionaux associant la Région, l'agence de l'eau Adour Garonne, l'ADEME, des collectivités territoriales et des éleveurs pratiquant ce type de systèmes pourraient

être précurseurs dans le maintien ou la relance de l'élevage herbivore (en particulier dans les territoires ruraux en déprise car peu compétitifs³), par la reconnaissance du rôle potentiel d'atténuation climatique (conservation de l'eau et puits de carbone) associé aux systèmes herbagers très pâturant économes ou autonomes, et cela, sur les diverses espèces d'herbivores présentes sur la Région.

2.3.2.4 - UNE POSSIBLE FEUILLE DE ROUTE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE SYSTÈMES HERBAGERS PÂTURANT EN NOUVELLE-AQUITAINE VISANT LA CONSERVATION DE L'EAU ET L'ATTÉNUATION CLIMATIQUE

Les systèmes de polycultures élevages très herbagers déployés à large échelle en Nouvelle-Aquitaine présentent des potentialités économiques et agroécologiques et des externalités agro-environnementales intéressantes :

- La viabilité économique de tels systèmes – tout en dépendant de l'accès, du redéploiement ou du maintien des filières de valorisation (qu'elles soient courtes ou longues) existantes au niveau régional – est basée sur le développement de l'autonomie productive de chaque élevage. Cela augure à terme une moindre dépendance aux aides européennes et/ou une meilleure réponse à la demande de services environnementaux rendus - deux éléments favorables à l'équilibre financier des fermes ;
- Leur intégration et leur rôle dans la construction des paysages, sous la forme de systèmes bocagers associant haies / prairies / parcelles agroforestières, permet l'existence de zones tampons en amont des bassins de captage d'eau – favorables à l'entretien de la qualité de la ressource en eau – tout en améliorant la captation et l'infiltration de l'eau dans les bassins versants de la plupart des cours d'eau régionaux ; des rémunérations pour services environnementaux rendus (eau, carbone) pourraient être déployés (et valorisés au niveau national) en coordination entre l'agence de l'eau, l'Ademe et la Région ;
- Leur capacité agronomique – par le recyclage de matière organique et la régénération des sols que permet l'élevage d'herbivores sur des prairies de longue durée ou pérennes pâturées – rend possible la valorisation des sols et des reliefs de moindre valeur agricole présents dans certaines microrégions et d'en gérer durablement la fertilité ; des formes de polycultures élevage herbagère associées au développement de filières locales et à des marchés publics communaux (à l'instar de ce qui s'organise autour des villes avec les Plans Alimentaires Territoriaux) favoriseraient la relance des dynamiques socio-économiques dans des territoires ruraux en déprise agricole.

Cette vision stratégique globale nous permet de proposer une série d'actions visant à lever certains obstacles au développement de systèmes herbagers pâturant sur le territoire néo-aquitain.

1 Sans apport d'intrants chimiques ou organiques extérieurs à la ferme.

2 Et les outils officiels de calcul des bilans carbone (comme le cap2er).

3 Lire coteaux et/ou pré-montagnes peu ou zones de plaines sèches aux sols peu propices aux grandes cultures.

LIMITES	ACTIONS POTENTIELLES	ACTEURS
<p>Risque de non renouvellement de la génération d'éleveurs 55-65 ans par manque de viabilité</p> <p>Risque de perte de prairies de qualité : enrichissement des zones en territoires de déprises ou basculement en cultures des prairies</p> <p>Difficultés d'installer des jeunes sur des systèmes herbagers pâturant</p>	<p>S'assurer d'une cohésion du parcellaire pâturé avec surface suffisante et de son accessibilité au cheptel en termes de cheminement et eau :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identifier des zones de prairies naturelles (PN) et prairies permanentes (PP) à reprendre en priorité sur des élevages herbagers & pâturant et construire des répertoires communaux • Développer un système de guichet au niveau des communes pour mettre en relation cédant / repreneur et prioriser des regroupements parcellaires • Prioriser des reprises de foncier par les jeunes éleveurs en système pâturant <p>S'assurer de l'existence de financements adaptés et s'assurer de la viabilité économique des systèmes à installer :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intégrer l'installation dans la réflexion de PAR (Plan alimentaire rural) ou d'aides attribués par la région aux filières locales/ régionale • Promouvoir et intégrer dans le fonctionnement prêteur des banques la connaissance et la compréhension des modèles herbagers et pâturant et de leur potentielle viabilité économique 	<p>Communes / Commission locale foncier</p> <p>Communes, SAFER, Éleveurs / Jeunes installés</p> <p>Communes / Chambre d'Agriculture / Comité Départemental d'Orientation Agricole (CDOA)</p> <p>Communes / Région ou filières / Région</p> <p>Région/Banques</p>
<p>Absence de Recherche appliquée en systèmes herbager pâturant</p>	<p>Améliorer l'écosystème prairial et agroforestier et son usage</p> <ul style="list-style-type: none"> • essais d'adaptations d'espèces en prairies multi-espèces • diffuser les pratiques de sursemis (annuelles et pérennes) pour le pâturage • tester et diffuser les usages des ligneux fourragers, en plus des actions régionales en faveur de l'agroforesterie <p>Développer une « culture de l'herbe pâturée » chez les agriculteurs-éleveurs</p> <ul style="list-style-type: none"> • accompagner la gestion de formes de pâturage plus résilientes (pâturage régénératif) et créer des références micro-régionales • développer des références de création et gestion de Stocks sur Pied (été et hiver) dans les prairies multi-espèces ou des couverts fourrages • Tester l'irrigation économe sur prairies et référencer ses résultats en terme de production et d'économie de l'eau sur les élevages 	<p>Éleveurs de la microrégion, Chambre d'Agriculture et spécialistes</p> <p>Éleveurs pionniers / spécialistes</p>
<p>Faible capacité d'adaptation génétique des cheptels aujourd'hui proposés au changement climatique et à un déploiement de système herbager</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tester et diffuser des croisements sur races locales (blonde, limousine, aubrac, etc.) pour un élevage et une finition plus précoce et à l'herbe • Promouvoir la sélection massale au niveau des élevages sur la base de critères d'adaptation à la « donne herbagère » • Intégrer plus de diversité en répertoriant des élevages / familles adaptées au pâturage + Intégrer des critères d'adaptation au changement climatique et de valorisation de l'herbe dans les critères de sélection des « races dominantes » : blonde d'aquitaine et limousine, • Valorisation de la génétique herbagère et rusticité climatique des races : créer une ligne de sélection sans rationnement équilibré (tout herbe) 	<p>Éleveurs / Chambre d'Agriculture / consultant</p> <p>Éleveurs et spécialistes, Chambre d'Agriculture ?</p> <p>Organisme de Sélection et association de conservation de race</p> <p>Organisme de Sélection</p>

Par conséquent, des systèmes d'élevage herbivore basés sur le pâturage optimisé des prairies, le pâturage rationné de fourrages dérobés et la récolte de grains¹ avec remise des pailles aux sols permettent de développer des pratiques de production autonomes, séquestratrices de carbone et favorables à une meilleure gestion de l'eau dans les milieux agricoles. Couplés à une structuration favorable de l'environnement immédiat de l'élevage par un maillage de haies et de parcelles d'agroforesterie sur prairies/cultures, ces systèmes et pratiques peuvent - comme nous l'avons vu en première approximation - stocker du carbone malgré une base productive de ruminants émettrice de GES et présenter des bilans GES neutres ou même négatifs.

Des fermes d'élevages dont le système d'alimentation est organisé sur le pâturage optimisé des prairies et des cultures

fourragères – sans exclure la mécanisation et la récolte fourragère mais en les limitant à un niveau techniquement et économiquement viable – permettent de développer un élevage herbivore peu dépendant des intrants extérieurs, mais fournissant des produits laitiers ou carnés de haute qualité alimentaire et environnemental valorisables en région. Ces formes d'élevages sont capables d'avoir un effet d'atténuation climatique réel (par le stockage de carbone des prairies et du bocage) mais aussi de mieux s'adapter au changement climatique, notamment par une gestion économe de l'eau (moindre dépendance au maïs irrigué et amélioration des réserves utiles des sols *via* la MO) tout en redonnant des perspectives de développement local basé sur une agroécologie autonome dans certains territoires ruraux de Nouvelle-Aquitaine.

¹ Pour une complémentation des animaux en énergie/protéines lors des phases de finition mais aussi pour aider à pâturer des stocks sur pied ayant perdu en valeur alimentaire.

BON À SAVOIR

OUTIL CANARI - VISUALISER LES ÉVOLUTIONS CLIMATIQUES À VENIR LOCALEMENT (SOLAGRO/ADEME/MÉTÉO FRANCE), NICOLAS MÉTAYER

Hausse des températures, sécheresses de plus en plus intenses et fréquentes, gelées printanières... Le changement climatique affecte d'ores-et-déjà l'agriculture quelles que soient les productions, et questionne les agriculteurs sur les évolutions de pratiques leur permettant de réduire leur vulnérabilité climatique.

Afin d'accompagner les filières agricoles dans une démarche d'adaptation au changement climatique, Météo-France et Solagro mettent à disposition un nouveau service nommé CANARI-France (Climate ANalysis for Agricultural Recommendations and Impacts). Ce portail web en accès libre est destiné à tous les acteurs agricoles, que ce soit les agriculteurs directement ou bien leurs conseillers techniques, souhaitant calculer simplement et rapidement des indicateurs agro-climatiques locaux à partir de projections climatiques.

Le service s'appuie sur le jeu de projections climatiques DRIAS2020 [7], considéré comme le jeu de référence sur la France métropolitaine. La sélection de points de grille sur l'ensemble de la France offre une résolution de 8 km et les projections climatiques bénéficient d'un ajustement à partir des observations de référence du réseau de Météo-France. L'utilisation d'un ensemble de modèles climatiques (jusqu'à 12 simulations) permet de mieux cerner l'éventail des possibles et les incertitudes associées aux projections. Chaque indicateur est proposé pour la période du Futur Proche (période 2021-2050) et du Futur Lointain (2051-2100) et pour deux scénarios d'émission de gaz à effet de serre (RCP 4.5 et RCP 8.5).

Ce portail permet, en fonction du type de culture ou d'élevage, de visualiser l'évolution de 120 indicateurs agro-climatiques des plus génériques (cumul de précipitation sur une période donnée, nombre de jours de pluie significative, cumul de déficit hydrique, etc.) aux plus spécifiques selon la filière agricole adressée (simulation de date de récolte pour différentes variétés de maïs, nombre de jours de pluies intenses ou encore difficulté d'intervention mécanique dans les vignes). Chacun des indicateurs proposés demeure totalement paramétrable par l'utilisateur en matière de seuil de calcul ou bien de période d'intérêt. Cette innovation offre aux utilisateurs une très grande liberté d'exploration des évolutions climatiques locales.

Véritables points de départ des démarches d'adaptation des exploitations agricoles, la visualisation d'indicateurs agro-climatiques pertinents localement peuvent aider à structurer les leviers d'adaptation nécessaires à court, moyen ou long terme.

Pour utiliser ce nouveau service, rendez-vous sur : <https://canari-france.fr>

Après avoir examiné en détail la disponibilité de la ressource en eau et son utilisation dans le contexte agricole, nous allons porter notre attention sur les questions de gouvernance territoriale de la ressource en eau.

Dans le débat sur les usages agricoles de l'eau douce disponible deux visions de la ressource s'opposent souvent dans les discours, celles des agriculteurs irrigants qui estiment légitime de leur part de s'approprier l'eau qui ruisselle sur leurs terres, cours d'eau ou eau de pluie, et considèrent que ce qui va aux ruisseaux est de la ressource « gaspillée » ; celle des protecteurs de la nature qui affirment que l'eau est un bien commun, qui ne peut donc pas être privatisé et certainement pas au détriment du milieu naturel. Ces arguments se retrouvent de façon plus ou moins policée dans la controverse publique sur les « bassines » du nord de la région Nouvelle-Aquitaine. Pour y voir plus clair, il convient d'abord de rappeler le cadre de gouvernance s'appliquant à la ressource en eau, puis d'évoquer la question politique du partage, avant d'achever cette section sur la question de la nécessaire adaptation des pratiques de gestion de l'eau à finalité agricole au changement climatique anticipé dans notre région. Toutefois, nous commençons cette partie du cahier par rappeler que les territoires et leurs paysages ont une histoire sous l'angle de l'exploitation agricole et du rapport à l'eau.

3.1

UNE PERSPECTIVE HISTORIQUE SUR L'ASSÈCHEMENT DES MARAIS ET LANDES DE L'ACTUELLE NOUVELLE-AQUITAINE

L'histoire de l'irrigation est étroitement liée à celle des zones humides et de leur assèchement. Deux arguments majeurs ont été avancés pour légitimer la destruction de ces hydro-systèmes faisant pourtant partie intégrante des paysages agraires depuis des siècles sous le nom de communaux, autrement dit de biens collectifs. Un premier argument est l'impératif de salubrité publique porté par les médecins à partir du XVIII^e siècle, lesquels considéraient en effet que les miasmes responsables des maladies qu'ils tentent de soigner, émanent directement de ces sols toujours gorgés d'eau. Cette pensée médicale, mieux connue sous les termes de « néo-hippocratismes » et « d'hygiénisme », rencontre alors les aspirations des économistes physiocrates (avant 1789) puis des agronomes, des acteurs puissants et influents jusqu'au début du XX^e siècle. Ceux-ci n'ont cessé de dénoncer le caractère totalement improductif des marais et autres « terres incultes » couvertes de plantes inutiles et donc sans intérêt pour l'économie nationale. À leurs yeux, il importe de lancer de vastes projets d'assèchement qui permettront à la fois de valoriser ces terres sur un plan agricole et de « sauver » les populations locales exposées aux maladies [70]. Cette pensée économique devient la rationalisation principale de la traque aux zones humides.

3.1.1 UNE TENDANCE DE FOND (XVII^e-XIX^e SIÈCLES)

Même si les premières entreprises d'assèchement des zones humides régionales peuvent être observées au Moyen Âge, à l'instigation des établissements religieux, tout débute vraiment à grande échelle avec l'édit d'Henri IV de 1599. Il ordonne le « dessèchement » des marais et paluds du royaume, et notamment des

terres basses bordant la Dordogne, la Garonne et la Gironde [71]. Dans le secteur du Blayais, on inaugure ainsi un système de lotissement par « pans », unités divisionnaires d'environ 1000 m de long par 100 m de large [72]. Après avoir été drainés, les marais font place à des terres cultivées en « bled d'Espagne » (maïs) ou en froment. Nonobstant, la Guyenne, province d'avant la Révolution de 1789 se confondant pour partie avec l'actuelle Aquitaine, demeurait encore largement marquée par les zones humides, comme le confirme la carte du Médoc dressée au XVIII^e siècle. À cette époque, les villages de Beorne, de Cordes, Villeneuve, etc. étaient toujours littéralement cernés par les « landes basses et marécageuses » (Figure 24), un paysage qui contraste avec celui d'aujourd'hui où le pin règne sans partage.

La seconde grande rupture intervient enfin à partir du milieu du XIX^e siècle avec les boisements massifs en pins maritimes opérés au détriment des landes et autres marais à la faveur du creusement de nouveaux canaux de drainage et de l'arrivée du chemin de fer. Cette politique est encouragée par l'État sous Napoléon III. C'en est fini de l'image traditionnelle du berger juché sur ses échasses pour se déplacer dans les terres mouvantes des Landes... [73]. Ultérieurement, un troisième point de bascule se produit à compter des années 1970 dans le cadre de la politique de remembrement impulsée par le ministère de l'Agriculture et qui s'accompagne d'une intensification des pratiques agricoles.



Figure 24 : Extrait de la carte particulière d'une partie de Médoc (XVIII^e siècle)

Enjeux de gouvernance territoriale pour une meilleure gestion quantitative de l'eau en Nouvelle-Aquitaine

3.1.2 UN CAS D'ÉCOLE : L'ÉVOLUTION PAYSAGÈRE DE SAINTE-SOLINE

Point de cristallisation de la lutte contre les projets de « méga-bassines », la commune de Sainte-Soline n'a, paradoxalement, pas donné lieu à ce jour à une étude diachronique approfondie de ses paysages. Pourtant, une telle approche contribue à éclairer le débat actuel en montrant comment les choix d'aménagement opérés depuis 150 ans ont pu accentuer le processus de raréfaction de la ressource en eau et aboutir au projet controversé des Terres Rouges.

Une première comparaison simple, effectuée à partir de la carte d'État-Major et le plan IGN disponibles sur le site Géoportail, montre un contraste paysager saisissant entre le milieu du XIX^e siècle et les années 2020¹. Alors que la première livre un territoire rural où les prairies, les marais et les bois tiennent une place notable pouvant être estimée à près de 30 % de la surface totale, le second au contraire révèle un paysage quasi dépourvu de zones prairiales et humides (Figure 25).

Les statistiques des années 2020 sont d'ailleurs sans appel puisque l'occupation des sols présentée ci-dessous (Tableau 4) fait désormais la part belle aux terres arables qui représentent plus des ¾ des surfaces.

NATURE DU SOL	SURFACE EN %
Terres arables	73,6
Zones agricoles hétérogènes	11
Prairies	9,7
Forêts	3
Zones urbanisées	2,4

Tableau 4 : Occupation des sols sur la commune de Sainte-Soline en 2020 <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/>

En pratique, ces mutations spatiales pour le moins radicales coïncident avec un déclin démographique continu entre le milieu du XIX^e siècle et les années 2020 (Figure 26). Dans le détail, après l'apogée des années 1850 (1219 habitants), plusieurs ruptures interviennent successivement dans les années 1870, vers 1910, et surtout au début des années 1970. L'étiage démographique est finalement atteint en 2020 avec seulement 350 habitants, soit une perte de population de plus de 70 % durant la période !

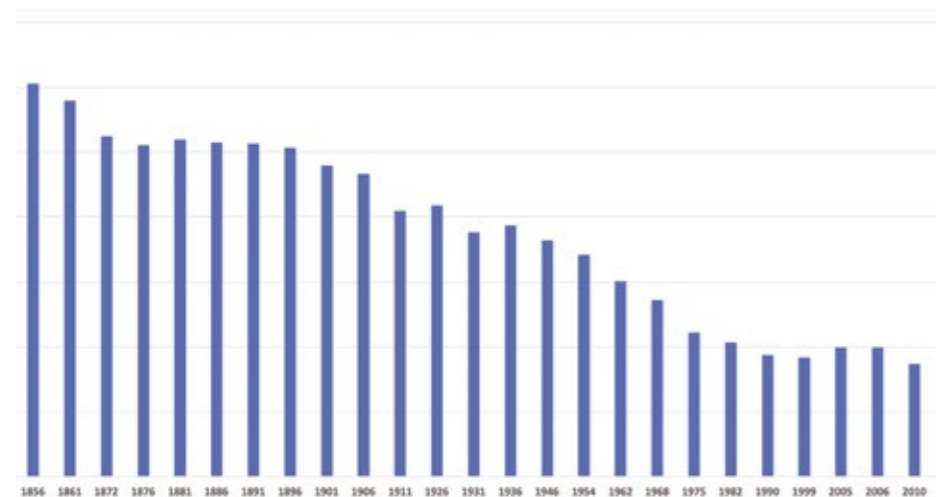


Figure 26 : Évolution démographique de la commune de Sainte-Soline entre 1850 et 2020



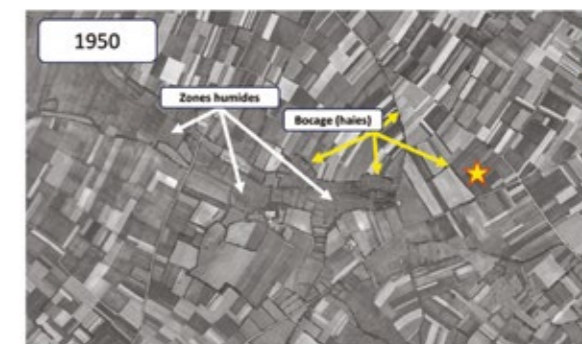
★ Site de la future méga-bassine des Terres Rouges
 ■ Marais et prés

Figure 25 : Comparaison des paysages de Sainte-Soline entre la fin du XIX^e siècle et 2020

En matière d'occupation des sols, les paysages connaissent des mutations toutes aussi brutales après la Seconde Guerre mondiale (Figure 27). La photographie aérienne des années 1950 montre ainsi un nombreux parcellaire aux surfaces très modestes, comme l'atteste le site des Terres Rouges qui se répartit alors entre seize parcelles. Cet agro-système s'inscrit dans le cadre d'un réseau bocager fait de haies, encore omniprésentes sur la photographie, de zones humides et de prairies profitant de la Dive et de ses petits tributaires.

A contrario, 70 ans plus tard, sous l'effet conjugué des remembrements et de la concentration de la propriété agricole entre les mains de quelques exploitants, le nombre de parcelles se limite désormais à seulement sept qui s'insèrent dans un paysage ouvert au sein duquel des zones bâties et/ou urbanisées sont apparues. Les prairies humides y sont réduites à la portion congrue et les haies éradiquées. Il va sans dire que le terroir ainsi transformé est davantage exposé à la sécheresse et a vu baisser ses capacités de rétention de l'eau de pluie. La réserve d'eau agricole s'inscrit logiquement, mais non sans problème, dans cette évolution agro-environnementale.

Figure 27 : Le basculement paysager de Sainte-Soline 1950-2020



★ Site de la future méga-bassine des Terres Rouges
 ○ Zones bâties ou/et urbanisées

3.2

UN SYSTÈME COMPLEXE DE « GOUVERNANCE DE L'EAU »

Cette gouvernance repose d'abord sur le droit qui définit le statut de la ressource, mais aussi sur un système d'acteurs multiples à l'échelle à la fois territoriale et régionale, où le représentant de l'État qu'est le préfet joue toutefois un rôle prééminent.

3.2.1 LE STATUT JURIDIQUE AMBIVALENT DE L'EAU

La législation en vigueur est loin d'avoir tranché le débat sur l'eau « bien commun ». D'un côté, le Code civil considère que les eaux de source, de pluie et les eaux stagnantes (souterraines ou superficielles) appartiennent au propriétaire du fonds où elles se trouvent (C. civ., art. 552 et 642 ; Cour de cassation, 26 nov. 1974, n° 73-12.124) [74]. Cette vision ne tient pas compte cependant de l'unicité de la ressource en eau que mettent en évidence les hydrologues. D'un autre côté, la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 (reprise dans la loi sur l'eau de 2006) stipule que : « L'eau fait partie du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, dans le respect des équilibres naturels, est d'intérêt général ». La formule est subtile : elle ne s'oppose pas à une forme de privatisation de la ressource dans l'usage, mais impose d'assurer la préservation des milieux, de réguler les usages et d'administrer la ressource au moyen d'une gouvernance spécifique. La loi pose également le principe que « l'usage de l'eau appartient à tous » et prévoit le partage des coûts liés à l'utilisation de l'eau par l'ensemble des usagers (C. env., art. L. 210-1). Mais elle ne parle de droit d'accès de chacun que pour l'eau potable. Les autres usages restent marqués par une très forte inégalité dans l'accès à l'eau, lequel dépend essentiellement de la maîtrise du foncier permettant d'entrer en contact avec la ressource et de droits historiques par exemple de forage.

La loi sur l'eau fixe donc un principe de gestion équilibrée et durable de la ressource, qui implique de concilier les intérêts de l'ensemble des usagers de l'eau d'un bassin versant, tout en préservant les qualités de l'écosystème. Si l'alinéa I de l'article L 211-1 du Code de l'environnement définit la gestion équilibrée à partir d'une pluralité de critères, l'alinéa II fait de l'alimentation en eau potable et de la santé de la population une priorité tout en appelant également à concilier préservation des milieux et usages économiques ou récréatifs, sans traitement de faveur particulier pour l'agriculture. Ainsi, les autorisations des prélèvements effectués par les agriculteurs doivent être fixées conformément à des volumes prélevables qui sont ceux qui respectent des débits d'objectif d'étiage – c'est-à-dire compatibles avec un bon état des masses d'eau et la satisfaction des différents usages - à des points nodaux du système hydrologique. Le système de gouvernance de l'eau aura donc deux objectifs, l'un de préservation de la qualité des masses d'eau souterraines ou de surface – notamment contre diverses pollutions -, l'autre de gestion de la quantité, en régulant les prélèvements pour assurer la pérennité de milieux naturels en bon état de fonctionnement.

¹ Cartes de comparaison disponibles sur : <https://remonterletemps.ign.fr/comparer/basic?x=0.052779&y=46.263936&z=14&layer1=GEOGRAPHICALGRIDSYSYSTEMS.PLANIGNV2&layer2=GEOGRAPHICALGRIDSYSYSTEMS.ETATMAJOR40&mode=doubleMap>

3.2.2 LE DISPOSITIF INSTITUTIONNEL DE GOUVERNANCE

La gouvernance de l'eau douce constitue un système complexe (Figure 28) faisant intervenir de très nombreux acteurs situés à différents niveaux de l'appareil politico-administratif et de l'organisation sociale.

Le préfet coordonnateur de bassin, soit le préfet de la région où le comité de bassin a son siège, l'Occitanie pour Adour-Garonne et Centre-Val de Loire pour le bassin Loire-Bretagne – les deux bassins concernant la Nouvelle-Aquitaine –, est, au nom de l'État, l'autorité décisionnaire dans la gestion de l'eau. Il préside les agences de l'eau, créées par la loi sur l'eau de 1964, lesquelles sont le bras financier de la politique de gestion qualitative et quantitative de l'eau douce, au sens où elles contribuent à financer, par les redevances payées par les usagers et mutualisées à l'échelle régionale, les actions des collectivités et des agents économiques pour atteindre les objectifs fixés.

Des comités de bassin associés à chaque agence, où siègent des représentants de toutes les parties prenantes, dont les collectivités locales, les usagers (agriculteurs,

associations environnementales, consommateurs) et les services de l'État, définissent les orientations de la politique de l'eau à l'échelle de sept bassins métropolitains et de cinq bassins d'outre-mer. Le comité de bassin adopte un schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), préparé par l'agence en lien avec les services de l'État, et qui établit l'état de la ressource, les pressions s'exerçant sur elle, les actions à entreprendre pour atteindre le bon état écologique des masses d'eau. Le SDAGE est approuvé par le préfet coordonnateur de bassin en même temps qu'il arrête le programme de mesures correspondant à sa mise en œuvre. Certains sous-bassins sont dotés de leurs propres schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), élaborés par une commission locale de l'eau (CLE) présidée par un élu et composée selon un modèle proche des comités de bassin. Tous les sous-bassins ne sont pas couverts, sans que l'absence de SAGE ne se justifie par des différences objectives de situation. Ces SAGE sont en principe opposables aux décisions préfectorales relatives à la gestion de l'eau, y compris la construction de réserves de stockage pour l'irrigation.

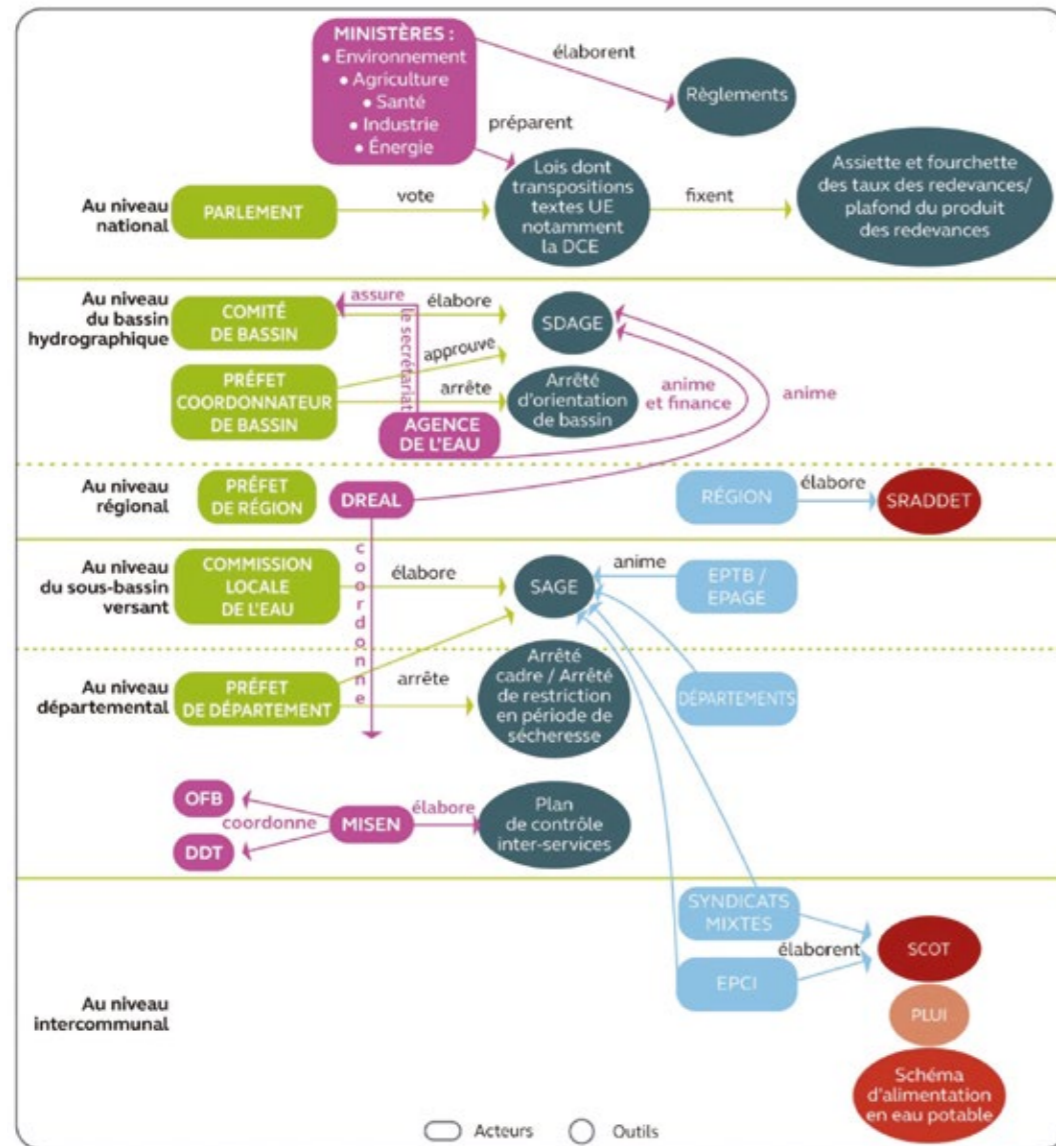


Figure 28 : Présentation simplifiée de la gouvernance de la politique de l'eau. Source (75)

L'agriculture est très gourmande en prélèvement d'eau, notamment en période d'étiage, comme le montre le schéma ci-dessous issu du site de l'agence de l'eau Adour-Garonne (Figure 29) :

Si l'on regarde la quantité d'eau consommée et non restituée au milieu (contrairement à l'essentiel des prélèvements pour l'industrie et l'énergie nucléaire), la part de l'agriculture est encore plus élevée (80 % du total)¹. Or, « le bassin Adour-Garonne connaît régulièrement des étiages sévères, résultant de prélèvements en eau supérieures à la ressource disponible (déséquilibre quantitatif) » [76].

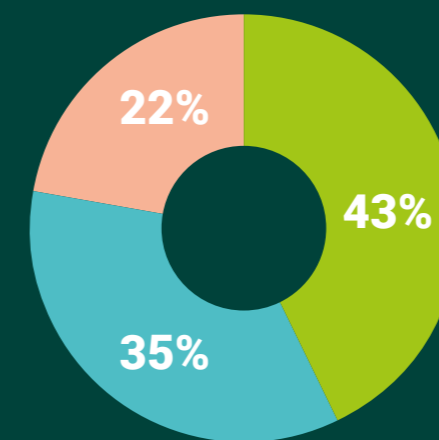
Cette situation est particulièrement sensible politiquement du fait de la faible contribution des agriculteurs au budget des agences, en dépit de la responsabilité de l'agriculture conventionnelle dans la pollution des cours d'eau et de certaines nappes². Ainsi, nationalement, l'usager domestique acquitte en moyenne 86% du produit total des redevances des agences de l'eau, soit, en zone où la tension sur la ressource est forte, deux à huit fois plus au m³ que l'irrigant agricole ; de plus, c'est dans les bassins méridionaux comme Adour-Garonne que cet écart est le plus élevé (1 à 5)³. Selon les chiffres publiés sur le site public d'Adour Garonne pour la période 2019-2024, la contribution du secteur agricole à l'ensemble des redevances collectées par l'agence est de l'ordre de 10,7%. Les redevances acquittées au titre du prélèvement pour irrigation ne représentent que 12,7% du total des redevances pour prélèvement sur la ressource. Au vu des volumes prélevés évoqués ci-dessus, ces montants devraient être logiquement 4 à 5 fois supérieurs. Un certain nombre de cultures irriguées cesseraient alors d'être rentables.

Au début des années 2000, un projet de loi de la ministre de l'Environnement Dominique Voynet, contenait notamment des dispositions visant à multiplier par cinq la contribution des agriculteurs, par l'instauration d'une taxe sur les excédents d'azote, en application du principe pollueur-payeur. Des expérimentations et des projets de redevance avaient été élaborés dès les années 1980 par certaines agences de l'eau, et Brice Lalonde, ministre de

l'Environnement entre 1988 et 1992, avait déjà souhaité aller dans ce sens [77]. L'alternance politique en 2002 ayant enterré le projet, une plus modeste redevance pour pollutions diffuses fut créée par la loi de 2006 ; elle est d'un rapport significatif mais insuffisant pour les agences ; de plus elle est acquittée non seulement par les usagers agricoles mais aussi par tous les utilisateurs de produits phytosanitaires toxiques. La création de cette redevance n'a pas changé significativement la répartition du financement des agences de l'eau entre types d'usagers.

Dans les territoires prioritaires définis par les SDAGE et/ou classés par les services de l'État en « zones de répartition des eaux » (ZRE), du fait d'un déséquilibre quantitatif chronique entre la ressource et les prélèvements existants, une stratégie des volumes prélevables doit être mise en place par le préfet, été comme hiver. Des plans de gestion quantitative, connus depuis 2015 sous le nom de « projets de territoire pour la gestion de l'eau » (PTGE) peuvent être élaborés afin de permettre une approche globale de la ressource en eau à une échelle infra-bassin versant mais cohérente d'un point de vue hydrologique et sur l'implication de l'ensemble des usagers du territoire pour atteindre, dans la durée, un équilibre entre besoins et ressources disponibles. Ces PTGE permettent aux agences de l'eau d'intervenir dans le financement des réserves de stockage, mais ils pâtissent de leur absence de force contraignante. À la suite des Assises de l'eau de 2018-2019, le gouvernement s'était fixé l'objectif de faire aboutir au moins 100 PTGE d'ici 2027, mais leur déploiement est beaucoup plus lent que prévu en raison des intérêts divergents des parties prenantes, et certains des plans adoptés sont peu ambitieux sous l'angle environnemental (par exemple en contrepartie de la construction de nouvelles réserves de stockage).

Volumes prélevés ANNUELS en fonction des usages
Moyenne 2003-2020



Volumes prélevés en période d'ETIAGE en fonction des usages
Moyenne 2003-2020

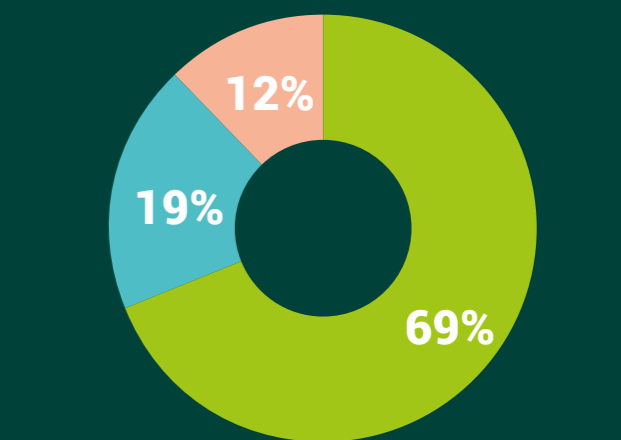


Figure 29 : Volumes d'eau prélevés annuellement et en périodes d'étiage en fonction de leurs usages (76).

¹ Rapport de la Cour des comptes [75] page 28.
² 67 % des masses d'eau de surface en France risquent de ne pas atteindre le « bon état écologique » en 2027 au titre de la directive-cadre européenne sur l'eau. Ce sont principalement les pollutions diffuses par les pesticides utilisés en agriculture qui freinent l'atteinte du bon état de l'ensemble des masses d'eau (Sénat, Rapport d'information sur l'avenir de l'eau, délégation sénatoriale à la prospective, 2022, p. 104).
³ Audit interne des agences de l'eau, rapport N°013432-01, décembre 2021, CGEDD, p. 52.



Dans la gestion quantitative de l'eau les agences de l'eau n'assurent pas la maîtrise d'ouvrage des travaux (laissée aux collectivités locales ou aux irrigants), ni les missions d'assistance technique, ni même les pouvoirs de police de l'eau qui relèvent toujours de la compétence de l'État en la personne du préfet (assisté des services des DDT et de l'OFB). Si la planification territoriale des usages est pilotée par les comités de bassin élaborant les SDAGE, ce sont les préfets qui assurent sa mise en œuvre, et à l'échelle du sous-bassin, qui attribuent les autorisations uniques de prélèvement (AUP) ; cela au bénéfice d'un organisme unique de gestion collective (OUGC), de forme juridique variable, qui administre l'AUP en répartissant les volumes autorisés entre irrigants, quelle que soit d'ailleurs la ressource prélevée - eau superficielle ou nappe -. Cette répartition fait l'objet d'un plan précis établi sous le contrôle de l'autorité préfectorale. L'AUP permet de rationaliser le prélèvement et de responsabiliser les irrigants ; elle est fixée en principe en conformité avec les préconisations des SDAGE et SAGE, sous peine de se voir annuler par la juridiction administrative¹.

En réalité, le niveau réel des prélèvements, théoriquement soumis à déclaration aux agences de l'eau, et donc l'état de la ressource réellement disponible sont mal connus : « Dans le bassin Adour-Garonne, la moitié des 20 000 irrigants ne font pas de déclaration. Leur consommation est estimée à moins de 7 000 m³ sans aucun contrôle »².

À côté de cette régulation des usages en régime normal, existe un dispositif de gestion de crise également piloté par les préfets de département, produisant les « arrêtés sécheresse » et leur cortège de restrictions sur les usages non-prioritaires de l'eau, avec quatre niveaux d'alertes différents : vigilance, alerte, alerte renforcée et crise³. L'irrigation des cultures est affectée à partir du niveau d'alerte. Ces décisions sont discutées au sein de « cellules » ou de « comités

sécheresse », rebaptisées « comités ressource en eau » en 2021, réunissant des représentants des services déconcentrés et des établissements publics de l'État, des collectivités locales, des structures de gestion de l'eau, des producteurs d'eau et exploitants de services, des usagers et des associations. Les échanges y portent beaucoup sur la qualification de la situation, la réalité de la tension sur la ressource et les mesures adaptées pour y répondre. De fait, chaque département produit sa propre logique d'évaluation et de déclenchement⁴. Le passage sous un seuil de référence d'étiage ne déclenche pas nécessairement, à lui seul, un changement de niveau d'alerte. En outre, des délais assez importants (jusqu'à 15 jours) sont régulièrement observés entre le moment où les seuils sont « objectivement » dépassés et l'adoption effective de mesures de restriction⁵. Quant à la nature des restrictions, elle fait l'objet de négociations avec les acteurs économiques et de dérogations ciblées, qui bénéficient notamment à certaines activités agricoles jugées particulièrement fragiles ou stratégiques (ex : maraîchage, production de semences). Au-delà du mécanisme décisionnel, les insuffisances notoires et anciennes de la police de l'eau⁶ et le faible caractère dissuasif de l'amende prévue par la loi ne permettent pas de garantir le respect intégral des mesures de restriction ainsi décidées.

Il n'y a pas lieu de modifier fondamentalement l'architecture de la gouvernance de la gestion de la ressource en eau mais de rétablir un meilleur équilibre entre les usages. De fait, le SDAGE offre un cadre de référence pertinent ; il nécessite cependant d'être complété localement par un SAGE pour prescrire des orientations plus précises et opposables aux gestionnaires de la ressource. Cela permettrait d'éviter que les principes inscrits dans la loi restent lettre morte et que les déséquilibres constatés perdurent.

¹ Par exemple, la Décision n° 1701657 du 9 mai 2019 du Tribunal Administratif de Poitiers, annulant l'arrêté interdépartemental du 12 juillet 2016 d'AUP de l'Établissement Public du Marais Poitevin, notamment parce qu'il contrevient aux dispositions des SAGE concernés et du SDAGE Loire-Bretagne (<http://poitiers.tribunal-administratif.fr/content/download/161910/1638930/version/1/file/TA86%20-%201701657.pdf>).

² Rapport de la Cour des comptes, [75] page 43.

³ Cf. <https://www.ecologie.gouv.fr/secheresse-economiser-leau>.

⁴ Alors que le décret du 23 juin 2021 sur le sujet prévoit des arrêtés dans un cadre interdépartemental, en pratique les arrêtés continuent à être départementaux et ne débouchent pas sur une gestion cohérente à la bonne échelle hydrographique, Rapport de la Cour des comptes, p. 97.

⁵ Cf. Inspection générale de l'environnement et du développement durable, Inspection générale de l'administration, Conseil général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux, Retour d'expérience sur la gestion de l'eau lors de la sécheresse 2022, rapport, 2023.

⁶ Chaque année, des dizaines d'incidents (injuries, menaces, intimidations, etc.) sont recensés par l'OFB au cours de contrôles : 96, par exemple, en 2013 (cf. ONEMA, Rapport d'activité et de performance 2013). Des agriculteurs sont à l'origine de la moitié de ces incidents. Les contrôles sont beaucoup moins nombreux dans les départements où les relations avec les agriculteurs sont tendues, par exemple dans le Lot-et-Garonne (cf. CGEDD, CGAAER, Audit de la mise en œuvre des politiques de l'eau et de la biodiversité dans le département du Lot-et-Garonne, 2016), qui sont aussi des départements où la tension sur la ressource est forte en été.

3.3

TRAVAILLER POLITIQUEMENT LES CONDITIONS DU PARTAGE DE LA RESSOURCE EN EAU

Quelle part de l'ensemble de la ressource en eau disponible peut revenir à l'agriculture et à quel type d'agriculture ? À l'évidence, le principe de gestion équilibrée et durable de la ressource qui prévaut dans la loi ne suffit pas à éclairer la décision publique. La question doit être posée, en termes politiques, dans le cadre d'un débat démocratique où aucune profession, aucun acteur territorial ne peut imposer son point de vue.

3.3.1 PRENDRE EN COMPTE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET EN TIRER LES CONSÉQUENCES

L'article L211-1 précité indique que la gestion équilibrée et durable doit « prendre en compte les adaptations nécessaires au changement climatique ». Or, les changements climatiques déjà perceptibles dans nos territoires suggèrent qu'il ne sera pas possible à l'avenir de concilier tous les usages actuels avec la protection des milieux dans un contexte de réduction de la disponibilité de l'eau. Les mesures de sobriété déjà engagées ou envisagées (réduction des fuites dans les réseaux, diminution des surfaces de cultures gourmandes en eau, réduction des consommations d'eau des ménages et industriels) ne suffiront pas selon le projet Explore 2070 (2010-2012), piloté par la direction de l'eau et de la biodiversité du ministère de l'Écologie et qui avait pour objectif d'élaborer des stratégies d'adaptation au changement climatique à l'horizon 2070 et de les évaluer¹. L'évolution des conditions climatiques notamment en Adour-Garonne (voir le chapitre 1 ci-dessus), tendra inévitablement à réduire les volumes prélevables, même en tenant compte de la diversité des situations hydrologiques locales. Dans certains territoires, le maintien de certaines cultures (ex : maïs) ou le développement de nouvelles (ex : fruits à coque) impliquerait, dans ce contexte, une extension du recours à l'irrigation, qui n'est pas envisageable si l'on admet que le stockage de l'eau en hiver a pour finalité exclusive la substitution aux prélèvements estivaux et non un accroissement global du prélèvement.

Le cadrage politique national du problème n'envoie pas nécessairement les bons messages. Le Varenne agricole de l'eau (2021-2022), formellement sous la double tutelle du ministère de l'Agriculture et du ministère de la Transition écologique, a semblé donner satisfaction aux seuls irrigants, en mettant surtout l'accent sur la mobilisation de nouvelles ressources en eau (réserves et retenues de substitution, réutilisation des eaux usées traitées), en s'appuyant sur le dispositif PTGE pour identifier les ressources en eau disponibles et les besoins sur le territoire, puis déterminer les volumes pouvant être prélevés sans menacer le milieu. Dans le sillage du Varenne, un décret du 29 juillet 2022 est venu préciser les règles de la gestion quantitative en période de hautes eaux. Les annonces du Varenne ont été perçues par les associations de défense de l'environnement comme une « relance de l'irrigation », en contradiction avec l'objectif affiché aux Assises de l'Eau, à peine trois ans auparavant, d'une réduction des prélèvements d'eau de 10 % en 5 ans et 25 % en 15 ans, mais aussi en contradiction avec les objectifs fixés par de nombreux SDAGE de bassins, dont certains prévoient d'importantes réductions des volumes prélevables. Le plan d'action sur l'eau annoncé par le président de la République le 30 mars 2023 a réduit à 10 % l'ambition de réduction des prélèvements d'ici 2030. « L'épisode du Varenne témoigne clairement du fait que l'élaboration d'une partie importante des objectifs et de la stratégie sur l'eau relève plus que jamais directement du ministère de l'Agriculture » [78][79].

En effet, la communication gouvernementale à l'issue du Varenne a mis l'accent sur l'accès à l'eau des agriculteurs, également sur la nécessité de produire (écho au thème de la « souveraineté alimentaire » de la FNSEA) et d'avancer rapidement dans les projets de réserves de stockage – les préfets pouvant passer outre l'absence de PTGE en cas d'échec de la concertation locale. Cela pourrait conduire à l'avenir à une tension croissante entre la mise en œuvre des SDAGE d'une part et les mesures d'application des décisions issues du Varenne agricole de l'eau de l'autre.

Le plan de mesures sur l'eau de 2023 vise notamment la résorption des pertes sur les réseaux d'eau potable, souvent supérieures à celles des réseaux d'irrigation. Les usages urbains méritent certainement d'être vigoureusement questionnés quand 93 % des 120 à 150 litres consommés en moyenne par jour sont consacrés au nettoyage et à la toilette, mais avec d'importantes variations territoriales et entre ménages aux styles de vie différents. De plus, l'afflux touristique en été dans les zones littorales et certains départements qui souffrent de la sécheresse comme dans les Pyrénées-Orientales, engendrent des crises récurrentes. La tarification progressive de l'eau serait susceptible de réduire le gaspillage en milieu urbain. Il n'en reste pas moins que les conflits d'usage vont aller en croissant. Par exemple, si le préfet de Charente-Maritime doit arbitrer en été – comme en 2022 - entre les besoins des agriculteurs du bassin de la Charente et l'alimentation en eau potable de l'agglomération de La Rochelle, on peut deviner quelle sera la priorité...

Or, le régime de gestion de crise est de plus en plus souvent activé par les autorités préfectorales en Nouvelle-Aquitaine et tend à supplanter désormais le régime de gestion ordinaire, en particulier en période estivale.



Telle une pierre précieuse - ©photokolibry - Photo issue du concours 2023 AcclimaTerra « La Nature que je veux préserver »

¹ Cf. <https://www.gesteau.fr/document/bilan-du-projet-explore-2070-eau-et-changement-climatique>.

3.3.2 LE STOCKAGE SOUVENT UTILE, MAIS TRÈS CONTROVERSÉ

La réponse aux sécheresses et vagues de chaleur qui est privilégiée par les irrigants et les éleveurs impactés est de multiplier les projets de stockage hivernal de l'eau, prélevée dans les cours d'eau ou dans certaines nappes. Cependant, ces projets sont souvent l'objet de critiques virulentes des protecteurs de la nature et de certains agriculteurs non-irrigants. Les problèmes posés tiennent au lieu d'implantation, au volume prévu et au mode de remplissage. Le remplissage hivernal des plus grosses réserves n'est pas garanti quand la sécheresse hivernale ne permet pas la recharge des nappes. Le réchauffement climatique pourrait bien accentuer cette baisse de recharge dans les deux grands bassins de la région (- 30 à - 50 % à l'horizon 2045-2065 pour le bassin Adour-Garonne selon certaines projections [81]). De plus, les plus gros projets consomment de la SAU, contribuent à concentrer la ressource prélevée au profit d'un petit nombre d'exploitants pouvant financer la construction d'une retenue. S'il doit y avoir un droit d'accès à l'eau, il conviendrait qu'il soit réparti de façon plus égalitaire entre agriculteurs, alors que les droits de prélèvement, notamment les forages, reposent sur le principe du premier arrivé et ont été gelés aux niveaux historiques par l'administration.

Les gros projets de stockage donnent lieu fréquemment à des contentieux juridiques et la jurisprudence commence à borner les conditions de leur mise en œuvre. Ainsi le tribunal administratif de Poitiers a annulé le 3 octobre 2023, les arrêtés préfectoraux autorisant la création et l'exploitation de quinze projets de réserves d'eau agricoles en Vienne, Deux-Sèvres et Charente, parce qu'elles étaient surdimensionnées et donc ne respectaient pas le principe de substitution fixé par le SDAGE, le stockage d'hiver y étant supérieur à la réduction des prélèvements sur le milieu naturel en période d'étiage¹. Le calcul du volume des réserves projetées reposait sur des données anciennes, datant du début des années 2000, qui ne reflétaient plus le niveau des prélèvements effectivement réalisés en été depuis une quinzaine d'année du fait de la moindre disponibilité de la ressource. En outre, dans le cas de la Vienne les prélèvements étaient très supérieurs à ce que le milieu pouvait supporter même en hiver. Enfin, ces projets ne prenaient pas en compte les effets prévisibles du changement climatique sur la disponibilité en eau future. Il faut notamment s'assurer que les conditions de remplissage seront pérennes sur plusieurs décennies et resteront sans impact sur la recharge des nappes.

Ces jugements, paraissent prendre le contrepied des jugements rendus précédemment sur les fameuses « bassines » des Deux-Sèvres², ce qui souligne qu'il est important de regarder au cas par cas la nature des projets et leur dimensionnement en fonction de la situation hydrologique locale. Encore faut-il disposer de données scientifiques fiables prenant en compte les effets du changement climatique : « Dans les Deux-Sèvres, l'étude du BRGM qui servit de base à la signature du protocole du 18 décembre 2018 reposait sur des études portant sur la période 2000-2010. À la suite de la contestation de la réalisation des premiers travaux en 2022 et de la mise en cause de la pertinence de ces études pour autoriser la réalisation des réserves de substitution prévues, le BRGM a produit un communiqué relativisant les conclusions qui pouvaient en être tirées pour les années à venir. Il a reconnu que ces études ne prenaient en compte ni les évolutions intervenues depuis 2011, ni les études prospectives récentes »³.

Autre exemple, « dans le sous-bassin du Clain [...] le projet ramené à 30 réserves d'un volume cumulé de 8,8 millions de m³, conduirait à pomper de l'eau dans une nappe superficielle servant également à satisfaire les besoins en eau potable de la communauté urbaine du Grand Poitiers. Ces besoins ne diminuent pas l'hiver et augmentent même avec la pollution d'origine agricole de l'eau qui oblige le service d'eau potable à diluer l'eau prélevée dans la nappe pour la rendre potable »⁴. Ce projet est très critiqué, notamment par les associations environnementales et de pêcheurs⁵, parce qu'il ne prend que partiellement en compte les travaux scientifiques (l'étude Hydrologie, Milieux, Usages et Climat du Clain lancée en 2019 par l'Établissement Public Territorial du Bassin de la Vienne mais interrompue avant son terme) et ne repose qu'en partie sur la substitution⁶, bien que le sous-bassin du Clain soit en Zone de Répartition des Eaux (ZRE) depuis 1994.



©Erminig Gwenn - Le Clain à Poitiers - Licence CC

1 Tribunal administratif de Poitiers 1ère chambre, jugements N° 2102413 et N°2101394 en date du 3 octobre 2023.

2 Tribunal administratif de Poitiers, 11 avril 2023, n° 1800400, 2002802, 2201761.

3 Rapport de la Cour des comptes, [75], page 45. C'est un problème plus large d'études d'impact hydrologique reposant sur des données anciennes, ibid. p. 66 et BRGM, Estimation des volumes prélevables dans les aquifères à nappe libre - retour d'expérience sur les méthodes utilisées, identification des problèmes rencontrés, rapport final, BRGM/RP-64615-FR, mars 2016.

4 Rapport de la Cour des comptes, [75] page 84. Les 11 autres réserves prévues initialement ne sont pas abandonnées mais reportées dans le temps et non prise en compte dans le protocole.

5 Cf. Vienne Nature, « Lettre ouverte aux élus des collectivités locales appelés à donner un avis sur le protocole des réserves du bassin du Clain », 29 septembre 2022.

6 Pour les agriculteurs non raccordés aux réserves, prélèvements maintenus en été sur les volumes libérés par les raccordés ; Préfet de la Vienne, « Protocole du bassin du Clain », novembre 2022, p. 65.

En juin 2023, la CLE a validé cependant une réduction de 30% des volumes prélevables dans le cadre de la mise en œuvre du protocole du bassin du Clain du 3 novembre 2022. Poussé par le préfet de département, en l'absence de PTGE encore à construire, le protocole s'inscrit explicitement dans la continuité du Varenne agricole de l'eau évoqué ci-dessus. Ce document a une force juridique contraignante¹ et doit garantir le respect des plafonds de prélèvement par les organismes d'irrigants concernés. La création d'un groupement d'intérêt public (GIP) est censée permettre d'associer les collectivités locales à l'application de ce « projet de territoire » et le rendre plus robuste ; mais c'est le préfet qui reste garant du respect du protocole et de la bonne exécution des éventuelles sanctions.

Les agences apportent leur contribution au financement des retenues de substitution, dans le cadre de PTGE ou de projets de territoires validés par les CLE. Ces compromis négociés entre acteurs locaux explorent la voie des baisses de prélèvements compensées par des pratiques plus économes et efficaces, le développement d'une agriculture de conservation des sols, ou la rémunération des agriculteurs pour leurs efforts (paiements pour services environnemen-

taux, contrats d'agriculture durable...). Des pratiques d'agriculture de conservation des sols permettent par exemple, pour le même niveau de pluviométrie, d'augmenter la disponibilité en eau au niveau des parcelles cultivées en jouant sur une meilleure structure du sol. Pour les associations cependant les engagements environnementaux figurant dans ces protocoles locaux sont notoirement insuffisants. « Malgré le volet sobriété défendu par les PTGE et repris dans certains protocoles d'accord, le raccordement aux réserves n'est pas conditionné a priori à des pratiques plus économes en eau et plus vertueuses pour la qualité de l'eau »².

L'encadrement des projets de réserves d'eau doit donc être renforcé et non pas allégé, comme le réclament certains acteurs du monde agricole. Cette instruction des projets doit pouvoir aller à son terme dans le respect du droit et des données scientifiques objectives sur la ressource et le milieu. Avant d'autoriser de nouveaux projets, l'autorité préfectorale doit vérifier que les études d'impact prennent bien en compte toutes les dimensions pertinentes et tenir compte des critiques argumentées formulées lors des enquêtes d'utilité publique, comme l'y invitent les jugements du tribunal administratif précités.



BON À SAVOIR

Certains projets ont défrayé la chronique et contribué à alimenter la polémique sur les réserves d'eau à usage agricole. Ainsi, la réserve de Caussade dans le Lot-et-Garonne est une bonne illustration de ce qu'il convient de ne pas faire. Financée et construite par la Chambre d'agriculture du Lot-et-Garonne, en contradiction avec le SDAGE et hors tout PTGE, cette réserve d'eau d'une superficie de 20 ha et d'une contenance de 920 000 m³, a été déclarée illégale et mal construite par la justice administrative, mais les jugements répétés exigeant la destruction du barrage et la remise en état initial du site n'ont jamais été respectés par les contrevenants, qui se sont d'ailleurs opposés physiquement à l'action de la force publique. L'État, qui a les moyens, par la liquidation de l'astreinte financière à laquelle a été condamnée la Chambre 47, de faire respecter les décisions de droit, s'en est abstenu, en raison des interventions politiques d'élu du territoire au plus haut niveau de l'État. Les responsables de la Chambre ont également fait l'objet de condamnations au pénal – allégées en appel – sans jamais perdre leurs soutiens politiques locaux et dans le monde institutionnel agricole, au sein duquel on ne les désavoue qu'à voix basse.

Pourtant, cette affaire a fortement porté atteinte à la crédibilité des irrigants dans l'opinion publique urbaine, d'autant que la différence de traitement politique et juridique dans ce cas et dans celui des manifestants contre les bassines des Deux-Sèvres a frappé de nombreux observateurs³.

1 Pour une étude juridique de ces obligations, Benoît Grimonprez et Manon Roger, 2023, [80]. Les obligations les plus précises cependant, ne portent pas sur la gestion quantitative de l'eau, mais sur la qualité de l'eau et les milieux terrestres. Toutefois, les coopératives d'irrigants concernées doivent réserver, selon des modalités encore floues, une fraction des volumes captés en hiver pour des productions de type maraîchage, arboriculture, vente directe, identifiées comme prioritaires localement.

2 Rapport de la Cour des comptes, [75], page 84.

3 Stéphane Foucart, « Mégabassines : La débauche de moyens dépêchés par l'État contre les opposants contraste avec la tranquillité dont jouissent les tenants de l'agro-industrie », Le Monde, 26 mars 2023.



Les cultivateurs Trézence Boutonne produisent du chanvre : donc préserver l'eau - ©Les Cultivateurs de Chanvre Trézence Boutonne - Photo lauréate du concours 2023 Acclima Terra « La Nature que je veux préserver »

3.4

DÉFINIR DES PRIORITÉS D'ADAPTATION DANS UNE PERSPECTIVE DE LONG TERME

Une partie des irrigants de Nouvelle-Aquitaine, ayant pris conscience de la moindre disponibilité de la ressource, mettent déjà en place des mesures mêlant sobriété dans l'usage (optimisation des techniques d'irrigation) et adaptation d'ajustement (diversification des assolements, couverture permanente des sols, réintroduction de haies), notamment sur des exploitations pilotes (cf. encadrés).

RETOURS D'EXPÉRIENCE DES AGRICULTEURS

Les agriculteurs sont confrontés au quotidien aux aléas météorologiques et sont en première ligne pour observer les impacts du changement climatique sur leurs exploitations. Dans le cadre de ce cahier thématique, nous avons choisi de mettre en valeur leurs retours d'expérience. Trois agriculteurs Guillaume CHAMOULEAU (GC) dont l'exploitation se situe en Charente, Daniel PHILIPPE (DP) en Gironde et Jean Luc CAPES (JLC) dans les Landes, ont répondu à deux questions :

1 - Avez-vous observé des impacts du changement climatique dans votre exploitation ? Si oui, comment se sont-ils manifestés ?

GC : Les variabilités annuelles ont toujours existé. Les quatre saisons étaient assez bien marquées mais depuis quelques années (3-5 ans), il y a eu une évolution qui tend vers deux saisons avec un manque de froid et des changements brusques entre sec et humide. Des variations dans les régimes pluviométriques sont aussi observables avec le recul de la pluie à l'automne et puis, plus loin au printemps. En termes de quantité, le volume reste similaire mais est réparti différemment tout au long de l'année. Concernant les températures, les hivers sont plus doux avec des à-coups chauds et secs pendant le printemps (parfois les deux en même temps). Les températures moyennes sont quant à elles, plus élevées. Une caractéristique actuellement est de voir des excès qui se traduisent plus dans le manque que dans le surplus.

DP : L'aspect le plus visible est le changement dans le calendrier de semis et de récoltes de cultures. Il y a 40 ans le maïs n'était jamais semé avant le 6 avril et à Noël il n'était toujours pas ramassé. De nos jours, il est possible de semer le maïs le 25 mars si le temps sec le permet, et de le récolter fin octobre.

JLC : Cette exploitation est dans le nord-est des Landes, sur des sables plutôt grossiers, dans une partie du territoire majoritairement forestière. En prenant les 10 dernières années, ce qui est plus marquant est l'amplitude des excès. Des épisodes comme la canicule de 2022 (qui était similaire à celle de 2003) ont été compliqués mais aussi les années avec beaucoup de pluie (2013, 2021) qui ont finalement fait « plus de mal ». Quand les excès d'eau se produisent pendant le printemps, les récoltes ne sont pas bonnes. Cette exploitation produit du maïs, du tournesol et des légumes comme les haricots verts.

2 - Comment avez-vous fait face à ces changements ? Avez-vous appliqué des adaptations dans votre exploitation notamment sur la ressource en eau, les cultures, etc. ?

GC : Il y a une adaptation dans les cultures avec des semis qui se font plus tard, en octobre et novembre pour le maïs ou le blé. Mais une capacité de semer plus précocement au printemps pour le maïs par exemple implique que le cycle de la plante finit plus tôt dans l'année. Il y a des désavantages et des avantages également car récolter le maïs sur des périodes plus sèches permet une économie d'énergie car il n'y a plus besoin de le sécher artificiellement. En revanche, l'arrière-saison du colza n'est pas de nature favorable car il sèche plus rapidement ce qui met en difficulté la couverture végétale de l'été. L'adaptation la plus importante est d'être réactif par rapport à la météo. Les éléments traditionnels ne sont plus des repères. Pour les agriculteurs « un bon temps est celui qui ne dure jamais longtemps ». Un autre aspect est de travailler sur la résilience du sol avec une semence en semi-direct ce qui permet au sol de retrouver un rôle d'éponge soit à la chaleur soit à l'eau. C'est un travail à long-terme mais qui permet d'avoir de meilleures conditions en termes de qualité, de fertilité et de rendement. La difficulté réside dans l'anticipation sur les périodes de disponibilité ou d'absence de l'eau pour savoir quelle culture semer notamment pour faire de la couverture végétale. Quand l'accès à l'eau est assuré (ce qui ne l'est pas pour l'ensemble de cette exploitation), cela permet d'assurer le début de la croissance végétale.

DP : L'adaptation la plus importante est celle de gérer le calendrier de semis qui est avancé d'environ trois semaines. Sur cette exploitation, il n'y a pas eu de changement de cultures maïs plutôt de l'optimisation du rendement du maïs. Aussi, actuellement il est privilégié le travail du sol en semi-direct plutôt que le labour, technique plus invasive qui était davantage utilisée par le passé. Aussi, il a été vu que laisser la couverture végétale sur les champs permet de mieux travailler les sols avec moins d'énergie mécanique et de les rendre plus fertiles. Cependant, le taux d'humidité n'a pas été mesuré pour estimer s'il existe une économie d'eau.

JLC : Actuellement, l'exploitation a une assurance récolte pour pallier les mauvaises années. Pour les années plus humides, les solutions implémentées sont de patienter et d'avoir un drainage pour enlever l'excès d'eau. Pour les années plus sèches, la végétation à cycle court est privilégiée, ce qui permet aussi de raccourcir la période d'irrigation et de pallier les restrictions liées au pompage. Ces parcelles, comme la majorité des surfaces agricoles, sont équipées avec des sondes capacitatives qui permettent de mesurer l'humidité du sol et ainsi déclencher l'irrigation des parcelles avec une quantité nécessaire d'eau.

Entretiens réalisés par téléphone en octobre 2023.



FERMES PILOTES

En 2022, le groupe OGAYA* a créé un réseau de fermes « PILOTES » appelé « OGAYA fermes » pour l'adaptation au changement climatique et la transition agro-écologique des systèmes irrigués du bassin Adour-Garonne.

Ce réseau doit permettre d'accompagner les exploitants dans l'évolution de leurs pratiques et expérimenter collectivement :

- Partager des expériences et des connaissances entre agriculteurs et conseillers sur les pratiques efficaces de l'eau ;
- Développer des pratiques innovantes d'utilisation de l'eau agricole ;
- Capitaliser des données technico-économiques chiffrées ;
- Évaluer les performances des pratiques mises en œuvre.

Pour démarrer, le réseau est constitué de 24 fermes réparties sur l'ensemble du bassin Adour-Garonne. Ce réseau

a l'ambition de représenter la diversité géographique et agricole du bassin Adour-Garonne.

L'intégration au réseau se fait sur la base du volontariat. Il est ouvert aux exploitations individuelles ou faisant déjà partie d'un groupe/réseau et qui souhaitent s'engager dans une démarche d'optimisation de l'usage de l'eau agricole ou étant déjà performant sur une ou plusieurs pratiques innovantes. Le réseau se veut représentatif et devra donc dans cet objectif, couvrir un maximum de filières.

Source : Chambre d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine

*OGAYA est le programme d'accompagnement technique des irrigants du bassin Adour-Garonne. Il est coordonné par les Chambres régionales d'agriculture d'Occitanie et de Nouvelle-Aquitaine et associe toutes les Chambres départementales.



Toutefois, c'est une transformation plus profonde du modèle agricole et alimentaire qui est nécessaire, pour le rendre durablement moins dépendant d'une ressource en eau de moins en moins abondante. Une approche en termes de résilience alimentaire des territoires paraît plus en phase avec les exigences d'une adaptation transformationnelle au changement climatique. Cette transition écologique agricole privilégie les circuits courts, la satisfaction des besoins alimentaires du territoire plutôt que l'exportation, les productions économes en eau et les services écosystémiques fournis par l'agriculture – biodiversité, zones humides et séquestration carbone – lesquels sont encore trop peu valorisés dans la PAC 2023-27, puisque la majorité des aides reste constituée de paiements directs à l'hectare. Il serait absurde de séparer la question de l'eau de celle de la transition écologique profonde que doit effectuer l'agriculture française et pour laquelle il manque encore, en France, un cadre ambitieux et contraignant.

Face à la moindre disponibilité de la ressource en eau, l'adaptation aux conditions climatiques de plus en plus rigoureuses impliquera de distinguer entre les filières agricoles, les cultures ou les types de pratiques à prioriser pour l'irrigation. En l'état de la réglementation, les volumes octroyés par les AUP ou répartis entre les irrigants ne sont pas assortis de conditions spécifiques ni dans le choix des cultures, ni quant au pilotage de l'apport d'eau aux plantes. Bénéficiaire d'un « quota » d'eau, chaque exploitant détermine sa propre stratégie culturale (assolements, gestion du sol et des plantes, filière) qui ne coïncide pas forcément avec l'impératif de sobriété hydrique [82]. Dans les territoires où des organismes uniques de gestion collective (OUGC) pour l'irrigation existent, des critères de répartition des droits d'usage de l'eau peuvent être stipulés dans leur règlement intérieur. Cependant, il est douteux que ces règlements intérieurs puissent vraiment être opposables aux irrigants individuels [83][84]. Dans les faits, la logique historique, c'est-à-dire les volumes anciennement alloués, prime toujours pour déterminer la quantité d'eau à laquelle chaque exploitant a droit. Seuls actuellement les dispositifs de crise - « arrêts sécheresse » - par le biais de dérogations accordées par les préfets aux restrictions d'usage, introduisent des discriminations entre filières (ex. production de semences). Il n'existe cependant pas de cadre juridique clair ni de mécanisme de

délibération collective transparent pour opérer de tels arbitrages.

Une option serait que la police de l'eau – nom donné aux autorisations préfectorales - intègre, dans sa matrice, les préceptes de « l'irrigation de résilience » [85][86]. Celle-ci peut être définie comme une irrigation visant une conduite optimisée des productions et non une maximisation du rendement [83][84][87]. Pour être effectif, ce principe impliquerait de créer un régime d'éco-conditionnalité des autorisations de prélèvement. Par exemple, le contenu des quotas d'irrigation préciserait les types de cultures pouvant en bénéficier en fonction du contexte pédoclimatique, voire la destination des productions (filiale locale, export...). Il appartiendrait à chaque bassin, dans son projet de territoire, de déterminer sous quelles conditions l'arrosage du maïs en particulier peut perdurer, compte tenu de ses impacts sur les aquifères. Reprenant ce programme, l'État, en contrepartie de l'accès à l'eau, pourrait prescrire l'usage de techniques d'irrigation efficaces (micro-irrigation, outils d'aide à la décision), ou encore la mise en place de pratiques agroécologiques reconnues bénéfiques pour l'infiltration de l'eau, son stockage dans les sols ou la biomasse (ex. agriculture de conservation des sols, diversification végétale, réduction des pesticides, infrastructures semi-naturelles...). Dans ce schéma, chaque utilisateur de l'eau devrait adapter son itinéraire technico-économique à l'état de la ressource en eau (et non l'inverse). Mieux, il devrait contribuer, par l'aménagement de ses parcelles et donc du paysage, à la régénérer (hydrologie régénérative). Ces changements qualitatifs auraient de surcroît le mérite de rendre plus soutenables les stratégies de stockage d'une partie raisonnable de la ressource, et donc de réduire les conflits liés à l'usage de l'eau. Ils supposent, cependant un dialogue apaisé et approfondi entre toutes les parties prenantes dans le cadre d'une gouvernance locale de l'eau plus ouverte et transparente.

Conclusion

Le changement climatique dans notre région induira une diminution de la disponibilité des ressources en eau, que ce soit en surface ou en sous-sol. Il induira aussi une augmentation de l'évaporation et du ruissellement au détriment de l'infiltration dans le sol et de la percolation de l'eau dans le sous-sol vers les nappes. Toutefois, comme le montre le chapitre 1, la situation doit être appréciée de façon nuancée à l'échelle des territoires sous-régionaux, qui se différencient à la fois par leurs caractéristiques hydrogéologiques, leurs sols mais aussi les effets localisés du changement climatique (régime des pluies par exemple).

Or, la rétention et le transfert de l'eau dans les sols sont notamment affectés par les pratiques agricoles. Les systèmes en agriculture de conservation, combinant diversification des cultures, couverture maximale des sols par des couverts vivants ou un mulch (paillage de résidus organiques) et réduction/suppression des opérations de travail du sol, s'avèrent bien plus favorables pour limiter les effets de précipitations de forte intensité, limiter le ruissellement en favorisant l'infiltration de l'eau de pluie et donc rallonger le cycle de l'eau dans les territoires.

Dans une région à l'agriculture aussi diversifiée en termes de filières et de pratiques agricoles, comme le rappelle le chapitre 2, il convient de réfléchir l'adaptation à l'échelle de chaque filière mais aussi de chaque exploitation. Les mesures de sobriété dans l'usage de l'eau sont indispensables mais ne suffiront pas.

Les stratégies de stockage de l'eau doivent être pensées en fonction des caractéristiques agropédologiques du territoire et celles de son agriculture. Les réserves et retenues de substitution peuvent se justifier dans des zones de forte tension autour de la ressource, en raison d'une mauvaise adéquation entre les conditions agropédologiques et l'évolution des systèmes agricoles du territoire. Il existe cependant des alternatives comme le développement de l'agriculture de précision pour améliorer l'utilisation de l'eau (rentable pour des cultures dont le contexte de prix est favorable), l'implantation de variétés plus résistantes aux fortes sécheresses et moins gourmandes en eau, l'agriculture de conservation des sols. Il est même possible d'aller au-delà du secteur agricole et de valoriser la ressource en eau par l'aval de la filière, en adaptant les cahiers des charges de l'industrie agro-alimentaire et en sensibilisant les consommateurs à la nécessité

de mieux utiliser une ressource précieuse. Une évolution des pratiques d'usage de l'eau en milieu urbain est inséparable de l'effort requis des irrigants.

Certains cas très médiatisés de projets de réserves d'eau, rappelés dans le chapitre 3, ont beaucoup contribué à la polarisation politique autour de cette démarche, obscurcissant largement le débat de fond. Or, le monde agricole ne peut pas espérer fonder la légitimité de ses demandes d'accès à l'eau sur le fait accompli, y compris dans l'illégalité¹, et le lobbying politique. La moindre disponibilité de la ressource en eau est un problème qui est là pour durer dans nos territoires et il va s'amplifier dans les décennies à venir.

Face aux inquiétudes tout aussi légitimes d'une part croissante de la population quant à l'état de l'environnement, des zones humides et des rivières notamment, il faut d'abord recréer les conditions d'un débat plus rationnel et plus démocratique sur le partage de la ressource en eau dans les territoires. Cela passe d'abord par l'impartialité de l'État dans l'application du droit et une meilleure prise en compte des données scientifiques. Faire accepter les réserves d'eau de substitution là où elles sont indispensables et supportables par le milieu, et seulement là, c'est d'abord convaincre le plus grand nombre qu'il s'agit de l'intérêt commun.

Il faudrait aussi que les signaux envoyés par l'État quant à la direction de la politique publique suivie soient dépourvus d'ambiguïté, contrairement à ce qui est ressorti du Varenne agricole de l'eau, qui est venu brouiller le message des Assises de l'eau. Il n'est pas responsable de laisser croire aux acteurs du monde agricole qu'ils peuvent être à l'abri des efforts collectifs et qu'il existerait un quelconque « droit de tirage sur l'eau » justifié par le discours de la souveraineté alimentaire. L'abandon par le gouvernement, début décembre 2023, sous la pression du syndicat agricole majoritaire, des augmentations de la redevance d'irrigation et de la redevance pour pollutions diffuses (sur les produits phytosanitaires), pourtant prévues dans le financement du « plan eau » annoncé au printemps 2023, non seulement prive les agences de l'eau de 47 millions d'euros de recettes supplémentaires, mais constitue l'exemple même du mauvais signal envoyé sur la direction des efforts à fournir.

¹ Dans le cas des réserves d'eau de La Laigne, Cramchaban et La Grève-sur-Mignon (Charente-Maritime), l'annulation de l'autorisation de remplissage et d'exploitation en 2009 a été confirmée en appel l'année suivante. Cela n'a pas empêché leur construction et exploitation. Une nouvelle demande d'autorisation, presque identique à la première, fut déposée en 2015, approuvée par arrêté du préfet ; elle visait à « normaliser » la situation. Ce nouvel arrêté fut à son tour annulé par la justice administrative en 2018, puis en 2022, ce qui n'a eu aucun effet sur l'exploitation de ces ouvrages illégaux.

Bibliographie

- [1] Chambre d'Agriculture Nouvelle-Aquitaine et Agreste Nouvelle-Aquitaine, Recensement agricole 2020, Études n°8, Décembre 2021, DRAAF Nouvelle-Aquitaine.
- [2] ARB NA, 2023. Bilan quantitatif des ressources en eau de Nouvelle-Aquitaine. Année hydrologique 2021-2022. Avril 2023. Agence Régionale de la Biodiversité Nouvelle-Aquitaine. https://www.biodiversite-nouvelle-aquitaine.fr/wp-content/uploads/2023/04/BilanQuantiteNA2021-2022_ARBNA.pdf. [Consulté le 2 novembre 2023].
- [3] Confédération paysanne, 2020. Pour une répartition équitable de l'eau et une irrigation compatible avec les écosystèmes, Supplément à Campagnes Solidaires, n° 365, Octobre 2020.
- [4] Fédération régionale de l'Agriculture Biologique membre FNAB, Gestion quantitative de l'eau, sobriété, partage et priorisation, position publiée le 29 juin 2023.
- [5] CITEPA, 2023. Gaz à effet de serre et polluants atmosphériques. Bilan des émissions en France de 1990 à 2022, Rapport Secten, édition 2023, 575 p.
- [6] Kiehl J.T. and Trenberth K.E., 1997. Earth's Annual Global Mean Energy Budget. Bulletin of the American Meteorological Society. Vol 78, issue 2, pp. 197-208. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<0197:EAGMEB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<0197:EAGMEB>2.0.CO;2).
- [7] DRIAS et MÉTÉO FRANCE, 2020. Aide à la sélection des modèles. Scénario d'émission RCP4.5 à l'horizon 2071-2100 [en ligne]. https://drias-prod.meteo.fr/serveur/simulations_climatiques/Aide_modeles/20200914_DRIAS-ScenarioRCP4.5_support_selection_modeles_v3.pdf?fbclid=IwAR1gtgX5YGmCw9cjZH-2Udti8TMD-WgCbba6Zys_Xv0TMh7S2gYoQvmxShnU.
- [8] O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., Sanderson, B. M., 2016. The Scenario Model Inter-comparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6, *Geoscientific Model Development*, 9, 3461–3482, <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>.
- [9] Moss R., Babiker M., Brinkman S., Calvo E., Carter T., Edmonds J., Elgizouli I., Emori S., Erda L., Hibbard K., Jones R., Kainuma M., Kelleher J., Lamarque J.F., Manning M., Matthews B., Meehl J., Meyer L., Mitchell J., Nakicenovic N., O'Neill B., Pichs R., Riahi K., Rose S., Runci P., Stouffer R., van Vuuren D., Weyant J., Wilbanks T., van Ypersele J.P., Zurek M., 2008. Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 p.
- [10] Moss R., Edmonds J.A., Hibbard K.A., Manning M.R., Rose S.K., van Vuuren D.P., Carter T.R., Emori S., Kainuma M., Kram T., Meehl F.A., Mitchell J.F.B., Nakicenovic N., Riahi K., Smith S.J., Stouffer R., Thomson A. M., Weyant J. P., Wilbanks T.J., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, pp. 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>.
- [11] Glossaire IPCC : https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html
- [12] Carbone4, 2022. Les scénarios SSP. Décryptage et recommandations d'utilisation pour une démarche d'adaptation au changement climatique. <https://www.carbone4.com/publication-scenarios-ssp-adaptation>.
- [13] MTECT - <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/dossiers-thematiques/milieu/montagne#toc-en-dessous-de-2000-m-la-neige-se-fait-plus-rare>. [En ligne] Consulté en novembre 2023.
- [14] Compagnie des eaux de Royan. Découvrez le cycle de l'eau. <https://www.cer-eau.fr/eau-et-environnement/respecter-lenvironnement/decouvrez-le-cycle-de-leau>. [Consulté en novembre 2023].
- [15] Myhre, G., D. Shindell, F.M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [16] Bruand, A., Coquet Y., 2005. Les sols et le cycle de l'eau. *Science du Sol et Environnement*, Dunod, pp. 345-363. <https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/hal-00090203>.
- [17] van Es, H.M., Ogden, C.B., Hill, R.L., Schindelbeck, R.R., Tsegaye, T., 1999. Integrated assessment of space, time, and management-related variability of soil hydraulic properties. *Soil Science Society of America Journal* 63, pp. 1599-1608.
- [18] Horn, R., 2004. Time dependence of soil mechanical properties and pore functions for arable soils. *Soil Science Society of America Journal* 68, pp. 1131-1137.
- [19] Veihmeyer F.J., Hendrickson A.H., 1927. Soil moisture condition in relation to plant growth. *Plant Physiology*, 2: pp. 72–81. <https://doi.org/10.1104/>
- [20] Ritchie, J.T., 1981. Soil water availability, 1981. *Plant Soil* 58(58), pp. 327–338.
- [21] Silva B.M., Silva É.A., Oliveira G.C., Ferreira M.M., Serafim M.E., 2014. Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications. *Soil Processes and Properties • Rev. Bras. Ciênc. Solo* 38 (2), pp. 464–475. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200011>.
- [22] Cousin, I., Buis, S., Lagacherie, P., Doussan, C., Le Bas, C., Guérif, M., 2022. Available water capacity from a multidisciplinary and multiscale viewpoint. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42 (3), 46 p. 10.1007/s13593-022-00774-8. <https://hal.inrae.fr/hal-03689408>.
- [23] Bruand, A., Fernandez, P.N., Duval, O., 2003. Use of class pedotransfer functions based on texture and bulk density of clods to generate water retention curves. *Soil Use and Management* 19, pp. 232–242.

- [24] Mahboubi, A.A., Lal, R., Faussey, N.R., 1993. 28 years of tillage effects on 2 soils in Ohio. *Soil Science Society of America Journal* 57, pp. 506-512.
- [25] Lal, R., 2000. Physical management of soils of the tropics: Priorities for the 21st century. *Soil Science* 165, pp. 191-207.
- [26] Rawls, W.J., Pachepsky, Y.A., Ritchie, J.C., Sobecki, T.M., Bloodworth, H., 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma* 116, pp. 61-76.
- [27] Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., Grace, P., 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture Ecosystems & Environment* 187, pp. 87-105.
- [28] Roman Dobarco M., Bourennane H., Arrouays D., Saby N.P.A., Cousin I., Martin M.P., 2019a. Uncertainty assessment of GlobalSoilMap soil available water capacity products: A French case study. *Geoderma* 344: pp. 14-30. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.036>
- [29] Roman Dobarco M., Cousin I., Le Bas C., Martin M.P., 2019b. Pedotransfer functions for predicting available water capacity in French soils, their applicability domain and associated uncertainty. *Geoderma* 336: pp. 81-95. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.08.022>.
- [30] Green, T.R., Ahuja, L.R., Benjamin, J.G., 2003. Advances and challenges in predicting agricultural management effects on soil hydraulic properties. *Geoderma* 116, pp. 3-27.
- [31] Blanco-Canqui, H., Ruis, S.J., 2018. No-tillage and soil physical environment. *Geoderma* 326, pp. 164-200.
- [32] Spiess, E., Humphrys, C., Richner, W., Schneider, M.K., Piepho, H.P., Chervet, A., Prasuhn, V., 2020. Does no-tillage decrease nitrate leaching compared to ploughing under a long-term crop rotation in Switzerland? *Soil & Tillage Research* 199.
- [33] Alletto, L., Cuffe, S., Bréchemier, J., Lachaussée, M., Derrouch, D., Page, A., Gleizes, B., Perrin, P., Bustillo, V., 2022. Physical properties of soils under conservation agriculture: A multi-site experiment on five soil types in south-western France. *Geoderma* 428, 116228.
- [34] Strudley, M.W., Green, T.R., Ascough, J.C., 2008. Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Soil & Tillage Research* 99, pp. 4-48.
- [35] Lozano, L.A., Soracco, C.G., Cornelis, W.M., Gabriels, D., Sarli, G.O., Villarreal, R., 2013. Anisotropy of Pore Size Classes' Connectivity Related to Soil Structure Under No Tillage. *Soil Science* 178, pp. 612-617.
- [36] Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A., Adiguzel, M.C., 2014. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. *Catena* 118, pp. 195-205.
- [37] Scopel, E., Da Silva, F.A.M., Corbeels, M., Affholder, F.O., Maraux, F., 2004. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. *Agronomie* 24, pp. 383-395.
- [38] Scopel, E., Triomphe, B., Affholder, F., Da Silva, F.A.M., Corbeels, M., Xavier, J.H.V., Lahmar, R., Recous, S., Bernoux, M., Blanchart, E., Mendes, I.D., De Tourdonnet, S., 2013. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33, pp. 113-130.
- [39] Meyer, N., Bergez, J.E., Constantin, J., Justes, E., 2019. Cover crops reduce water drainage in temperate climates: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development* 39.
- [40] ARB NA, 2023. Chiffres clés de l'eau en Nouvelle-Aquitaine – Autour de la stratégie régionale de l'eau. Edition 2023, 28 p. https://www.biodiversite-nouvelle-aquitaine.fr/wp-content/uploads/2023/06/Chiffres-cles_SRE_2023_web.pdf.
- [41] ARB NA, 2022. Bilan quantitatif des ressources en eau de Nouvelle-Aquitaine. Année hydrologique 2020-2021. 30 p. https://www.biodiversite-nouvelle-aquitaine.fr/wp-content/uploads/2022/04/BilanQuantite-NA2020-2021_ARBNA.pdf.
- [42] AGRESTE, 2017. Pratiques d'élevage 2015 – Élevages de bovins | Agreste, la statistique agricole [en ligne]. [Consulté le 5 août 2023]. Disponible à l'adresse : <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/diaporon/ChdAgr246/detail/>.
- [43] Carluer N., Babut M., Belliard J., Bernez I., Burger-Leenhardt D., Dorioz J.M., Douez O., Dufour S., Grimaldi C., Habets F., Le Bissonnais Y., Molénat J., Rollet A.J., Rosset V., Sauvage S., Usseglio-Polatera P., Leblanc B., 2016. Expertise scientifique collective sur l'impact cumulé des retenues. Rapport de synthèse. 82 p + annexes.
- [44] Carluer N., Babut M., Belliard J., Bernez I., Leblanc B., Burger-Leenhardt D., Dorioz J.M., Douez O., Dufour S., Grimaldi C., Habets F., Le Bissonnais Y., Molénat J., Rollet A.J., Rosset V., Sauvage S., Usseglio-Polatera P., 2017. Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique. Expertise scientifique collective (Irstea).
- [45] Coop de l'eau 79. Réserves collectives de substitution de prélèvements en eaux sur le bassin de la Sèvre Niortaise. Dans le cadre du contrat territorial de gestion quantitative du bassin de la Sèvre niortaise de sa source à la confluence du mignon. Mémoire du pétitionnaire en réponse aux interventions présentées par la commission d'enquête publique. Mai 2017, 210 p. <https://www.deux-sevres.gouv.fr/content/telechargement/22526/181789/file/n%4+retenues+memoire+en+reponse.pdf>.
- [46] INRAE. Publication du 19 mai 2016. Impact cumulé des retenues d'eau sur le milieu aquatique. <https://www.inrae.fr/actualites/impact-cumule-retenu-es-deau-milieu-aquatique>. [Consulté en septembre 2023].
- [47] SAGE. Disposition II.10. <https://smeagfr.sharepoint.com/:b/g/EVbG40gjGoBGoP85aAfURhABD-ZUQ9BSwUEDQCJCqEH6eEg?e=qnFHNr>.
- [48] Projet LIFE Eau & Climat - <https://www.gesteau.fr/life-eau-climat/presentation>.
- [49] Projet Explore2 - <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>.
- [50] Boudon A., Khelil-Arfa H., Thomas-Morel M., Banville M., Pham T.H.V., Ménard J.L., Brunschwig P., Huneau T., Coutant S., Lamy J.M., Faverdin P., 2012. Construc-

- tion et validation d'un modèle de prédiction des besoins en eau des vaches laitières incluant l'effet de la température ambiante. *Rencontres Recherche Ruminants*. Décembre 2012. Vol. 19, pp. 177-180.
- [51] Boudon A., Khelil-Arfa H., Ménard J.L., Brunschwig P., Faverdin P., 2013. Les besoins en eau d'abreuvement des bovins laitiers : déterminismes physiologiques et quantification. INRAE Productions Animales. 18 juin 2013. Vol. 26, n° 3, pp. 249-262. DOI 10.20870/productions-animales.2013.26.3.3153.
- [52] Wattiaux M.A, 2005. Heifer raiding - Birth to weaning 31. Neonatal diarrhea. pp. 121-124.
- [53] Khelil-Arfa H., Boudon A., Maxin G., Faverdin P., 2012. Prediction of water intake and excretion flows in Holstein dairy cows under thermoneutral conditions. *Animal*, 6, pp. 1662-1676.
- [54] ANSES, 2010. 2008-SA-0162 : État des lieux des pratiques et recommandations relatives à la qualité sanitaire de l'eau d'abreuvement des animaux d'élevage.
- [55] INRA, 2018. Alimentation des ruminants : INRA. Versailles (France) : Editions Quae. ISBN 978-2-7592-2867-6. 636.084 ALI.
- [56] COOPÉRATIVE ALYSÉ ÉLEVAGE, 2023. Dépendance à l'eau au pâturage - Retour de l'enquête. [En ligne]. 2 février 2023. [Consulté le 4 mai 2023]. Disponible à l'adresse : <http://www.alyse-elevage.fr/dependance-a-leau-au-paturage-retour-de-lenquete/>.
- [57] IDELE, 2021. ACLIMEL - Les conséquences en élevage. [En ligne]. 2021. [Consulté le 12 juin 2023]. Disponible à l'adresse : <https://idele.fr/aclimel/comprendre>.
- [58] Gis Sol. Inventaire, Gestion et Conservation Des Sols – IGCS [en ligne]. Disponible sur : <https://www.gissol.fr/le-gis/programmes/inventaire-gestion-et-conservation-des-sols-igcs-67> [consulté en août 2023].
- [59] Pons, A., Allamy, L., Schüttler, A., Rauhut, D., Thibon, C., Darriet, P., 2017. What is the expected impact of climate change on wine aroma compounds and their precursors in grape?. *OENO one*, 51(2), pp. 141-146.
- [60] van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., Pieri, P., Parker, A., de Rességuier, L., Ollat, N., 2019. An update on the impact of climate change in viticulture and potential adaptations. *Agronomy*, 9(9), 514.
- [61] van Leeuwen, C., Seguin, G., 2006. The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research*, 17(1), pp. 1-10.
- [62] Destrac A., van Leeuwen C., 2017. VitAdapt : an experimental program to study the behavior of a wide range of Vitis vinifera varieties in a context of climate change in the Bordeaux vineyards. Climwine, sustainable grape and wine production in the context of climate change, 11-13 April 2016, Bordeaux. Poster. Full text proceedings paper, pp. 165-171.
- [63] Dayer, S., Lamarque, L. J., Burrett, R., Bortolami, G., Delzon, S., Herrera, J. C., Cochard, H., Gambetta, G.A., 2022. Model-assisted ideotyping reveals trait syndromes to adapt viticulture to a drier climate. *Plant Physiology*, 190(3), pp. 1673-1686.
- [64] Peccoux, A., 2011. Molecular and physiological characterization of grapevine rootstock adaptation to drought. Université Bordeaux-Segalen]. Bordeaux.
- [65] Bauerle, T. L., 2008. Root foraging in response to heterogeneous soil moisture in two grapevines that differ in potential growth rate. *The New Phytologist*, 179(3), pp. 857-866. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02489.x>.
- [66] Tandonnet, J.-P., 2018. Genetic architecture of aerial and root traits in field-grown grafted grapevines is largely independent [journal article]. *Theoretical and Applied Genetics*, 131(4), pp. 903-915. <https://doi.org/10.1007/s00122-017-3046-6>.
- [67] Bianchi, D., Baricelli, B., Gambetta, G., Ollat, N., Marguerit, E., 2022. The rootstock, the neglected player in the scion transpiration even during the night. Paper presented at the XIVth International Terroir Congress and 2ndClimWine Symposium, Bordeaux.
- [68] Marguerit, E., 2012. Rootstock control of scion transpiration and its acclimation to water deficit are controlled by different genes. *The New Phytologist*, 194(2), pp. 416-429. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04059.x>.
- [69] Marguerit, E., Lagalle, L., Lafargue, M., Tandonnet, J.-P., Goutouly, J. P., Beccavin, I., Roques M., Audeguin L., Ollat N., 2019. GreffAdapt: a relevant experimental vineyard to speed up the selection of grapevine rootstocks. Paper presented at the GiESCO, Thessaloniki, Greece.
- [70] Garnier E, 2019. Trajectoires d'une anthropisation dans la vallée du Doubs, XVIe-XXIe siècles. *Revue Bourgogne-Franche-Comté Nature*, n°30, 2019, pp. 116-139.
- [71] Dienne E., 1891. Histoire des dessèchements des lacs et des marais en France avant 1789, Paris, Champion et Guillaumin.
- [72] Vignau M., 2004, Le Blayais, pays d'Aquitaine, Bordeaux, 84 p.
- [73] Garnier E., De Jéso B., Surville F., 2018. Une mémoire pour une meilleure adaptation au changement climatique ?. In Le Treut H (dir), Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine pour agir dans les territoires, Bordeaux, Région Nouvelle-Aquitaine, 2018, pp. 53-67. <http://www.acclimaterre.fr/uploads/2018/05/Rapport-AcclimaTerra.pdf>.
- [74] Grimont B., 2021. Le droit de l'eau en milieu rural, Éditions la France agricole, 300p.
- [75] Cour des comptes, 2023. La gestion quantitative de l'eau en période de changement climatique. Exercices 2016-2022, 156 p.
- [76] Agence de l'eau Adour-Garonne, 2020. L'état des ressources, gestion quantitative. <https://eau-grandsudouest.fr/usages-enjeux-eau/eau-grand-sud-ouest/etat-ressources-gestion-quantitative>. [Consulté en novembre 2023].
- [77] Bourblanc, M., 2019. L'agriculture à l'épreuve de l'environnement : Trente ans de lutte pour la qualité des eaux en Bretagne. L'Harmattan, 282 p.

- [78] Barone S., Mayaux P-L, 2019. Les politiques de l'eau, Clefs, LGDJ, 153 p. ISBN 978-2-275-06003-3.
- [79] Barone S., 2023, Un verdissement conservateur. État, gestion écologique de l'eau et régulation des rapports entre politiques publiques, mémoire original d'Habilitation à diriger des recherches, Sciences Po Paris.
- [80] Grimonprez B., Roger M., 2023. Étude d'impact juridique du Protocole du Bassin du Clain. Institut de droit rural - Université de Poitiers. {hal-04237325}.
- [81] Prud'homme L., Tuffnell F., 2020. Mission d'information sur la gestion des conflits d'usage en situation de pénurie d'eau, Assemblée nationale, p. 30.
- [82] Schneider L., 2023. Partager l'eau d'irrigation par quotas dans les bassins versants déficitaires : quels usages de cet outil par les agriculteurs irrigants ?, Thèse Montpellier SupAgro, École doctorale Économie Gestion de Montpellier.
- [83] Rapport CGEDD n° 13017-01 et CGAAER n° 19089, Bilan du dispositif des organismes uniques de gestion collective (OUGC) des prélèvements d'eau pour l'irrigation, 2020.
- [84] Rapport CGAAER n° 19056 et CGEDD n° 12819-01, « Changement climatique, eau, agriculture - Quelles trajectoires d'ici 2050 ? », 2020.
- [85] Grimonprez, B., 2023. Agriculture et sécheresse : la pénurie de droit ?, Revue de droit rural 2023, dossier 22.
- [86] Grimonprez B., 2023. Politique de gestion de l'eau : le mieux est l'ami du moins, L'Actualité Nouvelle-Aquitaine, n° 136 spécial Eau, été 2023, 90 p.
- [87] Dossier INRAE, « Irriguer différemment », 3 juin 2022 : <https://www.inrae.fr/dossiers/lagriculture-va-t-elle-manquer-deau/irriguer-differemment>.



Contributeurs et relecteurs



Alleto Lionel
INRAE UMR AGIR



Caner Laurent
R3 Naiades -
Université de Poitiers



Dupuy Alain
BRGM, AcclimaTerra



Hugues Virginie
Consultante
indépendante Climat
& Environnement



Marcher Clémence
AcclimaTerra



Savignan Lionel
Bordeaux Sciences
Agro



Barat Xavier
Innov-Eco2



Chéry Philippe
Bordeaux Sciences
Agro



Ellies-Oury
Marie-Pierre
Bordeaux Sciences
Agro



Jalabert Stéphanie
Bordeaux Sciences
Agro



Marguerit Elisa
Bordeaux Sciences
Agro, ISVV, UMR EGFV



Taabni Mohamed
Université de Poitiers,
RURALITES



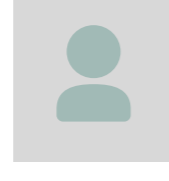
Barone Sylvain
INRAE, UMR G-EAU,
Université de
Montpellier



Compagnon Daniel
Centre Émile
Durkheim, Sciences
Po Bordeaux,
AcclimaTerra



Ferrière Simon
France Stratégie



Joussein Emmanuel
R3 Naiades -
Université de Limoges



Métayer Nicolas
Solagro



Thomas Alban
INRAE, Laboratoire
d'Economie Appliquée
de Grenoble (GAEL)



Cabaret Olivier
BRGM



Couptry Bruno
TREE, CNRS, EAUCEA



Garnier Emmanuel
CNRS, Université
Franche Comté



Labanowski Jérôme
IC2MP, CNRS,
Université de Poitiers



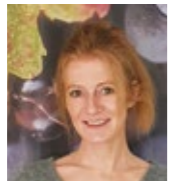
Ollat Nathalie
Bordeaux Sciences
Agro, ISVV, UMR EGFV



Van Leeuwen
Cornelis
Bordeaux Sciences
Agro, ISVV, UMR EGFV



Cabaret Yohana
AcclimaTerra



Destrac-Irvine Agnès
Bordeaux Sciences
Agro, ISVV, UMR EGFV



Grimonprez Benoît
Université de Poitiers



Lee Alexandre
Bordeaux Sciences
Agro



Pantarotto Maxime
SMEAG

GESTION QUANTITATIVE DE L'EAU ET USAGES AGRICOLES SOUS CONTRAINTES CLIMATIQUES

Cahier thématique AcclimaTerra n°4

Citation : AcclimaTerra, Compagnon D., Dupuy A.,
Ellies-Oury MP. (Coord). Gestion quantitative de l'eau
et usages agricoles sous contraintes climatiques –
Cahier N° 4. Éditions AcclimaTerra, 2024, 68 p.

ISBN : 978-2-9574665-4-2

Format : 21 x 29,7 cm

Design et mise en page :

Iti Communication
www.iti-communication.com / 05 55 04 20 19

Impression :

Imprimerie Laplante
www.laplante.fr / 05 56 97 15 05



RÉGION
**Nouvelle-
Aquitaine**

Agissons aujourd'hui, **réinventons** demain

