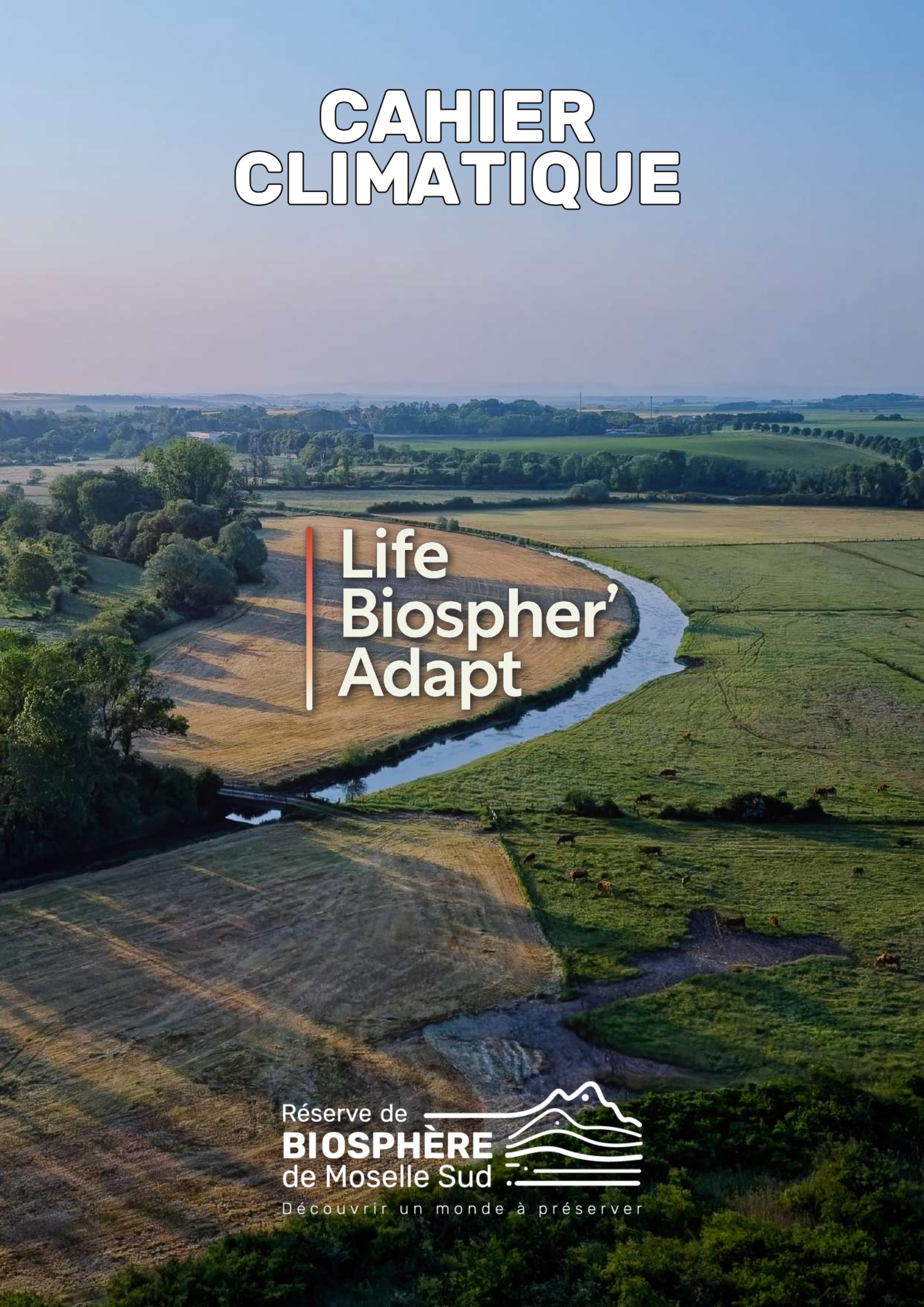
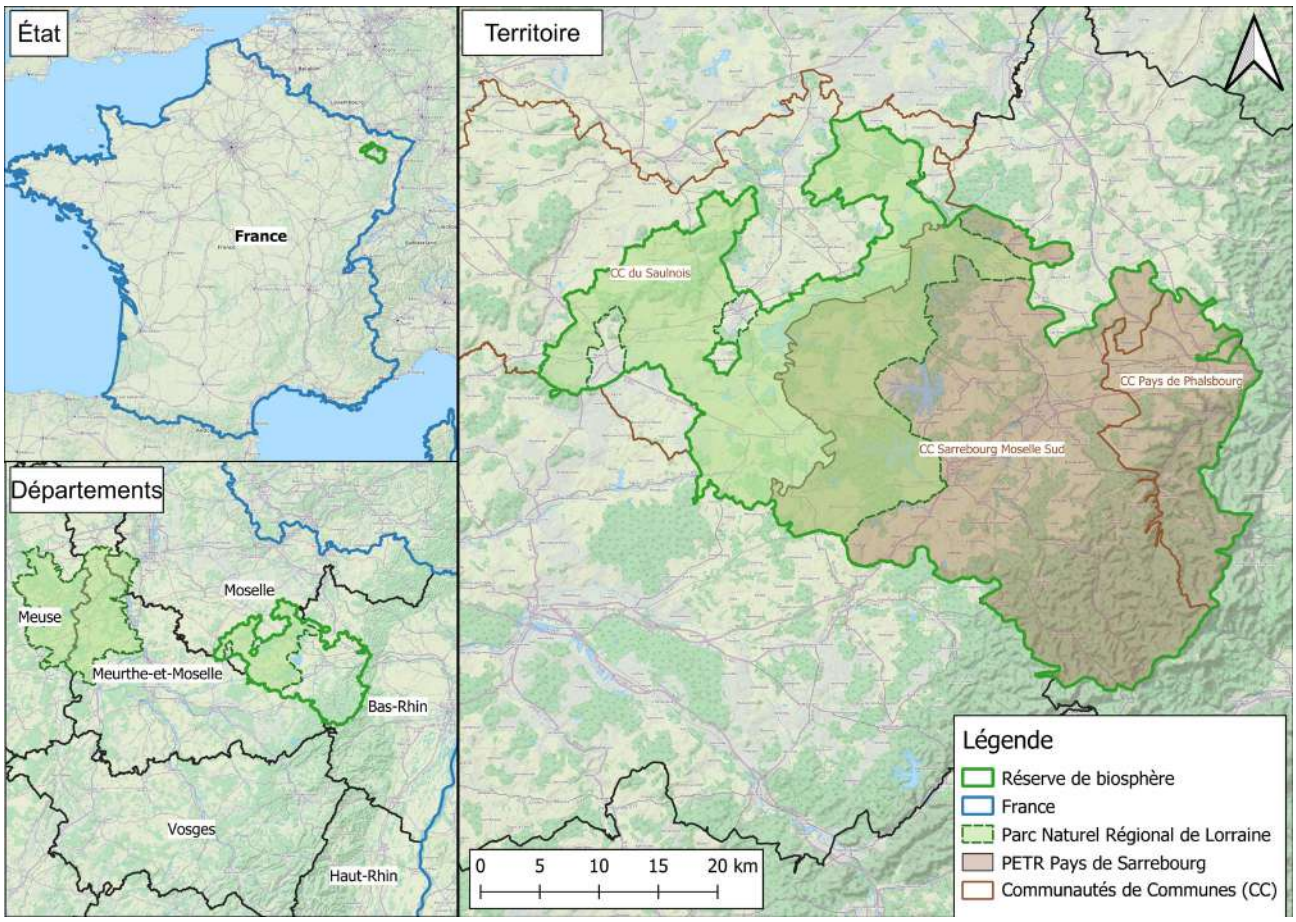
CAHIER CLIMATIQUE



Life Biospher' Adapt

Réserve de
BIOSPHÈRE
de Moselle Sud
Découvrir un monde à préserver



Les collectivités territoriales souhaitent remercier chaleureusement toutes les personnes ayant participé à cet ouvrage collectif, et tout particulièrement les membres du Conseil scientifique commun de la Réserve de biosphère de Moselle Sud et du Parc naturel régional de Lorraine. Ce cahier climatique a été réalisé par le PETR du Pays de Sarrebourg dans le cadre du projet LIFE BIOSPHER'ADAPT soutenu par des financements européens, par le Ministère de la Transition Écologique et la Banque des Territoires.

La liste des références scientifiques est disponible dans la bibliographie en fin de document.

Photos d'illustrations : Association Faune et Flore Grand Est ; Marc ALBRECHT.
Page de couverture : Paysage rural à Vic-sur-Seille.
Date de publication : Septembre 2026.

Pour citer ce document :

Francis MARTIN et al., 2026. *Cahier climatique de la Réserve de biosphère de Moselle Sud*. Rapport scientifique, LIFE BIOSPHER'ADAPT, 166 p.

Communauté de Communes Sarrebourg Moselle Sud
PETR Pays de Sarrebourg – Pôle d'équilibre territorial et rural
Communauté de Communes Pays de Phalsbourg
Ministère de la Transition écologique, de la Biodiversité et des Négociations internationales sur le climat et la nature
Co-funded by the European Union
Banque des Territoires – Caisse des Dépôts Groupe

Le projet LIFE BIOSPHER'ADAPT

Le réseau français des Réserves de biosphère se mobilise pour faire face aux défis du changement climatique et anticiper les conséquences considérables qu'il entraine pour tous les acteurs de la société, à travers un projet de coopération emmené par 7 sites pilotes.

Le projet LIFE BIOSPHER'ADAPT vise à répondre aux défis du changement climatique en mettant en place un accompagnement territorial actif et efficace, afin de faire évoluer les pratiques dans les territoires anthropisés. Le projet est mis en œuvre dans sept Réserves de biosphère, des sites reconnus par l'UNESCO qui sont autant de "laboratoires vivants" dédiés à l'expérimentation du développement durable, pour cinq ans (2025-2030) et autour de trois axes :



L'adaptation et **l'expérimentation d'une méthodologie** permettant aux gestionnaires de Réserves de biosphère d'élaborer des **plans d'adaptation au changement climatique** ;

L'accompagnement des gestionnaires et la **mobilisation des acteurs** locaux dans l'adaptation au changement climatique par l'utilisation de **démarches participatives et prospectives** ;

L'expérimentation d'actions concrètes d'adaptation au changement climatique.

Coordonné par l'association MAB France, animateur du réseau national des Réserves de biosphère, le projet réunit **dix autres partenaires :**

Les sept sites d'expérimentation du projet :

Réserve de biosphère du marais Audomarois (PNR des Caps et marais d'Opale)
Réserve de biosphère des Cévennes (PN des Cévennes)
Réserve de biosphère de Moselle Sud (PETR du Pays de Sarrebourg)
Réserve de biosphère des gorges du Gardon (SM des gorges du Gardon)
Réserve de biosphère du Mont Viso (PNR du Queyras)
Réserve de biosphère de l'archipel de Guadeloupe (PN de Guadeloupe)
Réserve de biosphère Entre Loire et Vilane (PNR de Brière et Saint-Nazaire Agglomération)

Les partenaires techniques :

Réserves Naturelles de France
Consorci Centre De Ciencia I tecnologia Forestal De Catalunya
(Centre II UNESCOMAB – basé à Barcelone)

AUTEURS	STRUCTURE
Silvia DE ANGELI	Enseignante chercheuse - *Laboratoire interdisciplinaire des environnements continentaux - Université de Lorraine - CNRS*
Audrey ETIENNE	Docteure en modélisation d'agrosystèmes - *MAELAB*
Augustine FULCRAND	Laboratoire interdisciplinaire des environnements continentaux - *Université de Lorraine - CNRS*
Emmanuel FURTEAU	Coordinateur Réserve de biosphère de Moselle Sud - *Pôle d'Équilibre Territorial et Rural du Pays de Sarrebourg*
Laurent GODÉ	Responsable du pôle connaissance et préservation des milieux naturels - *Parc naturel régional de Lorraine*
Caroline LE ROY	Docteure en sciences de gestion - *Centre de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement - IAE Poitiers*
Francis MARTIN	Directeur de recherche émérite - *INRAE*
Renaud MISSLIN	Docteur en géographie spécialiste en modélisation d'agrosystèmes - *MAELAB*
Tanguy NIEDERLANDER	Chargé de mission LIFE BIOSPHER'ADAPT - *Pôle d'Équilibre Territorial et Rural du Pays de Sarrebourg*
Hélène PERRIN	Chargé de mission mobilité - *Communauté de communes de Sarrebourg Moselle Sud*
Christian PIEDALLU	Ingénieur de recherche à l'UMR SILVA - *AgroParisTech - Université de Lorraine - INRAE*
Marie-Noëlle PONS	Directrice de recherche au Laboratoire Réactions et Génie des Procédés - *Université de Lorraine*
Laurent SAINT-ANDRÉ	Directeur de recherche à l'Unité Biogéochimie des Écosystèmes forestiers - *INRAE*
Damien SCHUHLER	Patrimoine Vivant, association HUManitUS
Élise TEMPLE-BOYER	Enseignante chercheuse à Laboratoire Architecture, Ville, Urbanisme, Environnement - *Université Paris Nanterre*

RELECTURE GLOBALE

Francis MARTIN

Tanguy NIEDERLANDER

Marie-Noëlle PONS

Christian PIEDALLU

COORDINATION DE LA PUBLICATION

Emmanuel FURTEAU

PARTENAIRES TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES

SOMMAIRE

Introduction	7
Évolution du climat de la Réserve de biosphère de Moselle Sud	9
Le climat de la Réserve de Biosphère de Moselle Sud : entre héritage continental et mutations climatiques	10
Un régime thermique aux contrastes saisonniers prononcés	15
Une pluviométrie abondante aux contrastes marqués	17
Une saisonnalité des précipitations en évolution	19
Des précipitations hivernales en légère hausse	20
Le réchauffement climatique, un signal fort, précoce et accéléré	21
La multiplication des journées très chaudes : quand l'exceptionnel devient ordinaire	23
Portrait comparé du climat : hier et aujourd'hui, cinq instantanés pour mesurer le changement	24
Ce que nous disent les données : synthèse	26
Ce que nous réserve l'avenir	27
La ressource en eau	41
Un patrimoine hydrologique et hydraulique d'une grande diversité	42
Histoire locale des socio-hydrosystèmes	43
Aujourd'hui, des étangs-réservoirs sentinelles territoriales des tensions hydriques.	47
Ressource en eau : état des lieux et perspectives	58
L'évolution de l'enneigement du massif des Vosges	71
L'agriculture, les sols agricoles et l'économie rurale	72
Histoire de l'agriculture et des agriculteurs	73
L'agriculture et les agriculteurs d'aujourd'hui : état des lieux et trajectoires	77
Quelles agricultures pour demain et quelles solutions d'adaptation ?	87
Vulnérabilité et résilience du système agricole face aux changements climatiques	94
Les forêts, les sols forestiers et la filière bois	120
Histoire des forêts lorraines	121
Les forêts et la filière bois aujourd'hui : état des lieux, vulnérabilités et trajectoires d'adaptation	125
Quelles forêts pour demain et quelles solutions d'adaptation ?	130
Quelle habitabilité pour demain et quelles solutions d'adaptation ?	135
Regard sur les modes de vie et de l'habitabilité d'hier et d'aujourd'hui	136
L'habitabilité : un nouveau cadre pour penser l'adaptation	141
Comment les habitants définissent-ils un territoire habitable ?	142
Le prisme de l'habitabilité	143
Évaluer les conditions d'habitabilité du territoire : une approche par indicateurs multidimensionnels	144

Quelles actions pour préserver l'habitabilité ?	146
L'attractivité touristique à l'épreuve du changement climatique	148
Une destination dont l'attractivité est intimement liée à son environnement	149
Quand le climat agit sur les ressources, il agit sur le tourisme	149
Une nouvelle lecture de l'attractivité	149
Le climat redistribue les cartes de l'attractivité touristique	150
Quelles énergies et mobilités pour demain ?	153
Le diagnostic énergétique : d'où part-on ?	154
Les potentiels : que peut-on développer ?	155
Les scénarios : quatre trajectoires comparées	156
L'écart avec le SRADDET : un constat assumé	158
Enjeux environnementaux et hiérarchisation du territoire	159
L'évaluation environnementale et suivi	159
La mobilité de la réserve de biosphère et son adaptation	161
Bibliographie	162

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AAPPMA	Associations Agréés de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique
ARS	Agence Régionale de Santé
AUERMS	Association des Usagers des Étangs-Réservoirs de Moselle Sud
CCSMS	CCSMS : Communauté de Communes de Sarrebourg Moselle Sud
CENL	Conservatoire d'Espaces Naturels de Lorraine
CLE	Commission Locale de l'Eau
DCE	Directive Cadre sur l'Eau (directive 2000/60/CE)
DRIAS	Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement
EnR	Énergies Renouvelables
ENS	Espace Naturel Sensible
EPC	Établissements Publics de Coopération Intercommunale
ERC	Éviter, Réduire, Compenser
ESAT	Établissement et Service d'Accompagnement par le Travail
ETP	ETP : L'évapotranspiration potentielle
GEMAPI	Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

GWh	Gigawattheure
INRAE	Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
Loi APER	Loi relative à l'Accélération de la Production d'Énergies Renouvelables (loi n° 2023-175 du 10 mars 2023)
Loi MAPTAM	Loi de Modernisation de l'Action Publique Territoriale et d'Affirmation des Métropoles (loi n° 2014-58 du 27 janvier 2014)
Loi NOTRe	Loi portant Nouvelle Organisation Territoriale de la République (loi n° 2015-991 du 7 août 2015)
MAEC	Mesure Agroenvironnementale et Climatique
MSA	Mutualité Sociale Agricole
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
OTEX	Orientation technico-économique des exploitations agricoles
PAC	Politique Agricole Commune
PAT	Projet Alimentaire Territorial
PETR	Pôle d'Équilibre Territorial et Rural
PNACC-3	Plan National d'Adaptation au Changement Climatique
PNRL	Parc Naturel Régional de Lorraine
RBMS	Réserve de Biosphère de Moselle Sud
RCP	Representative Concentration Pathways
RGP	Registre Parcellaire Graphique
RPP	Règlements Particuliers de Police
SAA	Statistique Agricole Annuelle
SAFRAN	Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SAU	Surface Agricole Utile
SCOT	Schéma de Cohérence Territoriale
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SE	Sociétés et environnements
SRADDET	Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires
SSP	Shared Socioeconomic Pathways
STH	Surface Toujours en Herbe
STICS	Simulateur mulTIdisciplinaire pour les Cultures Standard (modèle de culture INRAE)
SYMSEILLE	Syndicat Mixte du bassin versant de la Seille
TRACC	Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Climat
UGB	Unité Gros Bétail
VNF	Voies Navigables de France
ZAER	Zones d'Accélération des Énergies Renouvelables
ZNIEFF	Zone Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique, inventaire scientifique

TABLE DES FIGURES

Figure 1	*Les types de climats dans la Réserve de biosphère de Moselle Sud*	*13*
Figure 2	*Diagramme Ombrothermique de la station de Danne-et-Quatre-Vents pour la période de 1950-1980*	*19*
Figure 3	*Cumul des précipitations de la station de Danne-et-Quatre-Vents de 1946 à 2023*	*20*
Figure 4	*Cumul des précipitations de la station de Gondrexange de 1946 à 2023*	*21*
Figure 5	*Diagramme ombrothermique de la station de Danne-et-Quatre-Vents pour l'année 2022*	*22*
Figure 6	*Cumuls de précipitations hivernales de la station de Danne-et-Quatre-Vents de 1946 à 2023*	*23*
Figure 7	*Anomalie de la température maximale annuelle de la station de Danne-et-Quatre-Vents par rapport à la période de référence 1961-1990*	*24*
Figure 8	*Graphique illustrant l'évolution du nombre de journées très chaudes de 1946 à 2023*	*26*
Tableau 1	*Décomposition du nom d'un Narratif*	*32*
Tableau 2	*Hypothèse commune aux trois narratifs*	*32*
Tableau 3	*Descriptions des trajectoires des narratifs sélectionnés*	*33*
Tableau 4	*Comparaison entre les scénarios RCP et SSP*	*35*
Tableau 5	*Synthèse des températures par narratifs*	*37*
Figure 9	*Carte des répartitions spatiales des anomalies de températures maximales estivales. Narratif Orange à +4°C*	*37*
Tableau 6	*Synthèse du nombre de jours de gel par narratif*	*38*
Figure 10	*Évolution du nombre de jours de gel Narratif orange à +4 °C*	*39*
Figure 11	*Évolution de la fréquence de nuits tropicales (TRACC +4 °C narratifs orange)*	*40*
Tableau 7	*Synthèse des nuits tropicales par narratif*	*41*
Tableau 8	*Synthèse des précipitations annuelles, hivernales et estivales ainsi que l'évapotranspiration par narratif*	*42*
Figure 12	*Évolution des volumes d'eau prélevés dans l'étang du Stock (à gauche) et variation annuelle de la côte de l'étang (à droite), entre 2000 et 2022*	*49*
Figure 13	*Part des dépassements de seuil de biovolume toxinogène pour chaque site mosellan*	*54*
Figure 14	*Biovolumes relatifs des genres de cyanobactéries toxinogènes lors du dépassement de seuil biovolume de 1mm³/L entre 2010 et 2023 sur les sites mosellans.*	*55*
Figure 15	*Chronologie des dépassements de seuils dans les étangs-réservoirs de Mittersheim et du Stock entraînant des recommandations d'interdiction de baignade*	*56*
Tableau 9	*Étendue des mesures de débits et nom de la station concernée*	*58*
Figure 16	*Évolution des débits des différents cours d'eaux depuis le début de leur suivi*	*59*
Figure 17	*Répartition annuelle des débits mensuels moyens*	*60*
Figure 18	*Éléments statistiques pour la Sarre Rouge et la Sarre Blanche*	*61*
Figure 19	*Eléments statistiques pour le Rupt de Mad et l'Yron*	*62*
Figure 20	*Carbone organique dissous*	*65*
Figure 21	*Nitrates dissous*	*66*
Figure 22	*Comparaison entre les concentrations en nitrates et en azote global dissous sur la Sarre à Gosselming*	*67*
Figure 23	*Ortho-phosphate dissous*	*68*
Figure 24	*Emprise de la forêt dans les années 1760 et en 2014*	*75*
Tableau 10	*Part du territoire occupée par la forêt dans les trois régions forestières couvrant la Réserve de Biosphère Moselle Sud*	*76*
Figure 25	*Orientation technico-économique des exploitation agricoles par commune en 2020*	*77*
Figure 26	*Cultures déclarées dans le cadre du RPG 2024 au sein de la RBMS*	*79*
Figure 27	*Principaux types de sol composant le territoire de la RBMS*	*80*

Figure 28	*Evolution de la SAU moyenne par exploitation et par commune entre 2010 et 2020*	*80*
Figure 29	*Évolution des surfaces agricoles de la partie Saulnois entre 2007 et 2024*	*81*
Figure 30	*Évolution des surfaces agricoles de la partie Sarre / Pays des étangs entre 2007 et 2024*	*82*
Figure 31	*Part des cultures principales dans la SAU de la partie Saulnois du territoire de la RBMS*	*84*
Figure 32	*Évolution du nombre d'exploitations au sein des communes de la RBMS entre 2010 et 2020*	*84*
Figure 33	*Effectifs de vaches laitières et production de lait en Moselle (57) entre 2020 et 2023*	*85*
Figure 34	*Les étapes du processus de déprise herbagère*	*86*
Figure 35	*Changements en température et en précipitations sur la France selon les 17 simulations Explore2 avec identification des trois narratifs retenus*	*97*
Figure 36	*Évolution saisonnière des température moyenne (°C) pour la RBMS aux horizons 2015, 2050 et 2100, pour les trois narratifs climatiques retenus (jaune, vert, orange)*	*98*
Figure 37	*Bilan hydrique saisonnier (mm) pour la RBMS aux horizons 2015, 2050 et 2100, pour les trois narratifs climatiques retenus (jaune, vert, orange)*	*99*
Figure 38	*Répartition des grandes cultures et des prairies permanentes sur le parcellaire*	*100*
Figure 39	*Assolement des grandes cultures et des prairies par petite région agricole*	*101*
Figure 40	*Assolement des couverts intermédiaires par petite région agricole et par scénario*	*102*
Figure 41	*Rendements simulés des principales grandes cultures sur la période 2005-2025*	*104*
Figure 42	*Variation des rendements simulés à l'horizon 2050*	*105*
Tableau 11	*Coefficient de variation interannuel des rendements par culture pour les scénarios « passé récent », tendanciel 2050 et agroécologique 2050, avec évolution du CV par rapport à la période « passé récent » 2005-2025*	*106*
Figure 43	*Variation de la satisfaction hydrique des cultures entre l'horizon 2050*	*108*
Figure 44	*Variation du risque d'échaudage thermique entre l'horizon 2050*	*108*
Figure 45	*Variation de la satisfaction azotée des cultures entre l'horizon 2050*	*109*
Figure 46	*Variation des dates de semis entre l'horizon 2050*	*109*
Figure 47	*Distribution spatiale du stockage et du déstockage annuel de carbone organique du sol à l'échelle parcellaire (kgC/ha), pour le scénario « passé récent », 2005-2025.*	*110*
Figure 48	*Variation annuelle moyenne du stock de carbone organique du sol (ΔCorg, kgC/ha/an), à l'horizon 2050*	*111*
Figure 49	*Variation des flux d'azote territoriaux (volatilisation NH_3, lixiviation, fourniture N) à l'horizon 2050*	*113*
Figure 50	*Apport d'azote par la fertilisation, minérale et organique (kg N/ha/an), à l'horizon 2050*	*113*
Figure 51	*Variation du bilan GES net territorial à l'horizon 2050*	*114*
Figure 52	*Distribution de l'indice de biodiversité iBIO (% de surface par classe)à l'horizon 2050*	*115*
Figure 53	*Variation de la production fourragère (fauche et pâture, t MS/ha) à l'horizon 2050*	*116*
Tableau 12	*Distribution par taille de forêt et par type de forêt (ancienne/récente/disparue) dans la RBMS et le PNRL*	*130*
Tableau 13	*Distribution de la mosaïque forestière de la RBMS et du PNRL*	*130*
Figure 35	*L'importance accordée par les habitants de la Réserve de biosphère de Moselle Sud aux différents critères qui contribuent à l'habitabilité du territoire*	*146*
Figure 36	*Prisme de l'habitabilité développé dans le cadre du projet Habi(Li)ter*	*148*
Figure 37	*Scores d'habitabilité (0-100) pour la Réserve de biosphère de Moselle Sud*	*149*
Tableau 14	*Des vulnérabilités contrastées selon les activités touristiques.*	*154*
Tableau 15	*Répartition de la consommation d'énergie par secteur au sein du PETR*	*158*
Tableau 16	*Évolution de la consommation d'énergie selon le scénario démonstrateur retenu*	*162*
Figure 38	*Répartition territoriale des fonctions de la RBMS*	*169*

INTRODUCTION

Les paysages du Parc naturel régional de Lorraine et de la Réserve de biosphère de Moselle Sud paraissent stables à l'échelle d'une vie humaine, mais ils sont le produit de plusieurs siècles d'interactions entre les usages humains et le milieu. Les forêts, les étangs et zones humides, les prairies et les terres cultivées qui composent cette mosaïque n'ont cessé de se transformer. Ces écosystèmes ont en commun d'évoluer sur des temps longs : un peuplement forestier installé aujourd'hui vivra le climat de 2100, un régime hydrologique ou un sol mettent des décennies à se rétablir. Les décisions prises maintenant engagent donc plusieurs générations. C'est cette échelle de temps, plus encore que l'incertitude, qui doit guider notre lecture du changement climatique.
L'été 2026 a rendu cette échéance tangible. Le territoire a connu, comme l'ensemble du pays, une succession de vagues de chaleur d'une précocité et d'une intensité inédites, après un printemps déjà exceptionnellement chaud et sec. Une seule saison ne suffit pas à établir une tendance, mais cette succession s'inscrit dans le réchauffement mesuré depuis plusieurs décennies, dont elle offre une expérience directe. Les écosystèmes du territoire s'ajustent lentement, quand les extrêmes, eux, se rapprochent ; c'est ce décalage qui impose d'anticiper sans attendre.

Le signal de fond, lui, est établi par la mesure. Entre les normales 1976-2005 et 1991-2020, le réchauffement déjà acquis sur notre territoire atteint +0,67 °C. Cette valeur résulte de la comparaison de deux normales de trente ans ; elle ne doit pas être confondue avec la trajectoire de référence retenue par l'État pour l'adaptation (TRACC), de l'ordre de +4 °C en France à l'horizon 2100. Ses effets touchent l'ensemble des milieux : mortalité accrue des arbres et affaiblissement du puits de carbone dans les forêts, étiages sévères et tensions sur les étangs et zones humides, stress hydrique, décalage des calendriers culturaux et concurrence accrue pour l'eau d'irrigation sur les prairies et les cultures. À ces effets sur les milieux s'ajoute une dimension directement humaine : l'intensification des vagues de chaleur pèse sur la santé et les conditions de vie des habitants, que le cahier examine sous l'angle de l'habitabilité. Les chapitres thématiques du présent cahier en précisent les manifestations locales.

Pour structurer les démarches d'adaptation, il est utile de distinguer des trajectoires contrastées d'évolution possible à l'horizon de la fin du siècle. Leur intérêt ne tient pas à ce qui les distingue, mais à ce qu'elles partagent. Dans tous les cas, la trajectoire climatique est la même et l'intensité de la contrainte comparable : multiplication des crises jusqu'au milieu du siècle, puis conditions durablement plus sèches et plus chaudes, milieux moins productifs, ressources plus disputées. Ce qui diffère d'une trajectoire à l'autre ne relève donc pas du climat, mais de la manière dont la société choisit de s'organiser pour y répondre.

Trois familles de réponses se dégagent. La première prolonge les tendances actuelles à moyens constants : les milieux subissent le climat, les moyens de gestion se raréfient et le lien entre les habitants et leurs écosystèmes se distend. La deuxième pousse une logique de rationalisation économique jusqu'à la rupture : concentration des usages rentables, intensification là où elle reste possible, abandon du reste, et conflictualité qui interrompt le dialogue. La troisième mise sur la planification territoriale, la concertation et le maintien de la multifonctionnalité et de la diversité des milieux. Les deux premières

fragilisent la résilience des écosystèmes comme le lien social ; la troisième cherche à les préserver, au prix de choix délibérés et précoces.

Les leviers qui distinguent la trajectoire concertée des deux autres, dialogue entre parties prenantes, anticipation, gouvernance territorialisée et diversification des milieux, sont précisément ceux qu'un Parc naturel régional et une Réserve de biosphère ont vocation à mettre en œuvre. Notre territoire n'est pas à l'abri des tensions évoquées, mais il dispose d'instances de concertation et d'une expérience de la gestion multifonctionnelle qui en font un lieu d'expérimentation adapté. Cela n'offre aucune garantie. Le risque principal n'est pas seulement l'inaction, mais la mal-adaptation, c'est-à-dire des mesures qui aggravent la vulnérabilité qu'elles prétendent réduire. Le Haut Conseil pour le climat comme la Cour des comptes ont ainsi relevé en 2024 que des aides publiques au renouvellement forestier, mal ciblées, ont financé des plantations moins diversifiées que les peuplements remplacés. L'urgence née de l'été 2026 n'appelle donc pas moins de délibération, mais davantage : un effort accru de concertation entre les scientifiques, les élus et les citoyens, pour décider vite sans décider mal.

Le présent cahier rassemble, pour notre territoire et à travers ses différents chapitres, l'état des connaissances scientifiques disponibles sur le climat, les forêts, l'eau, les milieux ouverts et humides, l'agriculture et l'habitabilité. Il ne prétend pas prédire l'avenir : les trajectoires esquissées sont des repères pour l'action, non des prévisions, et un autre cadrage en produirait d'autres. Son objet est plus modeste et plus utile : donner aux décideurs comme aux habitants une base commune pour délibérer, réduire le risque de mal-adaptation et accroître les bénéfices attendus pour les écosystèmes et pour la société. Le Conseil scientifique a contribué à cet effort dans cet esprit. Reste une question que ce cahier pose sans y répondre à la place des acteurs du territoire : parmi les futurs possibles, lequel choisirons-nous, collectivement, de faire advenir ?

Francis Martin
Président du Conseil scientifique conjoint du
Parc naturel régional de Lorraine
et de la Réserve de biosphère de Moselle Sud
Directeur de recherche émérite, INRAE

ÉVOLUTION DU CLIMAT DE LA RÉSERVE DE BIOSPHÈRE DE MOSELLE SUD

Tanguy NIEDERLANDER
Chargé de mission LIFE BIOSPHER'ADAPT au PETR du Pays de Sarrebourg



Mare
salée
à Lezey

Le climat de la Réserve de Biosphère de Moselle Sud : entre héritage continental et mutations climatiques.

1. Un climat semi-continental de moyenne montagne : caractéristiques générales

1.1 Le climat de la Réserve de Biosphère de Moselle Sud

La Réserve de Biosphère de Moselle Sud (RBMS), dont la station météorologique de référence est située à Danne-et-Quatre-Vents, dans le massif vosgien, est soumise à un climat semi-continental à tendance océanique dégradée, typique des moyennes montagnes de l'Est de la France. Ce territoire se distingue par des hivers froids et marqués, des étés de plus en plus chauds, et des précipitations abondantes et relativement bien réparties tout au long de l'année.

Ce climat résulte de la position géographique particulière des Vosges du Sud. Elles sont assez proches de l'Atlantique pour recevoir les perturbations océaniques chargées d'humidité, mais assez continentales pour connaître des hivers rigoureux et des amplitudes thermiques saisonnières importantes. Le relief joue également un rôle déterminant : les versants occidentaux du massif, exposés aux vents dominants d'ouest, captent l'essentiel des précipitations par effet orographique, tandis que le versant alsacien, sous le vent, bénéficie d'un climat nettement plus sec.

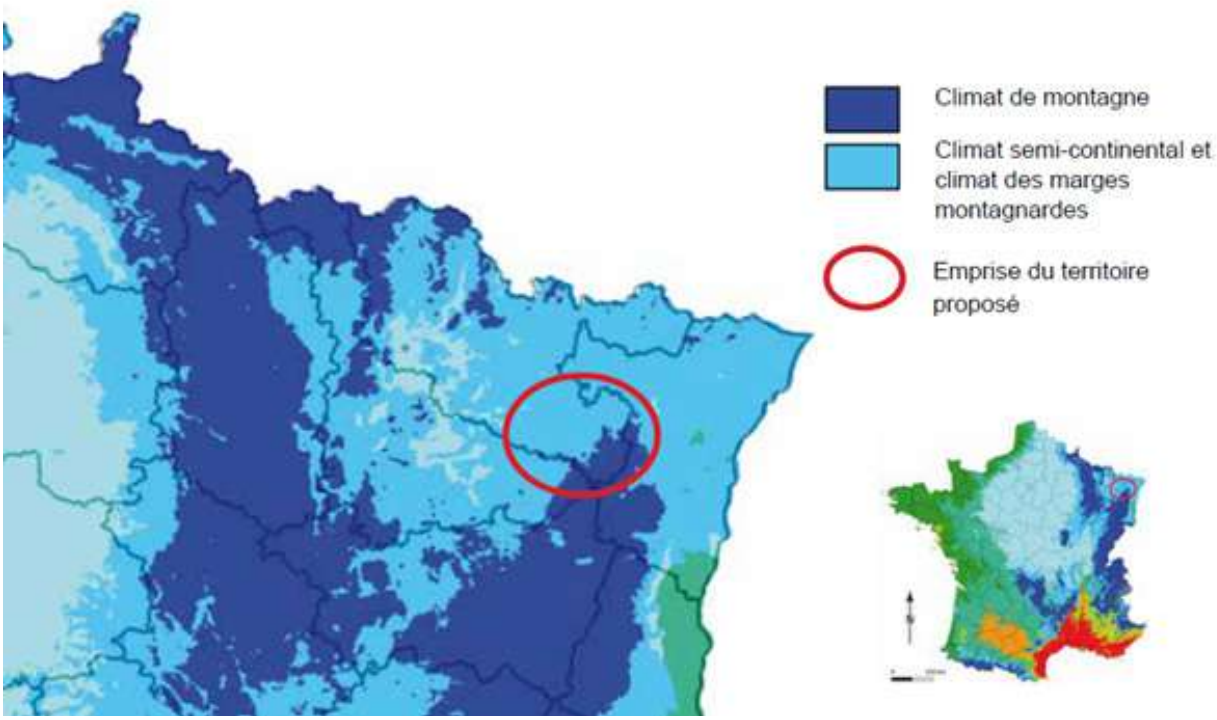


Figure 1 : Les types de climats dans la Réserve de biosphère de Moselle Sud.

1.2 La station de Danne-et-Quatre-Vents : une référence pour l'analyse du climat passé

L'ancienne station de Danne-et-Quatre-Vents constitue la référence principale de l'analyse du climat passé. Elle offre la série temporelle la plus longue et la plus complète disponible sur le territoire, une donnée précieuse à l'interface entre deux climats : le semi-continental et l'océanique dégradé.

Cette station constitue un atout exceptionnel pour le territoire. Contrairement à la grande majorité des stations du réseau local, elle présente une série d'observations parfaitement continue, sans aucune interruption, de 1946 à 2023, soit près de huit décennies de données ininterrompues. Cette continuité remarquable, relativement rare à l'échelle d'un réseau météorologique local, en fait un outil de référence précieux et fiable pour l'étude des tendances climatiques à long terme sur le territoire de la réserve. Elle permet notamment de s'affranchir des biais liés aux lacunes qui affectent les autres stations, et d'établir des comparaisons robustes entre les différentes périodes climatiques.

L'implantation de cette station en contexte vosgien soulève légitimement la question de sa représentativité vis-à-vis d'un territoire majoritairement composé de plaine et de piémont. Toutefois, cette limite doit être nuancée à la lumière de la distinction fondamentale entre le signal climatique régional et la variabilité locale. Si les valeurs absolues des paramètres météorologiques, telles que les températures moyennes et les cumuls de précipitations, sont fortement modulées par les facteurs orographiques locaux, comme l'altitude, l'exposition des versants ou l'effet de foehn, les anomalies et les tendances de long terme présentent quant à elles une cohérence spatiale élevée à l'échelle régionale. Ce phénomène, désigné sous le terme de covariance temporelle des séries climatiques, traduit le fait que les forçages de grande échelle, notamment la circulation atmosphérique générale et le forçage radiatif anthropique, s'appliquent de manière relativement homogène sur l'ensemble d'un domaine géographique restreint, indépendamment du gradient altitudinal. Dès lors, la station de Danne-et-Quatre-Vents ne saurait fournir une caractérisation absolue du climat de plaine, la dynamique évolutive qu'elle documente, c'est-à-dire le sens, l'amplitude et la chronologie des changements observés sur près de huit décennies, peut être raisonnablement considérée comme représentative des tendances affectant l'ensemble de la Réserve de Biosphère.

1.3 Limites méthodologiques

Avant d'aborder l'analyse climatique du territoire, il convient de souligner plusieurs limites méthodologiques qui conditionnent la lecture de l'ensemble des données présentées dans ce document. La RBMS dispose d'un réseau de stations météorologiques permettant de documenter l'évolution du climat local. Cependant, ce réseau, composé majoritairement de stations de particuliers, se caractérise par une répartition spatiale inégale sur le territoire, avec des zones mieux couvertes que d'autres. À cela s'ajoute le fait que le territoire de la réserve est loin d'être climatiquement homogène. Les variations d'altitudes, l'orientation des versants, la proximité des vallées ou des crêtes, ainsi que la nature de l'occupation du sol génèrent des microclimats locaux parfois très contrastés sur de courtes distances.

Au-delà de la question de la répartition spatiale, les données disponibles souffrent d'une seconde limite : la discontinuité des séries d'observations. En effet, les relevés météorologiques des stations du territoire présentent fréquemment des lacunes.

1.4 Un gradient altitudinal de réchauffement à manier avec prudence

Il est fréquemment avancé que les régions de montagne se réchauffent plus rapidement que les plaines environnantes. Ce phénomène, désigné sous le terme d'amplification dépendante de l'altitude (Elevation-Dependent Warming), est effectivement documenté à l'échelle mondiale et fait l'objet d'une littérature scientifique abondante. Plusieurs mécanismes physiques l'expliquent : la rétroaction liée à la diminution de l'enneigement (une surface déneigée absorbe davantage de rayonnement solaire qu'un manteau blanc réfléchissant), les modifications du contenu en vapeur d'eau de l'atmosphère en altitude, ou encore l'évolution du profil vertical des nuages.

Toutefois, ce constat général doit être manié avec précaution. L'ampleur de cette amplification varie fortement d'un massif à l'autre, selon la latitude, l'altitude absolue, l'exposition aux flux dominants et la durée d'enneigement. Certains massifs ne présentent aucun signal d'amplification détectable, tandis que d'autres montrent un réchauffement altitudinal marqué mais saisonnièrement contrasté.

Dans le cas de la RBMS, ce phénomène n'est pas démontré. Les altitudes du territoire, de l'ordre de quelques centaines de mètre, se situent très en deçà des gammes altitudinales (généralement supérieures à 1500 à 2000m) pour lesquelles l'amplification dépendant de l'altitude a été mise en évidence de façon robuste. Surtout, le réseau d'observation local ne permet pas de tester cette hypothèse : il faudrait pour cela disposer d'un chapelet de stations réparties le long d'un gradient altitudinal, toutes dotées de séries longues, continues et homogénéisées. Or, comme indiqué plus haut, les stations du territoire présentent une répartition spatiale inégale et des séries fréquemment lacunaires, à l'exception notable de Danne-et-Quatre-Vents.

En conséquence, aucune conclusion relative à un éventuel réchauffement différencié selon l'altitude au sein de la réserve de Biosphère ne peut être tirée des données présentées dans ce document. Les tendances décrites ci-après doivent être comprises comme caractérisant le territoire dans son ensemble, sans préjuger de contrastes internes que le dispositif d'observation actuel n'est pas en mesure de révéler.

Documenter ces contrastes supposerait un renforcement ciblé du réseau de mesure, avec l'installation de stations sur un transect altitudinal et le maintien de relevés continus sur plusieurs décennies, une perspective à envisager dans le cadre de la stratégie de suivi à long terme de la réserve.

1.5 Les périodes de référence climatique : définition, utilité et pertinence

L'analyse du climat repose fondamentalement sur la notion de normale climatique, c'est-à-dire un ensemble de valeurs statistiques calculées sur une période définie, permettant de caractériser les conditions climatiques moyennes d'un lieu donné. Pour être scientifiquement exploitables et comparables, ces normales doivent être établies sur des périodes de référence standardisées.

Ces périodes constituent le socle à partir duquel on mesure les écarts, les anomalies et les tendances climatiques. Elles permettent de répondre à une question fondamentale : par rapport à quoi observe-t-on un changement ?

L'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) joue un rôle central dans la définition de ces périodes. Elle recommande des intervalles de 30 ans, durée jugée suffisamment longue pour lisser la variabilité naturelle inter-annuelle tout en restant représentative d'une époque climatique donnée. Cependant, selon les institutions, les disciplines scientifiques ou les besoins opérationnels, différentes périodes de référence coexistent, chacune ayant ses propres justifications et limites.

Durant cette analyse, trois périodes de référence sont utilisées :
- La période 1950-1980 ;
- La période 1961-1990, recommandée historiquement par l'OMM ;
- La période 1976-2005, adoptée par Météo-France et utilisée sur le portail DRIAS-Les futurs du climat.

1.6 La période de référence 1950-1980

La période 1950-1980 couvre trente années situées avant l'accélération significative du réchauffement climatique anthropique. Elle s'inscrit dans un contexte post-Seconde Guerre mondiale, marqué par une industrialisation croissante, mais dont les effets sur le système climatique mondial restaient encore relativement limités par rapport aux décennies suivantes. Sur le plan climatique, cette période est souvent décrite comme une phase de relative stabilité thermique, voire de légère tendance au refroidissement dans certaines régions de l'hémisphère nord, notamment due à l'augmentation des aérosols soufrés d'origine industrielle qui masquaient partiellement l'effet de serre.
Cette période est particulièrement précieuse pour les études paléoclimatiques récentes et pour les chercheurs souhaitant établir un état de référence préréchauffement moderne. On parle d'une période de référence climatique caractérisée par des températures globalement plus basses, c'est-à-dire un point de départ antérieur aux grandes ruptures climatiques observées à partir des années 1980. En la mobilisant comme référence, on maximise la visibilité des anomalies climatiques actuelles, ce qui en fait un outil particulièrement puissant pour illustrer l'ampleur du changement climatique contemporain.

Elle est également utilisée dans certains travaux du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), notamment pour calculer les anomalies de températures globales et évaluer l'écart par rapport aux conditions préindustrielles prolongées. Certaines études fixent d'ailleurs le seuil symbolique de +1,5 °C ou 2 °C par rapport à cette période, la considérant comme une approximation acceptable des conditions du XIXe siècle tardif. Cette période souffre toutefois d'un défaut majeur sur le plan opérationnel : la densité et la qualité des réseaux d'observation météorologique étaient inégales, notamment pour les premières années (1950-1960), où la couverture spatiale des stations, particulièrement en zones rurales, montagneuses ou tropicales, était parfois insuffisante pour établir des normales robustes. De plus, son usage comme référence officielle n'a jamais été standardisé par l'OMM, ce qui limite sa comparabilité internationale directe.

1.7 La période de référence 1961-1990

La période 1961-1990 constitue la normale climatologique de référence officielle recommandée pendant de nombreuses décennies par l'OMM. Elle a été adoptée à l'échelle internationale comme standard de comparaison pour l'ensemble des services météorologiques nationaux, faisant d'elle la référence la plus universellement reconnue et documentée. Sur le plan climatique, cette période englobe des phases contrastées : les années 1960-1970 sont encore marquées par une certaine fraîcheur relative, tandis que les années 1980 voient s'amorcer une hausse thermique plus nette, bien que modérée par rapport aux décennies ultérieures.

Son principal atout réside dans son universalité. L'utilisation commune de cette période par les services météorologiques mondiaux entre les années 1990 et 2000 permet des comparaisons homogènes entre pays et entre régions, ce qui est fondamental pour les études climatiques à grande échelle. Elle offre ainsi un langage climatique commun, facilitant l'interopérabilité des données entre institutions.

En France, Météo-France a longtemps publié ses normales climatologiques sur cette base, et de nombreuses publications scientifiques, atlas climatiques, et document de planification territoriale produits entre 1990 et 2010 s'y réfèrent. Pour un utilisateur souhaitant comparer des données actuelles avec des archives historiques produites durant cette période, la référence 1961-1990 reste incontournable.

Elle est également particulièrement adaptée aux études de détection et d'attribution du changement climatique : en servant de point de comparaison, elle permet de mettre clairement en évidence les tendances observées depuis les années 1990, période durant laquelle le réchauffement s'est considérablement accéléré.

Le principal défaut de cette période en tant que référence opérationnelle actuelle est qu'elle est de plus en plus éloignée du présent. Avec le réchauffement climatique, les conditions climatiques actuelles s'écartent significativement de celle observée entre 1961 et 1990, ce qui peut induire des anomalies positives systématiques et persistantes qui perdent progressivement leur caractère informatif pour les utilisateurs non spécialisés. Par exemple, une canicule qui semblait exceptionnelle par rapport à cette référence peut apparaître moins extrême si l'on actualise la période de comparaison. L'OMM a d'ailleurs actualisé sa recommandation, préconisant désormais l'usage de la normale 1991-2020 comme référence standard.

1.8 La période de référence 1976-2005 : Le choix de Météo-France et du Portail DRIAS

La période 1976-2005 est la période de référence retenue par Météo-France pour la construction de ses scénarios climatiques régionalisés et pour l'ensemble des projections disponibles sur le portail DRIAS-Les Futurs du Climat (Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnements). Ce choix résulte d'une réflexion scientifique approfondie visant à concilier robustesse statistique, disponibilité des données et pertinence pour la modélisation climatique.

Contrairement aux deux périodes précédentes, 1976-2005 n'est pas une normale OMM

au sens strict. Il s'agit d'une période de référence spécifiquement calibrée pour les besoins de la modélisation et de la régionalisation climatique en France. Elle coïncide notamment avec la période sur laquelle les modèles de climat régionaux (comme les situations issues du projet EURO-CORDEX ou les modèles développés par Météo-France tels que ALADIN-Climat ou ARPEGE-Climat) ont été évalués et validés.

À partir des années 1970, les réseaux d'observation météorologique en France et en Europe ont atteint une maturité et une densité satisfaisantes, garantissant des données fiables et homogènes sur l'ensemble du territoire, y compris en zone de montagne. La période 1976-2005 bénéficie ainsi d'archives d'observation de haute qualité, indispensable pour la validation des modèles.

Cette appréciation vaut à l'échelle des réseaux nationaux ; elle ne préjuge pas de la densité du maillage à l'échelle d'un territoire particulier, où des lacunes locales peuvent subsister. C'est le cas sur la RBMS, comme signalé en introduction. Cette période se situe au cœur de la transition climatique contemporaine. Elle intègre à la fois des années encore proches des conditions préréchauffement accélérées (fin des années 1970) et des années marquées par une hausse thermique déjà sensible (années 1990-2005).

En utilisant une période de référence récente, les projections climatiques futures (horizon 2021-2050, 2041-2070, 2071-2100) expriment des anomalies par rapport à un état climatique que les acteurs du territoire ont directement expérimenté, facilitant l'appropriation des résultats par les décideurs, les collectivités et le grand public.

2. Un régime thermique aux contrastes saisonniers prononcés

Le diagramme ombrothermique établi sur la période de référence 1950-1980 illustre bien les traits climatiques historiques du territoire. Les températures moyennes mensuelles oscillent entre environ +9 °C en hiver et +20 °C en été, avec des maximales moyennes ne dépassant pas +25 °C en juillet-août. Les minimales hivernales descendent régulièrement sous 0 °C, témoignant d'une saison froide bien marquée, caractéristique du climat vosgien. Les saisons sont clairement individualisées :

L'hiver (décembre février) est froid, avec des températures moyennes proches de 0 °C, voire négatives, lors des épisodes plus rigoureux. Le gel est fréquent et la neige, autrefois abondante, constituait une caractéristique marquante du territoire.

Le printemps (mars-mai) est une saison de transition progressive, avec des températures qui remontent doucement et des précipitations bien présentes, assurant une recharge hydrique des sols indispensable aux écosystèmes forestiers.

L'été (juin-août) est traditionnellement tempéré et agréable avec des températures maximales moyennes autour de +20 à 25 °C. Cette douceur relative, associée à des précipitations estivales régulières, a longtemps préservé le territoire des sécheresses intenses.

L'automne (septembre-novembre) est une saison humide et progressivement fraîche avec des cumuls de précipitations souvent importants, notamment en octobre-

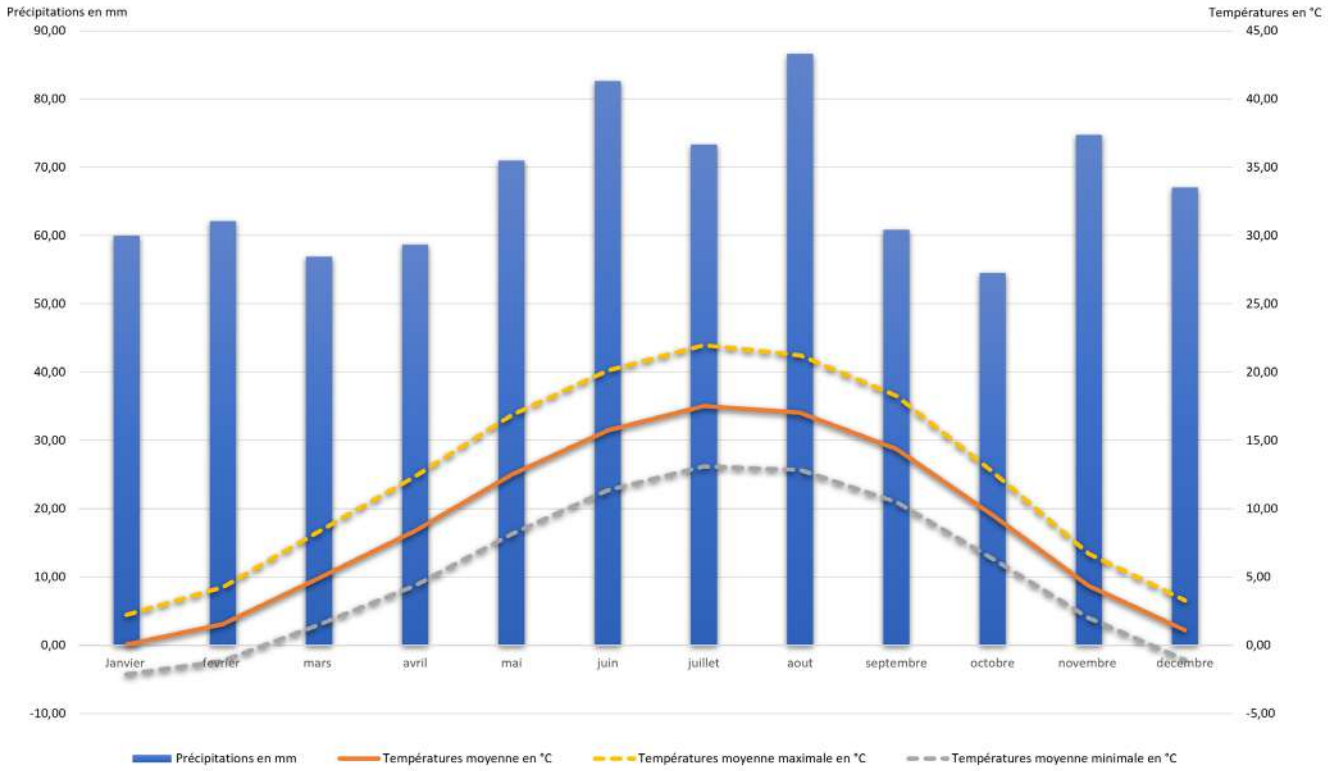


Figure 2 : Diagramme Ombrothermique de la station de Danne-et-Quatre-Vents pour la période de 1950-1980

novembre.

Ce régime thermique est considéré comme modéré sans excès estival marqué et a longtemps défini le caractère tempéré frais du territoire, favorable aux forêts de hêtres et de sapins qui constituent le paysage emblématique et qui sont aujourd'hui au cœur des préoccupations face au changement climatique.

3. Une pluviométrie abondante aux contrastes marqués

L'analyse des cumuls annuels de précipitations enregistrés à Danne-et-Quatre-Vents de 1946 à 2023 révèle plusieurs enseignements importants.

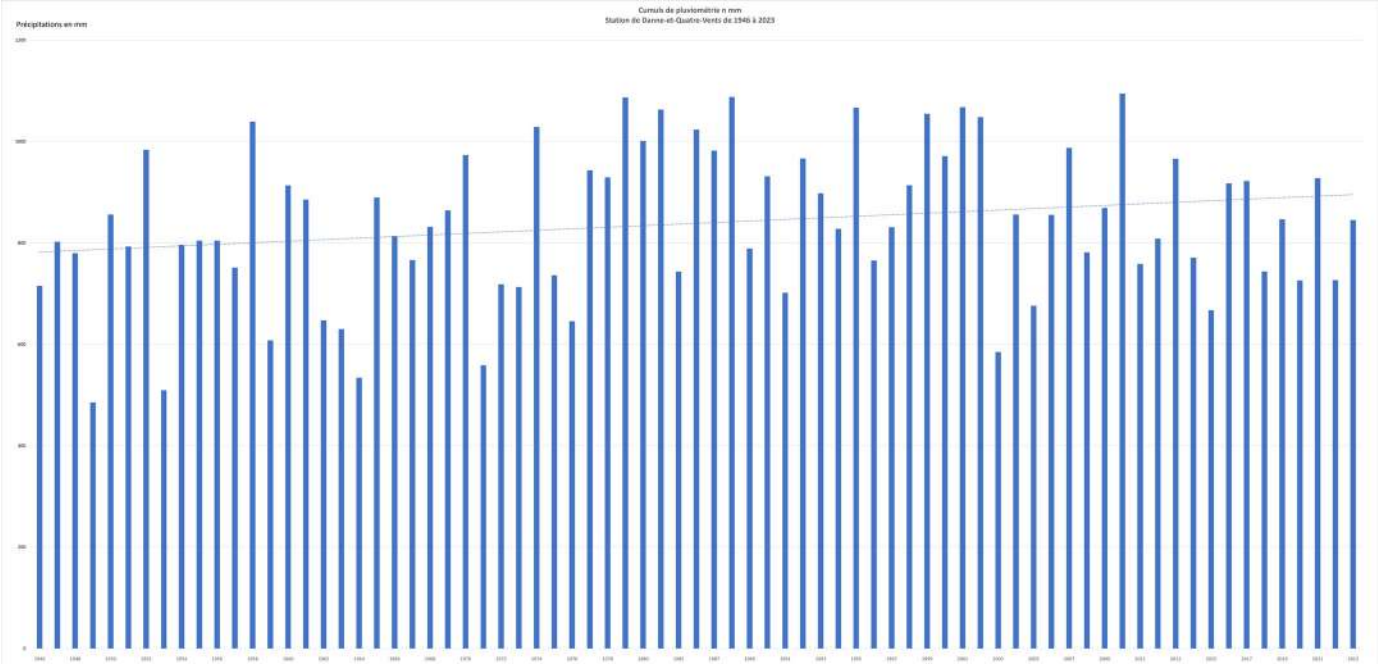


Figure 3 : Cumul des précipitations de la station de Danne-et-Quatre-Vents de 1946 à 2023

La pluviométrie annuelle oscille de manière très variable d'une année à l'autre, entre des années particulièrement sèches, comme 1976 (600 mm) ou 2011 (590 mm) et des années exceptionnellement humides dépassant 1100 mm. Cette forte variabilité inter-annuelle est une caractéristique structurelle du territoire, qui a toujours connu des alternances entre années sèches et années humides, rythmées par les grandes configurations de la circulation atmosphérique européenne.

Cette variabilité naturelle ne doit cependant pas masquer les tendances de fond. Contrairement à ce que l'on pourrait intuitivement attendre dans un contexte de réchauffement, la tendance de long terme des précipitations annuelles apparaît légèrement croissante sur l'ensemble de la période 1946-2023. Cette apparente augmentation mérite une explication : le réchauffement atmosphérique augmente la capacité de l'air à contenir de la vapeur d'eau, ce qui peut se traduire par des épisodes pluvieux plus intenses, même si leur fréquence ne s'accroît pas nécessairement. En d'autres termes, il pleut parfois moins souvent, mais plus fort.

Pour comprendre simplement, imaginons une éponge que l'on chauffe. Elle peut absorber plus d'eau, mais quand elle se vide, elle le fait plus brutalement. C'est un peu ce qui se passe avec l'atmosphère réchauffée : les pluies deviennent plus irrégulières et plus intenses par épisodes.

Une tendance confirmée par une seconde station

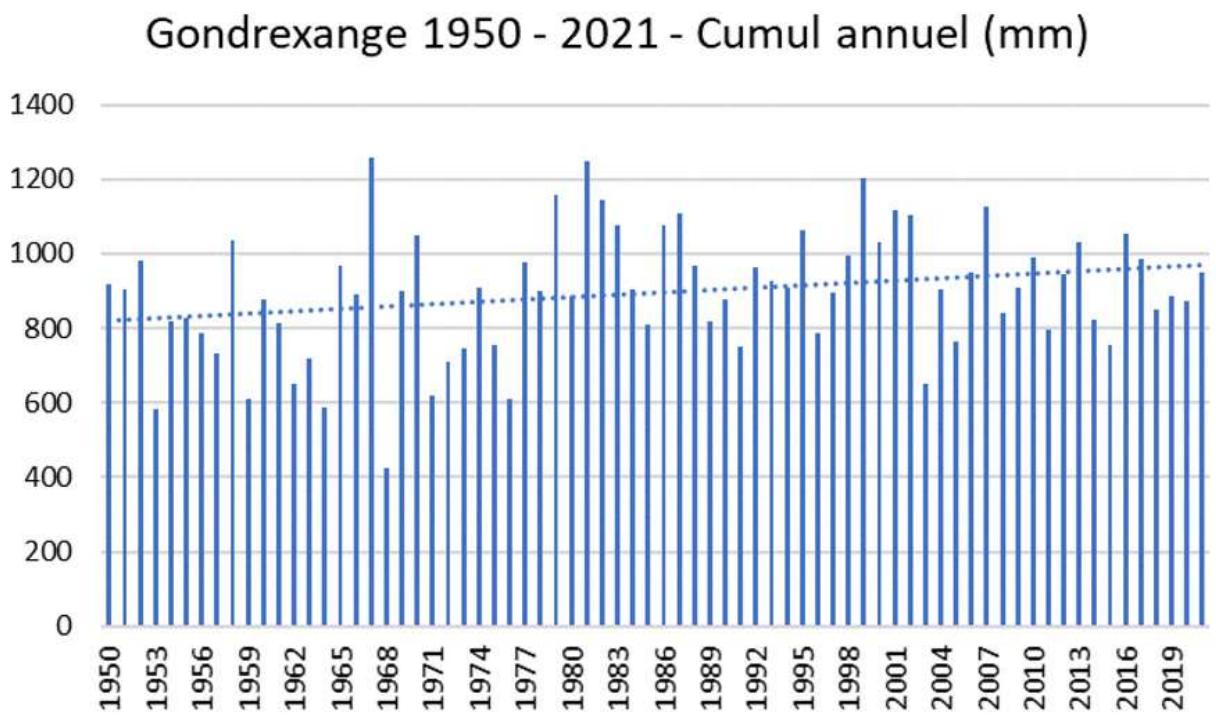


Figure 4 : Cumul des précipitations de la station de Gondrexange de 1946 à 2023.

Afin de vérifier la robustesse de ces observations, une comparaison a été menée avec la station de Gondrexange (altitude 277m) qui présente l'avantage de disposer de données pluviométriques continues, sans rupture, entre le 1er janvier 1950 et le 31 décembre 2021. Cette station, également située dans la partie Est du PNRL-RBMS mais implantée davantage dans la plaine, offre ainsi un point de comparaison pertinent avec la station de Danne-et-Quatre-Vents positionnée à une altitude plus élevée (altitude 377m).

Les cumuls annuels y sont également très variables, s'échelonnant de 421mm en 1968 à 1259mm en 1967. Surtout, la même tendance de fond à l'augmentation des précipitations annuelles que celle observée à Danne-et-Quatre-Vents se retrouve à Gondrexange. Cette convergence entre deux stations situées à des altitudes différentes conforte le constat d'une évolution structurelle des précipitations sur le territoire, au-delà des seules fluctuations interannuelles.

4. Une saisonnalité des précipitations en évolution

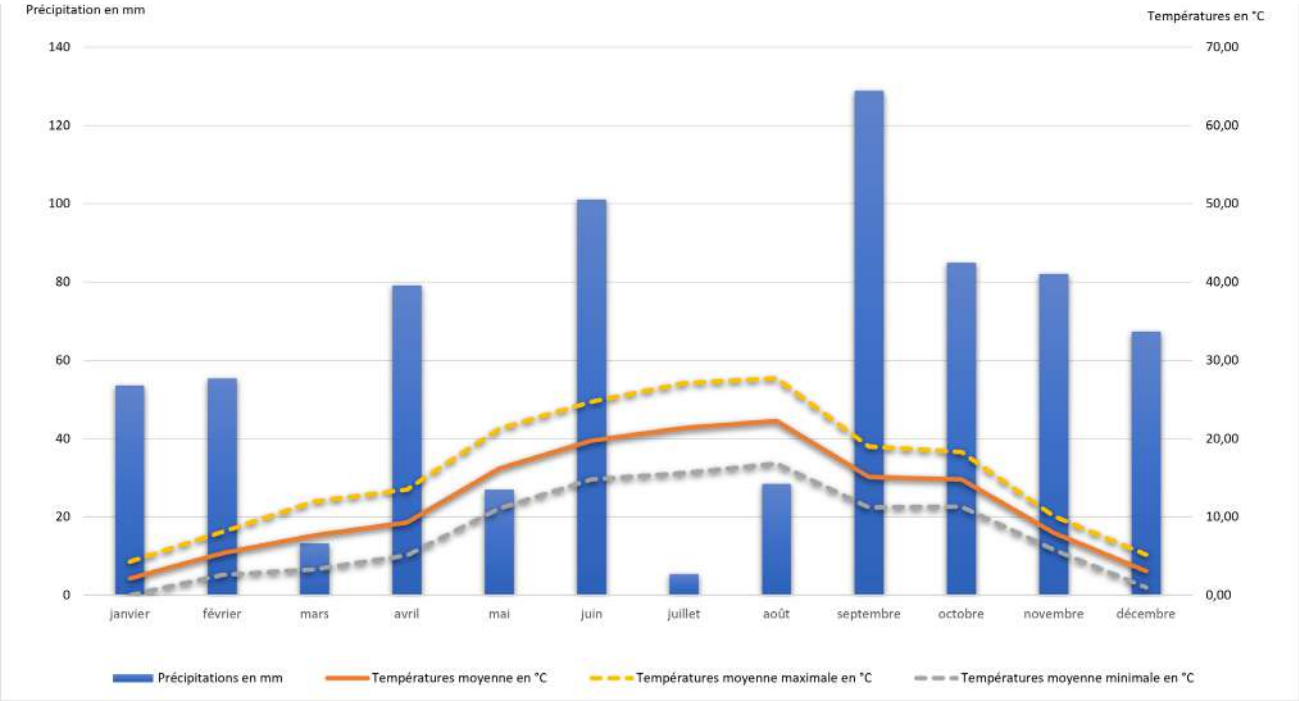


Figure 5 : Diagramme ombrothermique de la station de Danne-et-Quatre-Vents pour l'année 2022

Le diagramme ombrothermique de l'année 2022 est particulièrement révélateur des nouvelles tendances saisonnières des précipitations comme évoquées précédemment. Juillet a été extrêmement sec, avec seulement 6 mm de précipitations, ce qui représente un déficit historique pour ce mois qui est traditionnellement pluvieux par rapport à la période de référence 1950-1980. Un mois d'août également déficitaire d'environ 28 mm. Un mois de septembre exceptionnel avec près de 128 mm, soit l'un des mois de septembre les plus pluvieux.

Ce profil illustre une tendance que l'on retrouve à l'échelle du pays : l'intensification des contrastes intra saisonniers, avec des épisodes de sécheresse estivale plus prononcés compensés par des précipitations automnales parfois très intenses, concentrées sur quelques épisodes. Cette évolution entraîne des conséquences importantes pour la gestion de l'eau : les sols asséchés par l'été peinent à absorber les pluies automnales soudaines, augmentant le risque de ruissellement et de crues rapides.

5. Des précipitations hivernales en légère hausse

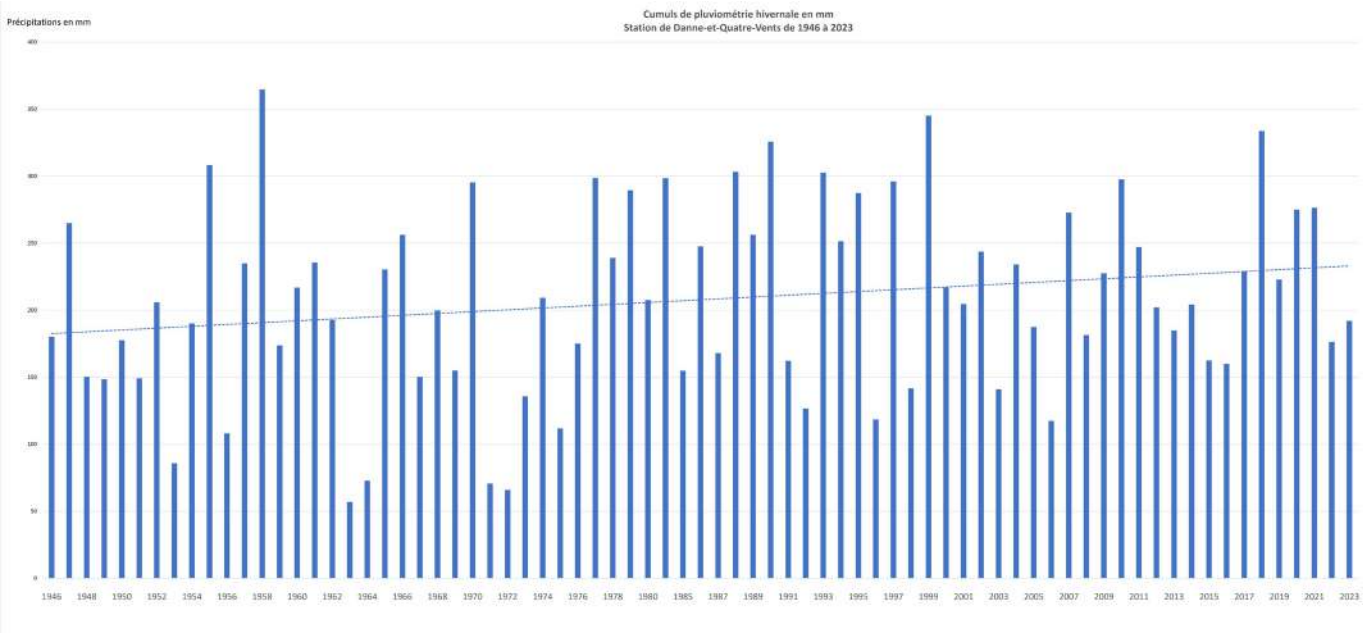


Figure 6 : Cumuls de précipitations hivernales de la station de Danne-et-Quatre-Vents de 1946 à 2023

L'analyse des précipitations hivernales sur la période 1946-2023 confirme une légère tendance à la hausse. Si la variabilité demeure importante : certains hivers très secs autour de 60 à 70 mm dans les débuts des années 1960 contrastent avec des hivers très pluvieux dépassant 350 mm (1958). La tendance indique une progression modérée, mais constante des cumuls hivernaux.

Cette évolution mérite une attention particulière : des hivers plus pluvieux peuvent signifier des altitudes où la neige est de moins en moins assurée avec le réchauffement climatique, et un glissement progressif des précipitations neigeuses vers des précipitations pluvieuses.

Or, la neige joue un rôle fondamental dans le fonctionnement hydrologique du massif vosgien : elle constitue une réserve d'eau naturelle qui se libère progressivement au printemps, alimentant les cours d'eau et rechargeant les nappes phréatiques. La disparition progressive de ce « manteau neigeux régulateur » représente donc un enjeu majeur pour la disponibilité en eau du territoire à l'horizon des prochaines décennies.

6. Le réchauffement climatique est un signal fort, précoce et accéléré

La première chose que le graphique ci-après montre, c'est que la ligne de tendance en pointillés part de valeurs légèrement négatives en 1946 pour atteindre des valeurs proches de +2 °C en fin de série. Ce seul élément nous montre qu'en près de 80 ans, la température maximale annuelle à Danne-et-Quatre-Vents a progressé de façon structurelle et continue, indépendamment des fluctuations annuelles.

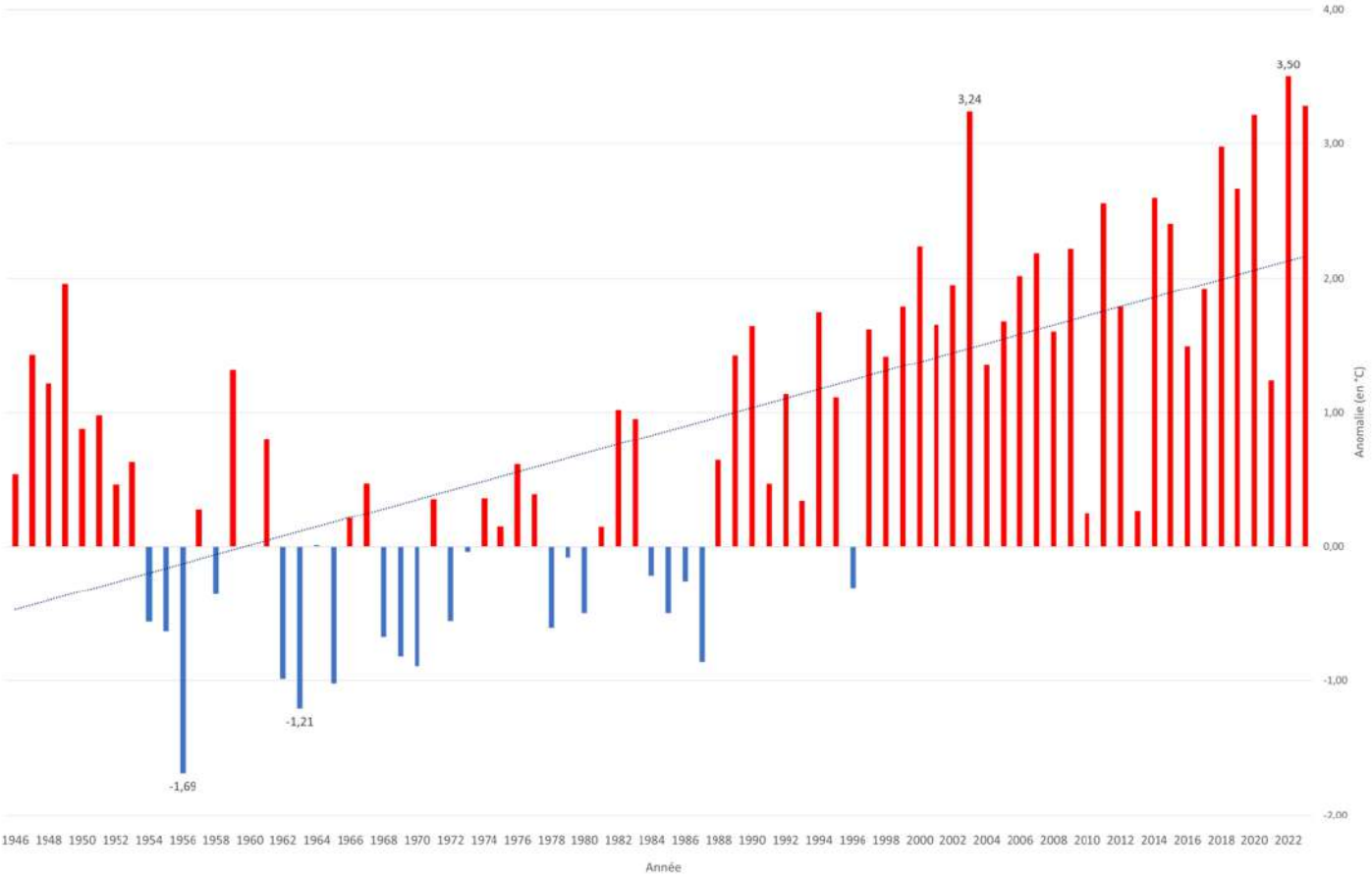


Figure 7 : Anomalie de la température maximale annuelle de la station de Danne-et-Quatre-Vents par rapport à la période de référence 1961-1990

Comment lire ce graphique ? Une anomalie positive (barre rouge) signifie que la température maximale annuelle a été supérieure à la moyenne de référence établie sur la période 1961-1990. Une anomalie négative (barre bleue) signifie qu'elle a été inférieure à cette même référence. Plus la barre est haute ou basse, plus l'écart est grand.

6.1 Avant 1980 : un climat encore équilibré

Le graphique s'ouvre entre 1946 et 1953 sur une séquence majoritairement rouge, avec des anomalies positives comprises entre +0,5 °C et +1,5 °C. Cette chaleur précoce s'explique par des causes entièrement naturelles : une phase chaude de l'océan Atlantique, des vents d'ouest doux et des étés remarquables comme celui de 1947, l'un des plus chauds du XXe siècle en France.

À l'échelle d'une station, la variabilité naturelle dominait alors le signal local, le forçage anthropique n'étant pas encore prépondérant à cette échelle. Son caractère passager est d'ailleurs immédiatement démontré par ce qui suit : dès 1956, le thermomètre chute à -1,69 °C (température maximale, réf. 1961-1990), l'anomalie la plus froide de toute la série.

- Durant les trois premières décennies (1946-1980), le signal climatique reste globalement mixte et équilibré, les années froides alternant régulièrement avec les années chaudes. Plusieurs épisodes très froids ont laissé une profonde empreinte sur les données. L'année 1956 détient la valeur négative la plus extrême de la série (-1,69 °C de température maximale, en référence 1961-1990) ;

- L'hiver 1962-1963 affiche -1,21 °C (température maximale, réf. 1961-1990), en lien avec le grand froid qui a frappé toute l'Europe occidentale ;

- De nombreuses autres années, jusqu'en 1978, présentent des anomalies négatives modérées, confirmant que le territoire connaissait alors régulièrement des températures inférieures à la normale.

Ces épisodes correspondent à des événements climatiques bien documentés, encore présents dans la mémoire collective des habitants les plus anciens du territoire.

6.2 Après 1988 : le basculement

À partir de la fin des années 1980, le basculement est spectaculaire et sans ambiguïté. Les années froides deviennent rarissimes, la dernière anomalie négative significative date de 1996, tandis que les années chaudes se multiplient, s'intensifient et se succèdent sans interruption.
Les anomalies positives dominent désormais le graphique de manière quasi exclusive avec des valeurs qui s'élèvent progressivement de décennies en décennie :

- Les années 1990 affichent des anomalies positives modérées, généralement comprises en +0,5 et +1,5 °C (température maximale, réf. 1961-1990) ;

- Les années 2000 franchissent régulièrement le seuil des +2 °C avec le pic historique de 2003 (+3,24 °C [température maximale, réf. 1961-1990]) ;

- Les années 2010 et 2020 confirment et amplifient cette tendance avec 2022, qui établit un nouveau record absolu à +3,5 °C (température maximale, réf. 1961-1990) au-dessus de la normale de référence.

La droite de tendance qui traverse l'ensemble du graphique illustre de manière synthétique cette évolution : partant d'anomalies légèrement négatives dans les années 1940-1950, elle rejoint aujourd'hui des valeurs d'anomalie comprises entre +1,5 et +2 °C (température maximale, réf. 1961-1990) en tendance de fond, avec des pics récents bien au-delà.

À mettre en perspective : Le réchauffement climatique global a atteint un rythme de l'ordre de +0,27 °C par décennie sur les trente dernières années, valeur établie par le bilan Indicators of Global Climate Change (2025) et confirmée par l'observatoire Copernicus ;

ce rythme, qualifié de sans précédent, marque une nette accélération par rapport à la tendance de long terme du XXème siècle. L'Europe se réchauffe environ deux fois plus vite que cette moyenne planétaire, à près de +0,56 °C par décennie.

Le territoire de la Réserve de Biosphère de Moselle-Sud s'inscrit dans cette dynamique européenne, avec un réchauffement supérieur à la moyenne mondiale. En revanche, et comme précisé plus haut, les données disponibles ne permettent pas d'établir que les parties les plus élevées du territoire se réchaufferaient plus vite que les zones basses. Les valeurs présentées ici caractérisent le territoire dans son ensemble.

7. La multiplication des journées très chaudes : quand l'exceptionnel devient ordinaire

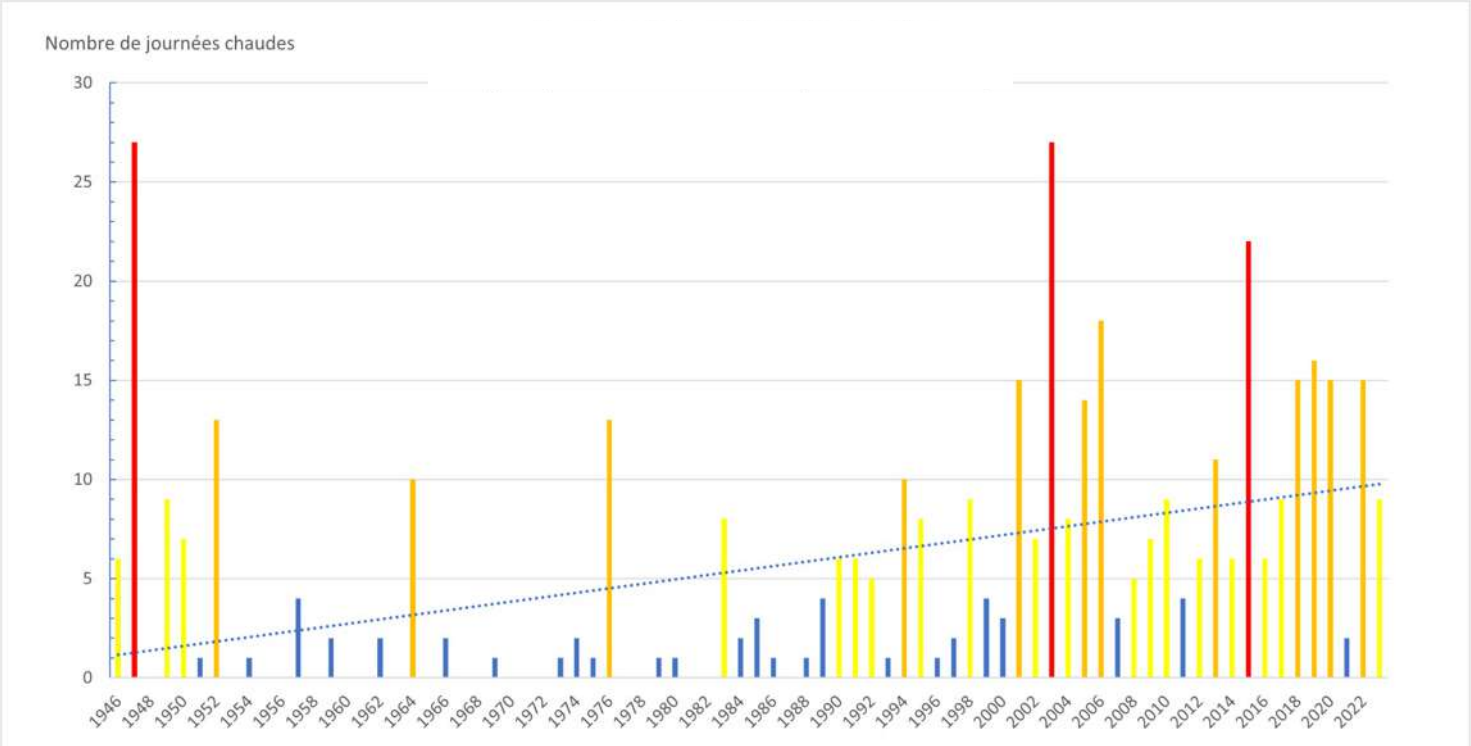


Figure 8 : Graphique illustrant l'évolution du nombre de journées très chaudes de 1946 à 2023

Le graphique du nombre de journées très chaudes définies ici comme les journées où la température maximale dépasse 30 °C offre une lecture particulièrement concrète et accessible des effets du réchauffement sur le quotidien du territoire. Ce seuil de 30 °C, qui peut sembler modeste par rapport aux températures méditerranéennes, représente pour ce territoire de moyenne montagne un indicateur fort de chaleur excessive avec des conséquences tangibles pour les forêts, les cours d'eau, la faune et les populations.

7.1 Des années 1950 aux années 1980 : la chaleur, une exception rare

Dans les années 1950 et 1960, les journées dépassant 30 °C sont exceptionnelles : la grande majorité des années en compte moins de cinq, et certaines années n'en connaissent aucune. Cette rareté était parfaitement cohérente avec le caractère frais et montagnard du climat local. Lorsqu'elles survenaient, ces journées chaudes constituaient

de véritables événements, souvent associés à des situations anticycloniques estivales inhabituelles.

7.2 La période 1966-1988

La période 1966-1988 est particulièrement remarquable par sa quasi-absence de journée très chaude : de nombreuses années consécutives n'enregistrent qu'un à trois épisodes à plus de 30 °C, voire aucun. Cette période correspond, à l'échelle européenne, à une phase climatique relativement fraîche.

7.3 Des années 1990 à aujourd'hui : l'accélération

À partir des années 1990, une tendance à la hausse devient progressivement perceptible, puis de plus en plus nette. La droite de tendance, quasi-horizontale dans les premières décennies, s'incline de manière croissante vers le haut. Mais c'est surtout à partir des années 2000 que le changement devient pleinement manifeste et préoccupant :

- 2003 marque un premier record absolu avec 27 journées à plus de 30 °C, conséquence directe de la canicule historique, qui a frappé l'Europe occidentale. Cet épisode, qui a causé des milliers de décès en France et de graves dommages aux forêts, a constitué un signal d'alarme majeur ;

- 2015 enregistre vingt deux journées à plus de 30 °C, confirmant que les épisodes de forte chaleur ne sont plus des anomalies isolées, mais des événements récurrents ;

- Les années récentes (2018, 2019, 2020, 2022 et 2023) accumulent régulièrement entre 9 et 18 journées très chaudes par an avec des valeurs qui se stabilisent à un niveau structurellement élevé.

À retenir : la tendance linéaire passe d'environ une à deux journées très chaudes par an dans les années 1950-1960 à près de dix journées en moyenne aujourd'hui, les années récentes oscillant entre 9 et 18 jours selon les étés. En l'espace de 70 ans, la fréquence de ces épisodes a été multipliée par cinq à dix.

Ce qui était autrefois une anomalie rare est en passe de devenir une composante normale du climat estival de la RBMS.

8. Portrait comparé du climat : hier et aujourd'hui, cinq instantanés pour mesurer le changement

La comparaison des diagrammes ombrothermiques établis à différentes époques offre une lecture particulièrement parlante et pédagogique de l'évolution climatique du territoire. Chaque « portrait » climatique capture les caractéristiques d'une époque et permet de mesurer concrètement le chemin parcouru.

8.1 Le climat de la période de référence (1950-1980) : la « normale » d'hier

Sur cette période trentenaire, le territoire présente un profil climatique régulier, tempéré et équilibré. Les précipitations sont bien réparties sur l'ensemble de l'année avec des cumuls mensuels relativement homogènes oscillant entre 55 et 85 mm. Aucun mois n'apparaît véritablement sec. Les températures moyennes estivales culminent autour de +20 °C en juillet-août avec des maximales moyennes plafonnant à +25 °C. Les hivers sont froids, mais sans excès avec des températures moyennes proches de 0 °C en janvier-février et des minimales régulièrement négatives. Ce profil correspond à ce que les climatologues appellent un climat « tempéré frais de moyenne montagne » et constitue la référence par rapport à laquelle toutes les évolutions ultérieures doivent être mesurées.

8.2 L'hiver 1956 : le souvenir d'un froid d'une autre époque

L'année 1956 est entrée dans la mémoire climatique européenne comme l'une des plus froides du XXe siècle. Le diagramme ombrothermique de cette année illustre parfaitement ce que pouvait être un hiver extrême dans le climat d'alors. Le mois de février enregistre une température minimale moyenne de -12,7 °C et une température moyenne mensuelle négative, des valeurs qui feraient aujourd'hui figure d'anomalie absolument extraordinaire. Cette année, gravée dans les mémoires sous le nom de l'hiver 56, représente un extrême froid qui, avec le réchauffement actuel, appartient clairement au passé climatique du territoire. La probabilité de revoir de tels hivers sur ce territoire dans les décennies à venir est désormais extrêmement faible.

8.3 L'année 1963 : un dernier grand hiver froid

L'année 1963 offre un profil contrasté et caractéristique du climat vosgien d'alors. L'hiver y est particulièrement rigoureux : les températures minimales moyennes de janvier et février descendent nettement sous -5 °C avec des températures moyennes mensuelles proches de -5 °C également.

Paradoxalement, l'été reste assez tempéré avec un maximum mensuel moyen ne dépassant pas +23 °C en juillet. Les précipitations, quant à elles, présentent une forte irrégularité avec des mois oscillant entre 120 et 110 mm respectivement en novembre et en août. Cela contraste énormément avec un mois de décembre quasiment sec. Cette année illustre bien la variabilité naturelle du climat avant le réchauffement : des hivers pouvant être très froids, des étés modérés et des précipitations distribuées sur l'ensemble de l'année.

8.4 L'année 2003 : un été qui a tout changé

Le diagramme de 2003 marque une rupture climatique brutale dans l'histoire météorologique du territoire. L'été affiche des températures maximales moyennes dépassant +30 °C en juillet-août, des valeurs sans précédent pour ce territoire et très largement supérieur aux normales historiques. La température moyenne de juillet atteint +26 °C, soit environ +6 °C au-dessus de la normale de référence. Parallèlement, juillet et août enregistrent des précipitations particulièrement faibles (respectivement 30 et 24 mm), créant un déficit hydrique estival d'une intensité jusqu'alors inconnue sur le territoire.

Cet épisode, longtemps considéré comme exceptionnel et improbable, est aujourd'hui perçu par les climatologues comme un avant-goût des étés qui pourraient devenir courants d'ici la fin du siècle dans les scénarios de réchauffement les plus pessimistes.

8.5 L'année 2022 : Vers une nouvelle normalité inquiétante

Le diagramme de 2022 vient confirmer et approfondir les tendances observées depuis 2003. Il constitue à ce jour le portrait le plus préoccupant du nouveau visage climatique du territoire. Le mois de juillet ne reçoit que 6 mm de précipitations, le mois le plus sec jamais enregistré sur la période. Les forêts du territoire ont subi un stress hydrique d'une intensité extrême. Les températures maximales estivales atteignent des niveaux record avec des températures moyennes maximales atteignant 27 °C. À l'inverse, le mois de septembre connaît un épisode pluvieux exceptionnel avec 129 mm, illustrant l'intensification des contrastes entre sécheresses estivales et précipitations automnales intenses. L'ensemble du profil thermique annuel est décalé vers le haut par rapport aux normales historiques, aucun mois ne présentant de température inférieure aux moyennes de référence.

9. Ce que nous disent ces données : synthèse

« L'été de mon année de naissance sera le plus froid du reste de ma vie. »
Christophe CASSOU.

Des conséquences déjà visibles sur le territoire.
Ces transformations climatiques ne restent pas sans effet sur les milieux naturels et les activités humaines de la réserve. Plusieurs signes concrets témoignent dès aujourd'hui des impacts de ce réchauffement. Les forêts du territoire sont en première ligne. Les essences emblématiques du massif sont particulièrement observées depuis le début des années 2000, et se sont notablement intensifiés à la suite des sécheresses répétées de 2003, puis surtout de 2018-2020. L'attribution de ces dépérissements demande cependant d'être formulée avec prudence : le climat en est un facteur déclenchant et aggravant majeur, mais rarement la cause unique. Le dépérissement forestier résulte en règle générale d'une combinaison de facteurs, que l'on décrit habituellement selon trois niveaux :

- **Les facteurs prédisposants,** qui installent une vulnérabilité de fond : adéquation plus ou moins bonne entre l'essence et la station (sol, réserve utile en eau, exposition), structure et âge des peuplements, densité, historique sylvicole, choix d'essences parfois hérités de plantations anciennes en limite de leur aire de tolérance ;

- **Les facteurs déclenchants**, ponctuels et brutaux : sécheresses édaphique sévères, canicules, gels tardifs, tempêtes ;

- **Les facteurs aggravants**, qui achèvent des arbres déjà affaiblis : ravageurs (scolytes notamment) et agents pathogènes, dont les populations sont elles-mêmes favorisées par des conditions plus chaudes et par la disponibilité en arbres stressés.

Ainsi, si l'évolution des dépérissements observée sur le territoire est en grande partie liée à l'évolution du climat, et notamment à la répétition rapprochée d'épisodes de

déficit hydrique qui ne laisse plus aux peuplements le temps de reconstituer leurs réserves, elle ne peut lui être imputée exclusivement. La composition et la structure des peuplements, les itinéraires sylvicoles passés ainsi que les caractéristiques stationnelles jouent localement un rôle déterminant, qui explique que des pluralité de facteurs est d'ailleurs une information utile pour la gestion : elle indique que si le forçage climatique n'est pas maîtrisable à l'échelle du territoire, plusieurs leviers sylvicoles (diversification des essences, adaptation des densités, allongement ou raccourcissement des cycles, meilleure adéquation essence-station) demeurent, eux, actionnables.

Les cours d'eau et la ressource en eau sont également affectés. Des étiages estivaux plus sévères et plus précoces ont été observés sur plusieurs rivières du territoire, avec des conséquences pour les écosystèmes aquatiques, la faune piscicole et les usages humains de l'eau.

La biodiversité évolue elle aussi : remontée altitudinale de certaines espèces végétales, modifications des cycles phénologiques (floraison, feuillaison, migration des oiseaux), apparition de nouvelles espèces à affinité méridionale dans des zones autrefois trop fraîches.

L'agriculture est fortement exposée au réchauffement climatique. La multiplication des sécheresses, le décalage des précipitations et la répartition différenciée de l'eau affectent la productivité des prairies, ressource essentielle du système pastoral, et contraignent les éleveurs à acheter davantage de fourrage. Ces évolutions imposent une adaptation des pratiques agricoles (calendrier de pâturage, espèces plus résistantes, gestion différente de l'eau) plaçant l'agriculture au cœur des enjeux de résilience du territoire.

10. Ce que nous réserve l'avenir

Avant d'examiner les projections, il convient de situer le territoire sur l'échelle du réchauffement déjà observé. Plutôt que de comparer une année isolée, dont la variabilité inter-annuelle masque le signal de fond, à une normale de référence, il est plus rigoureux de comparer deux normales trentenaires entre elles, chacune lissant trente années de fluctuations. À la station de Danne-et-Quatre-Vents, la température moyenne annuelle est passée de 9,65 °C sur la normale 1976-2005 à 10,32 °C sur la normale 1991-2020, soit un réchauffement déjà acquis d'environ +0,67 °C entre ces deux périodes. Ce chiffre traduit le déplacement du climat moyen du territoire, conformément à la recommandation de l'Organisation météorologique mondiale de raisonner sur des périodes de référence de trente ans.

Cette valeur prend tout son sens lorsqu'on la rapporte aux projections présentées dans la suite. Les données DRIAS sont en effet exprimées par rapport à la période 1976-2005 : le réchauffement de +0,67 °C déjà mesuré indique donc de combien la normale la plus récente s'est éloignée du point de départ même des projections. Autrement dit, le territoire n'aborde pas les scénarios futurs depuis un état de référence intact ; une partie du chemin est déjà parcourue, et les étés récents (2003, 2022) en donnent un avant-goût concret. Cette continuité entre l'observé et le projeté justifie la lecture par paliers de réchauffement retenue dans la suite : les transformations décrites aux niveaux +2, +2,7 et +4 °C ne sont pas des hypothèses abstraites pour un futur lointain,

mais le prolongement d'une dérive que les chroniques locales documentent déjà. Reste à déterminer la vitesse à laquelle les paliers suivants seront franchis, question qui dépend des émissions futures et non plus seulement de la physique du climat.

10.1 Un climat qui se dérègle sous l'effet des gaz à effet de serre

Il est important de comprendre que l'effet de serre est un phénomène naturel par lequel certains gaz présents dans l'atmosphère (comme le CO2 et l'H2O) retiennent une partie de la chaleur émise par la Terre, contribuant ainsi à maintenir une température propice à la vie sur notre planète. L'augmentation du CO2 amplifie l'effet de serre, ce qui provoque un dérèglement climatique aux conséquences environnementales, sociales et économiques majeures. Réduire les émissions de gaz à effet de serre est donc essentiel pour limiter ces impacts. L'anomalie de température moyenne à la surface du globe, c'est-à-dire l'écart par rapport à la période préindustrielle, a atteint +1,45 °C (± 0,12 °C) en 2023, première d'une série d'années record. Les onze années de 2015 à 2025 constituent les onze années les plus chaudes jamais enregistrées en 176 ans d'observation. L'année 2025 a dépassé de +1,44 °C (± 0,13 °C) la moyenne 1850-1900, se classant au deuxième ou au troisième rang selon les jeux de données, derrière 2024, qui demeure l'année la plus chaude. Cette tendance de fond n'est pas une fluctuation passagère : elle traduit une accumulation continue d'énergie dans le système climatique.

Sur quelles données s'appuie cette analyse ? Et pourquoi jusqu'en 2100 ?

L'analyse qui suit se fonde sur les données DRIAS de Météo-France, qui mettent à disposition les projections climatiques régionalisées issues des scénarios du GIEC. Ces données sont fournies sur la grille SAFRAN (mailles de 8 km x 8 km), qui constitue la meilleure résolution actuellement disponible pour des projections régionalisées couvrant l'ensemble de la France. Cette échelle reste toutefois grossière au regard des contrastes topographiques du territoire.

Choisir l'horizon 2100 n'est pas arbitraire. En effet, le climat ne réagit pas instantanément aux émissions de GES. Les océans, les glaciers et l'atmosphère mettent des décennies, voire des siècles, à « encaisser », puis restituer la chaleur accumulée. Un horizon lointain est donc nécessaire pour voir se déployer pleinement les effets des émissions actuelles. On parle alors d'inertie du système climatique.

Mais pourquoi 2100 ? Le GIEC a fixé 2100 comme horizon de référence commun, afin de comparer sur une même échelle de temps tous les modèles, tous les pays et tous les scénarios. D'une manière générale, 2100 est également une échelle pertinente pour l'action. 2100 correspond à l'horizon de vie des enfants qui naissent aujourd'hui. C'est également l'échelle des grandes décisions d'aménagement, de gestion forestière, de ressources en eau, infrastructure dont les effets se mesurent sur 50 à 80 ans. Planter un arbre aujourd'hui, c'est en quelque sorte parier sur le climat de 2100.

À court terme, la variabilité naturelle (années chaudes ou froides) masque la tendance de fond. Plus l'horizon est lointain, plus le « signal » du réchauffement se distingue nettement du « bruit » des fluctuations annuelles.

10.2 Qu'est-ce qu'un « narratif » ?

Les narratifs retenus portent des noms techniques (par exemple, EC-EARTH rcp85 HadREM3-GA7 ADAMONT). Derrière ce vocabulaire se cachent en réalité plusieurs briques empilées :

Élément du nom	Ce qu'il désigne	Analogie
EC-EARTH, CNRM-CM5, HadGEM2-ES	Le **modèle climatique global** qui simule le climat de toute la planète	Le « cerveau » mondial
RCP8.5	Le **scénario d'émissions** de GES retenu	Le « régime » d'émissions
HadREM 3, ALADIN63	Le **modèle régional** qui affine à l'échelle locale	La « loupe » sur le Nord-Est
ADAMONT	La **méthode de correction statistique** ajustant les résultats au terrain réel	La « mise au point » finale

Tableau 1 : Décomposition du nom d'un Narratif

Le narratif est donc une trajectoire possible de l'avenir, et non une certitude : il s'agit de projections probabilistes. La prise en compte de plusieurs narratifs permet une lecture comparative de l'avenir probable de notre territoire.

Le scénario d'émission retenu est le RCP8.5. Les trois narratifs sélectionnés reposent sur le même scénario d'émissions : le RCP8.5. Conçu comme un scénario « business as usual » (statu quo, sans inflexion des politiques), il constitue le plus pessimiste des RCP. Le sigle « RCP » signifie Représentative Concentration Pathway. La valeur 8,5 désigne le forçage radiatif additionnel atteint en 2100 par rapport à l'ère préindustrielle (1750), exprimé en watts par mètre carré (8,5 W/m²). Autrement dit, il s'agit de la quantité d'énergie supplémentaire retenue par l'atmosphère du fait de l'accumulation des GES.

Ce scénario repose sur un ensemble d'hypothèses humaines, communes aux trois narratifs :

Facteur	Hypothèse retenue (RCP8.5)
Émissions de CO_2	Croissance continue et forte
Population mondiale :	~12 milliards en 2100
Énergie	Dépendance massive aux combustibles fossiles
Déforestation	Importante et continue
Technologies propres	Développement très limité
Agriculture	Forte pression sur les terres

Tableau 2 : Hypothèse commune aux trois narratifs

Prévoir le climat de 2100 ne consiste pas à annoncer une valeur unique, mais à délimiter un champ des possibles.

Point essentiel, les trois narratifs partagent le même scénario d'émission (RCP8.5) et les mêmes hypothèses humaines, leurs différences ne viennent pas des choix de société. Elles proviennent de la façon dont chaque modèle climatique réagit à ce même forçage : face à des émissions identiques, les modèles ne «répondent» pas tout à fait de la même manière, notamment sur l'évolution des précipitations. C'est ce que l'on appelle l'incertitude liée aux modèles.

Narratif	Modèle	Température	Précipitations (été)	Rôle dans l'analyse
Orange	EC-EARTH	Réchauffement fort	Assèchement marqué	Scénario du risque maximal — référence pour la planification du pire
Jaune	CNRM-CM5	Changements modérés	Peu marqués	Trajectoire intermédiaire
Vert	HadGEM2-ES	Réchauffement marqué	Hausse des précipitations	Profil paradoxal (chaud, mais humide) — marges de résilience

Tableau 3 : Descriptions des trajectoires des narratifs sélectionnés.

Le narratif orange sert donc de référence pour planifier le risque maximal : il combine le réchauffement le plus fort et l'assèchement estival le plus marqué, dessinant ainsi le profil le plus contraignant pour le territoire. À l'opposé, sur l'axe de l'intensité, le narratif jaune ne traduit en aucun cas un scénario d'émissions plus modéré : il s'inscrit, comme les deux autres, dans le cadre du RCP8.5. Il correspond en réalité au modèle climatique le moins sensible au sein de ce même forçage, c'est-à-dire celui qui simule la réponse la plus contenue du système climatique à un niveau d'émissions pourtant identique. Les changements qu'il projette apparaissent ainsi relativement moins marqués, non pas parce que les sociétés auraient réduit leurs émissions, mais parce que la sensibilité climatique retenue par ce modèle est plus faible. Il permet donc de visualiser la borne basse de l'incertitude scientifique, à trajectoire d'émissions constante. Enfin, le narratif vert offre un profil paradoxal, chaud, mais humide, qui mérite une attention particulière pour comprendre les marges de résilience potentielles des écosystèmes.

Là où les trois modèles convergent (la hausse des températures), la confiance est forte. Là où ils divergent (l'évolution des pluies), il faut rester prudent et raisonner en fourchette. Cette lecture comparative permet à un gestionnaire de territoire de se préparer à plusieurs futurs plutôt qu'à un seul.

Tout au long de cette analyse et dans les prochains chapitres, les impacts du dérèglement climatique sont analysés à partir de trois niveaux de réchauffement global de référence à savoir +2, +2,7 et +4 °C. Ce parti pris mérite d'être explicité, car il conditionne toute la

lecture du document.

Raisonner par paliers de réchauffement plutôt que par horizons temporels présente un avantage majeur de robustesse. En effet, personne ne peut prédire avec certitude l'année exacte où tel niveau de réchauffement sera atteint, car cela dépend entièrement des émissions futures de gaz à effet de serre, donc des décisions humaines à venir. En revanche, on sait décrire avec une fiabilité bien plus grande à quoi ressemblera le territoire lorsqu'un palier donné sera franchi, quelle que soit la date à laquelle cela se produira. Cette approche déconnecte ainsi l'analyse des incertitudes liées au calendrier, pour se concentrer sur l'essentiel : l'ampleur des transformations à anticiper.

Surtout, ces trois valeurs ne résultent pas d'un choix arbitraire de notre part : elles reprennent fidèlement le cadre fixé par l'État français à travers le troisième Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC-3) et son outil de référence, la Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Climat (TRACC).

Jusqu'alors, chaque collectivité, bureau d'études ou aménageur pouvait retenir ses propres hypothèses de réchauffement pour bâtir ses projections, ce qui rendait les analyses difficilement comparables entre elles et fragilisait la cohérence des politiques d'adaptation à l'échelle du pays. Pour mettre fin à cette dispersion, l'État a défini, dans le cadre du PNACC-3, une trajectoire de référence unique, partagée et opposable, autour de laquelle l'ensemble des acteurs sont désormais invités à dimensionner leurs stratégies.

La TRACC retient précisément ces trois paliers, associés à des horizons temporels indicatifs :

+2 °C à l'horizon 2030, correspond à la limite haute de l'Accord de Paris (2015), c'est-à-dire au seuil que la communauté internationale s'est engagée à ne pas dépasser. Il incarne le scénario d'un monde qui parvient à réduire fortement ses émissions et représente, en quelque sorte, l'objectif vertueux à atteindre ;

+2,7 °C traduit une trajectoire intermédiaire, la plus proche de la réalité actuelle : c'est l'ordre de grandeur vers lequel nous nous dirigeons si les politiques climatiques engagées aujourd'hui sont maintenues sans renforcement supplémentaire. Il s'agit donc du réchauffement le plus probable en l'état des engagements mondiaux ;

+4 °C illustre un scénario de fortes émissions maintenues tout au long du siècle (cohérent avec le RCP 8.5 du narratif orange). Il ne constitue pas la prévision la plus probable, mais sert de référence pour la planification du risque maximal : se préparer à ce niveau, c'est garantir la résilience du territoire même dans l'hypothèse la plus défavorable.

En adoptant cette même grille, notre analyse s'inscrit donc dans la continuité directe de la doctrine nationale d'adaptation. Ce choix garantit que les conclusions tirées des données DRIAS seront cohérentes avec le référentiel réglementaire, comparables avec les autres études conduites sur le territoire national, et directement exploitables par les décideurs locaux pour bâtir leur propre stratégie d'adaptation.

10.3 Nature, génération et limites des données mobilisées

L'analyse prospective présentée ici s'appuie sur les projections climatiques régionalisées mises à disposition par Météo-France via le portail DRIAS- Les Futurs du Climat. Trois précisions méthodologiques sont nécessaires pour interpréter correctement la portée.

10.3.a La résolution spatiale

Les projections DRIAS sont fournies sur la grille SAFRAN, dont la maille est de 8kmx8km. À l'échelle de la RBMS, en revanche, elle reste supérieure à celle des contrastes topographiques qui structurent le climat local : une maille de 8km peut englober un fond de vallée, un versant et une crête, dont les conditions thermiques et hydriques diffèrent sensiblement. Les valeurs projetées doivent donc être lues comme des moyennes de maille, représentatives d'une tendance de fond à l'échelle du territoire, et non comme des prévisions applicables telles quelles à une parcelle, un versant ou un site donné. En l'absence d'alternative disponible offrant une meilleure résolution sur l'ensemble des indicateurs souhaités, ces données restent aujourd'hui la meilleure base mobilisable, à condition d'assumer cette limite.

10.3.b La génération des modèles

Les chaînes de modélisation actuellement diffusées sur DRIAS (couples modèle global/ modèle régional issus notamment de l'exercice EURO-CORDEX) reposent sur l'exercice d'inter-comparaison CMIP5, qui a servi de socle au 5ème rapport d'évaluation du GIEC (AR5, 2013-2014). Ces simulations ont donc plus d'une décennie. Elles conservent une validité scientifique reconnue, les mécanismes physiques et l'ordre de grandeur des évolutions projetées n'ont pas été remis en cause par les travaux ultérieurs, mais elles n'intègrent ni les améliorations de représentation des processus apportées par la génération suivante de modèles, ni les inventaires d'émissions les plus récents. Une mise à jour est engagée par Météo-France, notamment dans le cadre du projet CERRA4IMPACT, qui doit permettre de disposer prochainement de jeux de données actualisés et à résolution renforcée. Les analyses du présent chapitre auront vocation à être revisitées à cette occasion.

10.3.c Les scénarios d'émissions : RCP et SSP

Il en découle que les scénarios mobilisés ici sont les RCP (Representative Concentration Pathways), propres à l'AR5, alors que le 6ème rapport du GIEC (AR6, 2021-2023) raisonne à partir des SSP (Shared Socioeconomic Pathways), issus de CMIP6. Ce décalage n'invalide pas l'exercice, mais il doit être explicité pour éviter tout malentendu :

	RCP (AR5 / CMIP5)	SSP (AR6 / CMIP6)
Logique	Trajectoires de concentration de GES, définies par le forçage radiatif atteint en 2100	Trajectoires combinant forçage radiatif et hypothèses socio-économiques (démographie, énergie, inégalités, gouvernance)
Exemple haut	RCP8.5 (~8,5 W/m² en 2100)	SSP5-8.5
Disponibilité DRIAS	Oui, jeux actuels	Pas encore intégrés dans les jeux régionalisés diffusés

Tableau 4 : Comparaison entre les scénarios RCP et SSP.

Les RCP décrivent uniquement une trajectoire de concentration de gaz à effet de serre, sans en préciser les déterminants socio-économiques ; les SSP y adjoignent des récits sur les évolutions démographiques, énergétiques et politiques susceptible d'y conduire. Pour un même niveau de forçage radiatif, RCP8.5 et SSP5-8.5 sont largement comparable en termes de réponse climatique, même si leurs hypothèses sous-jacentes et leur plausibilité respective font l'objet de discussions au sein de la communauté scientifique.

Ce que cela implique pour la lecture de ce document. Utiliser des données CMIP5/RCP en 2026 n'est pas un choix par défaut de rigueur, mais la conséquence de l'état des jeux de données régionalisés actuellement disponibles pour la France. Deux garde-fous ont été retenus pour en limiter la portée :

- Le raisonnement est conduit par palier de réchauffement global (+2, +2,7 et +4°C) et non par horizons temporels. Cette approche, développée plus loin, présente l'avantage décisif d'être largement indépendante du scénario d'émission retenu et de la génération de modèle : décrire à quoi ressemble le territoire lorsque la température moyenne française atteindra +2°C reste valide, que ce palier soit franchi selon une trajectoire RCP ou SSP, et quelle que soit la date à laquelle il l'est ;

- La lecture privilégie systématiquement les convergences entre narratifs et raisonne en fourchettes plutôt qu'en valeurs ponctuelles, ce qui limite la sensibilité des conclusions aux caractéristiques d'une chaîne de modélisation particulière.

Les ordres de grandeurs présentés dans ce chapitre doivent donc être compris comme des enveloppes d'évolution plausibles destinées à orienter la décision, et non comme des prévisions. Ils feront l'objet d'une actualisation dès la mise à disposition des projections issues de CMIP6 et des travaux en cours à Météo-France.

10.5 Les températures

À 2 °C de réchauffement, les écarts entre narratifs restent relativement contenus pour la température moyenne annuelle avec des valeurs comprises entre +1,2 °C et 2,1 °C d'écart, par rapport à la normale de 1976-2005, selon les scénarios. Le narratif vert affichant systématiquement les anomalies les plus élevées à ce stade. Cette hiérarchie se redistribue à 2,7 °C où le narratif orange prend la tête des anomalies de température moyenne atteignant +2,5 à 2,8 °C, dépassant ainsi nettement le narratif jaune (+1,8 à +2 °C) et rejoignant le narratif vert. À +4 °C le narratif orange se distingue de manière particulièrement marquée sur les températures moyennes maximales estivales avec des anomalies pouvant atteindre +6,1 °C contre +4,6 °C pour le narratif vert et +3,2 °C pour le narratif jaune. Ce dernier se caractérise ainsi par une progression plus linéaire et plus modérée de l'ensemble d'indicateurs thermiques, tandis que le narratif orange révèle une non-linéarité et une amplification très forte des extrêmes estivaux au-delà de +2,7 °C. Le narratif vert occupe une position intermédiaire sur les températures moyennes, mais rejoint ou dépasse le narratif orange sur les maximas estivaux à +4 °C.

Le point de rupture central entre les trois narratifs réside donc moins dans la trajectoire à +2 °C, relativement convergente, que dans l'amplification différenciée et accélérée des extrêmes thermiques estivaux au niveau de réchauffement le plus élevé. Ce qui est particulièrement frappant dans le narratif orange.

Indicateur	Narratif jaune	Narratif vert	Narratif orange
T° moy. Annuelle à +2 °C	+1,2 à +1,4 °C	+1,7 à +2,1 °C	+1,4 à +1,7 °C
T° moy. Annuelle à +2,7 °C	+1,8 à +2 °C	+2,1 à +2,4 °C	+2,5 à +2,8 °C
T° moy. Annuelle à +4 °C	+2,8 à +3,1 °C	+3,3 à +3,7 °C	+3,5 à +3,9 °C
T° max estivaux à +2 °C	+1,1 à +1,4 °C	+2,3 à +2,6 °C	+1,7 à +2 °C
T° max estivaux à +2,7 °C	+2 à +2,3 °C	+2,3 à +2,6 °C	+3,2 à +3,8 °C
T° max estivaux à +4 °C	+2,9 à +3,2 °C	+4,3 à +4,6 °C	+5,1 à +6,1 °C

Tableau 5 : Synthèse des températures par narratifs

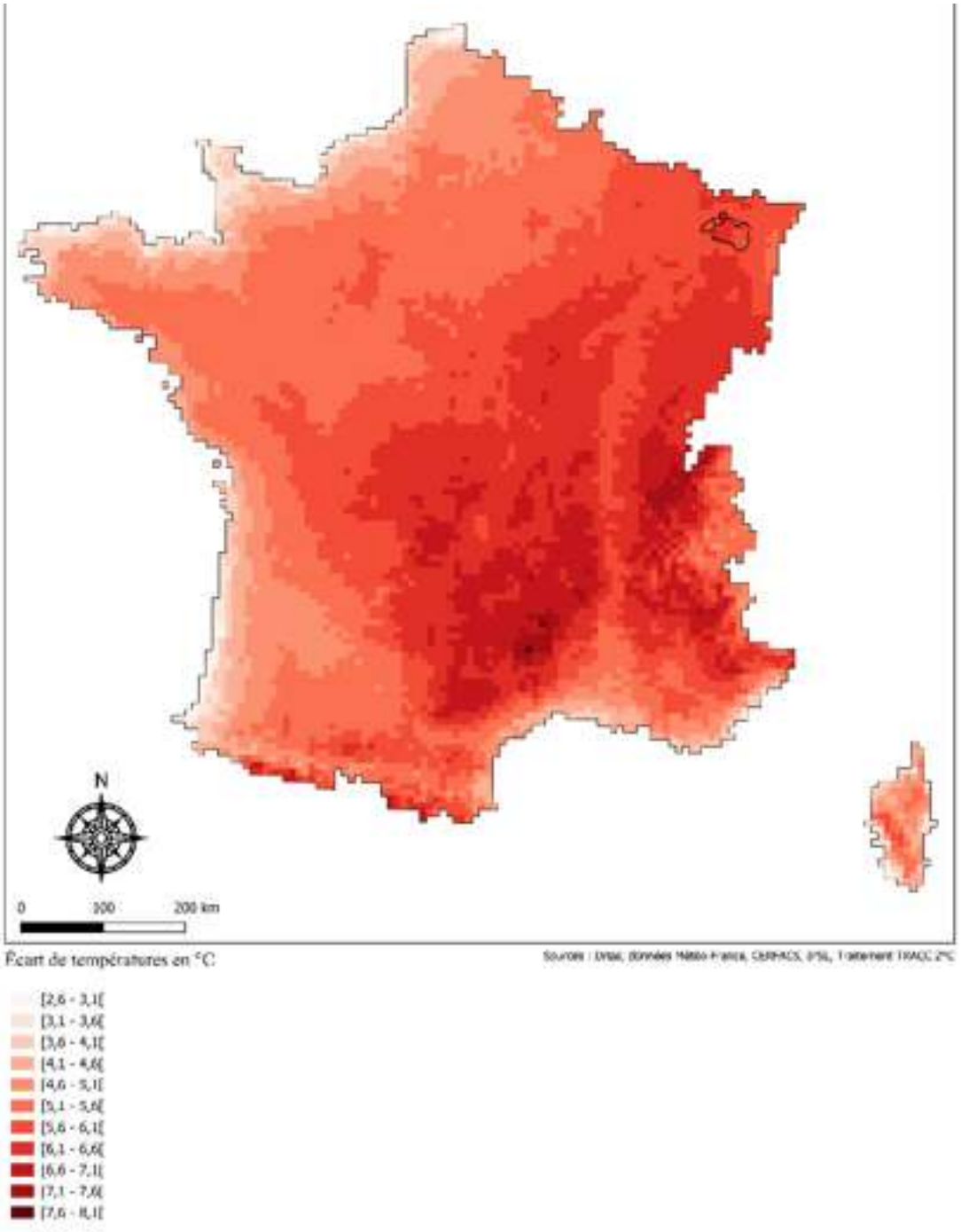


Figure 8 : Carte des répartitions spatiales des anomalies de températures maximales estivales. Narratif Orange à +4°C

10.6 Les jours de gel

La réduction des jours de gel constitue l'un des signaux les plus robustes et les plus cohérents entre les trois narratifs : tous indiquent une diminution progressive et significative du nombre de jours de gel à mesure que le réchauffement s'intensifie.

Toutefois, l'amplitude de cette réduction varie considérablement selon les narratifs et révèle des logiques climatiques distinctes. Le narratif jaune représente la réduction la plus modérée à chaque palier de réchauffement avec une perte de 8 à 12 jours à +2 °C et de 20 à 26 jours à +4 °C, reflétant un climat local qui conserve une saisonnalité hivernale perceptible même dans les scénarios les plus sévères. Le narratif vert propose une réduction plus marquée, de l'ordre de 14 à 18 jours à +2 °C et de 25 à 30 jours à +4 °C, mais la progression reste relativement régulière entre les paliers.

C'est le narratif orange qui se distingue le plus nettement, avec une réduction déjà forte à +2 °C (15 à 22 jours) et une quasi-disparition des jours de gel à +4 °C (35 à 45 jours de moins), ce qui suggère un basculement vers un régime hivernal fondamentalement transformé.

Le point de convergence entre les trois narratifs est l'orientation univoque à la baisse des jours de gel, sans exception ni ambiguïté. Le point de rupture majeur réside dans l'intensité de cette réduction au palier +4 °C : là où le narratif jaune maintient une diminution substantielle, mais graduée, le narratif orange projette une érosion quasi totale du gel hivernal, impliquant des conséquences profondes pour les écosystèmes, l'agriculture et la régulation biologique des espèces.

Indicateur	Narratif jaune	Narratif vert	Narratif orange
Jours de gel à +2 °C	-8 à -12 jours	-14 à -18 jours	-15 à -22 jours
Jours de gel à +2,7 °C	-13 à -17 jours	-19 à -23 jours	-25 à -35 jours
Jours de gel à +4 °C	-20 à -26 jours	-25 à -30 jours	-35 à -45 jours

Tableau 6 : Synthèse du nombre de jours de gel par narratif

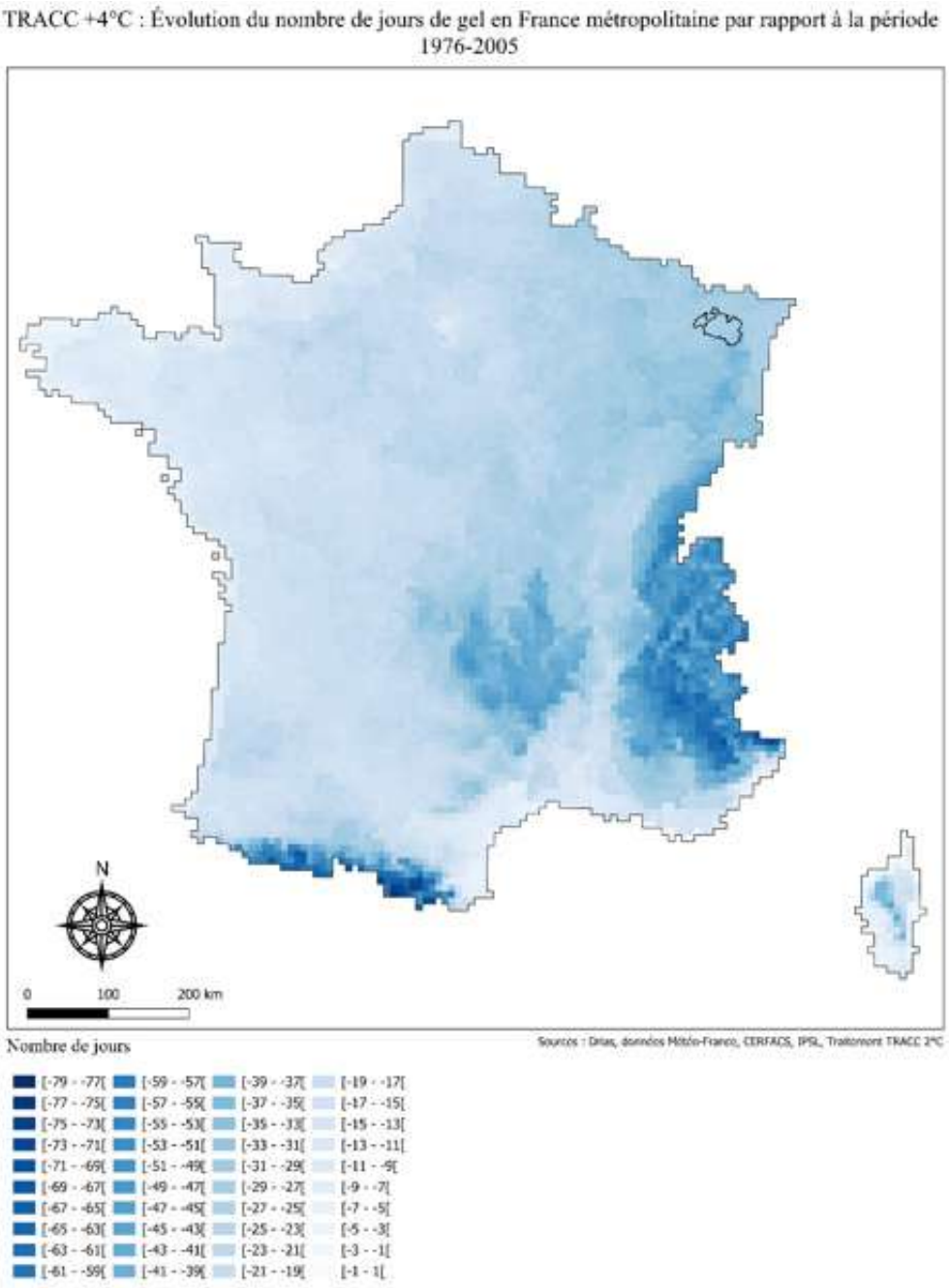


Figure 10 : Évolution du nombre de jours de gel Narratif orange à +4 °C

10.7 Les nuits tropicales

L'évolution des nuits tropicales constitue l'un des indicateurs les plus révélateurs des divergences entre narratifs au niveau de réchauffement intermédiaires, avant une convergence remarquable aux scénarios les plus extrêmes.

À +2 °C, les écarts entre narratifs sont particulièrement frappants. Le narratif vert projette déjà 8 à 11 nuits tropicales supplémentaires, là où le narratif jaune n'en projette que de 1 à 3, et le narratif orange de 2 à 5. Cette différence initiale très marquée du narratif vert traduit une sensibilité thermique nocturne spécifique à ce territoire ou à ce modèle climatique qui anticipe dès le premier « palier » des transformations que les deux autres narratifs ne perçoivent qu'à partir de +2,7 °C. À ce palier intermédiaire, les

trois narratifs se rapprochent sensiblement avec des valeurs comprises entre 6 et 14 nuits selon les scénarios.

La convergence la plus saisissante s'observe à +4 °C où les trois narratifs aboutissent à des estimations quasi identiques, comprise entre 18 et 26 nuits tropicales supplémentaires indépendamment de leurs trajectoires initiales très différenciées. Ce phénomène de convergence terminale suggère qu'au-delà d'un certain seuil de réchauffement, les différences de sensibilité locale ou de modélisation s'effacent devant la force du signal thermique global.

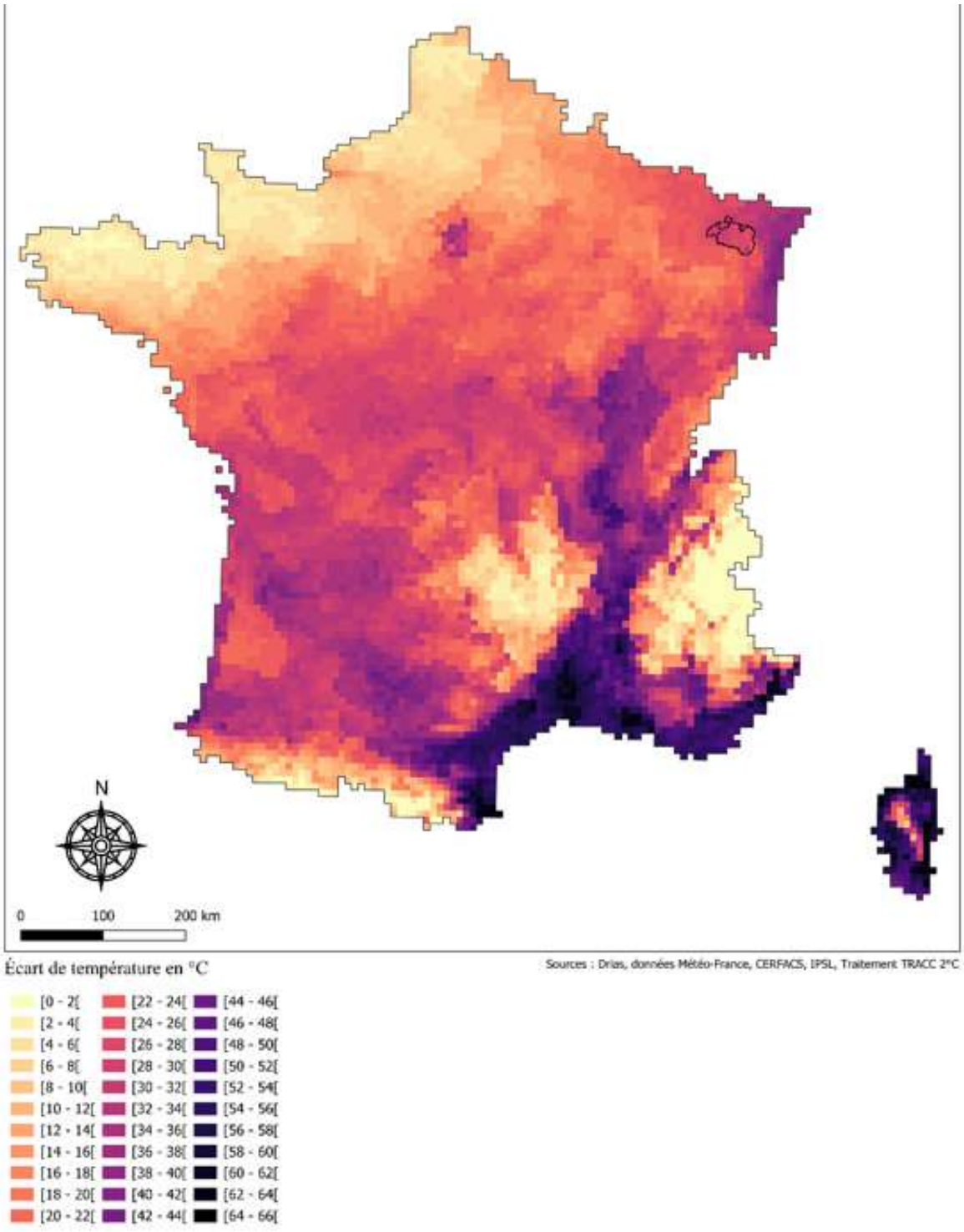


Figure 11 : Évolution de la fréquence de nuits tropicales (TRACC +4 °C narratifs orange)

Indicateur	Narratif jaune	Narratif vert	Narratif orange
Nuits tropicales à +2 °C	+1 à +3 nuits	+8 à +11 nuits	+2 à +5 nuits
Nuits tropicales à +2,7 °C	+8 à +10 nuits	+11 à +14 nuits	+6 à +10 nuits
Nuits tropicales à +4 °C	+18 à +22 nuits	+18 à +22 nuits	+20 à +26 nuits

Tableau 7 : Synthèse des nuits tropicales par narratif

10.8 La pluviométrie

La pluviométrie constitue la thématique où les divergences entre narratifs sont les plus complexes, les plus contre-intuitives et les plus difficiles à interpréter sans une distinction fine entre les saisons et entre les indicateurs bruts et les indicateurs de bilan hydrique. Contrairement aux idées reçues, le risque ne se lit pas dans le volume d'eau qui tombe, mais dans son calendrier et dans ce que le climat en reprend.

L'analyse de la ressource en eau ne peut se réduire à la seule quantité de pluie qui tombe sur le territoire. Cette donnée, bien qu'indispensable, ne raconte qu'une partie de l'histoire. Pour saisir la disponibilité réelle de l'eau, ce tableau croise volontairement trois échelles de lecture emboîtées, chacune corrigeant l'illusion produite par la précédente. Les précipitations annuelles donnent une vue d'ensemble, le volume brut des apports au système. Prises isolément, elles sont cependant trompeuses : les trois narratifs convergent tous vers une légère hausse, généralement comprise entre +5 et +13 % à +4 °C. Cette convergence dessine une situation faussement stable, qui pourrait laisser croire, à tort, à une amélioration de la ressource. Elle masque en réalité des dynamiques saisonnières et des bilans hydriques radicalement différents selon les narratifs.

Désagréger ce total entre hiver et été révèle une première vérité cachée. Un même cumul annuel peut en effet recouvrir une concentration de l'eau en hiver et un assèchement estival : l'eau tombe alors au mauvais moment, lorsque les sols, les nappes et la végétation en ont le moins besoin. La répartition temporelle importe donc autant que le volume.

Cette divergence saisonnière apparaît clairement lorsqu'on compare les trois narratifs :

Le narratif vert se distingue par une forte hausse des précipitations hivernales dès +2 °C (+20 à 30 %), qui se maintient à +2,7 °C avant de s'atténuer à +4 °C (+10 à 20 %). Il suggère un régime hivernal plus humide, mais une redistribution saisonnière qui ne compense pas la stagnation estivale (0 à +10 % à tous les paliers).

Le narratif orange présente la dynamique hivernale la plus intense à +2,7 °C, avec une hausse exceptionnelle de +30 à 50 % des précipitations hivernales. Cette valeur coexiste cependant avec des précipitations estivales nulles ou déficitaires (-10 à 0 % à +2 °C), révélant une saisonnalisation accrue des apports pluviométriques et donc une concentration temporelle des risques de ruissellement et d'inondation.

Le narratif jaune offre le profil le plus régulier et le plus progressif, avec des hausses modestes, mais cohérentes sur toutes les saisons et tous les paliers, sans signal estival négatif, ce qui en fait le narratif le plus favorable en termes de répartition temporelle des précipitations.

Reste enfin à confronter ces apports à ce que le climat reprend. L'évapotranspiration potentielle (ETP) mesure la demande évaporative de l'atmosphère, c'est-à-dire la quantité d'eau que la chaleur soutire aux sols et aux plantes. La différence entre les apports (P) et cette demande (ETP) constitue le bilan hydrique (P — ETP), seul indicateur capable de révéler la disponibilité effective de l'eau. Une hausse des précipitations peut en effet parfaitement coexister avec un assèchement du territoire, dès lors que l'évapotranspiration progresse plus vite que les apports.

Indicateur	Narratif jaune	Narratif vert	Narratif orange
Précip. Annuelles à +2 °C	+1 à +2 %	+8 à +13 %	0 à +6 %
Précip. Annuelles à +2,7 °C	+3 à +8 %	+9 à +13 %	+8 à +12 %
Précip. Annuelles à +4 °C	+8 à +13 %	+5 à +12 %	+8 à +13 %
Précip. Hivernales à +2 °C	+1 à +2 %	+20 à +30 %	+10 à +20 %
Précip. Hivernales à +2,7 °C	+3 à +8 %	+20 à +30 %	+30 à +50 %
Précip. Hivernales à +4 °C	+16 à +21 %	+10 à +20 %	+20 à +30 %
Précip. Estivales à +2 °C	+1 à +3 %	0 à +10 %	-10 à 0 %
Précip. Estivales à +2,7 °C	+3 à +8 %	0 à +10 %	-10 à +10 %
Précip. Estivales à +4 °C	+8 à +13 %	0 à +10 %	0 à +10 %
ETP annuels à +2 °C	30 à 60 mm	40 à 70 mm	50 à 80 mm
ETP annuels à +2,7 °C	60 à 90 mm	40 à 80 mm	70 à 120 mm
ETP annuels à +4 °C	80 à 120 mm	140 à 200 mm	140 à 200 mm

Tableau 8 : Synthèse des précipitations annuelles, hivernales et estivales ainsi que l'évapotranspiration par narratif

Le point de rupture décisif entre les narratifs ne réside cependant pas dans les volumes précipités, mais dans l'évapotranspiration potentielle (ETP), exprimée ici en millimètres supplémentaires de demande évaporative annuelle, qui révèle des écarts considérables et surtout des trajectoires temporelles très différentes.

Le narratif jaune affiche l'ETP la plus contenue et la plus progressive : de 30 à 60mm à +2°C ; elle s'élève à 60 à 90 mm à +2,7°C, puis à 80 à 120 mm à 4°C. La demande évaporative reste donc dans des proportions modérées à tous les paliers, y compris le plus élevé où elle demeure nettement inférieure à celle des deux autres narratifs. Les hausses de précipitations y restent, pour l'essentiel, effectivement disponibles : le bilan hydrique reste soutenable.

Le narratif vert se caractérise par une montée tardive mais brutale. Jusqu'à +2,7°C son ETP est proche de celle du jaune (40 à 70mm à +2°C, 40 à 80mm à 2,7°C) avant de connaître un saut à +4°C, où elle atteint 140 à 200mm, soit un quasi triplement par rapport au palier précédent. Cette accélération tardive érode les bénéfices d'un régime hivernal pourtant plus humide : au palier le plus chaud, la redistribution saisonnière ne compense plus la stagnation estivale, et le bilan hydrique bascule vers le déficit aux saisons critiques.

Le narratif orange se distingue non par un ETP terminal plus élevée à +4°C il rejoint le vert dans la même fourchette (140 à 200mm) mais par la précocité et la continuité de

sa dégradation. Son ETP est en effet la plus forte dès les premiers paliers (50 à 80 mm à +2°C, 70 à 120 mm à 2,7°C, là où le vert reste encore modéré. La demande évaporative s'installe donc plus tôt et progresse sans répit.

Surtout, elle se combine avec le régime pluviométrique le plus défavorable : une eau concentrée en hiver et un été déficitaire (précipitations estivales nulles ou négatives dès +2°C). C'est cette conjonction, une demande évaporative précoce et soutenue superposée à un déficit estival marque et non un niveau ETP supérieur au palier terminal, qui fait de l'orange la trajectoire la plus critique. Derrière un cumul annuel rassurant se cache ainsi un stress hydrique structurel qui s'installe dès les premiers degrés de réchauffement.

En valeurs absolues, l'ETP supplémentaire à +4°C est près de deux fois plus élevée dans les narratifs vert et orange (jusqu'à 200mm) que dans le narratif jaune (au plus de 120mm). La convergence des trois narratifs sur les totaux pluviométriques annuels cache donc trois trajectoires de bilan hydrique fondamentalement différentes : le jaune reste soutenable à tous les paliers ; Le vert et l'orange convergent vers un déficit sévère à +4°C, mais s'y acheminent différemment. Le vert par un basculement tardif, l'orange par une dégradation précoce et continue aggravée par un déficit estival dès les premiers paliers.

LA RESSOURCE EN EAU

Marie-Noelle PONS
Directeur de recherches CNRS chez Laboratoire Réactions et Génie des Procédés à l'Université de Lorraine

Élise TEMPLE-BOYER
Maître de conférence à Laboratoire Architecture, Ville, Urbanisme, Environnement *à l'Université Paris Nanterre*

Francis MARTIN
Président du conseil scientifique du Parc naturel régional de Lorraine et de la Réserve de biosphère de Moselle Sud
Docteur en physiologie végétale



Méduse d'eau douce des étangs

1. Un patrimoine hydrologique et hydraulique d'une grande diversité

L'eau constitue un des éléments structurants majeurs de la Réserve de biosphère de Moselle Sud, à la fois par sa singularité et son omniprésence. Situé à l'interface du plateau lorrain et des premiers reliefs vosgiens, ce territoire présente une remarquable diversité de socio-hydrosystèmes dont leur matérialité et leur physionomie actuelle est le fruit tout à la fois d'héritages climatiques, géomorphologiques et anthropiques, ces derniers étant souvent liés à des choix socio-politiques forts pour privilégier et gérer certains usages et activités liés à l'eau.

Les rivières d'abord : le territoire est situé en tête de trois bassins versants principaux : la Sarre, la Zorn et la Seille. La Sarre, axe hydrologique majeur prend naissance sur les contreforts vosgiens à partir de la Sarre Rouge et de la Sarre Blanche avant de traverser le territoire vers le nord jusqu'à l'Allemagne. A l'extrême sud-est, la Zorn rejoint quant à elle le bassin rhénan, tandis qu'à l'ouest, la Seille s'écoule vers la Moselle avant de rejoindre le Rhin. Cette dernière est particulièrement originale car elle renferme dans son sous-sol une importante couche de sel qui permet, grâce à des remontées en surface d'eau salée, la formation de mares salées continentales, milieux exceptionnels à l'échelle européenne.

Il est également constitué d'un réseau exceptionnellement dense de grands et petits étangs, de mares, mardelles et prairies humides. Sur le territoire est recensé près de 700 mares et de 130 étangs de toute taille, de quelques hectares à plus de 600. Parmi eux, se trouvent les grands étangs de Lorraine qualifié de lacs-étangs (Mathis et Mathis, 2016) car ils sont le fruit d'un aménagement ancien en tête de bassin du réseau hydrographique, constitué à partir d'un réseau de chapelets d'étangs, rassemblés par coalescence et réunions de « cornées » pour former un seul grand plan d'eau (Chiffre et Mathis, 2015). C'est le cas de l'étang du Lindre, mais également des étangs-réservoirs, dont leur surface et leur volume a été augmenté à plusieurs reprises.

Enfin, le territoire est profondément marqué par la présence de deux voies d'eau artificielles : le canal de la Sarre (anciennement canal des Houillères de la Sarre) du Nord au Sud et le canal de la Marne au Rhin d'Ouest en Est. Il s'agit de canaux de jonction à bief de partage à petit gabarit, dit Freycinet. A leur intersection se trouve le point stratégique d'alimentation de ces deux canaux, le bief de partage des Vosges. L'alimentation des canaux s'effectue selon un dispositif mixte, d'une part à partir des étangs-réservoirs, d'autre part à partir des rivières à l'amont via des prises d'eau sur la Sarre Blanche, la Sarre Rouge et la Zorn.

2. Histoire locale des socio-hydrosystèmes

L'histoire locale des socio-hydrosystèmes est intimement liée à celle des sociétés qui ont façonné ce territoire en exploitant l'eau. Rivières, étangs, mares, zones humides et canaux constituent un patrimoine hydraulique et hydrologique profondément hybride. Ces socio-hydrosystèmes ne sont pas de simples écosystèmes aquatiques : ils résultent d'une longue coévolution entre les dynamiques hydrologiques et écologiques, et les multiples interventions humaines qui se sont succédées depuis plus de deux millénaires. L'histoire de la relation entre les sociétés humaines et l'eau remonte localement bien avant la période médiévale comme l'atteste de nombreux vestiges gallo-romains et romains. Plus anciens encore, dans la vallée de la Seille, il est attesté que les affleurements salifères ont favorisé dès l'âge du Fer une exploitation intensive du sel, dont il reste des traces sur le territoire. Mais ne sera présentée l'histoire de ces socio-hydrosystèmes seulement depuis la période médiévale, qui structure plus profondément le territoire par l'eau et ses usages et ce jusqu'à aujourd'hui. L'objectif n'est pas de retracer une histoire linéaire de chaque socio-hydrosystème du territoire mais de rendre compte des temps forts hydro-sociaux qui ont marqué le territoire pour comprendre les enjeux hydriques contemporains.

2.1 Les étangs mosellans aménagés dès le Moyen-âge

Étangs, moulins et canaux de flottage du bois sont aménagés depuis le Moyen Age. Des étangs sont creusés dans le but d'assainir le sol marécageux, ils sont ensuite utilisés comme réserve de poissons et pour alimenter les canaux de dérivation des moulins comme celui de Réchicourt, de Moussey et de Gondrexange. L'étang de Réchicourt par exemple était utilisé pour le flottage des bois destiné aux salines de Moyenvic. Profitant de la faible perméabilité des sols argileux, sont édifiées des chaussées et des digues afin de retenir les eaux et développer une pisciculture extensive. Le poisson constitue alors une ressource alimentaire essentielle dans une société marquée par les prescriptions religieuses imposant de nombreux jours maigres. Un réseau dense d'étangs est ainsi construit, tandis que de grands étangs sont aménagés par la mise en connexion d'anciens étangs dont on retrouve les traces essentiellement dans les « cornées », correspondant aux vallées primitives qui les hébergeaient. Aménagés pour permettre le développement de l'agriculture dans les zones humides et l'extension de la cypriniculture (Mathis, 2010), ces étangs résultent de la volonté de seigneurs locaux (duc de Lorraine, baron de Fénétrange, évêque de Metz) qui ont construit alors un système agro-piscicole (Chiffre et Mathis, 2015). A l'époque, ce système repose sur la rotation des pêches et sur la pratique de l'assec cultivé. Les étangs assurent simultanément plusieurs fonctions : production piscicole, drainage des zones marécageuses, régulation locale des eaux et parfois défense territoriale. L'étang de Réchicourt est aménagé au 13ème siècle, celui de Gondrexange au 14ème.

L'histoire médiévale et moderne de ces étangs a été traitée en partie par le Service Inventaire du Patrimoine régional de la Région Grand Est autour de Réchicourt-le-Château et de l'étang de Gondrexange (Service de l'Inventaire général du patrimoine culturel de la Région Grand Est, 2018). Pour le reste du territoire en revanche, « l'histoire médiévale des étangs de Lorraine reste à écrire, et tout particulièrement celle des grands étangs mosellans du Lindre, du Stock, de Gondrexange, de Mittersheim » (Mathis et Mathis, 2016).

2.2 Les rivières amont exploités Au 18ème siècle

Conjointement à la vocation agro-piscicole des étangs qui constitue en grande partie l'usage de l'eau en aval, s'est développée une activité proto-industrielle liée aux activités forestières (flottages, scieries, verreries, papeteries, forges…) en amont (Mathis et Mathis, 2016), sur les rivières, afin d'assurer une réserve d'eau suffisante permettant la continuité de l'activité sylvicole ou industrielle. Des étangs temporaires sont construits sur la Sarre, la Zinsel ou la Zorn pour assurer des débits suffisants aux cours d'eau pour le flottage du bois. Les rivières jouent ainsi un rôle majeur sur ce territoire qui s'intensifie à partir du 18ème siècle, entraînant une forte artificialisation de leur lit, particulièrement en tête de bassin. Les cours d'eau actionnent des moulins, au profit de scieries, verreries, cristalleries, industries qui se développent le long des rivières. Jusqu'à quinze moulins sont recensés sur certains tronçons de la Sarre. L'abondance de l'eau, la qualité des sables gréseux et l'importance de la ressource forestière favorisent l'essor d'industrie emblématique, telle que la manufacture de cristal Vallérysthal en 1699. Sur la Bièvre par exemple, jusqu'au milieu du XXe siècle, de nombreux moulins furent installés (14 moulins sont recensés sur les 24 kilomètres de la rivière).

2.3 La construction des canaux de navigation au 19ème siècle

Le XIXe siècle marque une profonde transformation de ces socio-hydrosystèmes. L'essor de la révolution industrielle s'accompagne de la construction du canal de la Marne au Rhin (achevé en 1853), puis du canal de la Sarre (mis en service en 1866), mis au gabarit Freycinet à partir de 1879. Les grands étangs historiques, à l'exception du Lindre changent radicalement de fonction pour devenir des réservoirs d'eau, intégrés au dispositif hydraulique d'alimentation du réseau canalisé géré par VNF. Cette reconfiguration s'accompagne d'un rehaussement des digues, de la création d'ouvrages de régulation et de gestion de l'eau (vannes, siphons, etc.). La capacité des étangs de Gondrexange et Stock est augmentée pour l'occasion. La nouvelle fonction hydraulique des étangs-réservoirs provoque l'abandon des pratiques plus anciennes de culture en assec et l'arrêt des « grandes pêches » dans les grands étangs.

Entre 1929 et 1940, les étangs-réservoirs de Mittersheim et du Stock participent au dispositif défensif connu sous le nom de « Ligne Maginot aquatique ». Leur superficie et leur capacité de stockage sont augmentées afin de permettre, en cas de conflit, l'inondation rapide de certaines portions de la vallée de la Sarre, dispositif qui ne fut finalement pas actionné.

2.4 Au mi-20ème siècle, la valorisation touristique de ces socio-hydrosystèmes

À partir de la seconde moitié du XXe siècle, les usages des socio-hydrosystèmes évoluent progressivement vers les loisirs et le tourisme. Les grands étangs-réservoirs deviennent des lieux privilégiés pour la navigation de plaisance, la pêche, la baignade, la randonnée et l'observation de la nature. Le territoire connaît un essor touristique marqué par une réappropriation spontanée des étangs-réservoirs et la fréquentation touristique des canaux. Les étangs deviennent une destination de villégiature prisée de la bourgeoisie sarrebourgeoise et des populations allemandes qui s'installent sur

les berges et développent des activités récréatives, tout particulièrement autour du Stock. Un mouvement d'urbanisation des rives s'accroît en lieu et place d'anciennes terres agricoles, s'effectuant de manière plus ou moins informelle et anarchique et les usages récréatifs des étangs se multiplient. Attirés par le faible coût du foncier (Chiffre et Mathis, 2015) et la perspective de loisirs nautiques, ces abris deviennent progressivement des résidences secondaires occupées le week-end et pendant les vacances. Progressivement, les campings et caravanes font place à des cabanes et petits chalets, puis à des constructions en dur.

Dans les années 70, les premiers règlements particuliers de police (RPP) sont instaurés afin de définir un zonage précis des activités touristiques et nautiques sur les plans d'eau. Autour des étangs, les pouvoirs publics travaillent sur la consolidation de l'habitat informel et la mise en place de systèmes d'assainissement. Les premiers documents d'urbanisme sont rédigés à cette période. En parallèle, les étangs font l'objet de mesures de protection et de valorisation avec la création du PNRL (1974) et l'appropriation du Domaine de Lindre par le Conseil général de la Moselle (1976), au titre d'Espace Naturel Sensible (ENS). Son acquisition a permis de rétablir la pratique des grandes pêches et de faire de ce domaine le premier centre piscicole de France, avec une production de près de 80 tonnes de poissons par an (Mathis et Mathis, 2016)

Ces socio-hydrosystèmes, devenus multifonctionnels, deviennent alors un élément central de l'attractivité territoriale. Cette petite histoire souligne les profondes interactions et interdépendances des divers socio-hydrosystèmes de ce territoire qui n'a fait que s'accentuer et se complexifier dans le temps. Par exemple, le niveau de l'eau des étangs-réservoirs dans le pays des étangs et leur qualité ne dépendent pas seulement de leurs bassins-versants propres, mais de l'état de la Sarre Rouge et Blanche dans les massifs vosgiens et impacte la navigation des canaux. La multiplication des usages sur ces socio-hydrosystèmes finit également par générer des tensions autour de l'eau, qui sont exacerbés dans un contexte de dégradation et de raréfaction de la ressource hydrique amplifié par le changement climatique.

3. Aujourd'hui, des étangs-réservoirs sentinelles territoriales des tensions hydriques

Les étangs-réservoirs peuvent être saisis comme des sentinelles des tensions hydriques qui s'exacerbent sur le territoire dans ce contexte de changement climatique. Malgré quelques alertes relatives à la ressource en eau des étangs-réservoirs dès la fin des années 1990 et au cours des années 2000 — notamment avec les premiers épisodes de prolifération de cyanobactéries recensés en 2008 et 2009 dans l'étang du Stock —, c'est véritablement à partir de 2018-2019 que les tensions autour de la gestion de l'eau des étangs-réservoirs s'intensifient (Temple-Boyer et Lefebvre, 2025). Les proliférations de cyanobactéries deviennent plus fréquentes, perturbant les usages de l'eau et générant des tensions entre usagers, municipalités et services de l'État chargés de formuler des recommandations sanitaires.

Cette dégradation de la qualité s'accompagne d'une crise de la quantité d'eau : les étangs-réservoirs se remplissent de plus en plus tard dans la saison en raison d'un déficit hydrique persistant, tandis que les prélèvements d'eau destinés à l'alimentation des canaux interviennent de plus en plus tôt, parfois au cœur de l'été, provoquant l'assèchement des cornées, et impliquant le retrait des embarcations et la perturbation des activités récréatives.

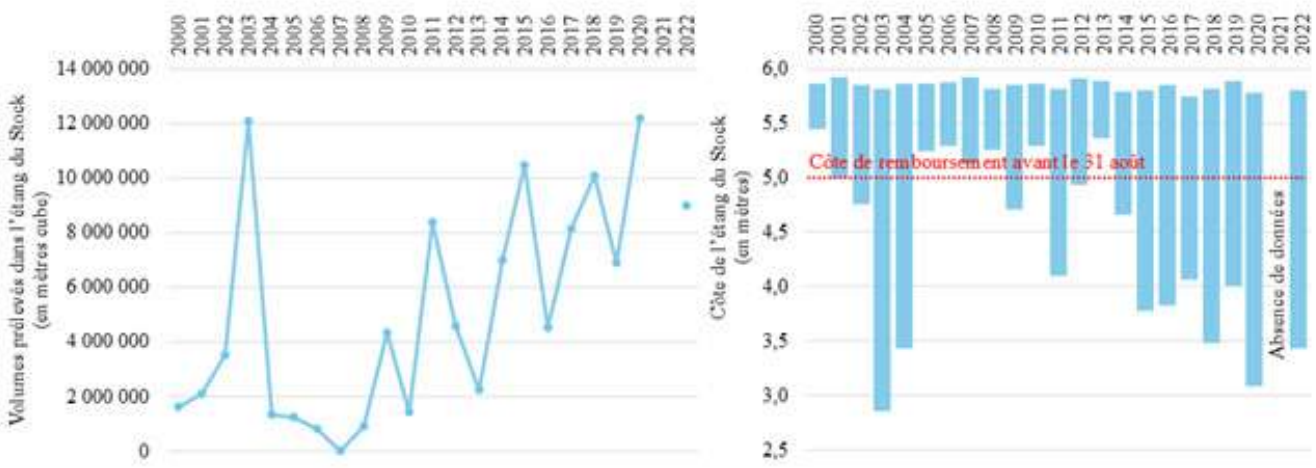


Figure 12. Évolution des volumes d'eau prélevés dans l'étang du Stock (à gauche) et variation annuelle de la côte de l'étang (à droite), entre 2000 et 2022 (Source : rapport NoCyano, Données VNF)

Ces événements surviennent dans un contexte de réchauffement climatique, qui renforce la demande sociale pour des espaces de rafraîchissement accessibles et de proximité. Les proliférations affectent ainsi non seulement la vie économique locale – notamment le tourisme et les loisirs – mais posent également des risques avérés pour la santé humaine et animale.

3.1 Activités récréatives : Pêche et baignade

Ces socio-hydrosystèmes deviennent progressivement des sites valorisés et gérés pour la pêche de loisirs. Une dizaine d'Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique (AAPPMA) sont présentes sur le territoire, dont la plus importante, la Sarrebourgeoise, a été fondé en 1920 qui sont titulaires des droits de pêche et gèrent la gestion piscicole.

L'amont du territoire, soit la Sarre Blanche, Rouge, la Bièvre et la Zorn sont classées 1ère catégorie, les poissons dominants étant les salmonidés, tandis que le reste du territoire est classé en 2ème catégorie caractérisant les cours d'eau et plans d'eau constitués d'eaux calmes, et présentant une majorité de cyprinidés (carpe, tanche, gardon, etc.) et de carnassiers (brochet, perche commune, sandre, etc.). Les étangs mosellans sont historiquement reconnus pour la pêche de carnassiers (brochets, perches, tanches, sandres, etc.). Si cette activité revêtait initialement une dimension vivrière, elle se transforme progressivement en une pratique de loisir populaire qui se structure (Malange, 2011). Actuellement, la pêche s'oriente davantage vers une pratique récréative et sportive, avec le développement de la pratique du no-kill, qui témoigne d'une « sportisation de la pratique » (Roux, 2014). En plus de la pêche aux carnassiers qui se maintient, on observe un engouement croissant pour la pêche à la carpe et aux poissons blancs. Pour répondre à la demande importante des carpistes, trois parcours de pêche de nuit ont été aménagés depuis 2022 sur les étangs de Gondrexange et du Stock.

Même si la baignade n'est pas formellement interdite en rivière, elle est essentiellement pratiquée en plans d'eau, avec huit sites de baignade officiellement déclarés auprès de l'ARS (près d'un tiers du département), auxquels s'ajoutent des bases d'activités nautiques sur les grands étangs. Toute baignade est interdite dans les canaux pour des raisons de sécurité. La pratique de la baignade dans les plans d'eau du territoire se développe à partir des années 1950 et 1960, avec l'aménagement de plages comme à Mittersheim, Rhodes et Gondrexange. La baignade va progressivement être encadrée au titre de la santé publique, à travers la directive baignade de 2006 qui impose de déclarer les sites de baignade et de mettre en place un protocole de suivi et de gestion de la qualité des eaux de baignade.

Si la définition de la qualité de l'eau pour la baignade repose uniquement sur des critères bactériologiques, il doit néanmoins inclure des mesures de gestion et de prévention si d'autres sources de pollution ont été mises en évidence, comme c'est le cas des proliférations de cyanobactéries sur le territoire. En effet, la baignade est actuellement contrainte par les proliférations de plus en plus récurrentes de cyanobactéries, qui entraînent des recommandations de restriction ou d'interdiction émises par l'ARS auprès de la mairie et du gestionnaire de la baignade.

3.2 Navigation de plaisance, Tourisme fluvial et fluvestre

Actuellement, le trafic n'est pratiquement plus commercial mais essentiellement de la navigation de plaisance. La navigation est encadrée par Voies Navigables de France qui gère l'ensemble des infrastructures hydrauliques liées aux canaux de navigation et soutient les communes dites mouillées au développement du tourisme fluvial et fluvestre sur le territoire. Il s'agit de multitude d'ouvrages d'alimentation et de fonctionnement des canaux, les étangs-réservoirs de Gondrexange, Mittersheim et Stock, les diverses écluses dont la grande écluse de Réchicourt de 15,5 mètres, ainsi que l'ouvrage unique en Europe, celui du Plan incliné de Saint-Louis / Arzviller. Ce dernier permet aux bateaux de franchir aisément l'obstacle constitué par le dénivelé du tracé du canal et remplace les 17 anciennes écluses manuelles sur l'Ancien Canal.

Le canal du Marne au Rhin avec le canal de la Sarre est aujourd'hui un des sites touristiques majeurs pour la navigation de plaisance en France, classé à la troisième place des canaux les plus fréquentés de France. Sur le canal de la Marne au Rhin, le Plan incliné de Saint-Louis/Arzviller représente un ouvrage hydraulique incontournable de l'attractivité touristique avec un trafic de 8000 bateaux/an.

3.3 La gestion de l'eau sur le territoire

L'Etat et ses services déconcentrés, la Région Grand Est, le Département de Moselle, le PNRL, VNF, la CCSMS, les communes, les syndicats et associations ainsi que les usagers et les acteurs privés des socio-hydrosystèmes sont autant d'acteurs concernés par la qualité et la quantité de l'eau. Certains interviennent en vertu de leur statut ou de leur compétence, quand d'autres agissent dans le cadre de leurs activités et de leurs usages.

La gestion de l'eau et des milieux aquatiques est encadrée en France par le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), introduit par la loi sur l'eau (1992) et appliqué à l'échelle d'un bassin hydrographique, le bassin Rhin-Meuse. Il s'agit d'un document de planification qui doit répondre aux objectifs de gestion et de bon état des masses d'eau inscrits dans la directive cadre sur l'eau de 2000 (DCE). Le SDAGE Rhin-Meuse (2022-2027) fixe ainsi des objectifs de qualité et de quantité à atteindre pour chaque masse d'eau, et définit les orientations permettant d'atteindre ces objectifs à l'échéance 2027.

Les dernières réformes de l'action publique territoriale (lois MAPTAM et NOTRe) ont renforcé le rôle des intercommunalités dans la gestion des socio-hydrosystèmes à travers la compétence gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (compétence GEMAPI). Elle concentre à l'échelle intercommunale des compétences en matière d'aménagement des bassins versants, d'entretien et d'aménagement des cours d'eau, canaux, lacs et plans d'eau, de défense contre les inondations et de protection et de restauration des zones humides. A ce titre, la CCP et la CCSMS exerce en propre la compétence GEMAPI, avec la compétence assainissement, tandis le pays du Saulnois a délégué la compétence GEMAPI au syndicat SYMSEILLE.

Si les évolutions réglementaires des dernières décennies ont orienté l'action publique vers une approche plus « intégrée » de la gestion de l'eau (Barone et Mayaux, 2019), en transférant des compétences liées à l'eau aux services dédiés des collectivités

territoriales et de leurs groupements, la gestion de l'eau demeure majoritairement organisée en filières.

La fragmentation de la gestion des socio-hydrosystèmes est accentuée par le fait que le territoire ne dispose d'aucun outil local de gestion intégrée de l'eau, tel qu'un Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) ou un contrat de bassin. L'absence de Commission Locale de l'Eau (CLE) ou d'instance équivalente limite la coordination entre les nombreux acteurs concernés par la gestion des socio-hydrosystèmes qui demeure largement organisée par secteurs de compétence et d'usage (qualité de l'eau, gestion quantitative, assainissement, navigation, restauration des milieux aquatiques, pêche…), alors même que les enjeux liés à l'eau sont fortement interdépendants.

3.4 Des socio-hydrosystèmes confrontés à des signes croissants de vulnérabilité

Malgré l'omniprésence de l'eau, le territoire observe déjà les effets du changement climatique sur ces socio-hydrosystèmes. Les températures moyennes ont fortement progressé au cours des dernières décennies et les impacts sont désormais visibles dans les zones humides, les plans d'eau et les cours d'eau. Les modifications du régime hydrologique influencent directement la qualité de l'eau, le fonctionnement des milieux naturels et la gestion hydraulique des ouvrages.

Un phénomène préoccupant concerne les plans d'eau du territoire qui remplissent, pour les plus grands, des fonctions multiples : alimentation des canaux de navigation, tourisme, pêche, loisirs nautiques, pisciculture et réservoirs de biodiversité. Les apports excessifs en nutriments favorisent l'eutrophisation des eaux, la prolifération d'espèces végétales invasives et de cyanobactéries. Ces dernières deviennent plus fréquentes et plus précoces durant les périodes estivales. Ces proliférations, favorisées par le réchauffement des eaux, entraînent des restrictions d'usage pour la baignade, les activités nautiques et la pêche de loisir. Elles affectent directement l'économie touristique locale et témoignent d'une dégradation écologique progressive des écosystèmes aquatiques.

Enfin, le changement climatique apparaît comme un facteur aggravant. Les projections soulignent un risque croissant de diminution des débits estivaux, de dégradation de la qualité de l'eau et des réductions des volumes d'eau entre les usages domestiques, touristiques, agricoles, industriels et écologiques. La préservation des zones humides, l'amélioration de la continuité écologique, la réduction des pollutions diffuses et l'adaptation de la gestion de ces socio-hydrosystèmes constituent ainsi des enjeux stratégiques pour l'avenir du territoire.

3.5 Les cyanobactéries : un enjeu sanitaire, environnemental et territorial émergent

Les proliférations de cyanobactéries constituent aujourd'hui un des importants défis liés à la gestion de l'eau sur ce territoire, notamment dans les plans d'eau bénéficiant d'un site de baignade. Ces proliférations sont l'un des symptômes du phénomène d'eutrophisation anthropique. Les étangs mosellans ont, en effet, reçu des apports très importants en nutriments (phosphore et azote) au cours des dernières décennies, en lien avec les activités humaines sur leurs bassins versants : agriculture, rejets domestiques liés à l'assainissement, pratiques de pêche (amorçage), etc.

Les cyanobactéries sont des micro-organismes qui présentent une grande variété de formes, de tailles, et d'organisation des cellules (Humbert et Quiblier, 2022). Ces micro-organismes naturellement présents dans les milieux aquatiques connaissent depuis plusieurs années des développements massifs, des proliférations appelés « blooms », favorisés par deux facteurs principaux : l'enrichissement des eaux en nutriments (phosphore et azote) et les effets du changement climatique, en particulier l'augmentation des températures et les périodes prolongées de faibles débits. Comme partout en Europe et en Amérique du Nord, ces phénomènes de prolifération de cyanobactéries sont devenus fréquents à partir des années 1970-1980 (Fastner et al., 2015).

Certaines cyanobactéries peuvent produire des toxines responsables de troubles gastro-intestinaux, d'irritations cutanées ou de perturbations neurologiques. Même si aucun cas létal pour l'humain n'a été documenté en France (plusieurs cas pour des animaux de compagnie en revanche), les autorités sanitaires appliquent désormais un principe de précaution, renforcé par l'évolution des connaissances scientifiques et la modification des protocoles réglementaires. D'abord méconnues ou perçues comme un phénomène écologique secondaire, les cyanobactéries sont progressivement devenues un enjeu public au début des années 2000. Leur prise en compte par l'Agence régionale de santé (ARS), en charge du contrôle sanitaire des eaux de baignade, s'est renforcée à partir des années 2010, avec l'intégration d'un suivi systématique sur les sites de baignade. Les étangs du territoire sont depuis considérés comme des sites à risque de prolifération de cyanobactéries et font l'objet d'une surveillance renforcée par l'ARS. Depuis 2013, quatre révisions des normes sanitaires appliquées au contrôle des cyanobactéries pour la baignade ont eu lieu, entraînant des mesures de plus en plus strictes, cristallisant des tensions autour des cyanobactéries dans ces étangs, d'autant que ces contrôles sanitaires ne s'imposent qu'aux sites de baignade et non aux zones activités nautiques et bases de loisirs aquatiques.

A partir de 2021, la surveillance sanitaire réglementaire ne porte plus uniquement sur l'abondance des cyanobactéries, mais également sur leur potentiel toxinogène et sur la présence effective de toxines, dont les seuils ont été également révisés. Cette évolution a conduit à une augmentation significative des restrictions et interdictions de baignade sur le territoire.

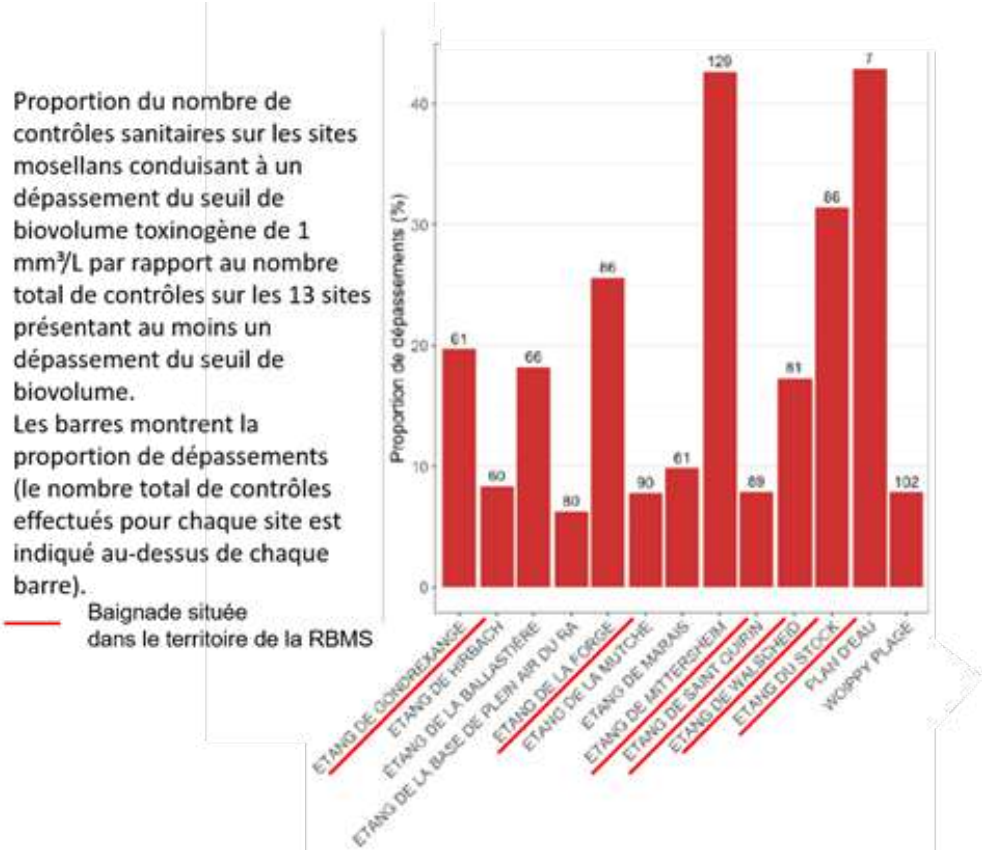


Figure 13 : Part des dépassements de seuil de biovolume toxinogène pour chaque site mosellan (source : Lebreton, 2024)

Ce sont les sites de Mittersheim et du Stock qui sont les plus touchés par ces proliférations mais, on peut observer une grande variation des dynamiques de prolifération selon les sites. Les sites de baignade de Moselle présentent une diversité de genres dominants entre eux et au sein d'un même site, avec des dominances de *Aphanizomenon, Microcystis* et *Anabaena/ Dolichospermum* qui représentent à eux trois presque 80% des dépassements de biovolume total.

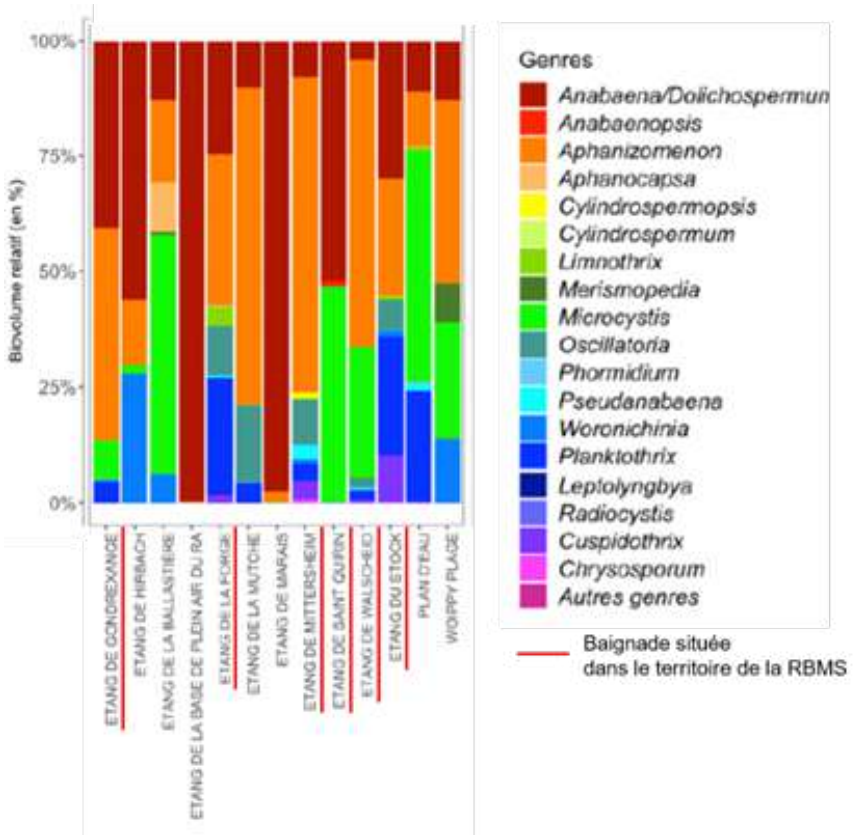


Figure 14 : Biovolumes relatifs des genres de cyanobactéries toxinogènes lors du dépassement de seuil biovolume de 1mm³/L entre 2010 et 2023 sur les sites mosellans. Les barres représentent la proportion relative des genres en termes de biovolume pour chaque site de prélèvement. Les couleurs des barres correspondent aux genres de cyanobactéries. Les autres genres désignent les genres dont le biovolume est inférieur à 5% du biovolume relatif total (Source : Lebreton, 2024).

Les proliférations de cyanobactéries sont un enjeu récent pour le territoire (Temple-Boyer et Lefebvre, 2026). Sur le territoire, l'étang du Stock a fait l'objet d'un signalement de cyanobactéries en 1982 par le service de la navigation de Strasbourg. A l'époque, l'absence et/ou le mauvais fonctionnement des systèmes d'assainissement avait été identifiés comme les principales causes de la pollution de l'eau par les nutriments (Service de la navigation de Strasbourg, 1982). Les proliférations de cyanobactéries ont un impact direct sur les usages récréatifs des plans d'eau, en particulier sur les activités de baignade et les loisirs nautiques. Lorsqu'une concentration anormale de cyanobactéries est identifiée, l'Agence régionale de santé (ARS), émet des recommandations à l'attention des gestionnaires des sites de baignade et des maires des communes concernées, en fonction des seuils établis par les autorités sanitaires. Ces recommandations peuvent aller de la simple information de la présence de cyanobactéries aux usagers, à l'interdiction temporaire de certaines pratiques récréatives, selon les niveaux de risque identifiés.

Actuellement, un seul site de baignade situé sur le territoire est encore épargné par ces restrictions, les fermetures de baignade affectant directement l'attractivité des étangs, qui constituent des pôles touristiques du territoire. La première interdiction de baignade documentée liées à des proliférations date de 2015, avec la fermeture temporaire du site de Mittersheim. Par la suite, les épisodes de proliférations entraînant des interdictions de baignade se multiplient, conduisant à l'annulation d'événements sportifs comme le

Triathlon du Lac Vert en 2019 et 2022, à plusieurs interdictions temporaires de baignade ces dernières années à Mittersheim, Langatte, Walscheid, Saint-Quirin et Abreschviller ainsi qu'à la fermeture définitive du site de Gondrexange en 2019. Ces mesures ont des répercussions sur les campings, les bases de loisirs, les activités nautiques, la pêche et plus largement sur l'attractivité du territoire. Les proliférations de cyanobactéries sont devenues un facteur de fragilisation du modèle économique fondé sur les loisirs de pleine nature et le tourisme lié à l'eau. A partir de 2018 et 2019, le phénomène dépasse le cadre de simples interdictions ponctuelles pour devenir un enjeu public territorial, relayé dans la presse locale.

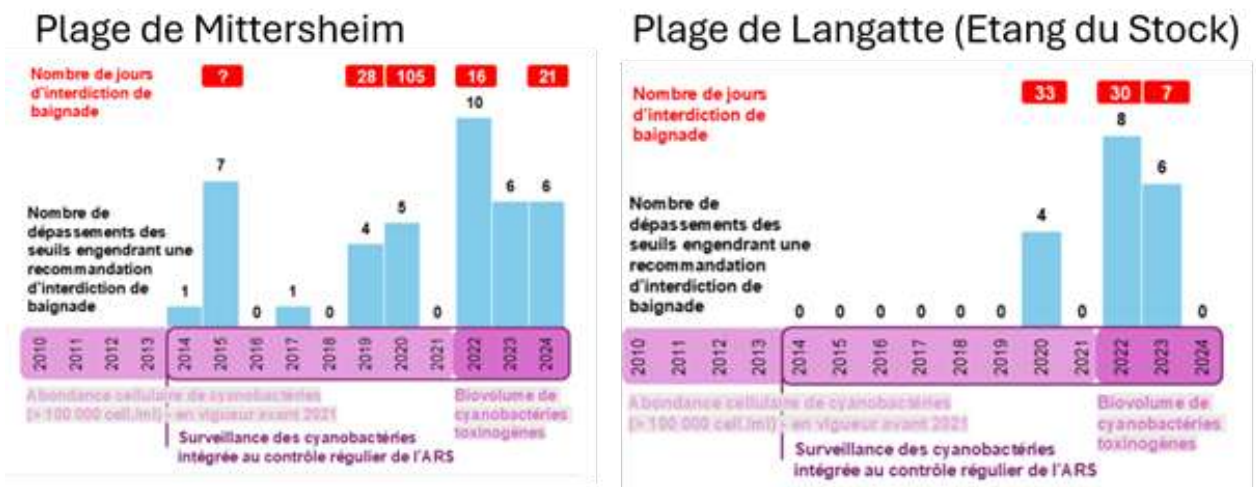


Figure 15 : Chronologie des dépassements de seuils dans les étangs-réservoirs de Mittersheim et du Stock entraînant des recommandations d'interdiction de baignade. Sources : arrêtés municipaux et préfectoraux, comptes-rendus de conseils municipaux et données sur la saison balnéaire issues du rapportage européen (source : rapport NoCyano, 2025)

Au-delà des usages récréatifs, ces proliférations révèlent aussi des déséquilibres écologiques plus profonds. Les études montrent que la réduction durable du phénomène passe avant tout par une diminution des apports en nutriments à l'échelle des bassins versants. Cela implique une amélioration continue de l'assainissement, une meilleure maîtrise des effluents agricoles et une restauration écologique des étangs. Les solutions techniques locales de traitement peuvent apporter des effets ponctuels mais ne répondent pas aux causes fondamentales du problème.

Ces proliférations de cyanobactéries s'inscrivent dans un contexte de diminution de la quantité d'eau dans les étangs-réservoirs, provoquée par des sécheresses successives (2018, 2019, 2020, 2022) et des prélèvements d'eau accrus par VNF pour maintenir la navigation sur les canaux. En réaction, une association fédérant les divers usagers des étangs (propriétaires riverains, clubs nautiques et associations de pêche) se constitue : l'Association des usagers des étangs-réservoirs de Moselle sud (AUERMS). Elle se positionne en particulier contre le gestionnaire des étangs, VNF, accusé d'être responsable de la dégradation des étangs-réservoirs. En parallèle, la littérature scientifique identifie le changement climatique comme un facteur aggravant des proliférations de cyanobactéries (Pearl et Otten, 2013). En particulier la hausse des températures de l'eau dans les étangs, la baisse des niveaux d'eau et les épisodes de précipitations extrêmes conduisant à des lessivages importants des sols agricoles et urbains semblent amplifier la fréquence, la durée et l'intensité des proliférations de

cyanobactéries. Or, depuis ces dernières années, les arrêtés sécheresse se multiplient sur le territoire, suscitant une pression accrue sur la ressource, tant en termes de quantité que de qualité de l'eau.

Enfin, les cyanobactéries posent un défi croissant dans un contexte de changement climatique. L'augmentation attendue de la fréquence des sécheresses, de la température de l'eau et des périodes de stagnation favorise les conditions propices à leur développement. Dans le même temps, la demande sociale pour les sites de baignade de proximité augmente fortement sous l'effet des vagues de chaleur. Il en résulte une tension grandissante entre l'objectif de développer les usages récréatifs de l'eau et la nécessité de protéger la santé publique.

Ainsi, les cyanobactéries ne constituent pas seulement un problème de qualité de l'eau. Elles sont devenues un enjeu transversal à la croisée des politiques de santé publique, de gestion de la ressource en eau, de préservation des milieux aquatiques, de développement touristique et d'adaptation au changement climatique. D'ailleurs, depuis 2022, une démarche participative incite le citoyen sur le territoire des étangs-réservoirs à s'impliquer dans le suivi des cyanobactéries par la prise de photographie des blooms de cyanobactéries, collectées sur une plateforme cartographique en ligne en collaboration avec l'équipe de chercheurs du projet NoCyano. Les proliférations de cyanobactéries, au-delà de leur dimension écologique et sanitaire, s'articulent désormais avec des enjeux de gestion quantitative de l'eau, posant de nouveaux défis pour la gouvernance territoriale, appelant à des réponses coordonnées entre acteurs et échelles de décision.

3. Ressource en eau : état des lieux et perspectives

3.1 Évolution des débits des cours d'eau

Pour évaluer l'effet du changement climatique sur les cours d'eau, une analyse des débits de certains cours d'eau traversant le territoire du territoire du PNRL-RBMS a été initiée. La Sarre Blanche et la Sarre Rouge pour la partie Est et le Rupt de Mad pour la partie Ouest sont les cours d'eau pour lesquels les débits sont mesurés depuis le plus longtemps (Tableau 9 et Figure 16). La Sarre Blanche présente un changement brutal de régime hydrologique fin 1994 : l'origine de ce changement brutal est à expliciter. Tous les cours d'eau présentent une forte variabilité saisonnière avec des étiages marqués en été (juillet, août et septembre) et de forts débits en hiver (décembre, janvier et février, voire mars) (Figure 17).

Nom	Début	Fin	Station
Terrouin	19/8/1970	29/12/1977	Villers-Saint-Etienne
Esch	1/1/2010	En cours	Jezainville
Rupt de Mad	18/8/1964	En cours	Onville
Yron	4/12/1998	En cours	Hannonville
Sarre Rouge	1/8/1968	En cours	Vasperviller
Sarre Blanche	1/8/1968	En cours	Laneuveville-lès-Lorquin
Sarre	26/12/1995	En cours	Sarrebourg
Seille	23/8/1985	En cours	Moyenvic
Seille	1/5/1968	31/8/1976	Vic

Tableau 9 : Étendue des mesures de débits et nom de la station concernée.

Les stations retenues ne se situent pas toutes à l'intérieur du périmètre du PNRL-RBMS. Ce choix est délibéré : la logique hydrologique est celle du bassin versant, et une station placée en aval du territoire intègre l'ensemble des apports qui lui sont amont. C'est le cas du Rupt-de-Mad à Onville, station la plus anciennement suivie de l'échantillon, dont le bassin couvre une large part du secteur ouest. Écarter ces stations au motif de leur position reviendrait à se priver des séries les plus longues, seules susceptibles de documenter des tendances de long terme.

Quatre séries ont été retenues pour l'analyse statistique détaillée. Le critère appliqué est celui de la longueur et de la continuité du suivi : seules les séries dépassant vingt-cinq années de mesures sans interruption majeure permettent d'envisager l'identification d'une tendance. Les deux séries closes, la Seille à Vic et le Terrouin à Villers-Saint-Étienne, toutes deux interrompues au milieu des années 1970, conservent une valeur d'archive pour situer les niveaux de débit de cette période, mais ne peuvent alimenter aucun suivi ultérieur. La station de l'Esch à Jezainville, ouverte en 2010, est trop récente. Les stations de la Seille à Moyenvic et de la Sarre à Sarrebourg satisfont en revanche au critère de longueur et font l'objet de l'analyse complémentaire présentée plus loin.

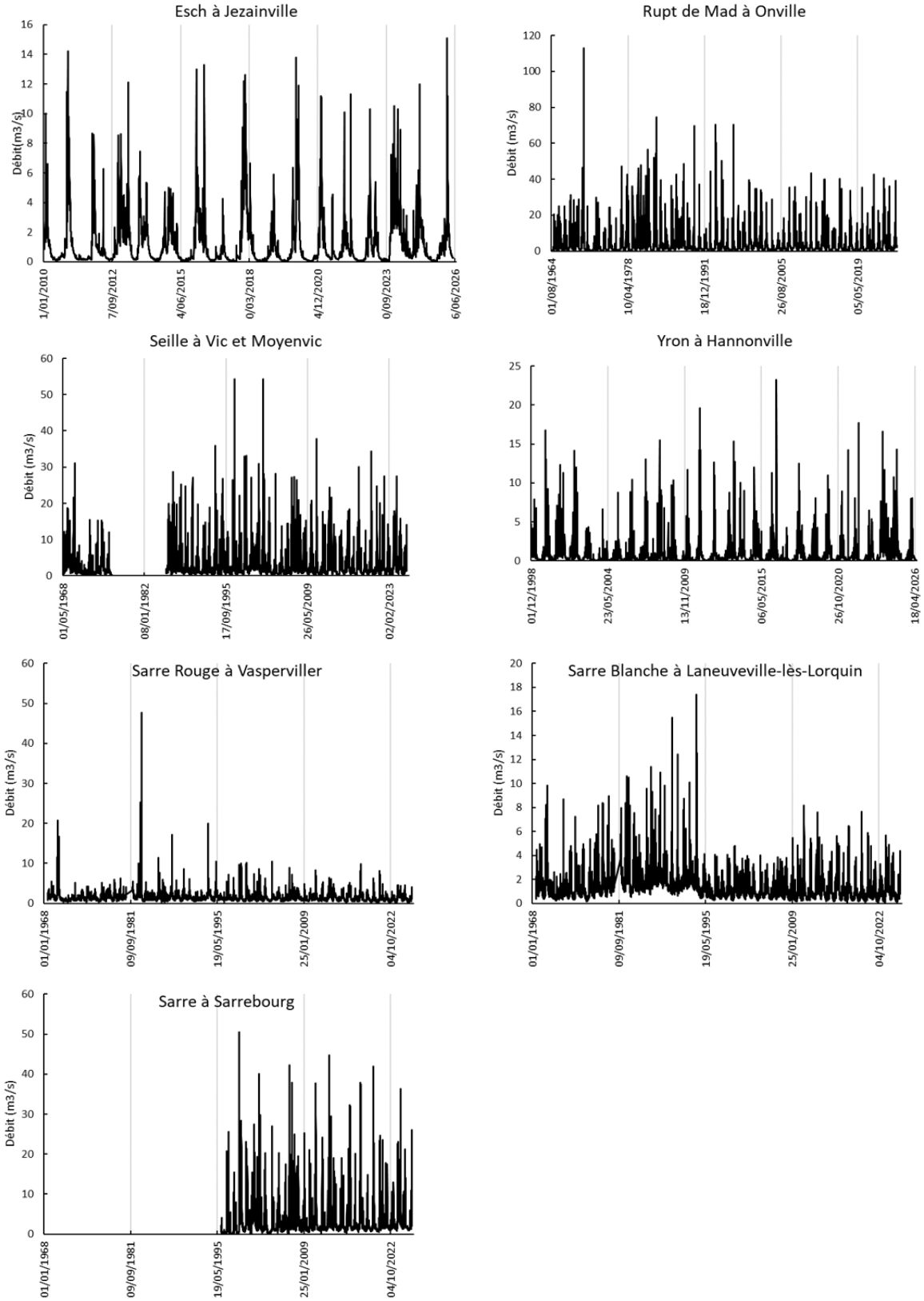


Figure 16 : Évolution des débits des différents cours d'eaux depuis le début de leur suivi.

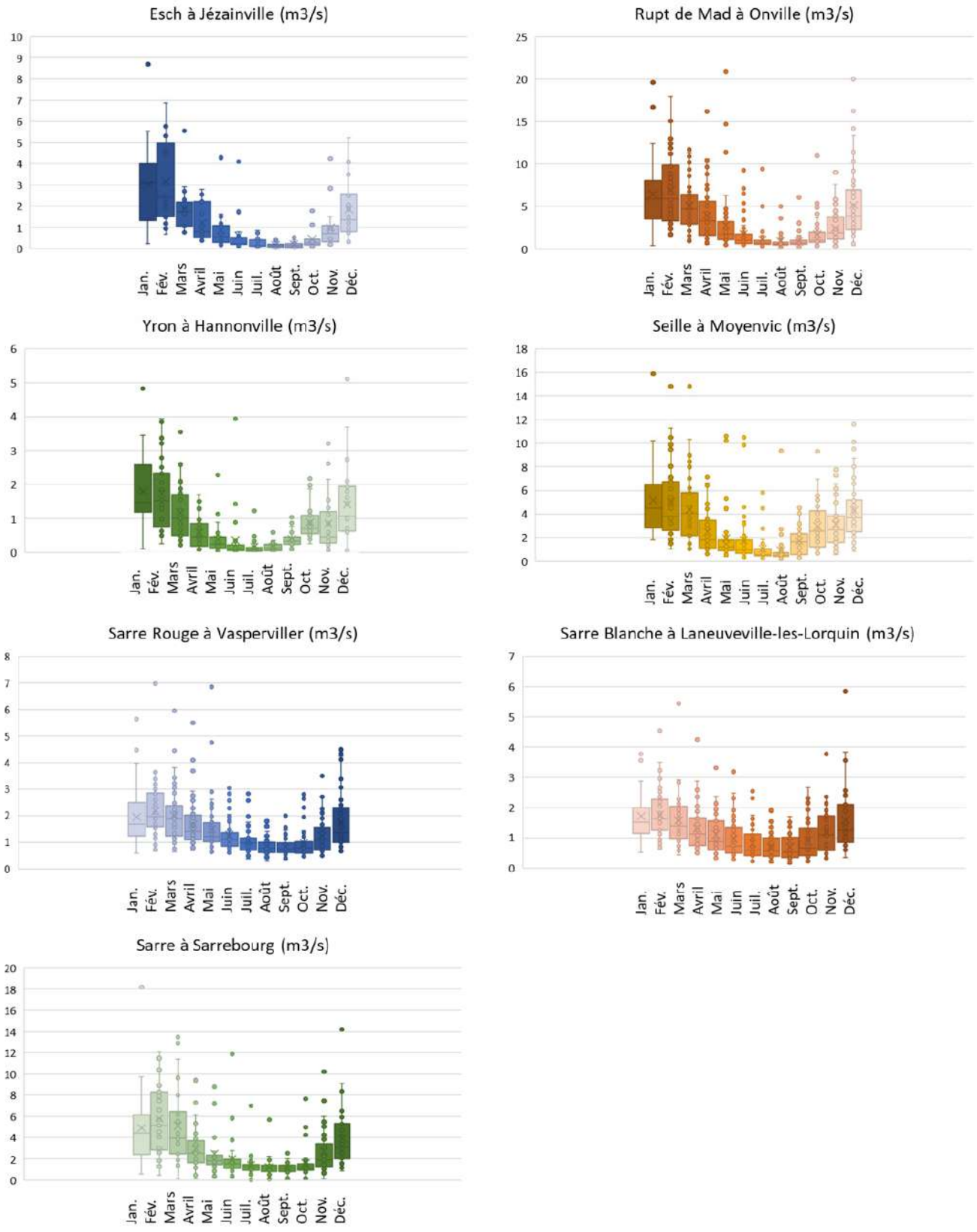


Figure 17 : Répartition annuelle des débits mensuels moyens.

Les débits maximaux et minimaux, la médiane (P50) et les premiers (P10) et neuvième (P90) déciles des débits journaliers ont été déterminés pour les cours d'eau pour lesquels la durée de suivi est la plus longue : la Sarre Rouge et la Sarre Blanche pour la partie Est (Figure 18), le Rupt de Mad et l'Yron pour la partie Est (Figure 19). Les débits minimaux annuels, ainsi que le premier décile semblent présenter une diminution en fonction du temps pour la Sarre Blanche depuis 1995. Le Rupt de Mad semble présenter la même

diminution pour le premier décile. Ces diminutions correspondent à des diminutions des débits lors des périodes d'étiage. Il n'est pas possible de tirer des conclusions pour la Sarre Rouge (trop de variabilité) ni pour l'Yron (durée de suivi trop faible).

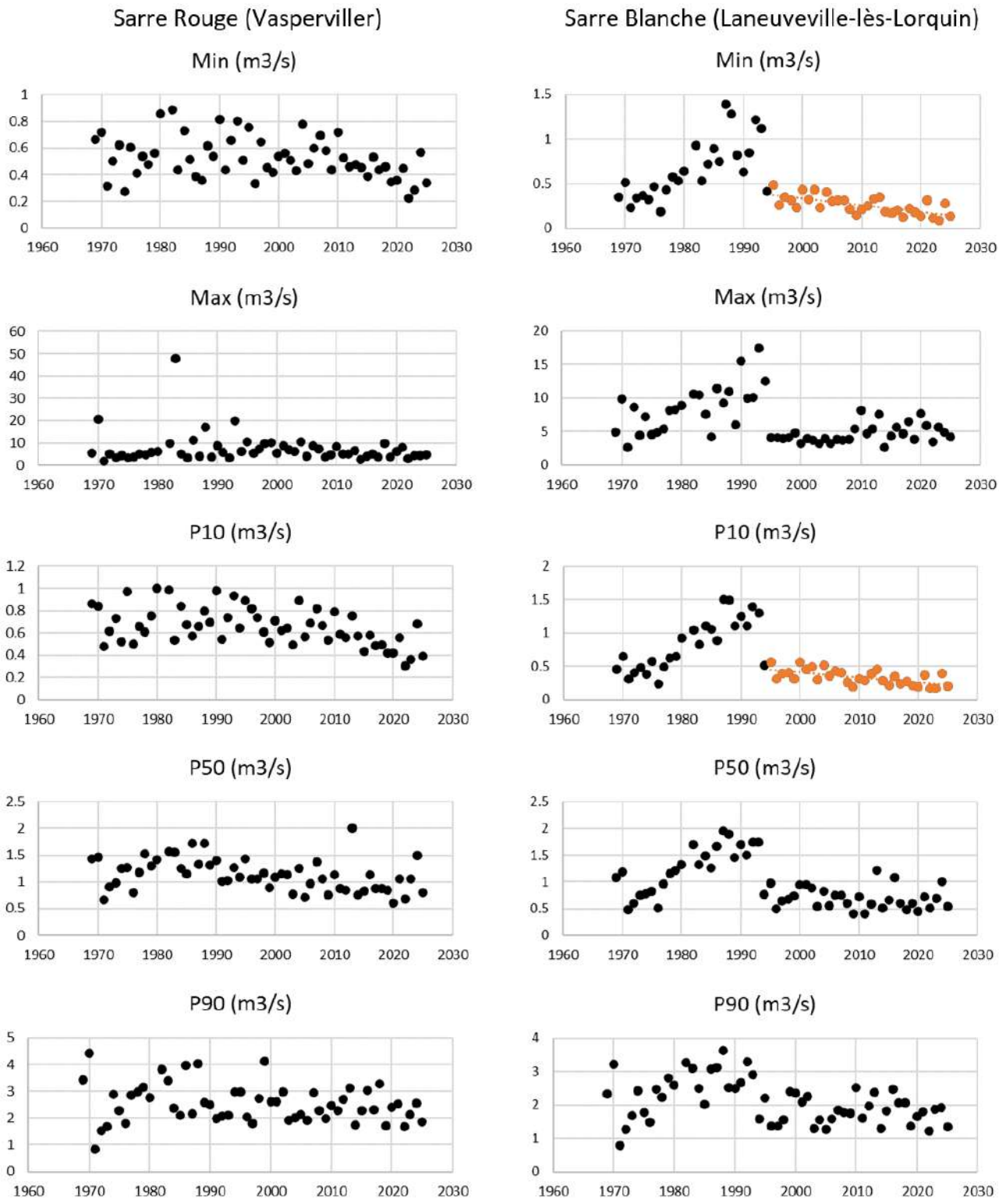


Figure 18 : Éléments statistiques pour la Sarre Rouge et la Sarre Blanche.

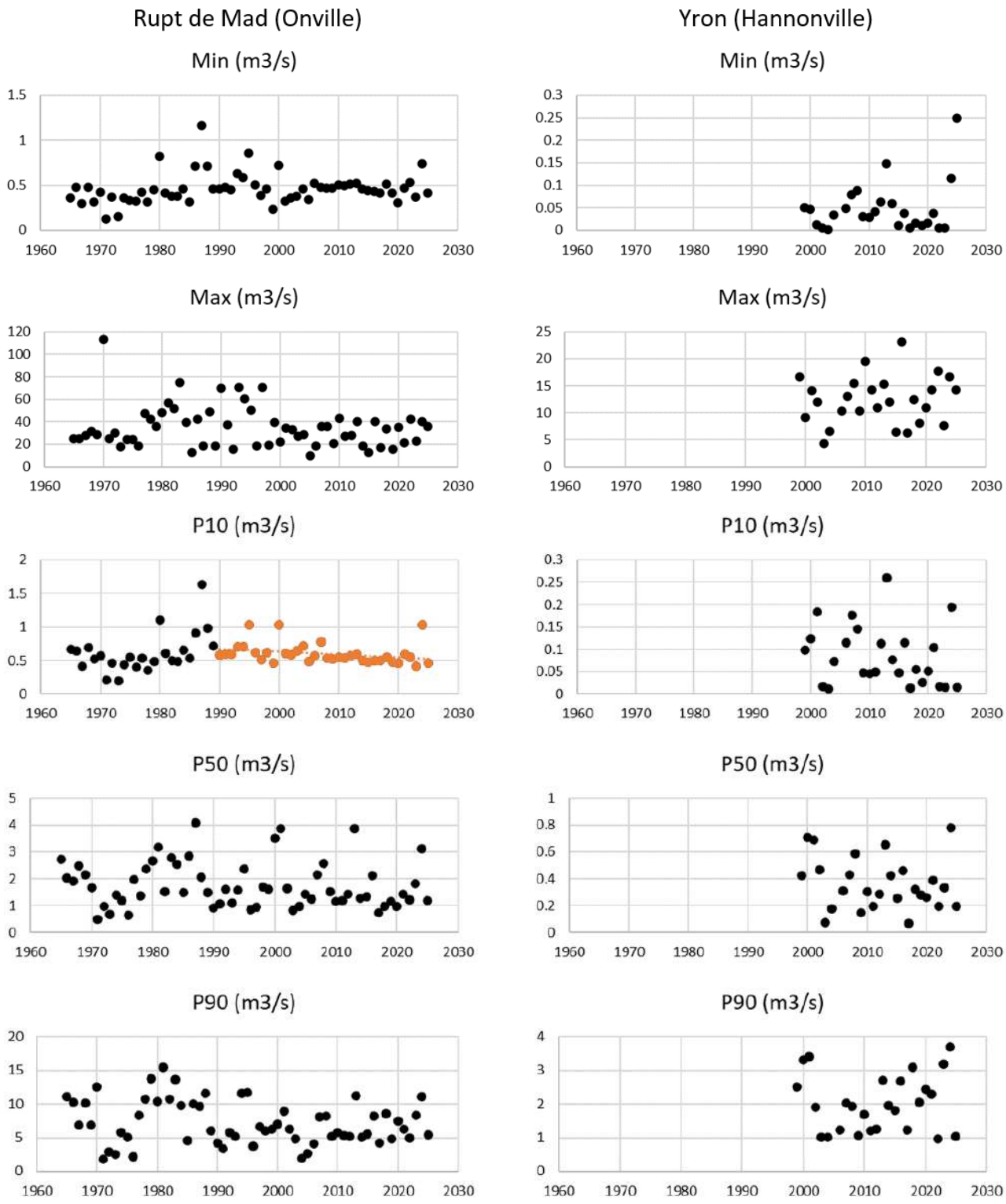


Figure 19 : Eléments statistiques pour le Rupt de Mad et l'Yron

3.2 Qualité des eaux de surface

La qualité chimique des eaux de surface n'est pas, à proprement parler, une variable climatique. Les concentrations en nitrates et en ortho-phosphates mesurées sur le territoire du Parc Naturel régional de Lorraine et de la Réserve de biosphère de Moselle Sud dépendent d'abord des pratiques agricoles des bassins versant et du niveau de traitement des eaux usées urbaines et domestiques. Le changement climatique n'engendre donc pas ces pollutions : il en aggrave les effets.

Cette aggravation opère selon deux mécanismes distincts. Le premier est un mécanisme de concentration. La diminution des débits d'étiage, documentée dans la note consacrée à l'hydrologie du territoire, réduit le volume d'eau disponible pour diluer une charge polluante qui demeure. À apport constant, des débits plus faibles produisent mécaniquement des concentrations plus élevées et donc une exposition accrue des milieux aquatiques comme des usages, au premier rang desquels la production d'eau potable. Le second est un mécanisme d'accélération biologique. L'élévation de la température de l'eau favorise le développement des algues et des cyanobactéries, enjeu déjà identifié sur plusieurs plans d'eau du territoire. Elle accélère par ailleurs la dégradation de la matière organique, processus dont le carbone organique dissous constitue le produit. Enfin, la concentration en oxygène dissous d'un cours d'eau diminue naturellement lorsque sa température augmente, ce qui réduit la capacité du milieu à absorber les épisodes d'eutrophisation.

Le suivi de la qualité des eaux de surface trouve ainsi toute sa place dans un cahier climatique, non comme indicateur du climat, mais comme indicateur de la vulnérabilité du territoire aux effets du climat : **un état de référence**.

Les analyses présentées ci-après ne mettent pas en évidence de tendance nette d'évolution sur la période considérée. Le carbone organique dissous apparaît stable sur les quatre cours d'eau étudiés, les concentrations en nitrates sont stables, voire en légère diminution sur la Sarre, aucune tendance claire ne se dégage pour les ortho-phosphates. Ce résultat ne constitue pas une limite de l'exercice, mais en définit la portée. Ce chapitre établit un état de référence de la qualité des eaux de surface du territoire, un point zéro documenté, appuyé sur des séries longues et des stations pérennes, à partir duquel un suivi ultérieur pourra mesurer les évolutions. Elle s'inscrit en cela dans la vocation d'observation de long terme de la Réserve de biosphère, dont l'un des rôles est précisément de constituer et de maintenir de telles lignes de base.

Méthodologie.

L'évolution de la pollution des eaux de surface sur le territoire PNRL-RBMS a été évalué en analysant les données disponibles sur la base de données de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse pour la Sarre Blanche (Turquestein-Blancrupt et Turquestein-Blancrupt amont Storindal), pour la Sarre (Gosselming), pour la Seille (Mulcey) et pour le Rupt-de-Mad (Rambucourt, Essey-et-Mazerais et Onville). Le choix a été fait par rapport au nombre d'années de suivi, sachant qu'en général un échantillon est prélevé mensuellement. D'autres stations existent sur le territoire mais soit elles sont récentes, soit ont été abandonnées, en général suite à la mise en place du suivi pour la Directive Cadre sur l'Eau. Les données de 2025 ne sont pas encore disponibles.

Les stations retenues sont toutes situées sur les principaux cours d'eau du territoire, seuls à bénéficier de série d'observation suffisamment longue. Elles couvrent la partie orientale du territoire avec la Sarre Blanche, la Sarre et la Seille. Elles permettent en outre de contraster des situations de pression très différentes, depuis les deux stations amont de la Sare Blanche à Turquestein-Blancrupt, situées en tête de bassin forestier et faiblement anthropisées, jusqu'aux stations de la Seille à Mulcey dont le bassins versants est marqué par l'activité agricole et les rejets domestiques. Seuls les paramètres relatifs au carbone organique dissous, aux nitrates et aux ortho-phosphates sont discutés. Une limite doit être signalée. Les données de l'Agence de l'Eau s'arrêtent par ailleurs à l'année 2024, les données 2025 n'étant attendues qu'à l'automne 2026.

Carbone organique dissous, de quoi s'agit -il ?

Le carbone organique dissous provient de la dégradation de la matière organique particulière : des plantes, des feuilles des arbres, des déjections animales parvenant dans les cours d'eau. Il se distingue du carbone inorganique dissous, d'origine minérale, issu de l'altération des roches et notamment des roches calcaires. Sa concentration renseigne donc sur l'intensité des processus de décomposition à l'œuvre dans le bassin versant et sur les apports de matière organique au cours d'eau.

Pourquoi les suit-on ?

Une augmentation des concentrations en carbone organique dissous est observée depuis plusieurs années dans les masses d'eau douce, au moins dans l'hémisphère nord. Cette évolution a d'abord été interprétée favorablement, comme une conséquence de la diminution des pluies acides. Les dépôts acides, largement documentés dans les années 1980 à 2000, résultaient des rejets industriels d'oxyde de soufre et d'azote, qui se transforment en acides au contact de l'eau atmosphérique. Leurs effets ont été important sur les massifs forestiers, en particulier dans les Vosges, ainsi que sur la faune aquatique : l'acidification mobilise l'aluminium contenu dans les roches, cela est toxique pour les truites et les saumons et a entrainer la disparition de ces espèces dans certains cours d'eau. Elle affecte également la microfaune responsable de la dégradation de la matière organique. La mise en œuvre de réglementations sur les rejets industriels a permis une réduction sensible de ces dépôts.

Il apparaît toutefois que si la diminution de l'acidité joue effectivement un rôle positif, l'élévation des températures accélère elle aussi les réactions de dégradation de la matière organique solide. C'est par ce second mécanisme que le paramètre se rattache au changement climatique.

Quel enjeu pour le territoire ?

Le carbone organique dissous constitue une contrainte pour la production d'eau potable. Le traitement pour rendre l'eau potable comporte une étape d'oxydation, au chlore ou à l'ozone, destinée à éliminer la matière organique dissoute. Cette oxydation génère des sous-produits reconnus comme cancérigènes. Des concentrations élevées en carbone organique dissous impliquent donc soit un traitement plus poussé, soit un risque sanitaire accru.

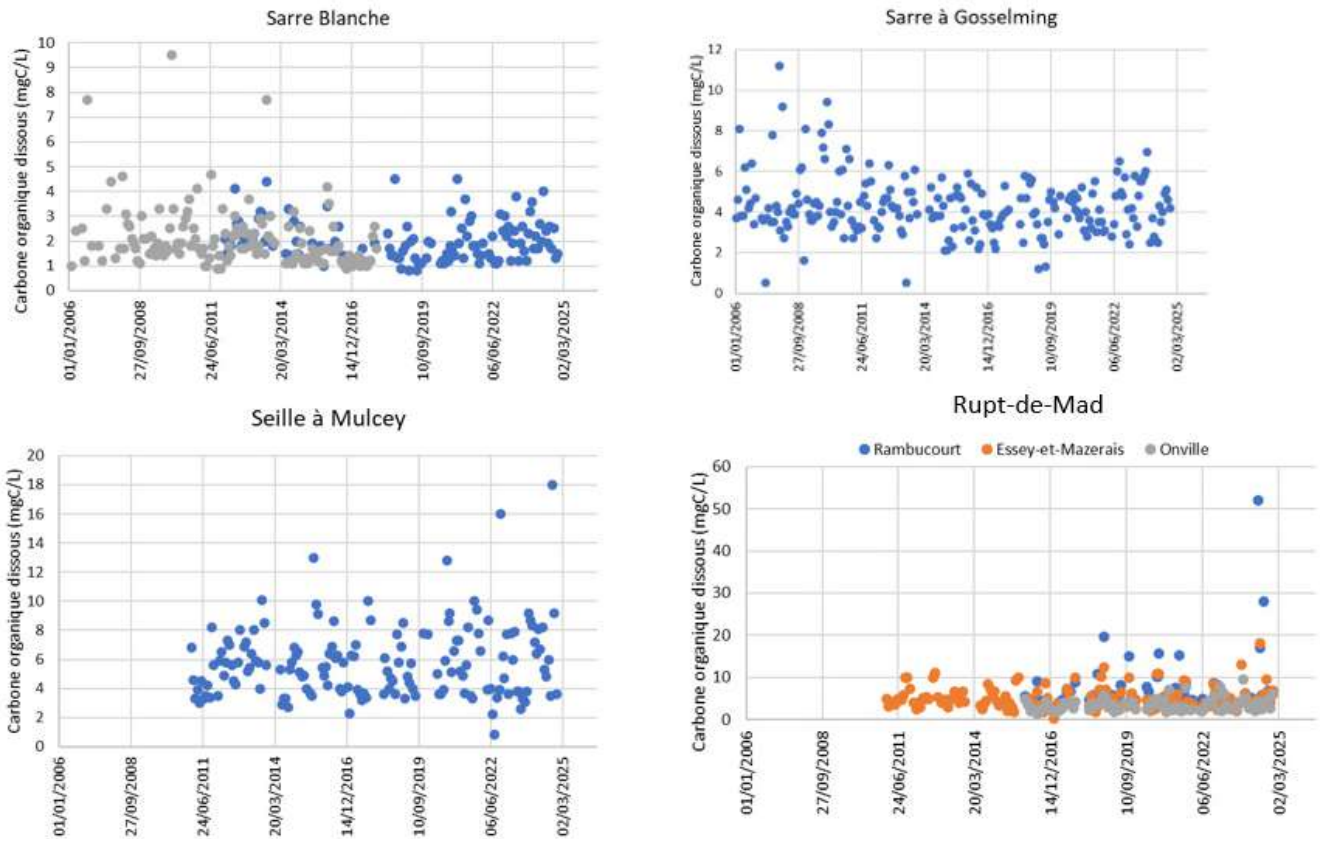


Figure 20 : Carbone organique dissous. Pour la Sarre Blanche, données en gris = Turquestein-Blancrupt et données en bleu = Turquestein-Blancrupt amont Storindal

Les valeurs les plus faibles sont observées sur la Sarre Blanche à Turquestein-Blancrupt amont Storindal (2.00 ± 0.82 mgC/L) et à Turquestein-Blancrupt (2.09 ± 1.26 mgC/L) (Figure 20). La concentration en carbone organique dissous est plus élevée sur la Sarre à Gosselming (4.27 ± mgC/L ± 1.46 mgC/L). Les valeurs les plus élevées sont mesurées sur la Seille à Mulcey (5.78 ± 2.47 mgC/L) et sur le Rupt-de-mad à Essey-et-Mazerais (5.13 ± 2.61 mgC/L). La concentration en carbone organique dissous apparait stable sur les quatre cours d'eau, avec cependant quelques valeurs ponctuellement élevées.

Nitrates, de quoi s'agit-il ?

Les nitrates proviennent en grande partie des activités agricoles, par l'usage des engrais, ainsi que des eaux usées urbaines, selon le degré de traitement dont elles font l'objet. Ils constituent, avec le phosphore, l'un des deux nutriments responsables de l'eutrophisation des cours d'eau.

Pourquoi les suit-on ?

Le suivi des nitrates répond à un double enjeu, sanitaire et écologique. La limite réglementaire pour la potabilisation est fixée à 50 mg/L. Certaines stations du territoire s'en approchent.

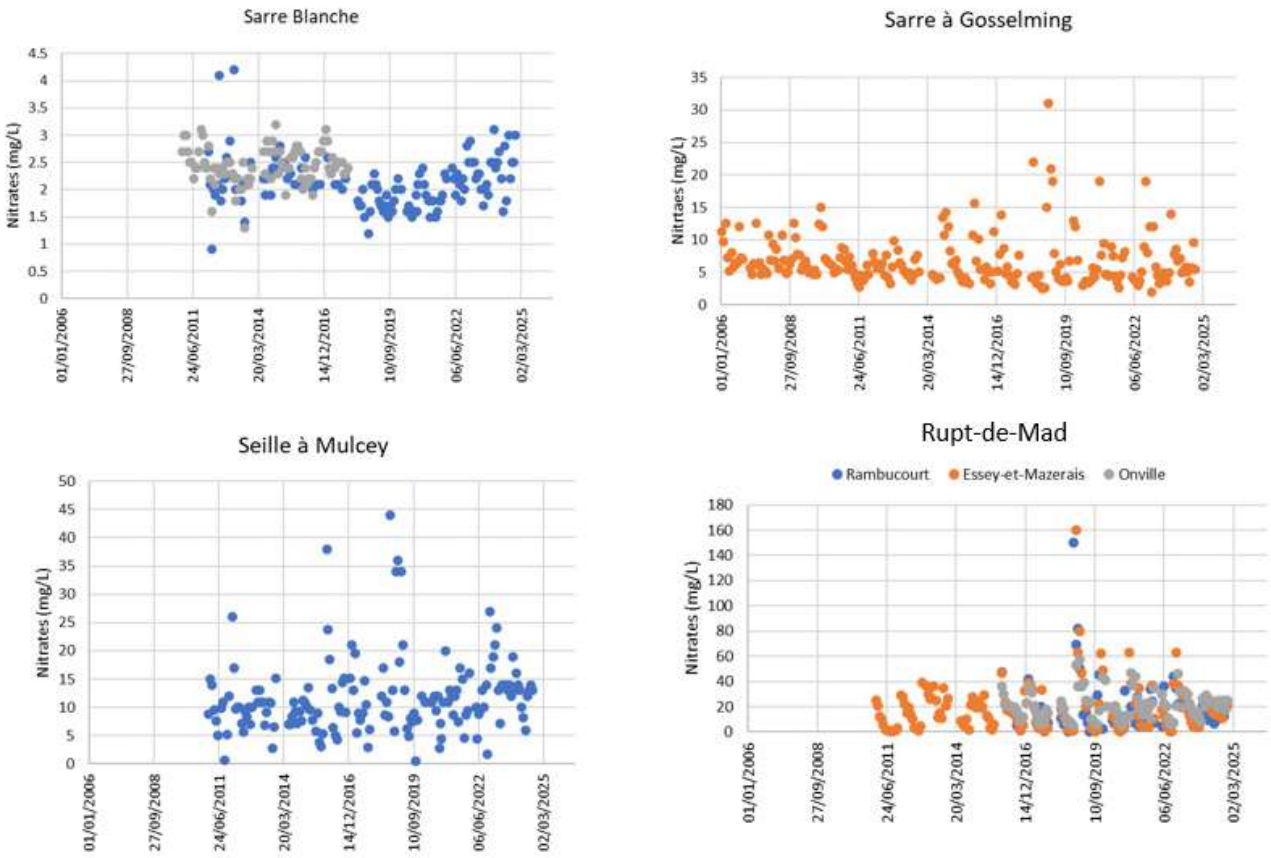


Figure 21 : Nitrates dissous. Pour la Sarre Blanche, données en gris = Turquestein-Blancrupt et données en bleu = Turquestein-Blancrupt amont Storindal

Pour la Sarre Blanche, la concentration en nitrates est semblable à Turquestein-Blancrupt et à Turquestein-Blancrupt amont Storindal, avec des valeurs autour de 2 mg/L (Figure 21). Une légère diminution a été observée à Turquestein-Blancrupt amont Storindal entre 2018 et 2022, mais les valeurs semblent augmenter depuis 2022.

Cette inflexion, observée sur les deux dernières années de la série, ne permet pas de conclure à une augmentation durable. Les conditions météorologiques propres à chaque année influencent fortement les concentrations mesurées et brouillent l'identification des tendances. L'interprétation de cette évolution devra être reprise lorsque les données des années suivantes seront disponibles.

Pour la Sarre à Gosselming, les valeurs sont autour de 5 mg/L, avec une légère tendance à la diminution, mais avec des valeurs occasionnelles très élevées. Depuis 2016 l'azote global dissous est aussi analysé sur la Sarre à Gosselming (Figure 22) : la majeure partie de l'azote global dissous est dû aux nitrates.

Les concentrations en nitrates fluctuent fortement pour la Seille à Mulcey, avec des valeurs en général autour de 20 mg/L mais avec des valeurs occasionnelles très élevées. Une dynamique saisonnière très marquée est visible pour les trois stations sur le Rupt-de-Mad, avec une moyenne de 18.6 mg/L à Essey-et-Mazerais et avec des valeurs occasionnelles très élevées.

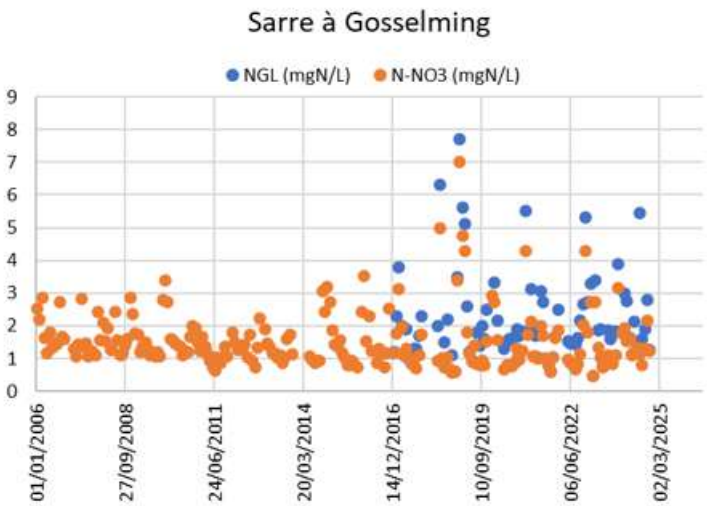


Figure 22 : Comparaison entre les concentrations en nitrates et en azote global dissous sur la Sarre à Gosselming

Ortho-phosphates, de quoi s'agit-il ?

Les ortho-phosphates constituent la forme assimilable du phosphore dans les eaux de surface. Leurs origines sont multiples. Ils ne proviennent plus des lessives, dont la composition a évolué, mais les détergents recourent encore fréquemment à des composés phosphatés, dont l'usage pourrait a priori être évité. Ils résultent également du métabolisme humain et animal, source par nature difficile à supprimer.

Pourquoi les suit-on ?

Comme les nitrates, le phosphore est un moteur de l'eutrophisation. Le niveau de traitement dont il fait l'objet dépend fortement du type d'installation d'épuration, ce qui constitue un enjeu d'aménagement du territoire. Les stations fonctionnant par boues activées, caractéristiques des agglomérations importantes telles que Nancy ou Pont-à-Mousson, assurent un traitement poussé du phosphore par ajout de sels de fer : ceux-ci s'agglomèrent avec le phosphore, l'ensemble étant ensuite récupéré par décantation. La situation est sensiblement plus défavorable en milieu rural, où les filtres plantés de roseaux, aujourd'hui communément utilisés, présentent des performances très faibles à l'égard du phosphore.

Les concentrations en ortho-phosphates (voir figure 23) sont très faibles sur la Sarre Blanche avec une valeur moyenne de 0.03 mg/L. Elle est 10 fois plus élevée sur la Sarre à Gosselming (0.31 mg/L). Elle est de 0.52 ± 0.33 mg/L, donc plus élevée et avec de fortes variations. Par contre les concentrations sont beaucoup moins élevées sur le Rupt de Mad (0.14 ± 0.09 mg/L). Pour aucun des cours d'eau une tendance d'évolution claire n'est observée pour ce paramètre.

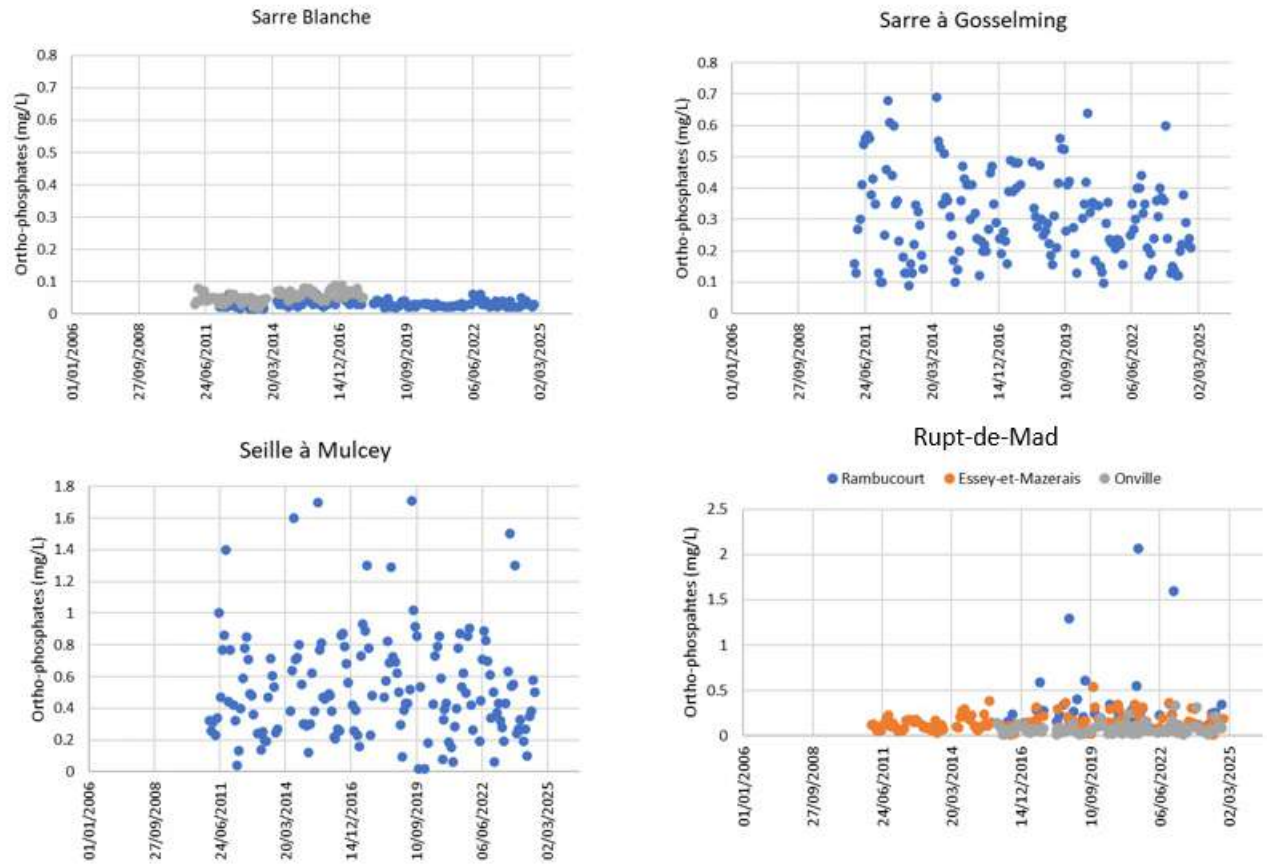


Figure 23 : Ortho-phosphate dissous. Pour la Sarre Blanche, données en gris = Turquestein-Blancrupt et données en bleu = Turquestein-Blancrupt amont Storindal.

Les nitrates et le phosphore sont les deux nutriments responsables de l'eutrophisation des cours d'eau. Leur présence en quantité permet le développement d'algues, phénomène qui se manifeste principalement au printemps et en été, la température plus élevée qu'en hiver y contribuant également. La séquence de dégradation qui s'ensuit est bien établie. Lorsque les algues meurent, les bactéries qui les décomposent consomment l'oxygène dissous du cours d'eau. Cette consommation entraîne une mortalité des poissons. Le phénomène est aggravé par le fait que la concentration en oxygène d'un cours d'eau diminue naturellement lorsque la température de l'eau augmente : le réchauffement réduit donc simultanément la capacité du milieu à absorber l'épisode et accroît la probabilité qu'il survienne. C'est par ce mécanisme que la question de la pollution nutritive rejoint celle du climat, et que l'enjeu du réchauffement des eaux se traduit concrètement en termes de biodiversité aquatique.

Les trois paramètres examinés présentent, sur plusieurs stations, des valeurs ponctuellement très supérieures à la moyenne. Leurs causes ne peuvent être établies à partir des seules données disponibles. Une explication réside dans le protocole de prélèvement lui-même. L'Agence de l'eau établit très en amont un calendrier de prélèvement, indépendamment des conditions rencontrées le jours de la mesure. Un prélèvement peut ainsi coïncider avec un aléa météorologique, ou avec un incident survenu en amont : dysfonctionnement d'une station d'épuration, incident sur un digesteur, ou tout autre événement ponctuel affectant la qualité de l'eau. Le caractère occasionnel de ces valeurs ne doit pas conduire à les écarter. Elles signalent que les cours d'eau du territoire connaissent, à intervalles irréguliers, des épisodes de dégradation marquée de leur qualité. Elles constituent à ce titre un point de vigilance pour le territoire.

Synthèse et perspectives

Les résultats permettent de distinguer trois situations contrastées sur le territoire. La Sarre Blanche, dans sa partie amont à Turquestein-Blancrupt, présente la situation la plus préservée pour les trois paramètres : les plus faibles concentrations en carbone organique dissous, des nitrates autour de 2 mg/L, et des ortho-phosphates à un niveau très bas de 0,03 mg/L. Ce secteur de tête de bassin constitue une référence utile pour apprécier les niveaux atteints ailleurs.

La Seille à Mulcey apparaît comme le cours d'eau le plus chargé de l'échantillon, pour les trois paramètres simultanément : carbone organique dissous le plus élevé, nitrates autour de 20 mg/L avec de fortes fluctuations, et ortho-phosphates au niveau le plus haut. Ce cumul en fait le secteur le plus sensible du territoire. La Sarre à Gosselming et le Rupt-de-Mad occupent des positions intermédiaires, avec des profils distincts. La Sarre présente des concentrations en ortho-phosphates dix fois supérieures à celles de la Sarre Blanche, pour des nitrates modérés autour de 5 mg/L en légère diminution. Le Rupt-de-Mad se caractérise par des nitrates élevés, de l'ordre de 18,6 mg/L à Essey-et-Maizerais, marqués par une dynamique saisonnière très prononcée sur les trois stations, mais par des ortho-phosphates sensiblement plus faibles que sur la Sarre et la Seille.

Ce classement, établi sur l'état actuel des concentrations, est cependant susceptible d'évoluer si les débits d'étiage continuent de diminuer. Les concentrations présentées dans cette note ont été mesurées dans des conditions hydrologiques données. Or ces conditions évoluent. La note consacrée à l'hydrologie du territoire met en évidence, sur les séries de débit les plus longues, une diminution des débits minimaux annuels et du premier décile depuis 1995 sur la Sarre Blanche, ainsi qu'une évolution de même nature du premier décile sur le Rupt-de-Mad. Ces indicateurs caractérisent les périodes de plus basses eaux. Leur diminution signifie que le volume disponible pour diluer la charge polluante se réduit lors des étiages.

Il convient de préciser que ces constats ne valent pas pour l'ensemble du réseau hydrographique : la variabilité inter-annuelle de la Sarre Rouge ne permet pas d'y conclure à une tendance. Le changement de régime observé sur la Sarre Blanche fin 1994 reste par ailleurs à expliciter. Ces tendances sont donc partielles et établies sur un nombre restreint de stations.

Le mécanisme n'en est pas moins clair. Si les débits d'étiage diminuent tandis que la charge polluante des bassins versants demeure constante, les concentrations augmenteront mécaniquement, sans qu'aucune dégradation supplémentaire des pratiques agricoles ou des rejets ne soit nécessaire. Cette perspective est renforcée par la coïncidence saisonnière que documente la note hydrologique : sur l'ensemble des cours d'eau du territoire, les étiages sont marqués en juillet, août et septembre, soit la période où la charge en nutriments, portée par les pratiques agricoles, est également la plus susceptible de favoriser l'eutrophisation. Elle concerne en particulier le Rupt-de-Mad, où les maximas de concentration en nitrates coïncident avec les périodes de plus faible débit, et pour lequel une baisse du premier décile est précisément documentée.
C'est à ce point que le suivi de la qualité des eaux rejoint la question climatique : non parce que le climat produirait la pollution, mais parce qu'il réduit la capacité des milieux à en absorber les effets.

Une ligne de base pour le suivi futur

Ce chapitre ne conclut pas à une dégradation en cours de la qualité des eaux de surface du territoire. Elle en documente l'état à une date donnée, sur la base de séries longues et de stations pérennes, et met en évidence les secteurs les plus exposés ainsi que les mécanismes par lesquels le changement climatique est susceptible d'en aggraver la situation.

La reconduction de ces analyses, à mesure que les données de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse seront disponibles, les données 2025 étant attendues à l'automne, permettra de suivre l'évolution de ces paramètres et de vérifier si les mécanismes décrits se traduisent effectivement dans les mesures. Ce suivi s'inscrit dans les missions d'observatoire de long terme de la Réserve de biosphère.

L’enneigement du massif : quand la neige devient pluie

La zone de pratique des sports de neige sur notre territoire est très limitée. Elle se situe à sa marge orientale. La question de l’enneigement s’y pose donc moins en termes de tourisme hivernal qu’en termes de cycle de l’eau. Le secteur pertinent pour en juger est celui de Schirmeck–Champ du Feu, limitrophe de la Réserve de Biosphère, pour lequel Météo-France a produit des projections dédiées.

Les précipitations hivernales devraient rester stables voire être en légère hausse. Avec le réchauffement, une part croissante de ces précipitations tombera sous forme de pluie plutôt que de neige. Le nombre de jours où le sol restera enneigé diminuera. L’équivalent en eau du manteau neigeux (la quantité d’eau stockée dans la neige au sol) baissera d’autant. La neige ne disparaîtra pas faute de précipitations : elle fondra parce qu’il fait trop chaud pour qu’elle tienne.

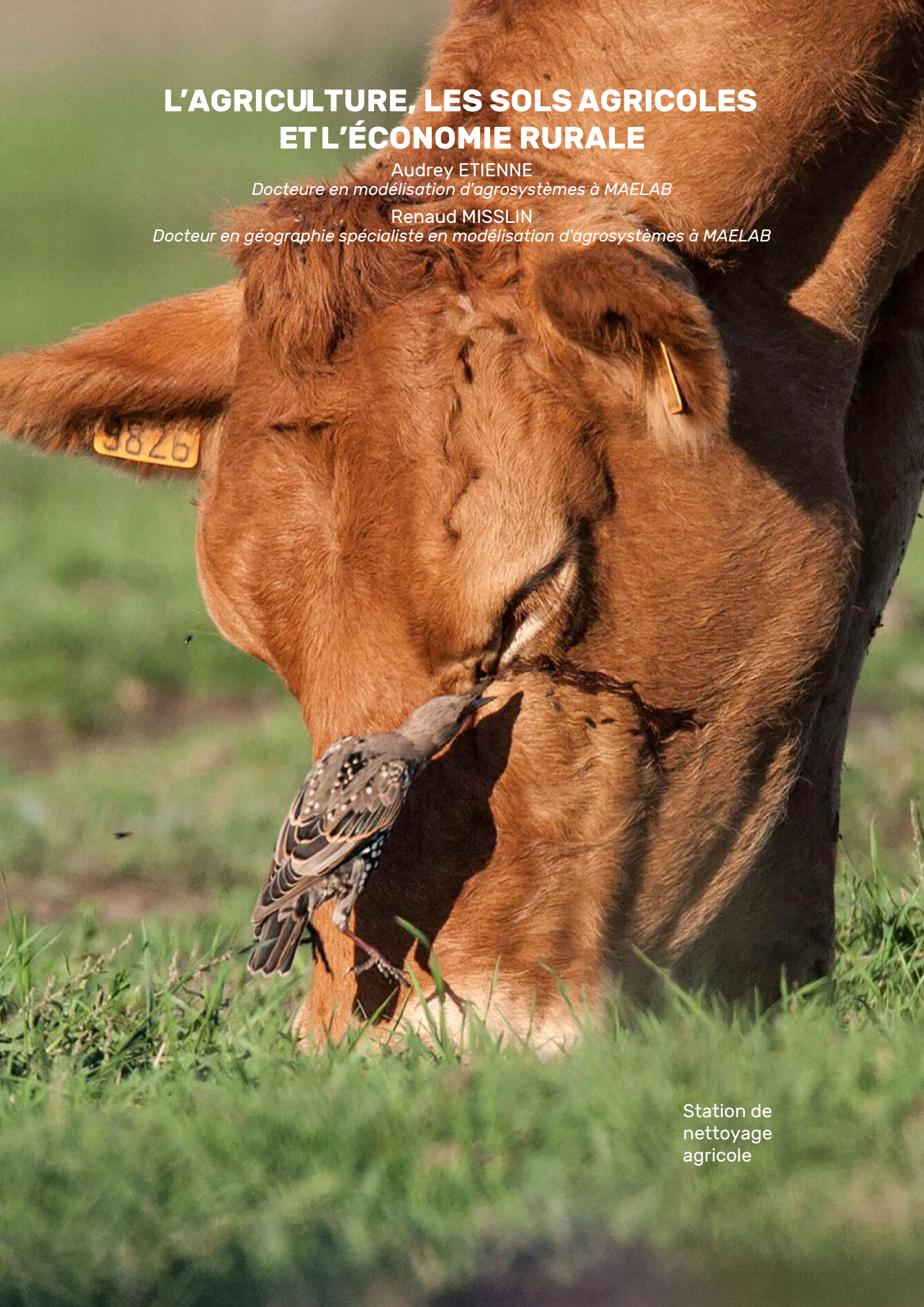
Cette évolution intéresse directement la ressource en eau du territoire. Le manteau neigeux se comporte comme un château d’eau naturel : il stocke l’eau en hiver et la restitue lentement au printemps, soutenant les débits des cours d’eau à l’entrée de la saison sèche. Sa réduction avance le moment de cette restitution et en diminue le volume, ce qui aggrave les étiages estivaux (les périodes de plus basses eaux) déjà observés sur plusieurs rivières du territoire. C’est là, bien plus que dans l’avenir des activités de neige, que se situe l’enjeu pour la Réserve de Biosphère.

Les projections de Météo-France pour Schirmeck–Champ du Feu (altitude 750-1050 m, horizon 2041-2060, par rapport à la période de référence 1985-2006) confirment cette trajectoire : un réchauffement hivernal de [+1,1 à +1,9 °C], une baisse des précipitations neigeuses de [17 à 27 %], une réduction de [11 à 16 jours] du nombre de jours d’enneigement supérieur à 30 cm (soit [69 % à près de 100 % de perte), et une baisse de l’équivalent en eau du manteau de [22 à 42 %]. Dans l’hypothèse la plus défavorable, l’enneigement durable disparaîtrait presque totalement à cette altitude dès le milieu du siècle.

Source : Météo-France, « L’évolution de l’enneigement du Massif des Vosges », maîtrise d’ouvrage Région Grand Est, 2023.

L'AGRICULTURE, LES SOLS AGRICOLES ET L'ÉCONOMIE RURALE

Audrey ETIENNE
Docteure en modélisation d'agrosystèmes à MAELAB
Renaud MISSLIN
Docteur en géographie spécialiste en modélisation d'agrosystèmes à MAELAB



Station de nettoyage agricole

1 Histoire de l'agriculture et des agriculteurs

1.1 De l'optimum médiéval aux premières crises (Xe-XVIe siècle)

L'optimum climatique médiéval, une période anormalement chaude en Europe qui commence au Xe siècle et finit au XIIIe, correspond sur le plateau lorrain à l'apogée d'un premier système d'openfield (un ensemble de champs ouverts sans clôtures). Dans ce système, les terres agricoles des villages du Saulnois sont réparties en trois zones appelées « soles ». Les villageois cultivent des parcelles dans chacune de ces zones, chaque zone se voyant attribuer un type de culture par an : une sole en céréales d'hiver, une en céréales de printemps et une en jachère destinée au pâturage. Après la récolte, chaque sole est ouverte au pâturage commun de tous les troupeaux du village. La céréaliculture (blé, orge, avoine, seigle) occupe entre 60 et 80 % des surfaces agricoles (Mathis, 2009, p. 610). Les prairies de fonds de vallée, le saltus (jachères longues, pâtures forestières) et les vignes s'ajoutent aux céréales pour former un système diversifié et robuste. Dans le Pays des étangs, la pisciculture dans les étangs seigneuriaux s'ajoute à cette diversité. Les premiers étangs apparaissent au XIe siècle, leur nombre augmentant fortement aux XIIe-XIIIe siècles (Mathis, 2009, p. 489). Ce système d'openfield est propre au Saulnois et à la plaine lorraine romane. La vallée de la Sarre relève d'une logique pastorale distincte, attestée notamment par les troupeaux bovins transhumants qui, depuis la zone germanophone de la Sarre, venaient pâturer dans le Saulnois oriental (Mathis, 2009, p. 646). Les Vosges mosellanes, dont les sources pour cette période sont peu nombreuses, portent les traces d'une tradition agro-pastorale sur le sommet des collines dès l'époque gallo-romaine (formulaire UNESCO MAB, 2021, p. 40).

Le XIVe siècle voit s'amorcer un déclin : guerres, épidémies et évènements climatiques extrêmes provoquent une vague de départs (Wüstungen) dans le Saulnois. Les départs entraînent des redistributions des terres, l'openfield se reconstituant après chaque crise. La guerre de Trente Ans (1618-1648) constitue une rupture définitive en imposant une reconstruction intégrale dans le Saulnois, zone située dans un couloir de passage des armées (Mathis, 2009, p. 910).

1.2 Second openfield du Saulnois et polyculture villageoise traditionnelle (XVIIe siècle - 1950)

La reconstruction du système agricole qui suit la guerre de Trente Ans se fait en intégrant des populations nouvelles (Picards, Savoyards, Suisses) et conduit à la structuration d'un second système d'openfield dans le Saulnois. Ce second système va plus loin que le premier en systématisant l'assolement triennal et en imposant le modèle du village-rue et de la maison-bloc. C'est ce deuxième cycle paysager qui a façonné la morphologie villageoise que l'on peut encore rencontrer dans le Saulnois (Mathis, 2009, p. 846 et 909).

Dans le Pays des étangs, la reconstruction s'opère sur une logique différente. Le domaine du Lindre, sous contrôle ducal depuis le XVe siècle, maintient une rotation triennale propre : une année de repos, une année de pêche, une année d'assec (assèchement temporaire) cultivée en seigle et avoine. Cette organisation perdurera jusqu'en 1987,

année à partir de laquelle l'assec du Grand Étang cesse d'être pratiqué (Mathis, 2009, p. 495).

Dans les contreforts vosgiens, la recolonisation du massif après la guerre de Trente Ans suit une troisième logique. Les sols gréseux et sablonneux offrant peu de perspectives à l'agriculture, les seigneurs attirèrent des colons en leur accordant franchises, exonérations de corvées et droits d'usage forestiers, dont subsiste aujourd'hui la particularité coutumière du Bois Bourgeois de Dabo (formulaire UNESCO MAB, 2021, p. 41). Des manufactures de verrerie et de faïence s'établissent au fil des siècles, exploitant la force hydraulique des cours d'eau des Vosges et de la Sarre. Dans les Vosges mosellanes, l'agriculture reste donc marginale et secondaire par rapport aux activités sylvicoles et industrielles, une configuration qui perdurera jusqu'à la disparition progressive de ces industries au cours du XXe siècle.

Le XIXe siècle introduit les premières grandes transformations agronomiques dans le Saulnois et la plaine. Les prairies marécageuses de la Seille et de la Petite-Seille sont assainies, les agriculteurs introduisent des plantes fourragères (luzerne, trèfle) dans les rotations, et l'élevage bovin augmente, poussé par des agronomes locaux et par l'administration allemande (Mathis, 2009, p. 655-656). Ces changements amorcent une transition d'un système purement céréalier vers un système mixte. Dans la vallée de la Seille, l'exploitation intensive des salines, qui mobilise les forêts environnantes comme combustible et génère d'importants rejets en terre cuite, a contribué au ralentissement de l'écoulement et à la formation de marais en fond de plaine. La canalisation de la rivière est engagée au XVIIe, accompagnée par l'assèchement progressif de ces marais (Garcia Parrilla & Barataud, 2020, p. 49). Les aménagements successifs ont répondu à des besoins changeants, favorisant tour à tour la navigation, l'accès à la ressource pour le bétail et l'irrigation des parcelles céréalières (ibid., p. 10). À partir de la fin du XIXe siècle, les pratiques de curage et d'élargissement du chenal s'intensifient pour lutter contre les inondations. Les méandres disparaissent et les zones humides recul (ibid., p. 49). La Figure 24, superposant l'emprise des forêts des années 2010 aux cartes Cassini des années 1760, laisse penser que des drainages similaires ont probablement été réalisés dans la vallée de la Sarre et dans le Pays des étangs.

Les deux guerres mondiales viennent interrompre et retarder ces évolutions. La Première Guerre Mondiale frappe durement le Saulnois occidental. La reconstruction, longue de 15 à 20 ans, reconstitue le tissu agricole sur un modèle villageois proche de l'ancien. Les villages, marqués par des non-retours, sont démographiquement fragilisés. La Seconde Guerre Mondiale touche fortement le territoire et conduit à une reconstruction « plus simple et plus complète » (Mathis, 2009, p. 910). En 1945, le territoire porte encore les séquelles des deux conflits et de l'annexion : sa modernisation agricole est retardée par rapport aux régions épargnées. Le système qui subsiste (polyculture villageoise sur exploitations familiales, céréales sur les versants, prairies et élevage dans les fonds de vallée inondables, fumier animal comme seul intrant) est peu connecté aux marchés extérieurs, peu productif mais diversifié et autonome.

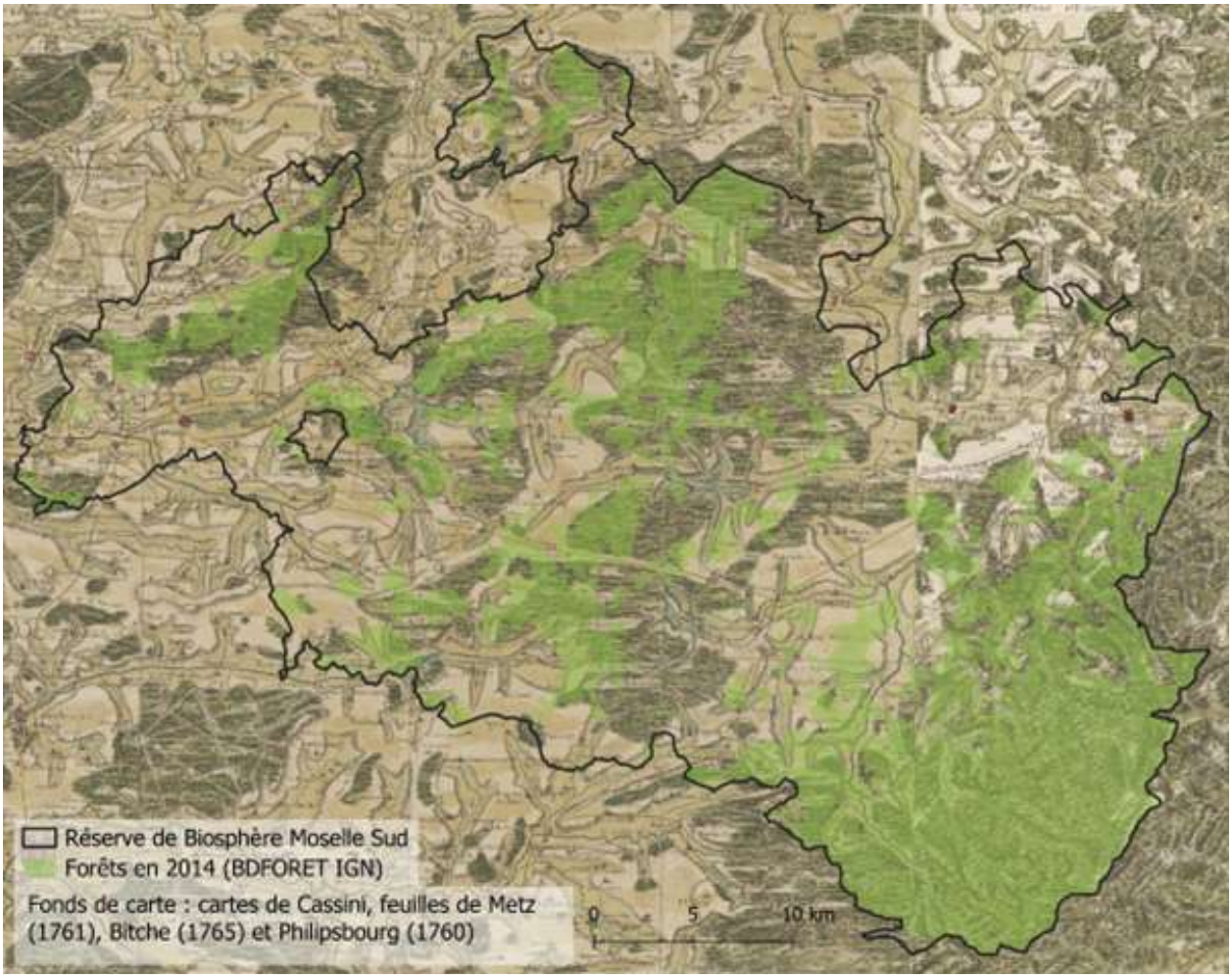


Figure 24 : Emprise de la forêt dans les années 1760 et en 2014.

1.3 La modernisation du XXe siècle : remembrements et mécanisation et perte de résilience (1950-1970)

La période 1950-1970 correspond à une reconstruction post-guerre et une première spécialisation. Dans le Saulnois, la production laitière s'impose comme principal débouché de l'élevage bovin, dans la continuité d'une tradition laitière construite depuis la fin du XIXe siècle sur un maillage de laiteries et de fromageries (Mathis, 2009, p. 663). Parallèlement, l'élevage allaitant se consolide comme second pôle, les systèmes se spécialisant progressivement en deux orientations (lait / viande) au détriment de la polyculture traditionnelle. Le cheptel bovin progresse et les surfaces en herbe s'étendent : en 1979, la STH représente 5 % à 60 % de la SAU dans les cantons saulnois (Mathis, 2009, p. 98 et 99). Autour de Sarrebourg, la filière laitière consolide une vocation herbagère de longue date, en mobilisant les prairies humides de la vallée de la Sarre, les prairies situées à proximité des étangs et les versants prairiaux des Vosges mosellanes.

En parallèle, le remembrement des années 1960 recompose le parcellaire du Saulnois. Ce changement radical est rendu possible par la motorisation agricole et le partage des machines en coopérative, pratiqués dans les villages saulnois dès 1945-1946 (Mathis, 2009, p. 875). Autour de Sarrebourg, la géographie (prairies humides de la vallée de la Sarre, zones d'étangs, massifs forestiers des Vosges mosellanes) limite l'impact du

remembrement et de la mécanisation : les terres arables n'y ont jamais occupé la place qu'elles détiennent sur le plateau lorrain. Dans les années 1960, le Pays des étangs est marqué par une pression résidentielle et touristique importante, particulièrement autour des étangs du Stock et de Mittersheim (formulaire UNESCO MAB, 2021, p. 40).

Durant cette période, le nombre d'exploitations saulnoises diminue constamment, entraînant la concentration des terres entre un nombre réduit d'exploitations qui s'agrandissent. L'abandon des vignes et vergers traditionnels, amorcé dès l'entre-deux-guerres, s'accélère, tandis que la STH (Surface Toujours en Herbe) s'étend aux dépens des terres de labour, tendance qui s'inverse dans les période suivante (ibid., pp. 879 et 885).

1.4 1970-1990 : L'intensification

La décennie 1970 est marquée par des changements importants pour les systèmes agricoles du territoire de la RBMS. De façon générale, les intrants chimiques se généralisent et permettent des hausses de rendements.

Le changement de système est plus marqué dans le Saulnois au sein duquel les drainages des terres agricoles permettent la conversion d'une partie de la SAU de prairie en grande culture (Mathis, 2009, p. 98). Le colza augmente fortement, la rotation blé-orge-colza devenant le système de référence pour cette partie du territoire (Mathis, 2009, p. 101). Le maïs fourrage y progresse également de façon importante (Mathis, 2009, p. 100).
Cette conversion des prairies en grandes cultures s'accompagne d'une dégradation de la qualité de l'eau. Le rôle « tampon » des prairies disparaît ce qui accroît les transferts d'intrants vers les cours d'eau. C'est notamment le cas dans le bassin de la Seille (voir Garcia Parrilla & Barataud, 2016-2020, pp. 13 et 51).

À l'échelle nationale, la mise en place des quotas laitiers en 1984, qui lient le droit à produire à la superficie des exploitations, protège l'élevage laitier dans les zones de polyculture-élevage (Chatellier, 2015, Pour n°225, pp. 7-11) comme le territoire de la RBMS. Cependant, la dynamique de concentration foncière et la standardisation des assolements vers un biennal colza-blé au détriment de l'orge gagnent du terrain sur le territoire pendant cette période (Mathis, 2009, pp. 101-102 et doc. 113, p. 886).

Malgré la déprise de l'élevage, la part des surfaces forestières de la RBMS varie relativement peu durant cette période (voir tableau 1).

ZONE	1973	1982	1993
Plateau Lorrain	18.7%	19%	19%
Autour de Dabo	84.1%	84.4%	86%
Collines sous vosgiennes	53.9%	51.9%	53%

Tableau 10 : Part du territoire occupée par la forêt dans les trois régions forestières couvrant la Réserve de Biosphère Moselle Sud. A noter : le plateau occupe une vaste étendue qui dépasse largement les limites de la RBMS

1.5 1990-2000 : Premières crises et premières bifurcations

La réforme de la PAC en 1992 (jachères obligatoires, aides découplées à la surface) apporte une stabilisation temporaire des revenus céréaliers, tout en accélérant la concentration foncière au profit des grandes exploitations. Dans le Saulnois, les préretraites associées à cette réforme entraînent la disparition de petites et moyennes exploitations, libérant un foncier absorbé par les structures restantes qui s'agrandissent (Mathis, 2009, pp. 95-96). La crise de l'encéphalopathie spongiforme bovine (vache folle, 1996-2000) augmente probablement le taux de conversion de prairies en grandes cultures dans la région (Mathis, 2009, p. 885). À cela s'ajoutent des crises du lait récurrentes qui fragilisent encore plus les petites exploitations laitières. La disparition des élevages, libérant du foncier, accélère encore le retournement des prairies et la céréalisation. Ce processus est particulièrement marqué dans le Saulnois.

2. L'agriculture et les agriculteurs d'aujourd'hui : état des lieux et trajectoires 2000-2025

2.1 Trois zones agricoles contrastées

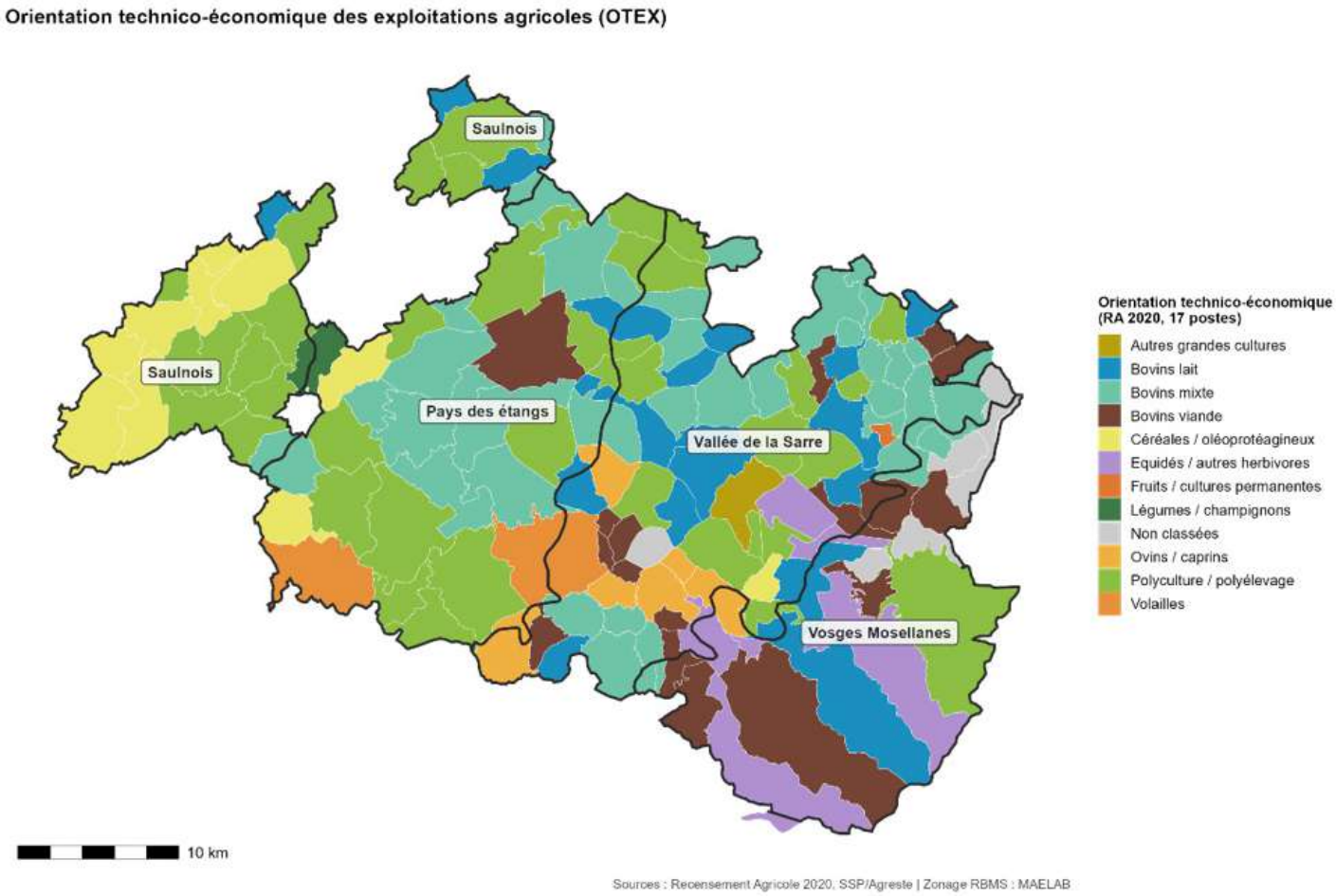


Figure 25 : Orientation technico-économique des exploitation agricoles par commune en 2020. Les chiffres utilisés dans cette partie proviennent de différentes sources. Les décomptes et mesures réalisés en-dehors de cette étude le sont sur des zones qui ne recouvrent pas forcément le zonage agricole proposé ici ou la Réserve de Biosphère de Sarrebourg dans son ensemble. Les sources ainsi que les zones géographiques concernées seront mentionnées explicitement.

Le territoire de la RBMS s'organise selon quatre logiques agricoles distinctes, dont les frontières suivent à l'Ouest la limite entre le plateau limoneux du Saulnois et les terres alluviales et argileuses de la vallée de la Sarre et du Pays des étangs et à l'Est la limite entre ces terres alluviales et le piémont des Vosges Mosellanes (voir Figure 25).

Photographie agricole du territoire de la Réserve de Biosphère de Moselle Sud

• **Le Saulnois** est dominée par les grandes cultures céréalières où le blé, l'orge et le colza structurent l'essentiel de l'assolement. L'élevage bovin, principalement laitier et allaitant, y est encore présent mais en net recul. Les sols y sont majoritairement acides sur le plateau et calcaire, argilo-limoneux voire hydromorphes dans les fonds autour de la Seille (prés salés notamment) et sur les terrasses alluviales, (voir figure 27).

• **Le Pays des étangs** associe un élevage herbager sur prairies permanentes (bovin mixte et polyculture-élevage, voir figure 25), plus extensif que le Saulnois, une pisciculture extensive sur étangs et, dans une moindre mesure, quelques grandes cultures sur les terres les plus adaptées. La pédologie de la zone est dominée par des sols acides forestiers et des sols argileux hydromorphes (figure 27).

• **La Vallée de la Sarre** est un territoire d'élevage diversifié (bovins laitiers, bovins allaitants et ovins). Les prairies permanentes qui dominent le paysage sont le support d'activités de polyculture-élevage particulièrement représentées. Les sols y sont calcaires argilo-limoneux à l'Ouest, hydromorphes autour de la Sarre (figure 4).

• **Les Vosges mosellanes**, zone de montagnes basses où l'agriculture est extensive. Les activités sont dominées par l'élevage bovin viande et les autres types d'élevage (ovin par exemple) sur des terres à faible potentiel agronomique. La forêt sur sols acides y est largement dominante. Il faut noter la présence de structures équestres dans plusieurs communes (voir figure 25).

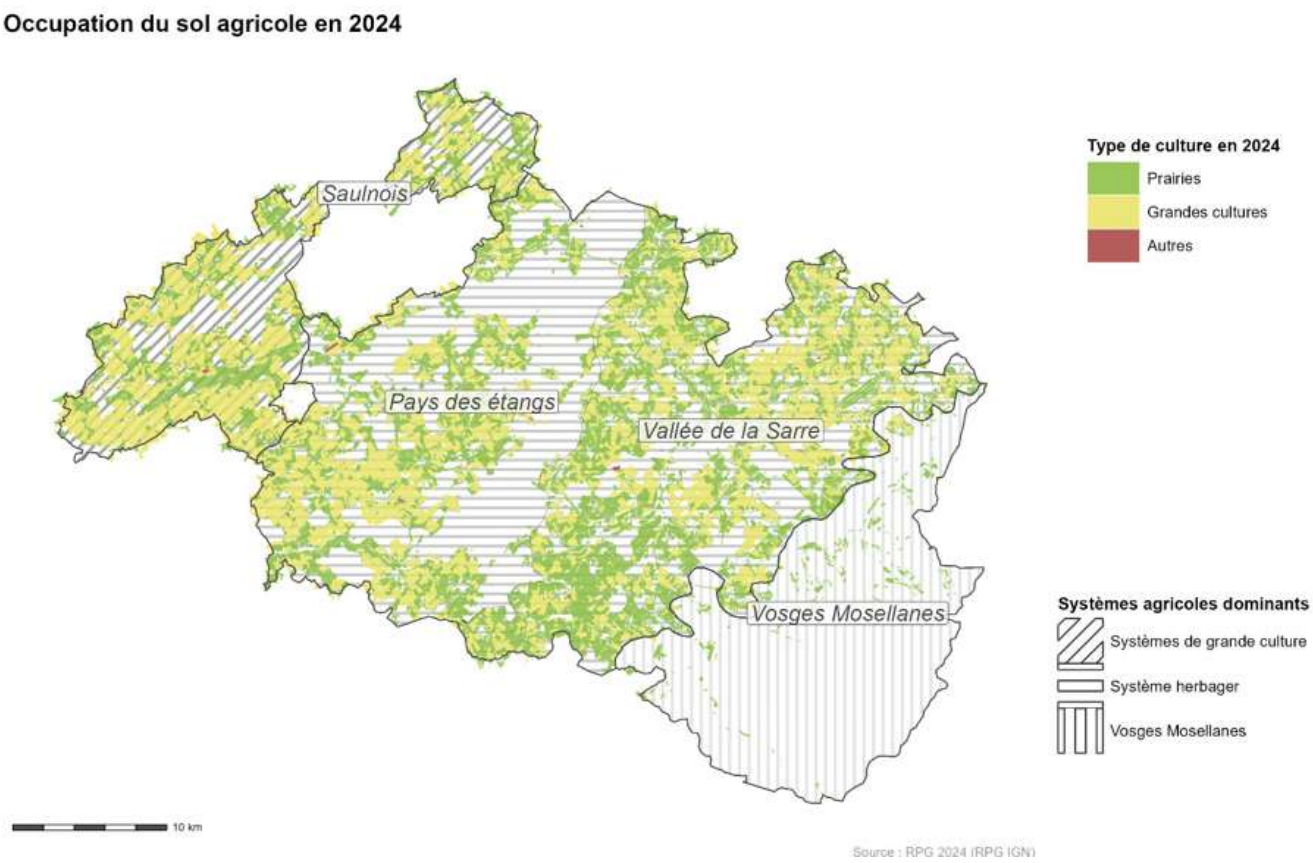


Figure 26 : Cultures déclarées dans le cadre du RPG 2024 au sein de la RBMS. Reclassifié en trois classes : prairies (permanentes et temporaires, grandes cultures et autres). La classe «Autres» regroupes des cultures peu représentées (miscanthus, vergers, vignes…)

Dans la zone herbagère de la vallée de la Sarre, du pays des étangs et du piémont vosgien, les prairies permanentes couvrent environ 47 % de la SAU en 2023, soit environ 22 000 ha, contre 59 % en 2007 (RPG, 2007-2023, voir Figure 26).

Les prairies temporaires (6 % de la SAU) et le maïs (14 %) complètent le système fourrager, qui représente au total environ 67 % de la SAU. Les céréales restent présentes mais secondaires (blé 16 %, orge 5 %, oléagineux 4 % de la SAU (RPG, 2023)). Concernant le cheptel bovins, les trajectoires sont contrastées à l'intérieur de la zone herbagère : il se maintient dans la vallée de la Sarre, tandis que le Pays des étangs enregistre un recul marqué, atteignant -44,5 % à Dieuze entre 2010 et 2020 (données UGB, Agreste, voir Figure 29). La SAU moyenne par exploitation a progressé de 75 à 108 ha dans la vallée de la Sarre (+44 %) et de 107 à 136 ha dans le Pays des étangs (+27 %) entre 2010 et 2020, la Sarre enregistrant la concentration foncière la plus forte de toutes les zones du territoire (Agreste, Recensements Agricoles 2010 et 2020).

Le Pays des étangs se distingue du reste du territoire par la pisciculture extensive, qui y coexiste avec l'élevage et les cultures depuis le Moyen-Âge (voir partie 3.1). L'étang de Lindre est géré selon un cycle alternant repos, pêche et vidange à visée écologique (rapport Seille, Garcia Parrilla & Barataud, 2021). La filière piscicole est néanmoins en recul (diagnostic PAT, 2021, p. 31-32).

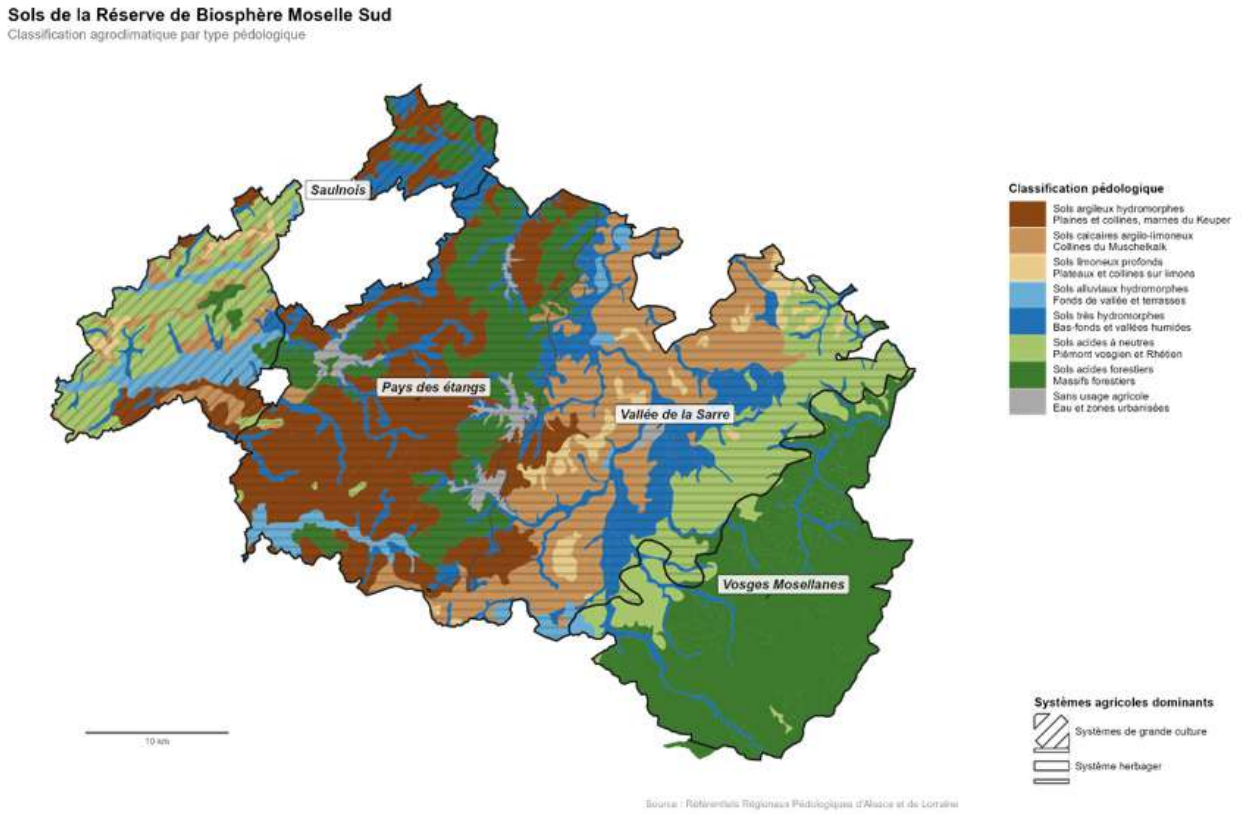


Figure 27 : Principaux types de sol composant le territoire de la Réserve de Biosphère Moselle Sud

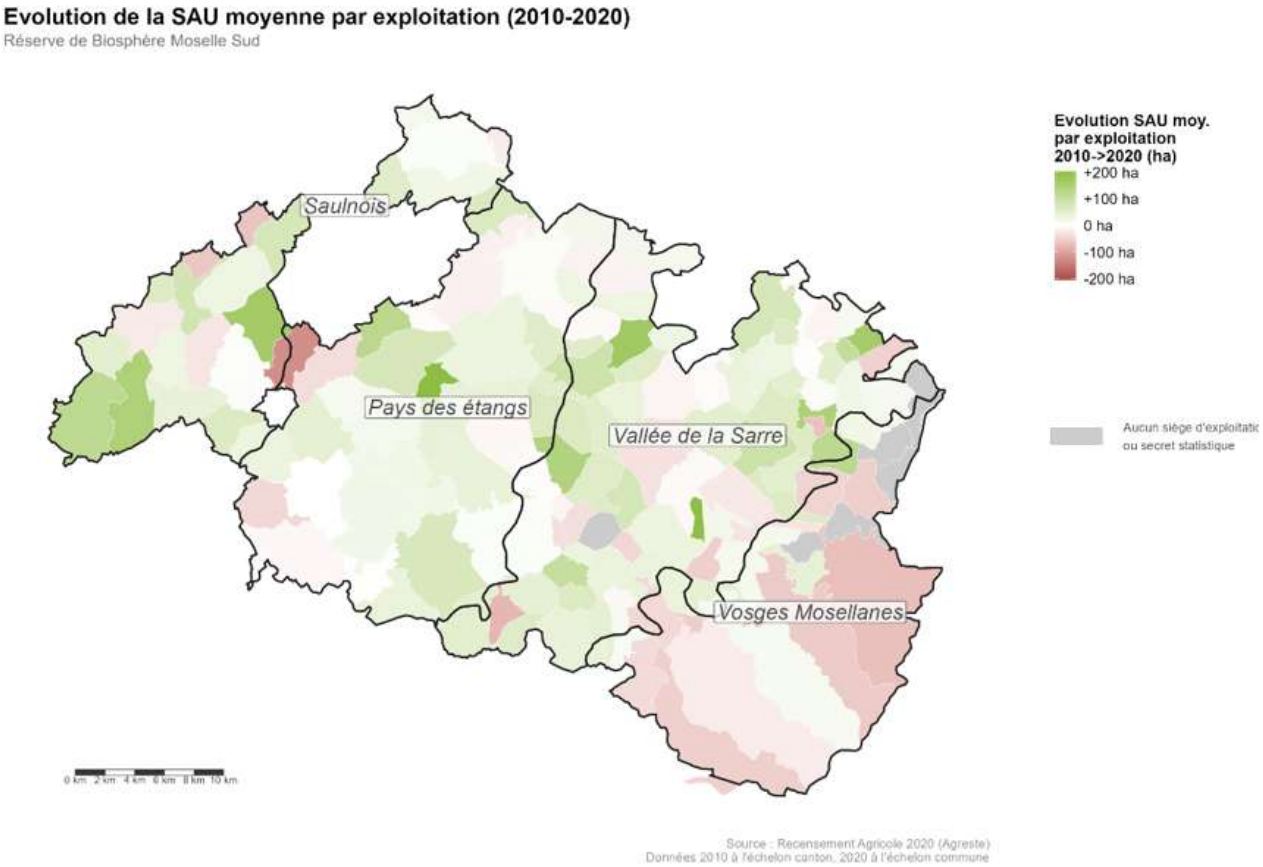


Figure 28 : Évolution de la SAU moyenne par exploitation et par commune entre 2010 et 2020

L'extrême ouest de la Réserve de Biosphère correspond au début du plateau lorrain et à la vaste région du Saulnois. Les grandes cultures, blé tendre, orge et colza, couvrent ensemble environ 47 % de la SAU, avec une rotation blé-orge-colza dominante (RPG, 2023). Le blé a légèrement progressé, passant de 21 % de la SAU en 2007 à 23 % en 2023, avec des rendements compris entre 46 qt/ha en 2016 et 74 qt/ha en 2015, sans tendance baissière claire sur la dernière décennie (SAA Moselle, 2010-2023). Les surfaces en colza présentent une forte variabilité, oscillant entre 4 % de la SAU en 2019 et 18 % en 2010, sous l'effet des aléas agronomiques et des signaux de marché (RPG, 2007-2023). Le maïs représente 11 % de la SAU en 2023, principalement dans les exploitations mixtes maintenant un atelier d'élevage bovin.

Les prairies permanentes couvrent 30 % de la SAU en 2023 (4 234 ha), contre 37 % en 2007, et les prairies temporaires sont passées de 9 % à 4 % sur la même période (RPG, 2007-2023). L'élevage bovin est en effondrement rapide : les unités de gros bétail ont reculé de 75 % dans le canton d'Albestroff et de 85 % dans celui de Château-Salins entre 2010 et 2020 (données UGB, Agreste, voir Figure 8). Le tournesol (4 % de la SAU) et le sorgho (1 %) sont apparus dans les rotations ces dernières années : avec des rendements compris entre 20 et 36 qt/ha pour le tournesol et une meilleure tolérance à la sécheresse, ils constituent une alternative en réponse aux contraintes hydriques croissantes (RPG, 2023 ; SAA Moselle, 2010-2023). La SAU moyenne par exploitation est passée de 124 à 160 ha entre 2010 et 2020 (+29 %), sans que cette concentration foncière se traduise par un renforcement des moyens humains (Agreste, Recensements Agricoles 2010 et 2020).

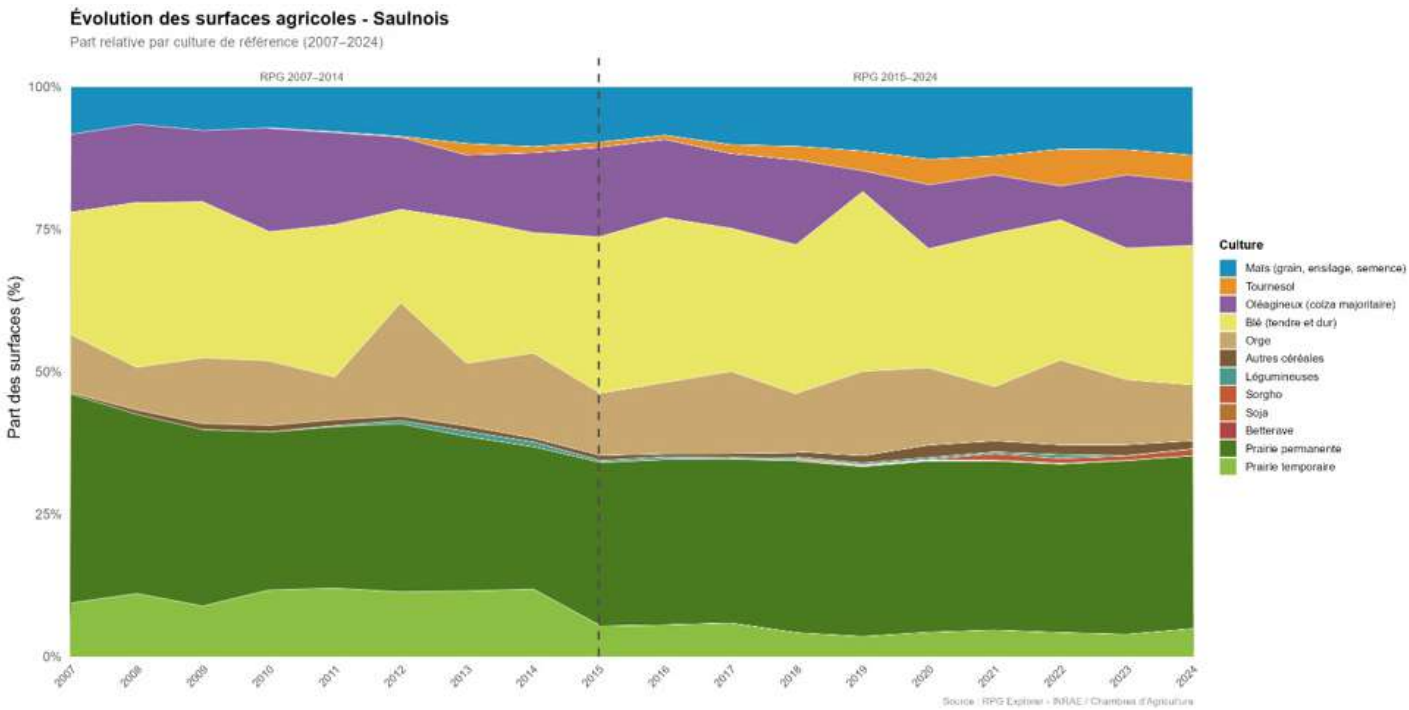


Figure 29 : Évolution des surfaces agricoles de la partie Saulnois entre 2007 et 2024 du territoire de la Réserve de Biosphère Moselle-Sud (hors jachères et cultures très peu représentées)

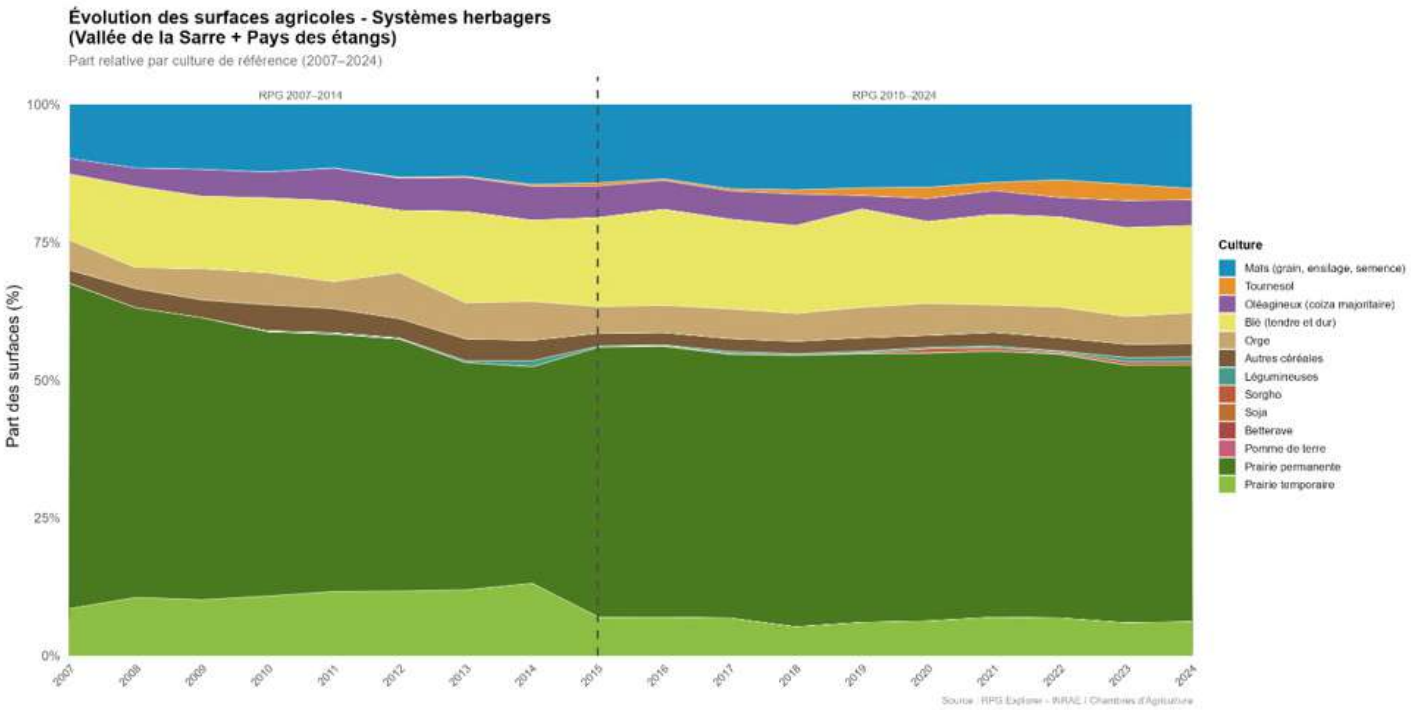


Figure 30 : Évolution des surfaces agricoles de la partie Sarre / Pays des étangs entre 2007 et 2024 du territoire de la Réserve de Biosphère de Moselle Sud (hors jachères et cultures très peu représentées)

2.2 L'agriculture de la Réserve de Biosphère Moselle Sud en mutation

Entre 2010 et 2020, toutes les zones du territoire ont perdu des exploitations agricoles : -14,4 % dans la vallée de la Sarre (276 exploitations en 2020), -16,9 % dans le Saulnois (86), -20,2 % dans le Pays des étangs (141), et -46,4 % dans les Vosges mosellanes (Agreste, RA 2020, périmètre RBMS). La SAU moyenne par exploitation a progressé de 107 à 136 ha dans le Pays des étangs (+27 %), de 124 à 160 ha dans le Saulnois (+29 %) et de 75 à 108 ha dans la vallée de la Sarre (+44 %) entre 2010 et 2020. Les Vosges mosellanes présentent une trajectoire inverse, la SAU moyenne y a reculé de 66 à 48 ha. Etant donné le faible nombre d'exploitations concernées, un potentiel changement d'orientation d'activité sur une exploitation ou l'installation d'exploitations dont l'orientation est éloignée du modèle de polyculture-élevage (élevage équin ou maraîchage par exemple) pourrait avoir un impact important sur cette donnée. Ce chiffre est donc à considérer avec précaution. Sur tout le territoire de la RBMS, cette évolution foncière s'accompagne d'une réduction des équivalents temps plein du secteur agricole. Cette baisse est observable globalement mais aussi plus spécifiquement au niveau de la main-d'œuvre familiale et de la main-d'œuvre saisonnière (Kaumanns, 2023, d'après Agreste RA 2020).

Concernant les élevages laitiers spécifiquement, les exploitations produisent plus, avec des cheptels plus petits et moins de main-d'œuvre (voir paragraphes suivants et Figure 32). Cette intensification de la production se déploie dans un contexte de revenus structurellement bas pour les éleveurs, malgré quelques améliorations conjoncturelles observées ces dernières années, en particulier dans la filière laitière.

Ce rapport entre charge de travail et revenu pèse directement sur les décisions de transmission. Dans le périmètre de la RBMS, la moitié des exploitants sera en âge de partir à la retraite avant 2030 (Plan Herbe Moselle Sud, 2024). Or la grande majorité des transmissions s'effectue dans le cadre familial, ce qui rend la disponibilité d'un repreneur au sein de chaque famille déterminante pour l'avenir de beaucoup d'exploitations. Sans repreneur dans le cercle familial, une exploitation laitière a donc de grandes chances de disparaître, ses terres rejoignant le plus souvent celles d'une exploitation céréalière voisine qui s'agrandit. Ce mécanisme sous-tend le recul des prairies sur le territoire : l'abandon de l'élevage libère du foncier prairial converti ensuite en grandes cultures. La céréalisation est donc la conséquence de la déprise de l'élevage.

Le vieillissement des exploitants, conjugué au manque de repreneurs et aux sécheresses répétées qui fragilisent les bilans fourragers, forme un cercle vicieux : chaque exploitation laitière qui cède accélère la conversion des prairies environnantes en cultures, réduisant d'autant la surface prairiale disponible sur le marché foncier local et les possibilités d'approvisionnement en fourrage pour les élevages qui se maintiennent. Les données UGB par canton entre 2010 et 2020 quantifient l'ampleur et la géographie de ce mouvement : les unités de gros bétail ont chuté de 85 % à Château-Salins et de 75 % à Albestroff dans le Saulnois ; de 45 % à Dieuze, de 16 % à Réchicourt-le-Château et de 10 % à Vic-sur-Seille dans le Pays des étangs ; contre -19 % à Sarrebourg, -8 % à Phalsbourg, -7 % à Lorquin et seulement -2 % à Fénétrange dans la vallée de la Sarre (Agreste, données UGB par canton, 2020). Entre 2010 et 2020, le territoire a perdu 5,8 % de ses prairies, et 50 % des prairies d'intérêt pour la biodiversité identifiées sept ans auparavant avaient été dégradées ou retournées selon le Conservatoire d'Espaces Naturels de Lorraine (CEN CCSMS, 2021, cité par Kaumanns, 2023).

Face à ces dynamiques de concentration et de déprise, une partie des exploitations qui se maintiennent s'engagent dans des pratiques visant à réduire leur dépendance aux intrants et à améliorer la résilience de leurs systèmes. La diminution du travail du sol constitue, d'après l'enquête de Kaumanns (2023) conduite sur le périmètre du PAT Sarrebourg-Saulnois, la pratique agroécologique la plus répandue parmi les exploitations conventionnelles du territoire. Elle recouvre un continuum allant du labour non systématique et la limitation du travail en profondeur, jusqu'au semis direct, identifié comme pratique à part entière mais encore peu diffusé en raison des coûts matériels et des connaissances techniques qu'il requiert (Kaumanns, 2023). Sa progression est motivée davantage par des économies directement visibles que par une démarche environnementale délibérée. Par ailleurs, il faut noter que 11 % des exploitations mosellanes sont labellisées en agriculture biologique ou en cours de conversion, ce qui représente 32 000 ha au total (Kaumanns, 2023).

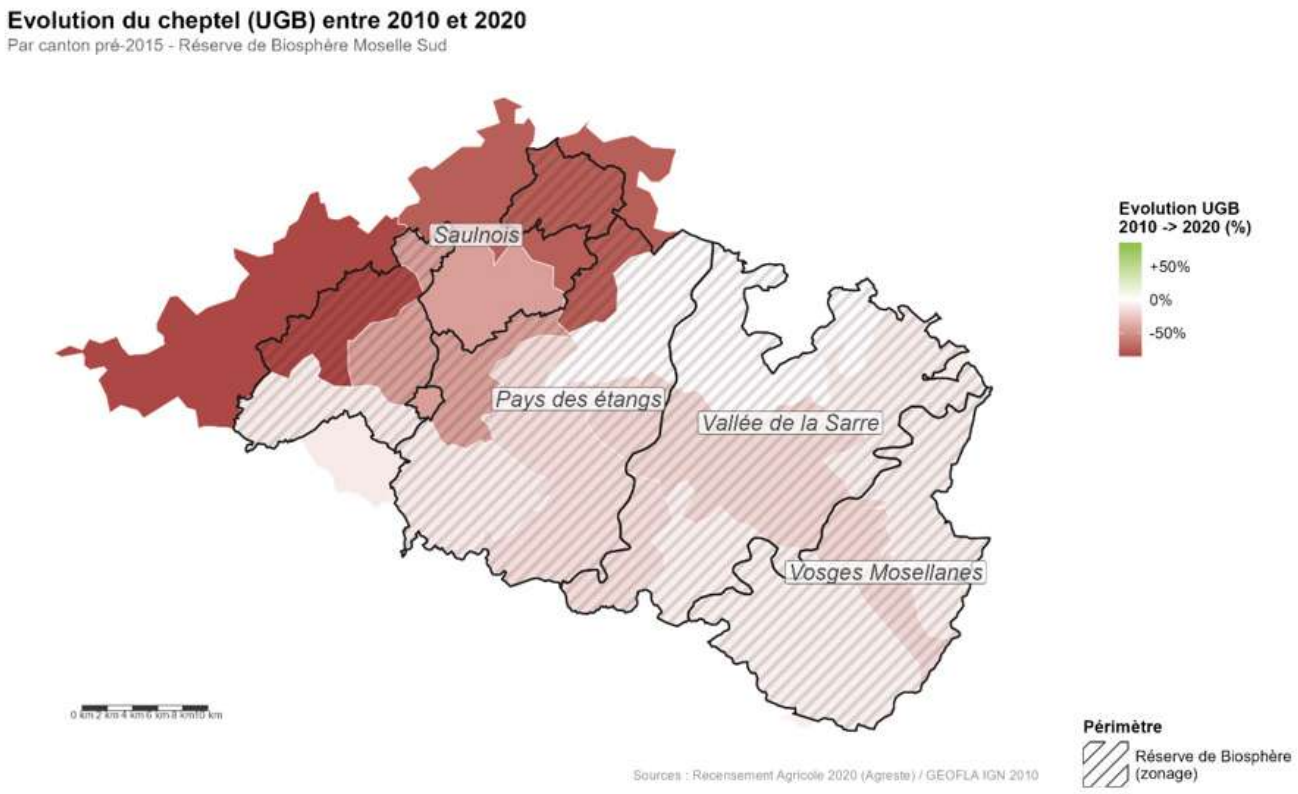


Figure 31 : Part des cultures principales dans la SAU de la partie Saulnois du territoire de la Réserve de Biosphère Moselle-Sud (hors jachères et cultures très peu représentées)

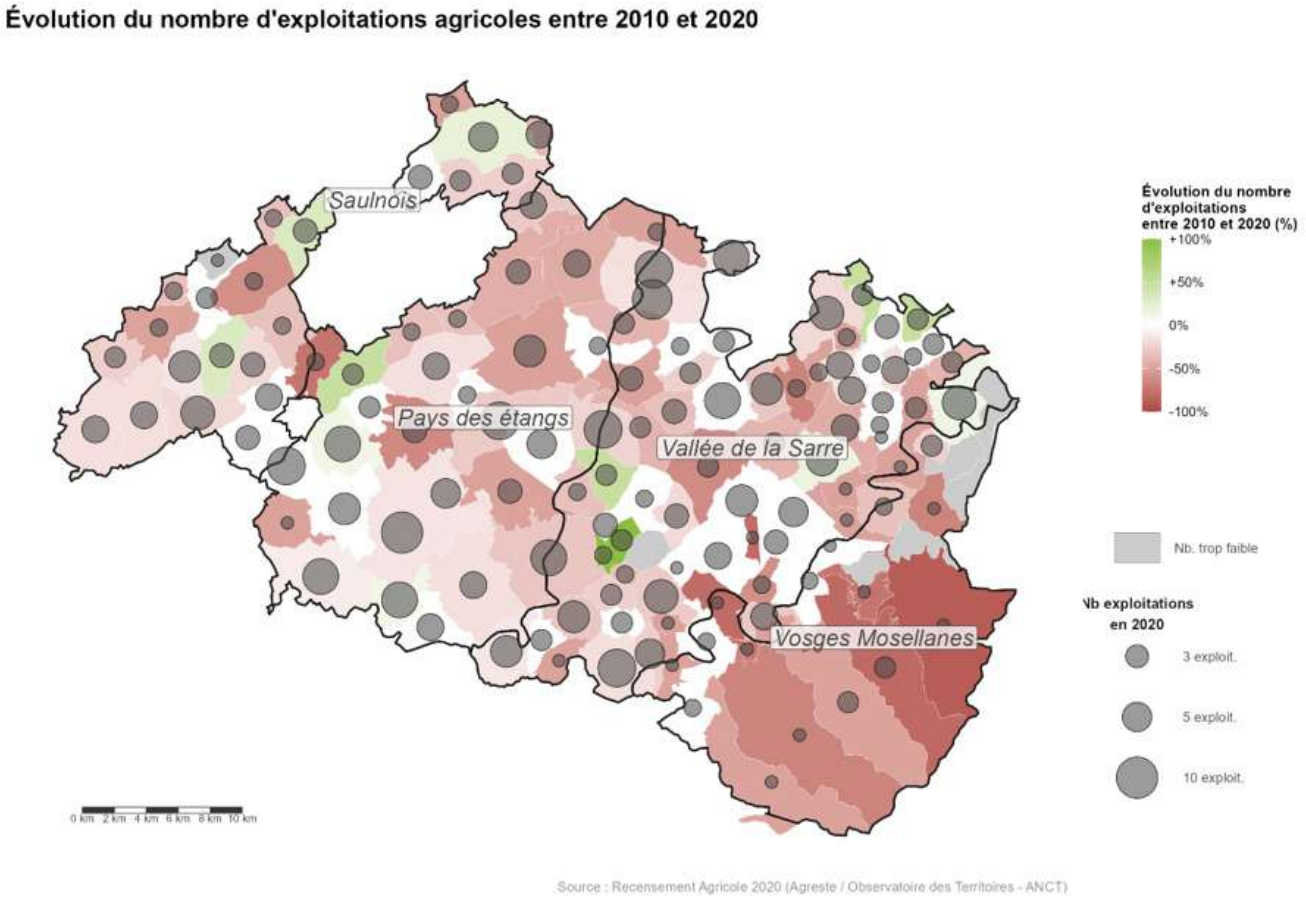


Figure 32 : Évolution du nombre d'exploitations au sein des communes de la RBMS entre 2010 et 2020

La suppression des quotas laitiers en mars 2015 a accéléré un mouvement de restructuration déjà engagé, fragilisant en premier lieu les exploitations de polyculture-élevage à faible densité laitière, moins compétitives face à la baisse des prix unitaires (Chatellier, 2015 ; diagnostic PAT, 2021). Malgré une baisse du nombre d'exploitations laitières, la production de lait du département a progressé de 14 % entre 2010 et 2023, tirée par des gains de productivité réguliers par vache, passée de 6 600 à 8 400 litres par an sur la même période (SAA Moselle, 2010-2023) (voir Figure 33 et 34). Ce phénomène d'augmentation de la production par vache renforce la dépendance des exploitations à la stabilité des rendements fourragers et aux approvisionnements extérieurs (voir Figure 34). La contraction du troupeau laitier n'a pas été compensée par un report vers l'élevage allaitant : les effectifs de vaches nourrices, stables autour de 55 000 têtes jusqu'en 2015-2016, ont amorcé à leur tour une baisse régulière pour atteindre 49 600 têtes en 2023, soit un recul de 11 % sur 14 ans (SAA Moselle, 2010-2023). C'est donc l'ensemble du cheptel bovin qui se contracte, sans substitution d'une filière à l'autre. L'intensification de la production laitière, portée en partie par les orientations des coopératives de collecte, réduit la résilience des systèmes : plus une exploitation recourt aux intrants achetés, plus elle est exposée aux variations de leurs prix. Par ailleurs, plus elle est spécialisée en viande, plus elle subit la volatilité des cours (Plan Herbe Moselle Sud, 2024). Sur l'ensemble de la Moselle, les effectifs animaux ont reculé dans quasiment toutes les filières entre 2010 et 2023 (bovins -15 %, porcs -33 %, ovins -26 %). Seul le cheptel caprin a progressé (SAA Moselle, 2010-2023).

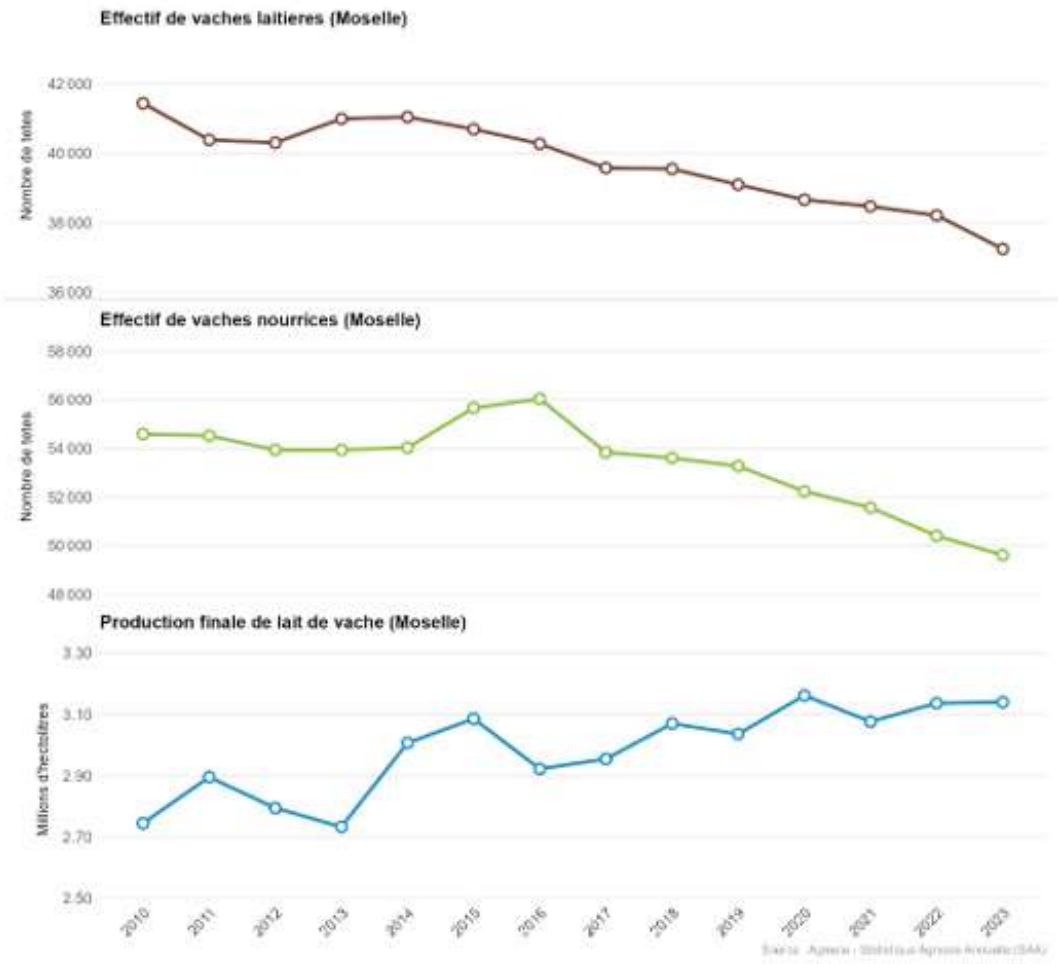


Figure 33 : Effectifs de vaches laitières et production de lait en Moselle (57) entre 2020 et 2023

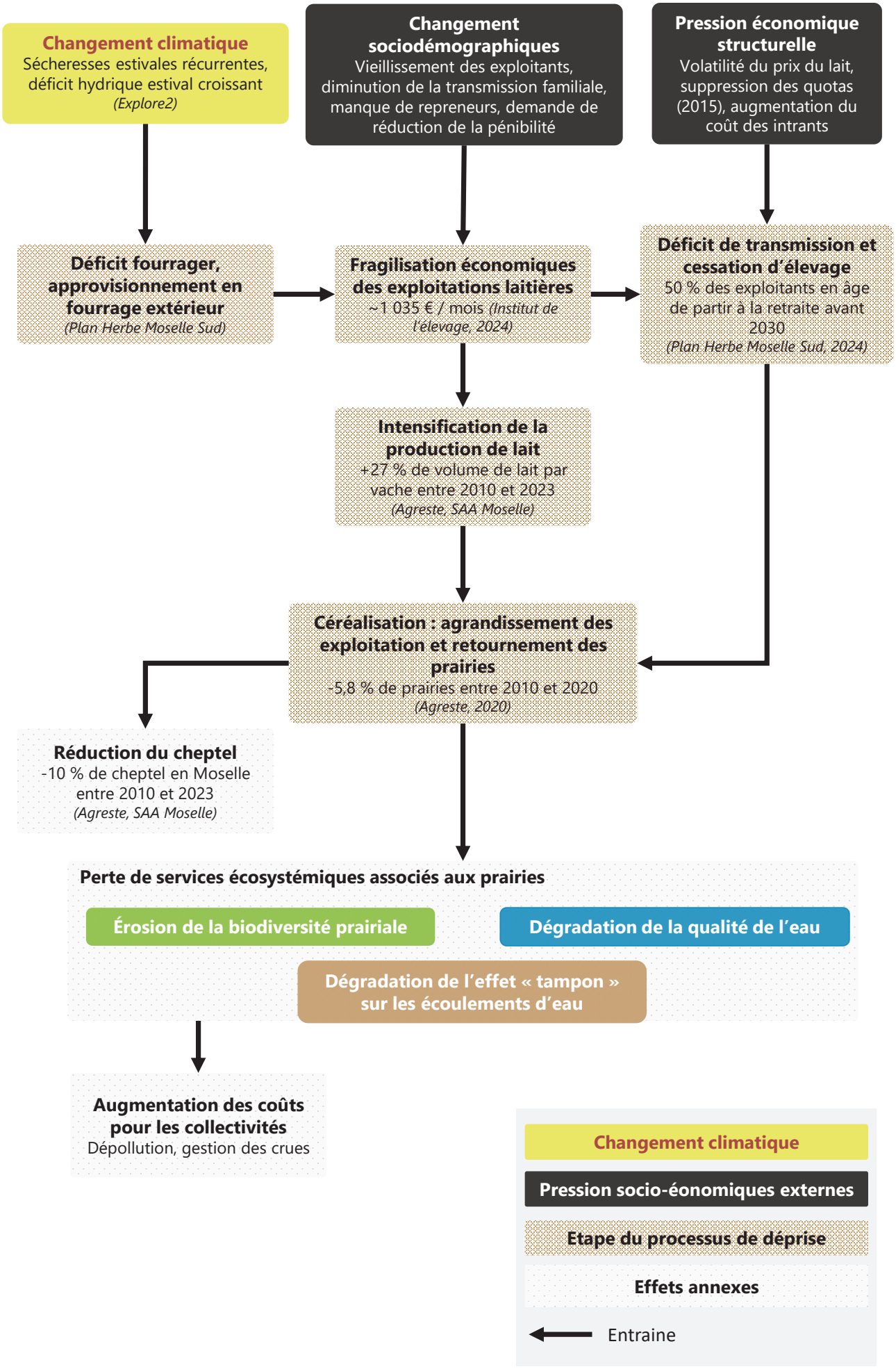


Figure 34 : Les étapes du processus de déprise herbagère

Dans le Saulnois, la situation est plus nuancée qu'il n'y paraît. L'élevage laitier représente la première orientation en nombre d'exploitations sur le territoire du PAT Sarrebourg-Saulnois, avec 319 structures laitières recensées en 2017 contre 178 exploitations de grandes cultures (MSA, cité par diagnostic PAT, 2021, p. 24). Les grandes cultures dominent en surface mais l'élevage domine encore en nombre d'exploitations. Cette coexistence est fragile : la charge en capital et en travail de l'élevage laitier, combinée au vieillissement des exploitants et au manque de repreneurs, laisse anticiper une résorption progressive de ce décalage si les tendances actuelles se poursuivent.

3. Quelles agricultures pour demain et quelles solutions d'adaptation ?

3.1. Le changement climatique impacte des systèmes déjà fragiles

3.1.1 Grandes cultures

Comme nous l'avons vu, les effets du changement climatique sont déjà visibles sur les rendements comme sur les assolements. La variabilité inter-annuelle des rendements s'est accentuée. Par exemple les rendements de blé mosellans ont varié sur une plage allant de 46 à 75 qt/ha sur la période 2010-2023, avec un minimum observé en 2016 (SAA Moselle). Les projections nationales indiquent une réduction de la pluviométrie pendant les périodes de croissance du blé de -5,1% en hiver (mars-juin) et de -13,8% en été (mai-août) à l'horizon 2050 par rapport à la période 1996-2015. L'effet de la baisse des précipitations sur le rendement reste néanmoins modéré pour le blé d'hiver à l'échelle nationale mais s'avère plus marqué pour les cultures de printemps, dont la période de remplissage du grain coïncide avec le déficit estival (l'effet du stress hydrique est traduit en abattement de rendement, voir INRAE, 2020, figure 28-34, p. 98-99 pour la méthode).

La fragilisation du colza, pivot de la rotation colza – blé – orge très répandue dans le saulnois, mérite une attention particulière. Cette culture est en effet très sensible aux aléas combinés : gel printanier, sécheresse en phase de floraison, pression parasitaire accrue. Les surfaces mosellanes ont perdu plus de la moitié de leur niveau de 2011 à 2021 (de 45 000 ha environ à 17 000 ha, SAA Moselle 2021). Les conditions climatiques ne sont pas entièrement responsables de cette baisse, qui tient essentiellement à la pression des insectes ravageurs, mais elles amplifient une fragilité déjà structurelle. L'expansion du tournesol sur la même période illustre une adaptation spontanée déjà en cours : ses surfaces sont passées de 160 ha en 2010 à près de 12 000 ha en 2022 en Moselle. Des premières surfaces de sorgho font leur apparition dans le territoire, signe que les systèmes s'ajustent face aux contraintes hydriques estivales. Ces ajustements restent cependant très limités : aucune culture nouvelle n'a encore émergé à une échelle suffisante pour recomposer en profondeur les assolements du Saulnois, et le colza demeure, malgré sa fragilité croissante, la tête de rotation dominante.

3.1.2 Systèmes fourragers et élevage

Le bilan hydrique estival, déjà négatif sur le territoire, va s'aggraver de manière importante selon tous les narratifs Explore2 (référence partie climatique du cahier à inclure ici). Les bilans hydriques annuels projetés sont situés entre -130 mm / an (narratif jaune) et -300 mm / an (narratif orange) en 2100 par rapport à la période de référence. Cette dégradation affectera les prairies permanentes du territoire de la RBMS. L'autonomie fourragère des élevages, déjà fragilisée par les sécheresses récurrentes, sera davantage mise sous pression. Cette situation renforcera une tendance déjà à l'œuvre actuellement puisque les éleveurs du territoire témoignent déjà d'une réduction des stocks fourragers qui les conduit à acheter des fourrages ou à réduire les troupeaux (Plan Herbe Moselle Sud, 2024). De plus, le stress thermique animal constitue un coût économique additionnel qui pourrait être difficile à absorber pour des exploitations déjà sous tension. Une étude de S. Plantureux (2022) sur le territoire voisin de la Déodatie donne une idée des tendances auxquelles les systèmes prairiaux de la RBMS seront soumis. Il faut cependant noter, que ces résultats, présentés ci-dessous, correspondent à un contexte montagnard plus froid et plus humide que celui du territoire de la réserve. Pour cette dernière, au climat plus chaud et dont le bilan hydrique estival est déjà déficitaire, nous pouvons nous attendre à des conséquences plus marquées.

D'abord, les simulations en Déodatie projettent que selon les types de prairie et les scénarios retenus, la production fourragère simulée évolue de -30 % à +40 % à l'horizon 2100 par rapport à la période 1989-2020 (Plantureux et al., 2022, p. 13). Les prairies les plus intensifiées sont les plus vulnérables alors que les prairies gérées de façon plus extensive produisent moins mais apparaissent comme plus résilientes.

Les simulations STICS, modèle mécaniste de croissance des cultures développé par INRAE, conduites en Déodatie par Plantureux et al. montrent des impacts sur le calendrier fourrager. Toute augmentation de température en dessous de 15 °C est bénéfique pour la prairie. Cela implique que le démarrage de végétation plus précoce au printemps accroît la production de biomasse en cette saison. Néanmoins, la récolte plus précoce réduit les possibilités de séchage au champ et augmente les coûts (ensilage, enrubannage). A l'inverse, la production estivale se réduit fortement, avec des périodes de valorisation des prairies compliquées lors des canicules. L'effet fertilisant du CO2 atmosphérique atténue partiellement ces baisses de productivité, sans les compenser entièrement. L'exploitation précoce des prairies, premier driver de la biodiversité dans ces écosystèmes, impacte déjà négativement la diversité de la flore prairiale. Les sécheresses de 2018 à 2020 ont notamment défavorisé les espèces productives et appétentes dans le massif vosgien (Plantureux et al., 2022, p. 13). La précocité croissante de la pousse printanière pose par ailleurs une question pratique sans réponse stabilisée : faut-il faire entrer les animaux plus tôt pour ne pas manquer la biomasse disponible, au risque de limiter les repousses en cas de sécheresse estivale ? Maintenir des calendriers plus tardifs, au risque de laisser passer une partie de la production ? Cette tension entre la crainte, souvent fondée, de manquer d'herbe en fin de saison et le risque d'épuiser les prairies avant le creux estival soulève des interrogations réelles sur l'évolution des pratiques de pâturage dans la zone herbagère de la RBMS.

Enfin, d'un point de vue plus général, Plantureux et al. montrent que 75 % des variations du bilan fourrager territorial sont liées aux changements de surface prairiale, et non aux évolutions de rendement. Ce résultat souligne le poids déterminant de la déprise

et du retournement des prairies sur l'équilibre fourrager des exploitations herbagères, indépendamment des effets directs du changement climatique sur les rendements. Pour répondre à cela, le Plan Herbe Moselle Sud (CCSMS/PETR, 2024, p. 12) identifie le maintien de l'élevage à l'herbe comme une priorité face à un contexte socio-économique défavorable. Le climat ne fait qu'accentuer une pression d'ordre économique, sociale et démographique. Toujours en Déodatie, le diagnostic agro-sylvo-cynégétique conduit par les PETRs de la Déodatie et de Remiremont (2024) montre que les populations de grand gibier, en progression continue depuis les années 1970, font subir une pression supplémentaire aux prairies. Celles-ci sont retournées par les animaux, ce qui entraine des pertes de rendement fourrager et des coûts de remise en état récurrents. Les demandes d'indemnisation agricole ont notamment été très élevées en 2018-2019 et 2020-2021. Pour les prairies, cette pression du gibier s'ajoute à la pression du déficit hydrique et compromet la repousse et leur valeur fourragère de l'herbe.

3.1.3 Pisciculture et étangs

Comme sur les autres systèmes de la RBMS, le changement climatique fragilise la pisciculture en s'ajoutant à des difficultés économiques déjà présentes. La hausse des températures des eaux, l'augmentation de l'évapotranspiration réduisant les niveaux des plans d'eau, les pressions des prédateurs (cormorans notamment) arrivant plus tôt et les étiages estivaux prolongés fragilisent donc encore plus les conditions d'élevage piscicole.

3.2. Une vulnérabilité multifactorielle

Le changement climatique s'articule à des dynamiques structurelles déjà à l'œuvre et ce faisant, déstabilise encore davantage des systèmes déjà fragilisés.

Dans la zone herbagère, les sécheresses récurrentes dégradent l'autonomie fourragère, qui contraint à des achats extérieurs ou à un allègement du troupeau. La décapitalisation du cheptel déjà en cours, liée à la pénibilité du travail et à sa faible rentabilité, est accélérée. Cette réduction du cheptel favorise la transformation de prairies en surface de cultures. Ce retournement dégrade la qualité des eaux et érode la biodiversité, fragilisant à son tour les services écosystémiques dont dépendent les exploitations herbagères (voir Figure 34). Il nous parait important que cette chaine de réaction soit considérée explicitement dans la conception des politiques publiques. Le Plan Herbe Moselle Sud indique à ce propos que « sans un soutien efficace de l'activité d'élevage et des filières associées, les conséquences à craindre en Moselle Sud sont d'une part la dégradation de l'état écologique des eaux, et d'autre part l'accentuation de l'érosion de la biodiversité déjà très largement engagée » (CCSMS/PETR, 2024, p. 7).

La fragilisation économique des exploitations d'élevage et les effets croissants du changement climatique se combinent pour peser sur la viabilité et l'attractivité de ces systèmes. Dans un contexte où la moitié des exploitants partiront à la retraite avant 2030 (Plan Herbe Moselle Sud, 2024, p. 7), cette double pression affecte très probablement les aspirations et les décisions de reprise : reprendre une exploitation d'élevage exposée à des aléas climatiques croissants et à des marges économiques réduites est un pari de plus en plus difficile à assumer. Il nous paraît de ce fait probable que la tendance à la céréalisation des surfaces évoquée en partie 3.2.2) se prolonge,

voire s'accentue, dans les années qui viennent.

Dans le Saulnois, le processus de céréalisation déjà avancé s'accompagne d'une simplification des assolements (rotation biennale blé-colza dominante) qui réduit la diversité fonctionnelle des successions et impacte la structure et la vie du sol. L'augmentation des épisodes de précipitations intenses (le narratif jaune projette jusqu'à 6 épisodes >25mm/jour par an à l'horizon 2100 sur la RBMS, Explore2), conjuguée à des sols dont la capacité d'infiltration est fragilisée par l'intensification, amplifie les risques de ruissellement, d'érosion et de lessivage.

3.3. Pistes d'adaptation

Les solutions d'adaptation sont plurielles, et certaines sont déjà expérimentées sur le territoire. Ces solutions peuvent être présentées à trois échelles : la parcelle, l'exploitation et le territoire.

3.3.1 À l'échelle de la parcelle

Dans le Saulnois, la diversification des assolements est le levier le plus direct. L'introduction de légumineuses dans la rotation (pois protéagineux, luzerne, trèfle) répond à plusieurs objectifs simultanément. Du fait de leur capacité de fixation de l'azote atmosphérique, ces cultures permettent de réduire le recours aux engrais minéraux. Elles permettent par ailleurs de produire sur l'exploitation une partie des protéines nécessaires à l'alimentation du troupeau, réduisant les achats de tourteaux et de concentrés protéiques devenus des postes de charges croissants.

Sur les cultures d'été, l'expansion du tournesol constitue déjà une réponse de fait. Cette culture est mieux adaptée à la chaleur et à la sécheresse estivale que le colza, dont les rendements sont très variables. Elle offre de ce fait une alternative crédible dans la rotation. Par ailleurs, c'est une des cultures qui nécessite le moins d'intrants de synthèse (fertilisants et pesticides).

Pour les prairies de la zone herbagère, le recours à des mélanges multi-espèces intégrant des légumineuses et des graminées à enracinement profond améliore la résilience au déficit hydrique et la valeur nutritive du fourrage. La diversité des types de prairie permanente, loin d'être un obstacle à la productivité, constitue un facteur d'amortissement des aléas climatiques (Plantureux et al., 2022). L'introduction d'arbres au sein des prairies pâturées, sous forme d'agroforesterie, peut contribuer à réduire les températures journalières sous couvert, limitant le stress thermique des animaux et la dessiccation des sols.

3.1.2 À l'échelle de l'exploitation

L'autonomie fourragère et protéique représente la réponse la plus robuste aux variations climatiques et économiques. Les systèmes de polyculture-élevage, qui permettent de faire circuler les effluents vers les cultures et les résidus vers le troupeau, sont structurellement plus résilients que les systèmes spécialisés (Kaumanns, 2023). Leur déclin au profit de la spécialisation céréalière ou de l'agrandissement des exploitations laitières sans adaptation des systèmes fourragers constitue donc un recul de résilience territorial.

La récupération et la gestion de l'eau à l'échelle de l'exploitation (retenues collinaires, récupération de l'eau de toiture pour l'abreuvement, sobriété des systèmes d'irrigation) sont identifiées comme leviers prioritaires dans le Plan Herbe Moselle Sud (2024). L'ajustement des calendriers culturaux, pour exploiter les fenêtres météorologiques favorables du printemps qui seront plus productives, tout en sécurisant les stocks avant l'arrivée précoce du déficit estival, est une adaptation à court terme déjà en cours chez certains éleveurs. Ces installations pourraient néanmoins avoir des effets néfastes sur le maintien des étiages en période sèche. Cette hypothèse reste cependant à vérifier.
Deux leviers économiques complémentaires peuvent d'être mentionnés. Le premier concerne la valorisation des productions et la réduction de l'exposition à la volatilité du marché. La grande majorité des exploitations du territoire livrent des produits bruts (blé, lait, viande). Développer des ateliers de transformation et des magasins de producteurs ou de la vente directe permettrait de conserver davantage de valeur ajoutée à l'échelle de l'exploitation. Le second levier est celui de la diversification des activités : l'agritourisme, le photovoltaïque en toiture et la méthanisation à la ferme ou en groupement restreint peuvent apporter des revenus complémentaires stables.

3.1.3 À l'échelle du territoire

Le maintien des prairies permanentes dans la zone herbagère passe par des filières de valorisation qui en rendent l'exploitation économiquement viable. Le bovin viande, moins exigeant en main-d'œuvre et plus compatible avec des systèmes herbagers extensifs, constitue une piste de reconversion crédible pour des exploitations laitières en difficulté de transmission. Dans un contexte de changement climatique qui fragilise l'autonomie fourragère, ces systèmes moins intensifs tolèrent mieux la variabilité inter-annuelle des rendements prairiaux. D'autres filières contribuent au même objectif, comme le foin des prairies naturelles remarquables de Lorraine porté par le PNRL ou la valorisation laitière par des cahiers des charges intégrant la prairie. Sans troupeau pour valoriser ces surfaces, elles basculent vers la céréalisation, avec les conséquences évoquées ci-dessus sur la qualité des eaux et la biodiversité (Plan Herbe Moselle Sud, 2024, p. 7). Le Plan Herbe Moselle Sud structure précisément cet accompagnement et constitue un cadre opérationnel territorial pertinent.

Le maintien des prairies produit par ailleurs des services que les collectivités financent indirectement, et à coût croissant, lorsqu'ils disparaissent. La couverture permanente des sols réduit le transfert de nitrates et de produits phytosanitaires vers les nappes et les cours d'eau, limitant les coûts de traitement de l'eau potable. Elle ralentit le ruissellement et atténue les crues, dont les dommages représentent une charge budgétaire réelle pour les communes. Dans le bassin versant de la Vezouze, à l'amont de Nancy, la progression de la céréalisation a conduit les autorités en charge de l'alimentation en eau potable à s'interroger sur la qualité de la ressource et à explorer des stratégies de limitation du retournement pour préserver les captages. À l'échelle mondiale, une méta-analyse portant sur 134 études montre que les services de régulation des prairies tempérées valent en moyenne huit fois leur seule production alimentaire (Liu et al., 2022). Les prairies permanentes situées à l'amont des bassins versants ralentissent le ruissellement, limitent l'érosion et retiennent une partie des intrants avant qu'ils n'atteignent les cours d'eau et les nappes. Pour les agglomérations dépendant de ressources superficielles ou de nappes alimentées par des bassins agricoles, investir dans le maintien de ces prairies peut s'avérer moins coûteux que de traiter une eau dégradée. Toutefois, en l'absence

d'étude locale disponible, cela reste à établir précisément pour le territoire de la RBMS. Le concept de saltus, tel que mis en débat par le réseau SALTUS (PNR Lorraine), offre un cadre utile pour penser la réintroduction d'espaces de respiration écologique dans les paysages de grande culture du Saulnois. Haies, bandes enherbées, mares et bosquets régulent le cycle de l'eau, hébergent les auxiliaires des cultures, stockent du carbone et font écran aux vents desséchants. Mathis (2009) documente la disparition progressive de ces éléments dans l'openfield du Saulnois au cours du XXe siècle, contribuant à la fragilisation des systèmes face aux aléas extrêmes. La ressource en eau impose de penser collectivement les arbitrages entre usages. Les tensions entre agriculture, pisciculture et alimentation en eau potable, déjà sensibles (rapport Seille), seront amplifiées par la réduction des débits futurs. [Analyse MAELIA à venir, été 2026].

La dimension alimentaire constitue un second angle d'intervention à l'échelle du territoire. Pour cela, le PETR du Pays de Sarrebourg s'est engagé, aux cotes de la Communauté de Communes de Sarrebourg Moselle Sud et de la Communauté de Communes du Pays de Phalsbourg, en 2020, dans l'élaboration d'un Projet Alimentaire Territorial ayant pour objet de valoriser l'agriculture locale, de développer une alimentation de qualité, de proximité et accessible à tous. Les principales thématiques travaillées sont les suivantes :

- Le pôle agroalimentaire : le PAT soutien les producteurs locaux, la reterritorialisation d'outils de transformations indispensables aux producteurs, l'approvisionnement de la restauration hors domicile (collective et privée) en produits locaux, de la logistique amont et aval, de la sensibilisation et formation des habitants et des professionnels, du lavage de contenant réutilisables, tout en favorisant l'emploi dans l'économie sociale et solidaire ;

- La valorisation laitière : le PAT accompagne un collectif d'éleveurs dans la création d'une association : l'association des producteurs laitiers de Moselle Sud, composé de 7 membres fondateurs, dont UNICOOLAIT, afin de se réorganiser et trouver de nouveaux débouchés (fromage, raclette et tome, crème) ;

- **La restauration collective :** le PAT accompagne l'ensemble de la restauration scolaire et périscolaire qui est concédée à des traiteurs ou à des ESAT, afin de permettre de donner à voir les produits locaux de qualité disponibles et favoriser leur utilisation dans la restauration collective ;

- Les maraîchers : le PAT accompagne les maraîchers via la création d'une légumerie et d'une conserverie, en favorisant les circuits courts via des solutions logistiques, et en facilitant l'approvisionnement local notamment de la restauration collective ;

- Les vergers : la plateforme « Partage ton Verger » a été mise en place en 2025, afin de nouer des partenariats entre les particuliers propriétaires et non propriétaires de vergers, et mettre en avant les entrepreneurs et les lieux de transformation du fruit locaux ;

- La lutte contre la précarité alimentaire : le PAT essaye de lancer la distribution de paniers solidaires avec le Secours Catholique en association avec les Restos du cœur, Emmaüs, le Contrat Local de Santé.

Comment l'agroécologie contribue à l'adaptation ?

L'agroécologie contribue à l'adaptation au changement climatique en restaurant les fonctions écologiques que les systèmes intensifiés ont progressivement perdues. Des sols enrichis en matière organique par des couverts végétaux et des rotations diversifiées retiennent mieux l'eau en période de sécheresse et résistent mieux au ruissellement lors des épisodes pluvieux intenses. La diversité des assolements réduit également la vulnérabilité aux aléas parasitaires et climatiques. Les infrastructures agroécologiques, haies, bandes enherbées et mares, régulent les flux d'eau, tamponnent les extrêmes thermiques et hébergent de la faune auxiliaire de culture.

Sur le territoire de la Réserve de Biosphère Moselle Sud, plusieurs réseaux d'acteurs participent à apporter des réponses concrètes aux problématiques de vulnérabilité engendrées par la combinaison des problématiques socio-économiques structurelles, du changement climatique et de l'agriculture intensive. Le Plan Herbe Moselle Sud vise explicitement à « faire émerger des systèmes agroécologiques rémunérateurs, économes et résilients aux aléas économiques et climatiques » (CCSMS/PETR, 2024, p. 12). Le PNRL accompagne des démarches MAEC sur plus de 1400 ha, dont 95 % en prairies (Kaumanns, 2023).

À l'échelle du Grand Est, le programme LIFE Biodiv'Est accompagne 40 fermes vitrines vers des pratiques agroécologiques, suit 60 prairies permanentes et a conduit des inventaires de biodiversité. Des initiatives portées par ce programme et soutenu par la Chambre d'Agriculture de Moselle, comme l'installation de haies ou la mise en place d'une filière de semences sauvages locales permettent d'ancrer la transition agroécologique dans des réalités concrètes et reproductibles.

4. Vulnérabilité et résilience du système agricole de la Réserve de biosphère de Moselle Sud face aux changements climatiques

4.1 Objectifs et démarche

L'agriculture du territoire de la Réserve de Biosphère de Moselle Sud (RBMS) s'inscrit dans un contexte de changement climatique aux effets multiples et inégalement répartis : hausse des températures, modification du régime des précipitations, multiplication des épisodes extrêmes. Pour anticiper l'évolution de l'agriculture locale à l'horizon 2050 et éclairer les stratégies d'adaptation, une démarche de modélisation prospective a été mise en oeuvre en mobilisant la plateforme de modélisation MAELIA (Therond et al., 2014).

4.1.1 Une démarche prospective par comparaison d'horizons temporels et de scénarios agronomiques

La démarche repose sur la comparaison de simulations du système agricole à deux horizons temporels : un horizon de référence « passé récent » couvrant la période 2005-2025, représentatif des conditions climatiques actuelles, et un horizon prospectif « 2050 » couvrant la période 2040-2060, représentatif des conditions climatiques à mi-siècle. Chaque horizon est simulé sous trois narratifs climatiques contrastés identifiés dans l'étude Explore2 pour bien appréhender l'enveloppe d'incertitude des projections climatiques futures.

À l'horizon 2050, deux scénarios contrastés d'évolution des pratiques agricoles sont simulés. Le scénario tendanciel prolonge les pratiques et la structure d'assolement actuelles, sans intégrer d'évolution des itinéraires techniques. **Le scénario agroécologique s'appuie sur la trajectoire nationale S2 « Coopérations territoriales » de l'ADEME** (ADEME, 2021).

Le scénario S2 fait partie des quatre trajectoires de neutralité carbone à l'horizon 2050 construites par l'ADEME dans le cadre de l'exercice Transition(s) 2050. Il repose sur une gouvernance partagée entre l'État, les collectivités locales et les acteurs économiques, et mise sur une évolution progressive mais soutenue des pratiques vers une trajectoire combinant sobriété et efficacité, avec une priorité donnée aux circuits courts et à la relocalisation des productions à l'échelle des territoires. Pour le secteur agricole et alimentaire, cette trajectoire prévoit notamment une division par deux de la consommation de viande, une forte progression de l'agriculture biologique, ainsi qu'une substitution progressive de l'azote minéral de synthèse par de l'azote d'origine symbiotique, apporté par le développement des légumineuses en cultures principales, en cultures associées et en couverts intermédiaires.

À l'échelle du territoire de la RBMS, cette trajectoire se traduit par plusieurs leviers mobilisés dans les simulations, qui visent tous à réduire les apports d'azote minéral sur les cultures qui en consomment le plus : un couvert intermédiaire de vesce avant les

cultures de printemps et une féverole d'hiver avant le colza, qui réduisent chacun de 30 unités les besoins en azote des cultures suivantes ; et une évolution des successions culturales, avec le remplacement de la succession maïs-maïs par maïs-ray gras italien-soja sur les exploitations de grandes cultures, et par alfalfa-alfalfa-maïs sur les exploitations d'élevage, cette dernière réduisant de 90 unités l'azote apporté au maïs.
Les comparaisons portent sur un ensemble d'indicateurs agronomiques et environnementaux calculés à l'échelle du territoire : l'occupation du sol (assolement), les rendements des grandes cultures et leur variabilité interannuelle, les stress abiotiques subis par les cultures (hydrique, thermique, azoté) et leur phénologie, l'évolution du stock de carbone organique des sols, les flux d'azote (lixiviation, minéralisation, volatilisation), le bilan des émissions de gaz à effet de serre, et l'indice de biodiversité des systèmes de culture.

4.1.2 Le modèle MAELIA

MAELIA est une plateforme de modélisation à base de systèmes multi-agents, développée par l'INRAE, qui simule les interactions entre pratiques agricoles, sols et climat à l'échelle d'un territoire (Therond et al., 2014). MAELIA simule les dynamiques de croissance des cultures, les rendements, les bilans hydriques et azotés, les flux de gaz à effet de serre, ainsi qu'un indice de biodiversité des systèmes de culture « indice iBIO » (Soulé et al., 2023), à l'échelle de la parcelle et au pas de temps journalier. Conçue pour accompagner les transitions agroécologiques et bioéconomiques, MAELIA permet d'évaluer les effets de changements d'activités agricoles sur les plans environnemental, économique et social, ainsi que la résilience des systèmes agricoles face à la variabilité du climat. Les rendements simulés par MAELIA ont été calibrés puis confrontés aux références agricoles disponibles sur le territoire pour la période 2005-2025. Cette comparaison a montré que les résultats de simulation étaient cohérents avec les dynamiques interannuelles observées des rendements liés aux aléas climatiques (voir 2.2.1).

4.1.3 Les données mobilisées

Les simulations MAELIA mobilise quatre types de données d'entrée.

Les données parcellaires s'appuient sur le Registre Parcellaire Graphique (RPG), en retenant les séquences de cultures de la période 2015-2024 comme référence pour la structure de l'assolement et les rotations culturales.

Les données pédologiques (type de sol, réserve utile, texture) proviennent du Référentiel Régional Pédologique de Lorraine (RRP Lorraine - © Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est Laxou, 2015) ou sont calculées à partir de celui-ci par des fonctions de pédo-transfert. Ces données sont spatialisées au niveau du territoire de la RBMS (échelle : 1/250 000).

Les données climatiques sont issues des narratifs Explore 2, accessibles via le portail DRIAS de Météo-France. Ces projections climatiques régionalisées fournissent les variables journalières (températures, précipitations, ETP) nécessaires à l'alimentation de MAELIA pour les deux horizons temporels simulés. Deux usages distincts en sont faits selon le type d'analyse. Pour l'analyse des sorties MAELIA en valeur absolue, notamment sur la période de référence « passé récent » 2005-2025 (cf. partie 2.2.1),

les données météorologiques réellement observées SAFRAN (Météo-France) ont été mobilisées, afin de simuler le fonctionnement du système agricole sur la base du climat effectivement enregistré sur le territoire. Pour les comparaisons en valeur relative entre les horizons 2015 et 2050, en revanche, les données DRIAS du narratif climatique correspondant ont été utilisées pour les deux horizons : ce choix permet de s'affranchir du biais propre à chaque modèle climatique, qui aurait faussé la comparaison si l'un des deux horizons reposait sur des données observées et l'autre sur des projections.

Les itinéraires techniques sont issus de la base de données MAELAB, constituée à partir d'enquêtes de terrain et à dire d'experts. Chaque ITK décrit, pour une culture ou un type de prairie donné, la succession des opérations culturales (travail du sol, semis, fertilisation, récolte) ainsi que leurs périodes de réalisation et modalités de mise en oeuvre. La spatialisation des ITK repose sur plusieurs critères agronomiques permettant de refléter la diversité des pratiques du territoire : le précédent cultural, qui conditionne notamment la disponibilité en azote et le choix des opérations d'implantation ; le type de gestion des prairies (fauche, pâture, ou mixte), qui détermine le nombre et le calendrier des interventions recueillis lors des enquêtes de terrain. Sur cette base, 30 itinéraires techniques distincts ont été construits, permettant de représenter la variabilité des pratiques agricoles observées sur le territoire de la Réserve de biosphère de Sarrebourg.

4.1.4 Les trois narratifs climatiques Explore2

L'étude Explore2 a produit un ensemble de projections hydro climatiques régionalisées pour la France métropolitaine à partir de 17 chaînes de modèles climatiques. Pour cette étude, trois narratifs climatiques ont été sélectionnés pour être représentatif d'une trajectoire contrastée de l'espace d'incertitude climatique à l'horizon 2050.

Le narratif jaune (CNRM-CM5 / ALADIN63) correspond à un scénario de changements relativement peu marqués, constituant ainsi l'enveloppe basse des évolutions simulées. Le narratif vert (HadGEM2-ES / ALADIN63) représente un réchauffement plus prononcé, accompagné d'une augmentation des précipitations. Le narratif orange (EC-EARTH / HadREM3-GA7) est le plus contraignant, combinant un fort réchauffement et un fort assèchement, aussi bien en été que sur l'année (Figure 35).

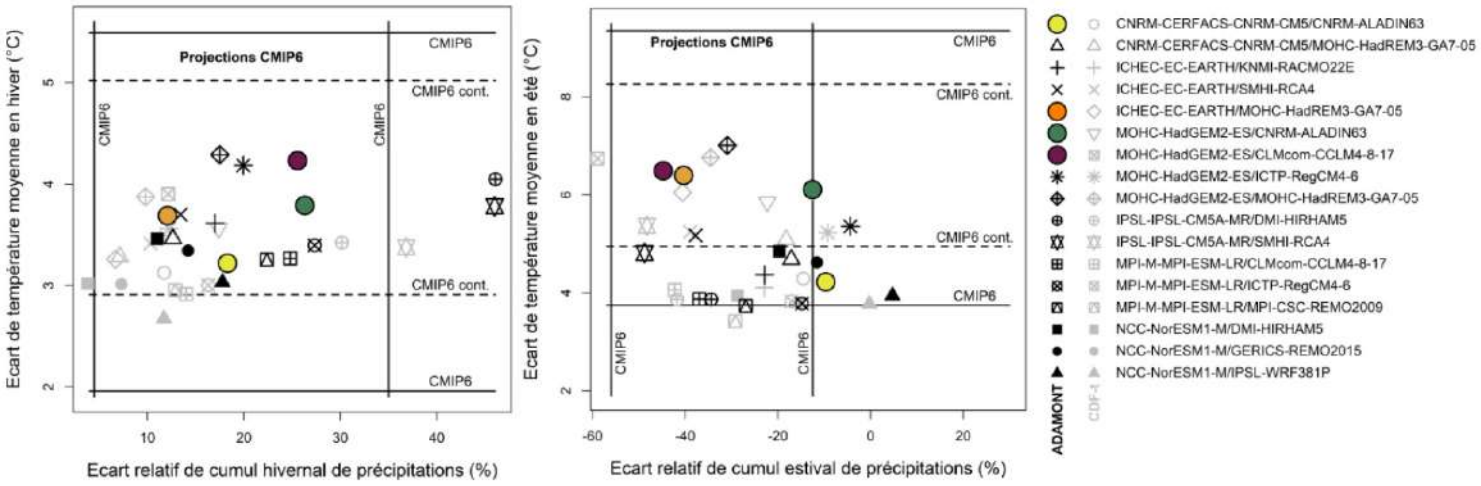


Figure 35 — Changements en température et en précipitations sur la France selon les 17 simulations Explore2 avec identification des trois narratifs retenus (jaune, vert, orange) sur les saisons été et hiver, comparés aux quantiles 5% et 95% de l'ensemble CMIP6 et CMIP6 contraint par les observations pour les températures selon la méthode de Ribes et al, 2022.

Une description détaillée de ces trois narratifs pour le territoire de la RBMS — incluant l'analyse des températures, des précipitations et des indices d'aridité — est présentée dans le cahier climatique associé à ce volet. À titre de synthèse, la figure 36 illustre l'évolution saisonnière des températures moyennes et la figure 37 celle du bilan hydrique climatique saisonnier, aux horizons 2015, 2050 et 2100, pour les trois narratifs retenus. Le bilan hydrique climatique correspond à la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration potentielle sur une période donnée. Exprimé en millimètres, un bilan positif traduit un excédent d'eau disponible dans le milieu, un bilan négatif un déficit lié à une évapotranspiration supérieure aux apports pluviométriques. Calculé ici à l'échelle saisonnière à partir des données Explore2, cet indicateur climatique reflète la disponibilité en eau du milieu indépendamment du sol ou de la culture ; il se distingue de la satisfaction hydrique simulée par MAELIA (voir 4.2.2.2), qui intègre en plus la réserve utile du sol et les besoins propres à chaque culture.

A l'horizon 2050, le réchauffement se manifeste sur l'ensemble des saisons et des narratifs, mais avec des amplitudes et des hiérarchies contrastées selon la saison. Au printemps, les trois narratifs restent relativement proches et le narratif orange conserve les températures médianes les plus élevées. En été, c'est le narratif orange qui connaît la progression la plus marquée entre 2015 et 2050, rejoignant le niveau du narratif vert, déjà le plus chaud à 2015 ; la dispersion interannuelle s'accentue par ailleurs nettement pour ces deux narratifs à 2050, traduisant une variabilité estivale accrue. En automne, le narratif vert se distingue par les températures médianes les plus élevées aux horizons 2015 et 2050. En hiver enfin, le narratif orange affiche de nouveau le réchauffement le plus prononcé, avec une dispersion globalement moins marquée pour les trois narratifs. Conforme à sa position d'enveloppe basse des évolutions simulées, le narratif jaune demeure parmi les plus frais à l'horizon 2050. À l'horizon 2100, le réchauffement s'accentue nettement pour les trois narratifs : le narratif orange conserve les températures les plus élevées dans la plupart des saisons, rejoint de très près par le vert en été et en automne. A noter qu'au printemps c'est le narratif vert qui est le plus frais des trois, avec un écart net par rapport aux narratifs jaune et orange.

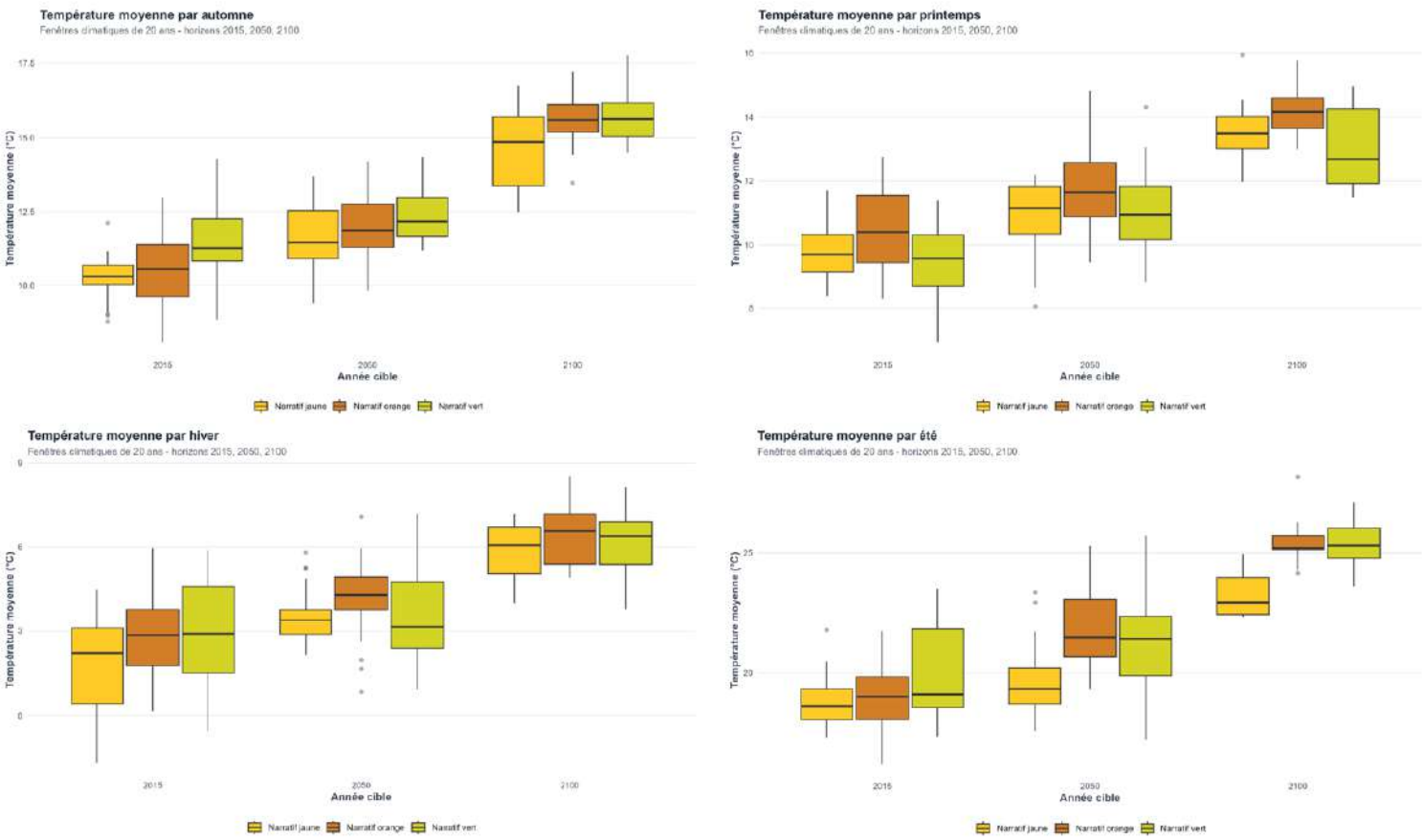


Figure 36 : Évolution saisonnière des température moyenne (°C) pour la RBMS aux horizons 2015, 2050 et 2100, pour les trois narratifs climatiques retenus (jaune, vert, orange). Les boîtes représentent la variabilité interannuelle au sein de fenêtres climatiques de 20 ans.

Concernant le bilan hydrique, les contrastes entre narratifs sont particulièrement marqués au printemps et en été à l'horizon 2050. Au printemps, le narratif vert conserve un bilan hydrique globalement positif et le plus favorable des trois narratifs, avec toutefois une dispersion interannuelle qui s'accentue à 2050 ; le narratif orange, lui, bascule vers des valeurs négatives, traduisant un assèchement printanier croissant. En été, le déficit hydrique est systématique pour les trois narratifs, avec une situation déjà contraignante à 2015 ; les narratifs vert et orange présentent les déficits les plus sévères à cette saison. En automne et en hiver, les bilans restent nettement positifs aux trois horizons ; c'est le narratif orange qui connaît la progression la plus marquée à 2050, jusqu'à dépasser les deux autres narratifs en hiver, tandis que le narratif vert évolue peu sur ces deux saisons. Cette hausse traduit une redistribution saisonnière des précipitations vers les saisons froides, portée principalement par le narratif orange.

À l'horizon 2100, les trajectoires continuent de se différencier fortement. Au printemps, le contraste s'accentue nettement : les narratifs jaune et orange basculent tous deux vers des bilans négatifs, tandis que le narratif vert conserve un bilan nettement positif. En été, les déficits s'aggravent pour l'ensemble des narratifs, avec une dégradation particulièrement marquée pour le narratif orange. En automne, la hausse observée à 2050 pour les narratifs orange et vert ne se prolonge pas : leurs bilans chutent nettement à 2100, tandis que le narratif jaune, resté stable, devient alors le plus favorable des trois. En hiver enfin, les narratifs jaune et orange convergent vers les valeurs les plus élevées, tandis que le narratif vert se maintient en retrait.

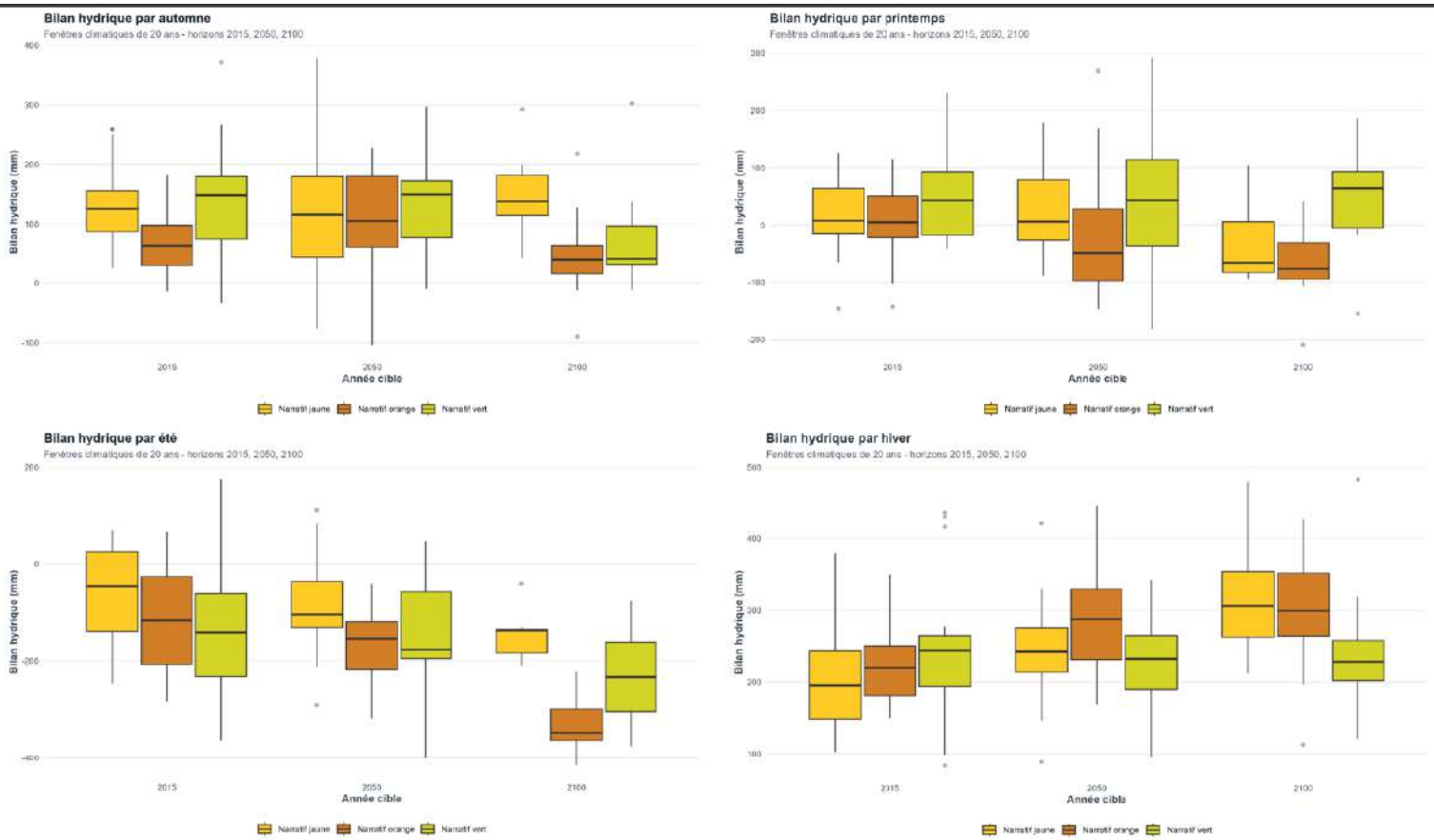


Figure 37 — Bilan hydrique saisonnier (mm) pour la RBMS aux horizons 2015, 2050 et 2100, pour les trois narratifs climatiques retenus (jaune, vert, orange). Les boîtes représentent la variabilité interannuelle au sein de fenêtres climatiques de 20 ans.

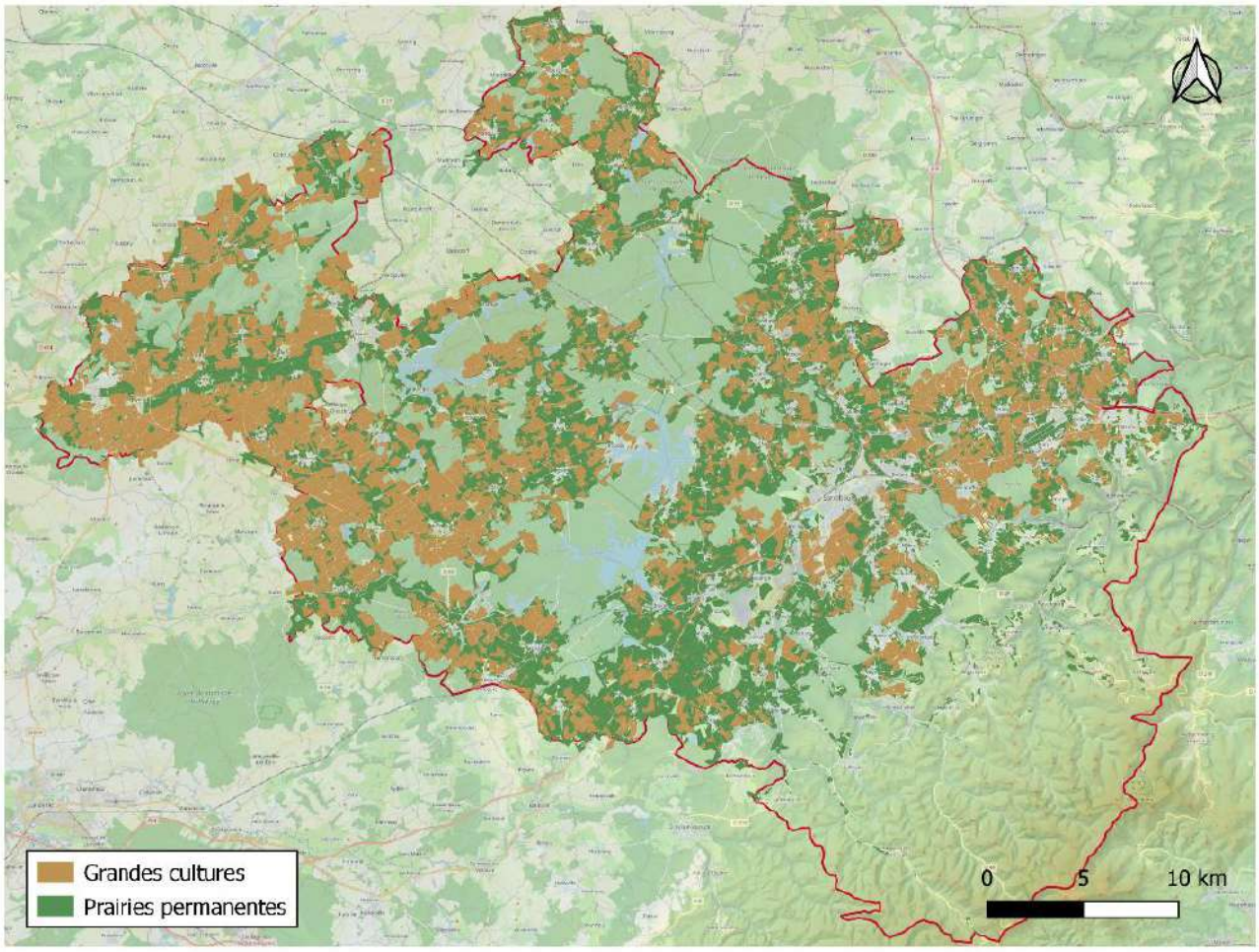
4.2. L'agriculture de la RBMS face au changement climatique : simulations à l'horizon 2050 sous scénarios tendanciel et agroécologique

Les résultats présentés dans cette section sont issus des simulations MAELIA réalisées pour le territoire de la RBMS, sous les deux scénarios de pratiques agricoles définis en partie 4.1.1 : le scénario tendanciel et le scénario agroécologique. Pour chaque indicateur, les valeurs simulées sur la période 2005-2025 constituent la référence « passé récent », et la comparaison avec la période 2040-2060 permet de quantifier les évolutions induites par le changement climatique et par les pratiques associées à chaque scénario.

4.2.1 Assolement à l'horizon 2050 : poursuite de la céréalisation sous tendanciel, diversification par les légumineuses sous agroécologique

L'assolement simulé par MAELIA reflète la structure du parcellaire des exploitations du territoire et ses grandes orientations culturales : céréales d'hiver dominantes sur les terres arables du Saulnois (blé tendre, orge, triticale, colza), maïs ensilage et prairies temporaires dans les vallées humides, prairies permanentes sur les versants vosgiens (Figure 38). L'évolution de cet assolement entre les deux horizons temporels reflète la

projection des tendances structurelles observées sur le territoire (voir la partie « agriculture et changement climatique » du cahier climatique) et non un effet direct du changement climatique sur les choix culturaux. Les évolutions propres au scénario agroécologique, présentées plus loin, résultent quant à elles des leviers volontaristes définis en partie 4.1.1, et non d'une simple extrapolation des tendances observées.



Source : IGN - Registre Parcellaire Graphique (2015 à 2024), BD ALTI / © les contributeurs d'OpenStreetMap
Auteur : MAELAB. 2026

Figure 38 : Répartition des grandes cultures et des prairies permanentes sur le parcellaire simulé par MAELIA (territoire de la Réserve de Biosphère Moselle Sud). Source : RPG 2015-2024, IGN.

Sur la période 2005-2025 (scénario « passé récent »), la prairie permanente représente la première occupation de la SAU simulée (environ 45 %), concentrée dans la zone herbagère de la vallée de la Sarre, du Pays des étangs et des versants vosgiens (Figure 5a). Le blé tendre constitue le premier poste de grandes cultures (environ 20 % de la SAU), suivi du maïs ensilage, du colza et de l'orge d'hiver, dans des proportions cohérentes avec les données RPG du territoire (voir partie 4.3 du cahier climatique).

Sous le scénario tendanciel, qui prolonge à l'horizon 2050 les pratiques et la structure d'assolement actuelles (partie 4.1.1), l'assolement simulé reflète la poursuite des tendances structurelles documentées sur le territoire depuis les années 1990. La prairie permanente recule modérément à l'horizon 2050, au profit principalement du blé tendre ; ce recul reste limité dans le Saulnois, déjà largement dominé par les grandes cultures, et dans les Vosges Mosellanes, où la prairie permanente conserve une position

très largement majoritaire (de l'ordre de 90 % de la SAU) quel que soit l'horizon. Ce changement est plus particulièrement marqué dans le Saulnois du fait de la dynamique de retournement des prairies qui accompagne le déclin des exploitations d'élevage. En effet, sans troupeau pour valoriser les surfaces herbagères, celles-ci basculent vers la céréalisation. Le maïs ensilage reste relativement stable entre les deux horizons, reflétant le maintien d'un noyau d'exploitations mixtes polyculture-élevage, principalement dans la vallée de la Sarre. La légère progression du tournesol et l'apparition du sorgho à l'horizon 2050 sont cohérentes avec les premières introductions observées dans les rotations du Saulnois depuis le milieu des années 2010. Ces cultures, plus tolérantes au déficit hydrique estival, représentent une alternative crédible dans un contexte de contraintes hydriques croissantes.

Sous le scénario agroécologique, qui reprend la structure d'assolement tendancielle en y intégrant les leviers présentés en partie 4.1.1 (évolution des successions culturales et substitution partielle de l'azote minéral par des légumineuses), la répartition entre prairies et grandes cultures reste globalement proche de celle du scénario tendanciel (Figure 39) : le changement porte surtout sur la composition interne des grandes cultures. La luzerne apparaît comme une culture significative, en particulier dans le Saulnois et le Pays des étangs, en cohérence avec la succession alfalfa-alfalfa-maïs introduite sur les exploitations d'élevage ; une féverole d'hiver apparaît devant le colza et un soja devant le maïs dans la succession maïs-maïs sur les exploitations de grandes cultures. Ces cultures fixatrices d'azote se développent principalement au détriment du blé tendre, du maïs et du colza, dont les surfaces reculent par rapport au scénario tendanciel. Dans les Vosges Mosellanes, où l'agriculture reste dominée par la prairie permanente quel que soit le scénario, ces évolutions restent marginales.

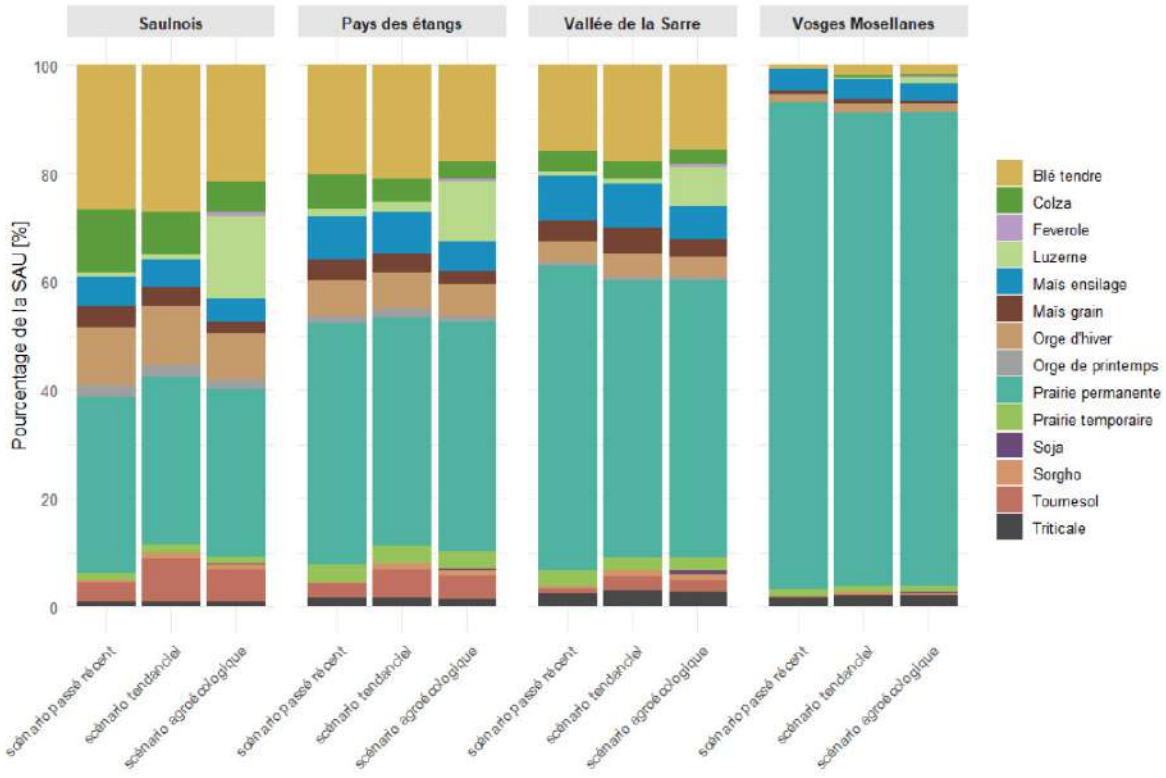


Figure 39 : Assolement des grandes cultures et des prairies simulé par MAELIA, par petite région agricole (Saulnois, Pays des étangs, Vallée de la Sarre, Vosges Mosellanes) et par scénario (« passé récent » ; tendanciel 2050 ; agroécologique 2050), en % de la SAU totale.

L'assolement des couverts intermédiaires (Figure 40) fait apparaître un contraste plus marqué entre les deux scénarios prospectifs. Sous les scénarios « passé récent » et tendanciel, les couverts sont dominés par des couverts courts (CIPAN) de type moutarde blanche (crucifère) et repousses de colza, ces dernières étant d'autant plus présentes que la région produit du colza — plus fréquentes dans le Saulnois et le Pays des étangs, marginales dans les Vosges Mosellanes. Sous le scénario agroécologique, des couverts de type vesce, légumineuse fixatrice d'azote, deviennent très largement majoritaire dans les quatre régions (de l'ordre de 80 % de la surface en couverts intermédiaires), conformément aux hypothèses du scénario agroécologique présentées en partie 4.1.1. Les couverts de crucifère et repousses de colza sont alors fortement réduits, et un couvert de ray-grass italien apparaît de manière marginale, essentiellement dans la vallée de la Sarre.

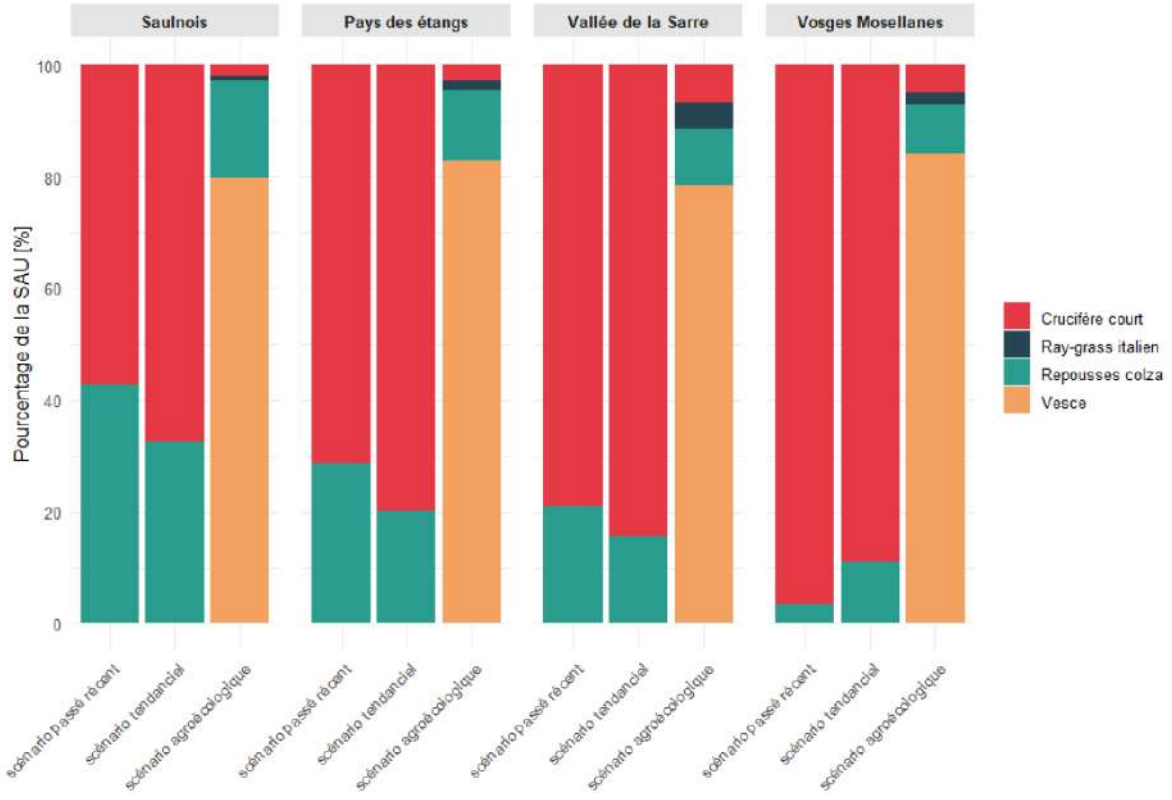


Figure 40 : Assolement des couverts intermédiaires simulé par MAELIA, par petite région agricole et par scénario (« passé récent », tendanciel 2050, agroécologique 2050), en % de la SAU en couverts intermédiaires.

4.2.2 Rendements des grandes cultures : une variabilité climatique déjà forte sur 2005-2025, des niveaux préservés à l'horizon 2050

Le rendement des cultures constitue l'indicateur le plus directement lisible de la vulnérabilité agronomique du territoire. MAELIA simule le rendement à la récolte à la parcelle, permettant son agrégation à l'échelle du territoire par type de culture. Le rendement simulé prend en compte les stress thermique (risque d'échaudage lors du remplissage du grain), hydrique et azoté subis par les cultures au cours de leur cycle, ainsi que l'effet fertilisant du CO2, qui agit positivement sur l'efficience de la photosynthèse et de l'utilisation de l'eau des cultures.

4.2.2.1 Évolution des rendements sur la période « passé récent » (2005-2025)

La Figure 41 ci-après fait apparaître une variabilité interannuelle marquée mais des tendances cohérentes sur la période 2005-2025 : les céréales, en particulier l'orge d'hiver, chutent nettement en 2011, tandis que le maïs (grain et ensilage) atteint au contraire cette année-là l'un de ses meilleurs niveaux simulés. Le maïs marque ensuite ses baisses les plus sévères en 2015, en 2018 et 2019, puis surtout en 2022, année où son rendement simulé atteint son minimum sur l'ensemble de la période. Cette dynamique fait écho aux observations rapportées sur le territoire. L'année 2011 a été marquée par une sécheresse printanière précoce qui a pénalisé les céréales et les fourrages au niveau national, tandis que le maïs a bénéficié de pluies estivales favorables et de semis précoces (Insee, 2012), un contraste que l'on retrouve directement dans les simulations. Les rendements de référence du département de la Moselle confirment une chute du rendement du maïs grain à 53 q/ha en 2015, contre 71 à 99 q/ha les autres années de la période 2011-2018 (Agreste – DRAAF Grand Est). Les campagnes 2018 et 2019 ont par ailleurs été marquées, en Lorraine comme dans le reste du Grand Est, par des rendements de maïs fourrage parmi les plus faibles de la décennie sur les parcelles non irriguées (Agreste, 2019). Enfin, 2022 constitue une année de sécheresse historique en Grand Est, avec un déficit pluviométrique annuel de 17,5 % et des températures supérieures de 1,5 °C à la normale, se traduisant par un recul du rendement du maïs ensilage de près de 30 % par rapport à 2021 (Agreste – DRAAF Grand Est, 2023). Cette correspondance entre les années de rupture identifiées par les simulations MAELIA et les années effectivement marquées par des aléas climatiques documentés sur le territoire constitue un élément de validation du modèle : au-delà de la seule tendance moyenne, MAELIA reproduit la sensibilité différenciée des cultures aux événements climatiques passés, ce qui renforce la confiance accordée à ses projections pour l'horizon 2050.

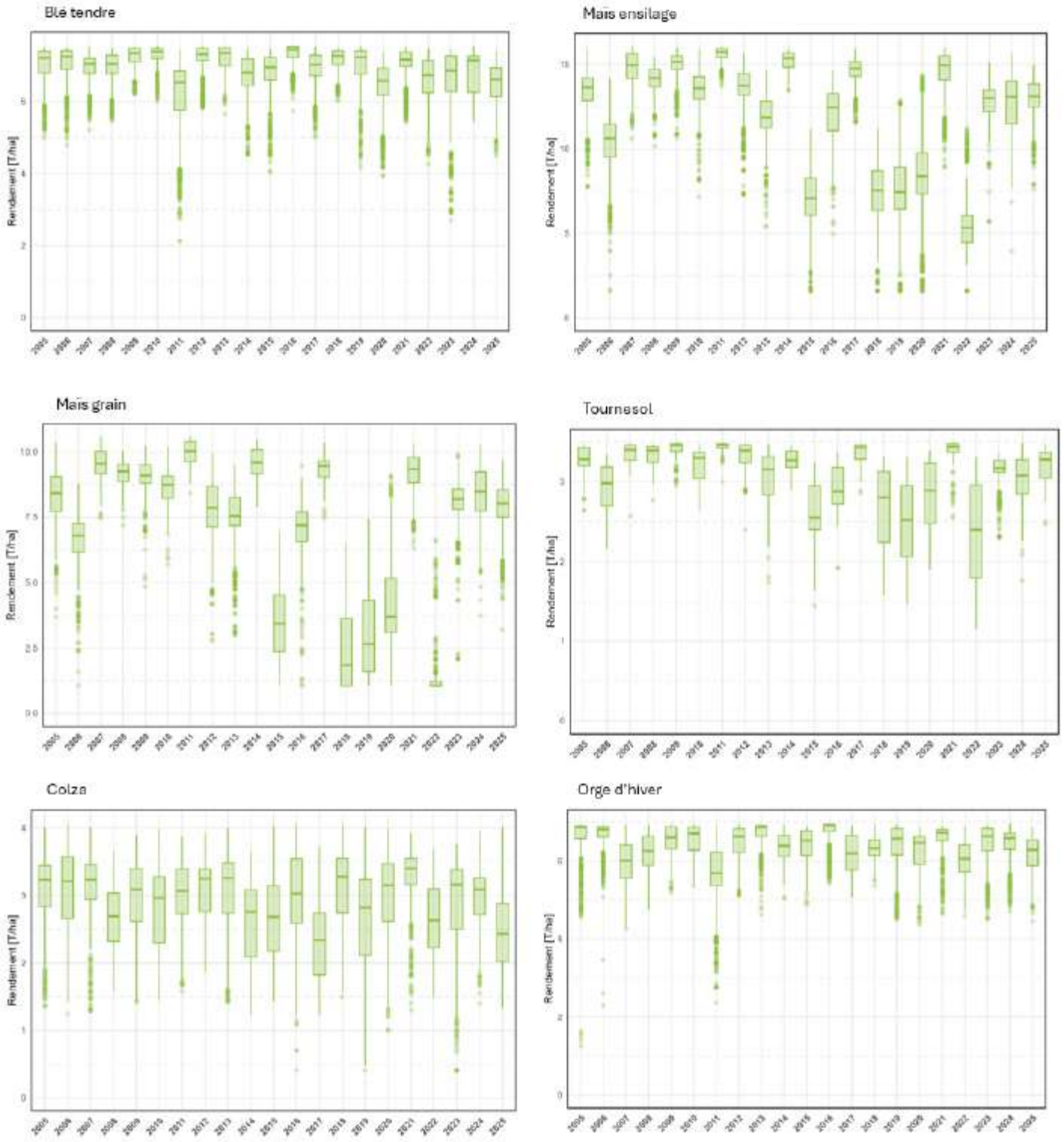


Figure 41 : Rendements simulés des principales grandes cultures de la RBMS sur la période 2005-2025.

4.2.2.2 Rendements, variabilité interannuelle et stress abiotiques à l'horizon 2050

Les simulations MAELIA montrent à l'horizon 2050 une réponse des rendements très différenciée selon les cultures, résultant de l'interaction entre plusieurs mécanismes : le stress hydrique, le stress d'échaudage, le stress azoté, l'effet fertilisant du CO2 et la phénologie (Figures 43 à 47 et Tableau 11). Dans les résultats qui suivent, les scénarios tendanciel et agroécologique à l'horizon 2050 sont comparés au scénario « passé récent » (période 2005-2025).

La Figure 42 montre un gradient net entre céréales d'hiver, dont la réponse serait proche de zéro ou légèrement positive, et cultures de printemps et d'été, qui bénéficieraient d'un gain de rendement plus marqué, à l'exception de l'orge de printemps qui reculerait dans les deux scénarios. Le Tableau 11 apporte un éclairage complémentaire sur la stabilité interannuelle de ces rendements : les cultures d'été (maïs grain, maïs ensilage, sorgho, tournesol) verraient leur coefficient de variation interannuel reculer nettement à l'horizon 2050, notamment pour le maïs grain et le sorgho, tandis que les céréales d'hiver verraient leur variabilité légèrement augmenter, une hausse nettement plus marquée pour l'orge de printemps. Le gain de rendement moyen des cultures d'été s'accompagnerait donc d'une moindre variabilité interannuelle, alors que les rendements des céréales d'hiver, sans perdre en moyenne, deviendraient plus irréguliers d'une année sur l'autre.

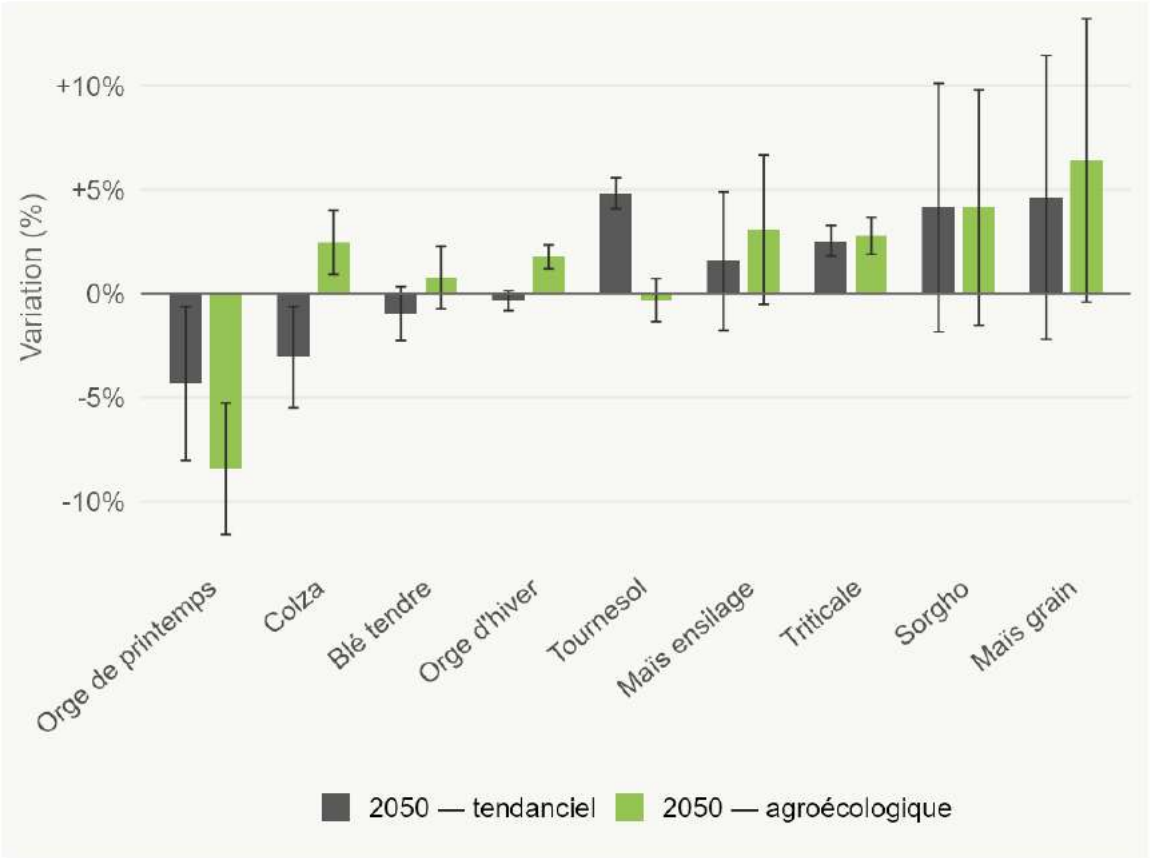


Figure 42 : Variation des rendements simulés à l'horizon 2050 sous les scénarios tendanciel et agroécologique par rapport à la période « passé récent ». Les valeurs représentent la variation relative (%) de la moyenne interannuelle, pour chaque culture et chaque scénario (tendanciel, agroécologique), moyennée sur les trois narratifs climatiques.

	CV passé récent	CV 2050 — tendanciel	CV 2050 — agroécologique	ΔCV 2050 — tendanciel vs passé récent	ΔCV 2050 — agroécologique vs passé récent
Blé tendre	3.9 %	6.4 %	5.7 %	▲ +2.5 pt	▲ +1.9 pt
Colza	10.8 %	11.8 %	10 %	▲ +1 pt	▼ -0.8 pt
Maïs ensilage	23.1 %	20.2 %	19.2 %	▼ -2.9 pt	▼ -4 pt
Maïs grain	34.4 %	24.3 %	23.6 %	▼ -10.2 pt	▼ -10.9 pt
Orge d'hiver	4.3 %	7.4 %	6.3 %	▲ +3.1 pt	▲ +1.9 pt
Orge de printemps	7.6 %	12.8 %	12.3 %	▲ +5.2 pt	▲ +4.8 pt
Sorgho	27.1 %	19.9 %	18.8 %	▼ -7.3 pt	▼ -8.3 pt
Tournesol	7.8 %	5.7 %	5.2 %	▼ -2 pt	▼ -2.5 pt
Triticale	2.8 %	4.8 %	4.6 %	▲ +2.1 pt	▲ +1.8 pt

Tableau 11 : Coefficient de variation interannuel des rendements par culture pour les scénarios « passé récent », tendanciel 2050 et agroécologique 2050, avec évolution du CV par rapport à la période « passé récent » 2005-2025. Valeurs moyennées sur les trois narratifs climatiques.

Le blé tendre, l'orge d'hiver et le triticale affichent des variations très faibles à légèrement positives sous le scénario tendanciel, entre -1 et +2,5 %, qui deviennent plus nettement positives sous le scénario agroécologique, entre +1 et +2,8 %. Cette amélioration relative sous le scénario agroécologique s'accompagne d'une réduction du déficit azoté, portée par l'introduction de légumineuses en tête de rotation avant le blé et le colza (Figure 45), ainsi que d'un avancement modéré des dates de semis selon les cultures (Figure 46). Le risque d'échaudage progresse de façon comparable pour ces trois cultures (Figure 44), sans distinction marquée entre scénarios tendanciel et agroécologique, ce risque étant porté avant tout par le climat plutôt que par les pratiques.

Le colza se distingue par un recul de rendement plus marqué sous le scénario tendanciel, d'environ -3 %, qui s'inverse en gain sous le scénario agroécologique, +2,5 %, avec une progression du risque d'échaudage comparable aux autres céréales d'hiver. Cette inversion s'explique surtout par la nutrition azotée : le déficit azoté qui se creuse sous le scénario tendanciel (Figure 45), se résorbe presque entièrement sous le scénario agroécologique grâce à l'introduction de légumineuses avant le colza.

L'orge de printemps constitue le cas le plus défavorable des simulations. Son rendement recule dans les deux scénarios (Figure 42). Cette culture cumule plusieurs facteurs de vulnérabilité : elle enregistre la plus forte hausse du risque d'échaudage de l'ensemble des cultures étudiées (Figure 44), une légère dégradation de la satisfaction hydrique sous le scénario tendanciel (Figure 43), et l'une des plus fortes dégradations de sa régularité interannuelle (Tableau 11). Sa nutrition azotée se dégrade fortement sous le scénario agroécologique (Figure 45). L'orge de printemps apparaît ainsi comme la culture la plus exposée au changement climatique dans les simulations MAELIA, quel que soit le scénario de pratiques envisagé.

Les cultures de printemps et d'été enregistrent à l'inverse les gains de rendement les plus marqués, portés par une réduction sensible du stress hydrique et, pour le maïs grain, par un raccourcissement du cycle. Le maïs grain présente l'une des réponses les plus fortes, avec une hausse de rendement de +4,5 % sous le scénario tendanciel et +6,5 % sous le scénario agroécologique (Figure 42). Ce léger gain supplémentaire

sous le scénario agroécologique est dû en partie à une meilleure nutrition azotée grâce à l'introduction de légumineuses avant le maïs (Figure 45). Le maïs grain enregistre par ailleurs la plus forte réduction de sa variabilité interannuelle (Tableau 1), avec un coefficient de variation qui recule de 34,4 % sur la période « passé récent » à 24,3 % sous le scénario tendanciel et 23,6 % sous le scénario agroécologique. Cette forte baisse relative doit néanmoins être nuancée : le maïs grain reste, et de loin, la culture la plus variable d'une année sur l'autre du panel étudié, devant le sorgho et le maïs ensilage. Il enregistre par ailleurs un raccourcissement du cycle d'environ 7 jours en moyenne, porté principalement par une avance de la date de récolte, la date de semis restant quasi stable (Figure 11). Cette maturité plus précoce permet au maïs grain d'échapper en partie aux pics de chaleur et de déficit hydrique de la fin d'été.

Le maïs ensilage suit une tendance similaire mais plus modérée, avec une réduction de variabilité moins marquée, ses besoins en biomasse totale rendant l'esquive du stress estival moins complète que pour le maïs grain.

Le sorgho bénéficie d'un gain de rendement comparable dans les deux scénarios, environ +4 %, d'une quasi-absence de risque d'échaudage supplémentaire, étant la culture la plus tolérante à la chaleur du panel avec le tournesol (Figure 44), et d'une forte réduction de sa variabilité interannuelle (Tableau 11). Le tournesol présente le profil le plus contrasté du groupe : il enregistre la plus forte amélioration de la satisfaction hydrique de toutes les cultures étudiées (Figure 43), et un risque d'échaudage négligeable, conformément à son seuil de tolérance élevé à la chaleur. Son rendement augmente légèrement par rapport à la période « passé récent » sous le scénario tendanciel (+5 %), et reste quasi stable sous le scénario agroécologique (-0,3 %).

Dans l'ensemble, le scénario agroécologique permet de maintenir, voire d'améliorer, les rendements des grandes cultures alors même que la fertilisation azotée a été significativement réduite, grâce à la substitution partielle par l'azote fixé par les légumineuses introduites dans les rotations. Les céréales d'hiver et le maïs bénéficient ainsi d'une meilleure nutrition azotée sous ce scénario, à rendement égal ou supérieur au scénario tendanciel.

Ces résultats à l'horizon 2050 ne doivent pas masquer la trajectoire de plus long terme : au-delà de cet horizon, la poursuite du réchauffement et la dégradation des bilans hydriques et thermiques laissent attendre un recul des rendements à l'horizon 2100 (Figure 36 et 37), y compris pour les cultures qui bénéficient encore d'un gain en 2050. La génération actuelle d'agriculteurs du territoire est ainsi sans doute la dernière à disposer d'une marge de manoeuvre suffisante pour engager la transition agroécologique et adapter durablement les systèmes de production face au changement climatique.

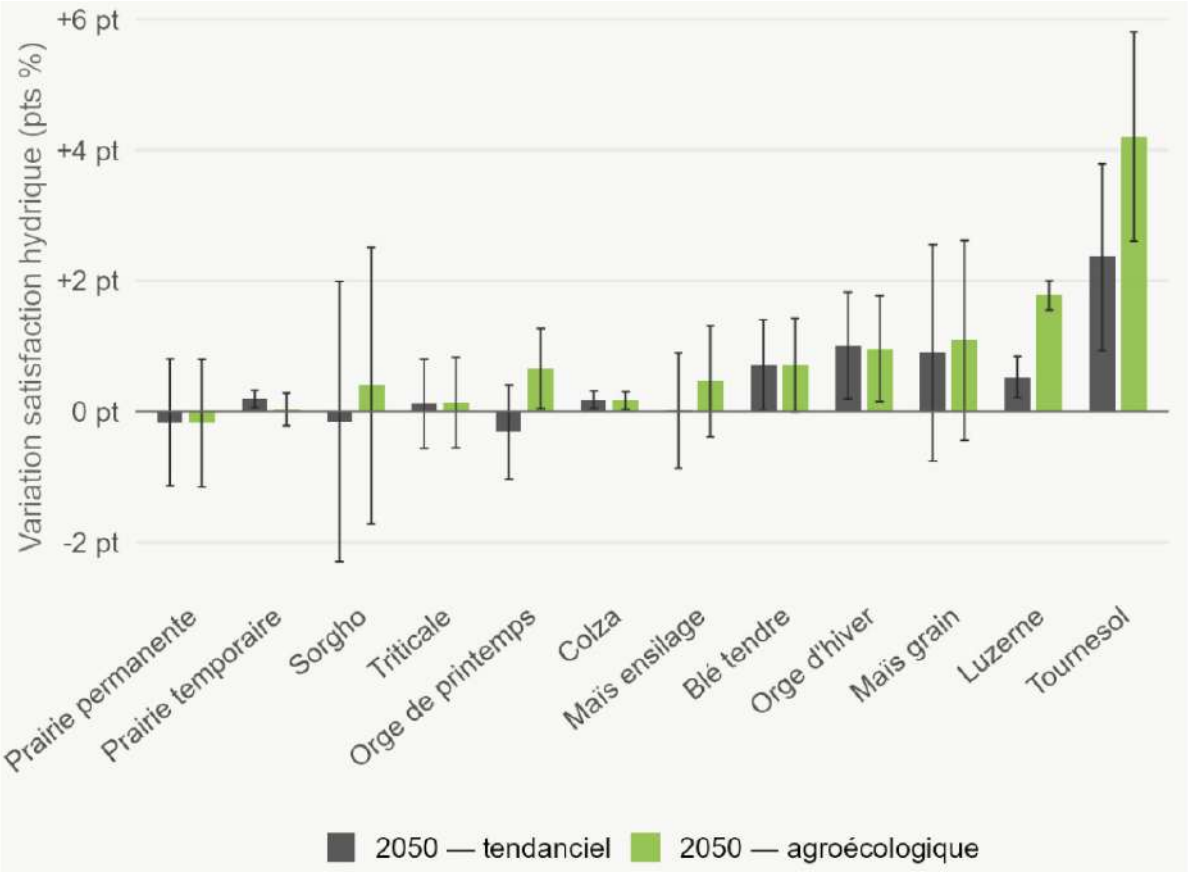


Figure 43 : Variation de la satisfaction hydrique des cultures entre l'horizon 2050 sous les scénarios tendanciel et agroécologique par rapport à la période « passé récent », exprimée en points de pourcentage. Une valeur positive indique une réduction du stress hydrique à l'horizon 2050.

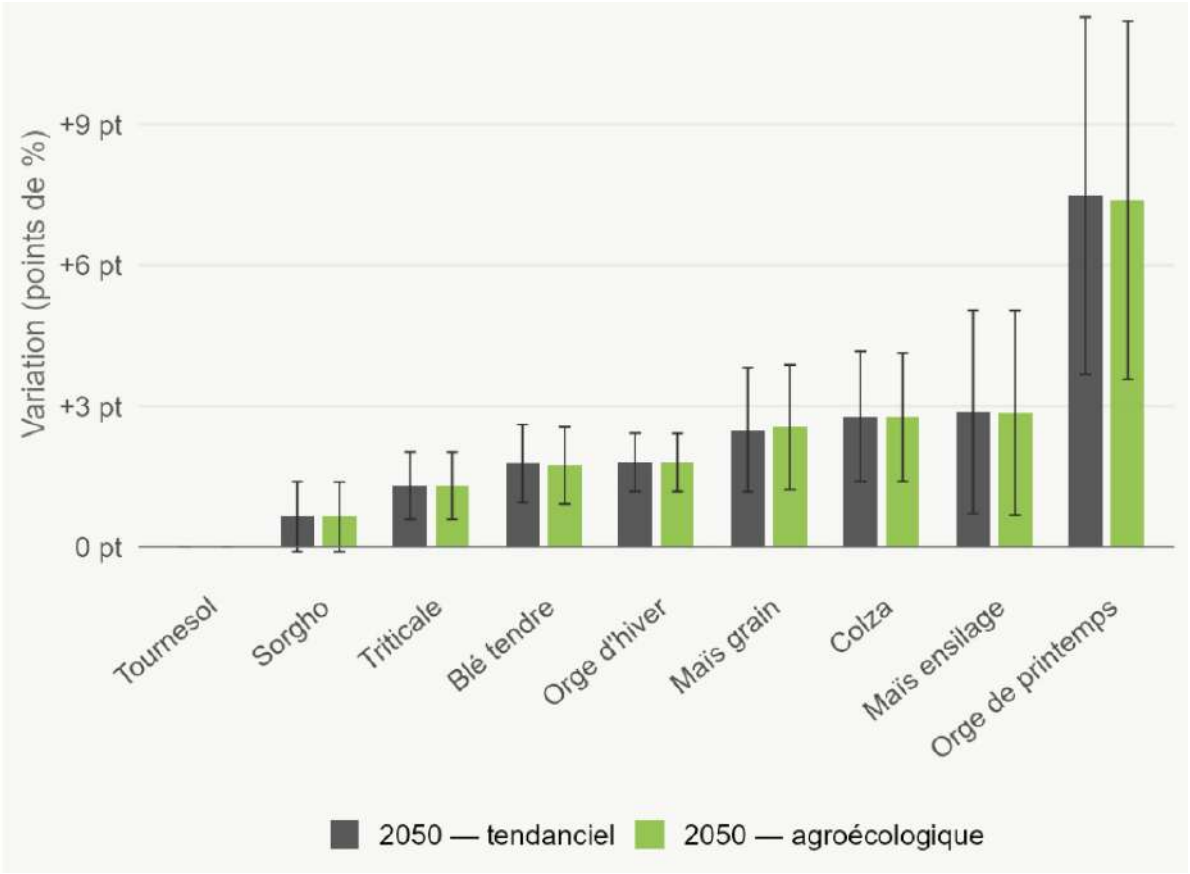


Figure 44 : Variation du risque d'échaudage thermique entre l'horizon 2050 sous les scénarios tendanciel et agroécologique par rapport à la période de « passé récent », exprimée en points de pourcentage. Une valeur positive indique une aggravation du risque.

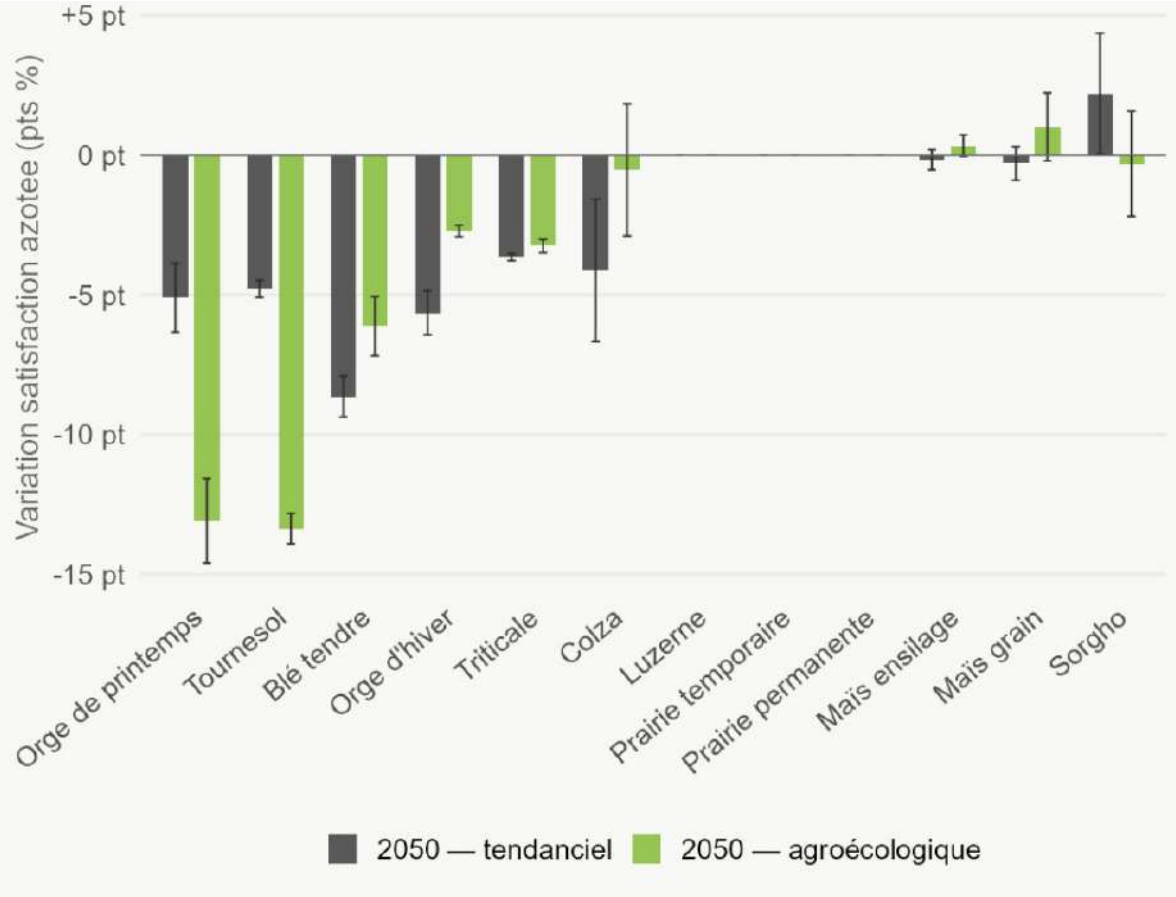


Figure 45 : Variation de la satisfaction azotée des cultures entre l'horizon 2050 sous les scénarios tendanciel et agroécologique par rapport à la période « passé récent », exprimée en points de pourcentage. Une valeur positive indique une réduction du stress azoté à l'horizon 2050.

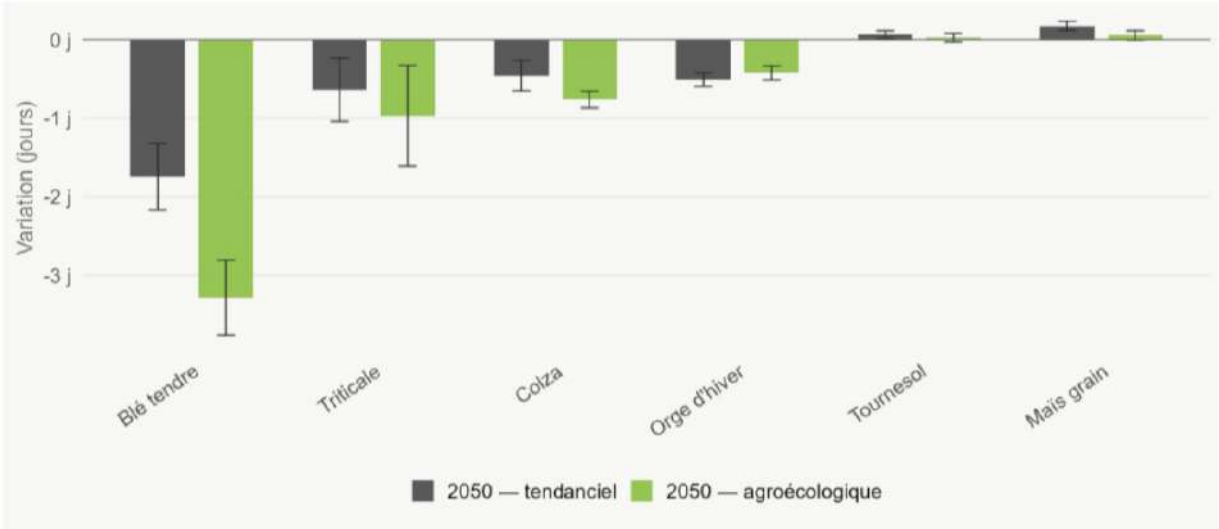


Figure 46 : Variation des dates de semis entre l'horizon 2050 sous les scénarios tendanciel et agroécologique par rapport à la période « passé récent », en jours. Une valeur négative indique un avancement de la date de semis.

4.2.3 Évolution du stock de carbone organique dans le sol

L'évolution du stock de carbone organique des sols agricoles, simulée par MAELIA, résulte de la balance entre les apports de matière organique — restitutions de résidus de cultures, retours au sol des prairies et des inter-cultures, fertilisation organique — et les processus de minéralisation, dont la cinétique est directement influencée par la température et l'humidité du sol. Cet équilibre est déjà fragile sur le territoire : le sol y est en léger déstockage net sur la période « passé récent », de l'ordre de -15 kgCorg/ha/an. Ce déstockage se creuse fortement à l'horizon 2050 sous le scénario tendanciel, atteignant environ -106 kgCorg/ha/an, sous l'effet conjugué de deux facteurs : la hausse des températures, qui accélère la minéralisation, et la conversion partielle de surfaces en prairies vers des grandes cultures, spécifique au territoire de la RBMS. Les prairies constituent en effet des puits de carbone stables grâce à l'accumulation continue de matière organique racinaire ; leur retournement libère ce carbone stocké, entraînant un déstockage net à court terme qui peut être significatif à l'échelle du territoire.

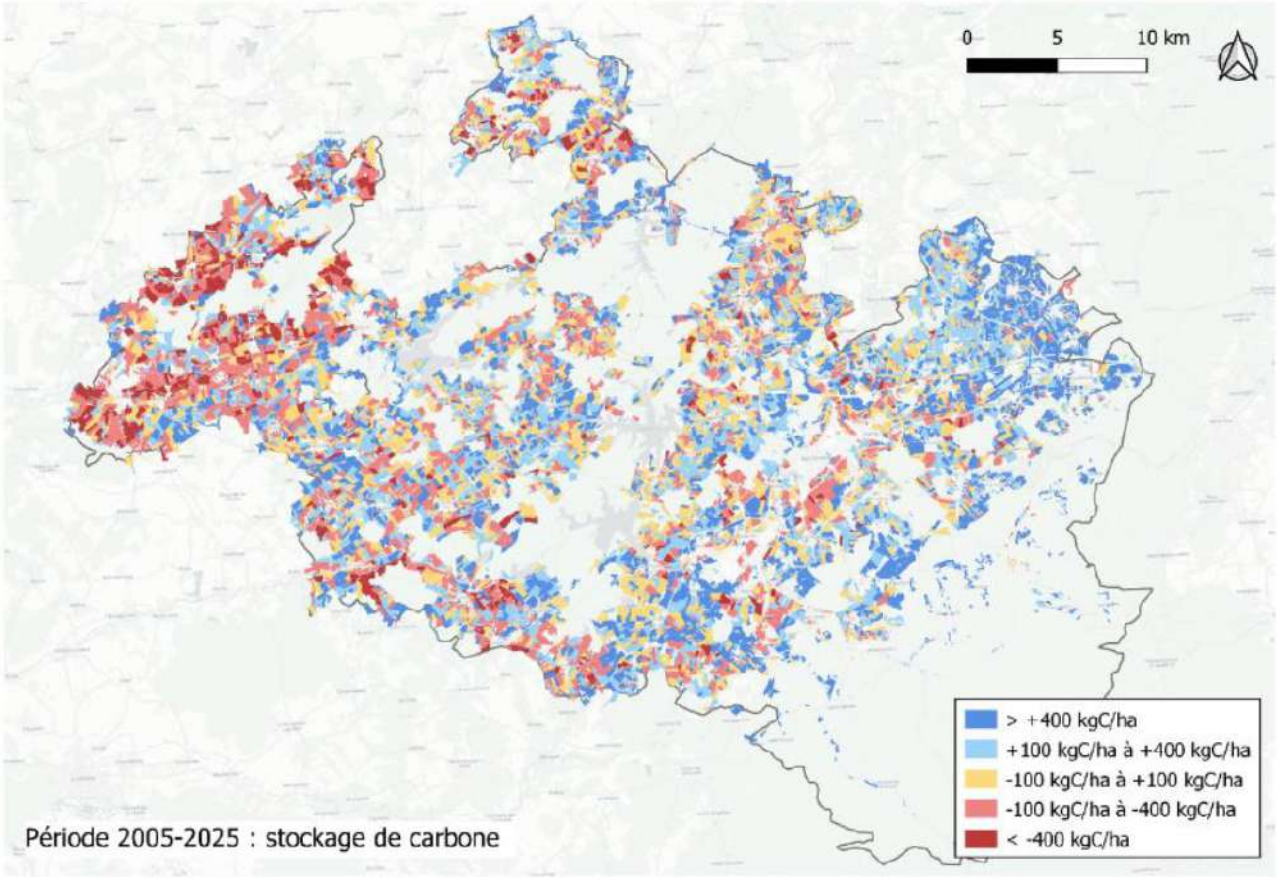


Figure 47 : Distribution spatiale du stockage et du déstockage annuel de carbone organique du sol à l'échelle parcellaire (kgC/ha), pour le scénario « passé récent », 2005-2025.

Cette moyenne territoriale masque une forte hétérogénéité spatiale (Figure 47) : le déstockage le plus marqué (-400 kgC/ha) se concentre dans la partie nord-ouest du territoire, tandis que des parcelles en séquestration nette (plus de +400 kgC/ha) sont présentes sur le reste du territoire. Cette variabilité reflète la diversité des types de sol, des successions culturales et des historiques de gestion à la parcelle, qui déterminent localement le sens et l'intensité du bilan carbone, indépendamment de la moyenne territoriale.

Sous scénario agroécologique, le déstockage est fortement contenu, à environ -35 kgC/ha/an, soit près de trois fois moins que sous le scénario tendanciel, mais reste néanmoins supérieur à celui de la période de référence. La généralisation des couverts intermédiaires à base de légumineuses et la diversification des rotations (voir 4.2.1) apportent un flux de matière organique qui compense en grande partie, sans l'annuler, le déstockage lié au réchauffement et à la conversion des prairies. Cette dynamique est cohérente avec l'évolution du bilan GES territorial présentée en 2.6, dont le déstockage du carbone organique du sol constitue le principal facteur d'aggravation sous tendanciel et de modération sous agroécologique.

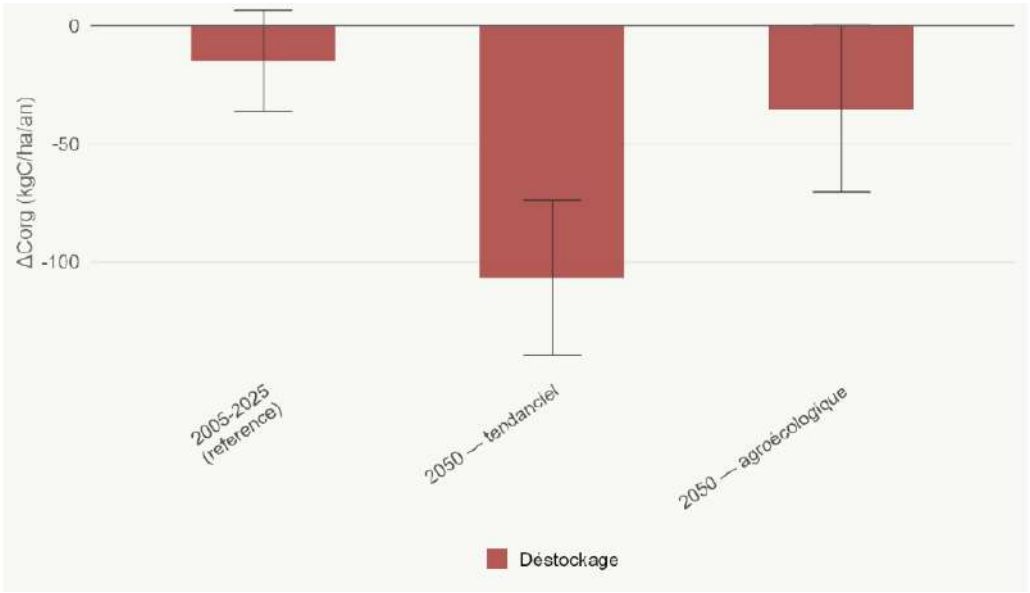


Figure 48 : Variation annuelle moyenne du stock de carbone organique du sol (ΔCorg, kgC/ha/an), pour la période « passé récent » et à l'horizon 2050 sous les scénarios tendanciel et agroécologique. Valeurs moyennées sur les trois narratifs climatiques et pondérées par la surface ; les barres d'erreur indiquent l'écart-type entre narratifs.

4.2.4 Flux d'azote : lixiviation, minéralisation, volatilisation

La gestion de l'azote constitue l'un des enjeux environnementaux centraux de l'agriculture du territoire, tant pour la qualité des eaux que pour les émissions de gaz à effet de serre. MAELIA permet de suivre quatre flux d'azote à la parcelle : la lixiviation de l'azote nitrique vers les eaux souterraines, principalement en période hivernale, la minéralisation nette de l'azote organique du sol, la fixation symbiotique de l'azote par les légumineuses, et les pertes par volatilisation ammoniacale lors des épandages.

La volatilisation ammoniacale diminue à l'horizon 2050 de façon nettement marquée sous le scénario agroécologique. Cette baisse s'explique par la réduction de la fertilisation azotée (Figure 50) : la substitution partielle de l'azote minéral par l'azote fixé par les légumineuses (luzerne, féverole, soja, vesce) permet de diminuer les doses de fertilisation, ce qui limite d'autant les pertes par voie ammoniacale.

La lixiviation de l'azote nitrique augmente légèrement à l'horizon 2050, dans des proportions comparables entre les deux scénarios, mais avec une incertitude forte liée aux narratifs climatiques (Figure 49). Cette hausse modérée peut s'expliquer par deux

facteurs conjugués. D'une part, la hausse des précipitations automnales et hivernales projetée à l'horizon 2050 augmente le volume d'eau de la lame drainante et donc le lessivage de l'azote minéral du sol. D'autre part, dans le cas du scénario agroécologique, l'augmentation de la fourniture azotée totale accroît la disponibilité en azote minéral dans le sol, qu'elle provienne de la minéralisation ou de la fixation biologique, et donc le risque de reliquat non absorbé par les cultures.

La fourniture en azote par l'écosystème est liée à deux mécanismes : la minéralisation nette de l'azote organique (matière organique du sol et résidus de culture) et la fixation symbiotique par les légumineuses (Figure 49). Sous le scénario tendanciel, seule la minéralisation nette progresse, modérément, de l'ordre de +4 % : cette hausse résulte de deux effets conjugués, l'extension des surfaces en blé, qui accroît les apports de résidus incorporés, et le réchauffement climatique, qui accélère l'activité microbienne du sol. Sous le scénario agroécologique, la minéralisation nette augmente très significativement, autour de +23 %, en raison de l'importante restitution de résidus du couvert intermédiaire de vesce (effet engrais vert) ; mais c'est surtout la fixation symbiotique qui change d'échelle, avec une hausse de l'ordre de +1000 % par rapport à un niveau quasi nul sous tendanciel. Elle est portée par le développement des cultures fixatrices d'azote (luzerne, féverole, soja) et par le couvert de vesce généralisé en interculture (voir 4.2.1), qui apportent une quantité importante d'azote d'origine biologique.

Ces deux évolutions doivent être interprétées différemment. La fixation symbiotique constitue un apport globalement positif, puisqu'elle permet de réduire le recours à l'azote minéral de synthèse sans mobiliser le stock de carbone du sol. La progression de la minéralisation nette, commune aux deux scénarios, soulève en revanche une question de durabilité : comme cette fourniture supplémentaire provient d'un déstockage net de la matière organique des sols, elle se fait au détriment du stock de carbone organique des sols à long terme, avec des conséquences potentielles sur la fertilité et la structure des terres agricoles (voir 4.2.4).

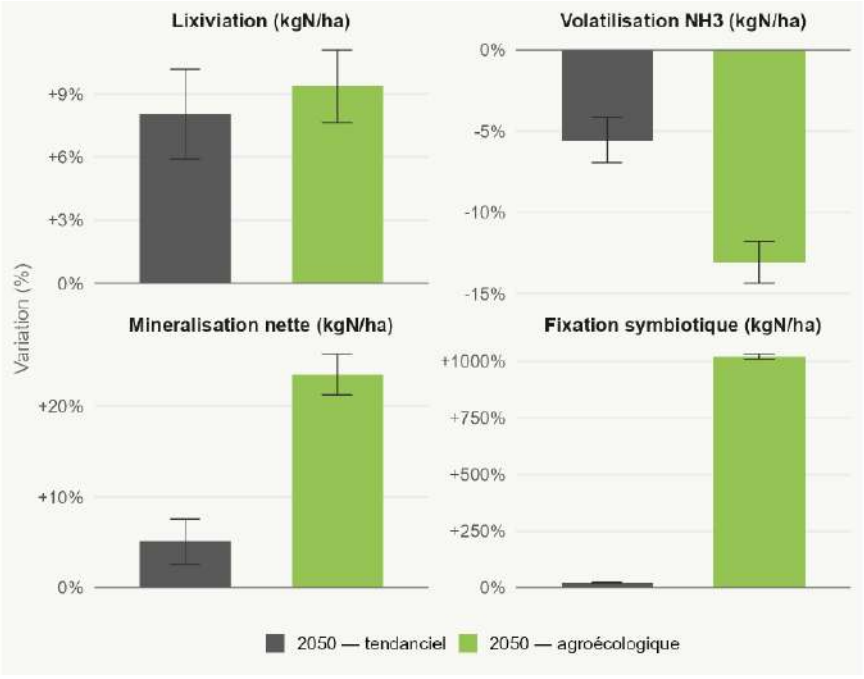


Figure 49 — Variation des flux d'azote territoriaux (volatilisation NH_3, lixiviation, fourniture N) à l'horizon 2050 par rapport à la période « passé récent », pour les scénarios tendanciel et agroécologique. Les barres représentent la variation relative (%) de la moyenne interannuelle, moyennée sur les trois narratifs climatiques ; les barres d'erreur indiquent l'écart-type entre narratifs.

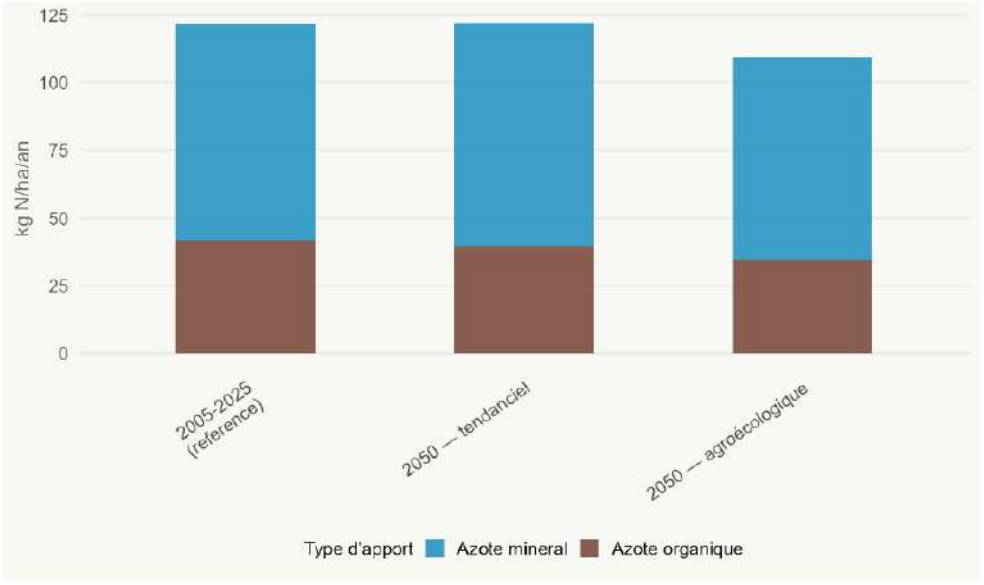


Figure 50 : Apport d'azote par la fertilisation, minérale et organique (kg N/ha/an), pour la période « passé récent » et à l'horizon 2050 pour les scénarios tendanciel et agroécologique. Valeurs moyennées sur les trois narratifs climatiques.

4.2.5 Bilan des émissions de gaz à effet de serre

Le bilan GES simulé par MAELIA agrège, à l'échelle de la parcelle et de l'année civile, les émissions directes et indirectes liées aux pratiques agricoles : émissions de N_2O issues de la fertilisation azotée et des résidus de cultures, et variations du stock de carbone organique du sol. L'intensité des émissions de N_2O est particulièrement sensible aux

conditions d'humidité et de température, qui contrôlent les processus de nitrification et de dénitrification. La comparaison entre la période « passé récent » et l'horizon 2050, décliné selon les scénarios tendanciel et agroécologique, renseigne sur l'empreinte climatique du système agricole et sur la capacité des pratiques agroécologiques à en modérer les effets.

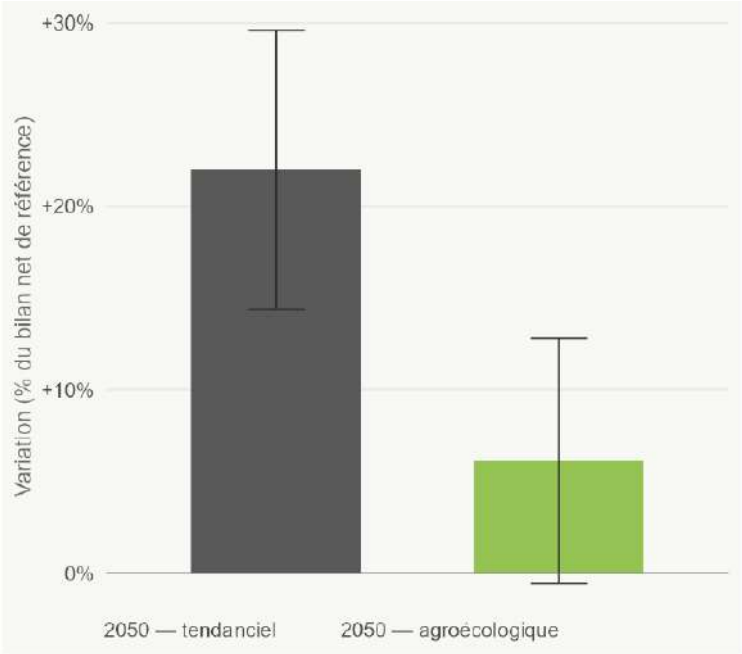


Figure 51 : Variation du bilan GES net territorial (% par rapport à la période « passé récent »), à l'horizon 2050 pour les scénarios tendanciel et agroécologique. Les barres représentent la moyenne des trois narratifs climatiques ; les barres d'erreur indiquent l'écart-type entre narratifs

Sous le scénario tendanciel, le bilan GES net à l'horizon 2050 augmente fortement, d'environ 22 % par rapport à la période « passé récent », principalement porté par l'augmentation du déstockage de carbone organique du sol. Ce poste, qui peut représenter un puits ou une source de CO_2 selon les pratiques et les couverts, bascule vers des valeurs plus émissives en 2050 sous ce scénario, signalant une perte nette de carbone accrue par rapport à l'horizon de référence. Ce déstockage amplifié est directement lié à la diminution des prairies permanentes dans l'assolement 2050. Les prairies constituent en effet un puits de carbone majeur : leur système racinaire pérenne alimente de façon continue la matière organique du sol, et l'absence de labour limite la perturbation des agrégats qui protègent le carbone enfoui. Leur conversion en grandes cultures annuelles (blé, tournesol) inverse cette dynamique : le travail du sol expose la matière organique du sol à la décomposition, et les apports racinaires, plus faibles et discontinus, ne compensent plus les pertes. Le réchauffement climatique de 2050 amplifie ce phénomène en accélérant l'activité microbienne à l'origine de la décomposition de la matière organique du sol, indifféremment du type de couvert. C'est le même mécanisme que celui identifié en section 2.5 pour expliquer la hausse de la fourniture azotée : l'augmentation de la minéralisation libère simultanément de l'azote et du CO_2, créant un couplage étroit entre le cycle de l'azote et le bilan carbone. Les émissions de N_2O (nitrification et dénitrification) constituent le second poste qui s'aggrave avec le changement climatique. Ces émissions sont sensibles aux conditions d'humidité et de température du sol lors des périodes d'apports azotés : le réchauffement stimule la nitrification, tandis que l'augmentation des épisodes de pluie intense en 2050, favorisant l'anaérobiose temporaire, accentue les pics de dénitrification et les pointes d'émissions associées.

Sous scénario agroécologique, le bilan GES net augmente plus modérément, d'environ 6 % par rapport à la période « passé récent », soit nettement moins que sous le scénario tendanciel. Bien que la structure d'assolement reste proche de celle du scénario tendanciel (voir 41.1 et Figure 39), la généralisation des couverts intermédiaires à base de légumineuses, en particulier la vesce (Figure 40), et l'introduction de cultures fixatrices d'azote comme la luzerne apportent un flux plus continu de matière organique au sol. A l'échelle du territoire, ce flux compense en grande partie la perte du puits de carbone lié au retournement des prairies, contenant ainsi le déstockage qui aggrave le bilan sous le scénario tendanciel. Le scénario agroécologique permet donc de contrebalancer significativement, sans toutefois l'annuler, l'impact du changement climatique sur le bilan GES.

4.2.6 Biodiversité des systèmes de culture

L'indice iBIO (Soulé et al., 2023), calculé à la parcelle par MAELIA à partir des résultats de simulation, est un indicateur composite qui qualifie l'intérêt d'une parcelle pour quatre taxons : la vie microbienne du sol, les adventices (support de services écosystémiques), les invertébrés volants et les vertébrés. Il rend compte de la contribution potentielle du système de culture local à la biodiversité fonctionnelle, en fonction de six leviers de pratiques : l'intensité du travail du sol, les apports en fertilisants minéraux, les apports de matière organique, le nombre de traitements phytosanitaires, la diversité des cultures dans la rotation, et la structure du paysage (composition et configuration, notamment la connectivité écologique). Les résultats sont exprimés en quatre classes (Low, Medium, High, Very High) à l'échelle de chaque parcelle et agrégés à l'échelle du territoire sous forme de distribution de surfaces.

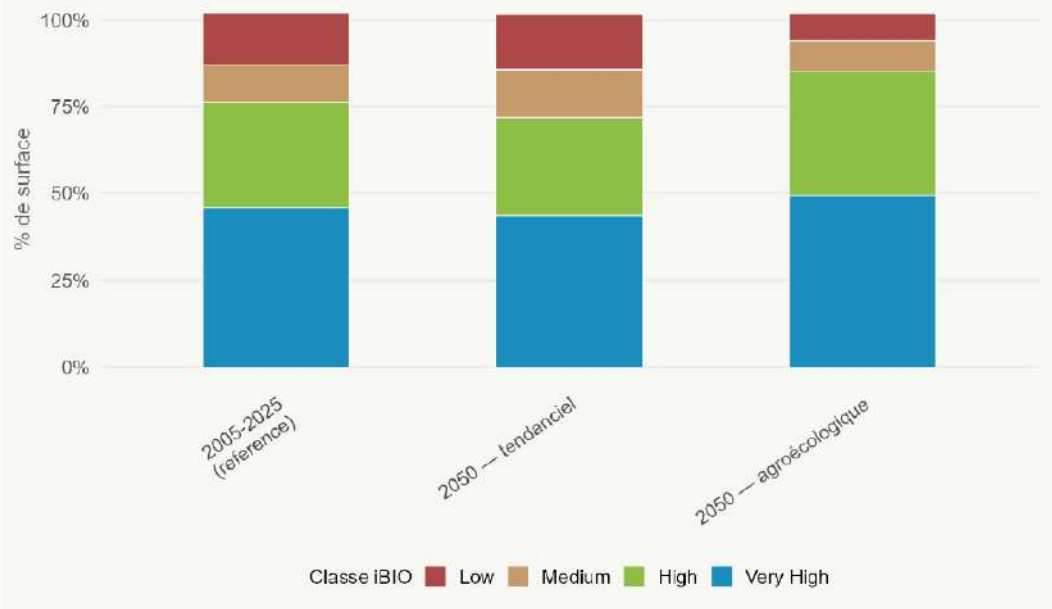


Figure 52 : Distribution de l'indice de biodiversité iBIO (% de surface par classe), pour la période « passé récent » (2005-2025) et à l'horizon 2050 sous les scénarios tendanciel et agroécologique. Valeurs moyennées sur les trois narratifs climatiques.

La distribution de l'indice iBIO évolue peu entre la période « passé récent » et l'horizon 2050 sous le scénario tendanciel : la part de surface en classe Very High reste globalement stable, autour de 41-43 %, tandis que la part en classe High diminue légèrement, au profit des classes Medium et Low, sous l'effet de la conversion de certaines prairies en grandes cultures annuelles (voir 4.2.1 et 4.2.6). Cette quasi-stabilité d'ensemble est lié au maintien global des pratiques et de la structure de rotation sous ce scénario, l'indice iBIO étant déterminé par les pratiques mises en oeuvre à la parcelle et la structure du paysage et non directement par les conditions climatiques.

Le scénario agroécologique améliore nettement cette distribution : la part de surface en classes Very High et High atteint environ 83 % au bénéfice d'une réduction des classes Medium et Low. Cette amélioration est cohérente avec les leviers mobilisés par ce scénario, à savoir la diversification des rotations par l'introduction de cultures fixatrices d'azote, la couverture des sols et la réduction des apports d'azote minéral, deux des leviers de pratiques qui influencent favorablement l'indice iBIO.

4.2.7 Prairies et cultures fourragères : production et phénologie

Les prairies et la luzerne occupent une place importante dans l'assolement du territoire, en particulier dans les exploitations d'élevage (voir 4.2.1). MAELIA simule, via son module de croissance de l'herbe, la production fourragère valorisée par la fauche et le pâturage, ainsi que la phénologie de cette croissance, pour les trois types de prairies distingués sur le territoire : prairie temporaire, luzerne et prairie permanente.

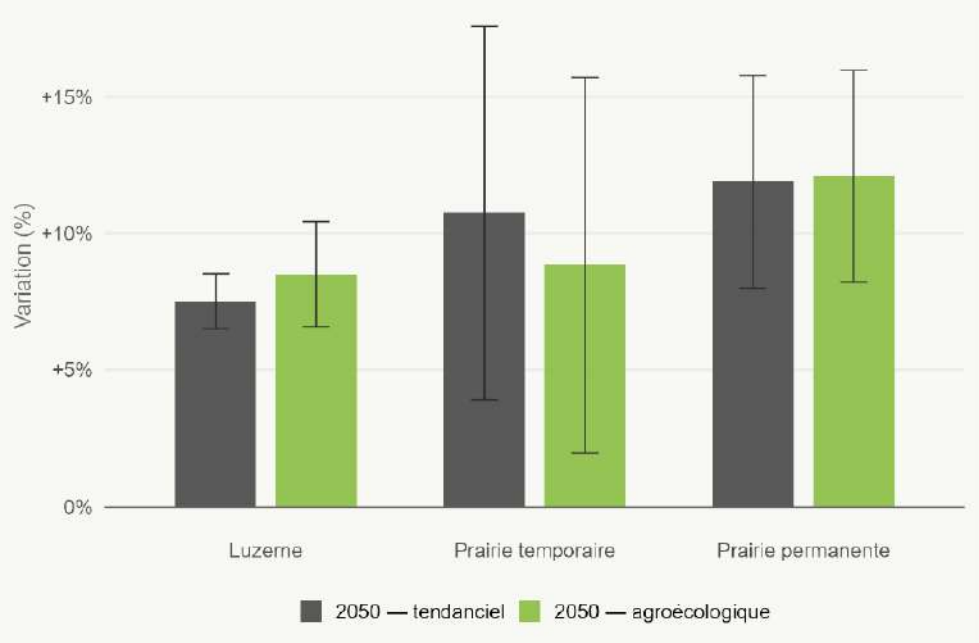


Figure 53 : Variation de la production fourragère (fauche et pâture, t MS/ha) à l'horizon 2050 par rapport à la période « passé récent », par type de prairie, pour les scénarios tendanciel et agroécologique. Valeurs moyennées sur les trois narratifs climatiques ; les barres d'erreur indiquent l'écart-type entre narratifs.

La production fourragère progresse pour les trois types de prairies à l'horizon 2050, dans des proportions comparables entre les deux scénarios (Figure 53) : environ +7 à +8 % pour la luzerne, entre +8,5 et +10,5 % pour la prairie temporaire et environ +12 % pour la prairie permanente. Cette hausse est cohérente avec l'allongement de la période de croissance active de l'herbe sous l'effet du réchauffement, que confirme l'avance des dates de fauche présentée ci-après. L'incertitude associée à ces évolutions reste néanmoins nettement plus forte pour la prairie temporaire et la prairie permanente que pour la luzerne, dont le système racinaire profond limite la sensibilité aux écarts de disponibilité en eau entre narratifs climatiques.

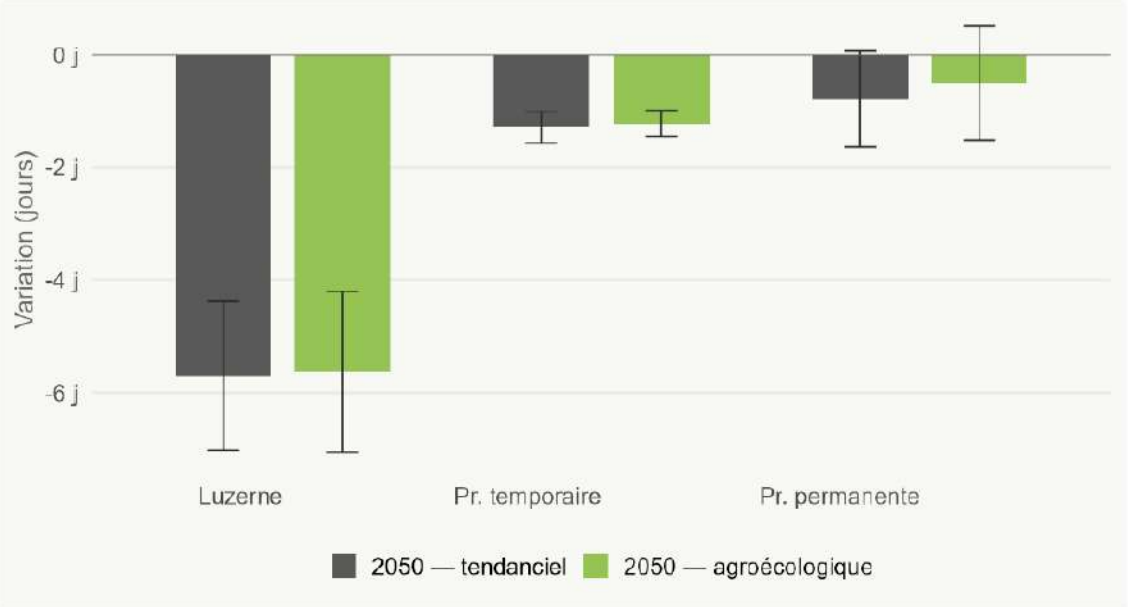


Figure 54 : Variation de la date de première fauche à l'horizon 2050 par rapport à la période « passé récent », par type de prairie, en jours. Une valeur négative indique une avance de la date de fauche. Valeurs moyennées sur les trois narratifs climatiques ; les barres d'erreur indiquent l'écart-type entre narratifs.

La date de première fauche avance pour les trois types de prairies (Figure 54), de façon nettement plus marquée pour la luzerne, avec environ 6 jours d'avance, que pour la prairie temporaire, autour d'un jour d'avance, et plus modérément pour la prairie permanente, moins d'un jour d'avance. Cet avancement traduit un démarrage plus précoce de la croissance de l'herbe au printemps, cohérent avec le réchauffement des températures printanières décrit en 1.4. Cette précocité, si elle contribue au gain de production observé, pose aussi des questions pratiques pour l'exploitation de l'herbe dans les exploitations : une herbe disponible plus tôt doit être valorisée à une période où les conditions météorologiques restent encore incertaines, avec un risque accru de récolter en conditions humides, moins favorables au séchage au champ pour la fauche, et une nécessité d'adapter en conséquence le calendrier de mise à l'herbe pour le pâturage ; par ailleurs, une croissance de l'herbe plus rapide liée à une augmentation des températures conduira à une plus grande difficulté à l'exploiter au mieux au pâturage.

4.3 Synthèse et perspectives

4.3.1 Principaux enseignements

Les simulations MAELIA convergent vers un constat commun : le changement climatique à l'horizon 2050 affecterait l'agriculture du territoire de la RBMS de façon différenciée selon les cultures et les composantes du système, sans remettre en cause à ce stade la viabilité globale de l'activité agricole. Sous le scénario tendanciel, qui prolonge les pratiques actuelles, les rendements des grandes cultures se maintiendraient globalement, portés par les gains des cultures de printemps et d'été (maïs grain, sorgho) qui compenserait la vulnérabilité de l'orge de printemps, seule culture en recul marqué dans les deux scénarios. Cette stabilité apparente masque cependant une dégradation progressive des grands équilibres environnementaux du territoire : accentuation du déstockage de carbone organique des sols, principalement liée au recul des prairies permanentes, et hausse du bilan GES net d'environ 14 %.

Le scénario agroécologique, construit à partir des leviers de la trajectoire ADEME S2 (substitution de l'azote minéral par des légumineuses, diversification des successions culturales), modifie sensiblement cette trajectoire sans transformer la structure de l'assolement du territoire. Il permet de maintenir, voire d'améliorer, les rendements des grandes cultures tout en réduisant significativement l'apport d'azote minéral pour la plupart des cultures. Il ramène le déstockage de carbone organique des sols en dessous même du niveau de la période « passé récent », stabilise le bilan GES net à un niveau proche de celui de la période « passé récent », et améliore nettement l'indice de biodiversité des systèmes de culture, porté par la diversification des rotations et la baisse des intrants azotés minéraux. Les prairies et les fourrages bénéficient, dans les deux scénarios, d'une hausse de production liée à l'allongement de la période de croissance de l'herbe, mais cette précocité avance également les dates de fauche, avec des implications pratiques pour la conduite de l'herbe dans les exploitations d'élevage.

Ces résultats, favorables dans l'ensemble à l'horizon 2050, ne doivent pas masquer la trajectoire de plus long terme : la poursuite du réchauffement au-delà de cet horizon laisse attendre une dégradation des rendements à l'horizon 2100, y compris pour les cultures qui bénéficient encore d'un gain en 2050. Ce constat renforce le message central de ce travail : la génération actuelle d'agriculteurs du territoire est sans doute la dernière à disposer d'une marge de manoeuvre suffisante pour engager la transition agroécologique et adapter durablement les systèmes de production, avant que la poursuite du réchauffement ne referme cette possibilité.

4.3.2 Limites de l'analyse

Les scénarios tendanciel et agroécologique constituent des trajectoires contrastées et non des prévisions : le premier prolonge les dynamiques actuelles, le second applique les leviers agroécologiques suivant la logique de la trajectoire nationale S2 de l'ADEME. La trajectoire réellement suivie par le territoire se situera vraisemblablement entre ces deux bornes, selon le rythme et l'ampleur de l'adoption effective des pratiques agroécologiques par les exploitations.

Les trois narratifs climatiques Explore2 retenus (jaune, vert, orange) ne couvrent qu'une partie de l'enveloppe d'incertitude des projections climatiques ; les résultats présentés, moyennés sur ces trois narratifs, masquent des écarts parfois importants entre eux, notamment pour les flux d'azote et le bilan carbone du sol, pour lesquels le narratif vert (réchauffement marqué et humidité accrue) constitue souvent le cas le plus défavorable. L'horizon 2100 n'a par ailleurs été mobilisé que pour les données climatiques (température, bilan hydrique), sans simulation agronomique complète : la dégradation des rendements évoquée à cet horizon relève d'une extrapolation qualitative des tendances climatiques et non d'une simulation MAELIA à part entière.

4.3.3 Perspectives

L'extension des simulations agronomiques à l'horizon 2100, au-delà des seules données climatiques mobilisées dans ce travail, permettrait de quantifier plus précisément la trajectoire de long terme et d'anticiper les adaptations supplémentaires nécessaires au-delà de 2050. Enfin, au-delà de la seule modélisation, la diffusion de ces résultats auprès des acteurs agricoles du territoire (exploitants, chambres d'agriculture, coopératives) constitue une étape nécessaire pour transformer ce diagnostic prospectif en une trajectoire de transition effectivement engagée, pendant que la marge de manoeuvre nécessaire reste disponible.

LES FORÊTS, LES SOLS FORESTIERS ET LA FILIÈRE BOIS

Francis MARTIN
Président du conseil scientifique du Parc naturel régional de Lorraine et de la Réserve de biosphère de Moselle Sud
Docteur en physiologie végétale
Directeur de recherche émérite - INRAE

Christian PIEDALLU
Ingénieur de Recherche en écologie forestière spécialiste en géomatique, AgroParisTech Nancy

Laurent SAINT-ANDRÉ
Directeur de recherche, INRAE Nancy, Champenoux



Paysage forestier à Hommert

1. Histoire des forêts lorraines

Les forêts qui couvrent aujourd'hui le territoire de la Réserve de Biosphère de Moselle-Sud et du Parc naturel régional de Lorraine ne sont pas un héritage naturel intact, mais le produit d'une longue coévolution entre dynamiques écologiques et interventions humaines. Leur composition actuelle résulte d'abord de la grande diversité des conditions naturelles qui caractérisent ce territoire : importante variété des substrats géologiques, des types de sols et des influences climatiques, depuis les secteurs secs et calcaires jusqu'aux marges plus fraîches et humides annonçant les influences vosgiennes. Sur cette mosaïque de milieux se sont développées des formations forestières différenciées, dominées selon les stations par le hêtre, les chênes ou le sapin pectiné dans les secteurs les plus frais. La place prise par l'épicéa et l'extension des futaies régulières résultent, elles, de choix sylvicoles accumulés sur plusieurs siècles.

Comprendre cette histoire n'est pas un détour érudit, c'est un élément essentiel pour la compréhension de la dynamique des forêts actuelles et à venir. Le changement climatique met aujourd'hui à l'épreuve des forêts construites et façonnées, pour une large part, pour un climat tempéré frais qui n'est déjà plus celui d'aujourd'hui ; et auparavant dans les années 80, la crise dite des « pluies acides » dans le secteur vosgien a toujours actuellement des conséquences sur la fertilité des sols et la capacité des arbres à résister aux changement climatique; c'est cette construction qu'il faut d'abord retracer pour saisir leur vulnérabilité comme leurs marges d'adaptation.

1.1 Des origines postglaciaires à la forêt médiévale

Après le réchauffement tardiglaciaire, il y a environ 12 000 ans, une couverture forestière continue s'installe progressivement ; la Lorraine, non englacée au Würm (la dernière période glaciaire, env. –115 000 à –11 700 ans), connaît alors un contexte périglaciaire, seul le massif vosgien portant des glaciers locaux. Les analyses palynologiques (étude des pollens fossiles conservés dans les sols, qui permet de reconstituer la végétation des époques passées), révèlent une succession végétale typique : d'abord les bouleaux et pins pionniers, puis l'arrivée du noisetier et du chêne au Mésolithique (env. –10 000 à –6 000 ans), et enfin l'installation du hêtre, qui colonise massivement les plateaux calcaires à partir du Néolithique moyen (env. -5000 à -3500 ans) et forme la hêtraie qui deviendra l'écosystème climacique dominant (le stade stable vers lequel évolue naturellement la forêt dominant sur les sols bien drainés des côtes de Moselle et de Meuse. Le sapin pectiné (Abies alba) et l'épicéa (Picea abies) sont également autochtones (naturellement présentes) du massif vosgien, bien que l'aire naturelle de l'épicéa soit cantonnée aux stations fraîches et aux zones d'altitude de ce massif.

Au Moyen Âge, la forêt est un territoire socialement structuré, à la fois nourricier et soumis à une densité de droits d'usage* : parcours pour les porcs, affouage pour le bois de chauffage, pacage des troupeaux, droits de marronnage (droit d'usage des forêts permettant de prélever du bois pour des usages de construction ou agricoles). Les forêts ducales, ecclésiastiques et communales coexistent selon des statuts juridiques distincts. Du VIème au XIIIème siècle, les abbayes cisterciennes et bénédictines jouent un rôle majeur dans l'essartement (défrichement d'une surface boisée afin d'en changer durablement l'affectation du sol, le plus souvent en vue d'une destination agricole) des forêts de plaine, et le recul du couvert s'accentue, les hauteurs étant progressivement

déboisées au profit des pâturages d'altitude où se développe un pastoralisme original. Dès le XIIIème siècle toutefois, les ducs de Lorraine et les seigneurs locaux, conscients de la raréfaction de la ressource, instaurent les premiers règlements d'exploitation.

Droits d'usage / affouage / pacage / parcours

Ensemble des prélèvements et usages traditionnels que les communautés villageoises étaient autorisées à pratiquer en forêt, sous l'Ancien Régime.

Les principaux étaient :
L'**affouage** : droit de prélever du bois de chauffage ;
Le **pacage** : droit de faire paître le bétail (vaches, moutons) ;
Le **parcours** : droit de mener les troupeaux d'un lieu à un autre à travers les terres et les bois.
Longtemps vitaux pour les habitants, ces droits ont pesé lourdement sur les forêts et ont été progressivement restreints par l'administration forestière.

1.2 De l'ordonnance royale à la filière préindustrielle

À partir du XVIème siècle, le duché de Lorraine développe une administration forestière structurée, confiée à des officiers appelés gruyers, chargés de surveiller les coupes et de faire respecter les droits seigneuriaux sur les bois. L'État royal impose ensuite une rupture dans ce régime d'usage. L'ordonnance de Colbert (ministre de Louis XIV) sur le fait des Eaux et Forêts, signée en 1669, constitue le premier grand code forestier du royaume : elle unifie le droit, organise une administration, réglemente l'assiette des coupes et le martelage, et impose la mise en réserve d'une fraction du massif. Sa logique est stratégique avant d'être écologique, l'enjeu étant de garantir l'approvisionnement en bois de marine (bois destiné à la construction navale, enjeu militaire). La Lorraine, rattachée tardivement à la France en 1766 à la mort de Stanislas Leszczynski , n'entre que progressivement dans ce cadre ; l'ordonnance y impose néanmoins la même logique centralisatrice, sans beaucoup d'égards pour les particularités sylvicoles locales. Cette tension entre une norme d'État tournée vers la production de bois d'œuvre et des usages profondément enracinés traverse toute l'histoire forestière du territoire, et elle n'est pas éteinte aujourd'hui.

Jusqu'au XIXème siècle, le bois reste la base de l'économie locale, et le territoire développe une filière complète bien avant l'industrialisation. Le massif alimente en bois de feu un dense réseau de verreries et de forges, dont la consommation énergétique pèse lourdement sur les peuplements voisins. Il fournit aussi du bois d'œuvre transformé sur place par les sagards, scieurs locataires des hauts-fers qui débitent en planches d'énormes sapins dans des scieries hydrauliques dispersées dans les vallées. L'acheminement de cette production repose sur des techniques aujourd'hui disparues mais durablement inscrites dans les paysages et la mémoire collective : le flottage du

bois sur la Moselle et la Meurthe, qui désenclave le massif et exporte sa production jusqu'aux Pays-Bas et aux arsenaux royaux, et la schlitte, ces luges sur rondins par lesquelles les schlitteurs ramenaient vers les vallées le bois coupé sur les hauteurs.

La Révolution marque une rupture dans ce régime. La vente des biens nationaux disperse une partie des forêts ecclésiastiques et seigneuriales, l'affaiblissement de l'administration favorise les défrichements et les coupes abusives, et la pression conjuguée des usages ruraux et de la demande industrielle accentue la dégradation des peuplements, en particulier sur les versants et les hauteurs où l'érosion progresse. C'est cette dégradation, perçue au début du XIXème siècle comme une crise de la ressource et des terrains de montagne, qui motive la reprise en main qui suit : la restauration des peuplements, la création d'une administration forestière savante et la refonte du droit forestier répondent d'abord à un massif que l'on juge appauvri.

1.3 Enrésinement* et forêt régulière : un héritage récent

**L'enrésinement désigne la plantation massive de résineux là où dominaient auparavant les feuillus. En Lorraine, il s'est développé aux XIXème et XXème siècles : la forêt de résineux que l'on croit ancestrale est en réalité récente.*

La forêt résineuse dense que l'on associe spontanément aux Vosges n'est pas partout un état ancestral, mais une construction du XIXème et du XXème siècle. Au XVIIIème siècle, les résineux autochtones jouent un rôle plus effacé dans le paysage, présents principalement en zone de montagne, et ils sont souvent éliminés au profit des feuillus qui améliorent la subsistance des hommes et du cheptel ; l'épicéa, en particulier, n'y demeure qu'à l'état de relique. La restauration des peuplements résineux débute vers 1820 et répond à un double objectif : restaurer les terrains dégradés, vides et landes que les feuillus peinent à recoloniser, et répondre à une demande industrielle croissante. Dès 1830, plusieurs centaines d'hectares sont repeuplés autour d'Épinal, d'abord en pin sylvestre, puis progressivement en épicéa, essence à croissance rapide et au bois recherché.

Le mouvement s'amplifie sous l'effet de deux institutions nées en Lorraine. L'École royale forestière de Nancy, créée par ordonnance en 1824, devient le foyer de la foresterie scientifique française et diffuse les principes d'une gestion rationnelle fondée sur la connaissance des stations et des peuplements, les méthodes de régénération naturelle du sapin et du hêtre et l'inventaire dendrométrique. Le code forestier de 1827 soumet ensuite la majorité des forêts communales au régime forestier et généralise les aménagements réguliers. Après 1870, l'annexion de la Moselle introduit des pratiques germaniques de sylviculture intensive, et les forêts sont reboisées massivement en résineux, particulièrement en épicéa, pour répondre aux besoins de l'industrie minière ou papetière, ainsi que de la construction. Au cours du XXème siècle, et surtout lors des reconstitutions de l'après-guerre, la futaie régulière principalement d'épicéa s'étend largement, y compris dans des zones de plaine éloignées de son aire naturelle, sous l'impulsion des politiques publiques et du Fonds forestier national.

1.4 Un héritage qui éclaire la vulnérabilité actuelle

Cet héritage est au cœur de la vulnérabilité d'aujourd'hui. En plantant l'épicéa sur des stations de plaine ou de basse altitude où le déficit hydrique estival devient préoccupant, la sylviculture des deux derniers siècles a créé des peuplements aujourd'hui en première ligne face à la sécheresse et aux pullulations de scolytes, au premier rang desquels le typographe de l'épicéa (*Ips typographus*). Les chênes, pédonculés et dans une moindre mesure sessiles, le hêtre et le sapin pectiné, essences emblématiques et structurantes du massif, sont quant à eux sensibles aux épisodes de sécheresse prolongée ; les dépérissements observés sur le territoire depuis le début des années 2000, et intensifiés après les étés 2003 et 2018, touchent directement ces essences, sous l'effet combiné du stress climatique et des attaques biotiques. La forêt dont nous héritons résulte ainsi de choix sylvicoles effectués dans un contexte climatique désormais révolu, et c'est ce décalage qui définit l'enjeu central des sous-parties suivantes.

À cette histoire sylvicole se superpose une contrainte que les choix humains n'ont jamais pu effacer : la diversité des substrats et des sols. Le territoire juxtapose en effet des situations pédologiques très contrastées, qui commandent directement la réserve en eau disponible pour les arbres et donc leur sensibilité à la sécheresse. Les grès vosgiens portent des sols acides, filtrants et pauvres, où l'eau transite rapidement et où les peuplements dépendent d'une alimentation hydrique régulière. Les plateaux et côtes calcaires développent des sols bruns souvent superficiels, dont la faible réserve utile explique la vulnérabilité des hêtraies aux étés déficitaires. Les marnes et argiles du plateau lorrain donnent au contraire des sols lourds et hydromorphes (sols saturés d'eau une partie de l'année), engorgés en hiver et desséchants en été, contraignants pour l'enracinement. Les alluvions des fonds de vallées, enfin, offrent des sols profonds et frais, longtemps favorables au frêne et à l'aulne, aujourd'hui menacés par d'autres causes. Cette mosaïque pédologique explique qu'une même essence puisse prospérer sur une station et dépérir à quelques kilomètres, et elle interdit toute réponse uniforme en matière d'adaptation : les grands choix sylvicoles devront être stationnels avant d'être généraux, et la sylviculture menée à l'échelle de l'arbre/patches plutôt qu'à celle des peuplements.

Cette histoire éclaire aussi la façon dont nous devons désormais penser la forêt. Elle rappelle que celle-ci ne peut plus être envisagée uniquement comme une ressource destinée à la production de bois, comme l'ont longtemps fait les politiques forestières. Le changement climatique conduit à réinterroger les objectifs de gestion en intégrant l'ensemble des services écosystémiques rendus par les forêts : production de bois, mais aussi préservation de la biodiversité, protection des sols, régulation du cycle de l'eau, stockage du carbone, qualité des paysages et maintien des usages sociaux. Cette multifonctionnalité n'a rien d'abstrait sur notre territoire. Les forêts de la Réserve de Biosphère et du Parc abritent une biodiversité remarquable, des hêtraies-sapinières d'altitude aux aulnaies-frênaies des fonds humides, et forment une trame boisée continue à l'échelle du massif ; elles jouent un rôle hydrologique majeur, en tête de bassin comme autour des étangs, en régulant l'infiltration et en soutenant les débits d'étiage que le changement climatique fragilise déjà ; elles stockent du carbone, dans la biomasse mais surtout dans leurs sols, fonction dont la sous-partie consacrée à l'atténuation montrera qu'elle n'est plus acquise ; elles façonnent enfin des paysages emblématiques et accueillent des usages sociaux et récréatifs devenus considérables — promenade, randonnée, cueillette, chasse, tourisme de nature —, fréquentation

appelée à croître avec la recherche de fraîcheur estivale, et qui constitue à la fois une valeur et une pression supplémentaire sur des milieux déjà fragilisés. Concilier ces fonctions, dont certaines entrent parfois en concurrence, est précisément ce qui rend l'adaptation forestière si difficile : il ne s'agit pas seulement de faire pousser des arbres dans un climat nouveau, mais de maintenir simultanément tout ce que la société attend de la forêt. La diversification des essences et des structures ne répond donc pas au seul enjeu de survie des peuplements face au climat futur ; elle vise aussi à préserver cette capacité des forêts à assurer durablement leurs multiples fonctions.

Cette histoire porte enfin trois enseignements pour l'avenir. Elle montre d'abord que la composition de la forêt a déjà été profondément transformée en deux siècles, ce qui signifie qu'elle n'est ni figée ni intouchable : la diversification des essences que ce chapitre examinera s'inscrit dans une longue tradition d'intervention sylvicole, non dans une rupture avec une nature supposément immuable. Elle rappelle ensuite que les choix forestiers engagent le très long terme, l'épicéa planté au XIXème siècle structurant encore le paysage et les difficultés d'aujourd'hui : planter un arbre, c'est parier sur le climat de plusieurs décennies plus tard. Elle enseigne enfin que les usages locaux, droits d'affouage et attachement des habitants à certaines essences, ne sont pas des obstacles à contourner mais des réalités avec lesquelles toute stratégie d'adaptation devra composer, comme l'ont fait, avec plus ou moins de bonheur, les forestiers des siècles passés.

2. Les forêts et la filière bois aujourd'hui : état des lieux, vulnérabilités et trajectoires d'adaptation

La forêt constitue l'une des composantes majeures du territoire de la Réserve de Biosphère de Moselle-Sud et du Parc naturel régional de Lorraine, à la fois par son emprise spatiale, par son rôle économique et par les fonctions écologiques qu'elle assure. Si l'on considère les grands massifs forestiers, mais aussi tout le maillage de petites forêts et bosquets supérieurs à 0,5 ha, la forêt couvre 115 600 ha pour le Parc (soit 54% de sa surface) et 94 100 ha pour la biosphère (soit 68% de sa surface). Si les chiffres du texte concernent uniquement les grands massifs alors elle couvre environ 82 200 ha (soit 38% de sa surface) à l'échelle du Parc naturel régional de Lorraine et 59 900 ha (soit 42% de sa surface) à l'échelle de la Réserve de Biosphère de Moselle-Sud, soit des taux de boisement respectifs de l'ordre de 38 et 42 %, supérieurs à la moyenne nationale qui est d'environ 32 %. Cette couverture n'est cependant pas homogène : elle se distribue en une mosaïque de types forestiers commandés par les sols et le climat, et c'est cette diversité qu'il faut d'abord décrire pour comprendre où et comment le changement climatique exerce déjà ses effets.

SURFACES (km²)	ZONE	
	RBMS	PNRL
Forêt ancienne	788	854
Forêt disparue	51	87
Forêt récente	103	215
Total forêt	941	1156
Surface totale	1393	2125
Surface avec essence cartographiée	599	822
Taux de boisement	68%	54%
Proportion forêts avec essences cartographiées	64%	71%
Proportion forêts anciennes déjà en 1850	84%	74%
Proportion forêts nouvelles apparues depuis 1850	11%	19%
Proportion forêts nouvelles disparue depuis 1850	4%	4%

Tableau 12 : Distribution par taille de forêt et par type de forêt (ancienne/récente/disparue) dans la Réserve de biosphère de Moselle Sud et du Parc naturel régional de Lorraine.

Essences	RBMS	PNRL	Proportion RBMS	Proportion PNRL
Chênes décidus	84.1657	105.5079	14%	13%
Conifères	33.1736	3.5609	6%	0%
Douglas	4.4796	0.5605	1%	0%
Feuillus	198.8917	524.4784	33%	64%
Hêtre	43.3275	94.4298	7%	11%
Mélèze	2.2544	0.4668	0%	0%
Mixte	70.1979	43.0509	12%	5%
NC	4.3318	8.0893	1%	1%
NR	16.4425	14.2185	3%	2%
Peuplier	1.4478	1.6730	0%	0%
Pin laricio, pin noir	0.0000	7.8723	0%	1%
Pin sylvestre	13.2669	4.4369	2%	1%
Pins mélangés	0.0000	2.3875	0%	0%
Robinier	0.0000	0.0566	0%	0%
Sapin, épicéa	126.7956	11.3298	21%	1%
TOTAL	598.7750	822.1192	100%	100%

Tableau 13 : Distribution de la mosaïque forestière de la Réserve de biosphère de Moselle Sud et du Parc naturel régional de Lorraine. Les cases grisées sont les essences qui diffèrent fortement entre les deux entités. Comme attendu, plus forte dominance feuillus sur le PNR et forte dominante conifères pour la RBMS. Les peuplements mixtes feuillus/résineux sont proportionnellement plus présents dans la biosphère que dans le PNR (hêtraie/sapinière). Les hêtraies pures représentent 7 % dans la biosphère et 11% dans le PNR mais il est probablement fortement présent dans le mélange feuillus (qui représente 64% des peuplements du PNR et 33% des peuplements de la biosphère). Si on suppose que 1/3 à la moitié des arbres de ces peuplements sont du hêtre, on retombe à peu près sur les 31% du texte. Les chênes sont en proportion relativement équivalente, mais comme indiqué dans le texte, la distribution inter essences de chêne varie probablement entre la biosphère et le PNR

2.1 Une mosaïque forestière commandée par les conditions environnementales

En parcourant le territoire d'ouest en est, on traverse une succession remarquable de paysages forestiers qui reflètent l'histoire géomorphologique de la région.

La nature du substrat géologique, grès, calcaires, marnes ou argile, y joue un rôle déterminant, car elle commande directement la quantité d'eau que le sol peut retenir et restituer aux arbres : les grès et les calcaires fissurés, très perméables, laissent filer l'eau en profondeur et exposent les peuplements à des sécheresses précoces, tandis que les marnes et les argiles, imperméables, retiennent l'eau et provoquent à l'inverse des engorgements hivernaux. À l'ouest, les plateaux et côtes calcaires jurassiques constituent l'épine dorsale forestière de la Lorraine centrale. Les Côtes de Moselle et de Meuse, reliefs de cuesta (relief en talus asymétrique, à versant doux d'un côté et abrupt de l'autre) orientés nord-sud, portent de remarquables hêtraies de plaine. Sur ces sols bruns calcaires bien drainés, la hêtraie pure ou faiblement accompagnée de chêne sessile (*Quercus petraea*) domine les plateaux entre 250 et 400 mètres d'altitude, gérée en futaie régulière depuis le XIXème siècle et produisant des bois d'œuvre de grande qualité. Sur les versants exposés au sud et les affleurements rocheux subsistent localement des chênaies pubescentes (*Quercus pubescens*) à caractère subméditerranéen, c'est-à-dire une végétation typique de climats plus chauds et plus secs que le climat lorrain actuel. Ces peuplements sont des témoins relictuels vestiges d'une répartition passée plus étendue d'une période postglaciaire plus chaude.
Au sein de ces côtes calcaires s'insère la vaste dépression de la plaine de la Woëvre, modelée dans les formations argileuses et marneuses du Jurassique. Ses sols lourds, à drainage souvent limité, ont historiquement favorisé une mosaïque d'aulnaies-frênaies (forêts humides de fonds de vallée et de bords de cours d'eau, dominées par l'aulne et le frêne) et de boisements feuillus adaptés aux excès d'eau temporaires. Les forêts y prennent la forme d'un réseau de boisements dispersés. La diversité des conditions hydriques contraste fortement avec les hêtraies calcaires des côtes voisines et constitue un élément majeur de la diversité écologique du territoire.

Entre ces espaces et le massif vosgien s'étend le plateau lorrain, région de collines et de dépressions argileuses façonnées dans les marnes du Lias et du Keuper. Les sols y sont parfois lourds, hydromorphes, engorgés en hiver, et les chênaies-charmaies à chêne pédonculé (*Quercus robur*) y dominent, Ces chênaies-charmaies, forêts de plaine associant le chêne au charme en sous-étage, sont accompagnées du frêne (*Fraxinus excelsior*) dans les fonds de vallons, alors que le chêne sessile, le hêtre et le charme dominent sur les sols plus favorables. Les forêts du Pays des Étangs, en Moselle-Est, illustrent cette sylve sur substrat argileux : les nombreux étangs médiévaux, créés pour la pisciculture et la sidérurgie, ont fragmenté le couvert et composé une mosaïque de milieux humides et forestiers d'une grande richesse écologique, où les aulnaies-frênaies occupent les rives.

À l'est, le massif vosgien présente un étagement forestier altitudinal (la végétation se répartit par paliers selon l'altitude et le refroidissement du climat) classique, sur des sols qui deviennent nettement plus acides. L'étage collinéen, largement défriché dans les vallées, conserve des chênaies-charmaies sur les versants chauds. L'étage montagnard, entre 600 et 1 100 mètres, est le domaine des hêtraies-sapinières, association

emblématique des Vosges gréseuses : sur les sols développés sur grès vosgien, le sapin pectiné (*Abies alba*) forme avec le hêtre (*Fagus sylvatica*) des futaies parmi les plus productives de France, dont les accroissements annuels peuvent atteindre localement 10 m³ par hectare. Ces forêts ont été largement enrichies en épicéa (*Picea abies*) depuis le XIXème siècle, héritage dont la sous-partie précédente a montré le caractère récent. Une filière bois structurante et un patrimoine écologique

La forêt du territoire n'est pas seulement un patrimoine écologique : elle soutient une filière bois complète qui alimente 55 000 emplois, de l'exploitation à la première et à la seconde transformation, héritière directe de la tradition du sciage et de la culture forestière lorraine forgée autour de l'École forestière de Nancy. Le hêtre y occupe une place économique centrale : il représente environ 31 % des arbres et près de 47 % de la récolte dans le Grand Est, ce qui rend toute fragilisation de cette essence immédiatement sensible pour la filière. Les résineux, épicéa et sapin, alimentent quant à eux le bois d'œuvre de construction et le bois d'industrie. Cette dimension économique explique que les crises sanitaires décrites ci-après ne soient pas seulement des événements écologiques : elles affectent directement les revenus des communes forestières, l'approvisionnement des scieries et l'équilibre d'une filière entière.

2.2 Des crises sanitaires révélatrices de la vulnérabilité climatique

Les deux dernières décennies ont confronté les forêts du territoire à une succession inédite de crises sanitaires, qui remet en question les fondements de la sylviculture traditionnelle. On observe à la fois des baisses de productivité et une augmentation des dépérissements, qui résultent le plus souvent d'une combinaison de facteurs — concurrence entre arbres d'une même espèce ou d'espèces différentes (compétition intra- ou interspécifique), conditions stationnelles locales, stress climatiques et attaques biotiques, c'est-à-dire causées par le vivant (insectes, champignons) — dont l'importance relative varie selon les espèces. Le changement climatique entraîne ainsi une augmentation de la mortalité naturelle, les stress climatiques de plus en plus nombreux et intenses affaiblissant les arbres et favorisant les agents pathogènes, ainsi que l'émergence d'un risque de feux de forêt, jusqu'alors considéré comme secondaire dans la région.

2.3 L'effondrement de l'épicéa

La crise de l'épicéa constitue le traumatisme le plus spectaculaire de cette dernière décennie. Introduit massivement dans les Vosges au XIXème siècle puis planté abondamment après-guerre, y compris dans des zones de plaine éloignées de son aire naturelle, l'épicéa commun a vu sa vulnérabilité révélée par les sécheresses répétées de 2018, 2019 et 2020. Affaiblis par le stress hydrique, les peuplements ont offert un terrain favorable au scolyte typographe (*Ips typographus*), petit insecte qui creuse des galeries sous l'écorce des épicéas et se multiplie de façon explosive quand les arbres sont affaiblis par la sécheresse ; il est habituellement régulé par les rigueurs hivernales et la vigueur des arbres. Les hivers doux ont permis à l'insecte de passer de deux à trois générations par an, et la pullulation a été explosive. De septembre 2018 à l'été 2023, le volume d'épicéa « scolyté » a atteint environ 22 millions de m³ à l'échelle des trois régions Grand Est, Bourgogne-Franche-Comté et Auvergne-Rhône-Alpes, le Grand Est

figurant parmi les plus touchées. Dans certains massifs vosgiens, des vallées entières présentent aujourd'hui un paysage de coupes rases où ne subsistent que quelques chicots écorcés. La saturation du marché du bois par ces volumes exceptionnels a aggravé la crise économique, et le retour de l'épicéa comme essence de production paraît désormais compromis aussi bien en plaine qu'en moyenne altitude ; des stades juvéniles sont toutefois observés dans la forêt du Grossmann.

2.4 Le dépérissement du hêtre

Essence emblématique des plateaux calcaires, le hêtre manifeste depuis quelques années des signes inquiétants de dépérissement, là même où il règne pourtant depuis des millénaires. Les symptômes sont multiples : houppiers clairsemés, mortalité des branches fines, nécroses écorcières (destruction des tissus de l'écorce), et mortalité d'arbres adultes en pleine vigueur apparente. Sur les sols superficiels des côtes calcaires, où la réserve utile en eau est le plus souvent faible, les hêtraies accusent durement le coup des sécheresses estivales. À l'échelle du Grand Est, un pic de mortalité a été observé en 2021 et au début de 2022, dans le prolongement des étés déficitaires, et le déficit foliaire du hêtre augmente graduellement depuis la fin des années 1990. Plus préoccupante encore est la moindre capacité de régénération : les faînées, autrefois régulières tous les cinq à sept ans, deviennent erratiques, et les semis souffrent de sécheresses qui compromettent leur enracinement.

2.5 La chalarose du frêne

Le frêne commun, essence précieuse des fonds de vallons et des forêts alluviales, subit depuis 2008 les ravages de la chalarose, maladie causée par le champignon ascomycète *Hymenoscyphus fraxineus*, originaire d'Asie orientale et introduit en Europe à la fin du XXème siècle. La maladie, qui touche aujourd'hui la quasi-totalité du territoire métropolitain, provoque le dessèchement des pousses, des nécroses corticales (destruction des tissus de l'écorce) et, dans bien des cas, la mort de l'arbre. Les travaux de l'unité Interactions Arbres-Micro-organismes d'INRAE Nancy montrent qu'en Lorraine, tous les frênes sont touchés, mais à un degré très variable, et qu'une fraction de la population manifeste une résistance apparente, vraisemblablement d'origine génétique. Cette observation est essentielle pour la gestion : il convient d'éviter une exploitation trop sévère des frênaies atteintes afin de préserver la régénération des individus résistants. En attendant, les aulnaies-frênaies se transforment progressivement en aulnaies appauvries, perdant une essence structurante de ces écosystèmes.

2.6 D'autres menaces émergentes

Au-delà des conséquences les plus visibles sur les essences les plus emblématiques de la région, une baisse de vitalité est observée sur la majorité des essences présentes, qui se traduit par un ralentissement de la croissance et une mortalité accrue. Le patrimoine forestier du nord-est de la France est particulièrement affecté, car il s'agit d'un des territoires les plus touchés par le changement climatique, et les peuplements en place, qui bénéficiaient de conditions climatiques favorables, ne sont pas toujours adaptés à l'augmentation des épisodes de stress. Le chêne lui-même, longtemps considéré comme robuste, voit son taux de mortalité augmenter significativement et sa défoliation (perte des feuilles) s'accentuer, sous l'effet d'un complexe associant pathogènes et insectes

défoliateurs dont les pullulations sont favorisées par les déséquilibres climatiques. À ces menaces s'ajoute celle de l'agrile du frêne (*Agrilus planipennis*), coléoptère ravageur d'origine asiatique aujourd'hui établi en Russie d'Europe et en Ukraine et qui progresse vers l'Europe de l'Ouest : absent à ce jour de France, où il figure parmi les organismes de quarantaine prioritaires, il constitue une menace future dont l'arrivée est jugée probable et difficile à enrayer. Ces menaces convergentes dessinent une trajectoire claire : peu des grandes essences du territoire, feuillues ou résineuses, échappent désormais à une forme de fragilisation, ce qui place la question de l'adaptation, examinée dans la sous-partie suivante, au cœur de l'avenir forestier.

Remarques : (1) les chiffres sont régionaux (Grand Est / 850 000 ha lorrains / 22 Mm³ sur trois régions) ; il faut leur substituer ou leur adjoindre nos données propres RBMS/ PNRL (surfaces, part de l'épicéa, essences dominantes). (2) La réserve utile de 60-80 mm des côtes calcaires est à confirmer pour nos stations.

3. Quelles forêts pour demain et quelles solutions d'adaptation ?

L'état des lieux dressé précédemment conduit à une question que ni les gestionnaires ni les scientifiques ne peuvent éluder : à quoi ressembleront les forêts du territoire dans plusieurs décennies, et que peut-on faire dès aujourd'hui pour accompagner leur transformation ? Y répondre suppose de croiser deux registres dont l'incertitude n'est pas de même nature : celui des projections climatiques, qui décrivent les conditions auxquelles les peuplements pourraient être confrontés selon les trajectoires de réchauffement, elles-mêmes dépendantes des choix socio-économiques et des politiques climatiques des prochaines décennies ; et celui de la réponse écologique et sylvicole, encore plus difficile à anticiper. Il convient donc de raisonner en termes de trajectoires probables et de marges d'action plutôt qu'en termes de prédictions, en gardant à l'esprit la distinction entre ce que les modèles établissent avec un niveau de confiance relativement élevé et ce qu'ils ne font qu'esquisser. Cette prudence a une conséquence concrète pour la gestion : elle plaide pour un suivi fin des peuplements permettant de réviser les aménagements à un pas de temps court (cinq ans) si nécessaire, plutôt que de figer des plans bidécennaux dans un contexte que l'on sait mouvant.

3.1 Les contraintes climatiques auxquelles les forêts devront s'adapter

Parmi ces contraintes, l'évolution du déficit hydrique des sols apparaît comme l'un des principaux facteurs limitants pour de nombreuses essences, en interaction avec l'augmentation des températures et la fréquence des épisodes extrêmes. Les scénarios les plus contraignants combinent un réchauffement fort et un assèchement estival marqué, dessinant pour le territoire un stress hydrique structurel auquel les peuplements actuels, hérités d'un climat tempéré frais, ne sont pas adaptés. La réduction des jours de gel et la multiplication des nuits tropicales, également documentées dans la partie climatique de ce cahier, modifieront par ailleurs les équilibres biologiques, en particulier la régulation hivernale des ravageurs comme le scolyte typographe, qui bénéficie à

la fois d'un affaiblissement de la santé des arbres et de conditions climatiques plus favorables à son développement.

3.2 Ce que les modèles de distribution suggèrent, avec prudence

Au-delà de ces signaux climatiques robustes, des modèles bioclimatiques (outils qui projettent, à partir de la répartition actuelle des essences et des scénarios climatiques, les zones géographiques favorables à chaque espèce) tentent d'anticiper à différents pas de temps l'évolution des aires favorables aux différentes essences. Leurs résultats doivent être lus avec prudence, car ils reposent sur des relations statistiques entre répartition actuelle et climat qui ne capturent ni la plasticité phénotypique des arbres (leur capacité à s'ajuster sans modification de leurs gènes), ni leur capacité d'adaptation génétique, ni la complexité des interactions biotiques. Sous cette réserve, ils convergent vers une tendance générale : un déplacement vers le haut, en altitude et en latitude, des conditions favorables aux essences actuelles. Le hêtre pourrait ainsi voir son aire climatiquement favorable se contracter, ne se maintenant durablement que dans les zones d'altitude des Vosges. L'épicéa, déjà fragilisé en plaine, pourrait se retrouver largement en dehors de sa niche climatique (l'ensemble des conditions favorables à une espèce), à l'exception des crêtes sommitales. Le sapin pectiné, plus tolérant à la sécheresse que l'épicéa mais sensible aux canicules, pourrait subsister dans les vallées vosgiennes fraîches, son avenir en plaine apparaissant compromis. Dans les scénarios les plus pessimistes, même les chênaies des côtes calcaires se trouveraient hors de leur optimum, le territoire évoluant vers des formations dominées par le chêne pubescent et des essences plus thermophiles.

Ces projections décrivent des enveloppes climatiques des essences : elles indiquent des potentialités à long terme, qui ne doivent pas être prises pour des certitudes, et ne permettent pas de prédire les dépérissements actuellement observés, lesquels répondent à des séquences d'extrêmes climatiques. Elles dessinent un champ des futurs possibles, utile à la planification, mais dont l'issue réelle dépendra de facteurs que les modèles intègrent mal : la capacité d'adaptation des populations d'arbres, la reconfiguration des interactions avec les pathogènes et les symbiotes, et la survenue de perturbations brutales (tempêtes, incendies, sécheresses extrêmes, invasions biologiques) susceptibles de précipiter des transitions qu'aucun modèle graduel ne prévoit. Des déplacements des aires de distribution sont d'ores et déjà observés, de façon plus marquée en montagne qu'en plaine. Les marges écologiques des essences ne sont pas toujours les plus touchées : des dépérissements importants sont constatés au cœur même de l'aire de distribution.

3.3 Les leviers d'adaptation, leurs incertitudes et leurs horizons

Face à ces évolutions, les gestionnaires forestiers explorent plusieurs stratégies dont l'efficacité reste à démontrer, et qu'il faut présenter comme des paris raisonnés plutôt que comme des solutions éprouvées. Ces leviers ne se déploient pas sur la même échelle de temps, et les hiérarchiser importe autant que les énumérer. Trois horizons se distinguent : la gestion des peuplements déjà en crise, qui agit dès maintenant ; la diversification et le renforcement du patrimoine existant, qui engagent les dix à trente

prochaines années ; et la migration assistée d'essences ou d'écosystèmes, dont les effets ne seront lisibles qu'à plus longue échéance et qui relève encore largement de l'expérimentation (voir 3.4).

À l'échelle de temps la plus courte, celle que vivent les gestionnaires face aux sécheresses et aux canicules répétées, la priorité est la gestion des peuplements en crise et la restauration après dommage. C'est le seul levier qui agit en deçà d'un cycle sylvicole. Après une coupe sanitaire, une tempête ou un incendie, laisser la végétation pionnière s'installer avant toute décision sylvicole permet de protéger le sol, de maintenir le tissu fongique et de préserver le cycle biologique du peuplement ; cette approche va à contre-courant des réflexes de reconstitution immédiate, mais elle limite l'appauvrissement des stations. Les modalités doivent rester stationnelles : l'andainage (regroupement des rémanents d'exploitation en cordons) se justifie sur les pentes pour limiter l'érosion, là où le maintien des résidus au sol est préférable en plaine. Il faut garder à l'esprit qu'une part de minéralisation de la matière organique suit inévitablement une perturbation majeure, mais que son ampleur varie fortement selon le substrat : rapide et sévère sur les grès vosgiens filtrants, plus lente sur les argiles lourdes du plateau lorrain. Cette variabilité interdit tout chiffrage général et renvoie, là encore, à une gestion à l'échelle de la station.

À moyen terme, sur dix à trente ans, l'enjeu est de diversifier et de renforcer le patrimoine forestier existant plutôt que de miser sur des introductions non testées. La diversification des essences constitue le levier le plus consensuel : aux peuplements monospécifiques, en particulier les pessières, on substitue des mélanges associant plusieurs essences et plusieurs structures d'âge, réputés plus résilients face aux aléas. Un peuplement diversifié répartit le risque entre des espèces aux sensibilités distinctes ; les bénéfices attendus restent cependant variables selon les essences associées.

Le renforcement du patrimoine génétique complète cette logique et engage moins de risques, car il capitalise sur ce qui existe déjà. Dans un contexte de sécheresses répétées, la régénération naturelle guidée des individus les plus résistants est une stratégie plus prudente qu'une plantation massive de provenances exotiques non éprouvées localement. Elle suppose de préserver les très gros bois et les arbres semenciers (les arbres âgés qui assurent la reproduction et constituent le socle génétique du peuplement, souvent aussi les plus riches en microhabitats), et de maîtriser l'équilibre forêt-gibier : sans régulation du chevreuil, la régénération naturelle reste théorique sur la majorité des stations lorraines. Ce point, souvent euphémisé dans les documents de gestion, conditionne pourtant l'efficacité de tous les autres leviers.

L'évolution des modes de gestion accompagne ces choix d'essences. La futaie régulière équienne (peuplement dont tous les arbres ont le même âge et sont récoltés ensemble), paradigme forestier lorrain depuis deux siècles, cède progressivement du terrain face aux futaies irrégulières et mélangées, où âge et essences sont entremêlés, jugées plus résistantes aux aléas. Le maintien d'un couvert forestier permanent, la maîtrise de la densité des peuplements et la limitation du tassement des sols améliorent le fonctionnement hydrique des stations, en atténuant les variations du microclimat, en favorisant l'infiltration et le stockage de l'eau et en modulant la consommation d'eau par les arbres. Ce dernier point mérite d'être souligné, car il est à la fois robuste et directement accessible : lors des pics de chaleur, l'intérieur d'un peuplement dense et feuillu reste plusieurs degrés plus frais que le milieu ouvert. Cet effet tampon (le rôle de

climatiseur naturel joué par le couvert forestier) plaide contre les coupes rases et pour le maintien d'un couvert continu partout où la station le permet. Enfin, la conservation de bois mort et d'îlots de sénescence (zones laissées vieillir naturellement, sans récolte) renforce la biodiversité fonctionnelle, notamment les communautés d'organismes du sol et les réseaux mycorhiziens (associations symbiotiques entre les racines des arbres et des champignons du sol, qui fournissent à l'arbre eau et éléments minéraux en échange de sucres issus de la photosynthèse, et relient les arbres entre eux), qui confèrent aux arbres une meilleure tolérance aux stress.

À plus longue échéance, la migration assistée prolonge la logique de diversification, mais soulève davantage de questions et doit être conduite avec prudence. Elle consiste soit à déplacer des provenances plus méridionales d'une même essence, soit à introduire des essences issues de régions au climat plus chaud et sec. Le projet Giono de l'ONF, qui a implanté dans le Grand Est des chênes et des hêtres de provenance méridionale, illustre la première approche, écologiquement la moins risquée puisqu'elle conserve l'espèce et son cortège associé. L'introduction d'essences exotiques est plus débattue : le douglas (*Pseudotsuga menziesii*), déjà largement planté, s'accommode des stations vosgiennes, mais son comportement en cas de sécheresses extrêmes interroge, d'autant que son climat d'origine est humide sur l'année mais sec en été ; le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), qui résiste bien à la sécheresse, voit son intérêt limité par sa sensibilité aux gels tardifs et son inflammabilité. Plusieurs écologues mettent en garde contre une généralisation prématurée de ces translocations (le déplacement volontaire d'espèces d'arbres vers des régions jugées mieux adaptées au climat futur), qui comportent des risques de mal-adaptation et de perturbation des écosystèmes d'accueil. La bonne graduation consiste à raisonner par patchs, en mosaïque, plutôt que par plantations monospécifiques sur de grandes surfaces : elle distingue la précaution écologique du pari industriel. On peut aussi accompagner la remontée d'essences natives proches, par exemple celle du chêne en altitude, plutôt que de recourir à des introductions lointaines.

3.4 Des axes d'expérimentation et de recherche à porter par la Réserve de Biosphère et le Parc

Une partie des propositions formulées pour le territoire ne relèvent pas encore de leviers opérationnels, mais d'axes d'expérimentation et de recherche que la Réserve de Biosphère et le Parc sont légitimes à porter. Les présenter comme tels, et non comme des solutions acquises, est une exigence de rigueur autant qu'un positionnement institutionnel utile. Le premier axe est la mise en place de dispositifs expérimentaux de gestion de crise. La diversité des situations du territoire (feuillus et résineux, montagne et plaine, sols contrastés) en fait un laboratoire naturel pour comparer, sur des placettes suivies, les itinéraires de restauration après dommage et les modalités de régénération assistée. Ces dispositifs supposent des infrastructures (pépinières, protocoles de suivi) que le PNRL et la RBMS ne possède pas seul et qui appellent des partenariats. Le deuxième axe concerne l'adaptation des forêts de petite surface et des propriétaires privés, domaine où ni l'ONF ni les grandes filières ne se positionnent, et où PNRL/RBMS disposent d'une légitimité territoriale particulière. L'enjeu est d'y construire des plans d'action réalistes, détaillés, étayés scientifiquement et chiffrés, à la mesure de propriétaires souvent démunis face au dépérissement.

Le troisième axe, le plus original, est la migration assistée d'écosystèmes, à distinguer de la migration assistée d'essences évoquée plus haut. Elle raisonne à l'échelle de l'habitat et non de l'espèce : il s'agirait de conserver, sur le territoire, des niches refuges pour des écosystèmes menacés plus au sud, tout en accompagnant la transformation progressive des aulnaies-frênaies lorraines déjà fragilisées par la chalarose. Cette approche est cohérente avec le mandat d'une réserve de biosphère, mais elle appelle deux réserves. La notion n'est pas encore stabilisée dans la littérature et doit être présentée comme une extension logique de la migration assistée d'essences plutôt que comme un concept établi. Surtout, elle suppose la disponibilité, à l'échelle du territoire, de frênes résistants à la chalarose. Les travaux de l'INRAE établissent l'existence d'une résistance vraisemblablement génétique dans une fraction de la population, mais la disponibilité de matériel végétal certifié en 2026 est encore limitée.

3.5 Une transformation inéluctable, une issue indéterminée

Il semble acquis que les forêts du territoire de la fin du XXIème siècle différeront profondément de celles que nous connaissons, de nombreux changements étant déjà visibles. Après des millénaires de coévolution relativement stable avec les sociétés humaines, ces écosystèmes entrent dans une période de turbulences, évoluant à une vitesse jamais expérimentée dans le passé et dont l'issue reste largement indéterminée, le rythme du changement excédant les capacités d'adaptation naturelle d'organismes sessiles (fixés au sol, incapables de se déplacer) à longue durée de vie. L'enjeu dépasse la seule production de bois : c'est la capacité des forêts à maintenir durablement l'ensemble des services écosystémiques qu'elles rendent au territoire qui est en jeu, qu'il s'agisse du stockage du carbone, de la préservation de la biodiversité, de la régulation du cycle de l'eau, de la protection des sols, de la qualité des paysages ou des usages récréatifs et culturels. La sagesse accumulée par les forestiers, forgée dans la stabilité relative de l'Holocène (période géologique actuelle, débutée il y a environ 11 700 ans), doit désormais être complétée par une approche expérimentale et prudente, qui accepte l'incertitude comme une donnée de la gestion plutôt que comme un obstacle. Par son mandat d'observatoire et d'expérimentation, la RBMS, associée au PNRL, dispose ici d'un atout particulier pour tester et évaluer ces stratégies d'adaptation à l'échelle d'un territoire, et pour porter les axes de recherche évoqués ci-dessus.

QUELLE HABITABILITÉ POUR DEMAIN ET QUELLES SOLUTIONS D'ADAPTATION ?

Silvia DE ANGELI
Enseignante chercheuse spécialiste en analyses multi-risques et en adaptation aux changements climatiques au LIEC

Augustine FULCRAND
Chercheuse au LIEC

Damien SCHUHLER
Patrimoine Vivant, association HUManitUS



Sarrebourg, plus grande ville du territoire

1. Regard sur les modes de vie et de l'habitabilité d'hier et d'aujourd'hui

« La vie n'est supportable que si l'on y introduit non pas de l'utopie mais de la poésie, c'est-à-dire de l'intensité, de la fête, de la joie, de la communion, du bonheur et de l'amour. » Edgar MORIN.

1.1 Sociabilité et environnement immédiat

Les modes de vie étaient autrefois essentiellement tournés vers l'extérieur ; en Lorraine, on avait l'usage par exemple du Couarail ou Couoroye (rassemblement extérieur pour causer ou réaliser des tâches individuelles ou collectives ensemble), veiller durant les douces soirées d'été, ou simplement rester assis sur un banc en façade de sa maison. Aujourd'hui, le mode de vie est tourné vers l'intérieur du foyer (écrans, cellule familiale restreinte, et pas forcément ensemble). On remarque souvent les voitures stationnées devant les maisons (donc habitants présents), et pourtant le passant a un sentiment de village désert et morne.

1.2 Espaces de cette sociabilité

L'esthétique n'était pas toujours la priorité, les usoirs lorrains, parfois très étendus, n'étaient pas forcément entretenus, et l'utilité sociale primait. L'usoir, qui appartient à la collectivité était un lieu de stockage, de réalisation de tâches, de divagation des animaux. Les espaces de sociabilité existaient devant les maisons, sous un arbre, un coin ombragé, et ils se sont structurés au courant du 19ème siècle : lavoir, fontaine, parvis de l'église, halle ou place, ateliers d'artisans, etc. Ces espaces extérieurs ont progressivement été dénaturés dans les villages et les bourgs : de plus en plus de parkings bitumés et en plein soleil sont apparus, associés à des éléments d'architecture non maîtrisés, des aménagements urbains mal pensés, et surtout la place de la voiture qui a envahi l'espace. Il est possible aujourd'hui de repenser des espaces agréables et esthétiques collectifs et extérieurs au regard des changements climatiques : zone d'ombre, banc confortable, éclairage pensé, éléments naturels.

1.3 Rapport au jardin et abords

Le soin apporté aux espaces était tout relatif, si l'on tient compte des formes de vétusté de l'habitat et des points d'attention qui n'étaient pas les mêmes, avec un mode de vie plus frustre. L'usoir, nous l'avons dit, était plus voué à sa fonction de stockage, bien que souvent agrémenté d'un rosier ou d'un arbre fruitier en espalier. Chaque génération plantait des arbres, sans en récolter les fruits pour lui, mais pour les générations futures. Aujourd'hui, les vergers sont beaucoup moins entretenus, on ne vient plus forcément cueillir les fruits. Les arbres ne sont pas replantés. Un autre phénomène est plus marqué en Lorraine qu'en Alsace par exemple : les abords sont peu entretenus, non valorisés et peu embellis. Ajoutons à cela les clôtures souvent en plastiques et matériaux non durables, polluants et peu esthétiques, et la manie des tontes rases du jardin à la place du potager ou des espaces fleuris. Et un constat se répand, induit par les modes de vie centrés sur l'individualité et le repli sur les espaces intérieurs : moins de fleurissement,

moins de plantes locales, peu de nichoirs et de points d'eau dans les jardins, peu de gestion de composts individuels. Et même les jardins tondus sans cesse ne sont pas forcément investis par les familles tournées vers la vie confinée en intérieur.

Les réponses pour remédier à ces constats dans un futur proche existent. Inviter les habitants à réinvestir les jardins, vergers et abords, dans des actions collectives (cueillettes puis atelier de confection et dégustations), puis par des sensibilisations et prises de conscience individuelles : réflexion sur la place des nichoirs ou du compost. C'est aussi réexpliquer et donner l'occasion de sentir l'apport de bienfaits issu de la vie en plein air, de la charge esthétique, de la fraîcheur, occasions de partages, d'une meilleure alimentation, de conscience des changements et des saisons, etc. Bref, réinvestir une vie du quotidien tournée vers l'extérieur, et ce dès le plus jeune âge : dons de graines et de plants, bourses d'échange ; cueillettes saisonnières de comestibles locaux (sureau, églantier, aubépine, prunelle, origan, etc.) ; diffusion de recettes et ateliers culinaires collectifs après reconnaissance et cueillette sauvage ; démarche individuelle auprès des habitants ; dynamique de « Deal écologique » ou adhésion à un cercle vertueux. Il y aurait aussi un intérêt pour les communes à replanter des vergers collectifs en cueillette libre, à valoriser les usoirs en herbe et arborés, à installer des bancs dans un espace plaisant et frais, à montrer l'exemple avec des tontes raisonnées (cercles ou tontes de bordure, cheminements, zigzags, fleurs de prairies), à créer des prairies fleuries ou des bandes cultivées de plantes locales (lin, chanvre, céréales mêlées de pavots) sous forme de parcelles témoins de cultures qui étaient courantes dans le territoire et potentiellement mieux adaptées aux changements climatiques.

1.4 Rapport a l'eau

L'eau « vive » était très présente dans le quotidien des habitants, déjà autour de tâches pénibles comme celle de devoir puiser l'eau avant l'arrivée de l'eau courante, ou de faire sa buée ou lessive à la cendre à la maison. On devait abreuver les bêtes à la fontaine, les laver au guéoir. La tâche du battage et rinçage de la lessive au bord du ruisseau, à genoux dans une caisse, s'est allégée avec la diffusion des lavoirs maçonnés qui étaient aussi des lieux de rencontres. Un peu partout sur le ban de la commune, on profitait de sources vives et de fontaines. Moulins à aube avec son bief, étangs, ruisseaux, mares aux oies, mardelles, zones humides complétaient la panoplie des aménagements en lien avec l'eau. L'eau était aussi présente dans des usages et rituels : divination avec des épingles ou un linge ; culte, dévotions, aspersions et immersions ; bousculades du Renouveau ; jeux d'eau à l'automne ; Chan golo et la noyade du Keulô ou Dernier Né. Tous ces rites avaient une grande importance et incarnaient le renouvellement cyclique de l'eau, par exemple via l'Eau Nouvelle et le Feu Nouveau durant le cycle des 12 Nuits de Noël ou au Renouveau. Aujourd'hui, l'eau ne vient plus que du robinet, et renvoie une nouvelle fois à la sphère privée. Dehors, on ne s'alarme pas suffisamment des ruisseaux qui sont à sec. Sources et fontaines coulent de moins en moins. Et il faut aller en ville pour avoir à nouveau un contact avec l'eau : jeux d'eau sur les places, grande fontaine avec jet, jardin public.

Pour un rapport à l'eau plus adapté aux changements climatiques , il nous faudra aussi nous refamiliariser avec la présence de l'eau dans le quotidien : source de fraîcheur, de bien être, apaisement par le bruit de l'écoulement de l'eau, convivialité, eau courante, parfois vertus, esthétique quand il y a une belle fontaine, une jolie source. Mais avec en plus le paramètre de la préservation de la ressource. L'eau représente un point d'intérêt

pour les promeneurs/randonneurs, en ayant un accès libre et gratuit à une eau vive. Cela participe à l'esthétique et qualité de vie d'une commune, associé au fleurissement et à des points d'ombrage. Lors des grandes chaleurs, ces espaces ou aménagements permettent de tremper les pieds, de s'asperger, de jouer, de pique-niquer au frais : le lavoir est réinvesti en lieu plaisant et bucolique, baquet de fontaine, guéoir, renaturation de ruisseaux, sources. Le patrimoine culturel immatériel devient par l'intégration de la dimension écologique, des points de vue qualitatifs et quantitatifs, et par sa capacité à redonner une vision symbolique à l'eau, source de vie et de mythes, un atout indéniable à l'adaptation aux changements climatiques.

1.5 Rapport a une esthétique naturelle

Autrefois, dans les gestes de l'artisan, du maçon, du jardinier, de la cuisinière, de la brodeuse qui fabriquait et qui personnalisait ses outils, il y avait une recherche du fonctionnel mais aussi une quête du Beau, de l'esthétique. Les objets fait-maison du quotidien, en matériaux naturels, étaient soignés et entretenus. On les transmettait de génération en génération (par exemple la crécelle à Pâques), avec la charge affective qui leur était attribuée. Il y avait peu de déchets non naturels, ce qui n'empêchait pas certaines activités artisanales de polluer, comme les tanneries, et on gardait longtemps ses outils et instruments. On trouvait nombre de motifs symboliques (autrefois protecteurs : roues de vie, cœurs, soleils, svastikas) et illustrations naturalistes (animaux domestiques et sauvages, fleurs, arbres, fruits, …) sur des objets de la vie quotidienne, objets décoratifs, rituels ou culinaires, les linteaux de portes, sur les meubles, etc. Aujourd'hui, ces objets ont perdu leur caractère unique et de transmission, de par leur confection industrialisée, souvent en matière plastique, ni durable ni renouvelable. On achète sans vraiment réfléchir, et on génère plus de déchets, en saturant les points de collecte et déchetteries, et donc les solutions de revalorisation. Ainsi trouve-t-on dans les jardins des jeux en plastique volumineux (durée de vie moyenne de 3 ans), de l'outillage en plastique qui s'abîme très vite, des clôtures inesthétiques en plastique qui se dispersent en miettes dans l'environnement. Partout en campagne, les déchets sont de plus en plus visibles : restes de bâches et emballages agricoles, usages domestiques, déchets de la malbouffe, mouchoirs non dégradables. L'omniprésence de la voiture autour de l'habitat ne fait que renforcer ce sentiment d'un cadre de vie de moins en moins esthétique.

A l'avenir, les habitants devront réinvestir des gestes écologiques et de bon sens pour retrouver un territoire agréable à vivre qui réaffirme un ancrage local et écologique des matériaux ; murs, tuiles, usages détournés de bâtisses locales. Il faudra apprendre à renouer avec une esthétique dans les objets du quotidien ou de décoration, les petits aménagements, les matériaux de construction. Et limiter considérablement la généralisation du plastique, même dans les aménagements urbains et routiers. Retrouver les petits sentiers de desserte allant d'un point à un autre dans le village ou en périphérie entre les jardins, les murets de pierre, des panneaux esthétiques, des haies vives, des détails architecturaux (grille de fer forgé, statuette, symboles gravés/sculptés/peints, vitrail, motif). Tout ce qui peut porter une charge esthétique et poétique. Avoir des possibilités de s'asseoir avec une vue dégagée et plaisante sur le village, un point de vue, une perspective. Pouvoir jouir de zones ombragées agréables à fréquenter dans un espace pensé, avec de la végétation, avec des chant des oiseaux. Grâce à l'expérience quotidienne qu'ont les habitants de cette esthétique naturelle, les transformations sociétales liées au changements climatiques peuvent être facilitées,

notamment dans le cadre de solutions fondées sur la Nature.

1.6 Rapport a l'environnement autour de soi

Dans les modes de vie traditionnels, tous les usages étaient en prise étroite avec l'environnement. L'humain avait un intérêt à exploiter une nature rude, mais de façon durable, ce qui ne fut pas le cas dans les contextes d'industrialisation avec les pollutions importantes, comme la rue des tanneurs et la Seille à Metz, ni dans le Pays de Bitche lorsque les communautés rurales ont surexploité les ressources par exemple en dénudant les sols de forêt pour recueillir de la litière de feuilles. Nous avons déjà souligné également le rôle essentiel des vergers en couronne de communes, qui fournissait un appoint important de réserves alimentaires, surtout lorsque se sont développé les techniques de conservation. Quand un territoire était exploité, on avait besoin d'accéder en tout point : aux champs, aux prairies, aux points d'eau, aux lieux de collecte des ressources (sable, gravier, argile, calcaire). Le finage était tellement vécu pour ses caractéristiques qu'on était capable de désigner chaque parcelle par un toponyme précis qui la caractérisait (ces toponymes se sont fixés et ont traversé le temps, avec une croissance au cours du 19ème siècle). Aujourd'hui, la société moderne de consommation s'est déconnectée de son environnement, on ne dépend plus de lui, on ne mange plus ce que le territoire pourrait produire ou produit encore : vergers abandonnés, haies comestibles. On n'a plus conscience des cycles et de la saisonnalité puisque notre quotidien n'y est plus inscrit, par exemple réduire son activité en hiver ou vivre dehors à la belle saison. On a perdu le profit des goût offerts par la nature à certaines saisons : origan sauvage, aspérule odorante, aubépine et églantier, prunelle, sureau, etc.

Demain, il faudra dans un contexte de tension, économique dans la société et budgétaire dans les foyers, et peut-être de diminution des ressources naturelles disponibles, réinvestir de façon raisonnée les plantes comestibles locales en cueillette libre ou sauvage. L'adaptation passera par l'apprentissage à nouveau de ces gestes simples, renouer avec la connaissance de la toponymie locale qui parle des lieux, par un balisage, des signalétiques discrètes, permettre de retrouver des usages, une connaissance du terroir et de son histoire locale, de réintroduire des termes dans le vocabulaire quotidien. Il s'agira de repenser les accès et les cheminements permettant d'aller en tout point du finage et de faire des boucles, et d'accéder à de beaux points de vue. Les cheminements ombragés pour les randonneurs et promeneurs deviendront un sujet à ne pas négliger, tout comme l'importance des haies vives (ombre, diversité, refuge d'espèces, préservation des sols, cueillettes). De même, dans un contexte de mobilité réduite, l'importance des petits marchés locaux et paysans grandira, où chaque habitant peut proposer sa petite production ou surplus s'il le désire. Dans cette réflexion, il est nécessaire d'intégrer le petit Patrimoine bâti, avec sa charge esthétique et bucolique, son charme, son utilité en cas de forte chaleur ou de pluie, son intégration logique dans le paysage par rapport à des constructions modernes et uniquement fonctionnelles. Il s'agit donc de revisiter de façon contemporaine, par la recherche d'archives par exemple, des bâtiments accessibles à chacun en matériaux locaux pour en changer la vocation.

L'adaptation au changements climatiques devra s'inspirer plus de ces approches contemporaines qu'à une préservation à tout prix d'un Patrimoine dévitalisé, ancien et figé dans une nostalgie d'un passé reconstruit. Oui, il est intéressant de restaurer

une église, un château, ou un calvaire. Mais pourquoi le faisons-nous ? Pourquoi notre société se crispe autant sur la préservation du passé ? Le château n'est plus là pour se défendre, l'église n'accueille plus forcément de culte, le calvaire ne fait plus l'objet d'une dévotion des passants. Mais reste la charge affective et esthétique, le lieu d'une mémoire utile, et la possibilité de réinvestir autrement un lieu. Chaque génération « construisait » quelque chose de neuf pour soi ou les générations futures, chaque paysan replantait des arbres fruitiers. Le débat est le même sur le Patrimoine Immatériel. Retrouver l'essence qui reliait le vivant autour d'un corps collectif, par les cycles, les saisons et le lien réactualisé (mythes incarnés et rites annuels dans toutes les sociétés traditionnelles) entre les hommes et le monde qui les entoure. Ou crispation sur un folklore désuet et de prétendues « traditions » qui en fait ne remontent pas au-delà de 3 ou 4 générations. Rappelons que le mot Noël en Lorraine (Nouwé), et dans les deux tiers de l'hexagone, signifie Renouveau à un moment de l'année qui était vécu comme un rite de passage de l'ombre vers la lumière, matérialisé par les 12 Nuits de Noël, Nuits rudes, Nuits hors du temps. Cela se passait encore au début du 20e s, dans un équilibre harmonieux entre le religieux et le profane. Mais le profane a précédé le fait religieux et il est parvenu jusqu'à nous, en préservant ce lien entre les humains, la nature et le monde.

2. L'habitabilité : un nouveau cadre pour penser l'adaptation

Le changement climatique, combiné à des facteurs de stress non climatiques, menace l'habitabilité des territoires pour les sociétés humaines (Sterly et al., 2025). L'interaction complexe de multiples facteurs accroît l'incertitude, mettant les parties prenantes au défi de prendre des décisions à long terme. Renforcer les connaissances et la sensibilisation des décideurs est essentiel pour naviguer dans cette incertitude et développer des stratégies d'adaptation efficaces.

Si l'habitabilité a récemment été reconnue comme une condition importante dans les études sur l'adaptation, sa définition et sa conceptualisation font encore l'objet de débats (Farbotko & Campbell, 2022). Certaines études se concentrent sur des aspects matériels, tels que le logement, l'alimentation et l'eau, avec une approche descendante, qui néglige les savoirs locaux et les besoins des communautés concernées (Janoth et al., 2024).

Des travaux plus récents plaident pour une compréhension plus large, nuancée et contextualisée de l'habitabilité, intégrant également des dimensions immatérielles et intergénérationnelles, comme par exemple les opportunités économiques, les moyens de subsistance et le bien-être humain à travers les générations (e.g., Bennett et al., 2019; Pleijel et al., 2022; Spencer et al., 2024). Néanmoins, les approches localement contextualisées restent rares dans les évaluations de l'habitabilité, bien qu'elles soient essentielles pour comprendre les vulnérabilités locales, les capacités d'adaptation et les réponses socialement acceptables (Horton et al., 2021).

Dans cette perspective, l'habitabilité ne constitue pas seulement un objet d'analyse scientifique, mais peut également transformer en profondeur l'action publique. Faire de l'habitabilité un principe directeur explicite revient à orienter les politiques publiques vers le maintien et l'amélioration des conditions de vie, aujourd'hui comme pour les générations futures. En jouant un rôle de pont entre adaptation, durabilité, gestion des risques et résilience territoriale, elle offre un cadre intégrateur centré sur le maintien des conditions d'existence, humaines et non humaines. Une telle approche suppose enfin d'élargir les critères d'évaluation de l'action publique aux dimensions du bien-être et d'associer étroitement les citoyens et les acteurs locaux à la co-construction des diagnostics et des solutions, afin de garantir des réponses adaptées, légitimes et socialement acceptables (Norström et al., 2020).

Dans ce contexte, comprendre comment les habitants définissent eux-mêmes un territoire habitable constitue un préalable essentiel à l'élaboration de politiques publiques d'adaptation ancrées dans les réalités locales. L'enquête réalisée auprès des habitants de la Réserve de biosphère de Moselle Sud dans le cadre du projet LIFE BIOSPHER'ADAPT apporte, à cet égard, un éclairage particulièrement utile.

3. Comment les habitants définissent-ils un territoire habitable ?

Les résultats de l'enquête (RBMS, 2026) montrent que les habitants perçoivent l'habitabilité comme reposant avant tout sur un socle environnement – santé – alimentation. Les cinq critères obtenant les scores moyens les plus élevés (Figure 35) sont en effet la qualité et la disponibilité de l'eau potable (4,7/5), la qualité de l'air (4,5/5), l'accès aux soins (4,4/5), la préservation de la biodiversité (4,3/5) et la présence de terres agricoles favorisant une alimentation durable (4,3/5). À l'inverse, les espaces publics (3,6/5), et les activités culturelles (3,6/5) obtiennent des scores inférieurs, bien qu'ils demeurent considérés comme importants. Aucun critère n'est jugé négligeable (tous ≥ 3,6), mais la hiérarchie est nette : ce qui rend le territoire vivable, c'est la santé du corps et du milieu naturel.

Une seconde question indépendante confirme cette hiérarchie des priorités. Lorsqu'ils sont interrogés sur les raisons de rester vivre ou travailler dans la Réserve de biosphère, les répondants citent très largement la qualité de vie environnementale (83 %), loin devant l'accès aux soins (46 %), la proximité familiale (41 %), ou encore la sécurité personnelle (41 %).

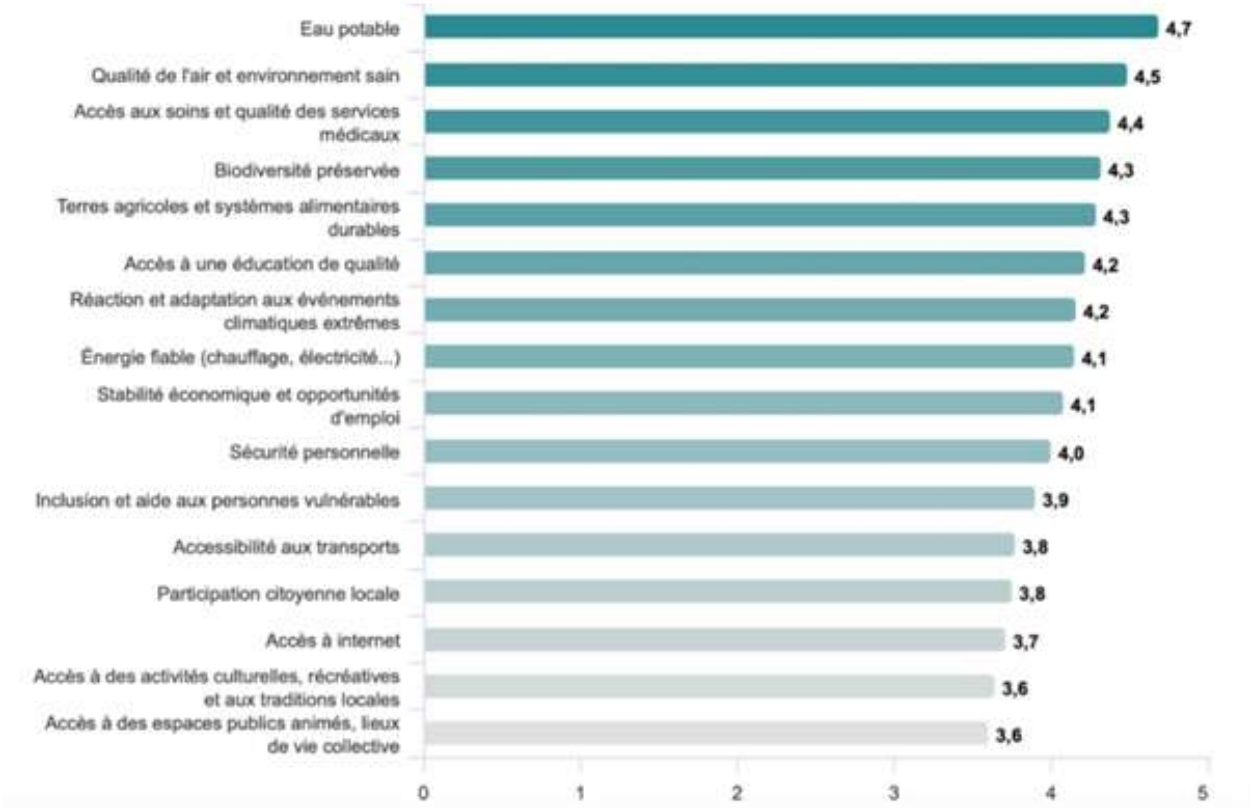


Figure 35. L'importance accordée par les habitants de la Réserve de biosphère de Moselle Sud aux différents critères qui contribuent à l'habitabilité du territoire. Les valeurs correspondent aux scores moyens obtenus sur une échelle de 1 (« pas du tout important ») à 5 (« très important »). Source: RBMS (2026).

Cette vision de l'habitabilité s'accompagne d'une forte conscience des effets du changement climatique. 63 % des répondants estiment que les risques climatiques vont s'aggraver fortement au cours des dix à vingt prochaines années, tandis que 65% considèrent le changement climatique comme un problème urgent.

4. Le prisme de l'habitabilité

Pour opérationnaliser la notion d'habitabilité, nous nous appuyons sur le prisme de l'habitabilité développé dans le cadre du projet de recherche Habi(Li)ter (De Angeli et al., 2025). Porté par l'Université de Lorraine, ce projet vise à mieux comprendre et co-définir les conditions qui rendent un territoire habitable face aux changements climatiques et aux risques futurs, en mobilisant une approche interdisciplinaire associant des dimensions environnementales, sociales et territoriales.

Le prisme de l'habitabilité repose sur une approche multidimensionnelle, considérant qu'aucun indicateur isolé ne peut rendre compte de la capacité d'un territoire à offrir des conditions de vie durables. Il s'appuie sur la littérature scientifique (Horton et al., 2021 ; Pleijte et al., 2022 ; Janoth et al., 2024; Duvat et al., 2021) et distingue cinq dimensions complémentaires qui, ensemble, couvrent les principaux facteurs conditionnant la qualité de vie des populations ainsi que leur capacité à faire face aux effets du changement climatique.

• La résilience environnementale regroupe les éléments liés au fonctionnement des écosystèmes et à leur capacité à atténuer les impacts du changement climatique. Elle comprend notamment la biodiversité, les services écosystémiques, les ressources naturelles et l'exposition aux aléas climatiques.

• Les besoins primaires, la santé et la sécurité concernent les conditions essentielles à la vie quotidienne : l'accès à l'eau potable, à une alimentation de qualité, aux soins de santé, à un environnement sain, ainsi qu'aux conditions générales de sécurité.

• La connectivité désigne l'accessibilité du territoire. Elle englobe les réseaux de transport, la mobilité quotidienne, la connexion aux pôles urbains ainsi que l'accès aux principaux services.

• La prospérité économique et les opportunités reflètent la capacité du territoire à offrir des emplois, une activité économique diversifiée, des possibilités de formation ainsi que des conditions favorables au maintien des populations.

• Enfin, l'inclusion et l'empowerment regroupent les dimensions sociales de l'habitabilité. Elles comprennent la participation citoyenne, la solidarité, la vie associative, l'accès aux activités culturelles et récréatives ainsi que les facteurs contribuant au bien-être individuel et collectif.

Ces cinq dimensions (Figure 36) constituent un cadre d'analyse cohérent permettant d'appréhender simultanément les différentes composantes de l'habitabilité. Elles servent également de base à la construction d'un indice territorial présenté dans la section suivante.

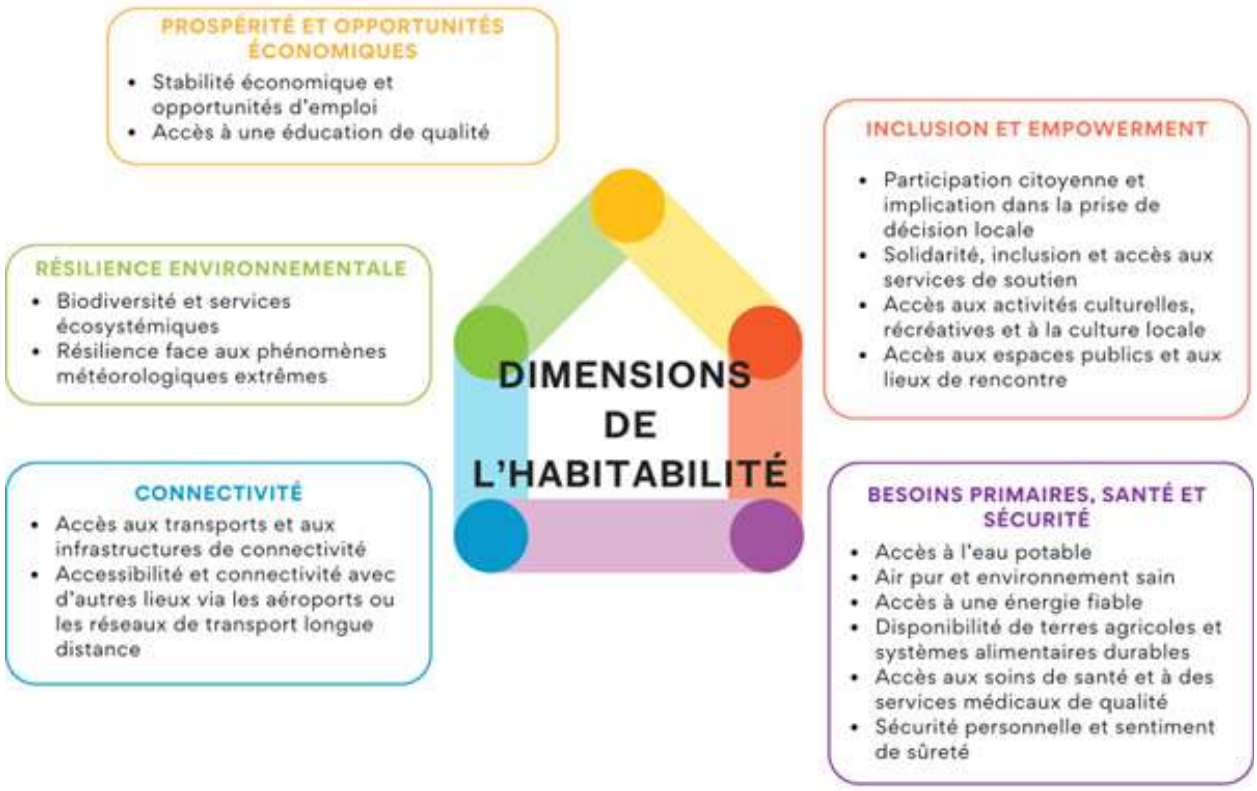


Figure 36 : Prisme de l'habitabilité développé dans le cadre du projet Habi(Li)ter, structuré autour de cinq dimensions complémentaires issues de la littérature scientifique et mobilisées pour l'analyse et la construction de l'indice d'habitabilité.

5. Évaluer les conditions d'habitabilité du territoire : une approche par indicateurs multidimensionnels

À partir du cadre conceptuel présenté précédemment, dans le cadre du projet Habi(Li) ter, les cinq dimensions du prisme de l'habitabilité ont été traduites en indicateurs territoriaux d'habitabilité applicables à l'échelle nationale française (Fulcrand et al., 2026). Pour chacune des cinq dimensions, des indicateurs quantitatifs ont été sélectionnés à partir de la littérature scientifique et des bases de données disponibles. Le choix des indicateurs repose sur plusieurs critères : leur pertinence au regard de la dimension étudiée, leur disponibilité à une échelle territoriale adaptée, la fiabilité des sources mobilisées et leur capacité à rendre compte des différentes composantes de l'habitabilité dans les territoires français.

Les indicateurs sont organisés selon une structure hiérarchique, dans laquelle les indicateurs individuels sont regroupés en sous-sections puis en sous-dimensions, elles-mêmes associées aux cinq dimensions générales de l'habitabilité. Cette organisation permet de structurer l'analyse et d'appliquer différents schémas de pondération aux différents niveaux d'agrégation, en attribuant, si nécessaire, des poids spécifiques aux indicateurs, aux sous-dimensions et aux dimensions lors du calcul des scores d'habitabilité. Les données issues de différentes sources nationales et territoriales sont ensuite harmonisées et traitées dans un environnement de système d'information

géographique (notamment QGIS). Les indicateurs sont calculés et agrégés à l'échelle des Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI), retenus comme niveau territorial de référence pour l'analyse, afin de permettre une comparaison homogène entre territoires. Afin de rendre les indicateurs comparables, chaque variable est standardisée sur une échelle commune allant de 0 à 100, correspondant à un gradient allant de la situation la moins favorable à la situation la plus favorable en matière d'habitabilité. Une analyse de la cohérence des indicateurs est également réalisée afin d'identifier d'éventuelles redondances et de garantir la pertinence des dimensions construites. Les indicateurs standardisés sont ensuite agrégés selon la structure hiérarchique définie : d'abord au niveau des sous-sections, puis des sous-dimensions, et enfin des cinq dimensions de l'habitabilité, afin d'obtenir un profil territorial d'habitabilité multidimensionnel pour chaque EPCI.

La méthodologie est ensuite appliquée au cas d'étude de la Réserve de biosphère de Moselle Sud afin d'analyser les dynamiques territoriales d'habitabilité à une échelle locale. Les résultats sont représentés sous forme cartographique afin d'examiner la distribution spatiale des différentes dimensions de l'habitabilité au sein de ce territoire. Ces représentations constituent un support pour mieux comprendre les contrastes territoriaux et accompagner la réflexion sur les stratégies d'adaptation. La figure 3 présente les scores d'habitabilité (0-100) de la Réserve de biosphère de Moselle Sud selon le scénario hiérarchique B, où toutes les dimensions et tous les indicateurs sont pondérés de manière égale.

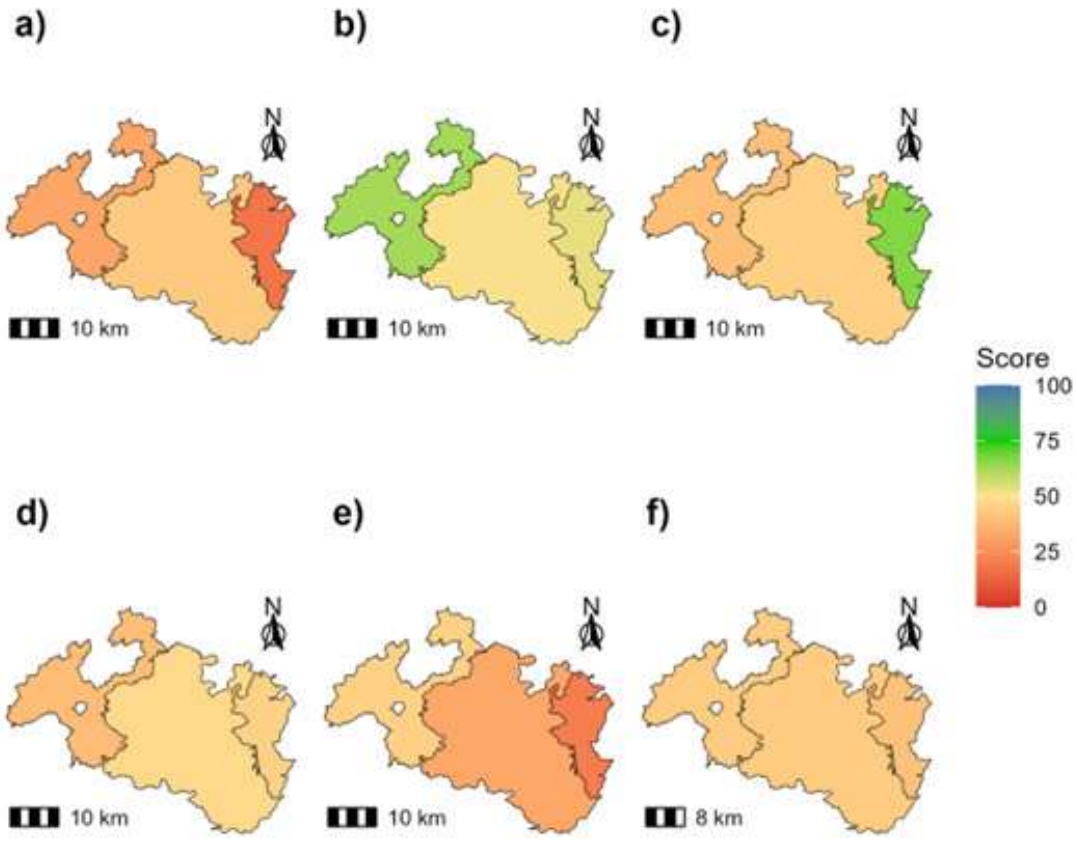


Figure 37 : Scores d'habitabilité (0-100) pour la Réserve de biosphère de Moselle Sud selon le scénario hiérarchique B, où toutes les dimensions reçoivent le même poids et, au sein de chaque dimension, les poids sont répartis de manière égale entre les indicateurs, pour (a) la Dimension 1 – Résilience environnementale ; (b) la Dimension 2 – Besoins primaires, santé et sécurité ; (c) la Dimension 3 – Connectivité ; (d) la Dimension 4 – Prospérité économique et opportunités ; (e) la Dimension 5 – Inclusion et empowerment; (f) l'ensemble des dimensions.

L'analyse par dimensions révèle des profils contrastés. La résilience environnementale (a) reste modérée à faible, surtout dans la CC du Pays de Phalsbourg. À l'inverse, les besoins primaires, santé et sécurité (b), constituent le point fort du territoire, le Saulnois en tête. La connectivité (c) avantage nettement Phalsbourg, tandis que la prospérité économique (d) demeure intermédiaire, avec un léger avantage pour la CC de Sarrebourg-Moselle-Sud. L'inclusion et l'empowerment (e) apparaissent comme le maillon faible, notamment au centre et à l'est. La synthèse (f) lisse ces écarts et fait converger les trois intercommunalités vers des scores intermédiaires et homogènes, masquant toutefois des contrastes dimensionnels et est-ouest marqués.

Un focus sur la résilience environnementale (a) met en évidence le rôle différencié des indicateurs mobilisés. Les résultats traduisent notamment des écarts dans la gestion et la protection des milieux naturels : bien que le PNR de Lorraine recouvre principalement la CC du Saulnois dans le cadre de la RBMS, la CC de Sarrebourg présente un nombre plus important de zones d'intérêt ou protégées et semble adopter une gestion moins intensive de ses forêts. À l'inverse, certains indicateurs liés à la prévention des risques soulignent des fragilités : les CC du Saulnois et du Pays de Phalsbourg semblent présenter des performances plus faibles en matière de gestion préventive, malgré des risques géologiques importants dans le premier cas et un nombre accru de catastrophes naturelles dans le second.

Ces résultats ne doivent pas être considérés comme une évaluation en tant que telle, mais plutôt comme un outil permettant d'alimenter et de faciliter le dialogue autour des enjeux du territoire. Les scores traduisent des choix méthodologiques (indicateurs, données, pondérations) qui doivent être explicités et discutés avec les élus, les gestionnaires de la réserve et les habitants, afin de contextualiser les enseignements au regard des réalités locales et d'identifier collectivement les priorités d'action. Cette démarche participative, en cohérence avec l'esprit des réserves de biosphère, est essentielle pour transformer un diagnostic quantitatif en leviers de gestion partagés.

6. Quelles actions pour préserver l'habitabilité ?

L'enquête réalisée auprès des habitants de la Réserve de biosphère dans le cadre du LIFE BIOSPHER'ADAPT (RBMS, 2026) permet également d'identifier les principales actions perçues comme nécessaires pour préserver l'habitabilité du territoire face aux changements climatiques. Les priorités exprimées par les habitants de la Réserve s'inscrivent principalement dans les dimensions de la résilience environnementale et des besoins essentiels du prisme de l'habitabilité.

Une meilleure gestion de l'eau constitue l'action la plus largement citée (58 %), suivie de la protection et de la restauration des milieux naturels (56 %) et du développement d'une agriculture durable (56 %). Ces résultats montrent que les habitants associent fortement l'habitabilité future du territoire à la préservation des ressources naturelles, de la biodiversité et des systèmes qui soutiennent leur qualité de vie.

Cependant, les résultats soulignent également l'existence de freins à la transition écologique et à la préservation de l'habitabilité. Le coût des solutions respectueuses de l'environnement (54 %) et le manque d'alternatives à la voiture individuelle (40 %)

sont les principaux obstacles identifiés par les habitants. Ces éléments montrent que l'adaptation ne dépend pas uniquement des choix individuels, mais aussi des conditions économiques et structurelles qui permettent ou limitent ces changements.

À l'inverse, les habitants identifient plusieurs leviers facilitant l'évolution des pratiques : des services efficaces de tri des déchets (58 %), l'accès aux producteurs locaux (50 %), et la valorisation des espaces naturels (40 %). Ces résultats soulignent l'importance de politiques publiques visant à créer un environnement favorable à l'action, en développant des solutions accessibles et adaptées aux réalités locales.

Ainsi, préserver l'habitabilité nécessite une approche intégrée combinant protection des écosystèmes, adaptation des infrastructures, soutien aux pratiques durables et implication des habitants. L'enjeu n'est pas seulement de réduire les vulnérabilités face au changement climatique, mais de maintenir un territoire capable d'offrir durablement des conditions de vie satisfaisantes et socialement acceptées.

LE TOURISME ET LES ACTIVITÉS DE PLEIN AIR

Caroline LE ROY
Docteure en sciences de gestion, spécialiste des stratégies de destination et de l'adaptation du tourisme au changement climatique (CEREGE, IAE Poitiers).



Paysage au Parc animalier de Sainte-Croix

1. Une destination dont l'attractivité est intimement liée à son environnement

L'identité touristique de la Moselle Sud s'est construite autour d'un patrimoine naturel exceptionnel. Les étangs, les canaux, les vallées, les forêts et les Vosges mosellanes constituent autant de paysages que de supports d'activités : randonnée, cyclotourisme, pêche, tourisme fluvial, observation de la nature ou découverte du patrimoine. Cette diversité permet au territoire de proposer une offre fondée sur le ressourcement, les loisirs de pleine nature et la découverte d'un environnement préservé. Ces patrimoines représentent bien davantage qu'un cadre de visite. Ils constituent le premier capital touristique du territoire. Leur qualité conditionne l'attractivité des activités, l'image de la destination et, plus largement, l'expérience vécue par les visiteurs.

2. Quand le climat agit sur les ressources, il agit sur le tourisme

Le changement climatique affecte directement ces ressources. Une baisse durable du niveau des étangs, une forêt fragilisée par les sécheresses ou un épisode de canicule modifient progressivement les conditions dans lesquelles les activités touristiques peuvent être pratiquées. Les conséquences dépassent largement les seuls espaces naturels. Elles concernent les hébergements qui doivent assurer le confort estival de leurs clients, les restaurateurs confrontés aux tensions sur certaines ressources, les organisateurs d'événements tributaires des conditions météorologiques ou encore les gestionnaires de sites patrimoniaux qui doivent adapter les conditions d'accueil. Ainsi, un même aléa peut produire des effets en cascade sur plusieurs composantes de l'offre touristique. Ce ne sont donc pas uniquement les activités qui sont concernées, mais l'ensemble de la chaîne de valeur touristique.

3. Une nouvelle lecture de l'attractivité

Pendant longtemps, l'attractivité touristique a principalement été envisagée sous l'angle de la promotion, de l'aménagement ou de la fréquentation. Le changement climatique invite aujourd'hui à compléter cette approche. L'attractivité dépend désormais aussi de la capacité d'un territoire à préserver les ressources qui rendent possible l'expérience touristique : la qualité des paysages, la disponibilité de l'eau, l'état des forêts, la biodiversité, le confort de visite ou encore la sécurité des pratiques. Cette évolution conduit à considérer le changement climatique non plus comme une contrainte extérieure au tourisme, mais comme un facteur qui influence directement son développement. Les impacts ne seront toutefois ni uniformes ni simultanés : ils varieront selon les activités, les aléas et les attentes des visiteurs. C'est cette diversité de situations qui appelle des réponses adaptées aux réalités de chaque territoire. Tous les secteurs du tourisme ne présentent pas la même sensibilité au changement climatique. Les effets diffèrent selon les activités proposées, les aléas rencontrés et les profils de visiteurs. Comprendre ces vulnérabilités constitue une première étape pour anticiper les adaptations nécessaires .

4. Le climat redistribue les cartes de l'attractivité touristique

L'attractivité d'une destination ne repose pas sur une activité unique mais sur un ensemble de ressources et d'expériences. Les effets du changement climatique sont donc différenciés selon les filières touristiques et les clientèles.

ACTIVITÉS TOURISTIQUES	PRINCIPAUX ALÉAS	IMPACTS POSSIBLES	ENJEUX D'ADAPTATION
Étangs, baignade, pêche, tourisme fluvial	Sécheresse, réchauffement de l'eau, pluies intenses	Baisse des niveaux d'eau, prolifération d'algues, dégradation paysagère, conflits d'usages	Gestion de l'eau, diversification des usages, restauration des milieux aquatiques
Randonnée, vélo, trail	Canicules, tempêtes, incendies, fortes pluies	Fermeture de sentiers, inconfort thermique, risques pour les usagers, érosion	Adaptation des itinéraires, zones d'ombre, information en temps réel
Forêt et tourisme de nature	Incendies, sécheresse, tempêtes, dépérissement forestier	Perte de biodiversité, fermeture de massifs, modification des paysages	Gestion forestière, diversification des sites de découverte
Campings et hébergements	Canicules, inondations, vents violents	Inconfort, hausse des consommations d'eau et d'énergie, vulnérabilité des équipements	Confort d'été, végétalisation, désimperméabilisation, gestion des risques
Patrimoine, centres-bourgs, événements	Chaleurs, pluies intenses	Dégradation du confort de visite, reports ou annulations d'événements	Ombrage, adaptation des horaires, solutions de repli

Tableau 14 : Des vulnérabilités contrastées selon les activités touristiques.

L'enjeu dépasse la simple continuité des activités. Lorsque plusieurs aléas affectent simultanément les paysages, les accès ou le confort de visite, c'est l'expérience globale de la destination qui est transformée.

4.1 Une demande touristique en mutation

Les effets du climat ne concernent pas uniquement l'offre : ils modifient aussi les représentations et les comportements des visiteurs. Les familles recherchent des sites offrant de l'ombre, des espaces de baignade sécurisés et des activités de substitution. Les seniors sont particulièrement sensibles au confort thermique et à l'accessibilité des parcours. Les clientèles itinérantes (cyclotouristes, randonneurs, plaisanciers) attendent une information fiable sur les conditions de pratique, les restrictions d'accès ou les itinéraires alternatifs. Au-delà des profils de clientèle, plusieurs tendances se dessinent : des réservations plus tardives, une dépendance accrue aux prévisions météorologiques, des horaires de visite qui se décalent vers les matinées et les soirées, ou encore une attention croissante portée à la qualité environnementale des destinations.

Le climat devient ainsi un critère de choix autant qu'un facteur d'expérience. Une destination attractive est donc de plus en plus une destination qui rassure : non pas en promettant l'absence d'aléas, mais en démontrant sa capacité à les anticiper et à accompagner les visiteurs.

4.2 Adapter le tourisme pour préserver l'attractivité de demain

L'adaptation du tourisme ne consiste pas uniquement à protéger les infrastructures ou à gérer les crises. Elle suppose de repenser la manière dont une destination mobilise ses ressources naturelles, accompagne ses professionnels et construit son attractivité dans un contexte d'incertitude .

Les réponses relèvent autant de la gestion des patrimoines que de l'organisation touristique :
• Préserver les étangs, les forêts et les paysages qui constituent le premier capital touristique de la Moselle Sud ;
• Accompagner les hébergeurs, restaurateurs et prestataires d'activités vers des modèles moins dépendants des ressources les plus vulnérables ;
• Développer une information en temps réel sur les conditions de pratique et les solutions alternatives ;
• Mieux intégrer les enjeux climatiques dans la promotion touristique, les aménagements et les événements.

L'adaptation devient ainsi un projet collectif associant le PETR, les collectivités, l'Office de tourisme, les gestionnaires d'espaces naturels, les professionnels et les habitants.

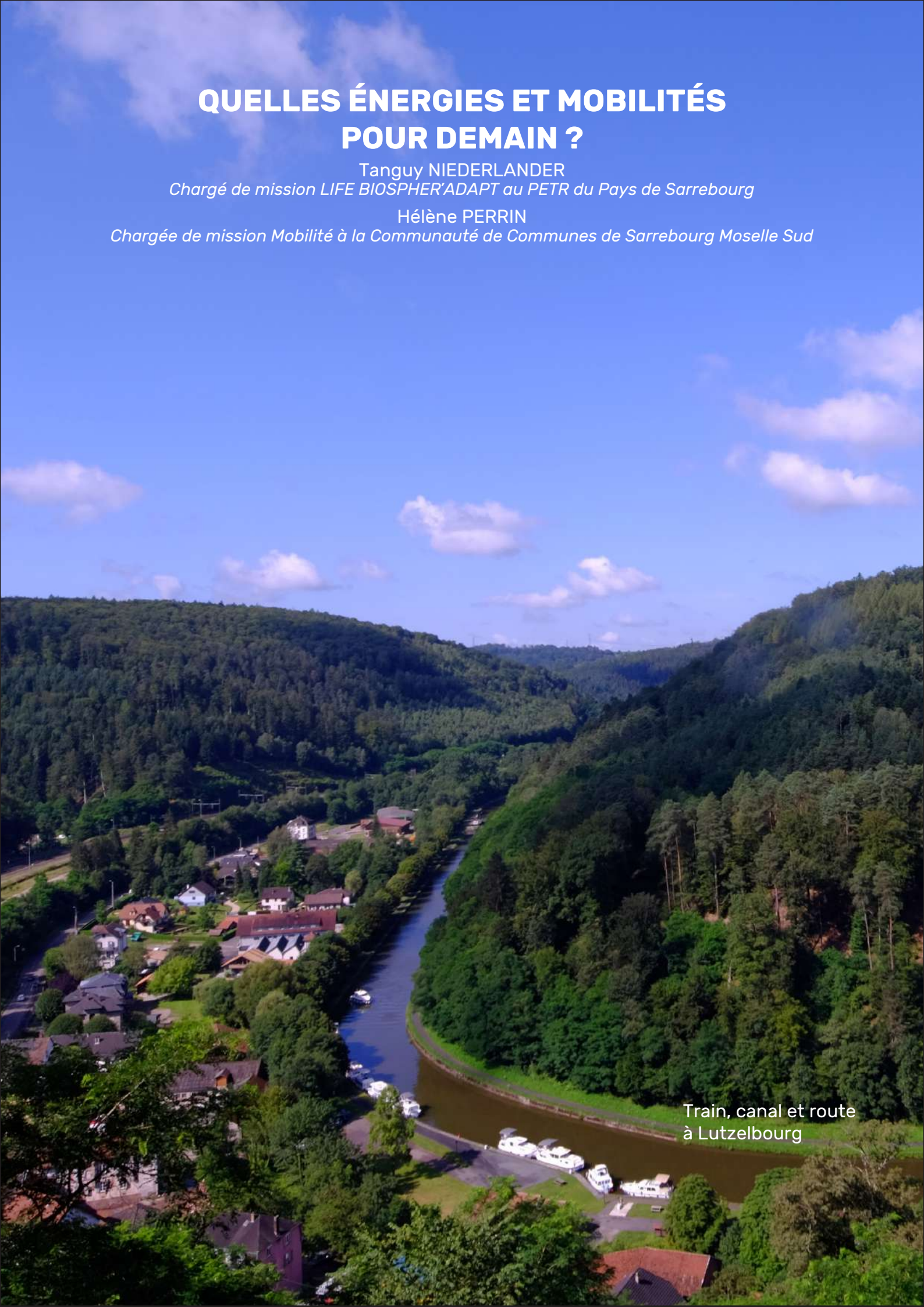
4.3 Une attractivité plus robuste et plus habitable

Les travaux du biologiste Olivier Hamant invitent à dépasser une logique de performance, qui cherche à optimiser en permanence les systèmes, pour construire leur robustesse. Un système robuste n'est pas celui qui évite toutes les perturbations, mais celui qui conserve ses fonctions essentielles malgré l'incertitude grâce à la diversité, aux coopérations et à des marges de manœuvre . Cette réflexion ouvre des perspectives intéressantes pour les destinations touristiques. Dans un contexte de changement climatique, l'enjeu n'est plus seulement d'accroître la fréquentation, mais de maintenir durablement les conditions qui rendent un territoire habitable pour ses habitants comme attractif pour

ses visiteurs. Préserver les paysages, la biodiversité, les ressources en eau ou les forêts n'est donc pas uniquement un objectif environnemental : c'est aussi une condition de l'économie touristique de demain. La robustesse d'une destination ne se mesure pas à sa capacité à accueillir toujours plus de visiteurs, mais à sa capacité à préserver les ressources qui rendent cet accueil possible. Pour la Moselle Sud, l'avenir du tourisme se jouera autant dans la qualité de ses patrimoines naturels que dans la capacité collective des acteurs à les protéger, à les valoriser et à les transmettre. « Le changement climatique invite ainsi les destinations à faire évoluer leur modèle de développement : passer d'une attractivité pensée comme une capacité à attirer davantage de visiteurs à une attractivité fondée sur la qualité des ressources, l'habitabilité du territoire et la robustesse de ses écosystèmes. » (Caroline Le Roy).

QUELLES ÉNERGIES ET MOBILITÉS POUR DEMAIN ?

Tanguy NIEDERLANDER
Chargé de mission LIFE BIOSPHER'ADAPT au PETR du Pays de Sarrebourg
Hélène PERRIN
Chargée de mission Mobilité à la Communauté de Communes de Sarrebourg Moselle Sud



Train, canal et route à Lutzelbourg

Ce chapitre se base sur l'analyse du schéma directeur des énergies renouvelables du PETR du Pays de Sarrebourg (AEC, BIOTOPE, 2024).

Combien d'énergie renouvelable un territoire rural de 63 000 habitants peut-il raisonnablement produire, et où l'implanter sans abîmer ses paysages ?

C'est à cette double question que répond le schéma directeur des énergies renouvelables du PETR, dont les orientations sont aujourd'hui intégrées au document d'urbanisme intercommunal. Ce chapitre en retrace la démarche. Elle part du diagnostic, d'une consommation de 2514 GWH très dépendant des produits pétroliers, une production renouvelable couvrant 18,3 % des besoins, pour aboutir à la trajectoire retenue : 33% de couverture en 2030, 78 % en 2050. Entre les deux, elle détaille les potentiels identifiés, les quatre scénarios comparés et les critères environnementaux qui ont servi à hiérarchiser le territoire. Un enseignement central s'en dégage : la réduction de la demande pèse davantage sur le résultat final que le choix des filières de production.

1. Le diagnostic énergétique : d'où part-on ?

1.1 La consommation d'énergie

Le territoire consomme 2514 GWh d'énergie finale par an (données 2022). L'énergie finale, c'est celle que paient réellement les consommateurs, après transformation et transport, Nous devons distinguer de l'énergie primaire, mesurée à la source.

Secteur	Part (%)
Industrie	34
Transport routier	27
Résidentiel	25
Tertiaire, agriculture, autres	14

Tableau 15 : répartition de la consommation d'énergie par secteur au sein du PETR.

La répartition de la consommation d'énergie par secteur (Tableau 14) est révélatrice. Le poids de l'industrie (un tiers de la consommation) traduit la présence d'un tissu productif significatif, notamment dans la cimenterie, la verrerie et la cristallerie, activités historiquement très consommatrices de chaleur à haute température. Le transport routier occupe la deuxième place, ce qui s'explique par le caractère rural et étendu du territoire : les distances domicile-travail y sont longues et l'alternative à la voiture individuelle reste limitée. Le résidentiel, enfin pèse un quart, avec un parc de logements comportant une proportion importante de constructions anciennes, souvent mal isolées.

1.2 La dépendance aux énergies fossiles

Point critique du diagnostic : 44 % du mix énergétique repose sur les produits pétroliers. Cette dépendance concerne principalement les carburants des transports et le fioul domestique encore utilisé pour le chauffage. Elle constitue une double vulnérabilité,

économique (exposition à la volatilité des cours) et climatique (émissions de gaz à effet de serre).

1.3 La production renouvelable actuelle

Le territoire produit aujourd'hui environ 460 GWh d'énergie renouvelable, ce qui représente un taux de couverture de 18,3 % de sa consommation. Ce taux se lit ainsi : pour 100 unités d'énergie consommées, 18,3 sont produites localement à partir de sources renouvelables.

Cette production est très majoritairement thermique, dominée par le bois-énergie. Cela n'est pas surprenant : le Pays de Sarrebourg est adossé au massif vosgien et dispose d'une ressource forestière abondante, exploitée de longue date pour le chauffage domestique (bûche, granulés) et, plus récemment, par des chaufferies collectives. En revanche, la production électrique renouvelable, éolien, photovoltaïque, hydroélectricité, reste modeste au regard du potentiel.

2. Les potentiels : que peut-on développer ?

L'étude évalue le gisement mobilisable à environ 3585 GWh nets, soit près de huit fois la production actuelle.

Le mot « nets » est important. Ce chiffre n'est pas un potentiel théorique brut, c'est-à-dire tout ce qui serait physiquement possible, mais le résultat d'un travail de filtrage successif :

- Filtres réglementaires : exclusion des zones où la loi interdit ou contraint fortement l'implantation (servitudes aéronautiques et militaires, périmètres de protection des captages d'eau, abords des monuments historiques, distances minimales aux habitations pour l'éolien, 500 mètres au minimum en France ;

- Filtres techniques : prise en compte du gisement réel (vitesse du vent, ensoleillement, pente et orientation des terrains), des capacités de raccordement au réseau électrique et de la distance aux postes sources ;

- Filtres environnementaux : retrait des zones à forte sensibilité écologique.

3.1 Le gisement restant

Il peut se décomposer ainsi :

Éolien : 1 220 GWh. C'est le premier gisement identifié. Le territoire présente des conditions de vent favorables sur les plateaux, et dispose déjà d'une expérience en la matière. Ce potentiel suppose toutefois l'acceptation de nouvelles implantations, sujet parmi les plus sensibles socialement.
Photovoltaïque au sol : 1 190 GWh. Deuxième gisement en volume, il concerne les installations sur terrains friches industrielles, anciennes carrières, délaissés d'infrastructures et éventuellement terres agricoles en agrivoltaïsme. La priorité réglementaire va aux sols déjà artificialisés ou dégradés, afin de préserver les terres

agricoles productives.
Photovoltaïque en toiture. Moins volumineux mais politiquement plus consensuel, il mobilise les surfaces déjà bâties : toitures de bâtiments industriels, agricoles (hangars, stabulations), équipements publics, ombrières de parkings. La loi APER de 2023 rend d'ailleurs obligatoire l'équipement des parkings extérieurs de plus de 1 500 m².
Bois-énergie. Le gisement complémentaire existe, mais il est encadré : la ressource forestière n'est pas extensible à l'infini, et son exploitation doit rester compatible avec le renouvellement des peuplements, la biodiversité forestière et les autres usages du bois (construction, ameublement, papeterie). Le principe de hiérarchie des usages s'applique, le bois-énergie valorise en priorité les sous-produits et les bois non valorisables autrement.
Chaleur fatale. C'est la chaleur produite involontairement par un processus industriel et aujourd'hui perdue dans l'atmosphère. Compte tenu du poids de l'industrie locale et de la présence d'activités à haute température, ce gisement est significatif. Sa valorisation suppose des réseaux de chaleur reliant l'émetteur aux consommateurs, d'où une contrainte forte de proximité géographique.
Géothermie. Il s'agit ici essentiellement de géothermie de surface, exploitée par pompes à chaleur pour le chauffage des bâtiments, avec captage vertical ou horizontal.
Méthanisation. La production de biogaz à partir de matières organiques agricoles (effluents d'élevage, résidus de cultures) et de biodéchets. Le territoire, à dominante agricole, dispose d'un gisement réel, dont la valorisation peut prendre la forme d'injection dans le réseau de gaz ou de cogénération.

3. Les scénarios : quatre trajectoires comparées

C'est le cœur méthodologique de l'étude. Plutôt que de fixer un objectif unique, la démarche a consisté à modéliser plusieurs futurs possibles ; puis à en tirer un scénario opérationnel. Cette approche s'inspire directement des travaux de l'ADEME (transition(s) 2050), qui a publié en 2022 quatre scénarios types pour la France

3.1 Le scénario tendanciel : 34 % en 2050

Le scénario tendanciel, parfois appelé « fil de l'eau », décrit ce qui se passerait si rien de nouveau n'était entrepris. Il prolonge les dynamiques actuelles : rythme de rénovation thermique inchangé, développement des EnR au rythme observé ces dernières années, comportements de consommation stables.

Résultat : le taux de couverture passerait de 18,3 % en 2022 à 34 % en 2050. Une progression réelle, mais très en deçà des objectifs. Ce scénario a une fonction essentiellement pédagogique : il matérialise l'écart entre l'inertie et l'ambition, et démontre que l'atteinte des objectifs suppose une rupture, non une simple continuité améliorée.

3.2 Les trois scénarios volontaristes : 82 à 86 %

Ces trois scénarios reposent sur des visions différentes de la société de 2050. Ils atteignent des résultats voisins (82 à 86 % de couverture) mais par des chemins très

différents — ce qui est en soi un enseignement majeur : plusieurs voies mènent à des résultats comparables, et le choix relève de préférences collectives autant que de considérations techniques.

3.2.1 Génération frugale

Ce scénario mise avant tout sur la sobriété, c'est-à-dire la réduction de la demande par transformation des comportements et des modes de vie, plutôt que par la seule performance technique.

Ses ressorts : baisse significative de la mobilité individuelle (télétravail, relocalisation des activités, report vers le vélo et les transports collectifs), réduction des surfaces chauffées par habitant, allongement de la durée de vie des équipements, alimentation moins carnée, moindre consommation de biens matériels. La rénovation des bâtiments est massive et privilégie les matériaux biosourcés.

Sa conséquence pour le territoire : parce que la consommation baisse fortement, l'effort de production d'Enr requis est moindre. Moins d'éoliennes, moins de parcs photovoltaïques au sol, donc une pression plus faible sur les paysages et les terres. En contrepartie, ce scénario suppose des changements de comportement profonds et généralisés, dont la faisabilité sociale est incertaine : il ne se décrète pas et repose largement sur l'adhésion des habitants.

3.2.2 Coopération territoriale

Scénario de voie médiane et de gouvernance partagée. Il combine sobriété modérée, efficacité énergétique soutenue et développement significatif des EnR, dans un cadre de coordination entre collectivités, acteurs économiques et citoyens.

Ses ressorts : rénovation thermique organisée à l'échelle intercommunale (guichets uniques, opérations programmées), développement de réseaux de chaleur mutualisés, projets EnR portés en gouvernance locale, sociétés d'économie mixte, financement participatif citoyen, retombées fiscales et économiques réinvesties localement. L'évolution des comportements est réelle mais progressive, accompagnée par la puissance publique plutôt que subie.

Sa logique : ce n'est pas la technologie seule ni la seule frugalité qui produit le résultat, mais l'organisation collective. Ce scénario suppose une ingénierie territoriale robuste et une continuité politique dans la durée, sa principale fragilité.

3.2.3 Technologies vertes

Scénario reposant sur le parti technologique et l'investissement capitalistique. La demande énergétique baisse peu par sobriété ; c'est l'efficacité et la décarbonation de l'offre qui font l'essentiel du travail.

Ses ressorts : électrification massive des usages (véhicules électriques, pompe à chaleur en remplacement des chaudières fossiles), déploiement à grande échelle des EnR électriques, recours à l'hydrogène pour les usages industriels difficiles à électrifier, numérisation et pilotage fin des consommations, stockage.

Sa conséquence pour le territoire : parce que la consommation reste élevée, ce scénario exige le plus fort développement de capacités de production. Il maximise la pression sur

le foncier et les paysages, et suppose des investissements considérables ainsi qu'un renforcement substantiel des réseaux électriques. Il est en revanche moins exigeant en termes de changement de comportement, ce qui peut le rendre socialement plus acceptable à court terme, mais plus vulnérable aux aléas technologiques et financiers.

3.3 Le scénario démonstrateur retenu : 33 % en 2030,78 % en 2050

Le PETR n'a retenu aucun des scénarios-cadres tels quels. Il construit un scénario démonstrateur, également qualifié de « voie médiane », qui emprunte à chacun tout en restant calibré sur les réalités locales.

Horizon	Taux de couverture (%)	Évolution de la consommation (%)
Aujourd'hui (2022)	18.3	Référence
2030	33	Non précisé
2050	78	-42%

Tableau 16 : Évolution de la consommation d'énergie selon le scénario démonstrateur retenu.

Deux lectures du Tableau 14 s'imposent.

Premièrement, l'ambition est réelle. Passer de 18,3 % à 33 % en huit ans suppose un quasi-doublement du taux de couverture, donc un rythme d'installation très supérieur à l'actuel dès la période 2026-2030. Deuxièmement, et c'est le point central : la baisse de 42 % des consommations n'est pas un objectif secondaire, mais la condition même du résultat. Le taux de couverture est un rapport entre production et consommation. Améliorer ce rapport suppose d'agir sur les deux termes, il est généralement plus rapide, moins coûteux et moins conflictuel de réduire le dénominateur que d'augmenter indéfiniment le numérateur. Cette baisse de 42 % combine sobriété (usages), efficacité (rénovation du bâti, performance des équipements) et transformation des mobilités.

4. L'écart avec le SRADDET : un constat assumé

Le SRADDET (Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires) du Grand Est fixe un objectif de 100 % d'énergies renouvelables à l'horizon 2050. Le SCoT doit être compatible avec ce document régional. Or aucun des scénarios modélisés n'atteint ce seuil, le meilleur plafonne à 86%, le scénario retenu à 78 %. Ce constat, explicitement assumé dans l'étude, mérite d'être compris. Il ne traduit pas un manque d'ambition, mais une contrainte physique et territoriale. Certains usages sont difficilement substituables à court terme, la chaleur industrielle à très haute température, certains transports lourds. Par ailleurs, les filtres environnementaux et paysagers appliqués aux potentiels réduisent mécaniquement le gisement mobilisable : le territoire a fait le choix de ne pas sacrifier ses milieux naturels et ses paysages à l'atteinte d'un objectif chiffré. L'étude en tire une conclusion opérationnelle nette : la maîtrise de la demande constitue le levier le plus discriminant. C'est le paramètre qui différencie le plus les scénarios entre eux, davantage que le choix des filières de production. Autrement dit, l'énergie la moins chère, la moins conflictuelle et la moins impactante reste celle qu'on ne consomme pas.

5. Enjeux environnementaux et hiérarchisation du territoire

Le schéma ne se limite pas à des volumes : il spatialise les possibilités. Les sensibilités environnementales et paysagères ont été cartographiées et hiérarchisées en trois niveaux :

Zone d'exclusion. Secteurs où l'implantation est écartée en raison de protections réglementaires fortes ou d'enjeux écologiques majeurs : sites Natura 2000 (Réseau européen de protection des habitats et espèces), cœurs de ZNIEFF de type I (Zone Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique, inventaire scientifique), réservoirs de biodiversité de la trame verte et bleue, abords immédiats du patrimoine bâti protégé.

Zone de vigilance. Secteurs où le développement n'est pas exclu mais nécessite des études approfondies et des adaptations : corridors écologiques, ZNIEFF de type II, covisibilités patrimoniales, lignes de crête et perspectives paysagères remarquables. Le territoire, marqué par le relief des Vosges du Nord et par un patrimoine bâti dense, est particulièrement concerné.

Zone de moindre contrainte. Secteurs privilégiés pour l'accueil des projets, appelés à constituer le socle des ZAER (Zones d'Accélération des Énergies Renouvelables) instituées par la loi APER du 10 mars 2023. Ces zones, définies par les communes après concertation, ne créent pas d'obligation d'implanter ni d'interdiction ailleurs, mais orientent les porteurs de projets vers les secteurs jugés les plus appropriés, avec à la clé des procédures facilitées.

6. L'évaluation environnementale et suivi

L'évaluation environnementale accompagnant la modification du SCoT ne conclut à aucune incidence négative significative. Cette conclusion est toutefois assortie de deux réserves explicites :

- La séquence ERC appliquée projet par projet. ERC signifie Éviter, Réduire, Compenser, c'est le principe hiérarchisé du droit de l'environnement. On cherche d'abord à éviter l'impact (choix d'implantation, variantes de projet), puis à le réduire lorsqu'il ne peut être évité (mesures techniques, calendrier de travaux adapté aux cycles biologiques), et seulement en dernier ressort à le compenser (restauration ou création de milieux équivalents) ;
- Le schéma raisonne à l'échelle du territoire ; chaque projet devra refaire cet exercice à sa propre échelle.

Un suivi par indicateurs piloté par le PETR. Le schéma prévoit un dispositif de mesure dans le temps : puissances installées par filière, évolution du taux de couverture, consommations par secteur, indicateurs environnementaux. Ce suivi permet d'objectiver l'avancement et, le cas échéant, d'ajuster la trajectoire, un schéma directeur n'étant pas un document figé mais un cadre appelé à être révisé.

Ce qu'il faut retenir

Le pays de Sarrebourg dispose d'un potentiel renouvelable considérable, huit fois sa production actuelle, mais a choisi une trajectoire mesurée à 78 % de couverture en 2050, en assumant de ne pas atteindre l'objectif régional de 100 %, et en plaçant la réduction de 42 % de ses consommations au cœur de sa stratégie plutôt que la seule multiplication des installations de production.

Ce choix mérite d'être lu pour ce qu'il est : non un renoncement, mais une hiérarchisation. Le territoire a préféré une cible atteignable, compatible avec la préservation de ses paysages et de ses milieux, à un objectif chiffré qu'il aurait fallu satisfaire au prix de renoncements environnementaux. Il en tire une conséquence exigeante : l'effort principale ne portera pas sur l'éoliennes ou les parcs photovoltaïques, mais sur la rénovation du bâti, la transformation des mobilités et les usages quotidiens de l'énergie. C'est-à-dire le plus diffus, le plus long, et le plus difficile à piloter.

La mobilité de la Réserve de biosphère et son adaptation : portrait de la Communauté de Communes de Sarrebourg Moselle Sud

Le territoire de la Communauté de Communes de Sarrebourg-Moselle-Sud (CCSMS) compte **45 143 habitants** et représente une bonne moitié de la superficie de la réserve de biosphère et abrite sa plus grande ville, Sarrebourg. **89 %** des ménages sont motorisés, ce qui explique une forte dépendance à la voiture individuelle pour les déplacements, mais qui structure en profondeur le territoire. **150 000 déplacements** sont réalisés chaque jour sur le territoire.

La répartition des trajets principaux est la suivante : **39 542 km/jour** pour des déplacements dans la ville de Sarrebourg ; **28 713 km/jour** pour des déplacements entre Sarrebourg et Strasbourg (axe majeur vers la métropole régionale) ; **19 235 km/jour** pour des déplacements entre Sarrebourg et Sarreguemines (liens avec l'Allemagne voisine).

47 % de la population vit à moins de **5 km** du centre de Sarrebourg, une distance compatible avec des modes de transport doux (vélo, marche, transports en commun). Les déplacements réalisés correspondent pour **30%** aux trajets domicile – travail. Ils représentent **31 300 déplacements par jour**. En considérant qu'avec une voiture thermique il y a en moyenne 111g CO2/km effectué cela correspond à **44.622 Tonnes de CO2 émis par les habitants du territoire/jour.** Cela représente un impact climatique significatif, soulignant l'urgence d'agir sur la mobilité.

Pour limiter l'impact de la mobilité sur le climat, la CCSMS a déployé plusieurs solutions :

Réseau de transport urbain : Développement d'un réseau de transport urbain pour réduire la dépendance à la voiture individuelle dans Sarrebourg et Réding ;

Covoiturage : Incitation à partager les trajets pour diminuer le nombre de véhicules sur la route – service mis en place pour offrir un moyen de mobilité à tous les habitants de la ruralité ;

Autopartage : Mise à disposition de véhicules en libre-service pour les trajets ponctuels ;

Aménagements cyclables : Création de pistes cyclables et mise en place de service de vélos (location, stationnement).

Les objectifs de la CCSMS sont ambitieux : Passer **de 1 % à 12 %** de pratique cyclable, aligné sur les ambitions nationales.

BIBLIOGRAPHIE

ADEME. « Transition(s) 2050 : choisir maintenant, agir pour le climat — Scénario S2 «Coopérations territoriales». » (2021).

ADEME, 2024. Opérateurs et territoires touristiques : s'adapter pour faire face au changement climatique. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

AEC, BIOTOPE, 2024. Elaboration d'un schema directeur de developpement des energies renouvelables, Rapport de diagnostic, 100p.

Agreste, Statistique Agricole Annuelle (SAA) Moselle (57), séries annuelles 2010-2023.

Agreste, Recensements Agricoles 2010 et 2020, données par commune et par canton (UGB, SAU, exploitations).

Agreste – DRAAF Grand Est. « Fiche territoriale Moselle : données de cadrage. » Statistique Agricole Annuelle (SAA).

Agreste. « Grandes cultures : estimations de rendements en maïs fourrage, campagne 2019. » Infos rapides (2019).

Agreste – DRAAF Grand Est. « Bilan général 2022, Grand Est. » Agreste Conjoncture, n° 7 (2023).

BARBAULT, 2006. Robert Barbault ou de l'écologie à la gestion de la biodiversité. Natures Sciences Sociétés 14, S36-S42 (2006). Entretien, p7.

Barone S. et Mayaux P.-L., 2019, « Les politiques de l'eau. », LGDJ – Clefs/politique, p. 153.

BATISSE, 1986. Les réserves de la biosphère : formation et mise au point du concept. Nature et Ressources, Vol XXII, n°3, pp2-11.

Bennett, N. J., Cisneros-Montemayor, A. M., Blythe, J., Silver, J. J., Singh, G., Andrews, N., Calò, A., Christie, P., Di Franco, A., Finkbeiner, E. M., Gelcich, S.,

CCSMS/PETR Pays de Sarrebourg, 2024. Plan Herbe Moselle Sud. Convention partenariale pour le soutien de l'élevage à l'herbe et des prairies des territoires du Sud Mosellan.

CCSMS, 2026. Stratégie touristique, Sarrebourg Moselle-Sud. FairMoove Solutions.

CEN Lorraine (Conservatoire d'Espaces Naturels de Lorraine), CCSMS, 2021. Cité dans Kaumanns, 2023.

Chatellier V., 2015. La politique laitière européenne, entre réformes successives et suppression des quotas. Pour, n°225, pp. 7-11.

Chiffre E. et Mathis D., 2015, « Prise en compte des hydrosystèmes hérités par les parcs naturels régionaux de Lorraine et du Morvan », Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement, pp. 25-26.

CIBIEN, 2006. Les réserves de biosphère : des lieux de collaboration entre chercheurs et gestionnaires en faveur de la biodiversité. Natures Sciences Sociétés 14, 84-90, p7.

COMIFER. « Calcul de la fertilisation azotée : guide méthodologique pour l'établissement du bilan prévisionnel de fertilisation azotée des cultures annuelles et prairies. » (2013).

Daupagne L., Rolan-Meynard M., Dublon J. et Argillier C., 2019, Enquête sur la gestion piscicole des plans d'eau français, Rapport de recherche Irstea, p. 59.

De Angeli, S., Terzi, S., Zebisch, M., Drogue, G., & Devin, S. (2025). Co-designing Impact Chains to assess people's habitability in the Vosges Massif (France) and adapt to multiple climatic risks, EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025, EGU25-3291, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu25-3291

Farbotko, C., & Campbell, J. (2022). Who defines atoll 'uninhabitability'? Environmental Science & Policy, 138, 182–190. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.10.001

Fastner J., Abella S., Litt A. et al., 2015, "Combating cyanobacterial proliferation by avoiding or treating inflows with high P load—experiences from eight case studies.", Aquatic Ecology, vol. 50, pp. 367-383.

Fulcrand, A., De Angeli, S., Votsi, I., & Devin, S. (2026, in preparation). Mapping human habitability in France: a spatial analysis based on multidimensional indicators.

FURTEAU, 2021. Formulaire de candidature UNESCO MAB de la Réserve de Biosphère de Moselle Sud, version 5, PETR du Pays de Sarrebourg, 344p.

Garcia Parrilla M. & Barataud F., 2020. Une Seille, des Seilles. Rapport final. INRAE/PSDR ASTRAL.

GREEN et al., 2024. Adapting to an Era of Climate Change : The Case of South African UNESCO Biosphère Reserves. DIE ERDE, Journal of the Geographical Society of Berlin, Vol. 156, No. 3, p17.

Guidetti, P., Harper, S., Hotte, N., Kittinger, J. N., Le Billon, P., Lister, J., López de la Lama, R., McKinley, E., … Sumaila, U. R. (2019). Towards a sustainable and equitable blue economy. Nature Sustainability, 2(11), 991–993. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0404-1

Hamant, O. (2023). Antidote au culte de la performance: la robustesse du vivant (pp. 1-63). Gallimard.

HCC, 2023. Acter l'urgence. Engager les moyens. Rapport annuel du Haut Conseil pour le Climat, juin 2023. Rapport, p200.

HERVÉ et al., 2021. Identifier les activités scientifiques dans les réserves de biosphère françaises : une chasse au trésor ? Nat. Sci. Soc. 30, 1, 3-13 (2022) p12.

HIRTZ, 2026. Stratégies et acteurs de l'adaptation au changement climatique dans les 7 Réserves de Biosphère du projet LIFE BIOSPHER'ADAPT : Cartographie de l'existant et opportunités d'action. Rapport, p95.

Humbert J-F. et Quiblier C., 2012, « Les écosystèmes d'eau douce - Eutrophisation et cyanobactéries », Fonds Français pour l'Environnement Mondial, Agence Française de Développement, Sorbonne Université, Muséum National d'Histoire Naturelle.

Horton, R. M., De Sherbinin, A., Wrathall, D., & Oppenheimer, M. (2021). Assessing human habitability and migration. Science, 372(6548), 1279–1283. https://doi.org/10.1126/science.abi8603

INRAE/Explore2, 2023. Synthèse des projections hydroclimatiques pour la France métropolitaine, narratifs jaune, vert et orange.

INRAE, 2020. Rapport sur les impacts du changement climatique sur les rendements agricoles. Figure 5-13, pp. 98-99.

Insee. « L'agriculture en 2011 en France et en Europe. » Insee Première, n° 1406 (2012).

Janoth, J. N., Abu, M., Sakdapolrak, P., Sterly, H., & Merschroth, S. (2024). The impact of migration on culturally-embedded and subjective perceptions of habitability in a context of environmental change: A case study from Northern Ghana. ERDKUNDE, 78(1), Article 1. https://doi.org/10.3112/erdkunde.2024.01.02

JARDIN, 1996. Les réserves de la biosphère se dotent d'un statut international : enjeux et perspectives. In : Revue Juridique de l'Environnement, n°4, pp. 375-385.

Kaumanns A., 2023. Comment est caractérisée l'agroécologie sur le territoire de la Moselle Sud ? Mémoire de fin d'études, VetAgro Sup.

KUPIKA et al., 2019. Local Ecological Knowledge on Climate Change and Ecosystem-Based Adaptation Strategies Promote Resilience in the Middle Zambezi Biosphère Reserve, Zimbabwe. Hindawi Scientifica, Volume 2019, Article ID 3069254, p15.

Lebreton A., 2024. Dynamiques spatio-temporelles des proliférations des cyanobactéries dans la région Grand-Est et impact du changement des instructions DGS. Rapport M1, MNHN, dir. C. Quiblier

Le Roy, C., (2024). Vulnérabilités des territoires touristiques face à la crise climatique : proposition d'un cadre méthodologique pour les organismes de gestion de destination français. Mondes en développement, 206(2), 87–106.

Le Roy, C. (2023). Vacances à plus de 45°C. L'effet sauna qui fait mal. Blog etourisme.info (28 juillet 2023).

Le Roy, C. (2025). De la performance à la robustesse. Blog etourisme.info. (10 février 2025).

Les voies navigables en Lorraine / André Schontz. - Metz : Ed. Serpenoise, 2004. - 189 p. : ill., plans, cartes ; 34 cm. Vocabulaire p. 177-182. Région Grand Est, Service Régional de l'Inventaire général du Patrimoine Culturel, Nancy : L ARCH-PUB

Liu H., Hou L., Kang N., Nan Z. & Huang J., 2022. The economic value of grassland ecosystem services: A global meta-analysis. Grassland Research, 1(1), pp. 63-74.

Malange J-F., 2011, Histoire sociale des pratiques de pêche à la ligne en France de 1829 à 1941 : aux origines d'une conscience environnementale, Thèse de doctorat.

Martin N., Pendleton L.H., 2008, « Perceptions of Environmental Quality and Risk in Beach Recreation », Los Angeles, Wrigley Institute for Environmental Studies, University of Southern California, p. 37.

Mathis D., 2009. Géohistoire agraire d'un pays lorrain : le Saulnois. Thèse de doctorat, Université Nancy 2, 970 p.

Mathis D. et Mathis A., 2016, « Anciens et nouveaux terroirs d'étangs en Lorraine », Revue Géographique de l'Est, vol. 56, pp. 1-2.

Mathis D., 2010, « Le système agricole des étangs : l'exemple du Lindre à l'époque moderne », Villages Lorrains, vol. 132, pp. 24-28.

Mathis D., 2014, « Recomposition territoriale d'un espace rural flou l'exemple du ''Pays des Étangs'' en Moselle. », Territoire en Mouvement, vol. 22, pp. 67-81.

Mathis D., 2016, « Quelles trajectoires pour les territoires ruraux d'étangs en Lorraine (1970 à nos jours) ? », Belgeo, vol. 4.

Météo-France,2023. « L'évolution de l'enneigement du Massif des Vosges », maîtrise d'ouvrage Région Grand Est, 6p.

MONJON, 2026. Adaptation au changement climatique : Où en est la France ? Vie-Publique. Fr.

Norström, A. V., Cvitanovic, C., Löf, M. F., West, S., Wyborn, C., Balvanera, P., Bednarek, A. T., Bennett, E. M., Biggs, R., de Bremond, A., Campbell, B. M., Canadell, J. G., Carpenter, S. R., Folke, C., Fulton, E. A., Gaffney, O., Gelcich, S., Jouffray, J.-B., Leach, M., … Österblom, H. (2020). Principles for knowledge co-production in sustainability research. Nature Sustainability, 3(3), 182–190. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0448-2 Plantureux S., Pires B., Mariau A., Salagnat T., Barrier P., Graux A.-I., 2022. Type de prairie, changement climatique et pérennité de la production fourragère. Analyse à l'échelle des prairies et du système fourrager d'exploitations du Pays de la Déodatie (Vosges). Fourrages, n°250, pp. 13-23.

Pearl HW, Otten TG. 2013. Harmful cyanobacterial blooms: causes, consequences and controls. Microb Ecol 65:995–1010. doi:10.1007/s00248-012-0159-y.

PETRs de la Déodatie et de Remiremont, 2024. Diagnostic agro-sylvo-cynégétique, Pays de la Déodatie.

Pleijel, C., Lundberg, C., & Prost, P. (2022). The Habitability Handbook—An assessment tool for viable island communities. Archipelago Institute at Åbo Akademi University

RBMS. (2026). Life Biospher'Adpt, RAPPORT D'ANALYSE DE LA CONSULTATION CITOYENNE, S'adapter à l'impact du changement climatique sur le territoire de la Réserve de biosphère de Moselle Sud. Réserve de Biosphère Moselle Sud.

RMRB, 2008. Plan d'action de Madrid pour les réserves de biosphère (2008-2013). Rapport, 37p. SC-2008/WS/36.

Roux F., 2014, « Relâcher le poisson : crise de reproduction et conflits générationnels entre pêcheurs de loisir », Sport, nature et développement durable, édité par Callède J-P. et al., Maison des Sciences de l'Homme d'Aquitaine.

Service de l'Inventaire général du patrimoine culturel de la Région Grand Est, 2018, Le pays des étangs : autour de Réchicourt-Le-Château, p. 128.

Service de la navigation de Strasbourg, 1982, Synthèse de l'état actuel des étangs du Stock, de Gondrexange et Mittersheim en vue de la définition de mesures d'amélioration, p. 48.

Soulé, E., Hawes, C., Young, M., Henckel, L., Michel, N., Michonneau, P., & Bockstaller, C. (2023). A predictive indicator assessing effect of cropping system and surrounding landscape on biodiversity. Ecological Indicators, 151, 110289.

Spencer, T., Magnan, A. K., Donner, S., Garschagen, M., Ford, J., Duvat, V. K. E., & Wabnitz, C. C. C. (2024). Habitability of low-lying socio-ecological systems under a changing climate. Climatic Change, 177(1), 14. https://doi.org/10.1007/s10584-023-03675-1

Sterly, H., Borderon, M., Sakdapolrak, P., Adger, N., Ayanlade, A., Bah, A., Blocher, J., Blondin, S., Boly, S., Brochier, T., Brüning, L., Bunchuay-Peth, S., O'Byrne, D., Safra De Campos, R., Nii Ardey Codjoe, S., Debève, F., Detges, A.,

Franco-Gavonel, M., Hathaway, C., … Zickgraf, C. (2025). Habitability for a connected, unequal and changing world. Global Environmental Change, 90, 102953. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2024.102953

UNESCO, 1974. Programme sur l'Homme et la biosphère (MAB). Groupe de concertation : les critères et les lignes directrices du choix et de la constitution de réserves de la biosphère. UNESCO, PNUE, p63.

UNESCO, 1998. Tendances et perspectives du programme MAB, Activités du MAB et programmes en collaboration. Quinzième session, siège de L'UNESCO, PARIS, 7-11 DÉCEMBRE 1998, RAPPORT FINAL, p38. SC-98/CONF.201/4.

Temple-Boyer E. ; Lefebvre F., 2025, « Trajectoire récente d'un socio-hydrosystème singulier à l'ère de l'Anthropocène : les cas des étangs-réservoirs sud mosellans », Belgeo [En ligne], 2

Temple-Boyer E. ; Lefebvre F., 2026, « Des étangs face aux cyanobactéries : récit d'une controverse environnementale en Moselle sud », Carnets de géographes [En ligne], 20

Therond, Olivier, et al. «Integrated modelling of social-ecological systems: The MAELIA high-resolution multi-agent platform to deal with water scarcity problems.» (2014): 1.

The Shift Project. (2022). Climat, crises : comment transformer nos territoires ?

TriesseGressard, 2021. Diagnostic du Plan Alimentaire Territorial, CC Saulnois et PETR Pays de Sarrebourg. Élaboration PAT CC Saulnois et PETR du Pays de Sarrebourg.



Réserve de
BIOSPHÈRE
de Moselle Sud

Découvrir un monde à préserver