



SPW ARNE (Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement)
Direction de l'Aménagement Foncier Rural (DAFoR)

État des lieux de la gestion de l'eau en agriculture en Wallonie
dans le contexte du changement climatique
Revue de littérature et parangonnage avec la Flandre, la France et les Pays-Bas.

Dans le cadre du projet n°104 du Plan de Relance de la Wallonie
« Améliorer la gestion quantitative de l'eau en agriculture dans le contexte du changement climatique »

Livable 1 - Mars 2024



Auteurs :

- Ecores (Yannick Vesters, Cordelia Orfinger, Léonie Casamitjana)
- ULiège Gembloux-Agro-Bio-Tech (Aurore Degré, Anne-Catherine Renard)
- TER-Consult (Christophe Burton)
- Terres Vivantes (Alain Peeters)

Un projet du plan de
relance de la Wallonie



TABLE DES MATIERES

Abréviations	3
Résumé Exécutif.....	5
1 Contexte de l'étude	10
2 Etat des lieux - Les sécheresses en Wallonie.....	12
2.1 Sécheresse : de quoi parle-t-on ?	12
2.2 Evolution historique	13
2.3 Les impacts des sécheresses sur le paysage wallon	14
3 Etat des lieux - Utilisation de l'eau en agriculture en Wallonie	21
3.1 Les prélèvements des eaux en surface	21
3.2 Les prélèvements des eaux souterraines	21
3.3 L'usage pour l'irrigation.....	25
4 Etat des lieux - Politiques et cadres wallons	27
4.1 Stratégie Intégrale Sécheresse (SIS)	27
4.2 Gestion des inondations	28
4.3 Politique Agricole Commune (PAC)	30
4.4 Cadre réglementaire de la prise d'eau en agriculture en Wallonie.....	31
4.5 Gestion des dommages liés à la sécheresse	31
5 AFOM de la résilience du secteur agricole wallon face aux changements climatiques	33
6 Revue de littérature des techniques agricoles et en matière de gestion de l'eau	35
6.1 Systèmes agricoles.....	35
6.2 Techniques agricoles	38
6.3 Aménagements anti-érosifs et solutions fondées sur la nature.....	49
6.4 Sources de stockage d'eau et technologies d'irrigation	57
6.5 Gestion résiliente des territoires : Outils.....	63
7 Parangonnage sur les stratégies d'adaptation de l'agriculture à la sécheresse.....	66
7.1 Flandre.....	66
7.2 France	69
7.3 Pays-Bas.....	76
7.4 Tableau comparatif des stratégies d'adaptation.....	82
7.5 Autres pays et considérations transverses	90
8 Synthèse et conclusion	93
9 Bibliographie	96

Abréviations

AAP *Appel à projet*
AFR *Aménagement Foncier Rural*
AGW *Arrêté du Gouvernement Wallon*
ANB *Agentschap voor Natuur en Bos (Agence de la région flamande de la nature et de la forêt)*
ANUE *Assemblée des Nations-Unies pour l'Environnement*
ASA *Association syndicale autorisée*
AUP *Autorisation Unique de Prélèvement*
BASE *Biodiversité, Agriculture, Sols et Environnement*
BCAE *Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales*
BWI *Broad Weather Insurance Scheme*
CGEDD *Conseil général de l'environnement et du développement durable*
CIAE *Cellule d'Intégration agriculture-environnement*
CIPAN *Culture Intercalaire Piège À Nitrate*
CIPF *Centre indépendant de promotion fourragère*
COP *Conferences of the Parties*
CRA-W *Centre Wallon de Recherches Agronomiques*
DAFoR *Direction de l'Aménagement Foncier Rural*
DAW *Deltaplan Agrarisch Waterbeheer - Plan delta pour la gestion de l'eau agricole*
DCE *Directive-cadre sur l'eau*
DDR *Direction du Développement rural*
DESO *Direction des Eaux Souterraines*
DPRA *Nationale deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie - Programme national du delta pour l'adaptation spatiale*
DPZW *Nationale deltaprogramma Zoetwater - Programme national du delta pour l'approvisionnement en eau douce*
DRD *Direction de la Recherche et du Développement*
DSW *Dispositif Sécheresse Wallon*
ERMG *Exigences réglementaires en matière de gestion*
FAO *Food and Agriculture Organisation*
Févia *Fédération de l'industrie alimentaire Belge*
Fiwap *Filière wallonne de la pomme de terre*
GES *Gaz à Effet de Serre*
GIEC *Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*
Greenotec *Groupement de Recherche sur l'Environnement et d'Étude de Nouvelles techniques Culturales*
IenW *Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat - Ministère des Infrastructures et de la Gestion de l'Eau*
ILVO *Instituut voor Landbouw-, Visserij-, en Voedingsonderzoek*
INBO *Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek*
INTwater *International Network on Traditional Water Use*
IPBES *Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques*
IRM *Institut Royal Météorologique*
IWEPS *Institut Wallon de l'Evaluation, de la Prospective et de la Statistique*
KNMI *Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut - Institut royal météorologique des Pays-Bas*
LNV *Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit - Ministère de l'Agriculture, de la Nature et de la Qualité des Aliments*
LTO *Fédération des agriculteurs et maraîchers des Pays-Bas*
MAEC *Méthodes Agro-Environnementales et Climatiques*
MBAG *Meetnet Biodiversiteit Agrarisch Gebied - Réseau de surveillance de la biodiversité dans les zones agricoles*
MTES *Ministère de la Transition écologique et solidaire*

NPL *Nationaal Programma Landbouwbodems - Programme national pour les sols agricoles*
 OUGC *Organisme Unique de Gestion Collective*
 P.A.R.I.S *Programme d'Actions sur les Rivières par une approche Intégrée et Sectorisée*
 PAC *Politique Agricole Commune*
 PACE *Plan Air Climat Energie*
 PAN *Plan d'Action Nitrate*
 PGDA *Programme de Gestion Durable de l'Azote*
 PGDH *Plans de Gestion des Districts Hydrographiques*
 PPP *Partenariat public-privé*
 PRGI *Plan de Gestion des Risques d'Inondation*
 PRW *Plan de Relance de la Wallonie*
 PTGE *Projets Territoriaux de Gestion de l'Eau*
 REX *Retour d'expérience*
 RFU *Réserve facilement utilisable*
 SAFE *Silvoarable Agroforestry for Europe*
SafN *Solution d'adaptation fondée sur la nature*
 SAU *Surface Agricole Utilisée, Surface Agricole Utilisée*
 SDAGE *Schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau*
 SFN *Solution fondée sur la nature*
 SIS *Stratégie Intégrale Sécheresse wallonne*
 SPGE *Société publique de Gestion de l'Eau*
 SPI *Standardized Precipitation Index (indice de précipitation normalisé = total des précipitations des 90 derniers jours)*
 SPW *Service Public de Wallonie*
 SPW ARNE *Service Public de Wallonie Agriculture Ressources Naturelles et Environnement*
 SRRE *Schéma Régional des Ressources en Eau*
 STEP *Station d'épuration des eaux usées*
 SWDE *Société Wallonne Des Eaux*
 TCS *Technique Culturelles Simplifiées*
 UICN *Union internationale pour la conservation de la nature*
 UNESCO *Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture*
 VLIF *Fonds flamand d'investissement agricole*
 VLM *Vlaamse Land Maatschappij*
VNF *Voies navigables de France*
 ZEC *Zone d'Expansion de Crues*
 ZIT *Zone d'Immersion Temporaire*
 ZTHA *Zones tampons humides artificielles*

Résumé Exécutif

Le changement climatique est souvent illustré par l'augmentation de la température moyenne sur la Terre depuis la première révolution industrielle. Évidemment, cet indicateur ne peut décrire à lui-seul l'évolution du climat. La moyenne des températures minimales et maximales, le nombre de jours de gel, le cumul annuel et saisonnier des précipitations, les précipitations intenses, le nombre de jours sans pluie, la période de croissance végétative, et le potentiel d'évapotranspiration sont tout autant des indicateurs qui permettent de décrire l'évolution du climat dans toute sa complexité. Par ailleurs, les températures, l'ensoleillement et la pluviométrie font partie des paramètres clefs de la réussite d'une saison de production agricole.

C'est sur ce dernier indicateur, la pluviométrie, que porte la présente mission. Interroger la disponibilité de la ressource en eau en Wallonie permet, en effet, d'analyser les liens entre le monde agricole wallon, sa gestion de l'eau et ses pratiques d'adaptation. De fait, le projet, dans lequel s'inscrit ce rapport, financé par le Plan de Relance de la Wallonie (PRW) sous la fiche 104 vise à apporter des pistes de solutions quant à l'amélioration de la gestion quantitative de l'eau en agriculture dans le contexte du changement climatique.

Ce rapport revient tout d'abord sur l'historique climatique de la Belgique et la caractérisation des épisodes de sécheresses. En effet, si les épisodes de manque d'eau se font plus fréquents et sont amenés à se multiplier dans le futur, la Wallonie a historiquement, elle, été plus souvent confrontée à la gestion de l'excès d'eau.

Ensuite, afin d'interroger l'impact des sécheresses sur les rendements agricoles, un état des lieux de la production est présenté. Celui-ci décrit l'agriculture wallonne comme diversifiée et pouvant être subdivisée en 4 grands types d'emblavements :

- Les fourrages (56 %) avec les prairies permanentes et temporaires et la culture du maïs fourrager ;
- Les céréales (24,3 %) avec le froment, l'escourgeon et l'épeautre ;
- Les cultures industrielles (9,1 %) avec la betterave sucrière ;
- Les autres formes de cultures (10,6 %) comme celle de la pomme de terre.

Implicitement présent au travers des prairies, l'élevage est également une composante du paysage agricole wallon.

Compte tenu des différentes formes de production, il ressort du document que le manque d'eau n'a pas un effet uniforme et constant sur l'agriculture wallonne. Les besoins en eau étant variables dans le temps et dans l'espace. Le retour d'expérience du Centre Wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W) sur quatre années de sécheresse (1976, 2018, 2020 et 2022) est clair¹ : en ce qui concerne les cultures de pommes de terre et de maïs fourrager, elles ont connu des baisses de rendement parfois très sensibles ces années-là (jusqu'à -34% pour les pommes de terre en 1976). Une situation similaire a été observée dans le cas des prairies (perte de production pouvant aller jusqu'à plus de 30%). Par contre, les cultures de froments d'hiver et de betteraves sont moins sensibles à la sécheresse (de -2% pour le froment d'hiver en 2018 jusqu'à +6% pour les betteraves en 1976). Au-delà des impacts sur la production agricole, le rapport pointe également du doigt les impacts des sécheresses au niveau des cours d'eau, des nappes souterraines et des enjeux en eau potable dans certaines communes.

Le rapport revient ensuite sur les spécificités de l'utilisation de la ressource en eau dans le monde agricole wallon. Les prises d'eau concernent principalement l'élevage avec une demande en eau stable d'une année sur l'autre et certaines cultures spécifique (légumes, pommes de terre). De manière générale, il y a une tendance à l'augmentation des surfaces irriguées en Wallonie (de 0,2% à 0,4% de la superficie agricole utilisée (SAU) de la Région Wallonne entre 2016 et 2020), néanmoins l'irrigation reste minime en comparaison aux surfaces irriguées en France (5% de la SAU) ou dans certaines provinces hollandaises où elle peut représenter près du tiers des surfaces agricoles. En Wallonie, la croissance de l'irrigation est associée au développement de certaines cultures, comme les pommes de terre, qui sont de plus en plus fréquemment arrosées. A terme, ces besoins d'irrigation

¹ Ces retours d'expérience se concentrent sur l'effet des sécheresses sur les rendements. Il est important de conserver à l'esprit que les facteurs influençant les rendements sont multiples : positifs comme l'allongement des périodes de croissance végétative, la concentration en CO₂, négatif comme le stress thermique, limitant comme la disponibilité en nutriments.

peuvent induire des tensions sur l'usage de l'eau, d'autant que les besoins sont aussi concentrés au moment où la ressource hydrique est la moins disponible.

Ensuite, le rapport met en avant les politiques wallonnes qui encadrent la gestion de l'eau, et plus particulièrement la Stratégie Intégrale Sécheresse (SIS), qui coordonne les actions de l'administration et de la distribution d'eau potable dans une perspective de sécheresse. Il résume les différents textes réglementaires qui régulent l'utilisation de l'eau en Wallonie pour l'agriculture. Il aborde également les dispositifs de dédommagement avec le dispositif de versement d'une indemnité en cas de calamité agricole. Celui-ci est activable en cas de phénomènes naturels exceptionnels et dès que les pertes de rendement par culture dépassent 30% de la production moyenne de l'agriculteur. Pour la sécheresse de 2020, ce sont 7 000 agriculteurs qui en ont bénéficié, soit une enveloppe publique de 30 millions d'euros au total.

Dans ce contexte où une bonne gestion quantitative de l'eau est nécessaire, le rapport identifie cinq grandes familles de pratiques d'adaptation qui sont les suivantes : l'optimisation des techniques agricoles, les méthodes d'agriculture, les aménagements antiérosifs, les technologies d'irrigation et la gestion résiliente des territoires. Chaque famille d'actions est explicitée dans le détail et bon nombre d'actions d'adaptation sont décrites. Celles-ci sont résumées ci-dessous de manière synthétique.

1. L'optimisation des techniques agricoles n'est pas nouvelle puisqu'elle remonte aux années 1970. Elle vise l'amélioration des rendements en minimisant les impacts environnementaux. Ces techniques permettent une meilleure conservation et/ou utilisation de l'eau dans les sols. Ces techniques ont été classées en trois catégories, à savoir les itinéraires techniques, les stratégies d'évitement et la gestion de l'élevage et du fourrage :

a. Les itinéraires techniques :

- L'ajout de *matière organique* réduit le risque de compactage du sol tout en améliorant la rétention et/ou l'infiltration et le drainage de l'eau ;
- La *succession diversifiée des cultures* dans un ordre précis tend à augmenter le rendement des cultures, le stockage de l'eau dans le sol et l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante ;
- L'*association des cultures* permet de répondre à des besoins différenciés en eau dans la temporalité et/ou selon la profondeur du réseau racinaire ;
- Plusieurs types d'*opérations mécaniques* de travail du sol peuvent améliorer la rétention en eau du sol et réduire la compacité des sols (le semis direct qui par la raréfaction des passages engendre moins de compacité, le strip till qui préserve la matière organique du sol, ...)
- Des *techniques spécifiques à certaines cultures comme l'inter-buttes* pour les pommes de terre et les carottes qui met en place comme des petits barrages pour favoriser l'infiltration, ou encore *l'utilisation de rouleaux* lors des semis de maïs ;
- Des *cultures comme la luzerne* qui peuvent être implantées, entre autres, pour leurs qualités restructurantes ;

b. Stratégies d'évitement et d'esquive

- L'utilisation d'autres techniques agricoles tels que la *stratégie d'évitement ou d'esquive*. L'évitement consiste à utiliser des variétés à floraison précoce ou en décalant les dates de semis pour profiter de conditions hydriques plus favorables. ;

c. Gestion de l'élevage et du fourrage

- En matière d'élevage, la sécheresse peut se gérer sur le court terme (compléments alimentaires extérieurs aux prairies, abattage anticipé), sur le moyen terme (alternative au Ray Grass plus résistant comme le dactyle, la luzerne, la chicorée ou des légumineuses comme le trèfle) et sur le long terme (races rustiques, taille du cheptel, adaptation des périodes de vèlage, haies potentiellement fourragères pour apporter de l'ombre, etc.).

2. Les systèmes agricoles, comme :

- *L'agriculture biologique*, qui se développe fortement en Wallonie avec 11% de la SAU. A noter que les prairies représentent la majorité de la surface bio en Wallonie ;
- *L'agriculture de conservation* des sols qui implique une intervention minimale sur les terres agricoles ;
- *L'agroforesterie*, qui reste encore marginale en Wallonie, mais qui peut s'avérer utile dans un contexte de fortes chaleurs et sécheresse (ombrage ou protection du vent).

3. Les aménagements antiérosifs qui ont pour fonction initiale de réduire l'érosion. Leurs bénéfices secondaires sont nombreux et peuvent s'étendre jusqu'à la gestion de l'eau avec des actions comme :

- La *couverture végétale des sols* agit comme un apport de matière organique et par son développement racinaire aide à la structure des sols, à son aération et donc à sa capacité d'infiltration ;
- Les *fossés et les noues, les barrages filtrants (fascines)*, favorisent une réduction de la vitesse de l'écoulement de l'eau tout en permettant une infiltration, un stockage et une meilleure recharge des nappes souterraines ;
- Les *bandes enherbées, les haies, et les restaurations hydromorphologiques des cours d'eau* participent à l'amélioration du cycle de l'eau et au renforcement des écosystèmes. Elles contribuent donc à la rétention de l'eau dans le paysage et à la recharge des nappes.

4. Les techniques d'irrigation qui sont multiples :

- *L'irrigation gravitaire* lorsque l'eau est amenée par gravité à recouvrir partiellement ou totalement une culture. Plusieurs variantes sont possibles selon la topographie et/ou les spécificités des cultures. *L'abissage* peut toutefois être noté. Il consiste à inonder les terres quand l'eau est disponible de manière à charger les sols en eau et matière organique ;
- *L'irrigation par aspersion*, où l'eau est distribuée sous forme de gouttes à l'image de la pluie ;
- A l'opposé, la *micro-irrigation* qui diffuse des quantités faibles d'eau aux pieds des plants. A noter que cela demande plus de temps et de moyens, et que cela nécessite un réseau de distribution spécifique ;
- *L'irrigation de précision* qui cible précisément les besoins en eau des cultures au moyen de capteurs. Couplé avec des informations satellitaires et aux prévisions météorologiques, l'apport d'eau est calibré au plus juste pour optimiser la production.

5. Enfin, les stratégies de gestion résiliente des territoires et de l'eau en agriculture dans un contexte de sécheresse.

- Les stratégies des régions voisines de la Wallonie ont été analysées. Elles montrent toutes une certaine cohérence dans les axes stratégiques d'action, et dans l'approche à travers un ensemble de solutions et d'outils. La comparaison entre la Région flamande, la France et les Pays-Bas montre que la Wallonie est active sur la majorité des axes que nos voisins abordent. Ceux-ci sont présentés dans le tableau ci-dessous. Nous observons que, sur certaines thématiques, la diversité des dispositifs appliqués en France et aux Pays-Bas est plus fournie. Il existe notamment un ensemble d'outils, peu ou non développés en Wallonie, qui sont mis en œuvre dans les régions voisines comme l'incitation à la réduction de consommation d'eau, le système de compensation, ou le développement de structures locales de concertation (à l'échelle d'un bassin versant) sur l'usage partagé de la ressource en eau.

	France	Pays-Bas	Flandre	Wallonie
A. SOUTIEN A LA TRANSITION DES SYSTEMES AGRICOLES				
Pratiques d'exploitation durable	+	+ -	+ -	+
Modèles agricoles plus résilients	+	-	+ -	+
B. GESTION DES RISQUES				
Systèmes de compensation (a posteriori)	++	++	+	+ -
Systèmes de surveillance et d'alertes	++	++		+ -
C. GESTION DE L'EAU				
Gestion de l'approvisionnement et augmentation de la ressource	++	+	+ -	+
Réduction des consommations	+	+ -		
D. ACCOMPAGNEMENT : SOUTIENS, DEVELOPPEMENT DE LA CONNAISSANCE ET TRANSFERT DE CONNAISSANCES				
Soutien à la recherche	++	+	+ -	+ -
Soutien aux investissements	+			
Transfert des connaissances	+	++	+	+
F. GOUVERNANCE				
Coordination des politiques	+	+		+
Coopération public privé	+	+	+	+ -
G. POLITIQUE ET PLANIFICATION				
Nationales/Régionales	++	+ -	+	+
Locales ou sectorielles	+			
Aménagement du territoire	+	+	+	+

Les principales forces et adaptations intéressantes, pour la Wallonie, qui peuvent être mises en évidence au fil de ce travail sont les suivantes :

- Continuer à renforcer la prise en compte de la sécheresse au sein des différentes politiques wallonnes, avec une coordination centralisée au sein de l'administration pour assurer la cohérence (politique agricole, politique économique et d'exportation, aménagement du territoire et artificialisation, etc.), en dégagant des moyens financiers et humains pour la coordination et l'application des recommandations ;
- Maintenir l'avantage relatif de l'agriculture wallonne quant à sa faible dépendance à l'irrigation. Soutenir le développement de filières dont les cultures n'exigent pas d'irrigation, notamment les fourrages verts, et éviter d'encourager le développement de filières nécessitant de l'irrigation par aspersion sur de grandes surfaces (pomme de terre, maïs) ;
- Envisager un soutien des filières à haute valeur ajoutée permettant une irrigation de précision sur des petites surfaces (maraichage, fruitier) ;
- Massifier la transition vers l'agroécologie dont l'agriculture de conservation :
 - o Soutenir techniquement les agriculteurs qui souhaitent changer de modèle via notamment l'accès gratuit à des formations et le soutien à l'accompagnement individuel et de groupes ;
 - o Soutenir financièrement ces agriculteurs au travers des aides à l'investissement lors de l'achat matériel spécifique à la régénération des sols, la reconnaissance des services rendus par la production de biens communs dont en priorité la séquestration de carbone dans les sols et la biodiversité, ainsi que la prise de risque dans les essais techniques) ;
- Continuer à renforcer et à diffuser les informations sur les génétiques végétales et animales, les itinéraires techniques et les systèmes de production agroécologiques, adaptés à la sécheresse ;

- Adapter le système de compensation face à des évènements climatiques exceptionnels notamment en s'appuyant sur des partenariats public-privés (système d'assurance multirisques climatiques) ;
- En complément à la cellule sécheresse régionale, mettre en place des structures locales de concertation pour la gestion de l'eau en période de sécheresse afin de permettre la rencontre des différents usagers de l'eau (y compris des représentants de la biodiversité), pour prévenir les conflits en période de sécheresse ;
- Protéger et mettre en place des solutions basées sur la nature permettant de soutenir le cycle de l'eau (zones humides, reméandration, ripisylve, plantation de haies, creusement de mares...).

L'observation des choix stratégiques et organisationnels des voisins de la Wallonie se doit d'être inspirante pour la suite de ce projet, qui lui-même fait partie d'une série d'actions ambitieuses visant à accroître la résilience de l'agriculture face à la sécheresse.

Plus fondamentalement, il est fortement recommandé de tirer parti des outils existants, tel l'aménagement foncier rural pour mettre en place des sites pilotes hydrologiquement optimisés, dont l'allocation d'espace public vise à pérenniser une structure paysagère favorable à l'infiltration et à la redistribution de l'eau sur le territoire au moyen de solutions basées sur la nature. Ce modèle innovant devrait être documenté et - s'il se confirme efficace - multiplié pour s'adapter dans les différents contextes biophysiques de la Wallonie.

En parallèle à l'identification des adaptations et forces existantes à l'échelle wallonne, l'objectif premier de ce document reste de servir de référence pour proposer des recommandations plus spécifiques et des aménagements innovants à envisager pour la gestion de l'eau dans la zone du projet (Hainaut occidental), dans une perspective de changement climatique. Volontairement, ce rapport ne cherche donc pas encore à sélectionner ou synthétiser les solutions techniques les plus appropriées ; cela fera l'objet d'un prochain rapport.

1 Contexte de l'étude

Dans le cadre du Plan de Relance de la Wallonie (PRW), le projet 104, intitulé « Améliorer la gestion quantitative de l'eau en agriculture dans le contexte du changement climatique » est porté par le Service Public de Wallonie Agriculture, Ressource Naturelle et Environnement (SPW ARNE), et plus particulièrement par la Direction de l'Aménagement Foncier Rural (DAFoR).

L'aménagement foncier rural est une procédure légale fondée sur l'intérêt général qui se déroule au sein d'un périmètre strictement délimité, cette procédure est définie dans le code wallon de l'agriculture en vigueur (publié au M.B. le 05/06/2014). Cet outil permet, entre autres, de redessiner les limites administratives du territoire (en ce compris le domaine public), au sein d'un territoire strictement délimité, appelé "périmètre d'aménagement foncier". Cette réorganisation se fait pour répondre à des objectifs d'intérêt généraux tel que la reconstitution de parcelles agricoles régulières et proches du siège d'exploitation, le maintien et le développement de la biodiversité, l'amélioration de la mobilité rurale mais également la lutte contre les érosions et l'inondations pour ne citer qu'eux. L'aménagement foncier est donc un dispositif qui permet de répondre de manière pertinentes, efficace a une série d'enjeux en milieu rural. Il permet ainsi de prévenir certains effets du changement climatique et de rendre le territoire plus résilient face aux différents extrêmes climatiques et hydrologiques.

Le projet 104 est composé de deux phases, une phase d'étude et une phase de travaux. La phase de travaux permettra de mettre en pratique et d'implémenter les aménagements et solutions étudiées dans la première phase. Cette première phase d'étude consiste en :

- L'analyse de l'état de l'art et des bonnes pratiques en matière de gestion résiliente du territoire, tant en Wallonie que dans les régions limitrophes.
- L'étude détaillée d'un sous-territoire composé de 15 communes situées en Wallonie picarde. Cette zone étant actuellement concernée par plusieurs périmètres d'aménagement foncier actif, elle est un laboratoire potentiel pour la mise en œuvre de pratiques innovantes de gestion territoriale.
- L'identification d'une zone pilote dans laquelle des aménagements concrets pourront être conçus, avec une attention particulière aux enjeux nouveaux induits par les changements climatiques.
- L'étude de l'évolution du climat sur le sous-territoire étudié, et la proposition d'options d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques.
- L'identification et la conception des aménagements permettant l'amélioration de la gestion quantitative de l'eau en agriculture et l'accroissement de la résilience des territoires agricoles dans le contexte du changement climatique ;
- La préparation des documents nécessaires à l'implémentation effective des ouvrages de génie rural et de génie écologique permettant de répondre aux enjeux.

Afin de mener à bien cette mission, la DAFoR a passé un marché externe, dont la partie d'étude de territoire est réalisée par le consortium composé d'Ecores, ULg-GxABT, TER-Consult, Terres Vivantes et IPECO. L'assistance à la maîtrise d'ouvrage est réalisée par SHER. Biotope et BRLi se chargent de la coordination, des enquêtes agricoles et de la communication autour de ce projet.

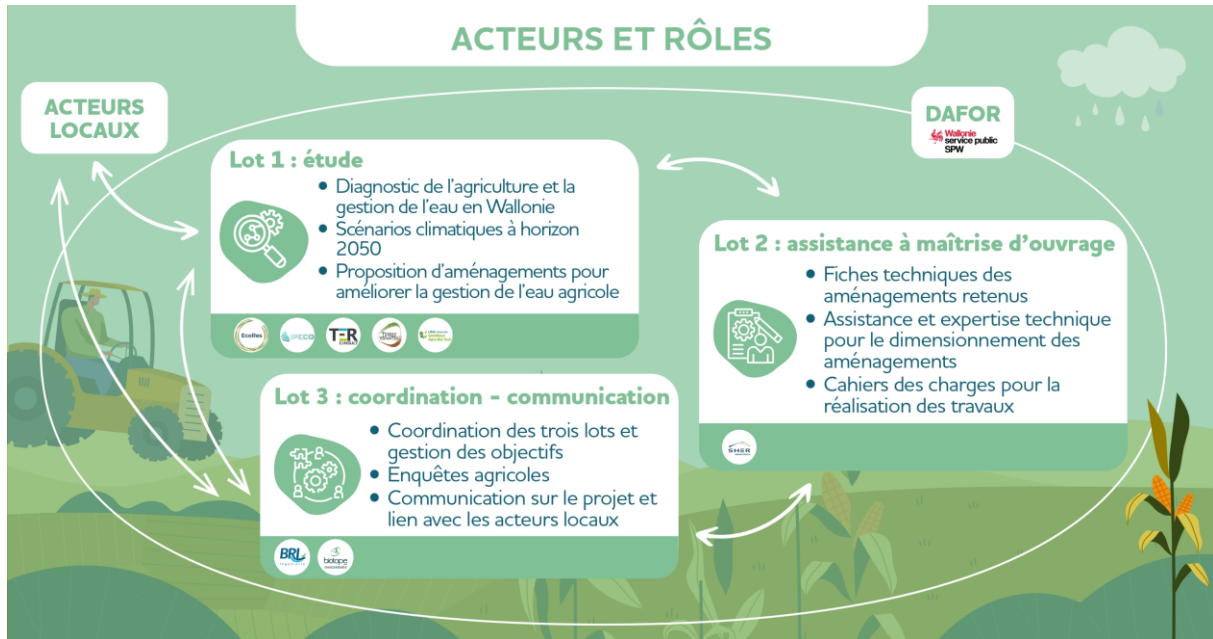


Figure 1 – La structure du marché d'étude du projet 104, avec les acteurs et leur rôle.

Ce rapport constitue le premier livrable de la phase d'étude. Il vise à apporter un éclairage sur l'état des lieux de la gestion de l'eau en agriculture, dans le contexte du changement climatique. Considérant l'expérience existante au sein de la DAFoR en matière de gestion des crues et des coulées boueuses, une attention particulière est portée aux approches permettant de gérer les périodes de sécheresse.

Outre la présentation de la littérature existante (scientifique et grise) pour la Wallonie, ce rapport recense les principales techniques mises en œuvre ou testées dans les pays limitrophes, susceptibles d'être pertinentes dans le futur contexte climatique wallon. En particulier, le parangonnage (ou benchmark) vise la Flandre, la France et les Pays-Bas.

Sur cette base documentaire étayée, la suite du projet visera une analyse du contexte biophysique des 15 communes d'intérêt afin d'identifier les éventuelles situations contrastées nécessitant des approches particulières (L2). Une analyse des scénarios climatiques et de leurs impacts sur les cultures principales de la zone, essentiellement en termes de sécheresse, sera menée (L3) et différents scénarios d'adaptation seront présentés et discutés (L4).

Un territoire pilote sera sélectionné parmi les territoires agricoles des 15 communes. Ces communes sont concernées par plusieurs périmètres d'aménagement foncier actif, ce qui permettra d'utiliser les outils de l'aménagement foncier pour servir les intérêts généraux en termes de gestion quantitative de l'eau en agriculture et de résilience des territoires agricoles. La dernière étape de la partie étude consistera donc en une opérationnalisation des solutions proposées sur une zone pilote. Après un diagnostic affiné localement, les solutions seront déclinées et un plan d'aménagement climatique sera proposé. Celui-ci nourrira la phase de travaux.

2 Etat des lieux - Les sécheresses en Wallonie

Historiquement, la Belgique et la Wallonie ont souffert plus fréquemment des conséquences des excès de précipitation que des déficits. La société, l'aménagement du territoire et les administrations se sont ainsi saisis des problématiques d'inondation et de coulées de boues depuis de nombreuses années (Plan PLUIES en 2003, cellule GISER en 2007, mise en place de subventions pour la protection contre l'érosion, lutte contre inondations et ruissellement sur les terres agricoles (AGW 2007) et PGRI en 2016).

Ce n'est que récemment suite à l'augmentation de la fréquence des sécheresses (2017, 2018, 2019, 2020 et 2022) que l'administration a formalisé son implication sur la problématique. En 2017, elle a commencé par mettre en place une cellule sécheresse au sein du centre de crise régional, puis a initié en 2022 la création d'une rubrique dédiée à « l'adaptation de l'agriculture à la sécheresse » sur le Portail de l'Agriculture¹. Le projet 104 du PRW vient s'inscrire également dans cette dynamique autour de la thématique de la sécheresse. Il vise à la mise en place d'infrastructure, de dispositifs ou de modification parcellaires influençant la gestion de l'eau et devant permettre d'accroître la résilience de l'agriculture. Dans cette section, nous allons revenir sur la sécheresse : sa définition, son historique en Wallonie, et l'impact qu'elle peut avoir sur l'hydrologie et l'agriculture.

2.1 Sécheresse : de quoi parle-t-on ?

QUELQUES DEFINITIONS :

Les **sécheresses météorologiques** sont définies¹ par une absence prolongée ou un déficit marqué des précipitations par rapport à la normale.

Lorsqu'une sécheresse météorologique amène à un déficit d'humidité du sol limitant la disponibilité en eau pour l'agriculture, on parle alors de **sécheresse agricole**.

Si les effets se font ressentir sur les eaux de surfaces et souterraines (débit réduit, niveau piézométrique anormalement bas), on parle de **sécheresse hydrologique**.²

Pour qualifier une sécheresse, différents indices de déficit pluviométrique peuvent être utilisés. Le plus courant est l'indice SPI (Standardized Precipitation Index). Il quantifie le volume total des précipitations cumulées sur les 90 derniers jours et le compare à la normale, permettant ainsi une évaluation continue de la situation. Par exemple, la Figure 2 montre l'évolution de cet indice SPI dans les mois précédant le 20 mai 2022, amenant le SPI au pic de sécheresse plus de 50% sous la normale. On y voit également les courbes des années 1976 et 2001 à titre de comparaisons (année sèche et humide, respectivement).

Un autre indicateur peut également être utilisé pour quantifier les sécheresses estivales : le déficit pluviométrique d'avril à septembre par rapport à la normale (Zamani³). Ainsi, un déficit estival de 135mm à Uccle correspond à une sécheresse estivale de temps de retour de 20 ans.

Lorsque l'on s'intéresse à une sécheresse agricole, l'indice de précipitations-évapotranspiration normalisé (SPI-E) peut également être utilisé. Il caractérise le bilan d'eau des 90 derniers jours, c'est-à-dire la différence entre le cumul pluviométrique et l'évapotranspiration. L'évapotranspiration est la quantité d'eau évaporée ou transpirée par le sol et la végétation. Etant difficile à mesurer, l'évapotranspiration est estimée à partir des observations de la température, du rayonnement solaire global, de l'humidité relative et de la vitesse du vent.

¹ <https://agriculture.wallonie.be/home/recherche-developpement/adaptations-a-la-secheresse.html>, réalisé par la Direction de la Recherche et du Développement (DRD) du SPW ARNE.

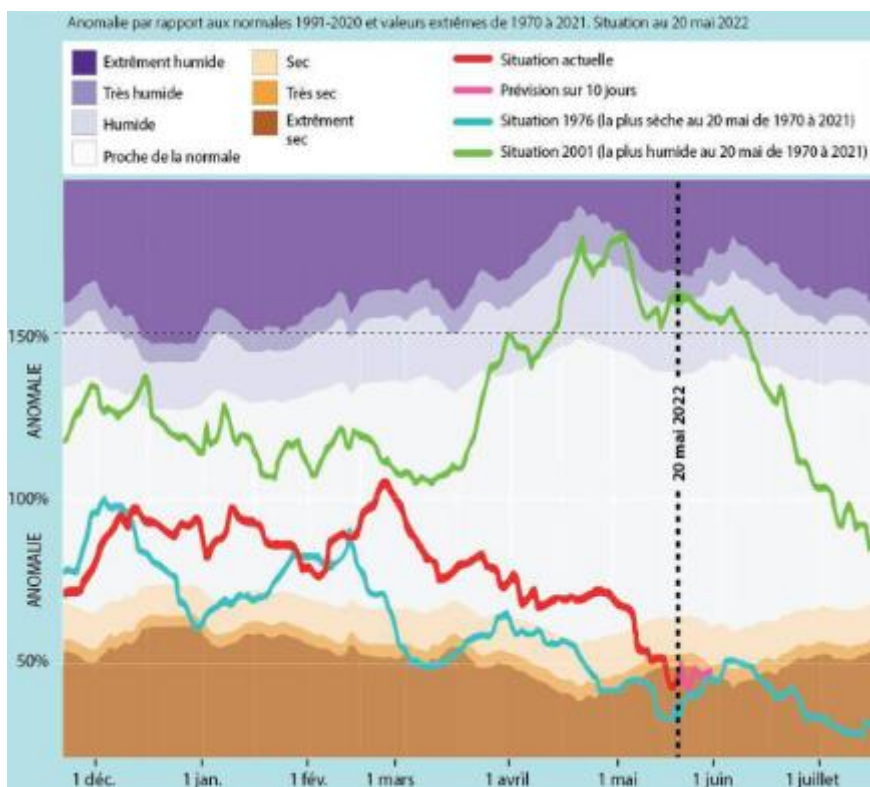


Figure 2 : Indice SPI du 20 mai 2022 (indiqué comme « situation actuelle dans la légende »), avec un historique des derniers mois, le niveau d’anomalie, et la comparaison avec les années plus sèches et humides à même date. Source : IRM⁴

2.2 Evolution historique

L’étude des tendances passées et actuelles en matière de sécheresses météorologiques permet de mieux appréhender le phénomène. L’évolution du climat en Belgique est documentée par l’Institut Royal Météorologique (IRM). Ces données sont présentées sur le portail de l’agriculture, dans la rubrique « adaptation à la sécheresse » développée par la DRD, et peuvent être résumées de la manière suivante :

- En Belgique, les températures moyennes ont augmenté ces 150 dernières années de 2,5°C. Cette augmentation est particulièrement marquée ces 30 dernières années (température moyenne sur la période 1830-1860 : 8,8°C ; sur la période 1961-1990 : 9,8°C ; sur la période 1986-2019 : 10,8°C). En 2020 et 2022, la température moyenne (12,2°C) fut nettement supérieure à la normale de référence (8,8°C sur la période 1961-1990) ;
- Les fluctuations interannuelles du volume total des précipitations ne montrent pas de tendance significative (précipitation moyenne annuelle à Uccle est de 821 mm, avec une variabilité forte comprise entre 406 mm en 1921 et 1088 mm en 2001), comme le présente la Figure 3.

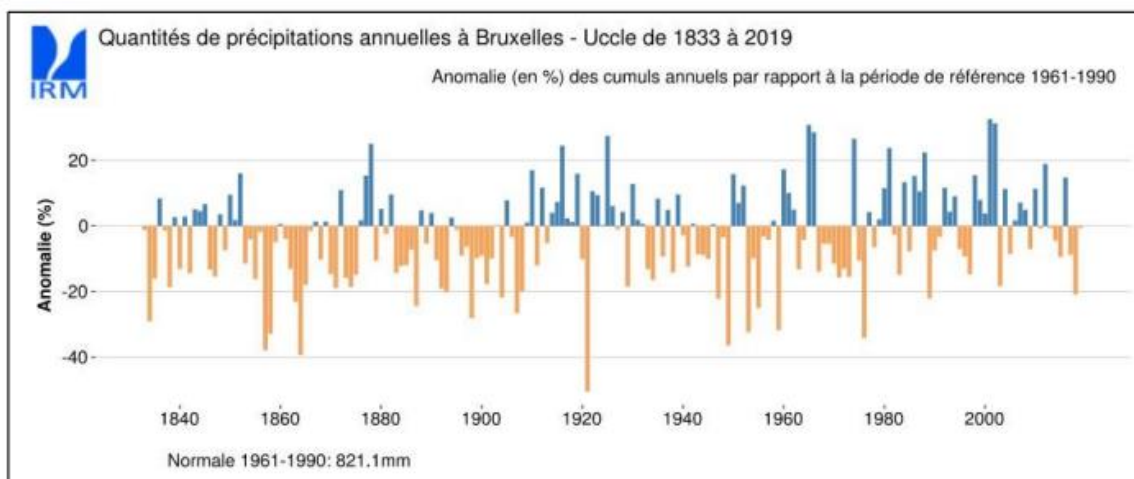


Figure 3 : Quantités de précipitations annuelles à Uccle de 1833 à 2019. Source : IRM⁵

- Il y a une augmentation du nombre de jours de **fortes** précipitations en été (>20 mm) : +0,6 jours par décennie depuis 1981 ;
- Il y a une augmentation du nombre de jours **secs** (<1 mm de précipitation) au printemps. En particulier, une augmentation moyenne de 1,5 jour par décennie depuis 1981 de la plus longue période de jours secs consécutifs au printemps.
- Et enfin, le nombre de sécheresses consécutives a été important cette dernière décennie : des zones de Belgique ont été reconnues en sécheresse en 2017, 2018, 2019, 2020 et 2022.

Il est cependant important de noter que le phénomène de sécheresses n'est pas nouveau. En effet, des épisodes de sécheresses ont été documentés en 1911, 1921, 1959, 1971, 1976, 1989, 1996, 2003, 2006, 2007 et 2011.⁶ Les sécheresses de 1921 et 1976 ont été remarquables en Belgique d'un point de vue météorologique. Comme visible sur la Figure 4, ci-dessous, la fréquence (succession) de sécheresse ces 10 dernières années est supérieure à la fréquence observée depuis le début du XXe siècle.

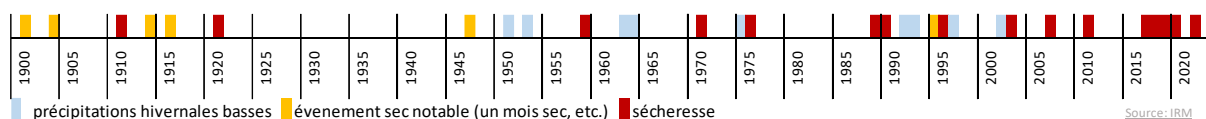


Figure 4 : Évènements de sécheresses en Belgique de 1900 à 2020. Source : Ecores sur base des données IRM⁷

2.3 Les impacts des sécheresses sur le paysage wallon

2.3.1 Impact : au niveau de l'hydrologie

Le niveau des nappes principales et le débit des principaux cours d'eau est mesuré et suivi en permanence en Wallonie. Les données sont disponibles sur les sites internet piézométrie⁸ et hydrométrie⁹ respectivement. En Belgique les sécheresses de ces dernières années ont eu des impacts hydrologiques à la fois sur les eaux de surface (cours d'eau et étangs) et sur les eaux souterraines (nappes). Ces conséquences sont explicitées dans les sections ci-dessous.

2.3.1.1 Pour les eaux de surface

Au niveau des eaux de surface, les sécheresses affectent directement leur niveau et leur débit. Une baisse temporaire des débits de certains cours d'eau a été observée jusqu'à des niveaux faibles à très faibles par rapport aux mesures effectuées pendant 45 ans. Notamment sur la Meuse à Chooz et à Amay ainsi que sur deux grands affluents, l'Ourthe et la Semois. La Meuse a atteint une valeur d'étiage inférieure au percentile 10 en 2018-2019, avec un débit de seulement 10m³/s à Visé⁹, alors que le débit caractéristique¹⁰ d'étiage est de 50m³/s, et le débit moyen est de 150m³/s. De plus, certains cours d'eau non-navigables de catégorie 1 (cours d'eau non-navigable situé en aval du point où leur bassin hydrographique atteint au moins 5 000 ha) ont atteint des débits nuls lors de l'été 2020, ce fut le cas de l'eau noire à Petigny et de la Lhomme à Rochefort^{III}. Ce fut également le cas de cours d'eau de catégories 2 (cours d'eau non-navigable n'étant ni de 1^{ère}, ni de 3^{ème} catégorie) et 3 (cours d'eau non-navigable n'ayant pas encore quitté la commune d'où est situé son origine). Une baisse des niveaux de certains barrages (comme le barrage de La Gileppe) a également été aussi observée. De ces événements, il en a résulté une augmentation de la température de l'eau, de la concentration des polluants^{IV} et donc une diminution de l'oxygénation des cours d'eau, ainsi qu'une fragmentation des milieux (suppression des connexions, obstacles infranchissables) qui a impacté notamment la biodiversité et conduit à la mort d'espèces aquatiques peu mobiles. Si les écosystèmes sont généralement résilients à une sécheresse, des perturbations trop fortes et/ou trop fréquentes peuvent les affaiblir et leur faire perdre la capacité à retrouver l'équilibre initial.



Figure 5: Cours d'eau à sec durant la sécheresse de 2020 : Eau noire à Petigny. Source : Printemps résilient¹¹

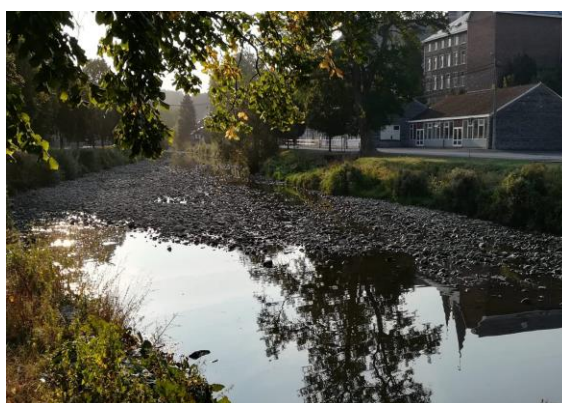


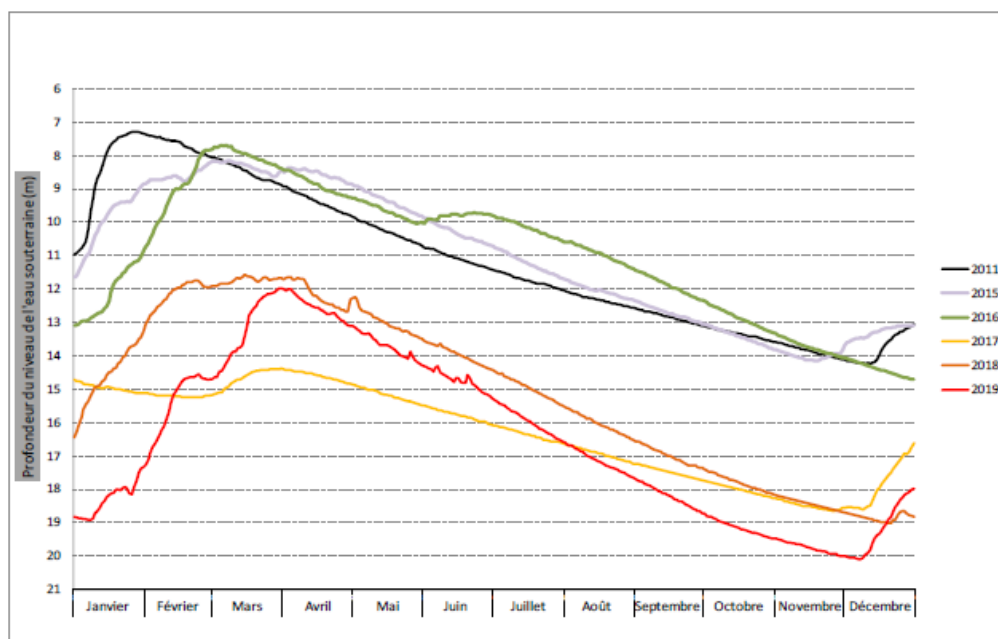
Figure 6: Cours d'eau à sec durant la sécheresse de 2020 : Lhomme à Rochefort. Source : Printemps résilient¹¹

^{III} Source : Francois Paulus, SPW ARNE

^{IV} En effet, les sécheresses impactent aussi la qualité de l'eau des cours d'eau wallons suite à la diminution des débits. La concentration en polluants dans les eaux de surface augmente car les rejets des stations d'épuration des eaux usées (STEP), des industries et ceux inhérents à l'activité agricole sont moins dilués en période d'étiage.

2.3.1.2 Pour les eaux souterraines

Au niveau des eaux souterraines, une baisse du niveau des nappes a été constatée, particulièrement accentuée dans certaines masses d'eau plus directement sensibles aux variations de précipitations. Ces impacts sont discutés dans le carnet de prospective de l'IWEPS¹² où l'on peut par exemple voir que l'impact de la sécheresse de 2017 laisse une marque durable (2018-2019) sur le niveau de la nappe des calcaires du sud de la Meuse (voir Figure 7). Pour assurer une bonne recharge de la nappe en période hivernale, il est capital d'avoir des précipitations abondantes entre décembre et mars. Un déficit pluviométrique hivernal peut entraîner une « sécheresse hivernale », qui va limiter la recharge de nappe, et donc mettre la gestion des eaux souterraines sous tension l'année suivante.



Source : SPW Environnement - DEMNA

Figure 7 : Évolution annuelle et interannuelle du niveau de la nappe des calcaires du bord sud de la Meuse à Fosses-la-Ville (2011-2019). Source : IWEPS¹²

Les sécheresses peuvent également impacter la distribution d'eau potable. Comme présenté à la Figure 8, les sécheresses de 2017, 2018 et 2019 ont impacté la distribution d'eau potable dans plus de soixante communes belges. De nombreux éléments entrent en jeu pour expliquer des ruptures d'approvisionnements en eau potable. Outre le niveau d'eau dans les nappes exploitées, cela peut également être lié à la disponibilité des eaux de surface, ou encore lié à de mauvaises connections entre différentes parties du réseau d'eau.

Section 2 : Etat des lieux - Les sécheresses en Wallonie

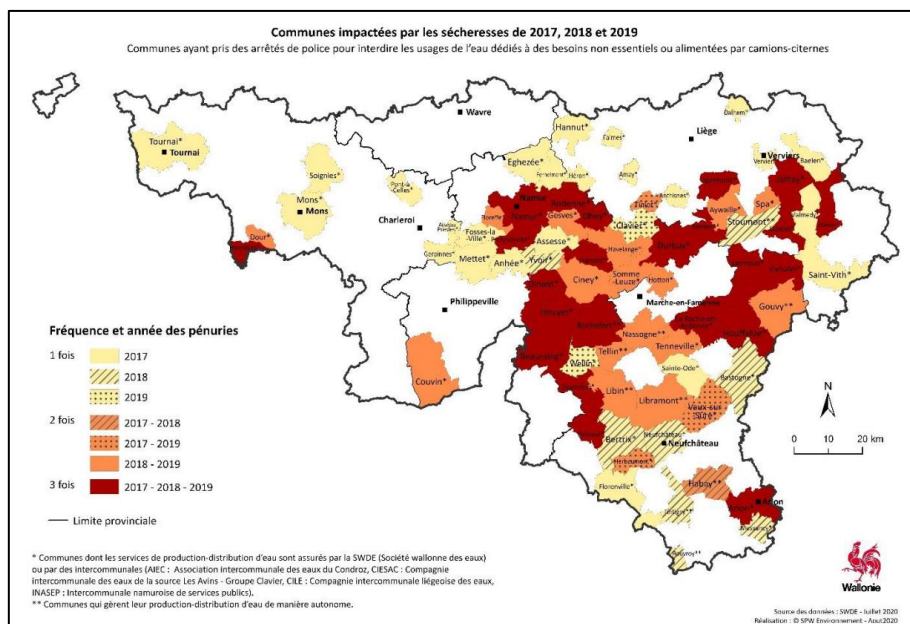


Figure 8 - Communes belges dont la distribution d'eau a été impactées par les sécheresses de 2017, 2018 et 2019 (Source : IWEPS¹³)

2.3.2 Impact : au niveau de l'agriculture wallonne

La sécheresse affecte de manière distincte les différents types de productions agricoles. Il est donc important dans un premier temps de remettre en contexte l'agriculture wallonne.

2.3.2.1 Paysage agricole wallon

En 2022, la Surface Agricole Utilisée (SAU) en Wallonie atteint 738 927 ha, soit 44 % du territoire wallon. Depuis 1990, elle a subi une faible diminution (2,5 %), essentiellement en raison des phénomènes d'artificialisation des terres agricoles comme la création de parcs industriels, d'habitat, la construction d'infrastructures de service public ou de voies de communication.

Comme le présente la Figure 9, en 2020 en Wallonie, près de la moitié de la superficie agricole est consacrée aux prairies permanentes et temporaires. Les grandes cultures (en y incluant le maïs fourrager) représentent plus de la moitié (53%) de la SAU de la Wallonie.

Il s'agit principalement de céréales (30%) et de cultures fourragères (13%). Les cultures dites industrielles telles que la betterave sucrière, le colza, le lin et la chicorée représentent 8 %. La pomme de terre représente 5 % de la SAU.

- Les céréales sont majoritairement utilisées pour l'alimentation animale (46%), la fabrication d'amidon (26%) et la production de bio-éthanol (18%) ;
- La meunerie-boulangerie représente actuellement moins de 10 % de l'utilisation des céréales belges (principalement du froment), tandis que la malterie-brasserie (principalement de l'orge) représente un pourcent ;¹⁴
- Au sein des céréales, c'est le froment (aussi appelé blé tendre) qui est la principale culture de Wallonie avec 18% de la SAU. Le froment d'hiver représente près de 99% de la production wallonne (principalement utilisé pour l'alimentation animale, l'amidonnerie et l'industrie des biocarburants) ;
- L'orge est la seconde céréale par ordre d'importance en termes de production en Wallonie où on cultive deux grands types d'orge. L'orge d'hiver ou escourgeon qui est principalement utilisé (92%) pour l'alimentation animale. L'orge de printemps est principalement utilisée en brasserie et distillerie.¹⁵

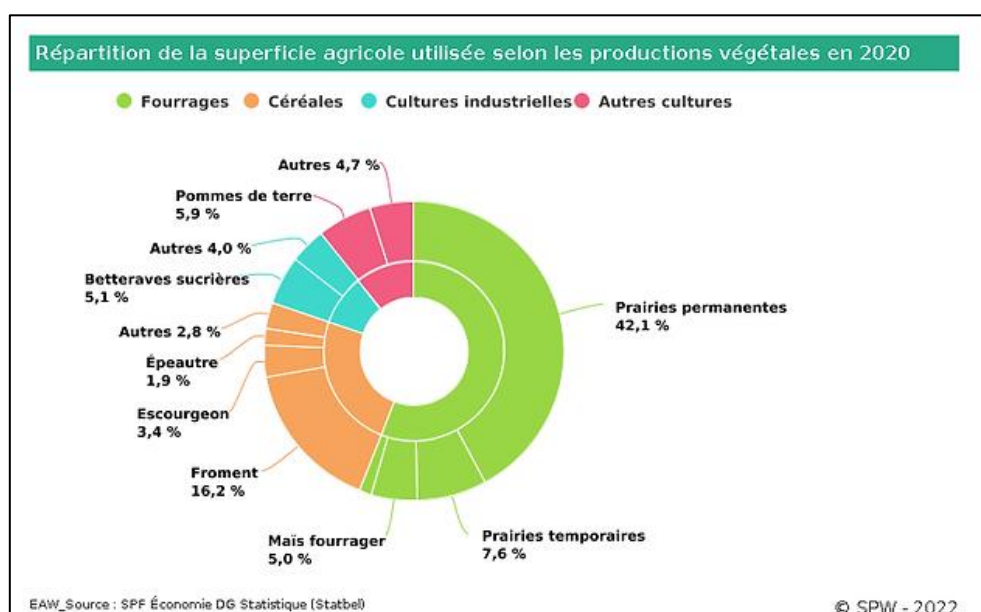


Figure 9: Répartition de la superficie agricole utilisée selon les productions végétales en 2020. Source : État de l'Agriculture Wallonne¹⁶

L'agriculture wallonne s'était fortement spécialisée ces dernières décennies, il y a peu d'exploitations mixtes (cultures et herbivores) qui favorisent l'autonomie protéique (1 516 exploitations en polyculture-élevage, soit 11% du total des exploitations agricoles wallonnes en 2020).¹⁷

L'agriculture wallonne est majoritairement tournée vers l'alimentation animale (environ 70% de la SAU) et faiblement vers l'alimentation humaine directe.

Enfin, l'agriculture est également significativement orientée vers l'exportation¹⁸, et notamment de produits d'élevage (beurre, lait en poudre et viande), de céréales, de pommes de terre et de produits transformés (notamment légumes en conserve).

2.3.2.2 Impact des sécheresses sur les rendements agricoles

Les conséquences du changement climatique sont multiples sur l'agriculture wallonne. D'un côté, les impacts tendanciels de l'augmentation des températures et de la concentration de CO₂ ont, respectivement, des effets positifs sur la croissance des végétaux et sur la production de biomasse, bien qu'il n'y ait pas de lien direct avec l'augmentation de rendement agricole.¹⁹ De l'autre, les sécheresses induisent de multiples facteurs limitants comme la disponibilité en eau, la disponibilité en nutriments ou encore la photopériode. Par ailleurs, à de hautes températures, le stress thermique fait tomber de manière marquée la productivité du blé et d'autres cultures. La hausse moyenne des températures induit également une évapotranspiration moyenne plus élevée, ce qui a un impact notamment sur le stress hydrique. La sécheresse peut donc impacter les dates de semis, induire une maturité précoce ou affecter la taille des fruits.

De manière générale, les impacts vont dépendre du type de culture, du moment et de la longueur de la sécheresse. Avec la Figure 10, le CRA-W a ainsi observé les rendements des cultures principales wallonnes les années de sécheresses²⁰, permettant de constater que le froment d'hiver et la betterave, avec leur système racinaire plus profond, ne sont que peu affectés, voire affectés positivement par les années de sécheresses, alors que le maïs et la pomme de terre sont nettement pénalisés.

<i>Année</i>	<i>1976</i>	<i>2018</i>	<i>2020</i>	<i>2022</i>
Froment d'hiver	+1% (1)	-2% (1)	+5% (1)	Sup. à la moyenne (2)
Pommes de terre	-34% (1)	-24% (3)	-11% (3)	-20% (3)
Betteraves	+6% (1)	0% (1)	0% (1)	Sup à moyenne (4)
Maïs fourrager	-26% (1)	-9% (1)	-5% (1)	Inf. à la moyenne (5)

Figure 10 : Ecarts de rendement des cultures principales wallonnes les années de sécheresse. Source : Rosillon et al.²⁰

2.3.2.3 Impact des sécheresses pour l'élevage

Les sécheresses ont un impact majeur sur les prairies, où elles affectent la pousse de l'herbe et par conséquent l'alimentation du bétail. La vulnérabilité des pâturages à la sécheresse dépend de plusieurs facteurs, notamment le type de sol, la topographie, la densité de bétail et le type d'herbe²¹.

A noter que l'étude MERINOVA²¹ a produit en 2016 une cartographie de la vulnérabilité des prairies à la sécheresse où l'on voit que la Région limoneuse et la Famenne présente des zones à plus haute vulnérabilité que le reste de la Wallonie (Figure 11). L'indicateur relatif, de cette figure, (plus foncé = plus vulnérable) est basé sur la capacité totale d'eau disponible (pour le sol), la densité de bétail et la proportion de prairie par rapport à la SAU communale.

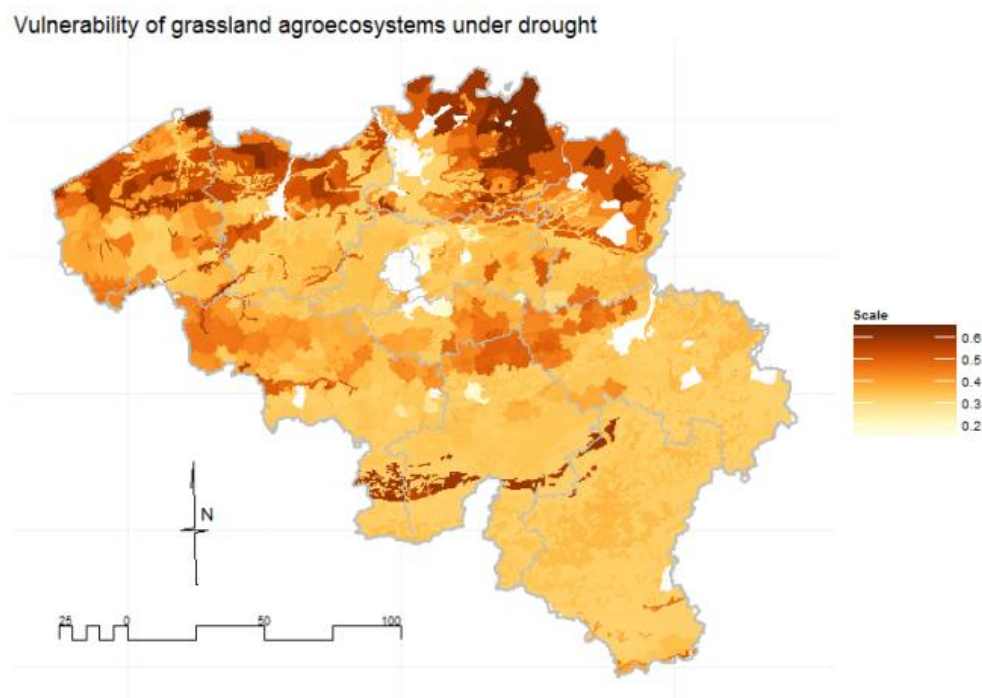


Figure 11 : Indicateur relatif de vulnérabilité des prairies à la sécheresse. Source : MERINOVA²¹

De même, les pertes des productions fourragères dues aux sécheresses peuvent être bien supérieures à 30% en Wallonie. Les années 2015, 2017, 2018, 2020 et 2022 ont notamment été reconnues comme calamité agricole. En affectant la production fourragère en quantité et en qualité, les sécheresses sévères impactent les performances des animaux et leur production de viande ou de lait. Pour faire face aux difficultés de production fourragère, les agriculteurs peuvent adopter des solutions de contournement qui sont contraignantes et coûteuses et qui peuvent menacer la pérennité même de leurs exploitations : acheter des aliments concentrés, et/ou diminuer leur cheptel par des réformes d’animaux plus rapides afin de retrouver un meilleur équilibre entre fourrages et troupeau.²²

Outre les impacts sur le rendement agricole et les difficultés liées à l’élevage, les sécheresses augmentent aussi le risque d’incendie, notamment des départs de feu lors des fauches de prairies (étincelles des lames, etc.). De plus, au-delà de l’impact des sécheresses, rappelons que les impacts des fortes chaleurs sont multiples sur l’élevage : dégradation des conditions de vie du bétail, augmentation du risque de maladies et de parasites. Ces fortes chaleurs impactent aussi le confort de travail des agriculteurs eux-mêmes.

2.3.2.4 Autres impacts

Les sécheresses en dehors de la Wallonie peuvent aussi impacter la Wallonie. En effet, la Wallonie importe des produits agricoles (soja, céréales) pour l’alimentation du bétail mais aussi pour l’alimentation humaine (céréales, fruits et légumes). Or, des épisodes de sécheresses au sein des pays exportateurs (Brésil, Ukraine, etc.) peuvent impacter le prix des matières premières et mettre en difficulté les éleveurs.

3 Etat des lieux - Utilisation de l'eau en agriculture en Wallonie

Avant d'aborder les usages de l'eau en agriculture uniquement, il est important de remettre en contexte l'utilisation de l'eau en agriculture par rapport aux autres usages de l'eau en Wallonie. En 2018, la Wallonie a prélevé près de 1 768 millions de mètres cubes d'eau dans ses cours d'eau et ses nappes d'eau souterraine, avec une baisse de près de moitié des prises en eau de surface ces 20 dernières années, et un volume stable pour les prises d'eau souterraine.²³

3.1 Les prélèvements des eaux en surface

les prélèvements en eaux de surface sont 4 fois plus élevés que les volumes extraits des aquifères. Comme le présente Figure 12, la grande majorité des eaux de surfaces (86,3 %) est utilisée pour le refroidissement des centrales électriques et donc restitués aux cours d'eau après usage. Le solde est consacré à la distribution publique (6,8 %), à d'autres utilisations industrielles (4,5 %) et aux processus de refroidissement des industries (2,3 %). L'agriculture n'est ici pas représentée, car les prélèvements effectués en eau de surface par les agriculteurs dans des cours d'eau rivaux à leurs champs ne demandent pas d'autorisation, et il y a donc une absence de données sur cette utilisation. Cela étant dit, les prélèvements en eau de surface par les agriculteurs est négligeable en termes de volumes par rapport aux besoins de refroidissement des centrales.

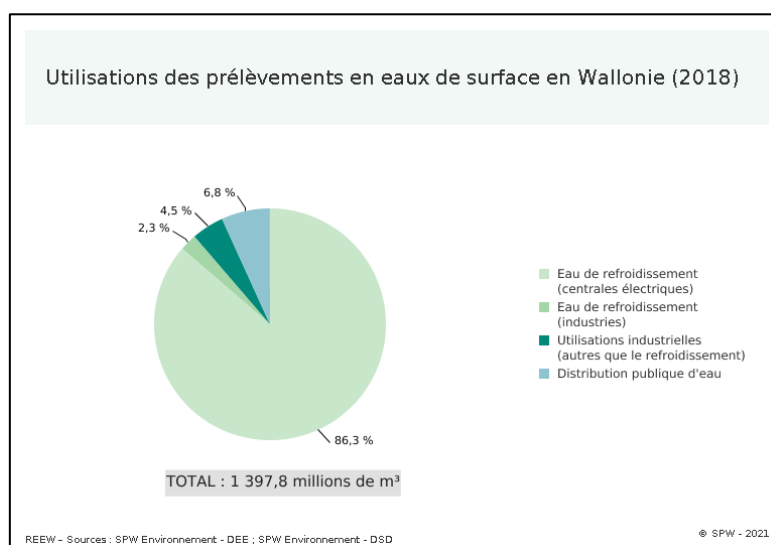


Figure 12: Utilisations des prélèvements en eaux de surface (gauche) en Wallonie (2018). Source : État de l'environnement wallon.²³

3.2 Les prélèvements des eaux souterraines

Comme le présente la Figure 13, les prélèvements d'eau souterraine s'élèvent à 370,5 millions de m³ (en 2018), dont 79,2 % étaient destinés à la distribution publique d'eau potable.

On observe que :

- Le principal secteur utilisateur de l'eau souterraine reste la production d'eau potable ;
- Les industries extractives (eau d'exhaure des mines et carrières) utilisent 10,7 % des volumes captés tandis que les autres industries en ont utilisé 7,1 % ;
- Les prélèvements pour la production de boissons concernent 1,3 % des volumes prélevés ;
- Les prélèvements en eau souterraine à destination de l'agriculture représentent 0,7 % soit 2,8 millions de m³ annuels en 2018.

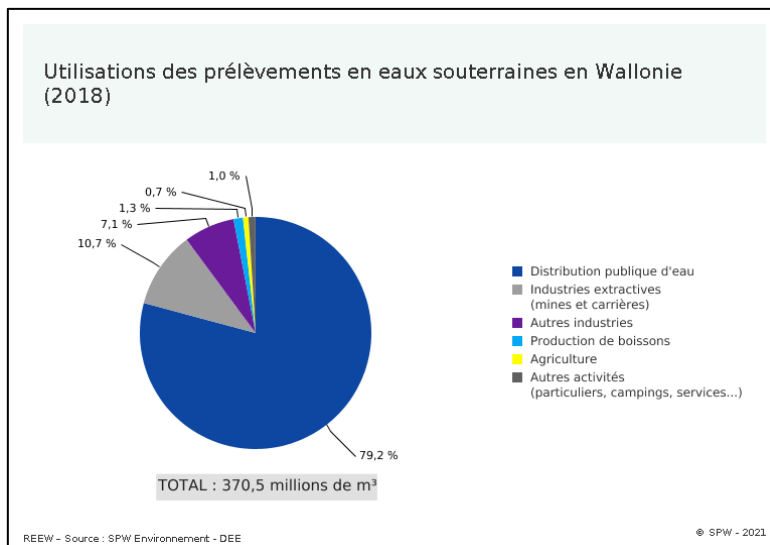


Figure 13 : Utilisations des prélèvements en eaux souterraines en Wallonie (2018). Source : État de l'environnement wallon.²³

Même si le secteur agricole ne représente qu'une faible quantité prélevée en eaux souterraines, en particulier en comparaison avec la distribution publique, il est important de souligner le grand nombre de petits forages liés à l'agriculture (voir Figure 14) : plus de 5700 puits agricoles actifs en Wallonie, soit environ un forage sur deux (Figure 15).

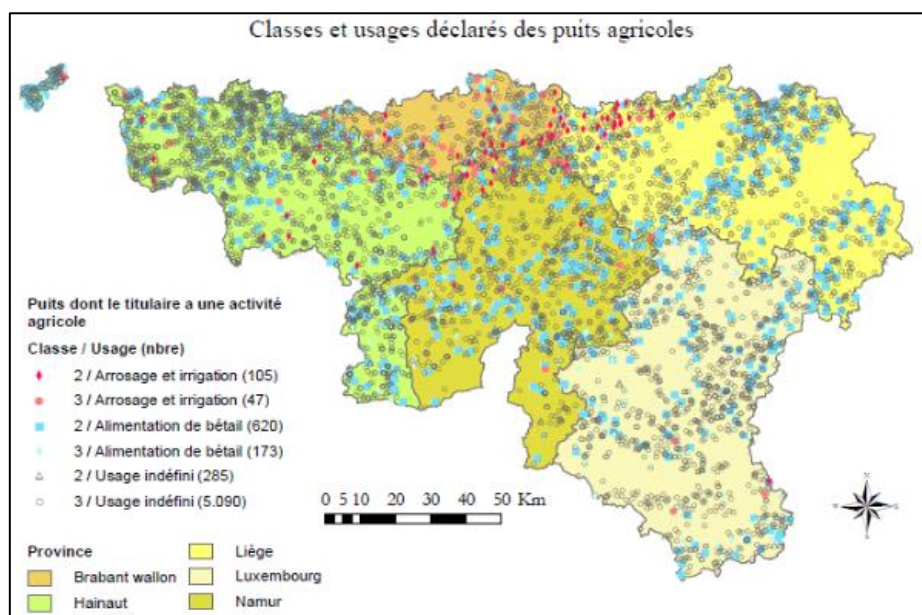


Figure 14: Carte des puits et forages agricoles (2020). Source : SPW DESO^v (2022)

^v Carte fournie par Christian Mulders, attaché au CIAE (SPW ARNE)

Prises d'eau actives déclarées et géoréférencées au 01/03/2022	
Total :	11797
▲ Distribution publique d'eau	1376
● Embouteillage de boissons	145
■ Industries	445
■ Carrières	114
● Agriculture	5 765
• Autres services et particuliers	3 952

Figure 15 : Prises d'eau actives déclarées et géoréférencées au 01/03/2022. Source : Atlas des eaux souterraines.²⁴

Il est important de noter que les chiffres des prélèvements souterrains pour l'agriculture sont probablement sous-évalués. Si l'on ne considère que le besoin d'abreuvement des 400 000 vaches laitières et allaitantes de Wallonie, soit 100 litres par jour et par tête, cela veut dire que près de 15 millions de m³ d'eau par an sont nécessaires. Ce chiffre est 5 fois supérieur aux 2,8 millions cités ci-dessus. À ce chiffre s'ajoutent les autres besoins des animaux d'élevage, ainsi que l'eau pour l'irrigation. Plusieurs facteurs d'explication de ces différences sont possibles :

- Aux chiffres de prélèvements directs doit s'ajouter l'eau de réseau utilisée par les agriculteurs. Celle-ci est reprise dans la distribution publique d'eau mais devrait être attribuée à l'agriculture ;
- Comme discuté plus haut, une exploitation agricole peut également utiliser de l'eau de surface grâce à son droit de riveaineté sans que ces quantités ne soient reprises dans les statistiques ;
- Les exploitants de puits ne sont pas toujours tenus de déclarer les volumes prélevés exacts, comme précisé ci-dessous.

En effet pour ce dernier point, seuls les exploitants prélevant des volumes supérieurs à 3000m³/an ou 10 m³/h nécessitent un permis d'environnement de classe I ou II et sont tenus de déclarer précisément les volumes prélevés et leur utilisation. Cependant, la majorité des puits agricoles sont des puits à faible débit, de classe III voire potentiellement non déclarés. Les volumes prélevés par les agriculteurs dans ces puits (de classe III ou non déclarés) ne sont donc pas communiqués et donc comptabilisés.

3.2.1 Zoom sur l'état quantitatif et qualitatif des nappes

Concernant l'état quantitatif, aucune modification ou altération du niveau de l'eau n'a été observée jusque fin 2016. En revanche, le manque de précipitation de l'hiver 2017 a entraîné une très faible recharge des nappes d'eau wallonnes et a été suivi de 4 étés secs (de 2017 à 2020). Ces phénomènes météorologiques combinés ont occasionné une baisse significative du niveau d'eau au droit de plusieurs masses d'eau souterraines.²⁷

Le taux d'exploitation des nappes est évalué sur base de la ressource (paramètre d'entrée, fourni avec la modélisation hydrologique EPICGRID) et des prélèvements par pompage dans les masses d'eau. Bien que les sorties naturelles vers les eaux de surfaces ne soient pas modélisées, le taux d'exploitation actuel se situe généralement autour de 25-30% de la ressource. En combinant ces informations avec les données piézométriques de mesure de niveau de nappes, cela permet d'affirmer que toutes les masses d'eau souterraines en Wallonie sont en bon état quantitatif. Il faut cependant noter l'exception de la masse d'eau des Calcaires carbonifères du Tournaisis RWE060, qui chevauche la zone d'étude du projet 104 du PRW porté par la DAFOR. C'est ce que présente la Figure 16.

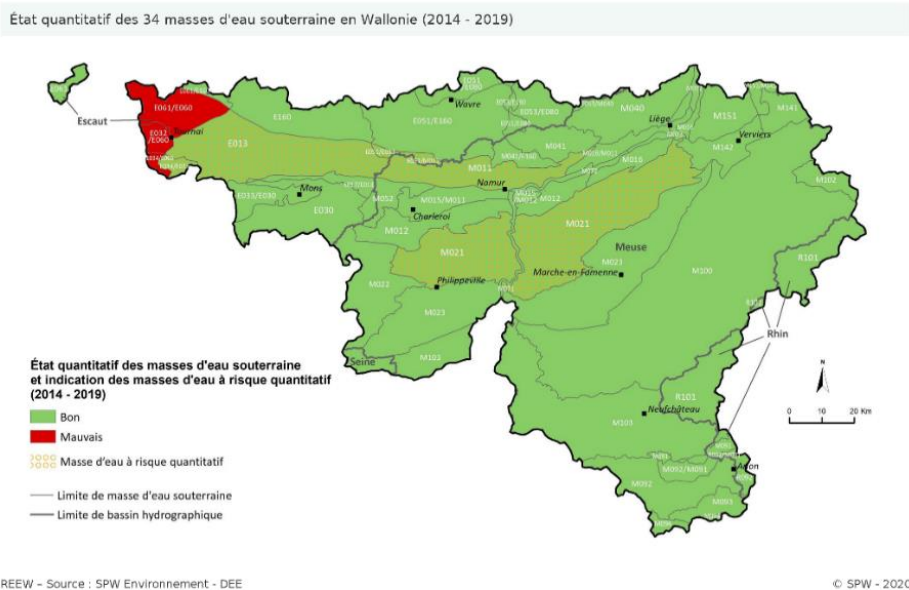


Figure 16: État quantitatif des masses d'eau souterraines. Source : État de l'environnement wallon²⁵

La nappe des Calcaires carbonifères du Tournaisis a en effet vu une baisse généralisée de son niveau depuis la fin de la dernière guerre, ce qui a fait prendre conscience de la nécessité d'adapter les prélèvements. Dans cette nappe, l'eau était en effet prélevée à un rythme supérieur à son alimentation, provoquant une diminution constante de son niveau d'environ 1 à 2 m par an. En outre, la nappe a toujours été exploitée simultanément par la France, la Flandre et la Wallonie. Depuis 20 ans, la réduction des prélèvements et la coordination des trois régions autour de cet enjeu sont sans doute à l'origine du retour à une stabilisation relative des niveaux (voir projet SCALDWIN²⁶). Néanmoins cette masse d'eau reste en mauvais état quantitatif.

D'un point de vue qualitatif, certaines masses d'eau souterraines wallonnes souffrent d'un mauvais état qualitatif chimique, par pollution aux nitrates, aux pesticides ou autres. Même si près de 60% des masses d'eau sont en bon état chimique, il est à noter qu'une amélioration de la situation est exigée par l'Union européenne dans le cadre de la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE), mise en œuvre notamment à travers les plans de gestion des Districts Hydrographiques.

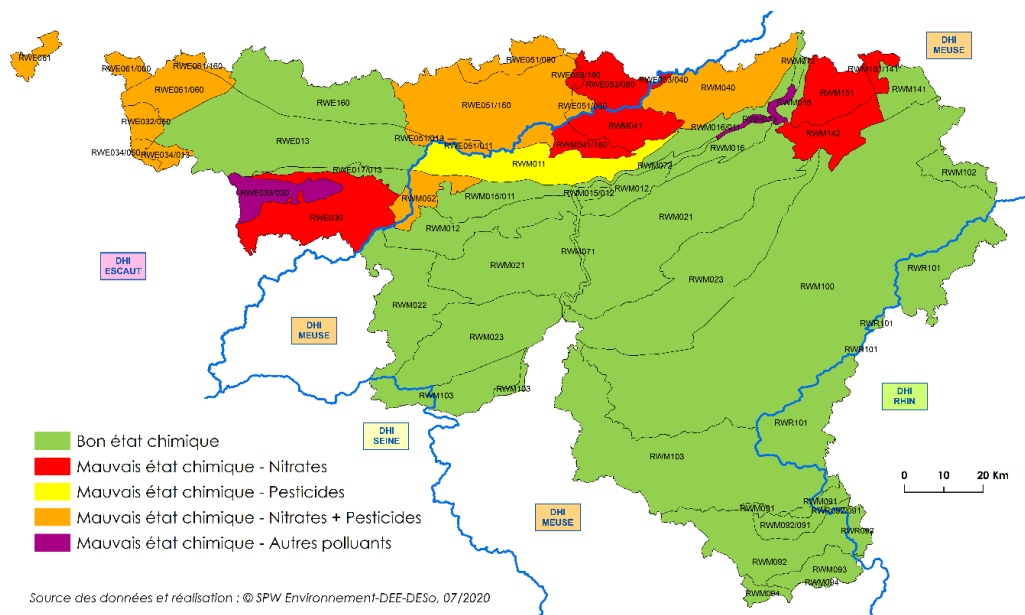


Figure 17 : état chimique des masses d'eau souterraine et altérations déclassantes. Source : SPW²⁷

3.3 L'usage pour l'irrigation

Au vu de son potentiel important en termes de consommation d'eau, l'irrigation en Wallonie est discutée avec les observations suivantes qui complètent la Figure 18..

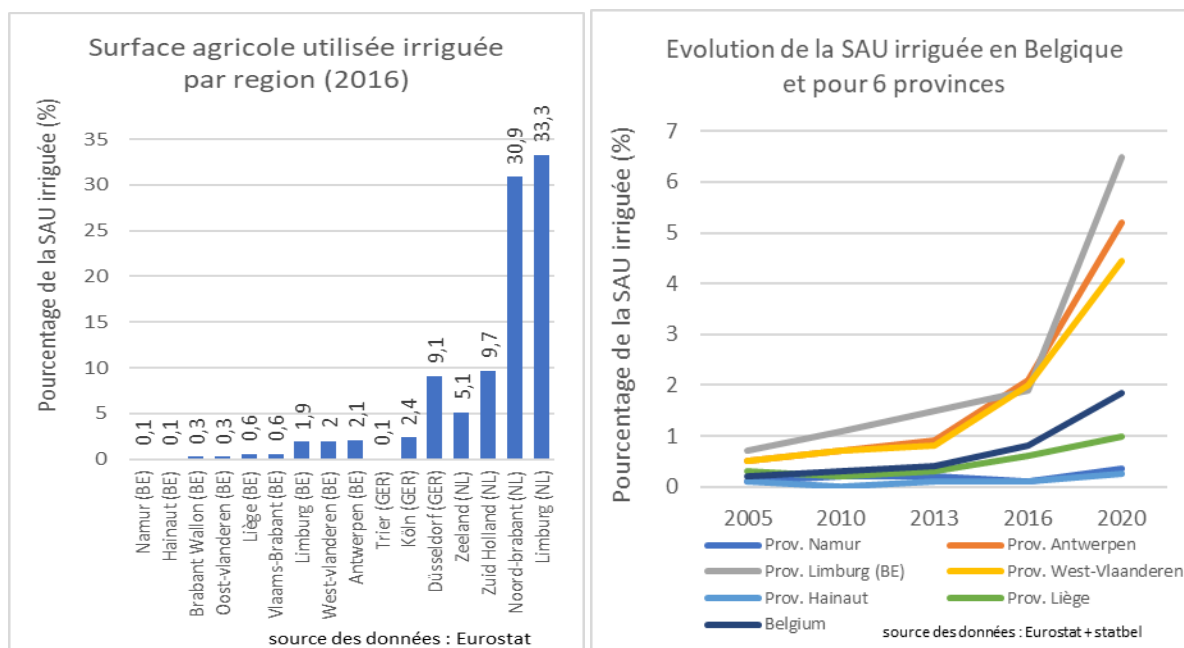


Figure 18 – Proportion de la SAU irriguée pour différentes provinces belges et régions limitrophes (gauche), et évolution entre 2005 et 2010 en Belgique (droite) Source : Eurostat²⁸

Tout d'abord, selon la dernière enquête agricole fédérale de 2020²⁹, la superficie irriguée en plein air en Belgique représente 1,8% de la SAU. Elle est principalement (88%) située en Flandre, dans les provinces aux sols sableux (plus drainant).

En 2020, pour la Wallonie, seuls 3 084 hectares sont irrigués en plein air sur les 740 000 hectares de SAU, soit 0,4%. Il y a de plus une forte disparité entre les provinces. En 2020, la province de Liège était en tête de la Wallonie avec 1% de la SAU irriguée contre 0,3% pour le Hainaut, par exemple.

Ces chiffres restent loin derrière les 4,4% ou 5,2% de SAU irriguée respectivement en Flandre occidentale et dans la province d'Anvers.

De fait, historiquement, la Wallonie est très peu dépendante de l'irrigation en comparaison de la Flandre mais également des Pays-Bas où l'irrigation concerne près de 30% des terres dans certaines provinces (données de 2016). On observe cependant une constante augmentation dans la superficie irriguée en Belgique entre 2005 et 2020, et en particulier depuis 2016. La Wallonie a, elle, doublé sa surface irriguée entre 2016 et 2020.

En Wallonie, l'essor des cultures maraîchères à grande échelle et la croissance des surfaces cultivées en pomme de terre notamment (+25% de SAU pour les pommes de terre entre 2015 et 2020) induisent une demande d'irrigation ponctuelle, sur de courtes périodes (germination, floraison...).

Ainsi, le nombre de demandes pour des nouvelles prises d'eau agricoles souterraines a quintuplé entre 2018 et 2021 en Wallonie (Figure 19). A noter que ces périodes de besoin pour l'irrigation agricole correspondent en général aux périodes de basses eaux, tant dans les cours d'eau que dans les nappes aquifères et il peut dès lors apparaître une concurrence avec d'autres secteurs pour l'accès à la ressource en eau. Au regard de la hausse de cette demande d'eau pour l'agriculture, une attention doit être portée sur l'état quantitatif et qualitatif des masses d'eau souterraines en Wallonie.

Année	Nombre de demandes
2018	10
2019	37
2020	41
2021	52

Figure 19 - Évolution du nombre de demandes pour prises d'eau agricoles. Source : SPW-DEE (2022)

4 Etat des lieux - Politiques et cadres wallons

Dans une volonté de régulation et en application des directives européennes, la Région wallonne a mis en place plusieurs plans et textes législatifs en lien direct avec la thématique de l'eau et de la sécheresse sur lesquels il est pertinent de revenir. Concernant la qualité de l'eau (eau de surface et eaux souterraines), l'Union Européenne a fixé des objectifs dans la DCE. Celle-ci est mise en œuvre à travers les Plans de Gestion des Districts Hydrographiques (PGDH). Les 3^{èmes} PGDH wallons (cycle 2022-2027) ont été adoptés en 2023 (Meuse, Escaut et Rhin). Au sein de ces PGDH, la prise en compte de la sécheresse se fait à travers la Stratégie Intégrale Sécheresse de la Région wallonne (SIS).

4.1 Stratégie Intégrale Sécheresse (SIS)

Cette SIS se compose de deux volets : le Schéma Régional des Ressources en Eau (SRRE) et le Dispositif Sécheresse pour la Wallonie (DSW), piloté par l'administration (SPW ARNE).

4.1.1 Schéma Régional des Ressources en Eau (SRRE)

Tout d'abord, le **SRRE**, dont le programme d'investissement a été approuvé en 2015, vise avant tout à assurer la capacité à sécuriser un approvisionnement d'eau potable en quantité et en qualité adéquate. Le SRRE assure la régulation des prélèvements publics et privés, la sécurité d'approvisionnement du territoire wallon, l'accès à l'eau, la maîtrise du prix de l'eau, l'application du principe de récupération des coûts ainsi que la cohérence avec les autres politiques régionales (comme l'aménagement du territoire ou l'exploitation des ressources minérales).

Actuellement, le SRRE 2.0 est en phase de mise en œuvre, marquant une mise à jour majeure du schéma précédent afin d'intégrer les défis posés par le changement climatique. Lancé en 2020, ce plan a subi des retards en raison de la pandémie de COVID-19, il est prévu qu'il soit finalisé d'ici la fin de l'année 2023. Cette version améliorée va plus loin que la gestion de l'offre en eau, et traite également la gestion de la demande en eau ainsi que la régulation, mettant l'accent sur l'adaptation aux impacts du changement climatique. Par exemple, une attention particulière est accordée à l'établissement d'un cadre légal pour prioriser les usages de l'eau en période de stress hydrique sévère. Le plan vise également à restreindre l'établissement de nouvelles prises d'eau et à faciliter la conclusion d'accords interrégionaux ou internationaux en cas de stress hydriques.

4.1.2 Dispositif Sécheresse pour la Wallonie

En complément, le **DSW** est structuré en 7 volets d'orientation stratégiques, présentés à la Figure 20, et composé de 50 mesures mises en œuvre par les différents départements du SPW ARNE.



Figure 20: Dispositif sécheresse SPW ARNE - principes. Source : Printemps résilient¹¹

En complément et soutien à ces mesures du DSW, le PRW finance différents projets, notamment spécifique à l'augmentation de la disponibilité de la ressource :

- **Projet 103** : Mettre en œuvre de nouvelles ressources en eau (ReUse, recharge...). Ce projet vise à soutenir le secteur public de l'eau dans la recherche et la mobilisation de nouvelles ressources en eau, telles que la réutilisation des eaux usées sortant des stations d'épuration, la valorisation des eaux de démergement ou de nappe alluviale, le stockage d'eau pluviale ou de surface et l'augmentation de la recharge des nappes, afin de sécuriser le réseau public, répondre à de nouveaux besoins (irrigation, industrie agro-alimentaire, développement territorial) et in fine de préserver nos ressources. L'opérationnalisation de ce projet est assurée collégialement par la SWDE, la SPGE. Il est couplé avec le projet 105 suivant ;
- **Projet 105** : Créer des réseaux d'alimentation décentralisés en eau. Les modèles hybrides avec une alimentation décentralisée du réseau et une utilisation circulaire de l'eau (ReUse, eaux pluviales de démergement) peuvent contribuer à répondre aux défis de plus en plus prégnants d'adaptation climatique, technique et économique. Ce projet vise, d'une part, à lancer des cas pilotes d'utilisation circulaire de l'eau pour tester la viabilité technique et commerciale, ainsi que pour établir les rôles des partenaires et, d'autre part, à évaluer la possibilité de démultiplier les cas et préparer une feuille de route d'une démarche industrielle structurante et structurelle ;
- **Projet 106** : Améliorer la performance des infrastructures publiques d'alimentation en eau potable ;
- **Projet 104** : Améliorer l'infrastructure agro-environnementale et mettre en œuvre des structures de stockage d'eau et d'irrigation via l'aménagement foncier. Le présent rapport est rédigé dans le cadre de ce projet.

Ces mesures du PRW complètent le DSW 2.0. Au sein des mesures du DSW 2.0 sont également reprises des mesures mises en œuvre dans le cadre de la gestion du risque d'inondation, et qui ont un effet positif sur la réduction du risque de sécheresse.

Par ailleurs, le PRW finance aussi un ensemble de projet qui ont un impact positif sur le cycle de l'eau de manière générale : des projets sur la régénération de forêts (projet n°96 et 108), la protection de milieux et habitats (n°97, 111 et 112), la reméandration de cours d'eau et création de zones d'immersions temporaires (n°99), des projets sur les sols, pour renforcer leur connaissance, leur gestion et l'amélioration de leur qualité (n°114, 116, 117, 118 et 119) et la limitation de l'imperméabilisation des sols (n°119 et 120). Enfin, des projets sur l'agriculture et le secteur agricole sont également mis en œuvre : le plan bio (n°202), le développement de nouvelles filières alimentaires (n°204) et le soutien à la transition de l'agriculture vers l'agroécologie (n°206, 207, 208 et 209).

4.2 Gestion des inondations

Les Plans de Gestion des Risques d'Inondation (PGRI) sont des autres outils de gestion de l'eau majeur des politiques wallonnes.

Les PGRI, adoptés une première fois en 2016, et aujourd'hui à la deuxième version couvrant 2022-2027, reprennent un ensemble de mesures visant la prévention des inondations, la protection de zones clés contre celles-ci, la préparation en cas d'alerte, et la réparation après inondation. Les mesures de prévention et de protection impliquent notamment la mise en place de solutions basées sur la nature, qui ont un impact notamment sur l'infiltration de l'eau dans le sol, et donc de recharge de nappes phréatiques, mais également de conservation d'humidité dans le paysage. Ces mesures en plus de leur effet de réduction du risque d'inondation augmentent la résilience face aux sécheresses.

Le Programme d'Actions sur les Rivières par une approche Intégrée et Sectorisée (**P.A.R.I.S**) organise la gestion, par secteur, pour des tronçons de rivières pour répondre aux objectifs du PGDH et du PGRI en permettant de coordonner localement les actions de ces deux plans.

Enfin, les **Contrats rivières** regroupent les différents acteurs de l'eau par sous-bassin hydrographiques (14 en Wallonie). Ils ont pour objectif de mettre en relation les différents acteurs (riverains, acteurs économiques, tourisme, environnementalistes, politiques, etc.) des vallées afin d'organiser une gestion concertée et de préserver et restaurer les cours d'eau et leurs abords.

Encadré - Complémentarité entre gestion de l'inondation et de la sécheresse.

Le concept du « parapluie », outil qui protège de la pluie et qui peut servir à se protéger du soleil et de la chaleur, est mis en avant par F. Paulus³⁰, responsable sécheresse au SPW ARNE, dans sa note sur le dispositif intégral sécheresse du SPW ARNE : une même mesure peut servir plusieurs objectifs.

- Quand les PGRI et PGDH prévoient des mesures de reméandration des cours d'eau avec des techniques « naturelles » afin de **lutter contre les inondations** ou améliorer la qualité hydromorphologique des cours d'eau, cela **permet aussi de « garder » l'eau dans le paysage**.
- Quand on met en place des mesures visant à limiter l'érosion des sols et le ruissellement sur les sols agricoles, on vise essentiellement à **empêcher** les submersions par **ruissellement** et de limiter tant que possible l'arrivée de ces flux dans les cours d'eau. Les dispositifs et aménagements en milieu rural, fascines, travail du sol, création de zones de retenue... retiennent l'eau et **favorisent l'infiltration** dans le sol et vers les nappes d'eau souterraine. Ces retenues peuvent aussi le cas échéant constituer une source d'approvisionnement d'appoint, si la vidange de celle-ci se fait de manière naturelle.

Les mesures de gestion des eaux pluviales visent à empêcher l'arrivée de celles-ci dans les cours d'eau et limitent ainsi l'impact qu'elles peuvent avoir sur le débordement des cours d'eau. L'objectif est d'infiltrer au maximum ces eaux pluviales qui vont participer activement à la **recharge des nappes**, ce qui augmente la disponibilité d'une ressource dont il est clair qu'à l'avenir elle sera davantage sollicitée, surtout par le secteur agricole pour lequel le recours à l'irrigation ne fera que croître.

La plantation d'une ripisylve ou bande arborée en bordure de cours d'eau, outre la création d'une biodiversité associée et l'amélioration ou le maintien de l'état écologique, obligation découlant de la directive cadre sur l'eau, apporte de la **fraicheur** au cours d'eau. Elle peut même s'avérer salutaire lorsque le cours d'eau est à sec pour certaines espèces comme la mulette épaisse ou la moule perlière, deux mollusques protégés de nos rivières. Lors de la sécheresse de 2020, les observations ont montré que, là où la ripisylve était absente, les mollusques qui se sont enfouis dans le lit du cours d'eau n'ont pas survécu au contraire de ceux vivant dans les cours d'eau bordés d'arbres. Ceux-ci ont apporté un ombrage suffisant qui a maintenu une température supportable par ces organismes vivants.

Un **principe de base** qui sous-tend la stratégie DSW et les mesures qu'elle comporte est **de « retenir » l'eau partout où c'est possible** : dans les plantes, dans le sol, dans des zones de retenue d'eau (mares, retenues collinaires, zones d'immersion) et surtout dans les nappes. En favorisant le fait de retenir l'eau avec des **solutions basées sur la nature**.

En effet, comme le rappelle le responsable du dispositif sécheresse wallon F. Paulus^{Erreur ! Signet non défini.}, si on doit implanter des zones de retenues d'eau, le recourt à des techniques végétales, naturelles sans recours au béton doit être privilégié. La nature dispose de capacités d'adaptation dont il faut absolument profiter. Construire de larges bassins de stockage en béton comme on le voit en France, les « bassines », est à proscrire. Pomper l'eau dans le sous-sol pour alimenter ces bassins de retenue appauvrit la ressource souterraine où l'eau est bien protégée et engendre des pertes importantes par évaporation.

La mise en place ou la protection des **zones humides naturelles** comme les tourbières augmente la résilience dans la mesure où celles-ci jouent à la fois le **rôle d'éponge** utile dans une certaine mesure pour prévenir des inondations (une fois l'éponge saturée, elle n'a plus aucune efficacité) et pour les sécheresses en régulant de manière constante le débit des cours d'eau qu'elles alimentent.

4.3 Politique Agricole Commune (PAC)

Concernant l'agriculture plus spécifiquement, c'est principalement via la Politique Agricole Commune (PAC) européenne que des politiques de résilience agricole face à la sécheresse sont concrétisées. La PAC 2023-2027 a parmi ses objectifs de répondre aux enjeux des changements climatiques. Pour ce faire, de nombreuses mesures sont mises en place.

En lien avec la thématique de la résilience du système fourrager face aux sécheresses, un ensemble de mesures visent au maintien des prairies permanentes notamment grâce à leur capacité de stockage du carbone dans le sol et leur contribution à la réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES). Il y a également des mesures qui, de manière plus générale, favorisent l'autonomie fourragère des exploitations afin d'en améliorer la résilience.

Les instruments de la PAC sur la thématique de la sécheresse sont d'une part avec les Exigences Règlementaires en Matière de Gestion (ERMG) et les conditionnalités (Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales (BCAE)) et d'autre part avec les encouragements notamment à travers les subsides pour les Méthodes Agro-Environnementales et Climatiques (MAEC) ou encore les subsides pour les écorégimes et le soutien aux investissements non-productifs¹⁷.

Les **conditionnalités renforcées** de la PAC sur les BCAE imposent notamment le maintien d'un ratio de prairies permanentes par rapport à la surface agricole totale (BCAE 1) ; et l'interdiction de convertir ou de labourer des prairies permanentes désignées comme prairies permanentes écologiquement sensibles sur des sites Natura 2000 (BCAE9).

En ce qui concerne la résilience au changement climatique des exploitations agricoles, l'**écorégime** « couverture longue du sol » et la **MAEC** « Sol » ont le potentiel d'améliorer, à terme, les taux de matière organique (si le couvert peut suffisamment se développer). Cette augmentation de matière organique du sol améliorera donc la stabilité structurale du sol, induisant une meilleure résistance à l'érosion et une meilleure capacité d'infiltration. Via l'écorégime « Prime à la prairie permanente » et la MAEC « Autonomie fourragère », l'autosuffisance en termes de fourrages augmentera la résilience des exploitations lors d'événements climatiques entraînant des diminutions de production (sécheresse...).

La résilience des exploitations agricole sera également augmentée via l'écorégime « cultures favorables à l'environnement » en soutenant des cultures plus résistantes à la sécheresse (quinoa, sarrasin, sorgho...) et des mélanges d'espèces qui offrent une meilleure résistance aux événements climatiques extrêmes.

L'écorégime « maillage écologique » contribue à l'amélioration de la résilience des exploitations en développant le rôle de la biodiversité fonctionnelle, levier de transition vers une agriculture « bas-intrants ». Ceci en assurant, via les éléments du paysage, une meilleure résistance à la sécheresse et aux pertes en sol par érosion hydrique (ruissellement).

Dans les aides à l'investissement productif, il est important de préciser que la mise en œuvre de la PAC en Wallonie exclu explicitement le support aux investissements dans l'irrigation et le drainage.

Néanmoins, la récente réforme de la PAC n'a qu'une ambition limitée en termes de transition écologique du secteur agricole. C'est donc une évolution permettant maintenant de financer également des agriculteurs s'orientant vers l'agro-écologie, mais tout en continuant à financer massivement une agriculture industrielle et productiviste. La Cour des Comptes européenne a en effet souligné les résultats décevants des aides de la PAC précédente (2013-2020) sur le verdissement³¹, ancêtre des écorégimes, qui ont touché moins de 5% des surfaces agricoles européennes et n'ont pas atteint leurs objectifs, notamment par la modestie des exigences n'incitant que peu de changement de pratiques. La capacité des aides directes aux agriculteurs (premier pilier de la PAC) à réellement encourager une transition vers des pratiques agricoles durables reste donc à prouver. Le deuxième pilier de la PAC, qui finance des projets et programmes régionaux (fonds FEDER...), pourrait être un levier pour cela, mais dépendent des ambitions régionales et ont vu leur budget réduit dans la nouvelle PAC.

4.4 Cadre réglementaire de la prise d'eau en agriculture en Wallonie

Afin de pouvoir puiser de l'eau en Région wallonne pour son utilisation en agriculture, un cadre légal existe et des autorisations sont nécessaires³² :

- Pour le pompage dans une nappe souterraine, un permis d'environnement est nécessaire. La classe de permis dépend du volume qui sera prélevé. Un permis de classe 2 est nécessaire si le débit est supérieur à 10m³/h ou 3000m³/an ; pour des débits plus faibles (classe 3), une déclaration à la commune est suffisante ;
- Pour une prise d'eau dans une voie navigable, une autorisation au SPW Mobilité-Infrastructure doit être demandée : le type d'autorisation dépend du caractère temporaire (mobile) ou permanente (fixe) de la prise d'eau ;
- Pour le pompage d'eau dans un cours d'eau non navigable (ou dans un plan d'eau lié à un cours d'eau), un droit de prise d'eau est acquis sans autorisation pour les parcelles bordant la rivière, à travers le droit de riveraineté (article 644 du code civil). Il y est demandé de respecter le débit réservé du cours d'eau, l'absence de base légale sur la définition du débit réservé (respect des autres usagers et du bon état écologique) amène généralement à appliquer la règle de ne pas pomper plus du tiers du débit du cours d'eau. Cependant, le nouveau Code de l'Eau wallon va cadrer prochainement, à travers des arrêtés d'exécution, la prise d'eau de surface ;
 - o Si la prise d'eau demande un aménagement du cours d'eau (petit barrage, chambre de visite, etc.), alors une autorisation domaniale devra être demandée au gestionnaire du cours d'eau (la région, la province ou la commune en fonction de la catégorie de cours d'eau, respectivement 1, 2 ou 3) ;
- Pour la création d'un plan d'eau (étang ou mare) de plus de 75 m² ou modifiant sensiblement le relief (déblai de plus de 40m³), un permis d'urbanisme est nécessaire. Le pompage dans le plan d'eau ne demande alors pas d'autorisation tant que ce plan d'eau n'est pas connecté à un cours d'eau.

4.5 Gestion des dommages liés à la sécheresse

En Wallonie, le Fonds des calamités indemnise les dommages causés par les calamités agricoles. La sécheresse est reconnue comme calamité agricole, et définie³³ comme telle lorsque le rendement des récoltes ou du bétail baisse sensiblement à la suite des effets conjugués des faibles quantités et fréquences des précipitations, des réserves en eau du sol et des pertes d'humidité par évapotranspiration.

L'administration régionale se fonde sur les données de l'IRM pour qualifier le caractère exceptionnel d'une sécheresse, en utilisant le nombre de jours sec, les indices SPI et SPI-E (présentés au §2.1), et en le comparant avec une période de retour de 20 ans. Elle se base aussi sur des retours de terrain ou du centre de crise pour évaluer l'importance et l'impact du phénomène sur l'activité agricole.

La calamité agricole, et donc sa réparation, est ensuite reconnue si les dommages impliquent notamment une perte de rendement par culture d'au moins 30% par rapport à la production moyenne annuelle de l'agriculteur, et lorsque le montant moyen des dégâts agricoles par bénéficiaire est supérieur à 7 500€ et que le montant total pour toutes les demandes en Wallonie est supérieur à 1 500 000€. La demande se fait à travers la commune qui établit une commission communale et un procès-verbal de constat des dégâts.

Le fonds des calamités a été déclenché pour les sécheresses de 2015, 2017, 2018 et 2020 et l'IRM a déjà confirmé le caractère exceptionnel de la sécheresse de 2022.

- 2015 : 19 communes au sud du Luxembourg – 600 producteurs – 7 millions d'€ indemnisés ;
- 2017 : 244 communes wallonnes – 5.500 producteurs – 11,5 millions d'€ indemnisés ;
- 2018 : 258 communes wallonnes – 8.700 producteurs – 27 millions d'€ indemnisés ;
- 2020 : 253 communes wallonnes – 7.000 producteurs – 30 millions d'€ indemnisés ;

Cependant, le processus de reconnaissance et de remboursement prend un certain temps, et la réparation du dommage n'est pas complète. Ainsi, le système d'assurance privée prend de plus en plus d'importance, notamment concernant la sécheresse. Par exemple, la compagnie d'assurance Axa offre depuis le 1^{er} mai 2020 des produits d'assurance « Protection sécheresse » ayant pour objet d'indemniser les pertes subies par un producteur de cultures (toutes cultures y compris grandes cultures et prairies) en cas d'événement de sécheresse impactant le site pour lequel cette assurance est souscrite¹⁷. Le montant des pertes prévisibles subies par l'assuré est déterminé lors de la souscription. Bien que la superficie couverte reste très limitée, les premiers résultats montrent que près de 2 455 ha sont maintenant couverts par une assurance paramétrique « protection sécheresse »¹⁷.

Les principaux acteurs semblent s'accorder sur le principe de développer de nouveaux instruments de réparation de dommage (calamités agricoles), à l'instar de ce qui a été mis en place en Région flamande.

La réflexion a donc été entamée en Wallonie afin d'initier, puis de généraliser le recours à un système d'assurance (assurances multirisques climatiques) privée qui serait soutenu par un financement public.¹⁷

5 AFOM de la résilience du secteur agricole wallon face aux changements climatiques

Analyse AFOM (atouts, faiblesses, opportunités et menaces) :

<p>Atouts</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faible dépendance actuelle à l'irrigation. Majorité de la SAU ne nécessitant pas d'irrigation (prairies, céréales) ; - L'irrigation ne représente que moins de 1% des prélèvements souterrains ; - Grande majorité des nappes phréatiques en bon état quantitatif ; - Mise en place d'une cellule sécheresse depuis 2017 ; - Stratégie intégrale sécheresse et coordination régionale (DSW), avec vision d'ensemble ; - Bon cadre pour la gestion des inondations (PGRI, PLUIES, GISER, etc.) ; 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plusieurs masses d'eau souterraine de mauvaise qualité chimique, et part importante des eaux de surfaces de qualité hydromorphologique moyenne à mauvaise ; - Faible diversité de productions et manque de diversité génétique³⁴ ; - Les agriculteurs ont peu d'expérience, connaissance et d'accompagnement en irrigation - Historique de drainage de zones humides pour l'agriculture ; - Reconnaissance et remboursement par le fond des calamités lent et partiel, affectant la trésorerie des agriculteurs ; - La majorité (55%) des agriculteurs wallons ont plus de 55 ans, et cherchent des repreneurs dans les 10 prochaines années ; - Plusieurs communes déjà affectées par les sécheresses dans la distribution d'eau potable ; - Peu d'expérience en gestion de sécheresse, partage de la ressource entre acteurs, éviter les conflits sur l'usage de l'eau ;
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prise de conscience et volonté de communication sur le sujet (portail de l'agriculture), nombreux projets du PRW impactent le cycle de l'eau ; - Potentiel de réutilisation des eaux d'exhaures et eaux industrielles pour l'irrigation ; - Augmentation des possibilités de financement au sein de la PAC de mesures agro-environnementales favorable à la résilience agricole ; - Potentiel de transition vers l'agroécologie lors des reprises de fermes ; - Potentiel d'exploitation des résultats des recherches belges sur l'adaptation à la sécheresse (pomme de terre robuste, tournesol, blé dur, sorgho) ; - Opportunité de développement de filières (maraichage, légumes) où une irrigation performante (micro-irrigation, irrigation de précision) peut être développée ; - Sécurisation de l'approvisionnement en eau de distribution avec le SRRE, et dans une perspective de sécheresse avec la SRRE 2.0 ; 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tendance de croissance forte des surfaces irriguées depuis 2016 ; - Progression de la SAU pour des cultures à fort besoin en eau (pomme de terre, maïs dans une moindre mesure), qui pourront nécessiter une irrigation pour garantir un rendement lors de sécheresses futures ; - Tension budgétaire sur le fond des calamités et/ou diminution du filet de sécurité des agriculteurs ; - Perception et application par les agriculteurs des contraintes réglementaires, en particulier des prises d'eau de surface, et capacité limitée de contrôle par l'administration ; - Développement de cultures énergétiques (maïs bioéthanol) exigeantes en eau ; - Risque de conflit là où plusieurs secteurs nécessitent un approvisionnement en eau en période de sécheresse ; - Artificialisation des terres cultivées ;

Dans son rapport de 2021 du plan stratégique relevant de la PAC¹⁷, la Belgique présente une analyse de ses forces et faiblesses, notamment face au changement climatique. Il en ressort que l'agriculture wallonne présente une faible résilience au changement climatique du fait de l'appauvrissement de la diversité génétique et de la faible diversité des productions agricoles au sein de chaque exploitation agricole (conséquence de leur spécialisation).

Le présent rapport renforce ce constat, avec l'analyse AFOM présentée ci-dessus, en montrant que malgré des atouts et opportunités, l'agriculture wallonne présente des faiblesses significatives et reste donc vulnérable aux changements climatiques et aux sécheresses en particulier.

Il est dès lors crucial de créer des conditions générales permettant la transition vers des modèles de production plus diversifiés et donc résilients. Il est nécessaire de repenser le modèle agricole en termes de services écosystémiques fournis qui vont bénéficier à la pérennité des écosystèmes mais aussi directement à l'agriculteur (restauration de la fertilité des sols, régulation naturelle des ravageurs, etc.) et peuvent donc servir d'incitants au changement de pratiques. Cela bénéficiera aussi à la société (protection contre les inondations/érosions, préservation des paysages, etc.) au sens large, concomitamment à une amélioration de l'image de l'agriculture.

6 Revue de littérature des techniques agricoles et en matière de gestion de l'eau

Comme explicité dans les parties précédentes, la ressource en eau est précieuse et il est important de développer une bonne gestion de la ressource. Pour cela, cinq grandes familles de pratiques de gestion de l'eau sont détaillées dans cette partie : les systèmes agricoles, l'optimisation des techniques agricoles, les aménagements antiérosifs, les sources de stockage ainsi que les technologies d'irrigation.

6.1 Systèmes agricoles

Cette section explore des approches novatrices dans les systèmes agricoles, mettant l'accent sur l'agriculture de conservation, l'agriculture biologique et l'agroforesterie. Ces pratiques clés contribuent à façonner une agriculture plus durable, favorisant la préservation des sols, la biodiversité, et la résilience des exploitations agricoles dans le contexte du changement climatique.

6.1.1 Agriculture de conservation des sols

L'agriculture de conservation est "un système cultural qui favorise une perturbation minimale du sol (c'est-à-dire sans travail du sol), le maintien d'une couverture permanente du sol et la diversification des espèces végétales". Ce terme a été introduit en 2001 par la FAO.³⁵ L'engouement croissant pour l'agriculture de conservation dans certains pays a conduit à la création d'associations telles que BASE (*Biodiversité, Agriculture, Sols et Environnement*) en France et Greenotec (Groupement de Recherche sur l'Environnement et d'Étude de Nouvelles Techniques Culturelles) en Belgique pour promouvoir cette pratique. D'autres associations ont également vu le jour dans différents pays, notamment l'*European Conservation Agriculture Federation* à l'échelle européenne. Cependant, la Wallonie, comme l'Europe en général, accusent un grand retard dans l'adoption de ce système de culture par rapport à l'Amérique du Nord et du Sud et à l'Australie par exemple (Figure 21).

Continent	Surface (ha)	Pourcentage du total
Amérique du Sud	55,464,100	45
Amérique du Nord	39,981,000	32
Océanie	17,162,000	14
Russie et Ukraine	5,100,000	4
Asie	4,723,000	3
Europe	1,351,900	1
Afrique	1,012,840	1
Total mondial	124,794,840	100

Figure 21: Adoption de l'agriculture de conservation dans le monde. Source : Friedrich et al., 2012³⁵

En Wallonie, les réseaux de promotion français, tels que le réseau BASE et la revue TCS (Technique Culturelles Simplifiées), ont une forte influence. La France est considérée, avec l'Espagne, comme l'un des pays européens les plus avancés dans la mise en œuvre de l'agriculture de conservation. Certains agriculteurs ont mis en place des systèmes de non-labour très efficaces, utilisant des plantes de couverture, des engrais organiques et des rotations longues et diversifiées.³⁶

Au début des années 2000, la FAO estimait que 45 millions d'hectares étaient cultivés en agriculture de conservation dans le monde. En 2012, cette estimation était de 124 millions d'hectares soit 3 fois plus qu'en 2000. En Europe, le développement de l'agriculture de conservation est bien plus modeste. La tendance y est toutefois en hausse avec 400 000 hectares en 2001 pour 630 000 hectares en 2006 pour la France.³⁷ La proportion de grandes cultures semées sans labour est passée de 21 % en 2001 à 34 % en 2006 (respectivement 58 %, 47 % et 44 % pour le blé dur, le colza et le blé tendre). D'après les enquêtes sur les pratiques culturales de 2011 en France, les parts de surfaces semées sans labour étaient de 53 % pour le blé dur, 49 % pour le colza, et 40 % pour le blé tendre.

L'agriculture de conservation des sols permet aux cultures de mieux résister aux périodes de stress hydrique, notamment en diminuant l'échauffement du sol et par une plus grande rétention d'eau dans le sol lié à une augmentation de la porosité du sol.³⁸

En Belgique l'agriculture de conservation n'étant ni labélisée ni reconnue officiellement, aucun chiffre officiel n'est disponible. Les estimations semblent malgré tout tendre à environ 15 à 20 % en nombre d'agriculteurs en agriculture de conservation avec de fortes variations régionales et annuelles.

6.1.2 Agriculture biologique

La définition fournie par le règlement européen en date du 30 mai 2018 informe que « La production biologique est un système global de gestion agricole et de production alimentaire qui allie les meilleures pratiques en matière d'environnement et d'action pour le climat, un degré élevé de biodiversité, la préservation des ressources naturelles et l'application de normes élevées en matière de bien-être animal et des normes de production élevées répondant à la demande exprimée par un nombre croissant de consommateurs désireux de se procurer des produits obtenus grâce à des substances et à des procédés naturels ». En d'autres termes, cette pratique vise à minimiser l'impact environnemental en encourageant une utilisation responsable des ressources naturelles et de l'énergie, la préservation de la biodiversité et des équilibres écologiques régionaux, l'amélioration de la fertilité des sols et le maintien de la qualité de l'eau.

Le règlement bio européen CE/834/889 précise que l'agriculture biologique est une méthode qui permet la préservation de la ressource en eau. Les agriculteurs bio, grâce à leurs pratiques agricoles adaptées, limitent la pollution de cette ressource (pas de produits phytosanitaires, limitation des épandages) et en font une utilisation responsable¹⁷¹. L'agriculture biologique, en renforçant la teneur en matière organique des sols et avec une couverture de sol plus longue, contribue à augmenter la capacité de rétention d'eau des sols³⁹, et donc de renforcer la résilience face aux périodes de stress hydrique.

Selon l'agence du bio, en 2018, en moyenne 7,5% de SAU du territoire européen était cultivée en bio :

- Le gouvernement français dénombre que 13,41% des exploitations agricoles du territoire sont cultivées en agriculture biologique, ce qui correspond à 2,78 millions d'hectares en 2021. Soit plus de 10% de la SAU cultivée en bio ;
- En Wallonie, la superficie sous contrôle bio atteint en 2021 près de 90 000ha, ce qui correspond à 12% de la SAU en Wallonie. Les prairies représentent 75% de cette surface « bio ». Le Brabant Wallon et le Hainaut sont les provinces avec les plus petites surfaces bio (notamment car moins de prairies) mais ce sont les provinces qui sont le plus en progression en 2020 avec +14% dans le Brabant Wallon et +13% pour le Hainaut ;
- Au Pays-Bas, le développement de l'agriculture biologique est plus lent. En 2019, seul 3,5% de la SAU néerlandaise est cultivée en bio ;
- Le ministère fédéral de l'Alimentation et de l'Agriculture Allemand renseigne qu'à la fin de l'année 2020, l'Allemagne recensait 13,5% de ses exploitations en agriculture biologique exploitant ainsi une superficie d'environ 10,3 % de la SAU totale ;⁴⁰

6.1.3 Agroforesterie

L'agroforesterie est un mode de production agricole associant sur une même parcelle des plantations d'arbres à d'autres cultures, dans la perspective d'effets bénéfiques réciproques.⁴¹ Elle implique de modifier l'environnement des plantes voisines afin d'établir un équilibre propice entre les interactions positives et négatives des plantes, ce qui permet d'augmenter le rendement total, de réduire la variance du rendement et de préserver les ressources.⁴²

Suite aux nombreux remembrements ayant eu lieu en Europe de l'Ouest après la seconde guerre mondiale, les espèces ligneuses ont pratiquement disparu du paysage agricole pendant plusieurs décennies. De rares vestiges

sont encore visibles à l'heure actuelle, des haies bocagères, des arbres isolés ou certaines prairies associées à des vergers hautes tiges en Wallonie. Si, entre Liège et Namur, ces éléments sont fortement présents, dans le Hainaut, ils sont limités à certaines haies isolées et des groupes et alignements d'arbres parsemés.

Depuis quelques décennies, l'agroforesterie redevient populaire en Europe avec des recherches et des projets de développement en cours dans différents pays membres tels que la Belgique, la France ou encore les Pays-Bas. Des modèles de gestion agroforestière ont été développés pour permettre des densités d'arbres cohérentes avec la production agricole, l'élagage des arbres et la succession des cultures intercalaires pour améliorer la production agricole tout en gérant les arbres. Le modèle Yield-SAFE, pour lequel les Pays-Bas étaient partenaires du projet européen SAFE (Silvoarable Agroforestry for Europe), permet la prédiction des rendements et l'analyse des scénarios économiques des systèmes agroforestiers.⁴³

Ces études ont pu démontrer que les systèmes agroforestiers modernes sont compatibles avec les techniques agricoles actuelles. Leur productivité moyenne est supérieure à la productivité des arbres et cultures séparés. Une augmentation de la productivité jusqu'à 30% dans la biomasse et 60% dans les produits finaux a pu être mise en évidence. Avec les modèles développés, des schémas de gestion optimaux peuvent être fournis pour les facteurs de densité des peuplements d'arbres, espacement des arbres, orientation des rangées d'arbres, choix des espèces d'arbres, choix de succession des cultures intercalaires et techniques spécifiques de gestion des arbres et des cultures, comme l'élagage des racines des arbres. Les parcelles agroforestières peuvent ainsi être aussi rentables que les parcelles agricoles, voire plus rentables avec des arbres à bois de grande valeur.

L'agroforesterie contribue à une réponse efficace aux problèmes liés à l'eau, qu'il s'agisse de précipitations trop intenses ou de sécheresse. Tout d'abord, l'ombrage apporté par les arbres permet de diminuer l'ensoleillement total de la journée. Ce qui limite l'évapotranspiration excessive liée à des rayonnements trop intenses comme lors des canicules. Ensuite, l'agroforesterie peut jouer un rôle de brise-vent, ce qui limite d'autant plus le dessèchement.⁴⁴

L'un des freins importants dans l'application de système agroforestier en Belgique réside dans l'emploi des baux à ferme. Environ 60% de la SAU wallonne est exploitée sous contrat de bail à ferme. De ce fait, les exploitants sont locataires de leur terre et doivent obtenir l'accord du bailleur pour pouvoir planter des arbres, sauf sous certaines conditions⁴⁵ (remplacement d'arbres morts, arbres fruitiers basses tiges, haies de protection contre le vent...). Avec accord du bailleur, la législation autorise la plantation de jusqu'à 100 arbres à l'hectare en zone agricole sans permis d'urbanisme et en conservant les aides directes de la PAC⁴⁶.

6.2 Techniques agricoles

Cette section examine différentes approches essentielles pour une gestion agricole durable face aux défis climatiques. Nous aborderons l'itinéraire technique, la stratégie d'évitement, ainsi que la gestion de l'élevage et du fourrage, constituants fondamentaux pour la résilience des systèmes agricoles en Wallonie.

6.2.1 Itinéraires techniques

En 1974, la notion d'itinéraires techniques a été définie pour la première fois comme « la combinaison ou l'enchaînement logique et ordonné de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée ». ⁴⁷ Depuis lors, cette définition a évolué pour répondre aux attentes et aux nécessités actuelles. À l'heure actuelle, l'itinéraire technique, en tant que gestion des cultures, englobe l'ensemble des pratiques agricoles visant à améliorer la croissance, le développement et le rendement des cultures tout en minimisant leurs impacts environnementaux. Les pratiques de gestion des cultures dépendent de plusieurs facteurs tels que le type de culture, le sol, le climat et les conditions météorologiques. Le calendrier et la séquence des pratiques agricoles sont déterminés par ces facteurs, ainsi que par les produits récoltés et les méthodes de semis utilisées. ⁴⁸

Les itinéraires techniques actuels ont un effet sur l'activité hydrique et sur la matière organique des sols. Différents facteurs influencent cela, par exemple l'application d'un labour ou non, l'utilisation de machines agricoles sur un sol de statut hydrique variable, la plantation d'intercultures, les associations de cultures et la mise en place d'une agriculture de conservation ou d'une agriculture biologique de conservation. Ces facteurs peuvent avoir un impact significatif sur la rétention en eau du sol et sa conductivité hydraulique, affectant ainsi sa teneur en eau au cours du temps et son potentiel de résilience.

6.2.1.1 Structures et complexes argilo-humiques

La gestion de la matière organique des sols peut avoir un impact significatif sur la rétention en eau. ⁴⁹ L'ajout de matières organiques au sol permet d'améliorer la structure du sol et d'augmenter sa capacité de rétention en eau. Cela signifie qu'un sol à forte teneur en matières organiques peut retenir davantage d'eau qu'un sol moins pourvu et la mettre à la disposition des plantes pendant une période plus longue. La présence accrue de micro-, méso- et macro- faune ainsi que les populations microbiennes est dynamisée par la forte teneur organique du sol. Ces organismes aident à décomposer la matière organique qui améliore la structure du sol tout en libérant des nutriments. Ils augmentent également l'espace poral en créant un réseau de capillaires dans le sol (micro- et macro-porosité). Ceci permet à l'air et à l'eau de circuler librement, réduisant ainsi le risque de compactage et améliorant l'infiltration et le drainage de l'eau. Cela permet aussi d'améliorer la rétention de l'eau dans le sol.

L'utilisation de cultures de couverture est une pratique courante dans la gestion des matières organiques. Les cultures annuelles de couverture sont des plantes qui sont semées pour couvrir le sol. Les cultures de couverture, et, en particulier les couverts diversifiés semés à grande densité et rapidement après la récolte d'une culture principale, ont plusieurs avantages, notamment la fixation de l'azote atmosphérique, le contrôle des adventices, la stimulation de la vie du sol, la réduction de l'érosion du sol ou encore l'amélioration de la structure du sol et l'apport de matière organique.

Par exemple, des études à grande échelle menées par des agriculteurs concluent qu'après 2 à 5 ans d'utilisation de cultures de couverture monospécifique, en semis tardif et sans supplément de fertilisant, des impacts faibles mais positifs sur plusieurs indicateurs de santé du sol sont visibles, notamment la teneur en matière organique, le carbone actif, la stabilité des agrégats et la respiration microbienne⁵⁰. D'autres études montrent que des changements substantiels et significatifs dus à l'augmentation de la durée de rotation et aux cultures de couverture peuvent prendre de nombreuses années à se développer.^{51, 52, 53}

Les cultures de couvertures sont majoritairement employées et étudiées en cultures monospécifiques bien que le multi-mélange soit employable. Ces mélanges peuvent être considérés comme un outil clé pour améliorer la multifonctionnalité, la résilience et la durabilité des systèmes de culture dans les régions tempérées. Cependant, les avantages des espèces multi-mélanges dépendent de la sélection des espèces de cultures de couverture en fonction des critères agronomiques et environnementaux considérés. Il est mis en avant qu'un intérêt particulier doit être porté lors de la sélection des cultures à leur complémentarité fonctionnelle. La temporalité de l'impact de ces pratiques sur la santé des sols et les bénéfices agronomiques et environnementaux n'ont pas encore été largement documentés.⁵⁴

L'ajout de compost ou de fumier est une autre pratique courante dans la gestion des matières organiques. Le compost est le produit de la décomposition de matières organiques, telles que le fumier, les feuilles mortes, les résidus de récolte et les déchets alimentaires, tandis que le fumier est constitué d'un mélange de litière et de déjections animales. L'ajout de compost ou de fumier au sol peut augmenter la teneur en matière organique, améliorer la structure du sol, augmenter la rétention d'eau et réduire l'érosion du sol.

La réduction du travail du sol est une pratique de gestion qui impacte notamment les matières organiques. Elle consiste à limiter le recours au labour et tous les travaux intensifs du sol comme l'utilisation du rotavator et de la herse rotative en profondeur. Le labour mélange la matière organique sur une profondeur de 20 à 40 cm, ce qui entraîne une dilution du carbone organique et une diminution de la qualité du sol en surface. La réduction du travail du sol permet de concentrer la matière organique en surface, où elle peut être plus efficacement utilisée par les plantes et où elle jouera davantage un rôle de protection contre l'érosion.⁵⁵

Les pratiques de gestion des matières organiques doivent être adaptées aux besoins spécifiques de chaque type de sol. Par exemple, les sols argileux ont souvent une faible perméabilité, ce qui peut les rendre plus sensibles à la compaction et aux problèmes de drainage. L'ajout de matières organiques peut aider à améliorer la perméabilité et la structure du sol, cela peut nécessiter des pratiques de gestion spécifiques pour éviter la compaction du sol. À l'inverse, les sols sableux ont une perméabilité plus élevée, ce qui peut entraîner une perte de nutriments et une diminution de la rétention d'eau.

L'ajout de matière organique a des effets positifs sur la rétention en eau des sols ainsi que sur l'approvisionnement en nutriments. Cependant, les risques de lixiviation d'éléments chimiques, de pollutions de nappes et rivières ainsi que de salinisation des sols par décomposition est importante. Pour ce faire, des législations existent quant à la quantité et à la temporalité des épandages. Les intrants organiques ont des teneurs en nutriments, notamment en azote, variables d'un type de cheptel à un autre. Ces valeurs peuvent être analysées spécifiquement mais des tables moyennes existent pour faciliter le travail des agriculteurs. La législation wallonne impose des seuils en termes de quantités d'épandage selon l'utilisation des terres (terre arable ou prairie) et sa vulnérabilité (périmètre de protection des eaux souterraines et de surface contre le nitrate d'origine agricole).⁵⁶

En soutien avec le CRA-W, Terrae Agroécologie diffuse de l'information⁵⁷ sur le sujet de la matière organique des sols et vulgarise les études qui montrent notamment qu'une plus haute teneur organique du sol augmente la stabilité structurale du sol. Ceci renforçant la résistance à l'érosion, l'aération et la rétention d'eau du sol, soutenant donc la fertilité et la productivité agricole.

6.2.1.2 Succession des cultures

La succession des cultures désigne l'alternance de cultures dans un ordre spécifique sur une même parcelle. La séquence des cultures dans la succession n'influence pas seulement la lixiviation et la disponibilité des nutriments d'un sol, mais aussi le retour éventuel des résidus de culture, le développement et la distribution des bio-pores et la dynamique des communautés microbiennes.⁵⁸ Les successions diversifiées montrent des rendements plus importants qu'en monocultures notamment par l'utilisation efficace de l'eau et de l'azote et par le contrôle des adventices, des maladies et des ravageurs.⁵⁹

Une succession diversifiée des cultures avec une durée de rotation plus longue tend à augmenter le rendement des cultures, le stockage de l'eau dans le sol et l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante.⁶⁰ L'hétérogénéité des variétés intégrées dans un système permet également de maintenir ou d'améliorer les performances du sol en augmentant les résidus de culture et la diversité des systèmes racinaires, ainsi qu'en accélérant et en développant l'activité microbienne.⁶¹ Notamment, une rotation avec des légumineuses permet de fixer de l'azote dans le sol. Certaines légumineuses comme la luzerne⁶² ont un enracinement très profond, ce qui offre une résistance à la sécheresse et améliore la structure du sol.⁶³

Il faut néanmoins sélectionner stratégiquement la culture dérobée fourragère, pour éviter d'impacter le rendement de la culture principale. Notamment, le ray-grass italien, dont la qualité nutritive est intéressante, exploite fortement la ressource en eau du sol avant la culture principale. Il va donc diminuer le rendement de la culture de maïs qui le suit⁶⁴, en cas de sécheresse (outre le fait qu'il est pénalisé lui-même en cas de déficit hydrique). Il n'est donc pas judicieux de laisser passer les bonnes conditions d'implantation du maïs. La culture dérobée qui le précède doit être récoltée suffisamment tôt, quitte à ne pas en tirer un rendement maximum. De plus, les sécheresses engendrent des pertes de rendements pour les cultures tel que le maïs. La récurrence de ces événements impacte et impactera donc les productions de maïs. Pour ce faire, ces cultures sont parfois remplacées par d'autres cultures fourragères plus résistantes aux conditions climatiques. L'une des options avancées en Belgique est la plantation de sorgho (qui sera développée plus en détail à la section 4.1.1.4).⁶⁵

6.2.1.3 Association de cultures

Les associations de cultures sont majoritairement employées dans des systèmes de production biologique. Elles permettent de limiter les sensibilités au salissement, maladies ou encore aux carences azotées en cultivant sur une même parcelle plusieurs cultures. L'association la plus commune est de cultiver des légumineuses à graines avec des céréales.^{66,67}

L'utilisation de cette méthode permet d'associer des cultures ayant des besoins en eau différents qui peuvent donc être complémentaires. D'une part, en cultivant deux cultures différentes, il est possible de favoriser des situations où l'une possède des racines profondes et peut donc accéder à l'humidité du sol en profondeur, tandis que l'autre a des racines plus superficielles et est plus vulnérable à une sécheresse édaphique. D'autre part, la temporalité des besoins en eau des cultures associées peut également être complémentaire.

À l'instar des rotations de cultures, l'association a l'avantage agronomique d'être un frein naturel aux parasites et ravageurs des cultures. Elle permet aussi d'économiser de l'azote de synthèse dont la production engendre de fortes émissions de gaz à effet de serre. Par exemple, la culture intercalaire d'oignons et de carottes peut contribuer à dissuader les ravageurs qui pourraient s'attaquer à une seule culture, tandis que la plantation simultanée de certaines herbes ou fleurs peut attirer des insectes bénéfiques qui aident à contrôler les populations de ravageurs.

Les différentes associations de culture peuvent contribuer à réduire l'érosion des sols et la quantité de ruissellement tout en préservant la structure du sol.⁶⁸ Par exemple, la plantation de cultures de couverture peut contribuer à prévenir l'érosion ainsi que l'assèchement et à réduire la perte d'éléments nutritifs du sol.

Dans l'ensemble, les cultures associées peuvent avoir un impact positif sur la gestion de l'eau dans un terrain en améliorant l'efficacité de l'utilisation de l'eau, l'humidité du sol, la lutte contre les parasites et en réduisant l'érosion du sol.

6.2.1.4 Choix des espèces et cultivars

Chaque culture nécessite un apport en eau spécifique. Même si celui-ci varie selon les climats et les conditions hydriques initiales, la FAO a estimé le besoin en eau pour les diverses cultures comme présenté dans le tableau suivant (Figure 22).

Culture	Besoin en eau (mm d'eau sur la période totale de croissance)	Sensibilité à la sécheresse
Luzerne	800-1600	faible - moyenne
Tournesol	600-1000	faible - moyenne
Betterave sucrière	550-750	faible - moyenne
Maïs	500-800	moyenne - forte
Pomme de terre	500-700	forte
Tomate	400-800	moyenne - forte
Soja	450-700	faible - moyenne
Orge / Avoine / Froment / Blé	450-650	faible - moyenne
Sorgho / Mil	450-650	faible
Oignon	350-550	moyenne - forte
Choux	350-500	moyenne - forte
Pois	350-500	moyenne - forte
Haricots	300-500	moyenne - forte

Figure 22 - Besoin en eau et sensibilité à la sécheresse de différentes cultures. Source : FAO⁶⁹

En plus de la demande en eau moyenne des cultures, il faut aussi considérer la résistance au stress hydrique. Une plante est en déficit hydrique lorsque ses besoins en eau ne sont pas entièrement satisfaits (généralement par la pluviométrie).

Les **durées de déficits hydriques** des grandes cultures wallonnes (froment, maïs fourrager, pomme de terre et betterave) ont été étudiées à l'échelle de la région wallonne⁷⁰. Ces données sont calculées sur base de la Réserve Facilement Utilisable (RFU) tant dans les conditions climatiques actuelles que pour des scénarios climatiques futurs. La durée des stress hydriques a été analysée comme le nombre de jours pour lesquelles la teneur en eau est inférieure à la RFU. L'analyse des climats actuels sur base des données historiques (1989-2018) montre que le stress dure en moyenne plus longtemps pour la pomme de terre (>90 jours) que pour le maïs (>50 jours) la betterave ou le froment (>40 jours). Tous les scénarios futurs montrent une augmentation de ces indices de déficits hydriques.

La **sévérité du stress hydrique** est calculée comme le déficit hydrique moyen sur la période ou la teneur en eau dans la zone racinaire est inférieure à la RFU. L'analyse des climats actuels sur base des données historiques (1989-2018) montre que l'importance du stress est plus grande pour la pomme de terre (>35 mm) que pour le froment (>28 mm), le maïs (>25 mm) et la betterave (>15 mm). Tous les scénarios futurs montrent également une augmentation de ces indices de sévérité de stress hydriques.

Si les céréales font parties des cultures les plus résistantes à ce type de stress, d'autres sont plus affectées.

Dans le cas de la pomme de terre, des études permettent de mettre en avant l'intérêt de certains cultivars. En effet, certaines variétés sont plus résistantes que d'autres au stress hydrique.^{71,72}

En Belgique, la Fiwap, Biowallonnie et le CRA-W travaillent en collaboration tous les ans depuis 2019 pour proposer une liste de variétés de pomme de terre robustes.⁷³ Les variétés robustes désignent des « variétés de pommes de terre qui peuvent garantir un rendement et une qualité suffisante en conditions peu favorables ». Ces variétés sont étudiées sur base de leur résistance au stress hydrique et aux maladies et parasites courants tels que le Mildiou. Selon leur rapport de 2023, 10 variétés sont mises en avant pour leur résistance au stress hydrique ou abiotique (sécheresse) parmi les 35 étudiées.

En ce qui concerne le maïs, un grand nombre de variétés et de croisements existent et sont mises sur le marché, notamment plus récemment certaines plus spécifiquement résistantes au stress hydrique⁷⁴.

Enfin, des alternatives aux cultures majoritaires wallonnes sont considérées, comme le sorgho fourrager, notamment pour sa demande moyenne en eau plus basse. Grâce à son système racinaire développé, le sorgho peut atteindre des profondeurs importantes dans le sol, lui permettant de puiser de l'eau et des nutriments même en période de sécheresse. Il possède une grande résilience face à la sécheresse et demande 20% moins d'eau que le maïs pour sa croissance. De plus, cette culture peut produire des rendements élevés même dans des sols pauvres et peu nutritifs, ce qui en fait une option intéressante pour remplacer le maïs fourrager traditionnel⁷⁵. Le sorgho peut également être utilisé comme culture de couverture pour améliorer la structure des sols grâce à ses racines profondes qui préviennent l'érosion.⁷⁶ Enfin, sa faible demande en engrais et pesticides en font une culture peu coûteuse à produire, avec la possibilité de valoriser la production par le pâturage estival.⁷⁷

Un autre choix de diversification est de se tourner vers des cultures pérennes. La silphie perfoliée, une plante pérenne résistante à la sécheresse originaire d'Amérique du Nord est notamment étudiée. Bien que moins énergétique que le maïs en raison de l'absence de grains, la silphie présente un intérêt nutritionnel en protéines, surtout lorsqu'elle est récoltée plusieurs fois durant la saison culturale⁷⁸. Des études continuent d'évaluer divers paramètres tels que l'appétence et la conservation. En plus de ses avantages de production, la silphie offre des bénéfices environnementaux qui sont explorés dans le cadre de recherches dédiées⁷⁹.

6.2.1.5 Opérations mécaniques

6.2.1.5.1 Travail du sol

Le travail du sol agit simultanément sur les composantes physiques, chimiques et biologiques du sol. Ainsi, un travail du sol approprié peut augmenter temporairement la rétention d'eau. Un travail du sol excessif peut entraîner un compactage du sol et une diminution de la rétention d'eau et une sensibilité accrue à l'érosion. Les nombreux outils dédiés au travail de la terre et la multitude de combinaisons possibles de ceux-ci engendrent une vaste diversité de méthodes de travail du sol.⁸⁰ Dans l'ensemble, les études démontrent que les coûts en énergies fossiles et en charges de mécanisation évoluent simultanément avec la profondeur d'action du travail. En d'autres termes, plus le labour par exemple est profond plus la dépense énergétique est grande.⁸¹

6.2.1.5.2 Labour

Le travail du sol par le labour est une pratique agricole dite conventionnelle classique dans les systèmes agricoles tempérés notamment en Europe.⁸² Cependant, la pratique des labours profonds (20 cm ou plus) est relativement récente, quelques décennies tout au plus. Cette technique consiste à retourner les 20 à 40 premiers centimètres du sol au moyen d'une charrue. Elle est appliquée notamment pour préparer le sol pour le semis, réduire la compaction du sol ou encore contrôler les adventices et enfouir les résidus de culture.^{83,84,85,86,87,88} Toutefois, sous la couche travaillée du sol, il est possible qu'une zone fine compacte se crée, du fait du passage de roue « dans la raie de labour ». Cette zone plus compacte est souvent mentionnée sous le terme de « semelle de labour » et peut constituer un frein à la percolation profonde de l'eau et au développement racinaire^{89,90} Lors de la transition entre un mode d'exploitation employant le labour et un système sans labour, la semelle de labour peut persister dans le temps et rester observable plusieurs années après la transition.

Par ailleurs, comme discuté plus haut, le labour mélange la matière organique sur une profondeur de 20 à 40 cm, ce qui entraîne une dilution du carbone organique et une diminution de la qualité du sol en surface. Or comme un sol à forte teneur en matières organiques peut retenir davantage d'eau et la mettre à la disposition des plantes pendant une période plus longue, le labour, par son impact négatif sur la matière organique des sols, peut avoir un impact négatif sur la rétention en eau⁹¹.

Le labour peut également avoir un impact négatif sur l'érosion et le ruissellement dans les zones agricoles. En effet, en retournant le sol, le labour expose le sol nu et fragilise sa structure, augmentant ainsi sa sensibilité à l'érosion. Bien que favorisant l'infiltration en surface, cet effet n'est que temporaire. Le labour favorise la

minéralisation de la matière organique. Les nutriments et les sédiments du sol peuvent par la suite polluer les cours d'eau voisins.

Les labours profonds peuvent avoir un impact plus important sur l'érosion et le ruissellement que les labours superficiels, car ils perturbent davantage la structure du sol. En conséquence, dans les zones présentant des pentes fortes ou un sol plus vulnérable à l'érosion, le labour peut avoir des impacts négatifs significatifs sur la qualité de l'eau et la santé de l'écosystème.

6.2.1.5.3 Semis direct

Parmi les méthodes sans labour avec un travail du sol réduit, la moins intrusive est le semis direct. Cette technique consiste à travailler la terre le moins possible. Les perturbations dans ce modèle sont limitées à l'endroit où la graine est déposée. En effet, les semoirs spécialisés ouvrent le sol, placent la semence et ferment l'ouverture en un seul passage avec des opérations simultanées.

6.2.1.5.4 Herses rotatives

Cet outil est utilisé pour préparer le sol avant le semis ou la plantation des cultures. Elle peut être utilisée pour différentes cultures, mais elle est plus couramment utilisée pour les cultures de céréales, de maïs et de pommes de terre. Elle est particulièrement efficace pour affiner le sol. En général, la herse rotative est utilisée pour ameublir le sol, éliminer les débris et les adventices, et créer un lit de semences pour les cultures. Elle est également utile pour mélanger les engrais et les amendements du sol dans le sol.

L'utilisation de la herse rotative peut avoir des effets négatifs sur le sol. Tout d'abord, la herse rotative peut perturber la structure du sol en créant des couches de sol compactées et des couches plus meubles, ce qui peut réduire la perméabilité du sol et affecter la croissance des racines des plantes. Si la herse rotative est utilisée à plusieurs reprises, cela peut accentuer ces problèmes. De plus, chaque passage de la herse rotative peut causer une perte de matière organique dans le sol en exposant le sol à l'air et en brisant les agrégats du sol. À chaque passage, en brisant les agrégats, la herse rotative perturbe la structure du sol. Les agrégats sont importants pour la santé du sol car ils permettent une bonne aération et une bonne infiltration de l'eau. De plus, la herse rotative expose le sol à l'air, ce qui peut entraîner une perte de matière organique. En effet, lorsque le sol est exposé à l'air libre, sa concentration en oxygène et sa température augmentent. Les microorganismes sont donc stimulés et minéralisent la matière organique plus rapidement. L'augmentation de température peut également entraîner une augmentation de l'évaporation de l'eau, ce qui peut aggraver les problèmes de sécheresse. Enfin, l'utilisation de la herse rotative peut augmenter le risque de glaçage voire de compaction du sol, en particulier dans les sols argileux ou limoneux, ce qui peut nuire à la circulation de l'eau et de l'air dans le sol, augmenter l'érosion et réduire la capacité du sol à retenir l'eau et à soutenir la croissance des plantes.

6.2.1.5.5 Strip till

Le strip till est une technique de travail du sol qui consiste à travailler uniquement les bandes de sol où les graines seront semées, tout en laissant le reste du sol enherbé ou recouvert de résidus de culture. Cette technique permet de conserver la structure du sol et de préserver la matière organique, tout en offrant un lit de semence pour les cultures.

Le strip till présente plusieurs avantages. Il permet de réduire les coûts et le temps de travail (en ne labourant que la partie plantée du champ). Comme les zones non travaillées restent protégées et peuvent continuer à héberger des microorganismes bénéfiques, la technique permet une meilleure conservation de la matière organique et de la structure du sol. Ensuite, cette méthode réduit l'érosion et la compaction en maintenant couvertes les zones non travaillées. Le strip till est utilisé principalement pour les cultures en rangs, comme le maïs, le soja, les légumes.... Cette technique est de plus en plus utilisée dans les pratiques agricoles durables, car elle permet de préserver la santé du sol tout en améliorant la productivité des cultures.

6.2.1.5.6 Inter-buttes (pomme de terre)

Selon Statbel et la Fiwap⁹², en 2021, le nombre d'hectares dédiés à la culture de la pomme de terre en Belgique est de 40 000 ha. La Wallonie regroupe 40% de cette production en Belgique et occupe environ 5% de sa SAU. Grâce à des conditions pédoclimatiques favorables et à la présence d'industries de transformation importante sur son territoire, la province de Hainaut concentre à elle seule 50 % de la production wallonne de pommes de terre. Il est à noter qu'environ 45% de cette superficie est susceptible d'être cultivée sur des pentes supérieures à 3% (au moins à un endroit sur la parcelle). De ce fait, les risques de ruissellement, de concentration des flux et de perte de sédiments sont particulièrement élevés.

Le cloisonnement des interbuttes consiste à établir des diguettes de 10 à 15 cm de haut entre les buttes de pomme de terre (tous les 1,5m). Cette technique peu coûteuse peut se réaliser à partir d'une butteuse standard qui sont, pour les modèles récents, déjà équipés d'un élément de cloisonnage. Le CRA-W a démontré dans un essai en 2009-2010 que l'utilisation d'interbuttes réduit les volumes d'eau ruisselés de 70% en moyenne (variant selon les sites, les années et le travail du sol préalable). Ces aménagements, quand ils sont bien réalisés, permettent aussi de réduire les pertes en sédiments de plus de 50%, tout système confondu d'après la Fiwap.

6.2.1.5.7 Rouleaux (Maïs)

En 2018, la culture du maïs fourrager et du maïs grain avoisine 60 000 hectares soit 8% de la SAU de la Wallonie. Le fait de semer cette culture tardivement (entre le 15 avril et le 15 mai) avec un grand espace entre les rangées entraîne une faible couverture du sol au printemps, ce qui la rend sensible à l'érosion et au ruissellement. En outre, la culture du maïs nécessite l'utilisation d'un rouleau agricole, qui est utilisé pour tasser et aplanir le sol après le semis afin d'améliorer le contact entre les graines de maïs et le sol pour favoriser leur germination et développement. Cependant, une utilisation excessive du rouleau peut entraîner une compaction du sol.

Pour éviter cet impact négatif sur la compaction des sols, les agriculteurs peuvent utiliser des techniques alternatives pour tasser le sol après le semis, telles que l'utilisation de pneus de tracteur, qui ont une pression de contact plus faible que les rouleaux, ou l'utilisation de machines qui ne tassent pas le sol, telles que les semoirs à disques.

Si la parcelle est en pente, il est recommandé d'adopter des pratiques visant à limiter le ruissellement et réduire ainsi le risque d'érosion hydrique. Pour ce faire, le Centre Indépendant de Promotion Fourragère (CIPF) a développé un rouleau spécifique⁹³ qui permet de créer des monticules et des creux entre les rangées de maïs. Ces monticules et creux agissent comme de nombreux petits barrages qui favorisent l'infiltration de l'eau et retardent le début du ruissellement. Cette technique permet de réduire l'érosion des sols en cas d'orages violents.

6.2.1.5.8 Roulage et effet de compaction

Le compactage du sol désigne une augmentation de la densité apparente du sol et une réduction de sa porosité.^{94,95} Le compactage peut se produire naturellement ou à la suite d'activités humaines.⁹⁶ Une lourde charge mécanique, une faible diversification des cultures, un surpâturage et une forte teneur en eau du sol au moment des passages sont des exemples de facteurs de compactage.⁵⁵ En particulier, l'arrachage tardif en automne, sur sol humide, de cultures comme la pomme de terre, la betterave et le maïs, avec des machines de plus en plus lourdes, entraîne une compaction importante.

La compaction modifie la façon dont l'eau est distribuée dans un profil de sol.⁹⁷ En effet, un sol compacté présente un espace poreux réduit. Les modifications des propriétés hydriques du sol affectent les échanges d'eau mais aussi les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère.⁹⁸ Elles influencent également la disponibilité des nutriments et ainsi l'absorption par les plantes et les pertes par lixiviation des nutriments.^{99,100} De plus, le compactage des sols a aussi un impact potentiellement négatif sur la croissance des cultures. Les racines ont plus de difficulté à pénétrer et à se développer dans le sol, ce qui réduit leur croissance et limite l'accès à l'eau et aux nutriments. Ceci peut se traduire par une diminution du rendement des cultures et/ou des récoltes de moindre qualité.⁵⁵

En 1991, la zone de dégradation causée par le compactage des sols en Europe a été estimée à 33 millions d'hectares ou plus. Des études plus récentes ont révélé que le compactage est la forme de dégradation physique des sols la plus courante en Europe centrale et orientale. Environ 25 millions d'hectares ont été identifiés comme légèrement compactés, tandis que 36 millions d'hectares supplémentaires ont été identifiés comme plus gravement affectés.¹⁰¹

La gestion la plus pertinente de la compaction est la prévention. Pour ce faire, le travail du sol peut être réduit ou évité, l'emploi de machines lourdes sur des sols humides devrait être évité. Les pratiques de pâturage minimisent, quant à elles, le compactage du sol.

Dans les situations où les dégâts sont déjà présents, diverses méthodes de remédiation ou de restauration peuvent être mise en place :

- Le décompactage du sol est une technique agricole qui consiste à briser la couche de sol compactée en surface et/ou en profondeur, afin d'améliorer la structure du sol, la pénétration des racines, la circulation de l'eau et de l'air, et ainsi favoriser la croissance des cultures.¹⁰² Le décompactage du sol peut être réalisé à l'aide de différents outils, tels que des chisels, des herse, des décompacteurs, des sous-soleuses, ou des aérateurs. Ces outils permettent de casser la couche compactée et de créer des fissures dans le sol, favorisant ainsi la circulation de l'eau et de l'air et la croissance des racines. Le décompactage doit être réalisé avec précaution, en évitant de trop perturber la structure du sol et en ajustant la profondeur et la fréquence en fonction du type de sol, des cultures, et des conditions climatiques.¹⁰³
 - L'une des possibilités de décompactage réside dans le sous-solage. Cette technique agricole consiste à travailler le sol en profondeur, à une profondeur supérieure à celle du labour traditionnel, généralement à une profondeur de 30 à 50 cm. Cette technique est utilisée pour briser la couche de sol compactée en profondeur et améliorer la pénétration des racines et la circulation de l'eau et de l'air dans le sol. Le sous-solage est pratiqué avant le semis ou la plantation pour améliorer les conditions de croissance des cultures, en particulier dans les sols lourds ou argileux. Il est souvent considéré comme efficace pour éliminer le compactage du sol, mais cette opération entraîne parfois un risque de recompactage du sol.^{104,105,106,107,108,109,110} La profondeur, la machine de travail et les intervalles de sous-solage physique doivent être décidés en fonction d'objectifs spécifiques.^{111,112}
 - La fissuration est une autre méthode employée. Celle-ci consiste à créer des fissures verticales dans le sol en utilisant des outils spécifiques, tels que des aérateurs ou des chisels. Ces fissures permettent à l'eau de s'infiltrer plus facilement dans le sol et favorisent le développement des racines en profondeur. La fissuration peut également améliorer la circulation de l'air dans le sol, ce qui est important pour la respiration des racines et pour la vie microbienne du sol.¹¹³
 - La décompaction peut aussi s'effectuer avec des décompacteurs et des herse rotatives. Dans ces cas-ci, les herse rotatives sont utilisées pour briser la croûte superficielle du sol, qui peut se former à la suite de la compaction. Les décompacteurs permettent de briser la couche compacte située en dessous de la couche travaillée du sol. Cette pratique peut également augmenter la quantité d'eau infiltrée dans le sol, réduire le ruissellement et l'érosion, et améliorer la qualité globale du sol. Toutefois, elle peut également avoir des effets négatifs, tels que la perturbation des micro-organismes et la perte de matière organique, qui peut conduire à une diminution de la fertilité du sol à long terme.^{114,115}

Il existe bien d'autres types de décompaction par sous-solage physique.^{116,117,118,119,120} Pour ces méthodes, les intervalles conseillés varient. Ils peuvent être d'un an pour le fissurage et le sous-solage rotatif vertical, de 2 à 3 ans pour la charrue profonde, le sous-soleur à tige droite et le sous-soleur à pattes courbées, et de 4 à 5 ans pour le décompactage profond. Un sous-solage physique doit être effectué chaque année sur des sols sableux ou limono-sableux, et les intervalles peuvent être prolongées en fonction de l'augmentation de la teneur en argile.¹²¹

Les principaux avantages du sous-solage physique sont des améliorations immédiates des conditions du sol et des rendements des cultures. Le sous-solage physique diminue la densité du sol, augmente la pénétration et le stockage de l'eau, facilite un enracinement plus profond et améliore la disponibilité de l'eau et des nutriments dans le sous-sol pour les cultures, ce qui entraîne des rendements et une stabilité des cultures plus élevés, en particulier dans des conditions de sécheresse.¹²²

Le sous-solage physique présente certains inconvénients, notamment des coûts élevés, décomposition accélérée du carbone organique du sol et destruction des agrégats. Chaque mode de sous-solage physique dépend de la machine et implique une consommation d'énergie élevée ainsi qu'un compactage du sol induit par la circulation. Ainsi, il est plus rentable d'éviter le compactage du sol que de l'atténuer, ce qui est particulièrement vrai pour le compactage du sous-sol.¹²³

- Le sous-solage chimique est une approche qui vise à améliorer les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol sous de la profondeur de labour commune (> 30 cm) en plaçant en profondeur divers matériaux dans le sous-sol. L'objectif est de rendre le sous-sol plus adapté à la croissance en profondeur des racines en améliorant les propriétés chimiques directement et indirectement en contrôlant simultanément les propriétés physiques ou biologiques sur la base d'ajouts de matériaux chimiques spécifiques. La technique de sous-solage chimique correspond à l'incorporation de matière organique animale ou végétale, de paille, de chaux ou d'agent de rétention d'eau. Ces méthodes augmentent les rendements pour 4 ans de plus qu'avec simplement du sous-solage mécanique.¹²⁴ Ces méthodes sont également intéressantes pour des sous-sols argileux et denses souvent limités par une densité apparente élevée (1,5-1,6 g/cm³), une sodicité élevée (Na échangeable >15%), un engorgement périodique ou une capacité de rétention limitée.¹²⁵ Selon les résultats de l'étude menée par Wang et al. (2020), la fumure du sous-sol diminue la densité apparente et augmente à la fois la longueur et la densité des racines des cultures ainsi que la formation et la stabilité des macroagrégats.

Le principal inconvénient du sous-solage chimique est la dépendance à la machinerie. Les matériaux chimiques doivent être appliqués au sous-sol par un sous-solage physique ou des machines spéciales. Un deuxième inconvénient est que les effets de sous-solage chimique se manifestent plus lentement que ceux du sous-solage physique. Par exemple, les bénéfices optimaux du chaulage du sous-sol se constatent un an après son application.¹²⁶

En résumé, le sous-solage chimique représente une alternative au sous-solage physique, particulièrement dans les champs sodiques, acides ou sableux, visant à réguler les propriétés chimiques selon les besoins des cultures. Ses principaux avantages résident dans la réduction de l'acidité ou de la sodicité, la lutte contre les périodes de sécheresse. Cependant, il est crucial de souligner le potentiel impact négatif de cette technique sur l'environnement. L'empreinte écologique du sous-solage chimique, en particulier avec l'utilisation de la chaux, dépend de divers facteurs, tels que la quantité de chaux utilisée, les pratiques d'application, les caractéristiques du sol, et la source de la chaux. Il est impératif d'adopter des pratiques agricoles durables, en minimisant les quantités de produits chimiques utilisés, en choisissant des sources de chaux respectueuses de l'environnement, et en considérant attentivement les impacts sur la biodiversité du sol et la qualité de l'eau.

- Le dernier concept fait appel au bio-sous-solage ou biotillage, qui consiste à utiliser la croissance, les activités et les résidus des cultures et du biote pour améliorer les conditions du sous-sol pour les cultures principales.¹²⁷ L'objectif principal du bio-sous-solage est de lutter contre le compactage et de créer des biopores, qui fournissent des voies de faible résistance pour les racines des cultures suivantes. Les principaux bio-sous-solageurs utilisés sont les cultures à racines profondes ou cultures de couverture (nommé parfois cultures restructurantes), l'ajout de paille profonde, les vers de terre et l'inoculation de mycorhizes arbusculaires. Les cultures à racines profondes telles que la luzerne, la carotte et la chicorée peuvent être utilisées comme bio-sous-solageuses, car leurs racines pivotantes pénètrent mieux les couches compactées que les espèces à racines fibreuses. Pour exemple, les racines de la luzerne peuvent atteindre une profondeur de plus de 2 mètres, ce qui est largement plus profond que les racines des cultures annuelles comme le maïs ou le blé.¹²⁸ Ces cultures créent ou agrandissent les biopores verticaux existants et augmentent la densité des racines des cultures en dessous de 30 cm.^{129,130,131}

Ceci favorise la formation de canaux d'aération et de drainage. Les légumineuses à racines profondes telles que la luzerne, le pois, le trèfle et le soja fixent l'azote et augmentent la teneur en azote du sous-sol grâce aux apports d'azote provenant des racines et de la rhizosition. La culture de légumineuses peut remplacer les engrais minéraux azotés et augmenter le stockage d'azote dans le sous-sol. Dans l'ensemble, le bio-sous-solage a le potentiel d'améliorer les propriétés physiques du sol, la croissance des racines et le rendement des cultures.¹³² Ce modèle correspond au principe de prairies temporaires à base de légumineuses et de graminées, comme les mélanges dactyle/luzerne, dactyle/trèfle violet...

6.2.2 Stratégies d'évitement et d'esquive

La stratégie d'évitement agronomique consiste à jouer sur les dates des stades phénologiques les plus sensibles au manque d'eau (souvent la floraison et la germination) en choisissant des variétés précoces ou en semant à une date différente. De cette manière, il est possible de les décaler vers une période où la ressource en eau est plus abondante.¹³³

À l'inverse, la stratégie de restriction végétative implique de réduire la densité de peuplement et la fertilisation azotée pour contrôler le développement de la surface foliaire et réduire la transpiration pendant la période végétative, permettant ainsi de conserver l'eau non utilisée pour la phase de remplissage.

6.2.3 Gestion de l'élevage et du fourrage

Un travail de synthèse des stratégies d'adaptation¹³⁴ des systèmes fourragers wallons pour faire face aux sécheresses a déjà été effectué par le SPW, et propose d'agir sur trois échelles temporelles de manière suivante :

- *A court terme*. La variation annuelle de la production fourragère de la prairie nécessite une adaptation en termes de gestion d'exploitation selon deux axes complémentaires :
 - Remplacer le maïs fourrager par des prairies temporaires à base de légumineuses ;
 - Introduire le sorgho fourrager à pâturer ;
 - Adopter le pâturage tournant dynamique avec un ratio de 50% entre la hauteur à la sortie et la hauteur à l'entrée des animaux dans une parcelle ;
 - Compléter le potentiel alimentaire en période estivale par un apport extérieur. Le complément alimentaire pouvant être apporté par fauchage et stockage du surplus printanier, multiplication de la surface de pâture en été, achat de fourrage extérieur ;
 - Adapter le nombre de bêtes (extensification <> intensification) au potentiel fourrager de la ferme pour assurer son autonomie alimentaire prenant compte des aléas climatiques ;
 - Mise en adéquation des besoins des animaux avec la pousse saisonnière de l'herbe ;
 - Adapter les périodes de vêlage (vêlage de printemps ou deux périodes, l'une au printemps et l'autre à l'automne) ;
 - Réaliser le tarissement en périodes estivale et hivernale.
- *A moyen terme*
 - Planter des cultures fourragères résistantes au stress hydrique ayant un système racinaire plus fort comme la luzerne, le dactyle, la fétuque élevée, le plantain ou la chicorée ;
 - Semer des prairies permanentes multi-espèces à base de légumineuses (le trèfle blanc par exemple) qui sont plus robustes face aux aléas climatiques ;
 - Planter des couverts fourragers.
- *A long terme*
 - Choisir des races d'élevage rustiques (exemples : Jersey, Angus) capables de s'adapter à des conditions qui fluctuent ;
 - Planter des haies et des arbres isolés ou en bouquet amenant de l'ombre au troupeau et atténuant le stress hydrique de la prairie (agroforesterie permettant de chercher l'eau en profondeur) ;
 - Planter des haies fourragères pour compléter le pâturage en période estivale quand l'herbe manque (attention volume limité pour de grands troupeaux).

6.3 Aménagements anti-érosifs et solutions fondées sur la nature

L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) définit les solutions fondées sur la nature comme « les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés, pour relever directement les enjeux de société de manière efficace et adaptative tout en assurant le bien-être humain et des avantages pour la biodiversité »¹³⁵. Dans cette partie, nous allons aborder d'une part des aménagements anti-érosifs ponctuels ou locaux (comme les fascines), mais aussi des solutions qui contribuent à restaurer des écosystèmes, soit des éléments ponctuels (noues, bandes enherbées, haies) ayant un effet écosystémique lorsque mis en réseau, soit des restaurations de milieu humide à plus grande échelle (restauration hydromorphologique, zone d'expansion de crue...).

6.3.1 Couverture végétale des sols

Des couvertures de sol longues et diversifiées améliorent durablement la structure du sol par un apport de matière organique en surface mais aussi grâce à leur développement racinaire. Elles constituent en outre une protection du sol contre l'érosion.

Les couverts annuels sont des cultures semées chaque année pour couvrir le sol entre les cultures principales. Ces couverts sont généralement semés à l'automne après la récolte de la culture principale. Les couverts annuels ont plusieurs avantages pour le sol, notamment en réduisant l'érosion, en améliorant la structure du sol et en augmentant la biodiversité. Ils peuvent également aider à retenir l'eau dans le sol en période de sécheresse en augmentant la capacité du sol à retenir l'eau et en évitant l'évaporation excessive.

La Culture Intercalaire Piège À Nitrate (CIPAN) est une culture intercalaire qui agit comme un piège à nitrate, implantée entre la récolte (juillet-août) et l'implantation des cultures de printemps. Elle vise à capter l'azote en surface et le rendre disponible pour la culture suivante. En Wallonie, son utilisation est obligatoire dans le cadre du Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA)¹³⁶, notamment après tout épandage de matière organique effectué entre le 1^{er} juillet et le 15 septembre. Dans ces situations, une CIPAN doit être implantée avant le 15 septembre et maintenue jusqu'au 15 novembre.

Pour une bonne protection du sol, il est recommandé de maximiser la couverture du sol en semant l'interculture le plus tôt possible après la récolte du précédent cultural, en la maintenant le plus longtemps possible et en l'incorporant au sol. Les CIPAN protègent également le sol contre les impacts des gouttes de pluie pendant leur période de végétation.

Certaines intercultures courtes peuvent aussi être employées comme couverture de sol. Celles-ci ne sont pas obligatoires mais peuvent avoir un intérêt agronomique. Si les espèces sont choisies selon la période de semis, les avantages peuvent se recouper. En effet, quelle que soit la période, les mélanges d'espèces permettent de sécuriser le couvert en cas de circonstance défavorable pour l'une ou l'autre espèce (froid, prédation, sécheresse...). Les mélanges permettent aussi de combiner les avantages de chaque espèce associée : couverture rapide, résistance à la sécheresse, piégeage de l'azote, effet « engrais vert ».

D'autres couverts et associations peuvent avoir un impact positif sur la gestion des stocks d'eau dans les sols agricoles. Il existe en effet les sets permanents qui sont des couverts de vivaces cultivées en permanence sur certains terrains notamment pour stabiliser les pentes, réduire l'érosion et protéger les sols contre les inondations. Ces plantations sont également utiles pour améliorer la qualité de l'eau en retenant les nutriments et les sédiments qui autrement pourraient se déverser dans les cours d'eau et les lacs.

Une autre alternative est de travailler en utilisant des plantes avec des mélanges "biomax" mis au point par l'association BASE en France. Ces mélanges ont pour objectif d'atteindre une biomasse et une biodiversité maximale pour un environnement donné. De cette manière, la couverture du sol peut être maximisée et la capacité du sol à retenir l'eau augmente. Cela peut aider à prévenir l'érosion et à maintenir une humidité suffisante dans le sol pour favoriser la croissance des cultures.

6.3.2 Bande enherbée

Cette technique consiste à créer une zone d'herbe semée en bordure (ou au milieu) d'un champ, d'une largeur allant de 6 à 20 mètres. C'est une des techniques les plus efficaces à court et moyen terme par rapport aux haies et aux lignes d'arbres par exemple. Cette méthode est plus efficace sur les zones situées en amont ou en milieu de pente où le ruissellement n'est pas encore concentré ou à fort débit.¹³⁷ L'objectif est de créer une barrière végétale qui limite le ruissellement en nappe (ruissellement diffus) grâce à la rugosité de la couverture du sol. La vitesse réduite entraîne une diminution de la capacité de transport de sédiments et leur dépôt. Toutefois, il faut noter que face à un écoulement concentré, la bande enherbée n'est pas suffisante.¹³⁸

La PAC 2023 en Wallonie contraint son emploi dans différentes situations :

- Dans un premier temps, la **BCAE 4** traitant de l'établissement de bande tampon le long des cours d'eau, indique l'obligation de créer une bande tampon de 6m de large sur laquelle il est interdit d'appliquer des fertilisants et des pesticides ;
- Ensuite, la **BCAE 5** est consacrée à la gestion du travail du sol en vue de réduire le risque de dégradation et d'érosion des sols. Cette section de la PAC 2023, classe les parcelles selon leurs risques d'érosion (élevé, très élevé ou extrême). Ce nouveau référentiel est basé sur la pente, la longueur de pente, les caractéristiques du sol et l'intensité moyenne des pluies locales. Il définit un niveau de sensibilité à la parcelle. Les bandes anti-érosion prévues dans cette clause doivent mesurer au moins 9 m de large, présenter un couvert de graminée, de céréales d'hivers ou de colza et être maintenue du 1^{er} janvier jusqu'à la date de récolte de la culture principale ;
- La **MAEC Tournière enherbées** incite les agriculteurs à transformer leurs bordures de champs en bandes étroites (10-20m) de couvert prairial, exploitées de manière peu intensive, sans intrant, avec fauche tardive estivale et présence d'une zone refuge non fauchée.

En Flandre, il existe 3 types de bandes de tampons soutenues par la PAC. Les bandes tampons pour limiter l'érosion, les éléments de paysage sensible et les bandes le long des cours d'eau.

Pour l'érosion, les parcelles sont classées, comme en Wallonie, par sensibilité à l'érosion. Les bandes enherbées sont donc proportionnelles à cette classification. Pour des parcelles à sensibilité très élevée ou élevée les bandes doivent être de 9 à 30 m de large. Pour les sensibilités à l'érosion moyenne, faible ou très faible, les bandes enherbées doivent être de 6 à 24 m de large. Ces bandes ne peuvent être ni traitées avec des produits phytosanitaires, ni amendées d'engrais.

Les éléments sensibles du paysage tels que les haies, les lisières de bois, les étangs, les chemins creux... doivent être protégés par des bandes enherbées de 6 à 12 m.

Pour finir, le long des cours d'eau, la mise en œuvre de la PAC en Flandre oblige l'implantation d'une bande de 3 à 6 m le long de tout cours d'eau sans distinction.

En France, le plan stratégique national de la PAC 2023 défend des intérêts similaires. C'est d'ailleurs sous la BCAE 6 qu'est consignée l'interdiction de maintenir des sols à nu durant les périodes sensibles et que la création de bandes enherbées est mise en avant. Les bandes tampons en bord de rivière sont traitées dans le Plan d'Action Nitrate (PAN). Il y est demandé de mettre en place et de maintenir une couverture végétale permanente le long de certains cours d'eau, sections de cours d'eau et plans d'eau de plus de 10 ha (bandes enherbées), et le maintien d'une quantité minimale de couverture végétale au cours des périodes pluvieuses. De plus, la clause française pour la BCAE 8 « Maintien des éléments du paysage » renforce les exigences minimales d'éléments et surfaces favorables à la biodiversité (les bandes enherbées, les plantations de CIPAN...).

Aux Pays-Bas, la mise en œuvre de la PAC met en avant les bandes tampons obligatoires en bord de cours d'eau. Elles doivent être :

- d'une largeur de 5m pour les cours d'eau à biologie vulnérable ou qui relève de la Directive Cadre sur l'Eau (KRW),
- de 3 m pour tout autres cours d'eau
- de 1m pour les fossés asséchés du 1er avril au 1er octobre

Pour les situations sensibles à l'érosion, la PAC est majoritairement axée vers les couvertures de sols, rotation et les techniques agricoles sans pour autant imposer les bandes enherbées.

6.3.3 Haies

En France et en Belgique, jusque dans les années 1990 le remembrement institutionnel ou la réorganisation du parcellaire par les exploitants, poussé par l'augmentation de la taille des machines agricoles, a conduit à la diminution et à la dégradation du bocage dans de nombreuses zones.¹³⁹ La restauration et l'installation d'éléments paysagers végétalisés, tels que des haies, des alignements d'arbres et des zones tampons herbeuses, le long des limites des parcelles sont de plus en plus reconnues comme un moyen d'atténuer le risque d'inondation en aval.¹⁴⁰

Les résultats de modélisations Landlab ont démontré que le volume total de ruissellement, le débit de pointe et son temps de latence dans de petits bassins versants sont principalement contrôlés par la densité des éléments paysagers végétalisés.¹⁴⁰

Dans l'ouest de la France, la saturation du sol est la principale cause du ruissellement en surface et des inondations. Les haies pourraient jouer un rôle important dans la réduction des risques de ruissellement, en particulier pendant la reprise des ruissellements en automne, tout en limitant les inondations de haute fréquence.¹⁴¹ Il a été démontré à plusieurs reprises que les haies ont un impact sur la qualité de l'eau. Les arbres isolés et les arbres de haie sont des pompes à azote efficaces, dans la mesure où ils peuvent prélever l'eau des nappes phréatiques peu profondes. Les résultats actuels appuient la conservation, la réhabilitation et l'installation de haies sur les versants des bassins versants.¹⁴¹

La composition et la disposition d'une haie sont des facteurs clés qui déterminent son efficacité en termes de lutte contre l'érosion. Une haie anti-érosion doit être constituée de trois types d'essences indigènes :

- Une essence à recéper, pour la résistance mécanique de la haie (saules, aulnes, tilleuls) ;
- Une essence drageonnante, pour aider à la fixation au sol (prunus, amélanchier) ;
- Une essence de « bourrage », pour donner du corps à la haie (aubépine, murier, sureau).

Le concept de la multifonctionnalité des aménagements suggère que pour maximiser leur utilité, il est conseillé d'inclure d'autres essences locales dans les haies, en plus des trois essences de base. Cela peut être fait pour des raisons esthétiques, agricoles (fournir de l'ombre pour le bétail), énergétiques (production de bois) et/ou faunistiques (fournir des petits fruits et des fleurs mellifères pour les insectes).¹³⁷ Les haies sont surtout efficaces quand elles sont associées à une bande herbeuse à leur pied.

6.3.4 Barrages filtrants ou fascines

Les barrages filtrants, nommés aussi fascines, sont des aménagements spécifiques comparables à une barrière épaisse faite de matériel végétal (branchages, copeaux, paille) et dont la fonction est de ralentir le ruissellement concentré. Ces aménagements sont solidement attachés aux poteaux de soutien (avec ou sans grillage) et sont positionnés perpendiculairement aux écoulements concentrés. Par la densité et la résistance de la végétation, ils créent une zone de sédimentation.

Chacun des matériaux permettant la mise en place de barrage filtrant a ses particularités au niveau du coût, de la durabilité, de leur dimensionnement ou encore de leur maintenance. Dans les zones à risque d'érosion élevé, les barrages filtrants peuvent être vite colmatés et doivent faire l'objet d'une maintenance régulière au risque de ne plus remplir leur rôle.

6.3.5 Fossés et noues

Les fossés sont des installations conçues pour guider l'eau qui s'écoule sans la stocker. Leur but est de protéger les installations et les habitations. Les fossés jouent un rôle crucial dans l'évacuation de l'eau et doivent être reliés au réseau de cours d'eau ou à des lieux aménagés pour l'infiltration. Il existe différentes manières de les gérer, comme les laisser enherbés, avec des bords irréguliers ou en les combinant avec un talus.¹³⁷

Les noues sont des fossés peu profonds et enherbés. Ces dispositifs permettent de réduire la vitesse d'écoulement du flux (permettant ainsi de réduire l'érosion des sols), tout en permettant d'améliorer la qualité de l'eau et de réduire la pollution (par les espèces choisies).¹³⁷ La noue plus large peut être franchissable par des engins agricoles alors que le fossé ne l'est pas.

Un type particulier de noue est la noue à redents. Les redents sont de petits barrages disposés à intervalle régulier qui divisent le dispositif en biefs et en volume stockant. Elle permet, par son architecture, de diminuer les flux d'eaux en aval en stockant en partie de l'eau dans chaque redent.

Les fossés à redent, les noues, et dans une moindre mesure les fossés, favorisent l'infiltration de l'eau de pluie au plus proche de son point de chute, en particulier pour des précipitations peu intenses. Cette infiltration contribue à la recharge de la nappe.

Outre leurs bénéfices de réduction du risque d'inondations, les noues présentent d'autres avantages¹⁴² :

- La qualité de l'eau est améliorée par la décantation des matières en suspension et la filtration de l'eau dans le sol. Si la noue est agrémentée de plantations, une filtration supplémentaire est apportée par le réseau racinaire ;
- L'infiltration de la pluie là où elle tombe permet d'alimenter les nappes phréatiques et de limiter le volume d'eau claire envoyée dans le réseau d'assainissement ;
- La noue plantée peut reconstituer des habitats particuliers, refuges de biodiversité ;
- Amélioration du maillage bleu (réseau d'eau claire) ;
- Plus-value esthétique et paysagère.

6.3.6 Gestion intégrée des eaux pluviales à l'échelle de l'espace public rural

La gestion intégrée des eaux pluviales à l'échelle de l'espace public consiste à infiltrer les eaux pluviales au plus proche de leur point de chute. Dans le cadre rural qui nous occupe, des milliers de kilomètres de voiries d'importance et de taille diverses desservent nos campagnes. Avec les chemins de remembrements, elles sont souvent imperméabilisées et peuvent servir de voies d'écoulement préférentielles pour le ruissellement et les coulées boueuses. Bon nombre d'entre elles ne sont en outre pas équipées d'égouttage.

Pourtant, ces espaces jouent un rôle important dans la réduction du risque d'inondation via 3 axes :

- Infiltrer la pluie directement là où elle tombe (revêtements perméables) ;
- Retenir les eaux de pluies (sous-fondations stockantes, noues en bordures de voiries) ;
- Temporiser le rejet des eaux en réduisant la vitesse d'évacuation (infiltration, évapotranspiration par la végétation, débit régulé).

Outre l'usage de revêtement perméable, les principaux aménagements existant sur ces espaces sont des noues (avec ou sans redents) qui se situent en bordure des axes routiers. Des massifs stockant et infiltrant, situés sous la voirie ou sous les trottoirs/parkings, sont également envisageables ponctuellement.

6.3.7 Restauration hydromorphologique de cours d'eau et restauration de zones humides

La restauration hydromorphologique de cours d'eau est une mesure qui vise à remettre dans un état écologique favorable l'ancien lit d'un cours d'eau et ses berges, rendre son thalweg initial ou encore remettre à ciel ouvert un cours d'eau (enterré lors de la construction d'une ville par exemple). La restauration des ripisylves et des forêts alluviales sont autant d'interventions qui améliorent la qualité hydromorphologique des rivières.

Ces opérations ont un impact sur la gestion des crues éclair ("flash floods"). En effet, contenir l'eau dans des canalisations entraîne des débordements quand le volume/débit à gérer est supérieur à la capacité dimensionnée pour l'infrastructure. De plus, lors de débordements, l'eau a tendance à revenir vers son thalweg initial. Par ailleurs, la restauration hydromorphologique contribue à la restauration de zones humides, en bordure de cours d'eau, et impacte donc positivement la biodiversité.

Ces restaurations impliquent parfois des modifications des tracés actuels des cours d'eau, ce qui conduit le plus souvent à reconfigurer les parcelles agricoles qu'il traverse. Ces projets sont dès lors une source potentielle de conflits, dans la mesure où ils modifient la structure des paysages en place et les usages, notamment agricoles.¹⁴³ Les projets de restauration ambitieux d'un point de vue hydromorphologique (reméandrage, remise en thalweg, remise à ciel ouvert) tendent à s'inscrire dans un projet de territoire global, ce qui confronte un grand nombre d'acteurs et d'usagers concernés.¹⁴⁴

Ces restaurations hydromorphologiques rendent des services de régulation.¹⁴⁵ L'hydrosystème régule le régime des eaux (stockage en crue, soutien d'étiage). Il agit notamment sur la répartition des eaux dans le temps, l'ampleur du ruissellement et l'alimentation des aquifères et des cours d'eau. La préservation et la restauration de la dynamique fluviale qui assure « l'entretien » des milieux aquatiques dans les corridors aquatiques permettent, par stockage d'eau dans ces espaces, de diminuer le risque d'inondations dommageables dans les secteurs à enjeux. La préservation et la reconquête d'espaces de mobilité, et au-delà d'espaces de rétention des crues au sein desquels peuvent se développer des milieux aquatiques de qualité, contribuent à la réalisation d'économies en diminuant le nombre et l'intensité des dégâts causés par les inondations dommageables.

Le comité français de l'UICN France¹⁴⁶ souligne que la préservation, la restauration et la création de zones humides fonctionnelles et la restauration hydromorphologique des cours d'eau contribuent à réguler les inondations et protéger les ressources en eau lors de sécheresses. La restauration de zones humides, qui est une solution fondée sur la nature, favorise en effet un stockage de l'eau en cas de crues et une restitution de cette eau lors de périodes d'étiage, ce qui permet de limiter l'intensité de ces phénomènes.¹⁴⁷

La capacité des milieux humides à réguler les débits d'étiage dépend de nombreux paramètres abiotiques (porosité du substrat, inertie du milieu...) et biotiques (présence de végétation favorisant la rétention et le relargage de l'eau). Des couverts végétaux composés de sphaignes peuvent ainsi retenir de manière temporaire de grandes quantités d'eau et les relâcher sur des horizons temporels plus ou moins longs, permettant ainsi de soutenir les étiages.¹⁴⁸ Par exemple, la restauration de tourbières contribue également à réduire le risque de sécheresse : en fonction de sa profondeur, 1 ha de tourbière peut stocker plusieurs milliers de mètres cubes d'eau¹⁴⁷. Toutefois, le stock d'eau retenu dans une zone de tourbière ne sera pas relâché dans le réseau hydrographique sans intervention sur les barrières hydrologiques (digues, fond argileux...) qui conditionnent le caractère humide du milieu.

6.3.8 Keyline Design

Le Keyline Design est une méthode de conception agricole et paysagère qui a été développée dans les années 1950 par un ingénieur australien. Cette approche holistique de la conception agricole et paysagère vise à optimiser la répartition et la circulation des eaux de ruissellement sur un terrain (idéalement à l'échelle d'un petit bassin versant), en maximisant l'infiltration de l'eau dans les sols, en arrêtant les phénomènes érosifs, en augmentant la perméabilité des sols et leur capacité de rétention d'eau, tout en améliorant leur résilience à long terme en favorisant la vie biologique par des interactions eau-sol-plante optimales et une gestion appropriée du

pâturage tournant dynamique. Le but ultime de l'ingénierie de modèle de culture en ligne clef est de rediriger et de répartir l'eau des vallées vers les crêtes, car la concentration des eaux de ruissellement est toujours plus importante dans les vallées en raison de l'effet de gravité.¹⁴⁹

6.3.9 Zone de gestion hydrique

6.3.9.1 ZEC et ZIT

Une Zone d'Expansion de Crues (ZEC) est un espace naturel ou aménagé qui permet aux eaux de se répandre lors du débordement des cours d'eau dans leur lit majeur. Une Zone d'Immersion Temporaire (ZIT) poursuit le même objectif en étant un espace naturel ou aménagé destiné à recueillir les eaux de ruissellement lors des événements météorologiques d'importance de manière à éviter les inondations en aval

Ces aménagements peuvent cependant poursuivre plusieurs objectifs et être ainsi multifonctionnels.

Premièrement, ils permettent une gestion des eaux d'inondation. En effet, le stockage temporaire des eaux contribue à réduire l'intensité de la crue en étalant sa durée d'écoulement et permet de limiter le débit du cours d'eau vers l'aval. En effet, en cas de fortes pluies et de débit élevé venant de l'amont, la zone de stockage se remplit et s'étend pour couvrir toute la surface déterminée de la ZIT. Elles influencent ainsi la propagation de l'onde de crue en réduisant la vitesse de transfert de l'eau.

Deuxièmement, ils impactent positivement la qualité et l'approvisionnement en eau de la zone (épuration, écoulement et infiltration). Le stockage de l'eau dans les plaines d'inondation réduit ainsi le risque d'inondation dommageable à l'aval, mais contribue aussi à l'épuration de l'eau par les zones humides alluviales. Ces dispositifs permettent une recharge en eau des nappes phréatiques régionales ainsi que le maintien de statuts hydriques minimal dans les sols.

Troisièmement, ces aménagements renforcent la résilience du territoire face aux périodes de sécheresse autant dans les milieux productifs que dans les milieux naturels. Après l'épisode pluvieux, la zone se vide progressivement tout en maintenant un débit limité par le dispositif de régulation vers l'aval. Les zones d'expansion des crues permettent donc le stockage des eaux en période de forte crue et une restitution lente et continue au cours d'eau en période plus sèche¹⁴⁵. Une pluie intense en période estivale sèche va ainsi être temporisée et maintenir plus longtemps l'humidité dans le paysage. Ces dispositifs retenant l'eau fournissent également une source de refroidissement par évaporation pendant les vagues de chaleur et une source d'eau pour prévenir la sécheresse.¹⁵⁰

Ces effets rendent les zones résilientes tant au niveau des inondations que des sécheresses. En parallèle, ces projets favorisent la biodiversité. En effet, ce stockage temporaire aide également au développement et fonctionnement des écosystèmes aquatiques et terrestres. Pour finir, ces espaces peuvent être aménagés de manière à remplir un rôle social et didactique, à travers des zones de délasserment et des parcours didactiques.

Les prairies inondables sont des zones d'expansion de crues dont la fonction agricole est conservée hors événement pluvieux extrême. Lors des fortes pluies, ces zones enherbées en bordure de cours d'eau accueillent la crue, ralentissent le flux d'eau et temporisent et la perte de sédiments en plus de favoriser la biodiversité, de réguler le cycle de l'eau, d'améliorer le paysage et d'être utilisable pour les éleveurs le restant de l'année.

6.3.9.2 Mares tampons

Une mare tampon peut permettre de réguler les débits de ruissellement et de réduire les surfaces inondées. La mare tampon comporte deux niveaux. Le premier niveau est le niveau permanent. Le second niveau sert à réguler les débits. Il stocke temporairement les eaux de ruissellement lors des pluies et se vide progressivement par un ouvrage de fuite.¹³⁷

Les mares, zones humides et zones d'immersion temporaires font partie de trames vertes et bleues et apportent de nombreux services écosystémiques, améliorant la biodiversité, éliminant les polluants, participant au cycle naturel de l'eau, à la lutte contre les inondations et à la résistance aux impacts du changement climatique. Ce

sont des ouvrages importants sur les sites de production agricole, servant alternativement de réserve d'eau pour l'irrigation, l'apport de nutriments (fertirrigation), recharge des nappes, piscicultures et aquaponie.¹⁵¹

6.3.9.3 Zone Tampon Humide Artificielle

Les Zones Tampons Humides Artificielles (ZTHA) permettent d'intercepter les écoulements de sub-surface issus du drainage agricole. Les écoulements sont interceptés dans des dispositifs végétalisés puis stockés temporairement pour favoriser leur phyto-épuration, avant d'être restitués dans le milieu naturel. Le temps de rétention des eaux est un facteur déterminant pour assurer la réduction de pollution, et exige une gestion fine des entrées et des sorties en fonction de l'hydrologie du milieu et des dimensions de l'ouvrage.¹⁵²

Le dispositif en lui-même réduit d'environ 40 % les pollutions. Il s'agit d'un système naturel, donc intrinsèquement l'efficacité est variable selon la saison et l'année, les résultats dépendent notamment des conditions climatiques. Ainsi, l'efficacité de la ZTHA dans la réduction des pesticides oscille d'une année sur l'autre, allant de 25 % à 55 %. Autre incertitude : les différences de comportements – et donc de dégradation – en fonction des molécules (pesticides). Du côté des nitrates, la ZTHA permet d'éliminer chaque année 10 % du flux annuel.¹⁵³

Encadré – Création de zones humides artificielles en succession de bassin.

Par leur nature, les zones humides sont des zones de débordement des cours d'eau ou de résurgence de la nappe et constituent des zones tampons naturelles pour les eaux de pluie. Les zones humides naturelles sont d'une grande importance pour les amphibiens et les libellules et constituent un lieu de reproduction pour de nombreuses espèces d'oiseaux. L'objectif des zones humides artificielles (urban wetland¹⁵⁴), dont un exemple est le London Wetland Centre¹⁵⁵, est de recopier l'écosystème naturel des zones humide à l'échelle urbaine et d'ainsi reprendre tous les services écosystémiques :

- Tamponner une partie du ruissellement des précipitations et ralentir la vitesse d'écoulement.
- Les polluants biologiques sont éliminés par la vie végétale et se déposent dans les sédiments, ce qui améliore considérablement la qualité des eaux de ruissellement. **C'est de la phytoremédiation qui contribue à l'élimination des phosphates, des nitrates, des substances solides et des métaux lourds.**
- Développement d'une plus grande biodiversité et des zones de loisirs naturelles et agréables.
- Les effluents des zones humides sont des eaux purifiées qui conviennent parfaitement à une utilisation dans **les systèmes d'arrosage ou pour compléter les eaux de surface.**

Elles sont composées d'une succession de zones qui fonctionnent ensemble pour rendre différents services écosystémiques. C'est donc plus qu'une ZIT car en plus de la zone de stockage, elles sont en effet constituées de zones d'afflux, de sédimentation et de marais combinées à un étang ou à une autre zone d'eau libre. Dans les zones d'afflux et de sédimentation, tous les déchets de grande taille sont éliminés avant que l'eau ne pénètre dans la zone marécageuse, afin d'éviter que la zone humide ne se pollue trop rapidement. Ensuite, dans une succession de cellule de zone humide (wetland cells ou marshland zone), l'eau serpente à travers des tranchées dans le marais afin de maximiser le temps qu'elle y reste. Cette zone doit être conçue de manière à ce que l'eau puisse la traverser facilement.

Cela implique un système de gestion des débits intelligent qui permet à la fois de conserver la fonction de stockage et de déplacement du pic de la pluie tout en évitant de surinonder et de dégrader la zone humide. Un fonctionnement par palier de pluie donne un trajet différent à l'eau (écoulement au travers ou remplissage des cellules) en fonction du niveau de pluie. Au lieu d'apaiser le flux avec un stockage en digue (comme une ZIT), un système basé directement sur les plantes permet de ralentir le flux et de se répandre sur l'entièreté de la surface de la wetland cell avec la mise en place de déversoirs aux endroits appropriés.¹⁵⁶

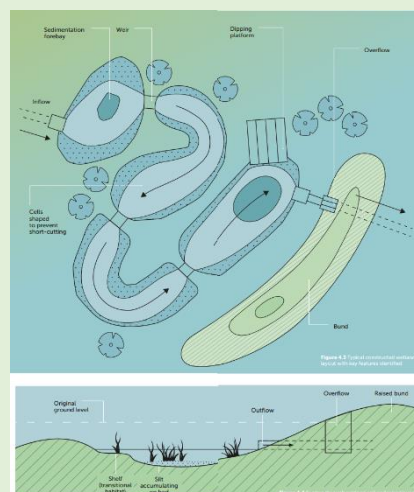


Figure 23 : visualisation des cellules de zone humide. Source : Westland design guide

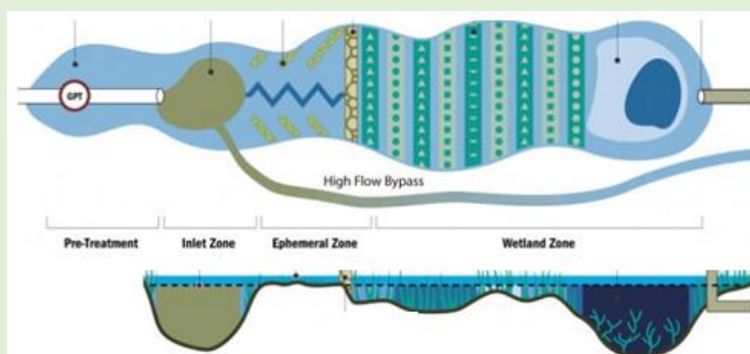


Figure 24: représentation schématique d'une zone humide. Source : Urban wetlands¹⁵⁷

6.4 Sources de stockage d'eau et technologies d'irrigation

La gestion quantitative de l'eau, et l'acheminement de cette ressource à la plante, est un enjeu depuis des siècles pour le monde agricole. En effet, au-delà du prélèvement direct de l'eau dans les nappes ou dans les eaux de surfaces, des stratégies de stockage d'eau ou de réutilisation d'eaux alternatives sont envisageables. Ces eaux sont ensuite acheminées vers le champ pour alimenter les plantes en eau via différentes techniques d'irrigation en tenant compte du type de cultures, de la disponibilité de l'eau et de l'efficacité du système mis en place.

6.4.1 Sources et stockage d'eau pour l'irrigation

Comme discuté à la section 3, l'eau utilisée en agriculture est habituellement prélevée dans les nappes et dans les eaux de surfaces. Cependant, face aux sécheresses récurrentes de ces dernières années, cette ressource peut venir à manquer et être indisponible aux moments nécessaires pour l'agriculture. Les principales techniques de retenues et de réutilisation d'eau dites « alternatives », pour l'agriculture, sont présentées ci-dessous.

6.4.1.1 Les retenues d'eau

L'irrigation des sols agricoles est permise grâce au déploiement de plusieurs sources hydrauliques. L'ensemble de ces installations artificielles permettant le stockage de l'eau, plus communément appelé *retenues d'eau*, ont des typologies variées. Très développées en France, elles constituent des plans d'eau artificiels en support à l'irrigation, mais également d'autres activités (hydroélectricité, alimentation en eau potable...). Parmi celles-ci, nous pouvons retrouver¹⁵⁸ :

- **Les retenues collinaires**, construites à flanc de collines, qui constituent un moyen de stockage de **l'eau de ruissellement** durant l'hiver, afin de l'utiliser en période estivale. Elles ont une superficie allant de quelques hectares à quelques km², et une capacité de 0,5 à 3 millions de m³. Les barrages situés hors du lit majeur d'un cours d'eau, et non au travers d'un cours d'eau, illustrent le mécanisme de retenue collinaire. Ceux-ci sont également approvisionnés en dérivant une partie du débit **de cours d'eau** proche ;
- **Les retenues de substitution**, aussi appelées méga bassines, sont généralement construites en plaine et permettent de stocker plusieurs milliers de m³ **d'eau prélevée dans les nappes phréatiques** ou dans les **cours d'eau** durant la période hivernale lorsque les niveaux piézométriques sont élevés¹⁵⁹. Elles ont pour objectif de réduire la quantité d'eau souterraine prélevée pendant la période estivale, et d'apporter une réponse au risque de sécheresse pesant sur l'équilibre hydrologique¹⁶⁰. A noter que ces retenues de substitution sont généralement exclusivement dédiées à soutenir l'irrigation, ce qui n'est pas le cas des retenues collinaires (pêche, abreuvement, aménagement, soutien d'étiage, etc.)¹⁶¹.

Une préoccupation grandissante concernant ces retenues d'eau est la perte hydrique liée à l'évaporation. Une étude sur un bassin hydrographique espagnol¹⁶² montre que près de 9% de l'eau annuellement disponible dans le bassin s'évapore à partir des différents barrages et retenues agricoles.

Les typologies de stockage sont variées et ne dépendent pas uniquement de grandes infrastructures artificielles, nous pouvons encore distinguer :

- **Les lacs**, situés dans les dépressions naturelles, qui constituent des plans d'eau d'en moyenne 200ha avec une profondeur de 5m, permettant de fait une stratification thermique ;
- **Les étangs** qui constituent une plus petite surface de stockage, comprise entre 0,5 et 200 ha et de plus faible profondeur, moins de 5m, sans stratification thermique stable. Ils sont alimentés principalement par leurs **bassins pluviaux** ;
- **Et les mares** représentant de petites étendues d'eau stagnante parfois temporaires et d'une surface inférieure à 5000 m², faisant moins de 2 m de profondeur ;

Afin d'alimenter le stockage et l'irrigation, la source d'eau peut donc avoir différentes origines :

- L'eau de pluie et de ruissellement ;
- La déviation d'un cours d'eau permanent ;
- Le pompage depuis la nappe phréatique ;
- Les ressources alternatives en eau, qui sont développées ci-dessous ;

6.4.1.2 Ressources en eau alternatives

Voici une liste non exhaustive de ressources en eau dites alternatives :

- La réutilisation de l'eau d'exhaure de carrière ;
- La réutilisation des eaux usées en sortie de station d'épuration ;
- La réutilisation des eaux en sortie d'un processus industriel ;
- Le dessalement d'eau de mer.

En Belgique, l'eau d'exhaure de carrière est déjà réutilisée, notamment à la carrière d'Antoing, dont l'exhaure est potabilisée par la SWDE dans le complexe de la Transhennuyère (Gaurain-Ramecroix) et injectée dans le réseau d'eau potable, depuis 2002. Depuis, les eaux d'exhaure de 7 carrières wallonnes sont exploitées.

La réutilisation des effluents (eaux usées et saumâtres) après traitement permet de fournir à l'agriculture une source d'eau supplémentaire qui se substitue aux eaux prélevées dans les nappes ou les eaux de surface. En réutilisant 70% de ses eaux usées, Israël est le pays où le traitement des eaux usées est le plus utilisé au monde.¹⁶³ La principale station d'épuration du pays, Shafdan, traite 120 millions de m³ d'effluents ménagers et industriels par an, principalement destinés à l'irrigation des terres agricoles. En Belgique, cette source n'est pas encore exploitée, mais le projet 103 du PRW cherche à développer cette possibilité.

Concernant l'utilisation d'eau de procédé industriel, en Belgique, plusieurs projets existent déjà aujourd'hui : Des entreprises (AB InBev, le laitier Olympia, la raffinerie de sucre de Tirlemont) ont mis leur eau traitée à la disposition des municipalités et des agriculteurs en période de sécheresse, dès 2018¹⁶⁴ et encore en 2022¹⁶⁵. Un autre grand exemple est le projet commun d'irrigation d'ARDO¹⁶⁶. L'entreprise de transformation de légumes (aliments surgelés) ARDO a besoin de 600 000 m³ d'eau par an pour laver et blanchir les légumes et nettoyer les zones de production. Chaque année, 300 000 m³ d'eaux usées étaient déversés dans un cours d'eau voisin. Ces eaux usées sont désormais stockées dans un bassin tampon (150 000 m³) et sont pompées via un réseau de canalisations souterraines de 24 km vers les parcelles agricoles environnantes à Ardooie à des fins d'irrigation. 48 agriculteurs participent au projet, ce qui représente l'irrigation de 500 ha¹⁶⁷. La fédération de l'industrie alimentaire Belge (Févia) encourage depuis 2021 ses membres à se lancer dans la mise à disposition d'eau de procédé pour l'agriculture¹⁶⁸.

Enfin, le dessalement d'eau de mer est une technique très consommatrice d'énergie, produisant des rejets (saumures toxiques) et très coûteuse¹⁶⁹. Il n'est pour l'instant utilisé que de manière anecdotique en Europe, mais déjà massivement dans les pays du Golfe (Arabie Saoudite, Emirats Arabes Unis), aux Etats-Unis, mais aussi de plus en plus sur le pourtour méditerranéen (Espagne en tête, mais aussi en Israël).¹⁷⁰

6.4.2 Technologie d'irrigation

La FAO désigne l'irrigation comme l'application d'eau sur le sol dans le but de fournir l'humidité essentielle à la croissance des plantes. Pour la FAO, l'irrigation joue un rôle essentiel dans l'augmentation des rendements des cultures et la stabilisation de la production.

En Wallonie, la majorité des cultures ne sont pas irriguées, les prairies et les grandes cultures classiques (céréales, betteraves, chicorée, lin, colza) ne le sont notamment pas. En revanche, les cultures de pommes de terre sont fréquemment irriguées, et les cultures de légumes sont généralement irriguées, mais à des périodes qui varient en fonction des cultures¹⁷¹ :

- Pour le pois et le haricot, l'irrigation est utile au stade du grossissement des gousses ;
- Pour l'épinard, l'irrigation est utile à partir du stade 6 feuilles ;
- Pour l'oignon, à la bulbaison ;
- Pour la carotte, à partir du stade crayon, pour le grossissement des racines ;
- Pour la pomme de terre, l'irrigation est utile à des stades qui dépendent fortement du type de pomme de terre à produire.

De manière générale, différentes techniques d'irrigation et infrastructures peuvent être employées tels que l'irrigation gravitaire, par aspersion ou encore par micro-irrigation, décrites plus en détail dans les sous-sections suivantes.

Cependant il est important de noter que ces différentes méthodes ont des consommations en eau variables. Des valeurs moyennes d'efficacité à l'échelle de la parcelle sur une saison de culture en tenant compte de l'évaporation directe, de la dérive, de l'interception de la canopée, du ruissellement et des pertes de drainage (mais pas de l'évaporation du sol) sont couramment reportées.¹⁷² Ces valeurs sont de l'ordre de : 65% (55-75 %) pour l'irrigation par bobines ou canons enrouleurs, 75% (60-85%) pour les ensembles solides (les montages immobiles), 80% (75-90 %) pour les pivots centraux traditionnels, 85% (70-95%) pour les micro-asperseurs et les systèmes de goutte à goutte de surface, et 90% (75-95%) pour les systèmes de goutte à goutte enterrés.¹⁷³

Pour agir sur l'efficacité des systèmes, des actions extérieures peuvent être mises en œuvre. Parmi celles-ci, on peut citer la modernisation des réseaux de transport afin de réduire les pertes d'eau, les pratiques de gestion des sols et des cultures (telles que la culture sans labour, le paillage et la gestion des adventices), ainsi que l'amélioration des technologies et de la gestion de l'irrigation (par exemple, l'utilisation de systèmes d'irrigation plus efficaces et la mise en place d'une gestion de l'irrigation plus précise ou encore l'utilisation de tunnels nantais et autres serres). En ce qui concerne les améliorations au niveau de la parcelle, les systèmes d'irrigation localisés, tels que la micro-aspersion, le goutte-à-goutte de surface et enterré, peuvent aider à réduire la quantité d'eau appliquée par rapport aux systèmes d'aspersion tels que le canon enrouleur, le pivot ou la rampe. De plus, l'utilisation d'outils de pilotage tels que les sondes de sol peuvent contribuer à économiser de l'eau, bien que les économies d'eau obtenues varient considérablement en fonction des situations.¹⁷⁴

6.4.2.1 Irrigation gravitaire

L'irrigation gravitaire se fait en inondant le sol ou en faisant couler de l'eau à la surface du sol et ceci en profitant simplement de la gravité. Le terme d'irrigation de surface est aussi souvent utilisé. L'irrigation gravitaire existe depuis des milliers d'années, et représente toujours 86% des pratiques d'irrigation actuelles. En Europe, cette pratique correspondait en 2010 à 37% des techniques d'irrigation employées. En Belgique, la même année, environ 15% des exploitations, pratiquant l'irrigation, utilisent l'irrigation de surface. En France, 6% des exploitations irriguent par irrigation de surface et au Pays-Bas moins de 2%, selon les chiffres d'Eurostat.

On distingue 3 grandes classes d'irrigation de surface en fonction de la façon dont l'eau coule et couvre le champ : l'irrigation à la raie ou à la planche, l'irrigation par abissage, et l'irrigation par bassin.

6.4.2.1.1 Irrigation à la raie et à la planche

Dans ces méthodes, l'eau coule dans des rigoles (ou des planches) tracées dans le sens de la pente. L'eau est déversée en tête de la rigole (ou planche) et ruisselle selon la pente jusqu'à l'aval. L'eau s'infiltrate latéralement et verticalement à partir des rigoles. Contrairement à l'irrigation à la raie, où les plantes se trouvent sur des diguettes entre les raies, dans l'irrigation à la planche, les plantes se trouvent sur la planche entièrement dans l'eau. L'irrigation à la raie est utilisable pour toutes les cultures semées en ligne. L'irrigation à la planche s'applique principalement aux cultures telles que les prairies, les céréales et les vergers, c'est-à-dire des cultures qui ne se prêtent pas à être semées en lignes.

Pour arroser le sol par ruissellement de manière efficace, la surface du sol doit être régulière et la pente faible (< 5 %). Il est important d'appliquer un débit d'eau approprié en fonction de la pente et du type de sol afin d'éviter l'érosion tout en évitant une infiltration excessive en haut de la zone d'arrosage.

Il est à noter que ces deux formes d'irrigations sont minoritaires en Belgique.

6.4.2.1.2 Abissage

L'abissage est une méthode d'irrigation traditionnelle qui consiste à irriguer les prairies de fauche de versants et de fonds de vallée au printemps par simple gravité. Cette méthode n'est pas une irrigation au sens classique du terme. En effet, les cultures sont dans ces cas-ci inondées quand l'eau est disponible de manière à charger les sols et non quand la culture en a besoin. Pour ce faire, des canaux d'irrigation en pente douce sont creusés sur des terres en pente afin d'acheminer l'eau des ruisseaux ou des sources vers les prairies agricoles en contrebas.

Les canaux d'abissage doivent être régulièrement nettoyés et reprofilés pour garantir un écoulement uniforme de l'eau dans le canal et sur la prairie. Des barrages équipent ces canaux pour permettre une irrigation par secteur ou par agriculteur. Cette technique nécessite une connaissance spécifique des interactions environnementales pour éviter d'apporter trop ou trop peu d'eau. Des traces de cette pratique agricole ancestrale sont encore observables dans toute l'Ardenne belge et notamment dans plusieurs communes des Provinces de Liège, du Luxembourg et de Namur. Un canal d'abissage d'une longueur de 800m est encore en activité. Il est situé à proximité du village de Cierreux, dans la commune de Gouvy, au nord de la Province du Luxembourg.¹⁷⁵ Toutefois, d'autres techniques similaires aux canaux d'abissage peuvent être mises en avant sur le territoire belge, par exemple, les prairies inondées de Lommel dans le Limbourg. L'abissage a été reconnu, ce 5 décembre 2023, comme patrimoine culturel immatériel par l'UNESCO. Au-delà de la reconnaissance des canaux, c'est la technique, la connaissance et sa transmission qui sont reconnus comme étant un patrimoine.

Un réseau global européen nommé le « International Network on Traditional Water Use » (INTwater) travaille sur les perspectives de réhabilitation des objets relatifs à l'utilisation traditionnelle de l'eau. Leurs projets de réhabilitation principaux concernent des prairies irriguées et réseaux de canaux d'irrigation partout en Europe centrale.

6.4.2.1.3 Irrigation par bassin

Cette méthode consiste à inonder le sol d'une couche d'eau stagnante. De petits accotements encerclent la surface à inonder de manière à y laisser séjourner l'eau. L'eau pénètre par infiltration à la profondeur utile, permettant ainsi au sol de mettre en réserve l'eau indispensable au développement des cultures. Dans cette configuration de grands débits sont employés de manière que l'avancement se termine vite, sans toutefois causer de l'érosion. Pour appliquer l'eau le plus uniformément possible il faut que le sol du bassin soit bien plat et donc nivelé avec soin. L'irrigation par bassin est une façon simple d'irriguer des plantes qui supportent d'être noyées durant un certain temps. Cependant, les pertes par lixiviation peuvent être considérables.

En principe, cette méthode est la plus simple et la plus utilisée des trois variantes d'irrigation gravitaire. Ces techniques sont très peu développées en Europe et sont majoritairement employées dans les pays producteurs de riz.

6.4.2.2 Aspersion

L'irrigation par aspersion consiste à appliquer de l'eau sous forme de pluie. L'eau d'irrigation est acheminée dans des tuyaux sous pression jusqu'à un organe d'aspersion qui propulse l'eau sous forme de gouttelettes sur le sol et les plantes. Bien qu'elles aient en commun la distribution de l'eau sous forme de pluie, les techniques d'irrigation par aspersion couvrent beaucoup de systèmes différents (les rampes peuvent être mobiles, les asperseurs peuvent avoir des formes et des portées diverses...). L'irrigation par aspersion se déroule par phases d'arrosage dont la durée est estimée pour fournir la dose prévue d'eau. Cette technique est la deuxième plus courante après l'irrigation gravitaire.

La FAO estime que plus de 14 % des surfaces irriguées le sont par aspersion. En Europe, cette pratique est employée par 30% des exploitations en 2010. Avec une part plus importante pour les pays d'Europe centrale avec pour la Belgique, la France et les Pays-Bas un pourcentage respectif d'exploitations employant l'irrigation par aspersion de 66, 72 et 93 % des surfaces irriguées (Eurostat). On peut en principe utiliser l'aspersion pour de nombreuses cultures, pour autant qu'elles ne soient pas sensibles à l'humectation de leurs feuilles et aux maladies qui pourraient en découler.

6.4.2.3 Micro-irrigation

La micro-irrigation distribue l'eau au pied des plantes lentement et à faible pression, à l'aide de tuyaux percés de petits orifices ou micro-asperseurs. Par sa nature, la micro-irrigation est donc un système orienté vers l'application de quantités d'eau réduites, ce qui est un avantage indéniable dans le contexte environnemental actuel. Les quantités appliquées lors d'un déclenchement de l'irrigation sont plus petites et la fréquence d'apport d'eau est bien plus élevée que pour les autres types d'irrigation. On irrigue en effet avant que la réserve utile en eau ne soit complètement épuisée. L'intérêt est donc de maintenir un état hydrique du sol plus constant qu'avec d'autres types d'irrigation et de rendre l'utilisation de l'eau plus efficace.

Seul 3% de la surface irriguée au monde l'est par micro-irrigation. En Europe, 33% des exploitations, qui irriguent leurs cultures utilisent la micro-irrigation en 2010. La Belgique, la France et les Pays-Bas ce pourcentage est respectivement de 19, 22 et 5% (Eurostat). La micro-irrigation est donc le type d'irrigation le moins important au monde. Cette observation s'explique par le coût d'investissement élevé et de mise en place. C'est pour cette raison que l'irrigation localisée est majoritairement employée dans des cultures à hautes valeurs : dans des vergers, des cultures maraîchères, en floriculture, dans les vignes.

Le coût d'un système de micro-irrigation varie en fonction de plusieurs facteurs, tels que la surface à irriguer, le type de culture, le type de sol, le type de système de micro-irrigation (goutte à goutte, micro-jet, etc.) et la qualité des équipements. En général, les coûts sont plus élevés pour les systèmes de micro-irrigation de grande envergure.

En fonction de ces facteurs, le coût d'un système de micro-irrigation peut varier de quelques centaines à plusieurs milliers d'euros. Cependant, il est important de noter que l'investissement initial dans un système de micro-irrigation peut être rentabilisé sur le long terme grâce aux économies d'eau et d'engrais, ainsi qu'à l'amélioration de la productivité des cultures. En effet, ce genre d'installation coûte entre 1 500€ et 3 200€ par hectare et représente une économie en termes d'utilisation d'eau (efficacité à 90% contre 60% pour les asperseurs) et d'énergie (environ 160 kWh/Ha/an contre 810-1000kWh/Ha/an pour les asperseurs).

6.4.2.4 Irrigation de précision

L'irrigation de précision est une technique qui applique aux cultures une quantité précise d'eau à des moments bien précis, afin d'optimiser le rendement des cultures et la productivité de l'eau.

Les informations de terrains sont capturées par des capteurs de sol, d'eau et de plantes placés à des endroits stratégiques autour du champ ou dans la parcelle en cas de maraîchage. Ces informations sont combinées à des mesures météorologiques locales provenant de stations météorologiques, à des images satellites de télédétection, à des services de prévision météo et à des modèles hydrauliques et de cultures. Le système analyse ensuite ces données pour fournir aux agriculteurs des recommandations précises et fiables sur le moment où ils doivent irriguer leurs cultures, et avec quelle quantité d'eau.

La FAO a mis à disposition un outil d'aide à l'irrigation nommé AquaCrop. Cet outil permet de déterminer les périodes de demande en eau et le statut hydrique du sol avec des paramètres simples d'accès indiquant dès lors les moments opportuns ainsi que les quantités d'eau à apporter au système. L'Union Européenne a quant à elle mis en place une plateforme de gestion de l'irrigation nommée le FIGARO qui poursuit les mêmes objectifs.

En France, les données issues du projet EDEN 2015-2016 montrent que le pilotage de l'irrigation via des systèmes d'aide à la décision peut permettre de réaliser dans certains cas des économies d'eau et dans d'autres cas de réajuster la dose d'irrigation aux besoins.¹⁸³ Plusieurs appels à projets ont déjà été lancés afin d'exploiter cette possibilité parmi lesquels on retrouve notamment « agri tech » lancé le 5 novembre 2021 pour 90M€. Il permet d'accompagner des projets portant essentiellement sur des innovations technologiques et numériques indispensables pour aider à prendre des décisions tactiques en lien avec le besoin en eau des plantes et animaux.¹⁸³ Mais on pourrait également citer le projet Pépista : le pilotage de l'irrigation sur les vergers. Ce dispositif mesure les variations de diamètre des branches qui reflètent l'état d'hydratation des tissus. Cela permet par la suite de déclencher l'irrigation seulement en cas de besoin. On estime que ce dispositif permet des économies d'eau de 25 à 30% par rapport à un arrosage classique de verger.

6.5 Gestion résiliente des territoires : Outils

Le changement climatique exerce des pressions croissantes sur les agroécosystèmes. Parmi les manifestations les plus visibles, on retrouve :

- Les périodes sans pluies à répétition, et l'augmentation des températures, qui induisent un appauvrissement des sols en eau menant à des sécheresses agricoles ;
- La réduction des cycles de recharge des nappes et des sources d'eaux qui induisent des périodes et des débits d'étiages plus importants pour les eaux de surfaces qui entraînent à leur tour la disparition d'habitats et donc de biodiversité ;
- L'augmentation des températures impactant les rythmes physiologiques et les stades de développement des végétaux ;
- Les longues périodes de précipitations de faible intensité ou à l'inverse les pluies diluviennes apportant des stress hydriques par l'excès d'eau...

Face à ces contraintes, les territoires agricoles peuvent faire preuve d'une certaine résilience, c'est-à-dire une « capacité à s'adapter aux perturbations et à revenir à un régime de routine face à un environnement changeant marqué par les perturbations de nature et d'intensité variables »¹⁷⁶. Cette question de résilience est d'autant plus prégnante pour la thématique « eau » qui est une ressource particulièrement impactée par les aléas climatiques.

En matière de gestion de l'eau, deux types de mesures peuvent apporter des solutions pour améliorer la résilience des territoires. Il s'agit des mesures conjoncturelles et structurelles.

Les mesures conjoncturelles répondent à des objectifs de court terme et sont mises en œuvre à une échelle parcellaire. Les mesures présentées aux points 6.1, 6.1 et une partie du point 6.3 du présent rapport en sont de bons exemples.

À la différence des mesures conjoncturelles, les mesures structurelles s'inscrivent dans des échelles de temps plus longues et des échelles spatiales plus vastes tel qu'un village ou un bassin versant par exemple.

Les actions suivantes sont des exemples intéressants de mesures structurelles de gestion de l'eau :

- La renaturation de cours d'eau canalisés, d'un lit majeur ou encore d'une vallée en allant jusqu'à la reméandration ;
- La mise en place d'accotements de voiries filtrants et drainants ;
- La plantation de végétations arbustives et arborées servant d'habitats et permettant de retenir le sol avec leur système racinaire ;
- La mise en place d'aménagements sur des plateaux notamment afin de limiter les risques de ruissellement et d'érosion ;
- La restauration de zones humides, tourbières et fonds de vallées ;
- La restructuration du parcellaire et du domaine public repris aux atlas vicinaux et des cours d'eau ;
- Capitalisation des biens communs via l'espace public (cours d'eau, espaces naturelles, voiries...) ;

6.5.1 L'Aménagement Foncier Rural (AFR) : outil d'adaptation des territoires agricoles

Longtemps utilisé à des fins exclusivement agricoles sous sa forme « remembrement », pour des objectifs purement économiques issu du productivisme d'après-guerre, l'Aménagement Foncier Rural (AFR) offre des réponses aux enjeux d'adaptation des territoires agricoles au changement climatique en renforçant leur résilience.

L'AFR est une procédure légale d'aménagement des territoires agricoles défini par le Code wallon de l'Agriculture.

Cet outil d'aménagement du territoire permet de redessiner en profondeur une zone agricole via la mise en place de mesures structurelles en matière :

- D'agriculture via la réorganisation du parcellaire ;
- De cours d'eau via la révision de l'atlas des cours d'eau ;
- De biodiversité via les plantations et aménagements de site ;
- De gestion des eaux via la mise en place de zone de protection, des actions de reméandration ;
- De lutte contre la sécheresse au moyen de la mise en place de stockage d'eau, de noues et de fossés permettant une augmentation de la rétention et de l'infiltration des eaux... ;
- De protection de sols et de lutte contre l'érosion via la mise en place d'ouvrages hydrauliques (zones d'immersion temporaire, bassins d'orage, fascines...) ;
- De mobilité douce et agricole : préservation et amélioration des voies de communication, développement du réseau de voies lentes, révision de l'Atlas vicinal... ;
- De patrimoine : rénovation du petit patrimoine rural.

Afin de mettre en œuvre les aménagements précédemment cités, l'aménagement foncier mobilise un ensemble d'outils légaux et fonciers. L'AFR permet de réorganiser le parcellaire au moyen d'un système d'échange (mobilité foncière), de modifier, aliéner et créer les domaines public (atlas vicinal et atlas des cours d'eau) et privé et de disposer de la maîtrise foncière via le droit de préemption. A noter que c'est le seul outil qui permet de maîtriser la structuration du domaine public sans expropriation sur un territoire donné (le squelette du territoire).

Ces actions sont construites à partir d'une vision de long-terme qui peut parfaitement intégrer les enjeux de l'adaptation au changement climatique dans toute sa complexité.

6.5.2 AGW « coulées boueuses » du 18 janvier 2007

Le Gouvernement wallon aide les communes souhaitant effectuer des travaux en vue de remédier à des situations d'inondation par ruissellement naturel. L'origine des eaux de ruissellement identifiées doivent avoir pour origine des terrains agricoles ou forestiers (et non de zones urbanisées ou de cours d'eau classés).

Les modalités sont définies par « l'Arrêté du Gouvernement wallon relatif à l'octroi de subventions aux pouvoirs publics subordonnés pour l'établissement de dispositifs destinés à la protection contre l'érosion des terres agricoles et à la lutte contre les inondations et coulées boueuses dues au ruissellement. », AGW également nommé AGW « bassins d'orage » ou encore AGW « coulées boueuses ».

Les travaux sont réfléchis par la commune concernée, puis envisagés grâce à un travail d'étroite collaboration entre deux directions du SPW ARNE :

- La cellule GISER (Gestion Intégrée Sol – Erosion – Ruissellement) de la DDR (Direction du Développement rural)) : pour l'avis à l'échelle du territoire ;
- La DAFoR : pour l'expertise technique et l'aide financière.

Ainsi, il est vivement recommandé de demander une visite d'un agent de la DAFoR, avant de commencer les démarches administratives. Non seulement pour éviter des frais d'études pour des projets non éligibles dans le cadre de l'AGW, mais également pour bénéficier d'une expertise technique sur les travaux à réaliser.

L'importance d'agir au niveau des coulées boueuses est multiple. Comme il a déjà été discuté précédemment, dans sa fonction première, le sol est une ressource qui préserve de nombreuses ressources et rempli de nombreuses fonctions :

- Eau : le sol est un milieu poreux qui filtre, infiltre et stocke l'eau, assurant ainsi les fonctions d'épuration de l'eau, de tampon des inondations ;
- Biodiversité : le sol abrite un quart des espèces de la planète et est un support de croissance ainsi qu'un réservoir de nutriments et hydrologique pour les cultures et les forêts ;
- Air : le sol est aussi un puits de carbone.

En outre, les coulées boueuses entraînent une augmentation des risques d'inondation ainsi que la dégradation de la qualité des eaux de surface en plus de la dégradation et la perte de sol...

Ainsi, à travers la mise en place de cet AGW, le but est de maintenir la valeur agronomique des sols (en évitant que la couche arable fertile ne soit lessivée avec les pluies et ne finisse sur la voirie ou dans les cours d'eau) et de limiter les dégâts aux biens situés en aval. Ces actions sont par exemple : l'acquisition de biens immobiliers non bâtis, le paiement d'une indemnité pour la création d'une servitude d'immersion temporaire ou des travaux de génie rural (réalisation de ZIT, barrages filtrants temporaires, ...).

Au regard de la gestion quantitative de l'eau en Wallonie tel que discuté dans ce document, la gestion quantitative de l'eau en agriculture doit, à l'heure actuelle, également être réfléchie et intégrée sous le prisme de la pénurie. Nombre des aménagements et des dispositifs soutenus par l'AGW 2007 permettent déjà de répondre, en partie, à la gestion de cette pénurie prévisionnelle. En outre, il serait important d'y envisager de nouveaux dispositifs et aménagements afin de pleinement répondre à cet enjeu du monde agricole et rural.

7 Parangonnage sur les stratégies d'adaptation de l'agriculture à la sécheresse

Dans ce chapitre, nous résumons et ressortons les points principaux des documents stratégiques concernant la gestion de l'eau en agriculture dans des régions proches de la Wallonie : la Flandre, la France et les Pays-Bas.

7.1 Flandre

Le programme d'action « Adaptation climatique Agriculture 2030 » devrait développer et faciliter les actions d'adaptation au climat autour d'un certain nombre de piliers clés d'ici 2030, en dialogue avec le secteur agricole. Pour lutter contre la sécheresse, le gouvernement flamand a récemment approuvé le « **Blue Deal** ». Ce Blue Deal constitue une base pour le plan flamand d'adaptation au climat 2021- 2030. Il devrait minimiser les risques de pénurie d'eau et d'inondation. Le VLM travaille depuis longtemps à l'amélioration du stockage de l'eau, de l'infiltration et de l'utilisation durable de l'eau.

Une eau de qualité est essentielle dans l'agriculture pour irriguer les cultures et abreuver le bétail. Pour maintenir cette qualité en longues périodes de sécheresse, plusieurs lignes d'action doivent être développées :

- Déployer des cultures résistantes au climat ;
- Encourager le drainage à niveau contrôlé, les déversoirs et les techniques d'irrigation plus efficaces ;
- Développer des systèmes agricoles résistants au climat ;
- Augmenter la teneur en carbone du sol et améliorer sa structure afin que le sol puisse retenir l'eau plus longtemps ;
- Les risques ne sont pas seulement liés à la sécheresse, mais aussi au ruissellement ou à l'écoulement et aux inondations. Par exemple, pour éviter le ruissellement lors de fortes pluies, un sol doit être en parfait état.

Le Blue Deal renforce la recherche au sein des centres de connaissances sur les techniques et concepts d'économie d'eau dans l'agriculture, mais aussi pour l'utilisation d'eau d'exhaure en période de sécheresse.

L'agriculture et la nature font partie des solutions dans le Blue Deal. Dans ce deal, il existe le programme "Water-Land-Schap" (période sur 10 ans, 10 millions d'euro pour 14 projets), qui est une méthodologie pour résoudre les problèmes liés à l'eau dans les zones rurales, en étroite collaboration avec les différents utilisateurs de la zone, tels que les agriculteurs, les entreprises actives dans le secteur des sports et des loisirs, ... et les autorités locales. Le projet Vlanderen WaterProof adresse spécifiquement la sécheresse avec 3 zones de démonstration grande échelle (parc d'activités, sources d'eau alternatives).

Le gouvernement lance également le programme "Natte Natuur" qui a reçu plus de la moitié des investissements du Blue Deal. Le programme « Natte Natuur » finance des projets locaux de stockage, de tamponnement et d'infiltration de l'eau en collaboration avec les gestionnaires des cours d'eau, VLM (Vlaamse Landmaatschappij – agence foncière rurale), ANB (Agentschap voor Natuur en Bos – agence des forêts et de la nature) et le ministère de l'Agriculture et de la Pêche. La Flandre alloue des fonds supplémentaires à cet effet. La mise en commun des ressources permet d'obtenir un effet maximal. Si des terres agricoles sont concernées ou s'il y a un impact sur les activités agricoles locales, une étude d'impact agricole ou, si nécessaire, un rapport d'impact agricole est réalisé ; s'il en ressort qu'une politique d'accompagnement est nécessaire, celle-ci est mise en place.

7.1.1 Gestion de l'eau

Les dommages causés par les inondations ou les sécheresses prolongées doivent être limités, en temps et l'eau doit rester disponible en quantité suffisante pour l'agriculture. Des efforts sont donc déployés sur :

- L'application efficiente et efficace des mesures existantes de rétention, d'infiltration et de stockage de l'eau, et la recherche de mesures innovantes (par exemple, le stockage en surface et souterrain) ;
- L'élimination progressive ou la modification du drainage conventionnel ;
- La coopération entre les gestionnaires de l'eau, les agriculteurs et les entreprises (alimentaires) afin que, pendant les périodes de précipitations excédentaires, une meilleure recharge des eaux souterraines soit réalisée. Lorsqu'il n'existe pas de solutions suffisantes à cette fin, le stockage en surface peut être envisagé ;
- Les audits de l'eau dans les exploitations agricoles devraient impliquer les agriculteurs dans le contexte spécifique de leur exploitation afin d'obtenir des informations sur les adaptations utiles pour leurs activités ;
- Les agriculteurs peuvent créer une valeur économique sur les espaces ouverts et ainsi lutter contre la compaction des sols. En outre, ils peuvent mettre à disposition des prairies en tant que zones de rétention temporaires ou prendre des mesures concernant les sols qui assurent une meilleure infiltration des eaux de pluie, de sorte que les débits de pointe soient partiellement absorbés avant d'atteindre les zones résidentielles et de reconstituer les réserves d'eau ;

Le plan d'action sur l'eau pour l'agriculture 2019-2023 du département agriculture et pêche porte sur plusieurs plans d'action. Plusieurs provinces¹⁷⁷ étudient la possibilité de déployer davantage de bassins tampons afin de pouvoir gérer à la fois les inondations des cours d'eau et la pénurie d'eau/la sécheresse, ce qui peut conduire à une situation gagnant-gagnant (stockage de l'excès d'eau pendant les inondations et les fortes pluies que les agriculteurs peuvent utiliser pendant les périodes de pénurie d'eau). À cette fin, la possibilité de partenariats entre la province et les agriculteurs ou groupes d'agriculteurs est à l'étude.

Au sein des investissements du Blue Deal¹⁷⁸, 74 millions d'euros seront injectés dans les zones agricoles. 40 millions d'euros seront investis dans des échanges de terres, des ruisseaux sinueux, des projets d'infiltration, le comblement de fossés inutilisés et la réalisation d'un drainage à niveau contrôlé pour remplacer le drainage traditionnel, entre autres.

7.1.2 Gestion des Sols

Le sol est un facteur crucial pour la protection de l'agriculture contre le changement climatique. Par le biais du réseau de surveillance de la biodiversité dans les zones agricoles (MBAG), l'ILVO et le INBO surveilleront l'état de la biodiversité des sols. Ceci car la biodiversité contribue à garantir un sol de qualité et résistant au climat grâce à une bonne gestion de l'eau, en plus du réseau de surveillance du carbone, les ressources nécessaires seront déployées à cet effet.

7.1.3 Cultures et systèmes de culture

Optimisation du choix des cultures par l'adaptation des cultures, des espèces, des variétés et des systèmes de culture à la quantité d'eau disponible. Dans les zones sujettes aux sécheresses et aux inondations, le gouvernement encourage de nouvelles cultures telles que la paludiculture ou l'agriculture respectueuse de la nature. L'utilisation d'un plus grand nombre d'arbres et de cultures pérennes, notamment par le biais de l'agroforesterie, peut également contribuer à atténuer l'impact des conditions météorologiques extrêmes.

Choisir des systèmes de plantation et de culture résilients, des cultures résistantes au climat grâce à des techniques de sélection classiques et nouvelles, y compris des cultures mixtes. Dans les tourbières utilisées à des fins agricoles, des techniques de paludiculture et d'agriculture respectueuse de la nature sont déployées afin que l'agriculture des zones humides puisse être intégrée à la production agricole.

En outre, le ministère de l'Agriculture et de la Pêche dispose de 10 millions d'euros pour soutenir et encourager les agriculteurs à réaliser des investissements écologiques. Les centres pratiques reçoivent 8 millions d'euros pour des projets de recherche sur l'efficacité de l'eau basée sur l'innovation et le passage à des cultures résistantes à la sécheresse.

Début 2018, le ministère de l'Agriculture et de la Pêche a lancé un appel à projets pour l'innovation dans l'agriculture, avec 6,5 millions d'euros de subventions. Cette mesure stimule l'innovation pure et l'innovation dans les exploitations agricoles et complète l'aide à l'investissement régulière du Fond flamand d'investissement agricole (VLIF). Par le biais de l'aide aux projets (40 %), le VLIF vise des idées et concepts novateurs dans le domaine de la production, de la transformation et de la commercialisation des produits agricoles.

Trois projets innovants ont été sélectionnés et financés par le VLIF pour leur lien avec le thème "la conservation de l'eau"¹⁷⁷ :

- Installation d'un système d'irrigation goutte à goutte à base d'eau de pluie sur des parcelles de pommes de terre ;
- Une station de traitement des eaux de pluie pour produire de l'eau potable pour les poulets de chair ;
- Une station de traitement de l'eau pour la culture de tomates qui désinfecte l'eau de traitement et élimine les résidus de pesticides.

Ce même ministère organise des appels autour de projets de démonstration. Grâce à ces appels, les agriculteurs sont informés des nouvelles possibilités en matière de développement durable. Les projets de démonstration se concentrent principalement sur la sensibilisation des agriculteurs. Des projets de démonstration ont démarré en 2018 sur le thème de la gestion de l'eau ;

- Collecte et réutilisation pratique de l'eau sur les champs de fraises à plateaux sans rejet nuisible à l'environnement (Proefcentrum Hoogstraten) ;
- S.O. Spuistroom (Slim Omgaan met Spuistroom) (Proefstation voor de Groenteteelt) ;
- Irrigation raisonnée des légumes de plein air et des pommes de terre (Proefcentrum voor de Groenteteelt Oost- Vlaanderen) ;
- Une bonne eau potable, l'or invisible d'une exploitation d'élevage (Inagro) ;
- La fertilisation n'est pas un événement marginal (Inagro asbl) ;
- Démonstration d'irrigation au goutte-à-goutte dans les fruits et légumes (Proefstation voor de Groenteteelt vzw) ;
- Irrigation raisonnée des légumes de plein air et des pommes de terre (Proefstation voor de Groenteteelt, Inagro, Proefcentrum voor de Aardappelteelt et Bodemkundige Dienst van België) ;
- Démonstration de l'irrigation goutte à goutte dans les légumes et les fruits (Proefstation voor de Groenteteelt, Bodemkundige Dienst van België, Proefcentrum Fruitteelt).

7.1.4 Aménagement du territoire

Un travail de zonage du risque de sécheresse a été réalisé en Flandre (avec d'autres impacts, au sein de l'outil [IMPACTtool](#)). Celui-ci sert au développement des plans locaux d'aménagement du territoire, et notamment sur la protection des zones de captage d'eau, la préservation des zones humides, mais aussi l'imposition de puits d'infiltration dans les nouvelles constructions pour favoriser la recharge de la nappe. La Flandre travaille aussi sur la restauration de cours d'eau (via le programme Natte Natuur).

Par ailleurs, l'artificialisation des sols augmente le risque d'inondation en augmentant le ruissellement, mais réduit également la superficie infiltrante, ce qui affecte négativement la recharge des nappes phréatiques. Limiter l'artificialisation est donc aussi une mesure d'aménagement du territoire qui impacte les sécheresses. Sur ce point, la Flandre a validé en 2022 le « bouwshift » (anciennement appelé « betonstop ») dont l'objectif est de réduire l'artificialisation à moins de 3ha/jour d'ici 2025, et à 0ha/jour d'ici 2040. Cela se fera à travers une révision du plan de secteur, des incitant à la densification urbaine, la justification du besoin d'artificialisation, et le rachat de terrains bâtissables par le domaine public.

7.2 France

7.2.1 Introduction : Quels plans en matière d'adaptation ?

Avec le climat méditerranéen du Sud de la France, la question de la gestion de l'eau en agriculture, en particulier dans une perspective de limite de la ressource, n'est pas un sujet nouveau en France. La moitié Sud de la France connaît et connaîtra davantage de problématiques de sécheresse que le Nord de la France et la Belgique. Les stratégies étant au niveau national, il est important de garder en tête que toutes les solutions ne s'adaptent pas à nos latitudes.

Nous nous sommes appuyés sur les documents stratégiques les plus récents en France :

- Le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique (février 2022)¹⁷⁹
- Changement climatique, eau, agriculture : quelles trajectoires d'ici 2050 ? (Juillet 2020)¹⁸⁰
- Parangonnage sur les techniques et pratiques innovantes de gestion de l'eau en agriculture (Mars 2022)¹⁸¹

Le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique est une démarche mise en place en France pendant 8 mois et clôturée en février 2022, qui avait pour ambition de réconcilier l'eau et l'agriculture afin de répondre aux enjeux liés au changement climatique et à la souveraineté alimentaire. La démarche s'oriente autour de 3 thématiques :

- Se doter d'outils d'anticipation [...]
- Renforcer la résilience de l'agriculture [...]
- Partager une vision raisonnée des besoins et de l'accès aux ressources en eau [...]

Elle a réuni près de 1400 personnes issues de 408 structures, autour de différents groupes de travail.

Quels objectifs ?¹⁸²

- *Au niveau de l'exploitation* : Établir une stratégie de production minimisant les risques, économiser l'eau (en réduisant les apports, en limitant les pertes et en améliorant l'efficacité de l'eau), et utiliser des ressources en eau complémentaires.
- *A l'échelle de la parcelle* : Limiter le ruissellement et l'érosion, améliorer la capacité de rétention en eau du sol, améliorer l'infiltration, protéger contre la chaleur, améliorer la tolérance aux stress abiotiques, améliorer l'exploration racinaire et limiter l'évaporation.
- *Au niveau de l'animal* : Rafraîchir l'environnement de l'animal en extérieur (ombrager), adapter l'alimentation, et protéger les animaux contre la chaleur en bâtiment.

Quelles conclusions ?

La cartographie réalisée dans le cadre de la Varenne agricole reprend, à la Figure 25, des leviers de résilience vis-à-vis des stress hydriques et thermiques (productions végétales et animales) a été produite, et identifie différents leviers dont :

- Une génétique végétale et animale mieux adaptée aux conditions climatiques à venir : Espèces économes en eau (transpiration réduite, efficacité de l'eau), espèces résistantes au stress hydrique (croissance racinaire accrue, protégées contre le stress oxydant, maintien de croissance foliaire/reproductrice en stress), variétés résistantes au stress thermique ;
- Adapter les itinéraires techniques : reconcevoir des systèmes de culture plus diversifiés, adopter des stratégies d'esquive (variété précoce, avance des dates de semis, cultures d'hiver) ;
- Préserver les sols et améliorer leur rétention d'eau : maintenir les sols couverts par un végétal vivant ou un mulch, améliorer le taux matière organique du sol.

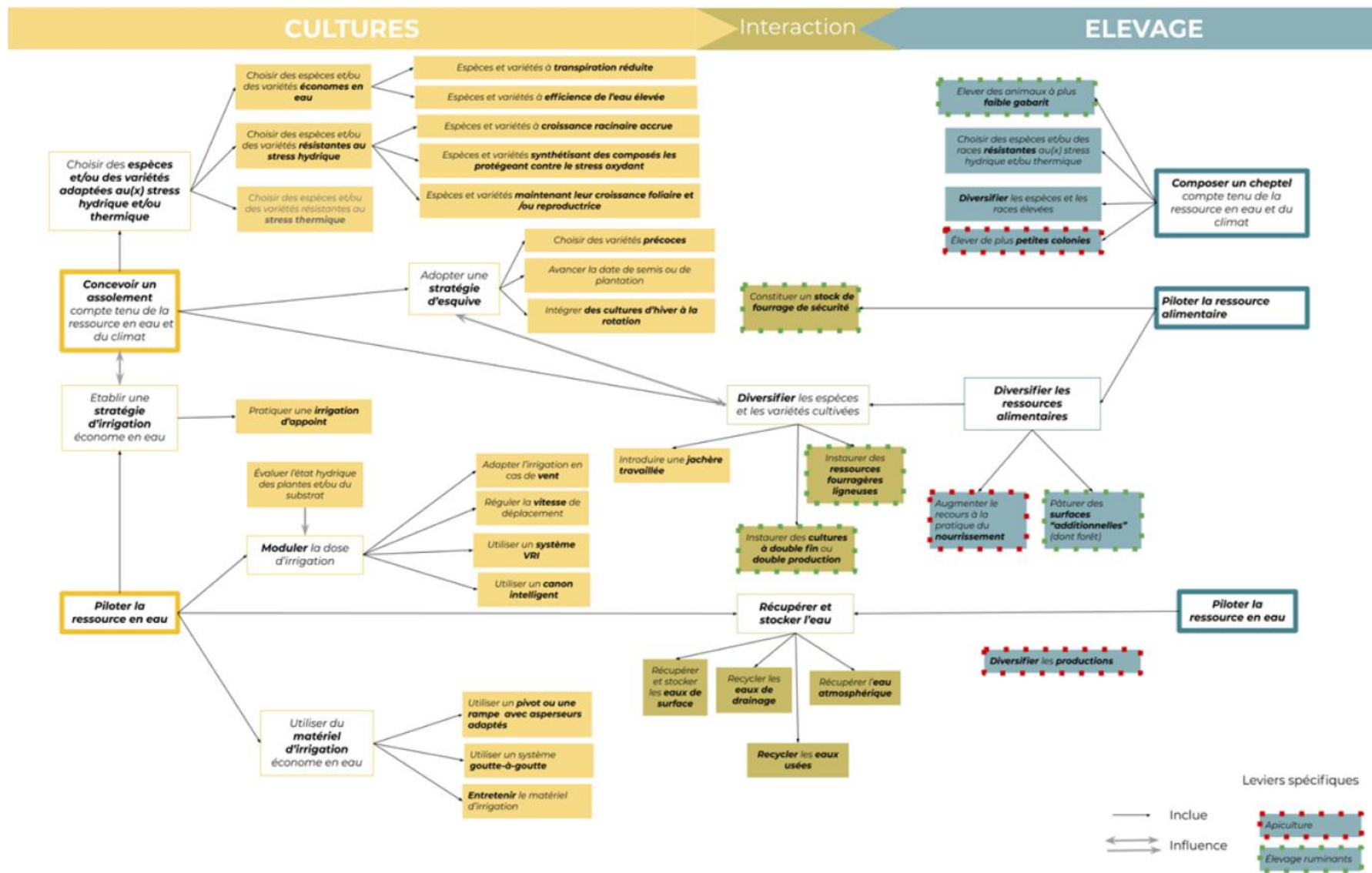


Figure 25: Liens entre les différents leviers de résilience vis-à-vis du stress hydrique. Source : Varenne de l'eau, rapport sur la thématique 2¹⁸³

7.2.2 Gestion de l'eau

7.2.2.1 Stratégies d'irrigation

- Les matériels d'irrigation par aspersion dominent les utilisations en France (Enrouleurs : 70% ; Pivots et rampes frontales : 20% ; Couverture intégrale : 2-5% ; Irrigation localisée : 5-7%)
- Une étude a permis de compiler les sources d'économie d'eau possibles par le choix du matériel et les modes de conduite de l'irrigation. Les constats importants :
 - **Passer à du matériel d'irrigation plus performant** : Les économies attendues dépendent du type de culture. Par exemple le passage d'un enrouleur au goutte à goutte de surface génère une économie d'irrigation de 10 à 20% en grandes cultures et de 20 à 35% en arboriculture. Le passage d'un ancien matériel à un matériel du même type neuf induit une économie d'eau d'environ 10% (car souvent plus performant).
 - **L'agrivoltaïsme** qui consiste à faire des cultures étagées avec un étage bas réservé à la production agricole et un étage haut réservé à la production d'électricité permet notamment **une réduction significative de la consommation d'eau**, pouvant aller jusqu'à 30% sur certaines cultures, les panneaux photovoltaïques limitant les pertes par évapotranspiration de par leur ombrage¹⁸¹. Cependant cette pratique amène a de nombreuse discussion et nécessite un cadrage politique et réglementaire pour définir les enjeux territoriaux et limiter les dérives potentielles sur les terres arables et les zones naturelles.
 - **L'utilisation d'un outil d'aide à la décision** pour optimiser les apports permet une économie d'eau de 10 à 40% selon les situations.
- Les données issues du projet EDEN 2015-2016 montrent que le pilotage de l'irrigation via des systèmes d'aide à la décision peut permettre de réaliser dans certains cas des économies d'eau et dans d'autre cas de réajuster la dose d'irrigation au besoin.¹⁸³ Ce dernier point fait l'objet de nombreux projets de recherche et développement afin d'établir un système d'aide à la décision efficace. Le projet « explore 2070 » qui s'est déroulé de juin 2010 à octobre 2012 a eu pour objectif d'évaluer les impacts du changement climatique sur les milieux aquatiques, d'élaborer et d'évaluer des stratégies d'adaptation dans le domaine de l'eau en déterminant les mesures d'adaptation les plus appropriées tout en minimisant les risques.¹⁸⁴ Parmi les résultats du projet, on retient la construction d'un modèle systémique de confrontation entre l'offre et la demande en eau sur la France métropolitaine à partir d'un découpage en 100 bassins versants. Ce découpage prenant en compte les impacts du changement climatique et se basant sur l'élaboration d'un bilan massique des bassins afin de confronter la demande en eau des différents usagers présents à l'offre en eau disponible créant ainsi un outil d'aide à la décision puissant.

7.2.2.2 Modes de gestion de l'eau

- De multiples leviers existent pour améliorer l'accès aux ressources en eau mobilisables pour l'agriculture sur le long terme. On parle de :
 - **Les réservoirs hydroélectriques** : le potentiel théorique maximal de stockage ressortirait à max 1,4 Mds m³ en France (en imaginant une sollicitation à hauteur de 20% de l'ensemble des concessions hydroélectriques à l'occasion de leur renouvellement)¹⁸⁵ ;
 - **Les autres parcs hydrauliques** : grands lacs réservoirs du bassin de la Seine par exemple, il pourrait être envisagé d'implanter des ouvrages de stockage d'eau dédiés à l'étiage (soutien d'étiage, irrigation) à l'aval de ces grands ouvrages ayant pour principal objectif l'écrêtement des crues¹⁸⁵ ;
 - **Voies Navigables de France (VNF)** gère et exploite un réseau de 6700 km de fleuves et un parc de 4000 ouvrages. Pour l'alimentation de ces canaux, ils gèrent 50 barrages réservoirs qui

constituent une réserve d'eau d'environ 150 million de m³. Outre leur fonction première qui permet de maintenir un niveau d'eau en biefs pour la navigation, **ces ouvrages hydrauliques servent également de soutien d'étiage, d'alimentation en eau pour les collectivités et l'irrigation.** (exemple : sur le canal du Midi, 50% des prélèvements servent à la navigation, 30% à l'irrigation et 20% autres usages.) Ce type d'accords multi usages pourrait s'étendre à d'autres secteurs géographiques en tenant compte des capacités offertes par le réseau des voies navigables ainsi que des besoins des territoires.¹⁸⁵

- La possibilité **d'utiliser les plans d'eau de petites tailles** non utilisés et de mobiliser une gestion collective des plans d'eau privés¹⁸⁵ ;
- **Les zones humides** peuvent jouer sur la temporalité du cycle de l'eau et le soutien des débits d'étiage des cours d'eau. Ces dernières permettent de stocker un volume important d'eau. Les zones humides du SAGE de la haute vallée de l'Aude participent au cours d'une année de flux d'eau à hauteur de 22 à 33Mm³ soit presque l'équivalent de deux barrages réunis¹⁸⁵ ;
- Possibilité de **transformer certaines servitudes de surinondation en vallées alluviales** pour stocker des eaux de crues durant plusieurs semaines ou mois¹⁸⁵ ;
- **Prélèvement et stockage d'eau hors des périodes d'étiage.** La France stocke nettement moins d'eau prélevée durant les périodes hors basses eaux que ses voisins et explore davantage cette option¹⁸⁵ ;
- **Le stockage de l'eau prélevée hors période d'étiage** est le sujet qui interroge le plus, comme levier potentiel majeur de sécurisation de la ressource. Le rôle du préfet coordonnateur de bassin doit être renforcé pour déterminer les volumes prélevables à l'étiage et hors basses eaux¹⁸⁶ ;
- Améliorer la connaissance des eaux non-conventionnelles **via la création d'un observatoire dédié à la réutilisation des eaux usées** traitées au sein du portail national de l'assainissement communal pour capitaliser les retours d'expérience et faire connaître ces techniques auprès des collectivités territoriales¹⁸² ;
- Lancer des expérimentations locales afin de mieux **valoriser certaines ressources non-conventionnelles** (réutilisation d'eaux usées par exemple) jusqu'alors non mobilisées, en particulier l'utilisation d'eaux usées traitées aux usages dans les entreprises alimentaires. Un décret spécifique sera pris dans ce sens (voir appel à projet « démonstrateurs territoriaux » du plan France 2030) ;

Sur ce dernier point en particulier, l'irrigation à partir d'eaux usées constitue l'une des pistes sérieuses d'amélioration du système d'irrigation des cultures et d'adaptation au changement climatique car selon l'inventaire du CEREMA, entre 2015 et 2017, 58 projets de ce style ont été recensés pour entre 8 et 11 millions de m³ d'eaux usées traitées réutilisées chaque année.

Parmi les projets d'exploration, il est notamment question d'améliorer la connaissance des eaux non-conventionnelles via la création d'un observatoire dédié à la réutilisation des eaux usées traitées au sein du portail national de l'assainissement communal pour capitaliser les retours d'expérience et faire connaître ces techniques auprès des collectivités territoriales. Une autre piste est de lancer des expérimentations locales afin de mieux valoriser certaines ressources non-conventionnelles jusqu'alors non mobilisées. En particulier l'utilisation d'eaux usées traitées dans les entreprises alimentaires. Dans cette démarche, des agriculteurs de Limagne Noire utilisent (ou recyclent) une partie des eaux usées de la ville de Clermont Ferrand depuis 1998 pour l'irrigation de 750ha répartis sur 50 exploitations.

Point d'attention :

- Il ressort de l'analyse bibliographique que le stockage de l'eau induit généralement davantage de consommation de la ressource et n'incite pas à sa préservation. L'avis du conseil scientifique du bassin

Seine Normandie sur l'évolution des sécheresses et des risques associés dans les prochaines décennies constate deux grands types de réponses mises en avant pour lutter contre les pénuries d'eau et les sécheresses : « une gestion par l'offre, qui consiste à rendre disponible et à mobiliser des ressources supplémentaires pour faire face aux besoins et une gestion par la demande, qui consiste à diminuer la consommation d'eau. (...) Les scientifiques invitent à privilégier cette dernière et le justifient au regard des effets d'une politique de l'offre qui génère un besoin toujours accru en eau, car le recours à l'eau des retenues n'encourage pas le développement de techniques et systèmes sobres en eau. » (CGEDD, MTES, 2019).

- Ainsi, les projets de stockage proposés par le monde agricole ne diminuent pas la dépendance de l'activité à la disponibilité de la ressource. Par conséquent, ils ne diminuent pas la vulnérabilité de l'usage face au changement climatique et, *in extenso*, n'améliorent pas ses capacités de résilience. Le risque d'une « *mal adaptation* » au changement climatique peut alors être évoqué.

7.2.3 Outils de gouvernance et réglementaires

- Les Projets Territoriaux de Gestion de l'Eau (PTGE) sont des démarches territoriales qui associent l'ensemble des acteurs, et qui prévoient des actions diversifiées comme les économies d'eau, l'évolution des pratiques agricoles, et si nécessaire, le stockage de l'eau dans des retenues ou le transfert à partir d'une ressource plus abondante. Il y a une cinquantaine de PTGE en France en 2022 et l'objectif d'en avoir 100 en 2027, car ils sont reconnus par les acteurs comme des outils adaptés pour trouver des réponses spécifiques dans les bassins en tension (varenne) ;
- La France connaît des épisodes récurrents de sécheresse au cours desquels les préfets sont amenés à prendre **des arrêtés de restriction d'usage de l'eau** limitant l'usage de l'irrigation voire l'arrêt des prélèvements d'eau non prioritaires (eaux industrielles, lavage de voiture, arrosage de jardins, remplissage de piscines...) ;
- La loi française, à travers le Décret n° 2021-795 du 23 juin 2021 relatif à la gestion quantitative de la ressource en eau et à la gestion des situations de crise liées à la sécheresse, prévoit de nombreux outils pour résorber les déséquilibres quantitatifs structurels des eaux (rivières et nappes souterraines) et pour assurer la gestion des crises en cas de sécheresse, afin notamment de préserver en priorité l'alimentation en eau potable des populations ;
- Ainsi, depuis 2006, dans les secteurs en déficit structurel, une gestion collective de l'eau d'irrigation a été mise en place : une autorisation pluriannuelle de prélèvement est accordée par le préfet à un Organisme Unique de Gestion Collective (OUGC), chargé ensuite de répartir entre les irrigants les volumes d'eau pouvant être prélevés. Sur son périmètre, l'autorisation de l'OUGC se substitue à toutes les autorisations de prélèvements pour l'irrigation. On parle ainsi d'Autorisation Unique de Prélèvement (AUP). Le décret clarifie le cadre réglementaire en matière de gestion équilibrée et durable de la ressource en eau, et de gestion des crises de sécheresse :
 - La notion de volume prélevable, essentielle pour déterminer les autorisations de prélèvement, fait l'objet d'une définition explicite ;
 - Le rôle du préfet coordonnateur de bassin est renforcé avec la mise en place, dans les bassins en déséquilibre structurel, d'une stratégie d'évaluation des volumes prélevables ;
 - Les autorisations de prélèvement pour l'irrigation sont mieux encadrées et sont plus robustes sur le plan juridique. Si elles autorisent temporairement des prélèvements supérieurs aux ressources, ces autorisations doivent viser le retour à l'équilibre quantitatif aux échéances fixées par les schémas directeurs d'aménagement et de gestion de l'eau (SDAGE), conformément à la directive cadre sur l'eau ;

- La gestion des crises liées à la sécheresse est mieux organisée par une meilleure anticipation des acteurs concernés, une harmonisation des mesures de restriction des différents usagers sur le territoire national, et une plus grande réactivité dans la prise de décision ;
- Ce décret complète les nombreuses actions initiées pour une meilleure gestion de l'eau comme le renforcement des PTGE et la mise en place du comité d'anticipation et de suivi hydrologique en mai dernier ;

7.2.4 Aménagement du territoire

La France met en œuvre des plans d'aménagement du territoire prenant en considération les risques liés aux sécheresses, tels que les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), qui intègrent la gestion des ressources en eau et la prévention des risques associés aux sécheresses. À titre d'exemple, le SAGE Loire-Bretagne intègre des dispositions spécifiques pour la préservation des zones humides et la gestion durable des ressources en eau.

Par ailleurs, dans le cadre de la loi Climat et résilience adoptée en août 2021, la France s'est fixé l'objectif d'atteindre le "zéro artificialisation nette des sols" d'ici 2050, avec une réduction de moitié de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers au cours des dix prochaines années (2021-2031), par rapport à la décennie précédente (2011-2021). Cette mesure vise à limiter l'artificialisation des sols, contribuant ainsi à réduire le risque d'inondation en limitant le ruissellement tout en soutenant le remplissage des nappes phréatiques par la préservation de la superficie infiltrante.

Enfin, il est à noter que l'aménagement du territoire est utilisé comme un outil d'adaptation au changement climatique, en particulier pour faire face à l'érosion côtière en France. Un exemple concret est observé à La Faute-sur-Mer en Vendée, où le plan de prévention des risques d'inondation a été révisé suite à la tempête Xynthia en 2010. Un quartier vulnérable a été désigné comme inconstructible, et les habitations sont progressivement rachetées par des entités publiques (État, commune, etc.) en vue de leur démolition, mettant ainsi en œuvre une stratégie de repli.

7.2.5 Quelques projets innovants

- Dans le cadre de **France relance**, 330M€ d'aides ont été programmés pour l'aide individuelle aux agriculteurs dans l'acquisition d'équipement de lutte contre les aléas climatiques, pour l'aide à la modernisation des serres horticoles et maraichères, pour l'aide aux projets liés à la gestion de la ressource en eau et pour le soutien aux projets collectifs ;
- **L'ASA de Limagne Noire** utilise (ou recycle) une partie des eaux usées de la ville de Clermont Ferrand depuis 1998 pour l'irrigation de 750ha répartis sur 50 exploitations¹⁸³ ;
- Appel à la manifestation d'intérêt « **démonstrateurs territoriaux** ». Doté de 87M€ pour des projets permettant de soutenir des innovations territoriales en lien avec la gestion de l'eau sous contraintes ¹⁸³ ;
- Appel à Projet dit « **agri tech** » lancé le 5 novembre 2021 pour 90M€. Permet d'accompagner des projets portant essentiellement sur des innovations technologiques et numériques indispensables pour aider à prendre des décisions tactiques en lien avec le besoin en eau des plantes et animaux¹⁸³ ;
- Projet Pépista : pilotage de l'irrigation sur les vergers. Ce dispositif mesure les variations de diamètre des branches qui reflètent l'état d'hydratation des tissus. Cela **permet par la suite de déclencher l'irrigation seulement en cas de besoin**. On estime que ce dispositif permet des économies d'eau de 25 à 30%.

Exemples français de solutions d'adaptation fondées sur la nature (SafN) :

- Le projet ARTISAN, un projet Européen Life de 16,7 millions d'euro sur 8 ans (2020-2027) se consacre à démontrer et valoriser le potentiel des Solutions d'adaptation fondées sur la Nature, sensibiliser et faire monter en compétences les acteurs sur cette thématique, et accompagner et amplifier les projets de SafN sur tout le territoire français. À travers la mise en œuvre de près d'une centaine d'actions, le projet Life intégré ARTISAN doit permettre la création d'un cadre propice au déploiement à toutes les échelles des Solutions d'adaptation au changement climatique fondées sur la Nature¹⁸⁷

- Les fiches REX présentent **des projets de SafN** mis en œuvre à travers la France (métropole et outre-mer) dans différents milieux (villes, forêts, agroécosystèmes, cours d'eau, zones humides, etc.) pour faire face à différents aléas climatiques (élévation du niveau de la mer, sécheresses, inondations, îlots de chaleur urbains, pertes des rendements agricoles et forestiers, dépérissement des végétaux, érosion, etc.).¹⁸⁸
- L'UICN répertorie également une **liste de projets** réalisées de Solutions fondées sur la Nature pour les risques liés à l'eau en France, notamment plusieurs touchant à la sécheresse.¹⁴⁶

7.3 Pays-Bas

7.3.1 Introduction : Quels plans en matière d'adaptation ?

- L'adaptation de l'agriculture au changement climatique est une thématique déjà largement intégrée dans les stratégies et programmes publics aux Pays-Bas. Les politiques publiques et programmes concernés sont notamment, au niveau national :
 - Programme national du delta pour l'adaptation spatiale (DPRA, nationale deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie)
 - Programme national du delta pour l'approvisionnement en eau douce (DPZW, nationale deltaprogramma Zoetwater),
 - Programme national pour les sols agricoles (NPL, Nationaal Programma Landbouwbodems)
 - Plan Delta pour la gestion de l'eau agricole (DAW, Deltaplan Agrarisch Waterbeheer)
- A cela s'est ajouté, suite à la période de sécheresse de 2018, l'organisation de tables d'orientations spécifiques sur la sécheresse portées par le ministère des Infrastructures et de la Gestion de l'Eau (IenW) et le Ministère de l'Agriculture, de la Nature et de la Qualité des Aliments (LNV) en vue de faire des propositions d'ajustements politiques sur base des retours expériences de cette période de sécheresse ;
 - La Drought Policy Table a ensuite évalué l'efficacité des mesures prises en 2018, l'impact économique de la sécheresse et formulé des recommandations sur des sujets tels que la mobilisation des eaux souterraines, la salinisation et la distribution de l'eau de l'Ijsselmeer ;
- En plus de la Drought Policy Table et des programmes publics nationaux de lutte contre la sécheresse, des acteurs privés sont également actifs, notamment les assureurs et les acteurs de la chaîne du secteur agricole. Des accords sont mis en place, tels que des partenariats public-privé axés sur la connaissance et l'innovation (programmes sectoriels de pointe), la gestion des sols et de l'eau, la gestion des risques, des accords régionaux et des projets pilotes ;
 - Dans le cadre de la gestion des risques, par exemple, le Broad Weather Insurance Scheme (BWI) créé en 2010 est un groupe de travail public-privé qui se concentre sur le développement d'un filet de sécurité financier supplémentaire en cas de dommages liés au changement climatique ne pouvant pas être éliminés par des mesures d'adaptation ;
- L'ensemble des actions pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique issues de ces différentes initiatives sont aujourd'hui rassemblées dans un document synthétique unique : Actieprogramma klimaatadaptatie landbouw (Ministerie van landbouw, natuur et voedselkwaliteit) dont nous extrayons ici quelques éléments phares et les détaillons ci-dessous. Ces actions d'adaptation de l'agriculture au changement climatique se structure autour de 5 piliers :
 - **Système d'approvisionnement en eau** : des actions visant à renforcer la coopération entre les niveaux nationaux, régionaux et locaux pour la gestion des sécheresses, des inondations, des phénomènes de salinisation et de la qualité de l'eau ;
 - **Système sol** : des actions visant à améliorer la qualité des sols en vue d'augmenter leur capacité de rétention d'eau ;
 - **Cultures et systèmes de cultures** : sélections d'espèces résistantes aux sécheresses, développement de techniques culturales tenant comptes du changement climatique (récolte précoces, protections, etc.) parcimonieuses en eau ;
 - **Élevage** : actions liées au bien-être animal dans des conditions extrêmes ;

- **Instruments de soutien transversaux** : soutien au développement et à la diffusion des connaissances à différents niveaux (pratiques culturelles, gestion des risques, évaluation des coûts, etc.), développement de partenariat public privé...

7.3.2 Gestion de l'eau

- Développement d'une cartographie de la demande en eau douce comme outil d'aide à la décision à destination des gestionnaires des eaux en cas de nouvelles période de sécheresse.¹⁸⁹ Cette application cartographique permet d'estimer la quantité d'eau nécessaire pour les cultures par région.



Figure 26: analyse régionale des mesures concernant l'eau douce. Source : Deltares¹⁹⁰

- Par ailleurs, grâce au retour d'expérience de ces dernières années, les Pays-Bas ont complété cet outil avec des données sur les retombées financières des différents types de mesures possibles (drainage ajustable, stockage d'eau dans le sol, irrigation goutte à goutte, etc.) afin de permettre aux gestionnaires d'évaluer les coûts des différentes mesures envisageables, d'alimenter le dialogue avec les parties prenantes et d'orienter les décisions en connaissance de cause.¹⁹¹
- Partage de la responsabilité sur la disponibilité en eau douce en mettant en place un système d'information transparent sur la disponibilité en eau et un dialogue entre les pouvoirs publics et les utilisateurs. Les gestionnaires des eaux dialoguent avec les usagers, y compris les agriculteurs, sur leurs attentes quant aux options des gestionnaires de l'eau pour optimiser l'approvisionnement en eau et sur les mesures que les agriculteurs peuvent prendre eux-mêmes. Ces dialogues ont lieu avant et pendant les situations météorologiques extrêmes, telles que les périodes de sécheresse. Cela permet aux utilisateurs d'anticiper les difficultés d'approvisionnement en eau, d'identifier les risques pour leurs activités et les alternatives possibles à déployer ;
- Par ailleurs, les espaces naturels sont également utilisés pour la gestion de l'eau : zones tampons absorbant l'eau en période de crue et pouvant la restituer en période de sécheresse, restauration des méandres des cours d'eau pour ralentir l'écoulement des eaux, effet "éponge" des tourbières, bassins naturels de rétention... ;

- Exemple de pratiques :
 - o Stockage souterrain des eaux de surfaces (producteur de tomates Prominent) ;
 - o Projet pilote dans la région des tourbières en partenariat avec les agriculteurs pour la lutte contre l'affaissement des tourbières : essais avec des tuyaux d'infiltration (également appelés « infiltration d'eau »). L'objectif est de cartographier les effets de cette forme « d'infiltration » sur l'affaissement des sols, la qualité de l'eau et la gestion de l'eau. L'Office des eaux souhaite déployer davantage de projets pilotes pour fournir aux agriculteurs et aux habitants de la région des tourbières des outils permettant de réduire l'affaissement¹⁹² ;
 - o Mise en place de pratiques d'approvisionnement en eau douce alternatives intelligentes associant solutions individuelles et collectives (stockage d'eau douce dans le sol ou des bassins, irrigation goutte à goutte, agriculture de précision, etc.)¹⁹³ ;
 - o Développement de solutions numériques, comme par exemple « Beregeningssignaal ». ¹⁹⁴ Cette application est un programme en ligne intelligent qui calcule, par parcelle, quand irriguer et quelle quantité sur base des données géographiques, de l'humidité du sol, du type de sol, combinés avec un radar pluviométrique et des prévisions météorologiques. Si l'irrigation est souhaitée, l'utilisateur reçoit un avertissement par e-mail ou une notification de l'application ;
 - o Réutilisation des effluents de station d'épuration en agriculture en période de sécheresse.¹⁹⁵ L'utilisation de sources d'eau locales, telles que les eaux usées traitées des stations d'épuration (par exemple via l'irrigation souterraine), peut offrir une solution à l'approvisionnement insuffisant en eau douce de Twente ;
 - o Incitants (subventions) aux économies en eaux pour les agriculteurs de la région de Rivierland.¹⁹⁶ ;
 - o Portails de sensibilisation avec un service d'accompagnement pour les agriculteurs.¹⁹⁷ ;

7.3.3 Gestion des sols

La qualité des sols a un impact direct sur ses capacités de rétention d'eau. C'est pourquoi l'adaptation de l'agriculture au changement climatique est directement liée au programme national pour les sols agricoles. L'ambition des Pays-Bas est que l'ensemble des sols agricoles soient gérés de manière durable en 2030. Pour ce faire, une action phare est de rendre mesurable la gestion durable des sols. Les Pays Bas ont à cet effet lancé une campagne de mesure de la qualité des sols en 2019 et déployé une boîte à outil pour la standardisation des mesures et de la qualification des sols.

7.3.4 Cultures et systèmes de cultures

L'adaptation de l'agriculture passe également par une adaptation dans le choix des variétés cultivées et des techniques agricoles. A cet effet, les actions entreprises aux Pays-Bas sont :

- Le soutien à la recherche de variétés résistantes aux pénuries ou surplus d'eau par des techniques de sélection traditionnelles ou avec des technologies modernes permettant d'accélérer la sélection tout en reposant sur des techniques traditionnelles afin de garantir le non-franchissement des barrières entre espèce ;
- L'adaptation des techniques de cultures vers des récoltes plus précoces, en enclos, voire hors sols pour éviter la prolifération de champignons en cas de surplus de précipitation et d'humidité (mais plus coûteux) ;
- La diffusion des connaissances sur ces techniques agricoles adaptées aux conditions climatiques extrêmes dont les techniques économes en eau ;

- La promotion de variétés robustes et avec un système racinaire développé permettant de réduire les apports phytosanitaires et d'améliorer la qualité des sols en vue notamment d'améliorer leur capacité de rétention d'eau ;
- Concernant les cultures sous serre, la promotion des systèmes de collecte (récupération) et stockage des eaux de pluies pour permettre l'utilisation différenciée de ces apports d'eaux ;

Exemples d'initiatives :

Pour limiter les inondations, le Delfland Water Board a développé Rainlevel¹⁹⁸ avec le secteur de l'horticulture sous serre, avec lequel les bassins peuvent être utilisés pour prévenir les inondations. Chez Rainlevelr, l'eau de pluie est actuellement évacuée des bassins, mais idéalement celle-ci est infiltrée dans le sous-sol.

COASTAR¹⁹⁹ développe du stockage d'eau sous-terrain dans les régions côtières des Pays-Bas pour lutter contre la salinisation et fournir de l'eau douce au moment où elle est nécessaire.

7.3.5 Élevage

Les élevages sont exposés à des difficultés liées à :

- L'augmentation de l'exposition à des niveaux de rayonnement UV élevés pour les animaux en pâturage ;
- Aux stress thermiques avec des périodes de températures élevées sur de plus en plus longues périodes ;
- A l'apparition de potentielles maladies émergentes liées aux changements climatiques.

Les agriculteurs ont déjà un devoir de diligence, c'est-à-dire qu'ils doivent prendre des mesures pour éviter la souffrance animale. Il existe notamment une législation concernant le transport du bétail en période de température élevée et également des mécanismes de surveillance des zoonoses. Il n'y a pas de mesures spécifiques supplémentaires définies dans le cadre de l'adaptation au changement climatique concernant l'élevage si ce n'est l'intégration de considérations spécifiques d'adaptation au changement climatique dans les réglementations pour les nouveaux systèmes d'élevage en stabulation (ventilation...)

7.3.6 Instruments de soutien transversaux

Les outils transversaux déployés en matière d'adaptation de l'agriculteur au changement climatique visent principalement à mieux utiliser les savoirs expérientiels, les retours de terrains des agriculteurs et des agences de gestion de l'eau issus des zones les plus touchées en vue de les diffuser plus largement.

Plus concrètement les actions transversales sont développées dans les deux sous-points ci-dessous :

- Développement de la connaissance et de l'innovation ;
- Gestion des risques.

7.3.6.1 Développement de la connaissance et de l'innovation

- Intégrer l'adaptation de l'agriculture au changement climatique dans la politique de l'aménagement du territoire en :
 - 1) Identifiant les projets pilotes et les zones concernées ;
 - 2) Organisant le partage d'expérience autour de ces projets pilotes,
 - 3) En tirant les enseignements et étendant ces projets pilotes à d'autres régions afin de déployer les bonnes pratiques.
- Développer un programme de connaissance coordonné (recherches sectorielles, DPRA (DeltaProgramma Ruimetelijke Adaptatie), DPZW (DeltaProgramma Zoetwater), DAW (Deltaplan Agrarisch Waterbeheer), Programme des sols agricoles) et assurer la diffusion des connaissances. L'étude de programmation de Wageningen Research sur l'adaptation au climat dans les zones rurales et urbaines constitue l'un des éléments constitutifs du programme de connaissances. Cette étude porte sur l'élaboration d'une des six missions du champ de connaissance « Agriculture, Eau et Alimentation »

sur la base de l'Accord de Coalition de 2017. Le développement de modèles de revenus financiers y est inclus ;

- Intégrer des indicateurs spécifiques pour l'agriculture dans les alertes météorologiques. L'objectif est de préciser les tendances pertinentes pour l'agriculture dans les nouveaux scénarios KNMI et d'inclure plus spécifiquement la prévision des extrêmes météorologiques. Cela concerne principalement les fortes averses, les précipitations abondantes et la sécheresse ;
- Le Programme de PPP (partenariat public privé) sur les réseaux de pratiques d'adaptation au climat Agriculture ;

En 2019, dans le cadre de la recherche sectorielle de pointe « Agro & Food » et « Horticulture & Propagation Materials » LNV (Ministère de l'Agriculture, de la Nature et de la Qualité des Aliments) a commencé à développer un PPP à long terme en collaboration avec l'Université et le centre de recherche de Wageningen, LTO (fédération des agriculteurs et maraîchers) et les parties prenantes agricoles de la région.

Ce PPP vise l'innovation à la ferme à travers l'échange et la diffusion des connaissances vers et par les agriculteurs et les acteurs du territoire afin de favoriser le renforcement et l'accélération dans le domaine de l'agriculture résiliente au changement climatique. La première étape est un état des lieux des projets en cours et des possibilités en termes de superficies, de cultures et de réseaux avec les agriculteurs, les régies de l'eau et les autres utilisateurs des terres et de l'eau.

Une approche intégrée de la gestion de l'eau et des sols, telle que la rétention d'eau, ainsi que des variétés et des systèmes de culture robustes, tels que d'autres plans de culture et le travail du sol, sont essentiels à cet égard. En outre, les effets sur d'autres thèmes, tels que la protection des cultures vertes, le stockage et les émissions de CO₂ et la perte de minéraux, sont également analysés. Un apport privé est nécessaire pour financer ce PPP. Les porteurs d'action sont LNV, LTO et les acteurs du territoire (provinces, régies de l'eau).

7.3.6.2 Gestion des risques

- Développement d'une plateforme de connaissance sur la gestion des risques liés au changement climatique : faciliter la consultation pour créer cette plateforme de connaissances. Cette plateforme de connaissances peut être conçue avec l'enseignement agricole, les organisations du secteur, les banques et les assureurs. La plateforme de connaissances promeut ensuite la compétence « gestion des risques » parmi les entrepreneurs agricoles ;
- Fonds d'assurance spécifique pour les dommages liés au changement climatique : Le Broad Weather Insurance Scheme (BWV) a été créé en 2010. Depuis lors, le LNV, les représentants du secteur et les fournisseurs du BWV ont travaillé sur des améliorations au sein du groupe de travail Wide Weather Insurance, rendant le BWV de plus en plus accessible aux producteurs. L'objectif est de poursuivre le programme BWV en tant qu'assurance climatique subventionnée pendant la période de la PAC 2023-2027. Ce fonds d'assurance est un filet de sécurité (financier) en cas de dommages causés par le changement climatique et qui ne peuvent pas être éliminés par des mesures d'adaptation ;
- Si le programme d'assurance contre les intempéries n'est pas suffisant, le fonds de calamité est alors sollicité en second recours. Actuellement la constitution de réserves financières par les agriculteurs eux-mêmes n'est pas activée car économiquement non avantageuse. Des mécanismes pour rendre ce type d'épargne économiquement avantageux doivent être étudiés.

7.3.7 Aménagement du territoire

En raison de leur histoire avec la création de polders, les Pays-Bas adoptent une approche intégrée de la gestion de l'eau dans leur aménagement du territoire. Celui-ci est fortement influencé par des infrastructures hydrauliques (les canaux, les lacs et les stations de pompage...) conçues pour une gestion efficace des ressources en eau, la protection contre les inondations, et aujourd'hui, la réponse aux périodes de sécheresse. Les plans d'aménagement intègrent des considérations relatives aux sécheresses, afin d'assurer la disponibilité de l'eau pour divers usages. Un exemple significatif est le projet "Room for the River", impliquant l'élargissement des lits de rivière (et de zones d'inondation contrôlées), tout en en gérant l'écoulement d'eau pendant les périodes sèches.

En ce qui concerne l'artificialisation des sols, les Pays-Bas n'ont pas d'objectif national explicite pour stopper l'imperméabilisation des sols. Cependant, l'introduction en 2017 de l'échelle d'urbanisation durable (De Ladder voor duurzame verstedelijking) représente un outil visant à évaluer la nécessité de tout nouveau développement urbain. Cette échelle requiert une justification sur les raisons pour lesquelles ce besoin ne peut pas être satisfait dans la zone urbaine existante, contribuant ainsi à un développement urbain plus réfléchi et durable.

7.4 Tableau comparatif des stratégies d'adaptation

	Description	France	Pays-Bas	Flandre	Wallonie	Forces et adaptation intéressantes
					Constats	
ENJEUX SPECIFIQUES						
		<p>Le Sud de la France est exposé aux sécheresses de manière récurrente à les mesures de gestions de ces épisodes ont déjà quelques années de pratiques.</p> <p>L'agriculture irriguée a une place importante dans le paysage agricole français</p>	<p>La Hollande est soumise à des stress tant de sécheresse que de surplus d'eau mais aussi à des phénomènes de salinisation des nappes ou d'affaissement des tourbière → les politiques agricoles de gestion de l'eau abordent les deux extrêmes conjointement.</p> <p>L'agriculture des Pays-Bas, avec celle de la Flandre, est l'une des plus intensives d'Europe. Les cultures irriguées et la culture sous serre y ont une place dominante.</p>	<p>Avec les Pays-Bas, l'agriculture flamande est l'une des plus intensives d'Europe, où l'irrigation et la culture sous serre ont une place significative.</p>	<p>La Wallonie a été historiquement moins touchée par les sécheresses que la France par son climat. Elle ne rencontre pas non plus de problèmes de salinisation et d'affaissement des tourbières tel que les Pays-Bas les observent.</p> <p>Son agriculture est représentée principalement par des grandes cultures et de l'élevage, et fait très peu appel à aux techniques d'irrigation et de cultures sous serre en comparaison à nos voisins. Cependant, avec l'augmentation de l'occurrence des sécheresses, l'usage de techniques d'irrigation est potentiellement voué à augmenter, et les types de productions peuvent également évoluer à termes.</p>	<p>Conservation de l'avantage historique de cultures peu dépendantes de l'irrigation.</p> <p>Orienter le futur développement des filières vers des cultures adaptées à la sécheresse, où des cultures à haute valeur ajoutée permettant une micro-irrigation (maraichage, légumes)</p>

	Description	France	Pays-Bas	Flandre	Wallonie	Forces et adaptation intéressantes
					Constats	
A. SOUTIEN A LA TRANSITION DES SYSTEMES AGRICOLES						
Pratiques d'exploitation durable	<p>Une gestion durable des sols pour une meilleure rétention de l'eau ; La diversification des systèmes de cultures ;</p> <p>L'adaptabilité des techniques agricoles (avancement des périodes de récoltes par exemple) ;</p> <p>L'utilisation de variétés résistantes et de variété au système racinaire développé ;</p> <p>Bonnes pratiques agricoles</p>	<p>Le Varenne identifie des actions sur les leviers suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Génétique végétale et animale plus adaptées aux sécheresses - Diversification des systèmes de cultures - Amélioration et préservation de la qualité des sols (limiter ruissellement, augmenter l'infiltration et la rétention des sols) 	<p>Les actions visant l'amélioration de la qualité des sols sont un des 5 piliers du plan d'adaptation au changement climatique de l'agriculture. Les Pays-Bas ont notamment lancé une campagne d'évaluation de la qualité des sols agricoles en 2019. Ils ont déployé une méthodologie reproductible.</p> <p>Soutien à la recherche de variété résistantes</p> <p>Expérimentation d'adaptation des techniques de cultures (récoltes précoces, protection, ...) et diffusion des connaissances</p> <p>Promotion de variété robuste au système racinaire développée</p>	<p>Promotion de cultures de variété robustes</p> <p>Recherche de variétés résistantes aux aléas climatiques</p>	<p>Les pratiques culturales actuelles contribuent à la dégradation de la teneur en matière organique des sols en Wallonie ces dernières décennies.</p> <p>Ces dernières années, la recherche sur l'adaptation à la sécheresse (notamment par le CRA-W) a commencé, notamment avec des tests sur le blé dur, le tournesol (Sunwall), le sorgho, la silphie.</p>	<p>Renforcement de la promotion et l'accompagnement de techniques agricoles durables, notamment par la mesure et l'amélioration de la qualité du sol (carbone organique, etc.).</p> <p>Renforcement de la recherche sur les pratiques et les variétés plus résiliente à la sécheresse, et la diffusion des résultats.</p>
Modèles agricoles plus résilients	<p>Agroécologie</p> <p>Agriculture biologique</p> <p>Agriculture de conservation</p>	<p>Dans les trajectoires à 2050 et dans le plan de relance français, volonté de faire évoluer plus massivement l'agriculture vers l'agroécologie avec un objectif conciliant production, respect de l'environnement et adaptation au changement climatique. Accompagnement (notamment pour les reprises de ferme) et crédit d'impôt pour la certification agriculture biologique et la certification à Haute Valeur Environnementale.</p>	<p>Actuellement soutien peu la transition vers des modèles alternatifs plus résilients mais plutôt l'augmentation de la résilience des différents modèles via l'innovation technologique (« intensification durable », « smart farming »).</p>	<p>Recherche pour le développement de la paludiculture (agriculture conservatrice sur tourbière) et de l'agroforesterie</p>	<p>Il existe historiquement en Région wallonne un effort d'accompagnement ciblés sur la transition vers le modèle de l'agriculture biologique et une volonté claire d'augmenter la part de ce modèle dans le paysage agricole.</p> <p>Des efforts sur les modèles d'agroécologie et d'agriculture de conservation sont également observés. Les connaissances, notamment en termes de résilience au aléas climatiques sont peu opérationnalisés.</p>	<p>Renforcement de l'accompagnement des agriculteurs, en particulier lors des reprises, pour une transition vers l'agriculture biologique, mais aussi l'agro-écologie et l'agriculture de conservation.</p> <p>Soutien aux initiatives pilotes, notamment en agroforesterie.</p>

	Description	France	Pays-Bas	Flandre	Wallonie	Forces et adaptation intéressantes
					Constats	
B. GESTION DES RISQUES						
Systèmes de compensation (a posteriori)	Fond des calamités Assurances Réassurance publique Accès équitable aux dispositifs Subventions aux primes d'assurances	Nouvelle loi 2022 : le nouveau régime repose sur la solidarité nationale et le partage du risque entre l'État, les agriculteurs et les assureurs. 3 étapes : - aléas courants assumés par les agriculteurs ; - aléas significatifs pris en charge par l'assurance multirisques climatiques subventionnée ; - aléas exceptionnels déclenchent une intervention de l'État, via la solidarité nationale	Partenariat Public privé : mise en place d'un groupe de travail public privé depuis 2010 sur la question de mécanisme de soutien financiers en cas de dommages liés au changement climatique. Mise en place d'un fond d'assurance spécifiques pour les dommages liés au changement climatique depuis 2010. Il finance les dommages qui ne peuvent pas être évités par des mesures d'adaptation.	Déploiement d'une approche intégrée pour garantir le revenu des producteurs (assurance contre les intempéries, fonds de mutualisation, fonds de catastrophe (agricole), etc.) alliant l'administration, le secteur de l'assurance et les agriculteurs	Repose principalement sur le Fond des Calamités, qui présente des limites : - Les sécheresses augmentant, elles perdront leur caractère exceptionnel et ne seront de fait plus couvertes par le fond - Le fond engendre notamment des lourdeurs administratives et un temps d'attente pour les indemnités...) Il n'existe à ce stade pas de partenariat public privé, ni de système de réassurance, pour compenser les pertes et dégâts liés aux changements climatiques	Adapter le système de compensation face à des événements exceptionnels qui vont se normaliser, notamment en s'appuyant sur des partenariats public-privés (système d'assurance multirisques climatiques).
Systèmes de surveillance et d'alertes	Outil de surveillance Outils d'information et d'alerte précoce Calendrier des restrictions	- Réalisation Etude prospectives et diagnostics en vue d'anticiper les évolutions de disponibilité en eau en fonction des prévisions du GIEC - Intégration d'indicateurs spécifiques à destination des agriculteurs dans les services de Météo France - Soutien au développement d'outil d'anticipation à destination des agriculteurs - Mise en place un protocole de gestion déconcentrée des impacts de la sécheresse	Système d'information transparent sur la disponibilité en eau, accompagné d'une dynamique de concertation et du partage de la responsabilité sur la gestion de l'eau, avant et pendant les situations de sécheresse ; Intégration d'indicateurs pour l'agriculture dans les outils d'alertes météorologiques pour permettre aux agriculteurs d'anticiper les extrêmes climatiques (fortes pluies et sécheresses) ; Développement d'une plateforme de connaissance sur la gestion des risques liés au changement climatique.		Système de surveillance et d'information sur l'état des ressources via la « cellule d'expertise sécheresse ». Cependant le système d'alerte n'est pas aussi agile et développé que dans les pays voisins.	Continuer le développement des structures d'alerte météorologiques pour les agriculteurs. Il est également important de continuer à fournir une information sur des indicateurs météorologiques pertinents ainsi que de continuer à mettre en place des structures de support à la décision pour les agriculteurs (date de semis, de récolte...).

	Description	France	Pays-Bas	Flandre	Wallonie	Forces et adaptation intéressantes
					Constats	
C. GESTION DE L'EAU						
Gestion de l'approvisionnement et augmentation de la disponibilité de la ressources	<p>Réservoirs artificiels Retenues collinaires Mobilisation des réserves souterraines</p> <p>Attention : le stockage de l'eau ne diminue pas l'indépendance de l'agriculture face au sécheresse (n'incite pas aux économies d'eau ni à l'adaptation de l'agriculture)</p>	<p>Mobilisation des retenues d'eau existantes artificielles ou naturelles pour l'alimentation en eau des collectivités et de l'irrigation ;</p> <p>Exploration la possibilité de stocker l'eau prélevée en dehors des périodes d'étiage ;</p> <p>Création d'un observatoire dédié à la réutilisation des eaux usées et soutien à la recherche locale (démonstrateurs) pour la valorisation de ressource non-conventionnelles (eaux usées) ;</p>	<p>Développement d'un outil d'aide à la décision reposant sur une cartographie de la demande en eau douce ;</p> <p>Utilisation des solutions basées sur la nature comme tampon entre les périodes de disponibilité et les périodes de sécheresse ;</p> <p>Stockage en surface ou dans le sol des eaux de surface ;</p> <p>Soutien à l'installation de systèmes de collecte et de stockage des eaux de pluie des serres ;</p>	<p>Stimulation de la collecte et du stockage des eaux de pluies par les agriculteurs ;</p> <p>Soutien la recherches pour des approvisionnement alternatif en eau tel que l'utilisation des eaux usées ou des eaux de drainages ;</p> <p>Révision des règlementations liées à a la réalisation de puits et modification des reliefs en vue de stimuler les solutions alternatives au puisage des nappes : notamment la réalisation de bassins tampons via des partenariats publics-privés ;</p>	<p>Avec le Code de l'Eau, la Wallonie s'outille pour la gestion de l'approvisionnement, notamment en encadrant les prises d'eau souterraines et de surface pour l'agriculture ;</p> <p>L'augmentation de la disponibilité passe par la récupération d'eaux d'exhaures de carrières, cette source d'eau se développe avec de l'usage industrielle ;</p> <p>En Wallonie, la création de réservoirs pour l'irrigation, elle est aujourd'hui très limitée.</p>	<p>Des projets comme celui-ci permettront de faire ressortir des adaptations intéressantes en termes de gestion quantitative de l'eau en agriculture ;</p> <p>La mobilisation des ressources existantes, le développement de la réutilisation là où elle est possible, et le développement de nouvelles ressources (solutions basées sur la nature, stockage en retenue, récupération d'eau de pluie (serres, mares, etc.) font partie du panel des solutions)</p>
Réduction des consommations	<p>Outils règlementaires : autorisation de prélèvement, restriction d'usage Outils économiques : tarification de l'eau Soutien à la recherche</p>	<p>Contexte : Large utilisation de systèmes d'irrigation en France Techniques : recherche et expérimentation pour optimiser les systèmes d'irrigations : (amélioration des performance, ombrage via agrivoltaïsme, outils d'aide à la décision au niveau de l'exploitation) Territoire : Renforcement du rôle du préfet comme coordinateur des bassins versants et recherche pour des outils d'aide à la décision au niveau des bassins versants Règlementaire : levier réglementaire (préfets) : - Arrêté de restriction d'usage de l'eau en cas d'épisode de sécheresse - Mécanisme d'autorisation pluriannuelle de prélèvement via un organisme de gestion collective de l'eau</p>	<p>Réalisation d'un Benchmark des retombées financières des différentes mesures de réduction des consommation et d'augmentation de la ressource stockage dans le sol, irrigation goutte à goutte, drainage ajustable, ...)</p> <p>Développement d'outils numériques d'aide à la décision pour les agriculteurs (quand et en quelle quantité irriguer) Incitant financier aux économies en eaux</p>	<p>Le Blue deal stimule également le développement de projets locaux de stockage, de tamponnement et d'infiltration de l'eau via le programme Natte-Natuur.</p> <p>Elimination progressive ou évolution du drainage conventionnel</p>	<p>Possibilité réglementaire de mettre en place des restrictions d'usage au niveau local. Mécanisme d'autorisation pour le puisage des ressources souterraine. Cependant, ces mécanismes sont actuellement peu utilisés en Région wallonne : peu de restriction et peu de contrôle pour les puisages.</p>	<p>Au vu de la pénétration limitée de l'irrigation actuellement, il est recommandé d'accompagner les agriculteurs désireux vers une irrigation rationnelle et moins impactante sur la ressource et le climat ;</p> <p>Communiquer sur les bonnes pratiques pour réduire le gaspillage de l'eau dans les fermes (notamment pour l'élevage) ;</p> <p>Adapter l'outil réglementaire pour limiter ponctuellement les prélèvements souterrains (en cas d'alerte).</p>

	Description	France	Pays-Bas	Flandre	Wallonie	Forces et adaptation intéressantes
					Constats	
D. ACCOMPAGNEMENT : SOUTIENS, DEVELOPPEMENT DE LA CONNAISSANCE ET TRANSFERT DE CONNAISSANCES						
Soutien à la recherche	<p>Recherche pour des variétés plus résistantes aux extrêmes ;</p> <p>Recherche sur les débouchés et filières ;</p> <p>Recherche sur l'impact économique (coûts-bénéfices)</p>	<p>De nombreux projets de recherche sont déployés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solutions basées sur la nature - Utilisation d'eaux non conventionnelle - Performance des systèmes d'irrigation <p>Outils d'aide à la décision</p>	<p>Le soutien à la recherche est un des 5 axes du plan d'adaptation de l'agriculture</p> <p>Les Pays-Bas s'appuient fort sur une stratégie de projets pilotes, aboutissant au partage et à la diffusion des connaissances acquises et au déploiement de pratiques à plus grande échelle</p> <p>Déploiement d'un programme de recherche coordonnés entres les différents acteurs de recherche</p> <p>Partenariat Public privé visant l'innovation dans les exploitations</p>	<p>Le soutien à l'innovation dans les pratiques agricoles des exploitations n'est pas spécifiquement thématique par rapport à la gestion de l'eau, cependant des projets pilotes sur une gestion économe en eau y sont retenus.</p> <p>S'ajoute à cela un appel à projet pour des projets de démonstration dont certains concernent la gestion de l'eau.</p> <p>Par ailleurs le Blue deal renforce le soutien à la recherche sur la bonne gestion de l'eau dans l'agriculture.</p>	<p>Investissement dans la recherche important, via de nombreux centres de recherche (CRAW, Greenotec, BioWallonie, CIPD, ...)</p> <p>Recherche principalement orientée vers le matériel technique.</p> <p>Développement de Projets Européens : DiverImpact sur la diversification des cultures et TRANSAE sur l'agroécologie</p>	<p>Renforcer la recherche sur la sélection de variétés adaptées, et soutien au développement de filières dédiées.</p>
Soutien aux investissements	<p>Centres de recherche</p> <p>Pratiques alternatives</p> <p>Services écosystémiques</p>	<p>Via le plan France Relance : 330M€ d'aides financières individuelle pour l'acquisition d'équipement de lutte contre les aléas climatiques</p> <p>Via France 2023 : 450 M€ seront mis à disposition via différents appels à projet de recherche :</p> <p>« Démonstrateurs territoriaux », « agri-tech » innovation technologique et numérique pour l'aide à la décision, projets de solutions d'adaptation fondées sur la nature, etc.</p>				

	Description	France	Pays-Bas	Flandre	Wallonie	Forces et adaptation intéressantes
					Constats	
Transfert des connaissances	Information, sensibilisation et formation		<p>Les Pays-Bas portent une attention particulière au transfert des connaissances issues des recherches et aux partages des bonnes pratiques au sein de leurs actions.</p> <p>Ils ont développé un portail de sensibilisation dédié au pratiques adaptées au changement climatique avec un service d'accompagnement pour les agriculteurs. Ils accompagnent les bonnes pratiques d'informations sur les couts bénéfiques des différentes pratiques</p>	<p>Existence d'un accompagnement spécifique pour les entreprises sur les règles concernant la gestion de l'eau. Les agriculteurs peuvent également faire réaliser un audit de l'eau dans lequel, entre autres, un bilan hydrique est établi. Des conseils sont également donnés sur les mesures d'économie d'eau que peut prendre un agriculteur.</p>	<p>Accompagnement bien développé pour la transition vers une agriculture biologique (conseils techniques, infos sur les débouchés, etc. via Biowallonie)</p> <p>Centre pilote du SPW : Vulgarisation, des connaissances issues des recherches</p> <p>L'accompagnement plus spécifique à la gestion raisonnée de l'eau et aux adaptations potentielles pour augmenter la résilience de l'agriculture aux sécheresses est relativement peu développé par rapport aux pays voisins.</p>	<p>Besoin d'impliquer davantage les agriculteurs (échanges de bonnes pratiques, projets de démonstration, etc.) en vue d'une responsabilisation du monde agricole. Meilleure sensibilisation de l'état.</p>

	Description	France	Pays-Bas	Flandre	Wallonie	Forces et adaptation intéressantes
					Constats	
E. GOUVERNANCE						
Coordination des politiques	Entre les politiques		Renforcement de la coopération entre les niveaux nationaux, régionaux et locaux pour la gestion des sécheresses		Mise en place en 2017 d'une « Cellule d'expertise sécheresse » au sein du Centre Régional de crise en vue de la coopération des instances régionales sur la gestion des crises liées aux sécheresses. Accord international avec la France et interrégional avec les régions voisines pour la gestion de l'eau	Continuer à renforcer la coordination entre les différents plans et programmes qui impactent la gestion de l'eau en agriculture.
Coopération public privé	Public - privé	Large processus de concertation 2021-2022 spécifique sur la question de l'eau et l'agriculture aboutissant sur la feuille de route opérationnelle pour répondre aux enjeux de gestion de l'eau et d'adaptation au changement climatique auquel est confrontée l'activité agricole (le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique). Plus de 1 400 participants et 520 organismes ont participé. Engagement des secteurs au travers de rédaction de stratégie d'adaptation par filière	Large concertation des acteurs pour ajuster les politiques sur base des retours d'expérience (Drought Policy Table) Partenariat public-privé fort développés notamment : - La gestion des risques : groupe de travail public privé actif depuis 2010 sur la question de mécanisme de soutien financiers en cas de dommages liés au changement climatique. - Programme sectoriel sur l'innovation et le développement de la connaissance - La gestion des sols et de l'eau - Des projets pilotes	Via le programme « Water-Land-Schap », déploiement de programme concertés avec l'ensemble des utilisateurs pour une meilleure gestion de l'eau. Dynamique de coopération entre les gestionnaires de l'eau, les agriculteurs et les entreprises pour une meilleure gestion de l'eau en période de sécheresse.	Bien qu'une dynamique de concertation ait eu lieu pour la définition du PACE, la concertation des acteurs et notamment une concertation public-privés autour de l'adaptation de l'agriculture au changement climatique et de la gestion de l'eau reste faible au regard des régions et pays voisins.	Renforcer la coopération et les espaces de discussion entre le public et le privé pour une adaptation à la sécheresse.

	Description	France	Pays-Bas	Flandre	Wallonie	Forces et adaptation intéressantes
					Constats	
F. POLITIQUE ET PLANIFICATION						
Nationales/Régional		<p>Politique de gestion de l'eau par grand bassin hydrographique (schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux SDAGE).</p> <p>Politique spécifique pour la gestion de l'eau en lien avec l'agriculture (le Varenne agricole, feuille de route concertée)</p>	<p>L'adaptation au changement climatique est intégrée largement dans les stratégies et programme publics</p> <p>L'ensemble des actions pour l'adaptation de l'agriculture sont rassemblées dans le <i>Actie programma klimaatadaptatie landbouw</i></p> <p>Un programme spécifique est défini pour la gestion de l'eau dans le secteur agricole. (DAW Deltaplan Agrarish Waterbeheer)</p>	<p>La Flandre s'est dotée d'un plan d'actions spécifique pour la gestion de l'eau dans l'agriculture en 2018</p> <p>Par ailleurs elle s'est dotée d'un programme d'actions spécifiques de lutte contre les aléas liés aux fortes précipitations et aux sécheresses, le « Blue deal ». Le Blue deal donne la part belle aux solutions basées sur la nature pour améliorer la gestion de l'eau au niveau du territoire.</p>	<p>La stratégie intégrale sécheresse wallonne répond en partie à un besoin de coordination entre la multitude de plans et programme ayant un impact sur l'eau et l'agriculture :</p> <ul style="list-style-type: none"> -Le Dispositif sécheresse pour la Wallonie (DSW). -Le Schéma Régional des ressources en eau (SRRE) est également défini pour lutter contre les effets de la sécheresse -Le PGDH -Les mesures d'adaptation du PACE -Le PwDR qui vise à appliquer les mesures de la PAC dont certaines concernent l'adaptation de l'agriculture. 	<p>Collaborer au niveau national sur l'alignement des politiques d'adaptation à la sécheresse dans l'agriculture et de gestion de la ressource en eau</p>
Locales ou sectorielles		<p>Soutien au déploiement de Projet Territoriaux de Gestion de l'Eau (PTGE), programme qui associe localement l'ensemble des acteurs pour agir.</p> <p>+ Stratégies d'adaptation par filière / secteurs</p>			<p>En 2018, l'intégration de l'adaptation dans les politiques sectorielles n'était pas assez aboutie selon la Commission Européenne.</p>	<p>Prévoir une structure de dialogue et de prévention des conflits autour de l'eau, par exemple au sein des contrat de rivière, ou par les gestionnaires de bassin versant.</p>
Aménagement du territoire	Mesures spécifiques d'aménagement du territoire liée à la résilience hydrique du territoire	<p>Existence de Schéma d'Aménagement et de gestion de l'eau.</p> <p>Zéro artificialisation nette en 2050.</p>	<p>Orienté infrastructure hydraulique (canaux, etc.). Programme d'élargissement des lits de cours d'eau.</p>	<p>Zonage du risque de sécheresse pour prise en compte dans les plans communaux d'aménagement du territoire.</p> <p>Zéro artificialisation en 2040.</p>	<p>Protection des zones humides, de captage, etc.</p> <p>Création de nouveaux parcs naturels.</p> <p>Zéro artificialisation en 2050</p>	<p>Une révision du plan de secteur pour ralentir l'artificialisation de terres cultivées, et la construction en zones inondable.</p>

7.5 Autres pays et considérations transverses

Un parangonnage français de 2022 portant sur la gestion de l'eau dans 8 pays (Allemagne, Autriche, Suisse, Canada, Japon, Espagne, Pays-Bas et Royaume-Uni) apporte la vision transversale suivante²⁰⁰ : Il fait apparaître l'urgence de l'accélération des politiques d'économie d'eau et de partage entre les usages – sujet peu traité par les directives européennes. Il montre une approche assez commune de ces sujets par les différents pays :

- Nécessité de fixer des objectifs chiffrés et répartis d'économie d'eau ;
- Gestion intégrée par bassin versant prenant en compte les besoins des milieux ;
- Priorisation annoncée des usages en termes d'intention mais encore peu développée dans le droit en vigueur ;

La liste des leviers mobilisable est généralement connue et citée dans tous les plans :

- Lutte contre les fuites dans les réseaux ;
- Réutilisation des eaux usées ;
- Irrigation efficace goutte-à-goutte ;

Les plans citent parfois aussi les outils de tarification incitative expérimentés dans certains territoires.

Les horizons temporels pris en compte dans ces exercices sont de trois ordres :

- Dans les pays européens, les feuilles de route par district hydrographique (bassin) respectent les temporalités de la directive cadre sur l'eau et de la directive inondations, soit des cycles de 6 ans. Les plans actuels visent l'horizon 2027, parfois (cas espagnol) se prolongent sur un ou deux cycles au-delà (2033 et 2039) pour la prise en compte des effets du réchauffement climatique,
- Certains plans nationaux ont des horizons de moyen/long terme, comme le « *25 year environment plan* » britannique adopté en 2019, ou le programme Delta aux Pays Bas qui fixe des objectifs à l'horizon 2050,
- Enfin, certains plans ont des horizons encore plus lointains, notamment pour la prévention des inondations en lien avec l'élévation du niveau de la mer, par exemple le programme Estuaire de la Tamise 2100. Ces programmes s'inscrivent alors clairement dans une logique construite d'adaptation au changement climatique malgré les incertitudes, avec l'étude de plusieurs scénarios, et la notion de « chemins d'adaptation » conduisant à prendre progressivement des « décisions sans regret ». Ils prévoient des points de rendez-vous au vu de l'évolution des connaissances sur les impacts climatiques pour les décisions les plus structurelles.

Une attention particulière est logiquement apportée au secteur agricole : avec des solutions à court terme qui peuvent reposer sur le développement de capacité de stockage et des solutions de moyen et long terme qui passent par une transformation des modèles de production.

Ces **feuilles de route et programmes sur l'eau**, qui se limitaient souvent initialement aux inondations (programme Delta aux Pays Bas) ou à la qualité des eaux environnementales (schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux / SDAGE en France), **s'élargissent de plus en plus à l'ensemble du cycle de l'eau** (eau potable, assainissement, et protection de la ressource en eau) **et à la résilience des écosystèmes aquatiques et humides**. Cette évolution globale conduit à compléter les programmes classiques d'infrastructures de génie civil dites « grises » (digues, réseaux de collecte des eaux de pluie et installations de traitement, etc.) par des projets de type « solutions fondées sur la nature (SFN) » comme les zones d'expansion de crues (programmes « *room for the river* » en Allemagne et au Pays-Bas), la restauration de zone humides, la désimperméabilisation et la gestion à la source des eaux de pluie en ville, dont le rapport coût-bénéfice est souvent intéressant même s'il gagnerait à être mieux quantifié. Cette évolution conduisant à développer les solutions fondées sur la nature est citée comme objectif dans tous les plans étudiés, au moins au niveau des principes.

Il reste cependant encore difficile de juger de l'ampleur de l'application pratique, tant les SFN couvrent un champ vaste et sont parfois comprises différemment, même si une définition harmonisée émerge progressivement des travaux de l'UICN et de l'Assemblée des Nations-Unies pour l'environnement (ANUE). Ce développement des SFN, qui est encouragé dans tous les pays comme en France par l'échange de bonnes pratiques et un certain nombre d'expérimentations pilotes, constitue une première étape vers la gestion intégrée de la biodiversité et du changement climatique que le GIEC et l'IPBES appellent de leurs vœux dans leur rapport conjoint.

Les travaux du GIEC

Une revue de la littérature mondiale sur le sujet est évidemment également effectuée par le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Dans son 6^{ème} rapport, le deuxième groupe de travail lié à l'adaptation mets en avant, pour l'Europe, la situation actuelle et les mesures d'adaptations principales sont discutées²⁰¹ :

- Actuellement, la planification de l'adaptation à la pénurie d'eau s'est concentrée sur l'**augmentation de la disponibilité** et de l'approvisionnement en eau douce par le stockage de l'eau, la diversification des sources et le transfert d'eau. Les réservoirs d'eau sont coûteux, ont des incidences négatives sur l'environnement et ne suffiront pas partout en cas de réchauffement plus important.^{202,203,204}
- La **réutilisation des eaux usées** est considérée comme une mesure peu coûteuse et efficace lorsque les eaux usées sont disponibles,^{205,206} mais l'acceptation par le public de la réutilisation domestique est actuellement limitée^{207,208}
- Le GIEC indique comme principales options d'adaptation à la sécheresse pour l'agriculture en Europe les 4 axes suivants (Figure 13.14 du rapport²⁰⁹) :
 - L'irrigation
 - Le changement de date de semis et de récolte
 - Le changement de variété de cultures
 - La gestion du sol
- L'efficacité est plus forte pour l'irrigation, la gestion des sols, et les dates de semis et récoltes, mais la faisabilité écologique et géophysique de l'irrigation est basse.
- Les mesures d'adaptation du côté de la demande comprennent la surveillance (par exemple, compteurs d'eau, systèmes d'alerte précoce en cas de sécheresse) et la **régulation de la demande**, par exemple via les restrictions d'eau, la tarification de l'eau, les mesures d'économie et d'efficacité de l'eau, ainsi que la gestion des terres et le changement de couverture de sol.^{207,210,211,204}
- Les restrictions d'eau prolongées et la priorisation de l'approvisionnement sectoriel pourraient entraîner des pertes économiques (par exemple, pour l'agriculture irriguée).^{212,213}
- Les instruments économiques, tels que la tarification de l'eau, peuvent être efficaces lorsqu'ils sont associés à des mesures incitatives en faveur des économies d'eau et de l'utilisation rationnelle de l'eau.^{214,215,216}
- Les mesures **d'économie et d'utilisation rationnelle de l'eau**, telles que la réparation des fuites, l'éducation et l'amélioration de l'irrigation, pourraient limiter les conflits entre les secteurs, mais nécessitent des avancées technologiques et des changements de pratiques ainsi qu'une volonté de coopération.^{204,217,218}
- L'amélioration de l'**efficacité de l'irrigation** a réduit la pénurie d'eau, en particulier dans le sud de l'Europe²⁰⁶, et se produit au niveau des exploitations dans l'Europe ouest et centrale, et dans le nord de l'Europe^{207, 219, 220}, mais s'accompagne d'une **dépendance croissante** à l'égard de l'offre et de compromis qui pourraient ne pas être viables à long terme.²⁰³

Afin de développer ce dernier point souligné dans le rapport du GIEC, il est intéressant de se pencher sur le cas de l'Espagne, car une politique de gestion de l'eau doit se faire en priorité sur la demande en eau afin d'éviter la mal-adaptation qu'une augmentation de l'offre en eau peut entraîner.

- L'Espagne a construit un vaste réseau de barrages pour approvisionner en eau ses fermes et ses villes. Au cours du XX^{ème} siècle, 1 200 grands barrages ont été construits dans le pays, soit le nombre le plus élevé d'Europe par habitant. Cela a permis à l'Espagne d'augmenter la superficie de ses terres irriguées de 900 000 hectares à 3 400 000 hectares.²²¹ De nombreux experts estiment que ce système montre aujourd'hui ses limites. Les barrages "ont eu leur utilité", mais ils ont aussi encouragé la "surexploitation" de l'eau et la baisse de sa qualité en bloquant le cours naturel des rivières.²²²
- Pour le conseil scientifique du Comité de bassin Rhône-Méditerranée, un organisme français qui regroupe des spécialistes de l'hydrologie, l'Espagne approche des "limites physiques" de son modèle de gestion de l'eau.
- Le réseau de barrages de l'Espagne dépend de précipitations suffisantes pour réalimenter ses nombreux réservoirs. Mais "les changements climatiques déjà en cours, qui se poursuivront dans les décennies à venir, augmenteront le risque de défaillance", a déclaré l'organisme dans un récent rapport. Selon les experts, la façon dont l'Espagne utilise l'eau constitue également un problème majeur. "La consommation n'a pas cessé d'augmenter alors que l'eau se fait de plus en plus rare."²²³

Dans son document d'orientation pour le secteur de l'eau²²⁴, la BEI signale ces dernières années, certains États membres de l'UE, y compris des pays méditerranéens possédant une longue tradition de l'irrigation, se sont montrés enclins à investir dans le stockage de l'eau et l'irrigation. Ceci en réaction à la hausse de la fréquence et à l'allongement de la durée des sécheresses pendant la saison des cultures. Cependant, bien que le stockage de l'eau offre de multiples avantages, son intensification peut exercer une pression environnementale considérable sur les masses d'eau. Une planification minutieuse est nécessaire pour repérer les possibilités de réservoirs polyvalents susceptibles de desservir simultanément différents secteurs moyennant la mise en place de mesures d'atténuation appropriées pour maintenir un état adéquat de l'eau dans les étendues d'eau concernées.

Pour la BEI, investir dans la modernisation des systèmes d'irrigation et de drainage peut permettre une meilleure utilisation des ressources. Mais des investissements ne contribuent pas toujours de manière significative à la durabilité environnementale, à moins qu'ils ne permettent de réaliser des économies nettes d'eau ou d'améliorer l'utilisation des ressources. Il faut des investissements qui mettent fin à une utilisation non durable des ressources, comme la surexploitation des eaux souterraines.

Conférence des Parties (COP)

Les COP (*Conferences of the Parties*), sont des conférences annuelles réunissant tous les pays autour d'une conférence internationale de lutte contre le dérèglement climatique. Il y est notamment discuté et décidé la budgétisation et la mise en œuvre de solutions décidées pour contrer les effets du changement climatique.

Il est à noter qu'habituellement environ 10% des budgets discutés sont alloués à l'agriculture pour répondre aux enjeux qui y sont posés par le changement climatique. Récemment, lors de la COP 28 en décembre 2023, il y a eu de nouvelles ambitions de doter l'agriculture de davantage de moyens sur ces questions. Cela montre un intérêt et une reconnaissance du fait que les actions sur l'agriculture permettent d'apporter une réponse face à ces enjeux climatiques et de développement durable.

8 Synthèse et conclusion

Historiquement, la Wallonie a développé sa gestion de l'eau selon deux axes principaux :

- la gestion du risque d'inondation,
- la gestion de la qualité de l'eau, notamment à travers le suivi qualitatif des nappes et eaux de surfaces

La gestion des sécheresses, et donc du manque d'eau, est une problématique apparue plus récemment et suivie avec rigueur depuis 2017. En 2021, le Gouvernement wallon a adopté un premier plan sécheresse. Et ce n'est qu'en 2022 que le SPW inclut cette notion sur son portail dédié à l'agriculture.

La prise de conscience des impacts du changement climatique est donc récente mais forte. La recherche menée notamment par le CRA-W, est en plein développement en Wallonie. Dans ce contexte, le présent projet porté par la DAFoR, est à la pointe pour permettre la mise en œuvre de mesures concrètes sur le terrain et contribuer à la réflexion transversale que constitue la stratégie intégrale sécheresse. Il est en effet nécessaire que tous les secteurs concernés identifient l'évolution de leurs besoins en eau sous la nouvelle contrainte climatique afin que des compromis équilibrés puissent être trouvés pour les rencontrer au mieux.

En Wallonie, le manque d'eau s'est fait ressentir plus régulièrement ces dernières années. Les impacts sur le milieu agricole sont récurrents. S'il est factuel que la Wallonie procède à un usage limité de l'eau pour son agriculture en comparaison de ses voisins régionaux (les surfaces irriguées en Wallonie sont en quelques millièmes de la SAU contre plus de 30% dans certaines provinces néerlandaises), il est important de considérer les dynamiques actuelles. D'un côté, les conditions climatiques induisent une réduction de la disponibilité en eau. De l'autre, les choix agricoles s'orientent vers des cultures demandant plus d'eau avec notamment le développement des cultures de pomme de terre et maraichères.

Moins contrainte que ses voisins, ne devant pas faire face à la salinisation de ses sols par exemple, la Wallonie puise pourtant déjà fréquemment dans son dispositif d'aide aux agriculteurs pour les soutenir lors des sécheresses, le fonds des calamités agricoles ayant été de plus en plus sollicité ces dernières années. Ce principe de solidarité pourrait avoir ses limites puisqu'il repose uniquement sur des fonds publics tandis que la Flandre, la France ou les Pays-Bas font déjà appel à des mécanismes plus larges (type assurance privée). Afin d'anticiper les difficultés liées aux aléas climatiques, des alertes existent mais sont moins développées qu'en Flandre ou aux Pays-Bas.

Un inventaire des principales techniques et outils de gestion de l'eau est présenté dans ce rapport, constituant un panier de solutions riches et complémentaires. Tout d'abord il existe un ensemble de solutions concentrées sur les itinéraires techniques au sein même des parcelles : l'augmentation de la matière organique du sol, les opérations mécaniques de travail de sol, les successions de cultures, les associations de cultures... La recherche sur l'adaptation de nos cultures à la sécheresse (nouvelles variétés, techniques, nouvelles cultures/filières) et la mise en œuvre des résultats de cette recherche est importante et est notamment largement financée en France, mais également à travers des projets européens. La recherche de solutions techniques et technologiques est également financée, notamment au Pays-Bas. La Wallonie a également commencé à traiter ce sujet de recherche ces dernières années.

Une partie des techniques de cultures présentées, combinées selon un cahier de charge, peuvent mener à des méthodes et systèmes d'agriculture alternatifs comme l'agriculture de conservation des sols, l'agriculture biologique, voir l'agroforesterie. Une transition vers ces modèles agricoles alternatifs est encouragée dans les plans à long terme pour l'agriculture française, afin notamment d'augmenter la résilience à la sécheresse. C'est nettement moins le cas en Flandre et aux Pays-Bas. La Région wallonne soutient activement une transition vers le bio, mais de manière plus limitée la transition vers l'agroécologie dont l'agriculture de conservation des sols.

Ensuite, en dehors des parcelles agricoles, les aménagements interpacellaires sont fréquemment cités dans la littérature (bandes enherbées, haies, fascines, ...). Souvent mis en place dans une vocation de lutte contre les coulées boueuses, ils peuvent s'avérer pertinents pour favoriser l'infiltration de l'eau dans les sols, soit directement, soit sous forme de réinfiltration (eau issue de l'amont et infiltrée de manière délocalisée à la faveur d'un aménagement). De la même manière, les restaurations de zones humides en bordure de zone agricole (mares, ripisilves...) vont aussi contribuer à atténuer localement les sécheresses. Les mesures bénéfiques pour le cycle de l'eau mais aussi pour la biodiversité sont soutenues au niveau européen et encouragées dans les régions voisines comme en Wallonie.

Il convient de souligner que des mesures de réallocation du foncier sont peu documentées dans les pays limitrophes. Or, cette action tout à fait possible dans le cadre de l'Aménagement Foncier Rural (AFR), permet d'envisager l'optimisation du patron parcellaire au sein d'un paysage. Les techniques de keyline design, citées dans ce rapport, en sont un exemple. Que ce soit par le dessin du parcellaire et/ou par la mise en place de baissières (haies entre les parcelles via la création d'une bande de domaine public), la DAFoR dispose des outils nécessaires pour favoriser l'efficacité hydrologique au moyen de solutions basées sur la nature.

Dans un volet plus techno-centré, les différentes techniques d'irrigation sont discutées, ainsi que les sources d'eau pour l'irrigation.

Enfin, un résumé des stratégies d'adaptation de l'agriculture face à la sécheresse est réalisé pour la Flandre, les Pays-Bas et la France. On y retrouve les éléments déterminants des stratégies et des exemples de mesures concrètes.

Dans ces stratégies, il est chaque fois fait appel à une combinaison de solutions, soulignant l'importance de l'adaptation de ces mesures aux spécificités locales. Néanmoins, des solutions systémiques se retrouvent dans tous les plans, comme l'incitation à la transition vers l'agroécologie, la réduction des besoins et consommations d'eau, et la recherche de ressources alternatives telles que les eaux usées épurées. L'importance d'un processus multiacteurs dans la gestion de l'eau est aussi mise en avant, afin d'atténuer les tensions.

Les principales recommandations, forces et adaptations intéressantes collectées pour la Région wallonne et mises en évidence au fil de ce travail sont les suivantes :

- Continuer à renforcer la prise en compte de la sécheresse au sein des différentes politiques wallonnes, avec une coordination centralisée au sein de l'administration pour assurer la cohérence (politique agricole, politique économique et d'exportation, aménagement du territoire et artificialisation...), en dégagant des moyens financiers et humains pour la coordination et l'application des recommandations.
- Maintenir l'avantage relatif de l'agriculture wallonne quant à sa faible dépendance à l'irrigation. Soutenir le développement de (nouvelles) filières dont les cultures n'exigent pas d'irrigation, notamment les fourrages verts, et éviter d'encourager le développement de filières nécessitant de l'irrigation par aspersion sur de grandes surfaces (pomme de terre, maïs) ;
- Envisager un soutien vers des filières à haute valeur ajoutée permettant une irrigation de précision limitée à des petites surfaces (maraichage, fruitier) ;
- Massifier la transition vers l'agroécologie dont l'agriculture de conservation :
 - Soutenir techniquement les agriculteurs qui souhaitent changer de modèle via notamment l'accès gratuit à des formations et le soutien à l'accompagnement individuel et de groupes ;
 - Soutenir financièrement ces agriculteurs (au travers des aides à l'investissement lors de l'achat matériel spécifique à la régénération des sols, la reconnaissance des services rendus par la production de biens communs dont en priorité la séquestration de carbone dans les sols et la biodiversité, prise de risque dans les essais techniques).
- Continuer à renforcer et à diffuser les informations sur les génétiques végétales et animales, les itinéraires techniques et les systèmes de production agroécologiques, adaptés à la sécheresse ;
- Adapter le système de compensation face à des événements climatiques exceptionnels qui vont se normaliser, notamment en s'appuyant sur des partenariats public-privés (système d'assurance multirisques climatiques) ;
- En complément à la cellule sécheresse régionale, mettre en place des structures locales de concertation pour la gestion de l'eau en période de sécheresse afin de favoriser les échanges entre les différents usagers de l'eau (y compris des représentants de la biodiversité), pour prévenir les conflits en période de sécheresse, par exemple en l'intégrant aux missions des contrats de rivières. ;

Section 8 : Synthèse et conclusion

Plus fondamentalement, il est fortement recommandé de tirer parti des outils existants, tel l'aménagement foncier rural pour mettre en place des sites pilotes hydrologiquement optimisés, dont l'allocation d'espace public vise à pérenniser une structure paysagère favorable à l'infiltration et à la redistribution de l'eau sur le territoire au moyen de solutions basées sur la nature. Ce modèle innovant devrait être documenté et - s'il se confirme efficient - multiplié pour s'adapter dans les différents contextes biophysiques de la Wallonie.

En parallèle à l'identification des adaptations et forces existantes à l'échelle wallonne, l'objectif premier de ce document reste de servir de référence pour proposer des recommandations plus spécifiques et des aménagements innovants à envisager pour la gestion de l'eau dans la zone du projet (Hainaut occidental), dans une perspective de changement climatique. Volontairement, cette conclusion ne cherche donc pas encore à sélectionner ou synthétiser les solutions techniques les plus appropriées ; cela fera l'objet d'un prochain rapport.

9 Bibliographie

- ¹ IRM - Sécheresse. (n.d.). KMI. <https://www.meteo.be/fr/infos/dico-meteo/secheresse>
- ² What is Drought - European Drought Observatory - JRC European Commission. (2011b, July 21). <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1001>
- ³ Zamani, S., Gobin, A., Van De Vyver, H., & Gerlo, J. (2016). Atmospheric drought in Belgium - statistical analysis of precipitation deficit. *International Journal of Climatology*, 36(8), 3056–3071. <https://doi.org/10.1002/joc.4536>
- ⁴ IRM - Sécheresse actuelle en Belgique. (n.d.-d). KMI. <https://www.meteo.be/fr/meteo/previsions/secheresse>
- ⁵ IRM - Tendances observées en Belgique. (n.d.). KMI. <https://www.meteo.be/fr/climat/changement-climatique-en-belgique/en-belgique>
- ⁶ IRM - Sécheresse. (n.d.-b). KMI. <https://www.meteo.be/fr/climat/climat-de-la-belgique/evenements-remarquables-depuis-1901/evenements-remarquables/evenements/secheresses>
- ⁷ IRM - Sécheresse. (n.d.-c). KMI. <https://www.meteo.be/fr/climat/climat-de-la-belgique/evenements-remarquables-depuis-1901/evenements-remarquables/evenements/secheresses>
- ⁸ S. (n.d.-a). Accueil. <https://piezometrie.wallonie.be/home.html>
- ⁹ S. (n.d.-b). Accueil. <https://hydrometrie.wallonie.be/home.html>
- ¹⁰ S. (n.d.). Débit des principaux cours d'eau. Etat De L'environnement en Wallonie <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicator sheets/EAU%202.html>
- ¹¹ Paulus, F. (Director). (n.d.). *Sécheresses – stratégie intégrale de lutte et d'adaptation* [Slide show]. Wallonie environnement SPW.
- ¹² Maes, E., Généreux, C., De Thysebaert, D., Ritondo, R., & Claisse, F. (2020). Cahier de prospective de l'IWEPS: Risque de raréfaction des ressources en eau sous l'effet des changements climatiques : quelques enjeux prospectifs. L'Institut wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique. https://www.iweps.be/wp-content/uploads/2020/09/CAPRO_4.pdf
- ¹³ Maes, E., Généreux, C., de THysebaert, D., Rirondo, R. & Claisse, F., (2020) Cahier de prospective de l'IWEPS, n°4. IWEPS , <https://www.iweps.be/wp-content/uploads/2020/09/CAPRO-4-secheresse-final2.pdf>
- ¹⁴ Poncin, M. (2021, September 7). [Chiffres-clé] Quelles sont les céréales et cultures cultivées en Wallonie? Celagri. <https://www.celagri.be/quelles-cereales-et-cultures-cultive-t-on-en-wallonie/>
- ¹⁵ Types de céréales produites en Wallonie | l'Apaq-W. (n.d.). <https://www.apaqw.be/fr/types-de-cereales-produites-en-wallonie>

- ¹⁶ S. (n.d.). *Productions végétales*. Etat De L'Agriculture Wallonne. <https://etat-agriculture.wallonie.be/contents/indicatorsheets/EAW2.html>
- ¹⁷ *Rapport de 2021 du plan stratégique relevant de la PAC*. (2022). <https://rural-interfaces.eu/wp-content/uploads/2023/02/Wallonias-CAP-Strategic-Plan.pdf>
- ¹⁸ SPW. Etat de l'agriculture Wallonne (2022). *Balance commerciale et exportations* <https://etat-agriculture.wallonie.be/contents/indicatorsheets/EAW-A I c 2.html>
- ¹⁹ Région Wallonne & Agence Wallonne de l'air et du climat. (2011). *L'adaptation au changement climatique en région wallonne : Rapport final*. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/113405/1/rapport_adptation_changement_climatique_wallonie_final.pdf
- ²⁰ Rosillon, D. , Dandrifosse, S. , Curnel, Y. & Planchon, V. (2022). *La sécheresse de 2022 en Wallonie en trois questions*. <https://www.cra.wallonie.be/uploads/2022/10/la-secheresse-de-2022-en-wallonie-en-trois-questions.pdf>
- ²¹ Vanwindekens, F. M., Gobin, A., Curnel, Y., & Planchon, V. (2016). *Meteorological risks as drivers of environmental innovation in agro-ecosystem management : Work Package 3 - Identification of vulnerable / resilient agro-ecosystems and zones*. http://www.belspo.be/belspo/ssd/science/Reports/MERINOVA/15.%202017-article_FVW.pdf
- ²² *Appréhender la croissance de l'herbe | agriwalinfo*. (n.d.). Agriwalinfo. <https://agriwalinfo.wixsite.com/website-1/about-2>
- ²³ S. (n.d.-a). *Prélèvements en eau*. Etat De L'environnement Wallon. <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/RESS%202.html>
- ²⁴ SPW agriculture ressources naturelles et environnement. (2023). *Etat des nappes et des masses d'eau souterraines de la Wallonie* (B. Heindrichs, Ed.). http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/pdf/atlas_a3.pdf
- ²⁵ S. (n.d.-a). *État des masses d'eau*. Etat De L'environnement Wallon. <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/EAU%201.html>
- ²⁶ Picot, G., Crastes De Paulet, F., Thiéry, D., & Klinka, T. (2014). *Modélisation maillée des écoulements souterrains de la nappe transfrontalière des calcaires carbonifères (France-Belgique)* (BRGM/RP-63140-FR). Géoscience pour une Terre durable. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-63140-FR.pdf>
- ²⁷ Heindrichs, B. (Ed.). (n.d.). *Projet des Troisièmes Plans de gestion des Districts Hydrographiques Wallons: Mise en œuvre de la Directive-cadre sur l'Eau (2000/60/CE)*. Wallonie environnement SPW. <http://eau.wallonie.be/PG3/FR/PGDH3FR.pdf>
- ²⁸ Eurostat. *Share of irrigable and irrigated areas in utilized agricultural area (UAA) by NUTS 2 regions*. <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tai03/default/table?lang=en>

- ²⁹ StatBel, Chiffres agricoles 2020, https://statbel.fgov.be/sites/default/files/files/documents/landbouw/8.1%20Land-%20en%20tuinbouwbedrijven/DBREF-L05-2020-TAB-A-FASE2_FR.xlsx
- ³⁰ Note par F. Paulus sur le Dispositif interne Sécheresse SPW ARNE au 1er juillet 2022
- ³¹ Cour des comptes Européenne. *Le verdissement: complexité accrue du régime d'aide au revenu et encore aucun bénéficiaire pour l'environnement* (2017). https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR17_21/SR_GREENING_FR.pdf
- ³² Dombret, L. (n.d.). Conseils techniques, conseil de saison en maraîchage: Puiser l'eau d'irrigation dans l'environnement: les autorisations nécessaires en Wallonie. <https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2019/12/Puise-de-leau-dans-lenvironnement-les-autorisations-n%C3%A9cessaires-en-Wallonie-Irrigation-Novembre-2019.pdf>
- ³³ Arrêté du Gouvernement wallon exécutant le Titre X/1 relatif à la réparation des dommages causés par des calamités agricoles du code wallon de l'agriculture. ([2017/ 203584]). (2017). Service Public de Wallonie. [https://agriculture.wallonie.be/files/20182/41502/AGW%20du%2031%20mai%202017%20\(MB%20%2007.07.17\).pdf](https://agriculture.wallonie.be/files/20182/41502/AGW%20du%2031%20mai%202017%20(MB%20%2007.07.17).pdf)
- ³⁴ Gouvernement Wallon, Rapport de 2021 du plan stratégique relevant de la PAC, <https://agriculture.wallonie.be/files/20182/39322/Plan%20strat%C3%A9gique%20wallon%20v2%202019%20d%C3%A9cembre%202023.pdf>
- ³⁵ Friedrich T., Derpsch R. & Kassam A., 2012. Overview of the global spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Sci. Rep.* **6**(1 SPL).
- ³⁶ Derpsch R., Friedrich T., Kassam A. & Hongwen L., 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* **3**(1), 1–25, DOI:10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025.
- ³⁷ Scopel E., Triomphe B., Affholder F., Da Silva F.A.M., Corbeels M., Xavier J.H.V., Lahmar R., Recous S., Bernoux M., Blanchart E., de Carvalho Mendes I. & De Tourdonnet S., 2013. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **33**(1), 113–130, DOI:10.1007/s13593-012-0106-9.
- ³⁸ Jean Pierre Sarthou (2020). Performances agro-écologiques. https://wiki.tripleperformance.fr/wiki/Performances_agro-%C3%A9cologiques,_par_Jean-Pierre_Sarthou
- ³⁹ Aspar J. é Feuillet S., 2019. Pratiques et systèmes agricoles résilients en condition de sécheresse . Quels leviers agroécologiques pour les agriculteurs du bassin Seine-Normandie ? *Agro Paris Tech* https://www.eau-seine-normandie.fr/sites/public_file/inline-files/Rapport-final-Pratiques-et-systemes-agricoles-resilients-en-conditions-de-secheresse.pdf

- ⁴⁰ Özdemir, C. (2022). *L'agriculture biologique en Allemagne*. Ministère fédéral de l'alimentation et de l'agriculture. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/French/agriculture-biologique-allemande.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- ⁴¹ Boutsen R., Artru S., Claessens H., Dufrêne M., Reubens B., Garré S. & Lassois L., 2016. L'agroforesterie en Belgique : atouts et freins dans le paysage agricole moderne. *Forêt.Nature* (136), 12–22.
- ⁴² Anderson L.S. and S., 1993. Ecological interactions in agroforestry systems.
- ⁴³ Oosterbaan A. & Kuiters A.T., 2009. Agroforestry in the Netherlands. In: Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J., Mosquera-Losada, M.R. eds. *Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects*, Advances in Agroforestry. Dordrecht: Springer Netherlands, 331–341.
- ⁴⁴ TRANSAGROFOREST projet interreg. (2019) La Sécheresse un nouveau défi. <https://www.transagroforest.eu/fr/documentation/publication/14:secheresse-un-nouveau-defi>
- ⁴⁵ NTF. FAQ Bail à ferme. <https://ntf.be/5-faq-bail-ferme>
- ⁴⁶ AWAF. La réglementation en Wallonie. <https://www.awaf.be/>
- ⁴⁷ Sébillotte M., 1974. Agronomie et agriculture : essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cah ORSTOM, Sér. Biol.* (24), 3–25.
- ⁴⁸ Walia, M., 2021. Basics of Crop Management, Extension, University of Nevada, Reno, FS-21-07
- ⁴⁹ Rawls W.J., Pachepsky Y.A., Ritchie J.C., Sobecki T.M. & Bloodworth H., 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, Quantifying agricultural management effects on soil properties and processes **116**(1), 61–76, DOI:10.1016/S0016-7061(03)00094-6.
- ⁵⁰ Wood S.A. & Bowman M., 2021. Large-scale farmer-led experiment demonstrates positive impact of cover crops on multiple soil health indicators. *Nat Food* 2(2), 97–103, DOI:[10.1038/s43016-021-00222-y](https://doi.org/10.1038/s43016-021-00222-y).
- ⁵¹ Carter, M. D., & Sanderson, J. (2001). Influence of conservation tillage and rotation length on potato productivity, tuber disease and soil quality parameters on a fine sandy loam in eastern Canada. *Soil & Tillage Research*, 63(1–2), 1–13. [https://doi.org/10.1016/s0167-1987\(01\)00224-0](https://doi.org/10.1016/s0167-1987(01)00224-0)
- ⁵² Griffin, T. J., Larkin, R. P., & Honeycutt, C. W. (2009). Delayed Tillage and Cover Crop Effects in Potato Systems. *American Journal of Potato Research*, 86(2), 79–87. <https://doi.org/10.1007/s12230-008-9050-2>
- ⁵³ Larkin, R. P. (2022). Long-Term Effects of Compost Amendments and Brassica Green Manures in Potato Cropping Systems on Soil and Crop Health and Productivity. *Agronomy*, 12(11), 2804. <https://doi.org/10.3390/agronomy12112804>
- ⁵⁴ Chapagain T., Lee E.A. & Raizada M.N., 2020. The Potential of Multi-Species Mixtures to Diversify Cover Crop Benefits. *Sustainability* 12(5), 2058, DOI:[10.3390/su12052058](https://doi.org/10.3390/su12052058).

-
- ⁵⁵ Shah A.N., Tanveer M., Shahzad B., Yang G., Fahad S., Ali S., Bukhari M.A., Tung S.A., Hafeez A. & Souliyanonh B., 2017. Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **24**(11), 10056–10067, DOI:10.1007/s11356-017-8421-y.
- ⁵⁶ Van Stappen F., Loriers A., Mathot M., Planchon V., Stilmant D. & Debode F., 2015. Organic Versus Conventional Farming: The Case of wheat Production in Wallonia (Belgium). *Agric. Agric. Sci. Procedia* **7**, 272–279, DOI:10.1016/j.aaspro.2015.12.047.
- ⁵⁷ Terraé Agroécologie. (2022, November 21). *Webinaire : matière organique des sols et intérêts agronomiques* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=DrFDMatcQQk>
- ⁵⁸ Ball B.C., Bingham I., Rees R.M., Watson C.A. & Litterick A., 2005. The role of crop rotations in determining soil structure and crop growth conditions. *Can. J. Soil Sci.* **85**(5), 557–577, DOI:10.4141/S04-078.
- ⁵⁹ Lenssen A.W., Sainju U.M., Jabro J.D., Allen B.L. & Stevens W.B., 2018. Dryland Pea Production and Water Use Responses to Tillage, Crop Rotation, and Weed Management Practice. *Agron. J.* **110**(5), 1843–1853, DOI:10.2134/agronj2018.03.0182.
- ⁶⁰ Sainju U.M., Lenssen A.W., Allen B.L., Jabro J.D. & Stevens W.B., 2021. Crop water and nitrogen productivity in response to long-term diversified crop rotations and management systems. *Agric. Water Manag.* **257**, 107149, DOI:10.1016/j.agwat.2021.107149.
- ⁶¹ Studdert G.A. & Echeverría H.E., 2000. Crop Rotations and Nitrogen Fertilization to Manage Soil Organic Carbon Dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **64**(4), 1496–1503, DOI:10.2136/sssaj2000.6441496x.
- ⁶² Braun, M. B., Schmidt, H. H., & Grundler, T. (2009). *Vergleich verschiedener Klee-Gras-Mischungen anhand der Wurzel- und Sprossleistung*. https://core.ac.uk/display/10929005?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1
- ⁶³ AZUR MULTIMEDIA Jacques THOMAS, Francis THOMAS. (n.d.). *Caractéristiques des principales espèces fourragères : la luzerne*. <http://www.plantesfourrageres.org/pages/luzerne.htm>
- ⁶⁴ Nihoul, P., De Toffoli, M., Oost, J-F, « Récolter une culture dérobée avant maïs », Agriwalinfo, <https://agriculture.wallonie.be/documents/20182/135052/R%C3%A9colter+une+culture+d%C3%A9rob%C3%A9e+avant+ma%C3%AFs+%284%29.pdf/9c567760-85c6-41c0-b6d0-33645fd87fc0>
- ⁶⁵ Webber H., Ewert F., Olesen J.E., Müller C., Fronzek S., Ruane A.C., Bourgault M., Martre P., Ababaei B., Bindi M., Ferrise R., Finger R., Fodor N., Gabaldón-Leal C., Gaiser T., Jabloun M., Kersebaum K.-C., Lizaso J.I., Lorite I.J., Manceau L., Moriondo M., Nendel C., Rodríguez A., Ruiz-Ramos M., Semenov M.A., Siebert S., Stella T., Stratonovitch P., Trombi G. & Wallach D., 2018. Diverging importance of drought stress for maize and winter wheat in Europe. *Nature Communications* **9**(1), DOI:10.1038/s41467-018-06525-2.
- ⁶⁶ Weih M., Karley A.J., Newton A.C., Kiær L.P., Scherber C., Rubiales D., Adam E., Ajal J., Brandmeier J., Pappagallo S., Villegas-Fernández A., Reckling M. & Tavoletti S., 2021. Grain Yield Stability of Cereal-Legume Intercrops Is Greater Than Sole Crops in More Productive Conditions. *Agriculture* **11**(3), 255, DOI:10.3390/agriculture11030255.

-
- ⁶⁷ Weih M., Mínguez M.I. & Tavoletti S., 2022. Intercropping Systems for Sustainable Agriculture. *Agriculture* **12**(2), 291, DOI:10.3390/agriculture12020291.
- ⁶⁸ Kandel H.J., Samarappuli D.P., Johnson K.L. & Berti M.T., 2021. Soybean Relative Maturity, Not Row Spacing, Affected Interseeded Cover Crops Biomass. *Agriculture* **11**(5), 441, DOI:10.3390/agriculture11050441.
- ⁶⁹ Brouwer, C. & Heibloem, M., 1986. Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. Training Manual 3, Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/s2022e/s2022e07.htm>
- ⁷⁰ C. Sohier & A. Degré, 2021. Modélisation prospective des impacts des pratiques agricoles sur la qualité du cycle de l'eau en Wallonie « Programme de recherche AQUAMOD » [https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/268297/1/AQUAMOD %20Rapport Final.pdf](https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/268297/1/AQUAMOD_%20Rapport_Final.pdf)
- ⁷¹ Lahlou O. & Ledent J.-F., 2005. Root mass and depth, stolons and roots formed on stolons in four cultivars of potato under water stress. *Eur. J. Agron.* **22**(2), 159–173, DOI:10.1016/j.eja.2004.02.004.
- ⁷² Hassanpanah D., 2010. Evaluation of Potato Cultivars for Resistance Against Water Deficit Stress Under In Vivo Conditions. *Potato Res.* **53**(4), 383–392, DOI:10.1007/s11540-010-9179-5.
- ⁷³ Abras M., Abdallah F.B., Boreux M., César V., Morelle M., Ryckmans D. & Soete A., 2020. Pommes de terre robustes en agriculture biologique : essai varietal.
- ⁷⁴ Quenin Hélène. 2020. Stress hydrique: les semenciers aux petits soins, <https://www.terre-net.fr/varietes-de-mais/article/165548/varietes-de-mais-grain-stress-hydrique-les-semenciers-aux-petits-soins>
- ⁷⁵ Portail adaptation à la sécheresse, SPW Agriculture, Sorgho, <https://agriwalinfo.wixsite.com/website-1/sorgho>
- ⁷⁶ YAZLIK A. & ÜREMİŞ İ., 2022. Impact of Sorghum halepense (L.) Pers. on the Species Richness in Native Range. *Phytoparasitica* **50**(5), 1107–1122, DOI:10.1007/s12600-022-00992-6.
- ⁷⁷ SorghumID, Le sorgho Fourager, [https://www.sorghum-id.com/content/uploads/2017/10/Synthese Sorgho Fourager FR.pdf](https://www.sorghum-id.com/content/uploads/2017/10/Synthese_Sorgho_Fourager_FR.pdf)
- ⁷⁸ CIPF, La silphie, <https://cipf.be/fr/silphie>
- ⁷⁹ Desmet Florence, Nihoul Philippe & Doyen Liliane. 2022. Des essais à suivre sur une nouvelle culture qui tolère les stress hydriques. <https://agriculture.wallonie.be/documents/20182/135052/article-Silphie.pdf/db594274-d867-4e06-a260-01348755ca23>
- ⁸⁰ Kassam A., Friedrich T., Shaxson F. & Pretty J., 2009. The spread of conservation agriculture: Justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* **7**(4), 292–320, DOI:10.3763/ijas.2009.0477.
- ⁸¹ Vankeerberghen A. & Stassart, 2014. Sustainable Agriculture and Soil: comparative study of strategies for managing the integrated quality of agricultural soils in different regions of Europe / Belgium, France, Netherlands - WP 5 - Belgian Case Study L'agriculture de conservation des sols en Région wallonne.
- ⁸² Panagea I.S., Apostolakis A., Berti A., Bussell J., Čermak P., Diels J., Elsen A., Kusá H., Piccoli I., Poesen J., Stoate C., Tits M., Toth Z. & Wyseure G., 2022. Impact of agricultural management on soil aggregates and associated organic carbon fractions: analysis of long-term experiments in Europe. *SOIL* **8**(2), 621–644, DOI:10.5194/soil-8-621-2022.

- ⁸³ Cannell R.Q., 1985. Reduced tillage in north-west Europe—A review. *Soil Tillage Res.*, Reduce Tillage-Rational Use in Sustained Production, **15**(2), 129–177, DOI:10.1016/0167-1987(85)90028-5.
- ⁸⁴ Schneider F., Don A., Hennings I., Schmittmann O. & Seidel S.J., 2017. The effect of deep tillage on crop yield – What do we really know? *Soil Tillage Res.* **174**, 193–204, DOI:10.1016/j.still.2017.07.005.
- ⁸⁵ Peigné J., Vian J.-F., Payet V. & Saby N.P.A., 2018. Soil fertility after 10 years of conservation tillage in organic farming. *Soil Tillage Res.* **175**, 194–204, DOI:10.1016/j.still.2017.09.008.
- ⁸⁶ Hobson D., Harty M., Tracy S.R. & McDonnell K., 2022. The effect of tillage depth and traffic management on soil properties and root development during two growth stages of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *SOIL* **8**(1), 391–408, DOI:10.5194/soil-8-391-2022.
- ⁸⁷ Gao Y., Dang X., Yu Y., Li Y., Liu Y. & Wang J., 2016. Effects of Tillage Methods on Soil Carbon and Wind Erosion. *Land Degrad. Dev.* **27**(3), 583–591, DOI:10.1002/ldr.2404.
- ⁸⁸ Batey T., 2009. Soil compaction and soil management - A review. *Soil Use Manag.* **25**(4), 335–345, DOI:10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x.
- ⁸⁹ Barzegar, A., Mossavi, M. P., Asoodar, M., & Herbert, S. J. (2004). Root Mass Distribution of Winter Wheat as Influenced by Different Tillage Systems in Semi Arid Region. *Journal of Agronomy*, **3**(3), 223–228. <https://doi.org/10.3923/ja.2004.223.228>
- ⁹⁰ Verbist, K., Cornelis, W., Schiettecatte, W., Oltenfreiter, G., Van Meirvenne, M., & Gabriëls, D. (2007). The influence of a compacted plow sole on saturation excess runoff. *Soil & Tillage Research*, **96**(1–2), 292–302. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.07.002>
- ⁹¹ Rawls W.J., Pachepsky Y.A., Ritchie J.C., Sobecki T.M. & Bloodworth H., 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, Quantifying agricultural management effects on soil properties and processes **116**(1), 61–76, DOI:10.1016/S0016-7061(03)00094-6.
- ⁹² *Accueil - Fiwap - Filière wallonne de la pomme de terre.* (2022, May 10). Fiwap - Filière Wallonne De La Pomme De Terre. <https://fiwap.be/>
- ⁹³ CIPF. Le maïs en Wallonie. <https://cipf.be/fr/mais/mais-en-wallonie>
- ⁹⁴ Boone F.R., 1988. Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. *Soil Tillage Res.*, Proceedings 11th Conference of ISTRO: Tillage and Traffic in Crop Production **11**(3), 283–324, DOI:10.1016/0167-1987(88)90004-9.
- ⁹⁵ Filho O.G., Blanco-Canqui H. & da Silva A.P., 2013. Least limiting water range of the soil seedbed for long-term tillage and cropping systems in the central Great Plains, USA. *Geoderma* **207–208**, 99–110, DOI:10.1016/j.geoderma.2013.05.008.
- ⁹⁶ Alaoui A., Rogger M., Peth S. & Blöschl G., 2018. Does soil compaction increase floods? A review. *J. Hydrol.* **557**, 631–642, DOI:10.1016/j.jhydrol.2017.12.052.

- ⁹⁷ Horton R., Ankeny M.D. & Allmaras R.R., 1994. Chapter 7 - Effects of Compaction on Soil Hydraulic Properties. In: Soane, B.D., van Ouwerkerk, C. eds. *Developments in Agricultural Engineering, Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier, 141–165.
- ⁹⁸ Antille D.L., Chamen W.C.T., Tullberg J.N. & Lal R., 2015. The potential of controlled traffic farming to mitigate greenhouse gas emissions and enhance carbon sequestration in arable land: A critical review. *Trans. ASABE* **58**(3), 707–731, DOI:10.13031/trans.58.11049.
- ⁹⁹ Tullberg J., Antille D.L., Bluett C., Eberhard J. & Scheer C., 2018. Controlled traffic farming effects on soil emissions of nitrous oxide and methane. *Soil Tillage Res.* **176**, 18–25, DOI:10.1016/j.still.2017.09.014.
- ¹⁰⁰ Ngo-Cong D., Antille D.L., Th. van Genuchten M., Nguyen H.Q., Tekeste M.Z., Baillie C.P. & Godwin R.J., 2021. A modeling framework to quantify the effects of compaction on soil water retention and infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **85**(6), 1931–1945, DOI:10.1002/saj2.20328.
- ¹⁰¹ "Map for Europe of Natural Susceptibility of Soils to Compaction", European Commission - Joint Research Centre, 2008; available from ESDAC.jrc.ec.europa.eu
- ¹⁰² Ning T., Liu Z., Hu H., Li G. & Kuzyakov Y., 2022. Physical, chemical and biological subsoiling for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research* **223**, 105490, DOI:[10.1016/j.still.2022.105490](https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105490).
- ¹⁰³ Spoor G., Tijink F.G.J. & Weiskopf P., 2003. Subsoil compaction: Risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil and Tillage Research* **73**(1–2), 175–182, DOI:[10.1016/S0167-1987\(03\)00109-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00109-0).
- ¹⁰⁴ Ishaq M., Ibrahim M., Hassan A., Saeed M. & Lal R., 2001. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: *Soil Tillage Res.* **60**(3), 153–161, DOI:10.1016/S0167-1987(01)00177-5.
- ¹⁰⁵ Schwab E.B., Reeves D.W., Burmester C.H. & Raper R.L., 2002. Conservation Tillage Systems for Cotton in the Tennessee Valley. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **66**(2), 569–577, DOI:10.2136/sssaj2002.5690.
- ¹⁰⁶ Busscher W.J. & Bauer P.J., 2003. Soil strength, cotton root growth and lint yield in a southeastern USA coastal loamy sand. *Soil Tillage Res.* **74**(2), 151–159, DOI:10.1016/j.still.2003.06.002.
- ¹⁰⁷ Sidhu D. & Duiker S.W., 2006. Soil Compaction in Conservation Tillage: Crop Impacts. *Agron. J.* **98**(5), 1257–1264, DOI:10.2134/agronj2006.0070.
- ¹⁰⁸ Radford B.J., Yule D.F., McGarry D. & Playford C., 2007. Amelioration of soil compaction can take 5 years on a Vertisol under no till in the semi-arid subtropics. *Soil Tillage Res.* **97**(2), 249–255, DOI:10.1016/j.still.2006.01.005.
- ¹⁰⁹ Abu-Hamdeh N.H., 2003. Compaction and Subsoiling Effects on Corn Growth and Soil Bulk Density. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **67**(4), 1213–1219, DOI:10.2136/sssaj2003.1213.
- ¹¹⁰ Botta G.F., Tolon-Becerra A., Lastra-Bravo X. & Tourn M., 2010. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max L.*) yields in Argentinean pampas. *Soil Tillage Res.* **110**(1), 167–174, DOI:10.1016/j.still.2010.07.001.
- ¹¹¹ Canarache A., Horn R. & Colibas I., 2000. Compressibility of soils in a long term field experiment with intensive deep ripping in Romania. *Soil and Tillage Research* **56**(3), 185–196, DOI:[10.1016/S0167-1987\(00\)00143-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00143-4).
- ¹¹² Raper R.L., Schwab E.B., Balkcom K.S., Burmester C.H. & Reeves D.W., 2005. Effect of annual, biennial, and triennial in-row subsoiling on soil compaction and cotton yield in Southeastern U.S. silt loam soils. *Applied Engineering in Agriculture* **21**(3), 337–343.

- ¹¹³ Zhang X.C., Guo J., Ma Y.F., Yu X.F., Hou H.Z., Wang H.L., Fang Y.J. & Tang Y.F., 2020. Effects of vertical rotary subsoiling with plastic mulching on soil water availability and potato yield on a semiarid Loess plateau, China. *Soil and Tillage Research* **199**, DOI:[10.1016/j.still.2020.104591](https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104591).
- ¹¹⁴ Raper R.L., Schwab E.B., Balkcom K.S., Burmester C.H. & Reeves D.W., 2005. Effect of annual, biennial, and triennial in-row subsoiling on soil compaction and cotton yield in Southeastern U.S. silt loam soils. *Applied Engineering in Agriculture* **21**(3), 337–343.
- ¹¹⁵ Tian S., Wang Y., Ning T., Li N., Zhao H., Wang B., Li Z. & Chi S., 2014. Continued No-Till and Subsoiling Improved Soil Organic Carbon and Soil Aggregation Levels. *Agronomy Journal* **106**(1), 212–218, DOI:[10.2134/agronj2013.0288](https://doi.org/10.2134/agronj2013.0288).
- ¹¹⁶ Hamilton-Manns M., Ross C.W., Horne D.J. & Baker C.J., 2002. Subsoil loosening does little to enhance the transition to no-tillage on a structurally degraded soil. *Soil and Tillage Research* **68**(2), 109–119, DOI:[10.1016/S0167-1987\(02\)00109-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00109-5).
- ¹¹⁷ Ogbeche O.S., Idowu M.S. & Theophilus E., 2018. Development and performance evaluation of instrumented subsoilers in breaking soil hard-pan. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* **20**(3), 85–96.
- ¹¹⁸ Raper R.L., Schwab E.B., Balkcom K.S., Burmester C.H. & Reeves D.W., 2005. Effect of annual, biennial, and triennial in-row subsoiling on soil compaction and cotton yield in Southeastern U.S. silt loam soils. *Applied Engineering in Agriculture* **21**(3), 337–343.
- ¹¹⁹ Tian S., Wang Y., Ning T., Li N., Zhao H., Wang B., Li Z. & Chi S., 2014. Continued No-Till and Subsoiling Improved Soil Organic Carbon and Soil Aggregation Levels. *Agronomy Journal* **106**(1), 212–218, DOI:[10.2134/agronj2013.0288](https://doi.org/10.2134/agronj2013.0288).
- ¹²⁰ Zhang X.C., Guo J., Ma Y.F., Yu X.F., Hou H.Z., Wang H.L., Fang Y.J. & Tang Y.F., 2020. Effects of vertical rotary subsoiling with plastic mulching on soil water availability and potato yield on a semiarid Loess plateau, China. *Soil and Tillage Research* **199**, DOI:[10.1016/j.still.2020.104591](https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104591).
- ¹²¹ Raper R.L. & Bergtold J.S., 2007. In-row subsoiling: A review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation. *Applied Engineering in Agriculture* **23**(4), 463–471.
- ¹²² Hartmann C., Poss R., Noble A.D., Jongskul A., Bourdon E., Brunet D. & Lesturgez G., 2008. Subsoil improvement in a tropical coarse textured soil: Effect of deep-ripping and slotting. *Soil and Tillage Research* **99**(2), 245–253, DOI:[10.1016/j.still.2008.02.009](https://doi.org/10.1016/j.still.2008.02.009).
- ¹²³ Shaheb, R., Venkatesh, R., & Shearer, S. A. (2021). A Review on the Effect of Soil Compaction and its Management for Sustainable Crop Production. *Journal of Biosystems Engineering*, *46*(4), 417–439. <https://doi.org/10.1007/s42853-021-00117-7>
- ¹²⁴ Ning T., Liu Z., Hu H., Li G. & Kuzyakov Y., 2022. Physical, chemical and biological subsoiling for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research* **223**, 105490, DOI:[10.1016/j.still.2022.105490](https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105490).
- ¹²⁵ Wang X.J., Sale P., Hayden H., Tang C., Clark G. & Armstrong R., 2020. Plant roots and deep-banded nutrient-rich amendments influence aggregation and dispersion in a dispersive clay subsoil. *Soil Biology and Biochemistry* **141**, DOI:[10.1016/j.soilbio.2019.107664](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107664).
- ¹²⁶ Blumenschein T.G., Nelson K.A. & Motavalli P.P., 2019. Changes in subsoil acidity with a new deep vertical lime placement practice for conservation tillage systems. *Journal of Soil and Water Conservation* **74**(5), 426–438, DOI:[10.2489/jswc.74.5.426](https://doi.org/10.2489/jswc.74.5.426).

- ¹²⁷ Zhang Z. & Peng X., 2021. Bio-tillage: A new perspective for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research* **206**, DOI:[10.1016/j.still.2020.104844](https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104844).
- ¹²⁸ Raza A., Friedel J.K., Moghaddam A., Ardakani M.R., Loiskandl W., Himmelbauer M. & Bodner G., 2013. Modeling growth of different lucerne cultivars and their effect on soil water dynamics. *Agricultural Water Management* **119**, 100–110, DOI:[10.1016/j.agwat.2012.12.006](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.12.006).
- ¹²⁹ Guaman V., Båth B., Hagman J., Gunnarsson A. & Persson P., 2016. Short time effects of biological and inter-row subsoiling on yield of potatoes grown on a loamy sand, and on soil penetration resistance, root growth and nitrogen uptake. *European Journal of Agronomy* **80**, 55–65, DOI:[10.1016/j.eja.2016.06.014](https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.06.014).
- ¹³⁰ Lynch J.P. & Wojciechowski T., 2015. Opportunities and challenges in the subsoil: Pathways to deeper rooted crops. *Journal of Experimental Botany* **66**(8), 2199–2210, DOI:[10.1093/jxb/eru508](https://doi.org/10.1093/jxb/eru508).
- ¹³¹ Schjønning P., Lamandé M., Munkholm L.J., Lyngvig H.S. & Nielsen J.A., 2016. Soil precompression stress, penetration resistance and crop yields in relation to differently-trafficked, temperate-region sandy loam soils. *Soil and Tillage Research* **163**, 298–308, DOI:[10.1016/j.still.2016.07.003](https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.003).
- ¹³² Ning T., Liu Z., Hu H., Li G. & Kuzyakov Y., 2022. Physical, chemical and biological subsoiling for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research* **223**, 105490, DOI:[10.1016/j.still.2022.105490](https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105490).
- ¹³³ Ding, D. Z., Feng, H., Zhao, Y. B., He, J., Zou, Y., & Jin, J. (2016). Modifying Winter Wheat Sowing Date as an Adaptation to Climate Change on the Loess Plateau. *Agronomy Journal*, *108*(1), 53–63. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0262>
- ¹³⁴ Sécheresse | Agriwalinfo. (n.d.). Agriwalinfo. <https://agriwalinfo.wixsite.com/website-1>
- ¹³⁵ Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (eds.) (2016). Nature-based Solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland: IUCN. xiii + 97pp.
- ¹³⁶ Le PGDA | PROTECT'eau. (n.d.). <https://www.protecteau.be/fr/le-pgda>
- ¹³⁷ Cellule GISER. (n.d.-a). *Bonnes pratiques pour la gestion du risque de ruissellement en zone rurale*. <https://www.giser.be/wp-content/uploads/2016/10/Giser-brochure-FINAL-partie2.pdf>
- ¹³⁸ Mullan, D., Vandaele, K., Boardman, J., Meneely, J., & Crossley, L. (2016). Modelling the effectiveness of grass buffer strips in managing muddy floods under a changing climate. *Geomorphology*, *270*, 102–120. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.012>
- ¹³⁹ Merot P., 1999. The influence of hedgerow systems on the hydrology of agricultural catchments in a temperate climate. *Agronomie* **19**(8), 655–669, DOI:10.1051/agro:19990801.
- ¹⁴⁰ Rosier I., Diels J., Somers B. & Van Orshoven J., 2023. The impact of vegetated landscape elements on runoff in a small agricultural watershed: A modelling study. *J. Hydrol.* **617**, DOI:10.1016/j.jhydrol.2023.129144.
- ¹⁴¹ Viaud V., Durand P., Merot P., Sauboua E. & Saadi Z., 2005. Modeling the impact of the spatial structure of a hedge network on the hydrology of a small catchment in a temperate climate. *Agric. Water Manag.* **74**(2), 135–163, DOI:10.1016/j.agwat.2004.11.010.

-
- ¹⁴² Bruxelles Environnement, 2016. Guide du bâtiment durable, <https://www.guidebatimentdurable.brussels/noues/avantages-inconvenients-differents-types-noues>
- ¹⁴³ Morandi B., Kail J., Toedter A., Wolter C. & Piégay H., 2017. Diverse Approaches to Implement and Monitor River Restoration: A Comparative Perspective in France and Germany. *Environ. Manage.* **60**(5), 931–946, DOI:10.1007/s00267-017-0923-3.
- ¹⁴⁴ Ioana-Toroimac G., Zaharia L., Minea G. & Moroşanu G.A., 2017. Using a multi-criteria analysis to identify rivers with hydromorphological restoration priority: Braided rivers in the south-eastern Subcarpathians (Romania). *Sci. Total Environ.* **599–600**, 700–709, DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.04.209.
- ¹⁴⁵ Mangeot, P. (Director). (n.d.). *Pourquoi restaurer ?* https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/RecueilHydro_chap1-Pourquoi-restaurer.pdf
- ¹⁴⁶ Benoiste, M., & Delangue, J. (2019). *Les Solutions fondées sur la Nature pour les risques liés à l'eau en France*. UICN Comité français. <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2020/01/sfn-light-ok.pdf>
- ¹⁴⁷ *Guide SafN - ARTISAN: Les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature pour prévenir les risques d'inondation.* (2023). Centre européen de prévention du risque d'inondation. https://www.cepri.net/tl_files/Guides%20CEPRI/Guide_SafN.pdf
- ¹⁴⁸ *Théma commissariat général au développement durable: Les milieux humides et aquatiques continentaux.* (2018). Ministère de la transition écologique et solidaire. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Les%20milieux%20humides%20et%20aquatiques%20continentaux.pdf>
- ¹⁴⁹ Shepard M., 2020. *Water for Any Farm*, Greeley, Colorado, 240.
- ¹⁵⁰ Ward P.J., de Ruiter M.C., Mård J., Schröter K., Van Loon A., Veldkamp T., von Uexkull N., Wanders N., AghaKouchak A., Arnbjerg-Nielsen K., Capewell L., Carmen Llasat M., Day R., Dewals B., Di Baldassarre G., Huning L.S., Kreibich H., Mazzoleni M., Savelli E., Teutschbein C., van den Berg H., van der Heijden A., Vincken J.M.R., Waterloo M.J. & Wens M., 2020. The need to integrate flood and drought disaster risk reduction strategies. *Water Secur.* **11**, 100070, DOI:10.1016/j.wasec.2020.100070.
- ¹⁵¹ F. (2018, November 28). *Mares, zones d'immersion et génie écologique - Naturem.* Naturem. <https://www.naturem-solutions.com/mares-zones-dimmersion-et-genie-ecologique/>
- ¹⁵² Kchouk, S., Vincent, B., Tournebize, J., Imache, A., Billy, C., & Bouarfa, S. (2015b). Les zones tampons humides artificielles pour réduire les pollutions des nappes par les pesticides issus des réseaux de drainage : une innovation en marche ? *HAL (Le Centre Pour La Communication Scientifique Directe)*. <https://doi.org/10.14758/set-revue.2015.17.06>
- ¹⁵³ *La Zone Tampon Humide Artificielle (ZTHA) de Rampillon – Equipe ARTEMHYS.* (n.d.). <https://artemhys.inrae.fr/experimentations-niv1/rampillon>
- ¹⁵⁴ *Urban wetlands | Urban green-blue grids.* (n.d.-b). <https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/urban-wetlands/>

- ¹⁵⁵ *Urban wetland London – London Climate Change Partnership | Urban green-blue grids.* (n.d.). <https://www.urbangreenbluegrids.com/projects/urban-wetland-london-london-climate-change-partnership/>
- ¹⁵⁶ Enfield council, ZSL, & Mayor of london. (n.d.). *Urban wetland design guide: Designing wetlands to improve water quality.* https://membership.zsl.org/sites/default/files/2021_Urban%20Wetlands_FINAL%5B125594%5D.pdf
- ¹⁵⁷ *Urban wetlands | Urban green-blue grids.* (n.d.). <https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/urban-wetlands/>
- ¹⁵⁸ Valé, N., & Renaud, L. (2020). *Les retenues d'eau comme solution d'adaptation au changement climatique ? : Synthèse bibliographique et retours d'expériences.* SIGAL. <https://www.arraa.org/documents-techniques/les-retenues-d-eau-comme-solution-d-adaptation-au-changement-climatique>
- ¹⁵⁹ Douez O., du Peuty J.E., Lepercq D. & Montginoul M., 2020. Developing Substitution Resources as Compensation for Reduced Groundwater Entitlements: The Case of the Poitou Marshes (France). In: Rinaudo, J.-D., Holley, C., Barnett, S., Montginoul, M. eds. *Sustainable Groundwater Management: A Comparative Analysis of French and Australian Policies and Implications to Other Countries*, Global Issues in Water Policy. Cham: Springer International Publishing, 333–353.
- ¹⁶⁰ Vie Publique, *Méga-bassines : sept questions sur ces réserves d'eau pour l'irrigation*, 2023 <https://www.vie-publique.fr/questions-reponses/288035-eau-pour-lirrigation-agricole-les-mega-bassines-en-sept-questions>
- ¹⁶¹ Roger, L., *Retenues collinaires et impacts associés : synthèses des connaissances et exploitation des données existantes*, Mémoire Agro Sup Dijon, 2013, <https://hal.inrae.fr/hal-02598750/document>
- ¹⁶² Martínez-Granados, D., Maestre-Valero, J.F., Calatrava, J. et al. The Economic Impact of Water Evaporation Losses from Water Reservoirs in the Segura Basin, SE Spain. *Water Resour Manage* 25, 3153–3175 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9850-x>
- ¹⁶³ Bendelac, J. (2006). Israël : l'eau à la croisée des chemins. *Confluences En Méditerranée*, N°58(3), 63. <https://doi.org/10.3917/come.058.0063>
- ¹⁶⁴ Belga, *Tiense Suikerraffinaderij en Olympia stellen water ter beschikking*, 03/08/2018, <https://www.landbouwleven.be/3506/article/2018-08-03/tiense-suikerraffinaderij-en-olympia-stellen-water-ter-beschikking>
- ¹⁶⁵ Motteux D., *Tiense Suikerraffinaderij stelt water ter beschikking in extreem droge periode*, 11 augustus 2022 <https://www.tiensesuikerraffinaderij.com/nieuws/tiense-suikerraffinaderij-stelt-water-ter-beschikking-in-extreem-droge-periode>
- ¹⁶⁶ Baele, M., *Recycler les eaux usées pour irriguer les champs : une pratique qui reste timide en Belgique*, 2020, <https://www.rtb.be/article/recycler-les-eaux-usees-pour-irriguer-les-champs-une-pratique-qui-reste-timide-en-belgique-10582013>
- ¹⁶⁷ Belga, *Tuinders nemen irrigatienetwerk rond Ardo in gebruik*, 2019, <https://vilt.be/nl/nieuws/tuinders-nemen-irrigatienetwerk-rond-ardo-in-gebruik>

- ¹⁶⁸ Févia. 2022. Epuration et réutilisation des eaux usées. <https://www.fevia.be/fr/epuration-et-reutilisation-des-eaux-usees>
- ¹⁶⁹ CNRS, *Le dessalement de l'eau de mer*, <https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/dessalEau.html>
- ¹⁷⁰ Lepesant, G. *Le modèle agricole espagnol à l'épreuve du changement climatique*, <https://www.caissedesdepots.fr/blog/article/le-modele-agricole-espagnol-lepreuve-du-changement-climatique>
- ¹⁷¹ Sallet, P. & Vandewynckel, C. *Gestion de l'eau en agriculture biologique*. Biowallonie. Itinéraires BIO 51, mars/avril 2020 <https://www.biowallonie.com/wp-content/uploads/2020/05/La-gestion-de-leau-en-agriculture-biologique-mars-2020.pdf>
- ¹⁷² Serra-Wittling C., Molle B. & Cheviron B., 2019. Plot level assessment of irrigation water savings due to the shift from sprinkler to localized irrigation systems or to the use of soil hydric status probes. Application in the French context. *Agric. Water Manag.* 223, 105682, DOI:10.1016/j.agwat.2019.06.017.
- ¹⁷³ Howell T., 2003. Irrigation Efficiency. *Encycl. Water Sci.*
- ¹⁷⁴ Serra-Wittling C., Molle B. & Cheviron B., 2019. Plot level assessment of irrigation water savings due to the shift from sprinkler to localized irrigation systems or to the use of soil hydric status probes. Application in the French context. *Agric. Water Manag.* 223, 105682, DOI:10.1016/j.agwat.2019.06.017.
- ¹⁷⁵ *L'abissage*. (n.d.). Patrimoine Culturel. <https://patrimoineculturel.cfwb.be/fr/patrimoines-en-fwb/pci-recherche/pcidetails/fwbpci-fiche/labissage/>
- ¹⁷⁶ Tiré de la définition de résilience des systèmes agricoles proposée par le site Dicoagroécologie (source : <https://dicoagroecologie.fr/dictionnaire/resilience-des-systemes-agricoles/>), consulté le 11/12/2023
- ¹⁷⁷ Verhassel, M., & Debussche, B. (2018). *Actieplan water voor land-en tuinbouw 2019-2023*. Departement landbouw en visserij. <https://publicaties.vlaanderen.be/view-file/28637>
- ¹⁷⁸ V. (2021, June 22). *Natte natuur krijgt helft van Blue Deal-investeringen*. <https://vilt.be/nl/nieuws/natte-natuur-krijgt-helft-van-blue-deal-investeringen>
- ¹⁷⁹ *Tous les travaux des groupes de travail du Varenne de l'eau*. (n.d.). Ministère De L'Agriculture Et De La Souveraineté Alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/tous-les-travaux-des-groupes-de-travail-du-varenne-de-leau>
- ¹⁸⁰ Ayphassorho, H., Bertrand, N., Mitteault, F., Pujos, C., Rollin, D., & Sallenave, M. (2020). *Changement climatique, eau, agriculture: Quelles trajectoires d'ici 2050 ?* (Rapport CGEDD n° 012819-01, CGAAER n° 19056).
- ¹⁸¹ Autissier, P., & Jourdir, G. (2022). *Parangonnage sur les techniques et pratiques innovantes de gestion de l'eau en agriculture* (Rapport n° 21045). Ministère de l'agriculture et de l'alimentation.
- ¹⁸² *Conclusions du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique*. (2022). Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/dossier-de-presse-conclusions-du-varenne-agricole-de-leau-et-de-ladaptation-au-changement>

- ¹⁸³ *Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique: Rapport de la thématique 2.* (2022). Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/tous-les-travaux-des-groupes-de-travail-du-varenne-de-leau>
- ¹⁸⁴ *Explore 2070.* (n.d.). Le Portail Technique De L'OFB. <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/44>
- ¹⁸⁵ *Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique : Rapport de la thématique 3.* (2022). Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/tous-les-travaux-des-groupes-de-travail-du-varenne-de-leau>
- ¹⁸⁶ *Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique: Synthèse des présidents.* (2022). Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/tous-les-travaux-des-groupes-de-travail-du-varenne-de-leau>
- ¹⁸⁷ Office français de la biodiversité, *Le projet Life intégré ARTISAN*, <https://www.ofb.gouv.fr/le-projet-life-integre-artisan>
- ¹⁸⁸ Office français de la biodiversité, *Les Fiches REX*, https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/2023-01/14_Fiches_REX_SafN_ARTISAN_06.01.2023_0.pdf
- ¹⁸⁹ Woudwijk, W., & Elzinga, E. (n.d.). *ESRI GIS conferentie 2021* [Slide show]. <https://www.esri.nl/content/dam/distributor-restricted/esri-nl/evenementen/egc21/presentaties/waterbehoefteviewer-rvo.pdf>
- ¹⁹⁰ *Regioscan Zoetwatermaatregelen - Regioscan Zoetwatermaatregelen - Deltares Public Wiki.* (n.d.). <https://publicwiki.deltares.nl/display/regioscan>
- ¹⁹¹ *Regioscan zoetwatermaatregelen. Instrument en achtergrondrapport.* (n.d.). STOWA. <https://www.stowa.nl/publicaties/regioscan>
- ¹⁹² *Bodemdaling veenweidegebied.* (n.d.). HDSR. <https://www.hdsr.nl/buurt/bodemdaling>
- ¹⁹³ *Projecten.* (n.d.-c). Acacia Institute. <https://www.spaarwater.com/pg-27227-7-101986/pagina/projecten.html>
- ¹⁹⁴ *Berekeningssignaal: bespaar!* (n.d.). <https://www.zlto.nl/berekeningssignaal>
- ¹⁹⁵ *Haaksbergen, hergebruik effluent - Waterwinning & Natuur.* (2016, June 9). Waterwinning & Natuur. <http://www.waterwinst.nl/project/bavaria-bierboer-water/>
- ¹⁹⁶ Rivierenland, W. (2023, March 6). *Subsidie waterbesparende maatregelen agrariërs.* Waterschap Rivierenland. <https://www.waterschaprivierenland.nl/subsidie-waterbesparende-maatregelen-agrariers>
- ¹⁹⁷ *BodemUP.* (n.d.). <https://www.zlto.nl/projecten/bodemup>
- ¹⁹⁸ www.rainlevelr.com

- ¹⁹⁹ COASTAR. Over Coastar. <https://www.coastar.nl/over-coastar/>
- ²⁰⁰ Blanc, P., Schwob, B., & Strauss, M. (2022). *Mission de parangonnage sur les politiques d'adaptation au changement climatique*. Inspection générale de l'environnement et du développement durable. https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/014450-01_rapport_cle2e9a14.pdf
- ²⁰¹ Pörtner, H.-O., C. Roberts, D., M.B. Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Algeria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löshke, S., Möller, V., Okem, A., & Rama, B. (Eds.). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf
- ²⁰² Papadaskalopoulou, C., Giannakopoulos, C., Lemosios, G., Zachariou-Dodou, M., & Loizidou, M. (2015). Challenges for water resources and their management in light of climate change: the case of Cyprus. *Desalination and Water Treatment*. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.933619>
- ²⁰³ Di Baldassarre, G., Wanders, N., AghaKouchak, A., Kuil, L., Rangelcroft, S., Veldkamp, T., Garcia, M., Van Oel, P. R., Breinl, K., & Van Loon, A. (2018b). Water shortages worsened by reservoir effects. *Nature Sustainability*, 1(11), 617–622. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0159-0>
- ²⁰⁴ Garnier, M., & Holman, I. P. (2019). Critical Review of Adaptation Measures to Reduce the Vulnerability of European Drinking Water Resources to the Pressures of Climate Change. *Environmental Management*, 64(2), 138–153. <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01184-5>
- ²⁰⁵ Lavrnić, S., Zapater-Pereyra, M., & Mancini, M. (2017). Water Scarcity and Wastewater Reuse Standards in Southern Europe: Focus on Agriculture. *Water Air and Soil Pollution*, 228(7). <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3425-2>
- ²⁰⁶ De Roo, A., et al., 2020: *Assessing the Effects of Water Saving Measures on Europe's Water Resources; BLUE2 Project – Freshwater Quantity*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-9276215363.
- ²⁰⁷ Papadaskalopoulou, C., Katsou, E., Valta, K., Moustakas, K., Malamis, D., & Dodou, M. (2015). Review and assessment of the adaptive capacity of the water sector in Cyprus against climate change impacts on water availability. *Resources Conservation and Recycling*, 105, 95–112. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.017>
- ²⁰⁸ Morote, Á.-F., J. Olcina and M. Hernández, 2019: The use of non-conventional water resources as a means of adaptation to drought and climate change in semi-arid regions: south-eastern Spain. *Water*, 11(1), 93.
- ²⁰⁹ Figure 13.14 AR6 WG2. (n.d.). IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/figures/chapter-13/figure-13-014>

- ²¹⁰ Varela-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., Esteve, P., Bharwani, S., Fronzek, S., & Downing, T. E. (2016). How can irrigated agriculture adapt to climate change? Insights from the Guadiana Basin in Spain. *Regional Environmental Change*, 16(1), 59–70. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0720-y>
- ²¹¹ Manouseli, D., Anderson, B. J., & Nagarajan, M. (2018). Domestic Water Demand During Droughts in Temperate Climates: Synthesising Evidence for an Integrated Framework. *Water Resources Management*, 32(2), 433–447. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1818-z>
- ²¹² Wimmer, F., Audsley, E., Malsy, M., Savin, C., Dunford, R. G., Harrison, P. A., Schaldach, R., & Flörke, M. (2015). Modelling the effects of cross-sectoral water allocation schemes in Europe. *Climatic Change*, 128(3–4), 229–244. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1161-9>
- ²¹³ Salmoral, G., Rey, D., Rudd, A., De Margon, P., & Holman, I. P. (2019). A Probabilistic Risk Assessment of the National Economic Impacts of Regulatory Drought Management on Irrigated Agriculture. *Earth's Future*, 7(2), 178–196. <https://doi.org/10.1029/2018ef001092>
- ²¹⁴ Kayaga, S., & Smout, I. K. (2014). Tariff structures and incentives for water demand management. *Water Management*, 167(8), 448–456. <https://doi.org/10.1680/wama.12.00120>
- ²¹⁵ Esteve, P., C. Varela-Ortega and T.E. Downing, 2018: A stakeholder-based assessment of barriers to climate change adaptation in a water-scarce basin in Spain. *Reg. Environ. Change*, 18(8), 2505–2517.
- ²¹⁶ Crespo, D., Albiac, J., Kahil, T., Esteban, E., & Baccour, S. (2019). Tradeoffs between Water Uses and Environmental Flows: A Hydroeconomic Analysis in the Ebro Basin. *Water Resources Management*, 33(7), 2301–2317. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02254-3>
- ²¹⁷ Papadimitriou, L., Holman, I. P., Dunford, R. G., & Harrison, P. A. (2019). Trade-offs are unavoidable in multi-objective adaptation even in a post-Paris Agreement world. *Science of the Total Environment*, 696, 134027. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134027>
- ²¹⁸ Teotónio, C., Rodríguez, M. a. D., Roebeling, P., & Fortes, P. (2020). Water competition through the ‘water-energy’ nexus: Assessing the economic impacts of climate change in a Mediterranean context. *Energy Economics*, 85, 104539. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104539>
- ²¹⁹ Van Duinen, R., Filatova, T., Geurts, P., & Van Der Veen, A. (2015). Coping with drought risk: empirical analysis of farmers’ drought adaptation in the south-west Netherlands. *Regional Environmental Change*, 15(6), 1081–1093. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0692-y>
- ²²⁰ Rey, D., Holman, I. P., & Knox, J. W. (2017). Developing drought resilience in irrigated agriculture in the face of increasing water scarcity. *Regional Environmental Change*, 17(5), 1527–1540. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1116-6>
- ²²¹ *Water in Spain*. (n.d.). Ministerio de medio ambiente.

https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/water-in-spain_tcm30-527170.pdf

²²² F. (2022, August 8). *Drought forces water use rethink in Spain*. France 24.

<https://www.france24.com/en/live-news/20220808-drought-forces-water-use-rethink-in-spain>

²²³ F. (2022b, August 8). *Drought forces water use rethink in Spain*. France 24.

<https://www.france24.com/en/live-news/20220808-drought-forces-water-use-rethink-in-spain>

²²⁴ B.E.I. Mars 2023, Document d'orientation de la BEI pour le secteur de l'eau - Créer des réseaux d'eau à l'épreuve des changements climatiques, <https://doi.org/10.2867/893663>



Editeur responsable : Bénédicte HEINDRICHS – Avenue du Prince de Liège 15, 5100 Jambes

Dépôt légal : D/2024/11802/105

ISBN : 978-2-8056-0624-3