
Stockage de l'eau dans les sols

Comment optimiser le stockage de l'eau dans les sols du Living Lab de Montpellier ?



Hennequin Laurane
Masson Lucille
Rabbe Juliette
Zhang Lorie

 L'INSTITUT
agro

Chaire partenariale
 **EAU** AGRICULTURE
CHANGEMENT CLIMATIQUE

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons dans un premier temps remercier notre commanditaire la Chaire Partenariale Eau Agriculture et Changement Climatique et principalement l'animatrice Salomé SCHNEIDER, ainsi que David CINIÉ, chef d'Unité Ressources en eau à la Métropole de Montpellier, pour nous avoir fait confiance dans l'élaboration de ce projet, ainsi que pour tout leur accompagnement et pour leurs conseils, en particulier pour la rédaction de ce rapport. Ce travail a pu nous apporter un grand nombre de connaissances et de compétences que nous pourrions revaloriser dans notre future vie professionnelle.

Un grand merci à notre tuteur Gilles BELAUD pour son soutien et ses encouragements, ainsi que pour ses conseils, dans le cadre de la rédaction de ce rapport.

Nous remercions également Olivier HEBRARD, Alain MALARD et Simon RICARD, experts en hydrologie régénérative, pour leur expertise, leurs précieux conseils et explications, de même qu'Aurélié MERCIER, responsable technique production et vignobles Cazes, pour nous avoir accueillies au Clos de Paulilles.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers François COLIN et Nicolas DEVAUX, respectivement, professeurs en hydrologie et en SIG à l'Institut Agro Montpellier, pour leurs conseils relatifs à l'élaboration de nos cartes et l'analyse de données spatialisées, ainsi qu'à Martial SIRIEIX, intervenant en management, pour son aide dans la gestion de notre projet.

Nous voulons également remercier Marie COMAT, chargée de mission protection de la ressource en eau à la Métropole de Montpellier, pour la transmission d'une base de données regroupant la majorité des agriculteurs du Living Lab.

Enfin, nous remercions chaleureusement tous les agriculteurs qui ont accepté de répondre à nos questions, sans qui ce rapport n'aurait pas vu le jour. Merci à eux de nous avoir accueillies et de nous avoir accordé un peu de leur temps, toujours avec gentillesse et attention.

RESUME

Ce rapport a pour but d'étudier l'optimisation du stockage de l'eau dans le sol au niveau d'une zone à forts enjeux agricoles au sein du « Living Lab » de Montpellier, territoire peu voire pas desservi en eau brute, selon les communes concernées.

Un état de l'art est d'abord présenté, en se concentrant notamment sur le terme émergent d'« hydrologie régénérative » et sur les aménagements et pratiques envisageables pour favoriser le stockage de l'eau dans le sol. Il apparaît que la combinaison de certaines de ces pratiques favorise leur efficacité. Pour éviter les maladaptations, il est nécessaire de prendre en compte le contexte du bassin versant concerné.

L'analyse d'entretiens avec des agriculteurs sur la question de la gestion de la ressource en eau permet de faire le lien entre les pratiques et les aménagements expliqués dans la partie précédente et ceux réellement mis en place, les bénéfiques et les freins de leur mise en œuvre. Si le concept d'hydrologie régénérative entend mettre en place des solutions à l'échelle des bassins versants, il apparaît, en pratique, plus simple de réfléchir ces aménagements à l'échelle des exploitations agricoles. Par ailleurs, de nombreux freins ont été évoqués par les agriculteurs, comme les coûts, le temps, la disponibilité du foncier, et le manque d'exemples concrets sur ces aménagements.

Il ressort de notre étude que l'irrigation reste une solution viable à court terme pour les agriculteurs. A long terme, les aménagements et pratiques proposés dans ce rapport pourraient permettre de répondre aux enjeux croissants en lien avec la ressource en eau. Enfin, la collaboration entre les différents acteurs est nécessaire pour un projet d'aménagement à une échelle globale.

GLOSSAIRE

Bassin Versant : ensemble surfacique qui reçoit les eaux qui circulent vers un même cours d'eau ou vers une même nappe d'eau souterraine.

Evapotranspiration : transport de l'eau depuis la surface vers l'atmosphère. L'évapotranspiration correspond à la somme de l'évaporation directe de l'eau du sol et de la transpiration par les plantes.

Living Lab : un ensemble d'acteurs et de parties prenantes qui sont organisés pour permettre l'innovation de manière collaborative, généralement dans un domaine ou une thématique spécifique, également souvent avec un lien fort (voire une spécialisation) avec un territoire donné.

Porte-greffe : plante destinée à recevoir un greffon.

Réserve Utile : quantité d'eau maximale que le sol peut stocker et restituer aux plantes.

Versant : surface topographique inclinée, située entre des points hauts (pics, crêtes, rebord de plateau, sommet d'un relief) et des points bas (pied de versant, talweg).

ACRONYMES

3M : Montpellier Méditerranée Métropole

ACS : Agriculture de Conservation des Sols

BRL : Compagnie d'aménagement du Bas-Rhône et du Languedoc

CIR : Crédits d'Impôts Recherche

CEACC : Chaire Partenariale Eau, Agriculture et Changement Climatique

CNR : Compagnie Nationale du Rhône

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DPV : Déficit de Pression de Vapeur

FAO : Food and Agriculture Organisation

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

HVE : Haute Valeur Environnementale

I : Infiltrer

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement

MedECC : Mediterranean Experts on Climate and environmental Change

MO : Matière Organique

MOS : Matière Organique du Sol

MES : Matières En Suspension

PPAM : Plantes à Parfum Aromatiques et Médicinales

QGIS / logiciel SIG : Système d'Information Géographique

QMNA5 : Débit (Q) Mensuel (M) Minimal (N) Annuel (A) qui ne se produit qu'une année sur cinq (5).

REUSE : Réutilisation des eaux usées

RPG : Registre Parcellaire Graphique

RU : Réserve Utile

Ra : Ralentir

Ré : Répartir

S : Stocker

SAU : Surface Agricole Utile

SOMMAIRE

Remerciements.....	2
Résumé.....	3
Glossaire.....	4
Acronymes.....	5
Introduction.....	10
Partie 1 : Présentation de la zone d'étude.....	13
Partie 2 : Etude bibliographique.....	16
1. Méthodologie.....	16
2. Influences du changement climatique sur le cycle de l'eau verte et intérêt de stocker l'eau dans les sols.....	17
3. Régénérer le cycle de l'eau naturel.....	18
4. Hydrologie régénérative.....	19
4.1. Définition du concept.....	19
4.2. Objectifs.....	19
4.3. Origine du concept.....	20
5. Pratiques et aménagements pour optimiser le stockage de l'eau dans les sols.....	23
5.1. Echelle de la parcelle.....	23
5.2. A l'échelle du bassin versant.....	33
Partie 3 : Etude des entretiens.....	39
1. Méthode.....	39
1.1. Rédaction du questionnaire.....	39
1.2. Prise de contact.....	39
1.3. Réalisation des entretiens.....	40
1.4. Analyse des données récoltées.....	40
2. Description du panel.....	40
2.1. Localisation de l'étude.....	40
2.2. Typologie de production.....	41
2.3. Certifications.....	42
2.4. Rendements et valorisation de la production.....	42
2.5. Environnement des parcelles – spatialisation / topographie / haies.....	43

2.6. Pratiques	44
3. Des avis variés sur l'irrigation	45
4. Une inquiétude grandissante pour le futur	46
5. Adaptations pour faire face au changement climatique	47
5.1 Adaptation de la culture	47
5.2 Pratiques et aménagements pour s'adapter au changement climatique ...	48
5.3 Efficience de la gestion de l'eau des exploitants	52
6. Ouverture : vers une gestion intégrée	52
7. Conclusion	54
Partie 4 : Discussion	55
Conclusion et perspectives	58

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Changements observés en matière de températures et de précipitations.....	10
Figure 2 : Graphique présentant l'évolution des précipitations moyennes annuelles à Montpellier sur la période 1950-2022.....	11
Figure 3 : Part des différentes cultures sur le territoire du Living Lab.....	13
Figure 4 : RPG complété des communes du Living Lab et réseaux d'irrigation	14
Figure 5 : Potentialité agricole des sols des communes du Living Lab.....	15
Figure 6 : Réserve utile des sols des communes du Living Lab	15
Figure 7 : Altitudes et hydrographie des sous-bassins versants du Living Lab.....	15
Figure 8 : Transferts d'eaux de pluie.....	17
Figure 9 : Le stockage de l'eau dans le sol est une stratégie d'adaptation pour améliorer la résilience des exploitations agricoles vis-à-vis du changement climatique	18
Figure 10 : Echelle de permanence de P. A. Yeomans	20
Figure 11 : Présentation des interconnexions entre les différents facteurs influençant le taux d'infiltration et l'humidité des sols, ainsi que leurs résultats en matière d'agriculture régénérative.....	21
Figure 12 : Illustration de l'influence des pratiques de régénération des sols favorisant l'infiltration et la rétention de l'eau dans le sol.....	22
Figure 13 : la composition de 2 systèmes basés sur le Rain Water Harvesting.....	23
Figure 14 : Photo prise dans les Pyrénées Orientales, sur une parcelle avec des aménagements hydrauliques favorisant la collecte des eaux de pluie.	23
Figure 15 : Exemples d'associations de fascine et haie seuls (a), fascine-haie-bande enherbée (b) et fascine-haie-bande boisée (c).....	32
Figure 16 : Détermination du point clé n°1	35
Figure 17 : Schéma explicatif du keyline design.....	35
Figure 18 : Projet d'installation d'une parcelle du Clos Saint-Michel selon le modèle des keylines.....	36
Figure 19 : Vue aérienne de vignes plantées selon les courbes de niveau (Keyline design) (1) et de vignes plantées de manière conventionnelle (2).....	36
Figure 20 : Fossé en amont de la parcelle pour ralentir l'eau, lui laisser le temps de s'infiltrer et l'évacuer pour éviter l'érosion.....	36
Figure 21 : Mare tampon où les eaux de ruissellement peuvent être stocker	36
Figure 22 : Travaux au village de Tamera.....	37
Figure 23 : Exemple de paysage transformé grâce au défi "Water cup" de la fondation Paani dans l'Etat de Maharashtra en Inde	38
Figure 24 : Localisation des agriculteurs interrogés dans le cadre de notre étude	41
Figure 25 : Répartition (en nombre d'exploitation) des typologies de cultures parmi les agriculteurs interrogés.....	41
Figure 26 : Certifications des exploitations agricoles des personnes interrogées.....	42
Figure 27 : Nombre d'exploitations par catégories de rendement (en hL/ha)	43
Figure 28 : Topographie des différentes exploitations.	43

Figure 29 : répartition des parcelles au sein d'une même exploitation.	44
Figure 30 : Nombre d'exploitations réalisant un travail du sol ou non, qu'il soit passé ou actuel.	44
Figure 31 : Nombre d'agriculteurs ayant mis en place des couvertures végétales sur leur culture principale (viticulture ou arboriculture)	45
Figure 32 : Graphique montrant la répartition de l'avis des agriculteurs sur l'irrigation	46
Figure 33 : Nuage de mots de l'avis des agriculteurs sur l'irrigation et leurs justifications	46
Figure 34 : Inquiétude relative à la tension sur la ressource en eau estimée par les agriculteurs.....	47
Figure 35 : Comparaison des pratiques et aménagements mentionnés et de ceux mis en place.....	49
Figure 36 : Evaluation personnelle des agriculteurs de l'efficacité de leurs pratiques actuelles en matière de gestion de l'eau.....	52
Figure 37 : Réponse des agriculteurs sur leur connaissance du terme "Hydrologie régénérative" et leur avis sur la coopération.....	53
Figure 38 : Perspectives d'évolution du projet.....	58

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Signification des codes RU	15
Tableau 2 : Inventaire de méthodes pour favoriser le ralentissement (Ra), la répartition (Ré), l'infiltration (I) et le stockage (S) de l'eau dans les sols.....	25
Tableau 3 : Aménagements et pratiques mis en place par les agriculteurs, leurs effets positifs sur les cultures et les difficultés auxquelles ils ont fait face.....	50
Tableau 4 : Raisons pour lesquelles les aménagements et pratiques ne sont pas mis en place par les agriculteurs.	51

INTRODUCTION

Dans son rapport spécial de 2019, le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) estime un **réchauffement planétaire d'environ 1 °C au-dessus des niveaux préindustriels** dû aux activités humaines, avec une fourchette probable allant de 0,8 °C à 1,2 °C (Masson-Delmotte et al., 2019). Les études menées montrent, avec un degré de confiance élevé, que le réchauffement planétaire atteindra probablement **1,5 °C entre 2030 et 2052** s'il continue d'augmenter au rythme actuel. Le rapport souligne le fait que l'ampleur des conséquences du changement climatique est variable en fonction des régions considérées. Ainsi, d'après le GIEC, les principaux risques associés au changement climatique sont :

- Une augmentation de la température moyenne dans la plupart des régions continentales et océaniques ;
- Des chaleurs extrêmes dans la plupart des zones habitées ;
- Des épisodes de fortes précipitations dans plusieurs régions ;
- Des sécheresses et des déficits de précipitations probables dans certaines régions.

D'après le rapport du réseau indépendant MedECC (Mediterranean Experts on Climate and Environmental Change) (MedECC, 2020), **la rapidité du changement climatique dans le bassin méditerranéen est supérieure aux tendances mondiales** (Figure 1). Cela se traduit par une diminution de la pluviométrie et des recharges des nappes d'eau souterraines, une augmentation de la demande en eau pour les cultures et des conflits pour les usages de l'eau. Le rapport met en évidence, pour le contexte méditerranéen, **l'augmentation des températures** et **la diminution des précipitations**, et ce pour la partie Nord du bassin notamment. Le bassin est particulièrement concerné par la hausse des températures, puisque "les températures moyennes annuelles sont aujourd'hui 1,54 °C au-dessus du niveau de 1860-1890 pour les zones terrestres et marines, c'est-à-dire 0,4 °C supérieures au changement moyen mondial".

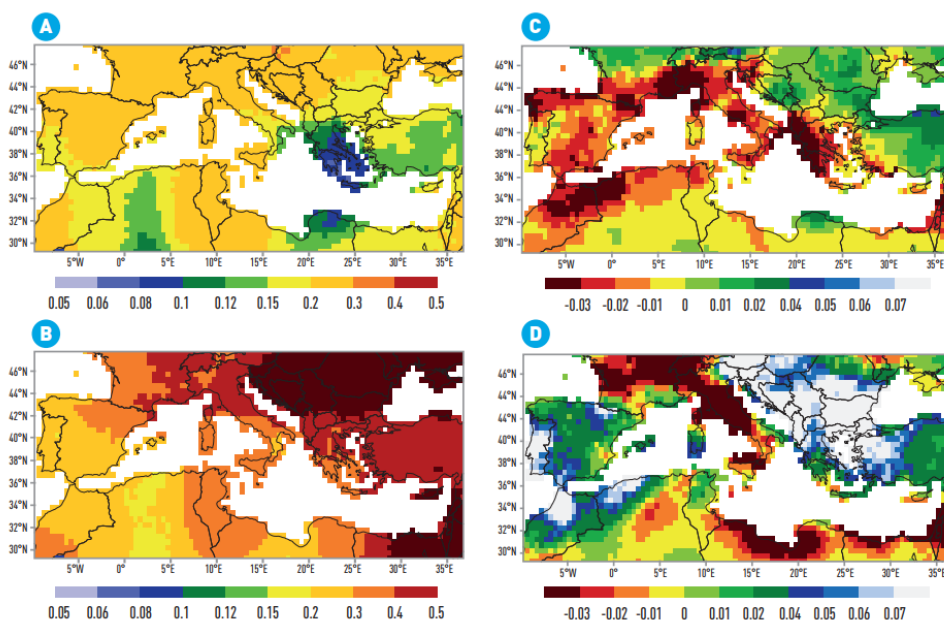


Figure 1 : Changements observés en matière de températures et de précipitations. Tendances récentes en matière de températures (A et B, °C par décennie) et précipitations (C et D, mm par jour par décennie) dans le bassin méditerranéen sur les terres. Cartes A & C moyenne pour la période 1950-2018, cartes B & D pour 1980-2018. Source : MedECC

Le projet Explore2070, et plus particulièrement l'étude menée sur l'hydrologie de surface retrace l'évolution des anomalies calculées entre les simulations futures (2046-65) et les

simulations passées sur une période de référence (1961-90) (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012). Sur le bassin hydrographique Rhône-Méditerranée-Corse, les calculs permettent de mettre en évidence les éléments suivants :

- Une diminution de 0 à 15 % concernant les précipitations annuelles, avec une augmentation de l'évapotranspiration de 5 à 30 % ;
- Sur la majeure partie du district, les débits moyens annuels diminueraient de l'ordre de 10 à 40 % ;
- Les débits d'étiages sont fortement variables selon les bassins versants. Pour le bassin méditerranéen, le QMNA5 pourrait diminuer de 10 à 60 %.

Il est possible d'obtenir des informations sur le changement climatique à une échelle plus locale, comme c'est le cas par exemple à l'échelle de la ville de Montpellier. Les données de Météo France par exemple, permettent de visualiser les précipitations annuelles de cette dernière sur la période 1950-2022. Le graphique qui suit présente les précipitations cumulées (en mm) par année pour la station de Montpellier entre 1950 et 2022 au regard des besoins minimaux en eau de la vigne (500 mm/an selon la FAO) (Figure 2), culture prépondérante et patrimoniale du bassin méditerranéen. On observe une diminution des précipitations annuelles en moyenne, avec une augmentation de la fréquence des années avec des précipitations moyennes inférieures aux besoins hydriques annuels de la vigne.

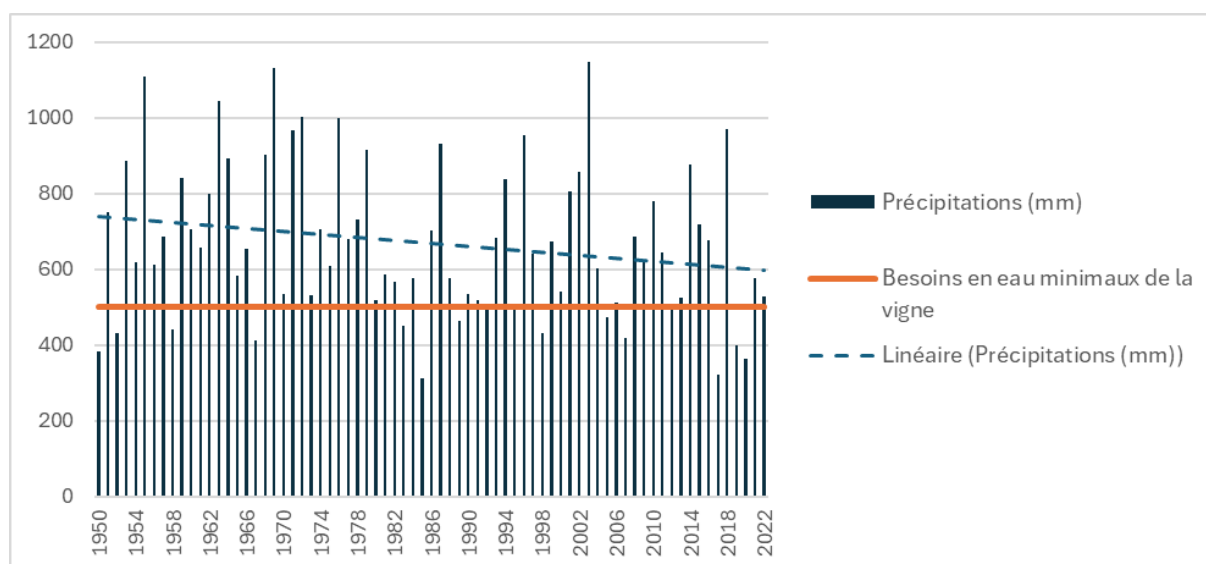


Figure 2 : Graphique présentant l'évolution des précipitations moyennes annuelles à Montpellier sur la période 1950-2022. Source : Météo France, FAO

A l'échelle du bassin méditerranéen, mais aussi à l'échelle plus réduite de Montpellier, ces éléments mettent en évidence le contexte climatique changeant dans lequel les cultures vont évoluer. Ils nous confirment ainsi l'importance de mettre en place des systèmes agricoles résilients face à ces changements climatiques, notamment vis-à-vis de la ressource en eau. Le stockage de l'eau dans le sol est un levier qui peut être envisagé puisqu'il permet de gérer l'incertitude et la variabilité du climat en permettant, par exemple, de pallier le manque de précipitations notamment lors des périodes de forte demande, ce qui est essentiel pour renforcer la résilience au changement climatique des exploitations (FAO, 2021).

Définition - Le stockage de l'eau dans les sols

Le stockage de l'eau dans le sol correspond à la quantité d'eau retenue dans le sol. D'un point de vue agronomique, on peut rapprocher ce stockage de la réserve utile RU (quantité maximale d'eau qu'un sol peut stocker et restituer aux plantes). On distingue :

- La Réserve Facilement Utilisable (RFU) : partie de la RU facilement mobilisable par les plantes ;
- La Réserve Difficilement Utilisable (RDU) : partie de la RU difficilement mobilisable par les plantes.

On a la relation :

$$RU = RDU + RFU$$

La réserve utile varie selon les **caractéristiques physico-chimiques** des sols :

- Profondeur du sol ;
- Texture (influence sur la capacité de rétention en eau du sol) ;
- Eléments grossiers (graviers, cailloux, pierres) ;
- Structure ;
- Matière organique ;
- pH.

Toutes ces caractéristiques influencent les **propriétés hydriques** des sols, qui ont un impact direct sur le stockage de l'eau et son accessibilité pour les plantes :

- Capacité d'infiltration ;
- Taille du réservoir ;
- Connectivité des pores.

Le projet s'inscrit dans ce cadre de ressources en eau contraintes, et ce plus particulièrement à l'échelle de Montpellier Méditerranée Métropole (3M). Ce projet ingénieur a été commandité par la Chaire Partenariale Eau, Agriculture et Changement Climatique (EACC) et a également été suivi par la Métropole de Montpellier. Créée en 2021, cette chaire associe pouvoirs publics, recherche, entreprises et formations afin de mettre en place une réflexion et des actions concertées autour des enjeux en lien avec la ressource en eau dans les territoires méditerranéens, fortement touchés par les conséquences du changement climatique.

Le Schéma Directeur en Eau Brute de la 3M qui présente les zones d'intérêt stratégiques pour le développement de l'irrigation, a permis d'identifier 12 communes de la Métropole comme étant non desservies par les réseaux d'irrigation (définissant ainsi un "Living Lab"). C'est sur ces 12 communes que se concentre le projet qui s'étale sur sept semaines, réparties de novembre 2023 à mars 2024. Ce rapport a pour but de répondre à la problématique suivante :

Comment optimiser le stockage de l'eau dans les sols du Living Lab de Montpellier ?

Il présente d'abord le contexte géographique du Living Lab, puis un état de l'art bibliographique sur la question de l'optimisation du stockage de l'eau dans les sols, et enfin une synthèse d'enquêtes réalisées auprès d'agriculteurs de la zone concernée.

PARTIE 1

Présentation de la zone d'étude

Dans le cadre du défi Clé Water Occitanie¹ sont mis en place des "Living Lab" qui sont définis comme : "Un ensemble d'acteurs et de parties prenantes qui sont organisés pour permettre l'innovation de manière collaborative, généralement dans un domaine ou une thématique spécifique, également souvent avec un lien fort (voire une spécialisation) avec un territoire donné."

Le Living Lab de la Métropole de Montpellier intègre 12 communes agricoles qui ne sont quasiment pas desservies en eau brute et où l'irrigation n'est donc peu voire pas mise en place : Cournonterral, Grabels, Juvignac, Lavérune, Montaud, Montferrier-sur-Lez, Murviel-lès-Montpellier, Pignan, Prades-le-Lez, Saint-Georges-d'Orques, Saint-Jean-de-Védas, et Saussan. Ainsi, cette zone est au cœur d'enjeux agricoles forts, notamment en matière de gestion de l'eau, et un développement des connaissances ainsi qu'une recherche d'innovations y sont nécessaires pour permettre le maintien et l'adaptation de l'activité agricole.

Le principal objectif de ce Living Lab est d'assurer la durabilité agricole du territoire, et ce sans accentuer la tension sur la ressource en eau. Il est porté par un comité de pilotage composé de chercheurs et d'acteurs du territoire qui font remonter les besoins et problématiques pour les traduire en sujets de recherche.

La grande majorité de la SAU du Living Lab est occupée par des vignes (38 %) et des prairies/estives et landes (45 %) (Figure 3). L'arboriculture fait également partie intégrante du paysage avec les vergers et les oliveraies (respectivement 1 et 2 % de la SAU). Les cultures céréalières occupent quant à elles 5 % de cette surface.

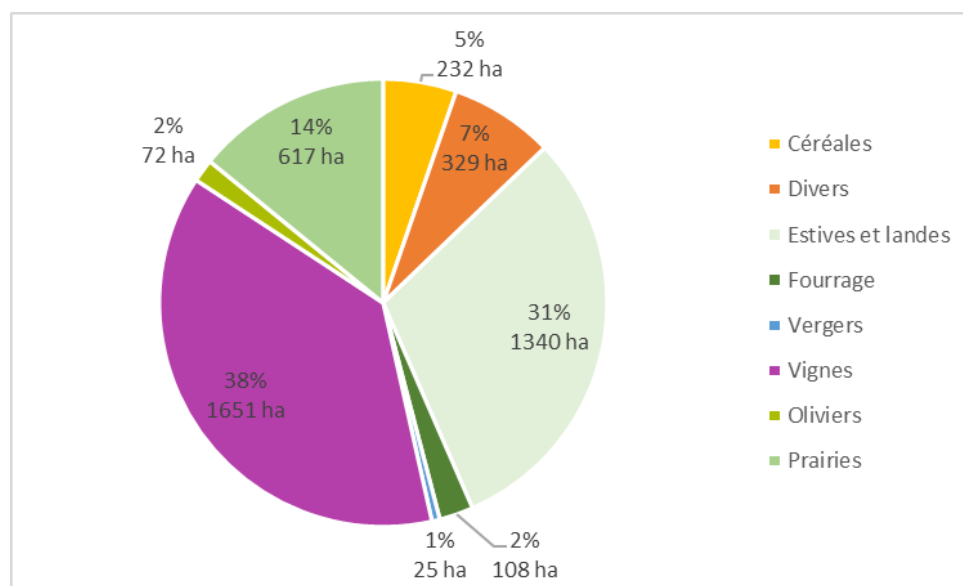


Figure 3 : Part des différentes cultures sur le territoire du Living Lab. Source : RPG complété

¹ <https://woc.edu.umontpellier.fr/>

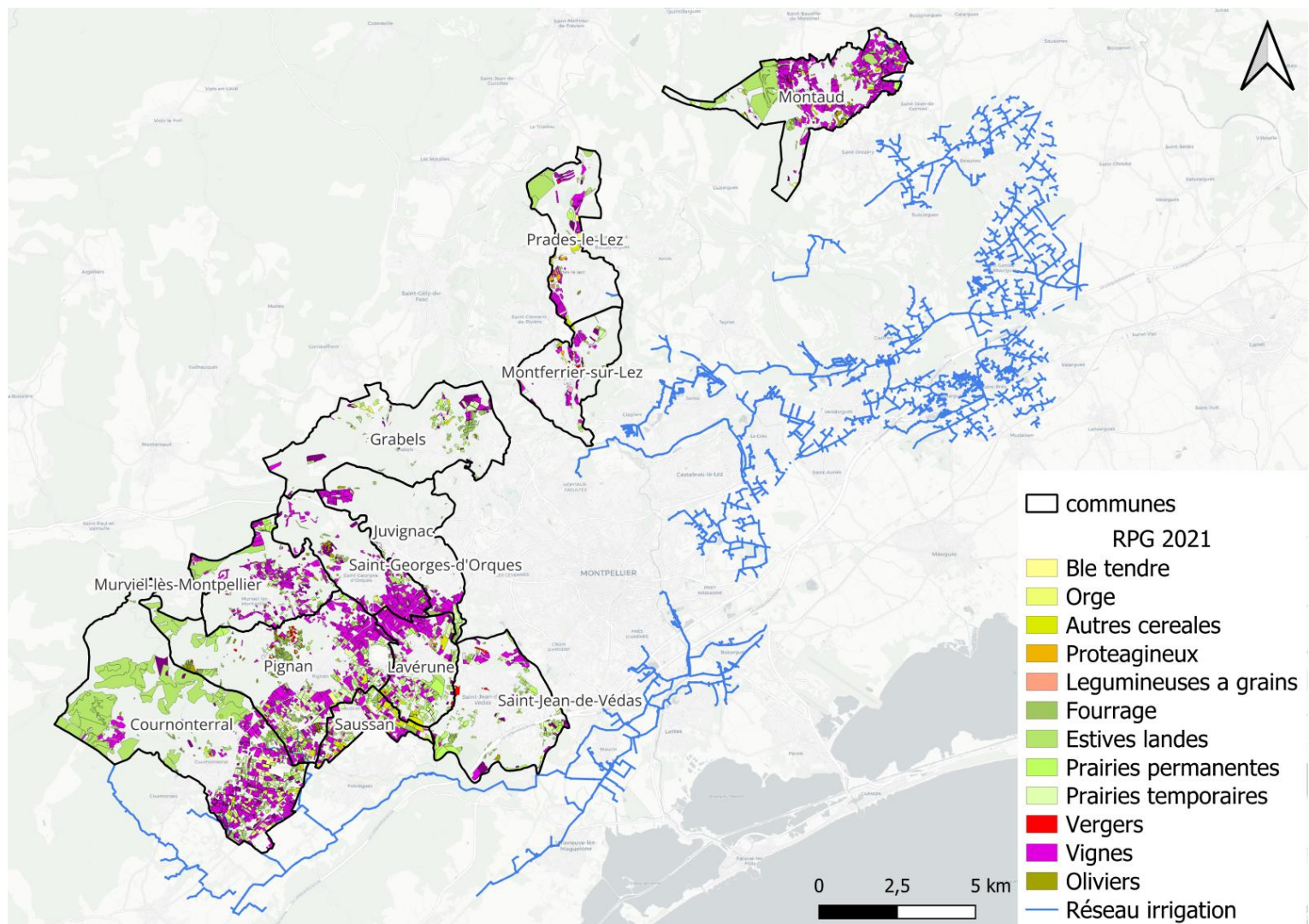


Figure 4 : RPG complété des communes du Living Lab et réseaux d'irrigation

Tirées de la BDSol du Languedoc-Rousillon², les deux cartes suivantes représentent la potentialité agricole (calculée à partir de la profondeur, de la texture et de la pierrosité) et la réserve utile des sols du Living Lab (Figure 5, Figure 6). Ces deux éléments sont intéressants dans le cadre de notre étude. La potentialité agricole décrit la capacité d'un sol à accueillir des productions végétales et la RU est la quantité d'eau maximale que le sol peut absorber et restituer à la plante. La part de la SAU en vignes se situe notamment au niveau des potentialités agricoles et des RU fortes autour des communes de Courmonterral, Pignan ou encore Saint-Georges d'Orques (Figure 4, Figure 5 et Figure 6).

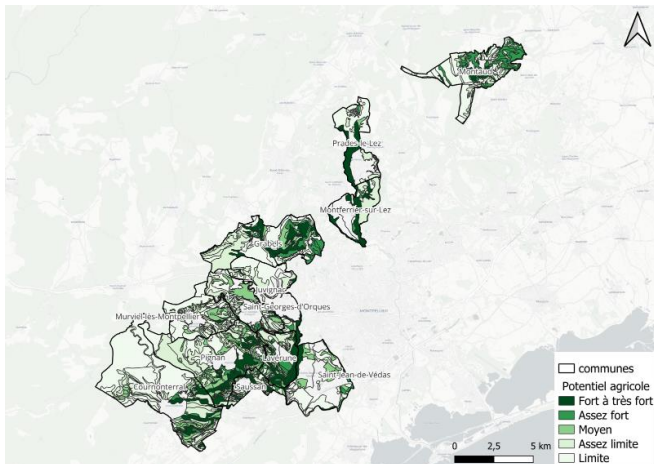


Figure 5 : Potentialité agricole des sols des communes du Living Lab

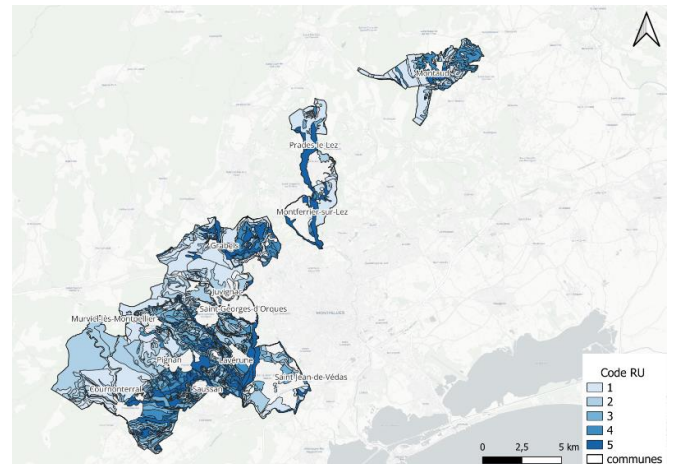


Figure 6 : Réserve utile des sols des communes du Living Lab

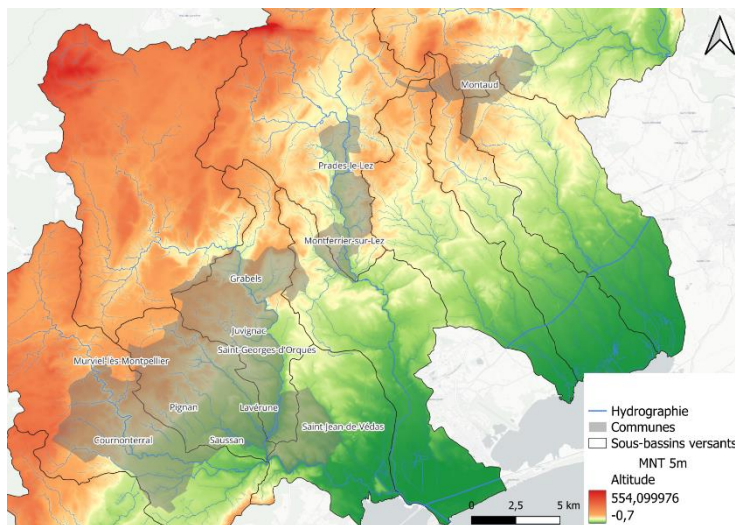


Figure 7 : Altitudes et hydrographie des sous-bassins versants du Living Lab

Tableau 1 : Signification des codes RU

Classe RU (mm/m)	Code RU
[10-60[1
[60-80[2
[80-100[3
[100-120[4
[120	5

Ces sols à fortes potentialités agricoles et RU importantes se situent à des altitudes plus faibles, au niveau des plaines, en aval des sous-bassins versants et donc plus proches de l'exutoire (Figure 5, Figure 6, Figure 7).

- CONCLUSIONS -

Le Living Lab de la Métropole de Montpellier

12 communes sans accès à l'irrigation
 Territoire majoritairement viticole
 Identification de zones à plus ou moins fortes potentialités agricoles et réserves utiles en eau
 Vignes situées au niveau des sols à fortes potentialités agricoles et grandes réserves utiles

² <https://data-herault-occitanie.opendatasoft.com/explore/dataset/bd-sol-proprietes-herault/table/?disjunctive.commune>

PARTIE 2

Etude bibliographique

1. Méthodologie

Cet état de l'art a pour objet la compréhension des leviers par lesquels il est possible d'optimiser le stockage de l'eau dans les sols, de présenter les méthodes permettant ce stockage, et les freins et leviers à leur application sur le terrain. Plus spécifiquement, nous avons tenté de préciser le concept "d'hydrologie régénérative", qui vise à répondre et à permettre une certaine adaptation aux changements climatiques, notamment dans le bassin méditerranéen, bien que ce concept suscite des débats.

Les mots clés utilisés pour la recherche bibliographique sur le moteur de recherche Google Scholar sont les suivants :

- Agricultural landscape
- Agricultural water management
- Keyline design
- Rainwater harvesting
- Regenerative agriculture
- Water infiltration
- Water storage (infrastructure)

Afin d'avoir un résultat plus précis, les mots clés ont été associés aux termes suivants :

- Agriculture
- Climate change
- Mediterranean/arid/semi-arid climate
- Nature based solutions

Nous avons utilisé Research Rabbit afin de trouver d'autres articles sur le même thème.

Nous n'avons pas trouvé de documents scientifiques sur le concept d'hydrologie régénérative. Ainsi, nous avons consulté plusieurs livres, visionné et assisté à des conférences et des reportages.

Afin de compléter la définition d'hydrologie régénérative nous avons souhaité rencontrer des experts sur le sujet. Après avoir pris contact avec plusieurs experts, nous avons réalisé des entretiens avec les personnes suivantes :

- Alain MALARD, vigneron, consultant, auteur, conférencier en agroécologie et permaculture (Annexe 1) ;
- Simon RICARD, consultant, formateur, conférencier en hydrologie et agriculture régénératives (Annexe 2) ;
- Olivier HEBRARD, consultant en agroécologie, permaculture, gestion intégrée de la ressource en eau (Annexe 3).

Les experts nous ont permis d'avoir un regard sur ce qui est fait sur le terrain en France et à l'étranger, sur leur définition d'hydrologie régénérative, leur point de vue et les différentes pratiques et techniques de ce concept.

2. Influences du changement climatique sur le cycle de l'eau verte et intérêt de stocker l'eau dans les sols

Le grand cycle de l'eau est défini comme étant le cycle naturel de l'eau et ses échanges dans l'écosystème sans l'influence des activités humaines. L'eau des précipitations qui arrive au sol se répartit en deux types : l'eau verte et l'eau bleue (INRAE UMR Silva, n.d.) (Figure 8).

Les précipitations contribuent à l'eau bleue par ruissellement et drainage. L'eau bleue totalise 40 % de la masse de précipitations. Elle est constituée de l'eau transitant dans les lacs, cours d'eau et nappes phréatiques. Elle peut être transformée en eau verte par l'intermédiaire de l'irrigation.

L'eau verte totalise 60 % de la masse de précipitations. Elle est constituée de l'eau stockée dans la biomasse et temporairement dans le sol sous forme d'humidité. La majeure partie retourne directement vers l'atmosphère par absorption puis évapotranspiration des plantes et du sol. L'eau verte représente ainsi une ressource majeure pour la production agricole et le maintien du bon fonctionnement des écosystèmes. Par conséquent, le cycle de l'eau verte est un levier prépondérant pour faire face aux changements climatiques et rétablir un cycle de l'eau naturel (Bonvoisin, 2023).

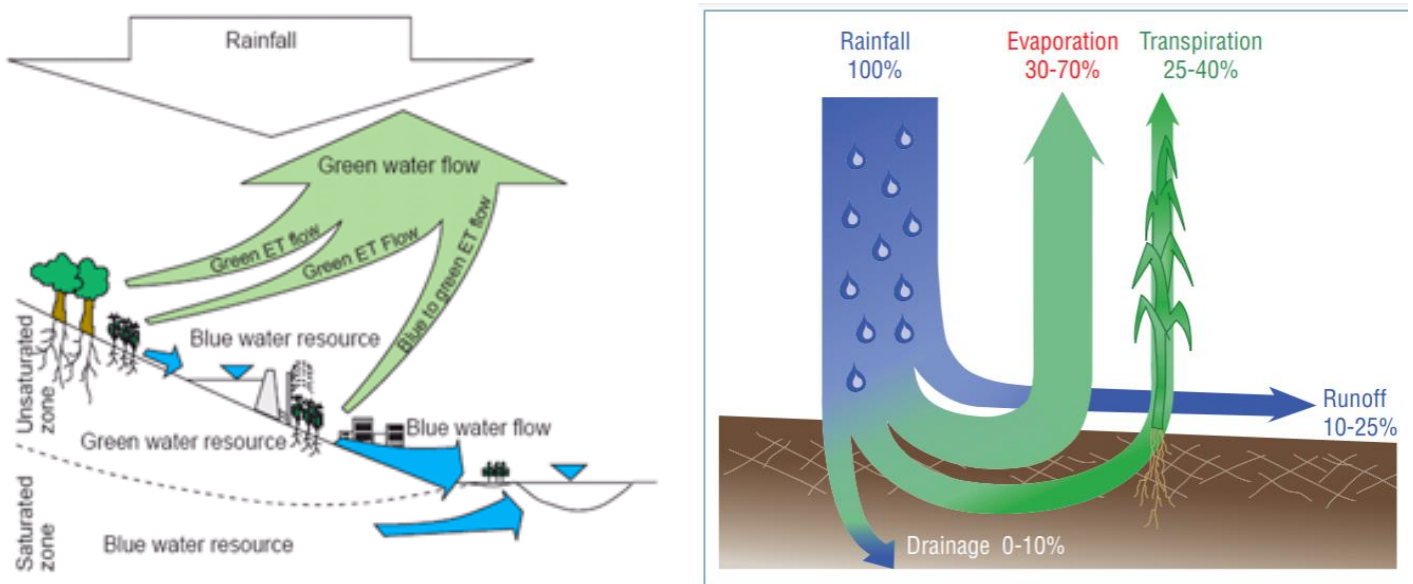


Figure 8 : Transferts d'eaux de pluie. En bleu : eau bleue, en vert : eau verte. Sources : Falkenmark et Rockström 2005 et FAO (Liniger et al., 2011)

Pour notre projet, nous nous intéressons donc essentiellement à l'eau verte, dont il faut maximiser le stockage dans les sols. Effectivement, le sol agit comme un réservoir tampon pour l'eau verte, ralentissant ainsi son cycle. Une partie de l'eau ruisselle à la surface (eau bleue) et une partie s'infiltré (eau verte). Intervient alors la notion de "réserve utile" qui se définit comme étant la quantité d'eau maximale que le sol peut stocker et restituer aux plantes. Elle est dépendante de la nature du sol (profondeur, teneur en carbone, texture) et du couvert végétal. Augmenter la

teneur en matière organique du sol favorise aussi la disponibilité de l'eau car la matière organique permet :

- D'augmenter la porosité du sol par la formation d'agrégats et par conséquent d'améliorer l'infiltration de l'eau ;
- De retenir l'eau par la formation d'humus et ainsi de favoriser son stockage dans les sols ;
- De favoriser une bonne activité biologique, permettant ainsi une bonne couverture du sol et donc de limiter l'érosion et une évaporation trop importante (Cousin et al., 2017).

Avec l'augmentation des températures, les plantes sont de plus en plus soumises au stress hydrique (Iglesias et al., 2011). L'augmentation de l'évapotranspiration est notamment due à l'augmentation du Déficit de Pression de Vapeur (DPV), qui varie avec la température et l'humidité de l'air (Kambou et al., 2014). Le DPV correspond à la différence entre la pression de vapeur saturante (quantité maximale de vapeur que peut contenir l'air) et la pression de vapeur (quantité de vapeur effectivement contenue dans l'air). Plus la température est élevée, plus la pression de vapeur saturante augmente. Ainsi, en fonction du DPV, la réponse de la plante varie : un DPV élevé favorise l'évapotranspiration, alors qu'un DPV faible limite l'évapotranspiration. De 1981 à 2021, l'évapotranspiration potentielle a augmenté de 3 mm/an en Occitanie (Bedel, 2017), ce qui représente un besoin croissant en eau des cultures, d'où la nécessité de favoriser le stockage de l'eau dans le sol, pour améliorer le cycle de l'eau verte.

La variabilité spatiale et temporelle des épisodes pluvieux est également une limite pour la production agricole, exacerbée dans le bassin méditerranéen par les effets du changement climatique. Stocker l'eau dans le sol lors des périodes de précipitations, pour les périodes plus sèches, permet de faire face à cette variabilité. S'il est géré de manière efficiente, ce stockage permet un accès à la ressource en eau pour les systèmes agricoles, favorisant leur adaptation à la sécheresse et aux fortes chaleurs (McCartney and Smakhtin, 2010) (Figure 9).

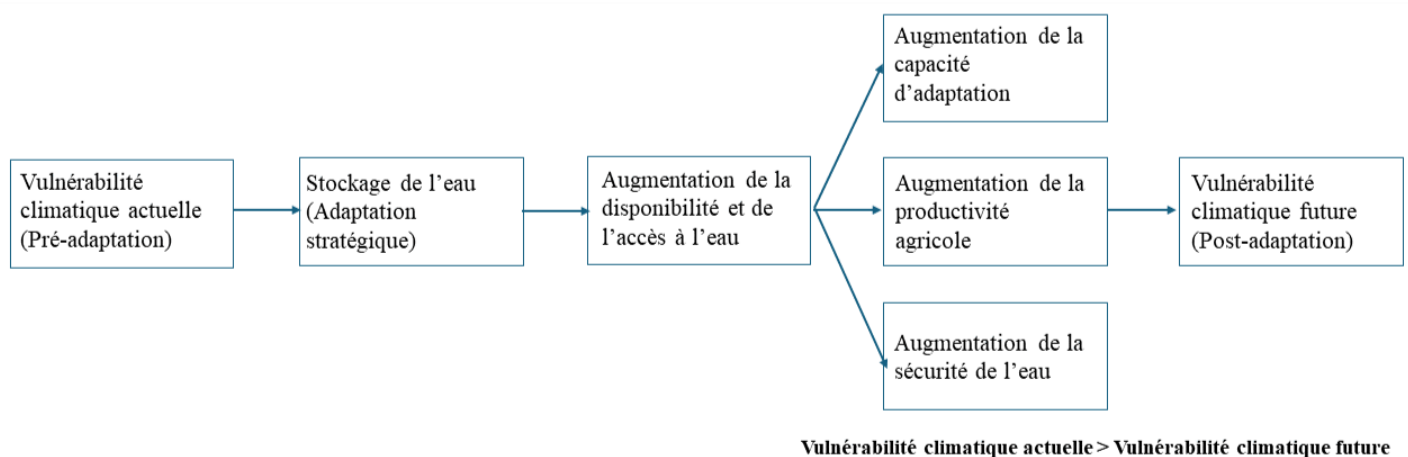


Figure 9 : Le stockage de l'eau dans le sol est une stratégie d'adaptation pour améliorer la résilience des exploitations agricoles vis-à-vis du changement climatique. (Traduction de McCartney et Smakhtin, 2010)

3. Régénérer le cycle de l'eau naturel

Les activités anthropiques, comme la déforestation, augmentent certains flux du cycle de l'eau comme le ruissellement et diminuent d'autres flux comme l'évapotranspiration. Les remaniements du territoire modifient également les flux, on parle d'une "nouvelle" représentation

du cycle qui n'est plus le cycle naturel de l'eau. Le remembrement agricole (loi d'orientation agricole du 5 août 1960) par exemple, a favorisé l'intensification des cultures, la suppression des haies et la mécanisation conduisant à la réduction de l'infiltration de l'eau dans les sols et son stockage. L'imperméabilisation des sols a également engendré une modification du cycle (Bonvoisin, 2023) en réduisant les capacités d'infiltration et de stockage de l'eau dans les sols et/ou dans les nappes phréatiques. Cette politique d'imperméabilisation est de plus en plus limitée depuis quelques années avec notamment une politique de "Zéro Artificialisation Nette" qui se développe dans les espaces urbains et péri-urbains, afin de revenir à un cycle de l'eau dit "naturel".

Ainsi, il est primordial de régénérer les sols, c'est-à-dire de rétablir le grand cycle de l'eau. C'est pourquoi, nous avons choisi de nous intéresser aux concepts d'agriculture régénérative et d'hydrologie régénérative, impliquant la notion de "régénération" des écosystèmes naturels.

4. Hydrologie régénérative

4.1. Définition du concept

C'est dans ce contexte de régénération du grand cycle de l'eau et de tension sur la ressource en eau que le concept d' "hydrologie régénérative " émerge depuis quelques années, notamment en Europe occidentale. En 2022, lors des Rencontres de l'Hydrologie Régénérative à Annecy, une définition est proposée : "L'Hydrologie Régénérative est la science de la régénération des cycles de l'eau douce par l'aménagement du territoire".

Ce terme a été proposé il y a quatre ans par Simon RICARD pour regrouper différentes pratiques qui visent à stocker de l'eau dans le sol et n'est pas à l'heure actuelle, un terme scientifique. Ce concept a émergé suite au constat qu'au sein du triptyque "eau-sol-arbre", l'eau est peu considérée dans l'aménagement des espaces agricoles. Selon lui, cette ressource a toute sa place dans la réflexion sur les pratiques agricoles. Il faudrait une meilleure gestion de l'eau à l'amont des bassins versants, mais l'hydrologie étudie essentiellement les conséquences des flux qui arrivent en aval plutôt que les causes à l'amont.

Ainsi, le terme d'hydrologie régénérative n'est, à ce jour, pas défini par la communauté scientifique mais seulement par des "experts" du terme. Il n'existe pas encore d'articles scientifiques sur ce concept et par conséquent, aucun consensus scientifique sur sa définition. Cependant, durant nos recherches bibliographiques et nos rencontres courant février avec des spécialistes en agroécologie et/ou permaculture, qui mettent en place certaines méthodes d'hydrologie régénérative dont Olivier HEBRARD, Alain MALARD et Simon RICARD, certains termes et certaines explications ont pu être relevés afin d'établir une définition générale. Ainsi, l'hydrologie régénérative inclurait toutes les pratiques culturelles qui permettent de "ralentir, répartir, infiltrer et stocker" les eaux de pluies et de ruissellement³.

4.2. Objectifs

Le principal objectif de l'hydrologie régénérative est de rétablir le grand cycle de l'eau et notamment de favoriser le cycle de l'eau verte qui permettrait de stocker plus durablement l'eau dans les sols comme expliqué précédemment.

Le rétablissement du cycle de l'eau "naturel" permet d'établir le second objectif de l'hydrologie régénérative : l'amélioration de la résilience des territoires et des exploitations face aux problématiques liées à l'eau et aux changements climatiques.

³ <https://hydrologie-regenerative.fr/>

4.3. Origine du concept

Le concept d'hydrologie régénérative est un terme "parapluie" qui rassemble un grand nombre de notions déjà existantes et regroupe des aménagements et pratiques favorisant le stockage de l'eau dans le sol.

Une des principales approches de ce concept, et la plus connue à ce jour, est celle de Percival Alfred Yeomans (agriculteur et inventeur australien). Il a mis en place une "échelle de la permanence" qui est une méthode de design permettant d'analyser et de concevoir des aménagements de terrain à grande échelle en prenant en considération les éléments sur lesquels notre influence est moindre jusqu'à ceux sur lesquels elle est la plus significative. Cet outil de classement par priorité permet de niveler le degré d'importance des éléments et de voir où agir pour avoir un maximum d'impact sur la résilience globale du système (Bonvoisin, 2023). Ainsi, par exemple, agir sur le relief est un changement plus difficile que de mettre en place des actions sur le sol, mais permet un impact plus durable sur le territoire (Figure 10).



Figure 10 : Echelle de permanence de P. A. Yeomans, tiré de son livre *The Challenge of Landscape* (1958)

Différents concepts existants peuvent être rapprochés par leurs pratiques à celui d'hydrologie régénérative dont les méthodes d'agriculture de conservation des sols et de gestion de l'érosion, d'agroforesterie et d'agriculture⁴. Ces techniques seront explicitées plus en détail ci-après. A l'échelle du paysage, Sepp Holzer (agriculteur, auteur et consultant en agriculture naturelle) définit la notion de "paysage aquatique" qui fait également partie des approches de l'hydrologie régénérative.

Zoom sur l'agriculture régénérative

L'hydrologie régénérative ne découle pas de l'agriculture régénérative mais elles partagent des pratiques culturelles communes. C'est pourquoi nous avons cherché à comprendre le concept récent d'agriculture régénérative, de plus en plus utilisé dans la littérature scientifique. Dans son rapport sur *Le changement climatique et les terres* (IPCC, 2022), le GIEC a défini l'agriculture régénérative comme une "pratique de gestion durable de terres", avec une approche sur les fonctions écologiques et la notion d'amélioration de la résilience des agro-écosystèmes.

⁴ <https://hydrologie-regenerative.fr/>

Liens entre les pratiques agricoles régénératives et la ressource en eau

Dans le cadre de notre étude, nous avons cherché à rapprocher l'impact des pratiques associées à l'agriculture régénérative sur la ressource en eau. Lankford et Orr (2022) ont travaillé sur la clarification des relations qu'entretiennent l'eau et l'agriculture régénérative. Ils ont montré des interrelations fortes, dans la mesure où l'eau est nécessaire aux processus de régénération des sols, puisqu'elle permet une accumulation de biomasse en stimulant la croissance végétale, soutient l'activité biologique des sols et participe à la structuration de ces derniers via le retrait et le gonflement des argiles notamment. Inversement, l'agriculture régénérative entraîne une meilleure infiltration et un meilleur stockage de l'eau (taux d'humidité). La figure ci-dessous (Figure 11) détaille comment la ressource en eau est impactée par les sols régénérés et l'agriculture, mais aussi comment elle influence à son tour la régénération des sols. En lisant le visuel dans le sens des aiguilles d'une montre, les différentes dimensions s'interconnectent pour former un système complexe. Les grandes orientations politiques se répercutent sur les pratiques agricoles qui influencent à leur tour les processus physico-chimiques, qui impactent directement la ressource en eau dans les sols.

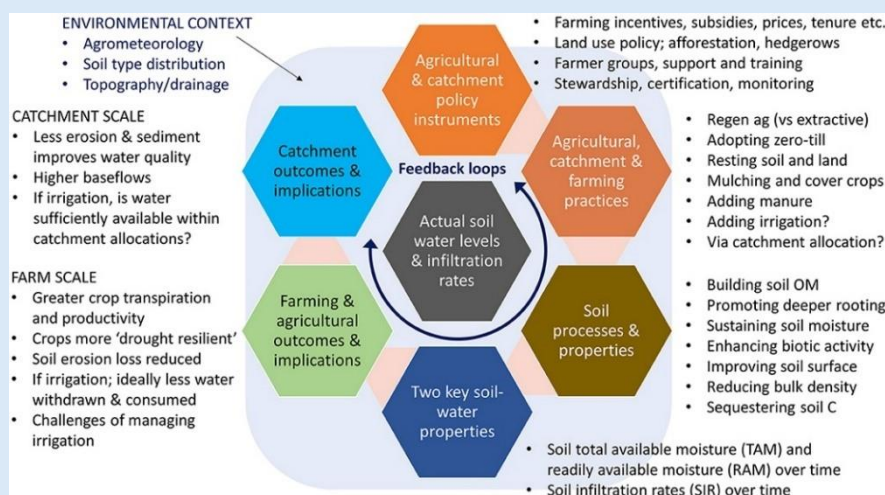


Figure 11 : Présentation des interconnexions entre les différents facteurs influençant le taux d'infiltration et l'humidité des sols, ainsi que leurs résultats en matière d'agriculture régénérative (Lankford and Orr, 2022)

Dans son rapport de 2022 sur l'état des ressources pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde, la FAO explique qu'il existe de nombreuses pratiques de conservation des sols pour limiter le ruissellement, lutter contre l'érosion, restaurer la teneur en matières organiques des sols (SOM) et améliorer leur fertilité. Les pratiques sont qualifiées de "régénératrices" et visent à renforcer la santé de sols (maintenir la biodiversité des sols est une solution basée sur la nature efficace pour répondre aux problématiques actuelles du changement climatique, de l'insécurité alimentaire, à différentes échelles (FAO, 2020) tout en limitant son travail (agriculture de conservation, intercultures, agroforesterie et gestion durable des pâturages).

Conclusion – Effets des pratiques de l'agriculture régénérative (Figure 12) :

La figure 12 permet de conclure sur les interrelations eau / agriculture régénérative à différentes échelles. Avec une approche sur la ressource en eau, l'agriculture régénérative peut être interprétée comme un ensemble de pratiques visant la régénération de deux propriétés clés du sol, l'infiltration et la rétention en eau dans les sols.

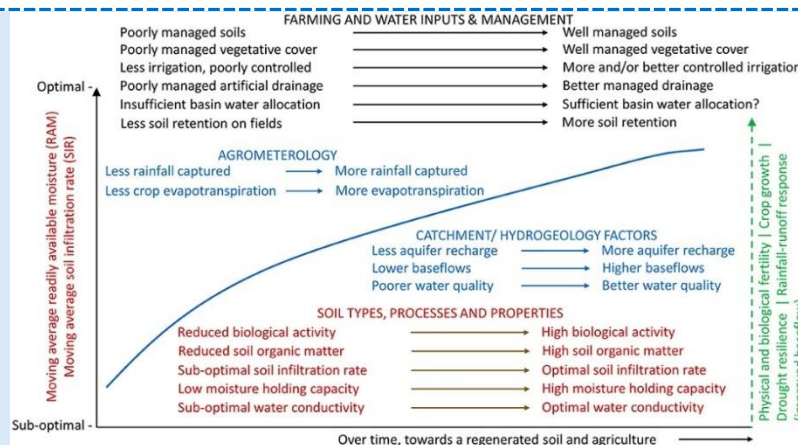


Figure 12 : Illustration de l'influence des pratiques de régénération des sols favorisant l'infiltration et la rétention de l'eau dans le sol (Lankford and Orr, 2022)

- A l'échelle des parcelles : **amélioration de la rétention et du taux d'infiltration de l'eau**, amélioration de la fertilité des sols (**augmentation du taux de matière organique**), augmentation de l'activité biologique, meilleure croissance des plantes, et résilience à la sécheresse.
- A l'échelle du bassin versant : **recharge des nappes** souterraines grâce à une meilleure infiltration de l'eau, augmentation des **débits d'étiage**, meilleure qualité de l'eau.

Le terme d'hydrologie régénérative prend également ses sources dans différentes approches de gestion de l'eau. L'approche de "culture de l'eau de pluie" ("rainwater harvesting") en fait partie. Le concept est défini par le Centre pour le Développement et l'Environnement (CDE) comme "la collecte et la gestion des eaux de crues et de ruissellement pour augmenter l'eau disponible pour les usages domestiques et agricoles et favoriser le bon fonctionnement des écosystèmes" (Mekdaschi Studer and Liniger, 2013).

Zoom sur Rainwater Harvesting

La collecte des eaux de pluies (ou rainwater harvesting) est un levier pour améliorer la productivité agricole, dans les régions sèches notamment. Cette pratique peut être à l'origine d'une multiplication par deux ou trois des rendements par rapport aux systèmes non irrigués, d'autant plus si elle est associée à une diminution du travail du sol, qui permet d'améliorer la rétention de l'eau (FAO, 2022).

Principe général : récupérer les précipitations (catchment area), et les transférer vers une zone en manque d'eau, afin d'augmenter la quantité d'eau disponible au niveau de cette dernière (application area). Selon les situations, les zones de récupération et d'utilisation des eaux de pluies peuvent être côte à côte, ou plus ou moins éloignées. Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'acheminer l'eau via des systèmes de transfert (conveyance system) (Figure 13).

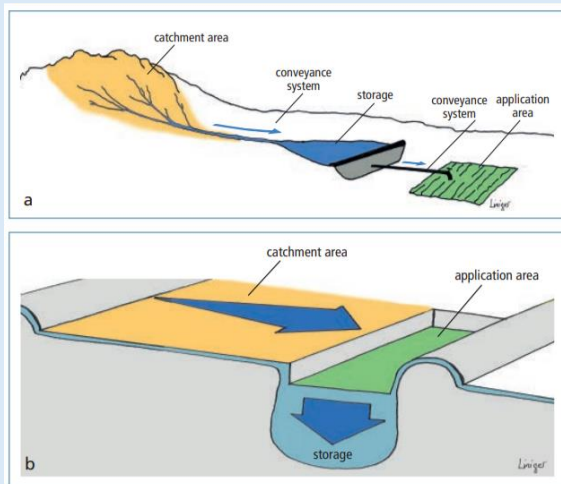


Figure 13 : La composition de deux systèmes basés sur le Rain Water Harvesting. (a) séparation spatiale des zones de récupération et d'utilisation des eaux de pluies. (b) lien direct entre les zones de récupération et d'utilisation des eaux de pluies. Source : Center for Development and Environment



Figure 14 : Photo prise dans les Pyrénées Orientales, sur une parcelle avec des aménagements hydrauliques favorisant la collecte des eaux de pluie. Visite d'une parcelle à Banyuls-sur-mer en mars 2024

Sur la photo à droite, l'eau de pluie est récupérée dans des réservoirs prévus à cet effet, et est transférée à l'ensemble de la parcelle via des fossés perpendiculaires à la pente (agulles en catalan) et des fossés à 45 degrés par rapport à la pente pour favoriser l'évacuation en cas de fortes précipitations (Figure 14).

Le manque de références scientifiques et l'absence de définitions du concept d'hydrologie régénérative ne permettent pas de justifier de la pertinence des solutions mises en avant à l'heure actuelle. Par ailleurs, ces concepts pourraient évoluer avec le temps, sans cadre conceptuel clair, et ainsi perdre de leur valeur auprès des différents acteurs (Newton et al., 2020). Il paraît donc primordial d'éclaircir ce que sous-tendent ces concepts et d'évaluer leur pertinence en lançant des programmes de recherches afin que les scientifiques et les décideurs politiques puissent se saisir de ces concepts pour proposer une définition, et ainsi faciliter leur mise en place concrète, à l'échelle des bassins versants (Lankford et Orr 2022).

5. Pratiques et aménagements pour optimiser le stockage de l'eau dans les sols

Les pratiques et les aménagements à mettre en place se réfléchissent au cas par cas pour chaque parcelle. Les choix à faire dépendent de l'environnement de celle-ci, de la culture, de la topographie... Nous détaillerons cela dans un premier temps. Cependant, pour une gestion plus intégrée de la ressource en eau, il peut être intéressant de réfléchir à ces pratiques et aménagements en concertation avec le territoire, en prenant comme unité de gestion le bassin versant plutôt que la parcelle. Nous verrons cela dans une seconde partie.

5.1. Echelle de la parcelle

Les différentes rencontres avec des spécialistes du sujet nous ont éclairées sur la compatibilité entre la mise en place de ces méthodes pour approcher une gestion intégrée de la ressource en eau et les différents types de productions agricoles, avec des adaptations à prévoir selon le contexte.

Afin de répondre aux besoins en eau des cultures, différents aménagements et techniques culturales existent. Dans un premier temps, il existe des aménagements dits d'hydraulique douce. D'après la chambre d'agriculture de la Marne, il s'agit d'ouvrages qui "permettent de freiner les écoulements d'eau, de favoriser l'infiltration et d'augmenter la sédimentation". Certains de ces ouvrages permettent aussi de protéger la biodiversité. Afin de favoriser le stockage et la distribution de l'eau sur un territoire, des pratiques culturales peuvent être mises en place. Nous avons établi une liste non exhaustive d'aménagements et de pratiques à partir de recherches bibliographiques. Cette liste est présentée dans le tableau 1 ci-dessous. Elle se complète en permanence car elle peut comprendre toute technique aidant à l'atteinte des objectifs de l'hydrologie régénérative. Pour réaliser cette liste nous nous sommes basées sur des recherches bibliographiques et les entretiens réalisés avec les experts en hydrologie régénérative.

Le tableau ci-dessous présente une brève description des aménagements et des techniques ainsi que leur coût (pour plus de détails, voir Annexe 4). Il met en évidence les leviers, les freins et le rôle qu'ils ont dans la séquence ralentir, répartir, infiltrer et stocker. Un des experts rencontrés préconise de prioriser les pratiques agroécologiques, plus simples et moins perturbatrices pour les agro-hydrosystèmes (couverts végétaux, agroforesterie, haies, favoriser les micro-organismes, enherbement, agropastoralisme), avant de considérer d'éventuels aménagements comme les noues (Tableau 2).

Chaque pratique ou aménagement a ses spécificités et nécessite une étude préalable pour évaluer l'emplacement le plus propice afin d'obtenir une efficacité optimale. L'efficacité dépend de la position sur la parcelle ou le bassin versant et par conséquent de la pente. De plus, ces pratiques et aménagements peuvent avoir d'autres rôles. En effet, la réduction des écoulements et donc la meilleure infiltration des eaux pluviales dans les sols permet le stockage de l'eau mais limite aussi les pertes de sol par érosion, les transferts de pollution, favorise la sédimentation et diminue les risques d'inondation à l'aval.

Tableau 2 : Inventaire de méthodes pour favoriser le ralentissement (Ra), la répartition (Ré), l'infiltration (I) et le stockage (S) de l'eau en surface et dans les sols

Méthodes	Description	Bénéfices attendus	Limites	Coûts	Ra	Ré	I	S
Aménagements d'hydraulique douce								
Bande enherbée [1][2] Fiche n°1	Couvert végétal multifonctionnel d'au moins 5 m de large composé d'une flore adaptée à l'environnement de la parcelle.	<ul style="list-style-type: none"> • Ralentit le ruissellement • Lutte contre l'érosion • Meilleure infiltration • Rôle de filtre qui permet d'améliorer la qualité des eaux • Rôle de corridor écologique • Source de biodiversité • Épuration des eaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Action uniquement sur les ruissellements diffus • Faibles dépôts en cas de concentration • Réinfiltration limitée si compactage • Entretien (fauches) • Perte de surfaces agricoles 	7 à 8 €/100 mL pour l'entretien 17 à 25 €/100 mL pour la mise en place et le manque à gagner	X		X	
Mare tampon [3] Fiche n°2	Mare tampon qui stocke l'eau de ruissellement temporairement. La zone tampon se vide grâce à un ouvrage de fuite. La mare doit être située dans un axe de concentration ou de passage des écoulements.	<ul style="list-style-type: none"> • Réserve d'eau • Régulation des débits • Limite les inondations • Source de biodiversité 	<ul style="list-style-type: none"> • Respecter les Articles 640 et 641 du Code civil et demande d'autorisation • Entretien (vérifier état, couper végétation excessive, curage si nécessaire) 	9 à 13 €/m ³ HT (prix moyen d'un curage)	X		X	X
Bassin d'infiltration [4] Fiche n°3	Permet le stockage temporaire des eaux et leur infiltration. L'eau provient de la pluie et des ruissellements. Le bassin doit être positionné dans un point bas à une distance minimale de 3 m de la limite de parcelle.	<ul style="list-style-type: none"> • Réserve d'eau • Meilleure infiltration • Entretien facile • Zones humides intéressantes écologiquement • Améliore l'épuration de l'eau (phragmite et roselière) 	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien régulier (risque de colmatage) • Coût élevé et prétraitement (dégrillage, dessablage et déshuilage) pour limiter la pollution et le colmatage • Plus adapté pour une gestion collective qu'individuelle • Emprise foncière importante 				X	X

Méthodes	Description	Bénéfices attendus	Limites	Coûts	Ra	Ré	I	S
Fascine [2][5] <i>Fiche n°4</i>	Dispositif composé de fagots de branches disposés entre deux rangées de piquets. Les fascines sont à positionner en aval des parcelles ou en tête de bassin versant, sur le trajet des écoulements.	<ul style="list-style-type: none"> • Ralentit et diminue le ruissellement • Meilleure infiltration • Evite la formation de ravines 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficultés à trouver la matière première • Entretien • Durabilité des branches (5-7 ans) 	8-16 €/mL 55-80 €/mL si réalisé par une entreprise	X		X	
Haie [2][6][7] <i>Fiche n°5</i>	Unité de végétation ligneuse (arbres et/ou arbustes et/ou autres ligneux) perpendiculaire à la pente. La végétation ne dépasse pas 10 m de large. La haie doit être positionnée en amont du bassin versant ou dans les zones d'accumulation de l'eau comme les fonds de vallon.	<ul style="list-style-type: none"> • Ralentit le ruissellement • Meilleure infiltration (décompactage du sol) • Limite les risques de crues • Source de biodiversité • Protège contre le soleil, le froid et le vent • Source d'énergie thermique • Beaucoup d'aides financières 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de mise en place (quelques jours à quelques mois) • Efficacité après 5 à 10 ans • Matériel pour la mise en place et entretien • Entretien (élagage) • Réglementation à respecter (site d'installation, période d'entretien) • Perte de foncier 	10-15 €/mL	X		X	

Méthodes	Description	Bénéfices attendus	Limites	Coûts	Ra	Ré	I	S
Fossé-talus [2][8] <i>Fiche n°6</i>	<p>Le fossé collecte les eaux de ruissellement et favorise l'infiltration de l'eau s'il possède des redents. Un fossé est souvent associé à un talus. Le talus est une construction en hauteur permettant de séparer deux zones. Il dévie le ruissellement et peut créer une zone d'infiltration en amont. Les fossé-talus peuvent être positionnés à tout endroit en fonction de la problématique de la parcelle.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Collecte le ruissellement (fossé) • Guide le ruissellement (talus) • Ralentit le ruissellement • Lutte contre l'érosion • Meilleure infiltration • Aides financières 	<ul style="list-style-type: none"> • Respecter les Articles 640 et 641 du Code civil sur l'écoulement des eaux • Si le talus est perpendiculaire au ruissellement, il est indispensable de travailler avec un technicien pour le dimensionnement et l'aménagement de l'exutoire • Pas de désherbage chimique • Entretien • Echelle locale, ne permet pas de gérer l'intégralité des ruissellements du bassin versant agricole 	<p>3 à 11 €/mL (fossé) 8 à 18 € (talus) 11 €/mL (fossé à redents) 5 à 9 €/mL (plantation de haie)</p>	X	X	X	X
Noue d'infiltration [9][10] <i>Fiche n°7</i>	<p>Fossés larges et peu profonds avec des rives peu pentues et une pente d'environ 1 % pour laisser le temps à l'eau de s'infiltrer dans le sol, d'un bourrelet en aval du fossé et qui suit les courbes de niveau.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleur stockage de l'eau • Meilleure infiltration • Régule les inondations • Épuration des eaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Emprise foncière importante • Entretien • Risque de colmatage • Dispositif complexe (dimensionnement et fonctionnement) 		X		X	X
Pratiques								

Méthodes	Description	Bénéfices attendus	Limites	Coûts	Ra	Ré	I	S
Apport de MO [11][12] <i>Fiche n°8</i>	Plusieurs apports existent : <ul style="list-style-type: none"> • Epandage d'effluents et de composts • Restitution des résidus de culture • Utiliser du biochar • Broyage sur place 	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleure infiltration • Meilleure pénétration du système racinaire dans le sol • Augmentation des capacités de rétention d'eau dans le sol 	<ul style="list-style-type: none"> • Accès aux apports 				X	X
Couvert végétal [13][14] <i>Fiche n°9</i>	Le principe d'un couvert végétal est de semer des plantes ou laisser la végétation spontanée se développer entre deux cultures. Cette pratique présente des intérêts agronomiques, pédologiques et économiques. Les couverts végétaux sont à mettre aux zones de ruissellement comme le fond d'un vallon ou sur un versant pentu.	<ul style="list-style-type: none"> • Ralentit le ruissellement • Meilleure infiltration de l'eau grâce à la MO (meilleure structure du sol) • Meilleur stockage car meilleure porosité 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de l'évapotranspiration → diminution de la teneur en eau du sol dans les premières couches du sol • Compétition eau entre couvert et culture principale • Evaporation directe et moins de pluie effective (interceptée par le couvert) • Réputation de l'agriculteur 		X		X	X

Méthodes	Description	Bénéfices attendus	Limites	Coûts	Ra	Ré	I	S
Paillage [15][16] <i>Fiche n°10</i>	Le principe du paillage est de couvrir le sol autour des plantes afin de maintenir l'humidité et la température du sol. Il permet aussi de limiter le développement d'adventices.	<ul style="list-style-type: none"> • Retient l'humidité et meilleur stockage de l'eau jusqu'à 15 cm de profondeur • Améliore l'humidité du sol • Augmente la percolation • Ralentit le ruissellement • Améliore l'utilisation de l'eau (réduit l'évaporation) 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'influence sur les horizons plus profonds du sol • Difficile à poser et à retirer • Sol contaminé par le paillage plastique qui produit des fragments • Activité microbienne plus importante : l'humidité autour de la plante peut favoriser le développement de micro-organismes, ravageurs et maladies 		X			X
Agriculture syntropique [17] <i>Fiche n°11</i>	Approche qui vise à comprendre et travailler avec le vivant en cultivant une diversité et densité importante de plantes. Le principe ensuite est de perturber les plantes en les taillant et de les laisser se développer. Lorsque les plantes sont taillées, elles créent plus de biomasse aérienne, ce qui enrichit le sol et limite les besoins en eau.	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleur stockage de l'eau • Ralentit le ruissellement • Meilleure infiltration (branches, litière) 	<ul style="list-style-type: none"> • Changer de pratiques • Changer de vision • Mise en place longue • Difficile pour une grande exploitation • Visuel 		X		X	X

Méthodes	Description	Bénéfices attendus	Limites	Coûts	Ra	Ré	I	S
Agroforesterie [18][19][20][21] <i>Fiche n°12</i>	Association entre des arbres et des cultures ou animaux dans une parcelle.	<ul style="list-style-type: none"> • Ralentit le ruissellement • Meilleure infiltration • Meilleur stockage de l'eau (moins d'évapotranspiration) • Lutte contre l'érosion • Source de biodiversité • Protège contre le soleil, le froid et le vent • Aides financières 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduit la teneur en eau du sol pendant les périodes critiques (sol nu) • Certaines espèces peuvent diminuer la disponibilité en eau • Risque plus élevé de maladies et de ravageurs • Mise en place longue 		X		X	X
Keyline design [22] <i>Fiche n°13</i>	Le Keyline repose sur la topographie naturelle du versant et les chemins de l'eau de ruissellement. L'idée est de mettre en place des noues et des bassins d'infiltration au niveau de lignes clés. Ces lignes sont déterminées grâce aux points d'inflexion de la pente (passage d'une pente concave à convexe, passage d'une pente convexe à un fond de vallée et passage du fond de vallée à la plaine d'inondation), on parle de keypoints.	<ul style="list-style-type: none"> • Ralentit le ruissellement • Meilleure infiltration (décompaction) sur des lignes perpendiculaires à la pente (chemins plus longs pour une infiltration à différents endroits du paysage). • Casser les longueurs de pente, pour diminuer la vitesse de ruissellement et casser l'inertie érosive de celle-ci. • Atténuation du risque inondation 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu d'expériences en Europe • Problématique pour les machines si terrain trop pentu • Echelle globale : redéfinition totale du territoire. Le système de noues va définir où les plantes ligneuses seront plantées, où mettre les routes, les accès pour les véhicules et les animaux, où installer les clôtures, et aussi la configuration des pâturages. 		X	X	X	X

Méthodes	Description	Bénéfices attendus	Limites	Coûts	Ra	Ré	I	S
Agriculture de conservation des sols [23][24][25][26][27] <i>Fiche n°14</i>	Les trois piliers de l'agriculture de conservation des sols sont : la suppression du travail du sol, la couverture permanente du sol et la diversification de la rotation.	<ul style="list-style-type: none"> • Diminution des pertes d'eau par évaporation (effet protecteur du couvert végétal) • Meilleure infiltration : meilleure structure grâce à la stabilité des agrégats, continuité dans la macroporosité et rugosité de la surface due aux résidus ou aux couverts • Drainage : capacité de rétention augmentée grâce à une plus grande teneur en MO et une meilleure porosité • Système moins dépendant aux intrants, notamment à l'eau d'irrigation 	<ul style="list-style-type: none"> • Le nombre d'années en ACS a un impact significatif sur l'évolution des fonctions du sol : système stabilisé après 10 ans. La phase de transition est encore peu caractérisée. • Couverts intermédiaires consomment de l'eau 		X		X	X
Pâturage tournant dynamique [28][29][30] <i>Fiche n°15</i>	Ce type de pâturage consiste à diviser la surface de pâture en petites parcelles. Les animaux ne restent pas plus de trois jours sur la même parcelle, afin d'optimiser la repousse de l'herbe et la capacité productive des sols.	<ul style="list-style-type: none"> • Ralentit le ruissellement • Meilleure infiltration • Meilleur stockage • Améliore l'humidité du sol • Limite les variations de température 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation et entretien des clôtures • Nécessité d'un point d'eau dans chaque parcelle • Risque de gaspillage d'herbe si trop abondante • Production journalière irrégulière 		X		X	X

La plupart des pratiques et aménagements ne répondent pas à tous les principes de l'hydrologie régénérative. Il ne semble pas y avoir de réelle solution unique mais plutôt un ensemble de pratiques et d'aménagements qui se complètent. En effet, pour favoriser la séquence ralentir, répartir, infiltrer et stocker, des associations d'aménagements et/ou de techniques culturales peuvent être mises en place. Un exemple d'association d'aménagements peut être une fascine doublée d'une haie dense en aval (Areas, 2012). Cela permet de conjuguer leurs atouts et d'apporter une grande efficacité dès l'implantation et sur le long terme. La fascine protège les jeunes plants de haie en évitant qu'ils soient submergés. L'infiltration et la biodiversité s'en retrouvent renforcées par rapport à une fascine seule. Cette association permet aussi de faire face à des débits plus élevés. Pour plus d'efficacité, l'ensemble peut être conjugué avec une bande enherbée ou une bande boisée. Cependant, cela implique une plus grande emprise de ces aménagements (supérieure à 10 m) (Figure 15).

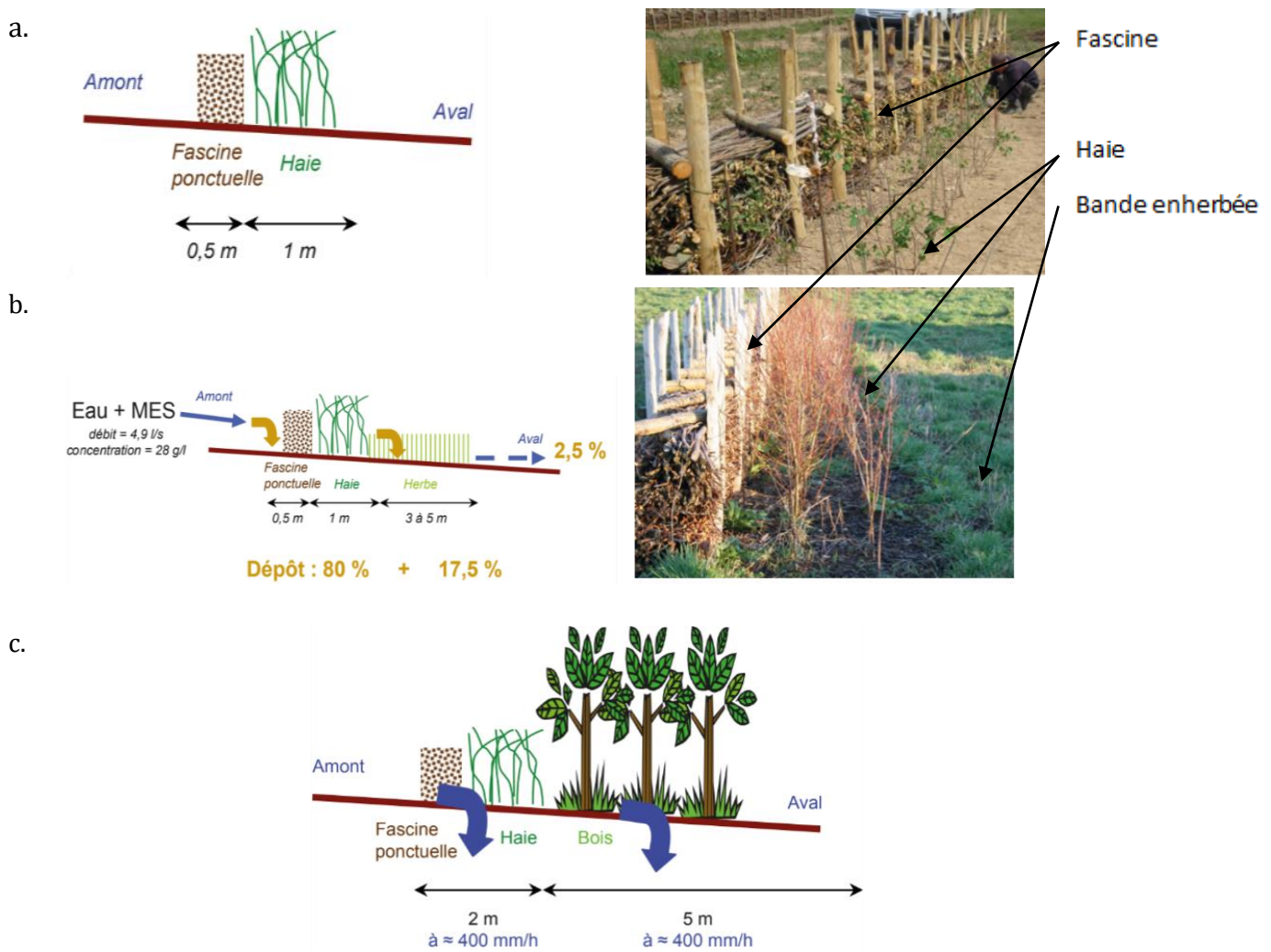


Figure 15 : Exemples d'associations de fascine et haie seuls (a), fascine-haie-bande enherbée (b) et fascine-haie-bande boisée (c). Source : Areas

En complément des pratiques et aménagements favorisant l'infiltration et le stockage de l'eau, cités dans le tableau ci-dessus, d'autres pratiques culturales peuvent être mises en place pour favoriser la résistance et la résilience des végétaux à la sécheresse. Nous allons évoquer succinctement ce qui peut être mis en place en milieu viticole.

Focus sur les pratiques mobilisables en viticulture

Choix du porte-greffe

Dans un premier temps, le choix du porte-greffe est un levier important pour favoriser la résistance à la sécheresse en améliorant l'efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, selon Marín et al. (2021), la sélection d'un porte-greffe avec "un système racinaire plus efficace, plus profond et plus étendu peut permettre à la vigne d'avoir accès à une réserve d'eau potentiellement plus importante".

De plus, selon un des experts, la mise en place d'un porte-greffe seul pendant 1 à 3 ans sur la parcelle avant le greffage peut favoriser l'enracinement profond et rendre la vigne plus vigoureuse. Cette pratique implique un greffage en place et demande donc du temps et des compétences en greffage.

Choix du type de greffe

Le type de greffe joue également un rôle important en viticulture. Certains greffages permettent une meilleure circulation de la sève et donc une vigueur et une résistance importante. Par exemple, selon un des experts rencontrés, la greffe de type Oméga est la plus répandue mais serait moins résistante à la sécheresse. La greffe n'est pas faite dans le sens de la fibre et, par conséquent, tous les sucres ne circuleraient pas du fait du nombre réduit de vaisseaux connectés. Selon lui, il serait préférable de travailler avec des greffes en fente.

Ces pratiques culturelles spécifiques sont plus coûteuses que des pratiques conventionnelles et aucune aide de l'Etat ne permet leur mise en place. Ainsi, il est compliqué pour les agriculteurs de se tourner vers ce type de solutions qui représentent un investissement assez conséquent au départ et impliquent de reculer la date des premières récoltes.

Choix du mode de conduite de la vigne

La conduite de la vigne peut être également une solution à envisager pour augmenter la résilience des vignes à la sécheresse, la taille en gobelet en fait partie. Grâce à ce type de taille, les vignes ont une surface foliaire par hectare plus faible que les autres systèmes de conduite, ce qui limite la transpiration (Leeuwen and Darriet, 2016). Enfin, le choix de variétés, ou de cépages dans le cas de la vigne, résistants à la sécheresse peut être une alternative envisageable pour les exploitants.

5.2. A l'échelle du bassin versant

Cadre conceptuel

Une gestion intégrée de la ressource en eau, d'après les objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau (transposée dans le droit français en 2004), doit tenir compte de tout ce qu'il se passe à l'échelle des bassins versants, que ce soient les activités humaines ou les processus naturels. Dans ce cadre, l'approche bassin versant (territoire à l'intérieur duquel toutes les eaux s'écoulent en surface et en souterrain vers un exutoire donné (Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, 2023) est importante en agriculture pluviale pour augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau. La gestion intégrée a pour but d'organiser et d'orienter les terres, l'eau et les autres ressources naturelles utilisées dans le bassin. Son principal objectif est de fournir les biens et services appropriés tout en atténuant l'impact sur le sol et les ressources du bassin versant. Cela implique des relations socio-économiques, humaines-institutionnelles et biophysiques entre le sol, l'eau et l'utilisation des terres, ainsi que le lien entre zones amonts et zones aval (Ffolliott, 2002).

La mise en place des pratiques et aménagements à cette échelle offre des avantages multiples. Cela permet d'améliorer l'infiltration et le stockage de l'eau dans le sol tout en limitant les risques environnementaux tels que les inondations, l'érosion et la pollution.

Cependant, une gestion intégrée de l'eau et de l'agriculture implique une certaine collaboration entre les différentes parties prenantes. Ainsi, il faut combiner techniques innovantes et concertation territoriale pour faire le lien entre toutes les strates de la population. Etablir un terrain d'entente mutuel est crucial pour négocier et coopérer entre les acteurs. De plus, certains aménagements ont besoin de temps pour pouvoir être efficaces. Ce pas de temps peut être un frein pour les financeurs car la retombée économique est à long terme. Ainsi, selon un des experts, il est primordial d'avoir une continuité dans la gestion des projets à l'échelle du bassin versant ou de plusieurs exploitations.

Les projets d'aménagement ne peuvent pas être portés par un exploitant car il n'existe pas d'aide financière dédiée aux aménagements d'hydrologie régénérative. Cependant, ce type de projet peut être porté par des structures de type Chambre d'agriculture ou par les Communautés de communes en dédiant une partie de leur budget et en cherchant des financeurs (Agence de l'eau, CNR, Département...). De plus les exploitants peuvent financer leur projet avec un crédit d'impôts recherche (Bercy Infos Aides publiques et financements, 2024). Le taux du CIR s'élève à 30 % lorsque le budget des travaux est inférieur à 100 millions d'euros.

Le Keyline design

À l'échelle du bassin versant, le Keyline design est une solution d'aménagement qui répond aux différents principes de l'hydrologie régénérative comme définis par les acteurs s'étant appropriés cette notion. En effet, dans son ouvrage *Restoration Agriculture, real world permaculture for farmers* (2013), Mark Shepard cite le travail de P. A. Yeomans, à l'origine du système Keyline en Australie, qu'il considère comme l'approche la "plus holistique de gestion de l'eau". D'après ce pionnier de la méthode, le Keyline design cherche à mettre en place des stratégies pour capter l'eau de pluie, ralentir sa descente dans le paysage, la répartir afin de favoriser son infiltration, et stocker le surplus dans le sol, le sous-sol, les bassins et/ou les réservoirs. Cette technique prend en compte la topographie naturelle du terrain et part du principe qu'en allongeant les écoulements, l'eau dispose de plus de temps pour s'infiltrer dans les sols. On retrouve donc bien la séquence "ralentir, répartir, infiltrer, stocker", termes qui constituent les grands principes de l'hydrologie régénérative, d'après nos recherches. D'après un des experts interrogé, ce modèle a du mal à se développer en France du fait de l'imperméabilité des français aux termes étrangers, d'où la création du terme hydrologie régénérative.

Concrètement, le Keyline design se base sur les points d'inflexion du paysage :

- Un premier point clé (keypoint) est défini sur la pente là où la vitesse du ruissellement est ralentie, au niveau de l'adoucissement de la pente (Deloire and Malard, 2023). Il est généralement situé juste en-dessous du point d'inflexion entre la pente concave et la pente convexe. La courbe de niveau passant par ce point clé est la plus importante. Il s'agit de la première ligne clé de la pente (Figure 16 et Figure 17) ;

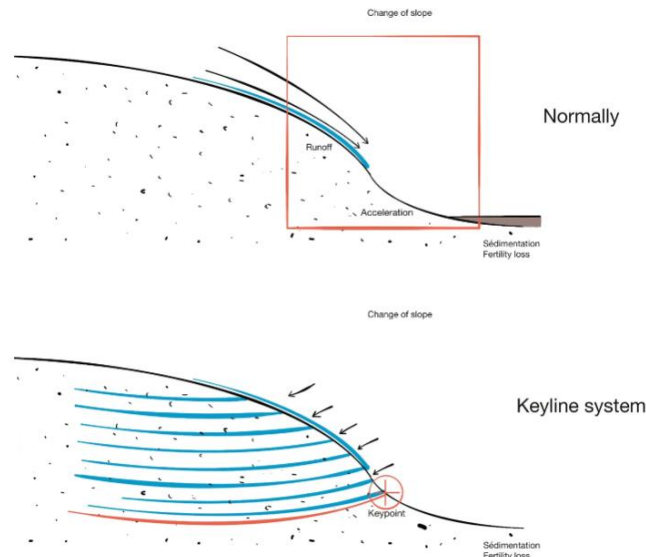


Figure 16 : Détermination du point clé n°1. Source : Agrilandscape, 2023

- Un deuxième point d'inflexion est situé au niveau de la jonction entre la pente concave et le fond de vallée, il marque le passage d'une deuxième ligne clé ;
- Enfin, un dernier point d'inflexion est défini au niveau de la jonction entre le fond de vallée et la plaine d'inondation.

Une fois les points clés déterminés à l'échelle du bassin versant, il faut utiliser un niveau ou un faisceau laser pour déterminer les lignes clés ("keylines") et ainsi les zones d'aménagement pour faciliter l'infiltration de l'eau. Dans la méthode Keyline, il s'agit d'implanter les cultures sur les lignes clés (Figure 18 et Figure 19) et de créer au niveau de certaines de ces lignes des systèmes de noues, qui permettent de retenir l'eau, et dont la pente très faible permet de laisser le temps à l'eau de s'infiltrer. Le système prévoit également que l'eau non infiltrée finisse lentement son parcours via ces noues ou ces fossés (Figure 20), et soit stockée dans des bassins de collecte (Figure 21). Il est possible de coupler ces *keylines* à un sous-solage annuel si la topographie le permet, afin d'entailler le sol et de soulever légèrement la terre de part et d'autre en brisant les mottes pour favoriser l'infiltration de l'eau (Shepard, 2013).

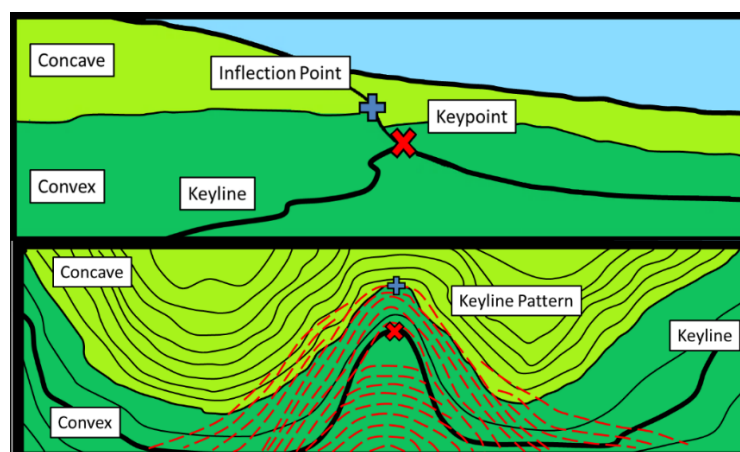


Figure 17 : Schéma explicatif du Keyline design. Source : Rural Agri-Innovation Network

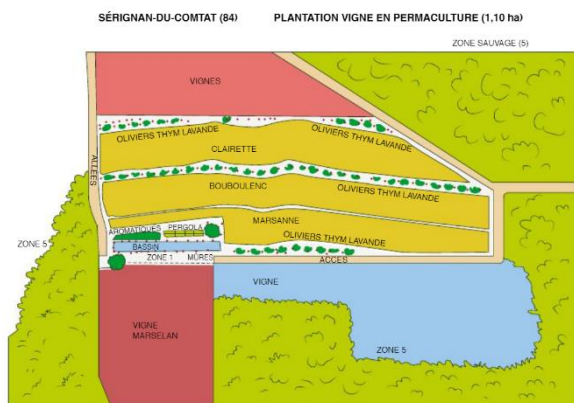


Figure 18 : Projet d'installation d'une parcelle du Clos Saint-Michel selon le modèle des keylines. Source : Vignes, vins et permaculture, Malard, 2021



Figure 19 : Vue aérienne de vignes plantées selon les courbes de niveau (Keyline design) (1) et de vignes plantées de manière conventionnelle (2). Source : Google Map



Figure 20 : Fossé en amont de la parcelle pour ralentir l'eau, lui laisser le temps de s'infiltrer et l'évacuer pour éviter l'érosion. Source : photo personnelle



Figure 21 : Mare tampon où les eaux de ruissellement peuvent être stockées. Source : photo personnelle

Photos prises lors de la visite avec Alain MALARD sur un projet de Keyline design dans le Vaucluse en mars 2024.

Si la gestion des écoulements se réfléchit à l'échelle du bassin versant, il est difficile, en pratique, de coordonner la mise en place de tels aménagements sur l'ensemble du bassin. Par ailleurs, le Keyline design sous-entend un remodelage complet du paysage, ce qui semble compliqué dans le cas de bassins versants cultivés, surtout avec des plantes pérennes (vignes). Cependant, lors d'un échange avec l'un des experts, celui-ci nous a expliqué qu'il était tout à fait envisageable d'imaginer installer ce design sur des parcelles exploitées en viticulture, sans grandement modifier la culture en place (visite d'une parcelle dans le Vaucluse, Figure 20). Alain MALARD souligne d'ailleurs dans son ouvrage *Vignes, vins et permaculture* (2021), qu'il faut adapter l'aménagement des parcelles en fonction du contexte topographique.

Cas concrets d'aménagements à l'échelle de bassin versant

Sepp Holzer, dans son livre *Désert ou paradis* (2012), introduit la notion de paysage aquatique qui repose sur une association de zones d'infiltration d'eau (étangs, lacs naturels, fossés) qui communiquent entre eux grâce aux flux hydriques souterrains. L'eau est maintenue dans le réseau, restituant ainsi à la terre une humidité importante à l'échelle du paysage. Ainsi, Sepp Holzer visite en 2007 le village de Tamera au sud du Portugal. Ce village avait pour but de devenir autonome en alimentation. Cependant, la région est aride avec de grandes sécheresses estivales. Si les précipitations sont aussi importantes qu'en Allemagne ou en Autriche, elles se concentrent sur les quelques mois hivernaux et laissent place ensuite à plusieurs mois secs. La meilleure approche était donc de créer un paysage où l'eau peut s'infiltrer lors des grandes pluies et ainsi être stockée dans le sol tout au long de l'année. Pour ce projet de paysage aquatique, les différents acteurs ont dû coopérer et se mettre d'accord sur les grands travaux que Sepp Holzer proposait. Ces derniers ont permis de passer d'un paysage désertique à un lieu luxuriant, avec une agriculture abondante (Figure 22). Maintenant convaincus par le projet, ils prévoient encore d'autres travaux. Ainsi, sur l'ensemble du terrain de 150 hectares, 10 à 15 lacs sont prévus au total pour recouvrir une superficie entre 25 et 30 hectares.



Above left: Before the building of the lake

Above right: During construction

Left: The finished lake

Figure 22 : Travaux au village de Tamera, *Désert ou paradis ?* (Holzer, 2012)

En Inde, la fondation Paani a réussi à lancer de grands mouvements collaboratifs dans l'Etat de Maharashtra, touché par de fortes sécheresses. Cette région connaît en effet une saison des moussons courte et intense et peut ensuite rester pendant plusieurs mois sans précipitations. Grâce à un défi mis en place par la fondation, les villages travaillent ensemble pour créer tranchées et bassins d'infiltration en suivant les courbes de niveaux afin de ralentir les eaux pluviales, leur laisser le temps de s'infiltrer et ainsi les stocker dans le bassin versant et recharger les eaux souterraines (Figure 23). Le stockage est aussi bien souterrain (nappe) que superficiel (étangs et zones humides). Cette application du Keyline design à l'échelle des bassins versants a permis de transformer les paysages et les écosystèmes. L'humidité permanente du sol et le stockage de l'eau excédentaire permet aux villageois de garder un revenu agricole stable tout au long de l'année.



Figure 23 : Exemple de paysage transformé grâce au défi "Water cup" de la fondation Paani dans l'Etat de Maharashtra en Inde. Maharashtratoday.co.in.

Dans les deux cas, le problème fondamental résidait dans la rareté d'événements pluvieux intenses. Il était donc nécessaire de permettre à l'eau d'avoir le temps de s'infiltrer et ainsi d'être stockée dans le sol pour le reste de l'année afin de surmonter les sécheresses à venir. La région méditerranéenne, avec le changement climatique, tend de plus en plus vers ce type de climat. La réflexion derrière ces systèmes inspirants peut servir de modèle pour construire des projets à large échelle et permettre d'être plus résilients face aux aléas climatiques (Aguilera et al., 2020).

PARTIE 3

Etude des entretiens

1. Méthode

1.1. Rédaction du questionnaire

Afin de réaliser une étude sur les exploitations agricoles du Living Lab pour connaître les inquiétudes, l'implication des agriculteurs face aux changements climatiques et leurs pratiques en matière de stockage de l'eau dans les sols, nous avons réalisé une grille d'entretien en collaboration avec la Métropole et la Chaire EACC (Annexe 5). Le type d'entretien est dit semi-directif, c'est-à-dire que l'échange s'apparente plus à une discussion. Les questions posées sont ouvertes et adaptées au discours de l'enquêté afin de lui laisser la possibilité de justifier, de développer et d'orienter ses réponses, tout en le guidant vers les sujets et les renseignements recherchés.

La grille d'entretien se divise en trois parties principales :

- Le contexte de l'exploitation ;
- Les adaptations aux changements climatiques ;
- L'hydrologie régénérative et la collaboration.

De plus, nous avons accompagné nos enquêtes de documents complémentaires :

- Une plaquette de présentation de la Chaire Partenariale EACC ;
- Une carte des communes du Living Lab, du RPG et du réseau d'irrigation produite sur QGIS (Figure 4), afin que les agriculteurs visualisent la zone du Living Lab ;
- Une fiche de présentation d'une formation à l'hydrologie régénérative trouvée sur Permalab, si les agriculteurs étaient intéressés pour en savoir plus.

Les deux premiers documents étaient montrés en début d'entretien et le dernier était montré seulement sur demande.

Nous avons perfectionné et amélioré la grille d'entretien en discutant avec notre commanditaire et la Métropole. Après les premières enquêtes, nous avons légèrement modifié la trame en supprimant ou en rajoutant une question car certains éléments nous ont paru importants en discutant avec les agriculteurs.

1.2. Prise de contact

Pour réaliser cette étude, nous nous sommes rapprochées de la Métropole de Montpellier, qui nous a transmis une liste de près de 80 agriculteurs sur les communes du Living Lab. Ainsi, nous avons pu avoir accès pour la plupart à leur nom, leur numéro de téléphone, leur adresse, leur courriel et leur type de culture. Malgré une prépondérance de viticulteurs, il y avait une grande diversité d'activités agricoles : viticulture, arboriculture, céréales, maraîchage, apiculture ou encore élevage. Selon nous, toutes n'étaient pas pertinentes pour notre étude, comme l'apiculture.

La prise de contact s'est réalisée en trois temps. Dans un premier temps, la Métropole de Montpellier a contacté par mail l'ensemble des exploitants pour nous présenter et savoir s'ils étaient intéressés pour réaliser l'échange. Cette première prise de contact nous a permis d'avoir

cinq retours positifs. Dans un deuxième temps, nous avons contacté par mail, en notre nom, les exploitants du Living Lab afin de nous présenter et de leur proposer un entretien. Nous n'avons pas eu de réponse positive mais cela nous a permis de réduire la liste des contacts car certains agriculteurs ont répondu qu'ils n'étaient pas intéressés. Enfin, afin de fixer des rendez-vous, nous avons rédigé une trame de prise de contact et avons contacté par téléphone les exploitations ne nous ayant pas répondu afin d'avoir directement une réponse. À chaque appel nous avons présenté notre projet et la chaire et proposé un rendez-vous. Le lieu était choisi par l'enquêté. A l'issue de ces prises de contact, nous avons pu interroger 15 exploitants dont 3 en dehors du Living Lab.

1.3. Réalisation des entretiens

Nous nous sommes réparties en deux groupes de deux pour chaque entretien. Avant de commencer les questions, nous demandions à chaque enquêté l'autorisation d'enregistrer l'échange en précisant que tout resterait anonyme. Chaque questionnaire débutait ensuite avec une présentation de notre projet et des objectifs. Nous précisions aux enquêtés qu'ils pouvaient développer leurs réponses. Les échanges ont duré de 30 minutes à 2 heures, selon la personne interrogée. Certains nous faisaient ensuite visiter leurs parcelles. À la fin de chaque entretien, nous avons demandé les coordonnées d'autres personnes qui pourraient être intéressées par notre étude, afin d'enrichir notre liste de contacts. Les enquêtes se sont déroulées du 15 mars au 11 février.

1.4. Analyse des données récoltées

Afin d'exploiter les informations collectées lors des entretiens, nous avons réalisé un tableau synthétique pour homogénéiser les réponses et pouvoir les comparer plus facilement. Ce sont ces données qui seront exploitées dans les parties ci-dessous. Dans ce rapport nous avons souhaité mettre en avant des citations d'agriculteurs interrogés (en italique dans le texte).

2. Description du panel

2.1. Localisation de l'étude

Comme expliqué dans la méthode, nous avons rencontré 15 agriculteurs. Lors des entretiens, certains nous donnaient des contacts d'autres personnes qui pouvaient être intéressées pour échanger avec nous. C'est pourquoi trois agriculteurs ne font pas partie du Living Lab et sont situés sur les communes de Castries, Cournonsec et Guzargues (Figure 24). Si les conditions climatiques et géomorphologiques au niveau de Castries et Guzargues sont globalement différentes des communes du Living Lab (contreforts du Pic Saint-Loup), Cournonsec est situé dans la plaine Sud-Ouest Montpelliéraine, dans la continuité de Cournonterral. Ces communes ne sont pas incluses dans le Living Lab puisqu'elles sont reliées à un réseau d'irrigation BRL. Cependant, il nous a paru pertinent d'étendre le secteur, afin de pouvoir éventuellement constater des disparités entre les agriculteurs ayant accès à l'irrigation, et les autres. Nous noterons que certains agriculteurs du Living Lab ont d'ailleurs un accès à l'eau (cf. partie "Des avis variés sur l'irrigation").

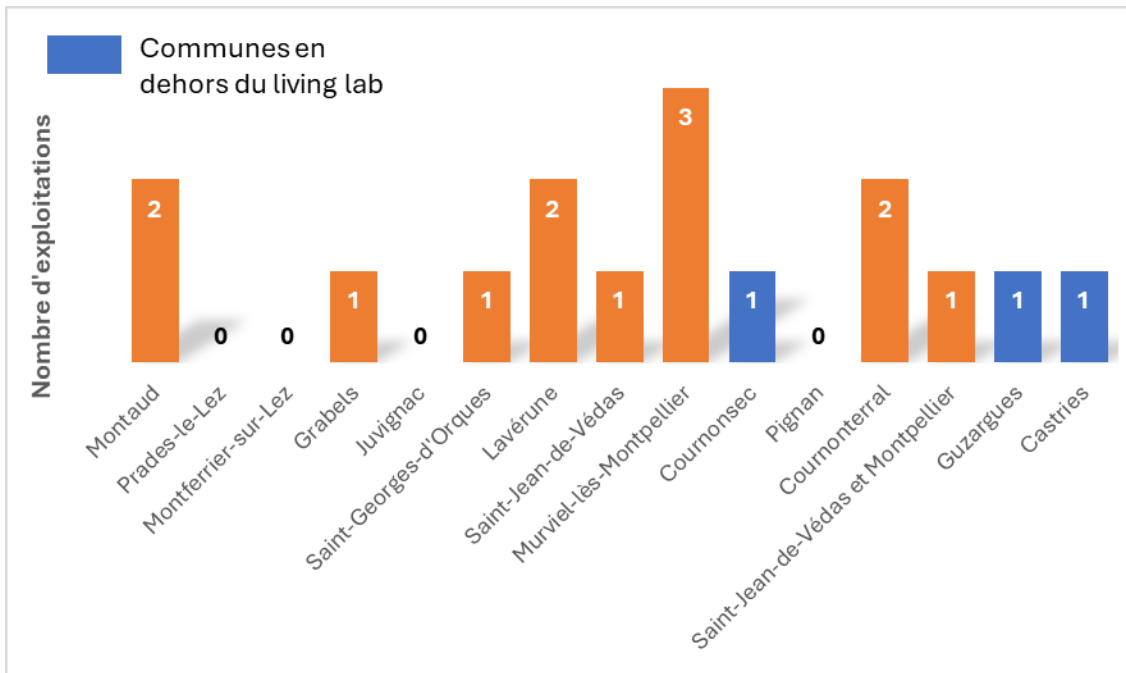


Figure 24 : Localisation des agriculteurs interrogés dans le cadre de notre étude

2.2. Typologie de production

Sur les 15 interrogés, la viticulture correspond à l'activité principale de 13 agriculteurs, avec sept exploitants cultivant exclusivement des vignes. Les deux personnes restantes sont des arboriculteurs, et l'un d'eux a également une production de Plantes à Parfum Aromatiques et Médicinales (PPAM) en agroforesterie. L'échantillon interrogé est donc essentiellement constitué de producteurs de plantes pérennes. À contrario, les cultures secondaires sont réparties entre des annuelles et des pérennes (principalement de l'olivier). Le graphique ci-dessous présente les différentes typologies de cultures des agriculteurs interrogés (Figure 25).

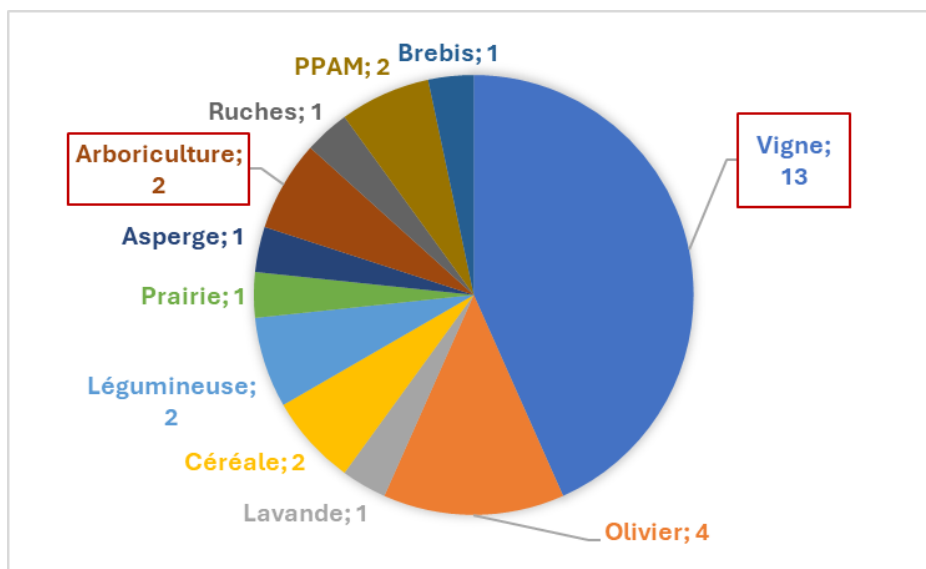


Figure 25 : Répartition (en nombre d'exploitation) des typologies de cultures parmi les agriculteurs interrogés. Les productions entourées en rouge correspondent aux cultures principales.

Nous noterons que beaucoup de cultures représentées sur le graphique sont des cultures annexes à la production principale.

2.3. Certifications

Au sein du panel d'agriculteurs interrogés, on trouve différentes certifications. La Figure 26 présente cette diversité. On constate une prévalence de la certification bio avec 12 productions certifiées en agriculture biologique. Les quatre productions conduites en conventionnel correspondent à deux vignobles et à deux productions d'un arboriculteur (cerisiers et abricotiers). A ces certifications, s'ajoutent la Haute Valeur Environnementale (HVE) et Terra Vitis. Un des viticulteurs cumule également des certifications en agriculture biologique Suisse et Américaine, qui ont des cahiers des charges différents du bio français. Certains viticulteurs valorisant leur production en cave coopérative nous ont expliqué que les productions Hautes Valeurs Environnementales se vendent mieux auprès des consommateurs par rapport au bio, car elles sont moins chères mais témoignent tout de même d'une attention faite à l'environnement (deux personnes).

"Le marché du bio s'écroule."

Un des producteurs nous a même expliqué que si ses bouteilles ne se vendent pas, la cave coopérative peut les déclasser en conventionnel, et les vendre moins chères. Avoir la certification HVE garantit un intermédiaire en termes de prix de vente des bouteilles. Certaines caves coopératives n'acceptent pas les viticulteurs en conventionnels et demandent à minima la certification HVE.

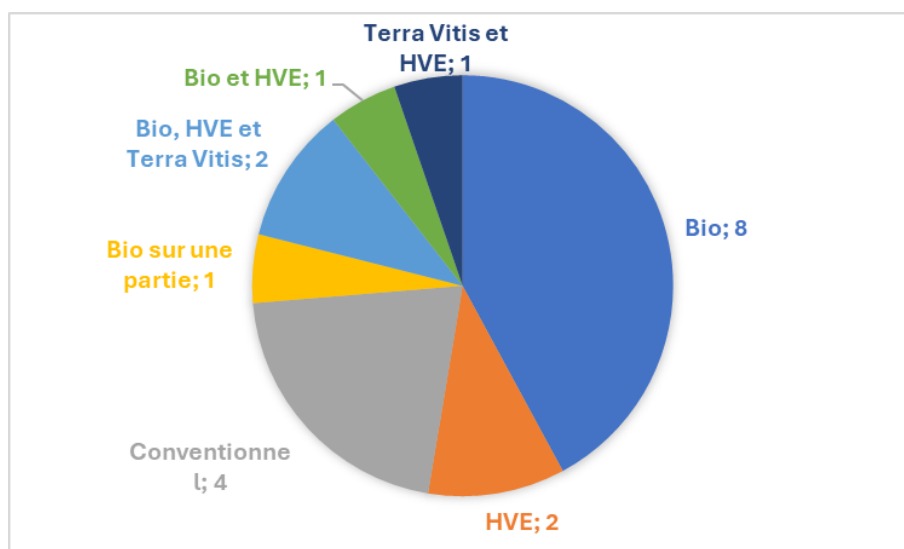


Figure 26 : Certifications des exploitations agricoles des personnes interrogées. N = 19, car certains agriculteurs n'ont pas les mêmes certifications sur l'ensemble de leur exploitation.

2.4. Rendements et valorisation de la production

Nous avons demandé leur rendement aux 13 viticulteurs interrogés. 12 personnes nous ont communiqué cette information, présentée dans la Figure 27. Cinq viticulteurs nous ont indiqué valoriser leur production en cave coopérative, tandis que les autres réalisent une vinification sur leur exploitation, et vendent leur production en direct. Il apparaît que les personnes vendant leur production en caves coopératives ont un meilleur rendement (pour quatre agriculteurs sur les cinq, l'un d'eux ne nous a pas transmis l'information de son rendement). Cela peut s'expliquer par les contraintes des caves coopératives qui demandent à avoir une certaine quantité de raisins pour la valoriser ensuite. Par ailleurs, les caves coopératives achètent les productions à un certain prix, ce qui oblige les viticulteurs à produire une quantité suffisante pour leur rentabilité, tandis que la valorisation en direct permet aux vigneronnes de fixer le prix des bouteilles en fonction du rendement de l'année correspondante.

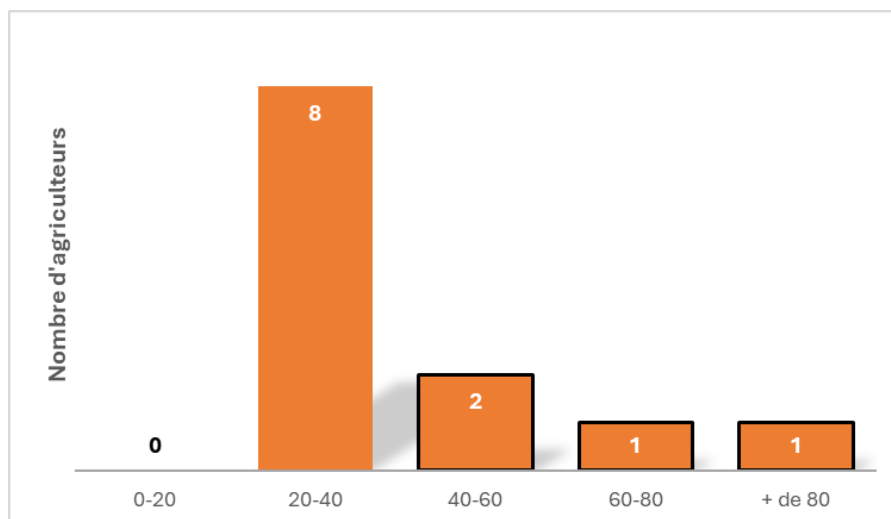


Figure 27 : Nombre d'exploitations par catégorie de rendement (en hL/ha). Les trois cadres entourés en noir correspondent à une valorisation de la production en caves coopératives.

Concernant les deux arboriculteurs (qui n'apparaissent pas sur le graphique ci-dessus), la valorisation se fait d'une part en direct sur l'exploitation (cueillette), et en semi-direct (revente à des primeurs). Par ailleurs, le producteur d'amandier (agroforesterie) a prévu de valoriser sa production auprès des boulangeries et pâtisseries, en tant que produits de "luxe".

2.5. Environnement des parcelles – spatialisation / topographie / haies

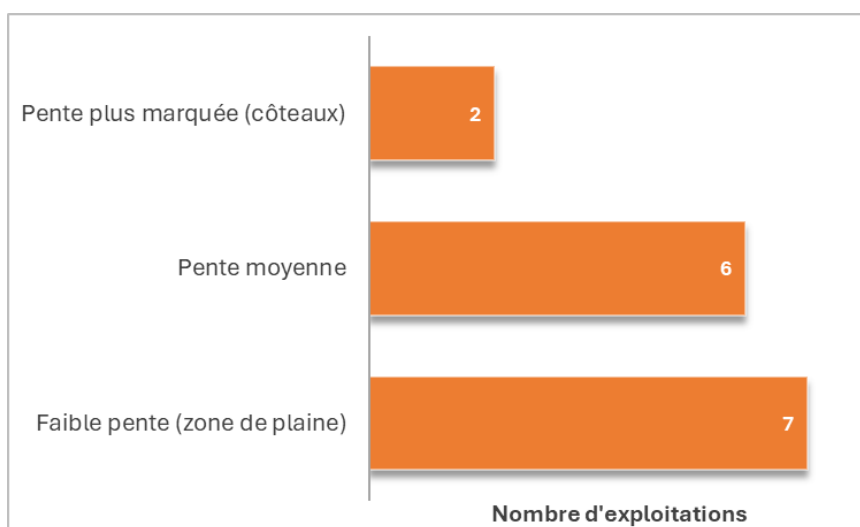


Figure 28 : Topographie des différentes exploitations

Deux exploitations sont situées sur des côteaux, avec des pentes relativement fortes. Cependant, la plupart des exploitations sont sur des pentes moyennes à faibles. Quelques exploitants avaient seulement quelques parcelles en forte pente (Figure 28).

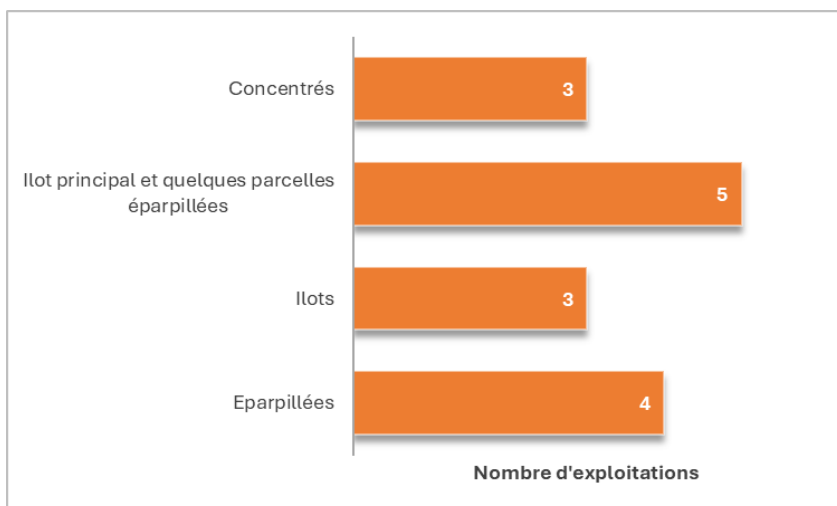


Figure 29 : répartition des parcelles au sein d'une même exploitation

Légende :

- *Concentrés* : un seul tenant
- *Îlot principal et quelques parcelles éparpillées*
- *Îlots* : plusieurs îlots avec des localisations différentes
- *Eparpillées* : parcelles éparpillées, pas d'îlots principaux

La plupart des exploitations sont constituées de parcelles qui ne sont pas d'un seul tenant, avec, pour cinq d'entre elles, la présence d'un îlot principal (d'un point de vue de la surface) et de parcelles éparpillées autour (Figure 29).

Toutes les personnes interrogées possédaient des haies en bordure de parcelle sur leurs exploitations, qu'ils ont mises en place ou qu'ils ont laissées suite à la reprise de la ferme. Certains agriculteurs ont évoqué l'intérêt des haies pour la biodiversité, mais d'autres ont surtout soulevé l'aspect paysager.

2.6. Pratiques

Afin d'en savoir un peu plus sur les pratiques mises en place, nous avons demandé aux personnes interrogées si elles réalisaient un travail de leur sol. Il n'y a pas de différences notables entre le nombre d'agriculteurs travaillant leur sol actuellement ou par le passé (une personne de moins travaille son sol aujourd'hui, Figure 30). Les différents travaux du sol évoqués lors des entretiens sont les suivants :

- Le labour : 10 personnes ;
- Le griffage du sol : 2 personnes ;
- L'utilisation de disques viticoles : 1 personne ;
- En plus du griffage et d'un décompactage du sol, du pâturage : 1 personne.

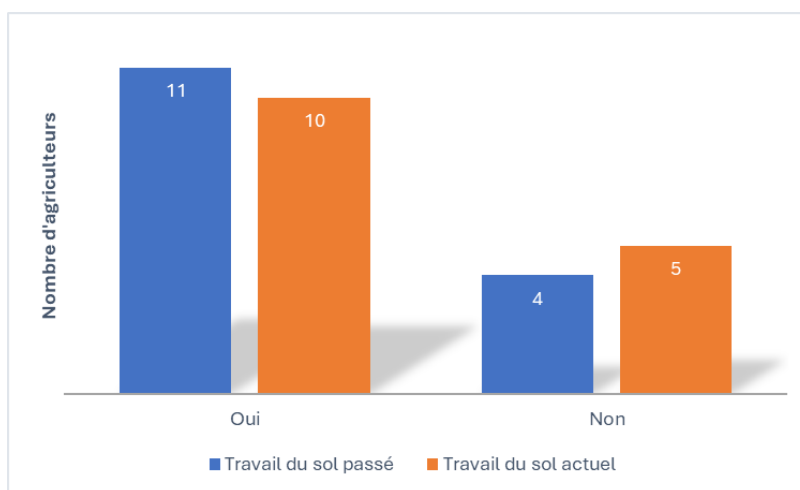


Figure 30 : Nombre d'exploitations réalisant un travail du sol ou non, qu'il soit passé ou actuel

Concernant la couverture du sol, seulement deux agriculteurs n'en ont pas mis en place sur leur culture principale (vigne) (Figure 31). Six agriculteurs ont une couverture du sol permanente sur leur culture principale, tandis que neuf ont une couverture du sol seulement une partie de l'année. Généralement, ces derniers justifiaient l'absence d'un couvert végétal toute l'année pour limiter la compétition pour l'eau avec les vignes lors des périodes de sécheresse. Au sein des 14 agriculteurs ayant mis en place un couvert végétal sur leur culture principale, 10 couverts sont spontanés, deux ont semé un couvert (féverole, moutarde, orge, radis...) et deux travaillent avec un couvert semé ou spontané (un rang sur deux).

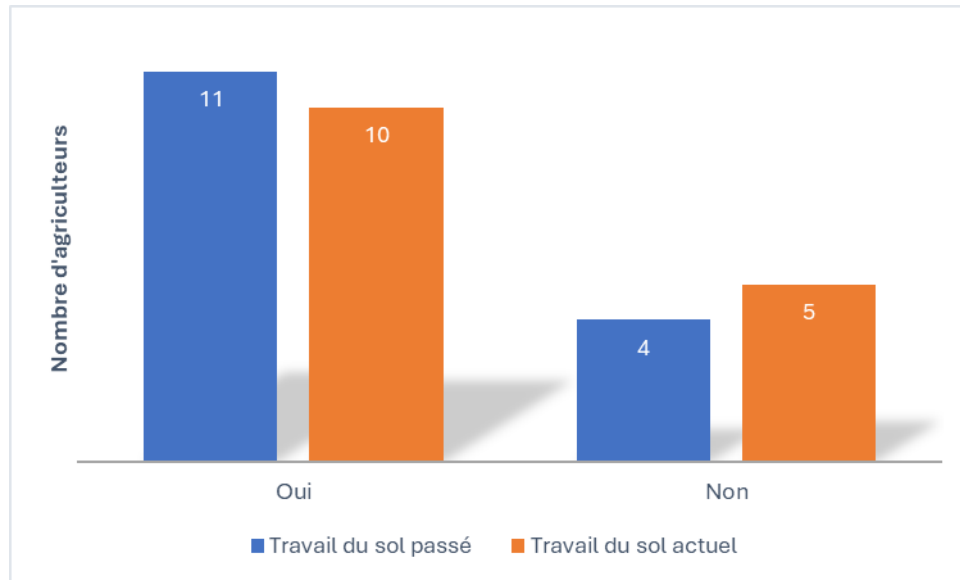


Figure 31 : Nombre d'agriculteurs ayant mis en place des couvertures végétales sur leur culture principale (viticulture ou arboriculture). N = 16 car un des agriculteurs avait des parcelles avec une couverture une partie de l'année, et d'autres parcelles sans couverture du sol.

3. Des avis variés sur l'irrigation

Même si notre étude s'axait sur les exploitants qui n'avaient pas accès à l'irrigation, les enquêtes montrent que 7 agriculteurs sur 15 irriguent (dont 3 en dehors du Living Lab), représentant ainsi 27 % des agriculteurs interrogés et ayant leurs parcelles dans le Living Lab. Parmi eux, ils cultivent tous de la vigne en culture principale, à l'exception d'un arboriculteur.

L'un des agriculteurs irrigue grâce à un forage qu'il a mis en place. Concernant les autres agriculteurs, les données du réseau d'irrigation montrent qu'il existe en effet des réseaux BRL à proximité des villes (Cournonterral et Montaud) (Figure 4). De plus, certains exploitants avaient des parcelles éparpillées, ce qui explique qu'une partie de leurs parcelles soit irriguée même si le réseau ne passe pas directement sur leur commune.

L'avis des exploitants sur l'irrigation est partagé (Figure 32). 53 % y sont favorables, 27 % sont ouverts à la question et 20 % y sont défavorables. La majeure partie est favorable car près de la moitié des exploitants irrigue déjà. Les personnes favorables avancent comme argument principal une perte de production sans apport d'eau exogène. Certains la qualifient "d'indispensable". D'après eux, l'irrigation permet aussi la pérennité de la vigne et évite la perte de pieds (Figure 33).

"Il en va de la survie des vignobles tout simplement".

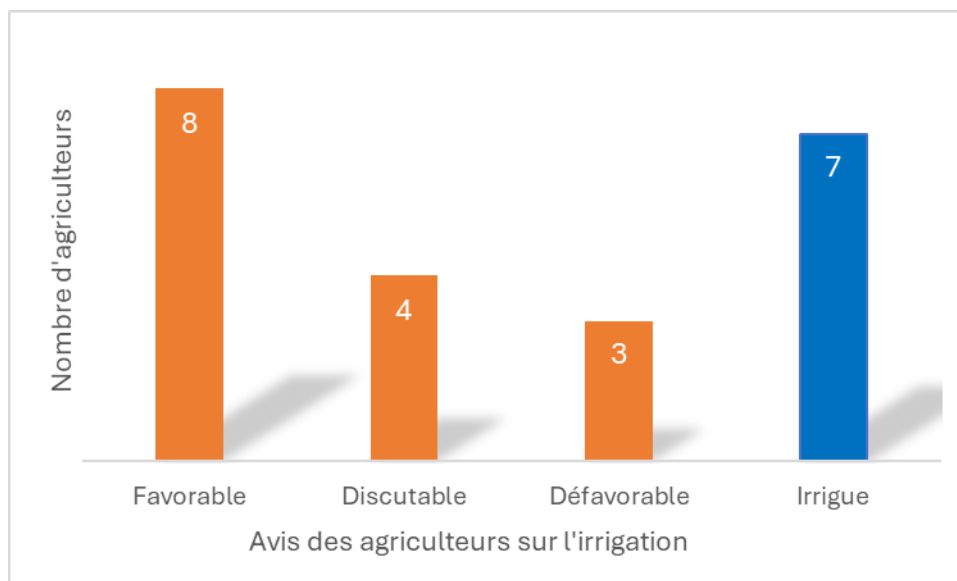


Figure 32 : Graphique montrant la répartition de l'avis des agriculteurs sur l'irrigation (en orange) et le nombre d'agriculteurs qui irriguent (en bleu)



Figure 33 : Nuage de mots de l'avis des agriculteurs sur l'irrigation et leurs justifications. Plus les termes sont grands, plus ils ont été cités.

Un des agriculteurs qui irrigue déclare tout de même qu'il faut surtout jouer sur la qualité du sol plutôt que la disponibilité en eau. Il donne comme exemple, le cas de certaines de ses parcelles irriguées qui ne produisent que légèrement plus que celles non irriguées. Le goutte-à-goutte est la technique utilisée par tous les agriculteurs irrigants, sauf un exploitant qui est contre cette méthode et préfère faire de l'aspersion. Selon lui, cela ne favorise pas le développement racinaire de la vigne en profondeur pour aller chercher de l'eau.

Certains exploitants ont un avis plus mitigé sur l'irrigation car d'après eux, elle n'est pas une solution viable dans le temps. Elle est aussi qualifiée de chère et non indispensable pour la vigne qui est une culture secondaire (non nécessaire pour vivre).

4. Une inquiétude grandissante pour le futur

Tous les agriculteurs, à l'exception de l'un d'eux qui s'estime seulement préoccupé, ont répondu qu'ils étaient soit inquiets soit extrêmement anxieux quant aux tensions sur la ressource en eau à venir (Figure 34). Le seul exploitant ayant répondu qu'il était préoccupé l'a justifié en expliquant que c'est un problème parmi d'autres et qu'il n'arrivait plus à se projeter sur le long terme.

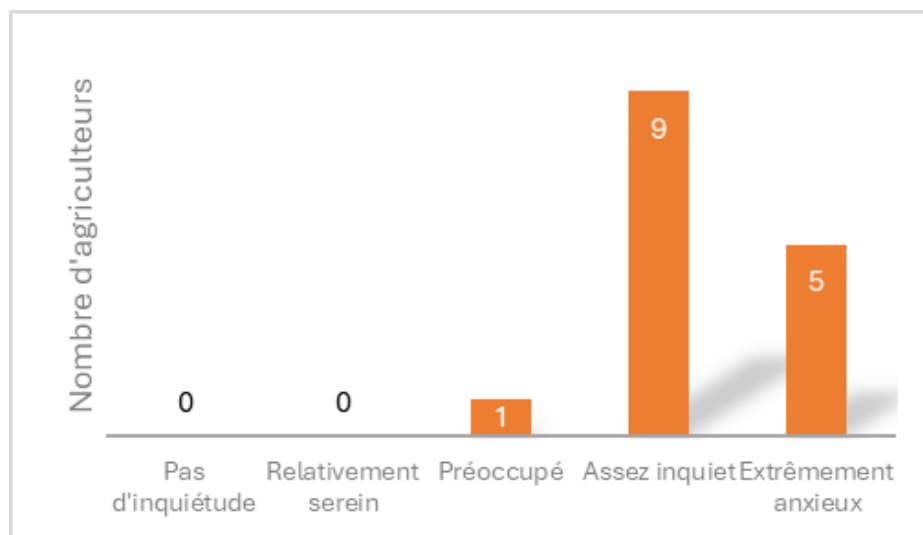


Figure 34 : Inquiétude relative à la tension sur la ressource en eau estimée par les agriculteurs

Cette forte inquiétude s'explique par ces dernières années où plusieurs aléas climatiques se sont déroulés et ont impacté leur production. Les plus cités sont notamment le gel de 2017 et les fortes chaleurs de 2019 qui selon plusieurs d'entre eux ont fait chauffer les feuilles de vignes à plus de 40 °C.

“En 2019 c'est comme si vous étiez passés à côté des vignes avec un chalumeau.”

Ainsi, certains ont perdu jusqu'à la moitié de leur récolte cette année-là. Les viticulteurs perdent aussi de plus en plus de pieds à cause de la sécheresse et des fortes chaleurs, et ont en plus d'un stress lié aux variations annuelles de rendement selon la présence ou non d'événements climatiques extrêmes et des précipitations annuelles, peur pour la pérennité de leur exploitation.

“S'il continue à faire de plus en plus sec, il faudra qu'on change de métier.”

Le gel devient également de plus en plus problématique car il survient après le débourrement des vignes qui, à cause du réchauffement climatique, démarre de plus en plus tôt. De manière générale, les exploitants ont du mal à se remettre de toutes ces années difficiles consécutives et à se projeter sur le long terme.

5. Adaptations pour faire face au changement climatique

Afin de faire face au changement climatique, les agriculteurs que nous avons rencontrés mettent en place un grand nombre d'aménagements et/ou de pratiques. Certains sélectionnent même des espèces mieux adaptées à la sécheresse et au gel.

5.1 Adaptation de la culture

Sur 15 interviewés, 10 ont décidé de changer de variété voire d'espèce culturale. Une des stratégies de ces 10 exploitants est de rediriger leur production vers des espèces qui sont résistantes à la sécheresse en gardant tout de même une culture similaire. Parmi les enquêtés, des cultures ont été mises en place : des céréales, telles que le petit épeautre en remplacement du blé, des arbres comme l'amandier et l'olivier ou encore des plantes médicinales (thym et lavande principalement). Toutes ces espèces demandent moins d'eau et résistent plus facilement à la chaleur.

De plus, le choix des espèces est également influencé par le calendrier cultural. En effet, certains arboriculteurs réorientent leur production vers des espèces qui produisent avant les périodes les plus sèches. Par exemple, les pêchers, qui consomment énormément d'eau lors de la période sèche (juin à août), sont remplacés par des cerisiers qui produisent avant la période sèche et qui, par conséquent nécessitent moins d'eau.

Les viticulteurs s'orientent quant à eux vers des cépages tardifs pour pouvoir limiter le risque de gel sur leur culture. Sur l'ensemble des enquêtés, trois viticulteurs se sont tournés vers des cépages ancestraux qui sont mieux adaptés aux changements climatiques et qui produisent des vins de bonne qualité aujourd'hui, comparée à celle de l'époque. En effet, selon ces mêmes viticulteurs, les cépages ancestraux sont des cépages à gros grains. Ces derniers se gorgent d'eau lorsqu'il y a de fortes pluies. Les pluies se faisant rares, les vignes fournissent des grains de taille acceptable et plus équilibrés en acidité et en sucres. D'autres viticulteurs sélectionnent des cépages étrangers (italiens par exemple) qui sont cultivés dans des conditions semblables aux conditions méditerranéennes actuelles et à venir. En plus d'être résistants, ce sont des cépages dont la valorisation est plus importante, ce qui permet d'avoir un revenu acceptable malgré un rendement plus faible. Cependant, le choix des cépages peut être restreint dans le cas où les exploitations produisent sous des appellations car elles doivent respecter le cahier des charges de celles-ci. De plus, certains agriculteurs se plaignent d'un manque de marché qui les empêche de se tourner vers des cépages résistants.

Les raisons pour lesquelles les cinq exploitants restants n'ont pas mis en place des espèces ou des cépages résistants à la sécheresse sont les suivantes :

- Un manque de connaissances et de recherches sur les espèces ;
- Des cultures pérennes qui impliquent plusieurs années de mise en place et donc une grande anticipation ;
- Une préférence pour la sélection de porte-greffes "plongeurs".

Le choix d'un porte greffe dit "plongeur" fait également partie d'une adaptation pour faire face au manque d'eau. Ainsi, cinq exploitants se tournent vers des porte greffes dont les racines sont plongées car il est plus facile pour ces dernières d'explorer le sol afin d'aller chercher de l'eau.

5.2 Pratiques et aménagements pour s'adapter au changement climatique

Pour faire face aux changements climatiques, et principalement au manque d'eau en agriculture, de nombreuses pratiques et de nombreux aménagements peuvent être mis en place. Ainsi, lors de nos entretiens, nous avons interrogé les agriculteurs sur les pratiques et les aménagements connus et mis en place sur leurs exploitations pour favoriser le stockage de l'eau dans les sols. Dans le graphique ci-dessous (Figure 35), nous pouvons observer les pratiques et les aménagements cités lors des entretiens et le nombre d'agriculteurs les mettant en place.

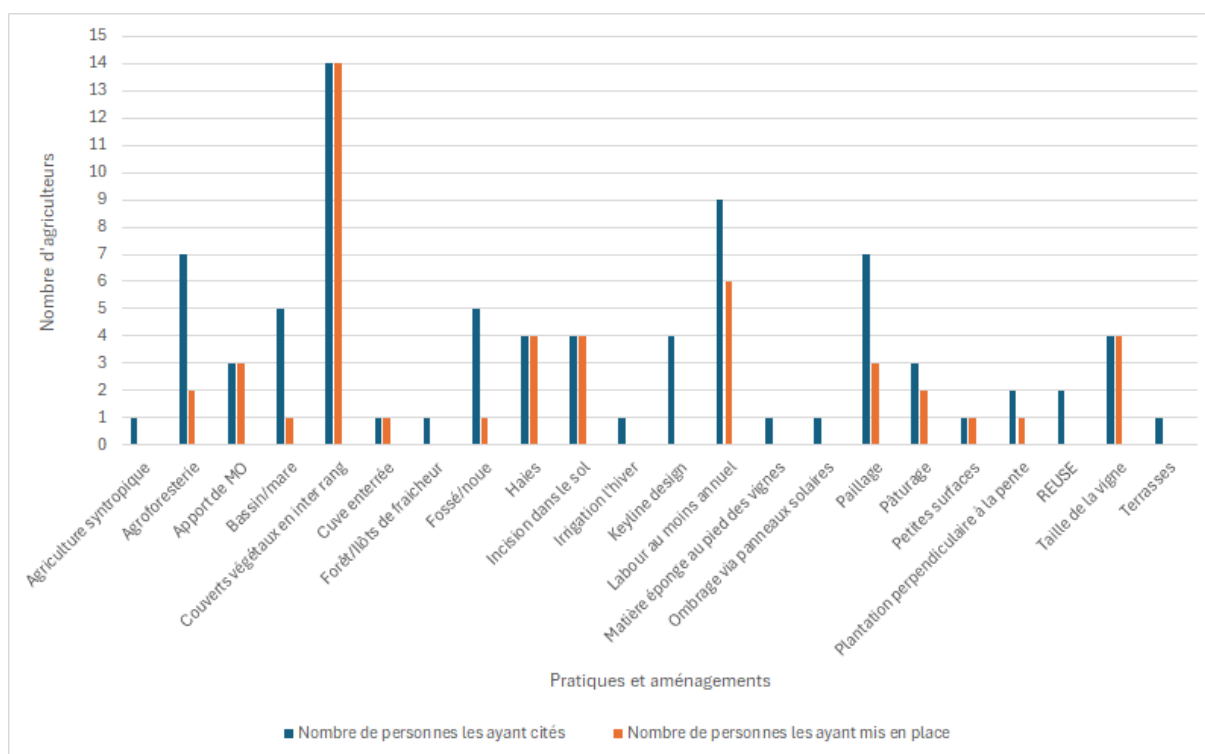


Figure 35 : Comparaison des pratiques et aménagements mentionnés et de ceux mis en place

Au total, 22 aménagements et pratiques ont été cités dont 4 qui sont revenus au moins 7 fois sur 15 : l'agroforesterie, les couverts végétaux en inter-rang, le labour annuel et le paillage. Ce graphique montre que sur l'ensemble des aménagements et des pratiques, seuls 15 sont mis en place par les agriculteurs avec, pour certaines, seulement un agriculteur.

La pratique la plus souvent mentionnée est la mise en place d'un couvert végétal dans l'inter-rang (14 l'ayant mis en place sur au moins une partie de leur culture principale, sur 15 personnes interrogées). Cependant, le couvert végétal peut être géré de différentes manières. Il peut ainsi par exemple être soit permanent soit temporaire, et être spontané ou semé (cf. introduction et gestion du couvert végétal).

Ainsi, force est de constater que peu de pratiques sont connues par la plupart des agriculteurs (seulement 2 sont connues par plus de la moitié des agriculteurs, à savoir le couvert végétal et le labour). Cela soulève peut-être un manque de communication sur ce qu'il est possible de mettre en place. Nous pouvons aussi penser que les agriculteurs connaissent ces pratiques mais ne les assimilent pas à des pratiques favorisant le stockage de l'eau dans les sols.

Lors des entretiens, les agriculteurs ont pu mettre en évidence les effets positifs et les difficultés actuelles et passées suite à la mise en place de ces aménagements et des pratiques sur leurs exploitations, résumés dans le tableau suivant (Tableau 3).

Tableau 3 : Aménagements et pratiques mis en place par les agriculteurs, leurs effets positifs sur les cultures et les difficultés auxquelles ils ont fait face.

Aménagements/pratiques	Effets positifs	Difficultés
Agroforesterie	<ul style="list-style-type: none"> • Protège le sol • Ombrage • Produit et entretient le cycle de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place longue • Besoin d'eau les premières années
Apport de MO	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleure infiltration • Meilleure porosité 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps • Approvisionnement
Bassin/mare	<ul style="list-style-type: none"> • Biodiversité 	<ul style="list-style-type: none"> • Foncier
Couverts végétaux en inter-rang	<ul style="list-style-type: none"> • Apport de MO • Meilleure infiltration • Biodiversité • Stockage de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Concurrence • Perte de rendement • Temps • Coûts (outillage)
Haies	<ul style="list-style-type: none"> • Biodiversité 	<ul style="list-style-type: none"> • Concurrence • Perte de rendement
Paillage	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de l'humidité • Champignons • Meilleure infiltration • Apport d'azote 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps
Petites surfaces	<ul style="list-style-type: none"> • Biodiversité 	
Plantation en perpendiculaire à la pente	<ul style="list-style-type: none"> • Ralentissement du ruissellement 	
Taille de la vigne	<ul style="list-style-type: none"> • Ombrage 	

On peut constater que des méthodes citées plusieurs fois ne sont pas forcément mises en place par les agriculteurs. En effet, l'agroforesterie et le paillage, cités à sept reprises, ne sont mis en place que par deux et trois agriculteurs, respectivement. D'autres méthodes n'ont été citées qu'une seule fois et n'ont pas été mises en place.

Dans le tableau suivant (Tableau 4), nous avons détaillé les raisons évoquées par les exploitants, pour justifier le fait qu'ils n'aient pas mis en place ces aménagements et ces pratiques. Certains ne sont pas dans le tableau car nous n'avions pas de justification de leur réticence à la mise en place de ces méthodes. Certaines raisons sont régulièrement ressorties comme la concurrence hydrique, dont découle la perte de rendement, le manque de connaissances, les coûts (financiers, matériel et temps de mise en place et d'entretien), le foncier et le manque ou les contraintes d'obtention d'aide financière.

Tableau 4 : Raisons pour lesquelles les aménagements et pratiques ne sont pas mis en place par les agriculteurs.

Aménagements et pratiques	Raisons pour lesquelles ce n'est pas mis en place
Agroforesterie	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté pour faire dossier de subvention • Concurrence • Perte de rendement • Manque de connaissance • Contreproductif
Bassin/mare	<ul style="list-style-type: none"> • Foncier
Couverts végétaux en inter-rang	<ul style="list-style-type: none"> • Concurrence • Temps • Efficacité • Coûts
Cuve	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts
Forêt	<ul style="list-style-type: none"> • Foncier • Manque d'aide
Fossé/noue	<ul style="list-style-type: none"> • Sceptique sur l'utilité • Prends du temps (entretien et mise en place)
Haies	<ul style="list-style-type: none"> • Difficulté pour faire dossier de subventions • Contreproductif • Concurrence
Irrigation l'hiver	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'accès à l'eau
Keyline design	<ul style="list-style-type: none"> • Parcelles trop morcelées • Pas de pente
Labour au moins annuel	<ul style="list-style-type: none"> • Matériel
Paillage	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts • Manque de connaissance • Arrêt du labour
Pâturage	<ul style="list-style-type: none"> • Sol non favorable • Pas d'éleveur à proximité • Pas tout restitué à la parcelle
REUSE (Réutilisation des eaux usées)	<ul style="list-style-type: none"> • Sceptique • Besoin d'infrastructure • Coûts
Terrasses	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de pente

La délocalisation des parcelles, voire des domaines viticoles, a été évoquée lors des entretiens par deux agriculteurs, dont un qui a déjà déplacé l'intégralité de sa production au Nord de sa commune, la partie Sud n'étant plus exploitable pour la culture de la vigne. Malgré une

délocalisation, l'exploitant souhaiterait tout de même valoriser ses parcelles mais n'a pour l'instant pas trouvé de solution viable.

“Actuellement, on est en train de gagner du temps en remontant sur des sols avec de bonnes capacités de stockage de l'eau, mais ça va durer 10, 15 voire 20 ans tout au plus, ça reste fragile.”

Enfin, il est ressorti que malgré toute leur volonté et tous les moyens mis en place, sans apport exogène d'eau, la pluie reste un facteur limitant à toutes les méthodes.

5.3 Efficience de la gestion de l'eau des exploitants

Lors de nos entretiens, nous avons cherché à savoir comment les agriculteurs estimaient l'efficience de la gestion de l'eau au sein de leur exploitation. Pour cela, nous avons proposé une question avec quatre propositions : “pas efficace”, “à optimiser”, “satisfaisant mais avec des améliorations possibles” et “optimal”. A l'issue de nos entretiens il ressort qu'il est difficile pour eux de s'évaluer car ils n'ont pas de moyen comparatif et ne savent pas si leur gestion est efficace. Dans un premier temps, nous avons cherché à savoir si les agriculteurs qui irriguent ont une vision différente de leur gestion de l'eau mais l'irrigation ne semble pas impacter l'efficacité de cette gestion (selon le test Kruskal et Wallis p-value : 0,6076), avec une moyenne de 2,9 pour les non-irrigants contre 2,7 pour les irrigants. Ainsi, sur l'ensemble des enquêtés, un tiers pense que leur système reste à optimiser au vu principalement des rendements qu'ils ont. En revanche, plus de 50 % pense que leur système est satisfaisant et répond à leurs attentes. Cependant, s'ils pouvaient faire mieux ils mettraient en place d'autres pratiques et aménagements pour améliorer l'efficience de la gestion de l'eau. Enfin, seuls deux agriculteurs estiment qu'ils ont une gestion optimale de l'eau car ils ne voient pas ce qu'ils peuvent faire en plus, n'ayant pas d'autres connaissances sur le sujet (Figure 36).

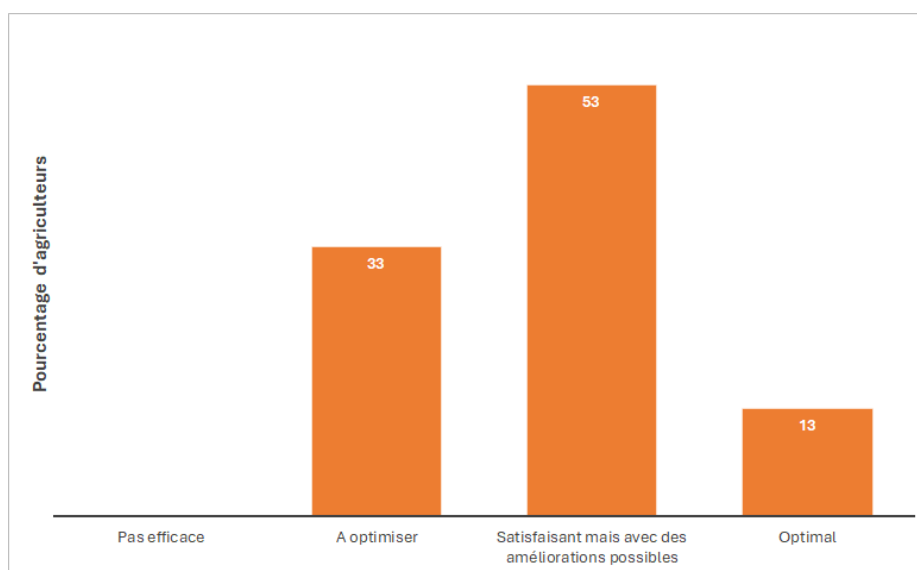


Figure 36 : Evaluation personnelle des agriculteurs de l'efficacité de leurs pratiques actuelles en matière de gestion de l'eau.

6. Ouverture : vers une gestion intégrée

Parmi les 15 agriculteurs interrogés, seulement 5 (33 % de l'échantillon) avaient déjà entendu parler du terme d'hydrologie régénérative (Figure 37). Mais parmi eux, un seul connaissait les grands principes et a pu définir le terme.

La moitié des enquêtés est favorable pour suivre une formation. Parmi ceux qui ont répondu négativement, certains expliquent qu'une formation pourrait être intéressante mais que cela demande du temps ou de l'argent alors qu'ils ont accès à d'autres sources d'informations gratuites (chambre d'agriculture ou INRAE par exemple). L'un des agriculteurs déclare qu'il a besoin de comprendre davantage l'aspect concret de l'hydrologie régénérative, ce qui lui demande du temps, avant de penser à se former. Ainsi, mieux comprendre ce terme pourrait inciter les personnes à suivre une formation. Le terme étant récent en France, il peut donner l'impression aux agriculteurs qu'il s'agit d'un concept nouveau, mais il englobe de nombreuses pratiques que les exploitants connaissent déjà. De plus, parmi ceux qui ont répondu qu'ils étaient intéressés pour une formation, plusieurs attentes ont été mentionnées. Ils ont besoin de retours d'expériences et d'aborder des cas concrets et spécifiques, permettant de mieux comprendre comment appliquer ces techniques à leurs parcelles.

L'hydrologie régénérative s'applique essentiellement à l'échelle du bassin versant, c'est pourquoi la coopération des agriculteurs est primordiale pour la mise en place de pratiques ou d'aménagements en faveur du stockage de l'eau. Parmi les agriculteurs interrogés (Figure 37), la majorité y est favorable (67 %). Ils veulent cependant avoir des explications et des exemples concrets d'aménagements et de l'efficacité de ces derniers avant de commencer la collaboration. D'après un des agriculteurs favorables, il faudrait aussi se concentrer à l'échelle d'une parcelle en premier lieu avant d'élargir au bassin versant. Comme évoqué par un expert que nous avons interrogé, il est difficile de mettre en place un projet commun, en particulier à cause du facteur humain. Un exploitant défavorable qualifie même la collaboration "d'utopique", selon lui il faudrait payer les exploitants pour qu'ils acceptent.

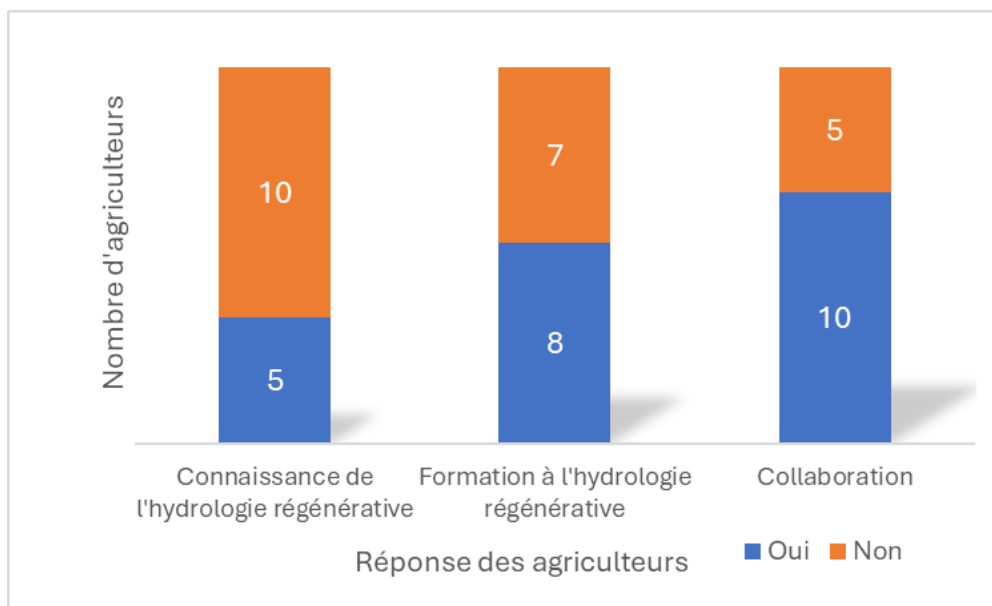


Figure 37 : Réponse des agriculteurs sur leur connaissance du terme "Hydrologie régénérative" et leur avis sur la coopération. En bleu : les agriculteurs qui ont répondu "oui", en orange : les agriculteurs qui ont répondu "non".

7. Conclusion

LES POINTS CLES

- Ce sont majoritairement des viticulteurs qui ont été enquêtés. Beaucoup d'entre eux se diversifiaient avec plusieurs cultures secondaires.
- Les exploitations avec les plus grands rendements faisaient partie de caves coopératives.
- Les exploitants rencontrés ont une démarche environnementale : Agriculture biologique, irrigation de manière contrôlée et consciente même s'ils savent que ce n'est pas une solution durable.
- Les aléas climatiques à répétition ces dernières années inquiètent grandement les exploitants et ils ont donc du mal à se projeter sur le long terme.
- Le choix des variétés et des cultures est un levier très utilisé pour faire face aux changements climatiques.
- La concurrence hydrique, dont découle la perte de rendement, le manque de connaissances, les coûts (financiers, matériel et temps de mise en place et d'entretien), le foncier et le manque ou les contraintes d'obtention d'aide financière sont les freins à la mise en place des pratiques et aménagements qui ont régulièrement été cités par les agriculteurs.
- Il ressort des enquêtes une volonté de pouvoir faire mieux en matière de gestion de l'eau mais pour cela il leur faudrait les connaissances et les moyens.
- La majorité ne connaissent pas l'hydrologie régénérative mais seraient prêts à collaborer s'ils ont des exemples concrets illustrant l'efficacité des méthodes.

PARTIE 4

Discussion

1. Application et limites de l'hydrologie régénérative

1.1. Contexte pédo-climatique

Les objectifs principaux de l'hydrologie régénérative sont de limiter l'érosion et de favoriser l'infiltration et le stockage de l'eau. Ainsi, à partir du moment où il y a de la pluie, ce principe s'applique à tous les contextes climatiques. Lors de fortes précipitations, il est nécessaire de ralentir l'eau, mieux la répartir et la stocker provisoirement dans le sol. De plus, il est essentiel d'infiltrer et d'éviter les pertes au maximum dans les zones où cette pluie est rare.

Dans un contexte méditerranéen, les techniques mises en place pour répartir, ralentir, infiltrer et stocker l'eau de pluie sont particulièrement pertinentes pour lutter contre l'érosion et le ruissellement lors d'épisodes pluvieux voire cévenols, tout en stockant et en infiltrant l'eau dans les sols. Les changements climatiques vont avoir tendance à diminuer la fréquence de ces épisodes pluvieux, tout en augmentant leur intensité. Ainsi, la mise en place de telles pratiques est d'autant plus pertinente pour répondre aux besoins en eau des cultures, actuels et futurs, tout en favorisant la résilience des exploitations agricoles.

Cependant, la principale limite de l'hydrologie régénérative est la quantité de précipitations annuelles. Nous avons vu que les précipitations montpellieraines ont tendance à diminuer depuis plusieurs années (Figure 2) et que durant certaines, les précipitations n'atteignaient pas les besoins en eau minimaux de la vigne établis par la FAO (2017, 2019 et 2020). Ainsi, même si toute l'eau pluviale s'infiltrait et était stockée ces années-là, elle ne suffirait pas à couvrir les besoins annuels de la vigne. Si l'hydrologie régénérative permet d'améliorer l'infiltration et le stockage de l'eau dans les sols, elle ne suffira pas à elle seule à garantir la pérennité des vignes.

De plus, l'efficacité des aménagements est étroitement liée au microclimat où est située la parcelle. D'une année à l'autre, la variabilité spatiale et temporelle des précipitations peut être importante, ainsi, un aménagement efficace une année pourrait être moins efficace l'année suivante du fait de la diminution de la pluviométrie par exemple.

Enfin, la nature du sol impacte fortement le type d'aménagement ou de pratique qu'il est possible de mettre en place sur les parcelles et leur efficacité. Par exemple, un sol sableux est très drainant et a donc une capacité de rétention très faible, contrairement aux sols argileux. Ainsi, peu importe les aménagements mis en place, il paraît difficile de stocker l'eau dans un sol très drainant.

1.2. Topographie

Les pratiques et aménagements associés à l'hydrologie régénérative ont été pensés initialement dans des contextes de fortes pentes, puisque ce sont des zones géographiques particulièrement soumises aux risques de ruissellement et d'érosion. Par exemple, le Keyline design se réfléchit surtout en fonction des courbes de niveau, afin de travailler perpendiculairement à la pente pour ralentir les ruissellements, diminuer l'érosion, permettre à l'eau de s'infiltrer et ainsi la stocker dans le sol. Ces concepts s'appliquent donc très bien à des versants abrupts (terrasses). Selon un des experts, les parcelles sans aucune inclinaison n'existent pas, et il y a toujours une pente même si elle est très faible. Les principes de l'hydrologie régénérative semblent donc applicables partout.

Cependant, il nous semble plus difficile de convaincre les agriculteurs de l'efficacité de certaines pratiques et aménagements sur des terrains en zones de plaine, ce qui est le cas de la majorité des agriculteurs que nous avons rencontrés. Certaines techniques présentées dans le tableau (Tableau 2), sont applicables indépendamment de la topographie comme les couverts végétaux et le paillage. D'autres peuvent être mises en place en zone de plaine mais ont une meilleure efficacité dans les zones de pente. Parmi elles, on peut citer les bandes enherbées, les mares tampons, les bassins d'infiltration, les fascines et les haies.

1.3. Collaboration et risques

Selon nous, la mise en place de ces pratiques et de ces aménagements va de pair avec la collaboration afin de réfléchir à la gestion de l'eau à l'échelle du bassin ou du sous-bassin versant. Cette collaboration entre les différentes parties et principalement entre les agriculteurs d'un même versant est primordiale.

Dans le cas où la collaboration n'a pas lieu entre l'amont et l'aval, il se pourrait que cela crée des tensions. En effet, le fait de stocker et d'infiltrer l'eau de manière importante en amont pourrait impacter l'aval sur un déficit en eau, comparé à la situation initiale, lorsque le système est réfléchi individuellement. Au-delà d'un déficit en eau en aval, il pourrait également y avoir un trop plein d'eau à l'exutoire des aménagements, ce qui pourrait créer des inondations sur les parcelles avales.

1.4. Cultures

En théorie et selon les experts, les techniques de l'hydrologie régénérative sont applicables à tous les types de culture. Durant ce projet, nous avons surtout vu et entendu parler de projets autour de la vigne, notamment quand il était question de Keyline design. L'hydrologie régénérative est une "boîte à outils" comprenant une multitude de techniques et de concepts dont certains, tels que l'agriculture de conservation ou l'agroforesterie, sont déjà appliqués à des cultures annuelles.

Cependant, certaines méthodes sont plus spécifiques comme l'agriculture syntropique. La pratique consiste à implanter une forte diversité et densité de plantes (Annexe 4) par associations de cultures, ainsi elle ne peut être appliquée que pour des polycultures. Si un viticulteur ou un agriculteur en grande culture veut passer en agriculture syntropique par exemple, il devra diversifier sa culture et repenser tout son système, ce qui peut être difficile à mettre en place.

2. Limites de notre étude

2.1. Différence entre théorie et pratique

En premier lieu, nous nous sommes formées théoriquement sur le stockage de l'eau dans les sols. Cependant, lors des entretiens avec les agriculteurs, nous avons été confrontées à une différence entre la théorie et la pratique sur le terrain. Dans la réalité, il faut prendre en compte :

- Les contraintes physiques de la parcelle (surface, pente, implantation des cultures...);
- Les contraintes économiques (subventions, coût des aménagements et changements de pratiques);
- Les contraintes humaines (main d'œuvre, temps de travail).

Toutes ces contraintes sont pour la plupart évoquées brièvement ou sous-entendues dans la bibliographie et l'analyse des entretiens et rendent l'application des méthodes beaucoup plus complexe dans la réalité.

2.2. Panel d'agriculteurs interrogés

Pour nos entretiens, nous avons essentiellement interrogé des viticulteurs. Les réponses que nous avons obtenues sont donc essentiellement orientées vers la vigne, ce qui limite l'extrapolation à d'autres cultures. Deux raisons expliquent la majorité de viticulteurs :

- La vigne est la culture principale dans le Living Lab (Figure 4) ;
- Pour certaines cultures comme le maraîchage, il est presque indispensable d'irriguer. Cela expliquerait pourquoi il y a peu de maraîchers dans le Living Lab, c'est-à-dire des maraîchers qui n'irriguent pas.

Lors de nos prises de contact avec les agriculteurs nous n'avons pas contacté les éleveurs car nous n'étions pas certaines de la pertinence de nos questions pour les exploitants. Ainsi, avec du recul, il aurait été intéressant de rencontrer des éleveurs qui peuvent avoir un impact important sur le stockage de l'eau et qui en ont également besoin dans les cas où ils produisent leur propre fourrage.

2.3. Limites de la zone d'étude

Notre zone d'étude se limitait tout d'abord à la métropole montpelliéraine, ce qui limitait le projet à un contexte méditerranéen. Ici, nous nous sommes donc concentrées sur le stockage de l'eau dans le sol afin de prévenir le stress hydrique estival. Il pourrait être intéressant d'étudier les pratiques et les aménagements cités au regard d'un contexte plus humide, comme au nord de la France, récemment touché par des coulées de boue et de grandes inondations. Les techniques citées pourraient en effet permettre une meilleure gestion des trop-pleins d'eau et de l'érosion. De plus, la deuxième limite est le Living Lab, territoire abritant majoritairement des exploitants non-irrigants. Si pour ces derniers, la recherche de méthodes de gestion de l'eau pour une meilleure infiltration et un stockage de l'eau dans les sols est plus que cruciale dans le contexte climatique actuel, cela reste tout de même très intéressant pour les agriculteurs irriguant leurs parcelles. Il pourrait donc être intéressant de mieux intégrer leur point de vue. Enfin, comme dit précédemment, cette limitation au Living Lab et donc aux zones non irriguées est peut-être la principale raison dans notre manque de diversité au niveau des cultures.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail éclaire les réflexions futures sur le stockage de l'eau dans les sols agricoles, dans un contexte méditerranéen. Les enjeux croissants en lien avec la ressource en eau font émerger de nouveaux concepts qui positionnent la ressource en avant dans la réflexion autour des aménagements et des pratiques agricoles. L'hydrologie régénérative, en particulier, englobe différents aménagements et pratiques favorisant le stockage, l'infiltration, la répartition et le ralentissement des écoulements de surface. Si certaines pratiques sont déjà mises en place par les agriculteurs que nous avons interrogés (les couverts végétaux, par exemple), la plupart des aménagements que nous avons étudiés dans le rapport sont peu présents dans les exploitations agricoles. Cela peut s'expliquer par la faisabilité de ces derniers, qui peut s'avérer parfois complexe, et par les pertes de rendement associées, au moins à court terme, pour certains d'entre eux (compétition hydrique et/ou surfaces nécessaires pour ces aménagements). Par ailleurs, il apparaît qu'un certain nombre de pratiques sont effectivement connues, mais ne sont pas systématiquement associées par les exploitants à des pratiques favorisant le stockage et l'infiltration de l'eau dans les sols.

La vision des experts interrogés sur l'hydrologie régénérative est systémique et implique une réflexion à l'échelle des bassins versants. Cependant, nos entretiens nous ont aussi éclairés sur la difficulté d'une coopération entre les différents acteurs, du fait de contraintes foncières notamment.

Les agriculteurs font face aux changements climatiques, à une ressource en eau de plus en plus limitée, mais doivent maintenir leur production pour s'assurer un revenu décent. L'ensemble de ces contraintes qui pèsent sur les exploitants ne favorise pas une vision à long-terme sur le bénéfice d'aménagements en lien avec le stockage de l'eau. Rendre de tels concepts, pratiques et aménagements, plus concrets pour les agriculteurs, dans un contexte pédo-climatique donné, serait une voie pour favoriser la résilience des exploitations agricoles.

Différentes perspectives peuvent être proposées dans la continuité de notre travail (Figure 38) :

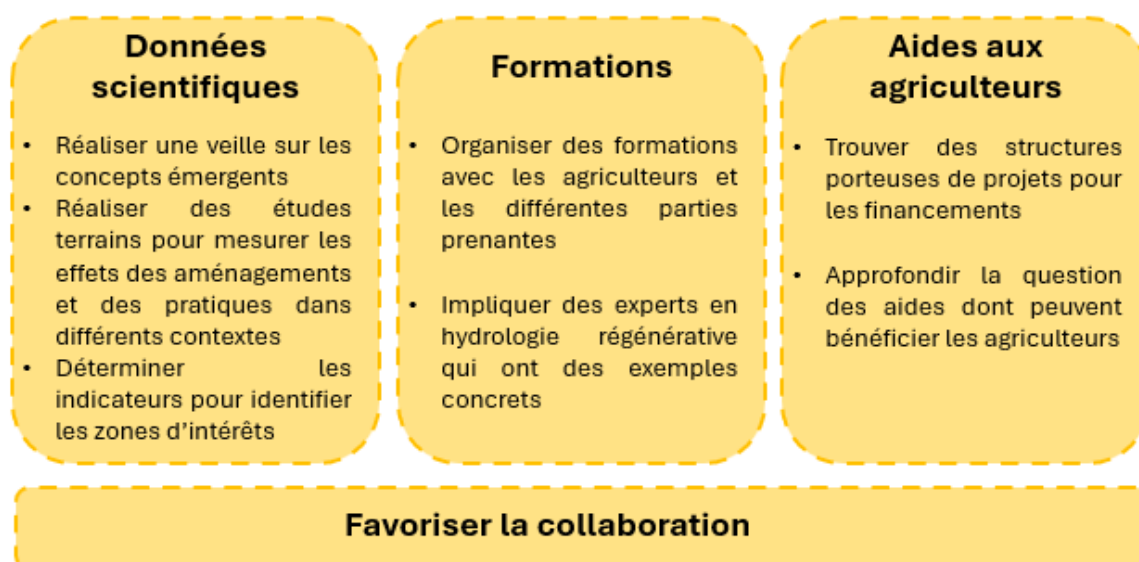


Figure 38 : Perspectives d'évolution du projet

BIBLIOGRAPHIE

- Agrilandscape, 2023. Vignes, keyline et hydrologie régénérative [WWW Document]. URL <https://www.agrilandscape.com/post/vignes-keyline-et-hydrologie-r%C3%A9g%C3%A9n%C3%A9rative> (accessed 3.19.24).
- Aguilera, E., Díaz-Gaona, C., García-Laureano, R., Reyes-Palomo, C., Guzmán, G.I., Ortolani, L., Sánchez-Rodríguez, M., Rodríguez-Estévez, V., 2020. Agroecology for adaptation to climate change and resource depletion in the Mediterranean region. A review. *Agric. Syst.* 181, 102809. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102809>
- Areas, 2012. Fascines & haies pour réduire les effets du ruissellement érosif.
- Bedel, C., 2017. Etat des lieux régional sur l'eau en Occitanie Pyrénées / Méditerranée.
- Bercy Infos Aides publiques et financements, 2024. Tout savoir sur le crédit impôt recherche (CIR) [WWW Document]. URL <https://www.economie.gouv.fr/entreprises/credit-impot-recherche> (accessed 3.19.24).
- Bonvoisin, S., 2023. Et si on pouvait cultiver l'eau ?
- MedECC, 2020. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ENVIRONNEMENTAL DANS LE BASSIN MEDITERRANÉEN Situation actuelle et risques pour le futur.
- Cousin, I., Richer de Forges, Arrouays, D., 2017. Le stockage d'eau dans les sols.
- Deloire, A., Malard, A., 2023. Les keylines : une étape fondamentale pour établir une parcelle de vigne en permaculture (1ère partie). *OENO One* 42, 113.
- FAO, 2020. State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1928en>
- FAO, 2022. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture - Systems at breaking point. Main report. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb9910en>
- Ffolliott, P.F., 2002. Land Stewardship through Watershed Management: Perspectives for the 21st Century. Springer Science & Business Media.
- Holzer, S., 2012. Desert Or Paradise: Restoring Endangered Landscapes Using Water Management, Including Lake and Pond Construction. Chelsea Green Publishing.
- Iglesias, A., Mougou, R., Moneo, M., Quiroga, S., 2011. Towards adaptation of agriculture to climate change in the Mediterranean. *Reg. Environ. Change* 11, 159–166. <https://doi.org/10.1007/s10113-010-0187-4>
- INRAE UMR Silva, n.d. L'eau verte et l'eau bleue [WWW Document]. URL <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/fr/fiche/eau-verte-eau-bleue> (accessed 3.19.24).
- IPCC, 2022. Climate Change and Land: IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems, 1st ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157988>
- Kambou, D., Xanthoulis, D., Ouattara, K., Degré, A., 2014. Concepts d'efficience et de productivité de l'eau (synthèse bibliographique). *Biotechnol Agron Soc Env.*
- Lankford, B., Orr, S., 2022. Exploring the Critical Role of Water in Regenerative Agriculture; Building Promises and Avoiding Pitfalls. *Front. Sustain. Food Syst.* 6.
- Leeuwen, C. van, Darriet, P., 2016. The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality. *J. Wine Econ.* 11, 150–167. <https://doi.org/10.1017/jwe.2015.21>
- Malard, A., 2021. Vignes, vins et permaculture, Editions France Agricole. ed, Vigne et vin.
- Marín, D., Armengol, J., Carbonell-Bejerano, P., Escalona, J. m., Gramaje, D., Hernández-Montes, E., Intrigliolo, D. s., Martínez-Zapater, J. m., Medrano, H., Mirás-Avalos, J. m.,

- Palomares-Rius, J. e., Romero-Azorín, P., Savé, R., Santesteban, L. g., de Herralde, F., 2021. Challenges of viticulture adaptation to global change: tackling the issue from the roots. *Aust. J. Grape Wine Res.* 27, 8–25. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12463>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-P., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., 2019. GIEC, 2018 : Résumé à l'intention des décideurs, Réchauffement planétaire de 1,5 °C, Résumé technique, Foire aux questions, Glossaire.
- McCartney, M., Smakhtin, V., 2010. Water storage in an era of climate change: addressing the challenge of increasing rainfall variability. Blue paper. IWMI Rep., IWMI Reports.
- Mekdaschi Studer, R. and Liniger, H., 2013. Water Harvesting : Guidelines to Good Practice. Centre for Development and Environment (CDE), Bern; Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN), Amsterdam; MetaMeta, Wageningen; The International Fund for Agricultural Development (IFAD), Rome.
- Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, 2023. Gestion de l'eau en France [WWW Document]. Ministère Transit. Écologique Cohésion Territ. URL <https://www.ecologie.gouv.fr/gestion-leau-en-france> (accessed 3.19.24).
- Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 2012. Explore2070 Hydrologie de surface A1 –Rapport de synthèse.
- Newton, P., Civita, N., Frankel-Goldwater, L., Bartel, K., Johns, C., 2020. What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes. *Front. Sustain. Food Syst.* 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.577723>
- Shepard, M., 2013. Agriculture de régénération (livre) [WWW Document]. Permac. Des. URL <https://www.permaculturedesign.fr/livre-permaculture-agriculture-de-regeneration-de-mark-shepard/> (accessed 1.22.24).

Bibliographie du tableau des méthodes et aménagements

- [1] « Zone enherbée ». Consulté le: 19 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2016/11/14-zone-enherbee.pdf>
- [2] « Les eaux pluviales dans l'aménagement ». Consulté le: 19 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/actesynteses/APS09actes_eaux_pluviales_aménagement.pdf
- [3] « Mare tampon ». Consulté le: 29 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.smbvas.fr/_files/ugd/f2ee02_00355ab45a95482791a3b1ac1fc2b472.pdf
- [4] « Bassin d'infiltration.pdf ». Consulté le: 31 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.siaivos.fr/wp-content/uploads/2020/06/catalogue-fiches.pdf>
- [5] « La fascine ». Consulté le: 22 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Pays_de_la_Loire/022_Inst-Pays-de-la-loire/RUBR-Agro-ecologie/IAE_BAO_La_fascine.pdf
- [6] P. Kiepe, « No Runoff, No Soil Loss : Soil and Water Conservation in Hedgerow Barrier Systems ». Consulté le: 25 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur:

- <https://www.proquest.com/openview/a976ae8572f797179db5cdf523cceed4/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>
- [7] « La haie.pdf ». Consulté le: 23 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Pays_de_la_Loire/022_Inst-Pays-de-la-loire/RUBR-Agro-ecologie/IAE_BAO_La_haie.pdf
- [8] « Fossé-talus ». Consulté le: 24 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.smbvas.fr/_files/ugd/f2ee02_1ea43038b0ef4b808d34533e200217be.pdf
- [9] « Les noues ». Consulté le: 29 janvier 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.cerema.fr/system/files/documents/2018/01/5_AServier.pdf?fbclid=IwAR1e2Q-vclnAJ8LvAD5hbMKoS-CsFROD8fP-xL9_UjVaZF6nhntB5Ew74Uo
- [10] Cerema, « Les noues et les fossés, principes de fonctionnements et services écosystémiques », Scribd. Consulté le: 19 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.scribd.com/document/700477266/Web-Noues-Et-Fosses-12-08-22>
- [11] G. Bodner, A. Nakhforoosh, et H.-P. Kaul, « Management of crop water under drought: a review », *Agron. Sustain. Dev.*, vol. 35, n° 2, p. 401-442, avr. 2015, doi: 10.1007/s13593-015-0283-4.
- [12] « Sécheresse et agriculture : Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau ». Consulté le: 26 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/s%C3%A9cheresse%20rapport%20complet.pdf>
- [13] A. Novara, A. Cerda, E. Barone, et L. Gristina, « Cover crop management and water conservation in vineyard and olive orchards », *Soil Tillage Res.*, vol. 208, p. 104896, avr. 2021, doi: 10.1016/j.still.2020.104896.
- [14] M. Ruiz-Colmenero, R. Bienes, et M. J. Marques, « Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards », *Soil Tillage Res.*, vol. 117, p. 211-223, déc. 2011, doi: 10.1016/j.still.2011.10.004.
- [15] F. Jun, G. Yu, W. Quanjiu, S. S. Malhi, et L. Yangyang, « Mulching effects on water storage in soil and its depletion by alfalfa in the Loess Plateau of northwestern China », *Agric. Water Manag.*, vol. 138, p. 10-16, mai 2014, doi: 10.1016/j.agwat.2014.02.018.
- [16] H. S. El-Beltagi *et al.*, « Mulching as a Sustainable Water and Soil Saving Practice in Agriculture: A Review », *Agronomy*, vol. 12, n° 8, Art. n° 8, août 2022, doi: 10.3390/agronomy12081881.
- [17] G. Damant et F. Villela, « CAN AGROFORESTRY IMPROVE SOIL WATER AND TEMPERATURE DYNAMICS IN AGRICULTURE? A CASE STUDY WITH SYNTROPIC FARMING IN BAHIA, BRAZIL », 2018, [En ligne]. Disponible sur: https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/18618/1/EURAFIVConf_Damant_G_et_all_page_161_164.pdf
- [18] S. H. Anderson, R. P. Udawatta, T. Seobi, et H. E. Garrett, « Soil water content and infiltration in agroforestry buffer strips », *Agrofor. Syst.*, vol. 75, n° 1, p. 5-16, janv. 2009, doi: 10.1007/s10457-008-9128-3.
- [19] D. Siriri *et al.*, « Trees improve water storage and reduce soil evaporation in agroforestry systems on bench terraces in SW Uganda », *Agrofor. Syst.*, vol. 87, n° 1, p. 45-58, févr. 2013, doi: 10.1007/s10457-012-9520-x.
- [20] C. Foucaud-Scheunemann, « Agroforesterie : des arbres pour une agriculture durable », INRAE Institutionnel. Consulté le: 19 février 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.inrae.fr/actualites/agroforesterie-arbres-agriculture-durable>

- [21] J. Stancheva, S. Bencheva, K. Petkova, et V. Piralkov, « Possibilities for agroforestry development in Bulgaria: Outlooks and limitations », *Ecol. Eng.*, vol. 29, n° 4, p. 382-387, avr. 2007, doi: 10.1016/j.ecoleng.2006.09.013.
- [22] I. Fiebrig, S. Zikeli, S. Bach, et S. Gruber, « Perspectives on permaculture for commercial farming: aspirations and realities », *Org. Agric.*, vol. 10, n° 3, p. 379-394, sept. 2020, doi: 10.1007/s13165-020-00281-8.
- [23] B. Ghaley *et al.*, « Assessment of Benefits of Conservation Agriculture on Soil Functions in Arable Production Systems in Europe », *Sustainability*, vol. 10, p. 794, mars 2018, doi: 10.3390/su10030794.
- [24] R. A. Jat, K. L. Sahrawat, et A. H. Kassam, *Conservation Agriculture: Global Prospects and Challenges*. CABI, 2013.
- [25] H. Lee, S. Lautenbach, A. P. G. Nieto, A. Bondeau, W. Cramer, et I. R. Geizendorffer, « The impact of conservation farming practices on Mediterranean agro-ecosystem services provisioning—a meta-analysis », *Reg. Environ. Change*, vol. 19, n° 8, p. 2187-2202, déc. 2019, doi: 10.1007/s10113-018-1447-y.
- [26] C. E. Norris et K. A. Congreves, « Alternative Management Practices Improve Soil Health Indices in Intensive Vegetable Cropping Systems: A Review », *Front. Environ. Sci.*, vol. 6, juin 2018, doi: 10.3389/fenvs.2018.00050.
- [27] P. R. Ward, K. C. Flower, N. Cordingley, C. Weeks, et S. F. Micin, « Soil water balance with cover crops and conservation agriculture in a Mediterranean climate », *Field Crops Res.*, vol. 132, p. 33-39, juin 2012, doi: 10.1016/j.fcr.2011.10.017.
- [28] T. Döbert, E. Bork, S. Apfelbaum, et C. Carlyle, « Adaptive multi-paddock grazing improves water infiltration in Canadian grassland soils - ScienceDirect », oct. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115314>.
- [29] J.-Y. Park, S. Ale, W. R. Teague, et J. Jeong, « Evaluating the ranch and watershed scale impacts of using traditional and adaptive multi-paddock grazing on runoff, sediment and nutrient losses in North Texas, USA », *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 240, p. 32-44, mars 2017, doi: 10.1016/j.agee.2017.02.004.
- [30] « Pâturage tournant ». Consulté le: 25 mars 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://moselle.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Grand-Est/41_paturage_tournant_ce_quil_faut_savoir_fiche_technique_herbe_2018.pdf

TABLES DES ANNEXES

Annexe 1 : Fiche expert Alain MALARD
Annexe 2 : Fiche expert Simon RICARD
Annexe 3 : Fiche expert Olivier MALARD
Annexe 4 : Fiches des pratiques et des aménagements pour le stockage de l'eau
Annexe 5 : Grille des entretiens

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche expert Alain MALARD

FICHE EXPERT N°1

ALAIN MALARD

VIGNERON - CONSULTANT - AUTEUR - CONFERENCIER
AGROECOLOGIE ET PERMACULTURE



PARCOURS

Formation à l'Institut des Sciences de la vigne et du vin
Certificat de Design en Permaculture, Science de conception de cultures de lieux de vie et de systèmes agricoles humains
Auto-formation

SA DÉFINITION DE L'HYDROLOGIE RÉGÉNÉRATIVE

Façon de régénérer les sols via les flux d'eau avec pour objectif de ralentir, capter, infiltrer, stocker l'eau et évacuer les excédents.



PRINCIPALES PUBLICATIONS

Livre :

- Vignes, Vins et Permaculture (2021).



COORDONNÉES

www.permavitis.com



: <https://www.linkedin.com/in/alainmalard/>

POURQUOI LA PERMACULTURE ET LE KEYLINE DESIGN ?

Alain MALARD a toujours eu une volonté de préserver l'environnement et a testé différentes pratiques en passant par l'agriculture raisonnée, l'agriculture biologique, la biodynamie et enfin la permaculture.

L'intégration de la gestion de l'eau dans ses systèmes de permaculture sont principalement sous le modèle du Keyline design.



SA VISION

- Laisser le milieu apprivoiser les culture et non l'inverse
- Ce n'est pas grâce à l'hydrologie régénérative qu'on va retrouver des rendements qu'on a perdu mais permet de le stabiliser.
- S'il ne pleut pas, il n'y a pas d'eau à infiltrer donc ça ne change rien.

FICHE EXPERT N°2

SIMON RICARD

CONSULTANT - FORMATEUR - CONFÉRENCIER -
HYDROLOGIE ET AGRICULTURE RÉGÉNÉRATIVES



PARCOURS

Diplôme d'ingénieur des Mines
Reconversion en 2014 dans la permaculture
Formation aux techniques d'agriculture et
d'hydrologie régénérative auprès d'experts
internationaux comme Darren Doherty et
Eugenio Gras.

COORDONNÉES

Site internet Permalab :

<https://permalab.fr/>

 : <https://www.linkedin.com/in/simon-ricard-815b7a185/>



SA DÉFINITION DE L'HYDROLOGIE RÉGÉNÉRATIVE

Terme proposé par Permalab pour
regrouper les différentes pratiques qui
visent à ralentir, répartir, infiltrer et
stocker toute l'eau de pluie et de
ruissellement dans le sol.

POURQUOI L'HYDROLOGIE RÉGÉNÉRATIVE ?

Objectif : diffusion des approches visant
la régénération du cycle de l'eau par des
principes d'aménagement d'espaces
agricoles. Le concept repose sur un
socle commun : aménager et prioriser la
gestion de l'eau en fonction du relief et
de l'écoulement de l'eau avec un
objectif de **régénération des
écosystèmes.**



COMMENT ?

- **Vision globale :** régénérer les cycles de l'eau ;
- **Stratégie :** Conception, types d'aménagements, à la parcelle, à l'échelle de l'exploitation voir à l'échelle du territoire / BV ;
- **Technique :** mise en œuvre, types d'ouvrages, approches agro-écologiques. Les techniques sont à appliquer en **fonction du contexte.**



SA VISION

- Régénérer les cycles de l'eau
- "Penser l'eau en priorité"
- Questionnement autour d'un "remembrement hydrologique"

FICHE EXPERT N°3

OLIVIER HEBRARD

CONSULTANT EN AGROÉCOLOGIE, PERMACULTURE,
GESTION INTÉGRÉE DE LA RESSOURCE EN EAU



PARCOURS

Master en science de l'eau à l'Université
de Montpellier
Doctorat en Science de l'eau UMR LISAH
Consultant en agroécologie, gestion
intégrée de la ressource eau

SA DÉFINITION DE L'HYDROLOGIE RÉGÉNÉRATIVE

Aménagement du territoire pour
légèrement modifier le cycle de l'eau
douce afin de le rendre plus vertueux et
de le régénérer en cherchant à tout
mettre en œuvre pour conserver cette
eau sur la parcelle.

Regroupe un ensemble de disciplines
(hydrologie, agronomie, hydrogéologie,
pédologie, climatologie...) en vision
globale dans le but de retenir l'eau
plutôt que de la laisser filer.



PRINCIPALES PUBLICATIONS

- Le Monde (2023) : Pour faire face aux sécheresses, il faut avant tout revoir les usages de l'eau et repenser les systèmes agricoles.
- Le Monde (2020) : Face aux sécheresses, changer de modèle agricole.
- Le Monde (2011) : Quel avenir pour l'écrevisse à pieds blancs ?
- Journal of Hydrology (2006) : Spatio-temporal distribution of soil surface moisture in a heterogeneously farmed Mediterranean catchment.



COORDONNÉES

 : <https://www.linkedin.com/in/olivier-h%C3%A9brard-agroecologie-permaculture-eau/>

POURQUOI UNE GESTION INTÉGRÉE DE L'EAU ?

Durant son enfance, il a grandi dans une ferme polyculture-élevage où il a été sensibilisé aux effets des changements de pratiques et à leurs impacts sur l'environnement et principalement la qualité de l'eau. Face à ce constat, il a su qu'il travaillerait dans la gestion de l'eau en intégrant une vision holistique.



SA VISION

- Travailler en interrelation entre les différentes disciplines
- Bien comprendre la géologie et la pédologie du milieu
- Privilégier les pratiques agroécologiques avant les aménagements
- Concertations apolitiques et avec tous les acteurs



FICHE N°1 : BANDE ENHERBÉE

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Une bande enherbée est un couvert végétal multifonctionnel d'au moins 5m de large. Il est composé d'une flore adaptée à l'environnement de la parcelle.

Ce type d'aménagement permet de réduire le ruissellement et par conséquent de favoriser l'infiltration des eaux de pluie. Il a de nombreux autres avantages tels que l'épuration des eaux ou la préservation de la faune et de la flore.

EMPLACEMENT ET TYPE DE CULTURE

Emplacement :

- A l'aval d'une parcelle
- Versant pentu
- En bordure de cours d'eau
- En fond de vallon

Tous types de cultures

EXEMPLE D'APPLICATION

Dans l'étude de Le Bissonais et al., une bande enherbée de 6 m permet de réduire le ruissellement de 70 % en moyenne entre l'amont et l'aval de la bande enherbée avec une capacité d'infiltration maximale de 50 mm/h. Cependant il existe une variabilité importante de l'efficacité d'une bande enherbée qui peut être liée à l'humidité du sol initiale, aux caractéristiques des précipitations et à l'état de la surface. De plus, elles permettent une réduction de l'érosion. En effet, la bande de 6 m a permis de réduire entre 76 % et 98 % les pertes de sol (comparée à aucune bande enherbée).

Photo d'une bande enherbée - source :
Chambre d'agriculture de la Loire



SOURCES

Chambre agriculture de la Loire, n.d., Zone enherbée, <https://www.areas-asso.fr/wp-content/uploads/2016/11/14-zone-enherbee.pdf>

Chambre agriculture Hauts de France, s.d., Bandes enherbées, https://hautsdefrance.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Hauts-de-France/Bandesenherbees_OK.pdf

Le Bissonais et al., 2004, Grass strip effects on runoff and soil loss



FICHE N°2 : MARE TAMPON

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Une mare tampon permet de réguler les débits de ruissellement et de réduire les surfaces inondées. Elle permet de stocker l'eau temporairement et se vide grâce à un ouvrage de fuite situé en aval.

Une mare tampon est un ouvrage qui permet une grande source de biodiversité (faunistique et floristique).

L'installation de ce type d'ouvrage est soumis à autorisation.

EMPLACEMENT

La mare doit être située dans un axe de concentration ou de passage des écoulements.

Elle doit être composée d'une pente douce pour pouvoir accueillir la faune sans risque.

La dimension de la mare temporaire dépend de l'origine de l'eau qui l'alimente.

EXEMPLE D'APPLICATION

Étude de la performance de petites mares tampons sur l'érosion et la qualité de l'eau de 1993 à 2001

Zone d'étude : Ferme expérimentale Scheyern proche de Munich (Allemagne) avec 22 ha de terres arables. La taille des parcelles est comprise entre 1,9 et 6,5 ha. Le ruissellement se concentre en bordure de parcelle dans les zones de dépression. De petites mares ont été créées à ce niveau-là.

Température moyenne : 8,4 °C.

Résultats (pour de fortes pluies) :

- Diminution d'un facteur 3 du pic de ruissellement
- Ruissellement réduit de 10 % par infiltration et évaporation.

Photos personnelles Vaucluse



Ouvrage de fuite



SOURCES

Chambre d'agriculture Seine maritime et AREAS, n.d. , Fiche n°16 "Mare tampon", https://www.smbvas.fr/_files/ugd/f2ee02_00355ab45a95482791a3b1ac1fc2b472.pdf
Fiener, P., Auerswald, K., Weigand, S., 2005. Managing erosion and water quality in agricultural watersheds by small detention ponds. Agric. Ecosyst. Environ. 110, 132-142. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.03.012>



FICHE N°3 : BASSIN D'INFILTRATION

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Permet le stockage temporaire des eaux et leur infiltration. L'eau provient de la pluie et des ruissellements. Le bassin doit être positionné dans un point bas à une distance minimale de 3 m de la limite de parcelle.

ILLUSTRATION

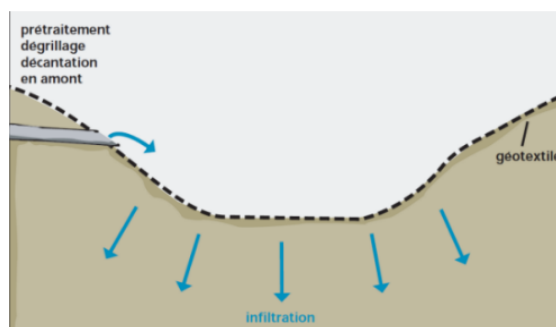


Schéma d'un bassin d'infiltration -
source : Région Rhône Alpes, 2006.

EXEMPLE D'APPLICATION

Les bassins d'infiltration sont essentiellement utilisés dans les zones urbaines pour le contrôle du ruissellement et la dépollution de l'eau. Nous n'avons pas trouvé d'application en zone agricole.

Etude de la performance d'un bassin d'infiltration en bord d'autoroute sur le ruissellement

Zone d'étude : Bordure de l'autoroute MD175 dans la localité de Columbia (Maryland, USA). Le bassin d'infiltration tapissé de sable a été construit en 2002 pour contenir un volume de 600 m³.

Résultats : réduction du pic de ruissellement de 52 % en moyenne selon l'intensité de la pluie.

SOURCES

Natarajan, P., Davis, A.P., 2015. Hydrologic Performance of a Transitioned Infiltration Basin Managing Highway Runoff. *J. Sustain. Water Built Environ.* 1, 04015002. <https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000797>



FICHE N°4 : FASCINE

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Les fascines sont des dispositifs composés de fagots de branches disposés entre deux rangées de pieux qui permettent de ralentir le ruissellement et par conséquent de favoriser l'infiltration.

Cet aménagement a besoin d'un entretien régulier.

Elles peuvent être vivantes, c'est à dire que les pieux sont vivants et les fagots morts. La majorité de ces fascines sont composés de saules. Les fascines mortes sont composées de pieux et de fagots morts.

EMPLACEMENT

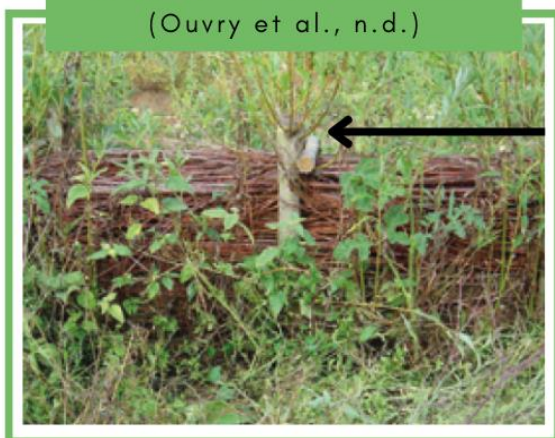
Les fascines sont à positionner en aval des parcelles ou en tête de bassin versant, sur le trajet des écoulements. Elles peuvent également être installées en milieu de pente (perpendiculairement) ce qui permettra de créer des terrasses sans apports de matières extérieures.

Densité des fascines : au moins 40% de plein (selon Ouvry et al.)

EXEMPLE D'APPLICATION

L'étude de Ouvry et al. en Seine Maritime, cherche à montrer l'impact des fascines vivantes et mortes sur les écoulements et par conséquent l'infiltration sur des sols limono-sableux en situation réelle. D'après l'étude, la présence des fascines pour les débits testés permettent une diminution par 3 des vitesses de l'eau. Lorsqu'il y a une fascine, les vitesses sont autour de 4 cm/s ce qui permet une sédimentation des particules. L'infiltration est faible pour les fascines récentes ou lorsqu'il y a peu d'activité biologique (35 ± 50 mm/h et une surface nécessaire pour infiltrer 1 L/s de 102 m²). Lorsque les fascines sont couplées à une activité biologique plus importantes, l'infiltration est moyenne (360 ± 100 mm/h et une surface nécessaire pour infiltrer 1 L/s de 10 m²) avec des valeurs qui se rapprochent de celles des haies.

Photo de fascines vivantes (Ouvry et al., n.d.)



Saule vivant

Photo de fascines mortes issus (Ouvry et al., n.d.)



SOURCES

Graie, 2009, Les eaux pluviales dans l'aménagement : principes, stratégies et solutions techniques,

https://www.graie.org/graille/doc/grailedoc/doc_telech/actesynteses/APS09actes_eaux_pluviales_aménagement.pdf

Ouvry et al., n.d., Fascines et haies pour réduire les effets du ruissellement érosif,



FICHE N°5 : HAIES

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Unité de végétation ligneuse (arbres et/ou arbustes et/ou autres ligneux) perpendiculaire à la pente.

Ralentit le ruissellement et favorise l'infiltration grâce au décompactage du sol et à l'augmentation de la MO.

		Haie dense	Haie peu dense
Densité		60 tiges/m ²	1 tige/m ²
Diamètre des tiges		2 cm	8 cm
Vitesse moyenne ruissellement pour une pente de ...	3%	0,12 m/s	0,40 m/s
	15%	0,55 m/s	2 m/s
Intérêt hydraulique		Très fort	Moindre

Tableau : Caractéristiques des haies denses et peu denses et intérêt hydraulique (Areas (2016))

ILLUSTRATION



Vue aérienne de haies formant un bocage dans les Deux-Sèvres (Jean-Louis Aubert)

EXEMPLES D'APPLICATION

L'efficacité des haies en matière de ralentissement et d'infiltration des eaux de ruissellement a été démontrée de nombreuses fois.

Le rôle de barrière végétale engendrant un ralentissement est connu, démontré et modélisé. Le ralentissement est proportionnel à la densité de tiges qui s'opposent à l'écoulement par unité de largeur traversée. La présence de feuillage renforce l'effet de ralentissement des écoulements.

On peut par exemple citer une étude qui montre que la conductivité hydraulique à saturation à proximité d'une haie arbustive varie de 180 mm à 500 mm/h.

En 1978, il a également été montré qu'à l'échelle du bassin versant, la plantation de haies perpendiculaires à la pente permet de limiter le coefficient de ruissellement des petites crues de 5 à 6% lorsque la densité de haies est élevée. Il montre également qu'une présence importante de ces haies sur le bassin divise le débit de ruissellement par 1,5 voire par 2 par rapport à un bassin versant non bocager.

SOURCE

AREAS. (2012). Fascines & haies pour réduire les effets du ruissellement érosif - Caractérisation de l'efficacité et conditions d'utilisation.



FICHE N°6 : FOSSÉ-TALUS

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Le fossé collecte les eaux de ruissellement et favorise l'infiltration de l'eau s'il possède des redents. Un fossé est souvent associé à un talus. Le talus est une construction en hauteur permettant de séparer deux zones. Il dévie le ruissellement et peut créer une zone d'infiltration en amont.

ILLUSTRATION



Exemple d'un fossé avec redents dans le Vaucluse - source : photo personnelle

QUAND EN METTRE ?

- Ravine qui traverse la parcelle
- Ruissellement, érosion
- Rigoles
- Écoulements boueux

Peuvent être positionnés à tout endroit en fonction de la problématique de la parcelle.

EXEMPLE D'APPLICATION

Etude des effets de fossés de drainage sableux sur l'infiltration

Zone d'étude : Exploitation arboricole et de terre arable à Olszanka (Pologne) sur 200 ha. Sur les pentes, des terrasses de 4 m de large et des fossés (largeur 30 cm et profondeur 80 cm) ont été construites.

Température moyenne : 7,4 °C, somme des précipitations : 600 mm.

Résultats :

Meilleure infiltration avec présence de fossés : +12 % en bas de pente et +14 % en haut de pente.

SOURCE

Widomski, M.K., Sobczuk, H., Olszta, W., 2010. Sand-Filled Drainage Ditches for Erosion Control: Effects on Infiltration Efficiency. Soil Sci. Soc. Am. J. 74, 213-220. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0003>



FICHE N°7 : NOUE/BAISSIERE/SWALE

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Fossés larges et peu profonds, suivis d'un bourrelet, avec des rives peu pentues et une pente d'environ 1 % pour laisser le temps à l'eau de s'infiltrer dans le sol et qui suivent les courbes de niveau.

ILLUSTRATION



Baissière réalisée sur la ferme de la Joncas en Sud Aveyron- crédit photo @Marlène Vissac

EXEMPLE D'APPLICATION

Les noues sont surtout utilisées pour la gestion des eaux en zone urbaine afin de limiter le ruissellement et les transferts de pollution. Ainsi, aucune étude scientifique n'a été faite sur la "régénération" permise par celles-ci en parcelle agricole. Cependant, plusieurs ressources en ligne expliquent la réflexion pour l'aménagement de ces noues comme sur le site d'hydronomie.fr.

Sur une parcelle aménagée que nous avons visitée avec une noue à son amont, l'irrigation a pu être fortement diminuée depuis sa mise en place. Ils ont ainsi modifié leur fréquence d'irrigation, passant d'une fois tous les quinze jours à seulement deux fois pendant la saison.

EMPLACEMENT ET TYPE DE CULTURE

- Utile sur les pentes jusqu'à 32,5 %
 - Attention aux sols hydromorphes et pauvres en MO
 - Dimensionnement pour le maximum de précipitations lors d'orage
 - Penser aux trop-pleins (empierrement)
- Tous types de cultures.

SOURCE

<https://www.hydronomie.fr/post/baissiere-re-ouvrage-permettant-de-collecter-l-eau-bleue-et-d-optimiser-l-eau-verte>



FICHE N°8 : APPORT DE MO

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Augmenter la teneur en matière organique du sol permet :

- D'augmenter la porosité du sol par la formation d'agrégats et par conséquent d'améliorer l'infiltration de l'eau ;
- De retenir l'eau par la formation d'humus et ainsi de favoriser son stockage dans les sols ;
- De favoriser une bonne activité biologique, permettant ainsi une bonne couverture du sol et donc de limiter l'érosion et une évaporation trop importante.

EXEMPLE D'APPLICATION

Parker et Jenny (1945) ont montré que que l'incorporation annuelle de matière organique sous forme de fumier animal augmentait considérablement le taux d'infiltration de l'eau par rapport à un champ qui n'avait reçu que de l'urée.

L'application répétée de fumier permet d'augmenter le taux d'infiltration comme le montre la figure ci-contre.

ORIGINE DES APPORTS

- Epanchage d'effluents et de composts
- Restitution des résidus de culture
- Utiliser du biochar
- Broyage sur place

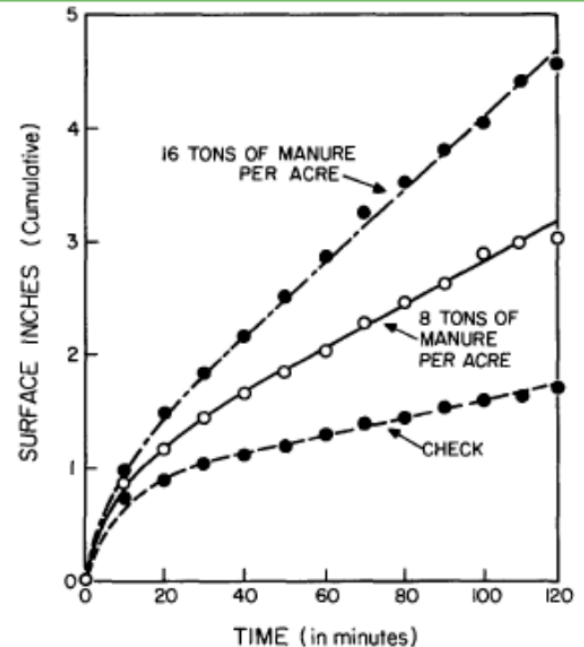


Fig. 6. Infiltration capacity in surface inches in Clarion loam (Smith et al., 1937). Reprinted with permission from the American Society of Agronomy.

SOURCES

Cousin et al., 2017, Le stockage d'eau dans les sols

Boyle et al., 2013, The Influence of Organic Matter on Soil Aggregation and Water Infiltration



FICHE N° 9 : COUVERT VÉGÉTAL EN INTER-RANG

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Semer des plantes ou laisser la végétation spontanée se développer entre deux cultures. Les couverts végétaux sont à mettre aux zones de ruissellement comme le fond d'un vallon ou un versant pentu.

ILLUSTRATION



Exemple de couvert végétal entre des rangs de vignes à Murviel-lès-Montpellier - source : photo personnelle

EXEMPLE D'APPLICATION

Etude de l'effet des couverts végétaux en inter-rang sur l'eau dans des vignes en pente de 2008 à 2009

Zones d'étude : 3 vignobles au sud-est de Madrid (Espagne), en terrasse et soumises à l'érosion (localisation exactes: Belmonte de Tajo, Villaconejos et Camp Real).

Modalités : couvert permanent de *Brachypodium distachyon*, orge et seigle/couvert spontanée coupée au printemps/sol labouré

Résultats :

- Pour les couverts : moins d'érosion, meilleure infiltration, moins de ruissellement (0,9 % pour le couvert contre 5 % en labour)
- Compétition entre couvert et vigne (non visible pour le couvert d'orge et de seigle) .

SOURCE

Ruiz-Colmenero, M., et al. « Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards ». *Soil and Tillage Research*, vol. 117, décembre 2011, p. 211-23. ScienceDirect, <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.004>.



FICHE N° 10 : PAILLAGE

RALENTIR

RÉPARTIR

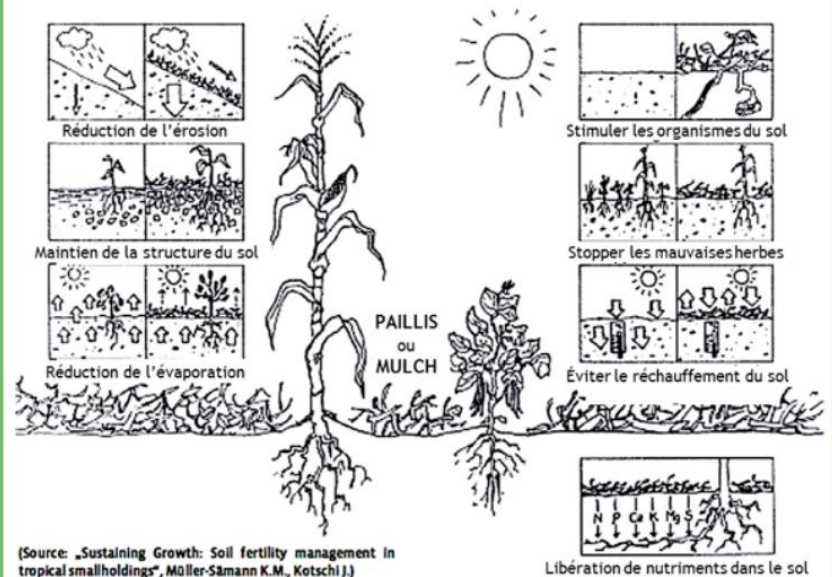
INFILTRER

STOCKER

ILLUSTRATION

DESCRIPTION

Le principe du paillage est de couvrir le sol autour des plantes afin de maintenir l'humidité et la température du sol. Il permet aussi de limiter le développement d'adventices. Il existe différents types de paillage : feuilles, herbe, brindilles, résidus de récolte, paille, ...



(Source: „Sustaining Growth: Soil fertility management in tropical smallholdings”, MÖLLER-SÄMANN K.M., KOTSCHI J.)

Libération de nutriments dans le sol

Les effets bénéfiques de la pratique du paillage -
source : TECA

EXEMPLE D'APPLICATION

- **Modalités** : Paillage post-récolte en Hongrie (Kálmár et al. (2013))
Précipitations annuelles : 580 mm et température moyenne : 10 °C
Résultats : Teneur en eau du sol supérieure de 8 à 11 % à une profondeur de 0 à 65 cm pour un paillis (couverture de 55% à 65%) par rapport à un sol labouré de manière conventionnelle
- Selon le type de paillage et de culture : augmentation ou diminution de la température du sol et augmentation systématique de l'humidité du sol (El-Beltagi et al., 2022).

SOURCES

Technologies and Practices for Small Agricultural Producers - Mulching.

Kálmár, T., L. Bottlik, I. Kisić, C. Gyuricza, et M. Birkás. « Soil protecting effect of the surface cover in extreme summer periods ». *Plant, Soil and Environment* 59, no 9 (30 septembre 2013): 404-9. <https://doi.org/10.17221/176/2013-PSE>.

El-Beltagi, Hossam S., Abdul Basit, Heba I. Mohamed, Iftikhar Ali, Sana Ullah, Ehab A. R. Kamel, Tarek A. Shalaby, Khaled M. A. Ramadan, Abdulmalik A. Alkhateeb, et Hesham S. Ghazzawy. « Mulching as a Sustainable Water and Soil Saving Practice in Agriculture: A Review ». *Agronomy* 12, no 8 (août 2022): 1881. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081881>.



FICHE N°11 : AGRICULTURE SYNTROPIQUE

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Approche qui vise à comprendre et travailler avec le vivant en cultivant une diversité et densité importante de plantes. Le principe ensuite est de perturber les plantes en les taillant et de les laisser se développer. Lorsque les plantes sont taillées, elles créent plus de biomasse aérienne, ce qui enrichit le sol et limite les besoins en eau. La méthode s'applique pour les polycultures.

ILLUSTRATION



Photo de l'expérimentation de JOALA Syntropie à Plazac (28) avec maraîchage, culture de petits fruits, fruitiers et production de bois

EXEMPLE D'APPLICATION

Etude du potentiel de l'agriculture syntropique pour améliorer la résilience de l'eau et de la température des sol dans le nord-est du Brésil de novembre à décembre 2017

Zone d'étude : Exploitation de 500 ha à Bahia du chercheur Ernst Götsch (créateur de l'agriculture syntropique) avec une culture de coco en monoculture et une jachère d'arbres. Un site d'étude à proximité les uns des autres est sélectionné pour chaque système.

Résultats :

- Teneur en eau maximale en agriculture syntropique (+ 13 % par rapport à la monoculture)
- Peut permettre de restaurer le cycle de l'eau sur des sols dégradés.

SOURCE

Damant, G., et F. Villela. CAN AGROFORESTRY IMPROVE SOIL WATER AND TEMPERATURE DYNAMICS IN AGRICULTURE? A CASE STUDY WITH SYNTROPIC FARMING IN BAHIA, BRAZIL. 2018.



FICHE N° 12 : AGROFORESTERIE

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

ILLUSTRATION



Parcelle agroforestière de blé sous
noyers
(Restinclières - France)
Source : INRAE

EXEMPLE D'APPLICATION

Dans une étude menée dans le Missouri, il a été montré qu'à saturation, l'eau s'infiltré 3 fois mieux au niveau des zones d'agroforesterie que dans les cultures. Cela s'explique notamment par l'augmentation de la MO sous les arbres et par les macroporosités créées par les racines.

DESCRIPTION

Association d'arbres et d'une production agricole sur une même parcelle.

Condition : apport d'eau durant les premières années suivant la plantation des arbres

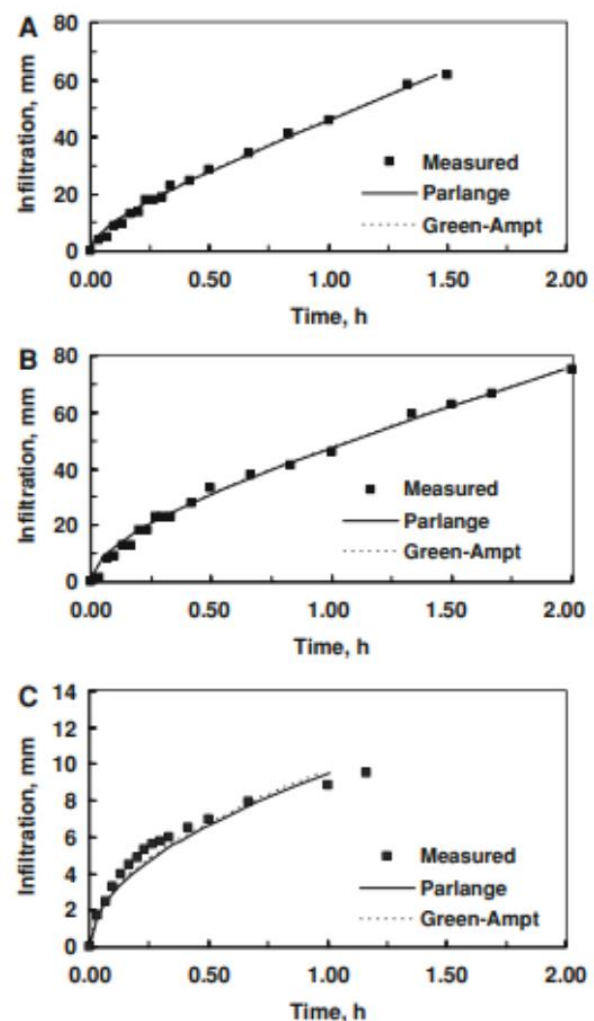


Fig. 2 Models of Green-Ampt and Parlange fitted to measured infiltration data for typical replicates under (a) agroforestry, (b) grass buffer, and (c) row crop treatments at Novelty, Missouri

SOURCE

Stephen H. Anderson; Ranjith P. Udawatta; Tshepiso Seobi; Harold E. Garrett (2009). Soil water content and infiltration in agroforestry buffer strips. , 75(1), 5-16. doi:10.1007/s10457-008-9128-3



FICHE N°13 : KEYLINE DESIGN

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

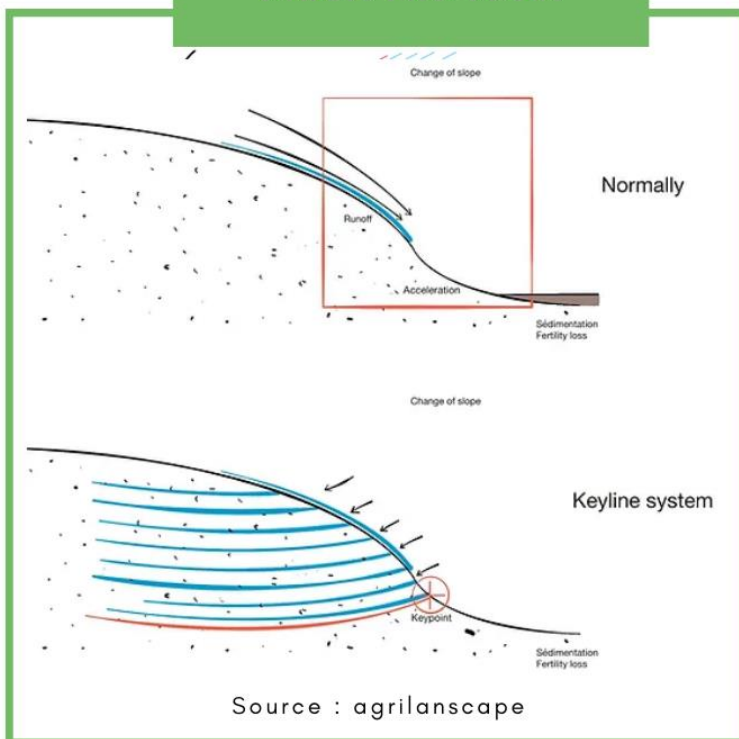
STOCKER

DESCRIPTION

Le Keyline design cherche à mettre en place des stratégies pour capter l'eau de pluie, ralentir sa descente dans le paysage, la répartir afin de favoriser son infiltration, et stocker le surplus dans le sol, le sous-sol, les bassins et/ou les réservoirs (Shepard, 2016).

Pour créer le design, il faut s'appuyer sur la topographie existante du terrain afin de tracer des lignes clés à partir de "points clés" (cf corps de texte).

ILLUSTRATION



EXEMPLE D'APPLICATION

A l'heure actuelle, il n'y a pas d'exemples chiffrés qui permettent de témoigner des effets d'un tel aménagement. Cependant, l'expert à l'origine des aménagements sur la parcelle ci-contre a constaté une augmentation du rendement suite à ces aménagements. Il faudrait faire des analyses plus poussées pour le prouver.



Clos Saint-Michel, Sérignan-le-comtat (84)

SOURCES

Shepard, Mark. « Agriculture de régénération (livre) ». Permaculture Design, 25 octobre 2016.
Shepard, « Agriculture de régénération (livre) »..
Malard, Alain. Vignes, vins et permaculture. Editions France Agricole. Vigne et vin, 2021.
<https://univ.scholarvox.com/reader/docid/88916624/page/1>.



FICHE N°14 : AGRICULTURE DE CONSERVATION

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

ILLUSTRATION

DESCRIPTION

Trois piliers :

- Suppression du travail du sol
- Couverture permanente du sol
- Rotations culturales



Source photos : WikiAgri

EXEMPLE D'APPLICATION

De nombreuses études sur l'effet de l'agriculture de conservation sur le stockage de l'eau ont été réalisées. Ce tableau résume les résultats de plusieurs études et montre l'augmentation du stock d'eau permis par l'agriculture de conservation par rapport à des systèmes conventionnels.

Cependant, ces résultats sont à nuancer dans les climats plus chauds et secs, où la couverture permanente du sol demande plus d'eau. Ce compromis est encore à l'étude.

Tableau : Exemples de l'augmentation du stock d'eau du sol observés à la plantation dans des systèmes en agriculture de conservation en comparaison avec des systèmes conventionnels (tiré de Page et al., 2020)

Localisation	Système de culture	Augmentation moyenne du stock d'eau dans le sol (%)	Référence
USA	Blé	12	Norwood, 1994
	Sorgho	21	
Australie	Blé	21	Felton et al., 1995
Australie	Blé	13	Page et al., 2019
Australie	Sorgho, blé, maïs, pois chiches	9	Randford and Thornton, 2011
Espagne	Orge, blé, colza	0-17	Lampurlanés et al., 2016
Australie	Blé	14	Thomas et al., 1995
	Sorgho	7	
Chine	Blé	7	Sun et al., 2019

SOURCE

Page KL, Dang YP and Dalal RC (2020) The Ability of Conservation Agriculture to Conserve Soil Organic Carbon and the Subsequent Impact on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties and Yield. *Front. Sustain. Food Syst.* 4:31. doi: 10.3389/fsufs.2020.00031



FICHE N°15 : PÂTURAGE TOURNANT DYNAMIQUE

RALENTIR

RÉPARTIR

INFILTRER

STOCKER

DESCRIPTION

Consiste à diviser la surface de pâture en petites parcelles. Les animaux ne restent pas plus de trois jours sur la même parcelle, afin d'optimiser la repousse de l'herbe et la capacité productive des sols.

ILLUSTRATION



Vue aérienne du découpage en 17 petites parcelles dans les Landes - source :
Chambre d'agriculture des Landes

EXEMPLE D'APPLICATION

Etude de l'influence du pâturage tournant dynamique sur l'infiltration de l'eau dans des prairies au Canada sur 30 ans (1989 à 2018)

Zone d'étude : 52 fermes de taureaux dans l'ouest du Canada (Alberta, Saskatchewan et Manitoba). La végétation est très diverse avec quelques exemples : *Hesperostipa* spp., *Koeleria macrantha*, *ascopyrum smithii*, *Festuca campestris*, *Bromus inermis*, *Poa pratensis*, *Medicago sativa*, *Trifolium* spp.
Température moyenne de -1,2 à 4,8 °C, pluviométrie moyenne : 326 à 629 mm.

Résultats :

Meilleure infiltration pour le pâturage tournant dynamique : moyenne de 105 mm/h contre 74 mm/h pour les élevages autour.

SOURCE

Döbert, T., Bork, E., Apfelbaum, S., Carlyle, C., 2021. Adaptive multi-paddock grazing improves water infiltration in Canadian grassland soils - ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115314>

Annexe 5 : Grille des entretiens

Introduction et présentation :

- Se présenter
- Présenter le projet
- Demander si l'on peut les enregistrer, lancer l'enregistrement si possible
- Préciser qu'ils peuvent développer leurs réponses autant qu'ils le souhaitent, et que les réponses qu'ils nous donnent seront anonymes.

À noter : Il s'agit d'un entretien semi-directif, c'est-à-dire que l'échange s'apparente plus à une discussion ; les questions que nous poserons s'adapteront au discours de l'enquêté, même si nous essaierons de l'orienter vers les sujets et les renseignements recherchés.

Grille d'entretien :

Coordonnées de l'agriculteur	- Nom : - Pourrions-nous avoir votre numéro de téléphone s'il vous plaît ? (vous pourriez être recontacté dans le cadre du projet)
Contexte de la parcelle	- Pourriez-vous nous décrire votre exploitation ? <ul style="list-style-type: none">• Qu'est-ce que vous cultivez (pérenne/annuelle, variétés) ? Sur quelle surface ?• Depuis combien de temps cultivez-vous X ?• Vos parcelles sont-elles concentrées ou éparpillées ?• Vos parcelles sont-elles en pente ?• Quel est le rendement de votre production ?• Avez-vous un cours d'eau permanent ou temporaire à proximité ?• Avez-vous des haies sur votre exploitation ?• Comment gérez-vous la couverture de votre sol ?• Travail du sol ? <p>- Avez-vous accès à l'eau brute (volume, provenance) ? Quand utilisez-vous l'eau ? Pour quelle culture ?</p> <p>- Quel est votre avis sur l'irrigation ? Avez-vous déjà pensé à irriguer vos parcelles ?</p> <p>- Est-ce qu'il y a de l'érosion ou des inondations lors des périodes de pluies ?</p>
Si viticulteur	- Comment gérez-vous votre inter-rang ? - Quelle technique de greffage avez-vous réalisée ? - Combien de temps entre la plantation des porte-greffes et le greffage ?
Adaptation au changement climatique	- Sur une échelle de 1 à 5 : à combien évaluez-vous votre inquiétude concernant la tension sur la ressource en eau ? (1 : pas d'inquiétude, 2 : relativement serein, 3 : préoccupé, 4 : assez inquiet, 5 : extrêmement anxieux) - Quelles conséquences des aléas climatiques/conditions météorologiques avez-vous déjà constaté sur vos cultures ? Depuis combien d'années ? (Sécheresse / stress hydrique et thermique/gels)

	<p>- Avez-vous sélectionné des variétés résistantes au changement climatique ?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si oui, quels avantages présentent-elles ? (Rendement, besoin en eau, résistance au gel...) <p>- Sur une échelle de 1 à 4, à combien évaluez-vous l'efficacité de vos pratiques actuelles en matière d'économie/de gestion de l'eau ? (1 : pas efficace, 2 : à optimiser, 3 : satisfaisant mais avec des améliorations possibles, 4 : optimal)</p> <p>- Quelles techniques/aménagements/ouvrages/pratiques connaissez-vous qui favorisent l'infiltration ou le stockage de l'eau ? <i>Citer des aménagements pour compléter et rebondir sur certaines méthodes s'ils ne les évoquent pas</i></p> <p>- Avez-vous mis en place certaines de ces techniques ? (Si oui lesquels ?)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si oui, quels changements avez-vous vu ? ou quelles difficultés/obstacles avez-vous rencontré ? (Ressources : temps, main d'œuvre) • Si non, seriez-vous prêt à mettre en place des techniques favorisant l'infiltration pour réduire les potentielles pertes de rendement futures ? <ul style="list-style-type: none"> • Si oui, quelles sont les raisons qui vous en empêchent ? • Si non, pourquoi ? <p>- Connaissez-vous le terme d'hydrologie régénérative ? (à redéfinir dans tous les cas)</p> <p>- Avez-vous déjà entendu parler de formations sur l'hydrologie régénérative ? Est-ce que ça vous intéresserait ? <i>Parler des programmes qui existent et les dates.</i></p>
Collaboration	<p>- Pour rétablir et travailler sur le cycle de l'eau il est préférable de travailler à l'échelle du (sous) bassin versant. Est-ce que vous seriez favorable pour mettre en place des solutions avec un ensemble d'acteurs (les agriculteurs, EPTB) ? (Contextualiser avec un cas précis, vision cycle de l'eau/BV)</p>
Clôture de l'entretien	<p>- Connaissez-vous d'autres agriculteurs ayant mis en place des systèmes favorisant l'infiltration ou le stockage de l'eau ?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si oui, seraient-ils intéressés pour discuter de la problématique de l'eau ? Pensez-vous qu'ils accepteraient de nous rencontrer, pourriez-vous nous donner leurs coordonnées ou nous dire où les trouver ? <p>> <i>Si on est intéressées, parler de notre étude de cas potentielle</i></p> <p>- Serait-il possible de venir étudier votre parcelle pour notre étude de cas ?</p> <p>> <i>remerciements</i></p> <p>- Auriez-vous des choses à ajouter ?</p> <p>- Des questions à nous poser ?</p>