



HAL
open science

Hydrologie régénérative : repenser nos paysages comestibles pour régénérer les cycles de l'eau, l'étude des vergers-maraîchers

Alexandra Goizé

► To cite this version:

Alexandra Goizé. Hydrologie régénérative : repenser nos paysages comestibles pour régénérer les cycles de l'eau, l'étude des vergers-maraîchers. Sciences du Vivant [q-bio]. 2024. dumas-04768656

HAL Id: dumas-04768656

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04768656v1>

Submitted on 6 Nov 2024

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

<p>Année universitaire : 2023-2024 Spécialité : Paysage Spécialisation (et option éventuelle) : Paysage : Opérationnalité et Projet</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)<input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)<input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)<input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)
---	--

Hydrologie régénérative : Repenser nos paysages comestibles pour régénérer les cycles de l'eau, l'étude des vergers-maraîchers.

Par : Alexandra GOIZÉ

Soutenu à Angers le 19 septembre 2024

Devant le jury composé de :

Président : Monsieur Christophe MIGEON

Maître de stage : Monsieur Julien VERT

Enseignant référent : Monsieur Vincent BOUVIER

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

Remerciements

Ce présent mémoire met un point final à mes études supérieures. Toutes ces années qui m'ont fait traverser la France, l'Europe et même le monde pour mon semestre d'étude au Chili. Bien que ce chemin pour me mener où j'en suis n'a pas toujours été de tout repos. Je peux enfin dire aujourd'hui que je suis fière de mon parcours.

Je me sens accomplie, riche de connaissances, heureuse d'avoir encore tant de choses à apprendre, d'être pleinement consciente de ce monde qui m'entoure et dont je suis reconnaissante.

Je voudrais tout d'abord dire merci aux personnes qui ont pris le temps de répondre à mes questions, qui m'ont accueilli pour une visite de leur beau jardin/site. Guylaine, Terry, Lionel Asin... C'était un plaisir de découvrir ces endroits paisibles, pleins de vie, qui m'ont grandement inspiré pour mes futurs projets.

Je remercie mon maître de stage Julien Vert et l'équipe de Potagers & Compagnie (Rachel, Marion, Eloise et Aurélie) auprès de qui j'ai baigné 6 mois dans la bonne humeur du sud. J'ai aussi une pensée aux compagnons de Ferme d'avenir avec qui j'ai cohabité et partagé de supers moments remplis d'échanges et de bienveillance.

Merci à monsieur Vincent Bouvier pour son suivi et son implication dans mon mémoire. Ses enseignements pleins de sagesse et de belles paroles nous motivent pour construire des paysages plus en phase avec la nature, de "travailler avec et pour le vivant" comme il aime bien le dire. Continuez à nous ouvrir l'esprit, ça a été, à chaque fois pour ma part, des moments de reconnexion à mes valeurs.

Je souhaite remercier toutes les personnes que j'ai rencontrées durant ces longues années d'apprentissage : mes camarades, mes professeurs, mes collègues de travail. Ils m'ont permis de me trouver et de m'épanouir professionnellement.

Mes amis, dont la plupart sont devenus ma famille, sont ce que je retiendrai de ces années d'études. Toutes ces rencontres qui m'ont enrichies plus que tout. Bien que les aurevoirs soient chaque fois douloureux, les nouvelles rencontres et les retrouvailles sont les moments que je chérie le plus.

Enfin à ma famille qui m'a été d'un soutien dans toutes les épreuves. À ma sœur qui n'a jamais hésité à me suivre, à m'accompagner même jusqu'au bout du monde. À mes parents qui m'ont soutenu et qui ont toujours veillé à ce que je ne manque de rien pour réussir au mieux. Je vous remercie; je n'aurais pu avoir mieux. J'espère vous rendre fiers.

Entourée de toutes ces belles personnes, je suis prête à vivre les futurs beaux projets qui m'attendent!

Table des matières

Remerciements

Table des matières

Glossaire

Liste des abréviations

Liste des annexes

Annexe I - D'autres rôles joués par les arbres

Annexes II - Présentation d'un domaine viticole intégrant l'HR

Liste des illustrations

Avant propos

Introduction

1

I) Réapprendre les cycles de l'eau : l'eau dans "la vie secrète de nos paysages"

3

1) Faire un état des lieux de l'eau sur Terre

3

1-1) Redécouvrir le cycle de l'eau

3

1-2) Enjeux

4

2) Créer de la pluie grâce à la végétation

6

2-1) Les arbres et l'eau

6

2-2) Les forêts, ces pompes biotiques

8

3) Réhydrater les paysages

9

3-1) L'impact du sous-sol, du sol et de son occupation

9

3-2) L'importance du relief

10

3-3) Les paysages rugueux

10

II) Comprendre l'hydrologie régénérative, la science de la régénération des cycles de l'eau douce par l'aménagement du paysage

11

1) Définir l'hydrologie régénérative

11

1-1) Définition

11

1-2) L'origine

13

2) Comprendre les concepts et les techniques utilisés de l'hydrologie régénérative

14

2-1) L'Eau

15

2-2) Le Sol

17

2-3) Le Végétal

18

3) Etablir une méthodologie

19

3-1) Définition du projet

20

3-2) Lecture du paysage

20

3-3) Etude du site

20

3-4) Réalisation du design

21

4) Prendre conscience des obstacles à la mise en place

22

4-1) Manque de connaissances et de recul

22

4-2) Difficultés d'adaptation

22

4-3) Dimensions économiques

23

4-4) Gestion évolutive

23

III) Stocker de l'eau avec les vergers-maraîchers pour des paysages comestibles régénératifs	24
1) Comprendre le verger-maraîcher à travers l'entreprise Potagers & Compagnie	24
1-1) Définition	24
1-2) Description de la méthode	25
2) Stocker de l'eau sur la parcelle : les avantages recherchés	26
2-1) Gérer l'eau localement	26
2-2) Créer une diversité de microclimats	27
2-3) Favoriser la biodiversité	28
3) Identifier les obstacles à la mise en place	29
3-1) Une gestion complexifiée	29
3-2) Un design à bien maîtriser	29
3-3) Des connaissances et des études de résultats encore insuffisants	30
IV) Découvrir et réaliser des projets d'hydrologie régénérative	30
1) Ranch de Yobarnie : le berceau de l'hydrologie régénérative	30
2) Jardin Forêt des Étangs : un site exemple	32
3) Eco lieu de Plan du pont : améliorer les conditions de production	34
4) Bilan : l'hydrologie régénérative et le verger-maraîcher, entre complémentarité et complexité	36
5) L'implication d'un paysagiste dans ce type de projet	37
Conclusion	38
Bibliographie	39
Sitographie	41
Annexe I - D'autres rôles joués par les arbres	42
Annexe II - Présentation d'un domaine viticole intégrant l'HR	43

Glossaire

- Altimétrie : technique de mesure des altitudes ou des différences de hauteur par rapport à un niveau de référence, généralement le niveau de la mer. Elle est utilisée pour déterminer l'élévation d'un point sur la surface terrestre ou d'un objet, notamment en topographie, en géographie et en aviation.
- Battance : formation d'une croûte compacte en surface du sol après une pluie ou un arrosage intense, réduisant l'infiltration de l'eau et l'aération du sol, et rendant difficile la germination des plantes.
- Coefficient de ruissellement : eau qui ne s'infiltré pas dans le sol.
- Holistique : appréhender un sujet ou une situation dans sa globalité, en prenant en compte l'ensemble des éléments qui la composent et leurs interactions, plutôt que de se concentrer uniquement sur certains aspects isolés. Cette approche globale vise à comprendre comment les différentes parties d'un système influencent le tout, en considérant à la fois les dimensions physiques, sociales, environnementales, ou encore spirituelles, selon le contexte.
- Triptyque : ensemble d'éléments divisés en trois parties distinctes mais reliées entre elles.
- Reméandrage : technique d'ingénierie écologique qui consiste à restaurer les méandres naturels d'un cours d'eau, c'est-à-dire à redonner à une rivière ou un ruisseau un tracé sinueux.
- Résilience : aptitude d'un système à surmonter une altération de son environnement ou de son fonctionnement ou à modifier son état pour garantir ou préserver les fonctionnalités du système.
-
- RFU (Réserves Facilement Utilisables) : quantité d'eau contenue dans le sol qui est facilement accessible aux plantes.
- Ripisylve : végétation (principalement des arbres, arbustes et plantes) qui se développe le long des cours d'eau, sur les rives ou berges. Elle joue un rôle écologique important en stabilisant les sols, en limitant l'érosion, en filtrant les polluants et en fournissant un habitat pour la biodiversité aquatique et terrestre.
- Ruissellement : l'eau s'écoulant à la surface du sol.
- SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) : outil de planification en France qui permet de gérer de manière concertée et durable les ressources en eau sur un territoire donné, généralement un bassin versant.

Liste des abréviations

- AFAF : Association Française de l'AgroForesterie
- GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
- HR : Hydrologie régénérative
- IGN : Institut National Géographique
- MSV : Maraîchage sol vivant
- QGIS : Quantum Geographic Information System
- PTRCE : Plans Territoriaux de Régénération des Cycles de l'Eau
- SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
- SAU : Surface Agricole Utilisée
- SIG : Système d'Information Géographique
- TWI : Indice d'humidité topographique
- RFU : Réserves Facilement Utilisables

Liste des annexes

Annexe I - D'autres rôles joués par les arbres

Annexes II - Présentation d'un domaine viticole intégrant l'HR

Liste des illustrations

Figures:

Figure 1 : Rancho San Ricardo Mexique : paysage agricole conçu avec l'hydrologie régénérative (Pour une hydrologie régénérative, 2024).....	p2
Figure 2 : Le grand cycle de l'eau (Shiklomanov et al. , 1999).....	p3
Figure 3 : Flux d'eau verte et écoulements d'eau bleue. (Falkenmark and Rockström, 2005)...	p4
Figure 4 : Diagramme des dépassements des limites planétaires en 2023 ("Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Richardson et al 2023").....	p5
Figure 5 : L'arbre au coeur des cycles de l'eau verte (ADF, 2024).....	p7
Figure 6 : Recyclage interne de l'eau de pluie dans un paysage fonctionnel (Galabert, 2022)..	p8
Figure 7 : Influence de la végétation sur les vents (Galabert, 2022).....	p9
Figure 8 : Un paysage hétérogène favorise les cycles de l'eau (Galabert, 2022).....	p11
Figure 9 : Aménagement du bassin versant avec l'hydrologie régénérative pour ralentir le cycle de l'eau (Ricard, 2024).....	p12
Figure 10 : Echelle de permanence élaborée par P.A YEOMANS (Ricard, 2023).....	p14
Figure 11 : Influence de triptyque sur la régénération des cycles de l'eau (Ricard, 2024).....	p15
Figure 12 : Exemples d'infrastructures utilisées en HR (sources multiples)	p17
Figure 13 : Charrue Yomans et son utilisation permettant un régénération du sol plus rapide (sources multiples).....	p18
Figure 14 : Paysage bocager favorisant un paysage plus hydraté (AFAHC, 2009).....	p19
Figure 15 : Exemple d'un design hydrologique avec inspiration de la méthode Yeomans (Mollinson, 1991).....	p22
Figure 16 : Verger-maraîcher chez Potagers & Compagnie (Potagers&Compagnie, 2020).....	p24
Figure 17 : Exemple d'un verger-maraîcher (Warlop et al, 2017)	p25
Figure 18 : Les fonctions remplies par les arbres dans un verger-maraîcher (Warlop et al, 2017)	p27
Figure 19 : Attractivité du système pour la biodiversité (Warlop et al, 2017)	p28

Figure 20 : Complémentarité spatiale des végétaux recherchée dans un verger-maraîcher (Warlop et al,2017).....p29

Figure 21 : Photographie aérienne du ranch de Yobarnie en Australie, berceau de l'hydrologie régénérative (hydrologie-régénérative, 2024)p31

Figure 22 : Les infrastructures présentes au Jardin Forêt des étangs (Permalab, 2024/ Photos Goize, Tourves, 2024).....p33

Figure 23 : Design conceptuel de l'écolieu Plan du pont réalisé par Permalab (Permalab, 2024/ Photos Goize, Hyères les Palmiers, 2024).....p35

Tableaux :

Tableau 1 : Présentation synthétique de cas d'étude : Ranch de Yobarnie, Australie.....p30

Tableau 2 : Présentation synthétique du cas d'étude : Jardin forêt des étangs, Var.....p32

Tableau 3 : Présentation synthétique du cas d'étude : Ecolieu Plan du Pont, Var.....p34

Tableau 4 : Analyse SWOT des designs d'hydrologie régénérative des cas d'étude.....p36

Avant propos

Ayant grandi dans les Pyrénées-Orientales, département en sécheresse sans précédent depuis plusieurs années, j'ai toujours été sensible à la question de l'eau. Mes origines andalouses qui m'ont amenées à passer des étés en Andalousie et ses paysages désertiques, et mon échange à Santiago du Chili, en sécheresse depuis plus de 7 ans maintenant; m'ont conforté dans mes choix de vouloir participer à confectionner un meilleur avenir.

Voulant allier paysage et agriculture respectueuse de l'environnement dans mon futur professionnel, la problématique de l'eau s'est naturellement présentée à moi au cours de ces dernières années d'études en école d'ingénieur paysagiste. J'avais pour objectif de consacrer mon stage de fin d'étude à en apprendre plus sur les designs en agroécologie et de poursuivre dans ce domaine.

J'ai eu l'opportunité de rejoindre pour 6 mois de stage, le bureau d'étude de Potagers & Compagnie situé dans le Var, en région méditerranéenne. Leur activité principale est de concevoir et réaliser des fermes maraîchères municipales pour fournir les cantines scolaires. Ces fermes biologiques sont, la plupart du temps, réalisées en système de verger-maraîcher. Lors de la phase de diagnostic, le site est étudié dans sa totalité : historique, conditions pédo-climatiques, analyses du sol, végétation autochtone présente... Bien que la notion de l'eau sur la parcelle soit systématiquement étudiée : présence d'un cours d'eau, d'une zone humide à proximité, forage existant... Dans cette région, où la question de l'eau est un challenge surtout dans des projets d'agriculture, la solution est souvent de créer un forage ou de se connecter au réseau de ville.

J'avais le désir de pousser la réflexion du design plus loin dans son intégration dans le paysage, concernant la ressource en eau. Découvrir jusqu'où un agrosystème bien pensé peut participer à la régénération d'un écosystème.

C'est alors que j'ai découvert toute la portée de l'hydrologie régénérative et comment, appliquée dans les agrosystèmes, elle participe à les transformer en solutions, du moins en partie, face aux dérèglements climatiques.

Introduction

“La forêt précède les hommes, le désert les suit” (Mur Odéon, 1968)

Ces dernières années, le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) ne cesse de nous alerter quant aux conséquences du changement climatique. (IPCC, 2022) Le climat, les écosystèmes et la société humaine s'en trouvent impactés : dégradation des milieux, consommation excessive des ressources naturelles, disparition des sols, augmentation démographique, inégalités sociales et économiques. Ces événements sont le fruit de l'augmentation, en fréquences et en intensité, des instabilités climatiques et météorologiques. Températures extrêmes, épisodes pluvieux intenses, sécheresses, incendies, tous les cycles sont fortement perturbés dont celui de l'eau.

L'accès à l'eau est voué à devenir la grande problématique des années à venir. Sachant qu'un tiers de la Terre a été désertifié en 10 000 ans (Bonvoisin, 2023), les sols deviennent de plus en plus impraticables par l'agriculture. Cela nous donne une idée du danger qui pèse sur la sécurité alimentaire et l'agriculture à l'échelle planétaire. Instabilités qui sont d'ailleurs, déjà à l'origine de tensions même dans des pays où l'eau n'était pas en manque, comme vu avec les scandales autour des bassines en France récemment. Ces problématiques d'eau sont en partie le résultat de mauvaises pratiques agricoles et de mauvaises gestions du paysage. Déforestation, remembrement, politique du “tout-tuyau”, drainages intensifs, agriculture conventionnelle et intensive... (Bonvoisin, 2023) Ces facteurs contribuent à une accélération du cycle global de l'eau à tel point que de nos jours elle nous échappe et emporte nos paysages avec elle : phénomènes d'érosion et de lessivage provoquant l'appauvrissement et la disparition des sols.

Nous allons voir dans ce mémoire que si de nombreuses conséquences aujourd'hui ont été causées par cette agriculture intensive, ce secteur est un des rares à pouvoir aussi être une solution, si autrement pratiquée. Afin de limiter les dégâts, il est conseillé par le GIEC de mettre en place des méthodes d'adaptation basées sur les écosystèmes comme “la restauration des écosystèmes dans les bassins versants peut également soutenir l'approvisionnement en eau pendant les périodes de précipitations variables et maintenir la qualité de l'eau”. (IPCC, 2022) Or les bassins versants sont largement occupés par le secteur agricole. Si une agriculture plus respectueuse peut participer à la régénération des paysages et des cycles, c'est alors une bonne partie des bassins versants qui peuvent être régénérés et retrouver leur équilibre au sein des cycles naturels.

L'hydrologie régénérative (HR) qui se traduit par l'aménagement du paysage de façon à ralentir le cycle de l'eau, s'inscrit dans cette démarche. (cf. figure 1) Mise en place dans les paysages agricoles se trouvant en amont des bassins versants, elle peut participer au rétablissement de ces cycles. Les systèmes tels que les vergers-maraîchers, qui incitent à ramener l'arbre au sein du maraîchage, participent à la résilience des agrosystèmes. Nous allons voir que les associer davantage aux concepts de l'HR leur permettraient à la fois de devenir plus indépendants vis-à-vis de la ressource en eau mais aussi de participer à l'hydratation du paysage environnant.

Bien que l'on voit se développer de plus en plus de fermes utilisant ces méthodes alternatives, nous allons voir que le frein à l'évolution s'explique en partie par des manques de connaissances qui entraînent une peur du changement du système (augmentation de la surcharge de travail, impact négatif sur le rendement et économique) mais pas seulement. (Warlop et al, 2017)



Figure 1 : Rancho San Ricardo Mexique : paysage agricole conçu avec l'hydrologie régénérative (Pour une hydrologie régénérative, 2024)

En tant que future paysagiste, il m'est important de préserver et de restaurer les paysages, notamment les paysages agricoles. De créer de la nature, peu importe le site d'action. Ce mémoire a pour but de mettre en lumière l'importance du rôle de l'eau dans la santé de nos paysages comestibles et de montrer comment les paysagistes et les agriculteurs, ensemble, peuvent créer une synergie entre régénération des écosystèmes et agriculture. Nous avons transformé nos paysages, à nous de les repenser pour avoir l'effet inverse et réparer les cycles, en se demandant :

Comment un paysage peut être régénératif? Comment peut-il être à l'origine du stockage et créateur d'eau? Comment l'hydrologie régénérative permet d'aménager autrement nos paysages agricoles pour améliorer le cycle de l'eau?

Tout au long de ce mémoire nous allons essayer de répondre à la problématique qui découle de ce contexte :

Comment le design d'un verger-maraîcher peut avoir un impact positif sur le cycle de l'eau en mobilisant l'hydrologie régénérative?

Ce présent mémoire va donc permettre de mieux comprendre les liens entre cycles de l'eau et paysages comestibles pour mieux agir de façon efficace. C'est donc par une approche qualitative que le sujet a été abordé dans un premier temps. De longues recherches bibliographiques et le visionnage de conférences menées par des spécialistes ont permis de récolter de nombreuses informations concernant les cycles de l'eau et les concepts d'HR. Enfin, des entretiens et des visites terrains m'ont permis de voir la mise en pratique de l'HR dans des agrosystèmes pour mieux cerner ce que cela implique sur ces terrains agricoles.

Dans un premier temps, seront abordés les cycles de l'eau pour faire un point sur la situation de cette ressource et le lien qui la lie au paysage. Ensuite les concepts et les techniques d'HR seront expliqués pour comprendre son importance. Puis le système de verger-maraîcher sera abordé pour déterminer son implication dans la régénération de paysages comestibles. Enfin, à travers différents projets, l'étude de design et leurs critiques permettront de souligner les bienfaits et la complexité de mise en œuvre de tels types de paysage.

1) Réapprendre les cycles de l'eau : l'eau dans "la vie secrète de nos paysages"

Le grand cycle de l'eau est plus complexe que ce que l'on apprend. De nombreux acteurs et facteurs entrent dans l'équation et les spécialistes parlent en réalité des cycles de l'eau. C'est donc au pluriel que cette notion sera mentionnée par la suite.

1) Faire un état des lieux de l'eau sur Terre 1-1) Redécouvrir le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau tel qu'il est appris à l'école explique que l'eau s'évapore au-dessus des mers, voyage jusqu'aux terres emportées par le vent sous forme de nuages puis se recondense par des effets de changements de température. Elle retombe alors sur terre sous forme de pluie. Arrivée au sol, elle est soit infiltrée dans le sol par les végétaux pour rejoindre les nappes phréatiques par percolation, soit emportée par les fleuves et rivières pour retourner dans la mer.

En réalité ce cycle, où l'eau n'a comme source que l'océan, ne représente que 33 % de l'eau terrestre totale. 66% de l'eau qui arrive sur le continent provient en réalité du continent lui-même, issue de l'évapotranspiration des végétaux, et cette proportion augmente à mesure qu'on s'éloigne du littoral. En effet, suite à son évaporation au-dessus des mers, l'eau sera transportée par les vents dominants quelques 500m plus loin dans les terres sous forme de nuage. Elle sera alors recondensée, absorbée par la végétation qui la renverra dans l'atmosphère par évapotranspiration pour être retransportée encore 500m plus loin. (cf. figure 2) Ainsi de suite, l'eau circule et traverse les continents dans la direction des vents dominants. Elle peut être recyclée par la végétation jusqu'à 5 ou 6 fois avant de retourner dans les océans par les cours d'eau. Ceci représente les grands cycles de l'eau, nous verrons par la suite tous les autres petits cycles qui se développent au cœur de nos paysages lorsque les conditions paysagères, qui seront explicitées, le permettent. (Bonvoisin, 2023)

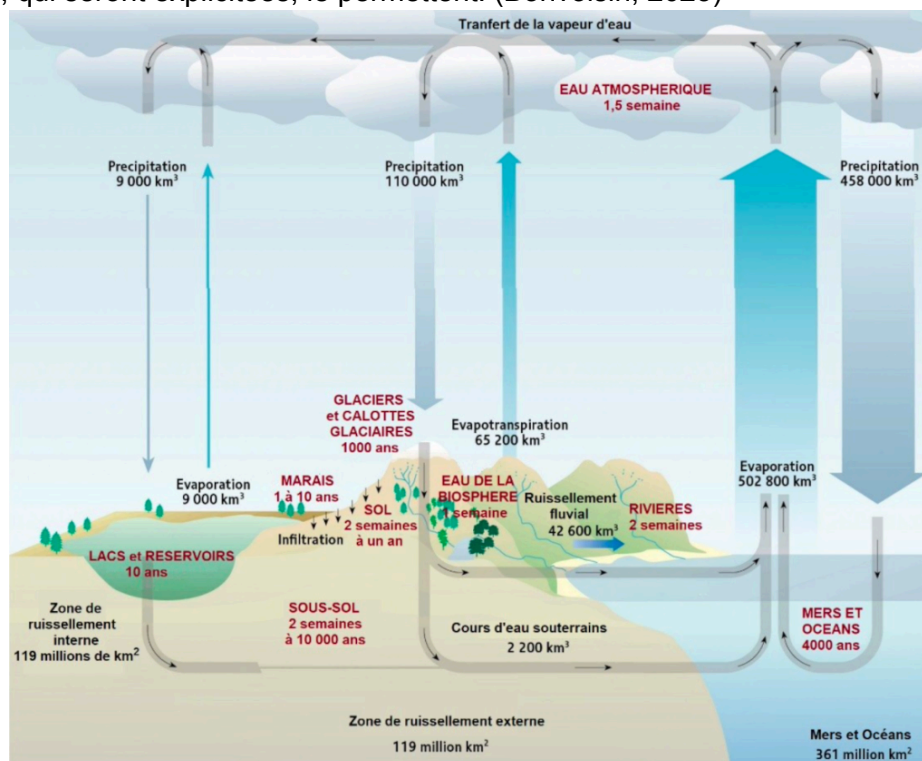


Figure 2 : Le grand cycle de l'eau (Shiklomanov et al., 1999)

Cette eau qui se déplace essentiellement par les végétaux et le sol est appelée eau verte. A l'échelle planétaire, elle représente la majorité de l'eau douce (60%) en comparaison à celle appartenant à l'eau bleue (40%). En France, de part son climat sous influence océanique, les proportions s'inversent (60% d'eau bleue et 40% d'eau verte). L'eau bleue, elle, correspond à l'eau qui transite rapidement dans les cours d'eau, les lacs, les nappes phréatiques en direction des océans, selon la définition donnée par l'hydrologue suédoise Malin Falkenmark en 1995. L'eau bleue et l'eau verte restent cependant très liées (cf. figure 3). [1]

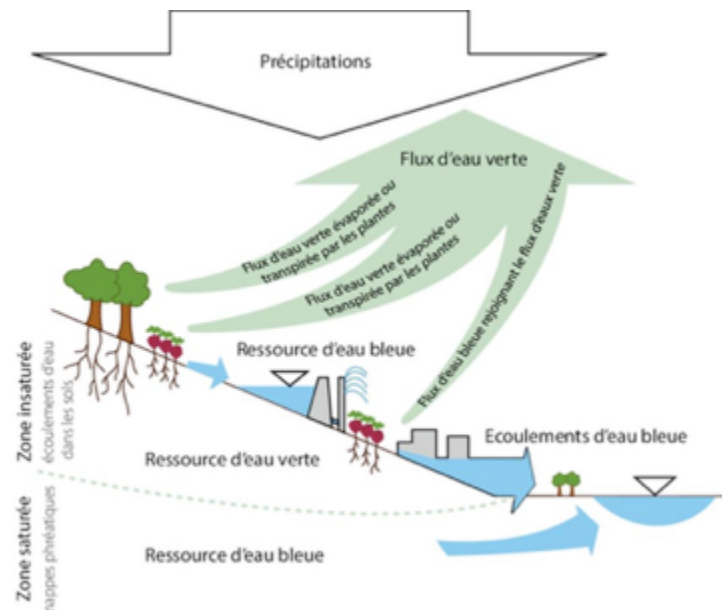


Figure 3 : Flux d'eau verte et écoulements d'eau bleue. (Falkenmark and Rockström, 2005)

Les cycles de l'eau verte sont à l'origine d'une répartition plus homogène des précipitations continentales dans le temps et dans l'espace. C'est donc leurs stabilités qui permettent des conditions favorables pour la vie des écosystèmes. En conclusion c'est la végétation qui serait à l'origine de la stabilité des précipitations continentales.

1-2) Enjeux

Conduit par le chercheur suédois Johan Rockström du Stockholm Resilience Centre, une équipe de scientifiques a révélé que de nouvelles limites planétaires avaient été dépassées : celles de l'eau verte et de l'eau bleue, en 2022 et 2023 respectivement. [2] (cf. figure 4) Pour rappel une limite planétaire représente un seuil qu'il ne faut pas dépasser au risque de compromettre les conditions de vie favorables pour vivre durablement dans des écosystèmes stables.

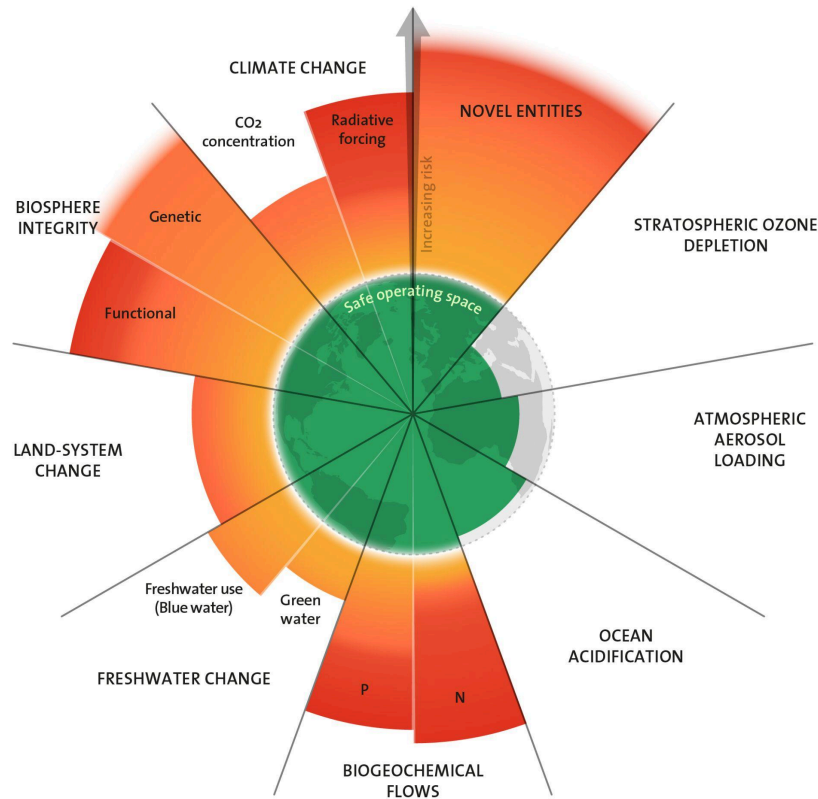


Figure 4 : Diagramme des dépassements des limites planétaires en 2023 ("Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Richardson et al, 2023")

La problématique n'est pas qu'il va moins pleuvoir, mais c'est la fréquence et l'intensité des précipitations qui sont menacées. Personne n'est à l'abri : "La moitié de la population mondiale souffre déjà d'une pénurie d'eau ponctuelle au cours de l'année." (IPCC, 2022) Des épisodes extrêmes ponctuels tels que des pics de températures ou sur le long terme comme des sécheresses se produisent de plus en plus fréquemment. Ces dernières sont responsables à leur tour de violents feux dus aux sols et à une végétation asséchée. La perturbation peut se traduire aussi par un excès d'eau avec des inondations exceptionnelles. Pour que les pluies soient profitables à la végétation, il faut qu'elles soient comprises entre 10 et 40 mm/heure, dépassant cette limite, l'eau participe au lessivage et est perdue. Ce nombre de jours efficaces régresse d'année en année mettant en péril l'agriculture, notamment dans le pourtour méditerranéen. (Coulomb, 2024).

Ces dernières décennies, dans la plupart des régions, les forêts ont reculé, laissant seulement des haies qui ont à leur tour disparu durant le remembrement. Cette révolution avait pour objectif de faciliter l'agriculture conventionnelle en créant des parcelles plus grandes. Mais comme on l'a vu, cette baisse de végétation sur les territoires agricoles impacte les cycles de l'eau verte et provoque des cycles de sécheresse-inondation sur les continents. En son absence l'eau n'est pas retenue et ruisselle emportant les particules de terre, sédiments, matières organiques, oligo-éléments. Il en résulte des eaux troubles, très chargées en éléments, qui s'échappent rapidement du terrain, et appauvrissent les sols.

Autre pratique participant à faciliter la production à court terme, l'assèchement de zone humide par la mise en place de systèmes de drainage. Elle est responsable de la perte du maillage aquatique du territoire. L'eau s'est alors retrouvée reconcentrée dans les fleuves dont

les lits et les débits ont largement augmenté. Avec cet objectif d'évacuer l'eau rapidement, aujourd'hui elle fuit le paysage.

Ces pratiques avaient pour objectif de faciliter le travail mécanisé pour permettre l'intensification de l'agriculture. Malheureusement, elles ont fortement contribué à dégrader la santé des milieux et les cycles de l'eau. Cette eau qui était dérangeante à l'époque, nous manque aujourd'hui. Pourtant l'agriculture est la première activité consommatrice d'eau douce en France, représentant 57% de cette consommation, et les besoins s'accroissent. [3] Il est important de réfléchir à se rapprocher d'une résilience hydrique pour le bien de l'agriculture future. Pour l'atteindre l'homme va devoir travailler avec le végétal.

Si ceci est vrai à l'échelle planétaire, en France c'est dans le sud que les effets dus au manque d'eau sont les plus visibles actuellement. Cela fait du sud une zone expérimentale d'après Johan Coulomb, chargé de mission eau et agriculture à la Métropole de Montpellier. Ce qui se passe actuellement dans le sud de la France est une prévision de ce que sera le climat à l'échelle nationale dans quelques années.

2) Créer de la pluie grâce à la végétation

L'eau est, nous allons voir, une ressource qui peut être créée, "cultivée". L'eau verte ayant besoin de végétation pour circuler, nous allons voir les différents rôles qu'elle a dans la présence de l'eau dans nos paysages comestibles.

2-1) Les arbres et l'eau

Les arbres et arbustes par le biais de différentes actions participent à la mise en circulation de l'eau entre atmosphère et sol. Les actions les plus importantes que l'on retrouve dans des paysages agricoles sont présentées ici, des informations complémentaires pour saisir toute l'importance du rôle de l'arbre se trouvent en annexe I.

La fonction première des plantes et des arbres dans les cycles de l'eau est d'**évapotranspirer** (cf. figure 5). Ils vont absorber par leurs racines l'eau dans le sol. Elle circulera ensuite par la sève brute pour remonter puis elle sera libérée par les stomates situés sur la face inférieure des feuilles et retournera dans l'atmosphère. Par ce phénomène, ils participent au **rafraîchissement** de l'air. Cet eau renvoyée dans l'atmosphère, constituant l'eau verte est, comme on l'a vu, responsable des principales pluies continentales. Ceci s'explique par le fait qu'un arbre, en additionnant la surface de chaque feuille de tous les arbres, le total est largement supérieur à la surface des océans. "Un arbre occupe par exemple 1m² au sol, mais ses feuilles peuvent couvrir plusieurs dizaines, voire centaines de m²." [1] Les arbres sur terre constituent donc une surface d'évaporation beaucoup plus vaste.

Ils vont ensuite participer grandement à l'**infiltration** de l'eau dans le sol. Par leurs 2 types de racines. Les racines pivots allant en profondeur entraîneront l'eau dans les couches profondes jusqu'à rejoindre des nappes phréatiques souterraines. Cette eau est entièrement filtrée donc de très bonne qualité. Les racines latérales plus fines forment un maillage horizontal dans les couches supérieures du sol, faisant circuler l'eau horizontalement. Des études ont montré que ce sont les racines pivots qui induisent une plus grande capacité d'infiltration mais que les latérales explorent plus de surfaces donc modifient plus largement le sol. L'arbre sert de pompe à multiples sens, faisant circuler l'eau entre l'atmosphère et le sous-sol. [3]

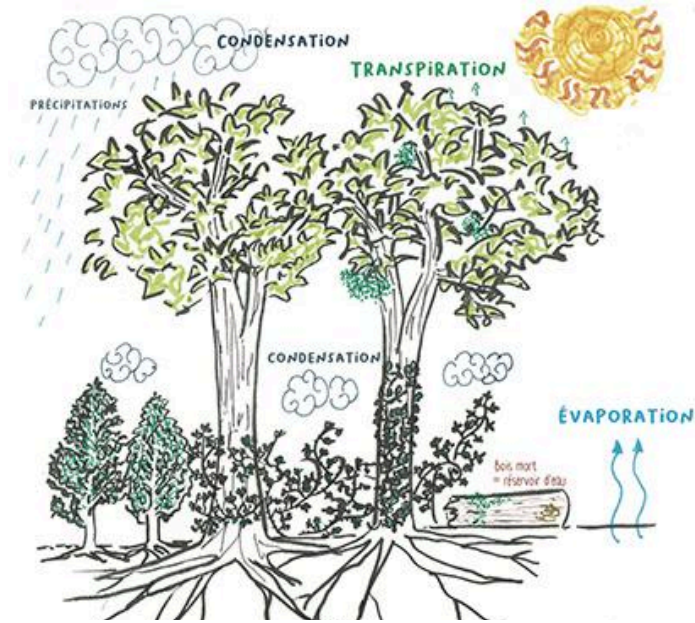


Figure 5 : L'arbre au coeur des cycles de l'eau verte (ADF, 2024)

L'intérêt d'avoir des arbres est aussi de créer des **différentiels de températures** : des zones d'ombres et des zones de soleil. Les feuilles au soleil vont évapotranspirer par les stomates de leur faces inférieures. Celles se trouvant à l'ombre, de par leur température plus basse, vont pouvoir recycler cette eau. La buée se fixe sur des zones plus froides **recondensant** l'eau. Cette eau qui circule au sein de l'arbre est une eau qui n'est pas forcément mesurée. Il y a en réalité le double de l'eau qui tombe, qui circule au sein des plantes. Ce petit cycle peut se produire plusieurs fois dans la journée à condition qu'il y ait ce dipôle de température chaud/froid dans les écosystèmes. Cela montre l'importance d'avoir une végétation dense dans les paysages. (Galabert, 2022)

Autre phénomène, l'**association symbiotique avec les champignons**. Ces derniers créent ce lien étroit avec les plantes pour récupérer les minéraux de la sève élaborée. A travers eux les arbres voient leur surface exploratoire souterraine augmenter, puisque le tissu mycélium du champignon s'aventure plus loin et va jouer le même rôle que le système racinaire. Il régule la pression osmotique des plantes avec lesquelles il est connecté. Lorsque la plante absorbe trop d'eau et n'évapotranspire plus à la tombée de la nuit, la sève élaborée devient trop diluée pour le champignon, le trop d'eau va donc lui être retiré et poussé dans le sol, et inversement quand la plante est trop sèche. Des champignons saprophytes peuvent se trouver là, s'il y a présence de bois en décomposition. Ces derniers vont alors redistribuer l'eau à travers le sol la mettant à disposition d'autres végétaux. Le champignon symbiotique permet donc d'augmenter la disponibilité en eau dans le sol et une **meilleure répartition**. (Covès, 2022)

Que ce soit dans les airs ou sous terre, seuls ou en symbiose, les arbres et arbustes sont les maîtres de la circulation de l'eau dans nos écosystèmes et agrosystèmes. Leur présence est indispensable pour le bon fonctionnement des cycles de l'eau. Les arbustes ont tout autant d'importance et participent aussi à ce système.

2-2) Les forêts, ces pompes biotiques

Nous venons de voir les interactions que l'arbre a avec l'eau. Il est alors possible d'imaginer tout le pouvoir qu'une forêt entière ou un couvert arboré comme un bocage, peut avoir sur les cycles climatiques à l'échelle planétaire comme il en est souvent décrit avec la forêt amazonienne.

Ce n'est pas le manque d'eau qui fait que les forêts disparaissent, mais bien la disparition des forêts qui fait qu'on manque d'eau. Par exemple, à partir des différences de température et de l'association de plantes, une forêt est capable de créer la même quantité d'eau que la pluviométrie locale. (Bonvoisin, 2023) Si la forêt et les sous-bois disparaissent, c'est la moitié de la quantité d'eau qui n'est plus présente dans ce cas-là.

D'après l'ingénieur forestier suisse Ernst Zürcher, les forêts constituent des "**pompes biotiques**". Les physiciens russes Anastassia Makarieva et Victor Gorshkov expliquent: "La pompe biotique est un mécanisme par lequel les forêts naturelles attirent l'humidité formée au-dessus des océans en orientant les vents et les nuages vers l'intérieur des terres". (cf. figure 6) Elles sont aussi à l'**origine des vents** de la planète.

L'alternance entre la condensation et la décondensation de l'eau, entraîne une dépression de l'air. Cette perte de matière attire l'air d'à côté créant à terme les vents. Or les vents sont responsables du déplacement des nuages et de la pluie. Les plus grandes forêts attirent à elles les nuages provoquant des "**rivières atmosphériques**" : chaîne de nuages transportant une grande quantité d'eau. (Galabert, 2022)



Figure 6 : Recyclage interne de l'eau de pluie dans un paysage fonctionnel (Galabert, 2022)

Plus il y a de vent, plus l'eau circule. Le vent est donc aussi indispensable aux bons fonctionnements des cycles de l'eau en influençant la **répartition spatiale des précipitations**. Or, ces 5 dernières années, une baisse des vents a été mesurée, limitant l'entrée des précipitations, des océans vers les continents. (Haziza, 2023) L'alternance de pressions attire donc l'air humide vers les zones densément boisées.

En plantant des arbres en quantité on a donc le pouvoir de diriger les vents de la planète, de guider les pluies sur les territoires et de régénérer les cycles de l'eau. Dans le cas a) (cf. figure 7), le massif arboré est suffisant pour faire entrer les pluies sur le continent tandis que dans le b), l'absence de couvert végétal sur le littoral provoque un retour de l'air humide vers l'océan..

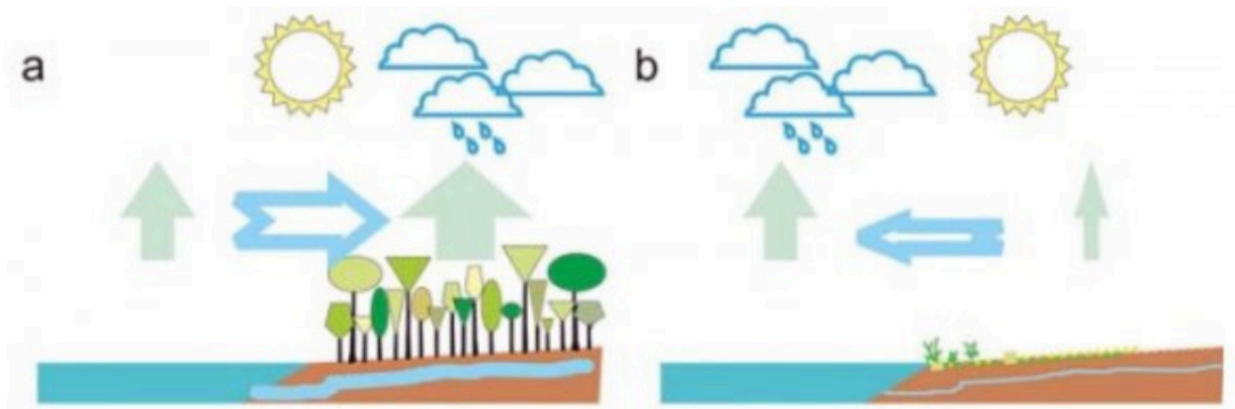


Figure 7 : Influence de la végétation sur les vents (Galabert, 2022)

Cela montre l'importance de la présence de massifs arborés diversifiés dans nos paysages, et notamment ceux agricoles. Le paysage de bocage participe à ce modèle décrit juste avant, nous verrons comment le verger-maraîcher peut y contribuer.

3) Réhydrater les paysages

Depuis la prise de conscience du dépassement planétaire de l'eau verte, les médias commencent seulement à s'intéresser au lien entre eau et paysage. Le paysage est un outil considérable pour améliorer les conditions actuelles, notamment les paysages agricoles. Effectivement, ils sont une interface entre la personne (l'agriculteur), le climat et l'écosystème. Savoir que sa dégradation a un impact direct sur le climat, il est intéressant de prendre le problème à l'envers et de l'étudier pour participer à la remise en marche des cycles de l'eau. Une des solutions est donc de réaménager autrement nos paysages pour remédier à ce déséquilibre.

3-1) L'impact du sous-sol, du sol et de son occupation

Dans nos paysages, l'eau est présente dans les deux interfaces : atmosphère et sol. Le plus gros enjeu pour préserver l'eau se situe d'ailleurs dans ce dernier. Le type de roche mère va transmettre aux restes des horizons ces capacités de perméabilité. Sa nature va déterminer sa texture et sa structure.

Privé de végétation, il est exposé au rayonnement direct du soleil le réchauffant et va durcir pour limiter la perte d'eau qu'il lui reste. Cela empêche l'infiltration de l'eau. "La terre absorbe l'eau de pluie uniquement lorsque sa température est inférieure à celle de la pluie. Dans le cas contraire, le sol est chaud et sec, l'eau de pluie ne peut pas y pénétrer et elle s'écoule en surface." (Holzer, 2013) Un sol pauvre, peu poreux, sans matière organique, ne permet pas de retenir l'eau dans ses agrégats. Le résultat est qu'elle ruisselle emportant avec elle les éléments fins du sol, l'appauvrissant davantage et créant une eau trouble trop chargée.

Un sol non couvert, c'est aussi un sol qui va perdre son eau par évaporation. Elle sera perdue dans l'atmosphère sans profiter aux écosystèmes comme c'est le cas lors de l'évapotranspiration. "L'eau bleue naît de la richesse de l'activité végétale permise par l'eau verte. Plus on a de forêts, d'arbres et de champs couverts de végétaux sur son bassin versant, plus les cours d'eau sont dynamiques, et le risque de sécheresse est moindre." [1]

L'absence de végétation provoque des masses d'air chaudes qui sont propices à l'apparition de violents épisodes pluvieux (grande quantité en peu de temps) plutôt qu'à des

épisodes réguliers. Des inondations peuvent alors se produire par manque d'infiltration de l'eau dû à l'absence de racines d'arbres ou de végétation.

Le type d'occupation du sol détermine donc la quantité d'eau et la température de l'air qui va être renvoyé dans l'atmosphère. L'importance première est d'avoir une continuité végétale afin que les cycles puissent fonctionner et impacter positivement le climat local. La proportion d'eau de pluie captée et conservée là où elle tombe, est dépendante de l'action de l'homme sur son environnement. Il est donc important de couvrir au maximum les sols pour que les conditions soient favorables à un retour des cycles climatiques plus stables.

3-2) L'importance du relief

Le relief est un des facteurs à étudier le plus important pour réaliser un design. Il influence directement sur la circulation et le stockage de l'eau à travers le paysage. Même lorsque la pente est infime, l'eau en est impactée et ruisselle si rien ne la retient. Dans les milieux naturels les reliefs ont dessiné des réseaux drainants naturels, "c'est l'eau qui façonne le paysage par ses déplacements". (Holzer, 2013) Les réseaux de formes dendritiques, se divisent pour répartir au mieux l'eau à travers des bassins versants. La présence d'arbres aide à dévier les cheminements créant des "réseaux hydrographiques secondaires". En situation naturelle, le milieu fait en sorte de répartir l'eau par son relief mais c'est avec l'aide des arbres que l'équilibre est atteint, lors d'épisodes pluvieux par exemple, le stockage effectué par les arbres retarde le retour de l'eau dans les rivières jusqu'à un mois ou plus, limitant ainsi les risques d'inondation en aval. (AFAHC, 2009)

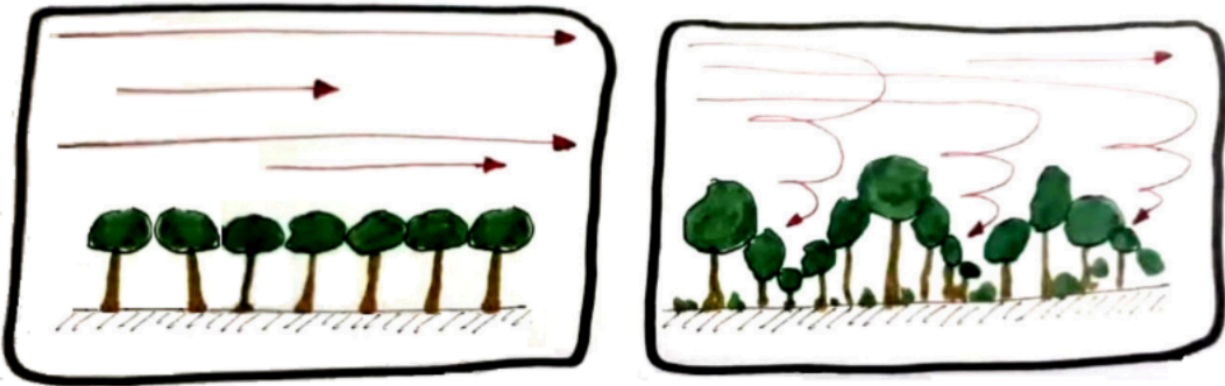
En milieu agricole, la gestion de la pente permet de produire dans des milieux moins accessibles. Les cultures en étages, restanques permettent elles aussi de créer des freins à l'écoulement de l'eau tout en retenant les particules enrichissant le sol pour la production.

La vitesse et la direction des déplacements de l'eau sont directement dépendantes des reliefs et de la végétation.

3-3) Les paysages rugueux

Au-dessus de l'interface sol, les formes, les tailles et les volumes des éléments ont aussi une grande importance sur la création de microclimats. Les paysages homogènes, lisses, sont moins intéressants pour les écosystèmes que ceux hétérogènes. Un paysage variable non uniforme est favorable aux cycles naturels pour cela il doit être diversifié proposant une multitude de strates comme on peut l'observer dans la nature en forêt. Ces strates sont composées d'un grand nombre d'espèces différentes. Ce sont ces paysages qui sont capables de créer des nuages en créant une différence de température, grâce aux différences de tailles des arbres et l'alternance de zones d'ombre et de lumière comme vu précédemment. (Covès, 2022)

Ces paysages rugueux sont appelés paysages en "boîte à oeufs" (cf. figure 8, motif condensateur centripète). Le vent va faire s'élever l'air chaud contenant la vapeur d'eau issue de l'évapotranspiration dans l'atmosphère. Cette eau se changera ensuite en nuage lorsque le point de rosée sera atteint avec la diminution de la température en prenant de l'altitude. Ces systèmes hétérogènes permettent de recycler sur place 50% de l'eau évaporée. (Galabert, 2022) La présence des arbres va aussi créer des obstacles sur le chemin de l'eau atmosphérique et va favoriser sa recondensation.



Motif fuyant centrifuge

Motif condensateur centripète

Figure 8 : Un paysage hétérogène favorise les cycles de l'eau (Galabert, 2022)

Les liens entre paysage et cycles des eaux sont très étroits. Comme l'eau façonne le paysage, le paysage peut aussi guider les cycles de l'eau. En sachant lire et travailler avec le paysage, nous avons le pouvoir d'agir directement sur les déplacements de l'eau. Pour une réhydratation optimale des milieux, il faut que l'eau soit un lien de connexion entre les milieux. "La solution idéale est l'association d'étangs, de lacs naturels et de fossés pour former un paysage aquatique complet." (Holzer, 2013) Cela est aussi vrai en conditions agricoles, l'eau peut participer à la reconnection de l'agrosystème au milieu naturel plutôt qu'il soit perçu comme une entité à part. Nous allons voir, en nous appuyant sur les connaissances de cette première partie, que les milieux agricoles sont au contraire idéaux pour favoriser la création de ces paysages favorisant la circulation de l'eau.

II) Comprendre l'hydrologie régénérative, la science de la régénération des cycles de l'eau douce par l'aménagement du paysage

Aujourd'hui, il est important de travailler avec la nature pour régénérer les écosystèmes. Cette régénération commence donc par la réhydratation du paysage. Comme le dit le permaculteur Sepp Holzer "l'eau est le capital écologique essentiel d'un paysage", il est donc primordial d'intégrer un design spécifique à l'eau pour un milieu équilibré. Pour cela de multiples pratiques ayant pour but de favoriser la présence de l'eau sur les sites et les rendre plus résilients ont été élaborées. Ces méthodes pour la plupart anciennes sont rassemblées sous le concept d'hydrologie régénérative et ont pour but de générer des designs fonctionnels et régénératifs.

1) Définir l'hydrologie régénérative 1-1) Définition

Le 20 octobre 2022, ont lieu les Rencontres de l'Hydrologie régénérative à Annecy. De cet évènement naît une définition officielle :

- "Hydrologie : science qui s'intéresse à tous les aspects du cycle de l'eau
- Régénérative : qui permet l'amélioration constante d'un ensemble de facteurs environnementaux et sociaux par une approche et un ensemble de mise en œuvre appropriées

" L'Hydrologie Régénérative concept émergent est la science de la régénération des cycles de l'eau douce par l'aménagement du territoire." [5]

L'HR est une discipline à la croisée de plusieurs autres : hydrologie, géographie, paysage, agriculture, climatologie, pédologie, écologie... Elle rassemble les approches qui ont pour but de restaurer les cycles de l'eau afin de faire retrouver aux paysages, un aménagement leur octroyant une résilience hydrique. (cf. figure 9)

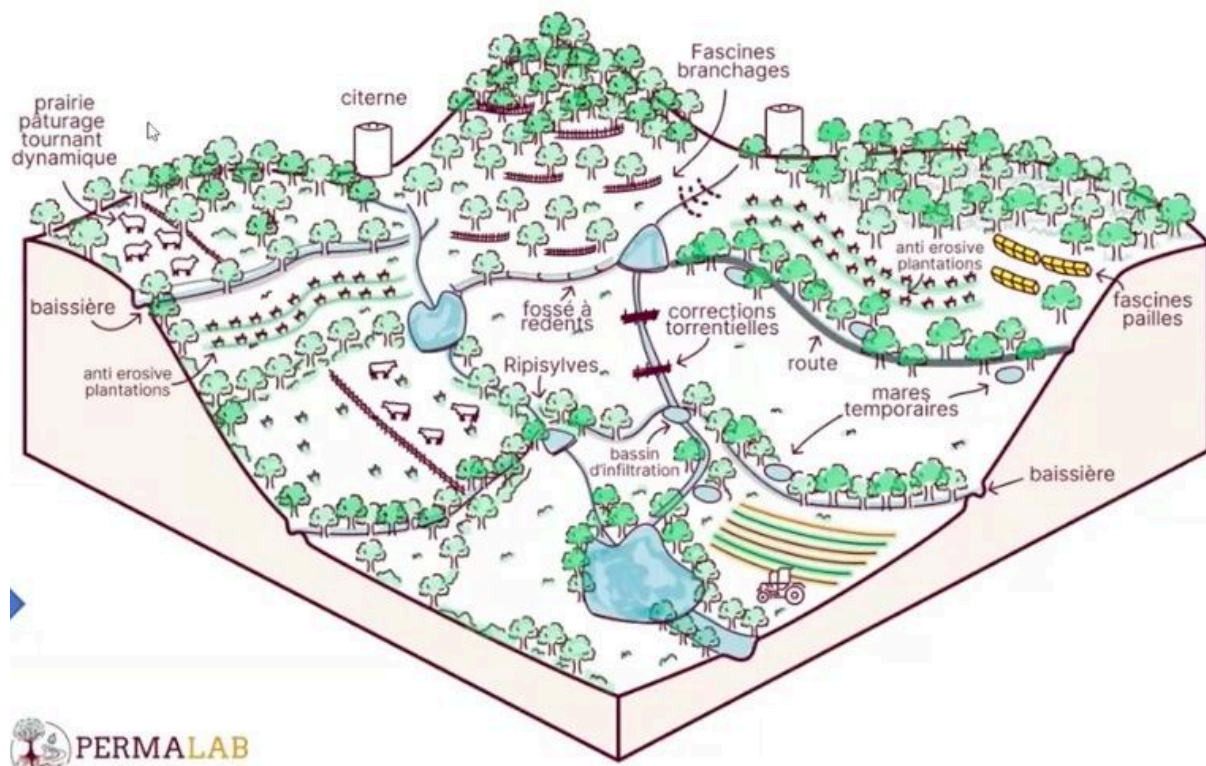


Figure 9 : Aménagement du bassin versant avec l'hydrologie régénérative pour ralentir le cycle de l'eau (Ricard, 2024)

Pour cela la méthode RRIS a été mise en place par l'association Pour une hydrologie régénérative. [5] Elle a pour but de garder au maximum l'eau de pluie et de ruissellement sur les parcelles en appliquant les 4 principes suivants :

- **Ralentir l'eau** : plutôt que de chercher à évacuer l'eau le plus rapidement du terrain, l'objectif est de placer des obstacles et de ralentir son chemin. Ainsi l'érosion et le lessivage sont limités en amont et les risques d'inondation plus maîtrisés en aval.
- **Répartir l'eau** : on ne cherche plus à concentrer l'eau sur un seul cheminement mais à la disperser des points où elle est présente abondamment vers des points où elle se fait

plus rare. Cette répartition cherche à optimiser son infiltration dans l'ensemble du paysage.

- **Infiltrer l'eau** : c'est l'étape clé, ne plus laisser l'eau dévaler les pentes mais la stocker dans le sol pour qu'elle y soit disponible pour la végétation durant la période critique et permettre des sols humides fonctionnels et une recharge des nappes souterraines.
- **Stocker l'eau** : lié au point précédent, l'eau est présente dans le paysage sous diverses formes dans la végétation et l'atmosphère, contenue dans le sol et dans le sous-sol avec les nappes.

Les techniques mises en place se reposent sur le triptyque eau-sol-arbre et permettent une solution sur le long terme. C'est en jouant sur ces 3 facteurs que les cycles de l'eau peuvent être rétablis durablement. En n'oubliant pas que l'eau ne doit pas seulement être présente pour nos besoins (agricoles ou domestiques) mais surtout pour profiter à la vie des écosystèmes.

1-2) L'origine

Bien qu'en France le concept soit né officiellement en 2022 son origine remonte au siècle dernier en Australie sur la ferme de l'agriculteur Percival Alfred Yeomans (1905-1984), ingénieur de formation. Dans les années 50, il récupère la ferme familiale. La ferme se trouve sur des terres asséchées. Plutôt que de s'adapter, il va concevoir un agrosystème résilient face aux sécheresses et inondations en stockant massivement l'eau sur ses terres. Pour cela il va revoir tout le design de son terrain et va mettre en place de nombreuses infrastructures pour retenir l'eau et l'infiltrer. «Générer un sol profond et fertile est plus facile dans un paysage qui a été organisé à cet effet». (Yeomans, 1958)

Pour aider sur la méthodologie de la réalisation d'un design, il va mettre en place la notion d'échelle de la permanence. Elle classe 8 facteurs (cf. figure 10) qui ont le plus de stabilité dans le temps et d'impact sur l'environnement vers ceux qui en ont le moins (du plus permanent vers le moins) :

- 1- Climat
- 2-Topographie
- 3-Eau
- 4- Accès route chemin
- 5-Arbres et boisements
- 6-Infrastructures
- 7-Subdivisions clotures
- 8-Sol

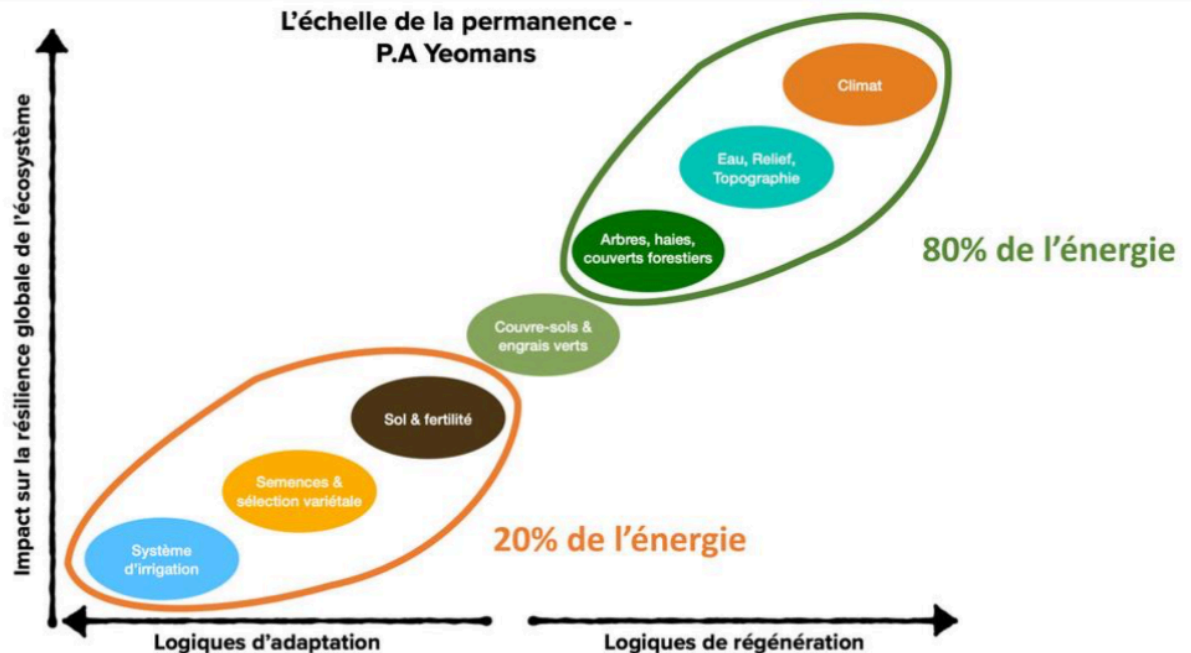


Figure 10 : Echelle de permanence élaborée par P.A YEOMANS (Ricard, 2023)

Les premiers sont très difficiles à modifier mais ils sont les plus importants à prendre en compte lors de la réalisation d'un design. Ainsi, les zones clés qui doivent être réfléchies en priorité pour améliorer la gestion de l'eau et des sols sont plus facilement déterminées. On voit que l'eau apparaît en troisième, il faut donc concevoir son design en l'intégrant dès les premières étapes de réflexion. Avec la logique suivante, il faut travailler sur les facteurs qui auront une plus grande conséquence sur le chemin de la résilience. D'après Yeomans, les tâches appartenant aux catégories les moins résilientes dans le temps, comme le système d'irrigation, ne doivent pas occuper plus de 20% du temps de travail.

L'HR telle qu'elle est appliquée aujourd'hui reprend 4 étapes importantes de l'échelle de permanence : l'eau avec la méthode RRIS (gestion de l'eau), les infrastructures (réalisation de design hydrographique comprenant routes, chemins...), les arbres (densifier grandement la végétation) et le sol (augmenté sa fertilité et sa capacité d'absorption).

P.A Yeomans est aussi à l'origine du "Keyline design" et d'une sous-soleuse appelée charrue Yeomans, notions qui seront développées par la suite.

2) Comprendre les concepts et les techniques utilisés de l'hydrologie régénérative

Pour mettre en place un design en HR, les actions vont concerner le triptyque énoncé plus tôt : le sol, les arbres et l'eau. Les différentes composantes n'ont pas le même impact hydrologique et le même temps de mise en place. (cf. figure 11)

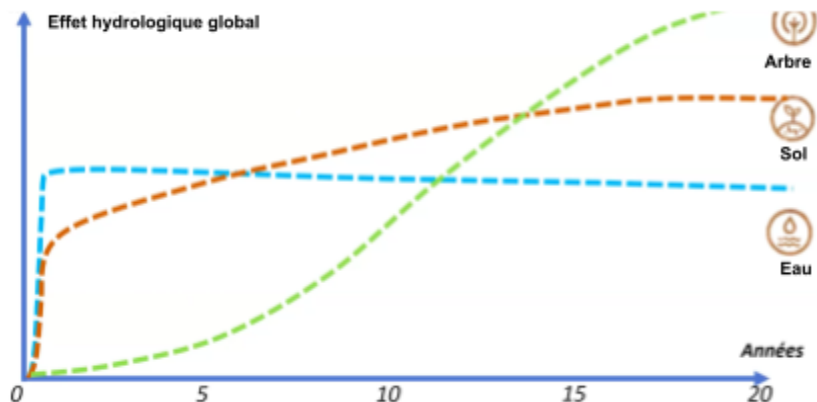


Figure 11 : Influence de triptyque sur la régénération des cycles de l'eau (Ricard, 2024)

2-1) L'Eau

L'eau et les infrastructures vont avoir un impact rapide sur la situation hydrologique de la parcelle de façon assez imminente. (cf. figure 11) Sepp Holzer préconise que 10% de la surface de la parcelle doit être réservée à l'eau pour retrouver un équilibre hydrologique. De nombreuses infrastructures hydrologiques existent pour faciliter la mise en place de tels paysages. L'eau va être gérée sur deux plans différents : de façon horizontale en ralentissant et dirigeant son déplacement à la surface du sol et de façon verticale en favorisant son déplacement entre sous-sol et atmosphère. La méthode RRIS (Ralentir, Répartir, Infiltrer, Stocker) est employée pour cela. Elle permet de garder l'eau dans le paysage afin qu'elle soit disponible lors de périodes plus sèches.

C'est le relief et le contexte pédoclimatique qui va surtout déterminer quelles structures sont à mettre en place. La liste suivante énonce quelques infrastructures et leurs utilités dans la régénération d'écosystèmes hydrologiques.

- Le keyline design(cf. figure 12, a) : signifiant ligne clé en français, c'est un ensemble de méthodes. L'une d'entre elles est de déterminer le Keypoint, le point clé qui est le point où la pente passe de convexe (forte pente) à concave (pente plus douce). En ce point le phénomène qui était érosif devient dépositaire, l'eau va avoir tendance à s'y concentrer. De ce point une ligne sera tracée perpendiculaire à la pente, dont tous les points par lesquels passe cette ligne se trouvent à la même altitude. D'autres lignes de niveau parallèles à la première seront tracées, à une certaine distance permettant la plantation de végétation et la circulation des personnes. Cela reprend le schéma des plantations en terrasses traditionnellement mises en place dans le paysage à relief. Les plantes pérennes seront plutôt plantées en amont et les annuelles en aval pour profiter du terrain plus fertile.

Chaque ligne pouvant accueillir une baissière (définition suivante) sera un obstacle sur le chemin de l'eau, ralentissant son retour à la rivière et profitant à l'écosystème environnant. Ces lignes courbes parallèles peuvent être tracées de sorte à amener l'eau du keypoint vers les crêtes avec une légère pente. C'est-à-dire vers des zones plus sèches, permettant une répartition de l'humidité du sol. (Bonvoisin S, Ricard S, 2022) [8]
- Les baissières (cf. figure 12, b) : petits fossés le long de courbes de niveaux qui permettent de répartir l'eau de ruissellement le long de celle-ci et de la stocker pour son infiltration limitant l'érosion et le lessivage. La terre excavée pour sa construction est souvent utilisée pour former un talus sur le côté aval. Ce talus végétalisé va participer à

l'infiltration de l'eau grâce aux racines des arbres. La profondeur et leur nombre dépendent de la stratégie souhaitée pour la réhydratation du sol. Une grande baissière permettra de stocker beaucoup d'eau sur un endroit précis, idéal pour des plantes ayant besoin de beaucoup d'eau. Plusieurs petites baissières à la suite permettent un enchaînement de plantation avec des besoins moins importants. Dans le sud de la France, il est plus conseillé un enchaînement de petites baissières qui va permettre de freiner l'eau qui arrive en grande quantité avec les orages. Pour sa réalisation il ne faut pas l'étanchéifier pour lui permettre d'infiltrer l'eau.

- Les mouillères : fossés ou dépressions de terrain où l'eau va avoir tendance à s'accumuler et à stagner le temps de s'infiltrer. Elle retient l'eau et limite son ruissellement. Elle sert à capter, stocker et réguler l'eau dans le temps en créant une zone plus humide et un possible habitat pour enrichir la biodiversité. L'humidité présente stimule aussi la vie microbienne du sol environnante.
- Les fascines (cf. figure 12, c) : ouvrages de végétaux constituant un obstacle à l'écoulement de l'eau. Le bois peut attirer l'eau et l'absorber comme une éponge pour la retenir sur place. Utilisées le long des berges de cours d'eau, elles vont stabiliser les rives et limiter l'érosion. Elles peuvent aussi servir de support pour la végétation.
- Les bassins d'infiltration, retenues collinaires, bassins d'orage (cf. figure 12, d): ces infrastructures doivent être situées dans les vallées leur permettant de récupérer l'eau s'écoulant des crêtes mais en altitude pour permettre une utilisation de l'eau gravitaire si besoin notamment pour l'irrigation. Elles doivent être positionnées de telles sortes à avoir une zone de captage suffisante pour son remplissage. L'idéal pour former un paysage aquatique est qu'il y ait une succession de retenues dans la vallée pour répartir l'hydratation et avoir des stocks d'eau à différents endroits. Limitant le ruissellement, ces infrastructures ont un rôle important pour limiter les inondations.
- Les zones humides (mares, étangs, ruisseaux...) : favoriser la présence de ces milieux "naturels" enrichissent le paysage sur différents points (biodiversité, ressources en eau, énergie, esthétique...). La ripisylve et le reméandrage des cours d'eau ralentissent les courants et limitent les phénomènes d'inondation et d'érosion des berges. Il est aussi important de prévoir des zones d'expansions de crues pour permettre des épisodes pluvieux plus intenses tout en sécurité. [6] Leur conception doit être étudiée pour permettre une eau propre et oxygénée et une diversité de microclimats pour un maximum de biodiversité et de stabilité. Pour cela il est conseillé de bien veiller à la présence des trois mouvements de l'eau : des rives incurvées pour un mouvement sinueux, une orientation adaptée au vent pour créer des vagues, et des zones de profondeur variable pour maintenir une température stable, même en cas de fluctuations climatiques extrêmes. (Holzer, 2013) Les bassins d'eau ont également un effet compensateur sur la température, absorbant la chaleur pendant la journée et la restituant la nuit, stabilisant ainsi le climat local.

Le but est de s'approcher d'un paysage aquatique comme le défend Sepp Holzer. En maximisant la présence de ce type de réalisations, l'eau réapparaît sur les parcelles profitant à l'écosystème environnant entier et sécurisant la présence de l'eau pour l'agriculture locale.



Figure 12 : Exemples d'infrastructures utilisées en HR (sources multiples)

- a : Keyline design au Rancho San Ricardo, Mexique (mashumus, 2024)
- b : Baissières par la fondation Paani, Inde (pour une hydrologie régénérative, 2024)
- c : Fascine, Meuse, France (chambre agriculture meuse, 2024)
- d : Bassin de rétention et d'infiltration ferme du Krameterhof, Autriche (Holzer, 2013)

2-2) Le Sol

Le sol est l'élément intermédiaire en termes d'efficacité et de mise en place. (cf. figure 11) La condition essentielle est qu'il doit être systématiquement couvert comme vu en partie 1. En appliquant des méthodes de culture adaptées telles que l'agroforesterie, le Maraîchage Sol Vivant (MSV), il peut être rapidement régénéré. La présence de matière organique est essentielle pour qu'elle agisse telle une éponge et réhydrate le milieu.

La charrue Yeomans (cf. figure 13, a) permet d'effectuer un sous-solage en motif keyline (décrit plus haut). Cela consiste à ouvrir des microsillons sur les lignes de niveau tracées tout cela sans détruire les horizons et en perturbant au minimum le sol. Ces sillons vont permettre une aération par décompactage et de faire s'infiltrer l'eau en profondeur, telles des fissures qui se gorgent d'eau, pour qu'elle soit stockée dans le sol. Ce décompactage va tracer un motif gravé sur le sol influençant les mouvements de l'eau en surface. Le résultat est un sol plus humide et plus propice aux microorganismes. Il est recommandé de réaliser la méthode suivante : utilisation sur la parcelle sur trois années à différentes hauteurs pour une régénération plus rapide. Il est aussi conseillé de semer des graines qui vont empêcher les

fissures de se refermer une fois germées et préserver la capacité d'infiltration dans le temps. (cf. figure 13, b) (Mollinson, 1991) [8]

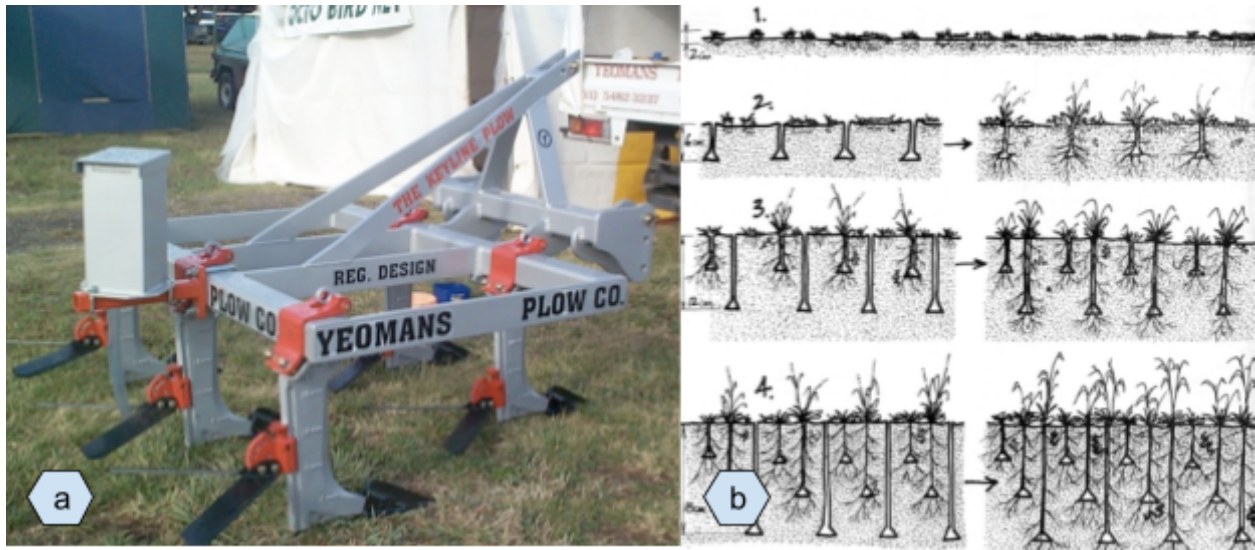


Figure 13 : Charrue Yomans et son utilisation permettant un régénération du sol plus rapide (sources multiples)

- a : Charrue Yeomans permettant un travail du sol avec des perturbations minimales (Permaterra, 2024)
- b: Méthode d'utilisation de la charrue Yeomans pour une régénération plus rapide (Mollinson, 1991)

2-3) Le Végétal

Pour que le paysage se régénère et que l'eau se mette en mouvement de façon durable, c'est une végétation dense qui est la solution. C'est l'élément du triptyque qui va mettre le plus de temps à se mettre en place, à cause du long cycle de développement des arbres. Cependant elle aura un impact beaucoup plus important pour l'amélioration hydrologique du terrain et sera la plus durable dans le temps. (cf figure 11) De par tous les phénomènes que nous avons vu, elle va participer à la remise en forme du sol et de la circulation de l'eau. Les arbres sont capables de transformer l'eau verte en eau bleue avec une efficacité unique, ils sont donc indispensables dans un design d'HR. [7] Cette végétation doit être hétérogène et complète pour être fonctionnelle comme vu dans la première partie.

La disparition des haies avec le remembrement à l'origine en partie, de la fuite de l'eau dans nos paysages, continue d'augmenter selon l'Agreste. (Coulomb J, Ricard S., 2024) Samuel Bonvoisin insiste sur un nouveau remembrement qui se traduirait par une plantation en masse d'arbres pour retrouver l'efficacité de nos écosystèmes d'avant, un paysage bocager décrit plus tôt. (cf. figure 14)

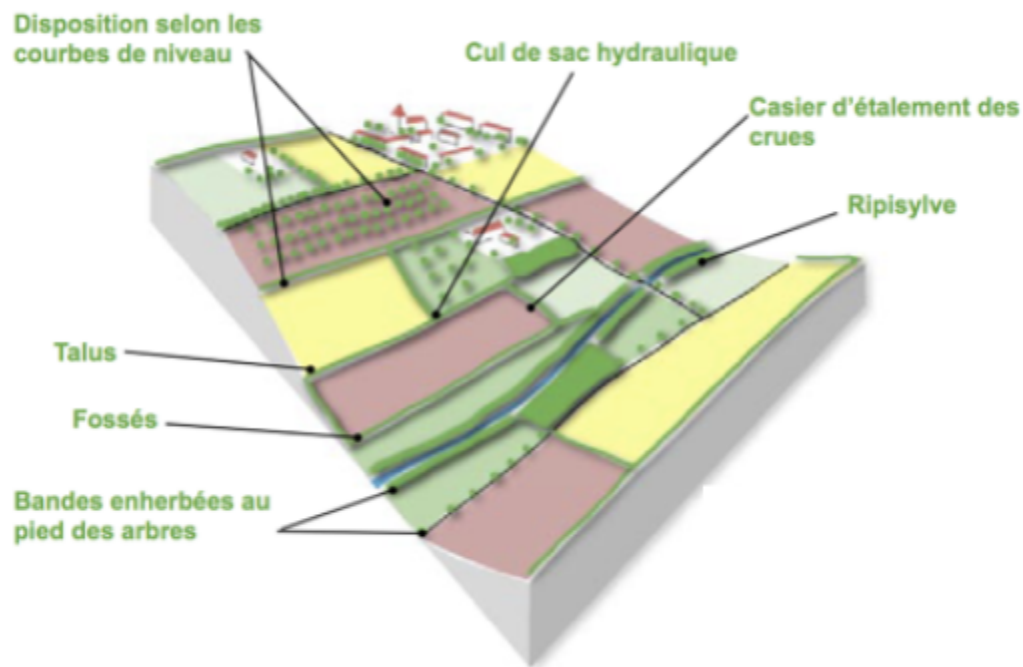


Figure 14 : Paysage bocager favorisant un paysage plus hydraté (AFAHC, 2009)

Rappel des avantages des massifs arborés en milieux agricoles : Les racines des arbres vont permettre d'aérer le sol, le décompacter et augmenter sa perméabilité. Ses racines vont filtrer et purifier l'eau des ruissellements. La partie aérienne de l'arbre influe sur les microclimats pouvant aller jusqu'à impacter le macroclimat comme vu en première partie. L'ombre qu'elle produit limite l'évaporation du sol environnant. Son effet brise vent limite l'érosion éolienne permettant un sol plus stable. Il peut alors jouer son rôle de stockeur d'eau permettant de recharger la réserve utile qui sera disponible pour les plantes. (AFAHC, 2009)

Il est important d'avoir des espèces ayant des cycles différents tout au long de l'année pour un meilleur partage des ressources et des services écosystémiques. Une végétation étagée est essentielle. Elle doit présenter toutes les strates existantes partout dans le paysage, que ce soit entre ou à l'intérieur des parcelles agricoles. Il est primordial de réintégrer les arbres et les arbustes dans les exploitations par le biais de systèmes de productions alternatifs comme avec les vergers-maraîchers que nous verrons.

En jouant sur tous ces aspects dans nos paysages agricoles mais pas seulement, les conditions sont réunies pour permettre aux cycles de l'eau de mieux fonctionner. Cela permet la recharge des nappes souterraines, la création de zones humides. Une fois les nappes phréatiques rechargées en amont de nouvelles apparaissent en aval avec le temps, permettant une réhydratation à l'échelle de bassins versants. L'eau n'est plus concentrée comme auparavant mais est diffusée dans le paysage.

3) Etablir une méthodologie

De nombreux facteurs sont à prendre en compte pour la réalisation d'un bon design. Il est aussi important d'étudier le paysage plus vaste dans lequel s'inclut le projet. La méthode décrite ci-dessous reprend des éléments de celle réalisée par le bureau d'étude Permalab spécialiste en HR. (Fouque, 2023) [9]

3-1) Définition du projet

Dans un premier temps, un échange avec le commanditaire du projet permet de bien cerner les besoins : le type de culture, les pratiques agricoles, les différentes zones existantes, leur ressenti, leur historique sur le terrain... Ils sont les mieux placés pour nous faire part des plus grandes problématiques auxquelles ils doivent faire face. Cela permet de bien prendre en compte leurs nécessités. De plus, il faut que le design soit en accord avec leurs attentes pour qu'ils continuent à en prendre soin et aient envie de l'améliorer avec le temps, ce qui est primordial pour sa durabilité.

3-2) Lecture du paysage

Vient ensuite l'étape de la lecture du paysage. La perception de tout ce qui compose le système sur lequel le projet sera mené. Cette étape est essentielle et va permettre de mieux saisir les enjeux du projet et l'intégrer dans le paysage naturel. Un regard holistique est nécessaire pour bien saisir tous les facteurs qui sont en jeu.

Les éléments observés sont :

- la végétation autochtone, elle peut renseigner sur de nombreux éléments du milieu comme le type de sol, sa profondeur, l'exposition au soleil, la présence d'eau à proximité.
- le relief : son influence sur le déplacement de l'eau.
- les conditions pédologiques : sa capacité à garder l'eau et à accueillir une diversité de végétaux et de cultures
- la présence de l'eau : Cours d'eau, ruisseaux, végétation humide, traces d'humidité dans le sol
- les différents milieux composant la parcelle : induit par l'exposition aux conditions pédoclimatiques, proposant des niches écologiques et des conditions de culture particulières
- les enjeux culturels : présence de systèmes d'irrigation ou encore de méthodes de cultures historiques (restanques, canaux traditionnels...)
- multisensorialité : le ressenti du paysage pour permettre le bon usage à cet endroit et une élaboration du design juste.

Cette lecture du site est importante pour proposer un design qui soit bien en accord avec le site sur lequel il sera implanté, et permettre une utilisation adéquate par exemple les différentes zones composant une parcelle agricole : lieu de stockage, culture, circulation, zone de biodiversité..).

3-3) Etude du site

L'étude hydrologique du site permet de relever toutes les informations existantes à prendre en compte pour la conception du design. L'étude de la présence de l'eau se réalise sur et à proximité du site : un ruisseau, une nappe phréatique, un lac naturel peuvent renseigner comment le paysage à stocker naturellement l'eau à cet endroit.

Une étude topographique permet de relever les éléments suivants qui serviront pour la décisions d'implantation de structures hydrologiques :

- L'analyse du bassin versant pour déterminer la quantité d'eau drainée qui arrive sur la parcelle étudiée
- L'altimétrie, les courbes de niveaux pour la réalisation des infrastructures

- Les pentes pour déterminer le sens d'écoulement de l'eau
- L'exposition des pentes pour indiquer leur direction
- L'indice d'humidité topographique (TWI), il renseigne sur la capacité d'une zone à accumuler de l'eau
- L'occupation du sol.

Cette étude est menée sur le terrain à l'aide d'instruments de mesure. Pour compléter les données de terrain, elle se poursuit informatiquement à partir de données cartographiques accessibles sur Géoservices ou de l'Institut National Géographique (IGN). Ces données sont travaillées finement avec un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) tel que QGIS.

Les données climatiques sont aussi à étudier précisément pour permettre de savoir les quantités d'eau qui peuvent arriver sur le terrain et par conséquent qui sont à stocker au maximum. Selon leur grandeur, elles déterminent le nombre, les tailles des infrastructures à mettre en place. Les données sont obtenues avec les sites officiels tels que Météo France et peuvent être complétées avec des mesures réalisées sur le terrain. La pluviométrie annuelle (minimale, moyenne, maximale) sur les 5 dernières années est regardée. Le sens et la puissance de vent peuvent aussi déterminer l'orientation des structures qui seront mises en place.

Les données pédologiques permettent de se renseigner sur le comportement de l'eau sur le terrain. Pour cela, des analyses du sol voire géologiques sont nécessaires. En fonction du contexte pédologique, il est possible de déterminer les espèces végétales, ou quelles structures hydrologiques sont le plus adaptées. Si le sol est davantage constitué de matériaux fins comme l'argile, l'eau sera retenue d'avantage mais à l'inverse, trop d'eau pourrait provoquer des problèmes de battance. Si les couches profondes sont constituées de matériaux grossiers comme du sable, l'eau est peu retenue et s'infiltrer plus profondément. Connaître le sous-sol et le sol de la parcelle permet de décider au mieux l'emplacement le plus adapté des structures. Les données de Réserve Facilement Utilisable (RFU), coefficient de ruissellement, type de sol, taux de matière organique sont prises en compte pour la conception du design agroécologique en HR.

3-4) Réalisation du design

Le climat et le contexte pédo-climatique sont à l'origine du design mis en place. Toutes les informations précédentes sont prises en compte pour le choix et l'emplacement des aménagements réalisés pour accompagner au mieux l'eau sur la parcelle. (cf. figure 15) Si la problématique est un manque d'eau, des structures pour stocker et infiltrer l'eau seront réalisées. Si au contraire l'eau est trop présente, il faudra alors la diriger vers un endroit adapté pour la transformer en zone humide. Elle est alors toujours présente dans l'écosystème mais les inconvénients de sa présence sont transformés en avantages. Si le besoin diffère selon les saisons, pas de besoin de stocker l'eau en hiver mais une nécessité de grandes quantités en été par exemple, des systèmes avec des martelières, telles des vannes, pour fermer ou ouvrir les structures selon les besoins sont idéaux. Il sera alors intéressant de stocker l'eau dès le printemps pour l'avoir disponible en été.

Dans tous les cas, la végétation, élément essentiel, doit être intensifiée pour permettre une bonne circulation de l'eau (infiltration ou évapotranspiration).

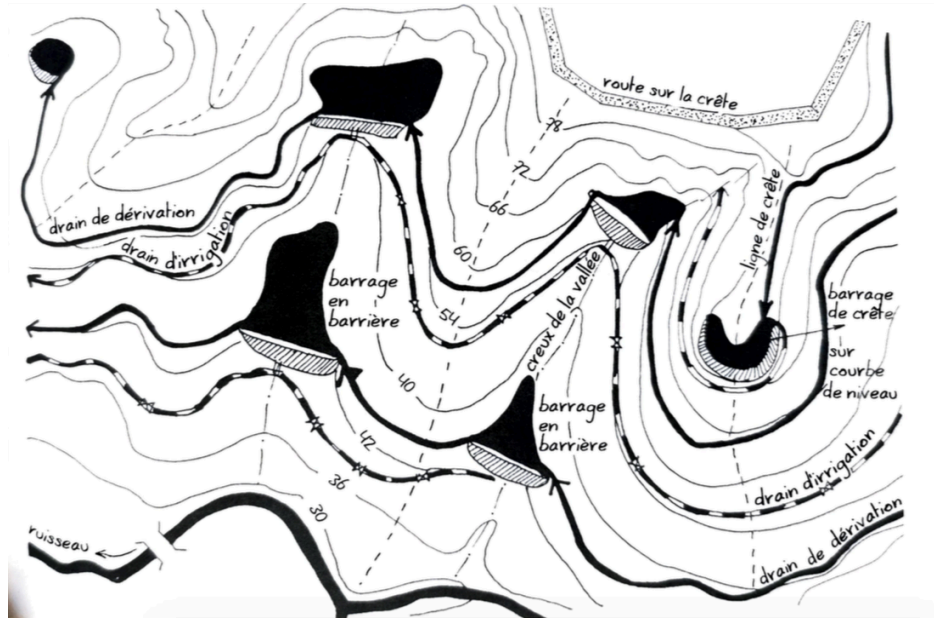


Figure 15 : Exemple d'un design hydrologique avec inspiration de la méthode Yeomans (Mollinson, 1991)

4) Prendre conscience des obstacles à la mise en place

4-1) Manque de connaissances et de recul

Le manque de connaissances et d'exemples sur le long terme sont des limites au développement de ces pratiques. Ceci est dû au caractère récent de cette pratique. Les méthodes existent depuis longtemps cependant la définition française officielle date seulement de 2022. Néanmoins sa popularité commence à prendre de l'ampleur. Peu de recherches et de littérature française ont été menées pour le moment et l'accès aux connaissances est limité. Cela demande du temps et de la détermination pour en savoir plus sur le sujet. Mais des bureaux d'étude tels que Permalab et des associations comme "Pour une hydrologie régénérative" participent activement à son rayonnement et sa sensibilisation auprès des acteurs concernés : agriculteurs, collectivités, hydrologues, élus... Les visites de terrain pour se rendre compte des stades avant-après permettent de réellement se rendre compte de l'efficacité et mettent en évidence son importance.

4-2) Difficultés d'adaptation

La réalisation de tels designs demande une grande connaissance du fonctionnement des écosystèmes et des différentes disciplines citées plus haut. Les designs sont assez complexes à concevoir et la réalisation doit être fidèle aux plans pour qu'ils soient efficaces. Ils ne sont pas toujours considérés comme "pratiques" pour travailler selon l'agriculture conventionnelle. Ils demandent une adaptation au terrain, ce qui n'est pas toujours adapté à leurs machines. La complexité et les modifications apportées sur un design préexistant participent à la réticence des agriculteurs.

4-3) Dimensions économiques

Les interventions des bureaux d'étude sont assez onéreuses et tous les agriculteurs ne sont pas prêts à déboursier de l'argent pour des designs qui ne faciliteront pas leur travail selon eux. Ceci est d'autant plus vrai lorsqu'ils ont accès à des sources d'eau qui sont pour l'instant bien accessibles et peu chères. Il faut qu'ils arrivent à saisir tous les impacts positifs que cela peut leur apporter et que les avantages soient supérieurs aux possibles pertes perçues au début de la mise en place du design.

L'échelle de temps y est aussi importante, il faut prévoir plusieurs années pour voir les conséquences positives mais les effets bénéfiques sont présents ensuite sur le long terme comme c'est le cas pour beaucoup de pratiques agroécologiques.

Il faut aussi accepter qu'un pourcentage de la surface agricole utilisée (SAU) soit cédé à la mise en place des infrastructures. Cela peut être perçu comme une perte de production donc économique, par les producteurs.

4-4) Gestion évolutive

L'idéal est de mettre en place le design avant de commencer à cultiver les terres. Malheureusement c'est rarement le cas, souvent les cultures sont en place et le design est à réaliser par la suite. Il faut alors essayer de s'appuyer sur l'existant pour limiter les impacts sur les cultures.

Les infrastructures demandent aussi un suivi d'entretien dans le temps pour qu'elles ne soient pas dégradées et qu'elles restent fonctionnelles. Des améliorations seront sûrement à apporter au cours des années. Le design continuera d'évoluer en même temps que la nature et les conditions pédoclimatiques autour de lui.

Un design en HR est donc assez complexe en raison de toutes les composantes à prendre en compte. Bien que les études professionnelles permettent un système optimal, des pratiques simples peuvent être mises en place par quiconque le veut.

Les agriculteurs avec leur parcellaire important sont des acteurs essentiels sur la gestion de l'eau à l'échelle des bassins versants. Il est important qu'ils prennent part au changement et qu'ils adoptent ou améliorent leurs techniques de culture permettant de protéger la ressource en eau qui leur est essentielle pour leur production. Nous allons voir qu'intégrer l'arbre dans leur système est déjà une avancée considérable vers leur résilience hydrique.

III) Stocker de l'eau avec les vergers-maraîchers pour des paysages comestibles régénératifs

L'HR encourage une revégétalisation massive de tous les écosystèmes, incluant les agrosystèmes. L'agroécologie permet de réconcilier l'agriculture à la nature à travers différentes pratiques en recréant des paysages de bocage. Cela permet de densifier un maillage agroforestier qui améliore la résilience hydrique. Nous allons plus particulièrement nous concentrer sur la pratique du verger-maraîcher.

1) Comprendre le verger-maraîcher à travers l'entreprise Potagers & Compagnie

1-1) Définition

Le verger-maraîcher participe à une agriculture s'inscrivant dans des paysages agricoles plus naturels appartenant donc au paysage comestible. Le système de verger-maraîcher est en expansion en France et notamment dans le sud, en région méditerranéenne. Cela accompagne le désir de "l'écologisation de l'agriculture" et le souhait de remettre l'arbre au sein des exploitations pour s'adapter aux changements climatiques : "La conception de systèmes maraîchers agroforestiers s'inspire des écosystèmes naturels pour aboutir à des agrosystèmes viables, productifs et peu dépendants des intrants". (Warlop, 2017) Ces pratiques favorisent la remise en marche des cycles naturels de l'eau, des matières et des énergies, la mise en place de paysages non uniformes, la diversité des cultures et la protection des ressources (eau, sol et biodiversité). (Léger et al., 2019)

Encore une fois, cela demande une compréhension des écosystèmes accrue. Des bureaux d'étude existent pour aider les agriculteurs et autres paysans qui sont dans un désir de transition, tel que Potagers & Compagnie. Ce bureau d'étude, dans lequel j'ai effectué mon stage de fin d'étude, conçoit des designs de fermes maraîchères en région méditerranéenne dans le Var. Ils sont aussi producteurs bio dans une ferme en système de verger-maraîcher près de Brignoles (cf. figure 16). Sur leur site, ils accueillent des formations pour sensibiliser aux pratiques d'agroécologie tel que le MSV.



— Lignes d'arbres fruitiers entre les jardins

Figure 16 : Verger-maraîcher chez Potagers & Compagnie (Potagers&Compagnie, 2020)

Le verger-maraîcher est une des formes d'agroforesterie qui combine arbres fruitiers et maraîchage. Bien que les deux cultures soient menées en même temps, l'activité principale est le maraîchage, les fruits étant complémentaires. Ce système se met en place le plus souvent sur des exploitations bio de petites surfaces soit inférieures à 5 hectares.

Nous verrons dans la partie étude de cas qu'il peut être encore plus favorable aux cycles de l'eau en y introduisant des infrastructures hydrologiques. Selon Fabien Balaguier, de l'AFAP (Association Française de l'AgroForesterie), l'agroforesterie est le lien entre l'agronomie et l'eau, il incite même à "planter de l'eau" à travers ce type de pratiques.

1-2) Description de la méthode

Concrètement le verger-maraîcher s'organise avec des planches de maraîchage entre les rangs de fruitiers. (cf. figure 17) Tout l'enjeu est de bien dimensionner les distances entre chaque culture pour permettre une cohabitation optimale sur le long terme : "L'Agroforesterie c'est la gestion de la compétition pour atteindre la complémentarité". (Balaguier, 2022)

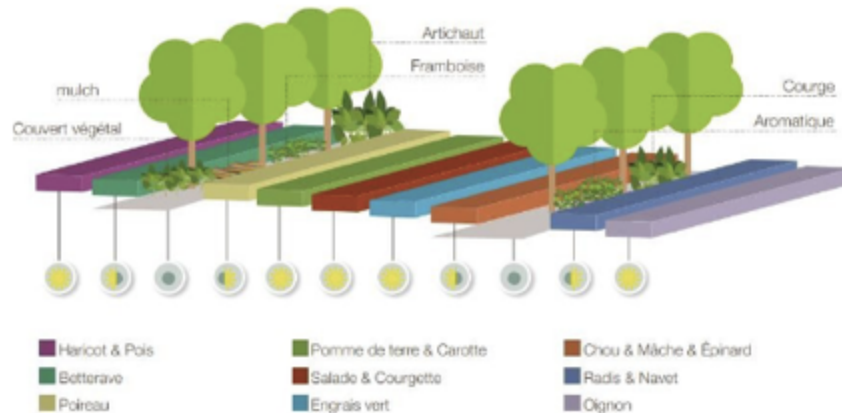


Figure 17 : Exemple d'un verger-maraîcher (Warlop et al, 2017)

Les cultures maraîchères profitent de différents avantages de la présence d'arbres à proximité permettant une meilleure résilience. Le système gagne en autonomie et a moins besoin d'intrants extérieurs. Les cultures sont aussi protégées vis-à-vis des aléas climatiques : chaleur, vent... La diversification de produits permet aussi de limiter les pertes économiques en cas d'année défavorable sur une récolte en particulier.

Les éléments suivants sont les points de réflexion importants lors de la mise en place d'un tel système:

-La densité de plantation dépend de l'ensoleillement et donc des conditions climatiques de la région et l'exposition au soleil de la parcelle. Dans le sud une orientation Ouest/Est est plus adaptée pour proposer un gradient d'ombrage et planter des légumes sous leur protection en fonction de leur tolérance à l'ombre. En dehors de ces régions chaudes, l'orientation Nord/Sud est plus adaptée.

-Un sol profond est important pour permettre aux racines des arbres d'aller en profondeur pour éviter le phénomène de compétition avec les autres cultures pour les ressources. Cela limite aussi leur exposition au travail de sol avec des outils.

-L'irrigation qui peut être mise en place pour les arbres fruitiers les premières années devra ensuite être coupée pour inciter les racines à s'enfoncer et permettre une complémentarité spatiale. Certains font le choix de ne pas irriguer afin que l'arbre s'adapte dès les premières années aux conditions hydriques du lieu.

-Adapter les portes greffes aux conditions pédologiques de la parcelle, et privilégier les variétés rustiques qui sont plus résistantes.

-Choix de conduite de l'arbre : Les choix de conduite permettent de gérer l'ombrage. Une conduite en axe produit moins d'ombre qu'une conduite en forme libre.

-Le degré de mécanisation et la taille des engins conditionnent aussi l'écartement des arbres. Tout comme le mode d'entretien des arbres et leurs récoltes (mettre les mêmes variétés à proximité pour faciliter). (Warlop, 2017)

-Un enherbement recherché avec une végétation spontanée sur le rang de fruitier. Des arbustes ou couvre-sols peuvent être cultivés au lieu de la végétation spontanée.

Lorsque les conditions sont bien mises en place, les vergers-maraîchers fonctionnent aussi bien, sinon mieux, que les maraîchers réalisant que du maraîchage exclusif.(Guessous, 2021)

2) Stocker de l'eau sur la parcelle : les avantages recherchés

Pour pouvoir réaliser ces cultures, un des éléments essentiels pour être dans de bonnes conditions est l'eau, les cultures n'en seront que plus productives. Les vergers-maraîchers jouent bien sur les 3 facteurs du triptyque que nous avons vu dans la définition de l'hydrologie régénérative : eau-sol-arbre. A travers son système nous allons voir comment il permet de participer à l'amélioration des cycles de l'eau dans nos paysages comestibles.

2-1) Gérer l'eau localement

Un problème d'eau sur une parcelle peut se traduire par un manque d'eau ou un excès d'eau mais aussi une mauvaise qualité de cette eau. Dans tous ces cas, la situation est problématique et limite le bon développement des cultures surtout les annuelles qui sont moins tolérantes aux manques de ressources. Les vivaces et les arbres, eux, peuvent tolérer des variations plus importantes. Le système d'agroforesterie en verger-maraîcher couplé à des pratiques d'agroécologie vont permettre de mettre en place de bonnes conditions pour participer à l'infiltration et la préservation de l'eau sur la parcelle. (cf. figure 18)

La présence d'arbres et d'arbustes permet un bon stockage de l'eau par l'exploration racinaire, augmentant la réserve utile en eau de la parcelle. Ils amplifient les capacités d'infiltration sur une large zone autour : "les racines des arbres disposés en alignement est équivalente à 4 fois le diamètre de leur houppier. Une densité de 50 à 100 arbres par ha permet que toute la parcelle soit prospectée par leurs racines." (AFAHC, 2009) Les arbres sont aussi responsables de l'amélioration du sol, en produisant de la matière organique, ils vont favoriser la fabrication d'humus stable qui agit telle une éponge dans le sol et stocke l'eau. 1% de MO dans 15 cm de sol sur 1 hectare peut contenir 250 m³ d'eau par hectare ha. (Ricard, 2024) Les autres structures mises en place dans un design pour collecter et retenir l'eau permettent une indépendance hydrique pour l'irrigation des cultures et limiter l'utilisation d'eau issue de ressources externes. Cela permet de distribuer l'eau à travers la parcelle de façon plus contrôlée. Cette disponibilité de l'eau qui est aussi favorisée par les méthodes de cultures mises en place dans ce genre de système : paillage, ombre portée des arbres limitant l'évaporation. Cela permet une utilisation plus efficace et une économie de l'eau. Elle est alors gérée localement en gardant l'eau tombée sur le site pour l'utiliser directement pour les besoins de production. Le système est alors plus résilient face aux instabilités climatiques. [10]

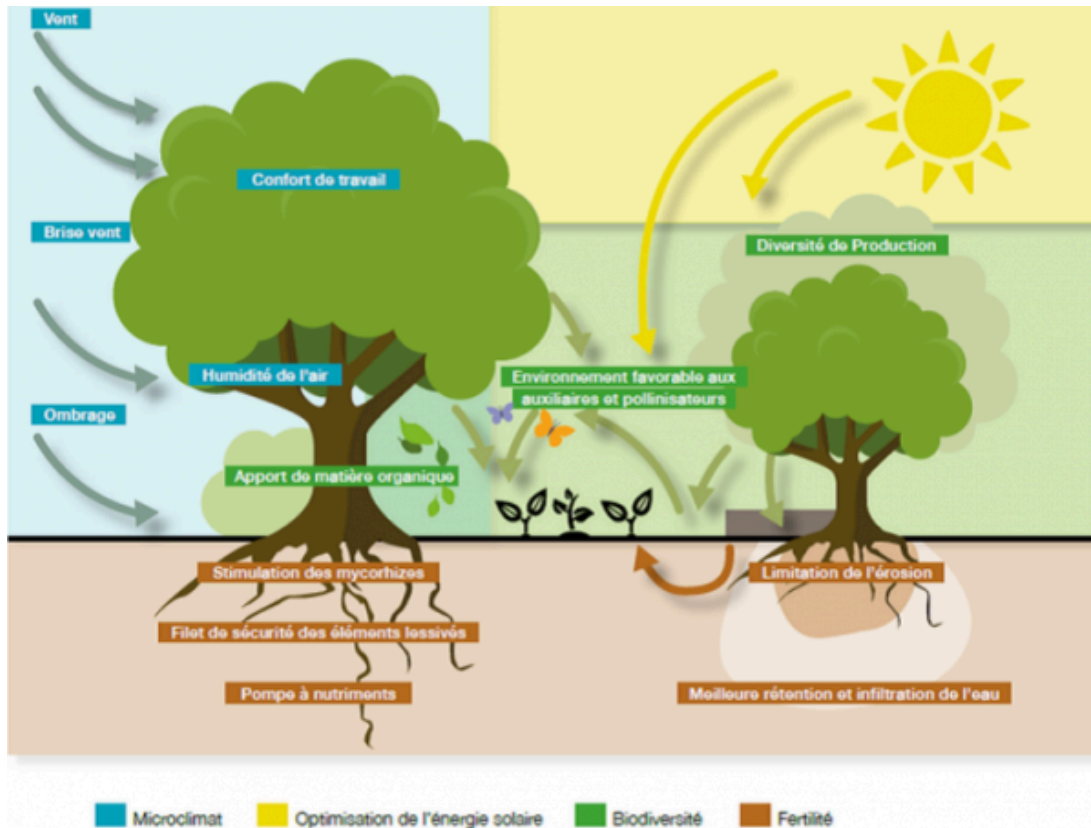


Figure 18 : Les fonctions remplies par les arbres dans un verger-maraîcher (Warlop et al, 2017)

2-2) Créer une diversité de microclimats

Dans le verger maraîcher on retrouve différentes strates s'approchant de ce que l'on peut observer dans la nature. La combinaison d'espèces différentes favorise la multiplicité de micro climats. Chacune d'entre elles a des besoins d'eau et de lumière spécifiques, ce qui contribue à la création d'un environnement complexe et diversifié.

La présence des strates élevées ici représentées par les arbres fruitiers, vont comme on l'a vu avec la description des paysages rugueux, apporter de l'ombre, de la fraîcheur et de l'humidité aux cultures maraîchères. Ils vont modifier la circulation de l'air au sein de la parcelle. Les rangées d'arbres servent de brise vent limitant le stress sur les cultures cela peut engendrer un gain de rendement de 30 % selon les conditions. (AFAHC, 2009) L'effet d'ombrage et de coupe vent induit une augmentation de l'humidité de l'air qui va être bénéfique aux besoins des plantes et diminuer leur consommation en eau et auront besoin d'une irrigation moindre. (Warlop et al, 2017). Le couvert végétal permet lui aussi de préserver l'humidité et de stabiliser les températures souterraines améliorant les conditions des racines. Les températures élevées sont très néfastes pour la production car au-delà de 38 degrés les plantes passent toutes leur énergie à se protéger plutôt qu'à produire. La présence des arbres entraîne une diminution de 6 degrés de la température ambiante permettant aux cultures maraîchères un confort thermique malgré des épisodes de chaleur.

Tandis que dans un verger-maraîcher les arbres fruitiers appartiennent le plus souvent à la strate d'arbustes pour que l'entretien et les récoltes soit ergonomique, la forêt jardin inclut surtout la strate canopée. Cette dernière permet de placer les arbres fruitiers dans un

microclimat favorable à leur tour, mais elle demande aussi une adaptation à des contraintes supplémentaires (espaces, ombre élevée, système racinaire plus conséquent).

Ces avantages d'association de cultures mettent en place des conditions plus idéales pour la croissance d'une plus grande diversité de plantes et limitent aussi l'impact de phénomènes extrêmes, bénéficiant à la production.

2-3) Favoriser la biodiversité

La présence de l'eau s'accompagne de la présence de la vie dans un écosystème. Sur les parcelles agroforestières une plus grande abondance de faune et d'insectes est mesurée; cela s'explique aussi par les méthodes extensives de cultures dans ce genre de système (absence de produits phytosanitaires, faible travail du sol, diversité d'espèces plus élevées...). (Warlop et al, 2017) La création des micro climats comme on vient de le voir permet une diversité de niches écologiques plus ou moins humides et chaudes. (cf. figure 19) (Warlop et al, 2017)

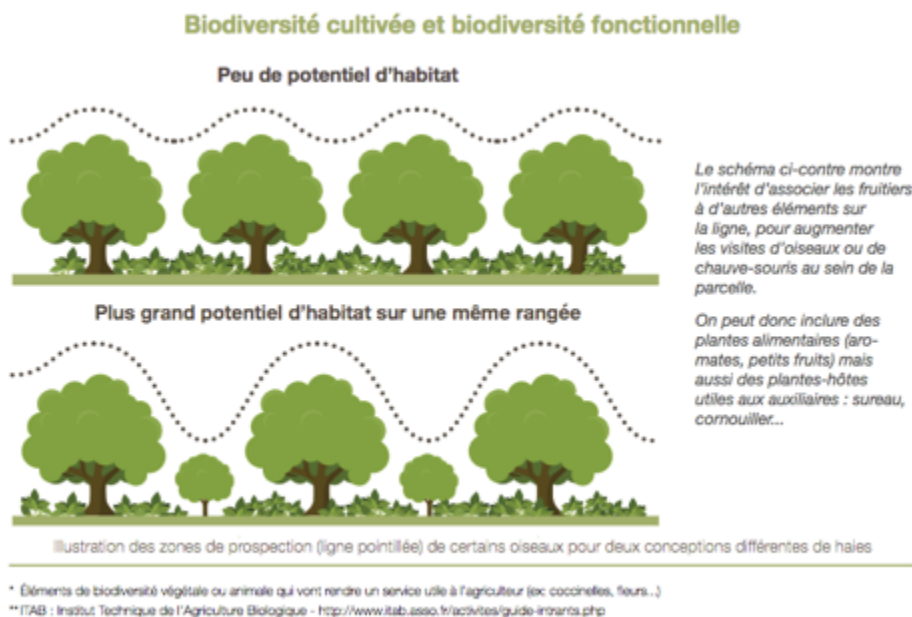


Figure 19 : Attractivité du système pour la biodiversité (Warlop et al, 2017)

Les zones humides arborées proposent une grande richesse de diversité végétale mais aussi de la faune et des microorganismes. Les ripisylves permettent une meilleure qualité de l'eau et proposent des milieux plus sains. Les points d'eau créés lors du design permettent aussi de diversifier et d'augmenter les habitats et par conséquent la biodiversité : les amphibiens, insectes, plantes aquatiques... (AFAHC, 2009)

La présence de l'eau dans le système va permettre une végétation plus intense et diverse attirant les auxiliaires et les pollinisateurs améliorant les conditions de culture.

Toute la végétation et les points d'eau vont servir de corridors écologiques pour les animaux permettant leur déplacement à travers le paysage, permettant une connexion avec le paysage naturel environnant. Tous les éléments doivent être mis en lien sous forme d'un réseau pour préserver la connectivité entre les différents milieux (bois, zones humides, prairies naturelles, landes, mares, murets...). (AFAHC, 2009) Ce paysage comestible fera alors partie d'un tout et ne sera pas exclu améliorant sa résilience.

Une meilleure gestion de l'eau par la mise en place d'un verger-maraîcher permet donc une augmentation de la biodiversité en créant des conditions propices. Ce type de système rend un agrosystème plus sain, productif et respectueux l'incluant dans le paysage naturel plutôt que de représenter un système fermé.

3) Identifier les obstacles à la mise en place

3-1) Une gestion complexifiée

En associant l'activité d'arboriculture au maraîchage, on complexifie le système mais aussi la gestion lorsqu'on est spécialiste en maraîchage.

La difficulté la plus importante est le manque de connaissances sur l'entretien des arbres fruitiers de la part des maraîchers. Ils sont, en effet, plus nombreux à mettre en place ce système. Le manque de connaissances notamment sur la taille des arbres qui est très importante pour une bonne conduite et une bonne production est impactante. Elle permet le passage de lumière et une bonne aération. L'activité arboricole a tendance à être plus négligée que la pratique du maraîchage avec un impact négatif sur le rendement en fruits. (Warlop, 2017). Les arbres fruitiers présents sur ce système rassemble en moyenne 6 essences différentes et parfois de variétés diverses qui ont des besoins et une conduite propre à chacune, compliquant la gestion globale. (Guessous, 2021) Il faut aussi arriver à combiner les itinéraires techniques temporellement et spatialement. Les cycles de culture sont beaucoup plus longs pour l'arboriculture que le maraîchage mais les pics d'activité dans l'année sont parfois superposés amenant une plus grande charge de travail qu'en système unique. [11]

3-2) Un design à bien maîtriser

La difficulté est aussi dans le contrôle de la cohabitation des différentes cultures. Cela passe par un bon design pour permettre à chacune de se développer correctement (cf. figure 20) et qu'elles ne rentrent pas en compétition ce qui aurait un impact direct sur la croissance et le rendement. Les racines des arbres en cas de mauvais designs ou de mauvaise gestion peuvent s'approcher des cultures maraîchères attirées par la présence de ressources en eau et de nutriments qu'on leur ajoute. Un sol profond et de bonnes conditions pédologiques permettent de diriger les racines en profondeur et de limiter ce phénomène. Il faut aussi que les cultures puissent tolérer les différences de besoins des cultures voisines.



Figure 20 : Complémentarité spatiale des végétaux recherchée dans un verger-maraîcher (Warlop et al, 2017)

3-3) Des connaissances et des études de résultats encore insuffisants

Un manque de connaissances des interactions entre les différentes cultures dû au caractère récent des recherches dédiées à ce système est une limite à son développement. Il y a peu de données sur les rendements des arbres fruitiers en conduite très extensive comme ça peut être le cas ici. Toute la bibliographie étant concentrée sur les rendements en haute densité ce qui intéresse plus l'arboriculture conventionnelle.

C'est un système qui met du temps à se mettre en place, les bénéfices seront visibles à moyen-long terme, imposés par les cycles de développement plus longs des arbres.

IV) Découvrir et réaliser des projets d'hydrologie régénérative

La partie étude de cas a été menée sur des sites localisés dans le Var. Ces exemples présentent des cultures, des systèmes et des conditions différentes.

Le premier est l'exemple historique de l'HR, il va permettre de voir comment ce concept a été utilisé à son commencement et son évolution dans le temps. Les 2 exemples suivants sont des retours d'expériences de collaborations avec le bureau d'étude Permalab. Un 3ème cas traitant d'un domaine viticole est développé dans l'annexe II. Ces derniers permettent d'avoir le point de vue des clients sur la mise en place de ces designs, d'avoir plus conscience des conséquences positives et négatives engendrées d'un point de vue production. Cette diversité d'études débouche sur un bilan d'expérience entre design en HR et verger-maraîcher.

1) Ranch de Yobarnie : le berceau de l'hydrologie régénérative

Tableau 1 : Présentation synthétique du cas d'étude : Ranch de Yobarnie en Australie

Contexte et présentation du site	Localisation : Nord-Ouest de Sydney, Australie. Contexte climatique et pédologique : Climat tempéré : étés chauds et hivers doux. Sol argileux historiquement dégradé par une agriculture intensive. Contexte hydrologique : Faible taux d'infiltration et érosion significative. Objectifs du projet : Initié par P.A. Yeomans dans les années 1940 : Régénération des cycles de l'eau et restauration de la fertilité du sol.
Pratiques d'hydrologie régénérative mises en place	Techniques utilisées: (cf.figure 21) Keyline Design : Site célèbre pour être le lieu de développement du "Keyline Design". Maximise la capture et la répartition de l'eau de pluie : sillons parallèles creusés le long des contours du terrain pour ralentir l'écoulement de l'eau et favoriser l'infiltration dans le sol. Redistribuer l'eau des zones humides vers les zones sèches, créant ainsi une répartition uniforme de l'humidité sur toute la propriété. Terrasses : Pour réduire le ruissellement et l'érosion les cultures sont menées en terrasses. Retenues collinaires : Les retenues collinaires sur les points clés afin de récupérer l'eau des zones en amont et en faire profiter les zones en aval par gravité. Des barrages et des étangs pour capter l'eau de pluie et la retenir sur le site servent de source d'eau pour l'irrigation pendant les périodes sèches.
Résultats	Impact sur le cycle de l'eau :

	<p>Réduction du ruissellement : Réduction considérable du ruissellement superficiel de l'eau et de l'érosion, augmentation de l'infiltration.</p> <p>Augmentation de l'humidité du sol : Sol plus riche en matière organique et mieux structuré, favorisant une rétention d'eau accrue.</p> <p>Impact sur la biodiversité :</p> <p>Augmentation de la biodiversité végétale et animale : Un retour de nombreuses espèces végétales et animales en augmentation. Des plantes indigènes ont re-colonisé la zone, et des espèces fauniques, telles que les oiseaux et les insectes pollinisateurs, sont devenues plus présentes.</p> <p>Productivité agricole :</p> <p>Amélioration des rendements : Augmentation du rendement (meilleure disponibilité de l'eau dans le sol, sol plus fertile) et amélioration de la résilience des cultures face aux périodes de sécheresse.</p>
Observations	<p>Succès du Keyline design : bonne gestion durable de l'eau dans un environnement agricole autrefois aride. Nécessité d'une bonne compréhension du terrain et une bonne adaptation continue aux conditions climatiques changeantes.</p>



Figure 21 : Photographie aérienne du ranch de Yobarnie en Australie, berceau de l'hydrologie régénérative (hydrologie-régénérative, 2024)

Ce premier exemple permet un recul sur les avantages apportés par un design en HR sur le long terme. Grâce à ce design, la ferme en agriculture intensive a été transformée en paysage aquatique productif et résilient. Aujourd'hui Yobarnie est célèbre dans le monde entier pour son Keyline design à grande échelle. Elle sert d'exemple qui peut être appliqué sur de nombreux autres projets à travers le monde. L'étude de ce cas souligne l'importance d'une approche intégrée de la gestion de l'eau et du sol pour la durabilité à long terme des systèmes agricoles. (MacDonald-Holmes J, 1960)

2) Jardin Forêt des Étangs : un site exemple

J'ai pu rencontrer Guilaine Diesnis à 3 reprises, dont 2 au cœur de sa forêt jardin située à Tourves dans le Var. J'ai pu participer à quelques tâches durant ma visite me rendant compte du confort de travailler dans un tel cadre.

Le jardin forêt des étangs se trouve sur une surface de 3 hectares et existe depuis près de 10 ans. Avant il semblerait que le terrain ait été cultivé en vignes. La parcelle reçoit de l'eau d'un large bassin versant provoquant des inondations fréquentes de certaines zones. Pour améliorer les conditions, Guilaine Diesnis a collaboré avec Permalab pour réaliser un design hydrologique qui sera adapté à son terrain et son jardin forêt déjà en place. Les réflexions sur le design et les travaux se déroulent depuis 2021 et continuent de se poursuivre. Sur son terrain des formations ont lieu pour former et sensibiliser les gens à ce paysage comestible alternatif.

Tableau 2 : Présentation synthétique du cas d'étude : Jardin forêt des étangs, Var

Contexte et présentation du site	<p>Localisation : Tourves, Var, France.</p> <p>Contexte climatique et pédologique: Climat méditerranéen.</p> <p>Cultures en place : arbres fruitiers entre autres, plantes potagères.</p> <p>Contexte hydrologique : De grandes quantités d'eau arrivent des collines environnantes, de la route longeant le bord du terrain et des fossés traversant le terrain. Une source est probablement sous un mur entourant la parcelle. Inondation des certaines zones lors de grosses pluies.</p> <p>Objectifs du projet : Limiter les phénomènes d'érosion et stocker l'eau sur le terrain.</p>
Pratiques d'hydrologie régénérative mises en place	<p>Techniques utilisées : (cf.figure 22)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bassins d'orage et d'infiltration : Bassin d'orage au centre de la parcelle récupère l'eau de la partie amont du terrain. Non étanchéifié pour permettre l'infiltration de l'eau. - Mouillère : Elle redirige l'eau provenant de la source sous le mur à proximité vers un fossé d'évacuation et sert de zone tampon permettant à l'eau de s'infiltrer sans inonder les zones cultivées. - Baïssières + andins : Ces structures ont été implantées perpendiculairement à la pente pour ralentir l'eau qui arrive des collines et de la route. Elle est dirigée vers les zones plus sèches. puis le surplus vers le bassin d'orage. - Cuve de stockage : Deux cuves souples de 50 m³ et 10 m³ ont été remplies avec l'eau pompée s'écoulant dans les fossés traversant le terrain lors de grosses pluies. - Végétalisation dense : Le jardin forêt est composé d'une végétation très dense et d'une grande diversité (les 7 strates présentes). Cette végétation est plantée mais surtout semée pour être adaptée aux conditions locales.
Résultats observés	<p>- Efficacité du design : Le bassin d'orage et la mouillère ont réussi à contenir et à rediriger efficacement l'eau, limitant les inondations tout en maintenant une réserve d'eau pour les périodes sèches.</p>
Inconvénients/limites	<p>- Problème rencontré : Réalisation du trop-plein du bassin d'orage mal réalisé dans un premier temps, puis amélioré par la suite.</p>

Améliorations à apporter	- Végétalisation des structures : La végétalisation des structures permettra une consolidation, une stabilisation du sol et limitera l'évaporation de l'eau.
--------------------------	---

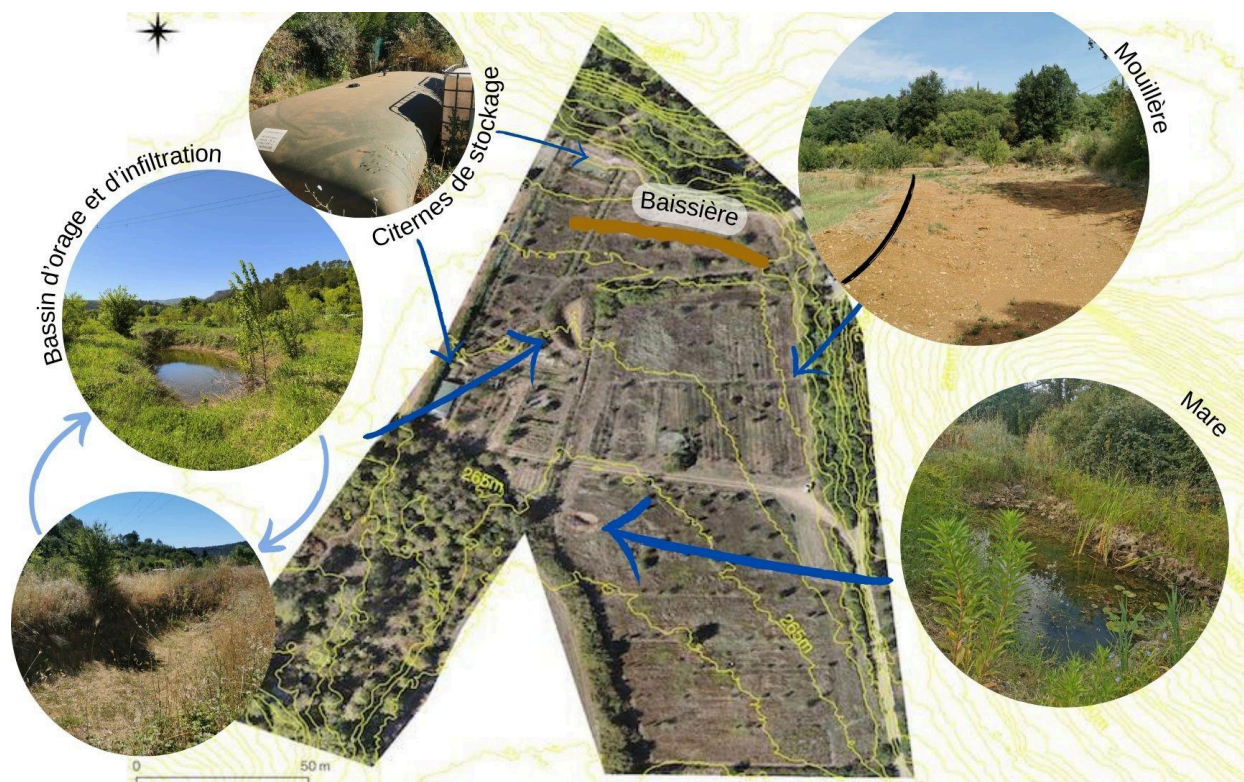


Figure 22 : Les infrastructures présentes au Jardin Forêt des étangs (fond de plan: Permalab, 2024/ Photos Goize, Tourves, 2024)

L'étude de ce cas m'a permis de voir une grande variété de structures hydrologiques qu'il est possible de mettre en place sur une parcelle déjà occupée par un design et comment les agencer les unes aux autres. Le design peut finalement se faire au cours des années en cherchant une amélioration continue, une adaptation au paysage changeant, rien n'est figé. Il y a un accompagnement de l'évolution naturelle. Les effets bénéfiques engendrés par les infrastructures, les pratiques culturelles et la végétalisation dense ont été rapidement observables. Dans quelques années le système sera encore plus fonctionnel et équilibré avec la croissances des arbres plus avancée. S'il y a une végétalisation suffisante, Guylaine explique que le ruissellement sera moindre, nécessitant moins d'être retenue avec l'aide des structures hydrologiques actuelles. Ces ouvrages sont donc qualifiés de solutions de transition et resteront en revanche utiles pour des épisodes plus exceptionnels.

Bien que le jardin forêt soit similaire sur de nombreux points à un verger-maraîcher, il se rapproche davantage d'un écosystème naturel en intégrant les arbres de canopée dans son système. J'ai pu voir jusqu'où pouvait aller la réflexion pour rapprocher un agrosystème vers un écosystème naturel ou plutôt comment cultiver un écosystème "naturel" en intégrant des solutions inspirées par la nature.

3) Eco lieu de Plan du pont : améliorer les conditions de production

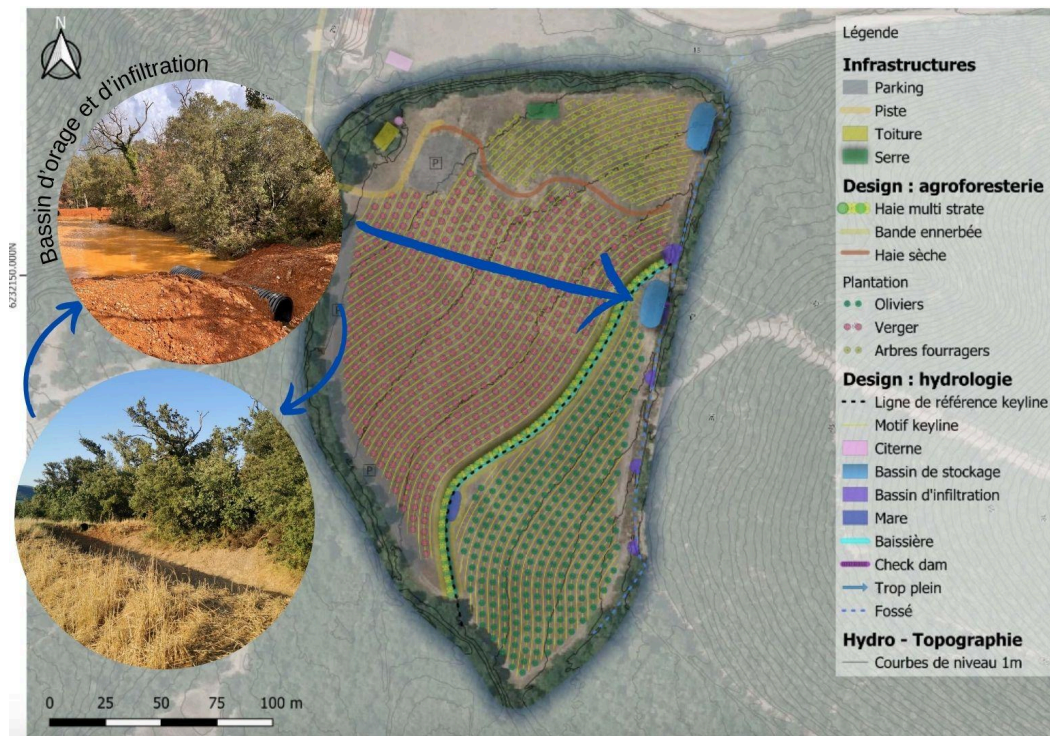
J'ai été accueillie par Terry Charles, un des fondateurs de l'écolieu de Plan du Pont pour une visite et un échange autour de leur expérience avec l'HR.

Le site se situe sur une parcelle de 7 hectares, en pied de collines. Ce terrain a toujours été mené en agriculture (viticulture puis arboriculture classique) avant d'être laissé en friche. En 2023-2024, ils décident de faire appel au bureau d'étude Permalab pour améliorer les conditions hydrologiques du terrain qui y sont très compliquées (sécheresse, inondation, sol difficilement cultivable). L'objectif est de créer de meilleures conditions pour leur futur verger. Cette étude avait pour but de déterminer les quantités d'eau qui pouvaient arriver sur le terrain, sa provenance et comment faire pour la stocker localement et s'en servir pour l'irrigation. La réalisation des travaux date de début 2024, avant l'installation du vergers.

Tableau 3 : Présentation synthétique du cas d'étude : Ecolieu Plan du pont, Var

Contexte et présentation du site	<p>Localisation : Hyères les Palmiers, Var, France.</p> <p>Contexte climatique et pédologique : Climat méditerranéen avec des températures extrêmes (-6 à -7°C en hiver, 40-42°C en été). Terrain vallonné, sol compacté, battance, très drainant.</p> <p>Cultures en place : Jeunes vergers d'oliviers en goutte-à-goutte</p> <p>Contexte hydrologique : Deux fossés encadrant la parcelle amènent l'eau hors du terrain vers la mer. Ils se remplissent complètement 1 à 2j/an. Un drain présent sur un des fossés. Inondation des certaines zones lors de grosses pluies.</p> <p>Objectifs du projet : Diversifier les sources d'eau en captant les eaux provenant des bassins versants environnant dans le but d'irriguer le verger.</p>
Résultats de l'analyse de Permalab	<p>-Etude du bassin versant: Parcelle en aval de 300 hectares de 10 bassins versants différents</p> <p>-Estimation: Récupération de 1 000 m³ d'eau/ an.</p>
Pratiques d'hydrologie régénérative mises en place	<p>Techniques utilisées: (cf. figure 23)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bassins de rétention collinaire : Utilisation d'un drain pré-existant pour créer deux bassins de rétention de 2m de profondeur, connectés par une buse pour ralentir l'eau venant des collines. Pouvant retenir 100-200m³. Décantation de l'eau dans le premier bassin, eau utilisable pour l'irrigation dans le 2ème bassin. - Végétalisation des bords du bassin : Consolidation de l'édifice et limitation de l'érosion. Création d'habitats pour la biodiversité? - Plantation des arbres : Plantation selon la technique du keyline design selon les courbes de niveaux. - Canal de répartition de l'eau : Acheminement de l'eau du bassin 2 vers une mare au centre de la parcelle en traversant sur une ligne de niveau. Répartition et infiltration de l'eau. - Engrais verts et broyat : Apport de 1 000 tonnes de broyat et semis d'un engrais vert pour améliorer le sol.
Résultats espérés	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration du sol : Objectif d'avoir un sol plus fertile et humide. - Risque d'inondation contrôlé : Limiter les dégâts causés par les inondations.

	<ul style="list-style-type: none"> - Avoir un stock d'eau : eau de bonne qualité disponible pour l'irrigation des cultures.
Inconvénients/limites	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien: Chantier de curage tous les 2-3 ans des bassins et du canal. - Perte de surface : Moins d'espace disponible aux cultures - Déplacements limités : Complication de circulation par des engins motorisés. - Coûts : L'intervention du bureau d'étude Permalab (5 000-6 000€) et de la réalisation du projet (1 500€ car réalisé par eux-mêmes).
Améliorations à apporter	<ul style="list-style-type: none"> - Défauts initiaux dans la construction: Buse initialement placée trop bas, ne permettant pas le remplissage du premier bassin. - Adaptations nécessaires: Repositionnement de la buse, utilisation d'un Bento liner pour améliorer l'étanchéité et la rétention d'eau sur une durée plus importante.



La visite de ce récent projet m'a permis de voir l'étude d'HR dans le cadre d'un futur verger de production. Ces infrastructures vont permettre de limiter les risques d'inondation/érosion/lessivage, d'améliorer le stockage de l'eau dans le sol, de répartir l'eau dans le champ, avoir une réserve d'eau supplémentaire pour l'arrosage, et de créer un milieu humide avec la marre favorisant la biodiversité. Cette fois-ci, la mise en place des structures est réalisée avant la mise en place des cultures. Il y a alors l'avantage d'une liberté de conception et cela permet un design plus optimal. Une

réelle prise en compte de l'existant est réalisée en intégrant les structures présentes (bassins construits sur drain existant).

Les travaux sont réalisés par les clients en se basant sur les conseils du bureau d'étude. Lors de la visite terrain j'ai pu me rendre compte que le design réalisé n'est pas identique aux plans, il y a une certaine adaptation des clients pour faciliter la mise en œuvre. Il est intéressant de voir comment les clients reçoivent les conseils et comment ils les intègrent et le mettent en place. Il est aussi pertinent d'avoir un retour sur la fonctionnalité des structures et de voir les interrogations des clients concernant l'amélioration du design.

La récence de ce projet ne permet pas de voir réellement les conséquences de ces aménagements. Dans le futur il est possible que les inter-rangs soient cultivés en maraîchage.

4) Bilan : l'hydrologie régénérative et le verger-maraîcher, entre complémentarité et complexité

Cette analyse SWOT permet de présenter synthétiquement les forces et les faiblesses, internes et externes de ce système. Sont repris ici, les résultats observés des études précédentes. Bien que tous les cas ne soient pas des systèmes en verger-maraîchers, il est possible de supposer une transposition des remarques d'un système à l'autre.

Tableau 4 : Analyse SWOT des design d'hydrologie régénérative des cas d'étude

Forces	Faiblesses
- Amélioration de la gestion de l'eau : Meilleure rétention, infiltration, stockage de l'eau sur la parcelle.	- Complexité du design : L'entretien et la récolte des cultures sur lignes de niveaux, la présence d'arbre ou de fossés à proximité complique les déplacements.
- Réduction des phénomènes dégradants : Ruissellement, érosion, lessivage, inondation, pollution de l'eau.	- Coût initial élevé : L'étude menée par un cabinet spécialisé et la mise en place des infrastructures hydrologiques peuvent être coûteuses mais rentables. Pour l'instant pas d'aides financières pour ses ouvrages hydrologiques.
- Augmentation de la biodiversité : Les haies de biodiversité et les points d'eau favorisent un écosystème plus riche, attirant des espèces animales et végétales.	- Perte de surfaces cultivables : Les infrastructures (bassins, fossés, haies) peuvent réduire la surface disponible pour les cultures. Une augmentation de rendement peut pallier ce problème.
- Amélioration de la qualité des sols : Les couverts végétaux et l'agroforesterie enrichissent le sol en matière organique, améliorant sa structure et fertilité.	- Compétition entre cultures : La proximité entre les arbres plantés et les cultures est à bien contrôler pour éviter les risque de compétition
- Végétalisation dense : Les associations végétales engendrent une meilleure résistance au manque d'eau et proposent des systèmes équilibrés si bien gérées.	- Maintenance nécessaire : Les structures comme les fossés et mares nécessitent un entretien régulier pour rester efficaces (curage, ajustements).
Opportunités	Menaces
- Adaptabilité à tout terrain et à grande échelle (bassin versant) : Les techniques peuvent s'adapter à tous types de projets et	- Conditions climatiques extrêmes : Les événements climatiques sévères, tels que des pluies torrentielles ou des sécheresses

de conditions pédo-climatiques. Elles s'appuient sur l'existant du terrain.	prolongées, peuvent endommager les infrastructures.
- Soutien et subventions publiques : Il est possible de bénéficier de subventions pour des projets écologiques et durables, comme pour l'implantation de haies.	- Échelle de temps : un tel système met plusieurs années à se mettre en place avant d'être fonctionnel. Il s'agit d'une solution à long terme.
- Contribution à la résilience climatique : Le projet à l'échelle de la parcelle a un impact positif sur le climat environnant.	- Design difficile à être accepté : Les changements de pratiques peuvent rencontrer une résistance de la part des agriculteurs habitués aux méthodes traditionnelles.

On peut voir que ce genre de design n'apporte pas que des avantages dans le cadre d'un agrosystème qui a pour objectif premier de produire à des fins économiques. Cependant les inconvénients ne demandent que des adaptations supplémentaires pour permettre des avantages ayant de gros impacts et à terme favorisant le rendement des cultures. L'association d'un design en HR et les systèmes agroforestiers tels que le verger-maraîcher sont prometteurs malgré le manque de recul que l'on a.

La limite de cette étude de cas est le manque de recul temporel sur les projets qui sont récents et le nombre limité d'exemples verger-maraîcher/hydrologie régénérative visités. Cependant, il est intéressant de croiser les retours d'expérience pour estimer l'efficacité de cette association de concept. Des projets pionniers existent à travers le monde comme Yobarnie en Australie, Sancho San Ricardo au Mexique, le Krameterhof en Autriche (Sepp Holzer), New Forest Farm aux Etats-Unis (Mark Shepard). Ces sites d'expérimentation permettent de se projeter et d'apercevoir les résultats vers lesquels tendent ces designs dans le futur. Et comme le dit Simon Ricard, conférencier en HR : "il ne faut pas attendre qu'il y ait des preuves scientifiques pour voir que ça fonctionne et commencer à agir à son échelle".

5) L'implication d'un paysagiste dans ce type de projet

"Le "paysage comestible" est un concept pour les espèces plus qu'humaines (par exemple, les animaux, les plantes, les champignons, les microbes) qui co-conçoivent le paysage à travers un gradient urbain-rural centré sur la végétation spontanée et cultivée et poursuivant les principaux objectifs de la production alimentaire plus qu'humaine et de la valeur esthétique pour l'homme." (Rupprecht et al., 2023) En outre, il s'agit d'un paysage naturel dont une partie sert à la production de nourriture par l'homme.

En tant que paysagiste, il m'est évident de voir que notre métier est très important dans l'élaboration de ces designs. Tout comme l'HR, les paysagistes sont à la croisée des disciplines et doivent composer avec un maximum d'entre elles pour proposer des projets qui soient adaptés à la demande et respectueux des milieux où ils s'implantent. Le sens de l'observation et la lecture du paysage que nous apprenons à développer permet de bien cerner les avantages et les limites que le site propose. L'analyse multisensorielle d'un paysage nous permet de voir le projet sous différents aspects : ressenti, vécu, sa connexion avec les autres paysages, sa dynamique au cours du temps...

Comme toutes idées fondées sur la nature, l'HR demande du temps avant que l'agrosystème se ré-humidifie et ait un impact significatif sur les cycles de l'eau locaux. L'agriculteur lui travaille sur des pas de temps court par rythme de saisons (ou plus long avec des cultures ligneuses) tandis que le paysagiste a l'habitude de travailler sur des projets comprenant une dimension de temps long. Travailler en collaboration avec la nature et les arbres demande de se projeter dans le futur de part le cycle de développement de ce type de végétaux. Imaginer des designs qui seront totalement fonctionnels que des années voire des décennies après, demandent une projection particulière, dont les paysagistes ont l'habitude.

Me préparant à intégrer cette profession et ayant une grande affinité pour l'agriculture respectueuse de l'environnement, je vois dans l'hydrologie régénérative un parfait mélange entre paysage et agriculture pour prendre soin de la nature. Je suis persuadée qu'il s'agit de la bonne démarche pour nourrir les hommes mais aussi la terre. C'est une discipline qui fait appel à tout notre bagage théorique et technique. Les collaborations avec les autres acteurs (agriculteurs, agronome, hydrologue, géographe...) permettent de monter des équipes de réflexions complémentaires qui sauront proposer des solutions toujours plus performantes. Il s'agit donc de projet avec un grand sens écologique, sociétal, agronomique, économique... Un challenge pour mettre en place des conditions de production et de vie plus adéquates pour le futur.

Conclusion

L'HR représente une approche innovante et nécessaire pour régénérer nos paysages comestibles. Elle leur permet de retrouver leurs rôles de régulateur et stockeur d'eau dans nos bassins versants. Le stockage de l'eau dès que possible, même à une échelle réduite, offre des bénéfices substantiels. Ces pratiques permettent une plus grande indépendance vis-à-vis des ressources en eau, assurant ainsi une résilience accrue des systèmes agricoles face aux aléas climatiques. Mise en place déjà à l'échelle de parcelle agricole comme en faisant le choix d'installer un système de verger-maraîcher, elle permet de s'approcher d'une résilience hydrique et d'améliorer les conditions locales des écosystèmes. Elle est une solution aux problèmes de l'eau en agriculture sur le long terme contrairement à l'apport d'eau exogène.

Le verger-maraîcher ou encore la forêt jardin sont de bons systèmes pour ré-empaysager nos agrosystèmes en intégrant l'arbre. En végétalisant plus densément et en apportant une plus grande diversité de végétaux complémentaires, on procure encore une fois une meilleure richesse et résilience à nos paysages comestibles.

Cependant, l'avenir de l'HR ne doit pas se limiter à ces petites échelles. Pour avoir un impact significatif et global, il est impératif d'étendre ces pratiques à des territoires plus vastes, comme les bassins versants. Bien que cela prenne du temps, il est intéressant de voir cette vision s'intégrer dans des schémas de gestion comme les Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE). Une intégration dans les Plans Territoriaux de Régénération des Cycles de l'Eau (PTRCE), permettrait une avancée considérable.

Néanmoins, la mise en œuvre de ces stratégies n'est pas sans difficultés. Les idées reçues ou les modifications des méthodes de travail, peuvent interroger le modèle économique des exploitations et entraînent la méfiance des réticents. Il est donc essentiel de trouver un équilibre entre des méthodes efficaces et une flexibilité qui ne limite pas excessivement les agriculteurs dans leurs pratiques traditionnelles. Il est aussi important de bien leur faire comprendre toute la responsabilité qu'ils ont sur la qualité des eaux qui nous parviennent de par les surfaces qu'ils occupent et les quantités d'eau qui y transitent. Un point à améliorer si on veut que les démarches s'accélèrent est aussi une aide financière des collectivités pour la mise en place de structures hydrologiques comme il existe pour les infrastructures agroécologiques.

En conclusion, l'HR bien que prometteuse, nécessite un engagement fort dès le design, pour permettre une régénération rapide des écosystèmes. Cette approche holistique, touchant aux cycles naturels, doit s'adapter aux réalités des agriculteurs tout en visant des objectifs à long terme. Il est impératif que cette dynamique se poursuive et s'étende à une échelle plus large, face aux défis posés par le changement climatique. Il est aussi temps de travailler en collaboration avec la nature, le GIEC recommande la réintroduction du castor dans nos paysages naturels aquatiques : ses barrages vont répartir largement l'eau, hydrater le sol, complexifier les cours d'eau et ralentir les cycles de l'eau. Alors en attendant son grand retour, ne devrions nous pas tous faire ressortir le castor qui est en nous?

Bibliographie

AFAHC, 2009. Principes d'aménagement et de gestion des systèmes agroforestiers. [en ligne]. 40p. Disponible à l'adresse : https://rmt-agroforesteries.fr/wp-content/uploads/documents/association_francoise_arbres_et_haies_champres_et_agroforesteries_-_2009_-_guide_technique_pagesa_principes_d_amnagement_et_de_gesti.pdf [Consulté le 12 août 2024].

Balaguier F, 2022. L'Hydrologie régénérative, inspirations et cas d'études en France et à l'étranger [en ligne]. 5 novembre 2022. Organisé par Pour une hydrologie régénérative. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=ksTed5-eDY0> [Consulté le 20 Mai 2024].

Bonvoisin S, Ricard S, 2022. Hydrologie Régénérative #2 : Qu'est ce que le keyline design ? [en ligne]. 7 décembre. Organisé par les alvéoles. Disponible à l'adresse : https://www.youtube.com/watch?v=miqlamR0M_k [Consulté le 9 août 2024].

Bonvoisin S, 2023. Et si nous pouvions cultiver l'eau? [en ligne]. 23 mars 2023. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=YFWAbqQZlc4> [Consulté le 15 avril 2024].

Coulomb J, Ricard S., 2024. L'eau : un défi pour l'agriculture. [webinaire]. 22 août 2024. Organisé par FEVE , Ferme En ViE (Consulté le 22 août 2024).

Covès H, 2022. Les 7 cycles de l'eau [conférence] 23 juin 2022. Organisé par Les Alvéoles. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=ZhtQ89NzOjs> [Consulté le 13 mai 2024].

Galabert JL. Comprendre les cycles hydrologiques et cultiver l'eau pour restaurer la fécondité des sols et prendre soin du climat, Documentation ISI — Initiatives et Solutions Interculturelles, Version 2, 25 juillet 2022. 124p. Disponible à l'adresse : <https://interculturelles.org/project/cultiver-l-eau> [Consulté le 2 mai 2024].

Guessous M. Viabilité des fermes paysannes en verger-maraîcher Une étude inductive combinant méthodes qualitatives et analyse technico- économique. Mémoire de fin d'étude. Lyon: Isara. 2021. 156p. Disponible à l'adresse : https://ad-mediterranee.org/IMG/pdf/annexe_27_-_memoire_vf_marina_guessous_-_al.pdf [Consulté le 2 août 2024].

Haziza, E, 2022. Va-t-on manquer d'eau sur Terre ? [conférence] 18 mai 2022. Organisé par TEDxIAEMontpellier. Disponible à l'adresse : https://www.youtube.com/watch?v=nzC3-Vy9_pM [Consulté le 20 mai 2024].

Holzer S, 2013. Désert ou paradis? Mise en place et pratique de la "Permaculture Holzer", Editions Imagine Un colibri. Edition 2, Juin 2014. 208p. [Consulté le 2 juillet 2024].

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2023. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [en ligne]. 1. Cambridge University Press. ISBN 978-1-00-932584-4. 3068p. [Consulté le 23 août 2024].

Léger F., Morel K., Bellec-Gauche A., Warlop F., 2019. SMART - Agroforesterie maraîchère : un choix stratégique pour garantir une durabilité en transition agroécologique ? Innovations Agronomiques 71. [en ligne]. DOI 10.15454/EK039O. 16p. [Consulté le 22 août 2024].

MacDonald-Holmes J, 1960. The geographical basis of keyline. 56p.

Mollinson B, 1991. Bill Mollinson Introduction à la Permaculture, Passerelle Eco. 240p.[Consulté le 15 août 2024].

Rupprecht C., Gaertner N., Cui L., Sardesphande M., McGreevy.S, Spiegelberg M., 2023. Defining edible landscapes: a multilingual systematic review. 27p. [Consulté le 20 août 2024].

Warlop F., Corroyer N., Denis A., Conseil M., Fourrié L., Duha G., Buchmann C., Lafon A., Servan G., 2017. Associer légumes et arbres fruitiers en agroforesterie : Principes, éléments techniques et points de vigilance pour concevoir et conduire sa parcelle. Projet SMART. [en ligne]. 40p. Disponible à l'adresse : https://www.grab.fr/wp-content/uploads/2017/09/guide_verger-maraicher_smart_GRAB_web.pdf [Consulté le 14 août 2024].

Yeomans PA, 1958. The development and practice of keyline. Keyline Publishing PTY. 231p. [Consulté le 28 juillet 2024].

Sitographie

- [1] Gilbert P., 2024. aquagir.fr. L'eau bleue et l'eau verte : quelles différences et quelle gestion ? [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://aquagir.fr/gestion-milieux-aquatiques/connaissances/leau-bleu-et-leau-verte-queelles-differences-et-quelle-gestion/> [Consulté le 12 juin 2024].
- [2] Richardson et al., 2024. Planetary boundaries. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html> [Consulté le 23 juillet 2024].
- [3] INRAE, 2023. Eau et agriculture. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.inrae.fr/dossiers/gestion-ressource-eau/eau-agriculture> [Consulté le 26 juillet 2024].
- [4] Guillot G., 2021. Zoom Nature. Les arbres, ingénieurs en hydraulique souterraine. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.zoom-nature.fr/les-arbres-super-ingenieurs-en-hydraulique-souterraine/> [Consulté le 14 août 2024].
- [5] *Pour une Hydrologie Régénérative*, 2024. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://hydrologie-regenerative.fr/> [Consulté le 5 avril 2024].
- [6] Farhangi C, 2024. Florence Lavissière : “Les solutions fondées sur la nature (SfN) peuvent représenter une alternative économiquement viable pour répondre aux problématiques liées à l'eau”. *aquagir.fr* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://aquagir.fr/gestion-milieux-aquatiques/connaissances/florence-lavissiere-sfn-peuvent-representer-alternative-economiquement-viable-pour-repondre-problematiques-eau/> [Consulté le 25 juillet 2024].
- [7] Blondeau M, 2024. Charlene Descollonges : “L'hydrologie régénérative s'inscrit pleinement dans les solutions fondées sur la nature”. *aquagir.fr* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://aquagir.fr/gestion-milieux-aquatiques/connaissances/charlene-descollonges-lhydrologie-regenerative-sinscrit-pleinement-dans-les-solutions-fondees-sur-la-nature/> [Consulté le 20 juillet 2024].
- [8] Permaterra, 2024. Projet « Keyline design ». [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.permaterra.fr/projet-keyline-design> [Consulté le 9 août 2024].
- [9] Permalab, 2024. Agriculture et Hydrologie régénératives. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://permalab.fr/> [Consulté le 2 avril 2024].
- [10] *Agroforesterie Association Française*, 2024. L'agroforesterie, définition. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.agroforesterie.fr/agroforesterie-definition/> [Consulté le 12 août 2024].
- [11] *Agroforesterie Association Française*, 2024. Verger-maraîcher [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.agroforesterie.fr/verger-maraicher/> [Consulté le 12 août 2024].

<p>Année universitaire : 2023-2024 Spécialité : Paysage Spécialisation (et option éventuelle) : Paysage : Opérationnalité et Projet</p>	<p>Mémoire de fin d'études</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)<input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)<input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)<input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)
---	--

Annexes

Par : Alexandra GOIZÉ

Soutenu à Angers le 19 septembre 2024

Devant le jury composé de :

Président : Monsieur Christophe MIGEON

Maître de stage : Monsieur Julien VERT

Enseignant référent : Monsieur Vincent BOUVIER

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

Annexe I - D'autres rôles joués par les arbres

Les actions citées dans le paragraphe 2-1) Les arbres et l'eau, sont des actions que l'on retrouve avec les arbres présents dans les agrosystèmes. Celles qui suivent se produisent à une échelle supérieure lorsque le massif arboré est plus dense comme au cœur d'une forêt.

Les arbres émettent aussi des **composés organiques volatils** dans les airs. Ces derniers, tout comme les spores de champignons ou des bactéries (*Pseudomonas syringae*) servent de noyaux de condensation. En montant dans l'atmosphère, l'eau sous forme de vapeur va, à leur contact, se condenser plus vite, former des nuages et retomber plus rapidement au sol. Par le biais de la libération de ces composés, les arbres ont un **effet sur la fréquence des pluies** continentales. (Galabert, 2022) On peut parler d'ensemencement de nuages. De plus, bien que l'arbre reçoit en grande quantité de l'eau ponctuellement lors des pluies, 90% de l'eau issue de son évapotranspiration 90% qu'il produit régulièrement, influe aussi sur cette fréquence des pluies en engendrant une augmentation des précipitations de 1 à 10%. (Ricard, 2023)

Les champignons interviennent à un autre moment du cycle, durant la **combustion lente du bois décomposé** à laquelle ils participent. Cette combustion donne de l'énergie et de l'eau. Cette eau ne correspond pas à celle contenue dans le bois avant sa mort mais est nouvelle, elle est créée lors de cette réaction. L'oxygène de l'air réagit avec l'hydrate de carbone créant cette eau nouvelle. Une expérience en Suisse a montré que d'un bassin versant forestier, 15% de l'eau sortante des sources provenait de cette réaction et était une **eau vierge**. (Covès, 2022) (Galabert, 2022)

Tout comme les mycéliums de champignons, des plantes associées aux arbres sont aussi capables de recycler l'eau rejetée sous forme de vapeur d'eau par les arbres. On les appelle les **plantes condensatrices**. Elles récupèrent l'eau et la recondensent selon le procédé, vu précédemment. Une fois l'eau recondensée, elle va l'absorber et la distribuer dans le sol par le biais des champignons à la tombée de la nuit, puisqu'elle n'évaporetranspire plus. L'eau est alors disponible pour ce même arbre qui l'a déjà fait circuler ou pour les autres végétaux, même ceux à distance. Ces plantes sont des plantes de sous bois adaptées ou encore des lianes telles que la vigne, ou plus particulièrement le lierre. Ce dernier a été élu comme le plus efficace de part la face inférieure de ses feuilles particulièrement froides. Il est donc important de s'assurer de la présence de telles plantes dans les systèmes. Il a été observé qu'un lierre qui, en association avec un arbre montant à une hauteur de 10m de haut, peut **redistribuer de l'eau** de façon homogène jusqu'à 1,5 fois sa hauteur. Ce sont donc 15 m qui seront hydratés par cette association, et jusqu'à 2,5 fois sa hauteur, soit 25 m qui seront irrigués de façon diffuse. Ce type de structure peut être surnommée une "tour de condensation". André Covès dans sa conférence sur "Les 7 cycles de l'eau", explique que par cette structure il est possible de récupérer entre 2 et 4 mm d'eau par soir : "pendant la canicule de l'an dernier, sur ces lieux de condensation pendant dix jours de la canicule, 30 millimètres d'eau se sont condensés par le biais de lierre et de quelques autres plantes. Trente millimètres d'eau, c'est l'équivalent d'un orage." (Galabert, 2022) Il s'agit donc là d'un phénomène très efficace pour la circulation de l'eau en l'absence de précipitation. "Une surface de 1m² de feuilles va faire circuler des milliers de m³ d'air par heure, et faire condenser l'équivalent par jour de 2 à 4 mm d'eau, soit l'équivalent d'un gros orage tous les 10 jours." [1]

Annexe II - Présentation d'un domaine viticole intégrant l'HR

Le domaine Tasquier n'est pas un système en verger-maraîcher mais viticole en agroforesterie et biologique. Il se situe dans un milieu très particulier au cœur de la réserve naturelle de la Plaine des Maures. Milieu très aride, sol avec roche affleurante, végétations sèches... Lionel Asin le responsables m'a fait visiter la parcelle concernée, une des parcelles du projet total qui est d'une superficie de 5 hectares environ. Les conditions pédo-climatiques, les anciennes pratiques agricoles dans ce domaine viticole sont responsables d'un sol abimé, pauvre, où l'eau n'est pas du tout retenue. La collaboration avec Permalab pour instaurer un design pour améliorer les conditions date de 2021. Cela fait suite après une entente avec la réserve naturelle.

Tableau 4 : Présentation synthétique du cas d'étude : Domaine Tasquier, Var

Contexte et présentation du site	<p>Localisation : Vidauban, Réserve naturelle de la Plaine des Maures, Var, France.</p> <p>Contexte climatique et pédologique : Climat aux hivers très froids et étés très chauds, conditions météorologiques extrêmes (records de température du Var). Sol 100 % sableux avec affleurements de grès imperméables.</p> <p>Cultures en place : Replantation de nouvelles vignes.</p> <p>Contexte hydrologique : Des fossés déjà existants et une petite mare. Sol très soumis à l'érosion.</p> <p>Objectifs du projet : Recréer un paysage de bocage avec des microclimats diversifiés. Collaboration avec la réserve naturelle.</p>
Pratiques d'hydrologie régénérative mises en place	<p>Techniques utilisées: (cf. figure 23)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration des fossés et mares existants : Fossés et mares approfondis de 40 cm à 1 m, avec des obstacles (Fascines : branches, roches, talus) tous les 10-15 m pour ralentir l'eau et créer des zones semi-humides. - Création de haies de biodiversité : Trois haies plantées en double rang, avec des essences adaptées, pour favoriser l'infiltration de l'eau et renforcer la biodiversité. - Utilisation de couverts végétaux : Végétation dans les inter-rangs des vignes. - Retenues d'eau supplémentaires (mouillères) : Trous creusés pour retenir l'eau. - Keyline design : Quelques rangs sur courbes de niveaux.
Résultats espérés	<ul style="list-style-type: none"> - Limiter risque d'inondation : Infiltration de l'eau plus rapide - Limiter érosion et lessivage : Obstacles retenant eau et sédiments - Création de sol : Ajout de MO pour un sol plus fertile - Impact sur la biodiversité: Haies et mares attirant la faune locale, corridors écologiques
Inconvénients/limites	<ul style="list-style-type: none"> - Réduction de la vigueur des vignes : Compétition pour l'eau entre les vignes et les arbres, réduction de la vigueur et du rendement des

	<p>vignes sur le long terme.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perte de surfaces cultivables: Perte de 3 à 5 % des terres cultivables due aux infrastructures hydrologiques. - Problèmes d'érosion / Entretien : Érosion excessive remplissant les fossés et mares de sédiments, nécessitant un curage régulier. - Coûts : L'intervention du bureau d'étude Permalab
Améliorations à apporter	<ul style="list-style-type: none"> - Mieux gérer la présence de l'eau selon les saisons : Installation d'un système de martelière pour une meilleure gestion des écoulements d'eau.

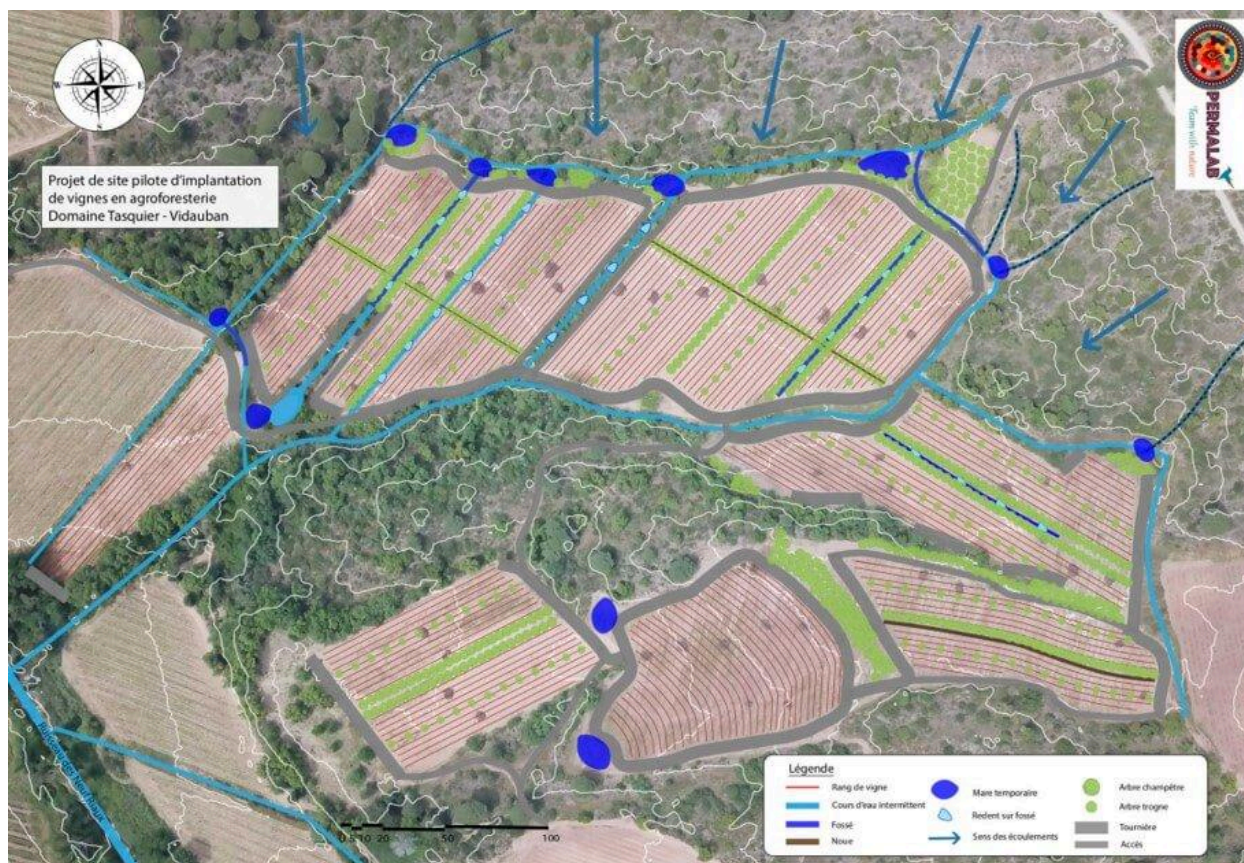



Figure 24 : Design conceptuel Domaine Tasquier, Var (fond de plan: Permalab, 2024)

Ce cas m'a permis de voir l'implantation d'un design en conditions extrêmes, de voir les compromis entre un design optimal proposé par le bureau d'étude et la réalité du terrain. Bien que de nombreuses structures pour ralentir, retenir l'eau ont été mises en place, le keyline design a été limité qu'à certaines vignes. Les infrastructures, elles, restent assez simples allant jusqu'à creuser des trous dans la parcelle. Le but est de piéger l'eau au maximum et tous les moyens sont bons d'après Lionel Asin. Un compromis est donc nécessaire entre régénération et praticité. Bien que la motivation soit là, des réticences persistent concernant la perte de productivité des vignes dans son cas.

	Diplôme : Ingénieur de l'Institut supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage Spécialité : Paysage Spécialisation / option : Paysage : Opérationnalité et Projet Enseignant référent : Vincent Bouvier
Auteur(s) : Alexandra Goize Date de naissance* : 19/ 08/1999	Organisme d'accueil : Potagers & Compagnie Adresse : 580 Chemin de St Georges Le Val (83 143)
Nb pages : 44 Annexe(s) : 2	
Année de soutenance : 2024	Maître de stage : Julien Vert
Titre français : Hydrologie régénérative : Repenser nos paysages comestibles pour régénérer les cycles de l'eau, l'étude des vergers-maraîchers. Titre anglais : Regenerative hydrology: Rethinking our edible landscapes to regenerate water cycles, the study of orchard-market gardens.	
Résumé (1600 caractères maximum) : Face aux dérèglements climatiques qui menacent nos paysages et notre agriculture, nous devons réapprendre à aménager nos agrosystèmes pour réhabiliter les cycles naturels, dont celui de l'eau. C'est ce que l'hydrologie régénérative met en place, repenser les designs pour faire de nos agrosystèmes des sites de régénération des écosystèmes. Ce concept s'appuie sur un triptyque : Eau-Sol-Arbre, les 3 éléments doivent être pris en compte pour une action complète et durable. Les vergers-maraîchers, systèmes agroforestiers, incluent l'arbre dans le système de maraîchage. Couplés avec des infrastructures d'hydrologie régénérative, ils permettent à la fois de produire et de réparer les paysages abîmés. Cependant ce changement de production demande une adaptation à un design bien différent de celui de l'agriculture conventionnelle. Les paysagistes ont un rôle important à jouer dans ce réempaysagement de nos paysages comestibles et de nos bassins versants. Travailler avec le végétal pour permettre la régénération des cycles de l'eau, tout en incluant les agrosystèmes dans les écosystèmes naturels pour des paysages hydratés et résilients.	
Abstract (1600 caractères maximum) : With climate change threatening our landscapes and agriculture, we need to relearn how to manage our agroecosystems to rehabilitate natural cycles, including the water cycle. This is the essence of regenerative hydrology : rethinking designs to transform our agroecosystems into sites of ecosystem regeneration. This concept is based on a triptych: water, soil, and trees. All three elements must be considered for a complete and sustainable approach. Market garden orchards and agroforestry systems include trees into market gardening systems. When combined with regenerative hydrology infrastructures, they enable both production and the restoration of damaged landscapes. However, this shift in production requires adaptation to a design that is quite different from conventional agriculture. Landscape architects play a key role in re-landscaping our edible landscapes and watersheds, working with plants to regenerate water cycles and integrating agroecosystems into natural ecosystems for hydrated, resilient landscapes.	
Mots-clés : hydrologie régénérative, verger-maraîcher, paysage comestible, eau, arbres, sol Key Words: regenerative hydrology, orchard-market garden, edible landscape, water, trees, soil	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires