



HOLISTIC RESOURCE MANAGEMENT FOR
CLIMATE RESILIENCE OF FARMING

Manuel de formation ClimateFarming

2022-1-DE02-KA220-VET-000090163

Auteur(s) : Alena Holzknrecht, Nils Tolle, Janos Wack
Date : Juin 2023, dernière mise à jour novembre 2023



Financé par l'Union européenne. Les points de vue et avis exprimés n'engagent toutefois que leur(s) auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement ceux de l'Union européenne ou de l'Agence exécutive européenne pour l'éducation et la culture (EACEA). Ni l'Union européenne ni l'EACEA ne sauraient en être tenues pour responsables.



Contenu

Droits d'auteur	5
Note sur la traduction	5
Leçon 1 : L'agriculture dans un climat changeant.....	6
Un climat en mutation	6
Limites planétaires	7
La dégradation des sols et les trois rôles de l'agriculture dans le changement climatique	7
Température et ressources en eau	9
Sécurité alimentaire et évolution des marchés	9
Dépendance à l'égard des intrants externes	10
Biodiversité, ravageurs et maladies	10
Bien-être des animaux	11
Conclusion	12
Perspectives : S'adapter au changement climatique !	12
Protection du climat et adaptation au climat	13
RÉSUMÉ - L'agriculture dans un climat en mutation	14
Ressources	15
Leçon 2 : Gestion du changement climatique	19
Concepts fondamentaux de l'adaptation au changement climatique	19
Impacts du changement climatique.....	20
Risque.....	21
Aléa climatique (“hazards”)	21
Exposition.....	21
Vulnérabilité.....	22
Sensibilité	22
Capacité d'adaptation	22
Adaptation	23
La résilience.....	23
Robustesse	24
Traduction au niveau de l'exploitation	25
Impacts du changement climatique, risques et dangers	25
Adaptation et vulnérabilité	26
Gestion de l'adaptation.....	26
Incertitude.....	27
Complexité	28
Faire face à l'incertitude	30

Adaptation réussie et inadaptation	31
RÉSUMÉ - Gestion du changement climatique	32
Références	34
Leçon 3 : L'agriculture régénératrice : Une solution possible	37
Préface	37
Histoire de l'agriculture régénératrice.....	38
Intrants synthétiques	43
Excursus : La santé des sols.....	43
Une brève histoire des agricultures alternatives.....	44
Agriculture biologique.....	45
Agroécologie	45
Permaculture	46
Agriculture de conservation.....	46
Gestion holistique / Pâturage holistique	47
Agroforesterie	48
Agriculture intelligente face au climat (ou agriculture résiliente face au climat)	48
L'agriculture du carbone	49
Excursus : Le carbone organique du sol (SOC).....	51
Atténuation et décarbonisation.....	52
Parties prenantes et certifications.....	53
Certifications/crédits carbone	54
Preuves scientifiques	57
Conclusion.....	59
RÉSUMÉ - L'agriculture régénératrice.....	60
Littérature	61
Leçon 4 : Connecter l'agriculture régénératrice et le cycle ClimateFarming.....	66
Points de départ similaires.....	67
Réclamations et besoins	68
Poursuivre des objectifs similaires.....	69
Exemples de mesures	69
Le cycle ClimateFarming	71
Quelques réflexions sur la mise en œuvre.....	71
Références	73
Extra : Contexte théorique : Méthodes et fondements	74
Gestion stratégique des exploitations agricoles.....	74
Prise de décision en cas d'incertitude profonde (DMDU) et approche dynamique des voies d'adaptation (DAPP).....	75



Cofinancé par
l'Union européenne



Méthode complémentaire 1 : Analyse TOWS.....	76
Méthode complémentaire 2 : Analyse SWOT et mesures d'urgence.....	77
Méthode additionnelle 3 : Points de basculement de l'adaptation et points de basculement de l'opportunité (ATP et OTP).....	78
RÉSUMÉ - Contexte théorique : Méthodes et fondements.....	79
Références	80



Cofinancé par
l'Union européenne



Droits d'auteur

Ce manuel a été rédigé en étroite collaboration avec Alena Holzknicht, Nils Tolle et Janos Wack. Nous remercions également Nora Laub et Laerke Daverkosen pour leur contribution au premier chapitre. Nous remercions également les membres de notre conseil consultatif externe pour leurs réactions et leurs commentaires que nous avons intégrés le mieux possible.

Note sur la traduction

Ce document a été rédigé en anglais. La traduction a été effectuée par le consortium du projet ClimateFarming. Les citations d'auteurs étrangers ont également été traduites par le consortium.

Leçon 1 : L'agriculture dans un climat changeant

Alena Holzknacht¹, Nils Tolle², Janos Wack¹

Ce chapitre présente les principaux problèmes et défis auxquels l'agriculture doit faire face en ce qui concerne l'évolution des conditions climatiques et d'autres pressions. Les interactions complexes entre les différentes questions présentées doivent être prises en compte, et un traitement isolé a été choisi uniquement pour donner une meilleure vue d'ensemble des différents sujets.

La connaissance de ces défis et de leurs interrelations constitue l'un des fondements d'une adaptation réussie au changement climatique. Elles constituent la base d'une prise de conscience globale des problèmes et d'une orientation vers les solutions qui en découlent. Il est particulièrement important que les conseillers soient en mesure de sensibiliser les agriculteurs aux problèmes (y compris ceux dont les effets sont encore à venir). Cela permet de mettre en évidence le besoin d'action existant et de parvenir à un accord commun sur le développement engagé d'une stratégie individuelle d'adaptation au changement climatique.

Un climat en mutation³

Le sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Sixième rapport d'évaluation du GIEC, AR6, 2023) affirme que le réchauffement climatique est sans équivoque causé par des influences humaines (Figure 1, b) et que l'état actuel des systèmes climatiques ainsi que l'ampleur des changements au cours de la période 1850-2020 sont sans précédent depuis plus de cent mille ans (Figure 1, a). Le réchauffement de la planète est aujourd'hui légèrement supérieur à 1 °C par rapport à la période 1850 - 1900, et un réchauffement de 1,5 °C et 2 °C par rapport à la période 1850 - 1900 devrait être dépassé au cours du 21e siècle (ibid.). Une augmentation des températures mondiales de 1,5 °C devrait accroître la fréquence et l'intensité des fortes précipitations et des inondations dans la plupart des régions du monde. D'autre part, il faut s'attendre à une augmentation de la fréquence des sécheresses graves ayant des effets néfastes sur la sécurité alimentaire et les écosystèmes terrestres. En outre, il contribue à la désertification et à la dégradation des terres dans le monde entier, créant des contraintes supplémentaires sur les terres et exacerbant les risques existants pour les moyens de subsistance, la biodiversité, la santé humaine et des écosystèmes, et les systèmes alimentaires (Rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les terres, SRCCL 2019).

¹ kontakt@triebwerk-landwirtschaft.de

TRIEBWERK - Regenerative Land- und Agroforstwirtschaft UG (Société régénératrice de la terre et de l'agriculture)

Im Rothenbach 49, D-37290 Meißner

<https://www.triebwerk-landwirtschaft.de/>

² nils.tolle@neokultur.eu

Tolle | Consulting pour le changement climatique et l'agriculture

Richardsweg 1, 34379 Calden-Fürstenwald

<https://neokultur.eu/>

³ Cette section est basée sur, et en partie directement citée, une thèse de Master de Lærke Daverkosen & Alena Holzknacht (2021).

Limites planétaires

Le Stockholm Resilience Center a défini neuf limites planétaires qui, lorsqu'elles franchissent l'espace de fonctionnement sûr, ont un impact négatif sur la vie sur terre et, par conséquent, sur l'agriculture. En 2009, lorsque l'évaluation a été réalisée pour la première fois, les dépassements les plus importants étaient les suivants

- a) la perte de biodiversité,
- b) la crise climatique, et
- c) les cycles de l'azote et du phosphore.

En outre, selon Persson et al. (2022), des développements encore plus critiques sont à prévoir pour 2022. Il s'agit de

- d) changement d'eau douce,
- e) les nouvelles entités, et
- f) le changement du système terrestre (Meyfroidt et al. 2022),

ainsi que quelques autres qui sont sur le point de l'être. En ce qui concerne les modifications de l'eau douce dues à l'inclusion de "l'eau verte" (précipitations terrestres, évaporation et humidité du sol), une limite a été franchie. Les changements dans l'humidité du sol sont très répandus et la déstabilisation se poursuit sous l'effet des pressions humaines à l'échelle du continent et de la planète. Les entités dites nouvelles sont nouvelles au sens géologique du terme, ce qui signifie que des matériaux d'origine naturelle sont créés, introduits ou remis en circulation par l'homme et qu'ils sont mobilisés de manière nouvelle - notamment les polluants environnementaux, les plastiques, les pesticides ou les produits chimiques à vie. Ces impacts à grande échelle menacent l'intégrité des processus du système terrestre. Au niveau mondial, des défis considérables sont donc documentés scientifiquement depuis de nombreuses années. Ils font partie d'une interaction complexe d'effets et ont un impact global sur notre environnement. Le secteur agricole est fortement touché et le sera encore plus à l'avenir. Ces problèmes ne pourront probablement pas être résolus complètement, de sorte qu'il faut trouver une manière appropriée de les traiter tout en minimisant leurs effets.

La dégradation des sols et les trois rôles de l'agriculture dans le changement climatique

Les terres sont à la fois une source et un puits de dioxyde de carbone (CO₂) et jouent un rôle clé dans les systèmes climatiques et les échanges de gaz à effet de serre (GES) entre la surface terrestre et l'atmosphère (GIEC SRCCL 2019). La conversion d'écosystèmes naturels en écosystèmes gérés transforme la terre en source de GES et épuise le stock de carbone (C) terrestre (Poeplau & Don 2015). Ainsi, les écosystèmes ont été transformés en sources de GES depuis l'apparition de l'agriculture il y a environ 10 000 ans (Lal et al. 2018). Une méta-étude a révélé que la conversion des forêts et des prairies en terres cultivées entraîne une diminution du carbone organique du sol (COS) de 30 à 80 % dans les couches supérieures du sol (Singh et al. 2018). Les émissions provenant de l'agriculture et de l'expansion des terres agricoles représentent 16 à 27 % des émissions anthropiques totales. Lorsque les émissions associées aux activités de préproduction et de postproduction dans le système alimentaire

mondial sont incluses, les émissions sont estimées à 21 - 37% des émissions anthropiques nettes totales de GES. Les émissions du secteur agricole devraient augmenter en raison de la croissance de la population et des revenus, ainsi que de la dégradation des sols induite par le changement climatique. L'expansion des zones agricoles et forestières a favorisé la consommation et la disponibilité alimentaire pour une population croissante, mais a simultanément contribué à l'augmentation des émissions nettes de GES, à la perte d'écosystèmes naturels et au déclin de la biodiversité. Du côté positif, la réponse naturelle des terres terrestres aux changements induits par l'homme a provoqué un puits net d'environ 11,2 Gt CO₂ an⁻¹ au cours de la période 2007-2016, ce qui équivaut à 29 % des émissions totales de CO₂. Toutefois, la persistance de ce puits est incertaine (GIEC SRCCL 2019). Selon le GIEC (2019), environ un quart des terres terrestres sont soumises à une dégradation d'origine humaine. Les mauvaises pratiques de gestion ont entraîné une faible productivité et des risques accrus d'insécurité alimentaire (Gupta 2019).

L'utilisation sans discernement de pratiques agricoles néfastes, telles que la monoculture continue et le labourage intensif, a contribué à la dégradation généralisée des terres et des sols. La restauration de la qualité des sols étant un processus difficile, la poursuite de la dégradation des sols fertiles existants est très importante. Par exemple, de nombreux sols en Europe perdent plus de 2 tonnes d'hectares par an⁻¹ à cause de l'érosion due au travail du sol. Il en résulte un risque de dépassement de la capacité du sol à surmonter les perturbations climatiques, telles que la sécheresse et les événements météorologiques graves et fréquents (Lal 2015).

Ainsi, en plus de contribuer au changement climatique, l'agriculture elle-même est vulnérable au réchauffement de la planète et à l'augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes (GIEC 2019). En outre, l'agriculture est confrontée au défi de l'augmentation de la demande alimentaire causée par l'accroissement de la population et des revenus (Olson et al. 2016 ; IPCC 2019). Selon Giller et al. (2021), les solutions à ce défi consistent à augmenter la production alimentaire à l'intérieur ou au-delà des terres actuellement cultivées. L'expansion des terres cultivées impliquerait l'inclusion de terres moins productives fonctionnant actuellement comme des puits de carbone et conduirait à la perte d'habitats et à la modification des cycles biogéochimiques et hydrologiques. Une solution qui ne nécessite pas de vastes changements dans l'utilisation des terres repose sur une meilleure gestion des terres et sur le maintien ou le rétablissement de la fertilité des sols.

La fertilité des sols est également étroitement liée au carbone organique des sols, qui peut contribuer à la protection du climat. L'augmentation du stockage du carbone dans les sols peut contribuer à prévenir les émissions de carbone liées à l'agriculture, en éliminant le CO₂ atmosphérique et en fournissant des services écosystémiques. Cet objectif peut être atteint en combinant l'amélioration des terres cultivées, de sorte que la conversion des terres pour la production alimentaire et donc la perte de carbone des sols deviennent inutiles, ainsi que le stockage actif du carbone dans les terres agricoles (Bossio et al. 2020).

Le rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les terres (2019) souligne que les défis liés à la durabilité des terres et au changement climatique reposent sur un niveau élevé

de complexité et une grande diversité d'acteurs impliqués. La gestion durable de l'utilisation des terres, la sécurité alimentaire et les trajectoires de faibles émissions sont facilitées par des politiques qui impliquent des changements dans l'ensemble du système alimentaire. Il peut s'agir de la réduction des pertes et des déchets alimentaires, de la modification des comportements alimentaires, de l'autonomisation des femmes et des populations autochtones, du soutien à l'action communautaire, de la garantie d'un accès à long terme aux marchés et aux terres, des services de conseil et de la réforme des systèmes commerciaux. Cependant, toutes les activités mentionnées doivent être replacées dans le contexte de l'utilisation antérieure des terres, de la géographie, de la faisabilité et des circonstances sociales et environnementales (Bossio et al. 2020).

Température et ressources en eau

Les situations météorologiques extrêmes risquent de se multiplier à l'échelle mondiale et en Europe. Par exemple, les pluies intenses et abondantes, d'une part, et les sécheresses, d'autre part, peuvent devenir plus fréquentes, en fonction de la quantité de gaz à effet de serre libérée dans l'atmosphère. Cela entraînera une modification du niveau des eaux souterraines et une perte de capacité de planification. La température moyenne a augmenté à l'échelle mondiale et en Europe au cours du siècle dernier et devrait encore augmenter (GIEC 2021). Toutefois, il faut tenir compte du fait que les effets spécifiques du changement climatique varieront considérablement d'une région à l'autre et d'une année à l'autre (voir le premier chapitre sur les incertitudes). Il s'agit là du plus grand défi en matière d'adaptation au climat. Aucun pronostic universel, et donc aucune recommandation universelle d'action, ne peut être donné, bien que les tendances générales à long terme soient claires.

L'agriculture consomme environ 70 % de l'eau douce dans le monde et, en Europe, selon la saison, jusqu'à plus de 32 % de l'eau totale (Cai et Rosegrant 2002 ; Lazarova 2017). La température et les ressources en eau sont toujours des paramètres qui dépendent l'un de l'autre : Si l'humidité du sol diminue, l'évapotranspiration diminue également, ce qui entraîne une diminution de l'humidité du sol et une augmentation de la température. Une augmentation de la température permet donc à l'évaporation de diminuer à nouveau et une diminution de l'évapotranspiration augmente la température (Seneviratne et al. 2010).

Sécurité alimentaire et évolution des marchés

D'après les modèles d'impact du climat, la hausse des températures et les changements de précipitations entraîneront une baisse de la productivité alimentaire. Cependant, selon les "types de cultures et les catégories de bétail, les efforts d'adaptation à court et à long terme [les effets seront différents]" (GIEC 2019)".

Non seulement le changement climatique, mais aussi les dynamiques socio-économiques mettent les agriculteurs sous pression : la demande de produits sains mais bon marché augmente parallèlement à la concurrence pour l'utilisation des terres avec les bâtiments et les matériaux de construction, les sources d'énergie, les fibres, etc. En outre, les réglementations de l'UE, par exemple en matière de pesticides ou de bien-être animal, entraînent une augmentation des coûts de production et de main-d'œuvre. Néanmoins, les

agriculteurs sont souvent dépendants de ces produits et services qui sont soumis à des fluctuations de prix.

Dépendance à l'égard des intrants externes

Historiquement, la fertilité des sols a été améliorée par l'ajout d'engrais, mais aujourd'hui, surtout en Europe, il y a un surplus d'azote dû à l'application d'engrais et de fumier. Cet excédent n'a pas seulement des effets néfastes sur l'environnement, il entraîne également des désavantages économiques. De nombreuses exploitations agricoles sont dépendantes d'intrants externes tels que les engrais et le carburant. D'une part, il est facile de compenser la perte d'éléments nutritifs en ajoutant d'autres éléments nutritifs au sol, mais d'autre part, le marché des engrais n'évolue pas toujours comme souhaité ou nécessaire et les prix changent de manière imprévisible. Entre 1960 et 2000, l'utilisation d'engrais N et P a triplé (Tilman et al. 2002), alors que la production céréalière a doublé au niveau mondial. En outre, les pertes d'éléments nutritifs entraînent des coûts (environnementaux) élevés en raison, par exemple, de la dégradation de la qualité de l'eau et de la prolifération des algues. Il est donc conseillé de conserver les éléments nutritifs dans les champs. Dans de nombreuses régions d'Europe, le changement climatique entraînera une baisse des rendements. Même l'augmentation prévue des rendements en Europe du Nord ne pourra pas compenser ces pertes. Simultanément, l'efficacité de l'utilisation des nutriments s'est stabilisée, de sorte qu'il n'est souvent même pas utile d'utiliser davantage d'engrais (Lassaletta et al. 2014). Cependant, comme les sols agricoles ont souvent été dégradés pendant des décennies, une stratégie de fertilisation adaptée ne peut intervenir qu'après que la gestion a lentement préparé un sol à fonctionner à nouveau selon ses capacités. De même, le niveau de performance des animaux d'élevage dépend de la qualité et de la composition des aliments et ne peut être modifié en une seule fois. Ces ajustements sont des processus à long terme qui doivent être planifiés et évalués en conséquence.

Biodiversité, ravageurs et maladies

Parallèlement au changement climatique, les écosystèmes subissent une perte de biodiversité sans précédent. Des preuves solides montrent que nous sommes sur la trajectoire d'une sixième extinction de masse causée par l'homme, alors que les cinq premières extinctions de masse ont été causées par des phénomènes naturels (Cowie et al. 2022). Par exemple, en Allemagne, une moyenne de 75 % de la biomasse des insectes a été perdue entre 1990 et 2015 (Hallmann et al. 2017). Avec l'augmentation des températures moyennes, on prévoit des pertes d'habitat encore plus importantes dans l'UE et dans le monde (GIEC 2022). Cela peut fortement nuire à la stabilité et à la résilience des paysages face aux influences extérieures, y compris de nouvelles et/ou de plus grandes charges de ravageurs et de maladies.

Deux facteurs principaux rendent les ravageurs et les maladies si importants à la lumière du changement climatique :

1. La sensibilité aux infections augmente avec le changement climatique, de même que la capacité de régénération des plantes, des animaux et des écosystèmes entiers.

L'augmentation des stress abiotiques provoquée par le changement climatique rend les plantes plus vulnérables aux facteurs de stress biotiques. L'augmentation du rayonnement solaire, les grêles imprévisibles, les pluies, le gel ou les périodes de sécheresse peuvent endommager les plantes et diminuer leur vitalité.

2. La pression exercée par les ravageurs et les maladies existants augmente en raison d'une succession plus rapide (par exemple, plus de générations par saison), d'une croissance accrue de la population, ainsi que de l'apparition de nouveaux ravageurs et de nouvelles maladies qui étendent leur territoire.

Il n'est pas possible de prédire clairement quels ravageurs et maladies apparaîtront et dans quelle mesure. Plutôt que de réagir aux menaces à venir, il convient de mettre en œuvre des mesures de prévention globales et proactives au niveau des écosystèmes (voir le chapitre sur les incertitudes et le changement climatique). La résilience des écosystèmes doit être soutenue et développée, et l'un des moyens d'y parvenir est d'utiliser consciemment leur multifonctionnalité.

Bien-être des animaux

L'élevage est étroitement lié au cycle des nutriments, mais il sera également fortement affecté par le changement climatique. Les systèmes d'élevage sont affectés par le changement climatique principalement en raison de l'augmentation des températures et de la variation des précipitations, ainsi que de la concentration atmosphérique de CO₂ et d'une combinaison de ces facteurs. La température affecte la plupart des facteurs critiques de la production animale, tels que la disponibilité de l'eau, la production et la reproduction des animaux, et la santé animale (principalement en raison du stress thermique). Les zones de thermo-confort pour les moutons, les bovins et les porcs se situent autour ou en dessous de 20°C (Pollmann et al. 2005 ; Bianca 1971). Les maladies du bétail sont principalement affectées par les augmentations de température et les variations de précipitations (Rojas-Downing et al. 2017). Les impacts du changement climatique sur la productivité du bétail, en particulier dans les systèmes mixtes et extensifs, sont fortement liés aux impacts sur les parcours et les pâturages, qui comprennent les effets de l'augmentation du CO₂ sur leur biomasse et leur qualité nutritionnelle. Il s'agit là d'un point critique compte tenu de l'étendue des zones concernées et du nombre de personnes vulnérables touchées (Steinfeld 2010 ; Morton 2007). La qualité et la quantité des pâturages sont principalement affectées par l'augmentation de la température et du CO₂, ainsi que par la variation des précipitations. Cela peut avoir un impact négatif sur la santé et le niveau de performance des animaux. Ces dernières années, dans des situations extrêmes, des animaux ont dû être vendus parce que leur alimentation ne pouvait plus être assurée. La capacité d'adaptation de ces systèmes d'élevage et d'alimentation a été mise à rude épreuve, ce qui a entraîné une réaction de choc et la nécessité d'ajuster la stratégie pour les années à venir. Grâce à une planification et à une surveillance globales axées sur l'adaptation aux changements climatiques, nous pouvons créer des systèmes moins sensibles aux facteurs de stress environnementaux, mais aussi économiques ou sociétaux.



Conclusion

L'agriculture est affectée par le changement climatique comme presque aucun autre secteur. Dans le contexte du changement climatique, l'agriculture joue différents rôles. Elle produit des gaz à effet de serre, elle peut agir comme un puits de gaz à effet de serre et elle est directement et indirectement affectée par le changement climatique. En plus de l'évolution des conditions climatiques, il existe une variété de sujets interdépendants qui compliquent l'agriculture de nos jours. Les ressources naturelles peuvent se raréfier et devenir moins prévisibles, les structures de marché changent et les agriculteurs sont souvent dépendants de ressources extérieures ou bloqués dans des investissements. La disponibilité de l'eau est gravement compromise par l'évolution du régime des précipitations et par l'incapacité des sols à s'infiltrer et à retenir l'eau. Dans le même temps, les masses d'eau sont polluées par le ruissellement des nutriments provenant des terres agricoles. Nous sommes également au cœur d'une crise de la biodiversité, et de nouveaux ravageurs et de nouvelles maladies se développent. Tout cela crée des défis nouveaux et inconnus pour l'agriculture en tant que secteur, mais aussi pour chaque exploitation. Les exploitations agricoles sont donc confrontées à des systèmes complexes et sont impliquées dans une myriade d'interactions, qui sont toutes sujettes à des changements radicaux à la lumière du changement climatique. Pour garantir la sécurité alimentaire à long terme et de bons moyens de subsistance aux agriculteurs, nous devons planifier des stratégies ajustables à court, moyen et long terme pour chaque exploitation dans leur contexte individuel afin de faire face à ces changements dynamiques.

Perspectives : S'adapter au changement climatique !

Pour que les agriculteurs soient en mesure de reconnaître, d'évaluer et de maîtriser ces défis complexes, de nouvelles approches et méthodes sont nécessaires - dans la gestion de l'exploitation et les tâches quotidiennes sur le terrain. Ces approches et méthodes doivent tenir compte des spécificités de chaque exploitation et intégrer les effets du changement climatique propres à chaque région. En outre, il faut aider les exploitations à exploiter les synergies entre les différentes mesures de protection et d'adaptation au climat et à mettre en place une gestion agricole à long terme et prévoyante. En outre, les risques résultant des incertitudes (liées au changement climatique) doivent être inclus dans les processus de planification opérationnelle et minimisés autant que possible. Ce dont nous avons besoin n'est rien de moins qu'une stratégie climatique - créée individuellement pour chaque entreprise. Dans le même temps, il faut veiller à ce que cette stratégie climatique tienne compte des nombreux autres défis auxquels l'agriculture est confrontée. Dans ce contexte, la préservation de la biodiversité et des sols sains est élémentaire. Non seulement pour une adaptation réussie au changement climatique, mais aussi pour préserver nos moyens de subsistance naturels.

Même en l'absence de conditions cadres propices, une mise en œuvre opportune et adéquate intégrée dans les stratégies régionales, nationales et européennes est nécessaire pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique récent et prévu. Les options d'adaptation doivent être réalisables et efficaces dans leur contexte local. La biodiversité, l'air, les sols, les cycles de l'eau et des nutriments et la restauration des écosystèmes doivent être



améliorés grâce à des ajustements structurels tels que des agroécosystèmes productifs et résilients, des méthodes inspirées de la nature ou des approches holistiques et systémiques. Afin de motiver les agriculteurs à mettre en œuvre des mesures de protection et d'adaptation au climat, les mesures possibles doivent être pratiques et adaptées à chaque exploitation.

Protection du climat et adaptation au climat

Dans ce projet, nous utilisons les termes "**atténuation du changement climatique**" et "**protection du climat**" comme synonymes.

Ils décrivent des actions visant à atténuer le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre.

L'**adaptation au climat** désigne les mesures prises pour s'ajuster aux effets du changement climatique réel et prévu. Cette adaptation peut se faire à plusieurs niveaux, par exemple par la protection contre les inondations, des cultures résistantes à la sécheresse ou des politiques gouvernementales qui aident à faire face aux effets du climat.

"L'**adaptation et l'atténuation sont des stratégies complémentaires pour réduire et gérer les risques du changement climatique** (GIEC AR6, 2023)".

Malgré des preuves accablantes, le niveau de mise en œuvre des mesures de protection et d'adaptation au climat est faible (Jacobs et al., 2019). Cela s'explique notamment par l'incertitude qui découle avant tout de la complexité des nombreuses interactions entre l'agriculture et le changement climatique. Non seulement l'évolution du changement climatique elle-même est incertaine en ce qui concerne l'intensité et la rapidité du changement (Pachauri et al., 2014), mais aussi la manière dont cette évolution affectera des régions spécifiques et interagira avec d'autres facteurs écologiques et sociaux. Cette incertitude fondamentale quant aux conditions climatiques futures et à leurs conséquences entrave la mise en œuvre de mesures d'adaptation (Mitter et al., 2019). En outre, ignorer l'incertitude et la complexité peut conduire à la mise en œuvre de mesures d'adaptation qui se révèlent inadaptées - en fonction de l'évolution du changement climatique (Noble et al., 2014).

Cette question n'est pas encore suffisamment intégrée dans la conception des mesures d'adaptation (opérationnelles). Cela se reflète dans l'accent qui continue d'être mis sur les mesures individuelles à petite échelle (Vermeulen et al., 2018), qui impliquent principalement des changements mineurs et réactifs des processus de production opérationnels (Mitter et al., 2018). Ces mesures sont souvent basées sur l'expérience d'événements passés. Ce niveau de mesures d'adaptation peut s'avérer insuffisant, car le changement climatique, combiné à d'autres nouveaux développements, créera des défis en dehors de l'expérience vécue (Noble et al., 2014). Compte tenu notamment de l'évolution forte et non uniforme du changement climatique, l'adaptation doit être planifiée et mise en œuvre de manière proactive (c'est-à-



dire préventive) (par exemple, Vermeulen et al., 2013). Cela inclut la mise en œuvre de changements profonds dans les opérations et les méthodes de production (Park et al., 2012) - ce que l'on appelle l'adaptation transformative.

Cependant, il est important que la planification des mesures climatiques se fasse sur une base spécifique à l'exploitation, car le changement climatique et la vulnérabilité de l'exploitation individuelle évoluent de manière dynamique et régionale (Noble et al., 2014 ; Shukla et al., 2019). L'exploitation agricole étant le point décisif de la mise en œuvre de la protection et de l'adaptation climatiques, les mesures et stratégies correspondantes doivent être adaptées aux objectifs de l'exploitation ainsi qu'à ses caractéristiques économiques, écologiques et sociales (Reidsma et al., 2010 ; Bloch et al., 2014 ; Stringer et al., 2020).

RÉSUMÉ - L'agriculture dans un climat en mutation

- L'agriculture joue différents rôles dans le contexte du changement climatique - en tant qu'émetteur de GES, en tant que puits potentiel de GES et en tant que partie affectée.
- Le réchauffement climatique observé aujourd'hui est supérieur à 1°C et devrait dépasser largement 1,5°C au cours du siècle 21 .st
- L'utilisation sans discernement de pratiques agricoles néfastes, telles que la monoculture continue et le labourage intensif, a contribué à la dégradation généralisée des sols.
- La dégradation continue des terres risque de dépasser la capacité du sol à surmonter les perturbations climatiques, telles que la sécheresse et les phénomènes météorologiques graves et fréquents.
- Les situations météorologiques extrêmes, telles que les périodes prolongées de sécheresse ou de chaleur ou les fortes précipitations, augmenteront avec le changement climatique.
- De nombreuses exploitations agricoles sont dépendantes d'intrants externes tels que les engrais et le carburant. Les sols agricoles ont souvent été dégradés pendant des décennies, et une stratégie de fertilisation adaptée ne peut intervenir qu'après que la gestion a lentement préparé un sol à fonctionner à nouveau dans les limites de ses capacités.
- Les questions relatives au bien-être des animaux seront intensifiées par le changement climatique.
- Les agriculteurs sont soumis à une forte pression pour produire suffisamment d'aliments sains pour tous, tout en préservant des écosystèmes sains, en étant



soumis aux exigences du marché, aux conflits d'utilisation des terres et à l'évolution des conditions environnementales.

Ressources

Al-Kaisi, M.M. & Lal, R. (2020). Aligning science and policy of regenerative agriculture. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 84 (6), pp. 1808–1820 John Wiley and Sons Inc. DOI: <https://doi.org/10.1002/saj2.20162>

Bloch, R., Bachinger, J., Fohrmann, R., and Pfriem, R. (2014). Land-und Ernährungswirtschaft im Klimawandel: Auswirkungen, Anpassungsstrategien und Entscheidungshilfen.

Bianca W (1971): Die Anpassung des Haustieres an seine klimatische Umgebung. *Schweiz Landwirtsch Forsch*, 10:155–205. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302299049>

Bossio, D.A., Cook-Patton, S.C., Ellis, P.W., Fargione, J., Sanderman, J., Smith, P., Wood, S., Zomer, R.J., von Unger, M., Emmer, I.M. & Griscom, B.W. (2020). The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nature Sustainability*, vol. 3 (5), pp. 391–398. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>

Cai, X. & Rosegrant, M. W. (2002). Global Water Demand and Supply Projections: Part 1. A Modelling Approach. *Water International*, 27(2), Artikel 2, 159–169. <https://doi.org/10.1080/02508060208686989>

Cowie, R. H., Bouchet, P. & Fontaine, B. (2022). The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation? *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 97(2), 640–663. <https://doi.org/10.1111/brv.12816>

Daverkosen, L., Holzknicht, A. (2021): Relating the impacts of regenerative farming practices to soil health and carbon sequestration on Gotland, Sweden, Master Thesis at Department of Soil and Environment, Swedish Agricultural University, Available at: https://stud.epsilon.slu.se/17330/1/daverkosen_l_211020.pdf

Daverkosen, L., Holzknicht, A., Friedel, J. K., Keller, T., Strobel, B. W., Wendeberg, A., & Jordan, S. (2022). The potential of regenerative agriculture to improve soil health on Gotland, Sweden. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185, 901–914. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200200>

European Commission. EU SOIL OBSERVATORY: EUSO Soil Health Dashboard. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard/>

Giller, K.E., Hijbeek, R., Andersson, J.A. & Sumberg, J. (2021). Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook on Agriculture*, vol. 50 (1), pp. 13–25

Gupta, G.S. (2019). Land Degradation and Challenges of Food Security. *Review of European Studies*, vol. 11 (1), p. 63

Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D. & Kroon, H. de (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PloS one*, 12(10), e0185809.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>

IPCC. Food Security - Special Report on Climate Change and Land: Chapter 5.

<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-5/>

IPCC (2019). Summary for Policymakers — Special Report on Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Available at:

<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers>

IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport>

IPCC (2023): *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647. Available at:

https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf

Jacobs, C., Berglund, M., Kurnik, B., Dworak, T., Marras, S., Mereu, V., and Michetti, M. (2019). *Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. Technical report*, European Environment Agency (EEA).

Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 7 (5), pp. 5875–5895

Lal, R., Smith, P., Jungkunst, H.F., Mitsch, W.J., Lehmann, J., Ramachandran Nair, P.K., McBratney, A.B., De Moraes Sá, J.C., Schneider, J., Zinn, Y.L., Skorupa, A.L.A., Zhang, H.L., Minasny, B., Srinivasrao, C. & Ravindranath, N.H. (2018). The carbon sequestration potential of terrestrial ecosystems. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 73 (6), pp. 145A-152A

Lassaletta, L., Billen, G., Grizzetti, B., Anglade, J. & Garnier, J. (2014). 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. *Environmental Research Letters*, 9(10), 105011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105011>

Lazarova, V. Water Reuse in Europe, Status and Recent Trends in Policy Development. In *Proceedings of the Final Conference on the Project LIFE+ ReQpro*, Reggio Emilia, Italy, 23 February 2017; Available online:

http://reqpro.cropa.it/media/documents/reqpro_www/eventi/20170223_FinalMeeting_RE/Lazarova_LIFE+ReQpro.pdf (accessed on 5 May 2023)

Meyfroidt, P., Bremond, A. de, Ryan, C. M., Archer, E., Aspinall, R., Chhabra, A., Camara, G., Corbera, E., DeFries, R., Díaz, S., Dong, J., Ellis, E. C., Erb, K.H., Fisher, J. A., Garrett, R. D., Golubiewski, N. E., Grau, H. R., Grove, J. M., Haberl, H., . . . Ermgassen, E. K. H. J. zu (2022). Ten facts about land systems

for sustainability. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 119(7). <https://doi.org/10.1073/pnas.2109217118>

Mitter, H., Schönhart, M., Larcher, M., and Schmid, E. (2018). The stimuli-action-effects-responses (saer)-framework for exploring perceived relationships between private and public climate change adaptation in agriculture. *Journal of environmental management*, 209:286–300.

Mitter, H., Larcher, M., Schönhart, M., Stöttinger, M., and Schmid, E. (2019). Exploring farmers' climate change perceptions and adaptation intentions: Empirical evidence from Austria. *Environmental management*, 63(6):804–821.

Morton, J.F. (2007): The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. 104 (50), PNAS. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701855104>

Noble, I. R., Huq, S., Anokhin, Y. A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F. P., Osman-Elasha, B., and Villamizar, A. (2014). Adaptation needs and options. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pages 833–868. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Olson, K.R., Al-Kaisi, M., Lal, R. & Cihacek, L. (2016). Impact of soil erosion on soil organic carbon stocks. *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 71 (3), pp. 61A-67A

Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., et al. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.

Park, S. E., Marshall, N. A., Jakku, E., Dowd, A. M., Howden, S. M., Mendham, E., and Fleming, A. (2012). Informing adaptation responses to climate change through theories of transformation. *Global Environmental Change*, 22(1):115–126.

Linn Persson, Bethanie M. Carney Almroth, Christopher D. Collins, Sarah Cornell, Cynthia A. de Wit, Miriam L. Diamond, Peter Fantke, Martin Hassellöv, Matthew MacLeod, Morten W. Ryberg, Peter Søggaard Jørgensen, Patricia Villarrubia-Gómez, Zhanyun Wang, and Michael Zwicky Hauschild (2022): Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental Science & Technology* 2022 56 (3), 1510-1521
DOI: 10.1021/acs.est.1c04158

Poeplau, C. & Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 200, pp. 33–41 Elsevier B.V. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>

Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A. O., and Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. *European journal of agronomy*, 32(1):91–102.

Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A.P., Harrigan, T., Woznicki, S. A. (2017):, Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation, *Climate Risk Management*, Volume 16, <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>.

Seneviratne, S.I., Corti, T., Davin, E.L., Hirschi, M., Jaeger, E.B., Lehner, I., Orlowsky, B., & Teuling, A.J. (2010). Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99, 125-161.

Shukla, P., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H., Roberts, D., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., Van Diemen, R., et al. (2019). IPCC, 2019: Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.

Singh, B.P., Setia, R., Wiesmeier, M. & Kunhikrishnan, A. (2018). Agricultural management practices and soil organic carbon storage. *Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modeling* Elsevier Inc. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812766-7.00007-X>

Steinfeld, H., Gerber, P. (2010): Livestock production and the global environment: Consume less or produce better? 107 (43), PNAS. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012541107>

Stringer, L. C., Fraser, E. D., Harris, D., Lyon, C., Pereira, L., Ward, C. F., and Simelton, E. (2020). Adaptation and development pathways for different types of farmers. *Environmental Science & Policy*, 104:174–189.

Stockholm Resilience Centre. (2023, 2. Juni). Planetary boundaries. Stockholm University.

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R. & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), 671–677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>

Vermeulen, S. J., Challinor, A. J., Thornton, P. K., Campbell, B. M., Eriyagama, N., Vervoort, J. M., Kinyangi, J., Jarvis, A., Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., et al. (2013). Addressing uncertainty in adaptation planning for agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21):8357–8362.

Vermeulen, S. J., Dinesh, D., Howden, S. M., Cramer, L., and Thornton, P. K. (2018). Transformation in practice: a review of empirical cases of transformational adaptation in agriculture under climate change. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2:65.

Leçon 2 : Gestion du changement climatique

Nils Tolle, Alena Holzknicht, Janos Wack

Il existe deux options de base pour faire face au changement climatique et à ses conséquences : la protection du climat et l'adaptation au climat. Dans le contexte du présent guide, la protection du climat implique la réduction et le stockage (émissions négatives) des émissions de gaz à effet de serre (GES). La seconde option, l'adaptation au climat, consiste à modifier un système et son environnement de manière à ce qu'il soit moins sensible au changement climatique réel ou prévu. Ces deux approches ont été largement considérées et étudiées indépendamment l'une de l'autre, avec une tendance à donner la priorité à la protection du climat (Füssler et Klein, 2006). Il s'agit là d'une erreur, car ces deux approches sont étroitement liées et, pour réussir, elles doivent être envisagées, planifiées et mises en œuvre ensemble (Wreford et al., 2010).

Étant donné que le changement climatique est déjà en cours en raison des émissions passées, il n'est plus possible d'en absorber les conséquences par la seule protection du climat. C'est pourquoi l'adaptation est et sera nécessaire pour faire face aux effets inévitables du changement climatique. Cependant, il serait tout aussi fatal de poursuivre l'adaptation climatique seule. C'est le cas parce que :

- Il existe des limites à l'adaptation, déterminées par des facteurs biophysiques et socio-économiques ainsi que par le risque de points de basculement.
- La protection du climat réduit l'intensité et la rapidité du changement climatique, facilitant ainsi l'adaptation et réduisant les coûts de l'adaptation (Hallegatte, 2009).

Par conséquent, l'adaptation au changement climatique devrait avoir la même priorité que la protection du climat dans l'agriculture. Non seulement en raison de l'utilisation d'éventuels effets de synergie, mais aussi parce que les conditions de réussite de la protection du climat sont différentes de celles de l'adaptation au changement climatique. Le succès de la protection du climat, en particulier en tant qu'action individuelle, n'est pas directement tangible et dépend en fin de compte du comportement d'autres acteurs au niveau mondial. En revanche, l'adaptation est spécifique à l'espace et peut être couronnée de succès au niveau local, même si seule l'exploitation individuelle s'engage dans l'adaptation au climat. Il s'agit là d'une composante psychologique importante. En effet, l'adaptation peut satisfaire le besoin d'un changement concret et perceptible (positif). Cela est important car l'expérience de l'auto-efficacité est un facteur important qui favorise la mise en œuvre d'autres mesures climatiques. Étant donné qu'une adaptation réussie au changement climatique est plus complexe que la protection du climat, à la fois en termes de théorie et de mise en œuvre pratique, les explications suivantes se concentreront davantage sur le thème de l'adaptation.

Concepts fondamentaux de l'adaptation au changement climatique

Il existe un grand nombre d'approches et de concepts différents en matière d'adaptation au climat. Ils sont conçus pour différents niveaux d'organisation (régional, national, mondial) et domaines d'application (gouvernance, gestion d'entreprise, etc.). Certains de ces concepts ne conviennent que dans une certaine mesure au niveau de l'exploitation agricole, car la

planification de l'adaptation est (jusqu'à présent) un sujet qui relève de niveaux organisationnels plus élevés. Néanmoins, les concepts les plus importants sont brièvement discutés ici et définis pour une utilisation ultérieure dans le projet ClimateFarming. Par conséquent, il convient de souligner qu'il ne s'agit pas de présentation exhaustive des concepts, mais seulement de brèves définitions et une opérationnalisation dans le contexte du projet ClimateFarming.

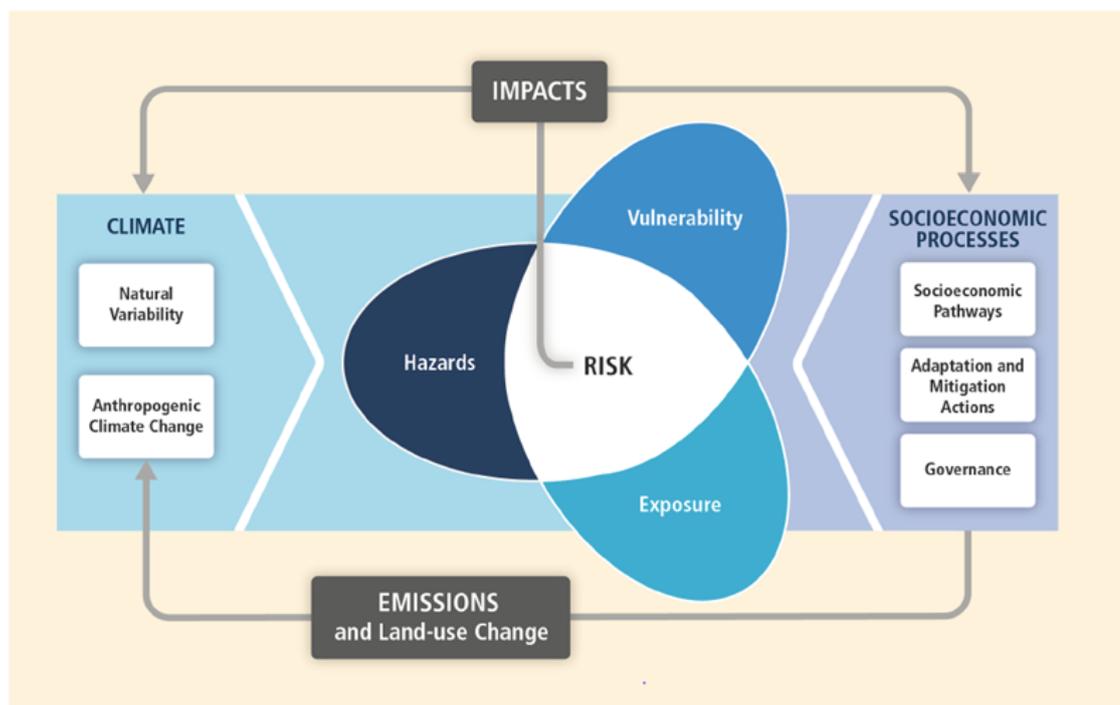


Figure 1 : Concepts clés de l'adaptation au changement climatique - GIEC (2014)

Impacts du changement climatique⁴

Impacts des événements extrêmes (par exemple, de fortes précipitations) ou des changements climatiques (par exemple, l'augmentation de la température moyenne) sur les systèmes naturels ou humains. Dans les systèmes socio-économiques, ces impacts peuvent se produire directement ou indirectement. La question de la gravité des impacts et de leur dimension temporelle et spatiale est importante lorsqu'il s'agit d'étudier les impacts du changement climatique.



Un exemple d'impact indirect du changement climatique serait l'augmentation des prix des aliments pour animaux importés en raison de mauvaises récoltes dans les pays exportateurs.



⁴ Dans la documentation de ClimateFarming, seul le terme "impacts climatiques" est généralement utilisé, sans autre différenciation entre risque, danger et impact.

- Un exemple d'impact direct du changement climatique est la modification des températures annuelles et les changements associés dans les schémas de croissance des plantes.

Risque

"Le risque est défini comme la possibilité de conséquences négatives pour les systèmes humains ou écologiques, compte tenu de la diversité des valeurs et des objectifs associés à ces systèmes" (GIEC, 2022 - P.3).

Le concept de risque est le point de départ, dans les différents groupes de travail du GIEC, de toutes les questions relatives aux conséquences complexes du changement climatique et à la manière d'y faire face. Les risques résultent des "interactions dynamiques entre les dangers liés au climat, l'exposition et la vulnérabilité des systèmes humains et écologiques touchés" (GIEC, 2022 - P.3).

Dans le contexte du changement climatique, il est souvent impossible de prévoir les risques avec précision ou de calculer une probabilité fiable. Il en résulte une incertitude qui complique notamment la planification des mesures d'adaptation.

Aléa climatique ("hazards")

"L'aléa est défini comme l'occurrence potentielle d'un événement physique ou d'une tendance, d'origine naturelle ou humaine, susceptible d'entraîner des pertes en vies humaines, des blessures ou d'autres effets sur la santé, ainsi que des dommages et des pertes touchant les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, la fourniture de services, les écosystèmes et les ressources environnementales" (IPCC, 2022 - P.3).

En termes simples, les aléas comprennent toutes les conséquences liées au climat qui peuvent avoir un impact négatif sur les systèmes naturels ou humains.



Exemple de lien entre les aléas climatiques et les risques/impacts potentielles du changement climatique : L'élévation du niveau de la mer (aléa climatique) et les dommages associés aux villes côtières (risque/impact potentiel du changement climatique) ou l'augmentation du nombre de décès liés à la chaleur (risque/impact potentiel du changement climatique) en raison de vagues de chaleur fréquentes et extrêmes (aléa climatique).

Exposition

"L'exposition est définie comme la présence de personnes, de moyens de subsistance, de ressources et de services environnementaux, d'éléments d'infrastructure ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans un lieu susceptible de subir des dommages" (IPCC, 2022 - P.3).

L'exposition est un facteur spatial. Formulée sous forme de question, l'exposition peut être résumée comme suit : "Un système (par exemple une exploitation agricole) est-il situé dans un endroit où certains risques peuvent se produire ? "Un système (par exemple une exploitation agricole) est-il situé dans un endroit où certains risques peuvent se produire ?"



Exemple d'exposition : Les zones côtières où les habitants sont directement exposés à l'élévation du niveau de la mer ou la zone du Sahel où les agriculteurs sont exposés à des sécheresses de plus en plus sévères, même pendant la saison de croissance.

Vulnérabilité⁵

"La vulnérabilité est [...] définie comme la propension ou la prédisposition à subir des dommages et englobe divers concepts et éléments, notamment [...] la vulnérabilité (sensibilité) aux dommages et le manque de capacité à faire face et à s'adapter (capacité d'adaptation)" (GIEC, 2022 - P.3). Il est important de garder à l'esprit que la vulnérabilité évolue de manière dynamique et varie considérablement d'une société à l'autre, d'une région à l'autre, d'un pays à l'autre et d'une région du monde à l'autre. Si une exploitation est vulnérable aux périodes de sécheresse et qu'elle est située dans une zone où elle est exposée à des périodes de sécheresse de plus en plus longues, elle risque de subir des pertes de rendement dues au changement climatique.

Sensibilité

La sensibilité est "*le degré auquel un système ou une espèce est affecté, de manière négative ou bénéfique, par la variabilité ou le changement climatique. L'effet peut être direct (par exemple, une modification du rendement des cultures en réponse à un changement de la moyenne, de la fourchette ou de la variabilité des températures) ou indirect (par exemple, les dommages causés par une augmentation de la fréquence des inondations côtières en raison de l'élévation du niveau de la mer).*" (GIEC, 2014b, P. 1772)



Exemple de sensibilité : Une exploitation laitière dont les étables sont climatisées est moins sensible aux vagues de chaleur.

Capacité d'adaptation

La capacité d'adaptation est la "*capacité d'ajustement des systèmes, des institutions, des êtres humains et des autres organismes, leur permettant de se prémunir contre les risques de dégâts, de tirer parti des opportunités ou de réagir aux conséquences*". (GIEC, 2014b, P. 1758)

⁵ Dans la documentation de ClimateFarming, seul le terme de vulnérabilité est généralement utilisé et aucune autre différenciation n'est faite entre la sensibilité et la capacité d'adaptation. Cela devrait faciliter l'application du matériel.



Exemple de capacité d'adaptation : Si une exploitation laitière n'a pas encore installé de systèmes de climatisation dans les étables, mais qu'elle est consciente du problème et qu'elle dispose des moyens techniques et financiers nécessaires, sa capacité d'adaptation peut être évaluée positivement.

Adaptation

"L'adaptation joue un rôle clé dans la réduction de l'exposition et de la vulnérabilité au changement climatique. L'adaptation dans les systèmes écologiques implique des ajustements autonomes par le biais de processus écologiques et évolutifs. Dans les systèmes humains, l'adaptation peut être anticipative ou réactive, ainsi qu'incrémentale et/ou transformatrice. Cette dernière modifie les caractéristiques fondamentales d'un système socio-écologique en prévision du changement climatique et de ses conséquences. (IPCC, 2022 - P.3)."

L'adaptation est : *"Pour les systèmes humains, démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu ainsi qu'à ses conséquences, visant à en atténuer les effets préjudiciables et à en exploiter les effets bénéfiques. Pour les systèmes naturels, démarche d'ajustement au climat actuel ainsi qu'à ses conséquences ; l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation des systèmes naturels au climat attendu et à ses conséquences."* (IPCC, 2018, P.542)

La résilience⁶

"La résilience est [...] définie comme la "capacité des systèmes sociaux, économiques ou environnementaux à faire face à une perturbation, une tendance ou un événement dangereux, leur permettant d'y réagir ou de se réorganiser de façon à conserver leur fonction essentielle, leur identité et leur structure, tout en gardant leurs facultés d'adaptation, d'apprentissage et de transformation"

La résilience est souvent décrite simplement comme la capacité d'un système à revenir rapidement à son état antérieur (avant le choc) après un choc. Toutefois, ce type de résilience est insuffisant pour relever les défis du changement climatique, car le système n'est pas modifié et la vulnérabilité à un nouveau choc reste donc la même. Le GIEC utilise l'approche de résilience de la "transformation créative" (Joakim et al., 2015). Cela signifie qu'après un choc, l'objectif n'est pas de rétablir l'ancien système à l'identique, mais de tirer des enseignements de l'expérience et de transformer le système concerné de manière à atteindre un niveau de résilience plus élevé et à devenir ainsi moins vulnérable aux chocs en général.

⁶ Dans les documents de ClimateFarming, seul le terme de résilience est généralement utilisé. Le terme résilience est défini comme la capacité d'une exploitation agricole à rester fonctionnelle et à atteindre ses objectifs à travers un spectre de différents changements et perturbations, y compris la capacité à s'adapter et à se transformer à la suite de chocs ou en réponse à de nouvelles connaissances.

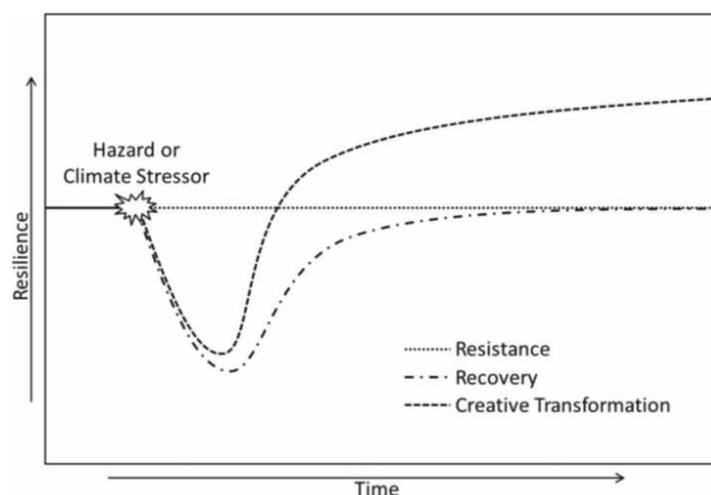


Figure 2 : Différentes dimensions de la résilience - Joakim et al. (2015)

Robustesse

La robustesse peut se référer à différents niveaux. Une décision robuste (ou une mesure d'adaptation robuste) se caractérise par le fait qu'elle remplit les objectifs d'un système dans une large gamme d'événements possibles. Une décision (ou une mesure d'adaptation) n'est pas robuste si des variations même minimales des conditions empêchent d'atteindre l'objectif.



Exemple de décisions et de mesures d'adaptation robustes : À la suite d'une période de sécheresse de plusieurs années, une exploitation agricole a complètement modifié ses cultures pour adopter des plantes tolérantes à la sécheresse et adaptées à la chaleur. Cela lui a permis d'obtenir une récolte optimale lors d'une année de sécheresse. Toutefois, si une année humide suit, il devra accepter de lourdes pertes. Sa mesure d'adaptation aurait été plus solide s'il n'avait pas modifié l'ensemble de ses cultures, mais les avait diversifiées. De cette manière, il n'aurait pas obtenu un résultat optimal pendant la phase de sécheresse, mais il aurait également été moins vulnérable en cas d'année humide. La diversification des cultures et des variétés aurait donc rendu la mesure d'adaptation plus robuste.



Exemple tiré de Kalra et al. (2014, p. 15) : "Nous pouvons gérer une incertitude profonde en recherchant une décision robuste - une décision qui donne de bons résultats dans un large éventail d'avenirs, de préférences et de visions du monde, même si elle n'est optimale dans aucun d'entre eux en particulier. Prenons l'exemple de deux cultures : La culture A offre un rendement stable en cas de sécheresse ou de pluies excessives, tandis que la culture B offre un rendement encore plus élevé dans des conditions spécifiques correspondant aux précipitations historiques, mais échoue dans les autres cas. Si nous pouvions contrôler les précipitations ou prédire de manière fiable que les précipitations de cette année ressembleront à celles du passé, nous ferions bien de planter la culture B et de maximiser le rendement. Mais cette décision risque d'être fragile - nous pouvons rarement prédire les précipitations, et nous pourrions préférer couvrir nos risques

et planter la culture A si la culture B semble trop vulnérable. La robustesse devient importante lorsque les conséquences d'une mauvaise décision sont élevées. Si une assurance-récolte est disponible pour aider à se protéger contre des rendements potentiellement faibles, ou si l'on dispose d'une épargne suffisante, l'optimisation (et l'adaptation aux mauvaises années) peut être la meilleure stratégie. Si ces outils et ces ressources ne sont pas disponibles et que les conséquences de quelques années de faibles rendements sont désastreuses, la robustesse devient alors une priorité".

Une exploitation agricole résiliente se caractérise par sa capacité à rester fonctionnelle (c'est-à-dire à atteindre ses objectifs) malgré de nombreux changements et événements climatiques et non climatiques, et à se rétablir rapidement, même après des perturbations externes importantes. Le rétablissement ne signifie pas ici un retour à l'état antérieur à la perturbation. Le rétablissement signifie la capacité d'apprendre, ce qui se traduit par l'adaptation et la transformation du système agricole. L'objectif est toujours d'atteindre un degré plus élevé de résilience.

En d'autres termes, une plus grande robustesse signifie une plus faible vulnérabilité, ce qui se traduit par une sensibilité réduite et/ou une capacité d'adaptation renforcée.

Transposé au niveau de l'exploitation, cela signifie que les mesures d'adaptation aident l'exploitation à devenir moins sensible aux effets du climat et aux événements extrêmes. Par exemple, l'installation d'un système d'irrigation efficace pour la production de légumes rend l'exploitation moins sensible aux épisodes de sécheresse. En outre, l'exploitation peut améliorer sa capacité d'adaptation grâce à une planification intelligente et prospective, ce qui signifie qu'elle peut mettre en œuvre les futures mesures d'adaptation plus rapidement et/ou plus efficacement. Un exemple serait de clarifier les conditions (par exemple, le permis de construire) pour un système agri-photovoltaïque à un stade précoce.

Traduction au niveau de l'exploitation

Les concepts et la terminologie du GIEC n'ont qu'une utilité limitée pour la gestion de l'adaptation au niveau de l'exploitation. Néanmoins, ils sont utiles pour établir une utilisation cohérente des termes - et donc un langage et une compréhension communs.

Impacts du changement climatique, risques et dangers

Les trois concepts (impacts, risques, dangers) ne sont pas faciles à comprendre à première vue et sont difficiles à distinguer. Heureusement, cela n'est pas très important au niveau de l'exploitation. Pour faciliter au maximum son utilisation, les conséquences du changement climatique sur l'exploitation et son environnement sont résumées sous le terme d'impacts climatiques. Ainsi, lors de la planification de l'adaptation, la question directrice serait la suivante : "Comment le changement climatique peut-il avoir un impact sur l'exploitation agricole ?" "Comment le changement climatique peut-il avoir un impact sur notre exploitation et comment pouvons-nous nous adapter à cet impact afin de réduire ou de prévenir les pertes ? Le regroupement sous le terme d'impacts du changement climatique n'est donc pas tout à fait correct, mais il simplifie la communication lors de l'application.

Adaptation et vulnérabilité

Les effets du climat et les risques qui en découlent ne peuvent être ni entièrement prévus ni évités pour les exploitations individuelles. Il n'y a pas non plus grand-chose à faire pour influencer les dangers ou l'exposition qui en résultent, à moins d'abandonner l'exploitation à son ancien emplacement et de la redémarrer à un autre. Étant donné que cette option n'est pas envisageable pour la plupart des chefs d'exploitation, il ne s'agit pas non plus d'une stratégie d'adaptation adéquate. Par conséquent, la seule option pour la majorité des agriculteurs est de réduire leur vulnérabilité.

L'adaptation au niveau de l'exploitation vise donc à réduire la sensibilité de l'exploitation tout en augmentant sa capacité d'adaptation afin de répondre de manière aussi souple, efficace et efficiente que possible aux changements climatiques et non climatiques. Il est important de noter ici que de nombreux facteurs qui influencent l'évolution de la vulnérabilité des exploitations se situent en dehors du champ d'action de l'exploitation individuelle (par exemple, les décisions politiques ou les changements de marché).

Gestion de l'adaptation

La variabilité et l'adaptation à de nouvelles conditions ne sont pas nouvelles pour les agriculteurs. Ces expériences ont été et sont importantes pour faire face au changement climatique et à l'augmentation de la variabilité du climat, mais elles ne sont pas suffisantes. Cela se reflète également dans les efforts actuels d'adaptation au changement climatique.

La majorité des mesures d'adaptation mises en œuvre à ce jour l'ont été en réaction à des événements et tendances extrêmes (Park et al., 2012 ; Porter et al., 2014), comme en témoignent, par exemple, les dates de semis plus précoces ou la culture d'autres plantes. Ces mesures n'entraînent que des changements mineurs dans le système de production (agricole) et sont mises en œuvre en réaction aux changements climatiques observés. Compte tenu des défis fondamentalement nouveaux posés par le changement climatique, ce mode d'adaptation peut s'avérer insuffisant (Rickards et Howden, 2012 ; Noble et al., 2014). Un autre problème est que les mesures d'adaptation individuelles qui ne sont pas intégrées dans une stratégie globale pourraient conduire à la consolidation de formes de production agricole qui sont fondamentalement insuffisantes pour faire face à une trajectoire sévère et non linéaire du changement climatique (Rickards et Howden, 2012). En termes simples, des mesures d'adaptation non planifiées ou mal informées peuvent augmenter les coûts d'adaptation lorsque l'exploitation doit passer à des mesures d'adaptation plus systémiques ou transformationnelles, qui modifient fondamentalement l'exploitation et son mode de production. À la lumière de ces considérations, des stratégies (d'adaptation) climatiques élaborées sont nécessaires.



Exemple de coûts de transfert : Une exploitation agricole produisant des légumes par irrigation intensive investit dans un nouveau système d'irrigation plus efficace, mais à forte intensité de capital. Toutefois, en raison de la baisse du niveau des nappes phréatiques, la quantité d'eau douce utilisable pour l'irrigation est constamment rationnée et la production de légumes n'est plus possible sous sa forme initiale. Si

l'exploitation envisage maintenant de passer à une agriculture intensive en eau ou à d'autres activités génératrices de revenus, l'investissement dans le nouveau système d'irrigation a augmenté les coûts de transfert. Cela signifie que les coûts de passage d'une mesure d'adaptation à la mesure d'adaptation suivante ont augmenté en raison de l'investissement.

Incertitude

Comme évalué précédemment, l'incertitude est l'un des principaux défis de l'adaptation au changement climatique - également au niveau de l'exploitation agricole. Selon Marchau et al. (2019), l'incertitude est une connaissance limitée des événements futurs, passés ou actuels. Cela s'applique au changement climatique. Ce que nous savons des impacts potentiels futurs du changement climatique est basé sur des modèles climatiques et des projections climatiques dérivées. Les projections sur la manière dont le climat changera à l'avenir sont sujettes à de grandes incertitudes (GIEC, 2014b). La manière dont ce changement des paramètres climatiques aura un impact sur les différents pays, régions ou exploitations agricoles est encore plus incertaine. Tout d'abord, il existe une incertitude inhérente à la trajectoire du monde. Dans le contexte du changement climatique, cela implique que les hypothèses sur l'évolution des émissions de GES ne sont que des scénarios de futurs possibles, et non des prédictions. Deuxièmement, la modélisation du climat repose sur notre compréhension limitée de la fonction physique du système climatique et de son interaction avec les forçages externes et internes. Cela inclut une connaissance limitée des mécanismes de contrôle et des rétroactions non linéaires dans le système climatique (Chapin III et al., 2011), par exemple les mécanismes d'auto-renforcement tels que le dégel du pergélisol, l'augmentation des incendies de forêt ou l'assèchement des zones humides (Lenton et al., 2008), qui entraînent une libération fondamentale d'émissions de gaz à effet de serre. Ces effets d'autorenforcement s'accompagnent d'une incertitude quant au moment où les seuils possibles sont atteints et où des changements brusques se produisent dans le système climatique (Rockström et al., 2009). Troisièmement, la modélisation climatique repose sur des hypothèses et des simplifications qui limitent la représentation de la réalité (GIEC, 2014b). Étant donné que les incidences potentielles sur le climat sont principalement dérivées des projections climatiques, les incertitudes se répercutent en cascade (Refsgaard et al., 2013) et augmentent en raison de la complexité du système homme-environnement-climat. De même qu'il est impossible de prévoir le succès ou l'échec de l'arrêt ou de la modération du changement climatique, il n'est pas possible d'anticiper avec certitude la capacité des systèmes humains et naturels à s'adapter à des conditions climatiques nouvelles et changeantes.

Ce qui rend les projections des impacts climatiques particulièrement incertaines, c'est la complexité de l'interaction entre les réponses au changement climatique des différentes composantes du système humain-écologique et la rétroaction qui s'ensuit avec le changement climatique. Jones et al. (2014) décrivent le changement climatique comme une interaction d'environnements complexes avec des valeurs conflictuelles, ce qui fait du changement climatique un problème complexe. Cela implique d'importantes incertitudes scientifiques, diverses interprétations du problème par les différents acteurs et une grande

ambiguïté sur la manière dont les solutions peuvent être conçues et mises en œuvre. Sur la base de ces aspects, l'agriculture peut également être perçue comme un problème complexe.

La raison en est la complexité des systèmes agricoles. Dans l'agriculture, divers systèmes environnementaux et sociaux (par exemple, le sol, l'eau, la biodiversité, l'évolution du marché, les décisions politiques, etc.

Complexité

La production agricole et l'exploitation individuelle sont en interaction complexe avec différents systèmes interdépendants (environnement social et agroécosystème). Ces systèmes se composent à leur tour de différents éléments (agroécosystème : sol, eau, biodiversité, etc. ; environnement social : marchés, politique, partenaires, etc.

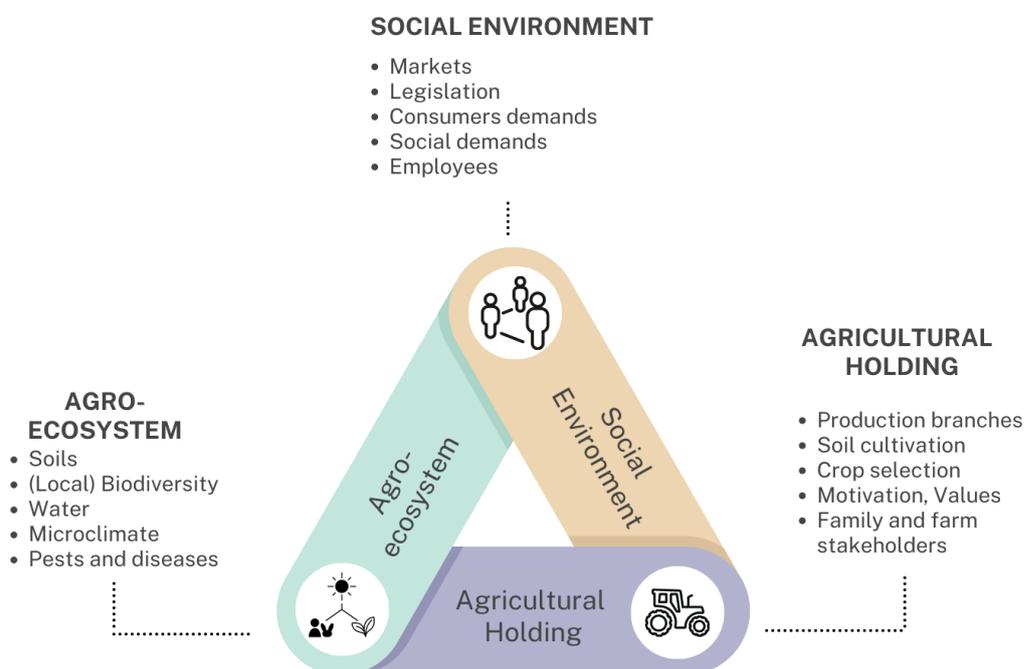


Figure 3 : Complexité au niveau de l'exploitation - représentation propre

Ainsi, même en l'absence de changement climatique, il existe un niveau élevé de complexité au niveau des exploitations agricoles, avec des interactions et des impacts multiples et souvent imprévus. Toutefois, le changement climatique amplifie cette complexité.

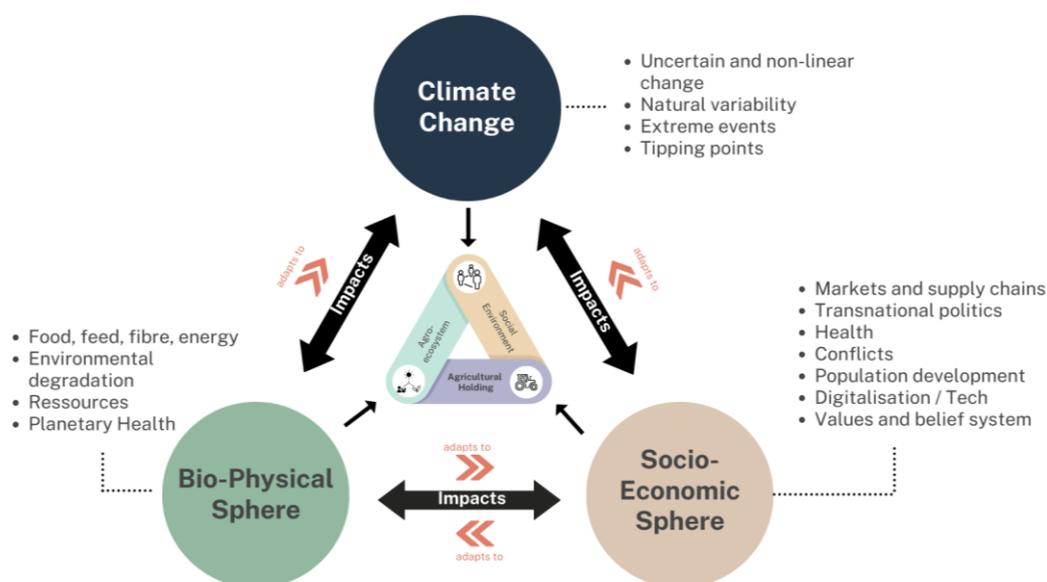


Figure 4 : Complexité croissante au niveau de l'exploitation en raison du changement climatique - représentation propre

Les systèmes qui interagissent avec l'agriculture sont également affectés par le changement climatique. Cependant, on ne sait pas comment ils seront affectés et, plus important encore, quelles seront les réponses (adaptation) de chaque système. Comme ces réponses sont interdépendantes et s'influencent mutuellement, l'incertitude sur les impacts directs et indirects potentiels du climat au niveau de l'exploitation s'accroît. En outre, les réactions des agriculteurs auront également un impact sur les systèmes environnementaux et sociaux connexes. En somme, ces réactions influenceront à leur tour l'émission de nouveaux gaz à effet de serre et donc le développement de la crise climatique. En conséquence, les agriculteurs doivent s'adapter à l'ensemble des impacts possibles du changement climatique, qui comprennent des changements biophysiques, sociaux, culturels, politiques et économiques (Rickards et Howden, 2012). En raison de cette complexité, l'agriculture et le changement climatique peuvent être considérés comme des sources d'"incertitude profonde". De plus amples informations sur l'incertitude profonde sont disponibles dans la section "Contexte théorique : Méthodes et fondements".



L'exemple de l'agriculture et de l'eau douce peut être utilisé pour illustrer le problème de l'interdépendance des impacts du changement climatique : Le changement climatique influence déjà les régimes de précipitations et la disponibilité de l'eau dans diverses régions du monde. Cela a des effets directs sur la production agricole, par exemple une diminution du bilan hydrique des sols ou des quantités limitées d'eau pour l'irrigation et l'élevage. Les effets indirects sont l'augmentation du prix de l'eau et les conflits potentiels avec d'autres utilisateurs d'eau. Cependant, les pratiques de gestion des terres affectent également les ressources en eau par le lessivage des nutriments, l'érosion des sols et la pollution. Les effets négatifs peuvent être exacerbés par le changement

climatique, par exemple par des taux d'érosion plus élevés en raison de fortes précipitations (en particulier en hiver) et d'un manque de couverture du sol, ce qui entraîne une augmentation du lessivage des éléments nutritifs et des apports de polluants. Dans le même temps, l'effet de dilution pourrait être réduit en raison d'une diminution globale des précipitations. Cela réduirait encore les ressources en eau disponibles et donc la disponibilité de l'eau pour l'agriculture.

En résumé, le changement climatique modifie considérablement l'environnement biophysique et socio-économique dans lequel l'agriculture est pratiquée. Ce phénomène a affecté et affectera l'agriculture de nombreuses manières différentes et incertaines. Il est donc difficile de planifier le développement des exploitations ou les stratégies d'adaptation. Par conséquent, cette incertitude doit être activement intégrée dans le processus de planification.

Faire face à l'incertitude

De nombreuses mesures d'adaptation pour l'agriculture sont connues. Cependant, la question clé est de savoir quelles mesures et stratégies augmentent la résilience d'une exploitation agricole sur un large éventail de développements futurs possibles (Abbasi et al., 2020) et s'adaptent aux structures, à la géographie et aux objectifs de l'exploitation. Ignorer l'existence de l'incertitude facilite le processus de planification, mais peut avoir de graves conséquences à l'avenir (Marchau et al., 2019). Cela peut entraîner une réduction de la flexibilité à l'avenir ou une faible efficacité de l'adaptation (Abbasi et al., 2020). En clair, cela signifie qu'en l'absence de planification, une décision à court terme peut limiter les options d'adaptation au climat à long terme ou en augmenter les coûts. Pour éviter cela, l'incertitude doit être intégrée dans la planification de l'adaptation au niveau de l'exploitation.

La planification de l'avenir inclut nécessairement une évaluation des changements possibles mais incertains (Marchau et al., 2019). Pour résoudre ce problème, les stratégies correspondantes ont généralement été conçues à l'aide de scénarios. Un scénario décrit un état potentiellement possible de l'avenir sans faire de prédiction spécifique (Jones et al., 2014). Après avoir élaboré des scénarios plausibles, on leur attribue des probabilités. En fonction de la probabilité des scénarios, les décideurs peuvent choisir une stratégie. Cette approche est également appelée "prédire puis agir" (voir par exemple Barnard et Nix, 1979) et constitue également la base de la gestion traditionnelle des risques. Cette approche est problématique pour la planification de l'adaptation, car nous ne pouvons pas attribuer de manière fiable des probabilités à certains scénarios. En outre, l'avenir réel peut se situer en dehors des scénarios élaborés, ce qui rend les stratégies correspondantes inefficaces et/ou inefficaces.

Les processus d'adaptation dans un contexte d'incertitude profonde nécessitent une approche fondée sur l'observation, la préparation, l'apprentissage et l'adaptation continue. La flexibilité et la capacité à réagir rapidement à de nouvelles informations ou à des conditions changeantes sont des caractéristiques essentielles d'un système résilient (Marchau et al., 2019). Cette approche, également appelée gestion itérative des risques, repose sur un processus continu d'évaluation, d'action, d'observation et de réévaluation (Jones et al., 2014).

Le terme itératif met en évidence le processus d'adaptation climatique, en mettant l'accent sur l'apprentissage et la flexibilité et en visant à développer des stratégies dynamiques et adaptatives.

Adaptation réussie et inadaptation

Ignorer l'incertitude ainsi que les rétroactions et les interactions au sein des différents systèmes et entre eux peut conduire à la maladaptation. Il existe de nombreuses définitions de la maladaptation, mais la plupart ont en commun de faire référence aux conséquences négatives des politiques et stratégies d'adaptation (Neset et al., 2019). Pour comprendre le problème de la maladaptation, il est fondamental de comprendre les dimensions temporelles et spatiales de l'adaptation. En fonction du moment de l'évaluation, on se retrouve dans la situation paradoxale où une mesure peut être évaluée comme positive ou négative en même temps.



Exemple construit de mauvaise adaptation : La construction d'une étable laitière climatisée est un moyen efficace de réduire les baisses de rendement laitier résultant de l'augmentation des vagues de chaleur. À court terme, cette mesure d'adaptation contribue de manière relativement sûre à rendre l'exploitation plus résistante aux vagues de chaleur. Toutefois, si à l'avenir les sécheresses prolongées sont telles que la production de fourrage dans la région touchée est considérablement réduite et que l'élevage laitier devient non rentable, la nouvelle et coûteuse étable climatisée se révélera inadaptée - surtout si cette situation se produit avant que l'étable ne soit entièrement amortie, ce qui représente généralement une période de 20 à 30 ans.

En outre, ce qui peut ou ne peut pas être considéré comme une mauvaise adaptation dépend de la manière dont le succès des mesures d'adaptation est évalué.

Noble et al. (2014) décrivent un "besoin d'adaptation" comme un écart entre l'état futur souhaité d'un système et les contraintes résultant du changement climatique réel ou prévu. Une mesure d'adaptation est efficace si elle permet de répondre à ce besoin d'adaptation (on pourrait également parler d'un objectif défini). Cela pose problème, car les besoins d'adaptation sont spécifiques à chaque exploitation et diversifiés. En outre, ils évoluent de manière dynamique et peuvent changer au fil du temps. Tout comme le changement climatique et ses conséquences. Cela signifie que l'adaptation est un processus continu qui doit évoluer en fonction du changement climatique, des nouvelles informations, des changements au sein et autour de l'exploitation, ainsi que des normes et valeurs sociales. Par conséquent, le succès des mesures climatiques doit toujours être évalué en fonction des objectifs spécifiques de l'exploitation et de la dimension temporelle.

Outre l'efficacité de l'adaptation, l'efficience est également importante. Cependant, l'efficacité de l'adaptation ne peut être réduite à un simple rapport entre les coûts et les bénéfices. D'une part, parce que divers avantages, également non monétaires, sont recherchés (par exemple, le soutien à la biodiversité) et, d'autre part, parce qu'il n'est pas possible de calculer tous les coûts et avantages potentiels face à une incertitude (profonde).

En outre, la dimension temporelle est également centrale ici. Ce qui n'est pas efficace à court terme d'un point de vue coût-bénéfice peut s'avérer être un investissement rentable à long terme, rendant l'opération plus robuste et résiliente.

 Exemple : dimension temporelle et efficacité : La mise en place d'un système agroforestier sur un site sujet à l'érosion nécessite - à court terme - des investissements et du travail avec peu ou pas de bénéfices (financiers) en même temps. Toutefois, à moyen et long terme, l'investissement dans l'agroforesterie permet de réduire le risque d'érosion et d'améliorer la gestion de l'eau dans la région, tout en apportant des bénéfices financiers supplémentaires. En outre, il existe de nombreux effets positifs qui ne peuvent être directement monétisés, par exemple pour la biodiversité locale.

Outre la dimension temporelle de l'adaptation, la dimension spatiale est également importante. La dimension spatiale fait référence aux effets secondaires possibles des mesures d'adaptation. Il s'agit principalement d'effets négatifs sur d'autres personnes ou systèmes naturels - ce que l'on appelle les externalités négatives.

 Exemple d'externalités négatives : L'irrigation intensive peut stabiliser les rendements et les revenus d'une exploitation agricole, mais elle peut aussi avoir des effets négatifs tels que la baisse du niveau des nappes phréatiques et la pénurie d'eau qui en découle. Cette situation aurait à son tour des répercussions négatives sur les autres utilisateurs d'eau.

Une question importante dans ce contexte est de savoir si la maladaptation peut résulter uniquement des mesures d'adaptation ou si elle peut également résulter d'autres décisions de gestion. Bien que la définition ci-dessus exclue cette possibilité, il s'agit d'une considération importante.

En général, la mise en œuvre de mesures d'adaptation n'est pas uniquement motivée par les menaces liées au changement climatique, mais combine des motivations multiples. De même, les décisions prises sans tenir compte du changement climatique peuvent également affecter la capacité d'adaptation future de l'exploitation. Il est donc conseillé de prendre en compte le contexte du changement climatique dans toutes les décisions ou de l'intégrer fermement dans la gestion de l'exploitation.

RÉSUMÉ - Gestion du changement climatique

- Au niveau de l'exploitation, les termes suivants sont utilisés :
 - **Impact climatique** : risques climatiques (par exemple, nouveaux ravageurs et maladies) et impacts climatiques (par exemple, pertes de rendement, coûts vétérinaires plus élevés, etc.)



- **Vulnérabilité (agricole)** : La prédisposition d'une exploitation à subir les effets négatifs des changements réels ou prévus des paramètres climatiques.
- **Résilience (agricole)** : La capacité d'une exploitation agricole à rester fonctionnelle et à atteindre ses objectifs en dépit d'un éventail de changements et de perturbations, y compris la capacité d'apprendre et de s'adapter après des chocs ou en réponse à de nouvelles connaissances.
- **La protection du climat et l'adaptation au changement climatique sont toutes deux nécessaires pour lutter contre le changement climatique.** Au niveau de l'exploitation, les deux doivent être prises en compte et les mesures correspondantes doivent être planifiées ensemble afin d'exploiter les synergies.
- **L'adaptation est la planification et la mise en œuvre de mesures visant à atténuer les effets négatifs du changement climatique et à tirer parti des évolutions positives.**
 - L'adaptation est censée permettre à une exploitation agricole d'**agir de manière préventive** (afin de réduire les risques) et de **réagir avec souplesse face** à des changements climatiques et non climatiques brusques et imprévus.
- **Défi majeur : Incertitude** concernant le changement climatique et ses effets
 - **L'incertitude doit être intégrée** dans le processus d'adaptation
 - **L'adaptation** doit être considérée **comme un processus continu** basé sur l'observation, la préparation et l'apprentissage.
 - En l'absence d'une planification adéquate, les mesures d'adaptation peuvent s'avérer inadaptées.
 - **Maladaptation** : Conséquences négatives des décisions d'adaptation qui entravent la capacité d'adaptation d'une exploitation ou entraînent des effets externes négatifs.
- **Il est difficile de déterminer le succès de l'adaptation**, car il dépend de la dimension temporelle et spatiale de l'observation. Cela signifie qu'il **n'existe pas de mesures d'adaptation "universelles"**
 - Au niveau de l'exploitation, les **objectifs individuels de l'exploitation sont déterminants pour vérifier le succès des mesures d'adaptation.**
- **Une adaptation climatique réussie est une tâche difficile et nécessite donc une approche globale pour être efficace et fructueuse à long terme.**
- **Le projet ClimateFarming combine des approches et des méthodes issues de la gestion de l'adaptation et de l'agriculture régénérative afin de fournir une**



approche globale permettant une planification réussie de l'adaptation au niveau de l'exploitation.

Références

Abbasi, H., Delavar, M., Nalbandan, R. B., and Shahdany, M. H. (2020). Robust strategies for climate change adaptation in the agricultural sector under deep climate uncertainty. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pages 1–20.

Barnard, C. S., and Nix, J. (1979). *Farm planning and control*. Cambridge University Press.

Chapin III, F. S., Matson, P. A., and Vitousek, P. (2011). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer Science & Business Media.

Füssel, H.-M. and Klein, R. J. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic change*, 75(3):301–329.

Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate change. *Global environmental change*, 19(2):240–247.

IPCC, 2014a: Annex II - Glossary . In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1557-1776.

IPCC, 2014b: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC, 2018: Annex I: Glossary [Matthews, J.B.R. (ed.)]. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 541-562, doi:10.1017/9781009157940.008.

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate*

Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-33

Joakim, E. P., Mortsch, L., and Oulahan, G. (2015). Using vulnerability and resilience concepts to advance climate change adaptation. *Environmental Hazards*, 14(2):137–155.

Jones, R., Patwardhan, A., Cohen, S., Dessai, S., Lammel, A., Lempert, R., Mirza, M. Q., and von Storch, H. (2014). Foundations for decision making. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pages 195–228. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kalra, N., Hallegatte, S., Lempert, R., Brown, C., Fozzard, A., Gill, S., & Shah, A. (2014). Agreeing on robust decisions: new processes for decision making under deep uncertainty. *World Bank Policy Research Working Paper*, (6906).

Kwakkel, J. H. and Haasnoot, M. (2019). Supporting DMDU: A Taxonomy of Approaches and Tools. In *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, pages 355–375. Springer Nature.

Lenton, T. M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S., and Schellnhuber, H. J. (2008). Tipping elements in the earth's climate system. *Proceedings of the national Academy of Sciences*, 105(6):1786–1793.

Marchau, V. A., Walker, W. E., Bloemen, P. J., and Popper, S. W. (2019). Introduction. In *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, pages 1–20. Springer Nature.

Neset, T.-S., Wiréhn, L., Klein, N., Käyhkö, J., and Juhola, S. (2019). Maladaptation in nordic agriculture. *Climate Risk Management*, 23:78–87.

Noble, I. R., Huq, S., Anokhin, Y. A., Carmin, J., Goudou, D., Lansigan, F. P., Osman-Elasha, B., and Villamizar, A. (2014). Adaptation needs and options. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pages 833–868. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Park, S. E., Marshall, N. A., Jakku, E., Dowd, A. M., Howden, S. M., Mendham, E., and Fleming, A. (2012). Informing adaptation responses to climate change through theories of transformation. *Global Environmental Change*, 22(1):115–126.

Porter, J., Xie, L., Challinor, A., Cochrane, K., Howden, S., Iqbal, M., Lobell, D., Travasso, M., et al. (2014). Food security and food production systems. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pages 485–533. Cambridge University



Cofinancé par
l'Union européenne



Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Refsgaard, J. C., Arnbjerg-Nielsen, K., Drews, M., Halsnæs, K., Jeppesen, E., Madsen, H., Markandya, A., Olesen, J. E., Porter, J. R., and Christensen, J. H. (2013). The role of uncertainty in climate change adaptation strategies—a danish water management example. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(3):337–359.

Rickards, L. and Howden, S. M. (2012). Transformational adaptation: agriculture and climate change. *Crop and Pasture Science*, 63(3):240–250.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., et al. (2009). A safe operating space for humanity. *nature*, 461(7263):472–475.

Wreford, A., Moran, D., and Adger, N. (2010). *Climate change and Agriculture: Impacts, Adaptation and Mitigation*. OECD publishing.

Leçon 3 : L'agriculture régénératrice : Une solution possible

Alena Holzknrecht, Janos Wack

Dans ce chapitre, nous souhaitons donner un aperçu des origines et des différentes compréhensions de l'agriculture régénératrice (AR) et de la manière dont elle est liée à d'autres approches agricoles alternatives. En outre, nous aborderons brièvement des sujets tels que les certificats/crédits carbone et les parties prenantes dans le domaine de l'AR, la santé/qualité des sols et les options d'atténuation des gaz à effet de serre (GES) dans les exploitations agricoles. Enfin, nous discuterons de certaines données issues de la recherche, ainsi que des lacunes dans les connaissances en matière d'agriculture alternative.

Après avoir lu ce chapitre, le lecteur devrait être en mesure d'identifier une définition de l'AR avec laquelle il est d'accord, ou de formuler sa propre définition. Un autre objectif est d'être capable d'évaluer de manière critique les acteurs de l'AR et leurs pratiques, ainsi que de se faire sa propre opinion sur les discussions actuelles dans le domaine.

Avvertissement : la documentation fournie ne représente pas nécessairement notre compréhension de l'agriculture régénératrice, mais les auteurs pensent qu'il est important de connaître une variété de sources, y compris des sources controversées, afin de se faire sa propre opinion et d'afficher les discussions actuelles dans ce secteur. Nous vous invitons à lire avec un esprit critique et à remettre en question la méthodologie des succès revendiqués.

Ce chapitre comprend des extraits de deux mémoires de maîtrise sur l'agriculture régénératrice :

- **Un mémoire de maîtrise par Lærke Daverkosen & Alena Holzknrecht**
- **Mémoire de maîtrise de Janos Wack**
(rédigé à l'origine en allemand, traduit par le CEFE)

Préface

Pour faire face aux problèmes et aux défis auxquels l'agriculture est confrontée, tels qu'ils sont décrits dans le chapitre précédent, de nombreuses approches différentes seront nécessaires. Parmi les solutions modernes qui font l'objet de discussions et sont partiellement mises en œuvre à différentes échelles, on peut citer l'irrigation intensive, le génie génétique, la numérisation et l'agriculture intelligente, l'agriculture intensive spécialisée, l'agriculture hors-sol, l'agriculture en milieu contrôlé ou la pollinisation alternative par l'homme ou par les robots. Nombre d'entre elles sont à forte intensité de capital, nécessitent des solutions de haute technologie ou abordent les problèmes en traitant les symptômes de systèmes défaillants, ce qui ne peut qu'atténuer une certaine pression localement ou momentanément. Dans la plupart des cas, elles entraînent également une dépendance accrue à l'égard des intrants externes, dont le sujet a été abordé dans la section "*Problèmes et défis*". En l'absence d'ajustements structurels globaux, d'autres problèmes, éventuellement inattendus, peuvent survenir.

Il est important de rappeler que nous traitons de contextes différents qui ont tous leurs

propres défis inhérents au niveau environnemental, social et économique. Giller et al. (2021) soulignent que la grande variété de politiques, d'agroécosystèmes, de systèmes alimentaires et agricoles spécifiques au contexte aborde des questions différentes. Par conséquent, il n'existe pas d'ensemble spécifique de pratiques ou de définition significative du problème qui permette de relever tous les défis de la même manière. Dans certains contextes, certaines des solutions ci-dessus, ou une combinaison de celles-ci, peuvent s'avérer judicieuses.

Nous ne prétendons pas explorer le sujet de la RA dans son intégralité en raison de sa complexité et du fait que les discussions à ce sujet évoluent rapidement, tant dans le domaine scientifique que dans celui du grand public. Cependant, il existe quelques sujets principaux au cœur de notre compréhension de la RA qui abordent les défis multiples et multidimensionnels de l'agriculture d'aujourd'hui d'une manière holistique. Cela permet de s'adapter au changement climatique en tenant compte d'une grande variété de facteurs environnementaux, sociaux et économiques et en les traduisant en actions qui se traduisent par une plus grande résilience et une meilleure qualité de vie sur l'exploitation et autour de l'exploitation.

Histoire de l'agriculture régénératrice

Le mot régénération vient du latin genero [produire ou procréer] et re- [revenir ou recommencer]. Utilisé en biologie, le terme s'applique au processus de restauration et de croissance (Hermani 2020). Dans une perspective agricole, cela peut se traduire par la restauration du sol, ce qui signifie que l'application des pratiques d'AR dépend de l'état actuel de la terre cultivée. Le terme "régénération" met l'accent sur une réorientation qui consiste non seulement à réduire les dommages et les dégâts, mais aussi à créer des résultats environnementaux et sociétaux positifs (Robinson & Cole 2015).

C'est généralement le fils du pionnier américain de l'agriculture biologique, J. I. Rodale, qui a été mentionné pour la première fois au début des années 1980. Toutefois, le terme a également été utilisé par Gabel (1979, cité d'après Giller et al. 2021), et son origine n'est donc pas claire. Robert Rodale, fils du pionnier de l'agriculture biologique Jeremy Rodale, a parlé de l'agriculture régénérative dans son article *Breaking New Ground : The Search for a Sustainable Agriculture* (Rodale 1983). Il envisageait une agriculture allant au-delà du système actuel et "au-delà de la durabilité, pour renouveler et régénérer nos ressources agricoles (Rodale 1983)" (Mang & Reed 2012 ; Hermani 2020). Cet objectif devrait être atteint en mettant l'accent sur la restauration, "qui, en augmentant la productivité, augmente la base de production biologique des terres et des sols [...] elle a un impact minimal ou nul sur l'environnement au-delà des limites de l'exploitation ou du champ (Rodale 1983)". Même si Rodale a été le premier à inventer le terme "régénérateur", les pionniers de la permaculture avaient déjà introduit en 1978 une approche écologique mettant l'accent sur le potentiel régénérateur des systèmes écologiques en modifiant la relation de l'homme à la nature (Mang & Reed 2012).

Tout au long des années 1990, le terme d'agriculture régénérative est devenu quasiment invisible dans la littérature et la recherche agricoles. Cette absence s'est produite parallèlement au développement des premières certifications biologiques et à

l'institutionnalisation de l'agriculture biologique (Hermani 2020). En 1994, cinq principes ont été formulés, les points "protéger et revitaliser le sol", "biodiversité" et "intégrer les animaux" (Lyle 1994 après Hermani 2020) étant particulièrement pertinents pour la compréhension actuelle de l'agriculture régénérative.

Au début du nouveau millénaire, des pionniers ont recommencé à utiliser ce terme et à pratiquer l'agriculture selon les idées correspondantes. Depuis 2010, un nombre croissant d'acteurs communiquent leur vision de l'agriculture régénératrice en public. La création de "Regeneration International" en 2015, une fondation internationale dont l'objectif ambitieux est "d'inverser le réchauffement climatique et de mettre fin à la faim dans le monde en facilitant et en accélérant la transition mondiale vers une agriculture et une gestion des terres régénératrices (Regeneration International 2019)", a constitué une étape importante dans l'attention accrue portée à l'agriculture régénératrice, qui a été détectée à la fois dans la littérature grand public et universitaire au cours des dernières années (Hermani 2020). En outre, l'agriculture régénérative a attiré l'attention des politiques et a été répertoriée comme une "pratique de gestion durable des terres (GIEC 2019)" dans le rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les terres en 2019.

Définitions

Le terme "agriculture régénérative" n'est pas protégé et ne fait pas l'objet d'une définition uniforme (Elevitch et al. 2018), ce qui laisse une grande marge d'interprétation. D'une part, l'absence de définition unifiée peut conduire à de fortes simplifications en assimilant l'AR à l'agriculture du carbone, par exemple (Newton et al. 2020). D'autre part, il existe une demande sur la scène pour adopter une approche aussi holistique que possible au niveau de l'écosystème individuel, ce qui rejette une définition uniforme (Soloview et Landua 2016). Alors que certaines définitions incluent certaines pratiques ou principes agricoles (par exemple, la rotation des cultures), d'autres définissent le terme en excluant des pratiques (par exemple, le travail du sol, l'utilisation d'herbicides). En outre, les différentes définitions peuvent être divisées en fonction de l'accent mis sur les pratiques utilisées (par exemple, le semis direct), le résultat de l'action (par exemple, l'amélioration de la qualité du sol) ou un mélange des deux approches (Newton et al. 2020). Ce point est particulièrement important lorsqu'il s'agit de certifications, car le suivi des réussites dépend de la définition exacte que l'on en donne. L'agriculture biologique, par exemple, est définie en fonction des intrants : Les pesticides, les herbicides, les engrais synthétiques, etc. sont des intrants qui ne sont pas autorisés. Les pesticides, les herbicides, les engrais synthétiques, etc. sont des intrants interdits. Cependant, pour la certification, les pratiques de travail du sol auxquelles une exploitation biologique adhère n'ont pas d'importance. Néanmoins, de nombreuses approches de l'agriculture régénératrice ont en commun l'objectif d'améliorer la qualité des sols (Schreefel et al. 2020). Schreefel et al. (2020) proposent également une définition concrète pour la normalisation internationale du terme, sur la base d'une analyse des publications scientifiques antérieures et des approches définitionnelles :



"Une approche de l'agriculture qui utilise la conservation des sols comme point de départ pour la régénération et la contribution à de multiples services d'approvisionnement, de régulation et de soutien, dans le but d'améliorer non seulement les dimensions environnementales mais aussi sociales et économiques de la production alimentaire durable (Schreefel et al. 2020)".

Les auteurs de la publication susmentionnée avaient l'intention de lancer un vaste débat et d'élaborer des critères de référence pour les prochaines étapes. D'ici quelques années, une définition scientifique uniforme pourrait être trouvée au niveau international.

Une autre définition a été proposée par Daverkosen et Holzkecht et al. (2022) :

"Nous définissons l'agriculture régénératrice comme une approche agricole en constante évolution, complexe et dépendante du contexte, qui vise à restaurer et à régénérer les terres dégradées et à contribuer à l'adaptation au changement climatique avec des avantages connexes en termes d'atténuation. Dans l'AR, le sol est le point d'entrée pour repenser les systèmes alimentaires dans le but d'améliorer les services écosystémiques biologiques, physiques, chimiques et culturels en réponse aux conditions écologiques et à la crise climatique, tant au niveau local que mondial (Daverkosen et Holzkecht et al. 2022)".

L'agriculture régénératrice doit donc être considérée comme un concept qui est encore en cours de développement et qui peut le rester en fonction de l'idée que s'en font les autres acteurs. Il s'agit d'un concept qui n'est pas universellement défini dans un domaine où les parties prenantes, les intérêts et les interprétations sont nombreux. En outre, il s'inscrit dans un nombre presque infini de contextes différents qui présentent tous des défis inhérents sur le plan environnemental, social et économique. Cela souligne le fait que sa définition peut évoluer et différer selon le contexte de son utilisateur.

Hermani (2020) distingue deux grands courants au sein de l'AR : un mouvement technico-économique et un mouvement agroécologique-ruraliste. Le premier est souvent caractérisé par de grandes entreprises agroalimentaires qui ne visent pas un changement de paradigme dans l'agriculture et aspirent à maintenir leur production. Le second poursuit une restructuration plus fondamentale (et peut-être radicale) des systèmes alimentaires. Cet argument est repris pour diviser le camp qui vise une vision holistique, centrée sur l'écosystème, contre l'application de pratiques uniques. D'autre part, certains grands acteurs, comme le groupe Syngenta, ont leur propre conception de l'agriculture biologique et influencent ainsi la manière dont elle est perçue par le public.

De nombreuses entreprises américaines telles que General Mills, Cargill, Lush cosmetics, Unilever et One Planet Business for Diversity (OP2B), une société commerciale comprenant Nestlé, Danone et L'Oréal, utilisent l'AR comme stratégie de promotion. Depuis 2017 environ, l'AR est devenue un nouveau mot à la mode pour de nombreuses entreprises, avec une approche plutôt réductrice consistant à appliquer des pratiques uniques dans un système inchangé, souvent sans normes claires et contraignantes (Beste 2019 ; Hermani 2020 ; Giller et al. 2021). Bien qu'elles appliquent des pratiques considérées comme régénératrices, les mises en œuvre ne tiennent pas compte des interactions et de la complexité qui seront développées plus loin. Garder les définitions ouvertes et dynamiques peut être un moyen de contribuer à un développement continu de la compréhension, de la pratique et de l'expansion de l'AR (Soloviev & Landua 2016), mais cela peut aussi être une arme à double tranchant, permettant la cooptation du terme par les grandes entreprises.

Il existe toutefois des dénominateurs communs sur lesquels la plupart des parties prenantes de l'agriculture régénératrice s'accordent. Selon Elevitch et al. 2018, Newton et al. 2020 et Schreefel et al. 2020, l'agriculture régénératrice devrait produire les résultats suivants :

- Favoriser la santé des sols
- Augmenter l'infiltration et la rétention de l'eau
- Augmenter et préserver la biodiversité
- Stocker le carbone
- Créer des agroécosystèmes plus résistants

D'autres résultats et co-bénéfices déclarés sont l'amélioration des bassins versants et des ressources en eau, l'amélioration des services écosystémiques et de la santé, la fermeture des boucles de nutriments, la réduction des émissions de GES, une productivité agricole identique ou supérieure, l'amélioration du bien-être animal, l'amélioration du bien-être social et économique des communautés et des moyens de subsistance ruraux, l'amélioration de l'accès à l'alimentation, de la sécurité et de la qualité nutritionnelle, les systèmes circulaires et la réduction des déchets (Rodale Institute 2014 ; Elevitch et al. 2018 ; Al-Kaisi & Lal 2020 ; Newton et al. 2020 ; Giller et al. 2021).

Jusqu'à présent, les concepts correspondants ont principalement été développés et présentés publiquement par des praticiens. Au niveau international, il existe plusieurs agriculteurs populaires qui présentent leurs concepts régénératifs et leurs exploitations dans des conférences, des films ou des livres (par exemple Brown 2018 ; Perkins 2019 ; Savory 2013). Sur la base des succès qui y sont décrits, ceux-ci ont une forte influence sur la scène et sa compréhension du terme. Les systèmes agricoles possibles qui correspondent aux objectifs envisagés de l'agriculture régénératrice peuvent inclure le labour de conservation, l'agriculture biologique, l'agroforesterie, le pâturage multiparc, la permaculture et le réensauvagement / "rewilding" (Burgess et al. 2019). Au sein de ces pratiques, de nombreuses pratiques individuelles peuvent être appliquées (le tableau 1 présente quelques exemples).



Catégorie opérationnelle	Mesures pratiques
Gestion et planification	<ul style="list-style-type: none">- Gestion holistique- en tenant compte du contexte de l'exploitation et des conditions régionales- Planification de l'exploitation agricole en mettant l'accent sur l'eau en tant que ressource (ligne-clé - échelle de permanence)- Agriculture soutenue par la Communauté
Intrants et flux de matières	<ul style="list-style-type: none">- L'économie circulaire au niveau de l'exploitation et de la région- Utilisation du compost- Thé de compost- Biochar, Terra-Preta- Produits de fermentation- Biomasse ligneuse et broyats de branches fraîches- Utilisation ciblée de la mycorhize- Analyse du sol et fertilisation selon Albrecht/Kinsey
Utilisation globale des sols	<ul style="list-style-type: none">- Augmenter la diversité des plantes- Réduction des intrants synthétiques (pulvérisations et engrais)- Travail à cheval- Agroforesterie- Modèle de gestion selon la conception keyline- L'agriculture en séquence naturelle- Ré-ensauvagement ("Rewilding")
Cultures arables et maraîchères	<ul style="list-style-type: none">- Rotation de cultures diversifiée- Laisser les résidus de cultures et de racines à la surface- Labour occasionnel, culture sans labour, travail minimum du sol, semis direct- Couverture permanente du sol : cultures de couverture, semis sous couvert, cultures dérobées, systèmes de paillage, engrais verts- Racines vivantes permanentes dans le sol- Cultures mixtes

	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de cultures pérennes (par exemple, céréales pérennes) - Intégration des animaux dans les cultures arables - Production bio-intensive de légumes ("maraîchage")
Élevage d'animaux	<ul style="list-style-type: none"> - Élément essentiel - Les animaux façonnent les écosystèmes - Augmenter la diversité du bétail - Gestion holistique des pâturages : gestion adaptative des pâturages en rotation, pâturage collectif, pâturage holistique planifié. - Culture en pâturage

Tableau 1 : *Vue d'ensemble des mesures pratiques possibles d'une économie régénératrice Structurée selon les champs d'application possibles au sein d'une exploitation agricole (Compilation et présentation propres ; Sources : Brown 2018 ; Burgess et al. 2019 ; Fortier 2014 ; General Mills 2021 ; LaCanne et Lundgren 2018 ; Merfield 2019 ; Newton et al. 2020 ; Perkins 2019 ; Rodale Institute 2014 ; Savory et Butterfield 2017 ; Shephard 2013).*

L'Institut Rodale (2014) affirme que, grâce à la RA, l'agriculture devient une "entreprise à forte intensité de connaissances", au lieu d'une "entreprise à forte intensité de produits chimiques et de capitaux (ibid)", ce qui appelle à un changement d'état d'esprit et à des systèmes alimentaires complets plutôt qu'à l'application isolée de pratiques susceptibles de séquestrer du carbone.

Intrants synthétiques

Le terme original d'agriculture régénératrice de l'Institut Rodale n'incluait pas de point de vue spécifique sur les intrants synthétiques. Alors que beaucoup affirment que l'utilisation d'engrais, de pesticides et d'insecticides de synthèse ne peut pas faire partie des systèmes régénératifs, les partisans d'approches plus réductionnistes de l'agriculture régénérative soutiennent qu'une perturbation minimale du sol et donc la séquestration du carbone ne sont possibles qu'avec des intrants de synthèse (par exemple, Giller et al. 2015 ; Regenerative Organic Alliance 2018). En réponse à la discordance concernant les intrants synthétiques, l'Institut Rodale, qui a initialement inventé le terme d'agriculture régénératrice, se réfère désormais exclusivement à "l'agriculture biologique régénératrice" (Rodale Institute 2014). Par ailleurs, certains courants considèrent que des méthodes telles que CRISPR/Cas9 peuvent être utilisées dans le cadre de l'agriculture régénérative.

Excursus : La santé des sols

Selon Mitchell et al. (2019), le concept de santé des sols est basé sur la perception du sol comme une entité biologique vivante, ayant un impact sur la croissance



des plantes et étant entrelacé avec le bien-être des animaux, des humains et des écosystèmes. Il est associé à la dynamique du carbone organique du sol et à la fourniture de nutriments dans le continuum sol-plante-atmosphère et se concentre sur la sécurité alimentaire à long terme. Giller et al. (2021) mentionnent que la santé des sols a fait l'objet d'une plus grande attention en liaison avec l'agriculture régénératrice et, bien qu'il s'agisse d'un objectif positif, ils le qualifient de terme problématique, abstrait et qui doit être spécifié pour être mesurable.

Une brève histoire des agricultures alternatives

Tout au long du siècle dernier, divers mouvements en faveur d'une agriculture et de systèmes alimentaires alternatifs ont vu le jour. Différentes questions sont abordées, certaines de manière plus fondamentale et globale, d'autres dans le cadre de l'industrie existante. L'agriculture alternative a hérité une grande partie de sa signification actuelle de l'agroécologie, du mouvement biologique et des récentes découvertes en matière de science des sols. La question se pose de savoir si et en quoi l'agriculture raisonnée est différente des autres systèmes agricoles, comment ils se recoupent et pourquoi ce concept est accueilli avec un tel enthousiasme ces derniers temps. L'évaluation de la pertinence de la RA dans le paysage des agricultures alternatives nécessite la connaissance de leur histoire et de leur évolution.

Bon nombre des pratiques susmentionnées se retrouvent également dans les systèmes agricoles conventionnels ou autres et sont généralement considérées comme de bonnes pratiques agricoles (Giller et al. 2015). Souvent, d'autres systèmes agricoles alternatifs sont ouvertement inclus. Par exemple, Terra Genesis International intègre la perspective de conception de la permaculture et de l'agroécologie (Hermani 2020). L'agroécologie est souvent intégrée en raison de son potentiel élevé de piégeage du carbone en surface, et lorsque l'intégration des animaux ou des cycles fermés de nutriments est incluse dans la définition, elle repose souvent sur des pratiques de gestion holistiques (Soloviev & Landua 2016). Giller et al. (2021) affirment que le recadrage d'autres agricultures alternatives par le biais de l'agriculture régénératrice entraîne une confusion au lieu d'une clarification dans le débat public et détourne l'attention de défis plus essentiels. Cependant, l'AR pourrait avoir le potentiel de combler le fossé idéologique entre les différents camps agricoles et de les unir sous la prémisse de la santé des sols et de la séquestration du carbone. Certains des systèmes agricoles mentionnés ci-dessous peuvent être considérés comme des systèmes parmi d'autres au sein de l'agriculture régénératrice, avec l'augmentation de la teneur en éléments nutritifs (SOM) comme point d'intersection. Bossio et al. (2020) soulignent que la RA, l'agriculture biologique, l'agroécologie, l'agriculture intelligente face au climat, l'agroforesterie et la permaculture ne sont pas des systèmes qui s'excluent mutuellement et qu'ils peuvent avoir des effets positifs significatifs sur le COS dans certaines zones géographiques.



Agriculture biologique

L'agriculture biologique, telle que définie par l'assemblée générale de la Fédération internationale des mouvements d'agriculture biologique (IFOAM) (2008), "s'appuie sur les processus écologiques, la biodiversité et les cycles adaptés aux conditions locales, plutôt que sur l'utilisation d'intrants aux effets néfastes". Cela signifie qu'elle refuse les intrants synthétiques tels que les engrais, les pesticides, les herbicides et les additifs, ainsi que les semences génétiquement modifiées. L'accent est mis sur la gestion de l'écosystème spécifique au site afin de prévenir les ravageurs et les maladies et de maintenir la fertilité du sol (FAO 2021c) et repose sur les quatre principes de la santé, de l'écologie, de l'équité et de l'attention (IFOAM 2021).

Dans un récent document de synthèse, Organics Europe (2023) décrit les similitudes entre l'agriculture régénérative et l'agriculture biologique, mais indique aussi clairement que l'utilisation du terme "régénératif" est problématique car il n'est pas légalement protégé. En outre, dans de nombreuses définitions, l'agriculture régénérative n'interdit pas les intrants synthétiques et les OGM, ce qui facilite l'utilisation abusive du terme par les entreprises agroalimentaires industrielles. D'autre part, l'accent mis par l'agriculture régénératrice sur des résultats tels que l'augmentation du COS ou de la biodiversité n'est pas présent dans les normes biologiques et pourrait inciter les agriculteurs biologiques à améliorer leurs pratiques. Les principes fondamentaux de l'agriculture biologique, tels que l'équité, la souveraineté alimentaire et la justice, font rarement partie de la compréhension de l'agriculture régénératrice des entreprises, ce qui peut constituer une différence majeure entre les deux concepts. Les auteurs concluent que si l'agriculture régénératrice est utilisée dans les politiques et les environnements de marché, elle doit se fonder sur les règlements de l'UE relatifs à l'agriculture biologique.

Agroécologie

Le terme agroécologie est apparu pour la première fois dans des publications scientifiques dans les années 1930 et décrivait initialement une discipline scientifique. Dans les années 1980, différentes pratiques agricoles sont apparues sous le même nom, souvent liées à des mouvements sociaux qui se sont opposés à l'agriculture industrialisée après la révolution verte. L'agroécologie reste présente dans différents contextes et à différentes échelles à travers le monde et désigne aujourd'hui soit une discipline scientifique, soit une pratique agricole, soit un mouvement sociopolitique (Wezel et al. 2009).

L'agroécologie se caractérise par des concepts ascendants, régionaux et spécifiques au contexte, qui considèrent les producteurs autonomes possédant des connaissances pratiques (traditionnelles) comme les agents du changement (Gliessman 2020). L'agroécologie met l'accent sur l'amélioration de la biodiversité fonctionnelle dans les dimensions spatiales et temporelles afin de maintenir la production et la rentabilité. Cela implique également d'utiliser au maximum les fonctions de l'écosystème et d'améliorer la régulation biologique (Francis & Wezel 2015 ; Gliessman 2020).

L'agriculture régénératrice ressemble à l'agroécologie à bien des égards, bien qu'elle se concentre moins sur les sujets sociopolitiques abordés dans le cadre de l'agroécologie. L'agriculture régénératrice, quant à elle, se concentre davantage sur l'atténuation des effets du changement climatique et sur la construction des sols.

Permaculture

Le terme "permaculture" est le fruit de la fusion des mots "permanent" et "agriculture" et a été inventé par David Holmgren, puis par le professeur Bill Mollison. Holmgren définit la permaculture comme "des paysages consciemment conçus, qui imitent les modèles et les relations que l'on trouve dans la nature, tout en produisant une abondance de nourriture, de fibres et d'énergie pour répondre aux besoins locaux (Holmgren 2002a)". Il y a donc deux éléments principaux : premièrement, l'imitation des écosystèmes naturels pour un usage humain, et deuxièmement, l'optimisation du système de sorte que les rendements puissent être obtenus avec un minimum d'effort et que les fonctions de l'écosystème soient étendues au-delà de leur rendement ordinaire (Krebs & Bach 2018). En outre, la permaculture considère que les systèmes d'utilisation des terres sont étroitement liés aux systèmes sociaux et s'appuie sur les principes éthiques du respect de la terre, du respect de la population et du partage équitable (Holmgren 2002b).

Dans sa mise en œuvre pratique, la permaculture présente de nombreuses analogies avec d'autres systèmes agricoles alternatifs qui s'efforcent d'adopter une approche agricole économe en ressources et sans pesticides, avec une régulation biologique, une grande biodiversité et un cycle local des nutriments (Krebs & Bach 2018).

La permaculture met l'accent sur le processus de conception plutôt que sur des techniques particulières (Morel et al. 2019).

Agriculture de conservation

Le Dust Bowl des années 1930 en Amérique du Nord a été la cause d'une dégradation massive des sols et de l'eau qui a été intensifiée par le travail du sol mécanisé à grande échelle. Il a déclenché la culture sans labour, la culture minimale, la culture sur billons et d'autres approches similaires pour lutter contre l'érosion des sols et l'efflux de carbone par le vent (Mitchell et al. 2019). Dans les années 1960 et 1970, des herbicides très efficaces, l'injection d'engrais et le semis direct ont été introduits dans l'agriculture, ce qui a réduit la nécessité du travail du sol. En outre, le gouvernement américain a commencé à encourager les systèmes de semis direct et les cultures OGM résistantes aux herbicides sont apparues sur le marché dans les années 1990, ce qui a encore accentué le mouvement en faveur de la réduction du travail du sol (Giller et al. 2015).

Aujourd'hui, surtout en Amérique et en Australie, l'agriculture de conservation est populaire dans les grandes exploitations hautement mécanisées. Selon la Fédération européenne de l'agriculture de conservation (ECAF), environ 3,3 % des terres arables et des terres cultivées permanentes en Europe sont gérées en agriculture de conservation, la Belgique affichant le taux d'adoption le plus faible avec 0,03 % et la Finlande le taux le plus élevé avec 21,3 %, mais la plupart des pays européens se situent en dessous de 10 % (ECAF 2021), et environ 40 % aux États-Unis dans les cultures de maïs, de soja, de blé et de coton (Wade et al. 2015).

L'agriculture de conservation repose sur trois grands principes : une perturbation minimale du sol (ou semis direct), le maintien d'une couverture continue du sol et la rotation des cultures avec une diversification des espèces végétales. Cette méthode est censée améliorer

la qualité globale du sol : elle favorise les processus biologiques qui contribuent à augmenter la teneur en MO du sol, l'agrégation du sol, la rétention d'eau et l'efficacité de l'utilisation des éléments nutritifs, et à réduire l'érosion du sol et l'évaporation de l'eau. Outre la protection des sols, les avantages sont la réduction des coûts de production par rapport à l'agriculture conventionnelle avec labour, grâce aux économies de carburant et de main-d'œuvre. Wack (2021) a également constaté que les stratégies de culture régénératrice entraînaient une charge de travail supplémentaire et moins de flexibilité, même si un travail minimal du sol était pratiqué. L'agriculture de conservation conduit à une accumulation de SOC près de la surface car le sol n'est pas mélangé, mais les effets globaux sur la séquestration du carbone dans le sol restent vagues. Lorsque les légumineuses font partie de la rotation des cultures, elles pourraient contribuer à piéger le carbone à de plus grandes profondeurs (Giller et al. 2015).

Si, traditionnellement, l'agriculture de conservation et l'agriculture biologique s'opposent en raison de l'utilisation intensive d'herbicides dans l'agriculture de conservation, il existe également des systèmes biologiques de travail minimum ou de non-inversion du sol qui traitent les problèmes sans recourir à des intrants synthétiques.

La distinction entre l'agriculture de conservation et l'agriculture régénératrice n'est pas toujours claire. Certains auteurs affirment que cette dernière est la combinaison de la première et du pâturage holistique, parfois avec des principes biologiques. D'autres affirment que si l'agriculture de conservation vise à préserver l'état actuel du sol, l'agriculture régénératrice vise à l'améliorer (Hermani 2020). Burgess et al. (2019) concluent que l'agriculture de conservation peut être considérée comme un système parmi d'autres au sein de l'agriculture régénératrice.

Gestion holistique / Pâturage holistique

La gestion holistique et le pâturage holistique sont des concepts établis par le biologiste Allan Savory dans les années 1970, même si des idées similaires avaient déjà vu le jour dans les années 1920 (Nordborg & Roos 2016). Il s'est fait connaître en 2013 après avoir présenté son exposé TED intitulé "How to fight desertification and reverse climate change" (Comment lutter contre la désertification et inverser le changement climatique). Les affirmations de Savory ont été largement applaudies, mais aussi sévèrement critiquées pour leur exagération et leur manque de preuves scientifiques. La gestion holistique est également souvent préconisée par les partisans de l'AR. La gestion du pâturage en général a trois objectifs : premièrement, augmenter la productivité et la diversité des espèces en laissant les espèces clés se reposer, deuxièmement, réduire la sélectivité du pâturage et troisièmement, uniformiser la répartition des animaux (Briske et al. 2008 ; Nordborg & Roos 2016). La gestion holistique est un cadre de décision et de planification qui permet de "travailler avec le réseau de complexité qui existe dans la nature [pour équilibrer] les principales considérations sociales, environnementales et financières (Savory Institute 2021)" et qui est centré sur le pâturage holistique. Le pâturage holistique est basé sur l'approche du pâturage en rotation, une méthode de gestion des pâturages où l'on suppose que le bétail entassé en troupeaux et déplacé fréquemment pour imiter le "pâturage naturel" des herbivores sauvages qui tentent d'échapper aux prédateurs peut régénérer les terres dégradées.

Le pâturage ou la gestion holistique est souvent mentionné comme une technique ou un outil de gestion dans le cadre de l'agriculture régénératrice. Parfois, les termes de pâturage ou d'élevage régénératif sont utilisés.

Agroforesterie

Selon le World Agroforestry (ICRAF), "l'agroforesterie est l'interaction entre l'agriculture et les arbres, y compris l'utilisation agricole des arbres (ICRAF 2021)". Les arbres offrent de nombreux avantages dans les écosystèmes naturels, en particulier la stabilité écologique. Les spécifications en combinaison avec l'agriculture peuvent être multiples, y compris les arbres dans les fermes, l'agriculture dans et le long des forêts et la production de cultures d'arbres, par exemple le cacao ou le café. L'agroforesterie favorise la formation d'un système composé d'une grande variété de niches qui stabilisent l'écosystème et le rendent biologiquement diversifié (Leakey 2017b). Les arbres peuvent fournir du fourrage pour le bétail, du combustible, de la nourriture, de la fertilisation, du bois, des médicaments, des abris, de l'ombre ou d'autres services écosystémiques. En outre, ils ont également une valeur socioculturelle, esthétique et religieuse. En outre, l'élevage est souvent intégré dans les systèmes agroforestiers (ICRAF 2021).

L'utilisation polyvalente des arbres peut fournir des concepts à long terme pour l'atténuation du changement climatique, réduire la perte de biodiversité, augmenter la sécurité alimentaire (Ramachandran Nair 2014) ainsi que restaurer les sols dégradés et séquestrer le C en dessous et au-dessus du sol, ce qui en fait une alternative de choix à la séquestration du C dans les forêts indigènes (Ollinaho & Kröger 2021).

Cependant, comme pour l'agriculture régénérative, il existe un risque de cooptation du terme par les grandes entreprises agroalimentaires et les facteurs de dégradation des forêts (Ollinaho & Kröger 2021). En résumé, l'agroforesterie peut être interprétée comme un concept propre d'utilisation des terres ou comme une mesure parmi d'autres dans l'agriculture régénératrice.

Agriculture intelligente face au climat (ou agriculture résiliente face au climat)

L'agriculture intelligente face au climat représente un ensemble de stratégies et d'actions directrices visant à transformer les systèmes agricoles afin de garantir la sécurité alimentaire dans un climat changeant. Il s'agit d'un processus itératif qui vise à surmonter les défis liés au changement climatique et à trouver des moyens d'assurer des transitions durables (Lipper et al. 2014 ; Steenwerth et al. 2014). L'agriculture intelligente face au climat poursuit trois objectifs principaux : "augmenter durablement la productivité et les revenus agricoles ; s'adapter et renforcer la résilience au changement climatique ; et réduire et/ou supprimer les émissions de GES, dans la mesure du possible (FAO 2021a)". L'agriculture intelligente face au climat est donc axée sur les résultats et se concentre sur l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets. (Lipper et al. 2014). Cela souligne les nombreux objectifs similaires à ceux de l'AR, mais traditionnellement, la numérisation et l'orientation des processus ne sont pas au cœur de l'AR.

L'agriculture du carbone

Il existe plusieurs définitions, parfois contradictoires, de l'agriculture carbone. Selon la Commission européenne (2021), "l'agriculture carbone peut être définie comme un modèle économique vert qui récompense les gestionnaires des terres pour l'adoption de pratiques améliorées de gestion des terres, entraînant l'augmentation du piégeage du carbone dans la biomasse vivante, la matière organique morte et les sols en améliorant la capture du carbone et/ou en réduisant le rejet de carbone dans l'atmosphère, dans le respect des principes écologiques favorables à la biodiversité et au capital naturel dans son ensemble". Les incitations financières peuvent provenir de sources publiques ou privées et récompensent les gestionnaires des terres soit pour leurs pratiques de gestion qui augmentent le stockage du carbone atmosphérique, soit pour la quantité réelle de carbone séquestré. Toensmeier (2016) décrit la culture du carbone comme "un système d'augmentation du carbone dans les écosystèmes terrestres pour l'adaptation et l'atténuation du changement climatique, [pour] améliorer les biens et services des écosystèmes et échanger des crédits de carbone contre des gains économiques". La publication de Toensmeier, *The Carbon Farming Solution*, est l'un des ouvrages les plus importants qui établit un lien entre la recherche sur la séquestration du carbone et les pratiques de l'agriculture régénératrice (Hermani 2020). Ainsi, à proprement parler, l'agriculture carbone n'est pas une approche agricole, mais un modèle commercial dans lequel les agriculteurs sont rémunérés pour le service de séquestration du carbone. Cela incite les agriculteurs à mettre en œuvre des pratiques qui atténuent et séquestrent le carbone, y compris l'adaptation active (GIEC 2019) ou co-bénéficiaire (Toensmeier 2016) au changement climatique. Certaines définitions élargies incluent les compensations carbone, où la séquestration du carbone est récompensée par exemple par des prix de produits plus élevés ou par la vente de crédits à des entités chargées des émissions (Toensmeier 2016). Les compensations carbone ont le potentiel de renforcer les pratiques qui augmentent la séquestration du carbone et d'améliorer de manière co-bénéficiaire d'autres services écosystémiques, mais elles se sont souvent avérées, par exemple, encourager les plantations de monocultures, entraînant une diminution de la biodiversité, remplaçant les paysages naturels et diminuant potentiellement la séquestration du carbone en fonction de l'utilisation des terres remplacées (Lin et al. 2013).

Bien qu'il n'existe pas de pratique universelle pour créer un bilan carbone positif, il est nécessaire d'identifier des pratiques spécifiques au contexte. La stratégie de base consiste à maintenir une couverture continue du sol, à remplacer les nutriments récoltés, à améliorer la structure du sol et les processus de la rhizosphère, et à améliorer l'éco-efficacité en réduisant les pertes générales (par exemple, l'érosion du sol, la perte de carbone ou le lessivage des nutriments) (Lal et al. 2018). Parmi ces pratiques, on peut citer l'intégration de plantes vivaces et de zones boisées, l'augmentation de la diversité des cultures, les cultures de couverture, le travail du sol sans labour ou de conservation, l'agroforesterie, l'amélioration de l'utilisation des engrais, l'ajout d'amendements organiques et de biochar (Lal 2004 ; Bates 2010 ; GIEC 2019). D'une manière générale, les pratiques mentionnées dans l'agriculture du carbone et l'AR sont similaires, mais l'agriculture du carbone se concentre plus étroitement, et donc plus précisément, sur la quantification de la séquestration du carbone pour les pratiques individuelles. En outre, l'agriculture biologique accroît également le risque d'une "vision tunnel du carbone", un terme inventé par Jan Konietzko (Stockholm Environment Institute 2022), qui met l'accent sur le carbone dans le cadre de la transition vers la durabilité, au lieu



Cofinancé par
l'Union européenne



de prendre en compte des sujets interdépendants tels que la perte de biodiversité, la surconsommation, la pénurie de ressources, la santé, etc.

Aujourd'hui, diverses start-ups et grandes entreprises agroalimentaires, ainsi que l'UE et des institutions gouvernementales, lancent des systèmes de crédit carbone (voir 4. Parties prenantes et certifications).



Excursus : Le carbone organique du sol (SOC)

Le carbone organique du sol comprend environ 58% de la matière organique du sol (SOM), qui se compose d'un large éventail de composés organiques hétérogènes morts et vivants de taille variable avec différents niveaux de stabilité et de décomposition. Naturellement, la SOC augmente grâce aux ajouts de carbone par la photosynthèse des plantes en croissance, la décomposition des matières végétales, animales et microbiennes et diminue par les pertes dues à la décomposition, à la minéralisation et à l'érosion (Singh et al. 2018 ; Ramesh et al. 2019 ; De Moraes Sá et al. 2020).

Comme les stocks de SOC dans les terres agricoles ont été considérablement réduits par les changements d'utilisation des terres, il est possible de restaurer le SOC en améliorant les pratiques de gestion (Singh et al. 2018). Toutefois, le maintien d'un SOC plus élevé nécessite une meilleure gestion à long terme, car les stocks de SOC peuvent à nouveau diminuer si ces pratiques cessent. En outre, la capacité de stockage du SOC dépend largement du climat, de la topographie et des caractéristiques du sol. Une stratégie de base pour le piégeage du carbone terrestre en vue de l'atténuation du climat dans l'agriculture consiste à 1) augmenter les apports de carbone et 2) maximiser le temps de séjour moyen du carbone dans le sol (Lal et al. 2018).

En outre, un nouvel équilibre à des niveaux élevés de SOC peut être atteint après quelques années grâce à des pratiques de gestion améliorées et les sols fertiles dans le même climat peuvent être plus proches du potentiel de saturation en carbone que les sols largement dégradés (Six et al. 2002).

L'importance du carbone organique du sol (SOC)

L'importance du SOC réside dans son potentiel en tant que solution terrestre à l'atténuation du climat par la combinaison de la prévention des émissions de carbone, de l'élimination du CO₂ dans l'atmosphère et de la fourniture de services écosystémiques. Cet objectif peut être atteint en combinant l'amélioration des terres cultivées, de sorte que la conversion des terres pour la production alimentaire et donc la perte de carbone des sols deviennent inutiles, ainsi que le stockage actif du carbone dans les terres agricoles (Bossio et al. 2020).

Les pratiques agricoles permettant d'augmenter la teneur en carbone organique comprennent les systèmes de cultures pérennes, la réduction ou l'absence de travail du sol, l'application de paillis, la gestion du pâturage, l'intégration de la culture et de l'élevage, et les cultures de couverture. Une autre option pour augmenter la teneur en carbone organique est l'ajout de biochar au sol, qui peut persister de 100 à 1 000 ans. La plupart des co-bénéfices documentés de la RA sur la santé des sols sont dus à l'amélioration de la teneur en matière organique du sol (SOM) (Toensmeier 2016). La MOS remplit de nombreuses fonctions dans le sol et une augmentation aura un effet positif sur les propriétés biologiques, physiques et chimiques du sol, telles que l'approvisionnement en nutriments, la structure du sol, la capacité de rétention d'eau et la vie microbienne du sol (Watts & Dexter 1997 ; Johnston et al. 2009). Parmi les autres avantages découlant de l'augmentation des SOC, citons l'amélioration de la fertilité des sols et de la résistance au changement climatique, la réduction de



l'érosion des sols et de la conversion des habitats. En outre, l'augmentation des SOC ne nécessite pas de surfaces supplémentaires, minimise les empreintes hydriques et les pratiques associées sont faciles à mettre en œuvre car elles ne nécessitent pas de changements dans l'utilisation des terres (Bossio et al. 2020). Bossio et al. (2020) qualifient ces possibilités d'amélioration du COS d'"opportunités sans regrets", car elles ont une variété de résultats positifs à différents niveaux environnementaux et sociaux.

Bossio et al. (2020) ont constaté que le carbone du sol représente 25 % (ou 23,8 Gt d'équivalent CO₂ par an) du potentiel des solutions climatiques naturelles. Quarante pour cent de ce potentiel peuvent être trouvés en protégeant les réservoirs de C du sol existants, tandis que 60 % sont représentés par la reconstitution des stocks de carbone épuisés. L'agriculture et les prairies représentent 47 % de ce potentiel d'atténuation, tandis que le reste peut être attribué aux forêts et aux zones humides. Outre l'amélioration de la gestion agricole, d'autres possibilités de piégeage du carbone sont offertes par le boisement, le reboisement et le stockage du carbone dans les produits du bois récoltés (GIEC 2019), ainsi que par la plantation d'arbres dans les terres cultivées (agroforesterie), la restauration des tourbières et des zones humides côtières, l'évitement de la conversion des forêts et des prairies et l'utilisation de biocharbon. L'agriculture régénératrice n'est qu'une possibilité parmi une longue série d'actions nécessaires pour atteindre les objectifs d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. Seule une mise en œuvre rapide et une combinaison des pratiques susmentionnées et d'autres mesures visant à réduire rapidement les émissions mondiales de GES permettront de maintenir le réchauffement de la planète en deçà de 1,5 °C.

Atténuation et décarbonisation

La réduction des émissions agricoles et des changements d'affectation des terres par l'augmentation ou la préservation de la fertilité des sols peut avoir un impact important sur l'atténuation du changement climatique. Une étude réalisée par le World Resources Institute à l'aide du modèle GlobAgri-WRR a calculé qu'il était possible de réduire les émissions agricoles de plus de 70 % en 2050. Il est possible d'y parvenir en s'attaquant à divers secteurs de l'industrie alimentaire, par exemple en réduisant les pertes et les déchets alimentaires, en modifiant les régimes alimentaires, en augmentant la production alimentaire sans étendre les terres agricoles, en protégeant et en restaurant les écosystèmes naturels, et en réduisant les émissions de GES provenant de la production agricole (Ranganathan et al. 2020). Cette dernière mesure peut être prise, par exemple, en améliorant la qualité de l'alimentation du bétail pour réduire les émissions de CH₄, en réduisant les pertes d'azote provenant des effluents d'élevage pour minimiser les émissions de N₂O, en réduisant les émissions de N₂O et de CH₄ grâce à la gestion des effluents d'élevage, mais aussi en gérant l'approvisionnement en azote par des analyses du sol et des plantes, en minimisant la durée de la jachère et en évitant les engrais à base de nitrates (Department of Energy, Environment and Climate Action, 2023). Le GIEC (2019) souligne également que de nombreuses réponses du système alimentaire qui visent à atténuer le climat sont en même temps des mesures d'adaptation au

climat. Il s'agit par exemple de l'application de biochar, de l'agroforesterie, de l'augmentation de la teneur en SOM, de l'amélioration de la gestion de l'eau, de la diversification des cultures, de la gestion des résidus, des systèmes culture-élevage et de l'amélioration de la santé animale et de la lutte contre les parasites. Paustian et al. (2016), par exemple, fournissent des outils d'aide à la décision pour les pratiques d'atténuation des GES sur les terres cultivées, qui peuvent être utiles pour trouver des mesures appropriées au sein de l'exploitation.

Parties prenantes et certifications

Pour comprendre le contexte de l'agriculture régénératrice, il est utile de savoir qui utilise activement ce terme et de quel secteur il provient. De nombreux consultants, organisations et transformateurs qualifient leur approche agricole de "régénératrice", car il s'agit d'un terme non protégé qui peut être utilisé indépendamment de leur statut juridique.

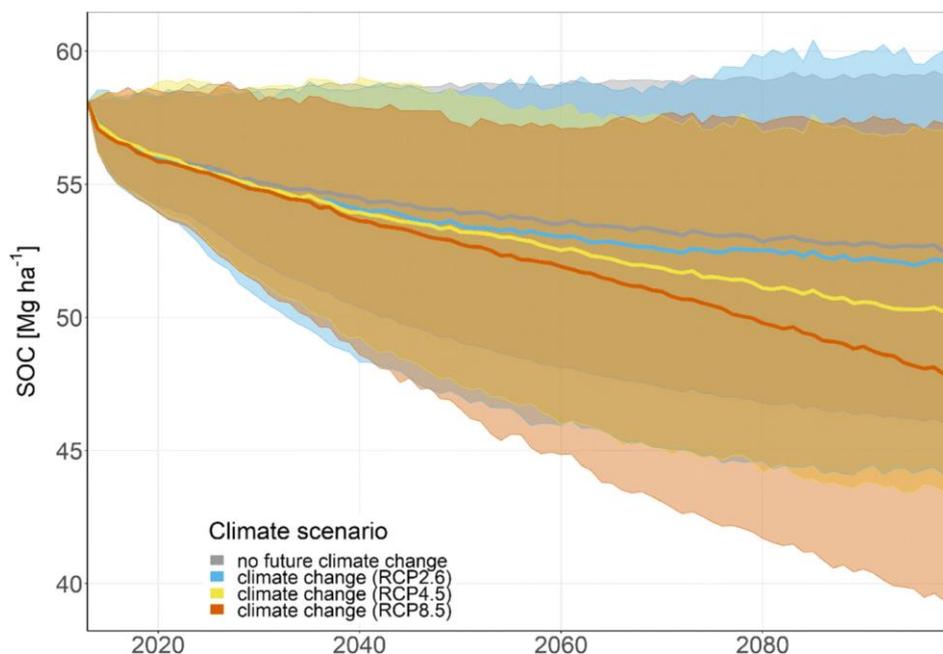
Les initiatives politiques en faveur de l'atténuation du changement climatique et de la restauration des terres sont nombreuses. Par exemple, en 2015, l'Union européenne a fixé l'objectif, lors de la conférence des parties (COP21), de réduire les émissions de GES de 80 à 95 % (par rapport au niveau d'émission de 1990) avant 2050, ainsi que le plan volontaire "4 pour 1000" visant à augmenter les stocks de carbone à raison de 0,4 % par an dans les sols superficiels du monde entier (Lal et al. 2018 ; Al-Kaisi & Lal 2020). L'UE a également lancé un processus de certification de l'élimination du carbone en 2021, décrit plus en détail dans la section "*Certifications/crédits carbone*". Le nouveau rapport du GIEC (GIEC 2021) souligne l'urgence de l'atténuation du changement climatique et la nécessité d'accélérer considérablement les réductions d'émissions et les stratégies de piégeage du carbone. Chaque tonne d'émissions de CO₂ contribue au réchauffement de la planète et il faudra au moins des émissions nettes de CO₂, ainsi que de fortes réductions des autres émissions de GES pour limiter le réchauffement climatique induit par l'homme (GIEC 2021). Depuis 2021, l'UE travaille sur une proposition relative à l'absorption de carbone de haute qualité.

De grandes entreprises comme Nestlé, General Mills, Unilever, PepsiCo, mais aussi des entreprises non alimentaires comme Patagonia, Ecosia et The North Face, pour n'en citer que quelques-unes, investissent dans des entreprises dites régénératrices et dans l'échange de droits d'émission de carbone. Cela pourrait permettre de dégager d'importantes ressources financières susceptibles d'accélérer sa transformation. Nestlé, par exemple, prévoit d'allouer 3,2 milliards de francs suisses à sa propre neutralité climatique dans ce secteur d'ici 2050 (Reuters Money New 2020), et Cargill veut "soutenir les pratiques et systèmes d'agriculture régénérative dirigés par les agriculteurs sur 10 millions d'acres de terres agricoles" aux États-Unis jusqu'en 2030 (Cargill 2023). En outre, cette nouvelle forme d'agriculture est également considérée comme un investissement lucratif. Aux États-Unis, dans le domaine de l'agriculture régénérative, on pouvait déjà choisir en 2019 entre 70 fonds d'investissement représentant un investissement total de plus de 47,5 milliards de dollars. Cependant, la base de la production alimentaire et en même temps le point central de l'utilisation régénérative des terres - le sol - devient régulièrement un objet de spéculation. Les investisseurs attendent des rendements élevés de ces opportunités d'investissement (Electris et al. 2019).

En Australie et aux États-Unis, l'agriculture régénératrice a déjà fait son entrée dans l'enseignement universitaire. Par exemple, à la Southern Cross University, un programme de licence est proposé avec une orientation correspondante. Le cours est soutenu par la Regenerative Agriculture Alliance. Le contenu va des théories et pratiques générales à la gestion des sols, en passant par l'agroécologie, l'aménagement du paysage et l'écologie humaine. L'université privée Maharishi propose des programmes complets de licence et de master. En outre, de nombreux autres instituts ainsi que des acteurs individuels mènent des recherches, mettent en place des plateformes de mise en réseau et/ou réalisent des travaux éducatifs. L'organisation faîtière à but non lucratif "Regeneration international", fondée en 2015, est le plus grand lobby pour l'agriculture régénératrice avec plus de 200 partenaires. Des personnalités de haut rang du secteur agroalimentaire y occupent des positions de premier plan. Cependant, la qualité des recherches menées jusqu'à présent est souvent controversée et n'est généralement pas intégrée dans la communauté scientifique reconnue, mais représentée ou au moins accompagnée par des groupes d'intérêt (par exemple, Briske et al. 2008).

Certifications/crédits carbone

Les crédits carbone peuvent permettre aux agriculteurs de mettre en œuvre des pratiques de



gestion respectueuses de l'environnement et d'être rémunérés pour cela. Les systèmes de crédit carbone ou de certification pourraient donc constituer un outil puissant pour intensifier les mesures d'atténuation du changement climatique dans l'agriculture. Toutefois, les scientifiques ne s'accordent pas sur la question de savoir si l'augmentation du carbone dans le sol est une pratique légitime d'atténuation du climat (par exemple Bradford et al. 2019, Ranganathan et al. 2020) et si les certificats de carbone sont la bonne solution (par exemple Wiesmeier et al. 2020).

Figure 2 : Projection des stocks moyens de carbone organique du sol (SOC) pour les terres cultivées allemandes en fonction des niveaux actuels d'apport de carbone organique et de l'intervalle de confiance à 95 % pour l'ensemble des projections climatiques et des modèles SOC. Les scénarios climatiques couvraient trois scénarios de changement climatique basés sur différentes voies de concentration représentatives (RCP) et un scénario sans changement climatique futur. Source : Riggers et al : Riggers et al. (2021)

Dans une étude sur l'augmentation des stocks de SOC dans les terres cultivées allemandes, Riggers et al. (2021) affirment que l'augmentation des températures entraînera des pertes de SOC induites par le réchauffement (voir Figure 2), qui peuvent être partiellement compensées par l'augmentation de la croissance des plantes, mais qu'un apport organique accru d'environ 9 Mg C/ha/an serait nécessaire pour augmenter les stocks annuels de SOC de 0,4 %, comme le suggère l'Initiative 4 pour 1000. Si une surcompensation des pertes de SOC induites par le changement climatique par une meilleure gestion peut être réalisable au niveau de l'exploitation, elle semble irréaliste au niveau national (Riggers et al. 2021). En outre, une compensation théorique de 8 à 15 millions de tonnes de CO₂ par an en Allemagne contraste avec les quelque 106 millions de tonnes de CO₂ par an provenant de l'agriculture, de sorte que seuls 10 % environ des émissions de GES agricoles pourraient être compensés par une augmentation du SOC (Don 2022). Cependant, d'autres avantages du carbone du sol sont presque entièrement reconnus (voir aussi : L'importance du carbone organique du sol (COS) ci-dessus).

Le financement peut provenir de marchés privés du carbone ou de fonds publics tels que la politique agricole commune (PAC) de l'UE. Le commerce croissant des crédits carbone entre l'agriculture et d'autres secteurs connaît actuellement un essor considérable au niveau international. De plus en plus d'entreprises s'efforcent d'atteindre la neutralité climatique souhaitée de leurs activités par le biais de mesures de compensation dans le secteur agricole (voir également ci-dessus).

Il est également problématique que, comme nous l'avons vu plus haut, le terme "régénératif" ne soit pas protégé et que les entreprises puissent en fait établir leur propre cadre sur ce qui se cache derrière ce terme. Il en résulte un risque important d'écoblanchiment, particulièrement dangereux lors de la délivrance des certificats. L'UE prépare actuellement un cadre visant à créer un marché normalisé pour les certificats de carbone dans l'agriculture dans le cadre du Green Deal européen, sur la base des critères Q.U.A.L.I.T.Y (quantification, additionnalité, stockage à long terme, durabilité) (Commission européenne 2022).

La définition d'une norme minimale pour la certification carbone basée sur une norme uniforme est cruciale. Wiesmeier et al. (2020) ont proposé sept principes pour garantir la bonne qualité des certificats carbone, qui recourent en partie les critères Q.U.A.L.I.T.Y de l'UE

Principes pour assurer la qualité des certificats carbone

- **L'équité** : Certains sols peuvent stocker plus de carbone que d'autres, et en particulier les sols à faible teneur en SOC en raison de l'appauvrissement de la gestion passée présentent les potentiels les plus élevés. L'exigence d'équité garantit que ces éléments sont pris en compte lors de la délivrance des certificats.
- **Réversibilité** : Une fois que les mesures ont cessé, les niveaux de SOC sont susceptibles de diminuer à nouveau jusqu'aux niveaux antérieurs. Pour assurer le stockage du carbone, des mesures doivent être mises en œuvre à long terme. Les structures permanentes proches de la nature, telles que les arbres ou les haies, constituent une option.
- **Permanence** : Seul le carbone stocké dans un avenir prévisible est pertinent pour l'atténuation du changement climatique.
- **N₂ Émissions d'O** : La matière organique du sol (MOS) contient également de l'azote, qui est important pour la nutrition des plantes. Toutefois, si l'azote n'est pas utilisé par les plantes en croissance, certaines parties de la MOS deviennent facilement disponibles pour les micro-organismes et l'azote est transformé en émissions de N₂ O, un gaz à effet de serre puissant.
- **Additionnalité** : Seul le carbone stocké en plus des pratiques habituelles peut être certifié, sinon les crédits carbone n'auraient aucun effet supplémentaire. Ainsi, le carbone qui serait stocké "de toute façon" (sans crédit) n'est pas valable pour les crédits carbone ! Une question importante se pose : Comment définir ces niveaux de référence ?
- **Fuites** : Les mesures mises en œuvre pour le stockage du carbone ne doivent pas conduire à des émissions de GES ailleurs sans en tenir compte. Par exemple, une réduction de la productivité peut entraîner un changement d'affectation des terres ailleurs pour compenser le manque de rendement.

En Amérique du Nord, une certification pour les exploitations biologiques régénératives (ROC, Regenerative Organic Certification) a été créée par l'Institut Rodale en 2018 comme première norme uniforme et transparente. Cette certification est considérée comme une évolution de l'agriculture biologique et évalue les exploitations selon les normes bronze, argent ou or sur la base d'un catalogue complexe de critères. Les bases de l'évaluation sont la santé des sols, le bien-être des animaux et la justice sociale (ROC 2021). Un autre certificat élaboré sous contrôle scientifique est délivré par le Savory Institute pour les produits animaux issus de l'élevage en pâturage. Il vise à mesurer l'impact de la gestion des pâturages sur les fonctions de l'écosystème (santé des sols, biodiversité, cycle de l'eau, cycle des minéraux, flux d'énergie et dynamique des communautés) à l'aide d'indicateurs définis. L'existence de ces deux certifications souligne le développement très avancé de l'agriculture régénératrice au niveau international par rapport à l'Europe. Toutefois, la question se pose de savoir s'il est souhaitable de proposer davantage de certifications sur un marché comme l'Europe, où les

certifications biologiques sont plus répandues qu'aux États-Unis et où le groupe cible de consommateurs peut être similaire. En outre, les systèmes de certification nécessitent une infrastructure coûteuse pour garantir leur validité, qui est généralement prise en charge par les agriculteurs eux-mêmes.

Preuves scientifiques

Afin de déterminer le succès des mesures, divers indicateurs sont proposés, qui ne seront pas examinés plus avant ici (par exemple, Luján Soto et al. 2020). L'enthousiasme croissant pour la RA souligne que les agronomes doivent s'engager dans le débat public et apprendre à mieux communiquer leurs évaluations sur le sujet (White & Andrew 2019 ; Giller et al. 2021). Il y a eu peu de publications scientifiques traitant du sujet de la RA jusqu'à récemment, mais elles sont de plus en plus nombreuses en raison de sa popularité croissante auprès des praticiens et de l'attention portée par les médias. L'évaluation scientifique des concepts mentionnés dans la RA est cependant exigeante. Cela est dû, entre autres, au degré de complexité souhaité des systèmes agricoles, qui sont considérés de manière holistique, compris de manière dynamique et conçus de manière itérative.

Si la communication d'expériences réussies d'agriculteur à agriculteur peut être un moyen très puissant de catalyser le changement (Rosenzweig et al. 2020), il existe souvent un écart important entre les faits et les modèles scientifiquement prouvés, d'une part, et les promesses et les déclarations de praticiens individuels, d'autre part. C'est pourquoi de nombreux chercheurs sont sceptiques quant aux promesses de l'agriculture régénérative et réagissent avec prudence (par exemple McGuire 2018). Sur la base de ces affirmations, certains scientifiques rejettent complètement l'AR, tandis que d'autres reconnaissent l'exagération sans rejeter le message général, et appellent les chercheurs à la considérer comme une opportunité d'étudier de nouvelles approches pour les systèmes agricoles (Toensmeier 2016 ; Hermani 2020). La figure 3 de Moyer et al. (2020) illustre un exemple de potentiel d'agriculture régénératrice propagé par le Rodale Institute. Dans ce cas, un diagramme à barres montre que le potentiel de séquestration du carbone des méthodes régénératives à l'échelle mondiale devrait dépasser de 46 % les émissions mondiales annuelles de CO₂ (figure 3).

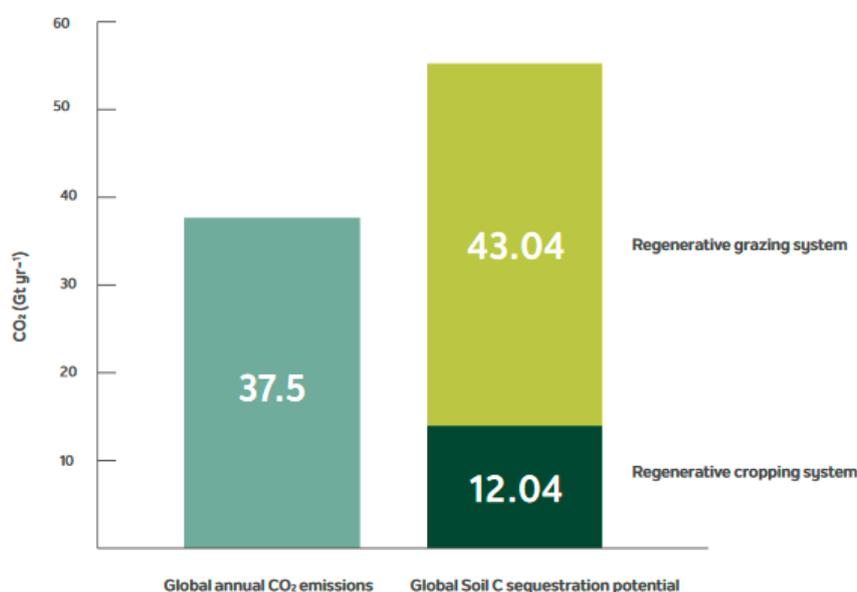


Figure 3 : Potentiel de séquestration du carbone lié à l'adoption d'une agriculture régénératrice à l'échelle mondiale. Source : Moyer et al : Moyer et al. (2020)

En raison de l'attention croissante portée à l'agriculture régénératrice, un engagement réfléchi des chercheurs est donc crucial. Selon Giller et al. (2021), il convient de séparer clairement le poids philosophique de la réalité agronomique. Le Center for Regenerative Agriculture and Resilient Systems de la California State University, par exemple, a pour objectif de soutenir un tournant dans le système alimentaire grâce à une recherche axée sur la pratique et à la mise en réseau des acteurs concernés, en traitant les résultats de la recherche et en les rendant accessibles au public.

Selon Merfield (2019), les projets individuels sont souvent façonnés par des intérêts commerciaux. La recherche sur des méthodes individuelles, telles que l'agroforesterie ou le labour de conservation, a en revanche lieu à grande échelle et est reconnue pour sa qualité. Par exemple, rien que sur la plateforme "sciencedirect", on peut trouver plus de 26 000 publications pour l'année 2020 sous le mot-clé "no till". Même pour des pratiques jusqu'à présent moins répandues, comme l'utilisation du thé de compost, il existe un large éventail de recherches et, ici aussi, différentes approches, notamment en matière de production et d'utilisation. Plusieurs études ont mis en évidence l'effet du thé de compost sur la croissance et la santé des plantes. Des chercheurs de l'Institut allemand Thuenen ont récemment publié des ouvrages sur le potentiel de piégeage du carbone de certaines pratiques de gestion telles que les haies, les cultures de couverture ou l'influence sur les racines (par exemple, Poeplau et al. 2021a, Poeplau et al. 2021b, Drexler et al. 2021). Dans une comparaison préliminaire, Montgomery et al. (2022) établissent un lien entre les pratiques régénératives et des niveaux plus élevés de vitamines, de minéraux et de substances phytochimiques dans les cultures par rapport à l'agriculture conventionnelle. Une méta-analyse réalisée par Jordan et al. (2022) a analysé les pratiques qui sont souvent mentionnées lorsqu'il est question d'agriculture régénérative et a constaté que, dans l'ensemble, la réduction du travail du sol et les rotations en terres arables, mais pas les cultures de couverture, augmentaient la concentration de carbone du sol. D'autres résultats de publications sur le carbone du sol sont présentés dans



Cofinancé par
l'Union européenne



le chapitre sur les crédits carbone ci-dessus. Néanmoins, la nécessité de poursuivre les recherches est soulignée (De Corato 2020), ainsi que le besoin d'une liaison étroite entre les agriculteurs, les gestionnaires des terres, les décideurs politiques et la communauté universitaire dans le monde entier (Singh et al. 2018).

Conclusion

En résumé, on peut dire que l'agriculture régénératrice en tant que telle est un domaine très dynamique qui fait actuellement l'objet d'une grande attention. Cette forme d'utilisation des terres promet de nombreux avantages et des stratégies de solution à des problèmes urgents. Par conséquent, les demandes d'examen scientifique du sujet, y compris le développement de méthodes appropriées, augmentent également. Tant que les avantages doivent être déduits des présentations de certains pionniers, il est important de clarifier si ces avantages peuvent être confirmés par des projets de recherche indépendants. Toutefois, les études antérieures portant sur des mesures individuelles ou même sur des essais comparatifs de systèmes donnent une idée du potentiel de l'agriculture régénératrice.



RÉSUMÉ - L'agriculture régénératrice

L'agriculture régénératrice est un terme non protégé qui a de nombreuses interprétations différentes, d'où la nécessité de le définir lorsqu'il est utilisé. Comme notre compréhension de l'agriculture régénératrice correspond aux exigences de l'adaptation climatique transformative, elle est utilisée comme cadre conceptuel dans la méthode ClimateFarming.

Le terme "*agriculture régénératrice*" a été inventé pour la première fois dans les années 1980, mais son origine n'est pas claire. Il est revenu sur le devant de la scène vers 2015 et, peu après, différents groupes de parties prenantes ont commencé à l'utiliser, ce qui a donné lieu à des malentendus, en particulier pour les consommateurs.

Selon nous, l'agriculture régénératrice peut être définie comme "*une approche de l'agriculture qui utilise la conservation des sols comme point de départ pour la régénération et la contribution à **de multiples services d'approvisionnement, de régulation et de soutien**, dans le but d'améliorer non seulement les **dimensions environnementales**, mais aussi **sociales et économiques** de la production alimentaire durable (Schreefel et al. 2020)*", ou comme

*"Une approche agricole **en constante évolution, complexe et dépendante du contexte**, visant à restaurer et à régénérer les terres dégradées et à **contribuer à l'adaptation au changement climatique** avec des avantages connexes en termes d'atténuation. Dans l'AR [agriculture régénératrice], le sol est le point d'entrée pour **repenser les systèmes alimentaires** dans le but d'améliorer les **services écosystémiques biologiques, physiques, chimiques et culturels** en réponse aux conditions écologiques et à la crise climatique, tant au niveau local que mondial (Daverkosen et Holzknicht et al. 2022)"*.

En ce sens, l'agriculture régénératrice recoupe largement des concepts tels que la permaculture, l'agroécologie, l'agriculture biologique, l'agriculture intelligente face au climat ou l'agriculture du carbone. Les pratiques promues sont souvent similaires et pourraient simplement être considérées comme de *bonnes pratiques agricoles*. Si l'agriculture régénératrice n'exclut généralement pas l'utilisation d'intrants synthétiques tels que les engrais, les pesticides ou les herbicides, de nombreux partisans défendent les principes de l'agriculture biologique ou s'efforcent de réduire au minimum l'utilisation d'intrants synthétiques.

La santé des sols et le stockage du carbone dans les sols sont considérés comme essentiels dans de nombreuses définitions et sont également conformes aux objectifs de protection et d'adaptation au climat. Bien que la question de savoir si le carbone du sol peut ou doit être quantifié pour les certificats de carbone soit scientifiquement controversée, de nombreux systèmes de certification ont vu le jour ces dernières années. Ceux-ci doivent être évalués de manière critique.

La protection du climat et l'adaptation vont de pair. Bien que leurs points de départ soient différents - la protection vise à empêcher la poursuite du changement climatique, l'adaptation vise à s'ajuster au changement présent ou à venir - leur objectif final est le



Cofinancé par
l'Union européenne



même : permettre une vie agréable pour tous à la lumière du changement climatique.

Littérature

Ressources en ligne

Regeneration International: <https://regenerationinternational.org/why-regenerative-agriculture/>

Rodale Institute:

<https://rodaleinstitute.org/why-organic/organic-basics/regenerative-organic-agriculture/>

The Carbon Underground:

<https://thecarbonunderground.org/our-initiative/definition/>

Climate Farmers:

<https://www.climatefarmers.org/definition-of-regenerative-agriculture/>

Savory Institute: <https://savory.global/holistic-management/>

Project Drawdown:

https://drawdown.org/sites/default/files/pdfs/DrawdownPrimer_FoodAgLandUse_Dec2020_01c.pdf

European Commission (on the CAP): https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-glance_en

Some certifications

Land to market programme: <https://www.landtomarket.com/>

EOV: <https://savory.global/land-to-market/eov/>

ROC: <https://regenorganic.org/resources/>

Resources and further reading

Al-Kaisi, M.M. & Lal, R. (2020). Aligning science and policy of regenerative agriculture. Soil Science Society of America Journal, vol. 84 (6), pp. 1808-1820 John Wiley and Sons Inc. DOI: <https://doi.org/10.1002/saj2.20162>

Angarova, G., Ruka, T., Tshah, S., Mitambo, S., Guri, B., Frederick, K., Haslett-Marroquin, R. & Nelson, M.K. (2021). A message from 10+ Indigenous leaders: Regenerative Agriculture & Permaculture offer narrow solutions to the climate crisis. Green Dreamer. Available at: <https://greendreamer.com/journal/indigenous-regenerative-agriculture-permaculture>



Beste, A. (2019): Comparing Organic, Agroecological and Regenerative Farming part 3 - Regenerative | ARC2020. Available at: <https://www.arc2020.eu/comparing-organic-agroecological-and-regenerative-farming-part-3-regenerative/#sdendnote6sym>

Bossio, D.A., Cook-Patton, S.C., Ellis, P.W., Fargione, J., Sanderman, J., Smith, P., Wood, S., Zomer, R.J., von Unger, M., Emmer, I.M. & Griscom, B.W. (2020). The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nature Sustainability*, vol. 3 (5), pp. 391-398. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>

Bradford, M.A., Carey, C.J., Atwood, L. *et al.* Soil carbon science for policy and practice. *Nat Sustain* **2**, 1070–1072 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0431-y>

Burgess P.; Harris J.; Graves A.; Deeks, L. (2019): Regenerative Agriculture: Identifying the Impact; Enabling the Potential. Report for SYSTEMIQ. Cranfield University, Bedfordshire
<https://www.foodandlandusecoalition.org/wp-content/uploads/2019/09/Regenerative-Agriculture-final.pdf>

Cargill (2023): Digging in: Cargill's regenerative agriculture program brings healthier soil and profits to more European, U.S. farmers. Available at: <https://www.cargill.com/story/cargills-regenerative-agriculture-program-brings-healthier-soil> (last access: 14.6.23)

Codur, A.; Watson, J. (2018): Climate smart or regenerative agriculture? Defining climate policies based on soil health. Global Development and Environment Institute, Tufts University. Climate Policy Brief No. 9, Online on the Internet, URL:
<https://sites.tufts.edu/gdae/files/2019/10/ClimatePolicyBrief9.pdf>

Department of Energy, Environment, and Climate Action (2023): Livestock methane and nitrogen emissions. Victoria State Government, Australia. Available at: <https://agriculture.vic.gov.au/climate-and-weather/understanding-carbon-and-emissions/livestock-methane-and-nitrogen-emissions>

Don, A. (2022): Nur die "große Lösung" funktioniert. DLG-Mitteilungen 5/2022. Available at: https://www.researchgate.net/publication/360257416_Carbon_Farming_Wer_von_Klimaschutz_im_Ackerbau_redet_und_damit_nur_die_CO2-Bindung_in_Boden_meint_ist_auf_dem_Holzweg_Zur_Klimalandwirtschaft_gehort_auch_die_Verringerung_von_Emissionen_die_von_der_La

Drexler, S., Gensior, A. & Don, A. Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. *Reg Environ Change* **21**, 74 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01798-8>

European Commission (2021): Sustainable Carbon Cycles. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. Available at:
https://climate.ec.europa.eu/system/files/2021-12/com_2021_800_en_0.pdf

European Commission (2022): European Green Deal: Commission proposes certification of carbon removals to help reach net zero emissions. Available at:
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_7156

Giller, K.; Hijbeek, R.; Andersson, J.; Sumberg, J. (2021): Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook on agriculture* (50:1), p. 13-25, DOI: 10.1177/0030727021998063

Gosnell, H.; Nicholas Gill, N.; Voyer, M. (2019): Transformational adaptation on the farm: processes of change and persistence in transitions to 'climate-smart' regenerative agriculture. *Global Environmental Change* (59), DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2019.101965

Heim, T. (2018). *The Indigenous Origins of Regenerative Agriculture*. National Farmers Union. Available at: <https://nfu.org/2020/10/12/the-indigenous-origins-of-regenerative-agriculture>

Hermani, C. (2020): *Regenerative Agriculture and the Quest for Sustainability - Inquiry of an Emerging Concept* (Master Thesis) Online at Internet URL: https://www.researchgate.net/publication/348310091_Regenerative_Agriculture_and_the_Quest_for_Sustainability_-_Inquiry_of_an_Emerging_Concept_Master_Thesis

IPCC 2019: Mbow, C., C. Rosenzweig, L.G. Barioni, T.G. Benton, M. Herrero, M. Krishnapillai, E. Liwenga, P. Pradhan, M.G. Rivera-Ferre, T. Sapkota, F.N. Tubiello, Y. Xu, 2019: *Food Security. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J.

IPCC (2021): *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.

Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.007>

Koehn, J. (2021). *Monsanto, Big Food, and Big Ag Move to Co-opt the Organic and Regenerative Movement*. Available at: <https://educacionymedioscolaborativos.org/news/monsanto-big-food-and-big-ag-move-co-opt-organic-and-regenerative-movement-0>

LaCanne, C.; Lundgren, J. (2018): *Regenerative agriculture: merging farming and natural resource conservation profitably*. *PeerJ* (6), Doi: 10.7717/peerj.4428

Lal, R. (2020): *Regenerative agriculture for food and climate*. *Journal of Soil and Water Conservation*, pp. 1-2

Lyle, J.T. (1994). *Regenerative Design for Sustainable Development*. John Wiley and Sons Inc.

Mang, P. & Reed, B. (2012). *Regenerative Development and Design*. pp. 1-34

McDonald, H., Frelih-Larsen, A., Lóránt, A., Duin, L., Andersen, S.P., Costa, G., Bradley, H. (2021): *Carbon Farming. Making agriculture fit for 2030*. Commissioned by the Committee on Environment, Public Health and Food Safety (ENVI), [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695482/IPOL_STU\(2021\)695482_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695482/IPOL_STU(2021)695482_EN.pdf)

McGuire, A. (2018): Regenerative Agriculture: Solid Principles, Extraordinary Claims. Online presence of Washington State University; College of Agriculture, Human and Natural Resources Science; Center for Sustaining Agriculture and Natural Resources as Blog Online on the Internet, URL: <https://csanr.wsu.edu/regen-ag-solid-principles-extraordinary-claims/>

Merfield, C. (2019): An analysis and overview of regenerative agriculture. Report number 2-2019. The BHU Future Farming Centre, Lincoln, New Zealand. Online on the Internet, URL: <https://www.bhu.org.nz/future-farming-centre/ffc/information/misc/an-analysis-and-overview-of-regenerative-agriculture-2019-ffc-merfield.pdf>

Montgomery DR, Biklé A, Archuleta R, Brown P, Jordan J. 2022. Soil health and nutrient density: preliminary comparison of regenerative and conventional farming. PeerJ 10:e12848
<https://doi.org/10.7717/peerj.12848>

Moyer, J.; Smith, A.; Rui, Y.; Hayden, J. (2020): Regenerative agriculture and the soil carbon solution. Online on the Internet, URL: https://rodaleinstitute.org/wp-content/uploads/Rodale-Soil-Carbon-White-Paper_v11-compressed.pdf

Newton, P.; Civita, N.; Frankel-Goldwater, L.; Bartel, K.; Johns, C. (2020): What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes. *Frontiers in Sustainable Food Systems* (4), DOI: 10.3389/fsufs.2020.577723

Nordborg, M. & Roos, E. (2016). Holistic management - a critical review of Allan Savory's grazing method.

Poeplau, C., Don, A. (2015): Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 200, 33-41.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>

Poeplau, C., Don, A., & Schneider, F. (2021). Roots are key to increasing the mean residence time of organic carbon entering temperate agricultural soils. *Global Change Biology*, 27, 4921–4934.
<https://doi.org/10.1111/gcb.15787>

Ranganathan, J., Waite, R., Searchinger, T., Zions, J. (2020): Regenerative Agriculture: Good for Soil Health, but Limited Potential to Mitigate Climate Change. World Resources Institute. Available at: <https://www.wri.org/insights/regenerative-agriculture-good-soil-health-limited-potential-mitigate-climate-change>

Regenerative Organic Alliance (2021): Framework for Regenerative Organic Certified. Available at: https://regenorganic.org/wp-content/uploads/2021/02/ROC_ROC_STD_FR_v5.pdf

Reuters Money News (2020): Nestle to spend big to cut carbon emissions while preserving profits. By Silke Koltowitz. Available at: <https://www.reuters.com/article/nestle-climate-idINKBN28D1NN> (last access: 14.6.23)

Robinson, J. & Cole, R.J. (2015). Theoretical underpinnings of regenerative sustainability. *Building Research & Information*, vol. 43 (2), pp. 133-143 Routledge.
DOI: <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.979082>

Rosenzweig, S.T., Carolan, M.S. & Schipanski, M.E. (2020). A Dryland Cropping Revolution? Linking an Emerging Soil Health Paradigm with Shifting Social Fields among Wheat Growers of the High Plains. *Rural Sociology*, vol. 85 (2), pp. 545–574. DOI: <https://doi.org/10.1111/ruso.12304>

Rumpel, C., Amiraslani, F., Bossio, D. *et al.* Studies from global regions indicate promising avenues for maintaining and increasing soil organic carbon stocks. *Reg Environ Change* **23**, 8 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10113-022-02003-0>

Savory Institute (2021). Managing complexity through Holistic Management. Available at: <https://savory.global/>

Schreefel, L.; Schulte, R.; de Boer, I.; Pas Schrijver, A.; van Zanten, H. (2020): Regenerative Agriculture - the soil is the base. *Global Food Security* (26), DOI: 0.1016/j.gfs.2020.100404

Stockholm Environment Institute (2022): It's time to move beyond "carbon tunnel vision". Available at: <https://www.sei.org/perspectives/move-beyond-carbon-tunnel-vision/>

Singh, B.P., Setia, R., Wiesmeier, M. & Kunhikrishnan, A. (2018). Agricultural management practices and soil organic carbon storage. *Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modeling* Elsevier Inc. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812766-7.00007-X>

Soloview, E.; Landua, G. (2016): Levels of Regenerative Agriculture. Online on the Internet, URL: <http://www.terragenesis.com/regenerative-agriculture/>

Toensmeier, E. (2016). *The carbon farming solution: a global toolkit of perennial crops and regenerative agriculture practices for climate change mitigation and food security*. Vermont: Chelsea Green Publishing.

Wack, J. (2021): Beurteilung der Praxistauglichkeit regenerativer Ackerbaustrategien. Eine qualitative Untersuchung. Masterarbeit am Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz, Witzenhausen. Universität Kassel.

Wade, T., Claassen, R., Wallander, S. (2015): Conservation-Practice Adoption Rates Vary Widely by Crop and Region, EIB-147, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Available at: https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/44027/56332_eib147.pdf

Wiesmeier, M., Mayer, S., Paul, C., Helming, K., Don, A., Franko, U., Steffens, M., Kögel-Knabner, I. (2020). *CO2 certificates for carbon sequestration in soils: methods, management practices and limitations*. BonaRes Series. DOI: 10.20387/bonares-ne0g-ce98

Leçon 4 : Connecter l'agriculture régénératrice et le cycle ClimateFarming

Alena Holzknrecht, Janos Wack

Dans ce chapitre, il s'agit de relier les fils qui ont été tissés dans les derniers chapitres sur les problèmes et les défis de l'agriculture, la gestion du changement climatique, l'adaptation au climat et l'agriculture régénératrice. Pourquoi la modification des pratiques agricoles en faveur de modes d'exploitation plus régénératifs fait-elle partie de la solution pour faire face au changement climatique et aux défis qu'il pose ? De quoi avons-nous besoin pour l'adaptation au climat ? Pourquoi considérons-nous que l'adaptation au climat est la clé d'un futur système agricole et comment traduire cela en pratique sous la forme d'une agriculture régénératrice ? Pourquoi le cycle ClimateFarming correspond-il à ces objectifs ?

Jusqu'à présent, on vous a présenté les défis mondiaux de...

- l'agriculture en tant que source de gaz à effet de serre (GES), puits et affectée par le changement climatique et peut-être par les acteurs dans le domaine de l'élimination du dioxyde de carbone
- les frontières planétaires qui sont franchies, et donc l'humanité qui quitte l'espace de fonctionnement sûr pour des questions telles que les flux d'azote et de phosphore, les changements des systèmes terrestres et l'intégrité de la biosphère
- la dégradation des sols, une menace sérieuse pour la sécurité alimentaire mondiale
- la dépendance à l'égard d'intrants agricoles externes, tels que les engrais ou les combustibles fossiles, dont les prix de marché peuvent fluctuer ou dont la disponibilité est limitée
- l'efficacité des nutriments, qui a diminué au cours des dernières décennies, au point que l'ajout de nutriments (synthétiques) ne permet pas nécessairement d'obtenir des rendements plus élevés.
- le bien-être des animaux, qui pose un sérieux problème dans un système agricole souvent très spécialisé et où l'élevage et la production végétale sont souvent strictement séparés ; les systèmes d'élevage seront également fortement touchés par l'augmentation des températures et la variation des précipitations
- les facteurs physiques du changement climatique tels que les vagues de chaleur et de sécheresse, la modification des régimes de précipitations, la diminution des ressources en eau douce, etc. qui remettent en cause les schémas et les rythmes auxquels la production agricole est habituée
- la perte de biodiversité qui menace la stabilité et la résilience des écosystèmes



Cofinancé par
l'Union européenne



- les animaux domestiques et les maladies, nouvelles et anciennes, qui se propagent plus rapidement et attaquent plus facilement les plantes et les animaux affaiblis par d'autres facteurs liés au changement climatique
- la sécurité alimentaire qui souffre d'un climat de plus en plus imprévisible, de la dégradation des sols et d'un grand nombre des facteurs susmentionnés
- ces défis et interrelations sont exacerbés par le fait que l'objectif de 1,5°C ne sera plus atteint

Tous ces facteurs sont interconnectés et, d'une manière ou d'une autre, dépendent les uns des autres. Se concentrer sur la résolution d'un ou de plusieurs des problèmes susmentionnés de manière isolée, sans tenir compte des autres, n'aboutira très probablement pas au résultat escompté. C'est la raison pour laquelle la pensée holistique est le fondement d'une agriculture et d'un système alimentaire résilients et productifs à l'heure du changement climatique et de la forte demande en matière d'utilisation multifonctionnelle des terres.

Points de départ similaires

Bien qu'il n'existe pas de définition uniforme de l'agriculture régénératrice (AR), les thèmes communs à l'adaptation au climat sont la multifonctionnalité, la complexité et la pensée holistique ou écosystémique, comme l'indiquent deux des définitions présentées au chapitre 2.

"Une approche de l'agriculture qui utilise la conservation des sols comme point de départ pour la régénération et la contribution à **de multiples services d'approvisionnement, de régulation et de soutien**, dans le but d'améliorer non seulement les **dimensions environnementales** mais aussi **sociales et économiques** de la production alimentaire durable (Schreefel et al. 2020)".

"Nous définissons l'agriculture régénératrice comme une approche agricole **en constante évolution, complexe et dépendante du contexte**, qui vise à restaurer et à régénérer les terres dégradées et à **contribuer à l'adaptation au changement climatique** avec des avantages connexes en termes d'atténuation. Dans l'AR, le sol est le point d'entrée pour **repenser les systèmes alimentaires** dans le but d'améliorer les **services écosystémiques biologiques, physiques, chimiques et culturels** en réponse aux conditions écologiques et à la crise climatique, tant au niveau local que mondial (Daverkosen et Holzkecht et al. 2022)".



Selon le GIEC (2014), "l'adaptation est le processus d'ajustement au climat actuel ou prévu et à ses effets. Il ne s'agit pas d'une **réponse d'urgence ponctuelle**, mais d'une série de **mesures proactives** visant à gérer le lien entre l'aléa (par exemple, la sécheresse, l'élévation du niveau de la mer), l'exposition (par exemple, moins d'eau dans le Sud) et la vulnérabilité (par exemple, la pauvreté ou le manque d'éducation) [...]."

Les concepts d'adaptation au climat et d'agriculture régénératrice reposent sur des prémisses similaires :

- Le changement climatique est l'un des plus grands défis pour l'humanité, et nous devons non seulement le prévenir, mais aussi faire face à ses conséquences.
- Traiter des processus et des problèmes complexes pour lesquels les solutions simples ne fonctionnent pas.
- Impacts à long terme > bénéfiques à court terme.
- Accepter la complexité et essayer de comprendre les interconnexions entre de multiples facteurs.
- Orientation vers les processus, mise en œuvre progressive des mesures, apprentissage constant, boucles de rétroaction.
- Être confronté à de grandes incertitudes.
- De nombreux acteurs sont impliqués à différents niveaux (exploitations agricoles, marchés, gouvernance, etc.).
- Exiger que l'on s'éloigne du statu quo.

Toutefois, les principes de l'adaptation au climat et de l'agriculture régénératrice peuvent être mal interprétés et entraîner davantage de problèmes, comme l'investissement dans des systèmes de refroidissement ou d'irrigation à forte intensité de ressources qui maintiennent la production de produits qui ne s'intègrent pas (ou ne s'intégreront pas) dans l'écosystème (voir le chapitre 3 sur la maladaptation). C'est pourquoi des lignes directrices et des processus coordonnés sont nécessaires pour minimiser la probabilité de tels problèmes de maladaptation tout en maintenant l'effort requis à un niveau aussi bas que possible (par exemple, le cycle ClimateFarming).

Réclamations et besoins

L'AR se veut holistique, contextualisée, flexible, multifonctionnelle et favorable aux ressources naturelles. Dans le même temps, l'adaptation doit être holistique, contextualisée, flexible, multifonctionnelle et favorable aux ressources naturelles. Ces deux concepts sont les deux faces d'une même pièce. Tous deux considèrent le changement climatique comme une "donnée de base" à laquelle nous devons faire face plutôt que d'en douter. Ainsi, en mettant

en œuvre l'agriculture régénératrice à un niveau systémique, il est possible de répondre aux exigences de l'adaptation au climat dans le secteur agricole lui-même, mais aussi dans de nombreux autres domaines liés au climat. Par exemple, des phénomènes météorologiques extrêmes se produisent et continueront de se produire, mais leur impact peut être atténué par la création de paysages capables d'absorber et de stocker davantage d'eau, ce qui permet par exemple d'éviter les inondations. La biodiversité continuera très probablement à diminuer, mais son effondrement peut être évité en créant des paysages plus diversifiés et en n'utilisant plus de produits chimiques perturbateurs. La productivité agricole (au sens classique du terme, c'est-à-dire le rendement/ha des cultures hautement spécialisées ou des animaux à forte production) diminuera probablement dans certains endroits, mais si l'on tient compte de la saisonnalité, de la localisation, des changements de régime alimentaire, du gaspillage alimentaire, etc.

L'accent est donc mis sur la stabilité à long terme plutôt que sur les avantages à court terme. Au-delà de la planification à court terme, la création et la promotion de systèmes auto-évolutifs et une approche intégrative des processus naturels sont au cœur de l'agriculture régénératrice. En même temps, cela correspond à la base d'une adaptation à long terme réussie au changement climatique.

Poursuivre des objectifs similaires

Les deux concepts abordent l'objectif de résilience en prenant en compte tous les facteurs possibles de l'équation, grâce à une compréhension holistique (ou systémique) de leur interconnexion. L'un des quatre principes d'adaptation de l'UE est une "adaptation plus systémique", car le changement climatique se fera sentir à tous les niveaux de la société, et les considérations relatives à la résilience climatique doivent donc être intégrées et faire partie de chaque décision prise (Commission européenne 2021). Il en va de même pour les décisions relatives à l'agriculture régénératrice.

Comment traduire la théorie en mesures ? La complexité de ces questions à plusieurs niveaux exige un processus dynamique et itératif d'évaluation, de planification, de mise en œuvre, de suivi et d'évaluation, de replanification, et ainsi de suite. Des approches similaires sont utilisées, par exemple, dans l'[outil ClimateAdapt](#) (Commission européenne et Agence européenne pour l'environnement 2021) ou dans le diagramme de gestion agricole (Kay et al. 2016), qui est décrit dans le chapitre suivant. Ce processus est essentiel à l'élaboration de mesures efficaces et nécessite des connaissances et souvent de nouvelles compétences, qui sont les intrants les plus importants. Il est important de respecter les caractéristiques et le contexte de chaque exploitation (système) et de les intégrer dans la planification et l'exécution. En outre, il convient d'utiliser la multifonctionnalité pour maximiser les synergies et relever plusieurs défis en même temps.

Exemples de mesures

Selon la compréhension que l'on a de l'agriculture régénératrice, ses principes sont difficiles à prouver scientifiquement, car leur objectif est d'embrasser la complexité, et les sciences naturelles exigent souvent l'exclusion des facteurs de "bruit" de fond afin d'utiliser des

méthodes déductives pour trouver des modèles. En termes plus simples, il est difficile de prouver qu'une mesure spécifique a l'impact souhaité, si une série d'autres mesures sont mises en œuvre en même temps et si de nombreux facteurs (tels que le sol, le climat, etc. qui échappent au contrôle d'un agriculteur ou d'un chercheur) ont également une incidence sur le résultat.

Nous nous appuyons principalement sur des preuves anecdotiques d'agriculteurs qui font preuve d'une plus grande résilience, d'une bonne structure du sol, d'une pression moindre des ravageurs et des maladies, etc. en mettant en œuvre une grande variété de mesures bien adaptées à leur contexte et interconnectées dans leurs services et leurs prestations et qui, par conséquent, se "nourrissent" et se soutiennent mutuellement. Bien que les systèmes de gestion agricole intégrée soient plus difficiles à mesurer et à évaluer, des études plus complexes sont en cours, les chercheurs trouvant des moyens de traiter les systèmes multidimensionnels. Il existe des preuves de mesures individuelles (et de certaines combinaisons de celles-ci) qui sont incluses dans certaines définitions de l'agriculture régénératrice, en particulier des pratiques telles que le travail réduit du sol, les cultures de couverture et les systèmes de cultures pérennes.

L'application de biochar et la mise en place de systèmes agroforestiers sont deux exemples de mesures qui ont fait l'objet de recherches approfondies. Tous deux peuvent constituer des exemples d'évolution vers une gestion agricole régénératrice s'ils sont mis en œuvre dans le bon contexte. Il a été prouvé que le biochar et l'agroforesterie répondent aux exigences d'un système agricole régénérateur holistique grâce à leur multifonctionnalité et à leur approche écosystémique. En outre, ils peuvent s'avérer très utiles pour l'adaptation au climat, avec des avantages connexes en termes d'atténuation (par exemple, Lehmann et al. 2021, Schmidt et al. 2021, Quandt et al. 2023, Rolo et al. 2023). Des mesures telles que l'application de biochar et l'agroforesterie reprennent donc les fondements théoriques décrits ci-dessus et montrent qu'ils peuvent être mis en pratique. Enfin, il reste à savoir où et comment ces mesures peuvent être mises en œuvre, et c'est là que le cycle ClimateFarming peut être d'une grande aide.

Exemple : **Biochar**

À l'instar de l'agriculture régénératrice, le nombre de publications scientifiques contenant le mot "biochar" dans leur titre a considérablement augmenté au cours des dix dernières années (voir, par exemple, [The State of Carbon Dioxide Removal report](#) 2023). L'ajout de biochar aux sols est souvent considéré comme une pratique régénératrice et de nombreux avantages ont été constatés, tels qu'une plus grande capacité de stockage de l'eau, une croissance accrue des racines, une activité microbienne plus active, etc. - autant de stratégies d'adaptation au climat. Un autre facteur important est l'impact à long terme de cette pratique, qui pourrait donc contribuer à stocker davantage de carbone dans les sols.

Exemple : L'agroforesterie

L'agroforesterie est pratiquée depuis de nombreux siècles, de sorte que ses effets peuvent être mesurés dans des écosystèmes gérés depuis longtemps ou dans des écosystèmes nouvellement établis. L'agroforesterie permet notamment d'accroître la biodiversité, d'augmenter le nombre de champignons dans le sol, d'augmenter la capacité de rétention d'eau, de rafraîchir les paysages, de servir de brise-vent et même d'augmenter les

rendements sur une même surface si elle est bien gérée. Tout comme le biochar, l'agroforesterie a généralement un impact à long terme qui est important pour l'atténuation du changement climatique.

Le cycle ClimateFarming

Le cycle ClimateFarming a été développé afin de condenser toutes les considérations mentionnées ci-dessus et d'autres encore dans une approche pratique. Il s'appuie sur les connaissances acquises en matière de gestion stratégique des exploitations agricoles et sur plusieurs cadres d'aide à la décision visant à soutenir l'adaptation au climat. De plus amples informations concernant le contexte théorique peuvent être trouvées dans Tolle (2021).

Il s'agit d'un processus efficace basé sur une méthode semi-standardisée qui s'adresse à des exploitations, des sites et des personnes individuels. En évaluant l'état de l'exploitation et ses nombreuses facettes dans un premier temps, en incluant toutes les parties impliquées dans l'exploitation et en donnant des impulsions pour trouver de nouvelles idées ou voir les opportunités sous un nouvel angle, il aide à développer progressivement une stratégie d'adaptation au climat. Le catalogue de mesures est le lien pratique entre l'étude de l'exploitation, l'approche théorique et la mise en œuvre de la stratégie. Cela devrait donner lieu à une version élargie de l'agriculture régénératrice, qui prend en compte encore plus de facteurs que ce qui est souvent mentionné. En se concentrant sur le contexte de l'exploitation et sur un processus itératif intensif de planification et d'évaluation, les incertitudes et la dynamique du changement climatique sont prises en compte et pleinement intégrées. La semi-normalisation permet une plus grande efficacité et une prise de décision moins arbitraire, ce qui se traduit par une plus grande transparence.

Quelques réflexions sur la mise en œuvre

La méthode ClimateFarming présente des limites. Il s'agit d'un processus qui demande beaucoup de temps et de connaissances et qui nécessite une certaine implication pour fonctionner correctement. Pour l'instant, il y a également un manque d'orientation vers la pratique, qui peut être partiellement atténué en faisant appel à des consultants externes pour des services spécifiques. Les impacts sont difficiles à mesurer et les résultats dépendent fortement des utilisateurs (agriculteurs et consultants). Les mesures peuvent entraîner des changements qui vont au-delà des impacts des mesures combinées qui nécessitent une compréhension approfondie de l'écosystème pour les évaluer.

Il existe également toujours un conflit entre la routine quotidienne de l'exploitation et les plans, stratégies et mesures à long terme, et des plages de temps spécifiques doivent être réservées pour le processus initial, mais aussi régulièrement par la suite pour réévaluer la situation. Un autre conflit est la demande de solutions faciles d'une part (par exemple, l'"agriculture climatique") par rapport à des problèmes complexes qui nécessitent une analyse et des solutions diverses et dépendantes du contexte d'autre part (le changement climatique), où les lignes directrices générales ne sont pas applicables.



Il en résulte que le soutien d'un tel processus est une tâche très difficile pour les consultants. Il faut des généralistes qui peuvent faire appel à différents spécialistes en cas de besoin. Combien d'exploitations agricoles passeront par ce processus potentiellement fastidieux pour mettre en œuvre leur stratégie climatique ?

Mais quelle est l'alternative ? L'alternative, c'est le maintien du statu quo, ce qui, en réalité, n'est plus une alternative. Les effets du climat se font sentir ici et maintenant, et le secteur agricole ne peut pas se permettre de rester les bras croisés.

L'objectif global de ce projet est de rendre les connaissances et les théories (académiques) plus accessibles et orientées vers la pratique *sans* dégrader leur valeur pour relever les défis complexes du changement climatique et de l'agriculture. D'après le contenu précédent, les solutions simples et unidimensionnelles n'auront que des effets bénéfiques à court terme, si tant est qu'elles en aient.

La mise en œuvre du cycle ClimateFarming dans des fermes de démonstration permet de mettre la théorie en pratique et d'obtenir un retour d'information constant sur la méthode. Elle rend également le contexte théorique perceptible et montre son impact sur une exploitation agricole. Par conséquent, ce réseau de fermes de démonstration permet d'étendre le cycle de l'agriculture climatique et, partant, l'adaptation au climat.

RÉSUMÉ - Connecter l'agriculture régénératrice et le cycle ClimateFarming

Le concept d'agriculture régénératrice et l'adaptation au climat ont des points de départ et des prémisses similaires, par exemple

- reconnaître que le changement climatique est un défi complexe qui doit être relevé par des mesures proactives,
 - valoriser les impacts à long terme plutôt que les bénéfices à court terme,
 - l'orientation vers les processus, les boucles de rétroaction et l'apprentissage permanent,
 - exigeant de s'éloigner de la routine,
- ainsi que des besoins similaires :
- contextualisation et flexibilité,
 - multifonctionnalité
- et des objectifs similaires :
- approche holistique et systématique,
 - comprendre l'interconnexion.

C'est pourquoi nous voyons un potentiel dans l'application du cycle ClimateFarming, pour traduire les principes d'adaptation au climat en conditions réelles d'exploitation.



Références

European Commission (2021): Forging a climate-resilient Europe - the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change. Brussels, Communication 2021/82. Available at:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2021:82:FIN>

European Commission and European Environment Agency (2021): The Adaptation Support Tool – Getting started. Available at <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/knowledge/tools/adaptation-support-tool>

IPCC (2014): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Lehmann, J., Cowie, A., Masiello, C.A. *et al.* Biochar in climate change mitigation. *Nat. Geosci.* **14**, 883–892 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00852-8>

Quandt, A., Neufeldt, H., Gorman, K. (2023): Climate change adaptation through agroforestry: opportunities and gaps, *Current Opinion in Environmental Sustainability*,

Volume 60. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101244>

Rolo, V., Rivest, D., Maillard, É., & Moreno, G. (2023). Agroforestry potential for adaptation to climate change: A soil-based perspective. *Soil Use and Management*, 00, 1– 27. <https://doi.org/10.1111/sum.12932>

Schmidt, H.-P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T. D., Sánchez Monedero, M. A., & Cayuela, M. L. (2021). Biochar in agriculture – A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*, 13, 1708– 1730. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12889>

Tolle, N. (2021). Developing and applying a dynamic framework for climate change mitigation and adaptation planning at farm-level – case-study of a mixed farm in Northern Hessen, Germany. University of Hohenheim

Extra : Contexte théorique : Méthodes et fondements

Nils Tolle, Alena Holzknrecht, Janos Wack

Gestion stratégique des exploitations agricoles

La *gestion stratégique des exploitations agricoles* (Barnard et Nix, 1979 ; Kay et al., 2016) est un processus itératif. Elle sert à formuler les objectifs individuels de l'exploitation, à allouer les ressources au sein de l'exploitation et à contrôler les résultats de l'exploitation. Ce processus permet d'élaborer des stratégies de développement possibles pour l'exploitation. En principe, ce processus peut être comparé aux approches traitant de la planification de l'adaptation (par exemple, les cycles d'action d'adaptation ; Park et al., (2012)), car les éléments essentiels sont similaires. La gestion stratégique de l'exploitation agricole implique :

1. l'analyse et la description du problème
2. définition des principes directeurs (qualitatifs) et des objectifs (quantitatifs, mesurables)
3. évaluation des conditions internes et externes (par exemple, analyse SWOT)
4. sur cette base : collecte et planification des solutions possibles
5. la mise en œuvre des mesures prévues
6. le suivi, le contrôle et la replanification (comparaison objectif-performance)

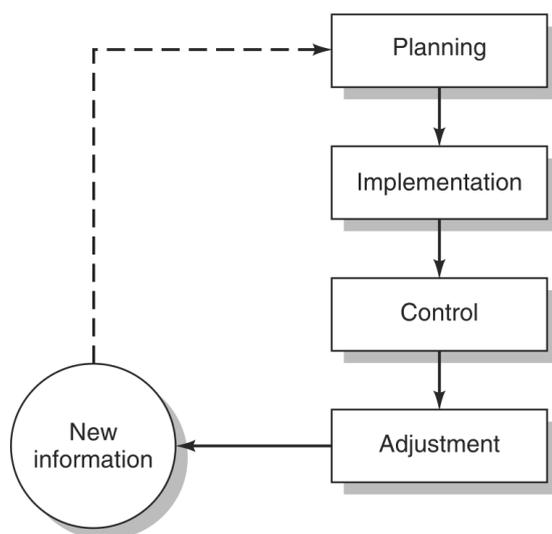


Figure 1 : Organigramme de la gestion agricole, tiré de Kay et al. (2016)

Toutefois, la gestion stratégique classique des exploitations agricoles ne dispose pas des outils et des mécanismes nécessaires pour faire face à une incertitude "profonde". Pour résoudre ce problème, la gestion stratégique classique des exploitations agricoles est complétée par des approches basées sur la "prise de décision en cas d'incertitude profonde" (DMDU).



Prise de décision en cas d'incertitude profonde (DMDU) et approche dynamique des voies d'adaptation (DAPP)

L'accumulation d'incertitudes, appelée cascade d'incertitudes (Refsgaard et al., 2013), constitue un défi important pour la planification de l'adaptation au changement climatique en général, et pour l'agriculture en particulier. Le changement climatique peut être considéré comme une source d'incertitude profonde (Jones et al., 2014).

La méthode DAPP est une approche basée sur les connaissances de la DMDU. Développée à l'origine dans le contexte de la gestion de l'eau, la méthode peut également servir de base aux processus d'adaptation dans d'autres secteurs (Haasnoot et al., 2019). Le DAPP a été développé par Haasnoot et al. (2013) et repose sur la combinaison d'éléments de l'*élaboration de politiques adaptatives* et des *voies d'adaptation*. Cette approche aborde la question de l'incertitude profonde en permettant à l'utilisateur de "planifier de manière proactive une adaptation flexible au fil du temps [...]" en fonction de la manière dont "[...] l'avenir se déroule réellement" (p. 73, Haasnoot et al., 2019). Le DAPP utilise une approche dite de parcours, où un parcours d'adaptation est une séquence et une combinaison de différentes mesures d'adaptation au fil du temps. Les différentes voies d'adaptation possibles sont présentées dans ce que l'on appelle une carte des voies d'adaptation. Ces cartes ouvrent à l'utilisateur un espace de décision dans lequel chaque voie est potentiellement capable d'atteindre un objectif prédéterminé. Toutefois, il existe des différences entre les voies en termes d'efficacité, d'effets secondaires et de robustesse (Marchau et al., 2019).

Le DAPP est utilisé comme fondement du cycle ClimateFarming car il correspond aux défis de l'adaptation au climat au niveau de l'exploitation agricole. Selon Haasnoot et al. (2019), le DAPP est particulièrement utile lorsque :

- L'horizon de planification comporte des incertitudes fondamentales.
- Il existe une grande variété de mesures d'adaptation, ce qui permet de mettre en place des actions différentes et flexibles.
- solutions.
- Les mesures peuvent être mises en œuvre relativement rapidement et le système dispose de suffisamment de temps pour
- s'adapter.
- La durée de vie des mesures est relativement courte par rapport à l'horizon de planification.
- Les décisions peuvent entraîner des dépendances importantes.
- Des indicateurs existent pour signaler les changements de tendance.

En outre, l'approche par filière est particulièrement utile car elle permet de visualiser les interactions et les dépendances complexes des différentes mesures d'adaptation dans les cartes de filière et les rend ainsi tangibles pour l'utilisateur. Les avantages de cette approche sont utilisés dans l'étape 4 du cycle ClimateFarming, la *stratégie climatique de l'exploitation*. La visualisation incite l'utilisateur à réfléchir et à planifier des mesures à court et à long terme. Cela réduit le risque de maladaptation et le suivi associé renforce la perception de l'adaptation comme un processus continu. La prise en compte active de l'incertitude encourage également la prise en compte des impacts potentiellement plus graves du changement climatique (Haasnoot et al., 2019).

Méthode complémentaire 1 : Analyse TOWS

L'analyse TOWS traduit les résultats de l'analyse SWOT en stratégies de réponse possibles (Wehrich, 1982). Il peut déjà s'agir de mesures d'adaptation concrètes à des impacts climatiques spécifiques, mais ce n'est pas obligatoire. Cette méthode est intéressante dans le cas d'un système agricole complexe, par exemple une exploitation comportant plusieurs branches de production.

Une matrice TOWS est comparable à une matrice SWOT, mais elle contient quatre blocs supplémentaires qui se concentrent sur les interactions des différents éléments SWOT (*SO = Strength/Opportunity* ; *ST = Strength/Threat* ; *WO = Weakness/Opportunity* ; *WT = Weakness/Threat*). Se concentrer sur l'interaction des différents aspects SWOT permet d'identifier les possibilités de développement de l'exploitation (*S/O*), de montrer comment répondre aux *menaces* externes par des *forces* internes (*S/T*) ou comment remédier aux *faiblesses* internes par des *opportunités* externes (*W/O*). Enfin, l'interaction entre les *faiblesses* et les *menaces* (*W/T*) peut révéler quelle combinaison de facteurs négatifs est particulièrement problématique et doit faire l'objet d'une adaptation.



Exemple d'analyse SWOT/TOWS :

SWOT : Un exemple d'exploitation agricole identifie la sécheresse croissante comme une *menace* grave. En outre, les membres de l'exploitation notent que tous les secteurs agricoles sont vulnérables à la sécheresse, ce qui constitue une *faiblesse* de l'exploitation. L'analyse SWOT montre également que la commercialisation directe et rentable de la viande bovine est un point *fort* de l'exploitation. Dans le même temps, il apparaît que deux nouveaux agriculteurs se sont installés à proximité de l'exploitation en question et qu'ils s'intéressent à la production de légumes, ce qui constitue une *opportunité*.
TOWS : À partir de cette combinaison de facteurs, les membres de l'exploitation considèrent qu'une nouvelle branche de l'exploitation, moins sensible à la sécheresse, doit être intégrée à l'exploitation (*Menace* : Sécheresse croissante + *Faiblesse* : Forte sensibilité à la sécheresse). Compte tenu de l'importance de la commercialisation directe (*force*) et de la disponibilité d'une main-d'œuvre supplémentaire (*opportunité*), l'idée se fait jour d'établir une culture de légumes irriguée avec commercialisation directe des légumes en tant que nouvelle branche de l'exploitation. L'objectif est de diversifier davantage l'exploitation et de compenser les pertes subies dans d'autres branches de production, en particulier en période de sécheresse.



Exemple de combinaison de l'analyse SWOT/TOWS avec les résultats de l'exploration de l'impact climatique : Comme stratégie de réponse possible à la vulnérabilité d'une exploitation agricole à la sécheresse, l'analyse TOWS a suggéré l'établissement d'une nouvelle branche de production : la production de légumes irrigués avec commercialisation directe. Bien entendu, les membres de l'exploitation étaient conscients que l'irrigation pourrait devenir problématique si les précipitations diminuaient et, par conséquent, les possibilités de recharge des nappes phréatiques ou de collecte de l'eau de pluie. Toutefois, la projection climatique régionale a montré que, selon les modèles climatiques, il ne faut pas s'attendre à une diminution significative des précipitations moyennes annuelles, même à long terme. Toutefois, il est possible que l'on assiste à un changement saisonnier - moins de précipitations pendant les mois d'été et plus de précipitations pendant les mois d'hiver. À partir de ces informations, les membres de l'exploitation ont conclu que la production de légumes irrigués pouvait réduire la vulnérabilité de l'exploitation face à la sécheresse



Cofinancé par
l'Union européenne



et lui permettre de faire face aux éventuels impacts climatiques, y compris à long terme. Cependant, une bonne gestion de l'eau et l'expansion du stockage des eaux de pluie, en particulier pendant les mois d'hiver, sont des conditions préalables.

Méthode complémentaire 2 : Analyse SWOT et mesures d'urgence

L'utilisation de l'analyse SWOT et des mesures d'urgence n'est pas essentielle au succès de l'étape 4 et du cycle ClimateFarming et peut être omise si nécessaire. Toutefois, il convient de souligner qu'il s'agit d'une méthode intéressante pour évaluer la stratégie climatique de l'exploitation, car elle motive les membres de l'exploitation et le consultant à analyser de manière critique le plan élaboré et à trouver des moyens d'améliorer encore la stratégie climatique de l'exploitation.

L'analyse SWOT de la stratégie climatique agricole sert à identifier les incertitudes, les nouvelles vulnérabilités et les opportunités découlant de la stratégie climatique agricole. Cette analyse sert de base à la formulation de mesures d'urgence. Les mesures d'urgence ont pour but d'accroître la résilience de l'exploitation et de ses plans en couvrant ses succès ou en exploitant les opportunités qui se présentent. Il existe trois catégories de mesures, à savoir les *mesures défensives*, les *mesures correctives* et les *mesures d'opportunité*. Selon Walker et al. (2019), ces actions sont définies comme suit :

- Mesures défensives (DA) : Mesures prises pour soutenir ou garantir le succès de la stratégie climatique agricole ou pour relever les défis externes qui menacent le succès de la stratégie climatique agricole.



Exemple d'action défensive : Si une stratégie climatique agricole prévoit la construction d'une installation agrophotovoltaïque, l'agriculteur pourrait organiser à l'avance une réunion communautaire dans la municipalité concernée afin de fournir des informations sur le projet à un stade précoce et d'obtenir le soutien de la population.

- Action corrective (AC) : Une action corrective modifie la stratégie climatique de l'exploitation en réponse à de nouvelles connaissances ou à un changement de conditions, sans modifier ses objectifs généraux.



Exemple d'action corrective : Les progrès de la robotique permettent un meilleur contrôle des mauvaises herbes dans l'agriculture biologique. En conséquence, le travail du sol et la sélection des cultures peuvent être modifiés.

- Action d'opportunité (OA) : Action visant à tirer parti d'opportunités et à accroître l'efficacité ou la résilience de la stratégie climatique de l'exploitation.



Exemple d'action d'opportunité : En raison d'un changement dans la situation juridique concernant la promotion des systèmes agroforestiers, certaines espèces d'arbres sont promues et d'autres non. Une nouvelle planification de la plantation agroforestière avec

les arbres éligibles serait une mesure corrective (bien sûr, cela ne s'applique que si ces espèces d'arbres conviennent toujours à l'emplacement, au climat et à l'exploitation).

La mise en œuvre des mesures d'urgence s'appuie sur le suivi de l'étape 5.

Méthode additionnelle 3 : Points de basculement de l'adaptation et points de basculement de l'opportunité (ATP et OTP)

Dans le DAPP, les mesures d'adaptation individuelles qui composent une voie d'adaptation ont des points de basculement de l'adaptation (ATP) différents. Un ATP marque le point auquel une mesure n'est plus en mesure d'atteindre les objectifs spécifiés d'un système (Kwadijk et al., 2010). La formulation de l'ATP est censée informer le décideur du passage à une nouvelle mesure d'adaptation ou à une mesure supplémentaire.

Cette approche est problématique au niveau de l'exploitation, car il est difficile de faire des estimations fiables de l'ATP en raison de l'interaction complexe de divers facteurs. L'utilisation de l'ATP est encore compliquée par le fait que, dans la production agricole, plusieurs mesures sont généralement mises en œuvre simultanément et que les mesures existantes ne sont pas remplacées mais plutôt complétées par des mesures nouvelles et supplémentaires. Par exemple, les variétés tolérantes à la sécheresse ne sont pas remplacées par l'introduction d'un travail réduit du sol, mais complétées.

Étant donné que ce problème ne se pose pas uniquement au niveau de l'exploitation, les ATP ont été complétés par des OTP (Opportunity Tipping Point ; Haasnoot et al., 2018). Contrairement à l'ATP, l'OTP signale le moment où l'introduction d'une nouvelle mesure ou d'une mesure complémentaire est judicieuse. Cette approche est - la plupart du temps - plus utile dans la planification de l'adaptation agricole.

Le concept de point de basculement permet de devenir plus indépendant de la sélection des scénarios (climatiques) et de leur précision. L'accent est mis sur les conditions dans lesquelles une certaine mesure d'adaptation échoue (ATP) ou doit être mise en œuvre (OTP), et non sur le scénario sélectionné.



Exemple d'ATP : La mesure d'adaptation "ensemencement de légumineuses à racines profondes et de variétés de graminées résistantes à la sécheresse dans les prairies" est envisagée. Cette mesure climatique pourrait atténuer les dommages liés à la sécheresse dans une certaine mesure, mais devrait être complétée par d'autres mesures (par exemple, l'agroforesterie pour fournir de l'ombre et compléter l'offre de fourrage) à mesure que l'intensité des sécheresses augmente.



Exemple d'OTP : la mesure d'adaptation "agroforesterie" est envisagée. L'introduction d'un soutien gouvernemental à l'agroforesterie serait une OTP qui initierait la mise en œuvre de la mesure d'agroforesterie.



RÉSUMÉ - Contexte théorique : Méthodes et fondements

La **gestion stratégique des exploitations agricoles** (Barnard et Nix, 1979 ; Kay et al., 2016) est un processus cyclique qui comprend les phases suivantes.

- Analyse (définition du problème)
- Formulation des objectifs
- Planification
- Mise en œuvre
- Suivi, contrôle et replanification (comparaison objectif-performance)
- En principe, ce processus peut être comparé aux approches traitant de la planification de l'adaptation (par exemple, les cycles d'action d'adaptation ; Park et al., (2012)), car les éléments essentiels sont similaires.
 - Il s'agit d'un processus continu d'analyse, de mise en œuvre, de suivi et de réévaluation. L'accent est mis sur l'apprentissage, l'adaptabilité et la flexibilité.
- La gestion stratégique des exploitations agricoles doit être complétée par des approches DMDU (Decision-making Under Deep Uncertainty) pour faire face au problème de l'incertitude croissante.

Prise de décision en cas d'incertitude profonde :

- Définition tirée du U.S. Climate Resilience Toolkit (2023) :
Il y a incertitude profonde lorsque les décideurs et les parties prenantes ne savent pas ou ne peuvent pas se mettre d'accord sur la probabilité des différents scénarios futurs.
 - *S'il n'y a pas d'accord, de connaissance ou de confiance dans ces scénarios futurs.*
 - *Lorsque les décideurs ou les parties prenantes ne sont pas d'accord ou ne savent pas quelles conséquences pourraient résulter de leurs décisions".*
- Il existe diverses approches et méthodes qui aident les décideurs à prendre des décisions dans des situations d'incertitude profonde, regroupées sous l'appellation "Decision-making under Deep Uncertainty (DMDU)" (Marchau et al., 2019)

L'**approche des voies d'adaptation dynamiques (DAPP)** constitue la base méthodologique du cycle de l'agriculture climatique.

- La DAPP intègre l'incertitude dans le processus de planification par le biais de la capacité du plan à être modifié au fil du temps en fonction de la disponibilité de nouvelles connaissances ou de l'évolution des conditions (Marchau et al., 2019).

Il existe des méthodes supplémentaires qui peuvent être intégrées dans le cycle ClimateFarming afin d'améliorer ses résultats.

- Méthodes supplémentaires 1 : Analyse TOWS (étape 2)
- Méthodes complémentaires 2 : Analyse SWOT et mesures d'urgence (étape 4)
- Méthodes supplémentaires 3 : Points de basculement de l'adaptation et points de basculement de l'opportunité (ATP et OTP)

Références

Abbasi, H., Delavar, M., Nalbandan, R. B., and Shahdany, M. H. (2020). Robust strategies for climate change adaptation in the agricultural sector under deep climate uncertainty. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pages 1–20.

Barnard, C. S., Barnard, C. S., and Nix, J. (1979). *Farm planning and control*. Cambridge University Press.

Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., and ter Maat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global environmental change*, 23(2):485–498

Haasnoot, M., van't Klooster, S., and Van Alphen, J. (2018). Designing a monitoring system to detect signals to adapt to uncertain climate change. *Global environmental change*, 52:273–285.

Haasnoot, M., Warren, A., and Kwakkel, J. H. (2019). Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP). In *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, pages 71–92. Springer Nature.

Kay, R., Edwards, W., and Duffy, P. (2016). *Farm management*. eighth edition. international.

Kwadijk, J. C., Haasnoot, M., Mulder, J. P., Hoogvliet, M. M., Jeuken, A. B., van der Krogt, R. A., van Oostrom, N. G., Schelfhout, H. A., van Velzen, E. H., van Waveren, H., et al. (2010). Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise: a case study in the netherlands. *Wiley interdisciplinary reviews: climate change*, 1(5):729–740.

Marchau, V. A., Walker, W. E., Bloemen, P. J., and Popper, S. W. (2019). Introduction. In *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, pages 1–20. Springer Nature.

Park, S. E., Marshall, N. A., Jakku, E., Dowd, A. M., Howden, S. M., Mendham, E., and Fleming, A. (2012). Informing adaptation responses to climate change through theories of transformation. *Global Environmental Change*, 22(1):115–126.

U.S. CLimate Resilience Toolkit. (2023). *Decision Making Under Deep Uncertainty*. <https://toolkit.climate.gov/content/decision-making-under-deep-uncertainty>. Last access: 24.10.2023

Walker, W. E., Marchau, V. A. W. J., and Kwakkel, J. H. (2019). Dynamic Adaptive Planning (DAP). In *Decision making under deep uncertainty: from theory to practice*, pages 53–69. Springer Nature.

Weihrich, H. (1982). The tows matrix—a tool for situational analysis. *Long range planning*, 15(2):54–66.