

RENDRE SES SOLS PLUS RÉSILIENTS FACE À LA SÉCHERESSE EN GRANDES CULTURES



Philippe Nihoul, Pierre Courtois, Florence Desmet,
Pascal Pochet, SPW-ARNE, Direction Recherche et
Développement - Services extérieurs

En grandes cultures, un éventail de possibilités et de stratégies existe pour tenter de s'adapter au mieux au réchauffement climatique : choix des espèces, des variétés, des dates de semis et des successions culturales, recours à l'agroforesterie, à l'irrigation, ... Avec des approches anticipatives ou curatives qui permettent d'esquiver, atténuer ou tolérer un déficit hydrique.

Face au risque de tension sur la disponibilité de la ressource en eau et de la répartition de ses usages, il convient, au niveau des sols agricoles, de commencer par maximiser leur capacité naturelle et intrinsèque de réservoir et de tampon hydriques.

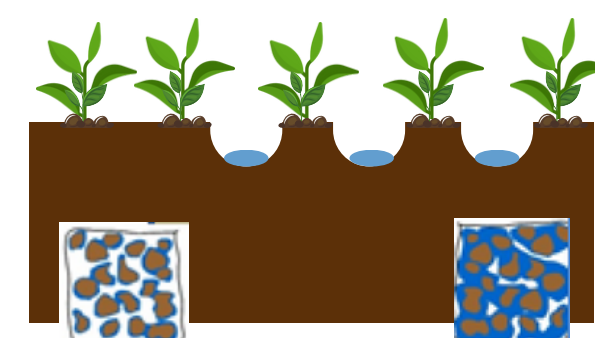
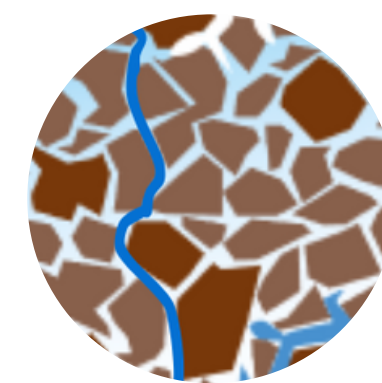
La gestion des sols constitue certainement un premier levier à activer, d'autant que d'autres services parallèles peuvent être simultanément rendus : stockage du carbone, maintien de la fertilité naturelle, limitation de l'érosion...

Une piste que l'on envisage sur du court terme en cultures de haute valeur ajoutée est l'irrigation. Le projet CLIMASSOL en France a de fait montré que l'irrigation a un impact positif sur la marge nette de l'exploitation agricole (Valles et al., 2023). L'introduction de cultures contractuelles et à forte valeur ajoutée a un intérêt pour rentabiliser son coût. Dans de tels systèmes, maintenir la diversification culturale est également payant. Il n'est en outre pas possible de tout miser sur l'irrigation, car tous les contextes ne s'y prêtent pas.

SUR QUELS PARAMÈTRES DU SOL POUVONS-NOUS AGIR ?

Parmi les paramètres qui déterminent les **capacités de stockage et de conservation de l'eau pluviale dans les sols** et sur lesquels le cultivateur peut avoir une certaine emprise, nous pouvons citer :

- la **porosité** qui favorise l'infiltration de l'eau et la capacité de réservoir dans le sol ;
- la **matière organique** qui est à la base de la structure du sol, elle-même déterminante pour la capacité de rétention de l'eau et pour les micro-organismes et la micro-faune (cette vie est à l'origine d'une certaine porosité facilitant l'infiltration de l'eau et l'exploration racinaire) ;
- la **couverture du sol** qui outre son rôle de restitution de biomasse au sol limite l'évapotranspiration et donc les flux hydriques au niveau parcellaire (les réseaux mycorhiziens, favorisés par les cultures de couverture, prospectent de manière plus étendue le sol et établissement des associations avec les plantes par symbiose) ;
- le **microrelief parcellaire** qui peut favoriser l'infiltration de l'eau en la retenant, tels celui créé par le labour (à nuancer), les micro-diguettes en interbuttes de pomme de terre et les micro-dépressions en interrangs de maïs.



CONCRÈTEMENT QUELLES ACTIONS PEUVENT ÊTRE ENTREPRISES ?

Bien que le rôle des sols dans l'adaptation à la sécheresse ait fait l'objet de moins d'attention que son importance pour la productivité des cultures, des études scientifiques sur le sujet existent et permettent de plus en plus de discerner les effets des pratiques culturales sur l'hydrologie des sols. S'il subsiste des inconnues, des résultats contradictoires, il y a néanmoins aussi un large consensus pour reconnaître un rôle majeur de certaines pratiques.

Plusieurs types d'actions peuvent être menées. Nous en avons repris quelques-unes ci-dessous dans des points séparés, sachant que cela peut revêtir un certain caractère arbitraire tant certaines techniques intègrent d'office plusieurs pratiques. Aucun levier d'action n'étant parfait à tous égards (cf. figure 1), c'est plutôt une combinaison dans un système cohérent qui est à rechercher. Ce sera à chacun de faire des choix d'adaptation en fonction de ses moyens et objectifs.





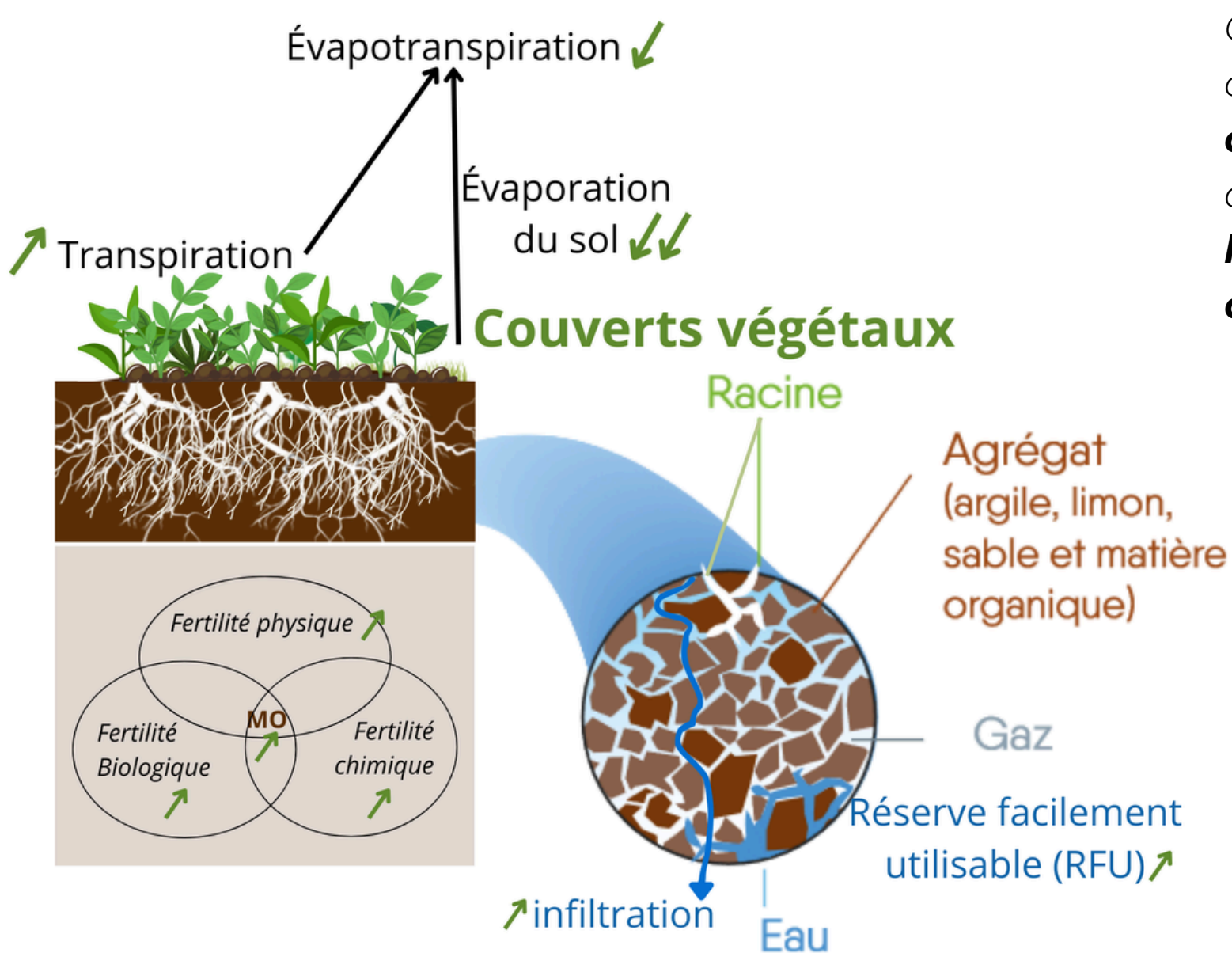
	 Densité apparente du sol	 Eau disponible pour la plante	 Ruissellement
Amendement organique	+	+	+
Réduction du travail du sol	-	+	neutre
Couverture végétale	+	-	+

Figure 1 : effets (bénéfique, neutre ou négatif) de trois pratiques (apport de matières organiques, travail réduit du sol ou absence de travail et couverture du sol) sur la densité apparente du sol, l'eau disponible pour la plante et le ruissellement (repris de Garré, Ilvo, 2022). L'intensité de la couleur est le reflet du nombre d'observations (résultats de 36 méta-analyses représentant des données de 2803 études distinctes).

1 Planter des cultures intermédiaires – maintenir une couverture variée et continue

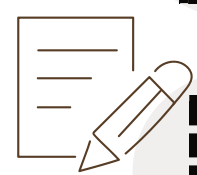


Outre le fait que les couverts végétaux sont considérés comme étant **le levier par excellence dans l'amélioration de la fertilité des sols**, ils apportent également des avantages en termes de **limitation d'assèchement du sol et d'augmentation de son réservoir utilisable** :

- limitation de l'érosion et de la formation d'une croûte de battance qui réduit l'infiltration de l'eau ;
- apport de matière organique (MO) et amélioration de la porosité du sol par leurs racines ;
- recyclage et mise à disposition des éléments minéraux (améliorant la fertilité et indirectement la résilience des plantes car plus vigoureuses).



Bon à savoir : la méthode MERCI (Méthode d'Estimation des Restitutions par les Cultures Intermédiaires) permet de mesurer la restitution en éléments minéraux principaux par les cultures intermédiaires à la culture suivante et permet d'adapter la fertilisation. En savoir plus: <https://methode-merci.fr/>



Note: Ces effets positifs ne sont toutefois pas mis en évidence dans les sols sableux (dépourvus d'argile fixatrice de MO) ou déjà très riches en matières organiques (complexation maximale).

En agriculture de conservation des sols (ACS), outre la présence d'une couverture végétale, le travail superficiel du sol accroît encore la stabilité structurale des sols en concentrant la MO en surface.

Les systèmes culturaux avec culture dérobée du sol semblent favoriser l'activité biologique et les développements mycorhiziens [1] qui étendent le rayon d'accessibilité dans le sol de l'eau et des éléments nutritifs pour les plantes cultivées. C'est la succession culturale qui a été observée comme le facteur clé expliquant la variabilité de mycorhization des racines du froment d'hiver en Wallonie (Projet MicroSoilSystem, Hardy et al., 2023). La combinaison de cultures principales non-mycorhizogènes (comme le colza et la betterave sucrière) avec une flore adventice très pauvre semble être la cause des scores les plus faibles en mycorhization, phénomène renforcé en cas d'intercultures constituées de moutarde et de phacélie (espèces peu favorables qui mycorhizent peu ou pas).

A contrario, si le colza est associé avec des légumineuses, l'association peut jouer un rôle de relai pour les champignons mycorhiziens. La prairie temporaire et le maïs améliorent quant à eux le taux de mycorhization.

Aucun lien direct entre le taux de mycorhization et le rendement n'a été mis en évidence lors de ce projet. Une multitude de facteurs interviennent évidemment pour fixer le rendement, tant pédoclimatiques que de l'ordre de la gestion culturale. Il faut plutôt voir la mycorhization comme un élément à favoriser dans un contexte de recherche de cultures plus résilientes et moins dépendantes d'intrants.

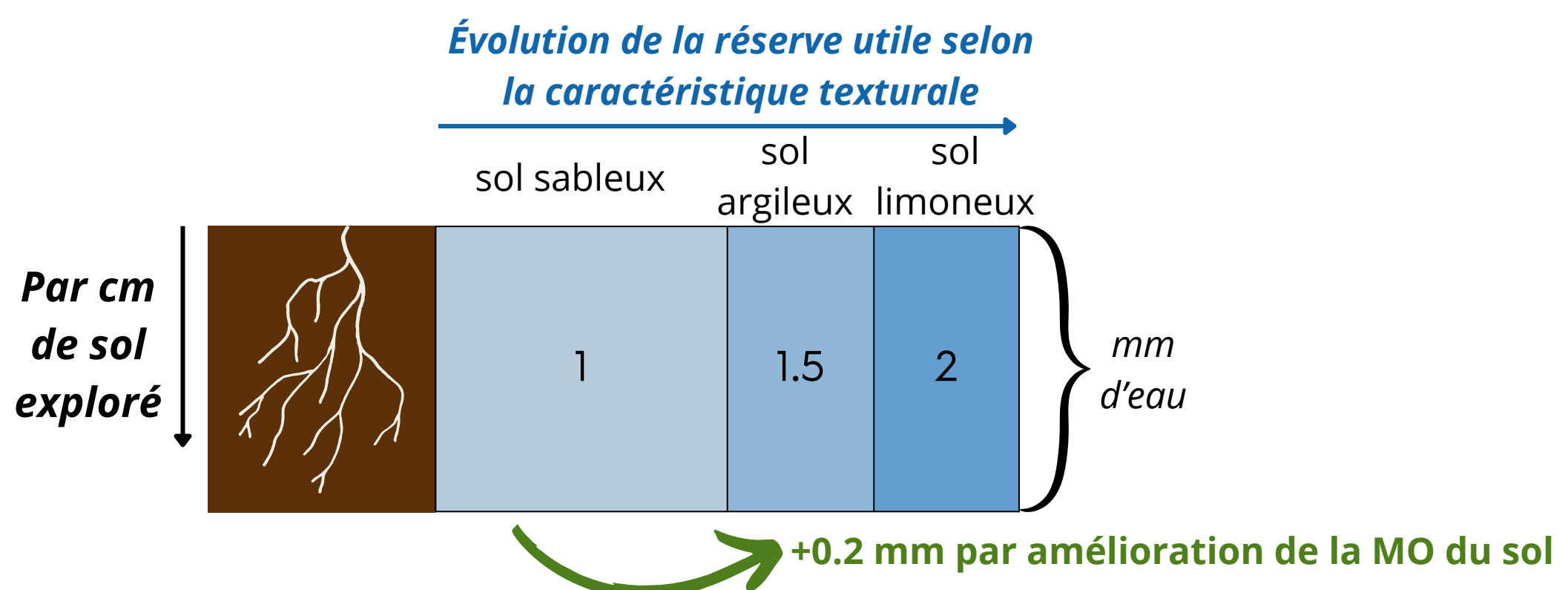
Il semble que la réduction de l'évaporation du sol et l'effet positif sur l'infiltration compenserait en moyenne la transpiration accrue due à l'interculture pour autant que la destruction de cette dernière intervienne suffisamment tôt au printemps (résultats obtenus en France par Justes et al., 2002)

Bon à savoir : se référer à [Protect'eau](#) et [Greenotec](#) pour la gestion et destruction des couverts respectant les principes agronomiques et réglementaires

2 Apporter de la matière organique

La teneur en carbone organique est un paramètre important pour évaluer finement la capacité d'un sol à retenir l'eau (réservoir utilisable : RU) à partir de ses caractéristiques texturales [2]. La matière organique intervient dans cette capacité, mais son accroissement n'induit cependant qu'une **assez faible augmentation du RU du sol, de l'ordre de + 0,2 mm par tranche de centimètre de profondeur**

de sol, du moins dans la fourchette des teneurs en MO des sols que l'on retrouve en France (Tscheiller et Le Guigo, Perspectives agricoles, juin 2024). La texture de sol est le paramètre le plus déterminant pour le RU. En moyenne la plante peut disposer d'un RU de 1 mm d'eau par centimètre exploré en sol sableux, 1,5 mm en sol argileux et 2 mm en limon.



Il y a d'autres intérêts à amener de la matière organique. L'un d'eux réside dans le rôle limitant l'érosion par une meilleure stabilisation des agrégats du sol, via la formation du complexe argilo-humique.

On préserve de la sorte le RU du sol. En sols acides et pauvres en MO le chaulage peut aussi améliorer la stabilité structurale en lien avec la texture du sol. Les apports de MO améliorent aussi la porosité et la capacité d'infiltration de l'eau.

[1] Mycorhize: association symbiotique entre certains champignons et les racines des plantes

[2] Texture: répartition dans le sol des minéraux et de la matière organique par catégorie de taille, indépendamment de la nature et de la composition

En fait c'est le rapport MO/argile qui est le critère fiable pour évaluer la qualité structurale du sol. Il faut viser au minimum un rapport de 17%^[2] qui est la valeur charnière entre un sol vulnérable et résilient. Un rapport de 12% entraîne des difficultés agronomiques. Ceci est valable si les teneurs en argile n'excèdent pas 60% (d'après Boivin Pascal, article de Durand, La France agricole, 2024).

Par ailleurs, la MO, évaluée au travers du carbone organique du sol (COS) n'impacte pas uniquement les propriétés qualitatives du sol qui sont importantes pour son fonctionnement.

Elle concourt également à la bonne santé du sol, notion plus large impliquant la santé des plantes et des micro-organismes peuplant le sol au travers des multiples interactions au sein de l'écosystème sol-plantes. Les communautés microbiennes sont au cœur de ces interactions et sont-elles mêmes influencées par la gestion de la matière organique du sol. La MO est ainsi placée comme premier facteur de qualité du milieu.

L'idéal, pour favoriser une bonne teneur en MO est de laisser autant que possible les résidus de récolte sur le champ, d'implanter et détruire sur place les intercultures et bien sûr d'apporter divers engrais de ferme, compost et digestats.

3 Favoriser si possible le travail simplifié du sol

Un effet marqué de la modification de la dynamique de l'eau dans le sol :

En agriculture de conservation des sols (ACS) les capacités d'infiltration de l'eau dans le sol et donc de recharge du réservoir utile du sol sont significativement augmentées et plus stables dans le temps, comparées à un système sous labour (résultats projet BAG'AGES). Le labour, s'il permet dans un premier temps de favoriser les mouvements de l'eau dans le sol, va présenter ensuite progressivement une décroissance de cette capacité par affaissement et ré-organisation de la porosité créée par la charrue. Les sols en ACS conservent finalement une meilleure porosité fonctionnelle dans le temps, même s'ils sont plus denses en moyenne (masse volumique apparente plus forte). Leur performance en termes de vitesse d'infiltration et de ressuyage est en lien avec leurs porosités (micro et méso) peu perturbées.

Pour rappel l'ACS n'est pas que le travail réduit du sol, mais la combinaison de celui-ci avec le couverture permanente du sol (intercultures ou résidus de cultures) et la diversification des cultures (rotations longues).

C'est évidemment cet ensemble qui permet d'aboutir à ces résultats. Tout système a néanmoins ses limites. Si les pores tubulaires créés en ACS jouent le rôle de drains, ils sont à capacité limitée. Dans l'étude d'Alleto et Bustillo (2023), les auteurs estiment à 2% le volume de ces pores par rapport au volume du sol sur 50 cm de profondeur, ce qui représente à peine 10 L/m². Une fois ces voies préférentielles d'infiltration saturées, le ruissellement en surface va rapidement prendre le relai si la pluviosité se maintient et en absence de possibilités de drainage profond.

La réponse à un passage en ACS ne sera pas aussi homogène d'un sol à un autre. Il semblerait que la variabilité des capacités d'infiltration soit plus grande en sols argileux que limoneux et que ces derniers répondent mieux au mode de gestion en ACS, avec une capacité fortement accrue de la capacité d'infiltration (sur les 50 premiers centimètres étudiés). Ceci pourrait-être dû à la meilleure stabilité temporelle de la capacité d'infiltration.



Note: Il faut rester prudent: l'ACS nécessite une certaine technicité qui doit être adaptée fonction du contexte pédo-climatique.

[2] Ces 17% correspondent en fait à la capacité moyenne de complexation des argiles (i.e. la quantité de MO qu'une masse donnée d'argile peut complexer serait en moyenne de 17% de cette masse), Boivin P (<https://www.tema-agriculture-terroirs.fr/cultivar-grandes-cultures/actualites/le-taux-de-matiere-organique-a-evaluer-dans-son-contexte-865654.php>).

Un accroissement modéré du réservoir utilisable du sol :

En ACS le RU est légèrement augmenté (+ 10% maximum à l'échelle du profil du sol), de même que, le plus souvent, la profondeur d'enracinement (Alleto et Bustillo, 2023), comparativement au labour. Néanmoins, il faut aussi relever que la réduction du travail du sol peut, inversement, freiner l'enracinement (dossier « Les fertilités du sol », Perspectives agricoles, avril 2024).

L'accroissement de la taille du réservoir d'eau accessible aux plantes va dépendre du type de sol et du niveau initial de la taille du RU. Alleto et Bustillo (2023) font état dans leur étude en France (bassin Adour-Garonne) d'une augmentation de 5 à 19% sur la tranche 0-50 cm de profondeur.

La texture de sol aura plus d'influence sur le RU que le système d'exploitation du sol (ACS vs labour).

4 Prévenir le tassement – le corriger

Le réservoir utilisable (RU) est la quantité maximale d'eau que le sol peut contenir et qui peut être mobilisable par les plantes. Au-delà du RU, l'eau est inaccessible à la plante qui flétrit. Le RU varie en fonction de :

- l'épaisseur du sol : de moins de 50 mm dans un sol sur roche dure à 30 cm à plus de 200 mm sur 1 mètre de profondeur dans un sol de plus d'1 mètre cinquante de profondeur ;
- les propriétés du sol : texture, teneur en matière organique, structure, teneur en éléments grossiers ;
- la culture : profondeur d'enracinement, capacité des espèces à extraire l'eau ;
- la présence et la qualité des mycorhizes.

Le RU est influencé par la densité apparente de la terre fine. Il décroît avec la densité apparente qui augmente avec la compaction du sol qui limite en plus le développement racinaire. Le RU peut être réduit de plus de 20% dans un sol compacté par rapport à un non compacté.



Les développements technologiques : pneus basse pression, report de charge, guide de précision, bandes de roulement permettent de contrebalancer partiellement l'augmentation du poids du matériel, pour autant qu'on évite de travailler en conditions inopportunes.

Le tassement n'est pas le seul élément négatif pour un bon fonctionnement du sol. La présence de semelles de labour, de zones de rupture dans les horizons sous-jacents en techniques culturales simplifiées (TCS) en sont d'autres qui peuvent amener des ruptures du système de porosité et affecter les mouvements d'eau dans le sol et les capacités d'exploration racinaire.

S'il y a eu tassement, le travail du sol est requis. Un tassement superficiel pourra être assez rapidement corrigé par un travail superficiel. Cependant un tassement au-delà de 23-30 cm de profondeur, outre le fait qu'il est moins détectable, sera plus difficile à corriger. Un travail mécanique profond du sol est souhaitable.

L'implantation de couverts pour recréer de la porosité n'apporte pas systématiquement, selon les situations, une amélioration suffisamment rapide

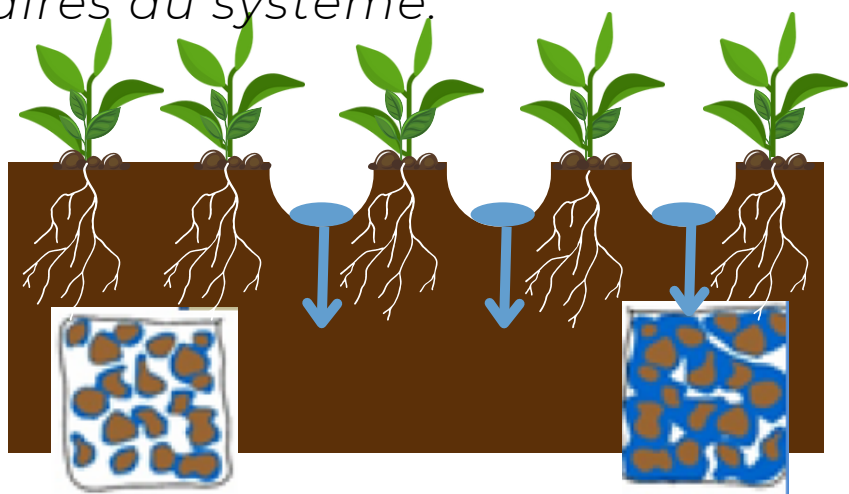


[2] Ces 17% correspondent en fait à la capacité moyenne de complexation des argiles (i.e. la quantité de MO qu'une masse donnée d'argile peut complexer serait en moyenne de 17% de cette masse), Boivin P (<https://www.tema-agriculture-terroirs.fr/cultivar-grandes-cultures/actualites/le-taux-de-matiere-organique-a-evaluer-dans-son-contexte-865654.php>).

5 Créer du microrelief

En créant un microrelief fort, le labour permet de maintenir sur place l'eau pluviale et son infiltration. Au contraire, un sol finement travaillé va être sujet à la battance et au ruissellement jusqu'à une érosion plus ou moins forte. Nous avons cependant vu ci-dessus que la réorganisation des agrégats du sol labouré conduit à une dégradation progressive de la porosité, et finalement à une moindre capacité d'infiltration sur le cycle cultural qu'avec les techniques de travail dites de conservation. Le labour a aussi comme inconvénient de diluer la MO dans le sol et de le rendre plus sensible à l'érosion.

La création d'une multitude de petites dépressions entre les rangs de la culture de maïs ou de micro-barrages entre les buttes de pomme de terre est d'abord une mesure de lutte contre l'érosion. Un effet induit est la possibilité d'avoir une plus grande quantité d'eau qui peut s'infiltrer et être à disposition de la culture, du moins dans les limites capacitaires du système.



Augmentation de la rétention d'eau superficielle à la surface du sol

En pratique, ce n'est pas tellement par son impact sur le rendement que les dépressions entre les rangs créées par l'usage d'un rouleau anti-érosif apporteront un avantage décisif dans les sols limoneux des régions au nord du sillon Sambre et Meuse en Wallonie (maximum 10%), mais bien par son impact anti-érosif (empêchant la perte du capital sol de l'agriculteur).

C'est ce qui ressort :

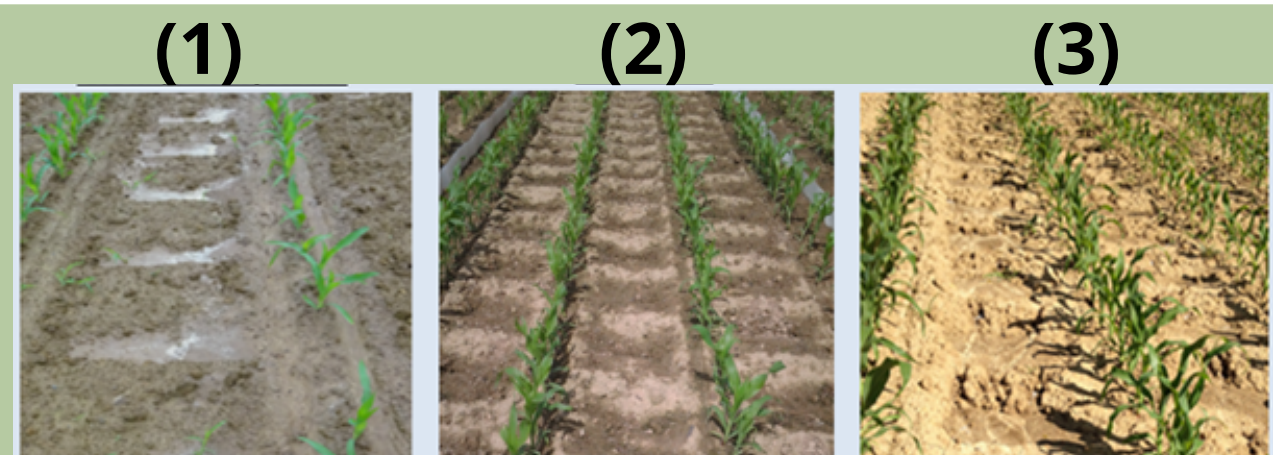
- d'une part (impact sur le rendement) de simulations effectuées avec des données météorologiques issues des années de 1999 à 2023, 2013, 2018 et 2022 étant les plus sèches (Hennion, 2023).
- d'autre part (impact anti-érosif), d'essais effectués par le CIPF avec 2 types de matériel (cf. infra), à savoir rouleau LSM et Estancador.

Concernant l'impact sur le rendement, il est vrai que la culture de maïs n'a pas montré de grosses faiblesses au cours de ces années, si ce n'est en sols séchant, peu profonds ou encore après une interculture de type ray-grass récoltée juste avant semis.

L'efficacité de ces outils, en termes d'apport d'eau supplémentaire, sur le rendement pourrait être plus importante sur des sols plus superficiels et caillouteux.

Concernant l'impact anti-érosif, voici les paramètres suivis par le CIPF dans le cadre d'essais de ce type de matériel :

- stockage temporaire **(1)**
- infiltration **(2)**
- piégeage des sédiments **(3)**



1. Rouleau LSM (projet Eruistop 2012-2015), combiné de semis rotative/semoir avec rouleau spécifique :



- pas d'impact négatif sur le rendement;
- -55 à -96% d'érosion sur 4 années de suivi en parcelle R10;
- Inconvénient : plus contraignant qu'un semis classique, coût élevé et semoir spécifique... donc disponibilité uniquement en cas de commande ferme.

2. Estancador, (essai-démo CIPF SPW 2023-2024, Ottignies LLN), adaptation d'un outil espagnol

- -42% en ruissellement et -36% d'érosion (sur une seule année, à confirmer donc) ;
- outil en cours d'optimisation (élargissement des pales de travail pour meilleure adaptation aux interlignes du maïs, adaptable aussi en betteraves, et amélioration du travail derrière les roues de tracteur) ;
- plus polyvalent, déjà produit en série, pas d'adaptation de semoir nécessaire, permet une réutilisation en début de culture si nécessaire (après un gros orage par exemple).



Source : CIPF, St-Gérard 13/9/2024

Les diguettes en culture de pomme de terre ont permis une réduction des volumes d'eau ruisselée de 70 % en moyenne dans les essais du Centre wallon de recherche agronomique (CRA-W) en 2009 et 2010, avec une variation allant de 31 à 98 % selon les sites, les années et le travail du sol. Avec 10.000 diguettes par hectare, ce n'est pas moins de 300 m³ estimé de retenue d'eau, ce qui correspond à une pluie de 30 mm (Fiwap-Info N° 126, Novembre - Décembre 2011). Les résultats de mesures de rendements effectués par le CRA-W de 2009 à 2011 ne permettent pas de mettre en évidence une augmentation significative de rendement en faveur du cloisonnement (Olivier et al, 2011).



Quelles possibilités d'aides publiques ?



Le plan stratégique wallon 2023-2027 lié à la Politique agricole commune (PAC) permet de soutenir les intercultures longues et le maintien/augmentation du carbone dans les sols :

- **Eco-régime couverture longue du sol** : informations détaillées sur le [portail wallon de l'agriculture](#).
- **MAEC-sol (MR 14)** : informations détaillées sur le [portail wallon de l'agriculture](#).

Références

Alleto Lionel et Bustillo Vincent. Fonctionnement hydrique des sols en agriculture de conservation. Juin 2023. Revue Agronomie, environnement & sociétés.

Johannes Alice et al (Matter Adrien, Schulin Rainer, Weisskopf Peter, Baveye Philippe C., Boivin Pascal), 2017, Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter?, Geoderma 302 (2017) 14-21

Prout JM, Shepherd KD, McGrath SP, Kirk GJD, Haefele SM. What is a good level of soil organic matter? An index based on organic carbon to clay ratio. Eur J Soil Sci. 2021;

Durand Anne-Laure, Augmenter son taux de matière organique pour gagner en résilience. 29 mars 2024. La France agricole, page 31.

Fiwap. Le cloisonnement des interbuttes en culture de pomme de terre: nouvelle démonstration de la faisabilité technique et économique. Fiwap-Info N° 126, Novembre - Décembre 2011.

Garré Sarah, 2022, Soil and crop management practices for climate adaptation. EJP Soil. European joint programme.

Hardy Briec, Calonne-Salmon Maryline, Declerck Stéphane et Huyghebaert Bruno. L'effet des pratiques agricoles sur la mycorhization du froment d'hiver. Itinéraires BIO. 2023 n° 70. 47-53.

Hennion Dorian. Sécheresse et rendement en culture de maïs : analyse de l'impact du rouleau anti-érosif en Wallonie. Faculté des bioingénieurs, Université catholique de Louvain, 2023. Mémoire. Promoteur : Bielders Charles.

Justes E., Dorsainvil F., Thiébau P., Alexandre M., 2002. Effect of catch crops on the water budget of fallow period and the succeeding main crops. Proceedings 7th ESA Congress, Cordoba (Spain), 503-504.

Olivier c., Goffart J-P, Baets, D, Fonder, N, Barthélemy J-P, Lognay G, Xanthoulis D. Le cloisonnement des interbuttes en culture de pomme de terre : essai réalisé en collaboration avec Bayer CropScience (Huldenberg 2011).

Tscheiller Romain et Le Guigo Pauline. Estimer le réservoir utilisable de ses parcelles. Juin 2024. Perspectives agricoles n° 522. 16-17.

Valles Alice, Carrera Aude, Marsac Sylvain, Gendre Sophie, Tscheiller Romain, Moynier Jean-Louis, Olou Aristide, Deudon Olivier et Leveau Valérie, 2023. CLIMASSOL : l'assolement comme levier d'adaptation des exploitations agricoles face au changement climatique. Revue Agronomie, environnement & sociétés. Juin 2023.

