

Effet du changement climatique sur le stockage de carbone dans les sols de grandes cultures

**Complément au rapport « Stocker du carbone dans les sols français :
quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? »**

Auteurs

Julie Constantin, Camille Launay, Sylvain Pellerin,
Olivier Réchauchère, Olivier Théron

Le présent document constitue un complément au rapport de l'étude sollicitée conjointement par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA), convention n°1660C0020. Ce travail complémentaire a bénéficié d'un soutien financier du MAA.

Décembre 2020

Résumé

Suite à l'étude « Stocker du carbone dans les sols français : quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? », des simulations complémentaires ont été effectuées sur les systèmes de grande culture français d'abord en combinant l'ensemble des pratiques compatibles entre elles et simulables sous STICS (en écartant toutefois la pratique semis direct) puis en testant un scénario de changement climatique. L'implémentation simultanée des trois pratiques stockantes retenues (extension des cultures intermédiaires, insertion et allongement de prairies temporaires, mobilisation de nouvelles ressources organiques) sur le territoire métropolitain permet un stockage additionnel par rapport aux pratiques actuelles de $+184 \pm 179 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ sur l'horizon 0-0,3 m. Ce stockage additionnel est dû en grande partie à l'extension des cultures intermédiaires qui présente le plus gros potentiel en terme de surface. Le changement climatique à l'horizon 2060 modifie peu le potentiel de stockage des systèmes de grande culture à l'échelle nationale. En revanche, des différences positives ou négatives s'observent au niveau régional selon le nouvel équilibre entre retours de carbone par les résidus d'une part, et minéralisation de l'humus d'autre part.

Introduction

L'étude « Stocker du carbone dans les sols français : quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? »¹ sollicitée par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) et le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA) et menée par l'INRA a fourni une première estimation détaillée du potentiel des sols français à contribuer à l'objectif planétaire « 4 pour mille ». Pour l'ensemble des surfaces agricoles et forestières, l'évolution tendancielle des stocks sous l'effet des pratiques actuelles, estimée par simulation et à partir de références bibliographiques, se situe dans une fourchette entre -0,2 et +3,2‰ par an. L'adoption de pratiques stockantes dans les systèmes agricoles, simulée sur 30 ans sous climat actuel, permettrait un stockage additionnel annuel de +1,9‰ par an.

Le stockage de carbone est un levier d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre mais la poursuite du changement climatique pourrait remettre en cause ce levier.

Les impacts du changement climatique sur le stockage de carbone sont difficiles à estimer puisqu'ils concernent à la fois la production de biomasse, donc les entrées de carbone dans le sol, et la vitesse de minéralisation de la matière organique du sol, donc les sorties de carbone. De façon générale, l'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère aurait un effet bénéfique sur la production de biomasse, mais la diminution des précipitations dans certaines régions limiterait la production sauf s'il est possible d'irriguer les cultures. Dans le même temps, il faut considérer les effets combinés de la température et de l'humidité sur la minéralisation de la matière organique du sol. La diminution de l'humidité du sol ralentirait la minéralisation de la matière organique mais l'augmentation de la température aurait l'effet inverse.

Suite à l'étude, de nouvelles simulations ont été effectuées sur les systèmes de grande culture français afin de répondre à deux objectifs. Le premier était de recalculer le potentiel de stockage de carbone additionnel permis par la combinaison des trois pratiques stockantes retenues (extension des cultures intermédiaires, insertion et allongement de prairies temporaires, mobilisation de nouvelles ressources organiques) en tenant compte des interactions entre pratiques. La pratique du semis direct, simulée dans l'étude initiale, n'a pas été retenue dans le cadre de ces nouvelles simulations. Il apparaît en effet qu'elle entraîne une augmentation du stock de carbone dans les horizons de surface, mais pas d'augmentation de stock si l'on considère la totalité du profil de sol. Il y aurait donc plus une redistribution verticale du C qu'une véritable augmentation du stock. Le deuxième objectif était d'estimer l'impact du changement climatique à la fois sur la tendance actuelle de stockage et sur le potentiel de stockage additionnel permis par des changements de pratiques.

¹ Sylvain Pellerin et Laure Bamière (pilotes scientifiques), Camille Launay, Raphaël Martin, Michele Schiavo, Denis Angers, Laurent Augusto, Jérôme Balesdent, Isabelle Basile-Doelsch, Valentin Bellassen, Rémi Cardinael, Lauric Cécillon, Eric Ceschia, Claire Chenu, Julie Constantin, Joël Darroussin, Philippe Delacote, Nathalie Delame, François Gastal, Daniel Gilbert, Anne-Isabelle Graux, Bertrand Guenet, Sabine Houot, Katja Klumpp, Elodie Letort, Isabelle Litrico, Manuel Martin, Safya Menasseri, Delphine Mézière, Thierry Morvan, Claire Mosnier, Jean Roger-Estrade, Laurent Saint-André, Jorge Sierra, Olivier Thérond, Valérie Viaud, Régis Grateau, Sophie Le Perchec, Isabelle Savini, Olivier Réchauchère, 2019. *Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ?* Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 114 p.

Matériel et méthodes

Dans un premier temps, la combinaison de pratiques a été simulée sur les systèmes de grande culture et prairies temporaires avec trois pratiques stockantes en excluant le semis direct : extension des cultures intermédiaires, insertion et allongement des prairies temporaires, mobilisation de nouvelles ressources organiques. La pratique « mobilisation de nouvelles ressources organiques » a fait l'objet d'une correction sur la quantité de boues de STEP mobilisable passant de 100% du gisement dans les précédentes simulations à 70% suite aux recommandations des commanditaires. Elle a aussi subi une correction sur son assiette qui n'était pas calculée correctement dans l'étude initiale.

Dans un deuxième temps, les données climatiques du DRIAS² modélisant le scénario RCP 8.5 du GIEC ont été utilisées afin de refaire tourner le plan de simulation complet sur le futur proche 2030-2060. L'évolution de la concentration en CO₂ de l'atmosphère a été prise en compte année par année³. Nous faisons l'hypothèse que la délimitation des zones irrigables ne bouge pas dans le climat futur mais le modèle adapte automatiquement les doses d'irrigation aux besoins des cultures.

Résultats

1. Simulation de la combinaison de pratiques stockantes

L'implémentation simultanée des trois pratiques stockantes sur le territoire métropolitain permet un stockage additionnel par rapport aux pratiques actuelles de $+184 \pm 179$ kg C ha⁻¹ an⁻¹. La répartition spatiale du gain de stockage est présentée sur la Figure 1. La pratique « extension des cultures intermédiaires » contribue le plus au stockage national étant donné qu'elle couvre de loin la plus grande surface par rapport aux autres pratiques (96 % de la surface simulée). Localement, quand la pratique « insertion d'une prairie » est mise en place, seule ou avec d'autres pratiques, le stockage additionnel dépasse 500 kg C ha⁻¹ an⁻¹. C'est aussi le cas lorsque la pratique « cultures intermédiaire » est combinée à la pratique « nouvelles ressources organiques » (particulièrement visible dans le Sud-Est). Dans le Nord-Ouest, combiner la pratique allongement des prairies avec d'autres aboutit à un gain de stockage positif alors qu'il était négatif ou nul avec la pratique utilisée seule.

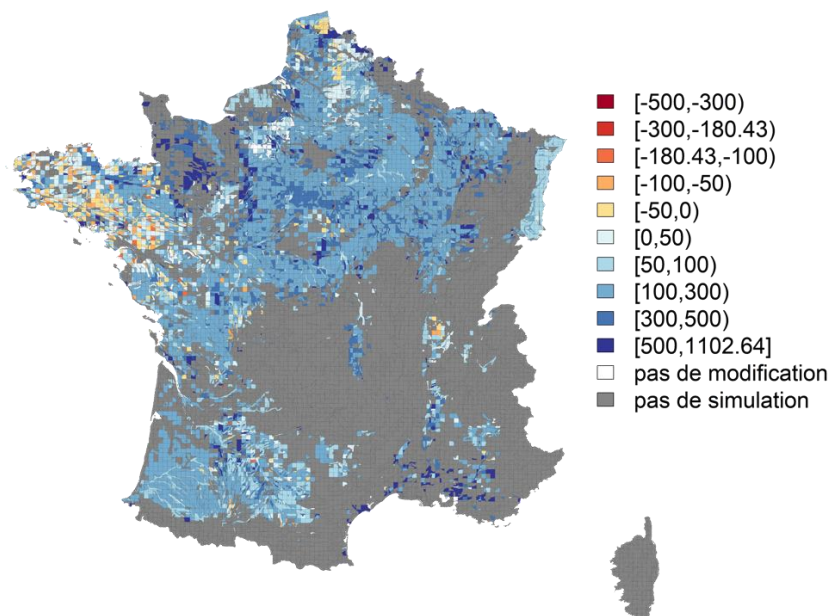


Figure 1. Carte du stockage additionnel annuel de C (kg C ha⁻¹ an⁻¹) sur l'horizon 0-0.3 m permis par la combinaison des pratiques retenues : extension des cultures intermédiaires, insertion et allongement des prairies temporaires, mobilisation de nouvelles ressources organiques.

² Drias, données Météo-France, CERFACS, IPSL (dernière mise à jour mai 2013)

³ RCP Database : <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb>

On a observé des effets synergiques, additifs et négatifs sur les combinaisons de pratiques 2 à 2 (**Figure 2a**). Une synergie apparait lorsque les pratiques cultures intermédiaires (CI) et nouvelles ressources organiques (NRO) sont mises en place ensemble. Leur combinaison permet de stocker plus de C que la simple addition de l'effet des pratiques isolées. Dans cette combinaison, le produit organique est épandu sur les cultures intermédiaires ce qui augmente le rendement de celles-ci et donc les retours de C au sol. La combinaison de l'insertion et de l'allongement des prairies (PT) avec d'autres pratiques n'entraîne pas d'effet synergique, l'effet de chaque pratique est simplement additionné. Augmenter la proportion de prairies dans la rotation entraîne par construction une réduction de la fréquence des cultures intermédiaires et de l'épandage des nouvelles ressources organiques et donc de leur effet sur le stockage de C. Par conséquent, combiner ces trois pratiques sur une même parcelle n'entraîne pas de synergie sur le stockage additionnel de carbone (**Figure 2b**).

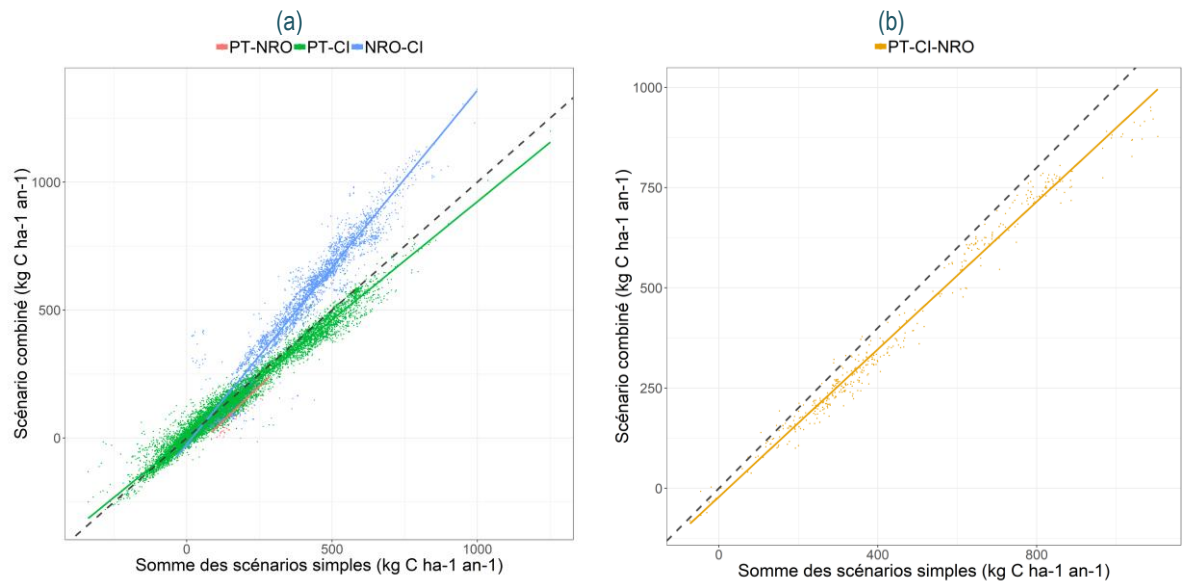


Figure 2. Comparaison de la somme du stockage additionnel des trois scénarios simulés séparément avec le stockage additionnel de la combinaison de ces scénarios. Les trois scénarios sont combinés (a) 2 à 2 ou (b) 3 à 3.

NRO : mobilisation de nouvelles ressources organiques, CI : extension des cultures intermédiaires, PT : insertion et allongement des prairies temporaires.

2. Simulation des scénarios 4 pour mille avec changement climatique (scénario RCP8.5 sur 2030-2060)

2.1. Comparaison du climat actuel au climat futur envisagé

Les précipitations sont affectées par le scénario RCP8.5 sur la période 2030-2060 de façon contrastée selon les régions (Figure 3a). Nationalement, elles sont augmentées de 8 mm annuellement mais diminuent jusqu'à plus de 30 mm en Bretagne, Haute-Normandie, Pyrénées-Atlantiques, une partie de l'Est, et du Sud-Est. Elles augmentent dans le Nord et le centre du bassin parisien. En parallèle, l'évapotranspiration potentielle augmente partout (Figure 3b), de 230 mm en moyenne. Les besoins en eau des cultures augmentent donc et les précipitations les couvrent moins qu'aujourd'hui (Figure 3c). Le déficit hydrique se creuse en particulier en Bretagne Sud et Vendée. La température augmente partout (Figure 3d), de 1.4°C en moyenne. Elle augmente surtout dans la moitié Est de la France et moins sur la côte de la Manche et le quart Nord-Ouest.

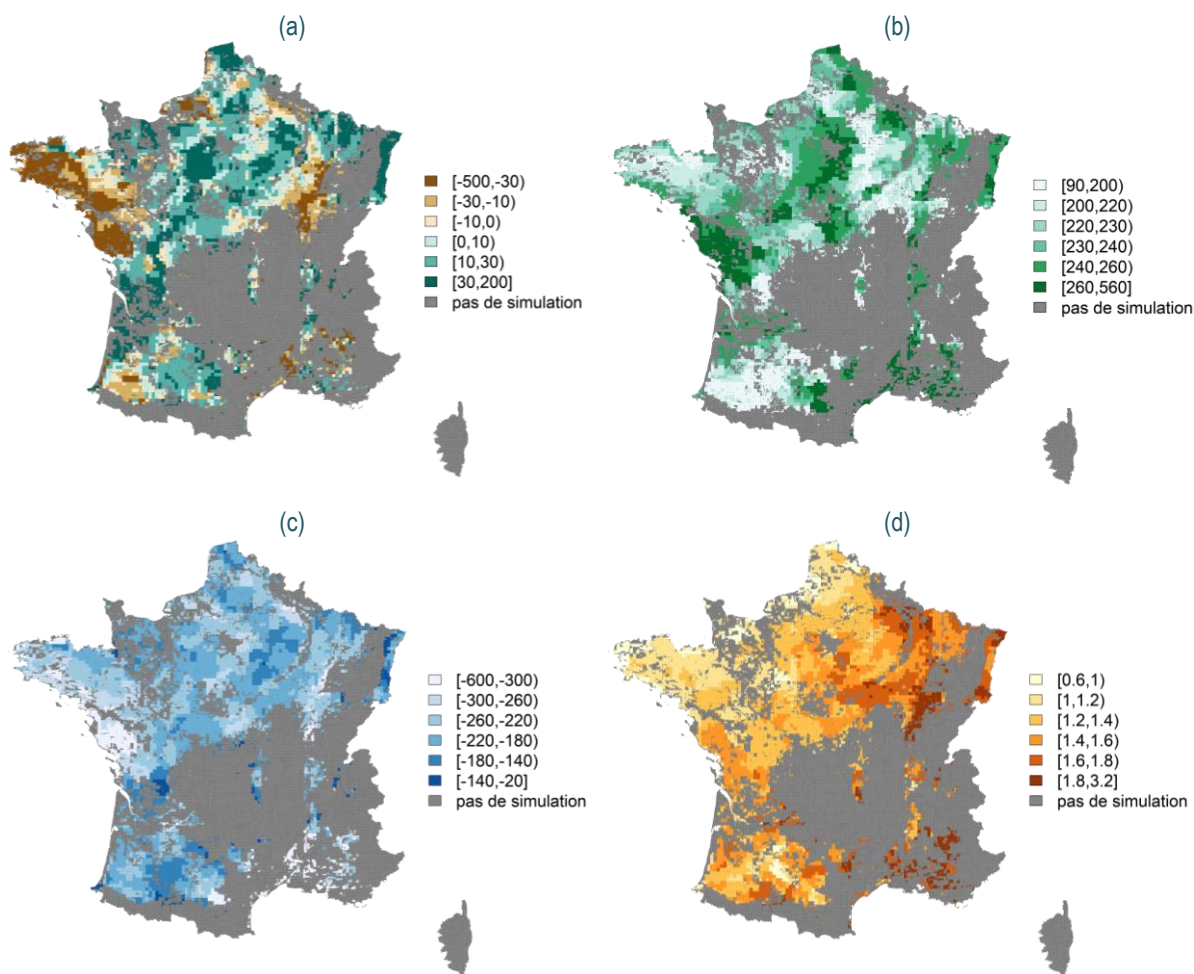


Figure 3. Cartes de la différence entre le climat modifié (RCP8.5 sur 2030-2060) et le climat actuel (1983-2013) (a) des précipitations moyennes annuelles (mm), (b) de l'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle (mm), (c) des précipitations moins l'évapotranspiration potentielle annuelles (mm) et (d) de la température moyenne annuelle (°C). Sont uniquement représentées les zones de grandes cultures et prairies temporaires qui ont fait l'objet de simulations STICS.

2.2. Impact du climat modifié sur le stockage de carbone avec les pratiques agricoles actuelles

Globalement le changement climatique à l'horizon proche 2030-2060 diminue légèrement le stockage de C sous l'effet des pratiques actuelles (**Figure 4b**). Le stockage moyen annuel à l'échelle nationale passe de $+51 \pm 263$ kg C ha⁻¹ an⁻¹ sous climat actuel⁴ à $+37 \pm 265$ kg C ha⁻¹ an⁻¹ sous climat modifié. 90% des valeurs des différences de stockage entre les deux climats se trouvent entre -79 et +51 kg C ha⁻¹ an⁻¹.

En cartographiant les différences de stockage, on observe des disparités régionales (**Figure 4b**). Globalement, la partie Nord-Ouest de la France a tendance à stocker plus sous climat modifié (zone en bleu, **Figure 4b**) tandis que la partie Est et Sud-Ouest stocke moins/ déstocke plus (zone en rouge, **Figure 4b**). Les disparités régionales s'expliquent par un effet contrasté sur le territoire du changement climatique sur la production de biomasse, i.e. les retours de C au sol, et sur la minéralisation des résidus et de la matière organique du sol, i.e. les sorties de C (**Figure 5a** et **5b**). Globalement, les entrées de C sont augmentées partout sauf dans la partie nord de l'Alsace, une bonne partie du quart Nord-Ouest, une partie du Sud-Ouest et quelques points ici et là. Ces zones où les entrées de C sont réduites correspondent à des zones fortement impactées par une baisse du rendement du blé et du maïs de plus de 10% (**Figure 13** en Annexe). Les plus fortes diminutions d'entrées de C observées dans le Sud-Ouest et l'Alsace ont lieu dans des systèmes non irrigués (**Figure 12** en Annexe). En moyenne, sur le territoire national, sans irrigation le maïs perd 30% de rendement. Ailleurs dans les zones non irriguées, les rendements du colza et du blé augmentent d'où l'augmentation des entrées de C jusqu'à 1700 kg C ha⁻¹ an⁻¹.

⁴ Cette valeur est légèrement différente de celle du rapport car la luzerne a été mise de côté des simulations à cause de sa calibration non validée à l'heure actuelle.

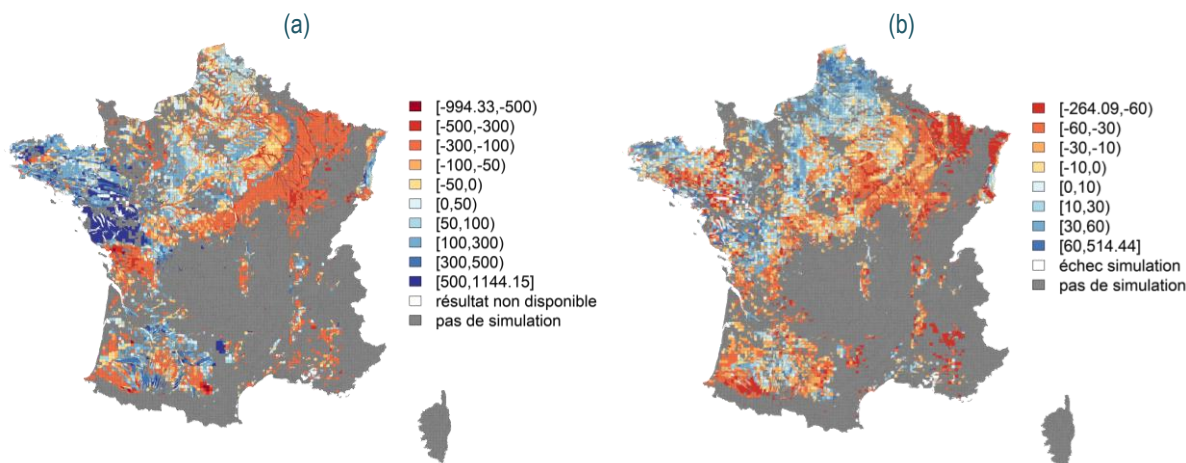


Figure 4. Cartes (a) du stockage de carbone annuel (kg C ha⁻¹ an⁻¹) sur l'horizon 0-0.3 m avec pratiques agricoles actuelles sous climat modifié (RCP8.5 sur 2030-2060) et (b) de la différence de stockage avec les pratiques actuelles sous climat actuel (1983-2013).

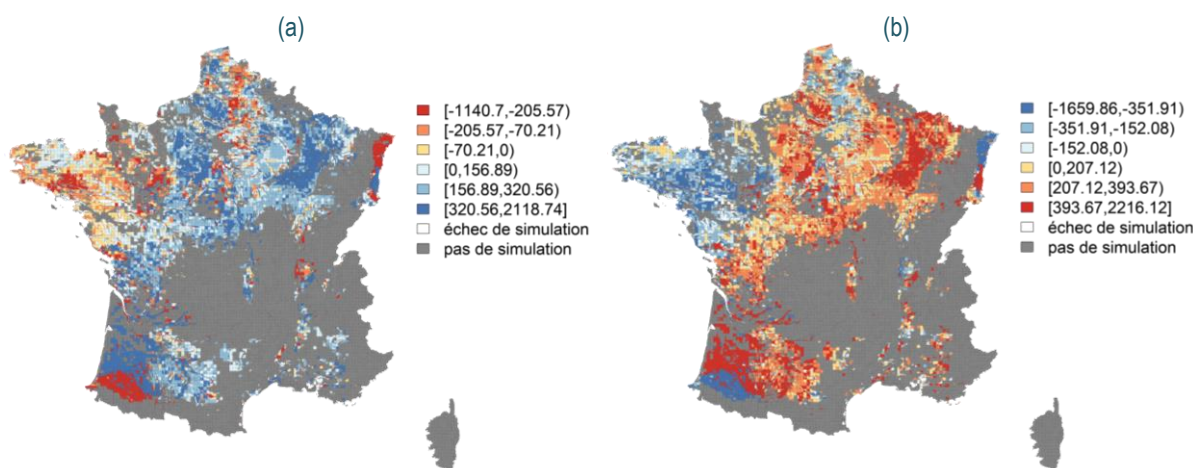


Figure 5. Cartes (a) du différentiel d'entrées de C dans le sol et (b) du différentiel de sorties de C du sol (kg C ha⁻¹ an⁻¹) entre le climat modifié et le climat actuel avec les pratiques agricoles actuelles.

Le bleu traduit des modalités améliorant potentiellement le stockage de C (entrées de C plus importantes, pertes par minéralisation plus faibles) tandis que le rouge traduit l'inverse.

Une partie des fortes augmentations d'entrées de C a lieu dans les zones irriguées (Landes, Sud de l'Alsace, quelques points dans le Bassin Parisien). Le blé gagne près d'1 t MS ha⁻¹ dans ces systèmes. On a vu plus haut que dans les mêmes zones sans irrigation le constat est inverse, les entrées de C diminuent fortement. L'irrigation dans le sud de l'Alsace et dans les Landes entraîne en contrepartie une forte augmentation de la minéralisation. Sans irrigation dans ces régions, la minéralisation est fortement diminuée mais pas suffisamment pour compenser les pertes au niveau des entrées de C. Au final, l'effet de l'irrigation sur le stockage de C n'est que légèrement positif.

Concernant la minéralisation, elle est augmentée dans la majorité du Bassin Parisien, excédant les entrées de C dans la partie Est mais pas dans la partie Ouest d'où le contraste sur la différence de stockage de C. Dans la pointe Nord de la France, la différence de stockage par rapport au climat actuel est positif. Dans cette région on observe deux cas de figure qui aboutissent à ce résultat : (i) une augmentation des entrées de C qui dépasse l'augmentation des sorties de C et (ii) une diminution des sorties de C qui dépasse la diminution des entrées de C. Pour finir, dans tout le quart Nord-Ouest, la minéralisation est diminuée mais ne compense pas toujours la diminution des entrées de C (perte de plus de 30% du rendement du maïs grain, culture retournant beaucoup de C au sol).

Concernant la différence entre les séquences de grandes cultures pures et les séquences de grandes cultures et prairies temporaires, les unes ne sont pas plus affectées que les autres par le changement climatique. Les

séquences de grandes cultures stockent 11 kg C ha⁻¹ an⁻¹ de moins et les séquences avec prairie temporaire stockent 16 kg C ha⁻¹ an⁻¹ de moins sous climat modifié.

2.3. Impact du climat modifié sur le stockage de carbone permis par les scénarios de pratiques modifiées

• Scénario « extension des cultures intermédiaires »

Avec le changement climatique, le gain de stockage de C permis le scénario CI au niveau national reste sensiblement le même : 123 ±83 kg C ha⁻¹ an⁻¹ au lieu de 131 ±93 kg C ha⁻¹ an⁻¹⁵ (Figure 6a).

Des pertes de stockage additionnel de plus de 30 kg C ha⁻¹ an⁻¹ ont lieu dans le Bassin Parisien, le Poitou-Charentes et la Provence-Alpes-Côte d'Azur (Figure 6b). Elles s'expliquent par une baisse générale du rendement des cultures intermédiaires (-0,2 t MS ha⁻¹ soit -15%) et plus particulièrement de la vesce (-0.8 t MS ha⁻¹ soit -30%).

D'un autre côté, des gains de plus de 30 kg C ha⁻¹ an⁻¹ ont lieu dans la région maïsicole du Sud-Ouest grâce à une augmentation du rendement de la féverole (+0.7 t MS ha⁻¹ soit presque 90%).

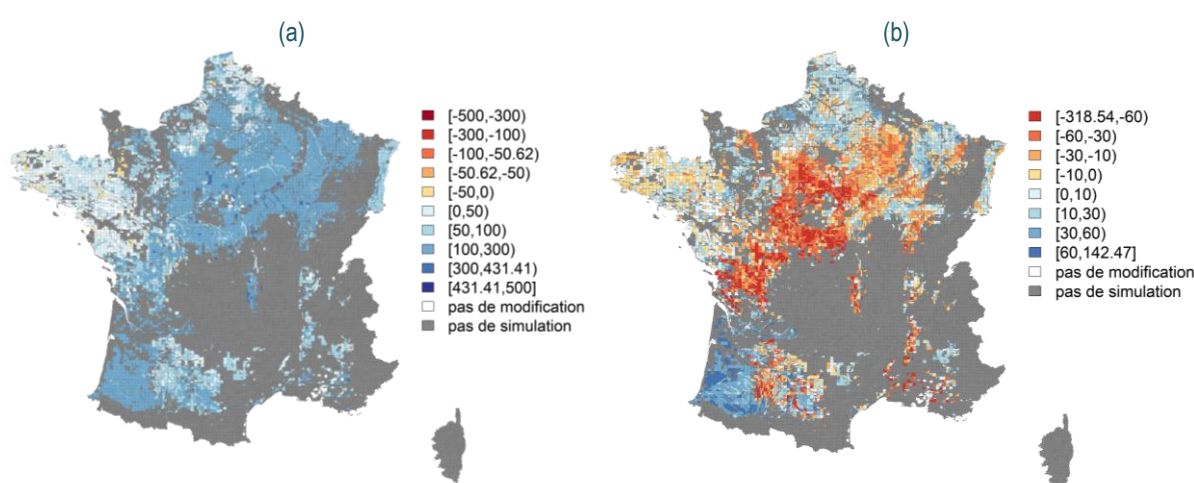


Figure 6. Cartes (a) du stockage de carbone additionnel (kg C ha⁻¹ an⁻¹) sur l'horizon 0-0.3 m permis par le scénario « Extension des cultures intermédiaires » par rapport aux pratiques actuelles sous climat modifié (RCP8.5 sur 2030-2060) et (b) de la différence de stockage additionnel entre le climat modifié et le climat actuel.

• Scénario « insertion et allongement des prairies temporaires »

La moyenne nationale du stockage additionnel permis par le scénario « insertion de prairie » n'est pas affectée par le changement climatique, elle reste à +466 ±176 kg C ha⁻¹ an⁻¹. Celle du deuxième volet du scénario, « allongement des prairies », par contre augmente de +28 ±78 kg C ha⁻¹ an⁻¹ à +58 ±81 kg C ha⁻¹ an⁻¹.

Régionalement, on observe des contrastes forts sur le premier volet du scénario entre le stockage additionnel gagné sous climat modifié et sous climat actuel, mais limités à une faible proportion des surfaces, l'essentiel des situations ne présentant pas de changement (Figure 7b). Pour le deuxième volet, on observe surtout que l'impact du scénario qui était plutôt négatif en Bretagne avec le climat actuel devient moins négatif voire positif avec le changement climatique (Figure 8a).

Pour ce scénario, les différences de stockage additionnel avec le climat modifié viennent principalement de différences d'entrées de C (Figure 9). Les rendements des cultures principales remplacées par la prairie peuvent être fortement impactées par le changement climatique. Par exemple, le maïs fourrage perd 30% de rendement soit 3 t MS ha⁻¹ avec des pratiques constantes (Figure 13b en Annexe). Les prairies sont plus résilientes face au changement climatique, en moyenne nationale elles ne perdent que 2% de rendement et sont même avantageées dans le Sud-Ouest (Figure 13d en Annexe).

⁵ Cette valeur est légèrement différente de celle du rapport car la luzerne a été mise de côté des simulations à cause de sa calibration non validée à l'heure actuelle.

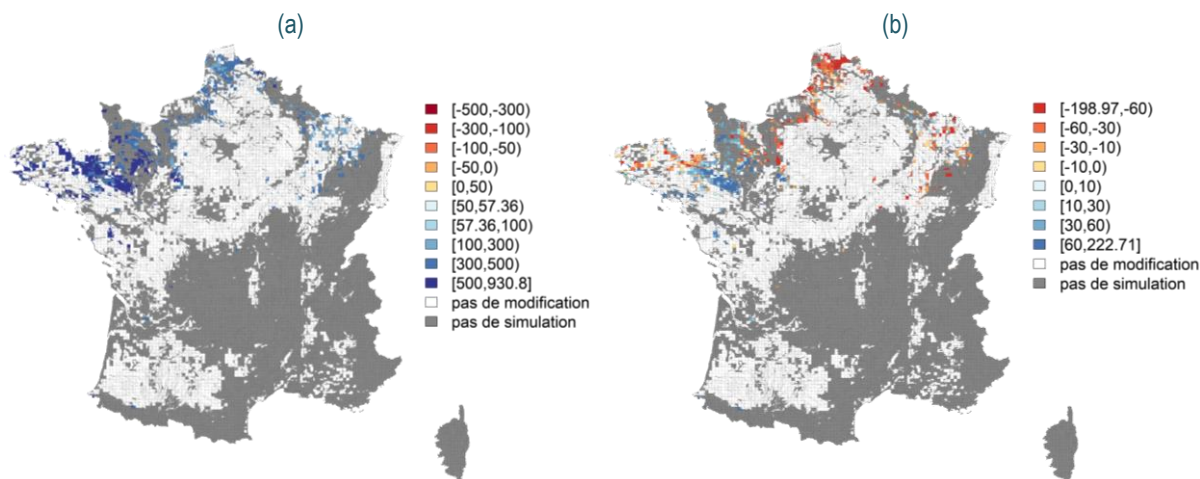


Figure 7. Cartes (a) du stockage de carbone additionnel ($\text{kg C ha}^{-1} \text{an}^{-1}$) sur l'horizon 0-0.3m permis par le scénario « Insertion de prairies temporaires » par rapport aux pratiques actuelles sous climat modifié (RCP8.5 sur 2030-2060) et (b) de la différence de stockage additionnel entre le climat modifié et le climat actuel.

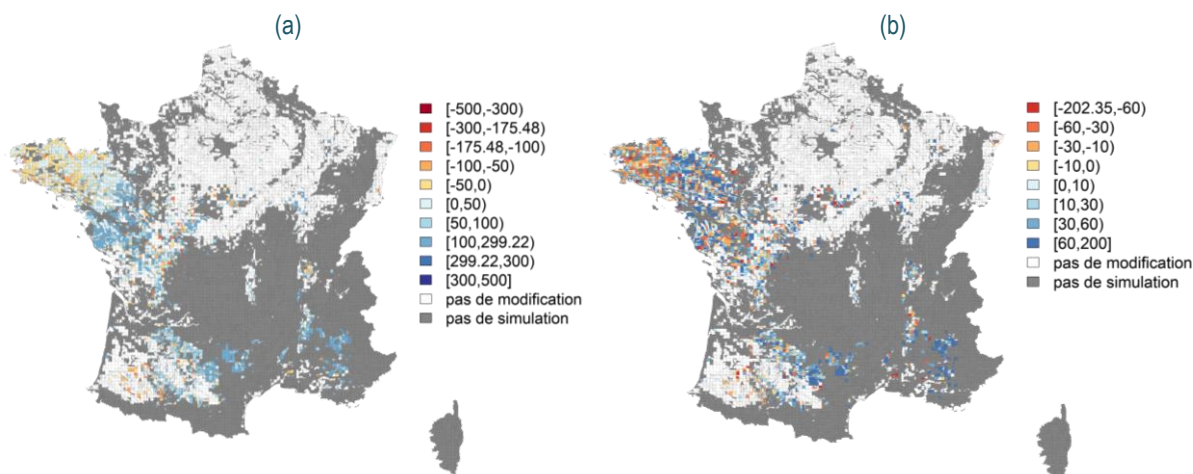


Figure 8. Cartes (a) du stockage de carbone additionnel ($\text{kg C ha}^{-1} \text{an}^{-1}$) sur l'horizon 0-0.3m permis par le scénario « Allongement des prairies temporaires » par rapport aux pratiques actuelles sous climat modifié (RCP8.5 sur 2030-2060) et (b) de la différence de stockage additionnel entre le climat modifié et le climat actuel

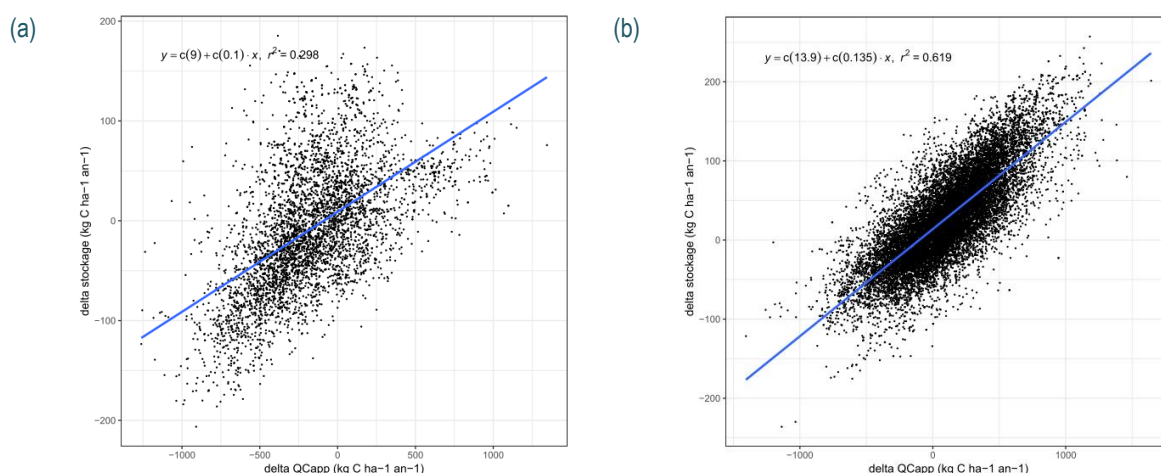


Figure 9. Différence de stockage de C additionnel en fonction de la différence d'entrées de C additionnelles entre les deux climats avec (a) le scénario « Insertion de prairies temporaires » et (b) le scénario « Allongement des prairies temporaires »

• **Scénario « mobilisation de nouvelles ressources organiques »**

Avec le climat modifié, le gain de stockage moyen national permis par le scénario « mobilisation de nouvelles ressources organiques » diminue de $+233 \pm 126 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ à $+208 \pm 118 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Cette perte est observée partout sur le territoire sauf en Bretagne et dans le Nord (Figure 10b). Il n'y a pas de corrélation avec les entrées de C additionnelles. La différence de stockage additionnel entre les deux climats est probablement liée aux conditions de minéralisation étant donné que la minéralisation est diminuée à l'ouest et augmentée à l'est (Figure 5b).

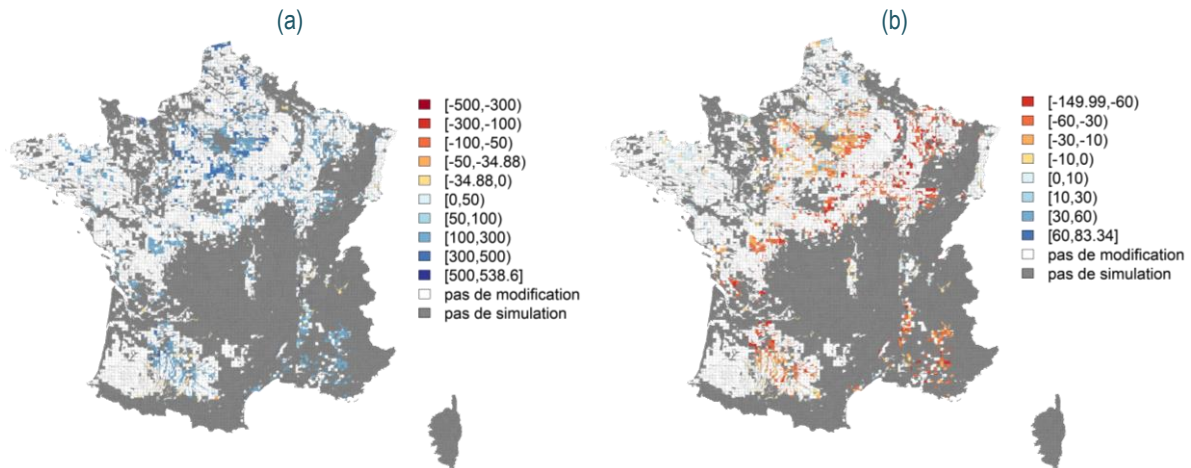


Figure 10. Cartes (a) du stockage de carbone additionnel ($\text{kg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) sur l'horizon 0-0.3 m permis par le scénario « Mobilisation de nouvelles ressources organiques » par rapport aux pratiques actuelles sous climat modifié (RCP8.5 sur 2030-2060) et (b) de la différence de stockage additionnel entre le climat modifié et le climat actuel

• **Combinaison des trois scénarios**

Au niveau national, le gain de stockage de C permis par la combinaison des trois scénarios reste le même avec le changement climatique : $+184 \pm 166 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$.

L'extension des cultures intermédiaires étant surreprésentée en terme de surface par rapport aux autres scénarios, elle influence fortement le gain de stockage de C permis par la combinaison. C'est pourquoi la carte du différentiel de stockage additionnel entre les deux climats (Figure 11b) est très ressemblante de la carte du scénario « extension des cultures intermédiaires » (Figure 6b). On perd du stockage dans le Bassin Parisien mais on en gagne en Bretagne et dans le Sud-Ouest.

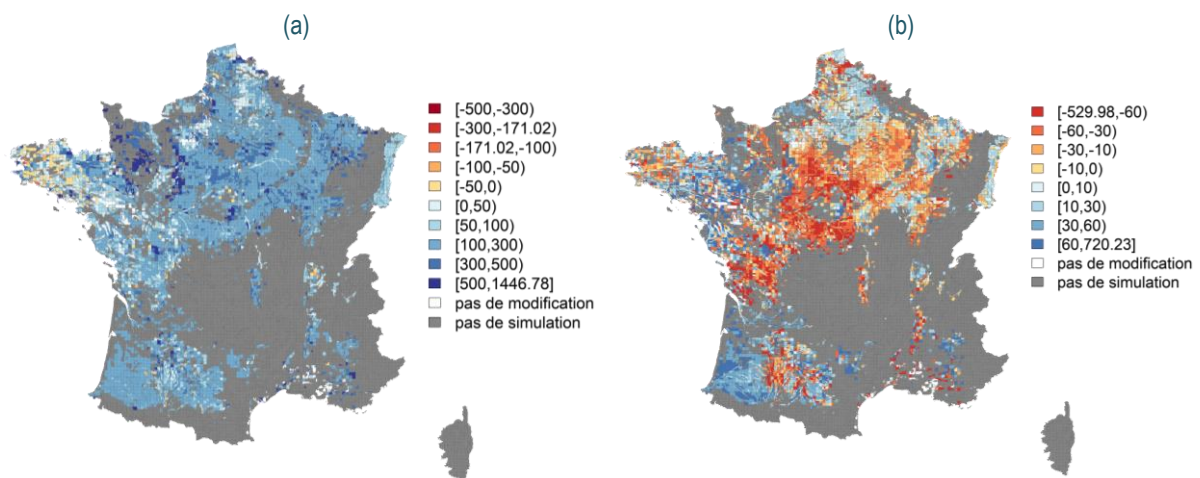


Figure 11. Cartes (a) du stockage de carbone additionnel ($\text{kg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) sur l'horizon 0-0.3 m permis par la combinaison des scénarios par rapport aux pratiques actuelles avec le climat modifié (RCP8.5 sur 2030-2060) et (b) de la différence de stockage additionnel avec le climat actuel

Conclusion

Le climat modifié ne remet pas en cause les ordres de grandeur du stockage des pratiques actuelles et du stockage additionnel permis par les pratiques stockantes et leur combinaison (Tableau 1). Cet effet modéré du changement climatique s'explique en partie par le fait que les effets sur la production de biomasse et sur la minéralisation se compensent en partie.

Régionalement, des écarts apparaissent cependant : la minéralisation s'accroît sur une large moitié Est et diminue dans un gros quart Nord-Ouest, les entrées de C diminuent dans les zones maïsicoles car le maïs est plus affecté que les autres cultures par la diminution de la satisfaction des besoins en eau. La ressource en eau est d'ailleurs un point critique. La quantité d'eau d'irrigation est doublée : les cultures irriguées reçoivent en moyenne 82 mm avec le climat actuel contre 167 mm avec le climat modifié. Pour maintenir des rendements constants il faudra réfléchir à irriguer moins intensément mais sur une plus grande surface ou à mettre en place des pratiques et des rotations diminuant les besoins en eau.

Tableau 1. Valeurs du stockage de C (Δ SOC) et du stockage additionnel ($\Delta\Delta$ SOC) en kg C ha⁻¹ an⁻¹ permis par chaque scénario sous les deux climats.

LB : ligne de base, CI : extension des cultures intermédiaires, IP : insertion de prairies temporaires, AP : allongement des prairies temporaires, NRO : mobilisation de nouvelles ressources organiques, COMBI : combinaison des scénarios, LB_ « nom d'un scénario » : séquences du scénario avant modification des pratiques.

Scénario	Climat actuel		Climat modifié	
	Δ SOC	$\Delta\Delta$ SOC	Δ SOC	$\Delta\Delta$ SOC
LB	51		37	
CI	169	131	145	123
LB_CI	38		22	
IP	390	466	398	466
LB_IP	-76		-67	
AP	399	28	413	58
LB_AP	371		355	
NRO	195	233	157	208
LB_NRO	-38		-51	
COMBI	236	184	221	184
LB_combi	51		37	

Annexes

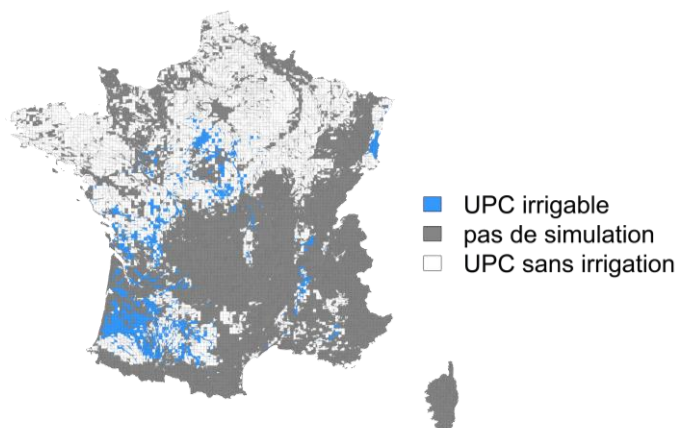


Figure 12. Présence de l'irrigation dans les UPC en fonction de la présence de maïs, tournesol et blé dans les séquences simulées.

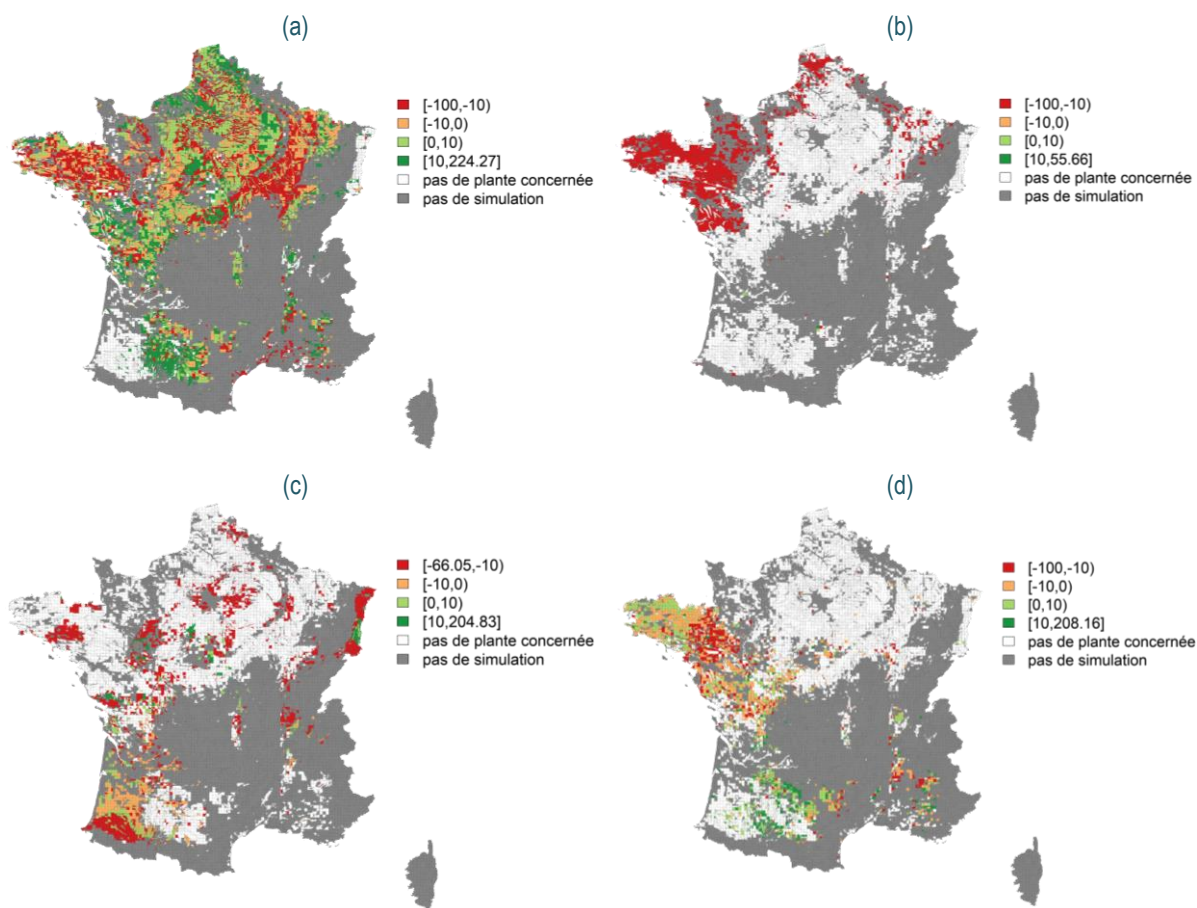


Figure 13. Différences de rendement (en % du rendement initial) dues au changement climatique de quelques cultures principales en conservant les pratiques actuelles : (a) blé tendre, (b) maïs fourrage, (c) maïs grain, (d) prairie temporaire