



*Évaluation quantitative de la durabilité  
de stratégies d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre  
dans le secteur de l'agriculture, de la forêt et des autres usages des sols  
à l'échelle mondiale*

## Contexte

Déjà fortes, les attentes envers le secteur agricole et forestier ne cessent d'augmenter:

- ▶ **Nourrir la population humaine** : un défi déjà difficile à tenir puisque le nombre de personnes mal-nourries a augmenté de 17 millions dans le monde en 2017, par rapport à 2016.
- ▶ **Infléchir l'érosion de la biodiversité actuelle** due à la conversion de milieux naturels en milieux agricoles : 100 millions d'hectares d'expansion agricole sous les tropiques entre 1980 à 2000, soit 1,5 fois la surface de la France (dont la moitié de forêt primaire).
- ▶ **Réduire l'eutrophisation des milieux aquatiques** : bien qu'ayant permis d'augmenter la production agricole, la fertilisation azotée est responsable d'une concentration trop élevée d'azote dans les milieux aquatiques.
- ▶ **Rester sous le seuil des 2 degrés de réchauffement climatique** : ce secteur représente un potentiel à la fois pour réduire les émissions de gaz à effet de serre [GES] puisque c'est l'un des secteurs les plus émetteurs (environ **20 % des émissions mondiales en 2010**) et pour séquestrer du carbone de l'atmosphère dans la végétation et les sols.

## Quel est le problème ?

Parmi les stratégies de réduction des émissions GES dans le secteur agricole et forestier, **certaines peuvent avoir des effets indésirables** (exemple : la reforestation d'espaces agricoles réduit la surface disponible pour l'agriculture, ce qui peut augmenter les prix agricoles et donc menacer l'accessibilité alimentaire).

Dans cette thèse, **Rémi Prudhomme s'interroge sur la durabilité de différentes stratégies à travers 3 questions** :

1. Quel est le bénéfice climatique de la production de légumineuses en Europe?
2. Quels sont les effets des stratégies de réduction des émissions GES sur la biodiversité et sur l'accessibilité alimentaire ?
3. Quelles solutions permettent de rester au sein des limites planétaires?

## Dans quel cadre cette thèse peut-elle être utile ?

**Exemple de la réforme de la politique agricole commune [PAC] & du Green Deal européen**

Alors que la prochaine réforme de la PAC va définir les aides attribuées à l'agriculture pour 2021-2027, la Commission européenne a annoncé, dans son *Green Deal*, vouloir une Europe climatiquement neutre en adoptant une nouvelle stratégie de biodiversité et une stratégie « de la ferme à la fourchette ». Cette concordance unique entre l'agenda environnemental et agricole est l'occasion de lire cette thèse.

En effet, elle donne des éléments de cadrage sur l'empreinte environnementale de l'agriculture européenne et sur des stratégies possibles pour relever les défis environnementaux actuels. Des scénarios d'augmentation de la production de légumineuses à des solutions permettant de rester au sein des limites planétaires, ce sont autant de réflexions qui permettent de questionner la cohérence entre une politique de soutien des biocarburants et la protection de la biodiversité, le rôle des légumineuses (pour l'instant cantonné à l'interculture dans la conditionnalité verte de la PAC) dans une transition alimentaire européenne vers une alimentation moins riche en produits issus de ruminants (qui pourrait être intégrée à la stratégie « de la ferme à la fourchette »), ou encore l'intérêt des forêts pour atteindre la neutralité carbone.

## MÉTHODOLOGIE

**Partie 1.** Utilisation d'un modèle du système agricole mondial intégrant le cycle de l'azote

**Partie 2.** Couplage biodiversité/usages des sols, avec représentation de l'impact de l'intensification

**Partie 3.** Exploration de scénarios agricoles et alimentaires

Modèles utilisés : NLU, PREDICTS (voir p. 4)

### Partie 1 Quel est le bénéfice climatique de la production de légumineuses en Europe à l'horizon 2050 ?

► **Echelle spatio-temporelle :** Europe - Horizon 2050

► **Stratégies étudiées :**

- Substitution, dans l'alimentation humaine, de la consommation de produits animaux (= lait + viande de ruminants) par des pois
- Même stratégie + reforestation

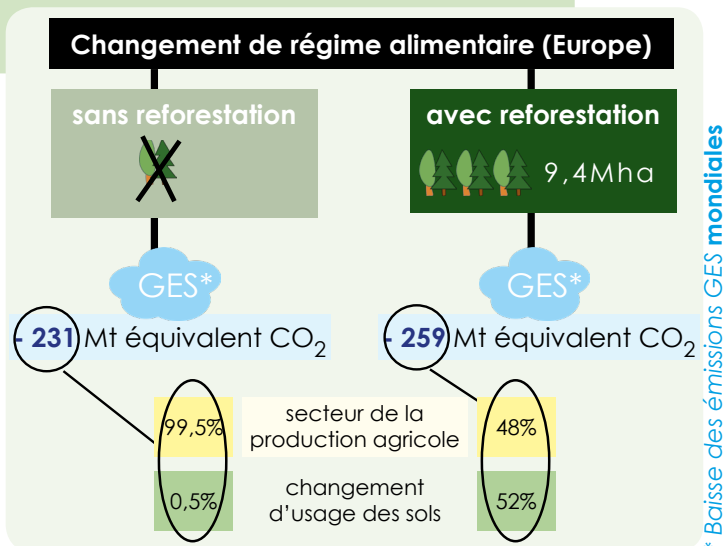
► **Indicateur(s) de durabilité :**

- Emissions GES (CO<sub>2</sub> et non CO<sub>2</sub>) [calculées par NLU]

► La **fixation biologique de l'azote** a **peu d'effet** sur la réduction des émissions GES.

► En revanche, la **substitution des produits animaux par des pois** dans l'alimentation humaine constitue un **levier important**.

► Ce changement de régime alimentaire permet de **réduire la pression sur les terres que l'on peut utiliser alors pour réduire les émissions de GES**. Le type d'émissions atténuées (CO<sub>2</sub> ou autres) dépend du nouvel usage de ces terres [voir schéma ci-contre].



### Partie 2 Quels sont les effets des stratégies de réduction des émissions GES sur la biodiversité et sur l'accessibilité alimentaire dans le monde, à l'horizon 2100 ?

► **Echelle spatio-temporelle :** Monde - Horizon 2100

► **Stratégies étudiées (séparément ou combinées) :**

- Changement de régime alimentaire
- Reforestation des pâtures
- Production de bioénergie de 2e génération

► **Indicateur(s) de durabilité :**

- Intégrité de la biosphère [calculée par PREDICTS]
- Richesse spécifique [calculée par PREDICTS]
- Prix de l'alimentation [calculé par NLU]
- Coût de l'alimentation [calculé par NLU]

► Les scénarios extrêmes (= centrés sur **une seule stratégie** d'atténuation) ont des **effets négatifs sur l'accessibilité alimentaire et/ou sur la biodiversité**.

► En revanche, les stratégies qui combinent **changement de régime alimentaire et reforestation** permettent d'**atténuer les effets négatifs sur l'accessibilité alimentaire et la biodiversité**, voire de produire des effets positifs.

► Parmi les scénarios extrêmes, le

pire est la production de plantes à destination de **bioénergie de seconde génération** : ce scénario a des **effets négatifs à la fois sur** différents indicateurs de **biodiversité** et sur l'**accessibilité alimentaire**.

Cette partie de la thèse présentait un état de la recherche au moment de la soutenance. Des travaux sur la question sont toujours en cours et intègrent de nouvelles données. Se référer aux résultats qui seront publiés courant 2020.



► **Echelle spatio-temporelle** : Monde - Horizon 2030

► **Stratégies étudiées (combinées)** :

- Changement de régime alimentaire
- Augmentation de la digestibilité de l'alimentation des ruminants
- Augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'azote dans la production végétale
- Libéralisation du commerce agricole
- Atténuation de l'accroissement démographique mondial
- Reforestation

► **Indicateur(s) de durabilité** :




- Emissions GES (CO2 et non CO2) [calculées par NLU]
- Intégrité de la biosphère [calculée par PREDICTS]
- Richesse spécifique [calculée par PREDICTS]
- Prix de l'alimentation [calculé par NLU]
- Coût de l'alimentation [calculé par NLU]
- Azote perdu dans le milieu [calculé par NLU]
- Surface de forêt [chiffres issus de la littérature scientifique]

► Malgré l'incertitude régnant autour de la détermination des limites planétaires, les scénarios environnementaux qui permettent de **rester de manière robuste au sein de ces limites** sont constitués majoritairement de **reforestation**, de **changement de régime alimentaire** et d'**augmentation de l'efficacité de l'utilisation des intrants** dans la production végétale.

► Si les limites planétaires associées à la pollution azotée ou aux émissions de méthane et de protoxyde d'azote du secteur sont basses, l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation d'intrants est plus souvent sélectionnée que la reforestation. À l'inverse, dans le cas d'une exigence plus importante sur la protection de la

forêt et de la biodiversité, la reforestation est plus sélectionnée que l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation d'intrants. Dans les deux cas, le changement de régime alimentaire est sélectionné.

**Pour rester au sein des limites planétaires\***

		des transitions sont nécessaires	
		2010	2030
Chiffres issus de la litt. scientifique	<b>Changement de régime alimentaire kcal/cap/jour</b>	2445	2660
	19% dont prod. issus de ruminants 		10%
	81% et prod. non issus de ruminants		90%
	<b>Augmentation de la surface de forêt milliards hectares</b> 	3,56	3,73
	<b>Augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'azote (NUE)</b> 	0,34	0,38
		Chiffres calculés par nos soins	

**\* Valeurs retenues**

[avec la barre d'incertitude estimée]

- Perte d'azote dans le milieu = 62TgN [50-79]
- Émissions non CO2 du secteur agricole = 1GtCO2,eq [0.92-1.151]
- Surface de forêt = 3.7 Gha [3.4-5.1]
- Biodiversité : BI\*\* [biodiversity intactness index] = pas de consensus sur cette lim. planét. [0.3-0.9]

**+ objectif de durabilité** : Accessibilité alimentaire: Index des prix alimentaires = 1.5 [1.5-1.9] [prix en 2030 comparé à 2010]

\*\* Indicateur utilisé dans le global assessment of biodiversity and ecosystem services (IPBES,2019)



**Pour citer ce document** : Prudhomme R., 2020, L'essentiel de ma thèse intitulée « Évaluation quantitative de la durabilité de stratégies d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur de l'agriculture, de la forêt et des autres usages des sols à l'échelle mondiale », Paris, SynThèse CIRED n°1, juin 2020.

**Contact** : Rémi Prudhomme - prudhomm@centre-cired.fr

**Conception, maquette, mise en page, illustrations** : Estelle Carciofi - carciofi@centre-cired.fr

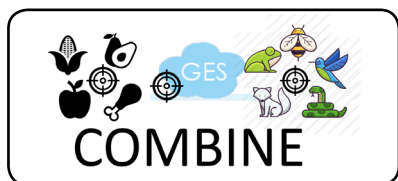


Texte intégral de la thèse : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02368885>

## Application interactive pour explorer les résultats

Partie  
2

Impact de scénarios d'atténuation sur la biodiversité et l'accessibilité alimentaire



<https://nexuslanduse.shinyapps.io/MitigationScenarios/>

## Publications issues de la thèse

- Prudhomme, R., Brunelle, T., Dumas, P., Le Moing, A. and Zhang, X., Assessing the impact of increased legume production in Europe on global agricultural emissions, *Regional Environmental Change* [à paraître] doi : 10.1007/s10113-020-01651-4
- Prudhomme, R., De Palma, A., Dumas, P., Gonzale, R., Leadley, P., Levrel, H., Purvis, A., Brunelle, T., *Impact of land-use-based climate mitigation policies on biodiversity and food security* [under review]
- Prudhomme, R., Dumas, P., Levrel, H., Brunelle, T., Robust strategies for the AFOLU sector to stay inside planetary boundaries [work in progress]

## Publications de référence sur le sujet

- Gerten, D., *et al.* Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. *Nat Sustain* (2020). <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0465-1>
- Popp *et al.*, Land-use futures in the shared socio-economic pathways, *Global Environmental Change*, 42 (2017) <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002>
- Obersteiner *et al.*, Assessing the land resource–food price nexus of the Sustainable Development Goals, *Science Advances* 2, 9 (2016) <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1501499>
- Newbold, T., *et al.* Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science* 353, 6296 (2016). <http://dx.doi.org/10.1126/science.aaf2201>
- VanVuuren *et al.*, Pathways to achieve a set of ambitious global sustainability objectives by 2050: Explorations using the IMAGE integrated assessment model, *Technological Forecasting and Social Change*, 98 (2015) <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.03.005>
- Steffen *et al.*, Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Science*, 347, 6223 (2015) <http://dx.doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stehfest, E. *et al.*, Climate benefits of changing diet, *Climatic Change*, 95 (2009) <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-008-9534-6>

## Publications de référence sur les modèles

### Modèle NLU

- Brunelle, T., *et al.* Unravelling Land-Use Change Mechanisms at Global and Regional Scales. *Biophys Econ Resour Qual* 3, 13 (2018). <https://doi.org/10.1007/s41247-018-0047-2>
- Souty, F., *et al.* Modelling economic and biophysical drivers of agricultural land-use change. Calibration and evaluation of the Nexus Land-Use model over 1961–2006. *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 6 (2013). <http://dx.doi.org/10.5194/gmdd-6-6975-2013>

### Modèle PREDICTS

- Newbold, T., *et al.* Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science* 353, 6296 (2016). <http://dx.doi.org/10.1126/science.aaf2201>
- Newbold, T., *et al.* Global effects of land use on local terrestrial biodiversity. *Nature* 520 (2015). <https://doi.org/10.1038/nature14324>