

1ère journée scientifique de C-BASC

Engrais azotés

**agriculture et utilisation des terres : regards croisés
des scénarios**

Projet STIMUL du LabEx BASC et liens avec CLAND

Raja Chakir et Thierry Brunelle

14 mars 2023



STIMUL, Scenarios Towards Integrating Multi-scale Land-use tools

- Projet du Labex BASC (2017-2021)
- Coordination: Raja Chakir et Jean-Christophe Bureau (PSAE)
- *Budget: 280 k€ (dont 220k€ pour CDD)*
- Projet multidisciplinaire:
 - Agronomes, Ecologues, Climatologues, Économistes
- Laboratoires:
 - CIRED, ESE, LSCE, Agronomie, Paris-Saclay Applied Economics (Ex Economie Publique)

Histoire du projet...

- **Point de départ:** L'usage des sols est à l'intersection de nombreux travaux de BASC
- **Scénario :** réduction de 50% des engrais chimiques en Europe
- **Impacts:** Économiques, agronomiques et écologiques (biodiversité et carbone)
- Méthodes:
 - *Agmip-BASC*: **Comparaison des sorties des modèles LU** de BASC autour d'un scénario
 - **Couplage-soft:** Articulation des modèles de BASC autour d'un scénario
- Les contributions du projet par rapport à l'existant:
 - composante méthodologique : compatibilité des échelles
 - dimension "données" y sont importantes
 - rôle plus central donné au drivers "économiques"

Contexte historique

- En 1898, la British Academy of Sciences prévoyait qu'une famine mondiale menaçait le monde vers 1930 : insuffisance de la production agricole face à la croissance de la population (Hager, 2009)
- Le procédé Haber-Bosch de transformation de l'azote atmosphérique en engrais chimique (N) a résolu ce problème ⇒ les engrais azotés ont permis de nourrir près de la moitié de la population mondiale (Erisman et al, 2008)
- Mais les engrais sont source d'externalités négatives et les coûts pour la société dépassent la production agricole=== En Europe 70€ - 320€ milliards vs 170 milliards de valeur ajoutée brute (Sutton et al, 2011).
 - 50% des engrais utilisés sont perdus dans l'environnement et sont source d'une cascade d'impacts environnementaux: : acidification des sols, l'eutrophisation des eaux, émissions atmosphériques de N₂O et de NO_x affectant le système climatique mondial et la qualité de l'air régional.
- Conclusion du "International Nitrogen Management System"(N equivalent to IPCC) en 2018: "we must **halve the amount of nitrogen we dump into the environment by mid-century** or our ecosystems will face epidemics of toxic tides, lifeless rivers, and dead oceans..."
- Objectif du projet: simulation d'une **réduction de -50% de l'utilisation d'engrais chimique** de synthèse dans l'UE

Contexte actuel

- Stratégies de la ferme à la fourchette et de la biodiversité du Green Deal européen (votées par le Parlement européen en 2020)
 - Réduction des pertes de nutriments (azote et phosphore) d'au moins 50 % d'ici 2030
 - Réduire l'utilisation des pesticides de 50% d'ici 2030.
- Les évaluations économiques disponibles montrent systématiquement un effet néfaste sur le secteur agricole européen (Beckman et al., 2020 ; Barreiro Hurlé et al., 2021a ; Bremmer et al., 2021 ; Lungarska et al., 2021)
 - une baisse de la production nationale,
 - une perte de compétitivité commerciale
 - une augmentation des prix alimentaires pour le consommateur.
- Les avantages potentiels de la réduction de l'azote ne sont pas pris en compte

Scénario de réduction des engrais

- Scénario = -50 % de l'utilisation d'azote minéral dans l'agriculture de l'UE27
- Etude des impacts sur:
 - Sécurité alimentaire : mesurée uniquement par la production agricole dans l'UE et surplus économiques (producteurs et consommateurs)
 - Atténuation du climat : émissions de gaz à effet de serre autres que le CO₂ (N₂O et CH₄) réductions et séquestration du carbone
 - Biodiversité : biodiversity intactness index (BII) and species richness (SR)
- Analyse coûts-avantages de ces impacts et attribuer une valeur monétaire à chaque dimension du trilemme.

Modèles mobilisés

● Économiques

- NLU = modèle d'équilibre partiel à l'échelle globale (Souty et al., 2012)
- AROPAj = Modèle d'offre agricole à l'échelle Européenne (Jayet et al., 2018)
 - Modèle économétrique d'usage des sols (Chakir and Lungarska, 2017)

⇒ Les deux modèles sont en statique comparative (Baseline SSP2)

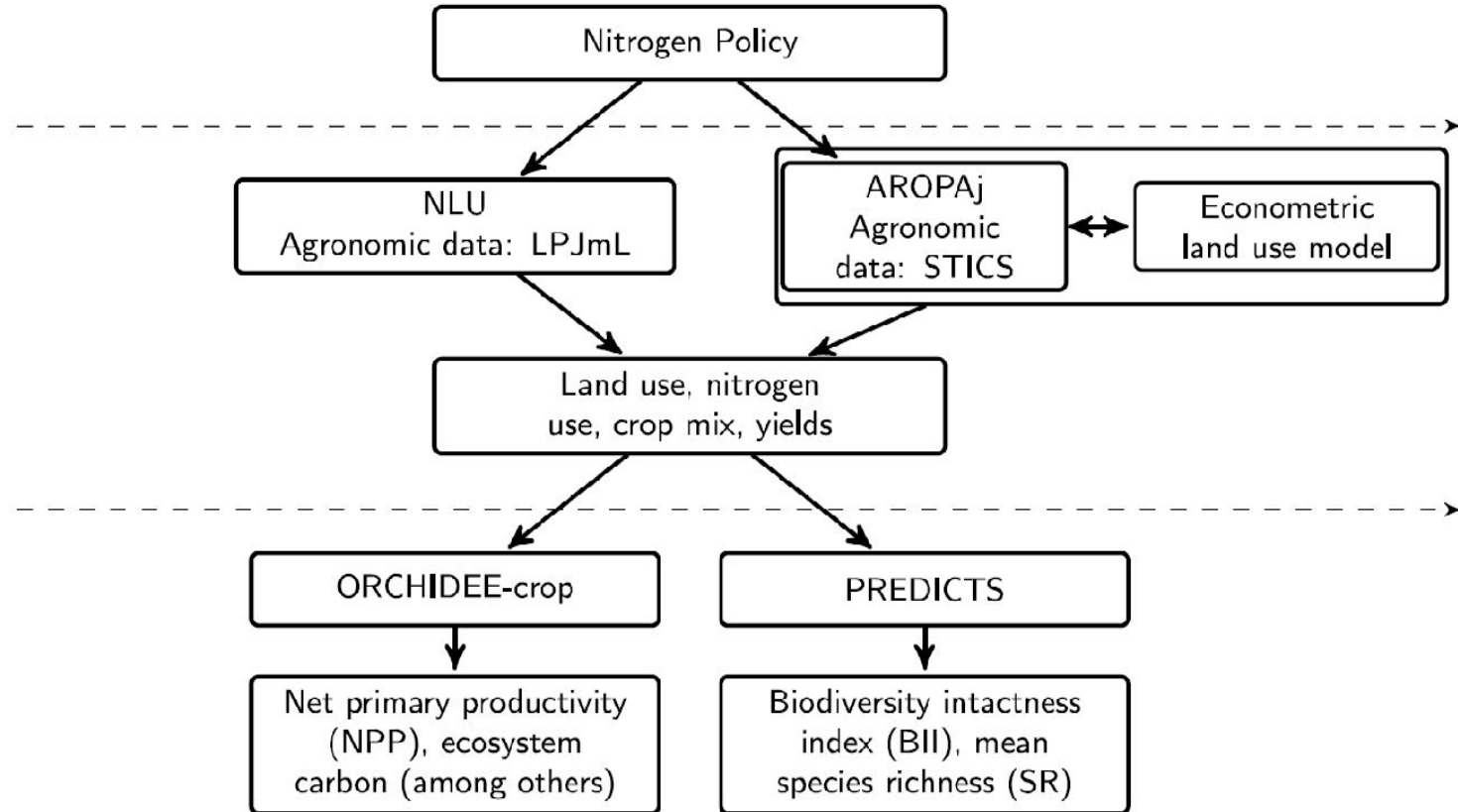
● Climat / Cycle de carbone

- ORCHIDEE-Crop = land surface model (Wu et al., 2016)

● Biodiversité

- PREDICTS = modèle de biodiversité (données d'abondance et d'occurrence pour plus de 50 000 espèces) et avec large couverture géographique (plus de 30 000 sites dans près de 100 pays) (Purvis et al., 2018)

Couplage soft entre modèles



Principaux output du projet: 3 papiers

1. Papier 1: impacts économiques

“Halving mineral nitrogen use in European agriculture: insights from multi-scale land-use models” R&R dans *Applied Economic Perspectives and Policy*

2. Papier 2: impacts écologiques: carbone et biodiversité

Quantifying the benefits of reducing synthetic nitrogen application policy on ecosystem carbon sequestration and biodiversity. *Scientific Reports* (2022)

3. Papier 3: Bilan des impacts et synthèse

“Food, climate and biodiversity: A trilemma of mineral nitrogen use in European agriculture” dans *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies* (2023)

Halving mineral nitrogen use in European agriculture: insights from multi-scale land-use models

Anna Lungarska¹ Thierry Brunelle² Raja Chakir³

Pierre-Alain Jayet³ Rémi Prudhomme² Stéphane De Cara³ Jean-Christophe Bureau³

¹US ODR, INRAE, 31326 Castanet-Tolosan, France

²CIRAD, UMR CIREN, Nogent-sur-Marne, France

³Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, Paris-Saclay Applied Economics, Palaiseau, France

* Corresponding author, e-mail: anna.lungarska@inrae.fr

scientific reports

OPEN

Quantifying the benefits of reducing synthetic nitrogen application policy on ecosystem carbon sequestration and biodiversity

N. Devaraju^{1,✉}, Rémi Prudhomme², Anna Lungarska³, Xuhui Wang¹, Zun Yin¹, Nathalie de Noblet-Ducoudré⁴, Raja Chakir⁵, Pierre-Alain Jayet¹, Thierry Brunelle², Nicolas Viovy¹, Adriana De Palma⁶, Ricardo Gonzalez^{6,7} & Philippe Ciais²

Review of Agricultural, Food and Environmental Studies (2022) 103:271–299
<https://doi.org/10.1007/s41130-022-00173-3>

RESEARCH ARTICLE

Food, climate and biodiversity: a trilemma of mineral nitrogen use in European agriculture

Rémi Prudhomme¹ · Raja Chakir²  · Anna Lungarska³ · Thierry Brunelle¹ · Narayanappa Devaraju⁴ · Nathalie de Noblet⁴ · Pierre-Alain Jayet² · Stéphane De Cara² · Jean-Christophe Bureau²

Received: 3 February 2022 / Accepted: 28 July 2022 / Published online: 6 December 2022
© INRAE and Springer-Verlag France SAS, part of Springer Nature 2022

Plus d'information sur le projet STIMUL

<https://sites.google.com/view/stimul-project/home>

STIMUL Project (2016-2021)

[Home](#) · [Partners](#) · [The project](#) · [Models](#) · [Outputs](#)



STIMUL

Scenarios Towards Integrating MULTI-scale Land-use tools

Publications

1. Prudhomme, R., Chakir, R., Lungarska, A. et al. Food, climate and biodiversity: a trilemma of mineral nitrogen use in European agriculture. *Rev Agric Food Environ Stud* 103, 271–299 (2022). <https://doi.org/10.1007/s41130-022-00173-3>
2. Devaraju, N., Prudhomme, R., Lungarska, A. et al. Quantifying the benefits of reducing synthetic nitrogen application policy on ecosystem carbon sequestration and biodiversity. *Sci Rep* 12, 20715 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24794-2>
3. Moindjé, I. A., Pinsard, C., Accatino, F. and Chakir, R. (2022). Interactions between ecosystem services and land use in France: A spatial statistical analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 1660. [10.3389/fenvs.2022.954655](https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.954655)
4. Chakir, R. and Thomas, A. (2022). "Unintended Consequences of Environmental Policies: the Case of Set-aside and Agricultural Intensification", *Environmental Modeling & Assessment*, 27, pages 363–384. [10.1007/s10666-021-09815-0](https://doi.org/10.1007/s10666-021-09815-0)
5. Barberis D., Humblot P., Chiadmi I., Jayet P.-A., Lungarska A. and Ollier M. (2020), Climate Change and Irrigation Water: Should the North/South Hierarchy of Impacts on Agricultural Systems Be Reconsidered?, *Environmental Modeling & Assessment*, 24p, doi: [10.1007/s10666-020-09724-8](https://doi.org/10.1007/s10666-020-09724-8)
6. Bayramoglu, B., Chakir, R. & Lungarska (2020), "Impacts of Land Use and Climate Change on Freshwater Ecosystems in France" *Environmental Modeling and Assessment* 25, 147–172. <https://doi.org/10.1007/s10666-019-09673-x>
7. Isbasoiu A., Jayet P.-A., De Cara S., (2020), Increasing food production and mitigating agricultural greenhouse gas emissions in the European Union: impacts of carbon pricing and calorie production targeting, *Environmental Economics and Policy Studies*, . doi: [10.1007/s10018-020-00293-4](https://doi.org/10.1007/s10018-020-00293-4)
8. Jayet P.-A., Isbasoiu A., De Cara S. (2020), Slaughter cattle to secure food calories and reduce agricultural greenhouse gas emissions? Some prospective estimates for France, *Review of Agricultural, Food and Environmental Studies*, 101:67-90, doi: [10.1007/s41130-020-00117-9](https://doi.org/10.1007/s41130-020-00117-9).
9. R. Prudhomme, A. De Palma, P. Dumas, R. Gonzalez, P. Leadley, H. Levrel, A. Purvis, and T. Brunelle (2020): "Combining mitigation strategies to increase co-benefits for biodiversity and food security", *Environmental Research Letters*, Volume 15, Number 11
10. Damien Bellouin, Tamara Ben-Ari, David Makowski 2019 "A dataset of meta-analyses on crop diversification at the global scale" *Data in Brief*, Volume 24. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103898>
11. J. Vaitkeviciute, R Chakir, S Van Passel (2019) "Climate variable choice in Ricardian studies on European agriculture". *Revue Economique*. vol 70. <https://www.cairn.info/revue-economique-2019-3-page-375.htm#>
12. ALBERT, Isabelle and MAKOWSKI, David. (2018) "Ranking crop species using mixed treatment comparisons". *Research Synthesis Methods*. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1328>
13. Lungarska, A. & Chakir, R. (2018). "Climate induced land use change in France: impacts of agricultural adaptation and climate change mitigation", *Ecological Economics* 147, 134–154.
14. Cemay, C.; Makowski, D. & Pelzer, E. (2017). "Preceding cultivation of grain legumes increases cereal yields under low nitrogen input conditions". *Environmental Chemistry Letters*, 1–6.
15. Lesur-Dumoulin, C.; Malézieux, E.; Ben-Ari, T.; Langlais, C. & Makowski, D. (2017). "Lower average yields but similar yield variability in organic versus conventional horticulture. A meta-analysis". *Agronomy for Sustainable Development* 37(5), 45.

Synthèse des résultats

1. Main results from the economic models: production, prices, efficiency
2. Impact on soil carbon, NPP and Species Richness
3. Trade-offs between Food, Climate and Biodiversity
4. An attempt of cost benefit analysis

Results (I): Main results from the economic models

Impact	Model	
	AROPAj	NLU
→ Mineral N price	+208%	+150%
Mineral N use (total in TgN)	-50.6%	-50.1% (EU) +9% (RoW)
Mineral N use per ha (kgN/ha)	-41%*	-51.4%
→ Organic N use (total in TgN)	-10%	-4%
→ N use efficiency (NUE)	from +1.3% to +156%** (depending on crop)	+38%
→ Production (total in tons)	-34%	-12% (EU) +2% (RoW) (constant food demand)
Percentage of leguminous crops in crop mix	+15%*	NA
LUC (hectares)	-24% crops +3% pastures +191% fallow	+3% crops -6% pastures
iLUC (hectares)	NA	+1% crops -0.7% pastures

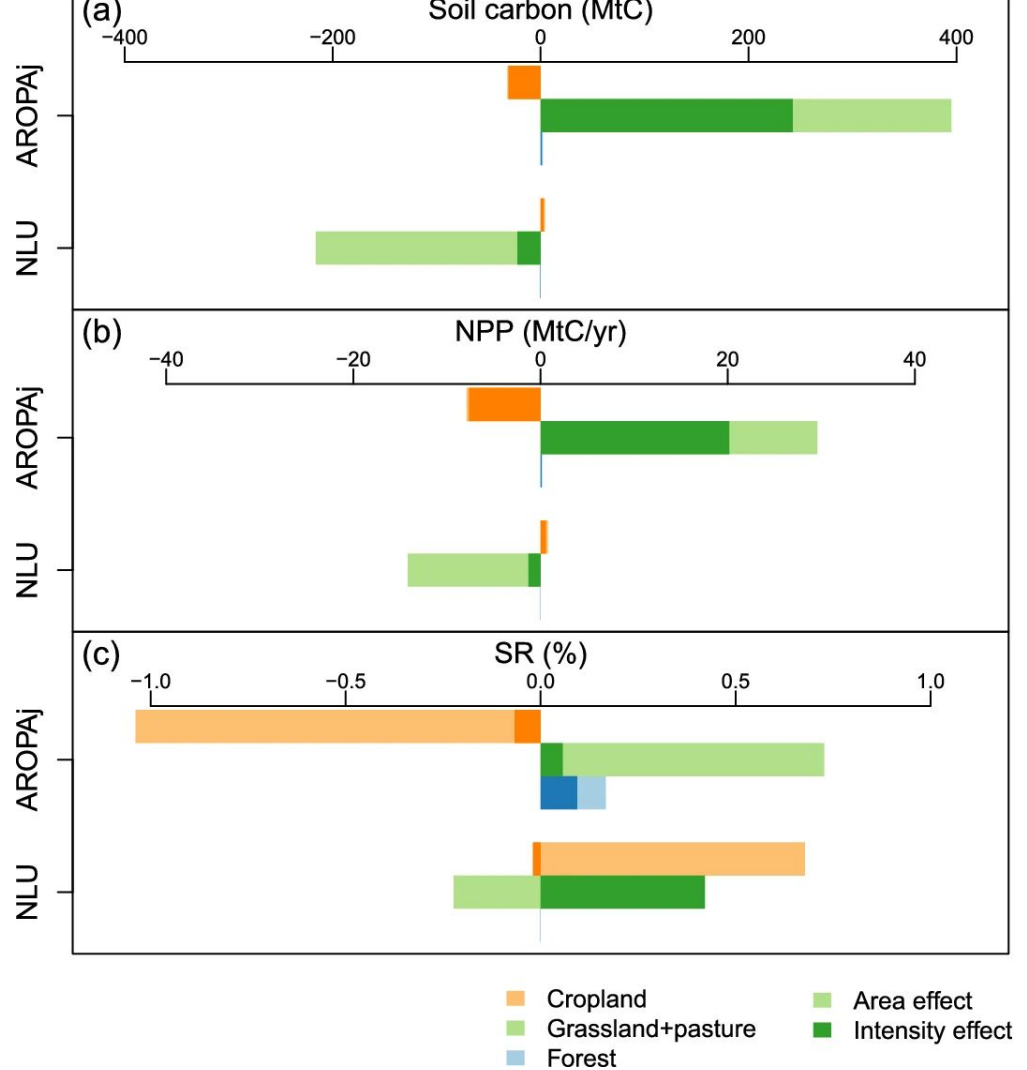
Some consistent findings between both models:

- Similar increase in N price to reach the reduction of 50% in N-use
- Decrease in agricultural production in Europe
- Increase in nitrogen use efficiency
- A lower use of organic fertilizer

But, two contrasting pathways for land use change:

- AROPAj: Massive land abandonment with a large reduction in agricultural production (AROPAj)
- NLU: extensification of crop production with a smaller reduction in agricultural production

Results (II): Impact on soil carbon, NPP and Species Richness



Results (III) Trade-offs between Food, Climate and Biodiversity

Indicators used for the trade-off analysis:

1. Food security:

- Total food production (Crop + Livestock)
- Total economic surplus

2. Biodiversity:

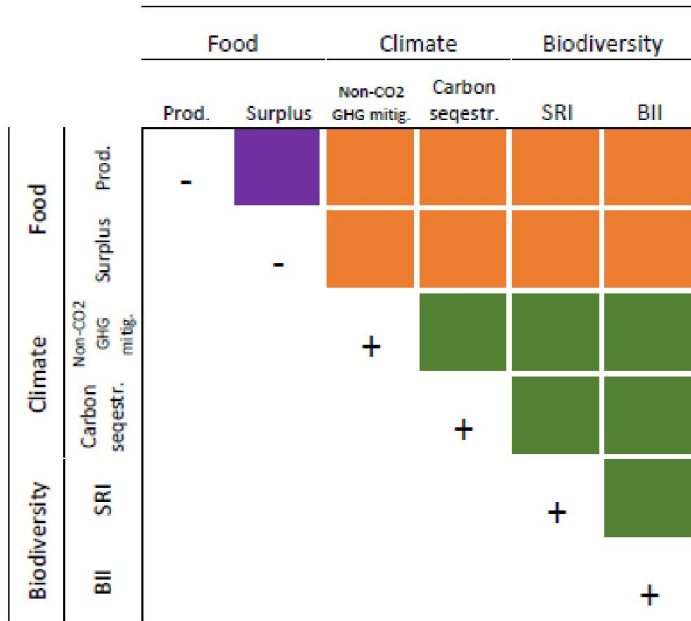
- Species richness (SR): number of species, relative to the number expected in a natural system.
- Intactness index (BII): average similarity between an ecosystem and a primary natural ecosystem, weighted by the abundance of species

3. Climate:

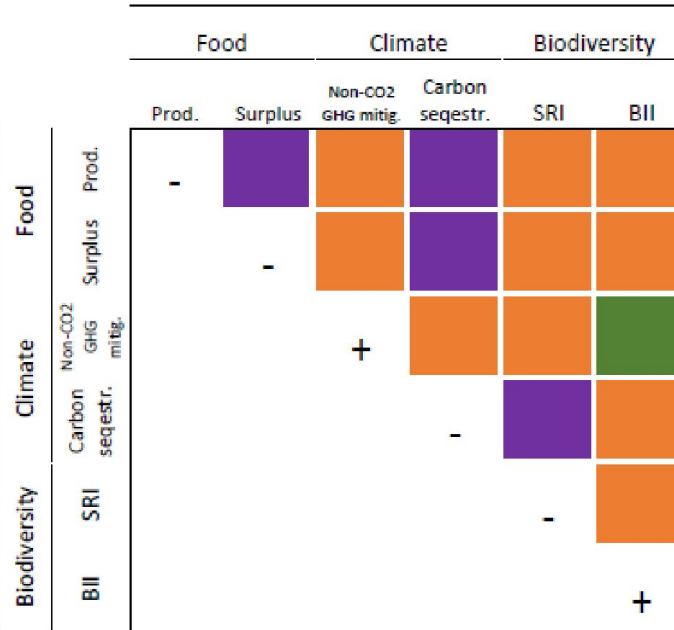
- Carbon sequestration in soils and vegetation
- Non-CO₂ emissions (NO₂ and CH₄)

Results (III) Trade-offs between Food, Climate and Biodiversity

AROPaj/ORCHIDEE/PREDICTS



NLU/ORCHIDEE/PREDICTS



Orange = Trade-off
 Green = positive synergy
 Purple = negative synergy

Results (IV): An attempt of cost benefit analysis

- Benefit: Economic surplus attributable to nitrogen
- Two types of pollution are monetized in the Baseline and Policy scenarios :
 - Cost of nitrogen pollution (NO_x , NH_3 and N_2O) expressed in € per kg N_r emitted, used or produced based on Van Grinsven et al. (2013)

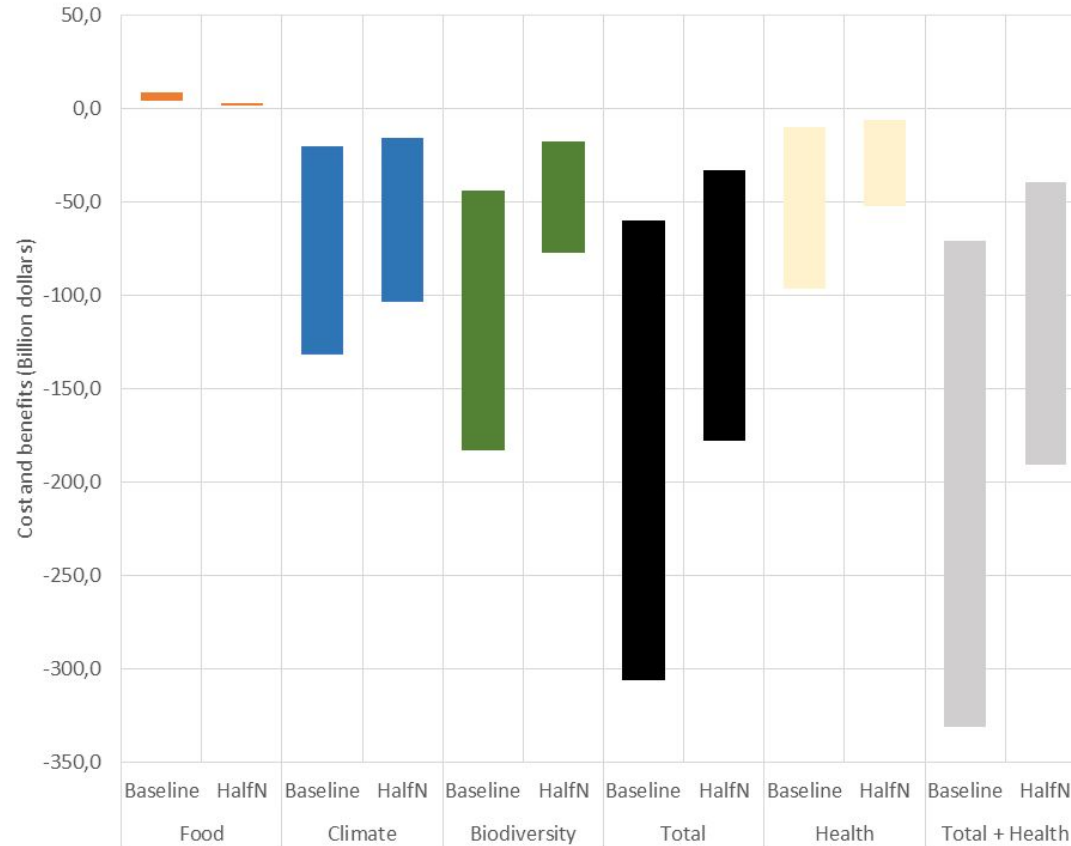
	Human health	Ecosystems	Climate
N_r to water	0 to 4	5 to 20	-
$\text{NH}_3 - N$ to air	2 to 20	2 to 10	3 to 0
$\text{NO}_x - N$ to air	10 to 30	2 to 10	9 to 2
$\text{N}_2\text{O} - N$ to air	1 to 3	-	4 to 17

- Carbon is valued by taking the average value between the social cost of carbon with a 2% discount rate (Stern and Stiglitz, 2021): 234€/tCO₂) and the social cost of carbon with a 10% discount rate (Nordhaus, 2014): 37€/tCO₂



CB Analysis based only on the outputs from the NLU model

Results (IV): An attempt of cost benefit analysis



Prudhomme et al.,
2022

Results (IV) Comparison with other studies

Comparison of the cost-benefit analysis of the baseline scenario (in 2012) compared to other cost-benefit analyses (in 2008) for the agricultural sector in Billions Euros

	Baseline	Sutton et al. (2011)	Van Grinsven et al. (2013)	Halving N
Agricultural benefits	31	20 to 80	20 to 80	40
Cost for human health	10 to 97	9 to 79	10 to 70	6 to 53
Cost for ecosystems	44 to 183	21 to 90	35 to 115	18 to 77
Cost for climate	-6 to 23	2 to 5	-10 to 5	-4 to 14
Social cost of nitrogen	49 to 302	32 to 174	35 to 230	21 to 143

Conclusions

- Both economic models finds that the mineral N reduction policy leads to a substantial decrease in agricultural production...
- ... but through two different types of economic response
 - Massive land abandonment in AROPAj
 - Extensification of agriculture in NLU
- Which ultimately depends on supply-side flexibilities: land expansion in AROPAj is more constrained than in NLU
- These two different paths leads to:
 - contrasting impacts in terms of carbon and biodiversity and ...
 - a different set of trade-offs and synergies between food/climate/biodiversity objectives
- Considering both costs and benefits of the policy, we show that halving nitrogen use in EU agriculture has an overall positive effect

Sensitivity analysis and model evaluation

