

La ressource en phosphore en France et dans le monde : état des lieux et pistes de gestion

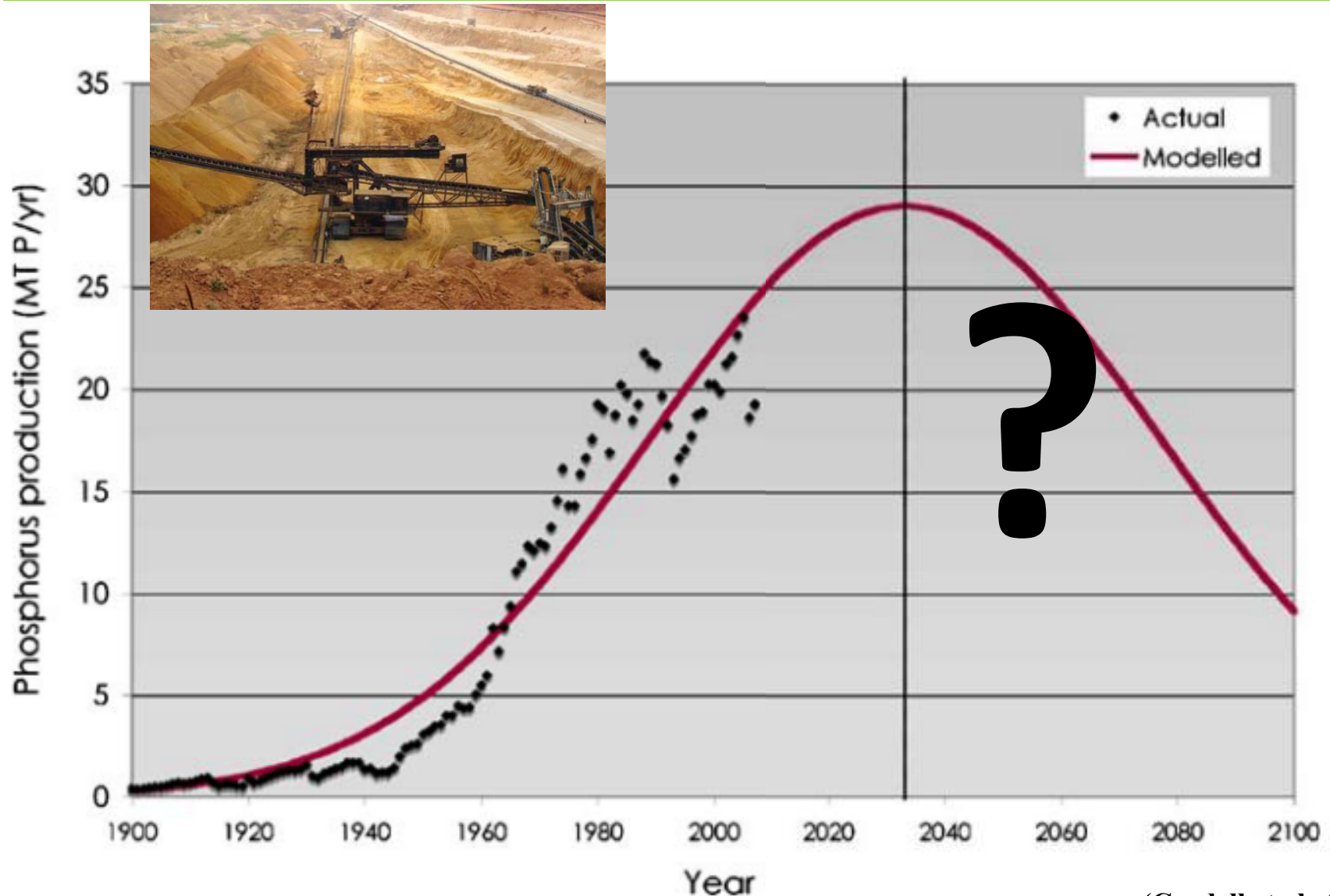
Thomas NESME
Bordeaux Sciences Agro

Académie d'Agriculture de France
Juin 2020

L'agriculture, grande consommatrice de roches phosphatées

- À l'échelle mondiale, l'agriculture consomme ~90% de l'extraction de roches phosphatées (=phosphates naturels)
 - 82% pour la production d'engrais minéraux
 - 8% pour la production de compléments minéraux pour animaux d'élevage
- Cette consommation nous amène t-elle vers un épuisement des ressources en roches phosphatées ?

Vers une raréfaction de la ressource en roches phosphatées ?

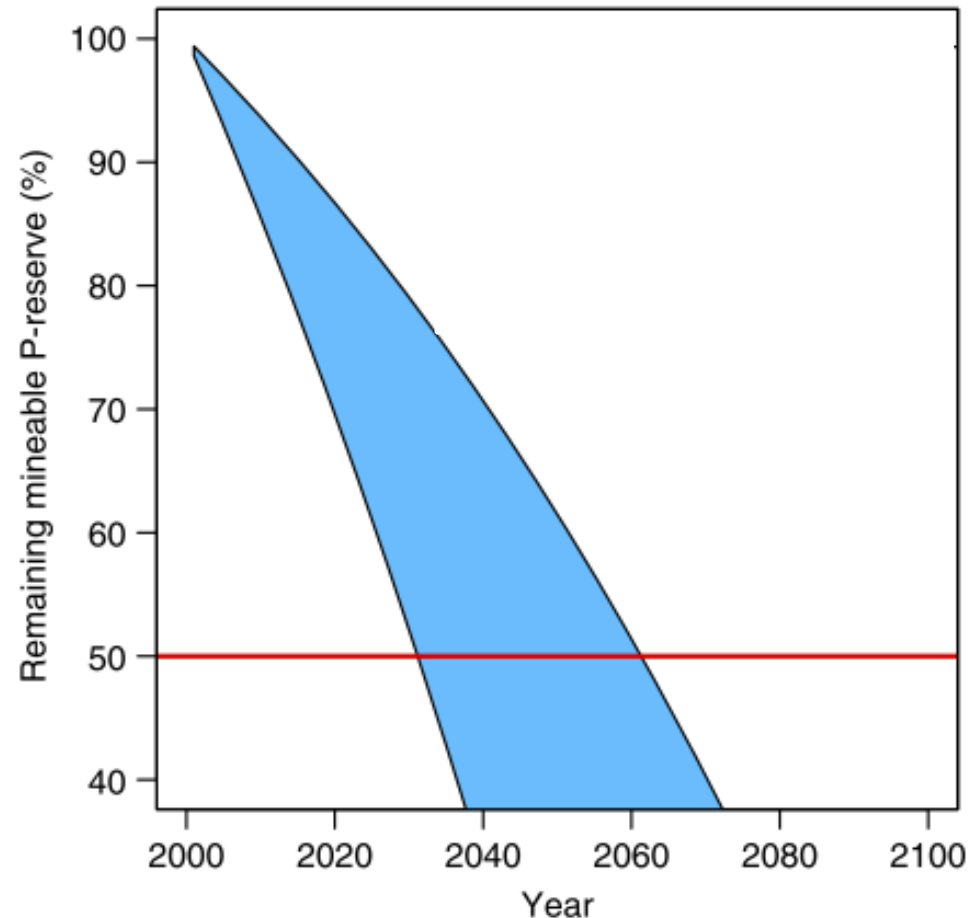


(Cordell et al., 2009)

Bien que des controverses persistent, les rapports convergent vers

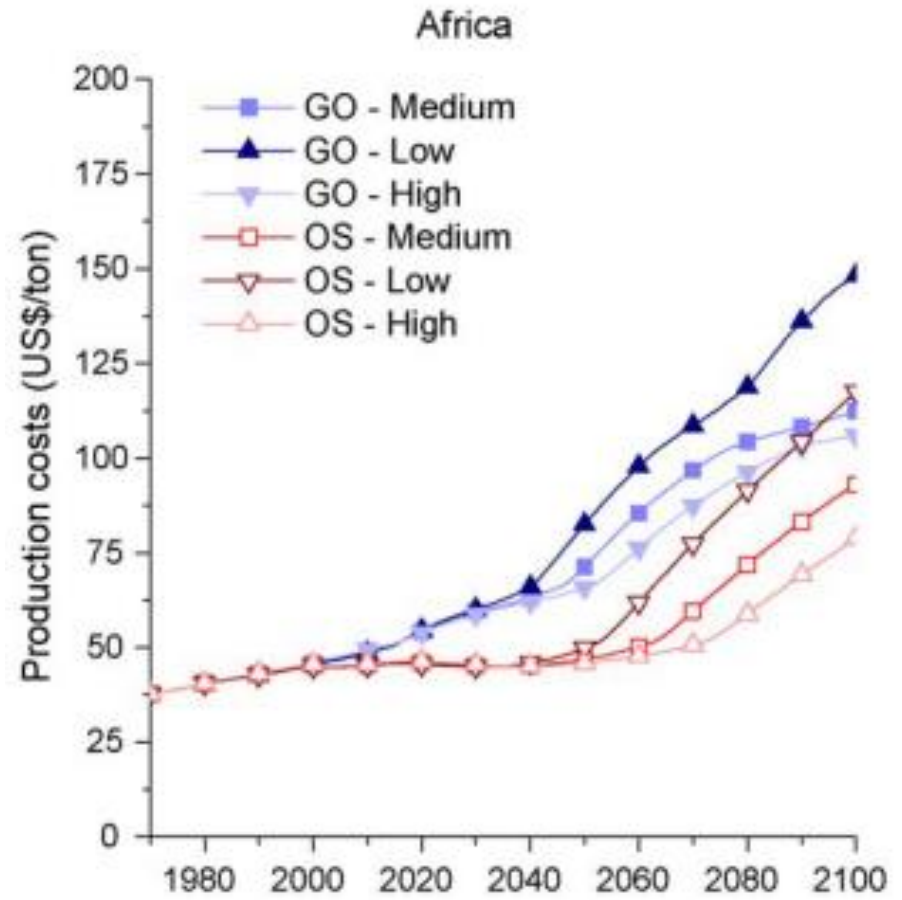
- Un pic mondial d'extraction des roches P vers 2050
- Un épuisement des réserves en roches P avant 2150
- En conséquence, une augmentation du prix des engrais minéraux P

Attention, ne pas confondre réserves et ressources !

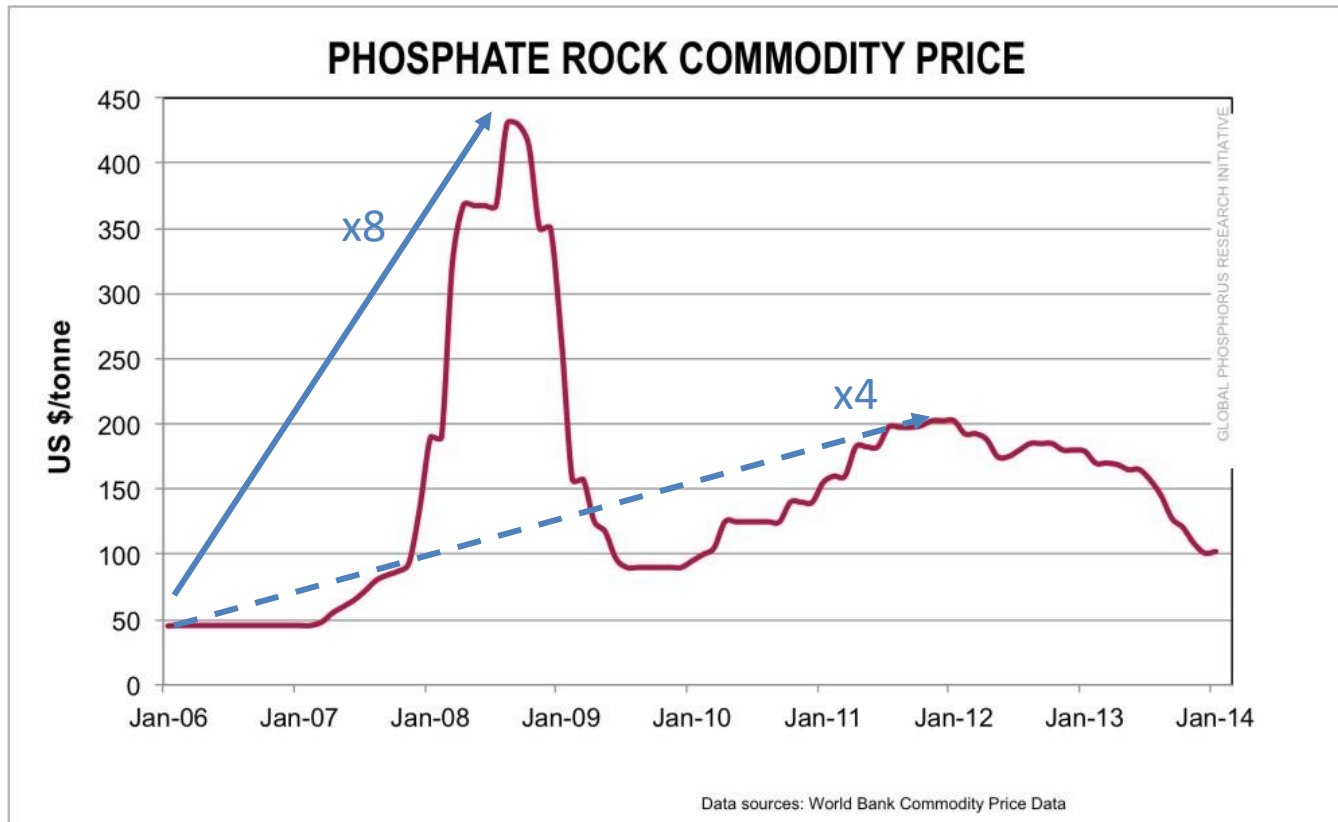


Conséquences pour le prix des engrais P

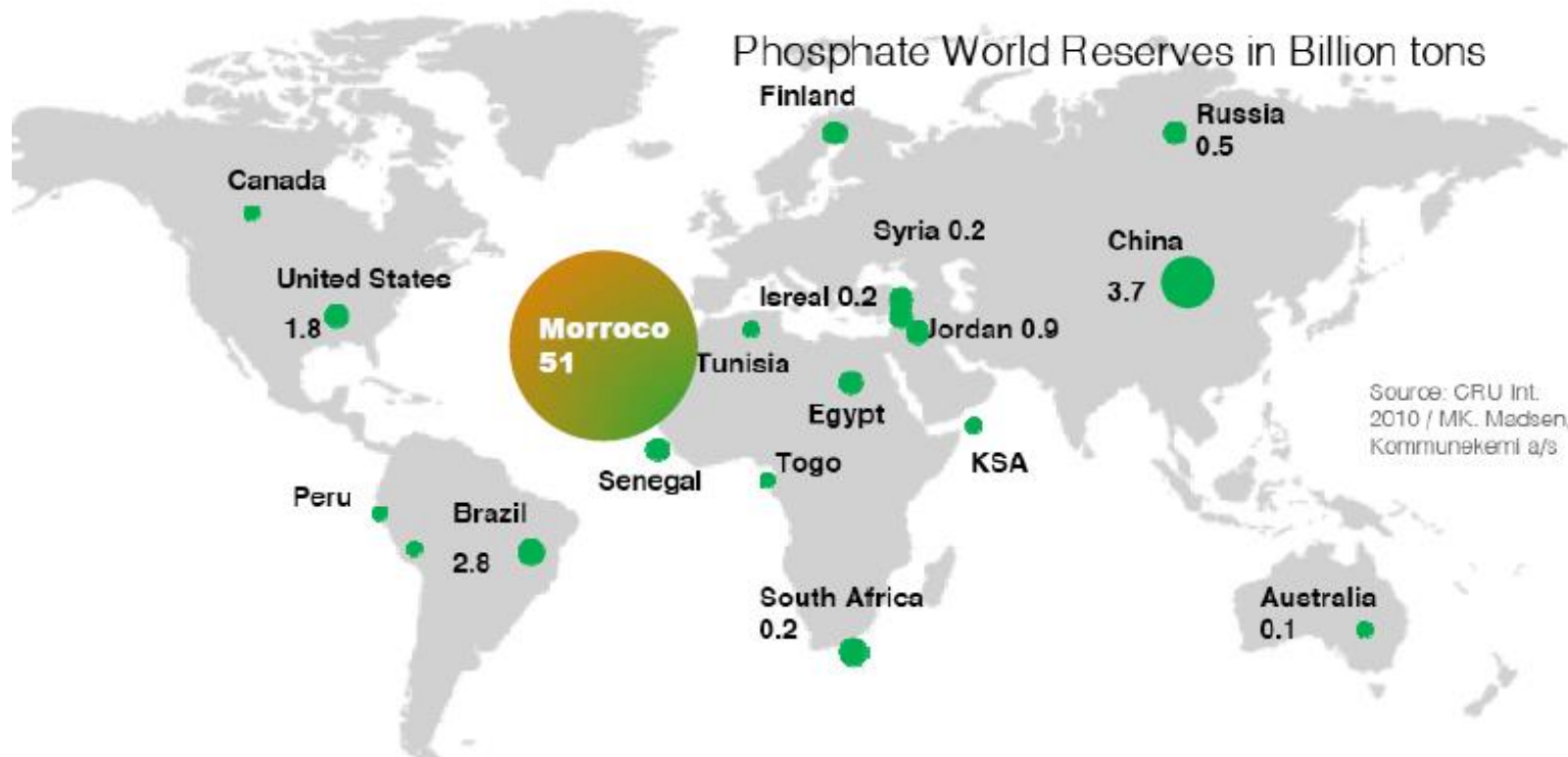
- Le marché des engrais P est caractérisé par
 - Une demande croissante
 - Une offre relativement inélastique
- En conséquence, le prix des engrais P devrait croître à l'avenir du fait
 - D'équilibres de marchés
 - De difficultés croissantes d'exploitation des gisements
 - Minerais de moindre concentration
 - Contamination par Cd et U...



Un marché des roches phosphatées et des engrais P qui a tendance à devenir plus volatil



Un enjeu géopolitique associé à la distribution des gisements de roches phosphatées ?



Plus de 85% des ressources mondiales sont contrôlées par seulement 3 pays

Phosphate naturel: les principaux flux

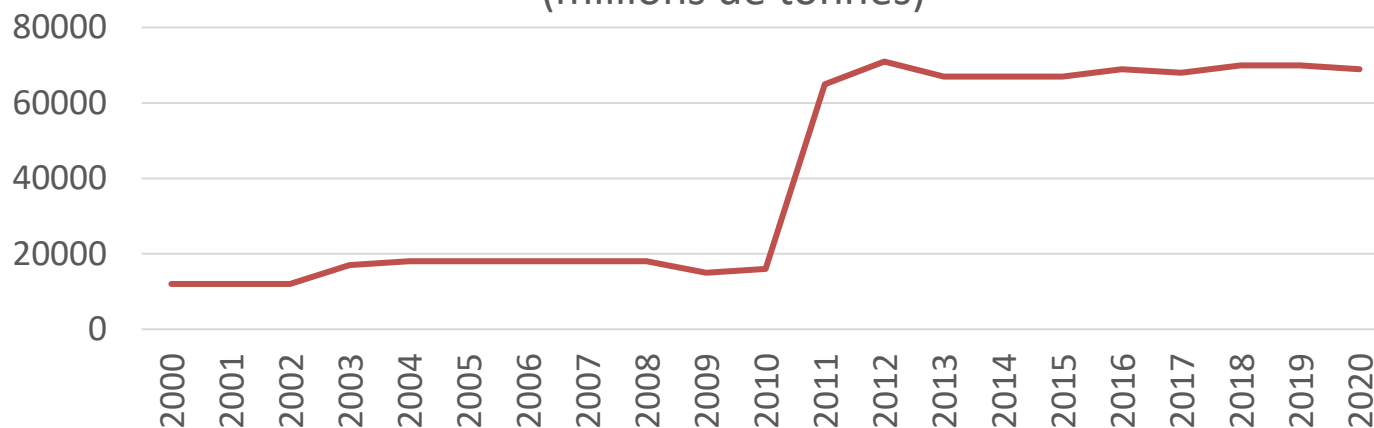


Source: IFA, 2009

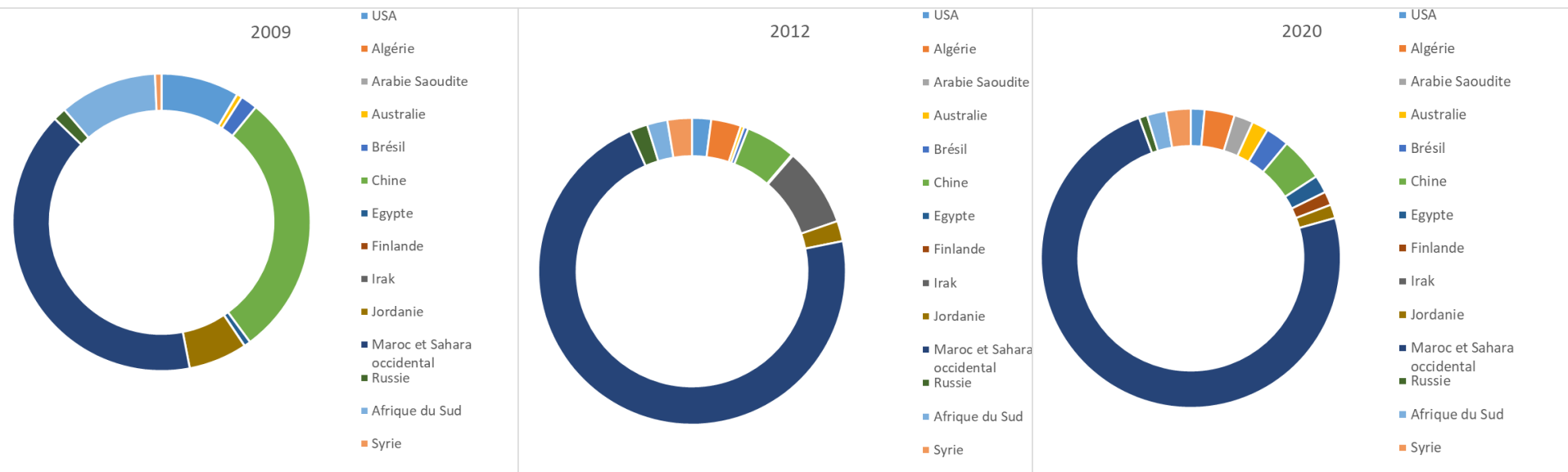
Jaune: exportateurs. Vert: importateurs.

Des incertitudes persistantes sur l'état des réserves en roches phosphatées

Réserves mondiales en roches phosphatées
(millions de tonnes)



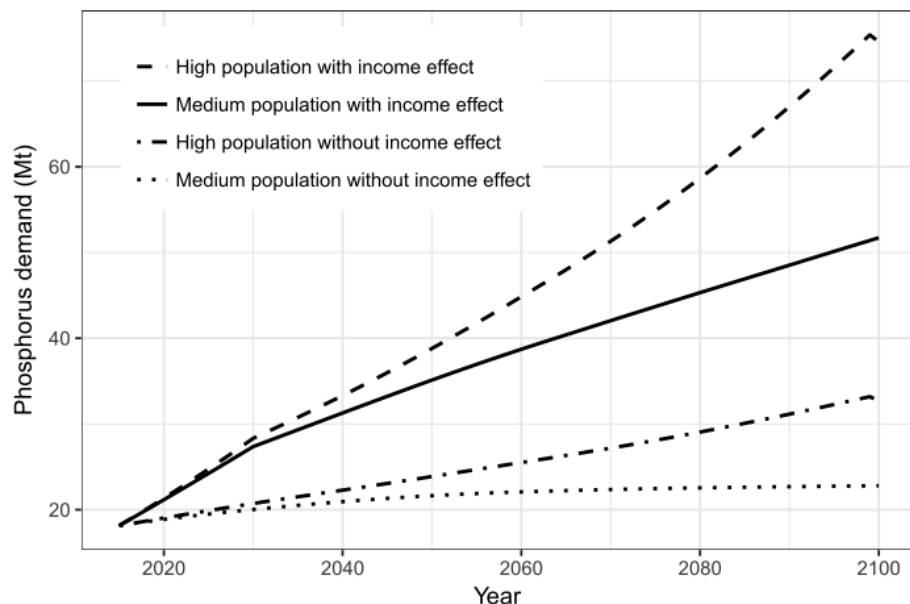
(Sources : USGS)



Et des incertitudes sur la demande future en engrais P

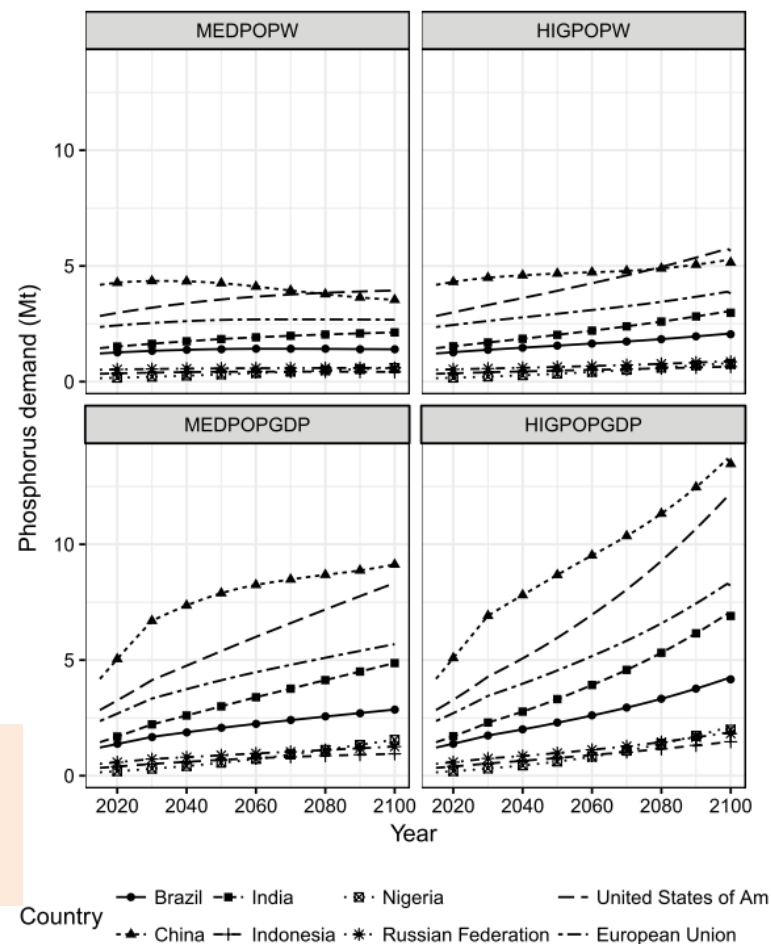
Représentation de la demande en engrais P selon

- Le niveau de croissance démographique
- La prise en compte ou non de l'élasticité revenu de la demande en engrais



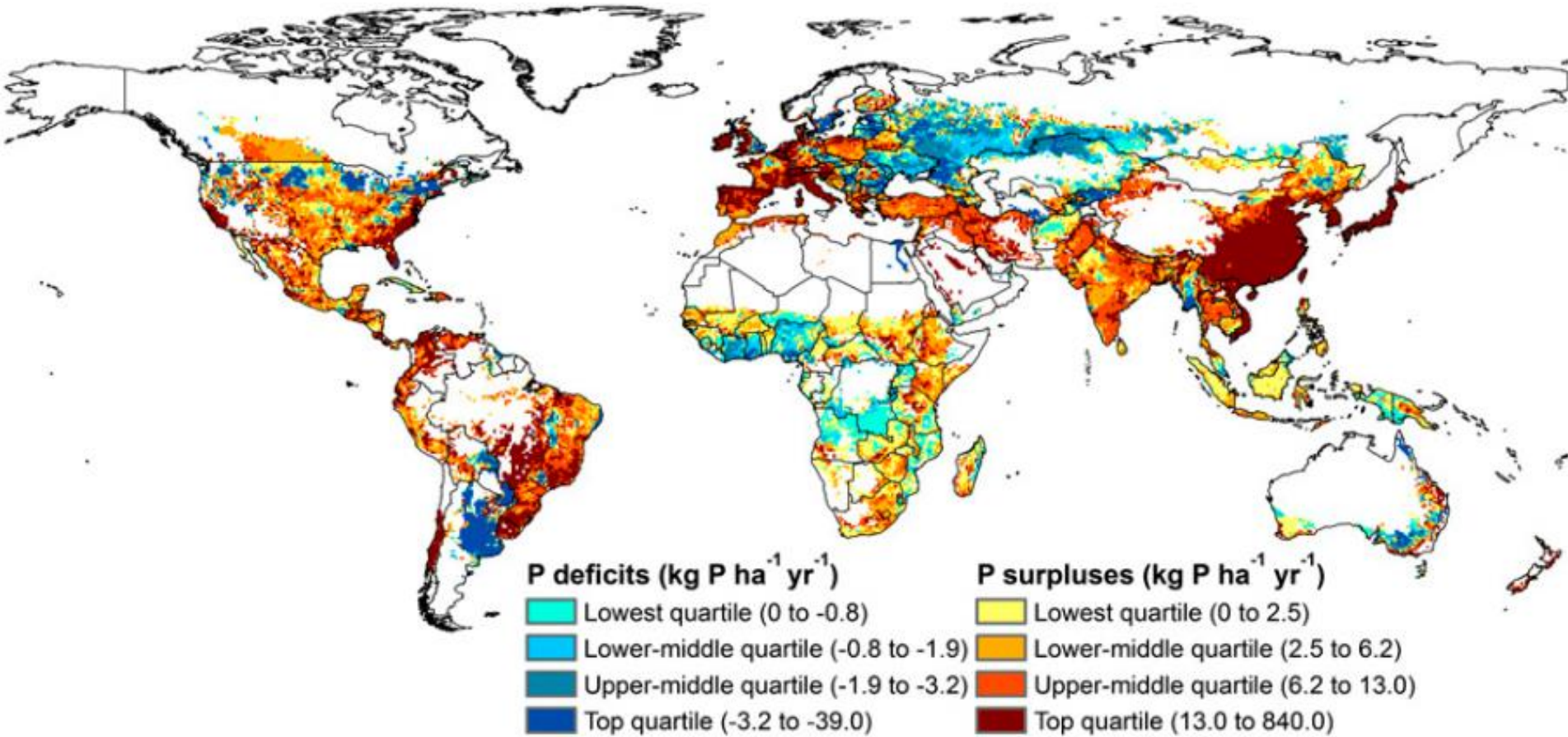
- Un effet modeste de la croissance démographique
- Un effet majeur de l'élasticité revenu de la consommation
- Un rôle clé joué par la Chine

(Helin et Weikard., 2019)



Au-delà des réserves de roches phosphatées,
la nécessité de mieux considérer les stocks de
P des sols agricoles

Distribution des bilans de P annuels des terres arables

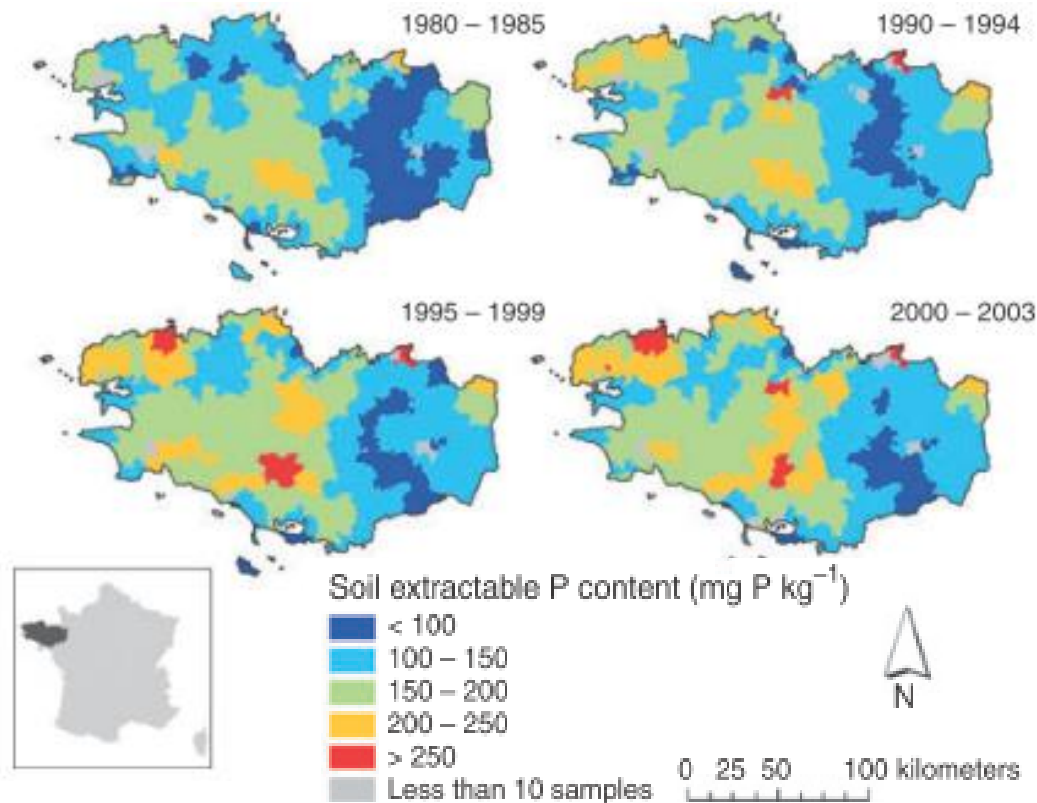


Distribution des bilans de P annuels des terres arables

- À l'échelle mondiale, les apports annuels d'engrais P (14 Tg P) and d'effluents d'élevage (10 Tg P) excèdent les prélèvement des cultures (12 Tg P), laissant un surplus de 12 Tg P dans les sols
- 10% des terres arables reçoivent plus de 50% des apports d'engrais et d'effluents
- 15% des terres arables présentent des déficits majeurs de P tandis que 35% présentent des excès significatifs

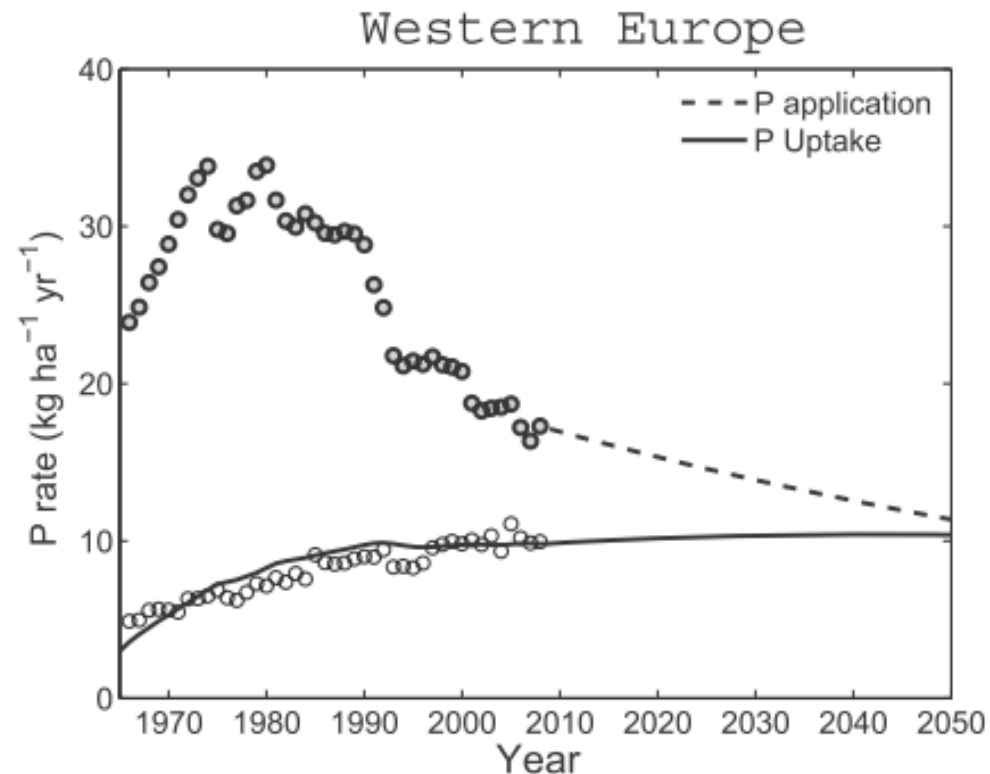
Des apports excédentaires de P ont contribué à constituer des stocks de P dans les sols

- À l'échelle mondiale, de 1965 à 2007
 - La moitié du P apporté (550 kg P/ha)...
 - ...a été prélevé par les cultures (225 kg P/ha)
- Ceci a conduit à des accumulations massives de P dans les sols fortement fertilisés (eg, Bretagne)

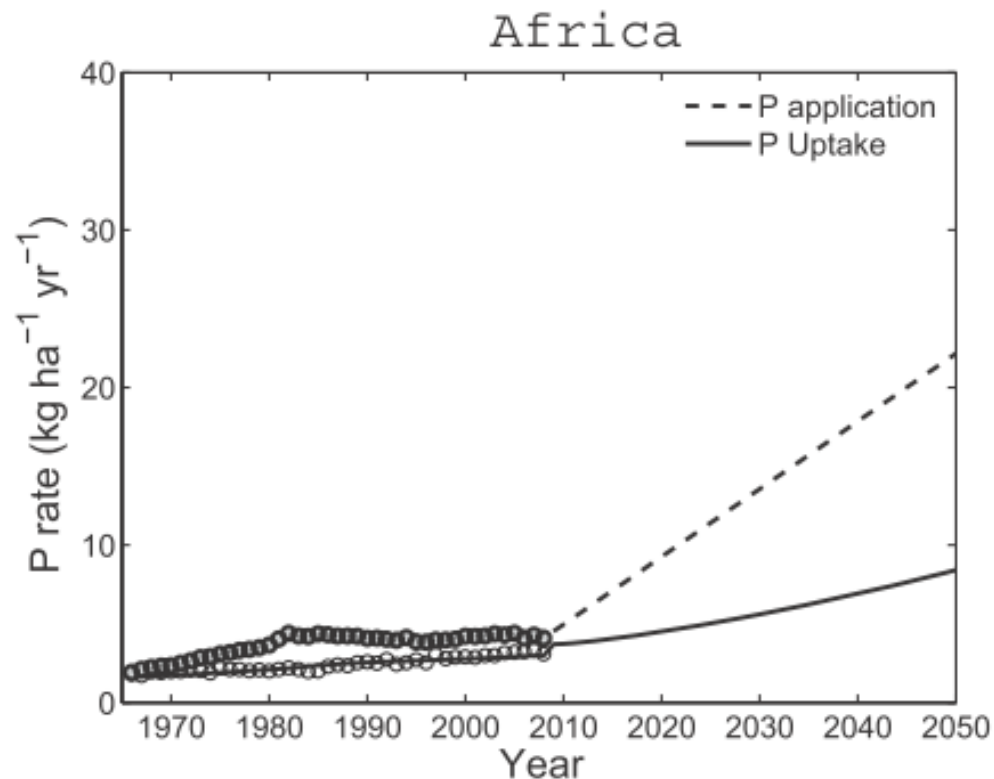


Les stocks de P des sols pourront contribuer aux prélèvements futurs des cultures

- Dans les regions ayant subi de fortes accumulations, les stocks de P pourront contribuer aux prélèvements futurs des cultures
- Dans ces regions, la fertilisation P peut être réduite
- Des innovations sont requises pour mieux exploiter ces stocks de P (cultures associées, ingénierie microbienne)



- Par contraste, dans les regions ayant peu bénéficié d'apports passes, les stocks de P ne pourront pas contribuer beaucoup aux prélèvements
- Dans ces regions, il n'y aura pas d'autres moyens que d'apporter des engrais P aux sols



Au-delà des flux d'engrais P, la nécessité de
comprendre l'effet des échanges
internationaux de matières agricoles sur le
cycle du P

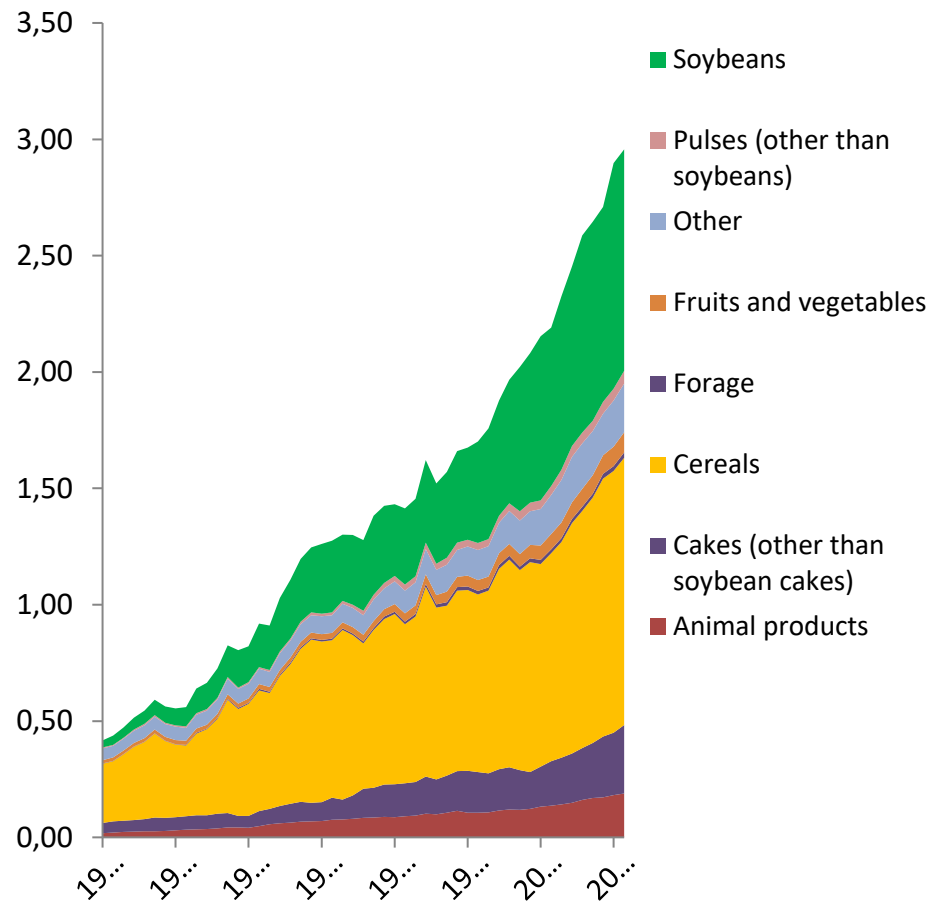
- Les échanges internationaux de produits agricoles ont progressé massivement durant les dernières décennies
- Les échanges internationaux concernent ~20% de la production agricole mondiale (hors prairies)
- Les échanges internationaux connectent des pays ayant des pratiques d'usage des engrais P très différentes



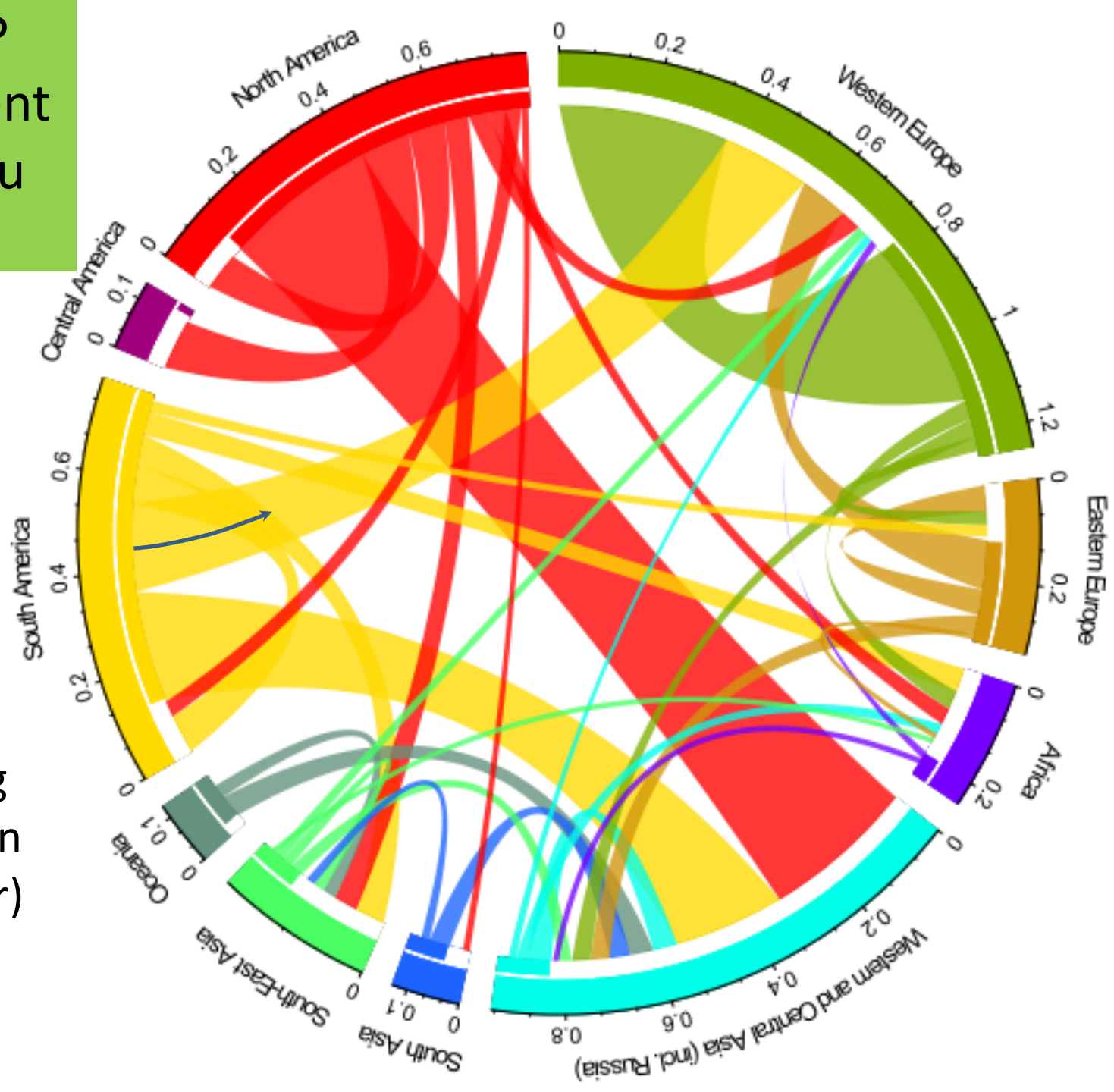
Les échanges internationaux de produits agricoles (food/feed) contribuent à des déplacements massifs de ressources en P

- Les flux de P via les échanges internationaux sont passés de 0.4 Tg en 1961 à 3.0 Tg en 2011 (x7)
- En 2011, 20% du P de la production agricole mondiale était échangé
- En 2011, les flux de P via les échanges internationaux représentent l'équivalent de
 - 17% de la quantité mondiale d'engrais P épandue
 - 27% de la quantité mondiale d'engrais P échangée

Trade P flows
(Tg P/yr)



Les flux de P
interconnectent
les régions du
monde

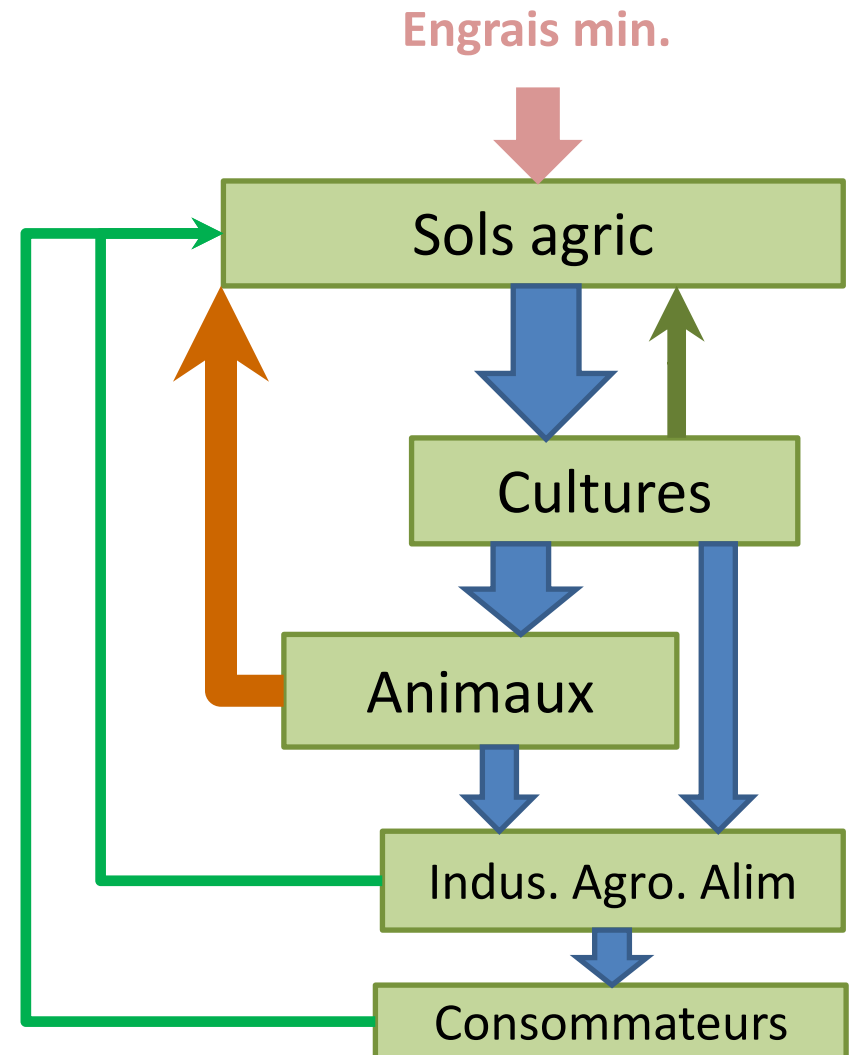


P flows among
world regions in
2011 (in Tg P/yr)

Pour préserver la ressource en roches phosphatées, quelles possibilités de recyclage au sein des systèmes alimentaires ?

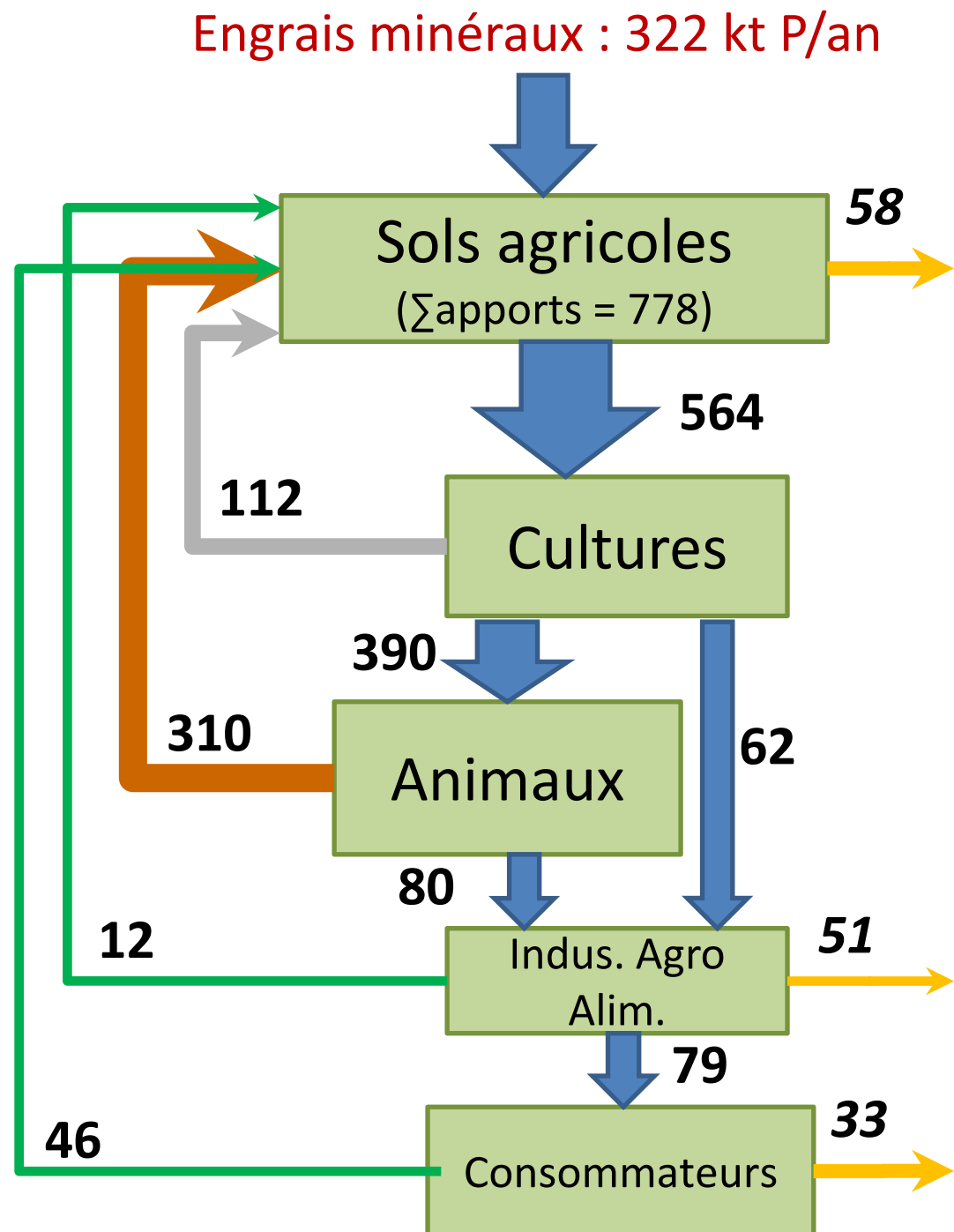
Des boucles de recyclage existent dans les systèmes alimentaires

- Si ces boucles fonctionnent bien, elles devraient permettre de limiter le recours aux engrais minéraux P
- *Quel est l'état actuel de fonctionnement de ces boucles ?*



Ordres de grandeur des flux de P, des boucles de recyclage (et des pertes)

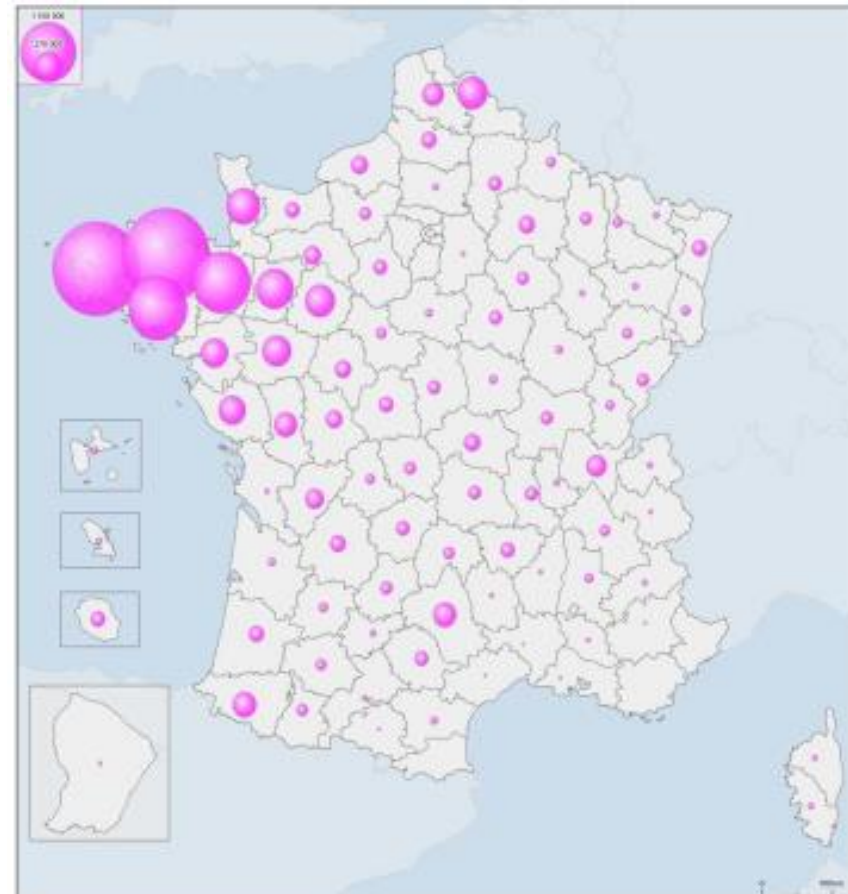
- Efficience globale d'utilisation du P faible : environ 10% !
- Importance non négligeable des *pertes & gaspillages*
 - **Gaspillages alimentaires** : 33 kt P/an
 - **Pertes depuis les sols** : 58 kt P/an (ie 2 kg P/ha/an)
 - **Stockage P dans les sols** : 156 kt P/an (ie +5kg P/ha/an)
- Des *flux de P à recycler* importants
 - Importance majeure des **effluents d'élevage** : 310 kt P/an
 - Importance secondaire des **effluents urbains** : 120 kt P/an



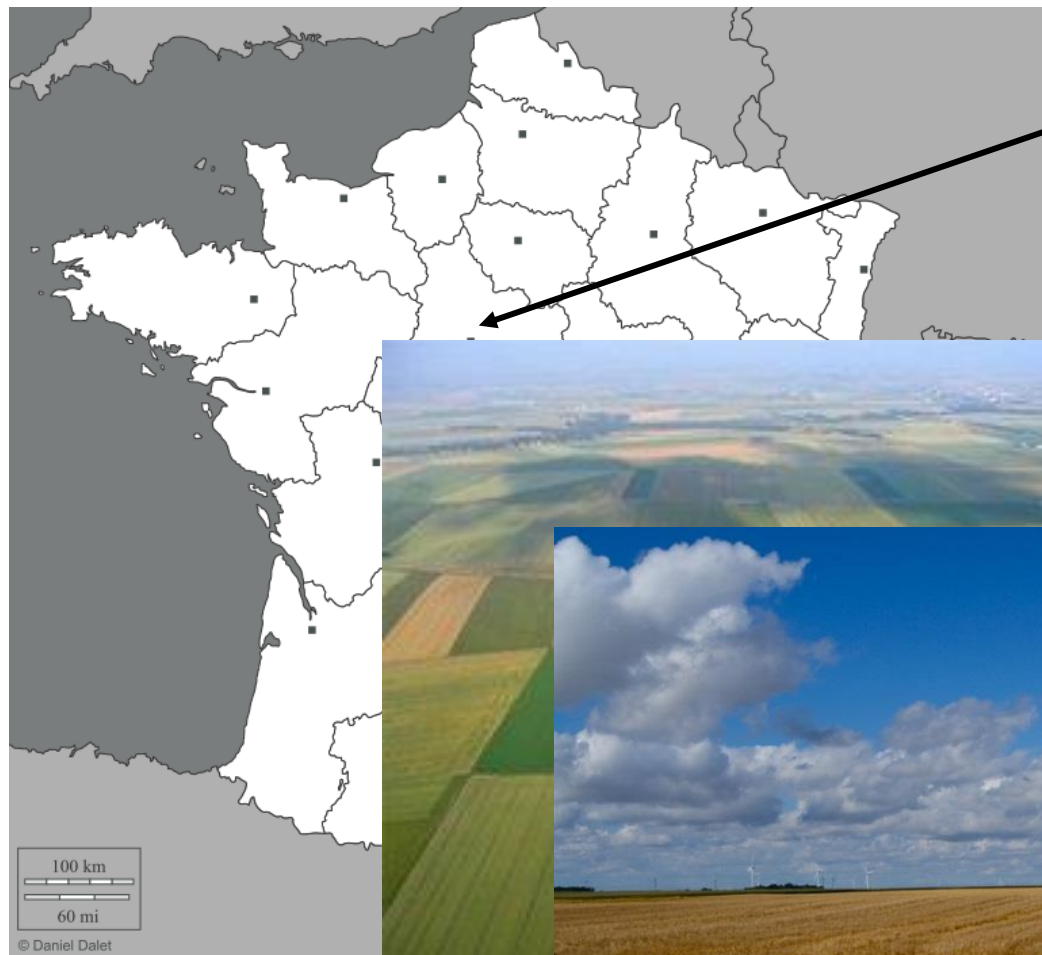
Un recyclage des effluents d'élevage entravé par la ségrégation des cultures et des élevages

- Les élevages sont de plus en plus spécialisés et ségrégés des systèmes de production végétale
- Cela aboutit à
 - Des excédents d'éléments minéraux issus des effluents animaux dans les régions d'élevage
 - Des déficits d'éléments minéraux qu'il faut combler par l'utilisation d'engrais minéraux dans les régions de cultures

Densité de porcs en France en 2010



Une approche comparative à l'échelle régionale

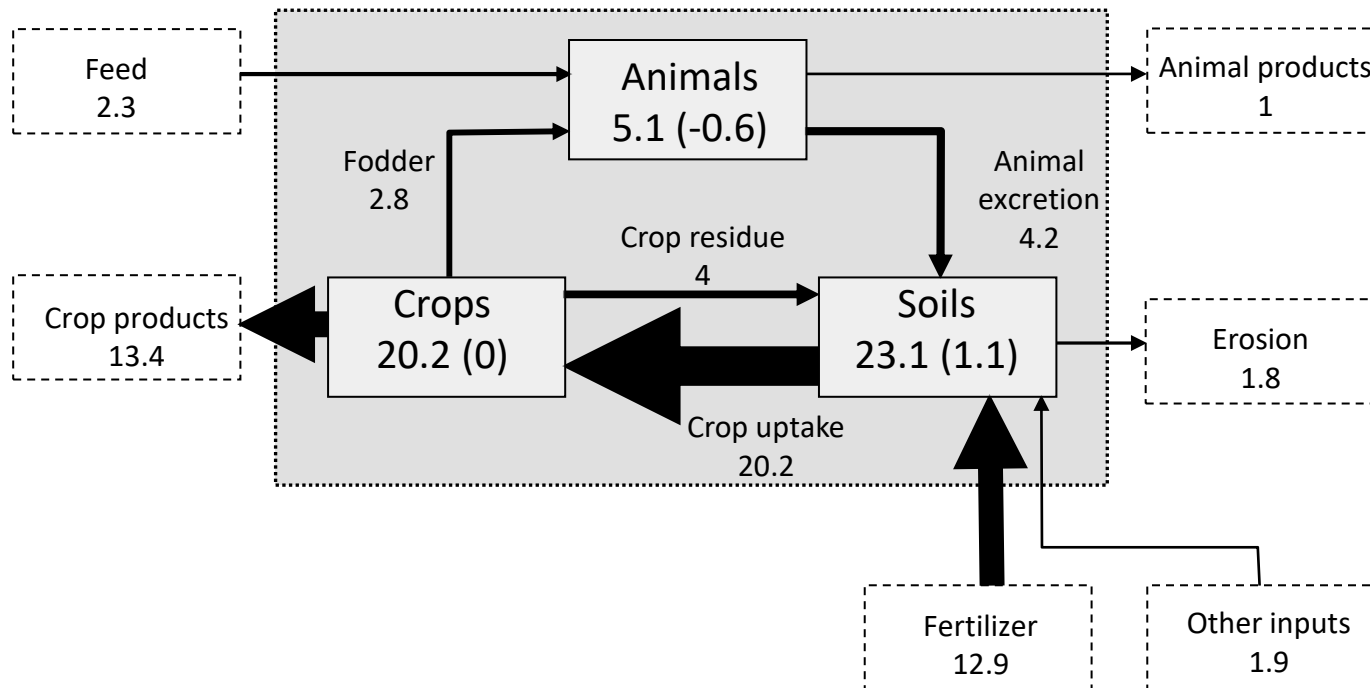


Région Centre

- Chargement animal : 0.3 UGB/ha
- Cultures : 65% de la SAU



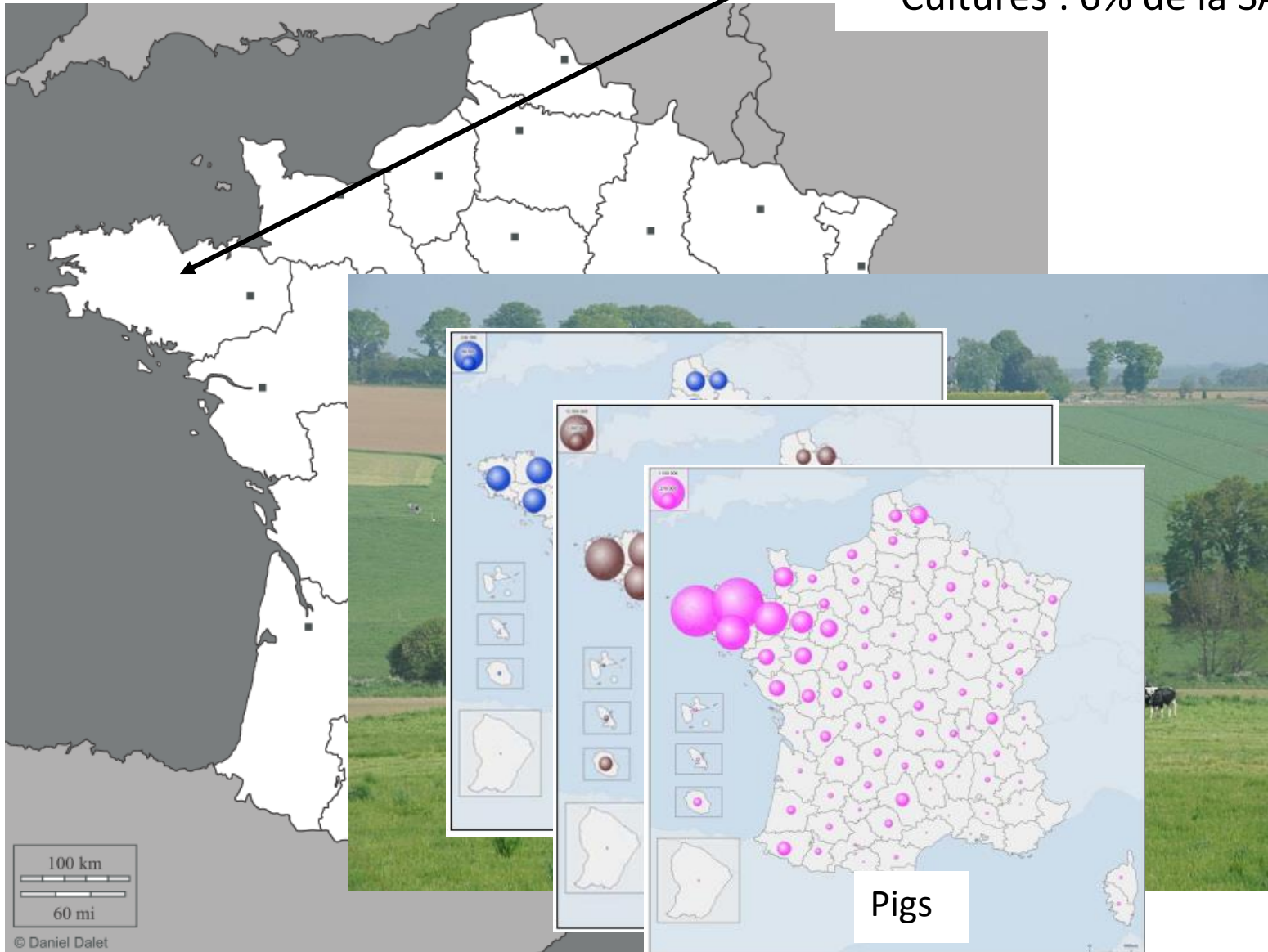
En kg P/ha/an



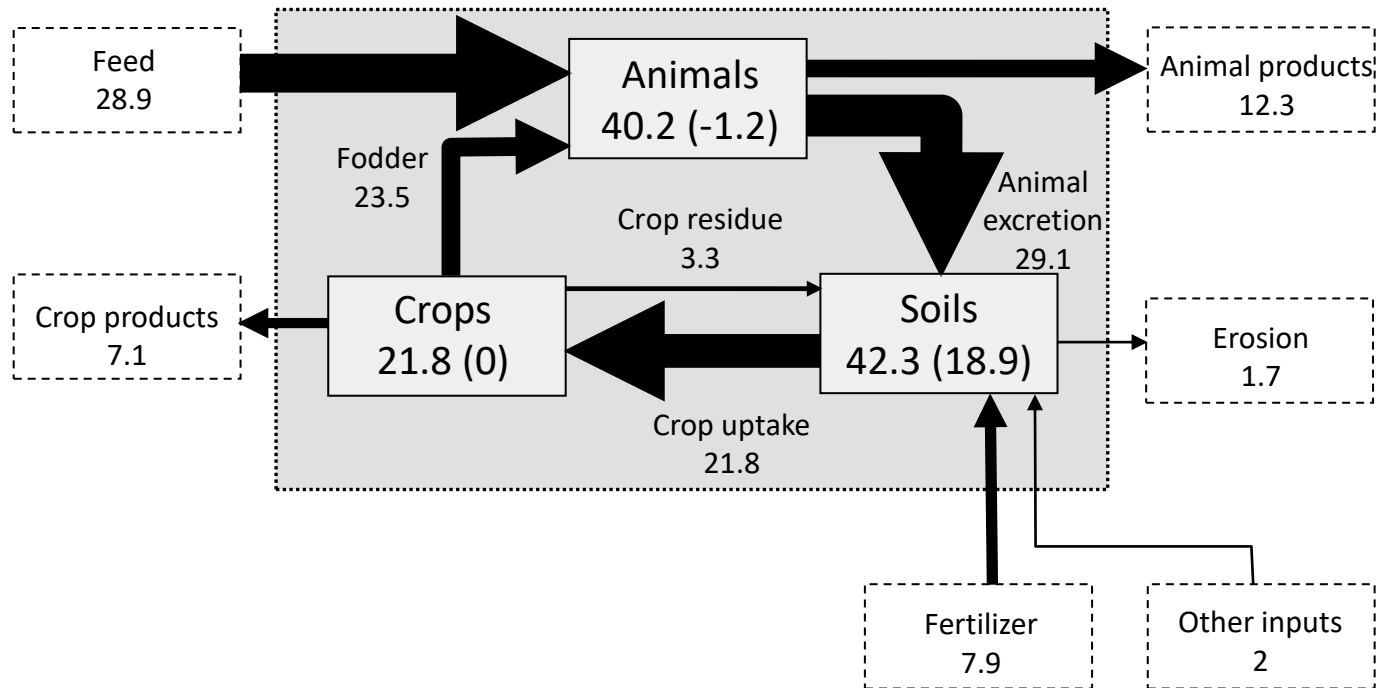
- Equilibre des entrées et sorties de P des sols (+1 kg P/ha/an)
- Recours important aux engrais minéraux (13 kg P/ha/an)

Région Bretagne

- Chargement animal : 2.1 UGB/ha
- Cultures : 6% de la SAU



En kg P/ha/an



- Entrées de P des sols >> sorties → bilan très excédentaire (+ 19 kg P/ha/an)
- Importation massive de P via l'alimentation des animaux. Même sans engrais minéraux, des bilans de P des sols très excédentaires
- Faible efficacité du recyclage du P des effluents d'élevage

Un recyclage des effluents urbains qui reste modeste

Type d'effluent	P généré (kt P /an)	P capté (kt P/an)	R recyclé sur les sols agricoles (kt P/an)	P recyclé sur les sols agricoles (% du P généré)
Déchet d'Indus Agro Alim	28.0	28	11.4	40.7
Eaux usées (ménages et industries)	79.6	60.5	29.7	34.0
Déchets municipaux (ordures ménagères et déchets verts)	43.8	43.8	18.9	43.2

Recycler le P des effluents en produisant des engrais de 2nde génération ?

- Les effluents urbains sont souvent
 - Pondéreux et dilués
 - Avec un profil sanitaire discutable
 - Objet de traitements coûteux économiquement et énergétiquement
- De nombreux procédés industriels mis au point pour
 - Extraire le P des effluents
 - Le concentrer sous forme de précipités
 - Produire des engrais à haute valeur ajoutée (dits de 2nde génération)
- Ces procédés sont souvent combinés à des traitements plus classiques des effluents (séparation de phase, digestion, incinération)

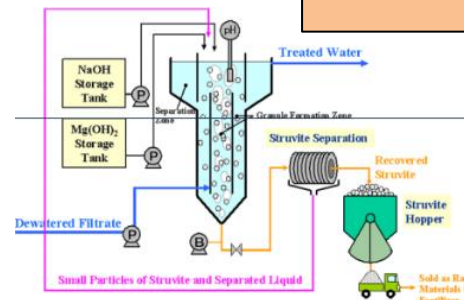
Procédé AshDec : traitement de cendres issues d'une boue de STEP digérée par NaSO_4 pour

- Retirer partiellement les ETM
- Augmenter la disponibilité du P

Procédé à base de cendres issues de l'incinération de déchets d'abattoirs avec H_2SO_4 pour produire un engrais type SSP

Procédé Ostara : production de Struvite

- Ajout de Mg et NH_3
- Production d'un précipité



- La composition finale de la struvite (12% P, 6% N) est comparable à celle d'engrais minéral
 - Son coefficient d'équivalent engrais est proche de 1 dans une large gamme de sols et de pH
- L'efficacité de capture du P des effluents est de l'ordre de 60-90%
- Des problèmes encore à résoudre d'ordre
 - Économique
 - Coût de production de la struvite : 6800 US \$/t P
 - Prix des engrais minéraux P : 2000 US \$/t P
 - Réglementaire
 - Absence d'un cadre réglementaire ad hoc pour la commercialisation de ces engrais de 2^{nde} génération



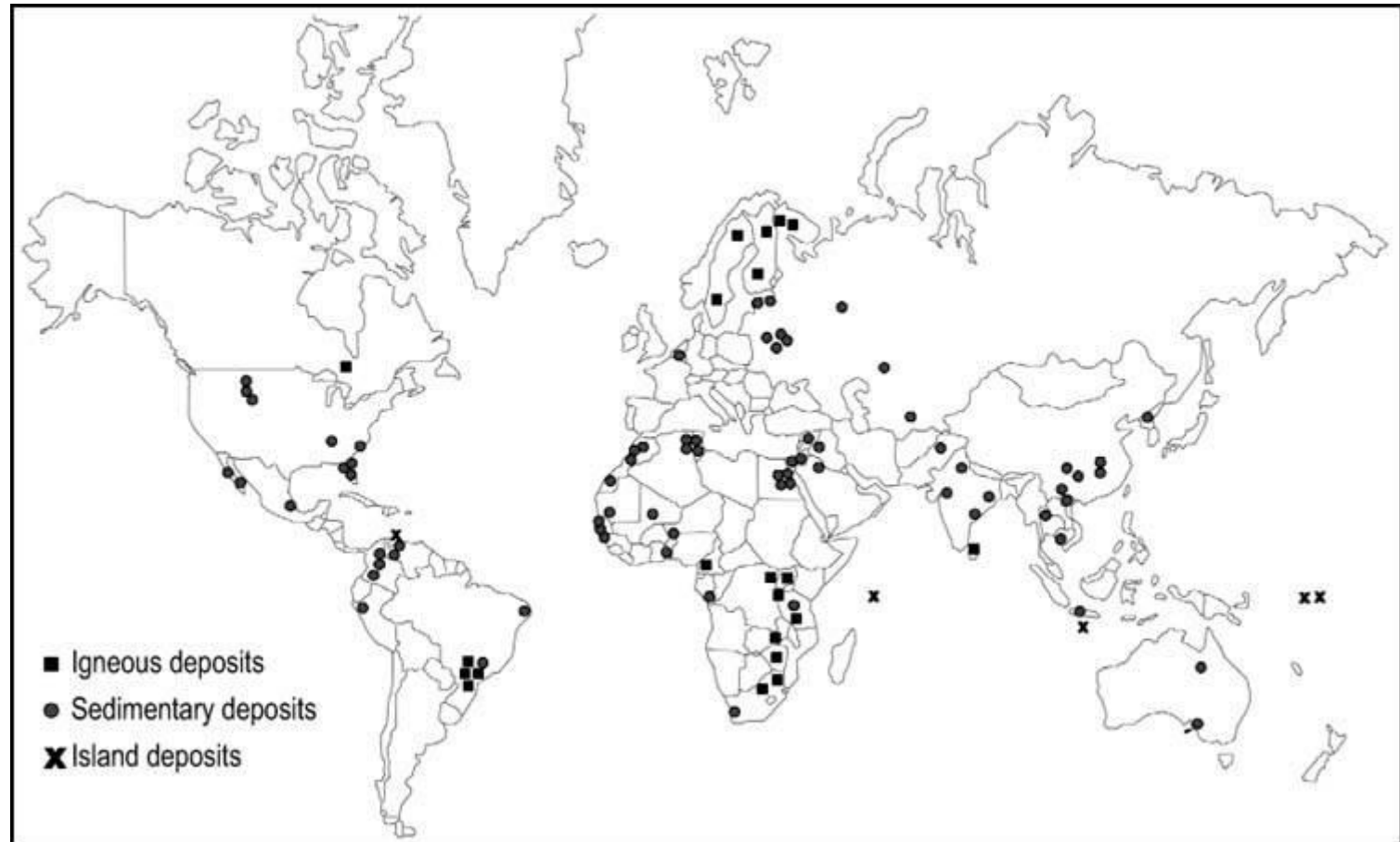
Conclusion

Message clé

1. Malgré les incertitudes qui pèsent sur l'estimation de l'offre et de la demande en engrais P, il existe un risque sérieux d'épuisement des réserves en roches phosphatées à long terme
2. Au-delà du cas des roches phosphatées, il est nécessaire de considérer l'état des stocks de P des sols et les flux de P via les échanges internationaux agricoles
3. Préserver la ressource en roches phosphatées nécessite d'améliorer le recyclage du P
4. Ce recyclage peut (et doit) être accru principalement par une meilleure connexion des cultures et des élevages

Merci pour votre attention

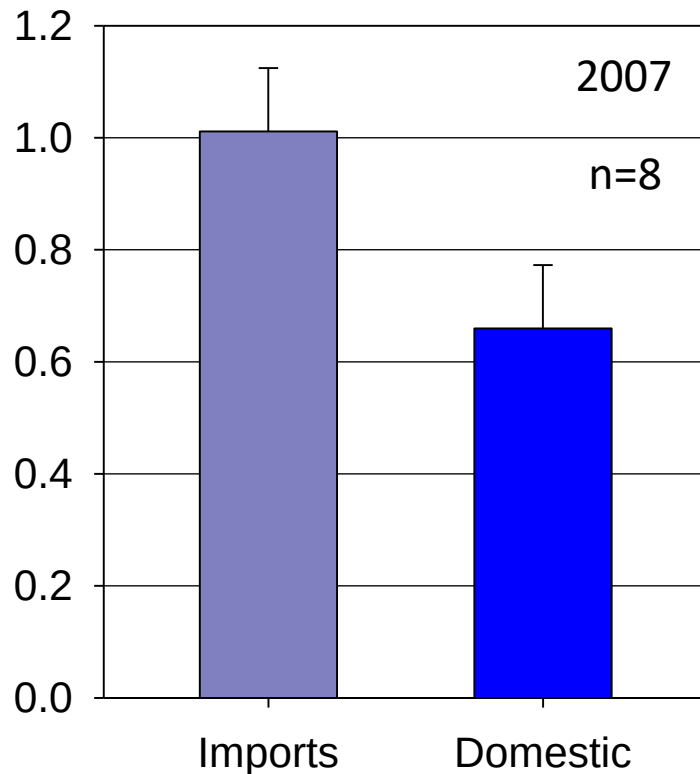
Une distribution inégale des ressources en roches phosphatées



Les échanges internationaux contribuent à augmenter l'efficacité d'utilisation du P

PUE =

P dans les produits
récoltés / P appliqué sous
forme d'engrais



- L'importation de produits végétaux se fait souvent depuis des pays ayant de fortes efficacités d'utilisation du P
- À l'échelle mondiale, les échanges de produits végétaux peuvent contribuer à augmenter l'efficacité d'utilisation des engrais P