

# Analyse macro et sur le long-terme de l'utilisation d'énergie en agriculture

Petros Chatzimpiros (MCF, LIED, Univ Paris Cité)

Souhil Harchaoui (CR, INRAE, UMR SAS, Rennes)

Marie-Cécile Dupas (Postdoc, Université Libre de Bruxelles)

José Halloy (Pr, LIED, Univ Paris Cité)

# Contexte étudié

- Transition énergétique -> Course au soleil (photons, vent, hydraulique).
- L'agriculture immense interface de captation des photons :
  - Agriculture alimentaire
  - Agriculture énergétique ?
- Conditions de génération du surplus agricole et devenir de ce surplus.

# Plan/points centraux

1. Bilan énergétique complet pour comprendre le statut énergétique de l'agriculture.

- Périmètre des systèmes et indicateurs adaptés aux transitions

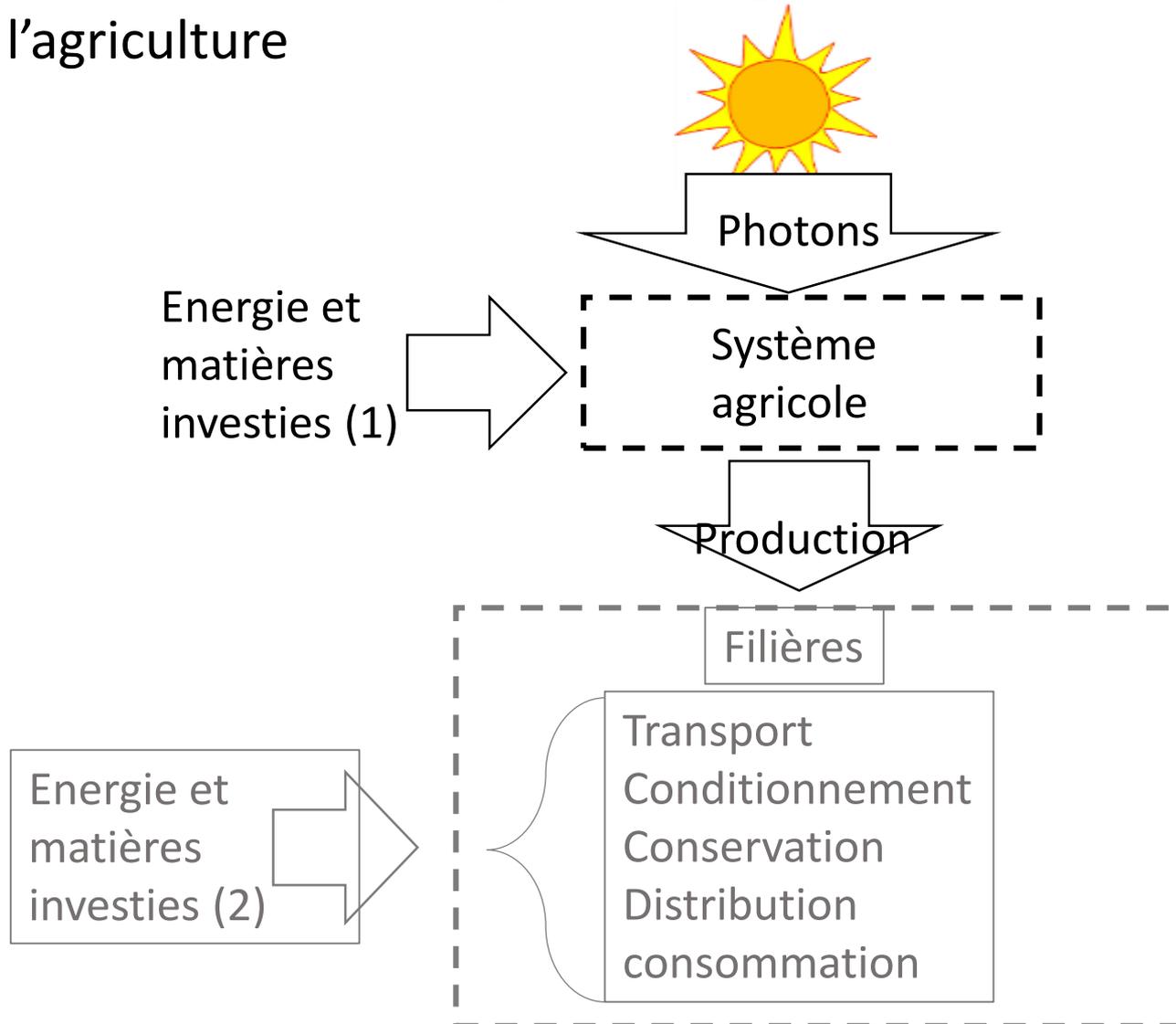
2. Liens entre transitions énergétiques et agromondialisation (et impacts environnementaux).

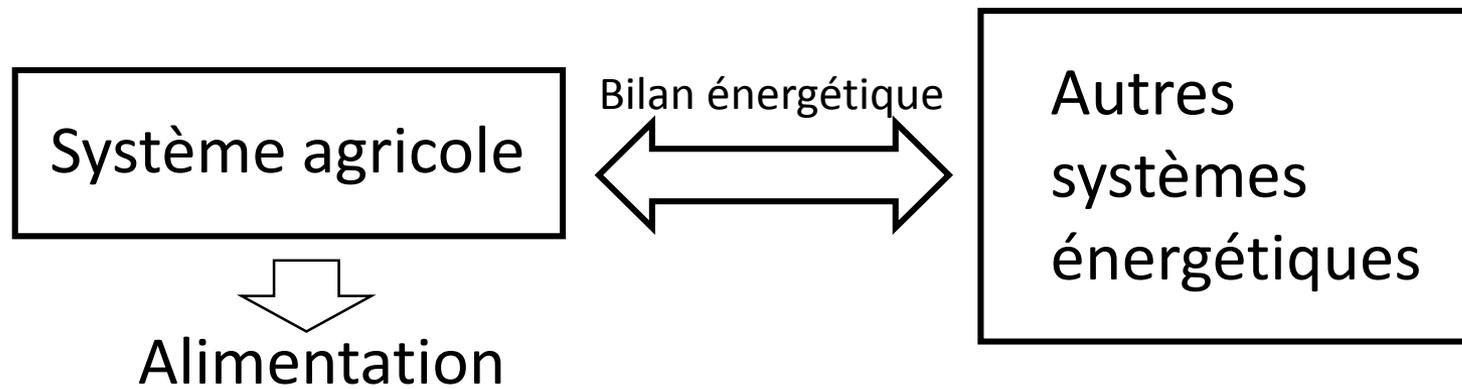
- Surplus agricole, commerce et sécurité alimentaire mondiale.

3. Ouverture et perspectives de scénarisation.

# 1. Analyse des trajectoires passées dans une vision prospective

Transitions sociotechniques : changements du périmètre fonctionnel de l'agriculture

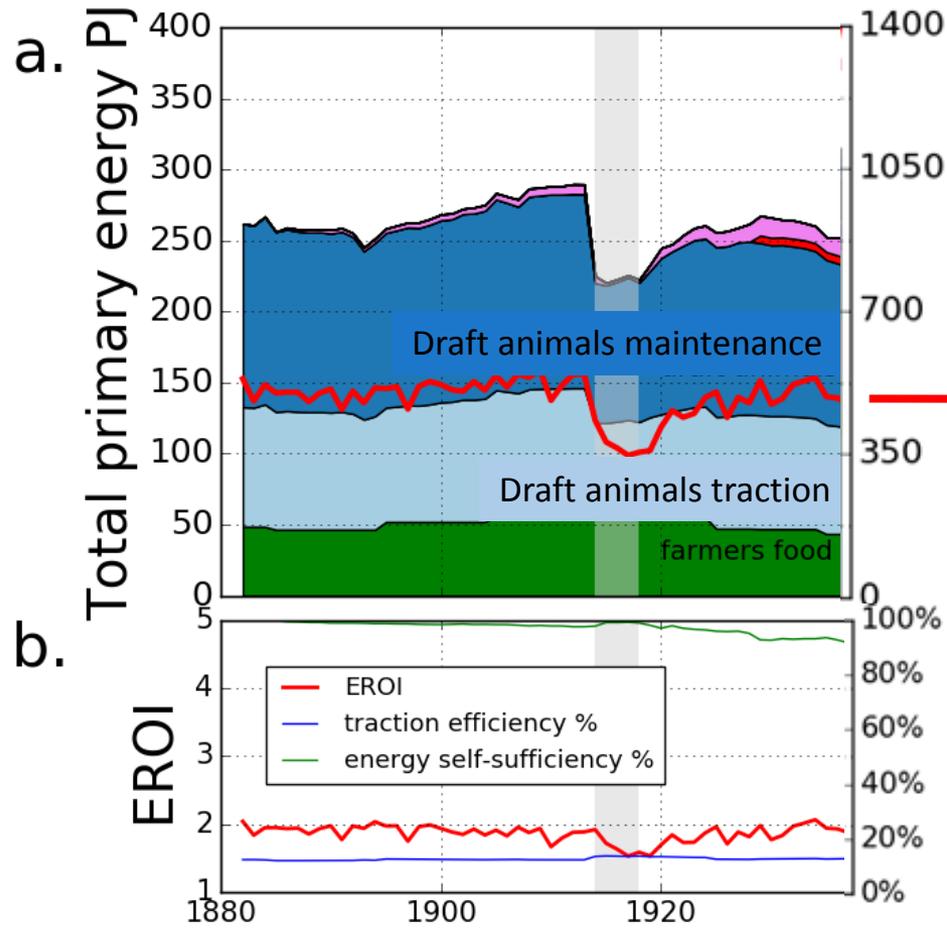




- 
- Bilan positif : système agricole source d'énergie.
  - Bilan négatif : système structurellement dépendant d'autres sources.
- ⇒ Substituabilité des énergies fossiles (bioéconomie) conditionnée par le bilan.
- ⇒ Fonctionnement biogéochimique de l'agriculture -> facteur déterminant à la fois de la production et de l'énergie investie.
- ⚠ ⇒ Production = fraction des nutriments investis
- ⇒ Production ≠ fraction de l'énergie investie !
- ⇒ Défi de modélisation

# Analyse de l'agriculture française dans la longue durée.

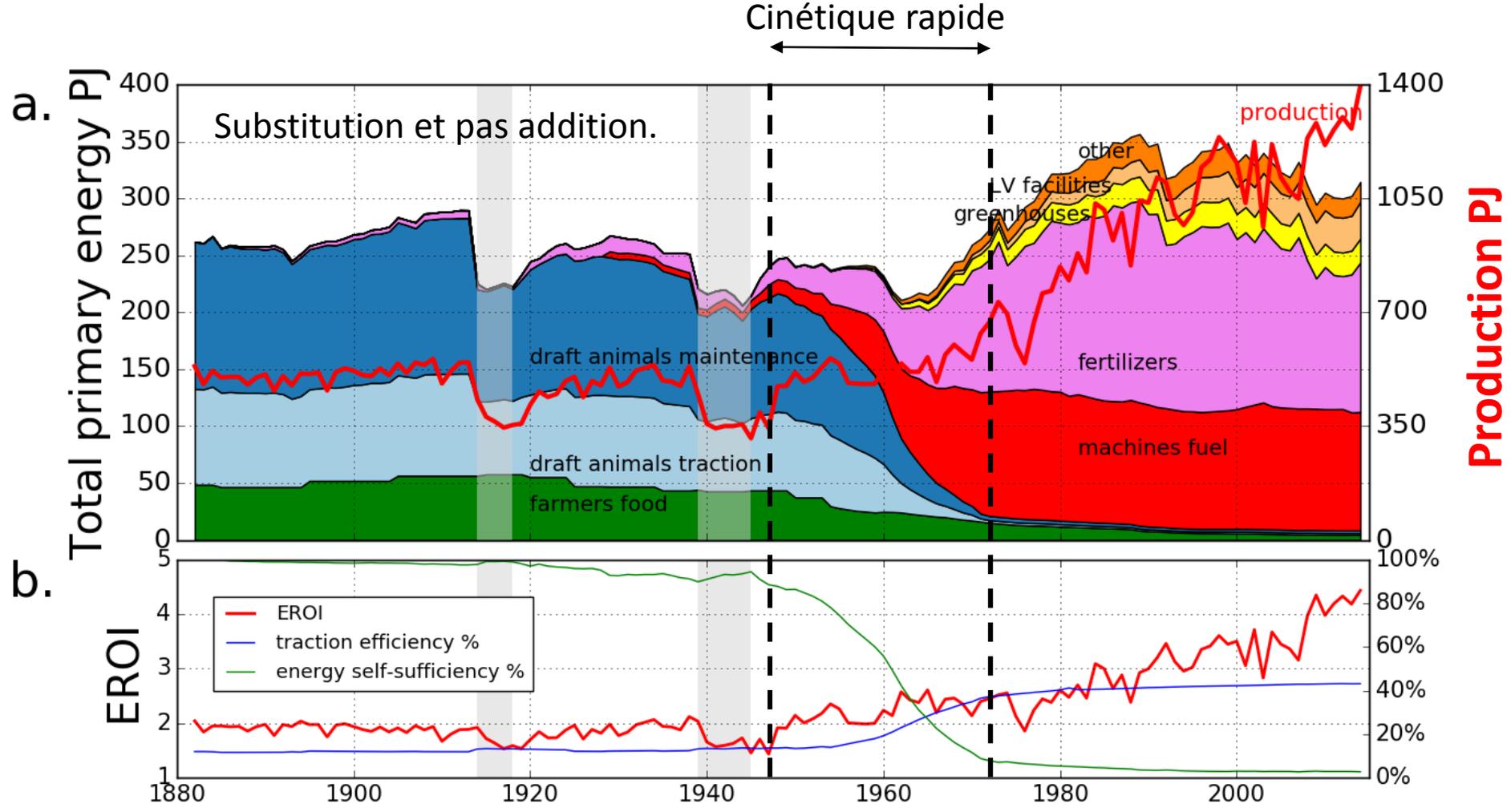
## Agriculture traditionnelle (préindustrielle), France



Trois indicateurs énergétiques:

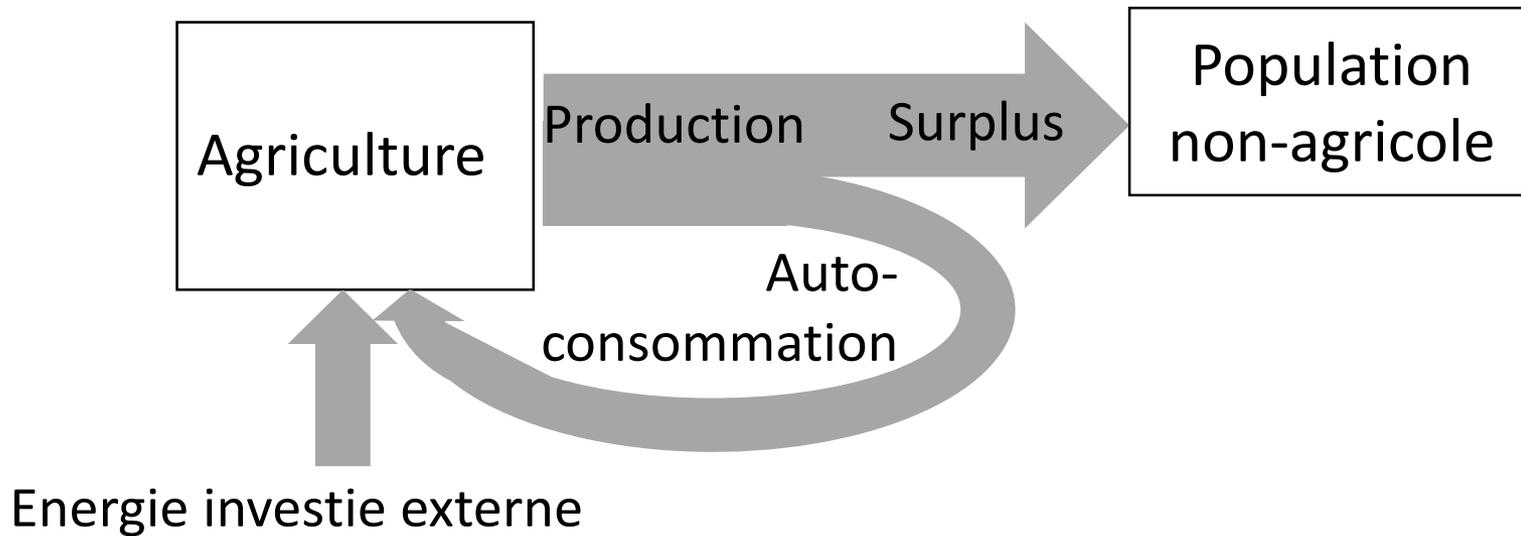
- Rapport d'énergie produite (biomasse) à l'énergie investie (fossile, électricité et biomasse) : EROI.
- Autonomie énergétique (~part autoproduite de l'énergie investie).
- Efficacité(s).

# Mécanisation et industrialisation = transition énergétique



Harchaoui and Chatzimpiros, *Journal of Industrial Ecology*, 2018

# Production $\neq$ Surplus

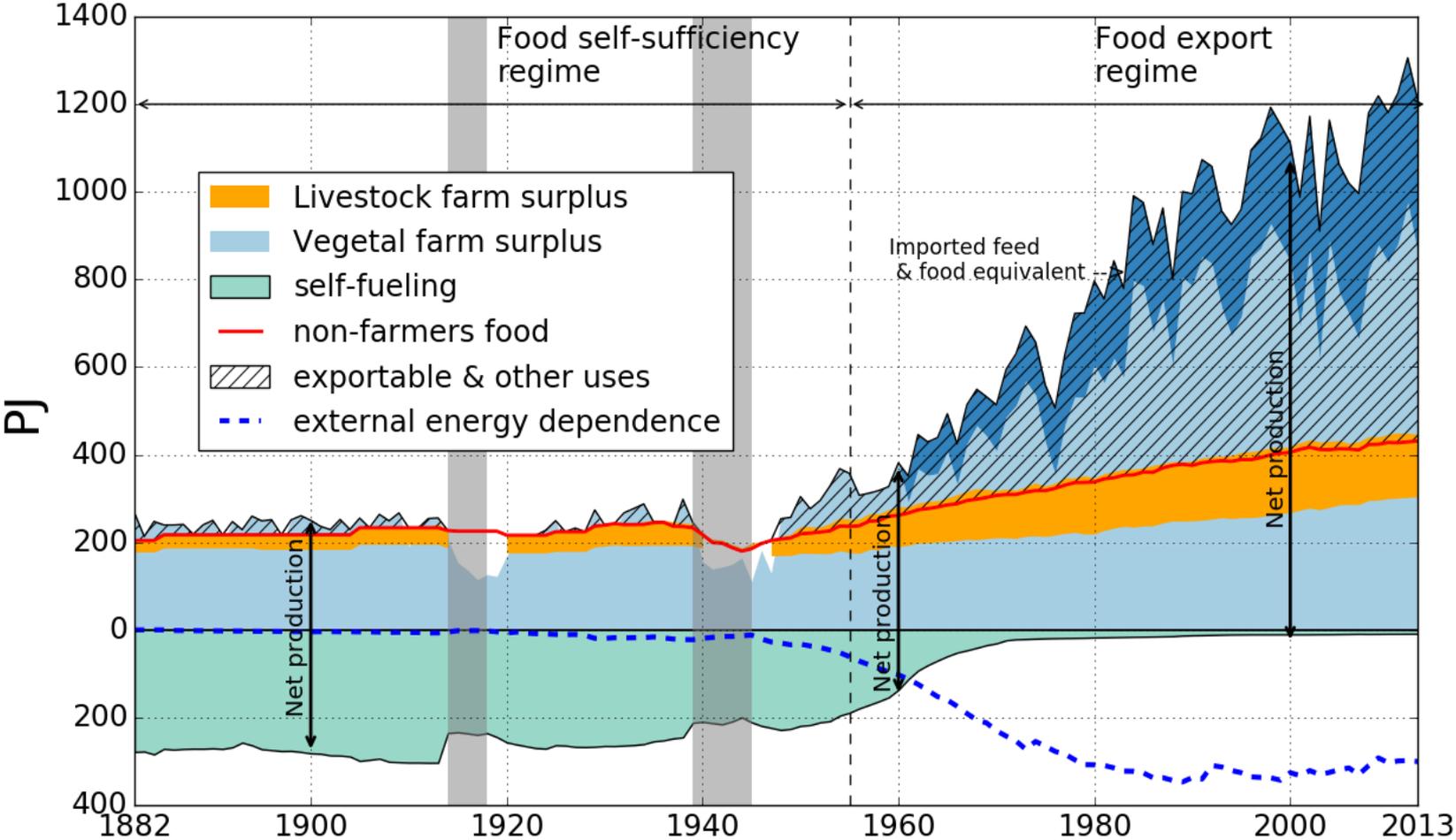


La capacité de génération de surplus est inversement liée à l'autonomie énergétique.

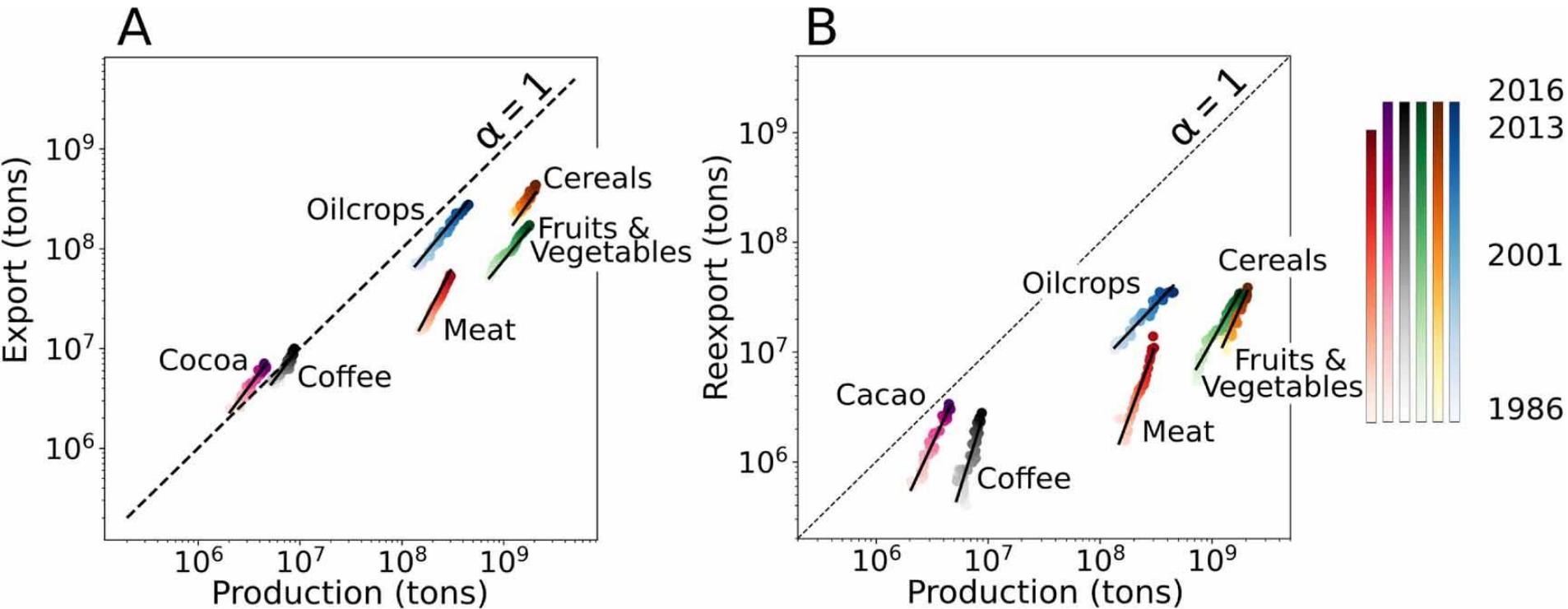
## 2. Augmentation par six du surplus français depuis 1950.

< 1950 : productivité constante et faible. Ressources investies prélevées sur la production nette (autonomie) : compétition entre autonomie et surplus.

> 1950 : productivité croissante jusqu'à plafonnement. Ressources investies externes (dépendance) : production = surplus.



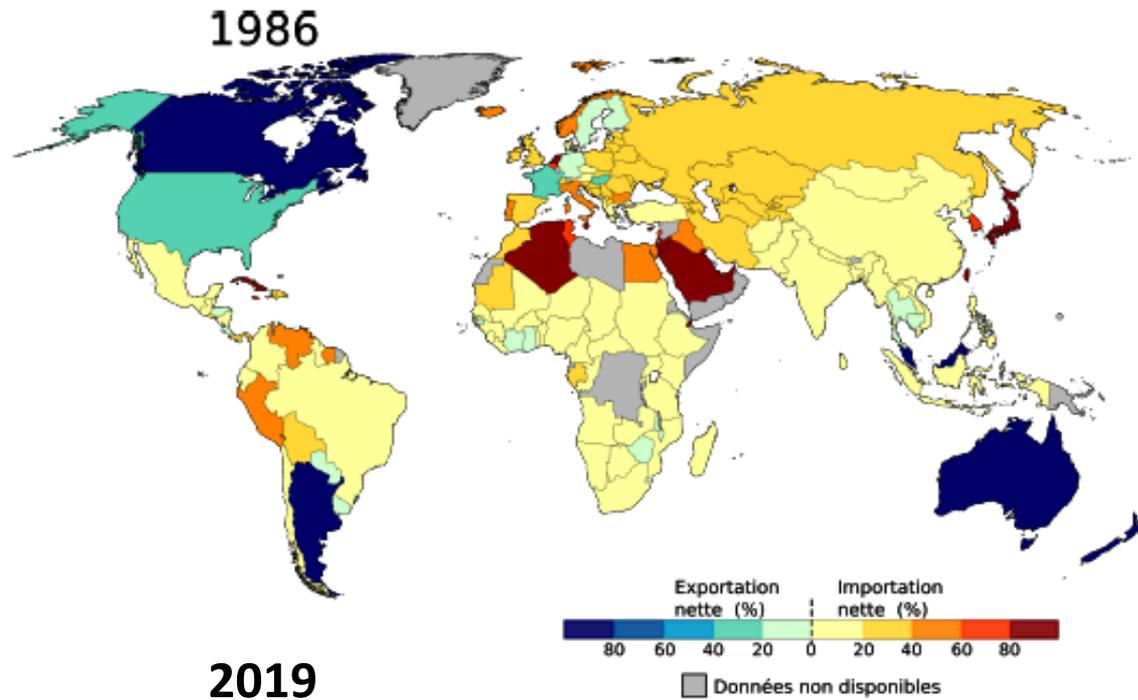
# Surplus, commerce et sécurité alimentaire mondiale



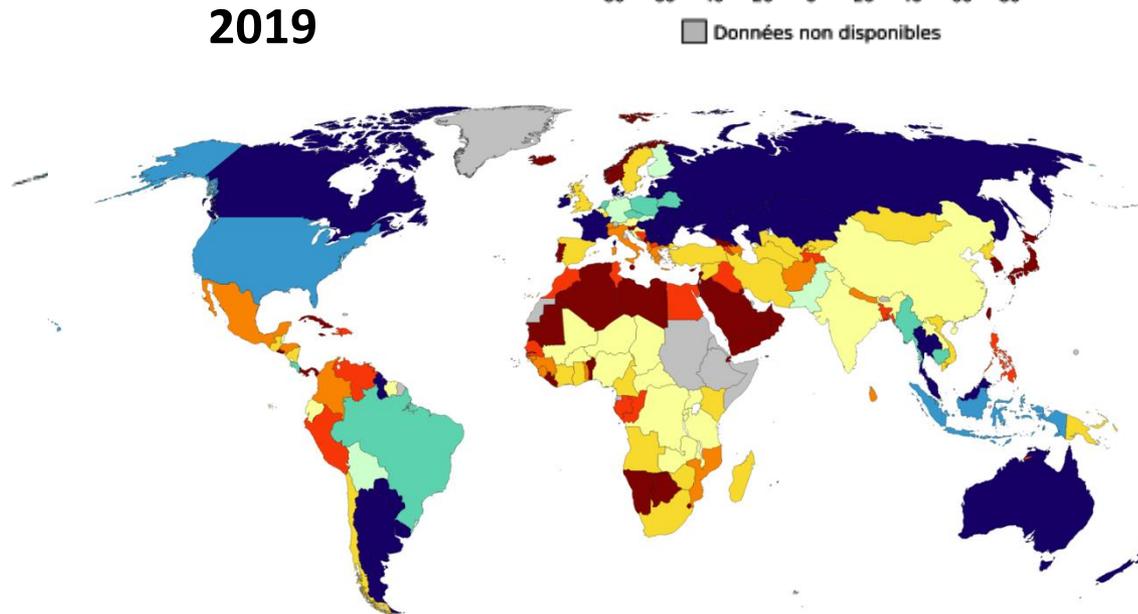
Products	$\alpha_1$	$\alpha_2$
Cereals	1.43	2.27
Meat	1.93	2.74
Oilcrops	1.25	1.08
Fruits & vegetables	1.25	1.80
Cocoa	1.37	2.18
Coffee	1.35	3.24

- Masse produite/masse commercialisée : lois de puissance.
- Complexification exponentielle des filières.
- Sécurité alimentaire et financiarisation.
- Infrastructures et ressources associées.

# Distribution géographique des surplus et déficits

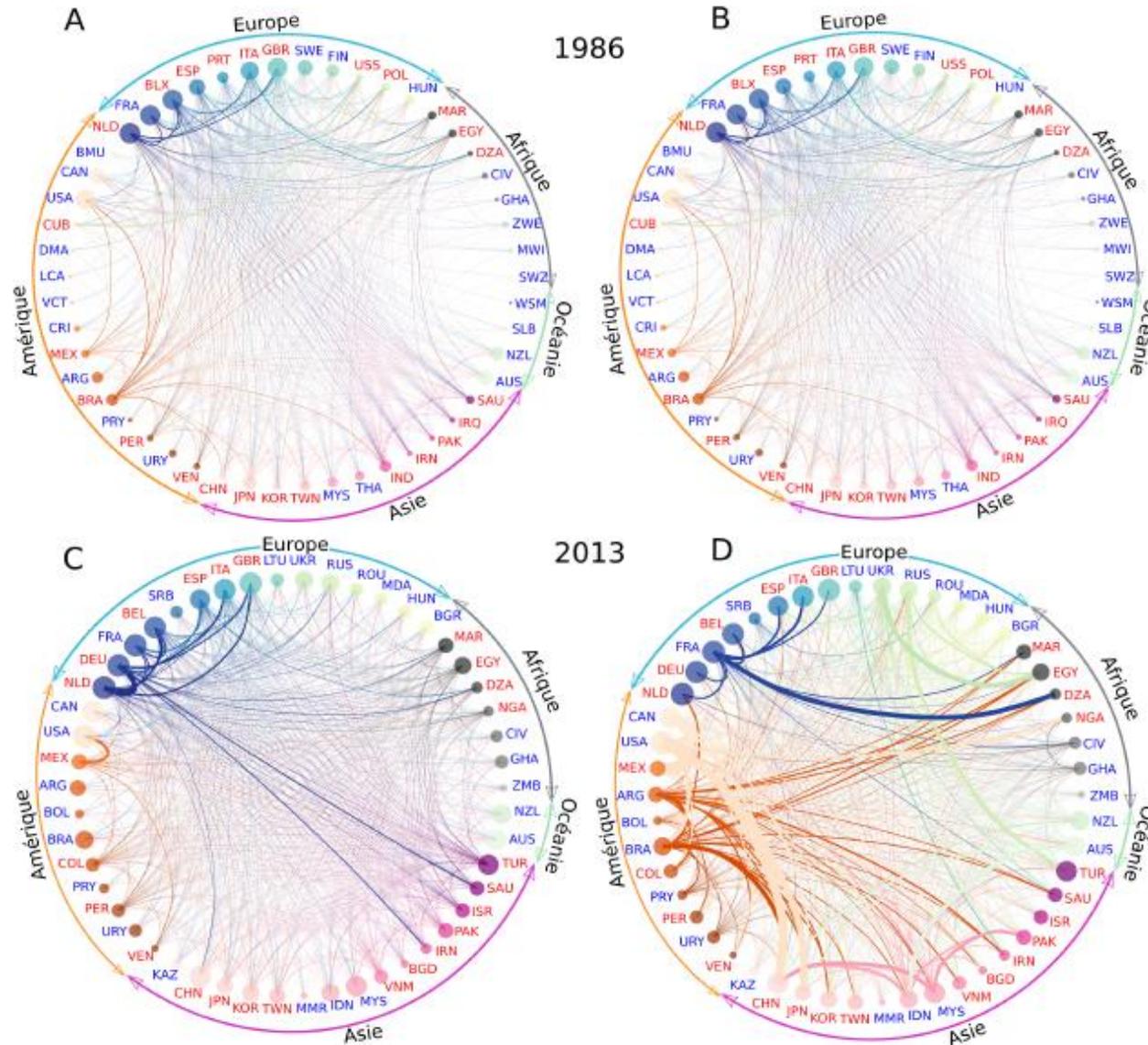


- Un petit nombre de pays industrialisés nourrit les pays pauvres et les « navires démographiques ».
- Surplus très concentré



Dupas et al., in preparation

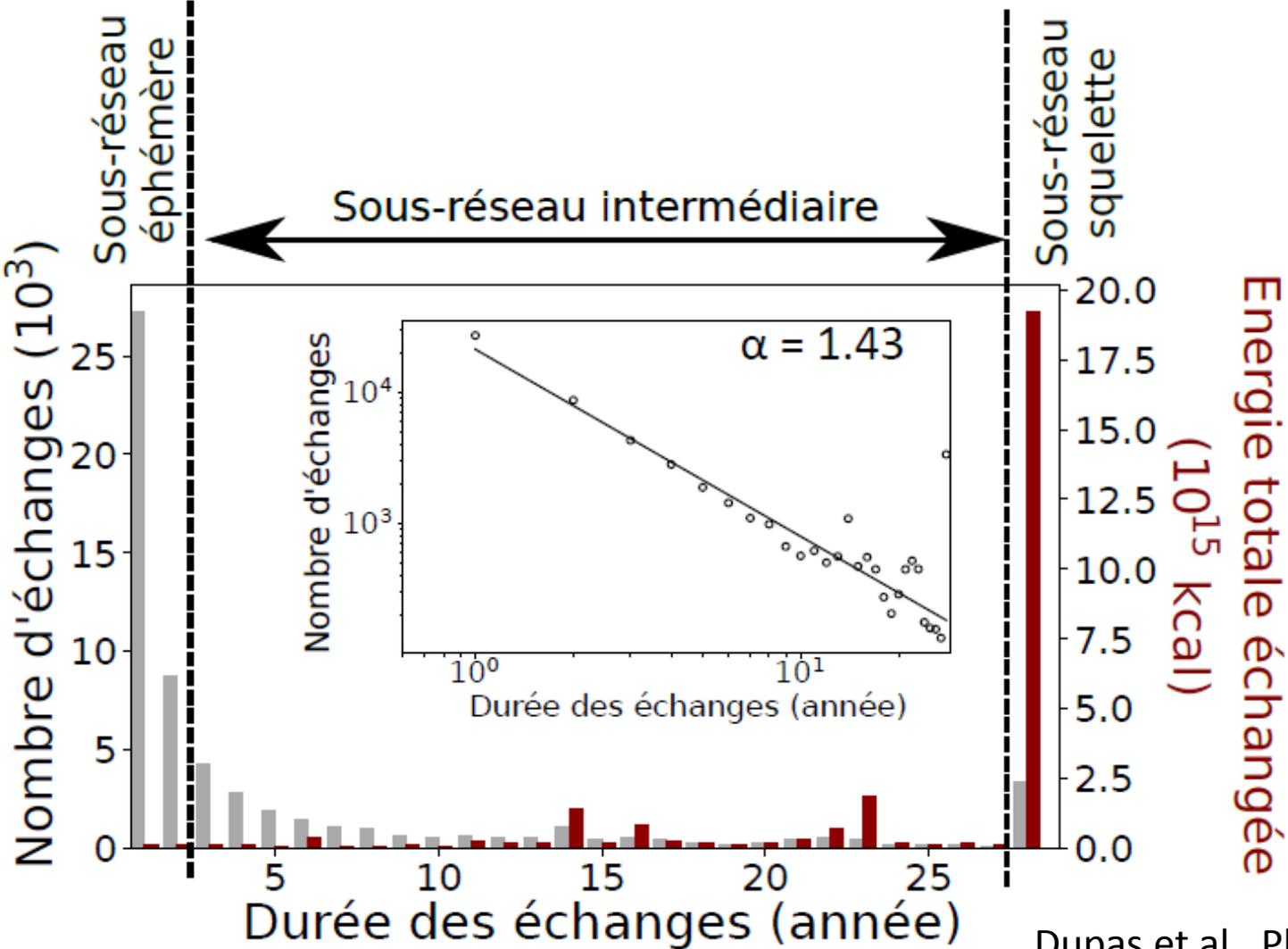
# Réseau mondial des calories



A et C : exportations des pays déficitaires (en rouge) en 1986 et 2013

B et D : exportations des pays excédentaires (en vert) en 1986 et 2013.

# Invariants de structure / répartition de la puissance commerciale

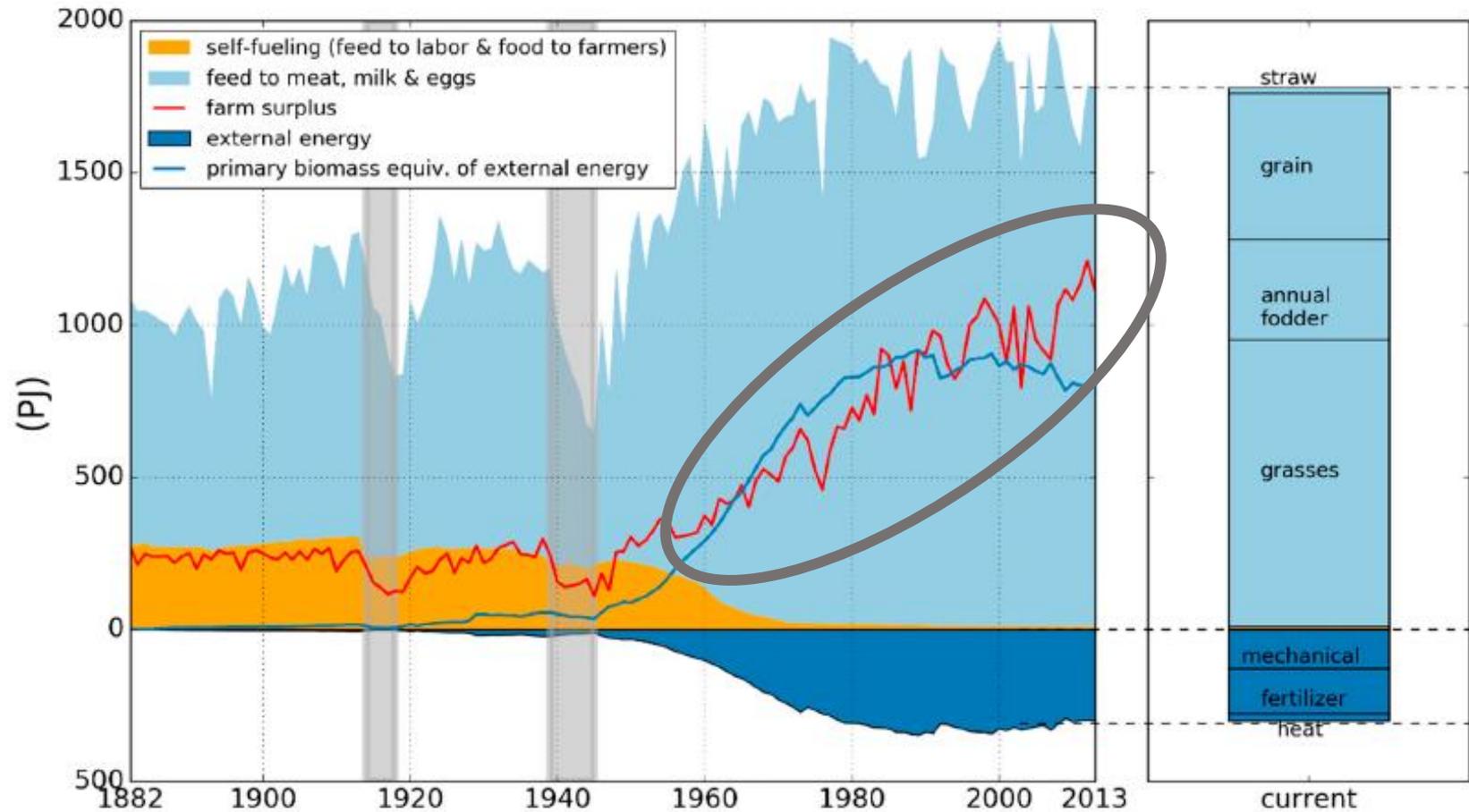


### 3. Ouverture et perspectives de scénarisation

La notion de surplus largement ignorée dans la littérature / confondue avec production.

- ⇒ Surplus extrêmement central en contexte de transition : population non-agricole possible à nourrir/complexité sociale/mondialisation
  
- ⇒ Admissible que le surplus alimentaire et sa circulation soient le produit des énergies fossiles: choix de société permettant de maximiser la population non-agricole et la mondialisation. En revanche :
  - Surplus en cas de suppression des fossiles ?
  - Surplus énergétique (biocombustibles) pour la transition ?

Exprimé en équivalent biomasse, l'énergie investie dans l'agriculture française ne laisse aucun surplus.



Harchaoui and Chatzimpiros, Sustainability, 2018

=> Elevage, résidus, efficacités de conversion de nutriments/énergie, labour, spécialisations...

# Pistes et perspectives

- Modélisation prospective (travaux en cours)
  - Identification des facteurs clés du fonctionnement énergétique.
  - Couplage biogéochimie/énergie.
  - Relations mathématisées à partir des transitions passées.
- Analyse des paysages agricoles
  - Viabilité énergétique (en plus de biogéochimique) des systèmes mixtes polyculture/élevage.
  - Clusters cohérents.
  - Liens aux pratiques.
- Intégrations à l'échelle mondiale
  - Surplus nationaux structurants pour la sécurité alimentaire mondiale.
  - Invariants et lois d'échelle.
  - Couplage infrastructures/énergie/filières.

Intégration disciplinaire

⇒ Biogéochimie, géographie, énergétique des écosystèmes, théorie de réseaux.

# Citations

- Dupas MC, J. Halloy and P. Chatzimpiros, Power-law scaling and country-level centralization of global agricultural production and trade, *Environmental Research Letters*, 2022.
- Dupas MC, Analyse en réseaux complexes des flux physiques internationaux de produits agricoles : structures et évolutions de 1986 à 2016, thèse de doctorat, soutenue en octobre 2020, <http://www.theses.fr/2020UNIP7190>
- Harchaoui and Chatzimpiros, Can agriculture balance its energy consumption and continue to produce food? A framework for assessing energy neutrality applied to French agriculture. *Sustainability*, 2019.
- Dupas M-C, Halloy J, Chatzimpiros P, Time dynamics and invariant subnetwork structures in the world cereals trade network. *PLoS ONE* 14(5): e0216318, 2019
- Harchaoui, S. and Chatzimpiros, P., Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions in Agriculture from Historical Data Modeling. France, 1882-2013.: Energy, Nitrogen, and Farm Surplus Transitions. *Journal of Industrial Ecology*, 2018, doi:10.1111/jiec.12760