Cycles biogéochimiques et logiques socio-politiques

Le cas des trajectoires agricoles françaises depuis 1850

Julia Le Noë, Post-doctorante au laboratoire de Géologie de l'ENS

Plan de l’exposé

1. Cycles biogéochimiques et agriculture
2. Cadre conceptuel et méthodologique
3. Trajectoires biogéochimiques des systèmes agricoles en France (1850 – présent)
4. La logique socio-politique des flux biogéochimique

1. Agriculture et cycles biogéochimiques : une tension entre production et reproduction

La condition *sine qua non* de l'agriculture est de :

Produire pour nourrir…

… tout en préservant la reproduction du support écologique pour les productions futures

Ce double enjeu se reflète dans la dualité des éléments azote, phosphore et carbone

Essentiel à la croissance des plantes…

…mais pouvant avoir des effets néfastes pour l'environnement sous certaines formes.

1. Agriculture et cycles biogéochimiques : une tension entre production et reproduction

1.1. Agriculture et perturbations globales du cycle de l'azote

La forme la plus répandue de l'azote sur terre est inutilisable par la plupart des organismes

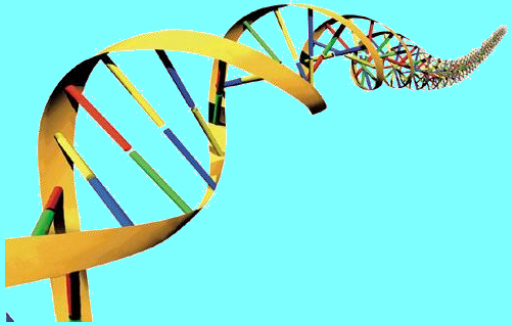
Azote atmosphérique N_2 inerte

80% de la composition de l'atmosphère

Azote réactif:

NH_3 , NH_4^+, NO_2^- , NO_3^- , N_2O, NO_2…

N organique: protéines, acides nucléiques



1. Agriculture et cycles biogéochimiques : une tension entre production et reproduction

1.1. Agriculture et perturbations globales du cycle de l'azote

Bactéries fixatrices d'azote:

Bactéries libres:
organotrophes (Azotobacter, Clostridium,..)
phototrophes (cyanobacteria,…)
Bactéries symbiotiques des légumineuses:
organotrophes (Rhizobium,…)

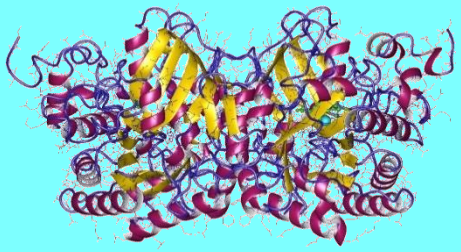
Azote atmosphérique N_2 inerte

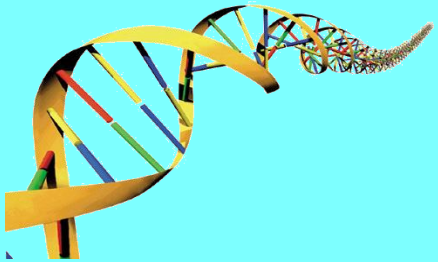
Fixation symbiotique par les légumineuses

Azote réactif:

NH_3 , NH_4^+, NO_2^- , NO_3^- , N_2O, NO_2…

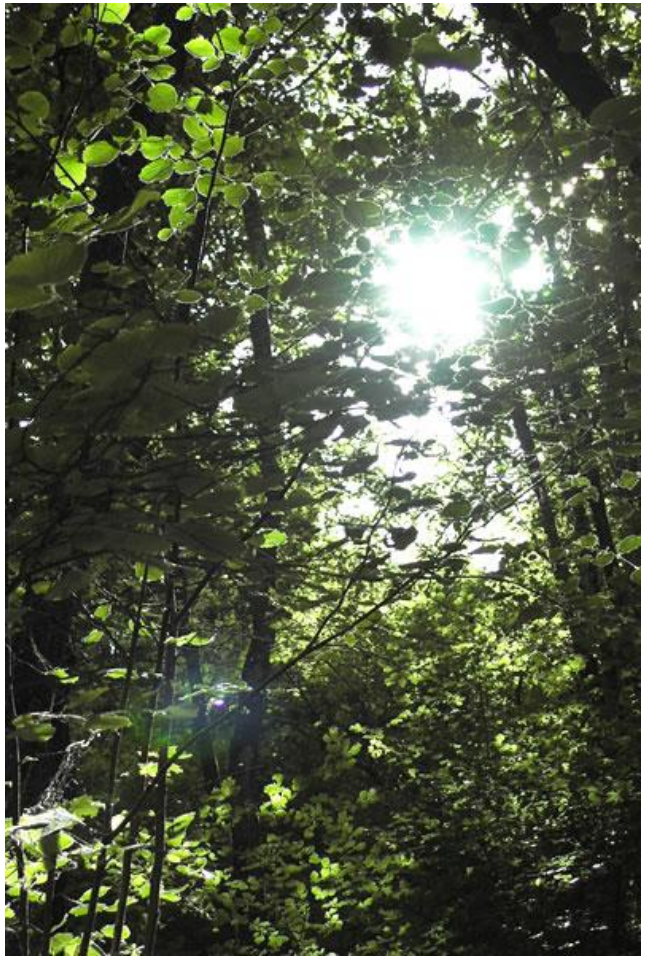
N organique: protéines, acides nucléiques

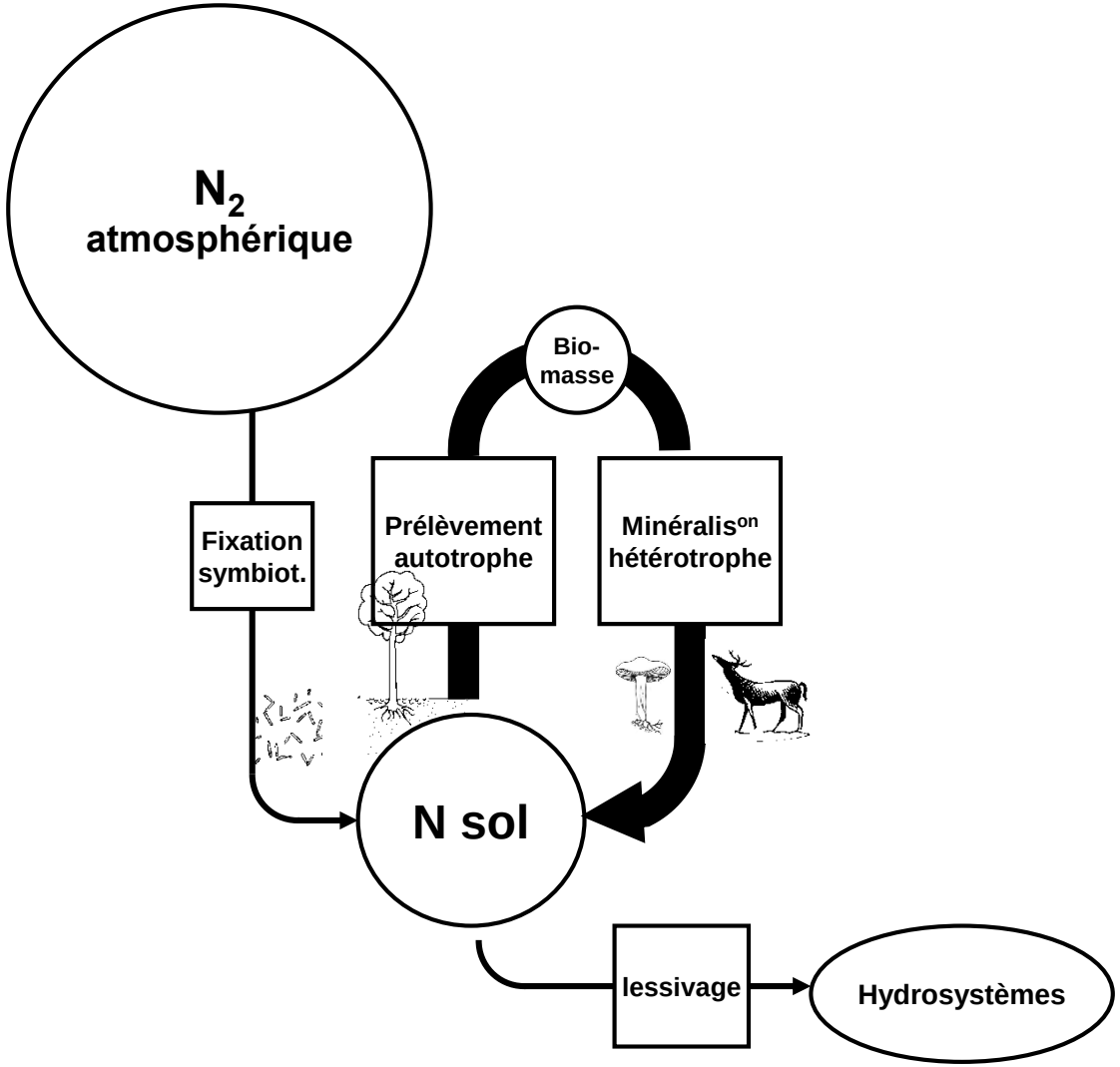




Le cycle de l'azote

L'azote, indispensable à la croissance des plantes, fonctionne en cycle fermé dans les systèmes naturels

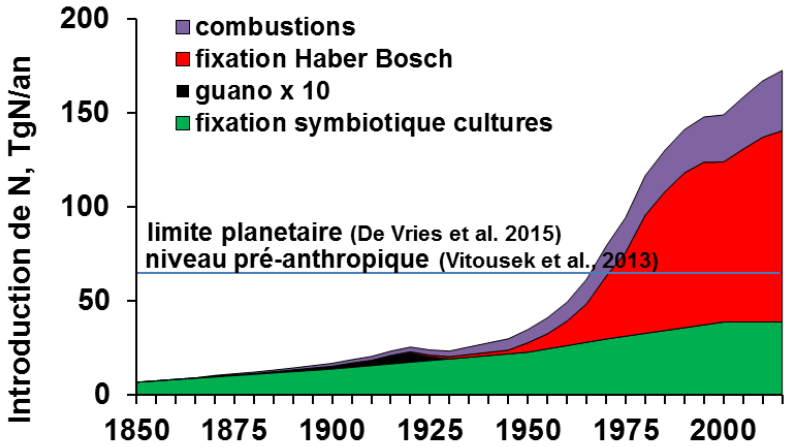




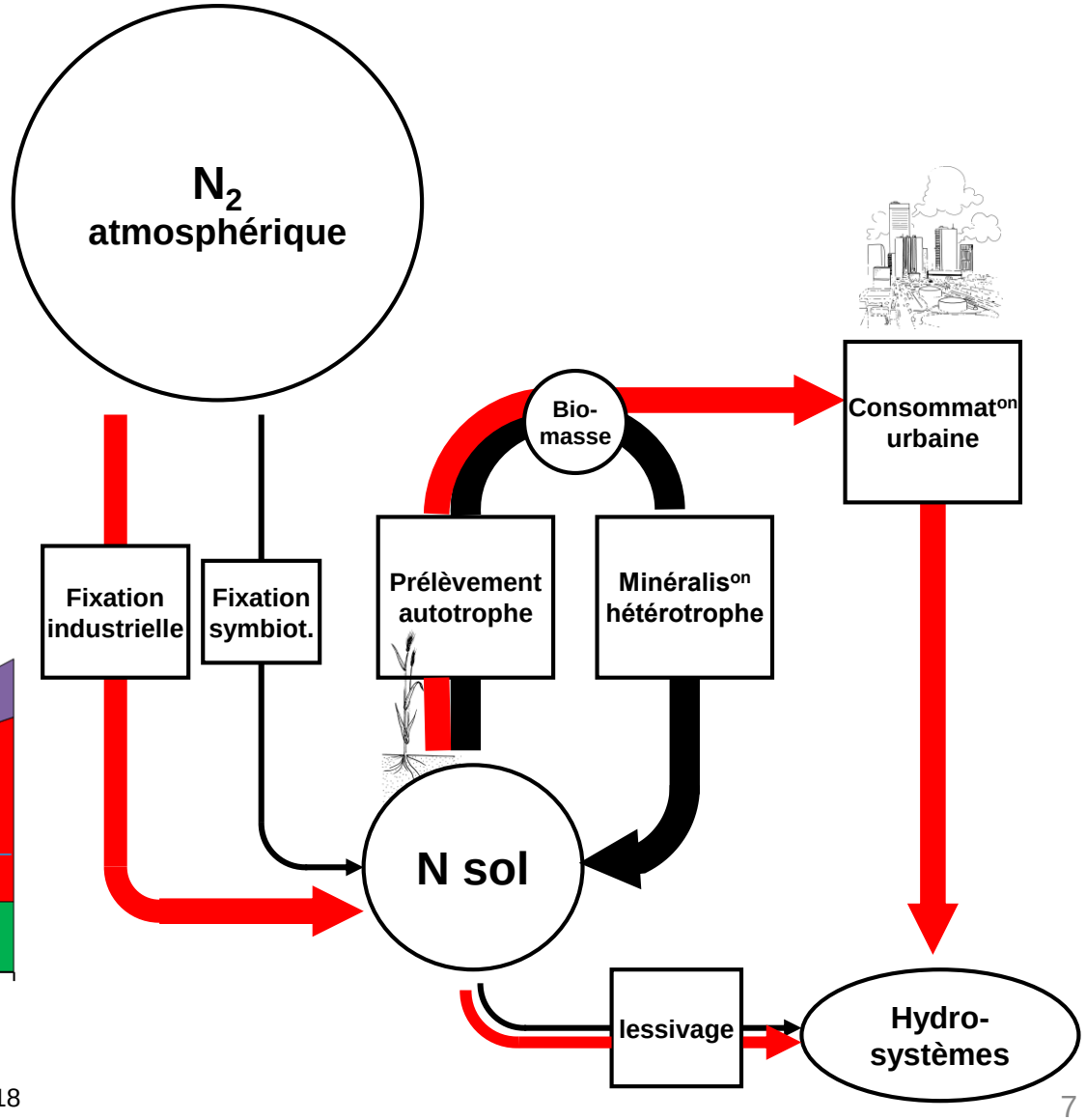
Le cycle de l'azote et sa perturbation par l'agriculture

L'ouverture du cycle de l'azote rendue possible par la fixation industrielle conduit à l'eutrophisation des eaux et à la pollution atmosphérique.

1913 : Brevet procédé Haber-Bosch



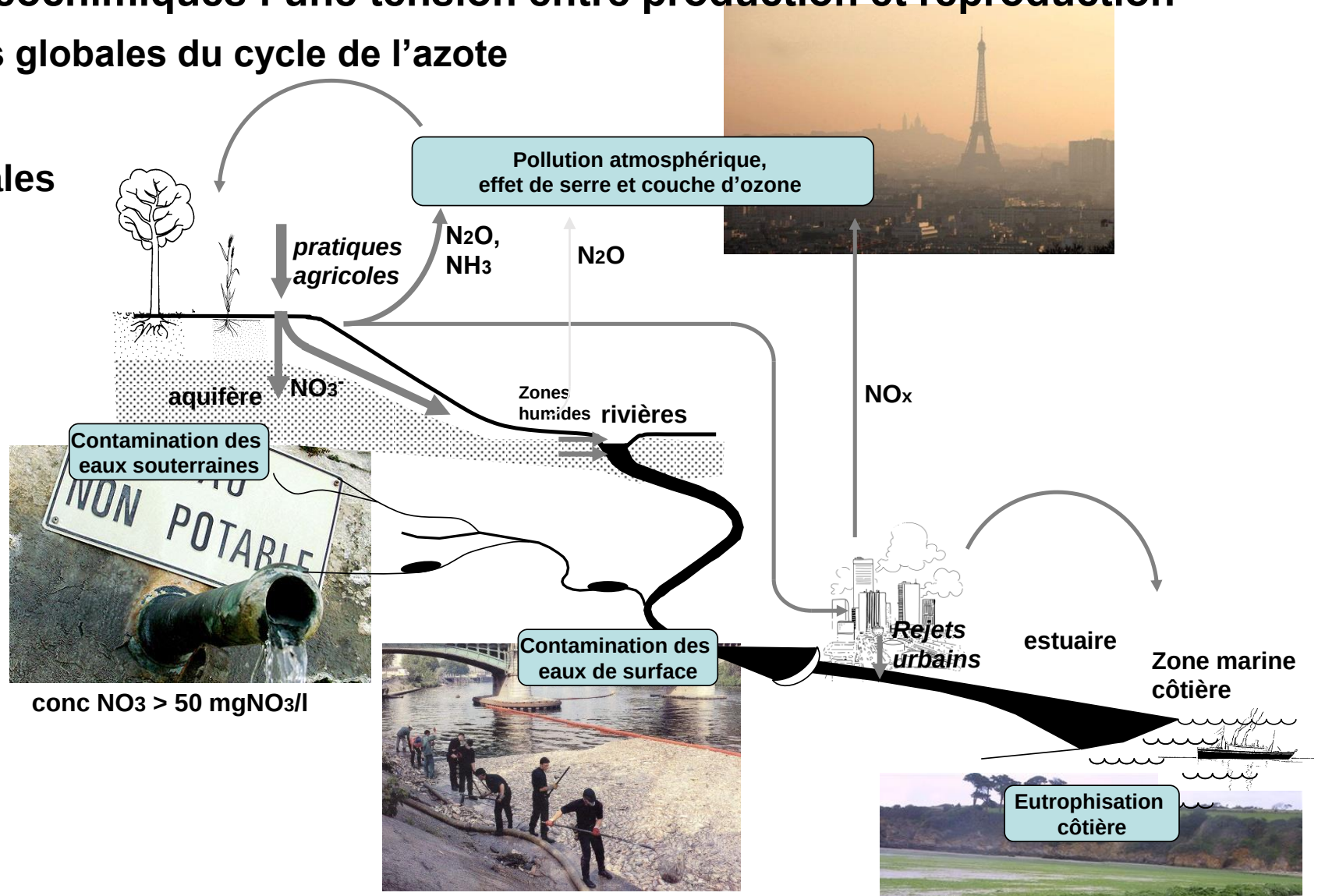
Compilation de données, J. Le Noë, 2018

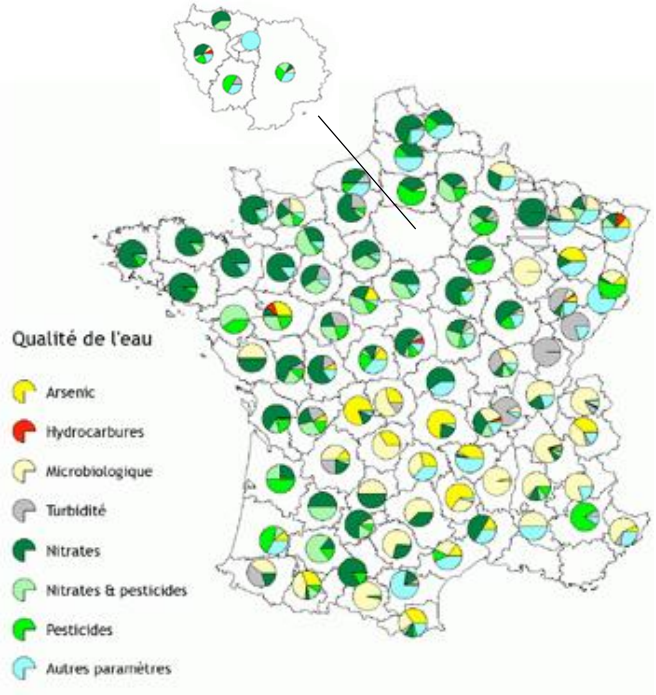


1. Agriculture et cycles biogéochimiques : une tension entre production et reproduction

1.1. Agriculture et perturbations globales du cycle de l'azote

Cascade de l'azote : Conséquences environnementales





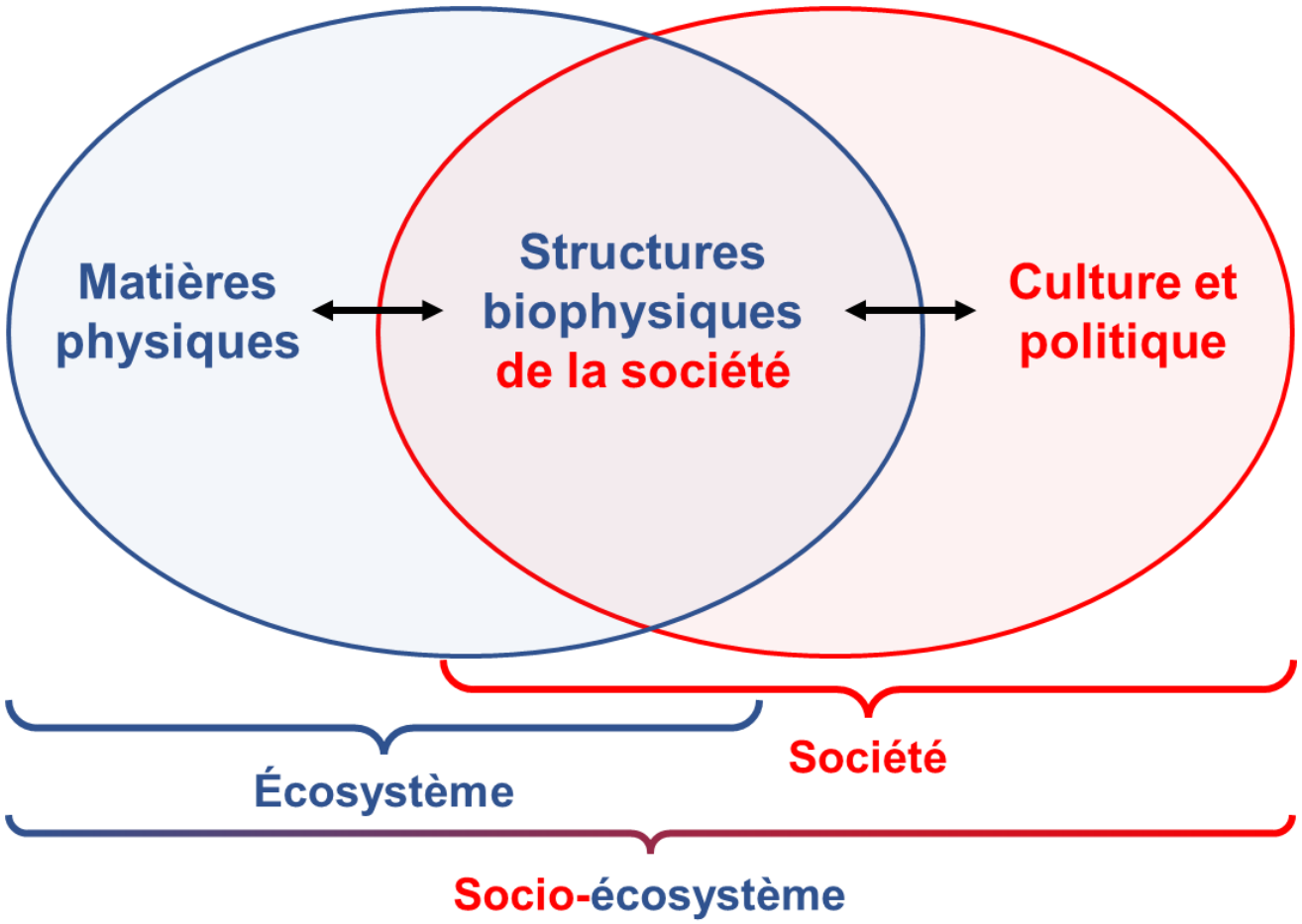
Entre 1998 et 2008:
abandon de 440 captages d'eau potable

Plan de l’exposé

1. Cycles biogéochimiques et agriculture
2. **Cadre conceptuel et méthodologique**
3. Trajectoires biogéochimiques des systèmes agricoles en France (1850 – présent)
4. La logique socio-politique des flux biogéochimique

2. Le métabolisme socio-écologique

2.1. Cadre conceptuel



D'après Haberl et Gaube, 2006. *Ecology & Society*

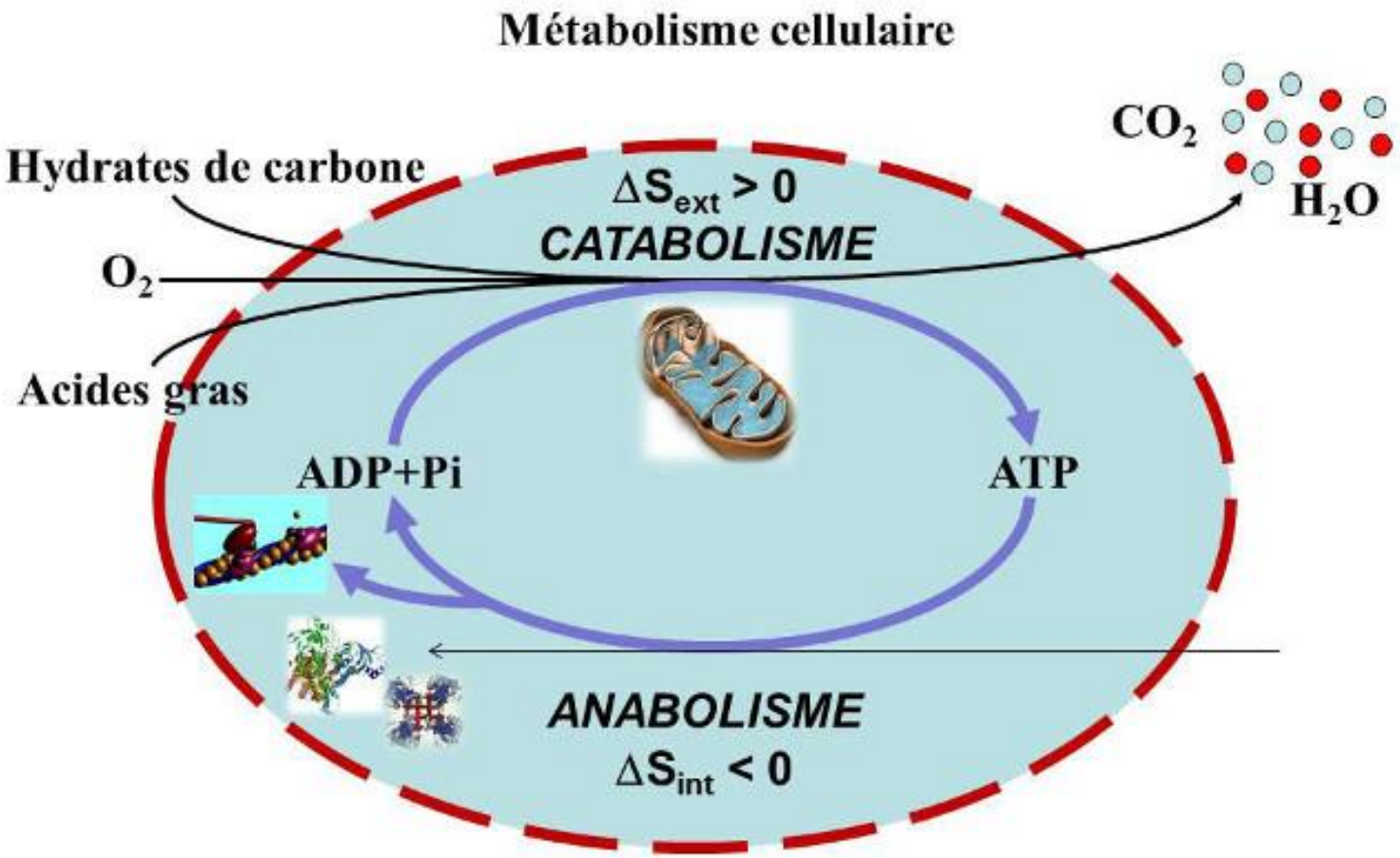
"The labor-process […] is human action with a view to the production of use-values, ***appropriation of natural substances to human requirements****; it is the necessary condition for effecting* ***exchange of matter*** *between man and Nature; it is the everlasting Nature-imposed conditions of human existence, and therefore independent of every social phase of that existence, or rather is common to every such phase*".

Karl Marx, Capital, Livre 1

Filiation
Karl Marx
Karl Polanyi
John Bellamy Foster
Marina Fischer-Kowalski

2. Le métabolisme socio-écologique

2.1. Cadre conceptuel

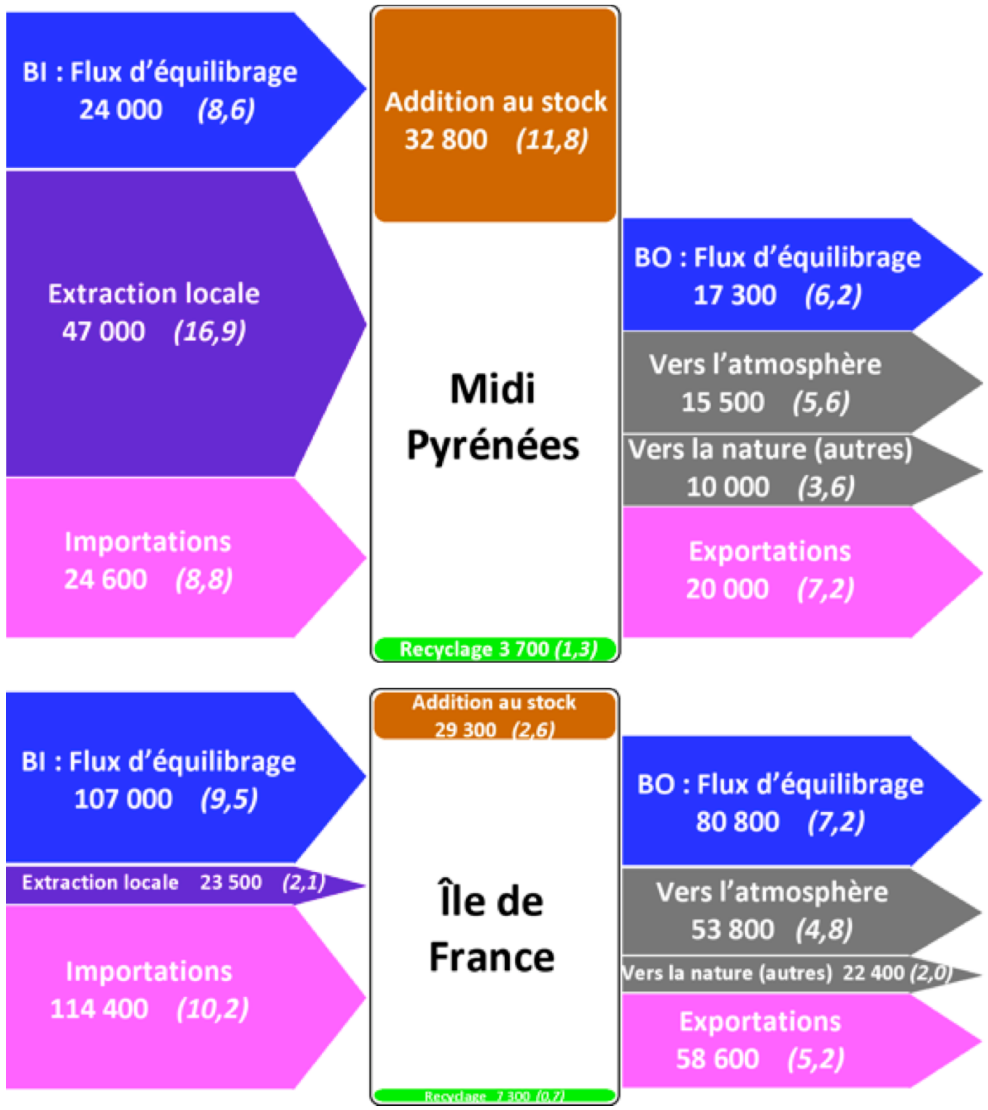


Entropie totale du système:
$\Delta S_{syst} = \Delta S_{int} + \Delta S_{ext}$

Ecueil d'une 'biologisation' la société ?

2. Le métabolisme socio-écologique

2.1. Cadre conceptuel



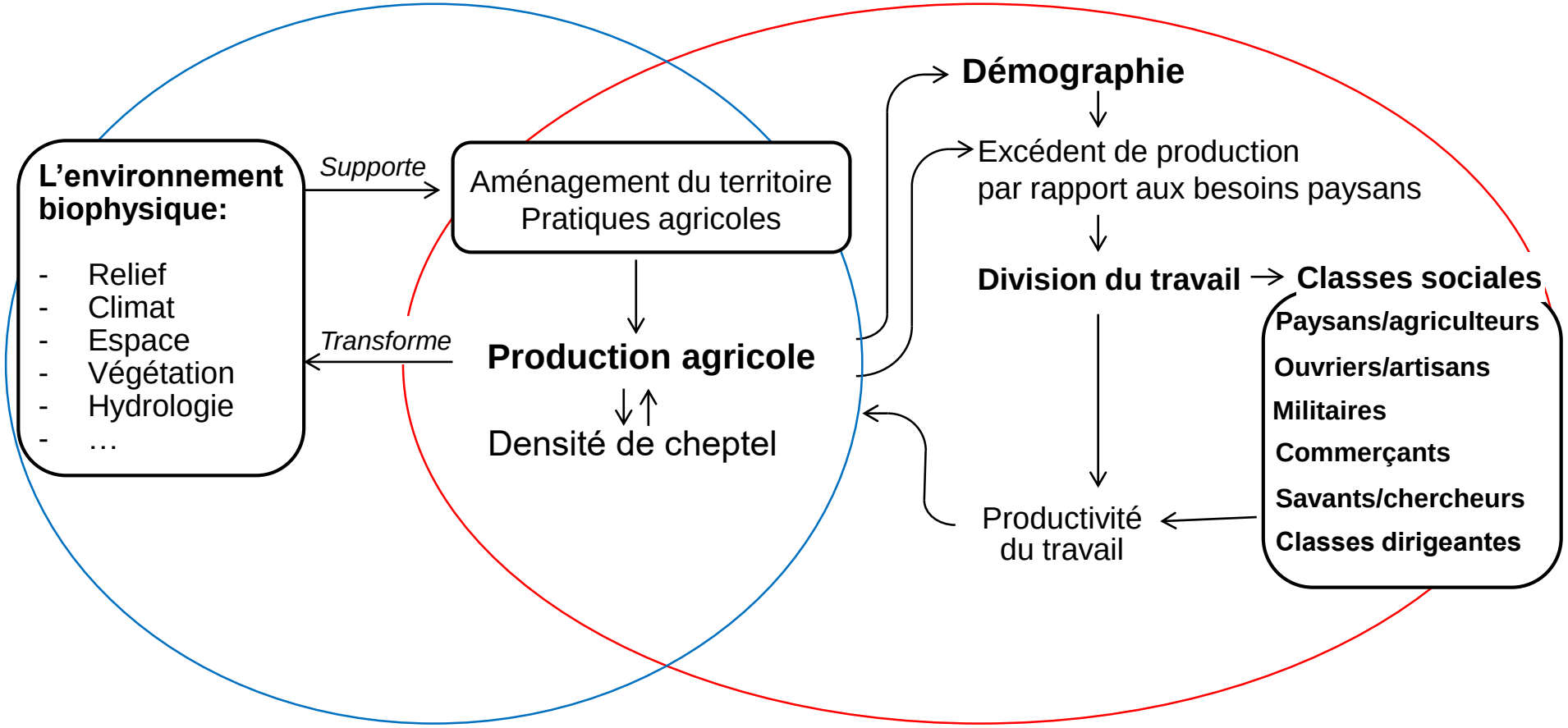
Le terme de métabolisme socio-écologique sert à comprendre les relations matérielles existant entre les sociétés humaines et leur environnement écologique

Bilan de matière en région Midi-Pyrénées et Ile-de-France en 2010 (Extrait de Barles, S., 2014)

2. L'agriculture : une interface paradigmatique des interactions sociétés-environnement

Le métabolisme agricole est historiquement et géographiquement situé

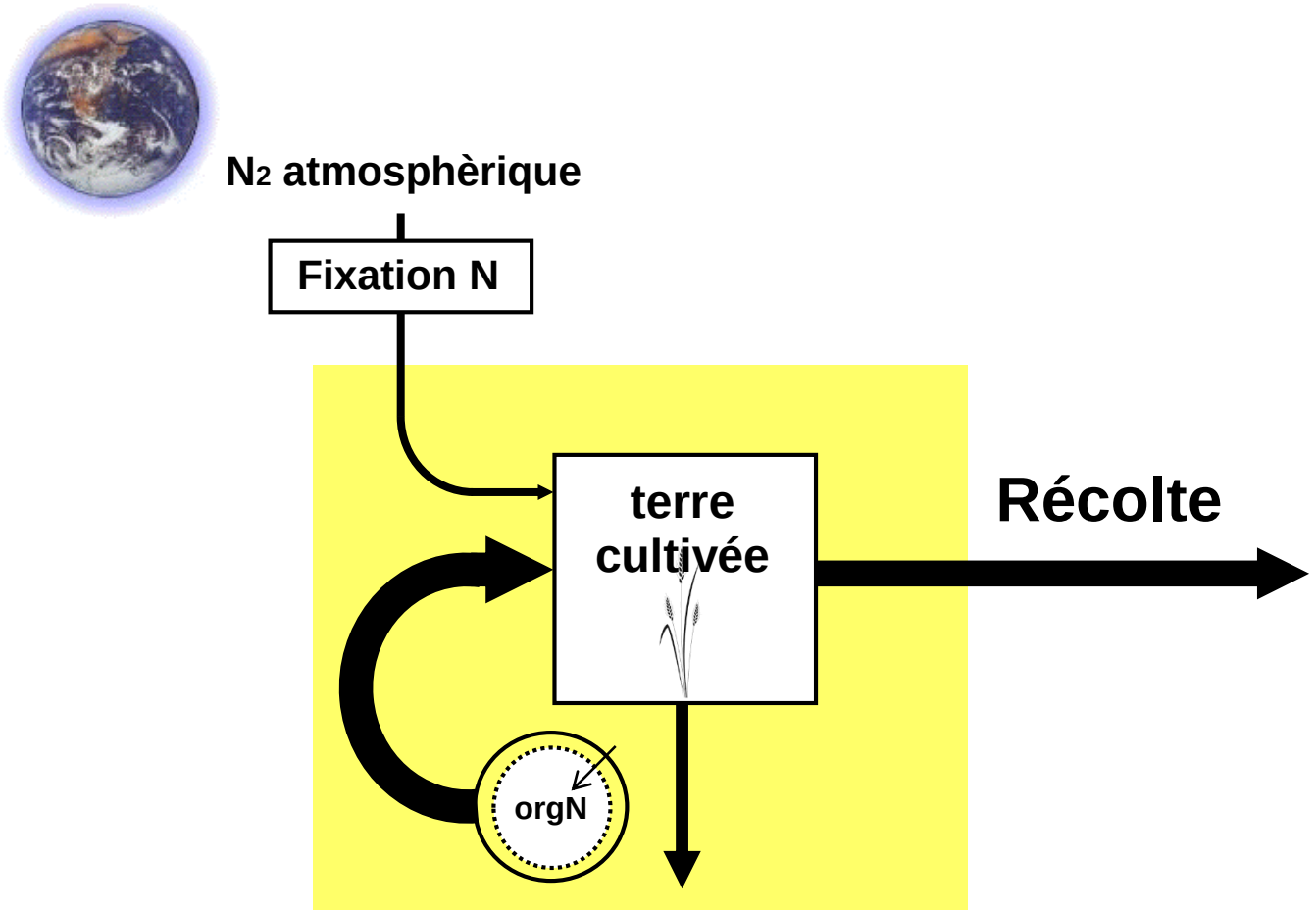
Permet de penser simultanément la matérialité des flux et le pouvoir/ l'*agency* *qui les façonnent*



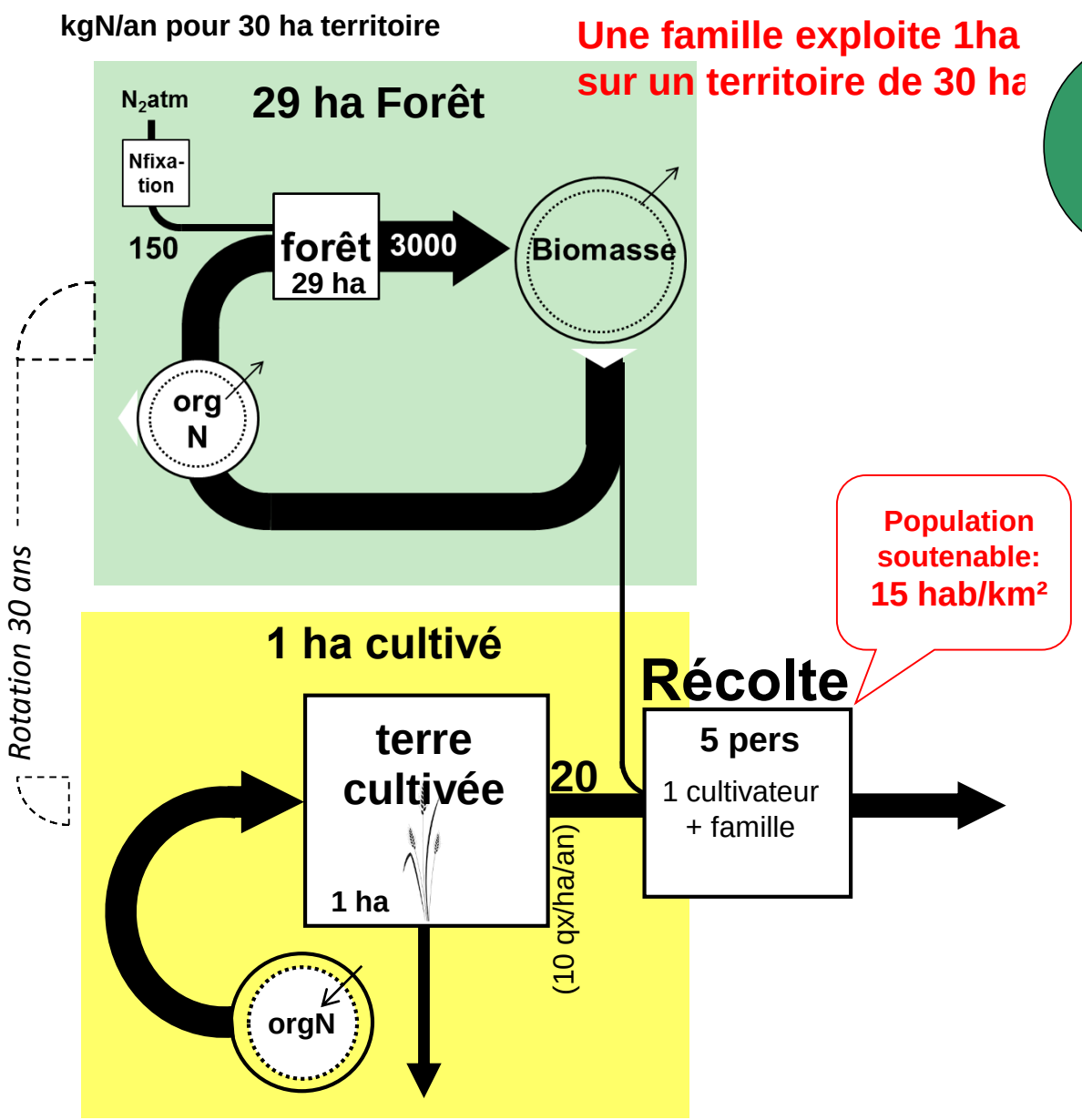
Ecosystèmes-processus biophysiques | **Sols** | **Rapports sociaux**

2. La biogéochimie : une approche scientifique idoine pour étudier le métabolisme agricole
GRAFS : une perspective biogéochimique sur les systèmes agro-alimentaires

Flux d'azote dans un agro-écosystème

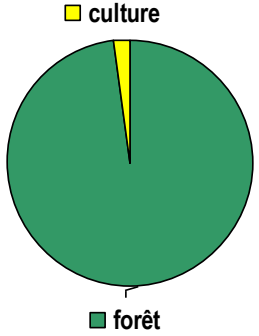


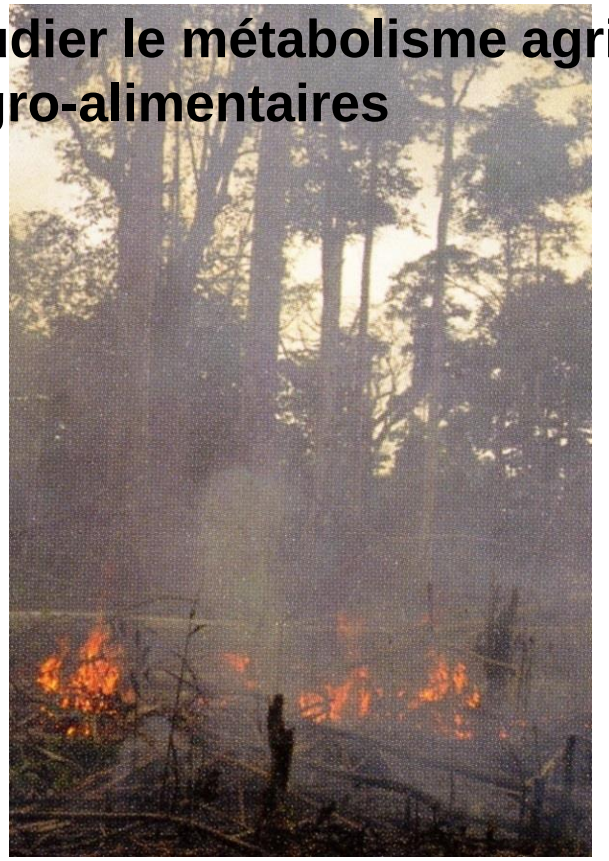
2. La biogéochimie : une approche scientifique idoine pour étudier le métabolisme agricole
GRAFS : une perspective biogéochimique sur les systèmes agro-alimentaires



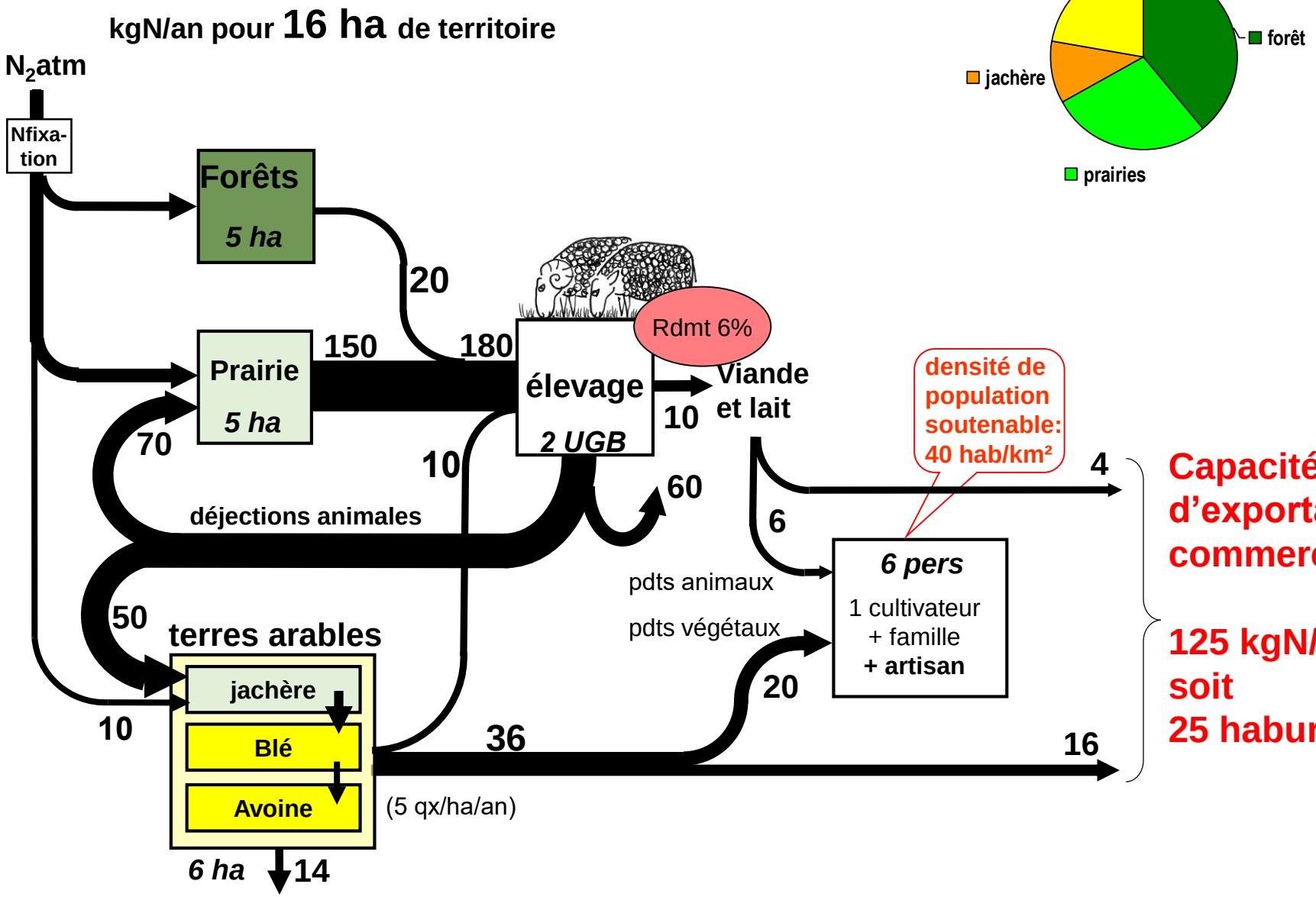
Une famille exploite 1ha sur un territoire de 30 ha

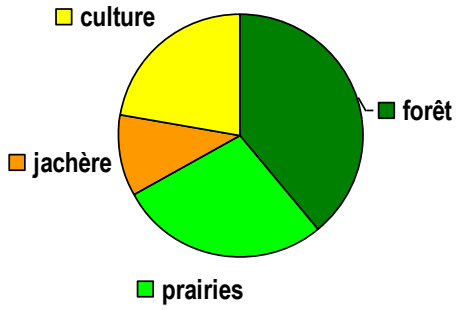
Population soutenable: 15 hab/km²

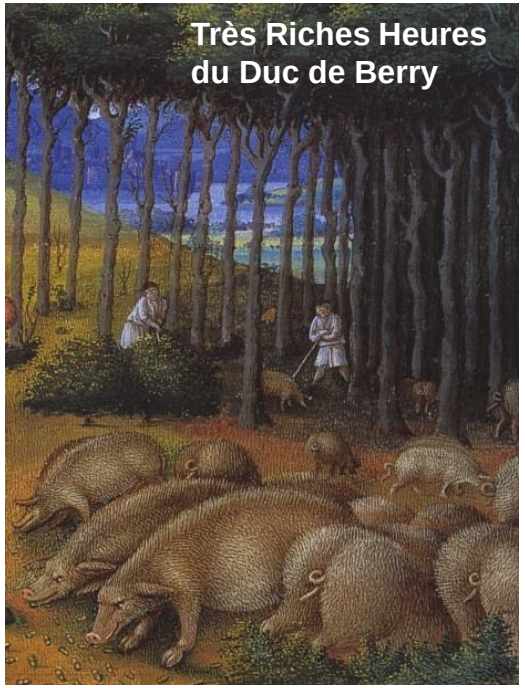




2. La biogéochimie : une approche scientifique idoine pour étudier le métabolisme agricole
GRAFS : une perspective biogéochimique sur les systèmes agro-alimentaires





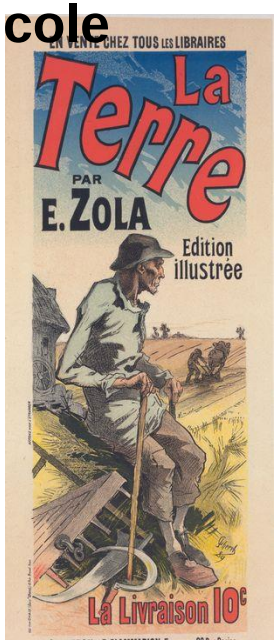


Capacité d'exportation commerciale:

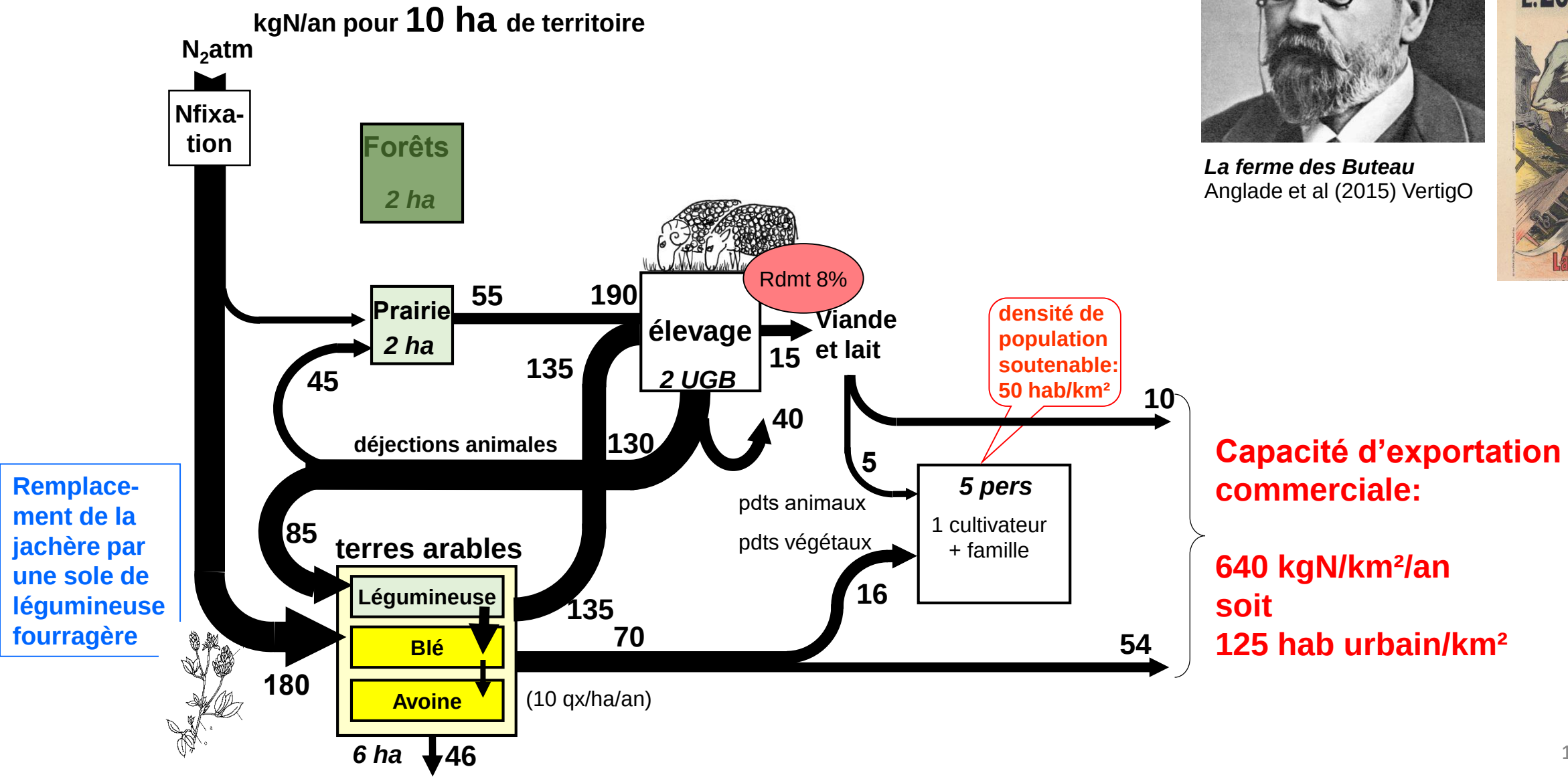
125 kgN/km²/an
soit
25 haburbain/km²

16

2. La biogéochimie : une approche scientifique idoine pour étudier le métabolisme agricole
GRAFS : une perspective biogéochimique sur les systèmes agro-alimentaires

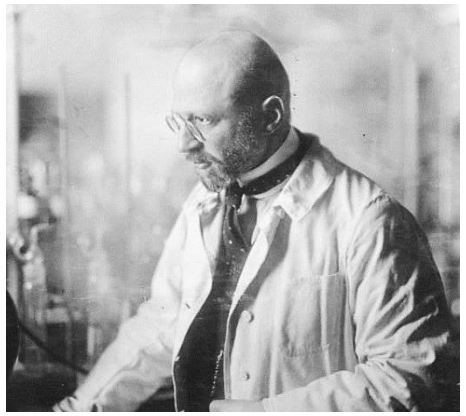


La ferme des Buteau
Anglade et al (2015) VertigO



2. La biogéochimie : une approche scientifique idoine pour étudier le métabolisme agricole GRAFS : une perspective biogéochimique sur les systèmes agro-alimentaires

Injecter de l'azote réactif dans l'agriculture : le procédé Haber-Bosch



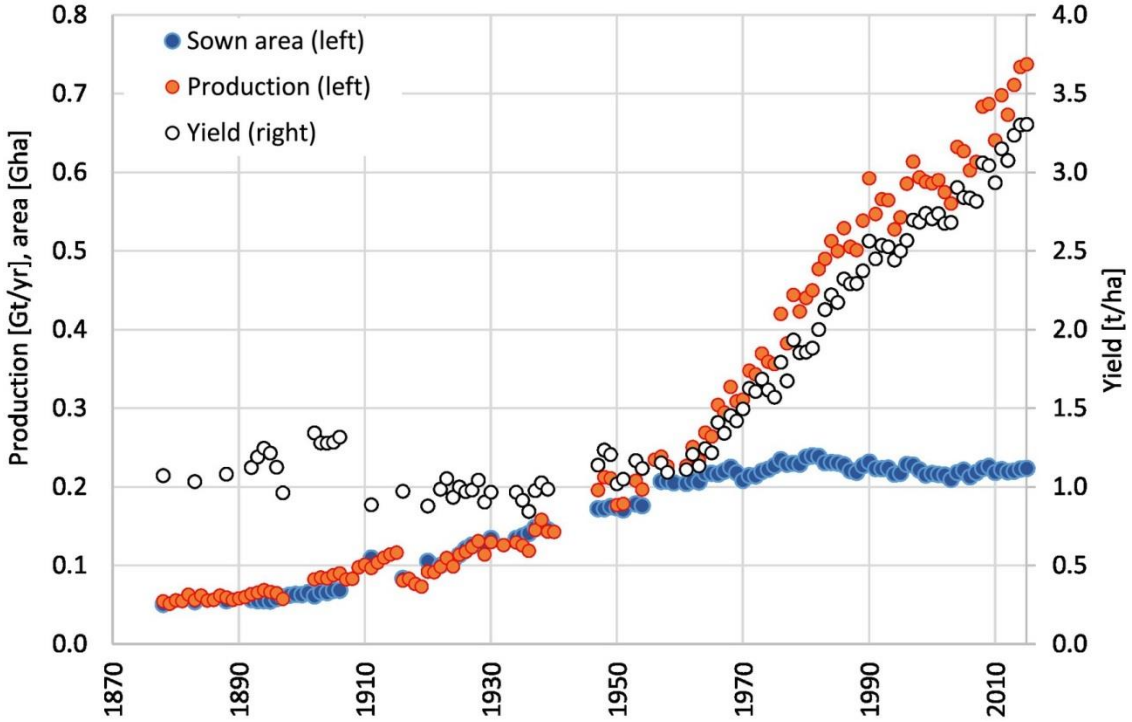
1903 Fritz Haber: découverte du procédé de conversion de N_2 et de H_2 en ammoniac

$$N_2 + 3\,H_2 \rightarrow 2\,NH_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow HNO_3$$

Haute température
Haute pression
Catalyse

1909: brevet du procédé Haber-Bosch (BASF)

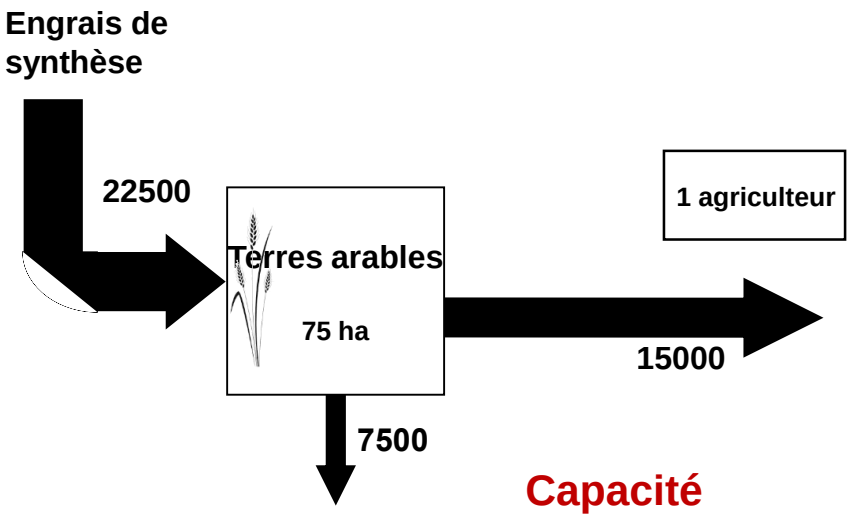
Indispensable à la spécialisation et à l'intensification de l'agriculture.



2. La biogéochimie : une approche scientifique idoine pour étudier le métabolisme agricole GRAFS : une perspective biogéochimique sur les systèmes agro-alimentaires

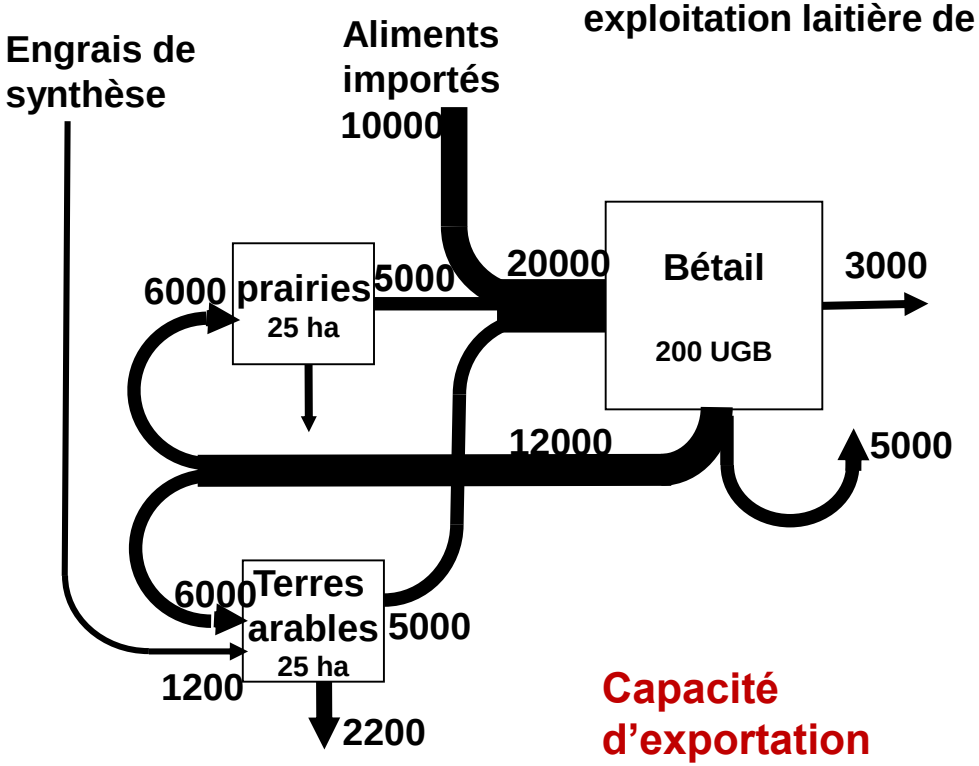
Le recours aux engrais azotés de synthèse par l'agriculture rend possible une simplification radicale de l'agriculture, qui s'affranchit de la complémentarité avec l'élevage...

Flux d'azote (kgN/an) dans une exploitation céréalière moderne de 75 ha



Capacité d'exportation commerciale: 20000 kgN/km²/an

Flux d'azote (kgN/an) dans une exploitation laitière de 50 ha

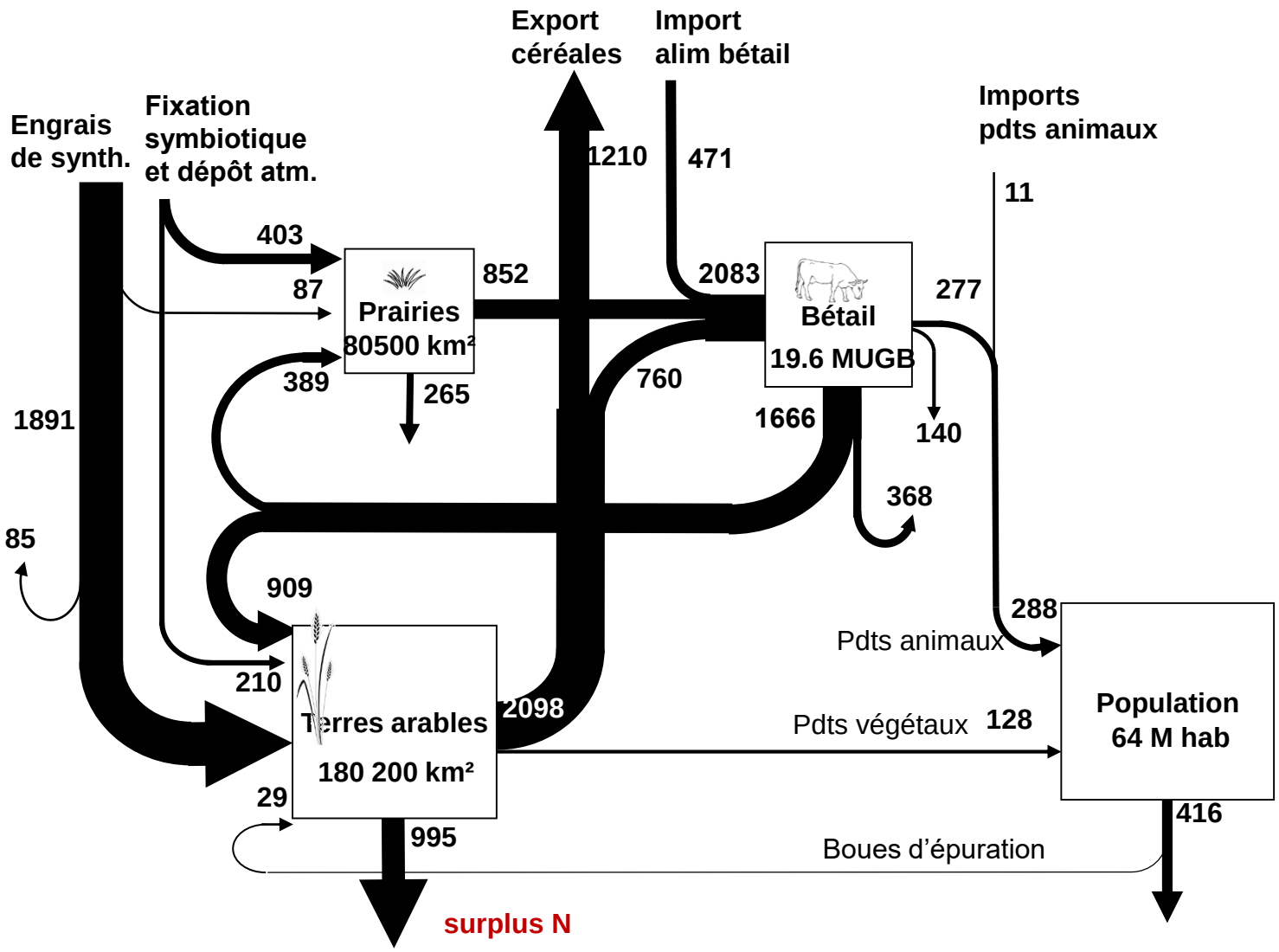


Capacité d'exportation commerciale: 6000 kgN/km²/an

Plan de l’exposé

1. Cycles biogéochimiques et agriculture
2. Cadre conceptuel et méthodologique
3. **Trajectoires biogéochimiques des systèmes agricoles en France (1850 – présent)**
4. La logique socio-politique des flux biogéochimique

3. GRAFS : une vision biogéochimique sur les systèmes agro-alimentaires

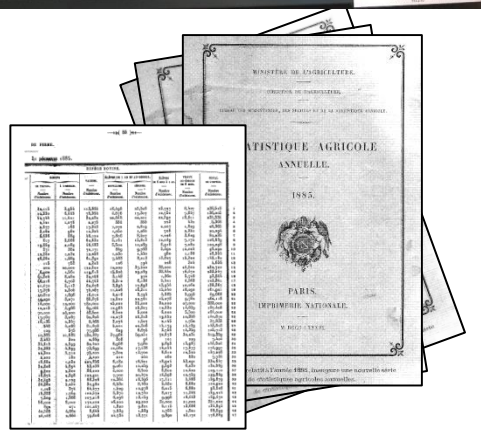


France, 2006

250 ktN/yr

2500 ktN/yr

Données d'entrée pour les chroniques



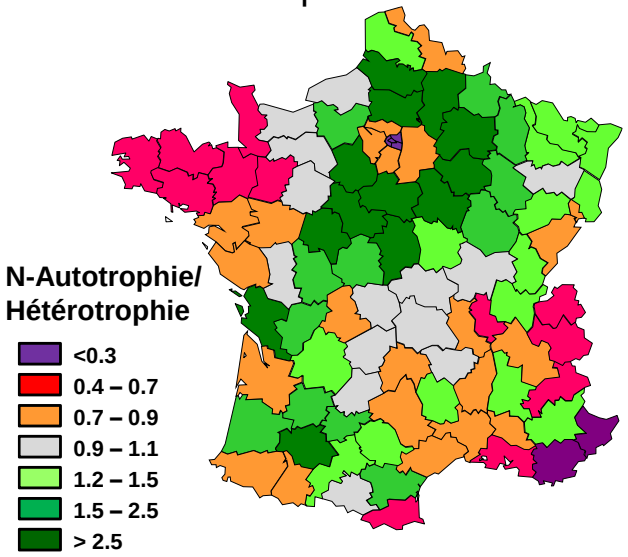
Agreste
LA STATISTIQUE AGRICOLE

Extrait de Le Noë et al., (2017). *STOTEN*

3. Définition des territoires selon des critères de proximité géographique et de fonctionnalité

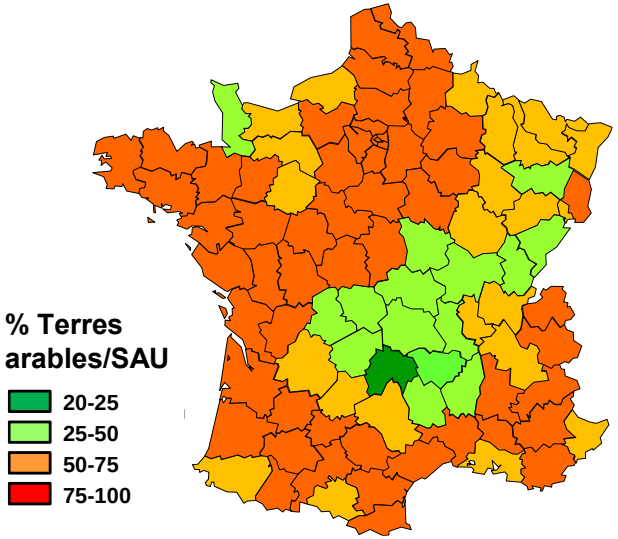
N-Autotrophie / N-Hétérotrophie (2006)

= food & feed production / consumption



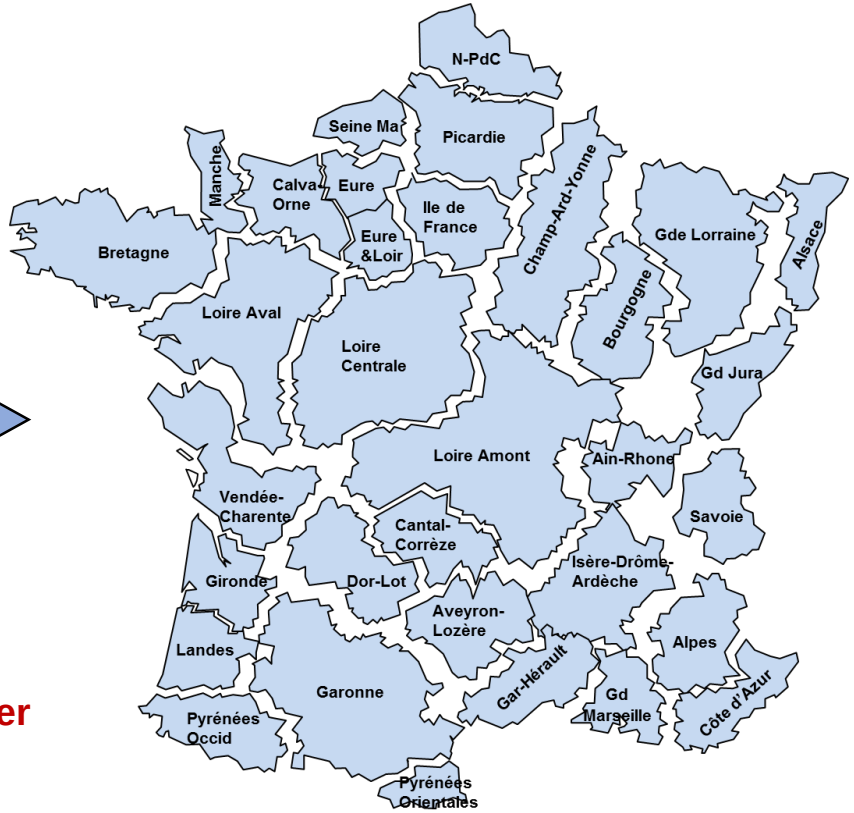
Ratio
N-production / N-consommation
reflète la **dépendance extérieure en protéines**

% de terres arables vs prairies (2006)



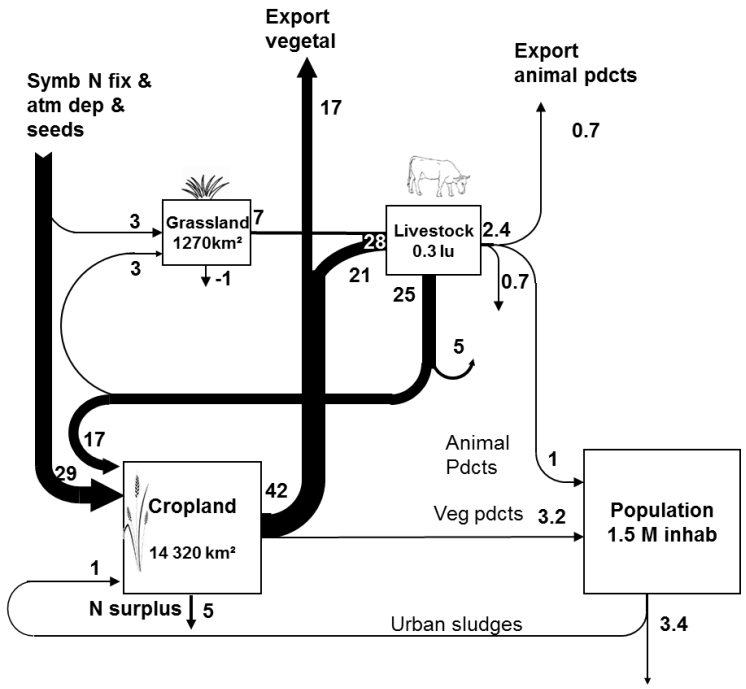
Ratio
Terres arables /SAU
reflète le caractère **cultivé / herbager** du système agricole

33 territoires agricoles homogènes

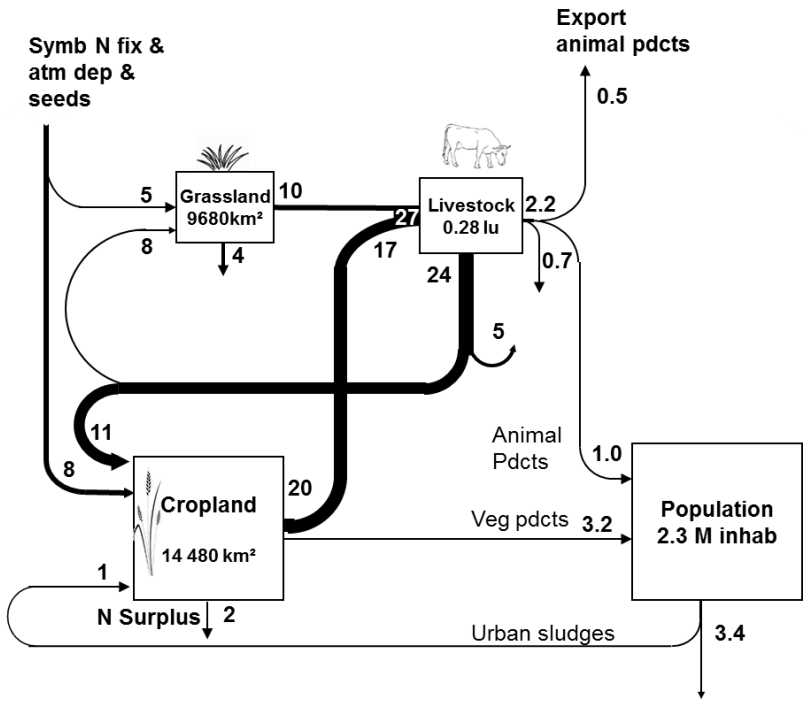


3. Le cas de l'azote pour 3 régions françaises (1852)

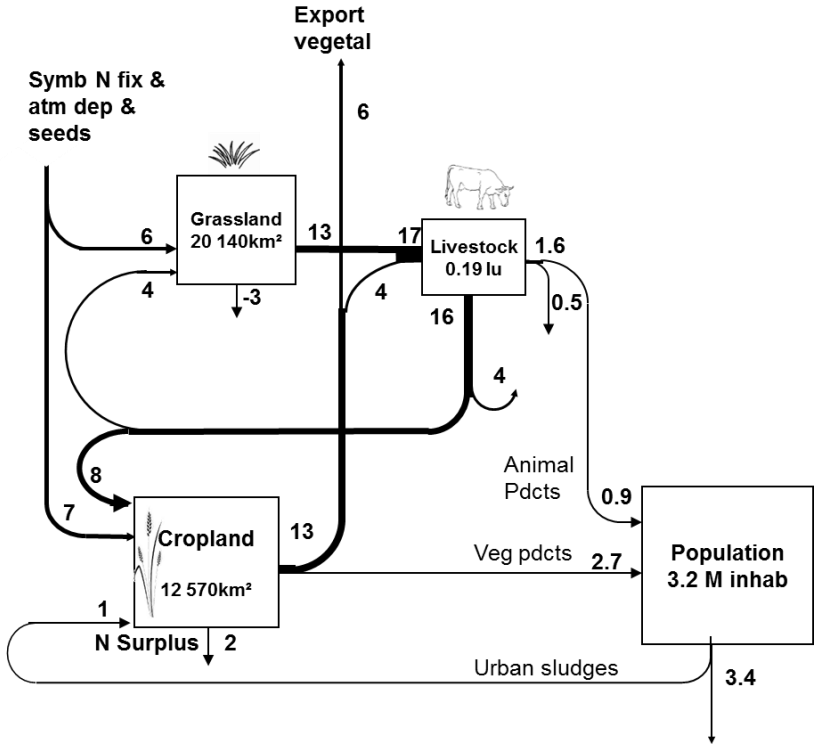
Picardie, 1852 kgN/ha/yr



Bretagne, 1852 kgN/ha/yr



Loire amont, 1852 kgN/ha/yr

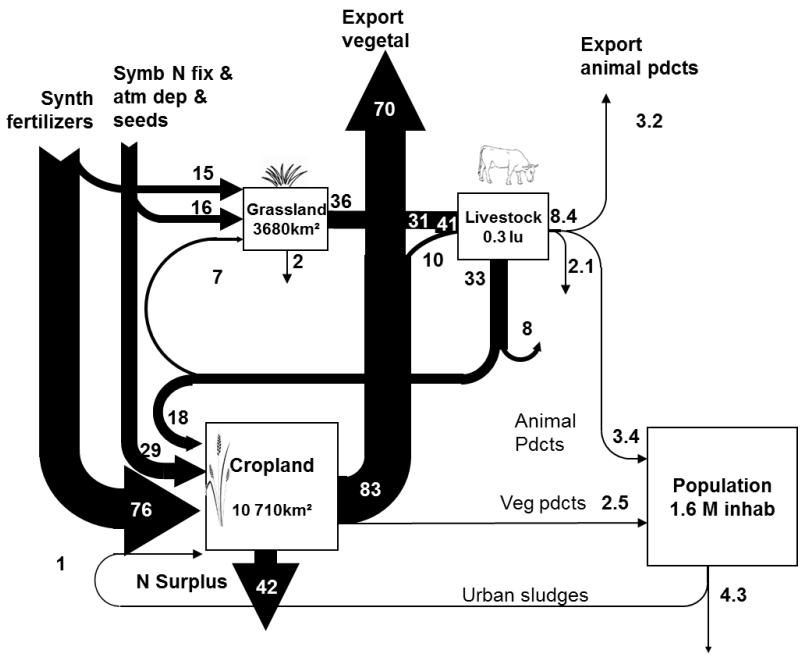


En 1852

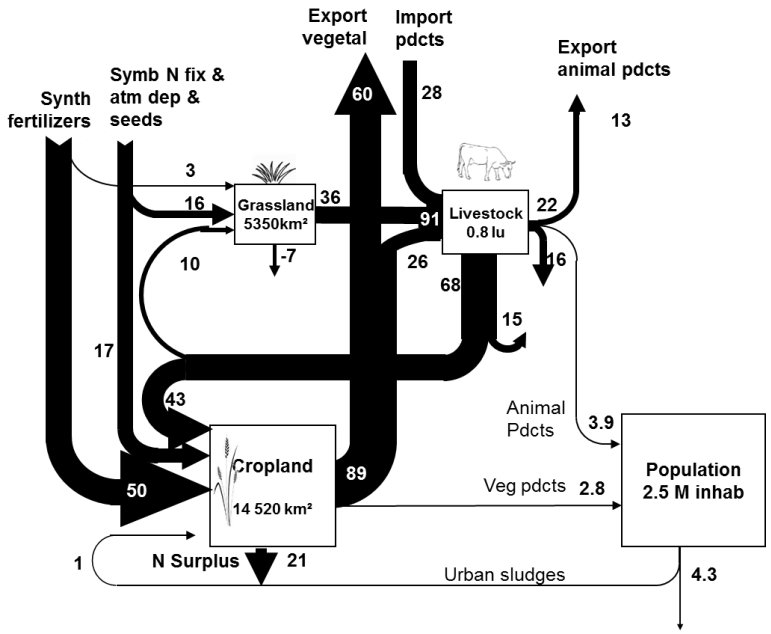
- Systèmes de production similaires d'un point de vue biogéochimique
- Faible dépendance vis-à-vis de l'extérieur
- Caractérisés par l'auto-consommation de la production

3. Le cas de l'azote pour 3 régions françaises (1970)

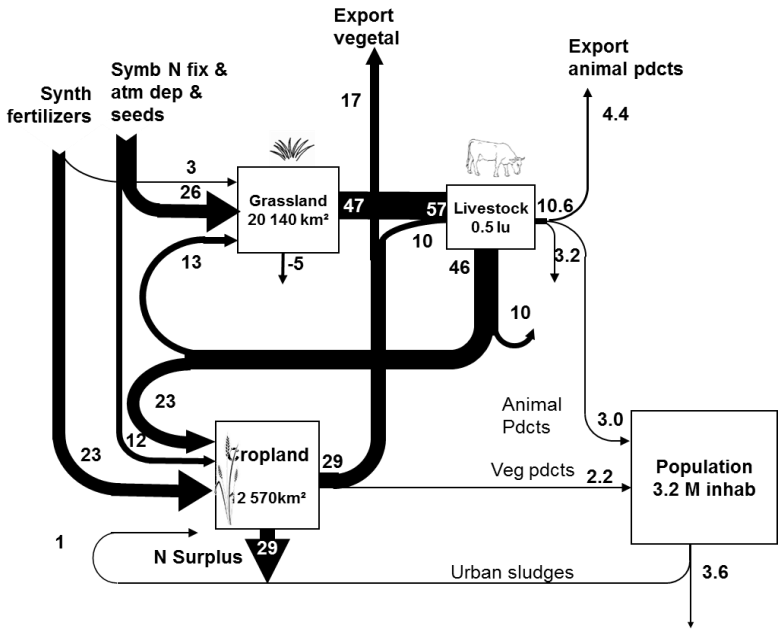
Picardie, 1970 kgN/ha/yr



Bretagne, 1970 kgN/ha/yr



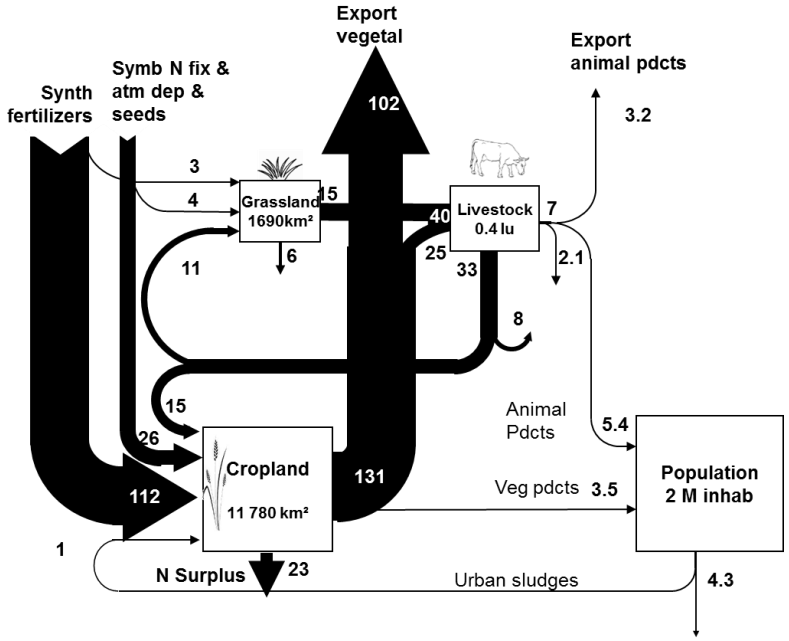
Loire amont, 1970 kgN/ha/yr



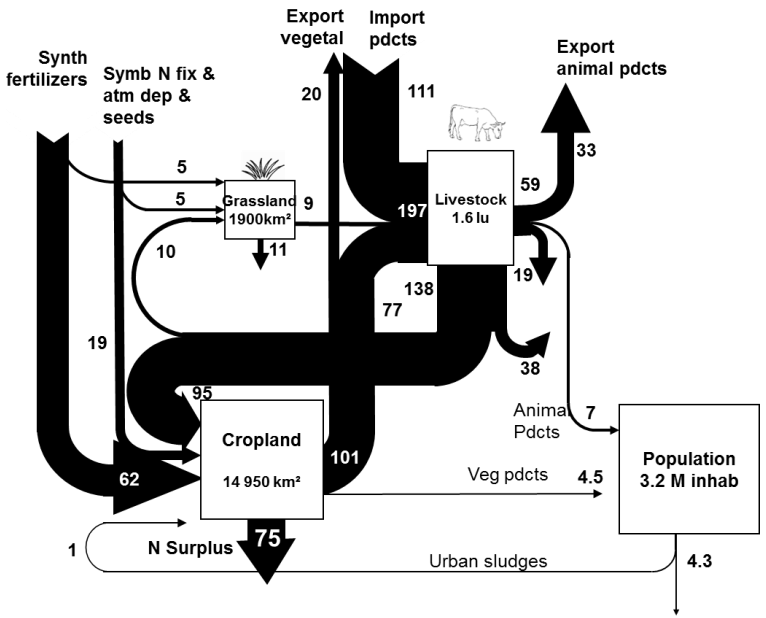
- Densification importante des flux
- Dépendance aux fertilisants minéraux N.
- Pertes en N sont conséquentes
- En Picardie la complémentarité élevage, culture s'amenuise ➔ spécialisation en grandes cultures

3. Le cas de l'azote pour 3 régions françaises (2010)

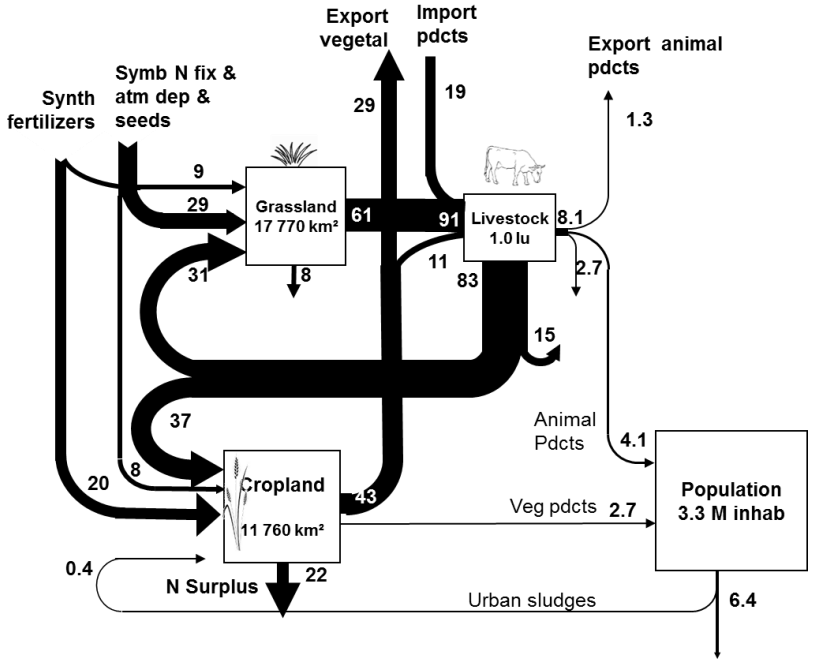
Picardie, 2010 kgN/ha/yr



Bretagne, 2010 kgN/ha/yr



Loire amont, 2010 kgN/ha/yr

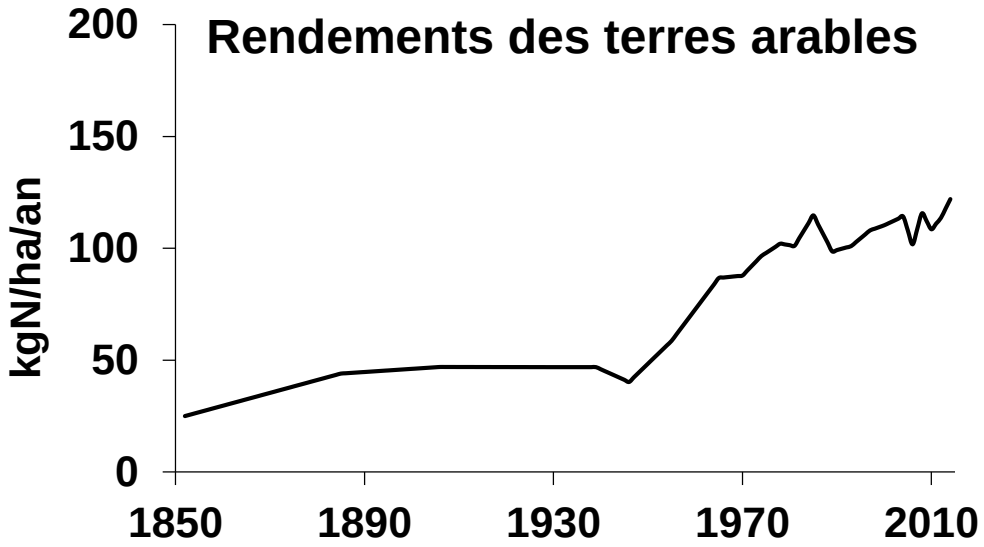


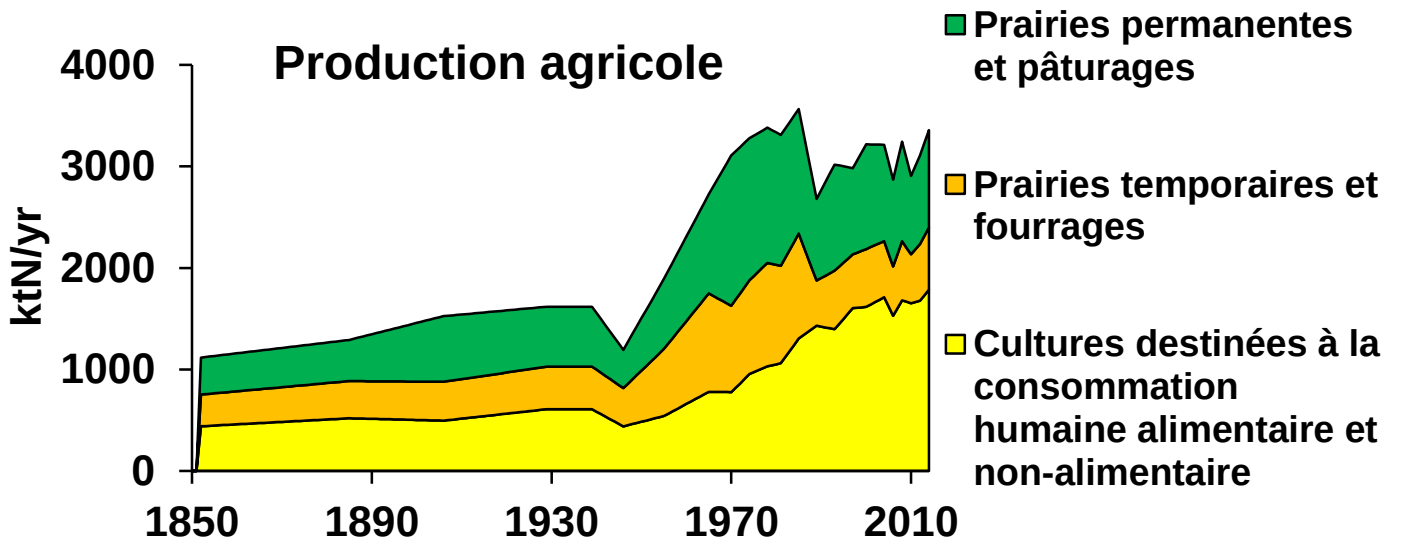
- Poursuite de la densification importante des flux
- Des schémas de production de plus en plus contrastés
  - en Picardie : spécialisation en grandes cultures
  - en Bretagne : élevage intensif dépendant fortement d'importation d'aliments pour animaux
  - en Loire Amont : la persistance d'un système de polyculture-élevage

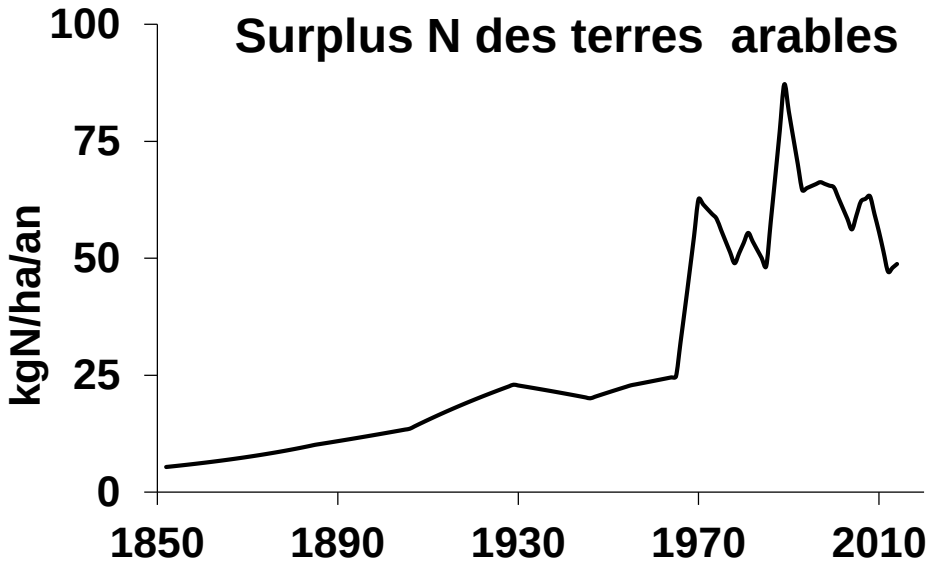
Problème : on ne peut pas faire cela pour 33 régions depuis 1850…

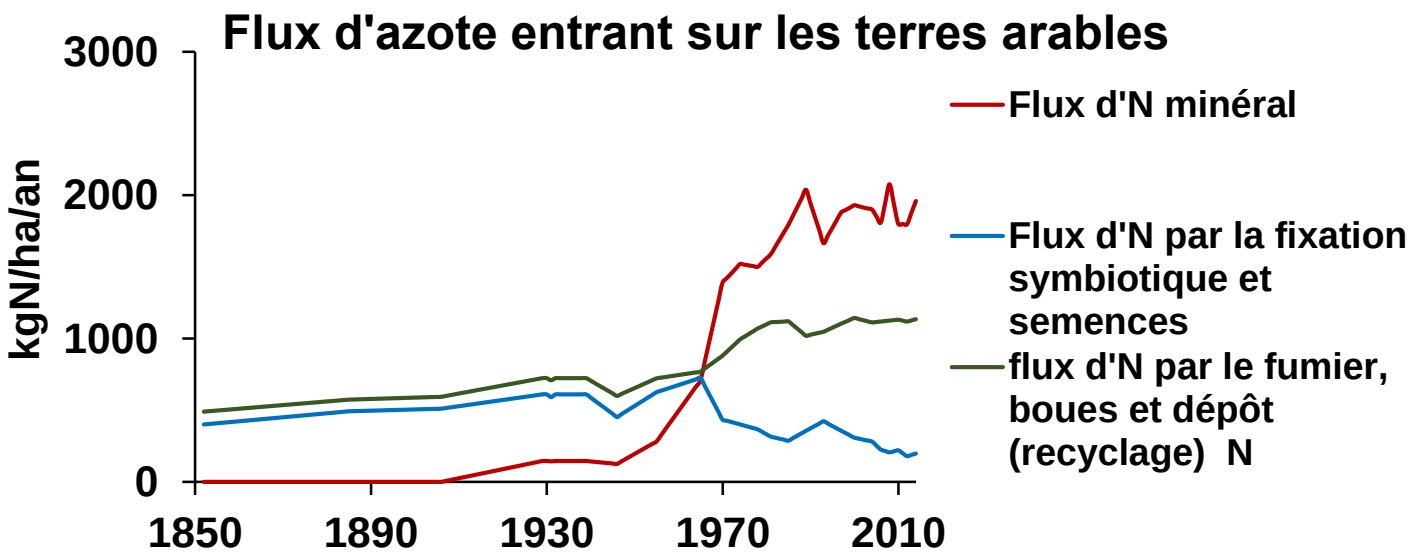
Regardons déjà ce qu'il se passe à l'échelle nationale

3. Évolution des flux d'azote dans les systèmes agricoles (rendements, de la production, des la volatilisation d'ammoniaque, des surplus d'azote à l'échelle nationale)



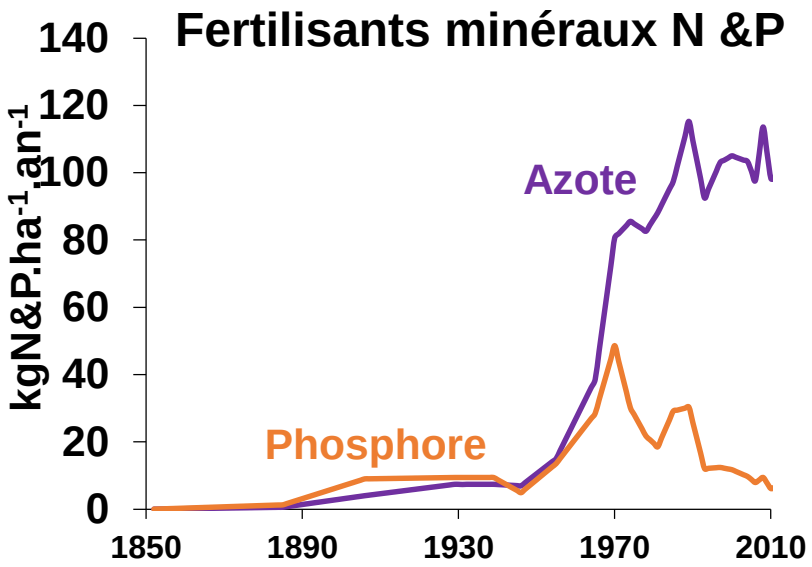


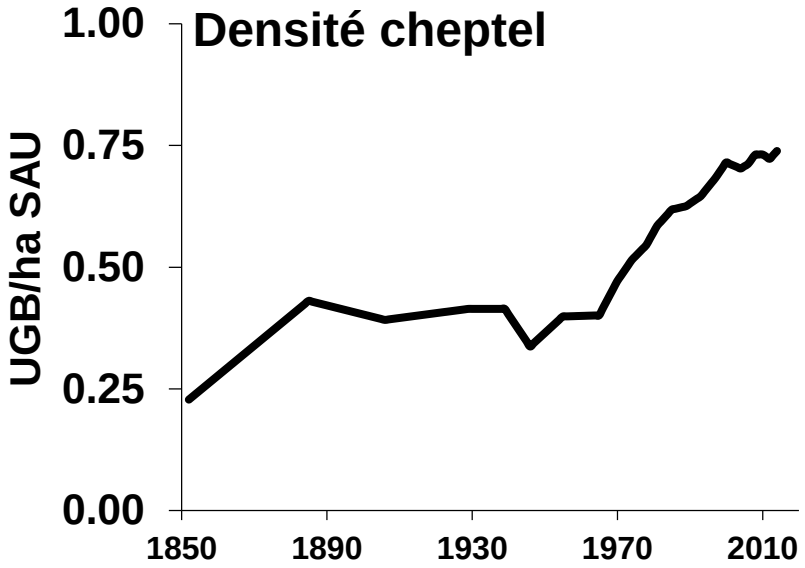


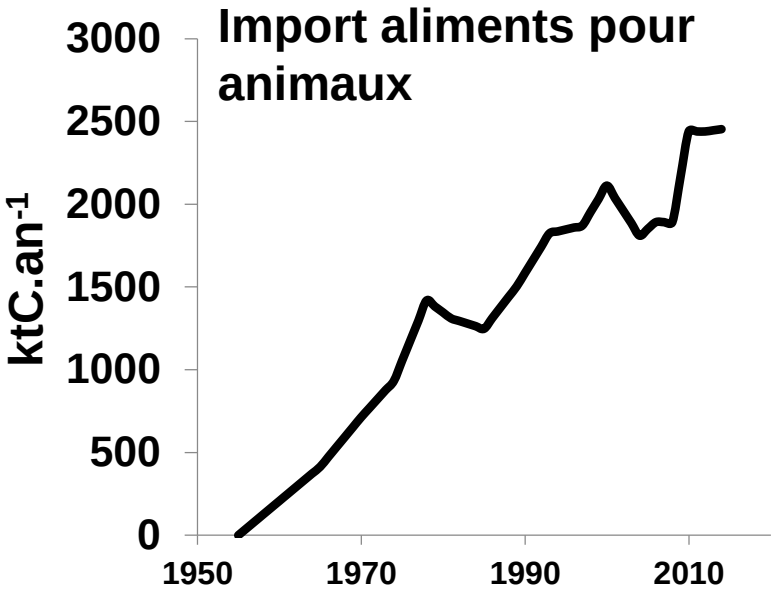


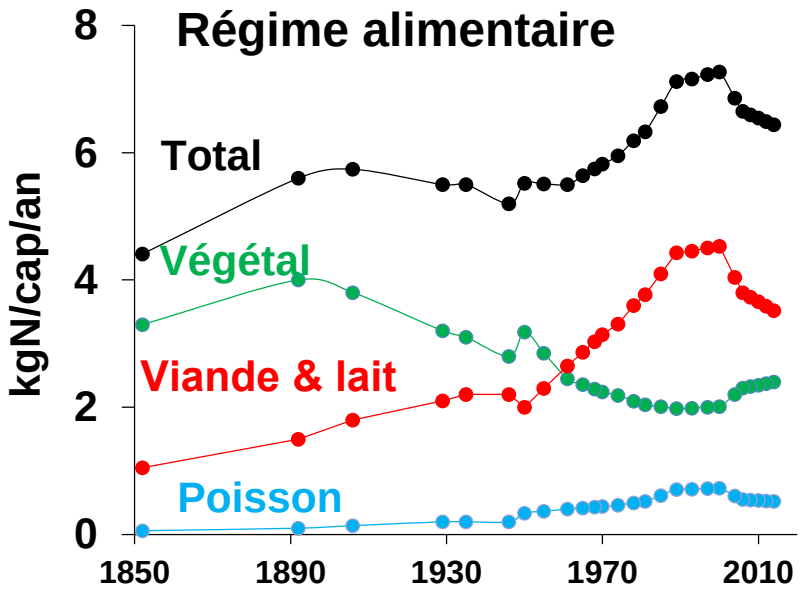
D'après Le Noë et al., (2018). *Agric. Ecosys. Environ*

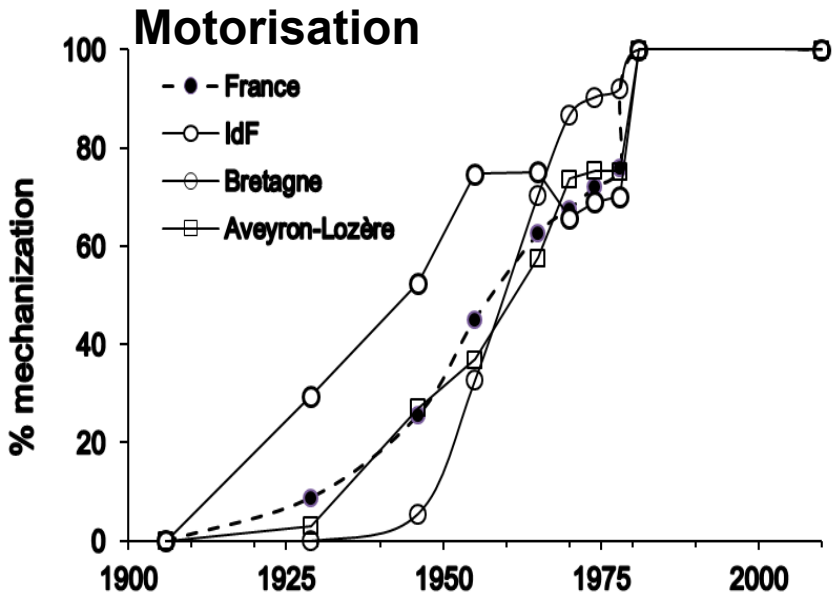
3. Moteurs biophysiques et techniques des évolutions observées











- **L'augmentation des rendements agricoles ayant favorisé l'accroissement des stocks de COS est permise par des avancées techniques et le développement du commerce agricole international**
- **Mais celles-ci ont également un coût énergétique et un coût en termes d'émissions de GES**

D'après Le Noë et al., (2019). *Env. Sci & Pol.*

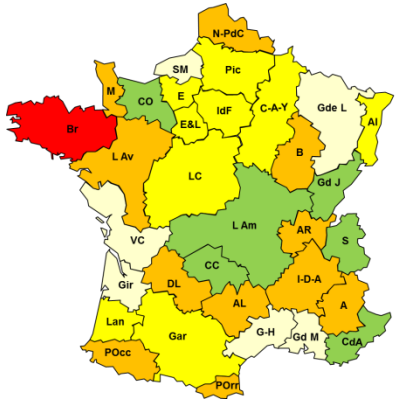
D'après Garnier et al., (2019). *STOTEN*

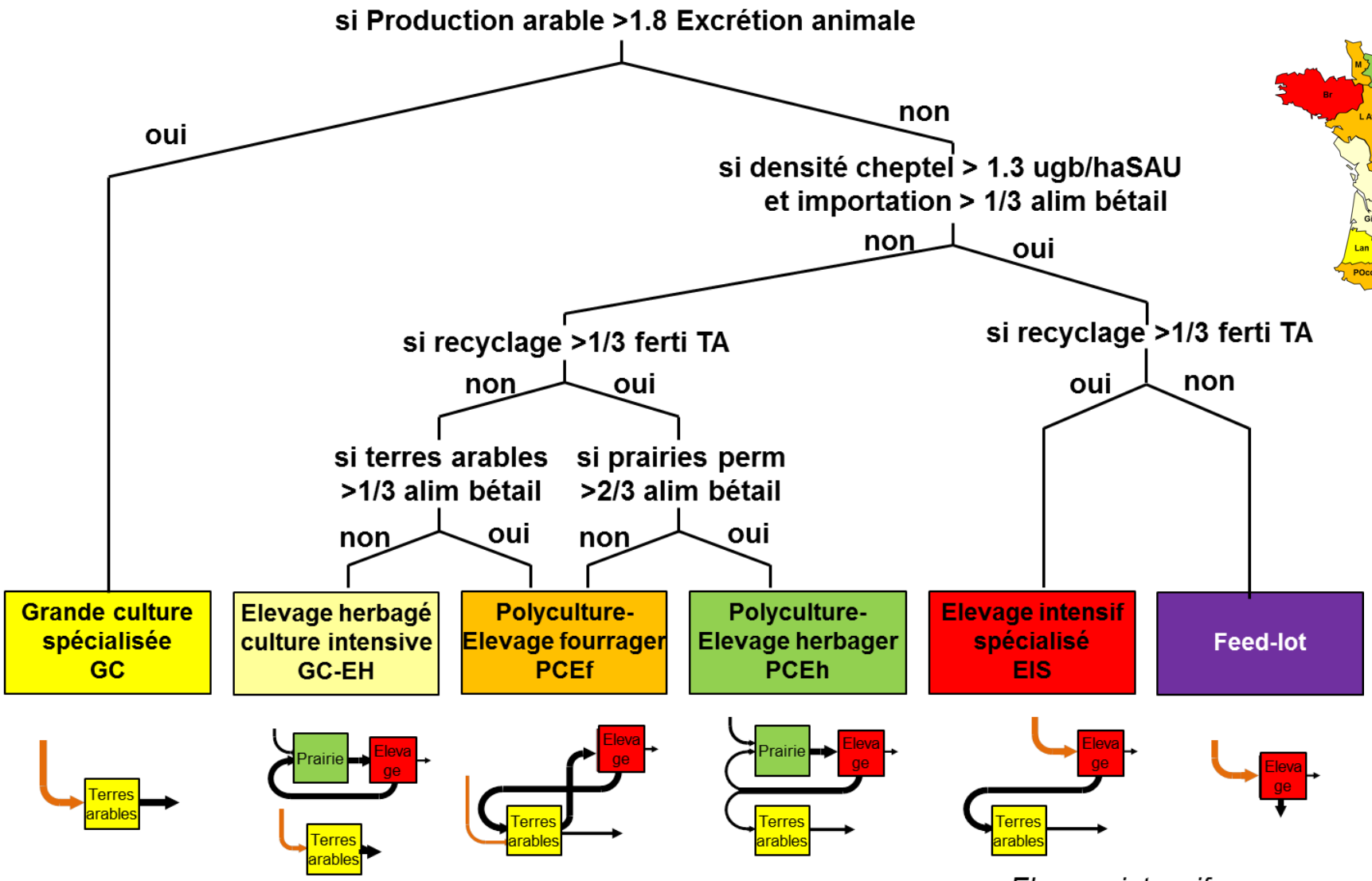
Plan de l’exposé

1. Cycles biogéochimiques et agriculture
2. Cadre conceptuel et méthodologique
3. Trajectoires biogéochimiques des systèmes agricoles en France (1850 – présent)
4. **La logique socio-politique des flux biogéochimique**

4. Typologie des systèmes de production agricole

France en 2006





Grandes cultures dominantes

Grandes cultures et élevage déconnectés l'une de l'autre.

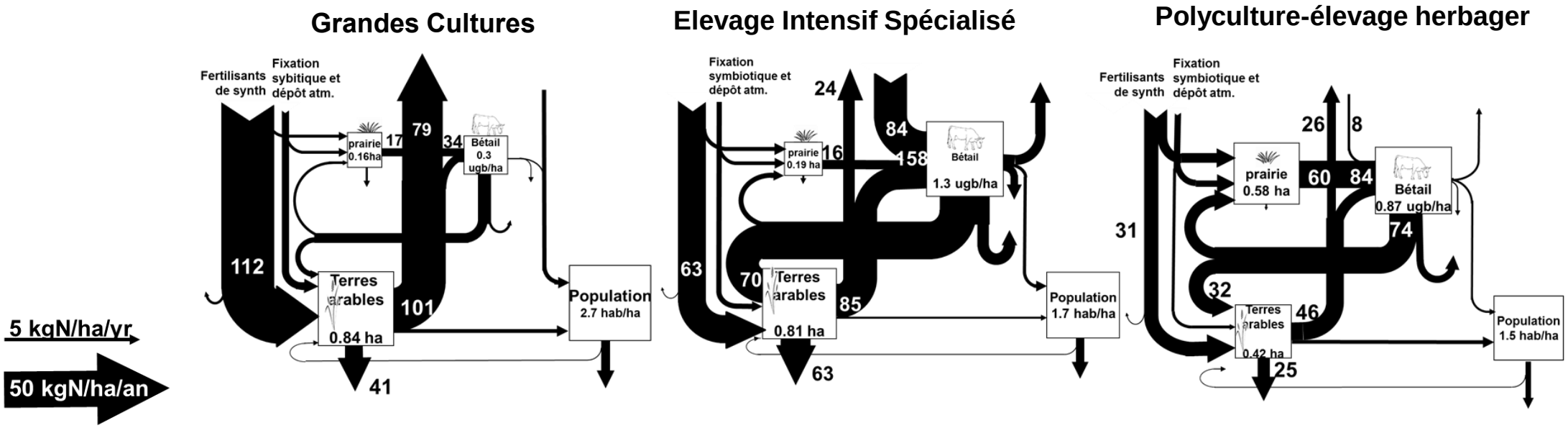
Elevage connecté aux cultures par l'alimentation du bétail et la fertilisation

Elevage surtout herbagé, connecté aux cultures par la fertilisation

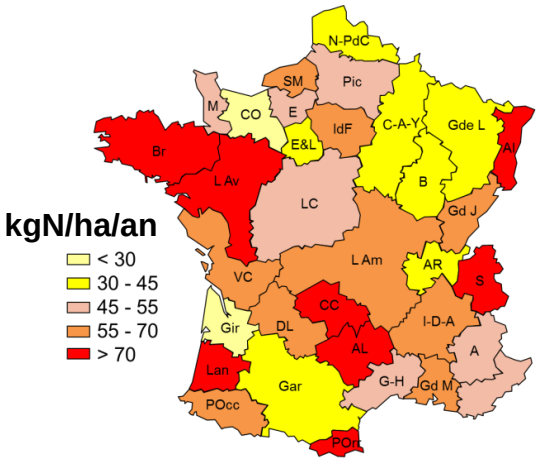
Elevage intensif Alimentation exogène au territoire

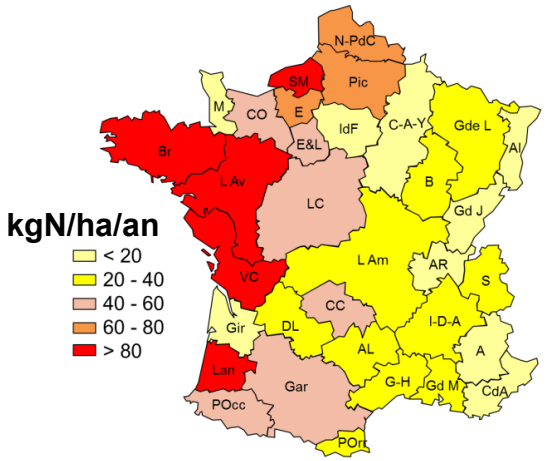
Le Noë et al., 2018. *Agric. Env. & Ecosys.*

4. Typologie permet de mettre en lumière les liens entre structure des systèmes de production agricole et pollution environnementale



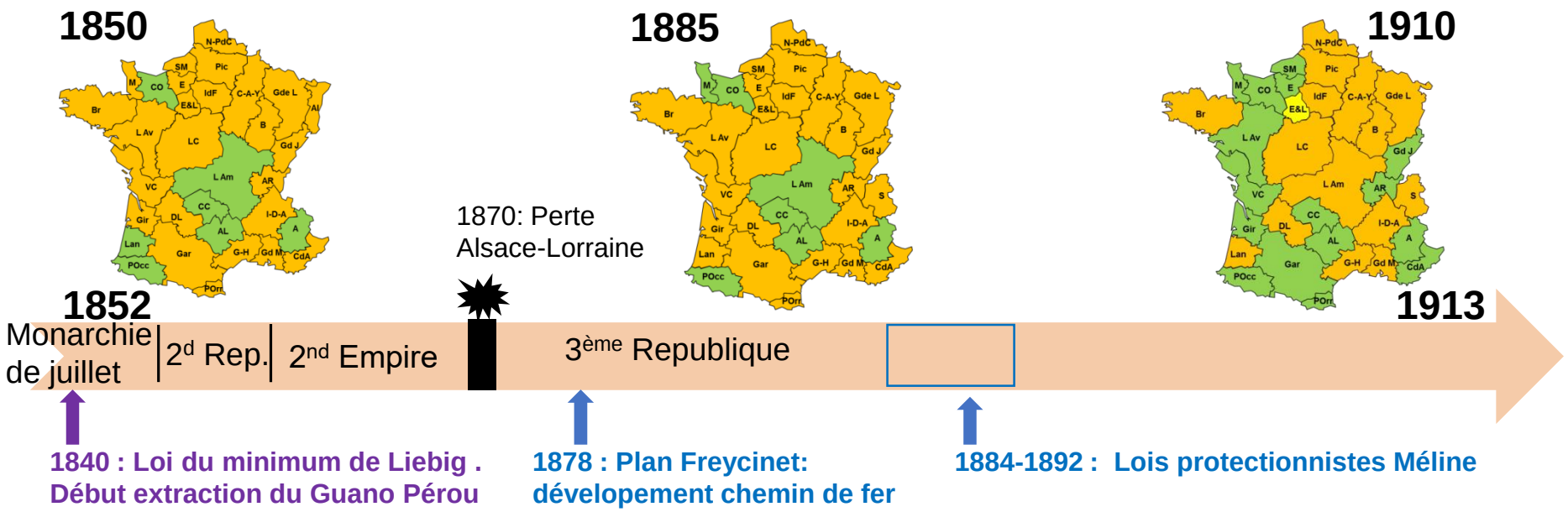
Conséquences environnementales par territoire

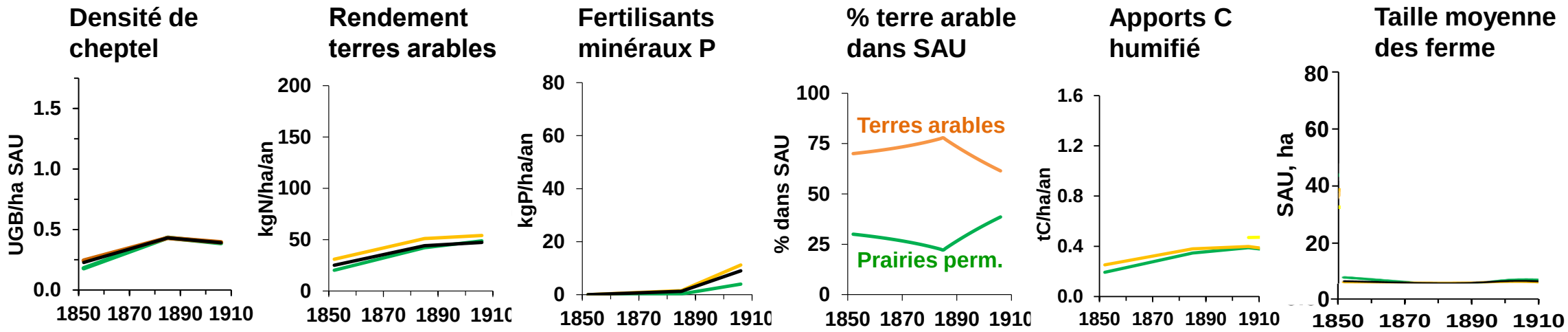




Extrait de Le Noë et al., 2017

4. Evolution des systèmes agricoles en France (1850-1913)





- Grandes Cultures spécialisées
- Polyculture-élevage herbager
- Polyculture-élevage fourrager
- Cultures intensives, élevage herbager
- Elevage intensif spécialisé

D'après Le Noë et al., (2018). *Agric. Ecosys. Environ*

4. Flux et Pouvoir (1850-1913)

L'agriculture dans l'économie nationale : un (sous) développement au service du capital

1860 Traité Cobden-Chevalier : libre-échange franco-britannique

1892 abrogation du traité et **lois Méline** : Protectionnisme agricole et mobilisation de l'épargne nationale au service de l'exportation du Capital

En 1880, les **agriculteurs possédaient un actif boursier de c. 3.7 milliards de francs** ➔ rôle de bailleur de fonds pour les opérations du capital financier (Servolin, 1985)

En 1910, les Caisses d'Épargne détenaient **5 milliards de dépôts d'épargne paysanne** (Servolin, 1985)

➔ Peu d'incitations à augmenter la consommation d'engrais ou à se mécaniser.

Michel Chevalier

Jules Méline

Évaluations des valeurs étrangères dans le portefeuille français (en milliards de francs)

Année	Valeur	En % du total
1870	12-14	
1887	20	25 %
1902	26,9	27 %
1904	25-27	26 %
1906	27-30	27 %
1907	30-32	31 %
1908	32-35	31 %
1910	38-40	36 %
1912	40-42	38 %

D'après Arbulu et Vaslin, 2000. *Revue d'économie financière*

4. Flux et Pouvoir (1850-1913)

Éviter la rencontre des intérêts du prolétariat urbain et des paysans des campagnes

« *Au moment où les idées démocratiques, sinon déjà socialistes, commençaient à circuler jusque dans les villages, c'était sagesse, prudence et habileté de rassembler les propriétaires de toutes tailles dans un groupe cohérent et de maintenir la propriété individuelle comme un principe intangible, divin pour les hommes de droite, révolutionnaire pour les radicaux* ».

Augé-Laribé (1950), La Politique Agricole de 1880 à 1940 (cité d'après Servolin, 1972)

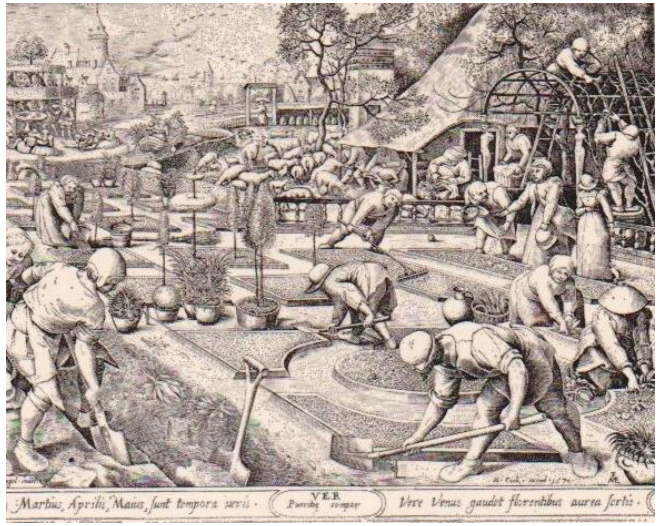
18 mars 1871, sur une barricade de Ménilmontant pendant la Commune de Paris.
https://www.humanite.fr/essai-place-la-commune-le-peuple-de-paris-ecrit-lhistoire-699016

4. Flux et *Agency* (1850-1913)

Des forces idéologiques et organisatrices locales antagonistes

- **1867 La Société des Agriculteurs de France** : un syndicalisme des Hobereaux dirigé par les **grands propriétaires** (Noblesse déchue)

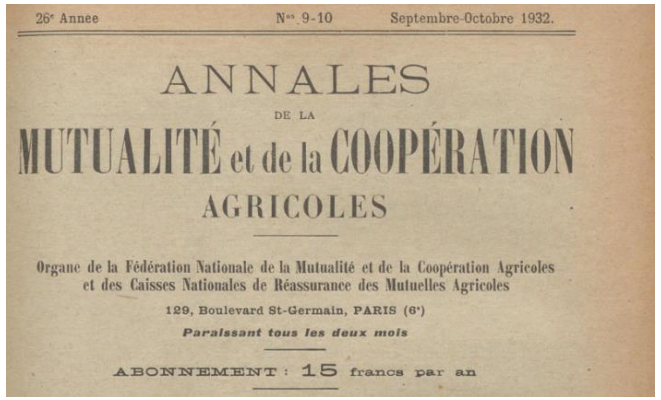
➔ **volonté d'éviter l'exode rural, maintenir l'agriculture telle qu'elle est**



Couverture du Livre « Vers un ordre Social-Chrétien, René de la Tour du Pin (1907)

- **1910 Fédération nationale de la Mutualité du Crédit du boulevard Saint Germain** : l'action des **Républicains**.

➔ **volonté modernisatrice, effet important sur la structuration du crédit agricole**


26e Année — Nos 9-10 — Septembre-Octobre 1932.

ANNALES DE LA MUTUALITÉ et de la COOPÉRATION AGRICOLES

Organe de la Fédération Nationale de la Mutualité et de la Coopération Agricoles et des Caisses Nationales de Réassurance des Mutuelles Agricoles

129, Boulevard St-Germain, PARIS (6e)

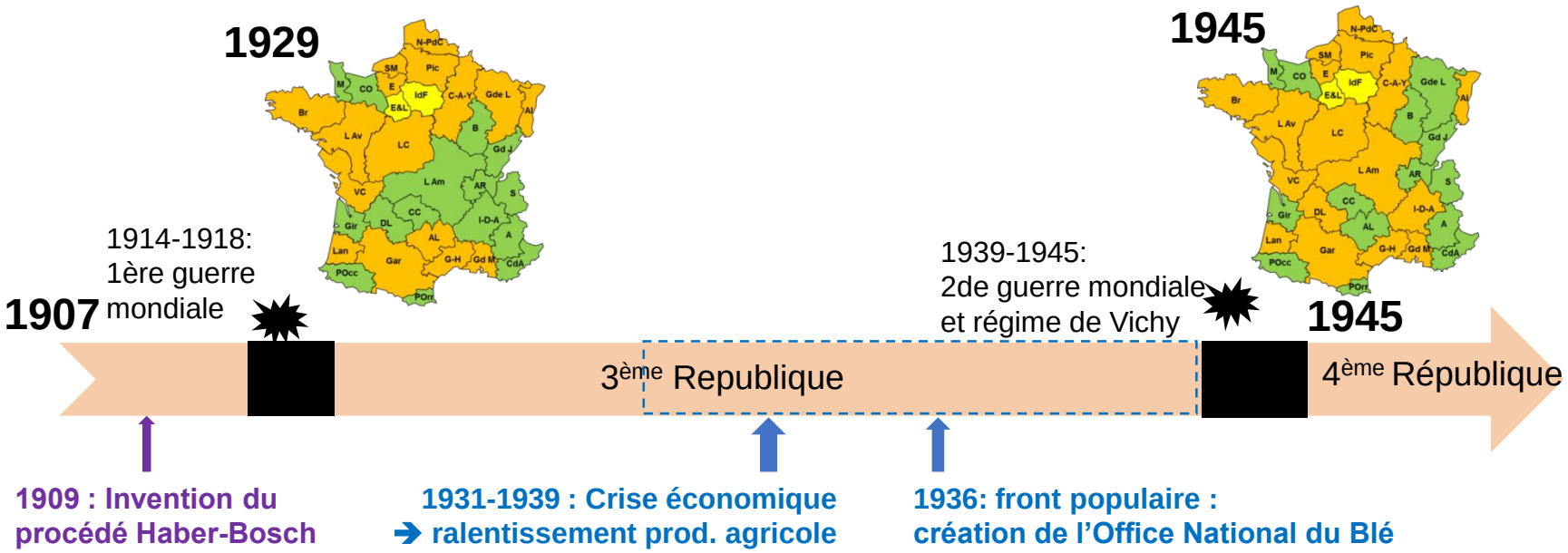
Paraissant tous les deux mois

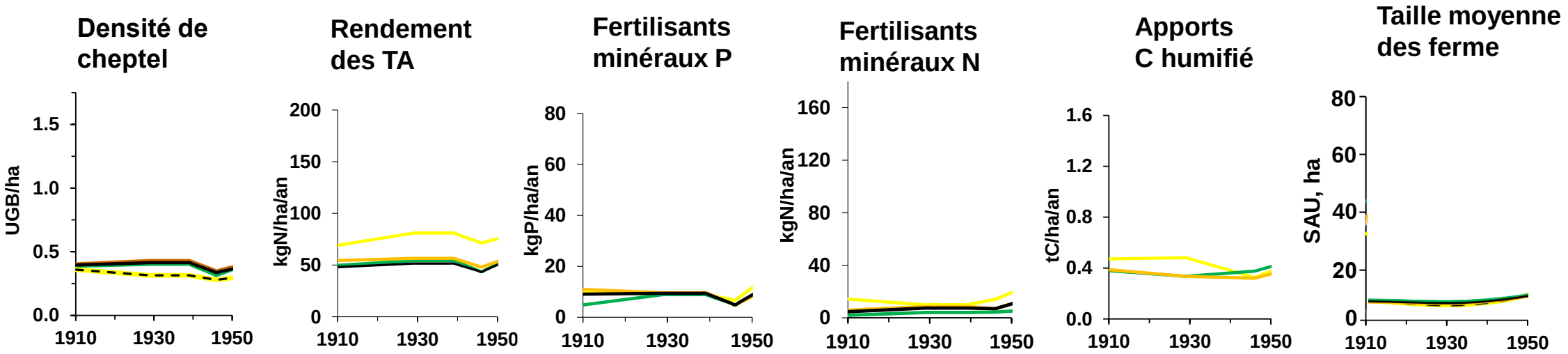
ABONNEMENT : 15 francs par an

- **1902 Fédération générale des travailleurs de l'agriculture, des forêts** : l'action de la CGT et des **organisations socialiste**.

➔ **volonté d'unification des ouvriers et des paysans**

4. Evolution des systèmes agricoles en France (1914-1946)





- Grandes Cultures spécialisées
- Polyculture-élevage herbagé
- Polyculture-élevage fourrager
- Cultures intensives, élevage herbagé
- Elevage intensif spécialisé

D'après Le Noë et al., (2018). *Agric. Ecosys. Environ*

4. Flux et Pouvoir (1914-1945)

Les limites du modèle protectionniste: les apprentissages de la Guerre

1914-1915 : l'agriculture protégée de la France n'était pas en mesure de garantir l'approvisionnement du pays au cours d'une guerre prolongée.

Le gouvernement réorganise la production, importe des travailleurs étrangers etc…
Une administration du Ravitaillement est créée, habilitée à répartir des produits, à importer, voire même à réquisitionner.

Paysannes attelées pour la labour en raison de la pénurie de chevaux (1915).
https://www.ledauphine.com/drome/2014/11/06/centenaire-de-1914-1918-la-guerre-a-l-arriere

Tonkinois travaillant à la cueillette dans les jardins de Trianon, Versailles. (Musée National de l'histoire de l'immigration)

Affiche de propagande du ministère de l'Agriculture 1915

4. Flux et Pouvoir (1914-1945)

L’interventionnisme de l’État et la montée du corporatisme agricole : les timides débuts de la spécialisation

1919-1929 : Lois sur la création des **Chambres d’Agriculture** ➔ relais d’exécution de la politique de l’État

Multiplication des « **associations spécialisées** » (e.g., associations interprofessionnelle des Betteraviers)

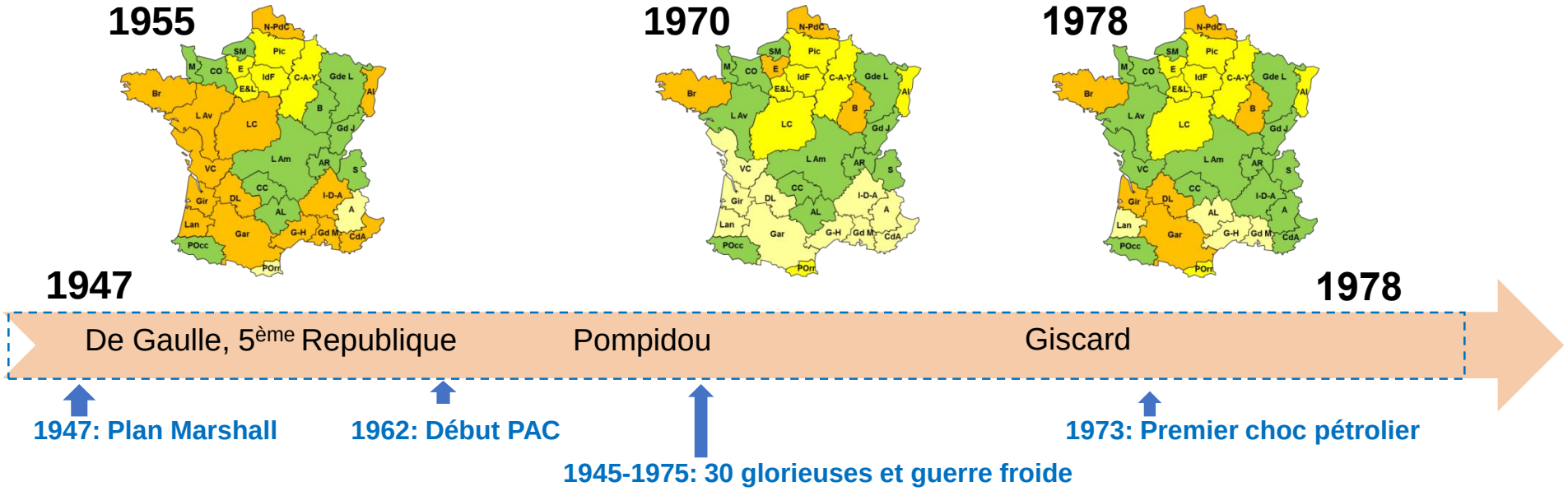
1936 Création par le Front populaire de l’ Organisme National Interprofessionnel des grandes Cultures (**ONIC**) qui instaure un **monopole d’Etat** sur l’achat des céréales et permet de fixer le prix du blé

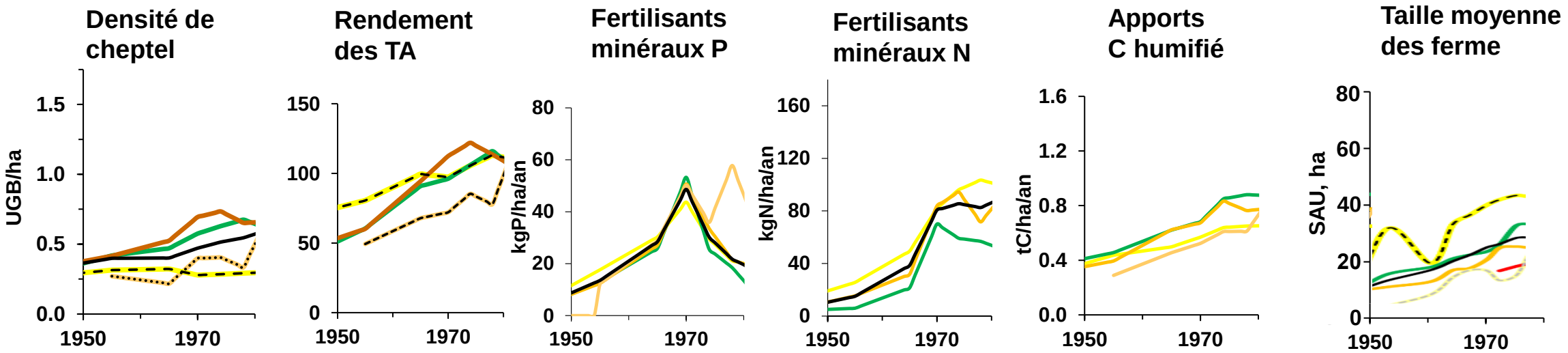
Émergence d’un **nouveau corporatisme** recherchant le contact avec l’État.

… Poursuivi par l’État Vichyssois

Tract du journal de propagande, « L'Espoir français »
http://www.museehistoirevivante.fr/collections/histoire-du-mouvement-ouvrier/front-populaire-1936

4. Evolution des systèmes agricoles en France (1946-1978)





- Grandes Cultures spécialisées
- Polyculture-élevage herbagé
- Polyculture-élevage fourrager
- Cultures intensives, élevage herbagé
- Elevage intensif spécialisé

D'après Le Noë et al., (2018). *Agric. Ecosys. Environ*

4. Flux et Pouvoir (1946-1978)

Changement de la place de la France dans l'économie mondiale, changement de la place de l'agriculture dans l'économie nationale

1945 : Plan Monnet
1946 : Statut du Fermage ➔ mieux investir dans la modernisation
1948 : Plan Marshall et aides

➔ Moderniser l'agriculture pour libérer de la main-d'œuvre pour l'industrie, nourrir la population et rendre la balance commerciale excédentaire

Pour Pfimlin, l'agriculture française doit être un participant actif de l'expansion économique ➔ champ d'expansion privilégié = Europe

➔ La Politique Agricole Commune trouvera son origine dans cette idée

Jean Monnet en 1949, Commissaire Général au Plan de France

4. Flux et Pouvoir (1946-1978)

Des politiques publiques européennes et nationales

1962 : Mise en place de la **PAC** : Productivisme et Protectionnisme
1962 : Politique des structures (Edgar Pisani ministre de l'agriculture)

1962 : Indemnité Viagère de Départ (IVD)
➔ entre 1962 et 1982, l'IVD a touché 645000 exploitants
et libéré 11,44 millions d'hectare (35% de la SAU)

1964 : mise en place d'une Surface Minimum d'Installation (SMI)

Rapports sociaux de production ne changent pas mais s'appliquent à une **échelle de production de plus en plus large**

Edgard Pisani , ministre de l'Agriculture,lors de l'inauguration du premier Salon de l'agriculture, en 1964. © AGIP / Bridgeman Images / RDA

Affiche française imprimée à l'occasion de la signature des traités de Rome, 1957.

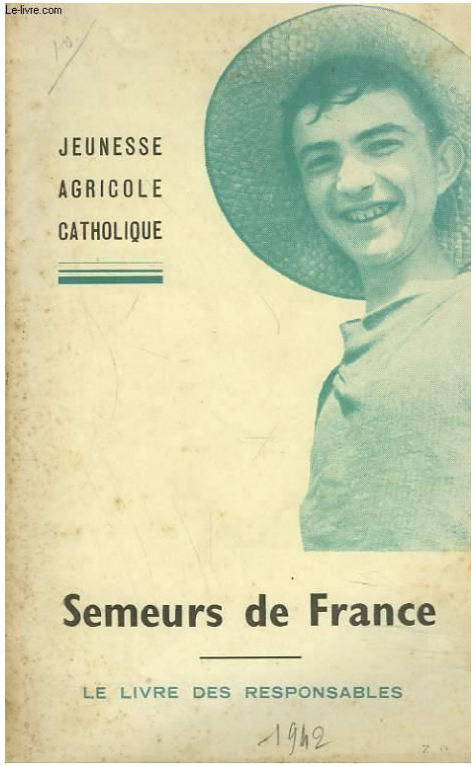
4. Flux et “*Agency*” (1946-1978)

… Relayées et portées localement par les organisations de la profession

Les Jeunesses Agricoles Catholiques (JAC) : « Voir, juger, agir »

Prolifération d’appareils d’encadrement et de développement de la modernisation technique agricole (CETA, Coopératives agricoles, Centres interprofessionnels, e.g., CNIEL)

➔ La force de ses appareils est qu’ils permettent aux « agriculteurs modernes » de **s’encadrer eux-mêmes.** Les contraintes qui leur sont ainsi imposées ne viennent pas d’un pouvoir extérieur, mais apparaissent comme l’**effet légitime d’une discipline collective.**



Michel Debatisse, secrétaire général de la JAC en 1956, secrétaire général du CNJA (1958-1963), secrétaire général puis président de la FNSEA (1966-1978)
https://www.ina.fr/ina-eclaire-actu/video/i12333344/michel-debatisse-a-propos-de-l-agriculture-de-groupe

4. Flux et *Agency* (1946-1978)

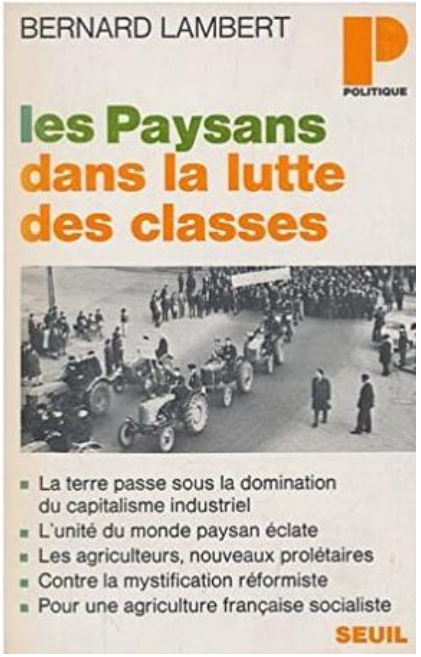
Une modernisation portée par la profession mais qui ne doit pas masquer des résistances

Avec Mai 68, naissance de mouvements paysans rouges

Marche du Larzac « *Jamais plus les paysans ne seront des Versaillais. C'est pourquoi nous sommes ici pour fêter le mariage des Lip et du Larzac*. » (Bernard Lambert)

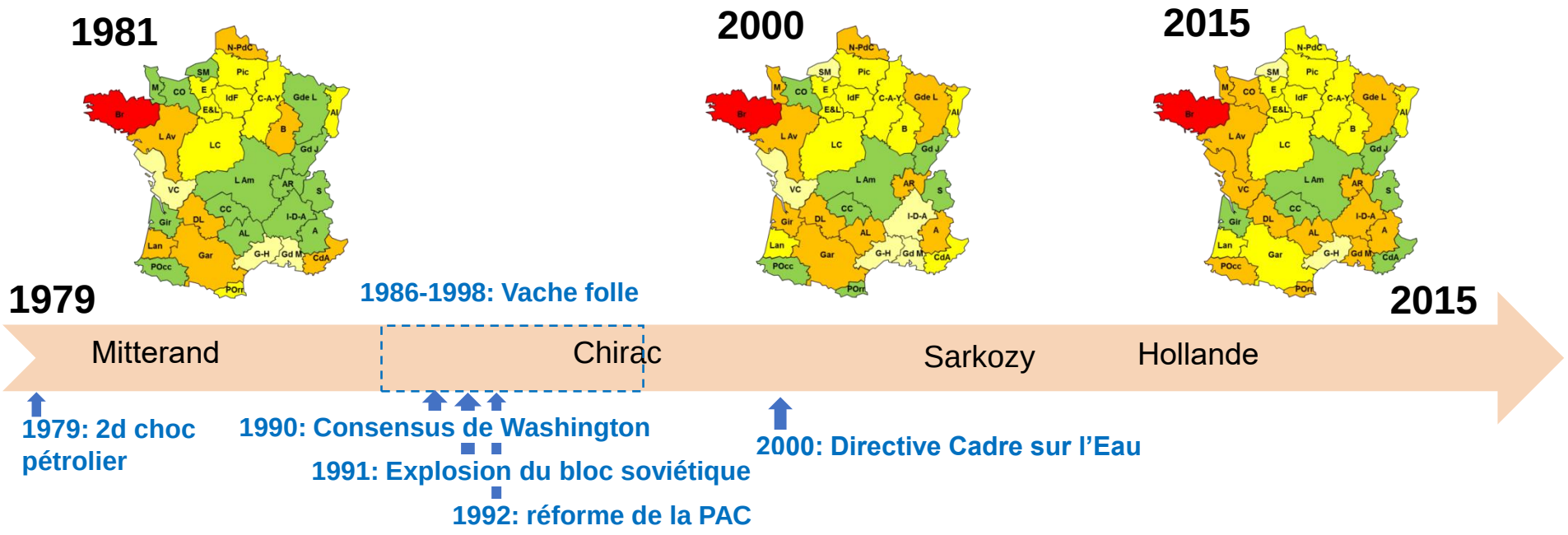
1981 : fondation de la Confédération nationale des syndicats de travailleurs paysans à l'origine de la Confédération paysanne

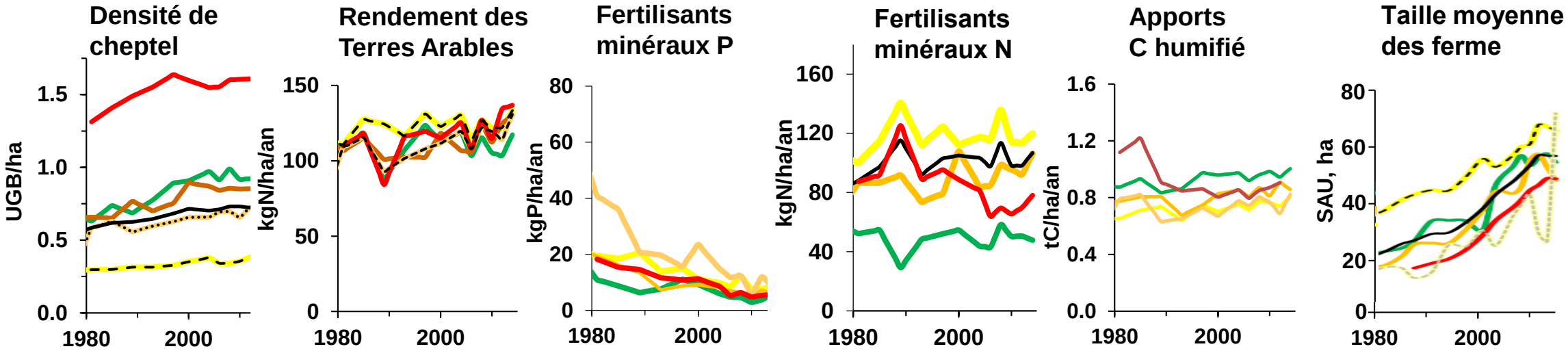
Meeting au Larzac, 1978
https://www.pointculture.be/magazine/articles/critique/marche-larzac-paris-christian-rouaud/



Bernard Lambert
https://blogs.mediapart.fr/cedric-lepine/blog/200817/bernard-lambert-pere-posthume-de-la-confederation-paysanne

4. Evolution des systèmes agricoles en France (1979-2015)





- Grandes Cultures spécialisées
- Polyculture-élevage herbager
- Polyculture-élevage fourrager
- Cultures intensives, élevage herbager
- Elevage intensif spécialisé

D'après Le Noë et al., (2018). *Agric. Ecosys. Environ*

4. Flux et Pouvoir (1979-2015)

Nouvelle ère géo-politique, nouvelle ère agricole?

1986-1994 : Le Cycle d'Uruguay sur les négociations du commerce multilatéral (vise à abaisser les barrières douanières), a eu un effet particulièrement important pour le soja dans l'agriculture

Depuis 1992 : virage néo-libéral-vert de la PAC

… Et c'est encore le cas de la nouvelle PAC qui vient de sortir

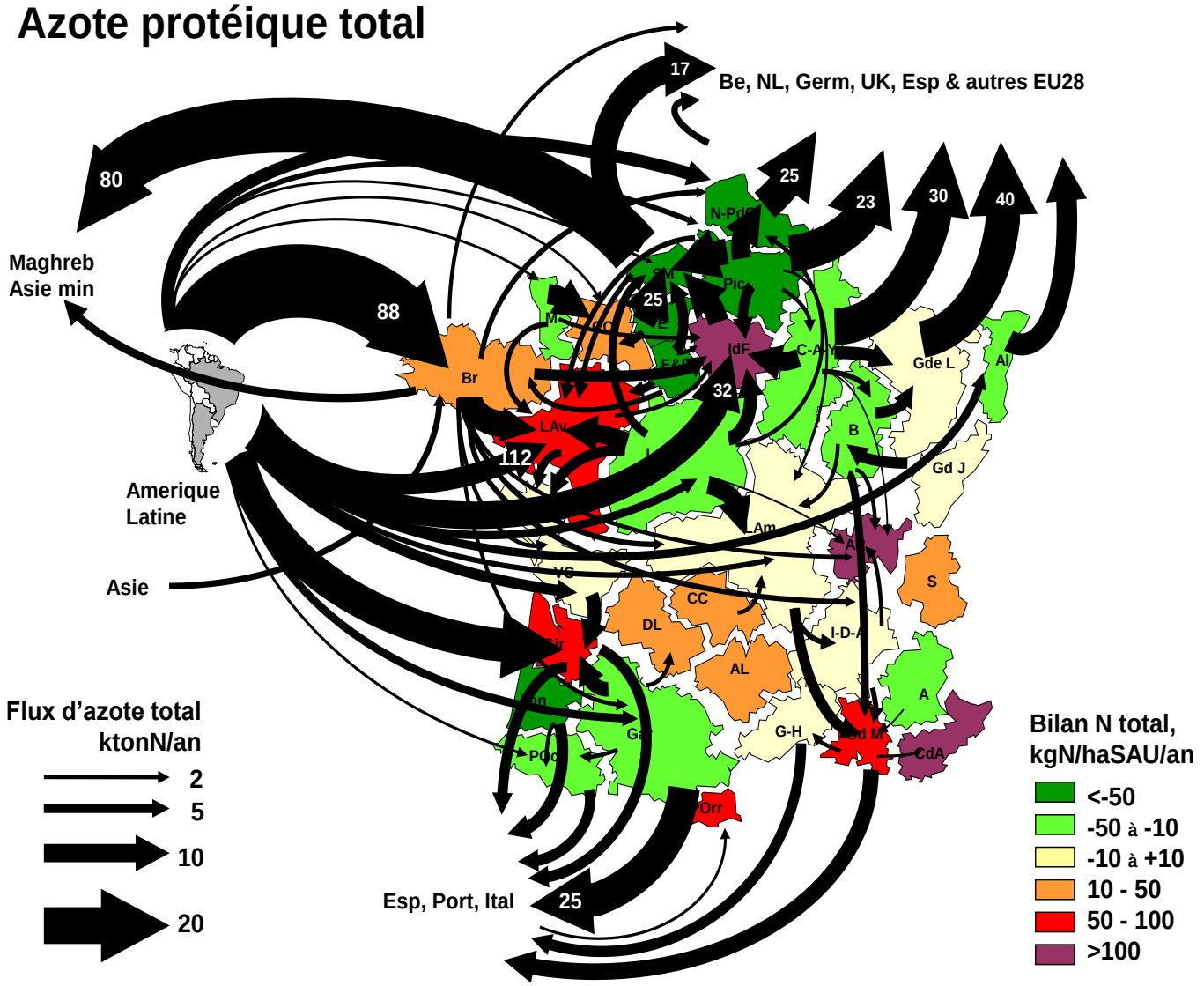
Cette nouvelle donne internationale conduit à l'intégration de l'agriculture sur les marchés mondiaux et la **poursuite de la spécialisation**

HaropaPort, un nouvel établissement public rassemblant sous une même entité juridique les ports du Havre de Rouen et de Paris. https://www.haropaport.com/fr/havre/conteneurs-et-conteneurs-reefers

4. Flux et Pouvoir (1979-2015)

Conséquence sur l'ouverture du cycle de l'azote

Azote protéique total

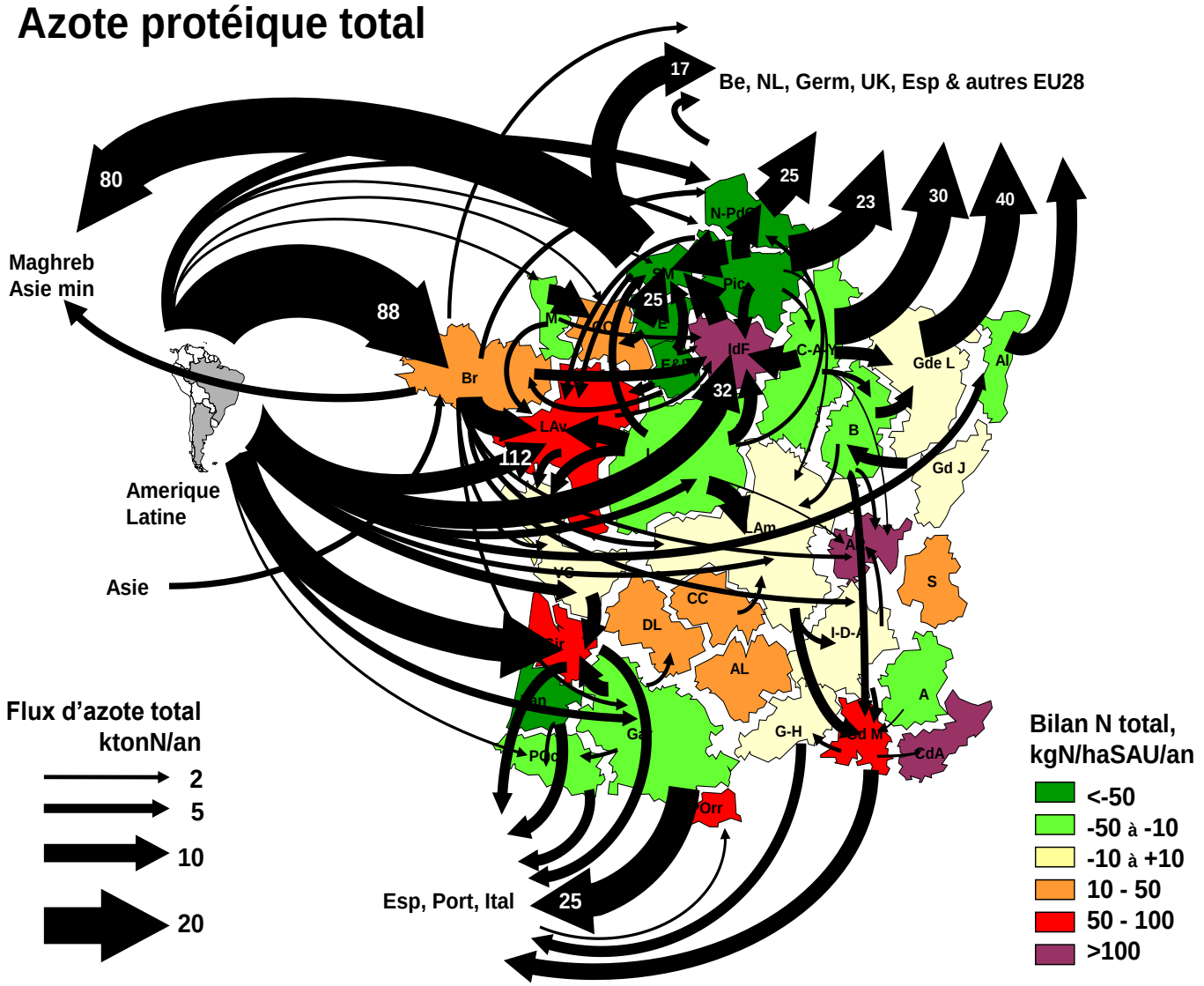


Le Noë et al., 2016. *Cah. Agri.*

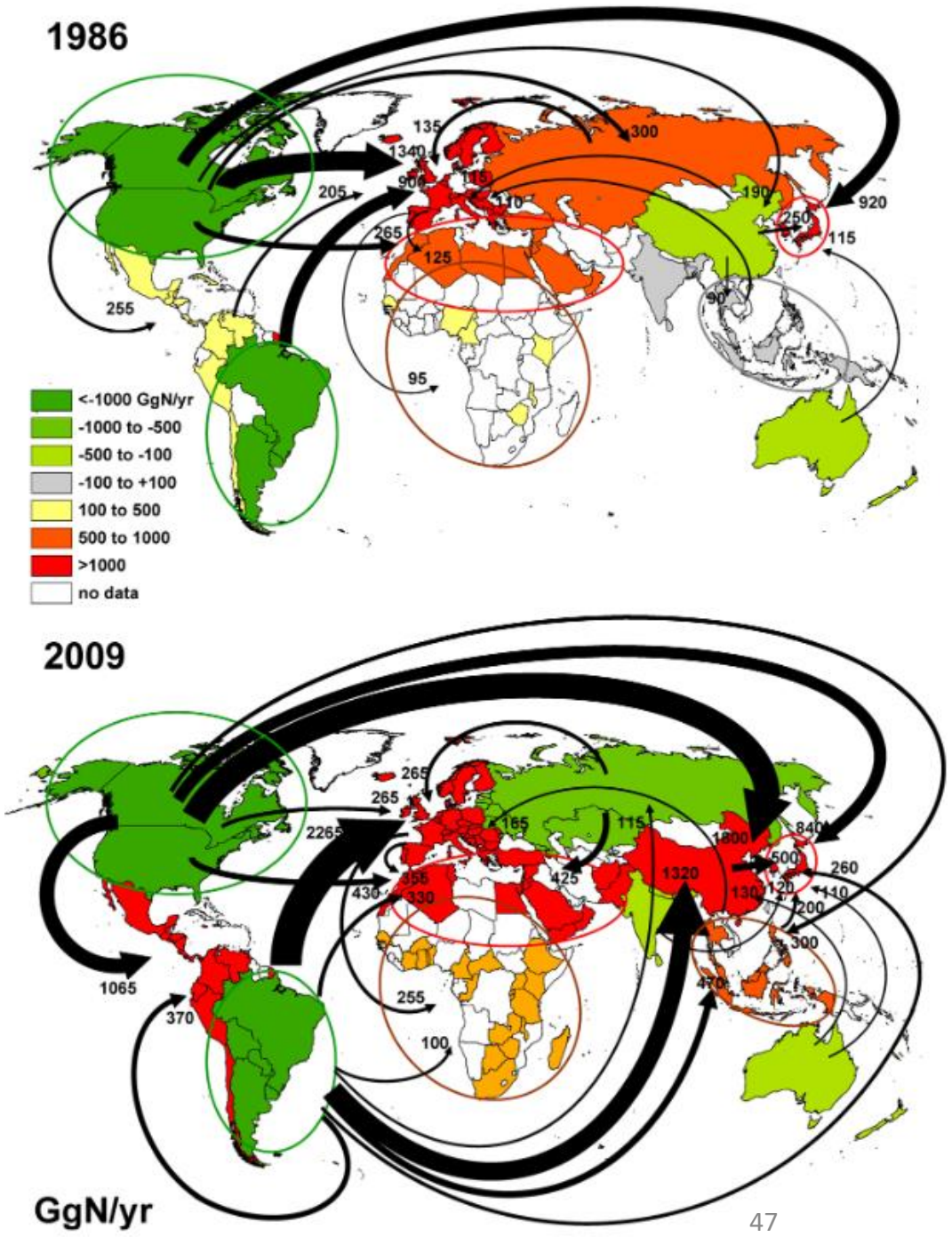
4. Flux et Pouvoir (1979-2015)

Conséquence sur l'ouverture du cycle de l'azote

Azote protéique total



Le Noë et al., 2016. *Cah. Agri.*



Lassaletta et al., 2014. *Biogeochem.*

4. Flux et Pouvoir (1979-2015)

L’agriculture française à l’ère du Néo-libéralisme

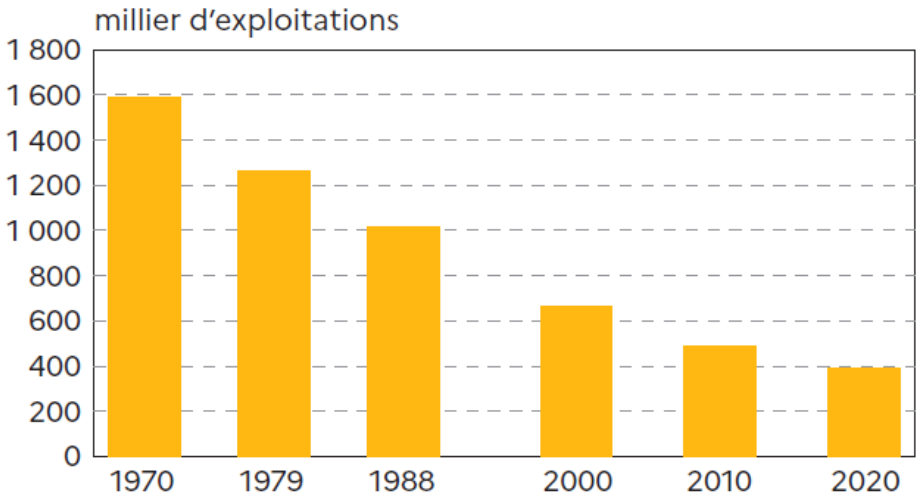
Diminution du nombre total d’exploitation

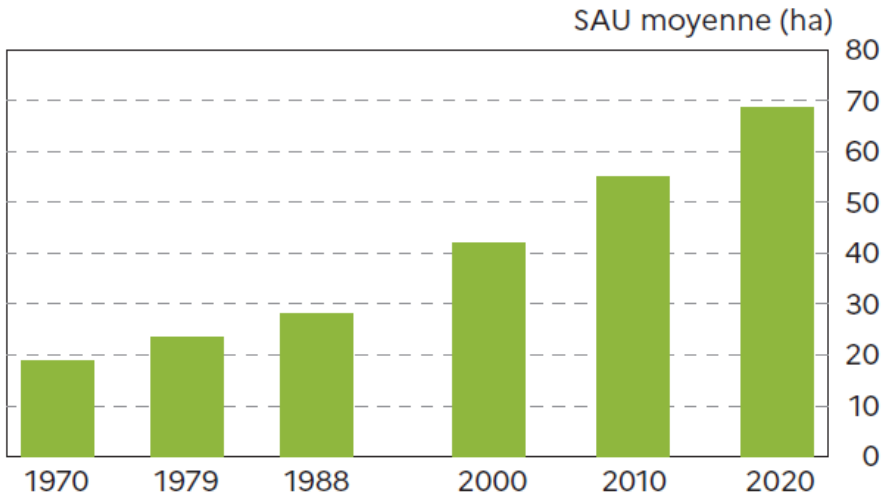
Augmentation de la taille moyenne des exploitations et du nombre de grandes exploitations

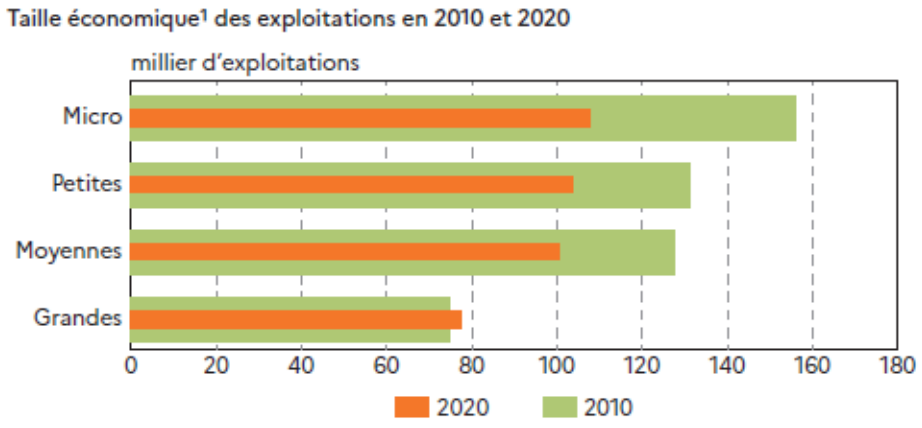
Augmentation de la part du salariat ‘non familial’ sur les exploitations

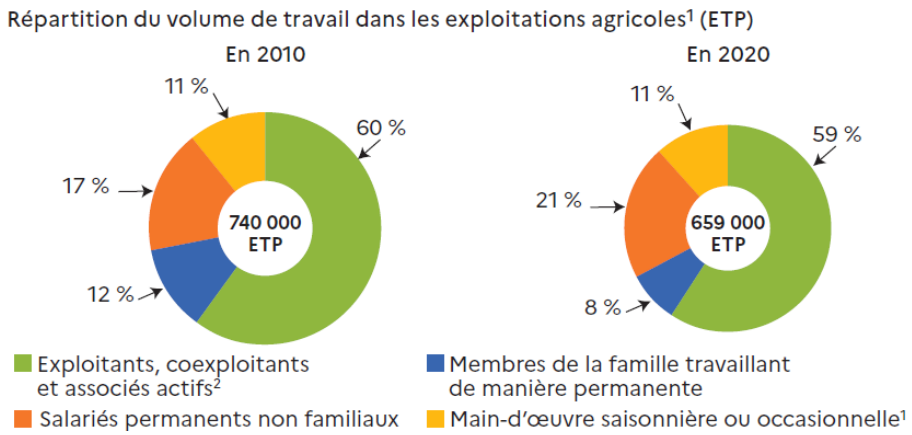
Progrès de la Bio : vers une agriculture duale

➔ L’agriculture absorbée par les marchés tendrait-t-elle vers un mode de production plus capitaliste?









AGRESTE, Recensement Agricole de 2020

4. Flux et *Agency* (1979-2015)

Les contestations citoyennes et agricoles

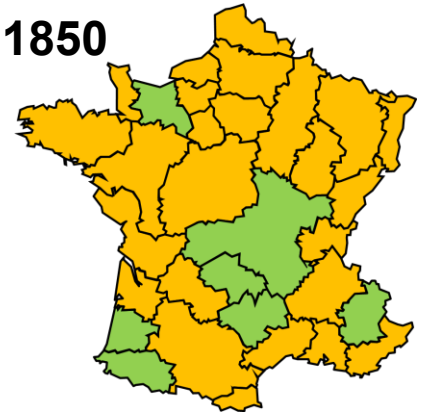
Affiche de la Confédération Paysanne Nouvelle Aquitaine (2021)
https://alpc.confederationpaysanne.fr/

Des manifestant.e.s L214
https://www.franceculture.fr/societe/l214-des-videos-choc-pour-en-finir-avec-la-viande-heureuse

Un projet de sécurité sociale alimentaire ?
https://www.reseau-salariat.info/dossiers/38927ffccbfa76323dfb0fa7afe77057/

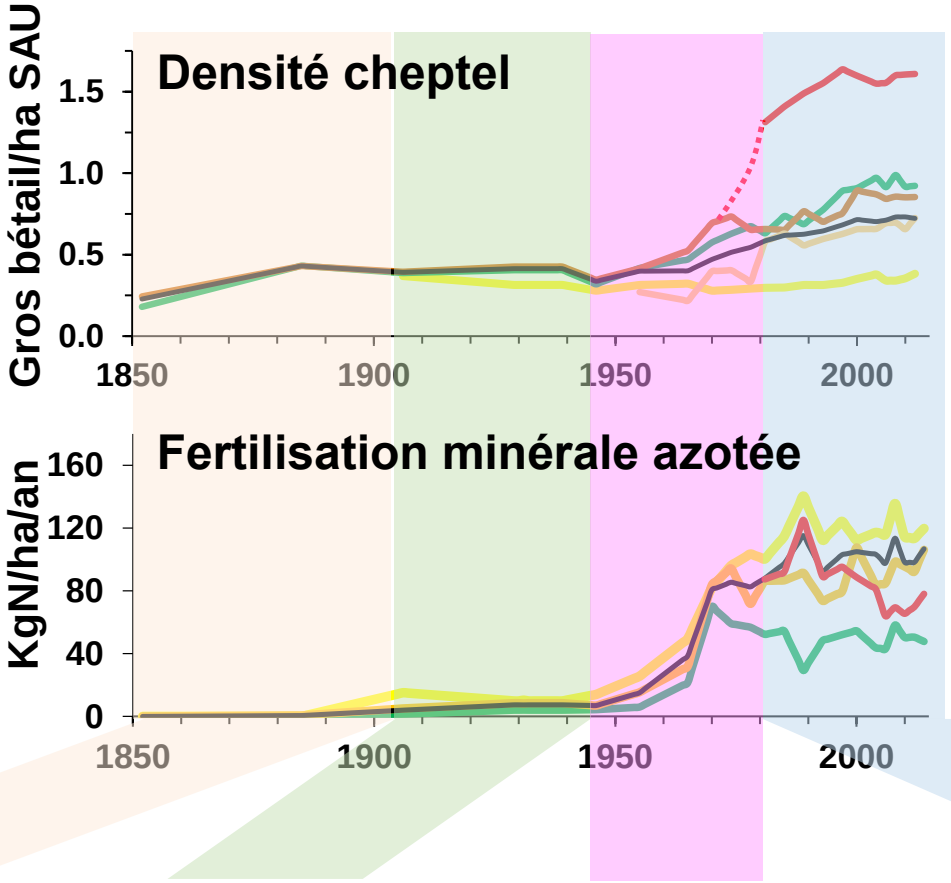
Résumé : périodisation biogéochimiques des trajectoires agricoles

1850

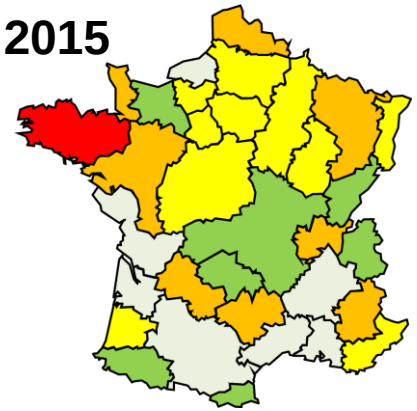


Types de systèmes agricoles

- Polyculture-élevage herbager
- Polyculture-élevage fourrager



2015



Types de systèmes agricoles

- Grandes cultures spécialisées
- Culture intensive/ élevage herbager
- Polyculture-élevage herbager
- Polyculture-élevage fourrager
- Élevage intensif spécialisé
- Moyenne nationale

Polyculture-élevage généralisée

Timide début de la spécialisation

La ‘grande accélération’ : spécialisation et ouverture

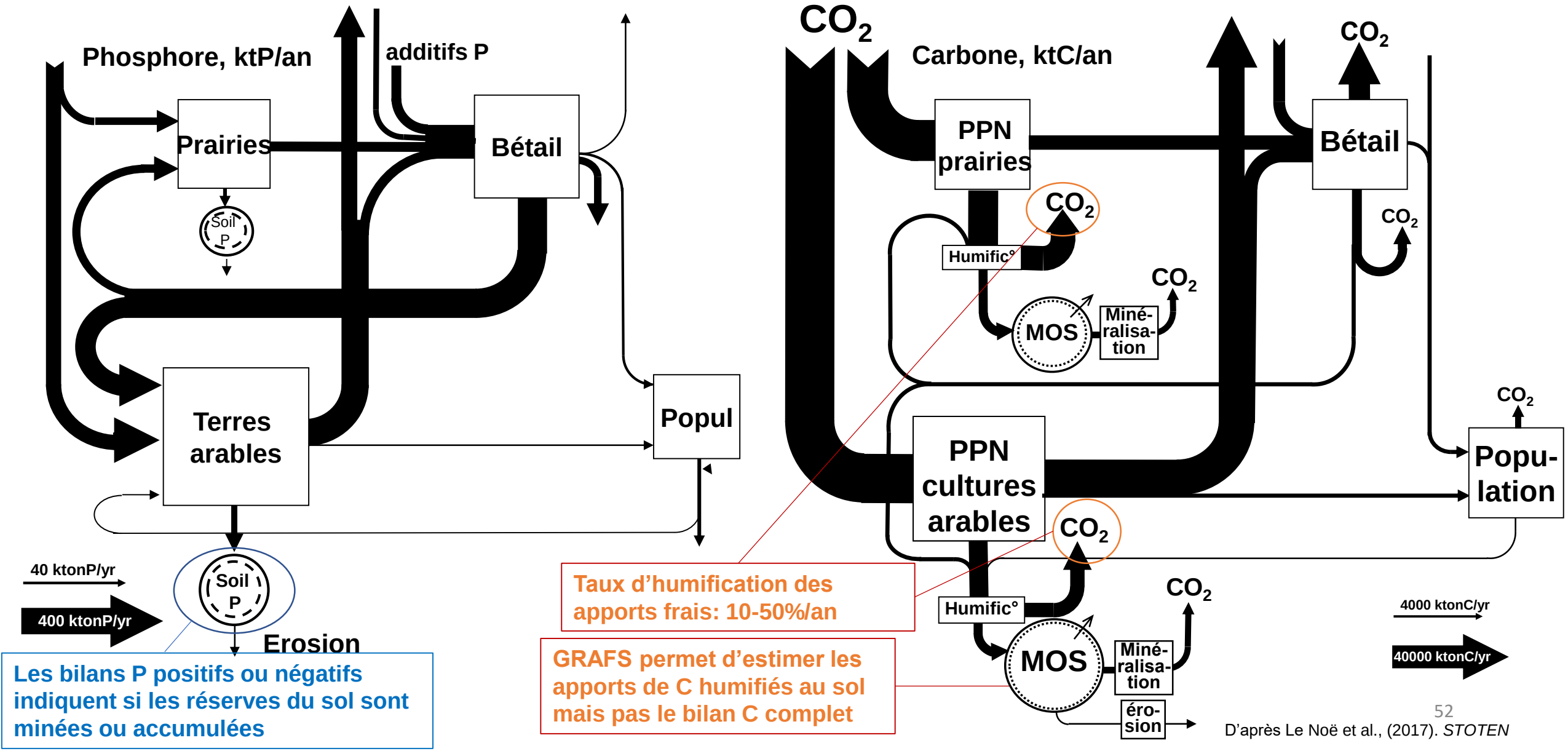
Agriculture ‘raisonnée’ et spécialisation de l’élevage

D’après Le Noë et al., (2018). *Agric. Ecosys. Environ*

Merci de votre attention

GRAFS : une perspective biogéochimique sur les systèmes agro-alimentaires

France, 2006



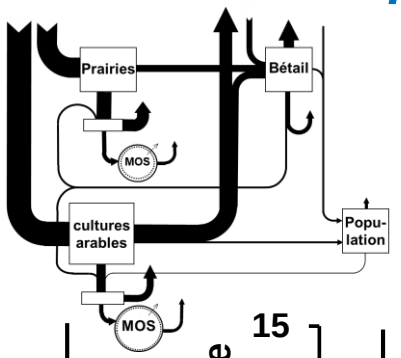
Taux d'humification des apports frais: 10-50%/an

GRAFS permet d'estimer les apports de C humifiés au sol mais pas le bilan C complet

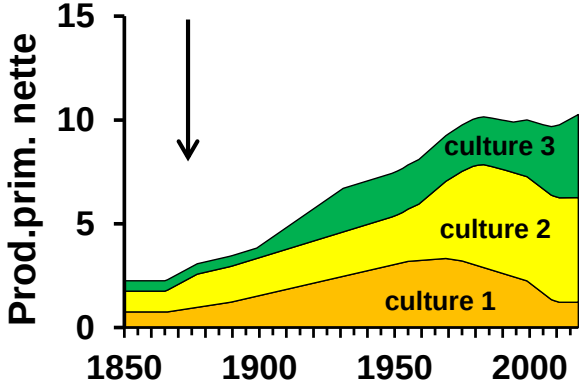
Les bilans P positifs ou négatifs indiquent si les réserves du sol sont minées ou accumulées

D'après Le Noë et al., (2017). *STOTEN*

Couplage GRAFS et AMG pour estimer le bilan C

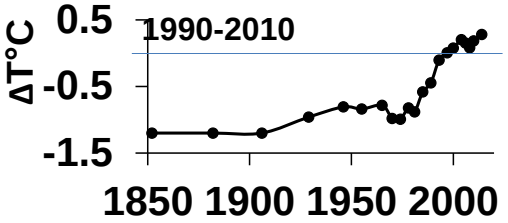


GRAFS 1852-2014

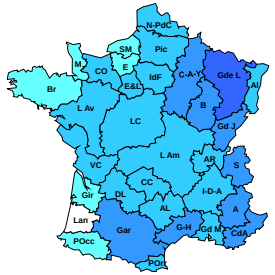


Modèle AMG,
Clivot et al., 2019
Saffih-Hdadi & Mary, 2008

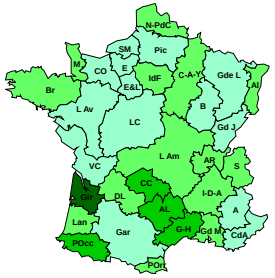
Climat



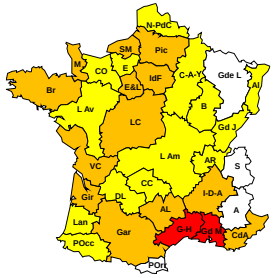
Pédologie



% Argile
10 20 30 40



C/N
8 10 12 14



Temp. moy, °C
7 11 15 19

Fumier, lisier et boues d'épuration

Coeff. d'humification par type d'apport

*k= ko*f(%arg)*f(CaCO3)*f(pH)*f(C/N)*f(humidité)*f(t°C)*

Apport Corg → **Humi-fication** → CO_2 + **Corg labile** → **minéra-lisation** → CO_2

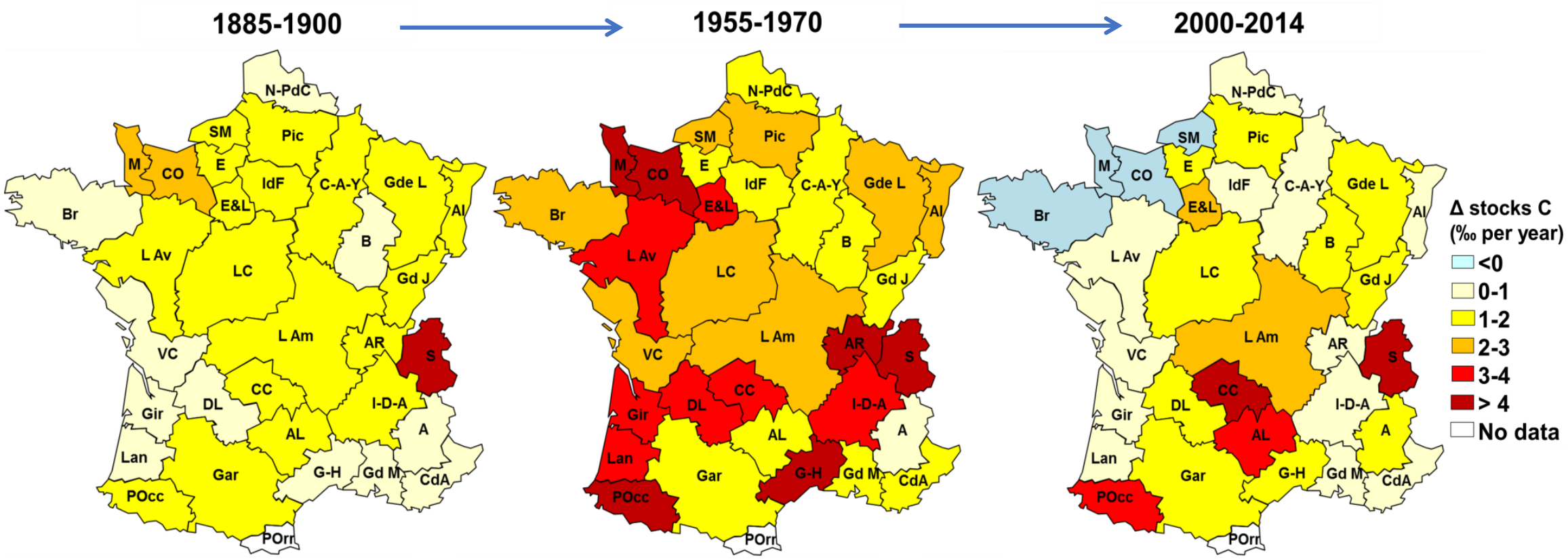
Corg inerte

Initialisation par spin-up de 130 ans

Calibration sur teneurs observées actuellement (RMQS, Infosol)

Extrait de Le Noë et al., 2019. *Env. Sci & Pol.*

Taux de séquestration du carbone organique à l'échelle territoriale pour 3 périodes distinctes

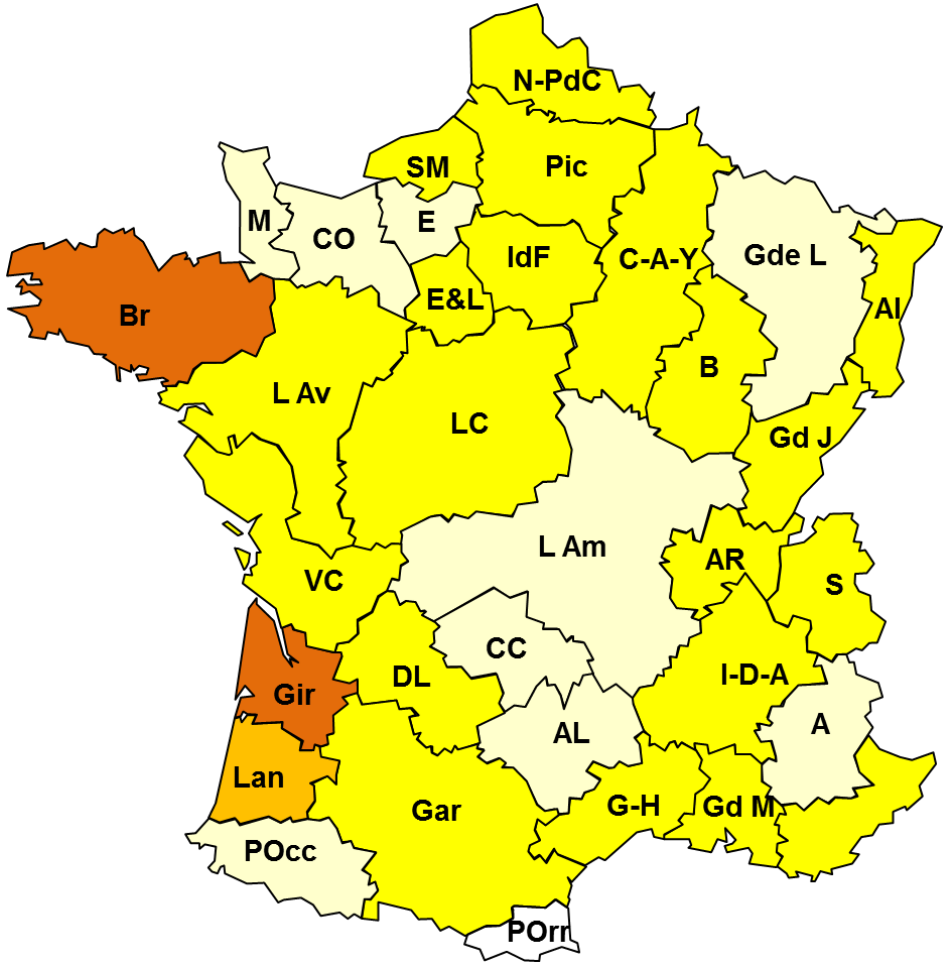


D'après Le Noë et al., (2019). *Env. Sci & Pol.*

Sur la période 2000-2015, le taux de stockage du C dans les terres arables au niveau national est estimé autour de **1 ‰ des stocks de C (> 30 cm)**

D'après Le Noë et al., (2019). *Env. Sci & Pol.*

Bilan carbone de la production arable en France (1995-2015)



Bilan C
kgC/ha SAU/an

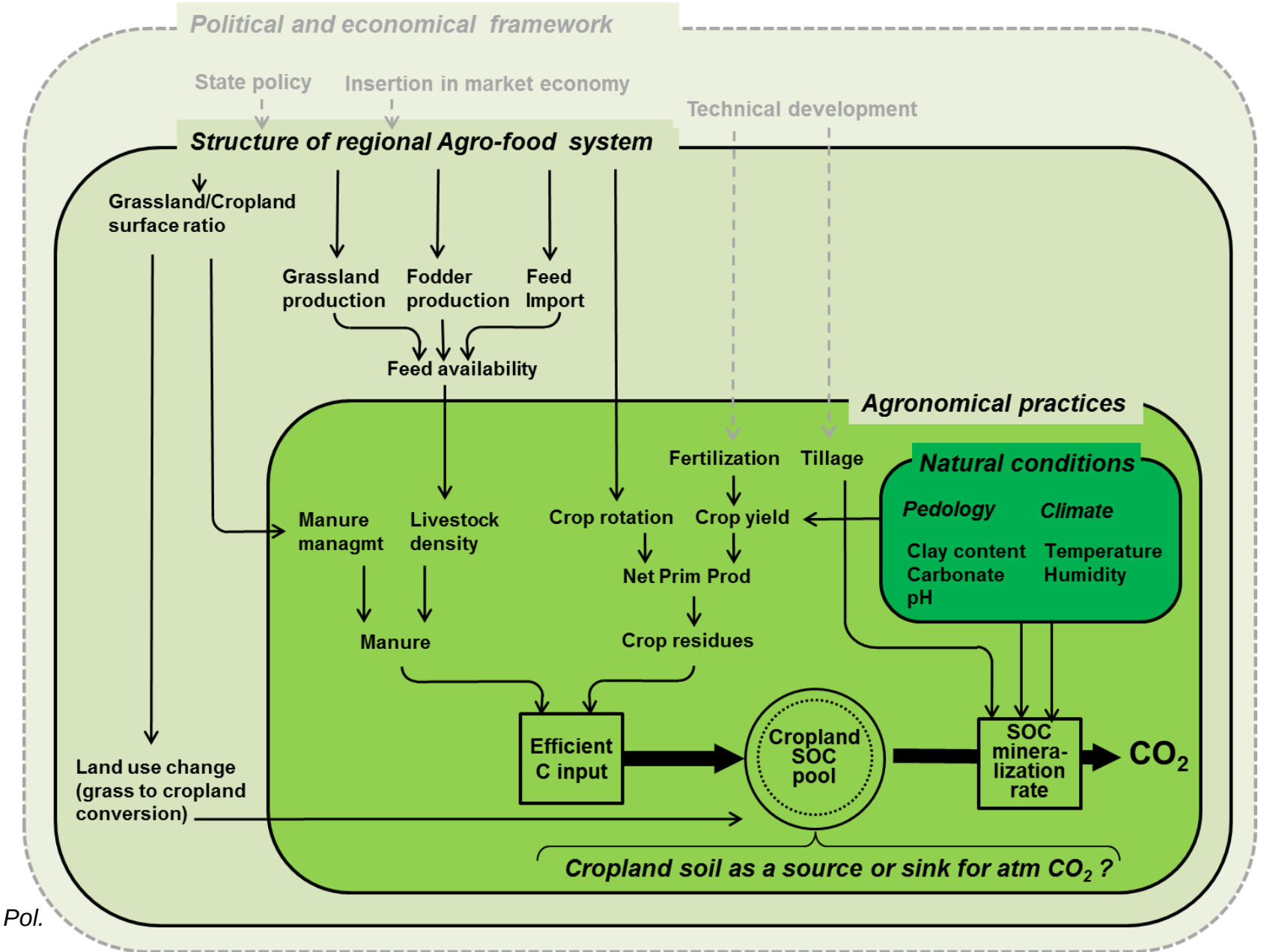
- > - 200
- - 200 to - 400
- - 400 to - 600
- - 600 to - 800
- - 800 to - 1000
- > - 1000

Période de 1995 à 2015	MtC/an
Séquestration du C dans les sols arables (0-30 cm)	**1.7**
Émission de CO_2 par la consommation d'énergie pour la production arable (motorisation + production des fertilisants)	**- 5.2** Doublet, 2011
Bilan total	**-4.2**

"*A fossil-fuel-powered carbon sink*"
Ou puits de carbone induit par des énergies fossiles
(Gingrich *et al*, 2007; Erb *et al*, 2007)

D'après Le Noë et al., (2019). *Env. Sci & Pol.*

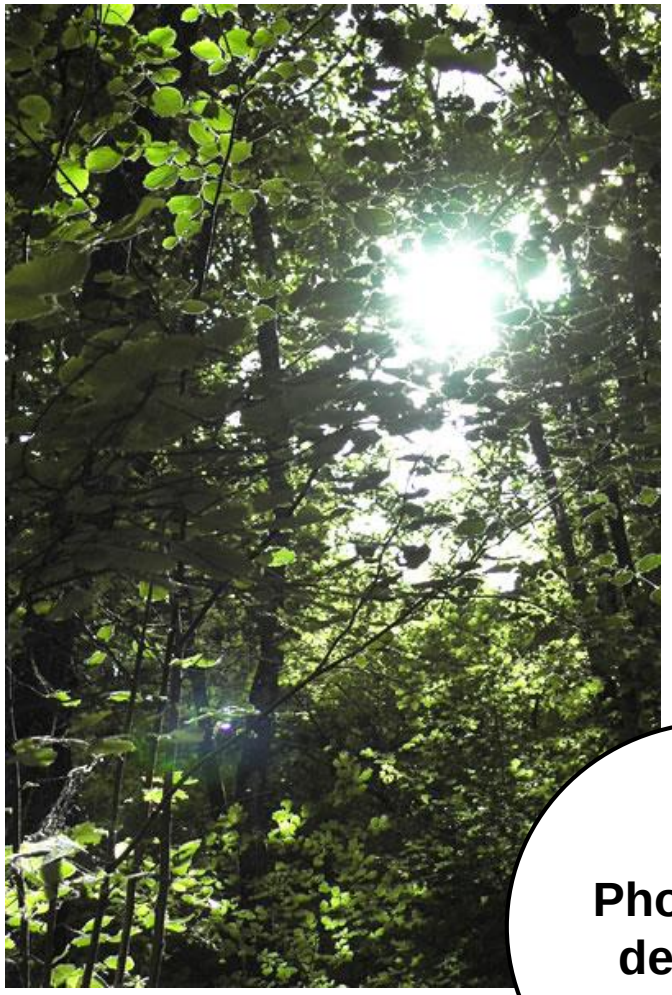
Résumé : Chaîne de causalité des déterminismes impliqués dans la dynamique des stocks de C des terres arable

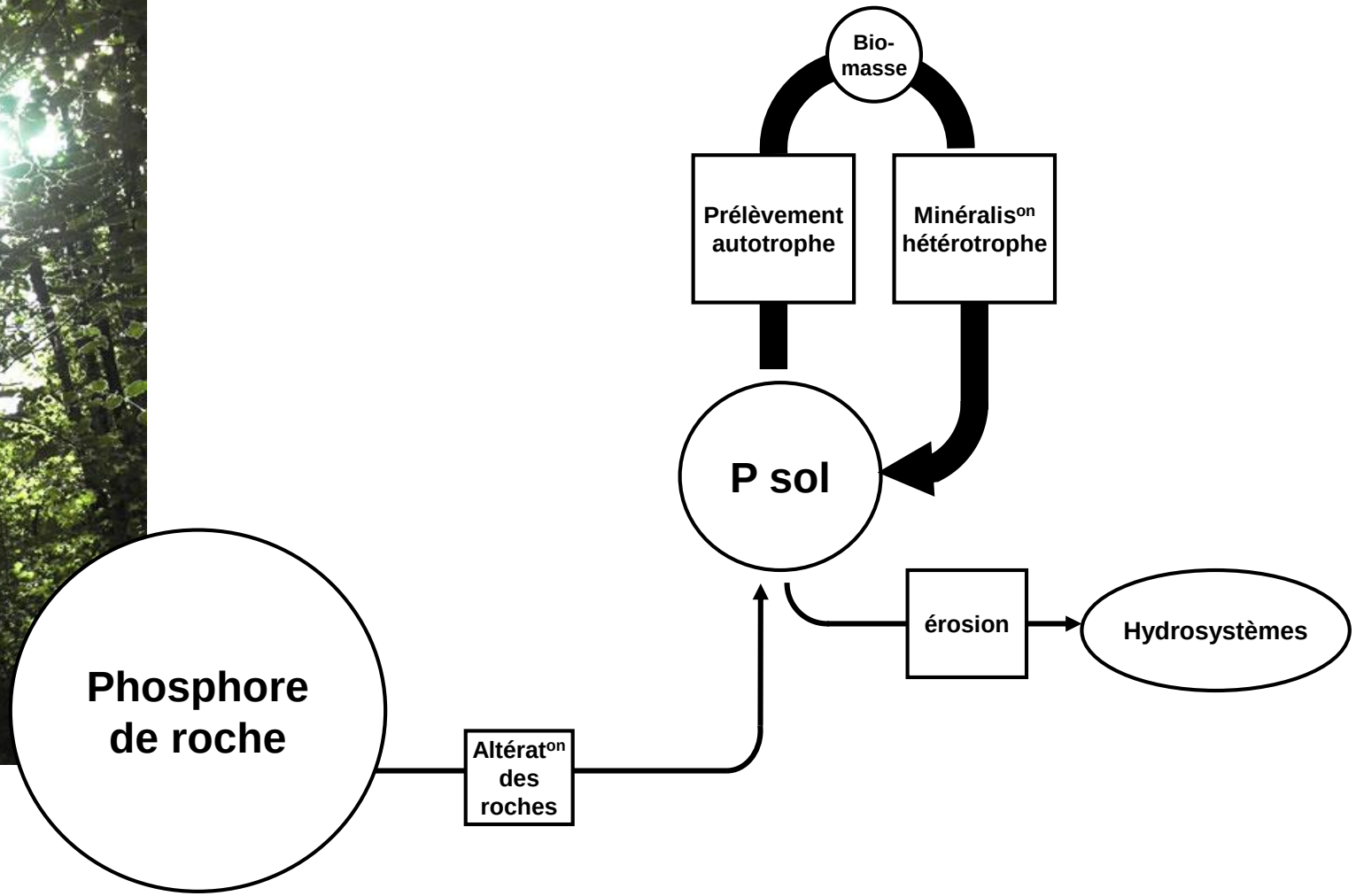


Le Noë et al., (2019). *Env. Sci & Pol.*

Le cycle du phosphore

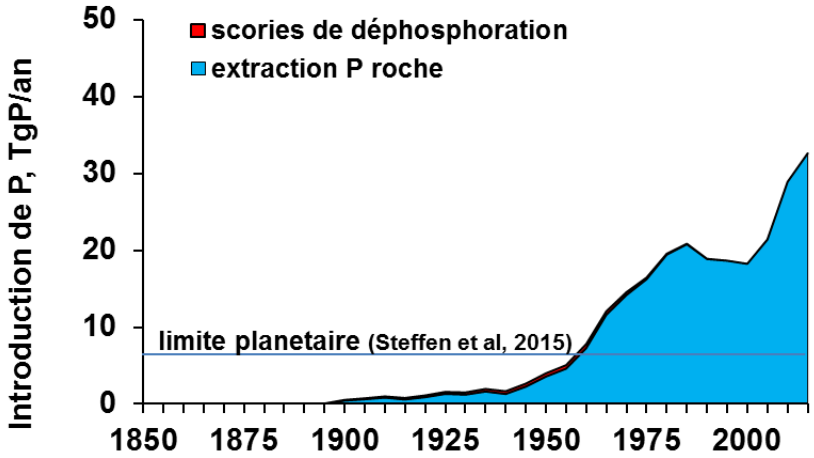
Le Phosphore, indispensable à la croissance des plantes, fonctionne en cycle fermé dans les systèmes naturels.



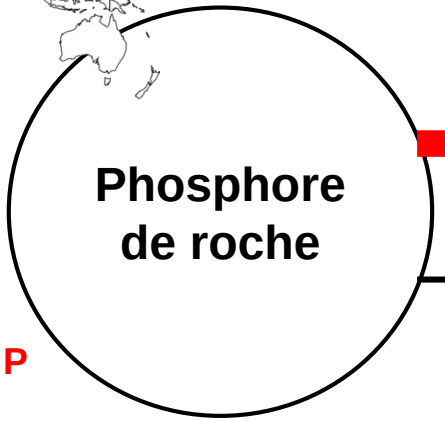


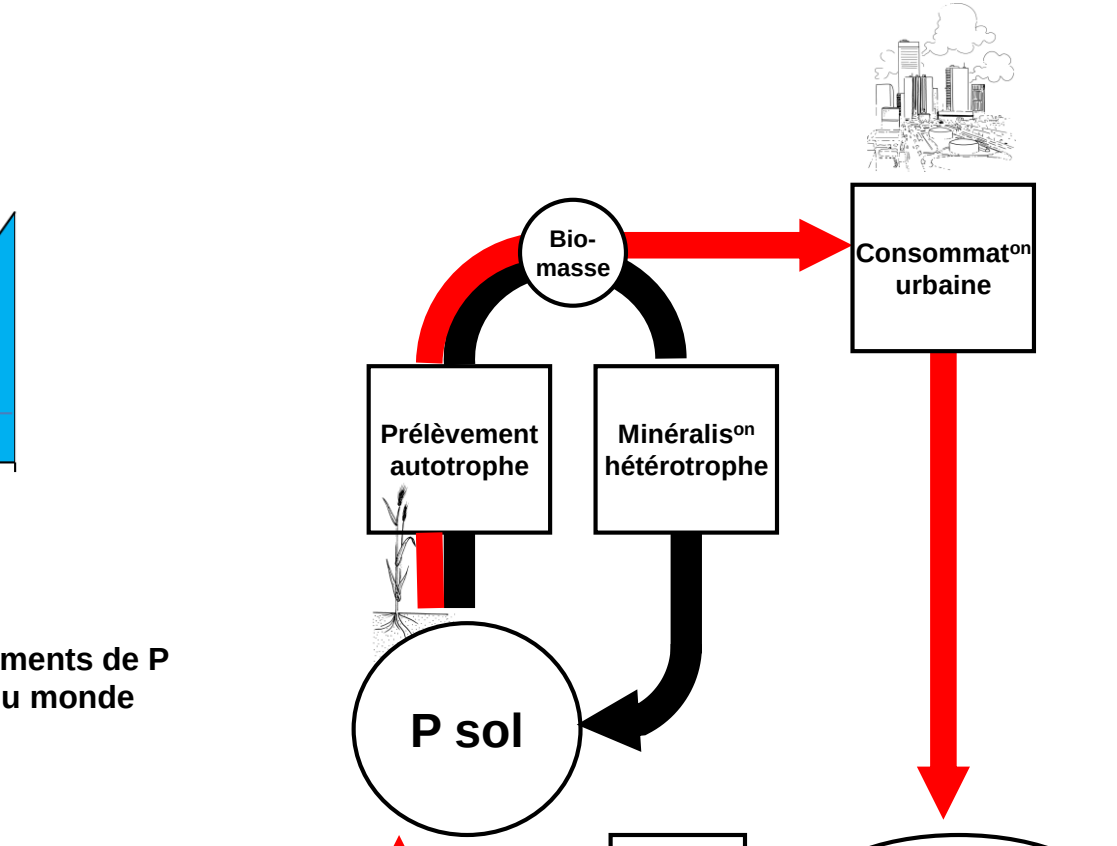
Le cycle du phosphore et sa perturbation par l'agriculture

L'ouverture du cycle du phosphore est cause d'eutrophisation des hydrosystèmes.
C'est un élément non renouvelable très inégalement réparti dans le monde.



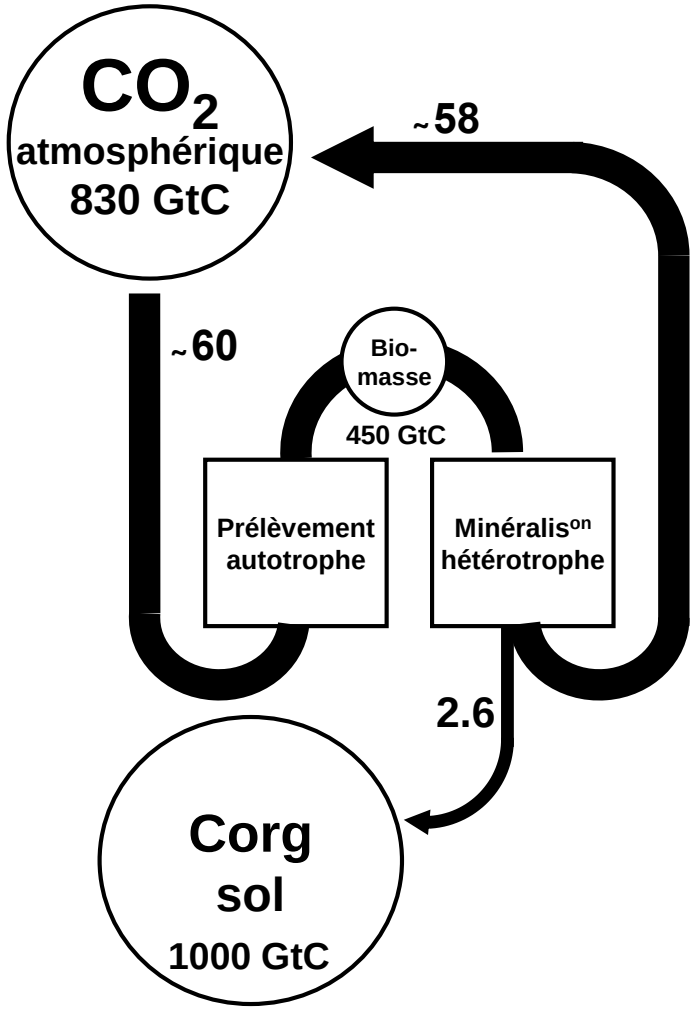
85 % des gisements de P dans 3 pays du monde





1850 : Découverte premiers gisements P

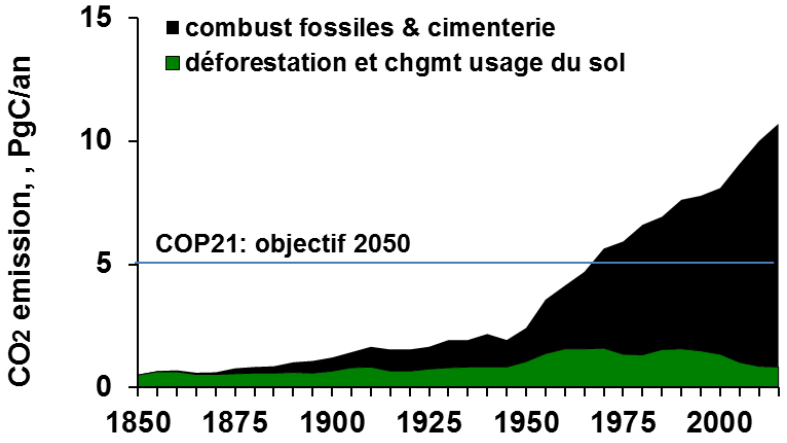
Le cycle du carbone

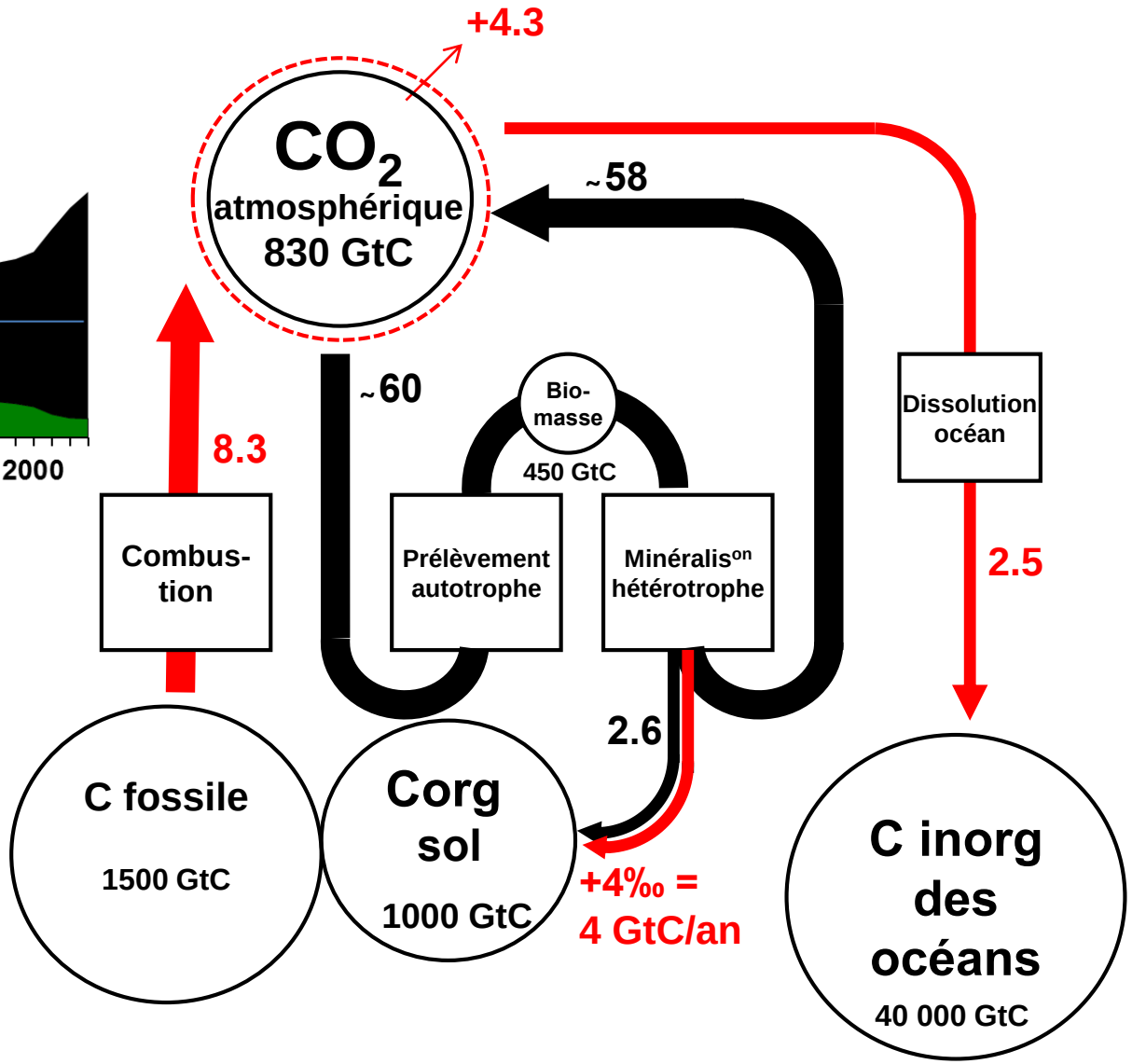


Flux globaux en GtC/an

LeQuéré et al (2013)
GIEC (2014)

Le cycle du carbone et son altération par les émissions de CO_2





Flux globaux en GtC/an

LeQuéré et al (2013)
GIEC (2014)