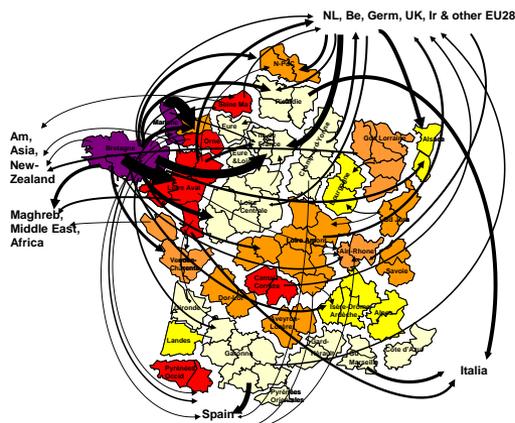


Flux d'azote à l'échelle du territoire

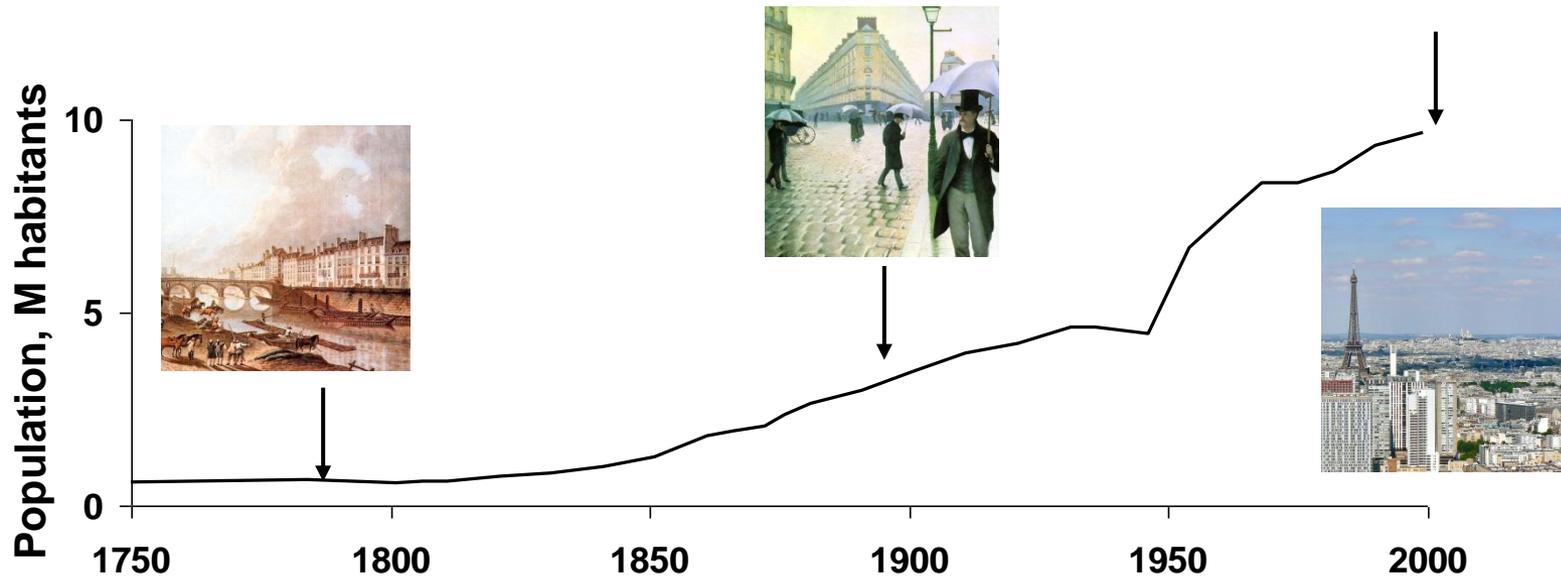
Reconnexion agriculture-élevage comme levier de réduction des pertes environnementales d'azote: l'exemple du bassin parisien

Gilles BILLEN, Josette GARNIER, Luis LASSALETTA, Juliette ANGLADE
UMR Metis, CNRS/UPMC Paris



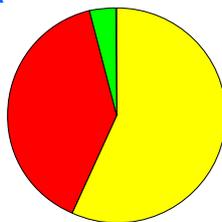
1. Point de départ: Quel territoire nourrit Paris?

Population et consommation alimentaire de l'agglomération parisienne depuis 2 siècles



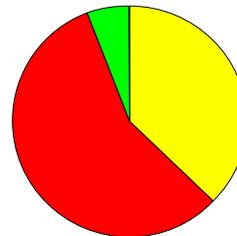
Les protéines (l'azote) comme unité commune pour quantifier la consommation alimentaire

1786
700 000 hab



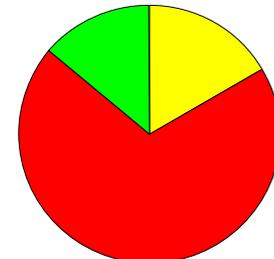
5.4 kgN/hab/an

1896
3 715 000 hab



7 kgN/hab/an

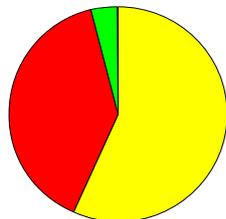
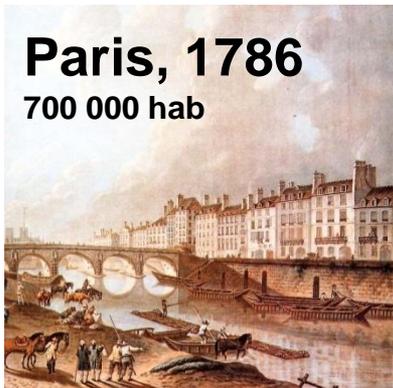
2006
11 532 000 hab



8 kgN/hab/an

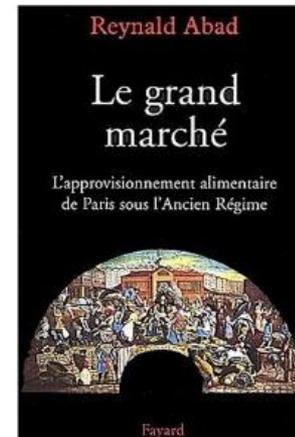
Paris, 1786

700 000 hab

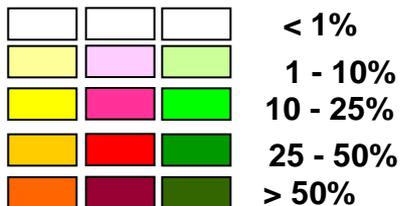


- céréales
- prdts animaux
- fruits & légumes

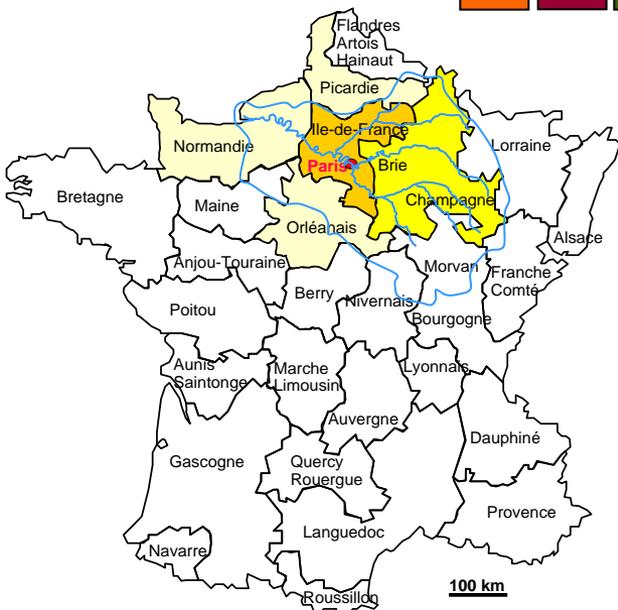
5.4 kgN/hab/an



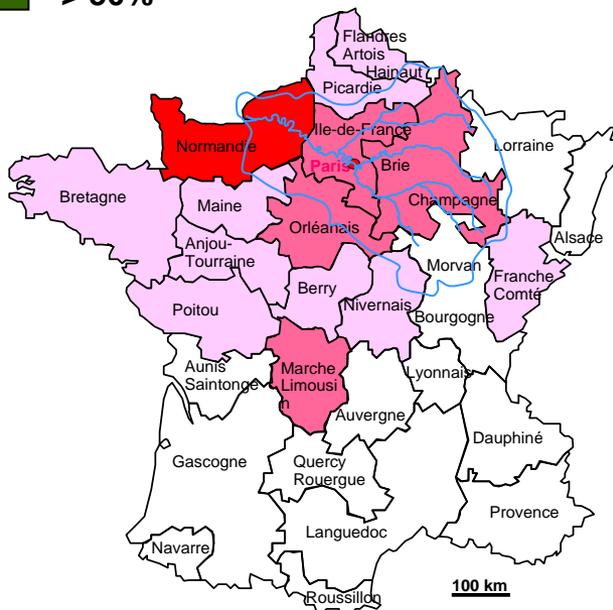
Contribution à l'approvisionnement de Paris (%)



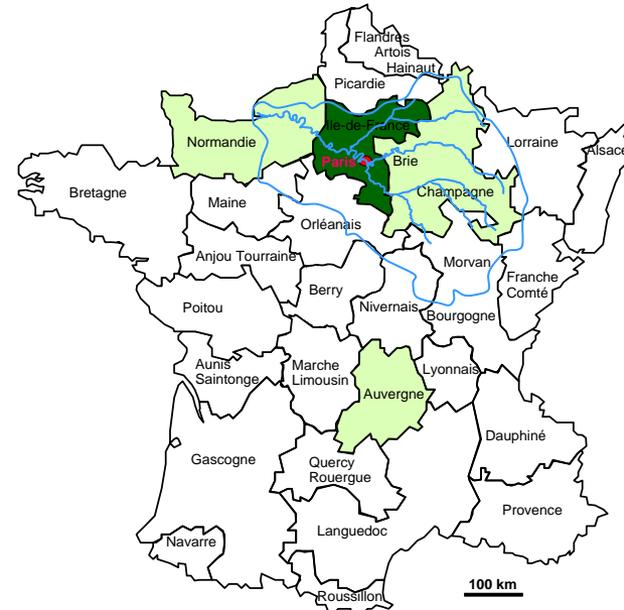
Le bassin de la Seine (75000 km²) couvre l'essentiel des besoins alimentaires de Paris à la fin du XVIII^e s



Céréales

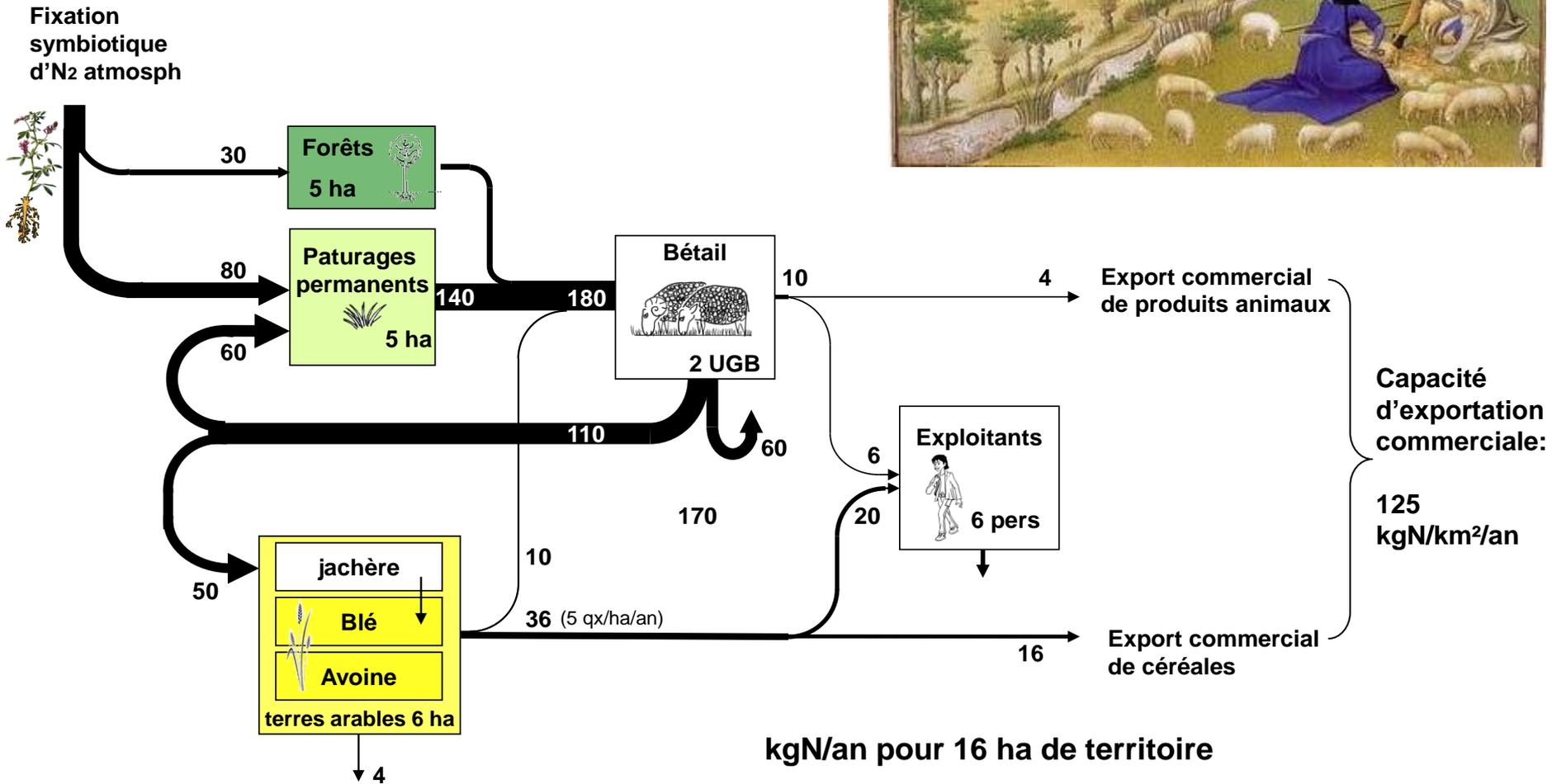


Produits animaux



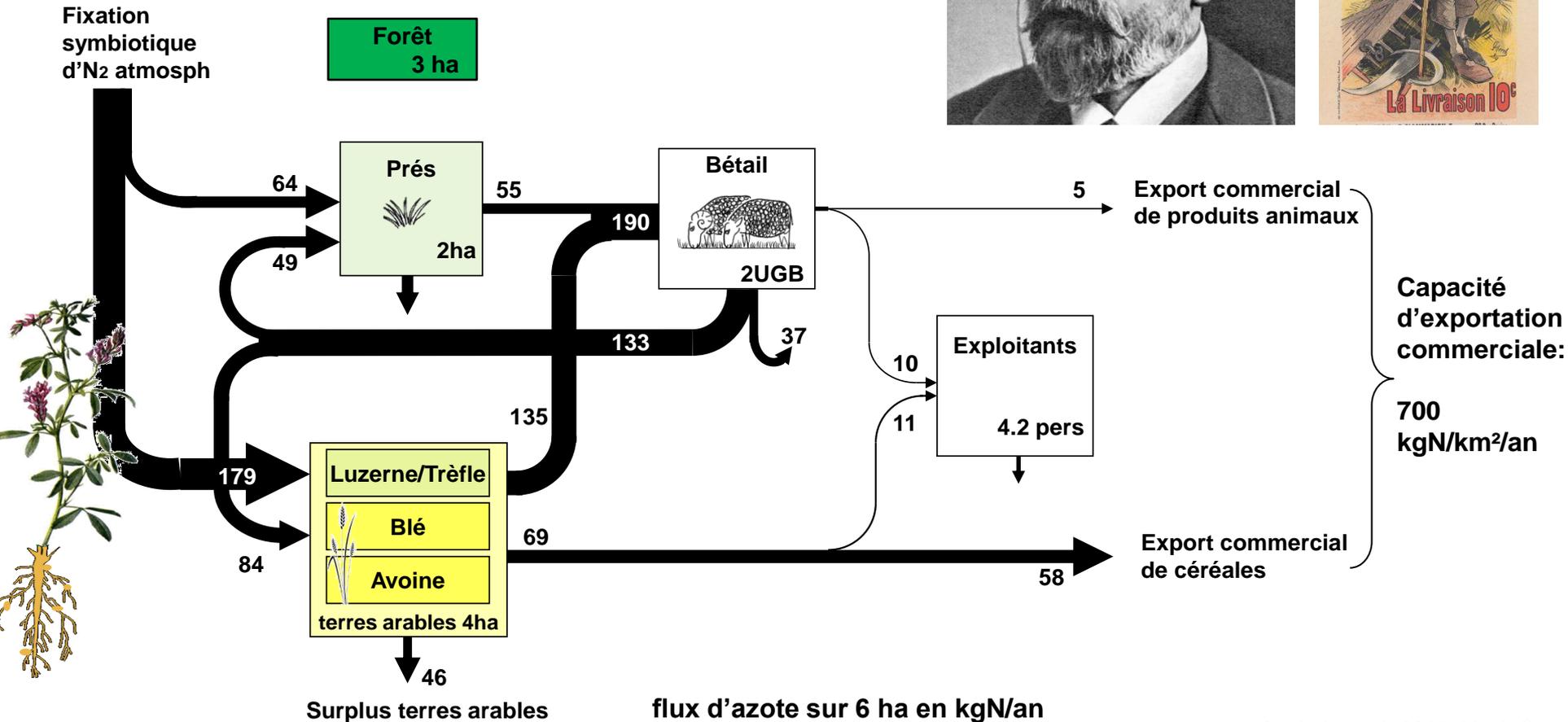
Fruits & légumes

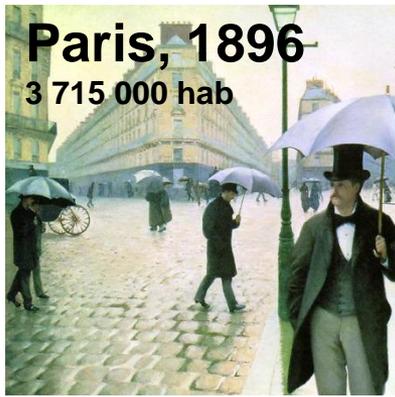
Polyculture-Elevage à assolement triennal de l'Europe occidentale (depuis le XIIIe siècle)



Polyculture-Elevage à assolement triennal sans jachère (dès le XIXe siècle)

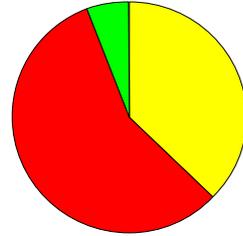
Ferme des Butau (6 ha)



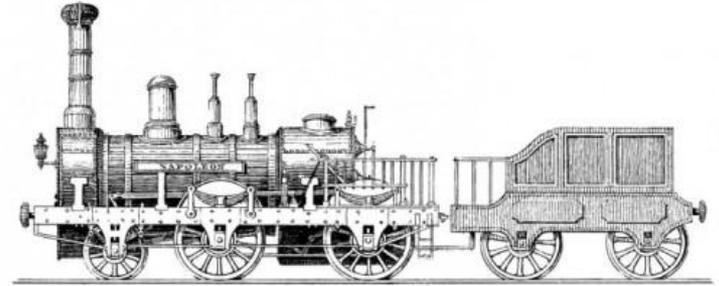


Paris, 1896

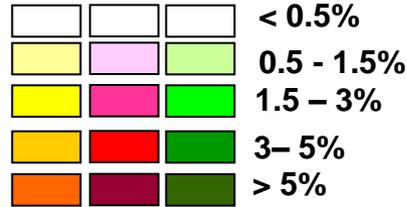
3 715 000 hab



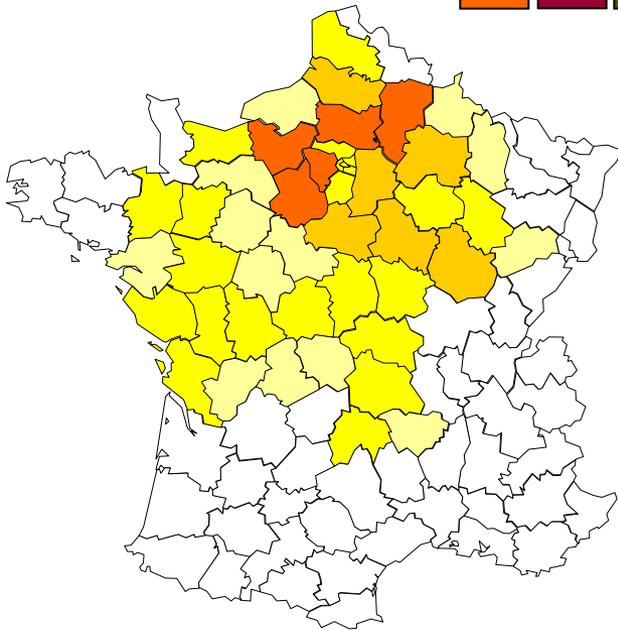
7 kgN/hab/an



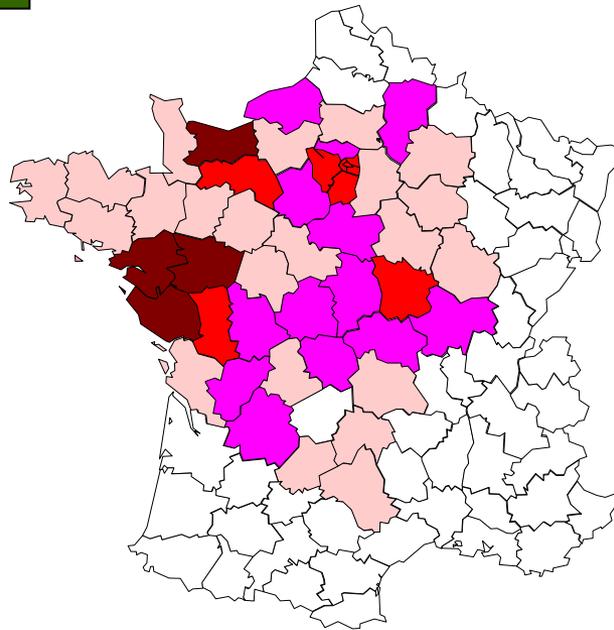
Contribution à l'approvisionnement de Paris (%)



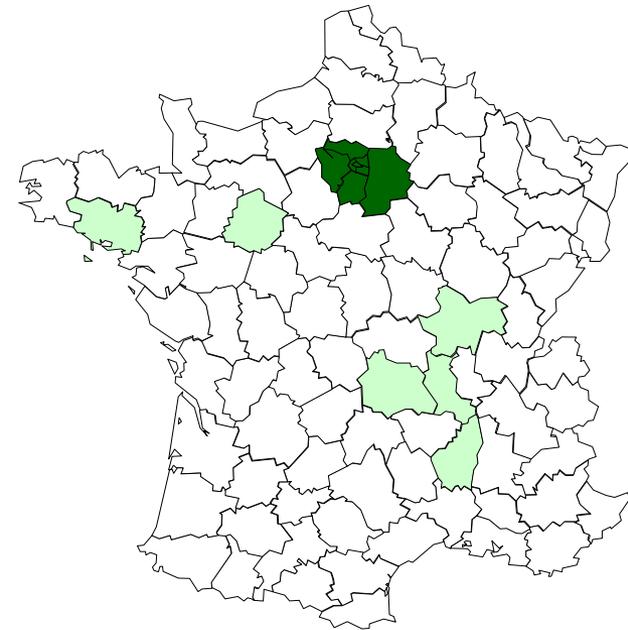
Malgré le décuplement de la demande alimentaire urbaine et le développement des transports, l'aire d'approvisionnement de Paris reste centrée sur le bassin parisien.



Céréales



Produits animaux

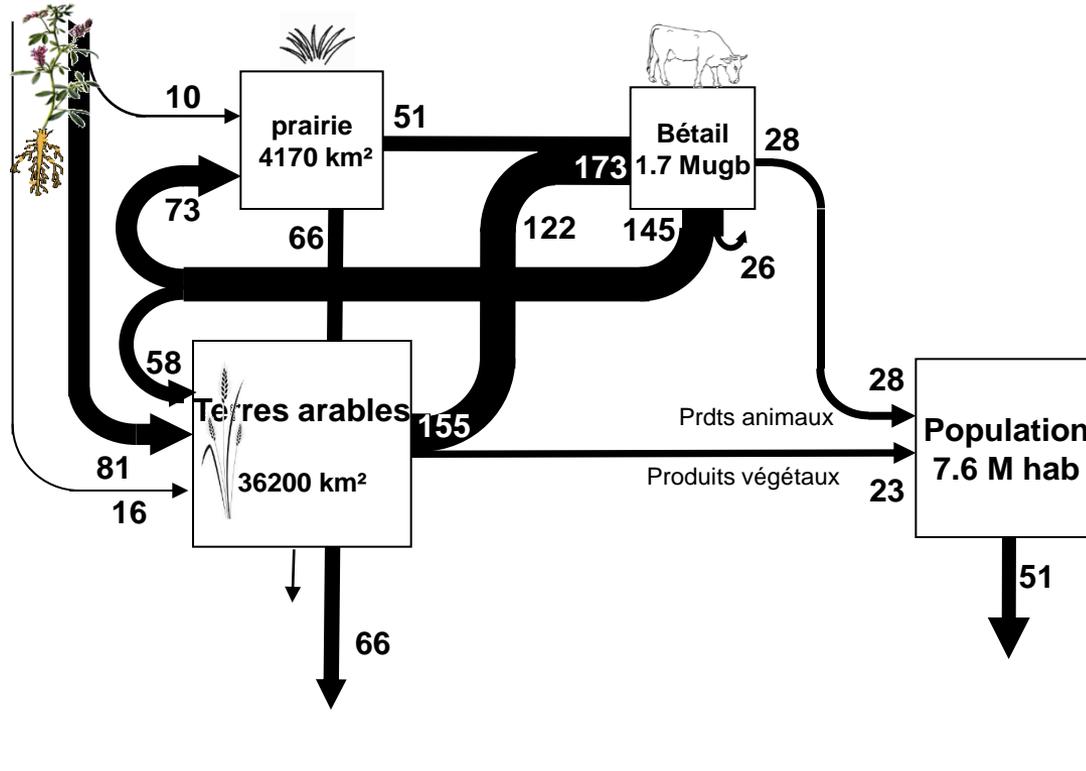


Fruits & légumes

Bassin de la Seine (69000 km²) 1896



Fixation symbiot
Fertilisant et dépôt
exogènes atmosph





SYNDICAT
CENTRAL

DES AGRICULTEURS DE FRANCE

Rue Louis-le-Grand. 19. Paris.

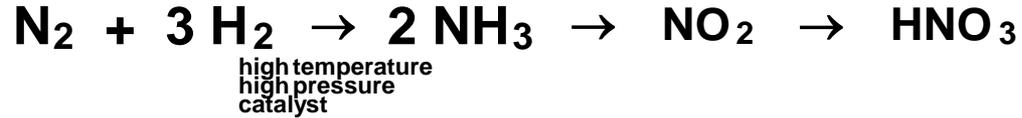
G. Fay
1900

no. 1 VERMOREL 127 AL. K. 1000 1900

Fin XIXe siècle : Complémentarité Agriculture-Elevage

L'avènement de l'agriculture industrielle

1903 Fritz Haber: découverte du procédé de conversion de N_2 et de H_2 en ammoniac (puis acide nitrique)



1909: brevet du procédé Haber-Bosch (BASF)

L'industrie devient capable de puiser dans le stock d'azote atmosphérique inerte pour injecter de l'azote réactif dans le cycle biosphérique

depuis 1980: Le flux annuel de fixation d'azote réactif par l'homme dépasse celui réalisé par les processus naturels à l'échelle globale



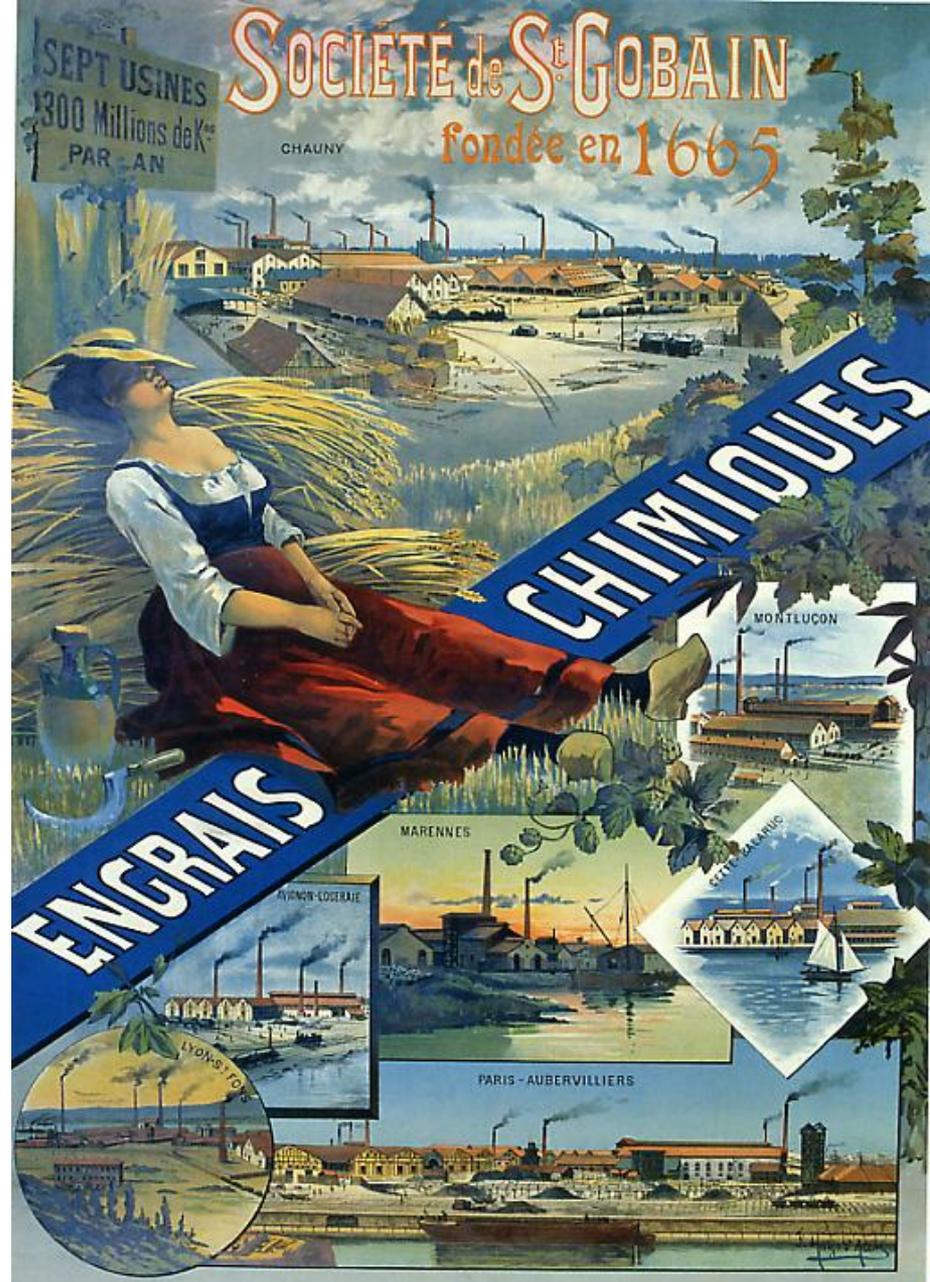
COMPTOIR FRANÇAIS DE L'AZOTE



**SULFATE D'AMMONIAQUE
CIANAMIDE-ETC-**

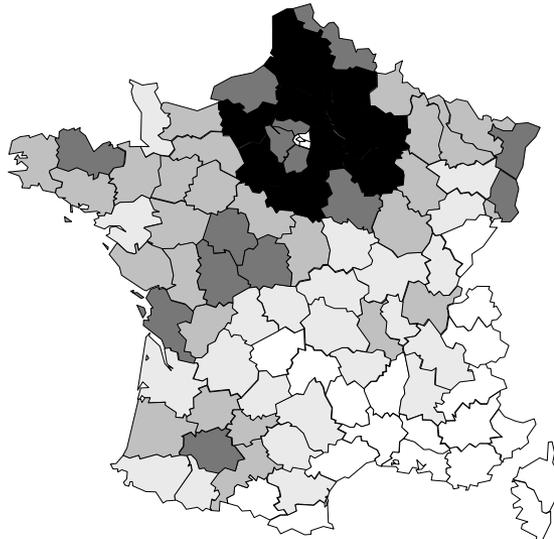
"AFFICHE D'INTÉRIEUR"

L'IMPRIMERIE SPÉCIALE DU COMPTOIR FRANÇAIS DE L'AZOTE. R.C. SEINE. N°44749

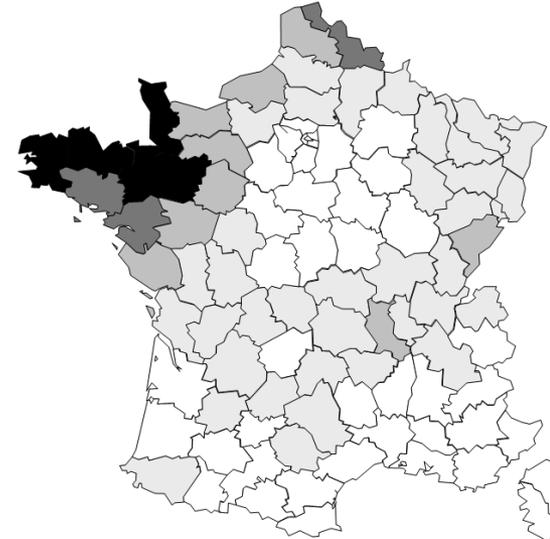
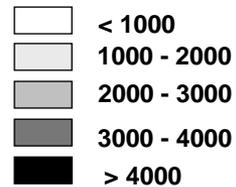


Deuxième moitié du XXe siècle : L'Agriculture, activité aval de l'Industrie Chimique lourde

Très forte différentiation territoriale



Céréales production de céréales (kgN/km²/an)

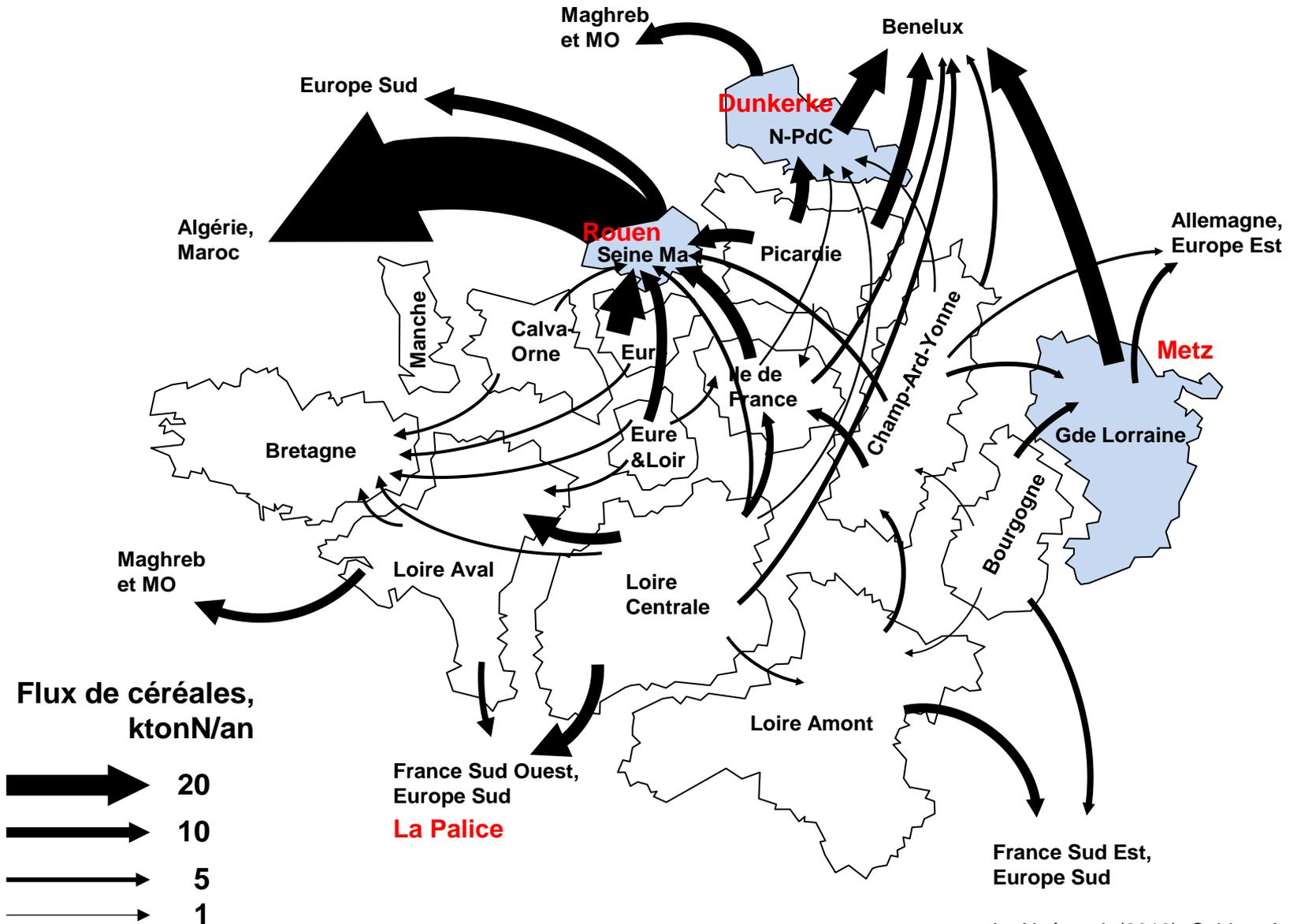


Viande et lait

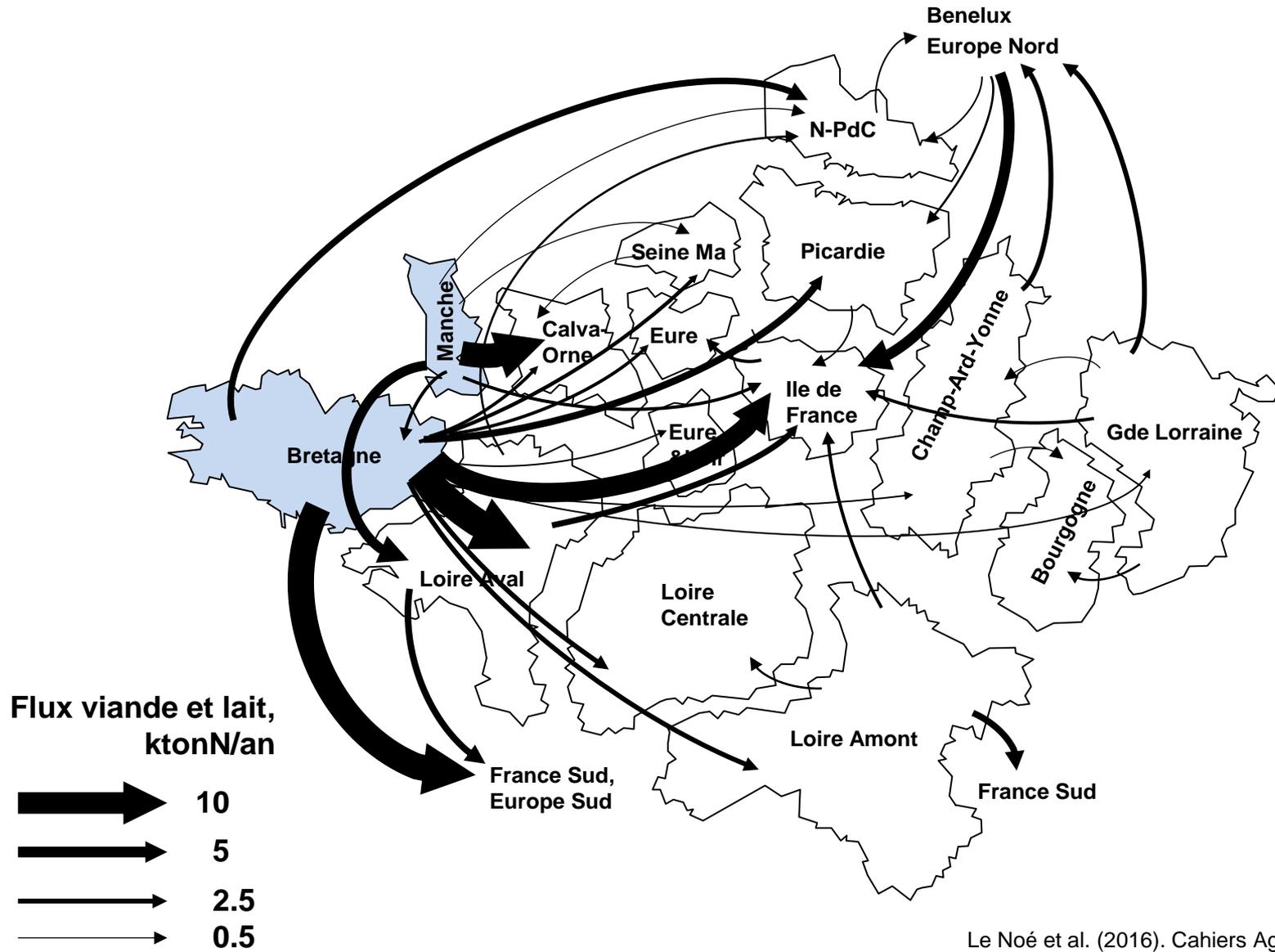
production de lait et viande (kgN/km²/an)



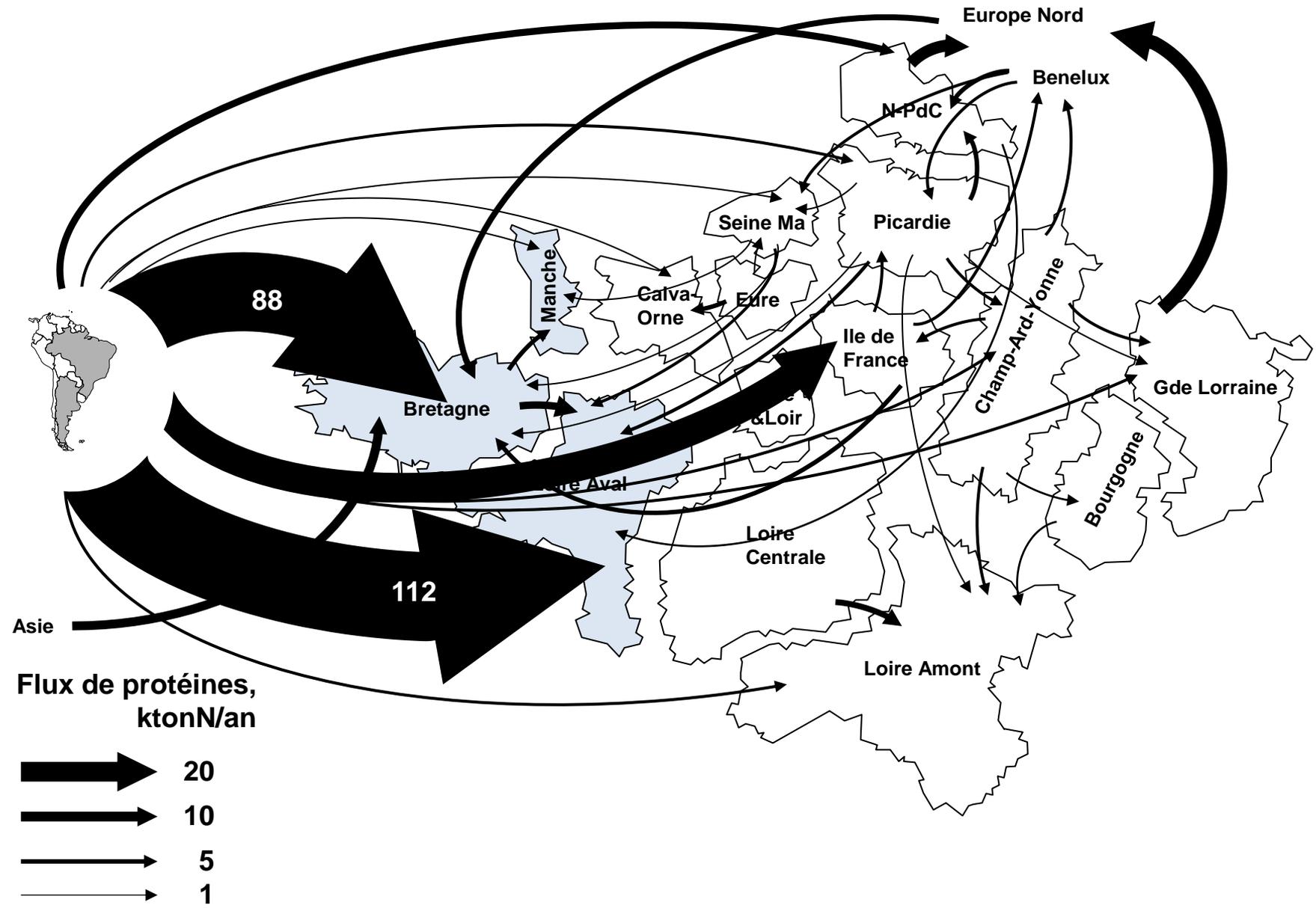
Flux de céréales, 2006



Flux de produits animaux, 2006

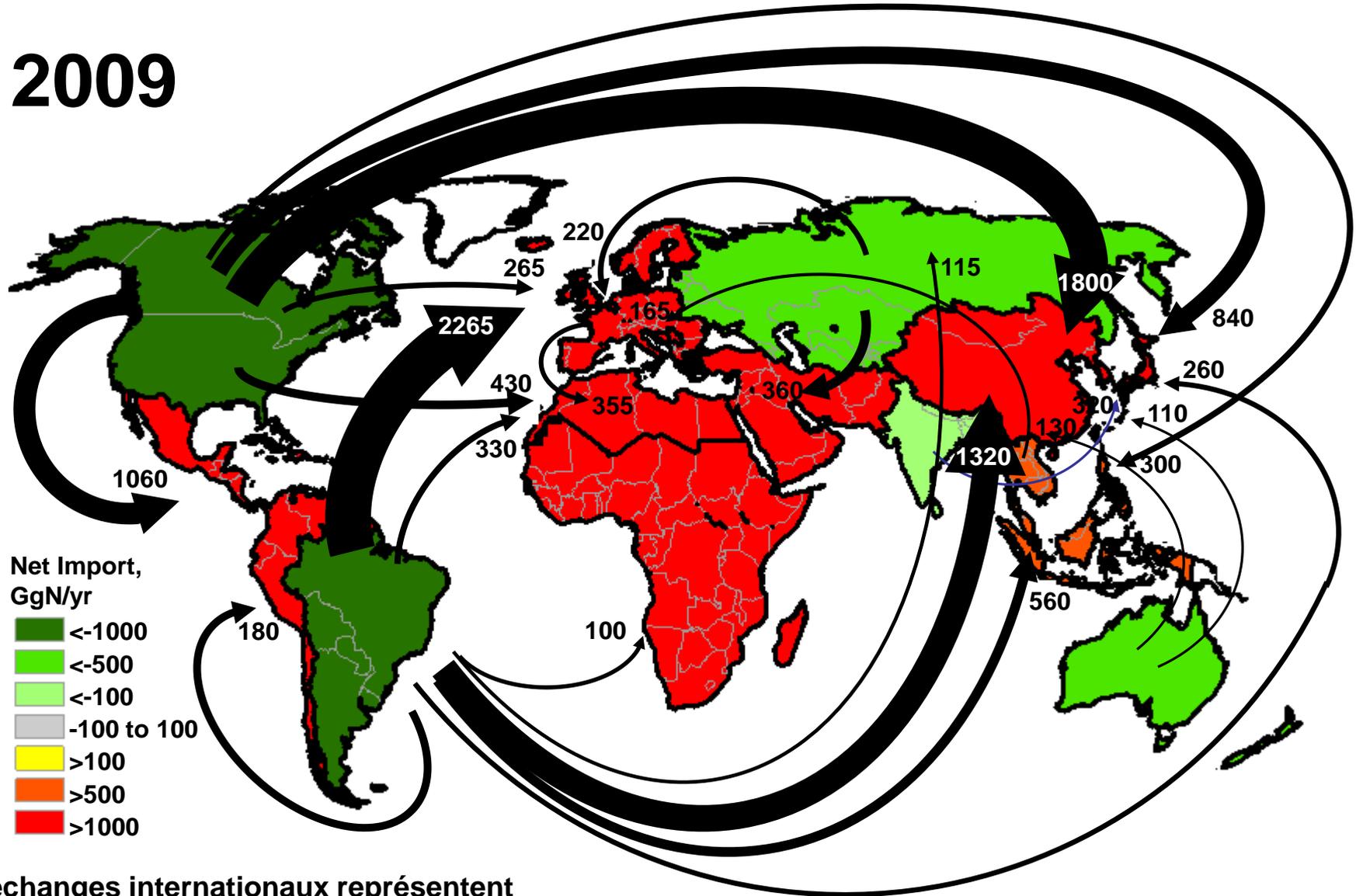


Flux d'aliments pour animaux, 2006



...et celle du système agro-alimentaire mondial

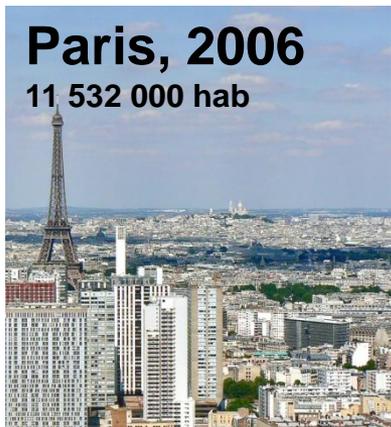
2009



Les échanges internationaux représentent 30% de la production agricole totale

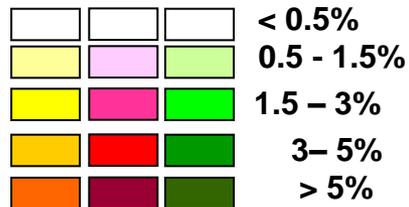
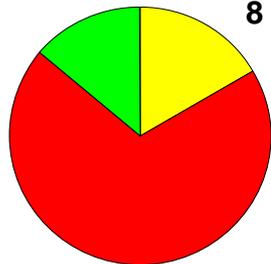
Paris, 2006

11 532 000 hab

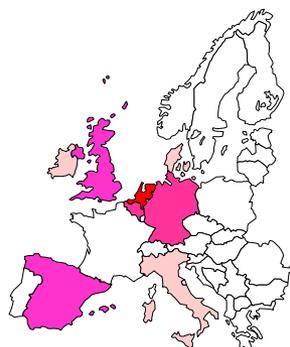


8 kgN/hab/an

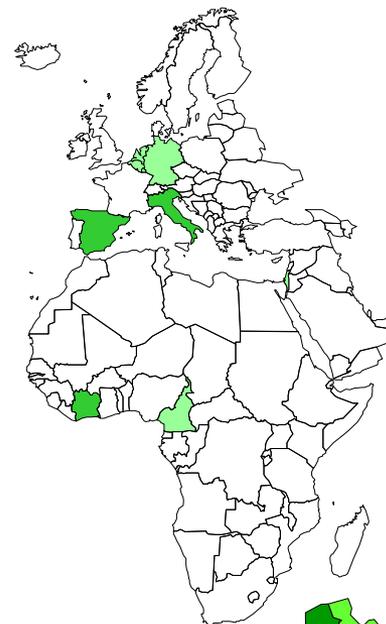
Billen, Barles, Chatzimpiros & Garnier (2011) Reg Env Change



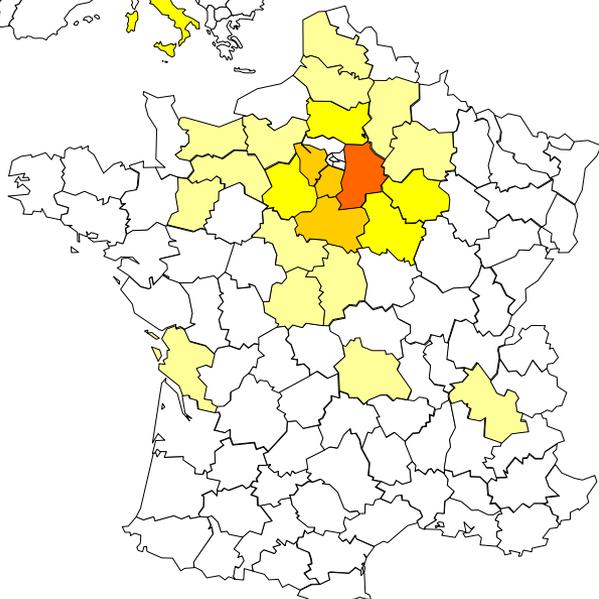
dist moy
492 km



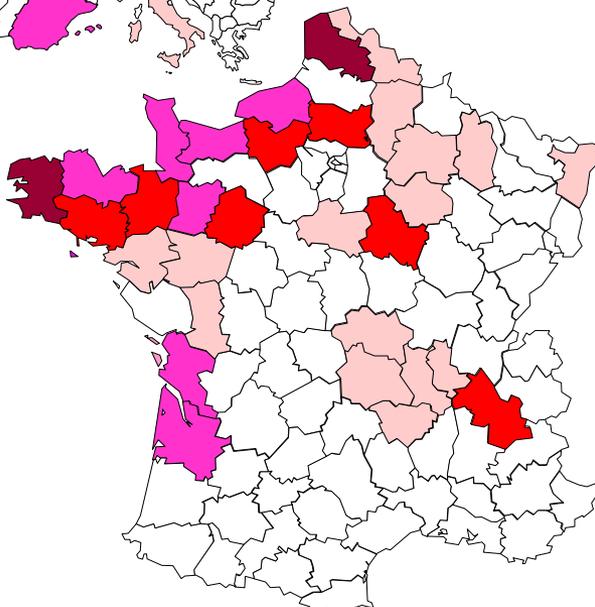
660 km



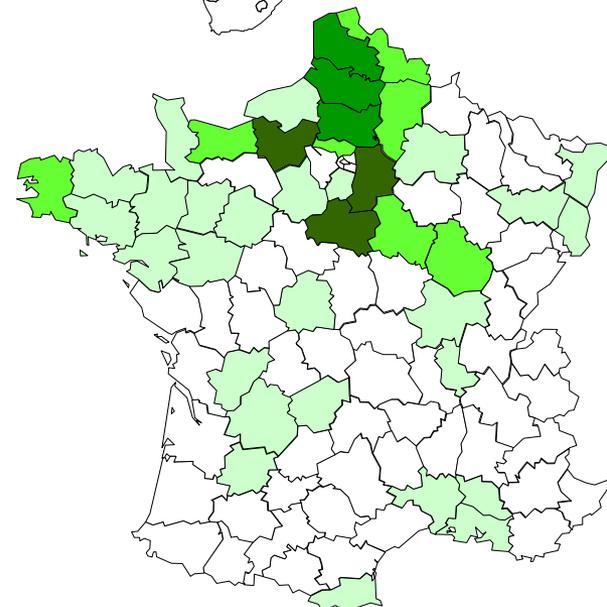
790 km



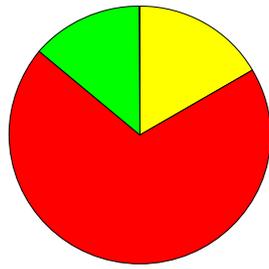
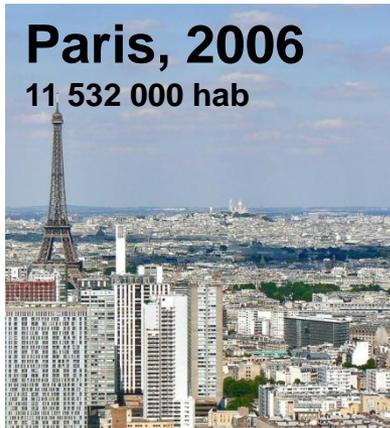
Céréales



Produits animaux

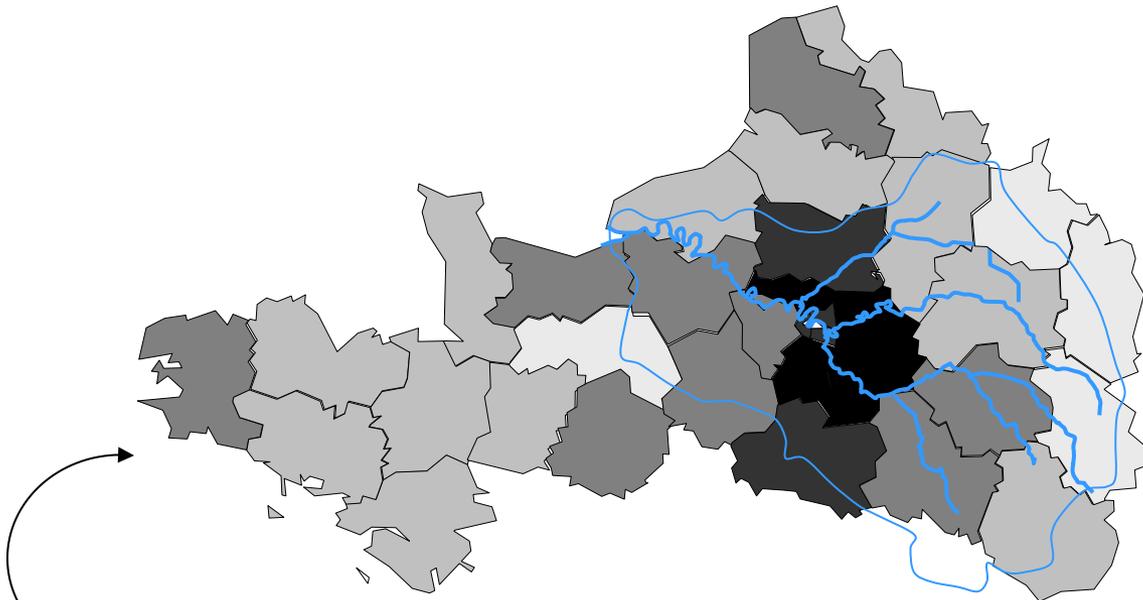


Fruits & légumes



8 kgN/hab/an

Aire Principale d'approvisionnement = 70% besoins en protéines
autres dptmts français = 15%
étranger = 15%

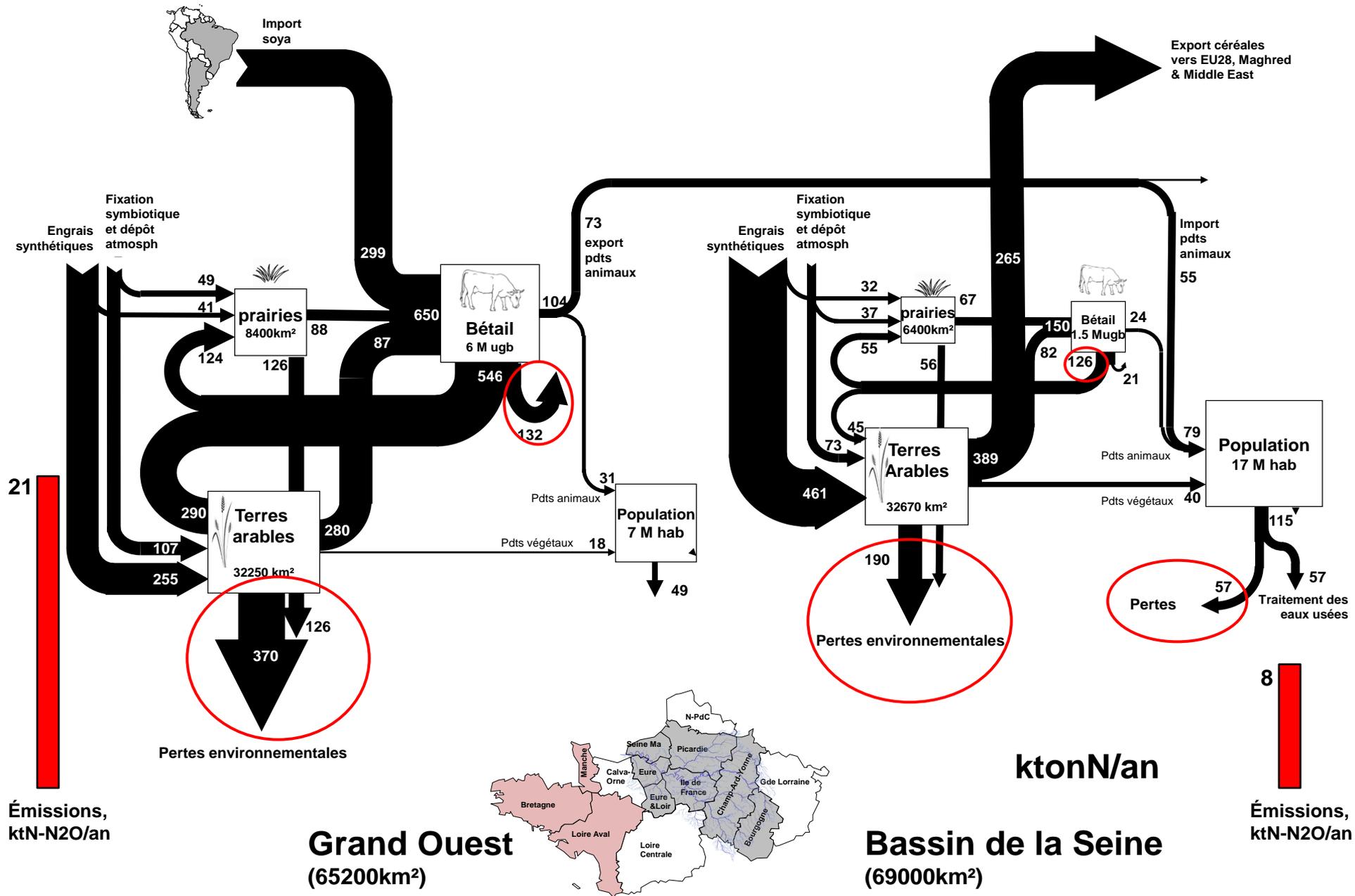


Concentration de l'approvisionnement en produits animaux

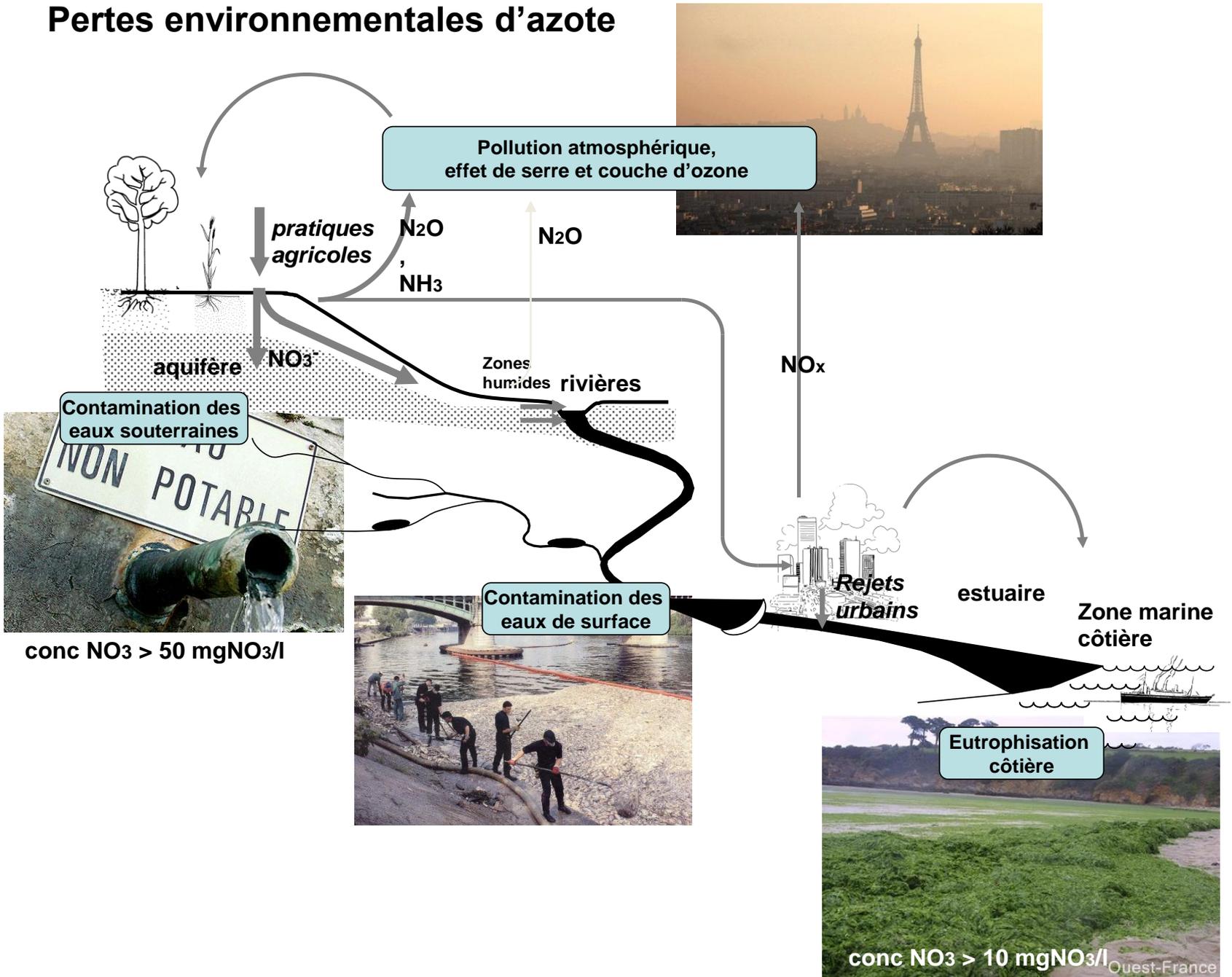


54% de l'appro total
63% de l'appro pdts veg.

Le système agro-alimentaire du bassin de la Seine en 2006



Pertes environnementales d'azote

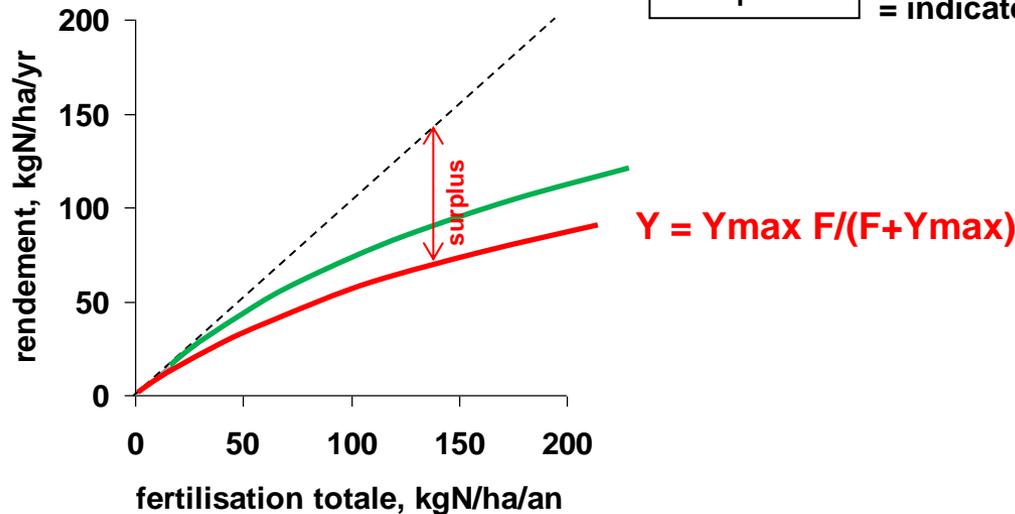
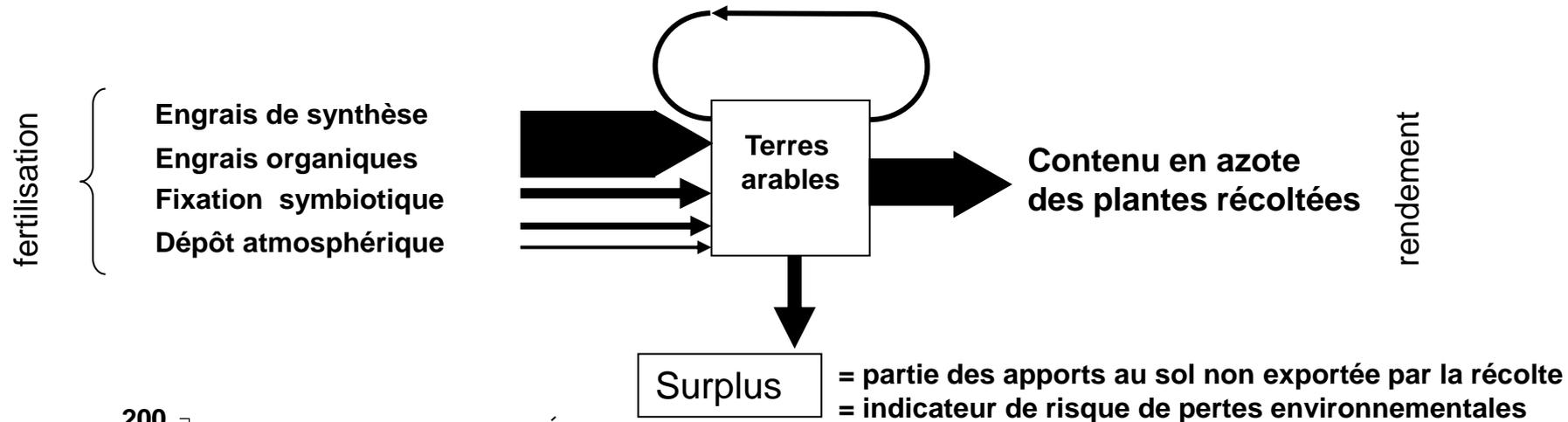


2. Les pertes d'azote des terres arables

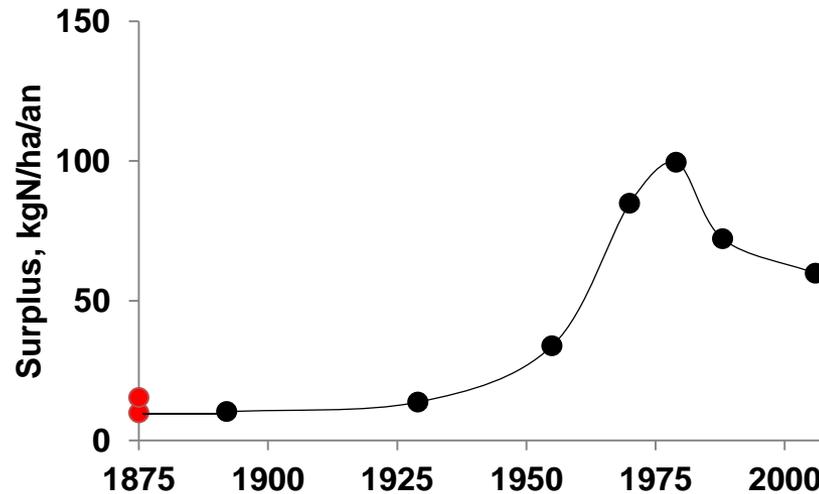
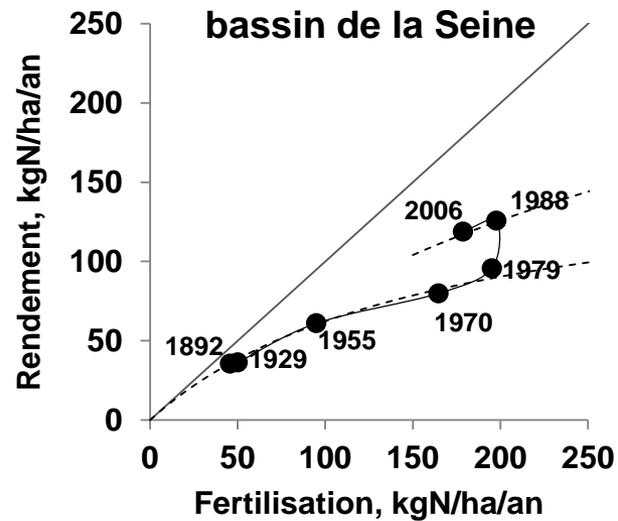
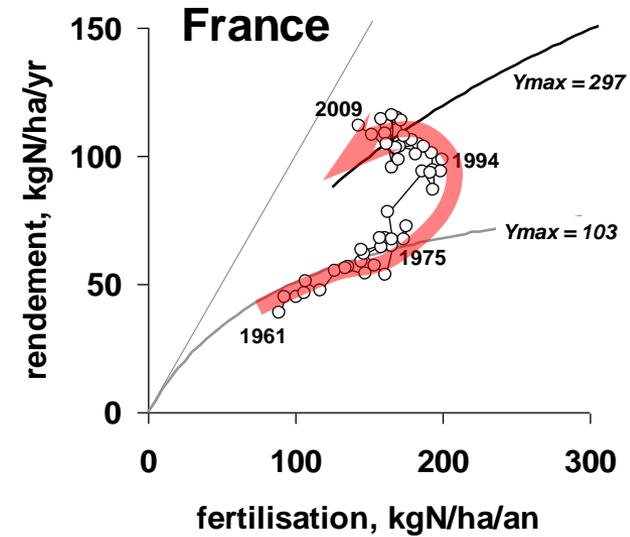
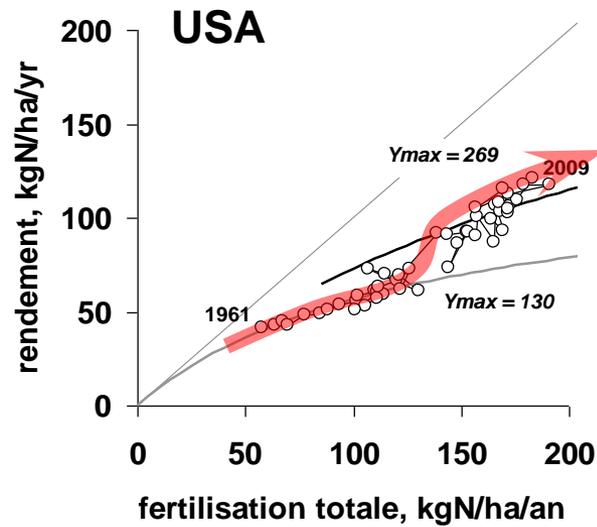
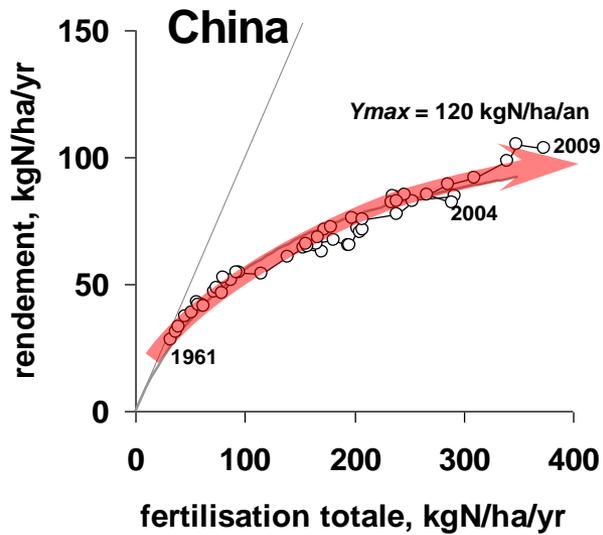
La relation rendement – fertilisation - pertes environnementales

Entrées = Fertilisation totale

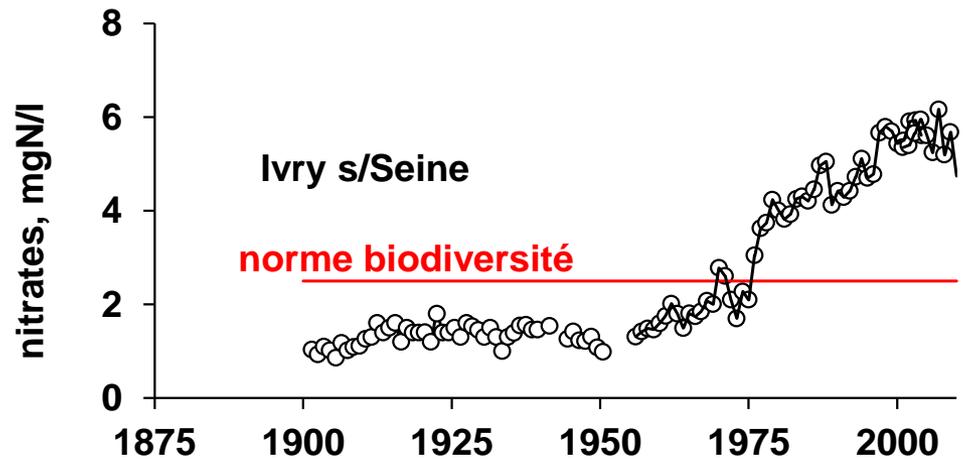
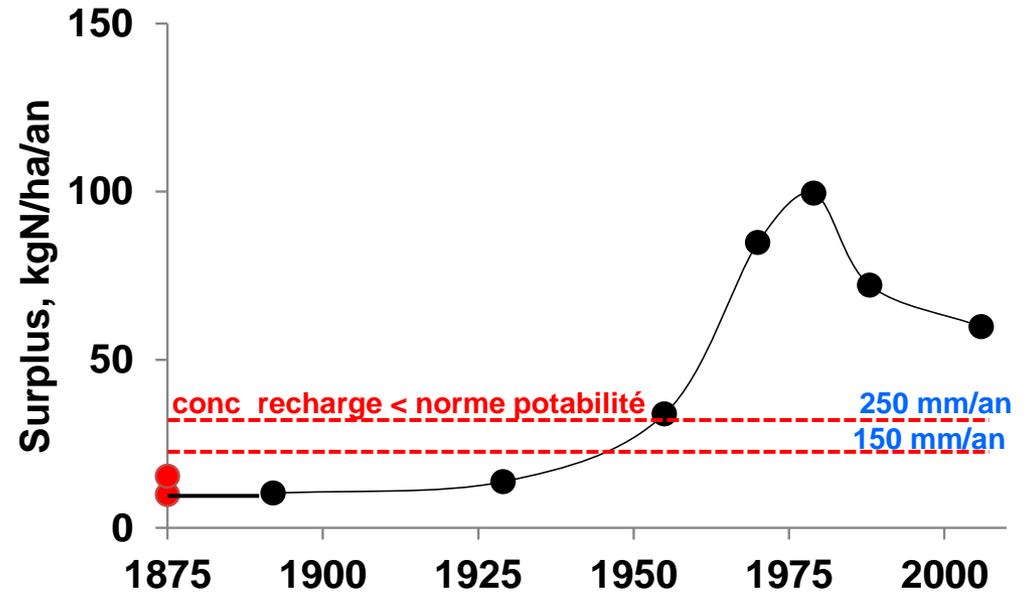
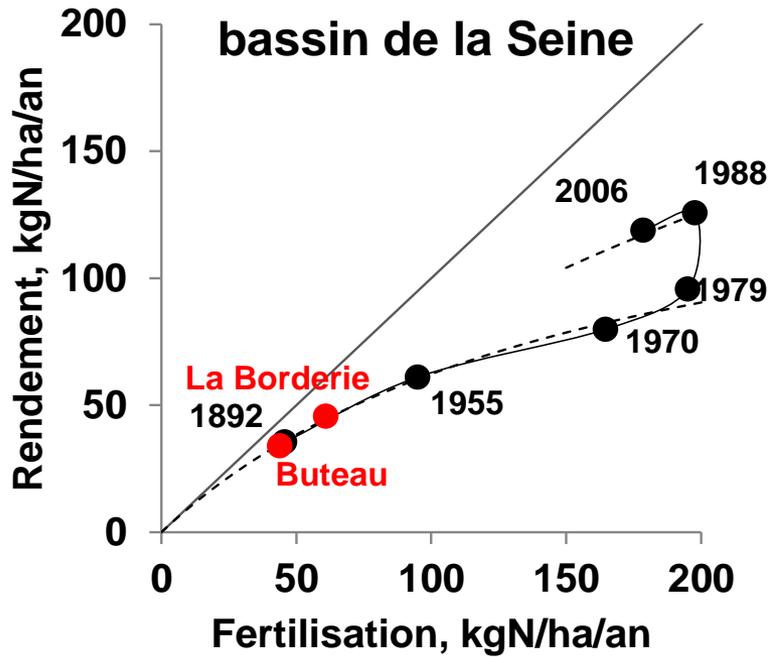
Sorties = Récolte



3 types de trajectoires



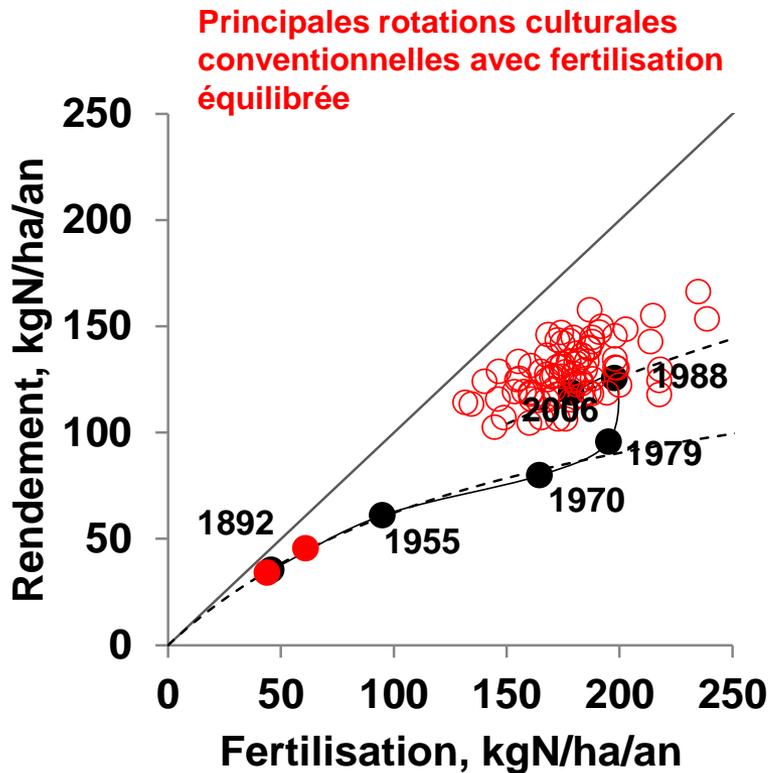
La trajectoire rendement – fertilisation dans le bassin de la Seine



Que peut on encore attendre de l'agriculture raisonnée?

(1) L'équilibre de la fertilisation

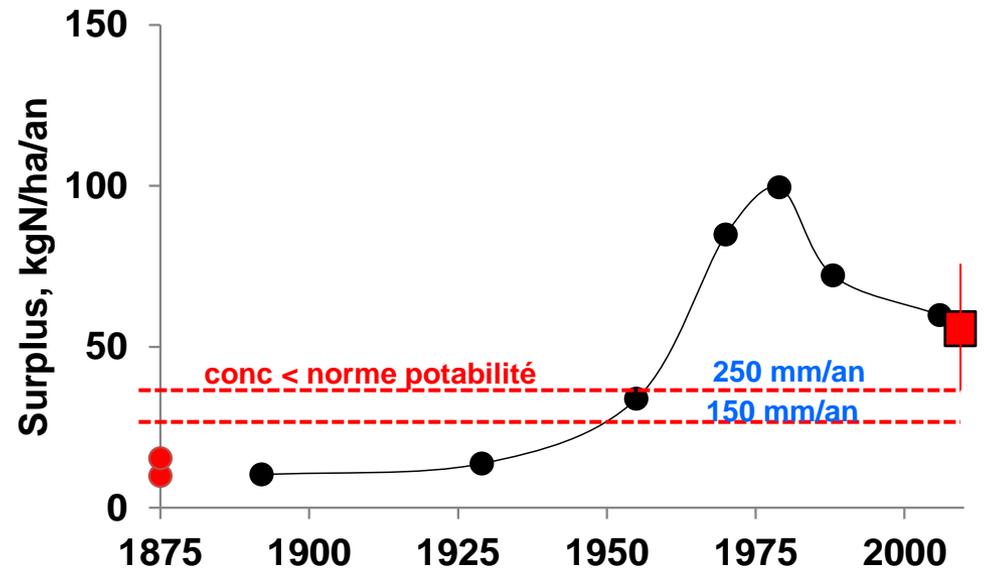
Calcul de la dose d'engrais à appliquer pour satisfaire les besoins de la croissance des cultures compte tenu d'un objectif de rendement



Les prescriptions de fertilisation équilibrée sont effectivement appliquées;

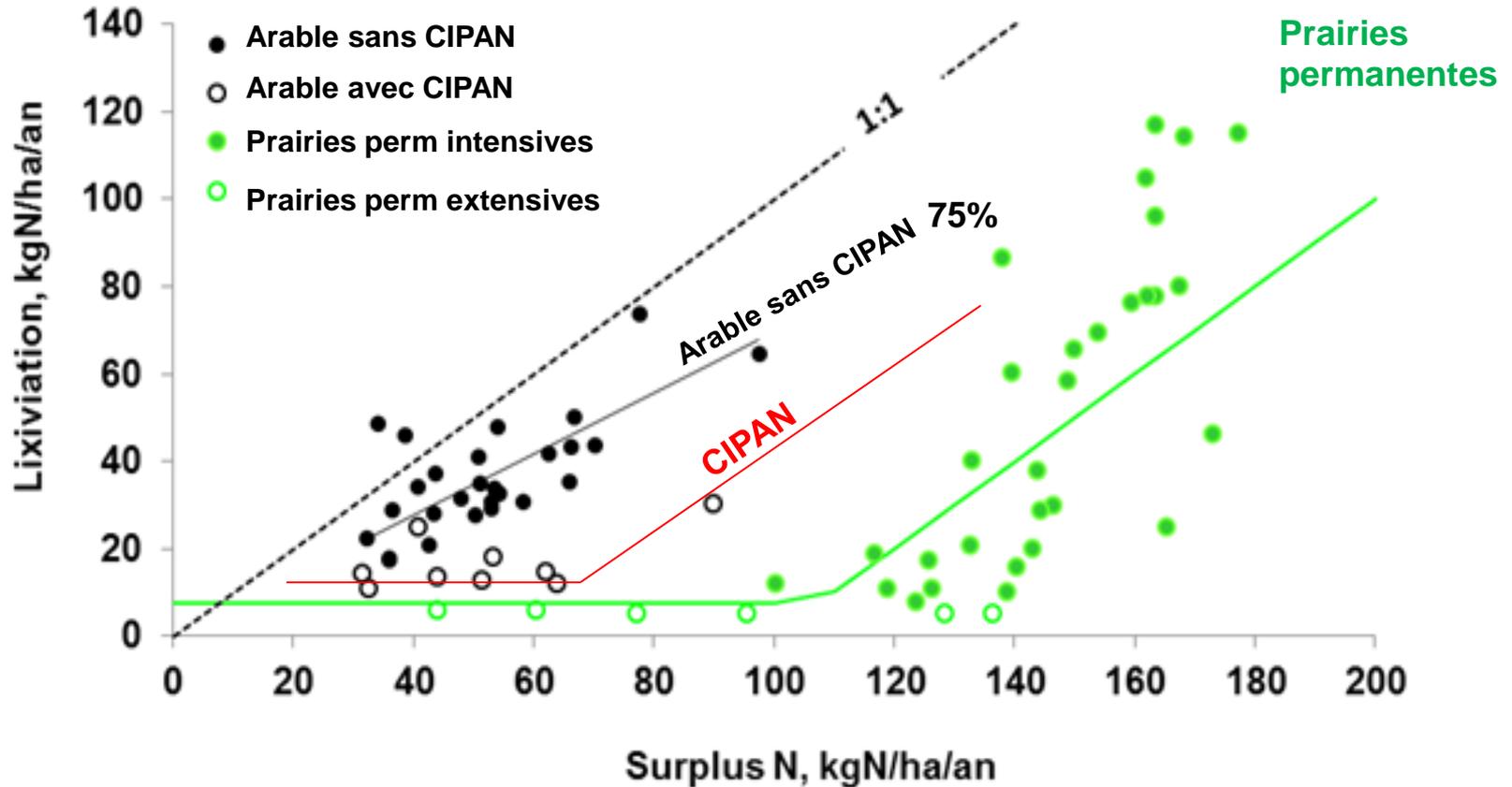
Elles ne garantissent pas un surplus nul

et restent insuffisantes par rapport aux exigences de production d'eau souterraine de qualité.



(2) La généralisation des CIPAN

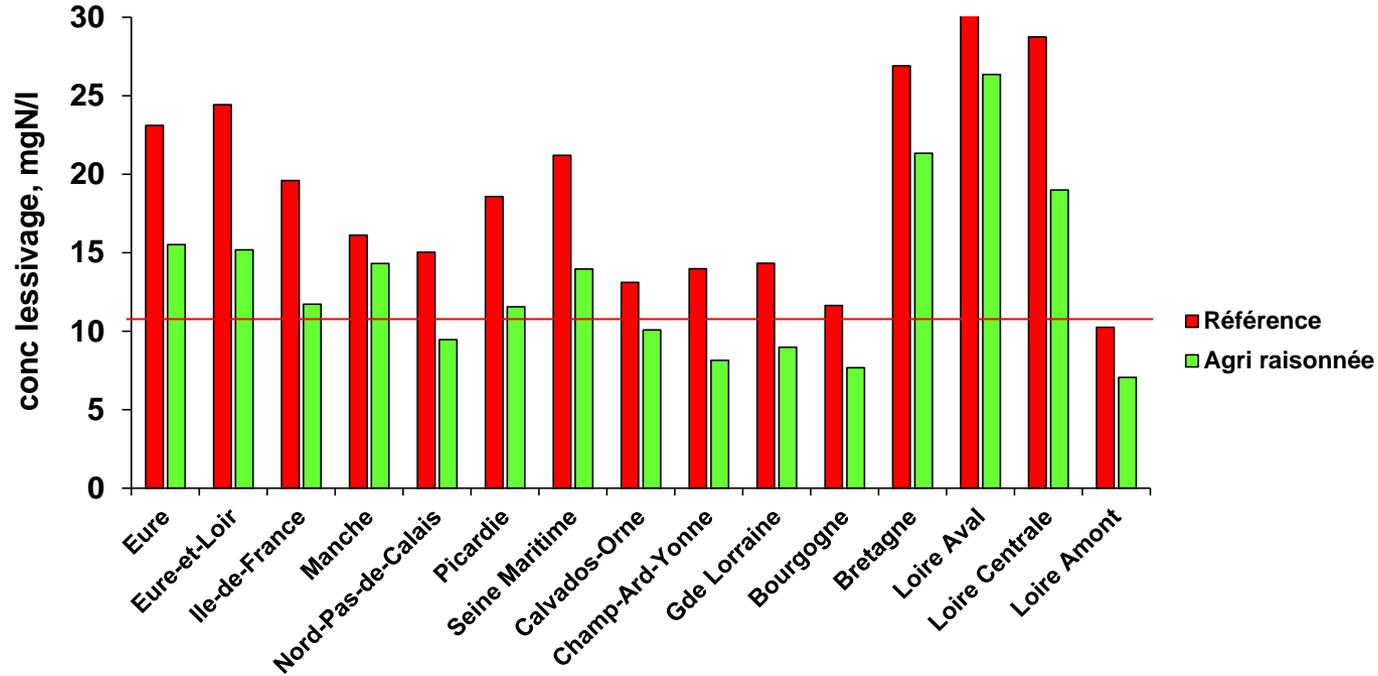
Anglade et al., 2015
Constantin et al, 2010
Vertès, 2010
Billen et al. 2012



Marge de progrès dans la généralisation des CIPAN
Mais limitée par la fréquence des cultures de printemps (env 30%)

Résultats à attendre en termes de qualité des eaux

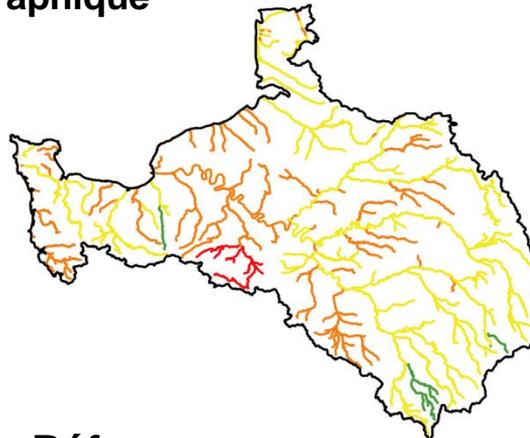
Concentrations sous-racinaires = concentration de recharge des nappes



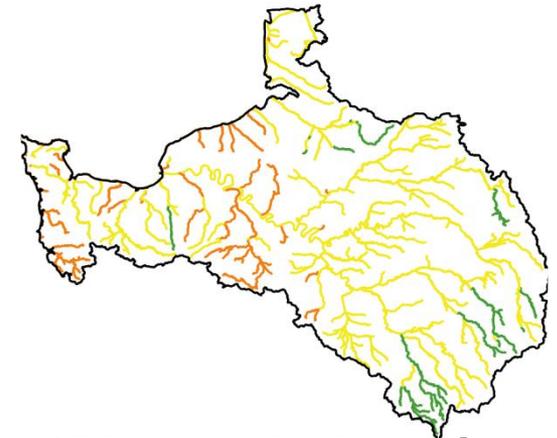
Concentration dans le réseau hydrographique

Nitrates, mgN/l

- < 0.45
- 0.45 – 2.5
- 2.5 – 5.5
- 5.5 – 11.5
- > 11.5



Référence



DERU + Agri raisonnée

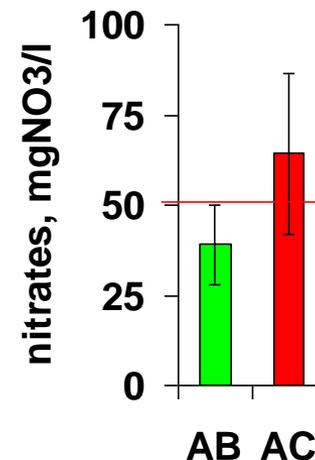
Caractérisation des performances agronomiques et environnementales de l'agriculture biologique



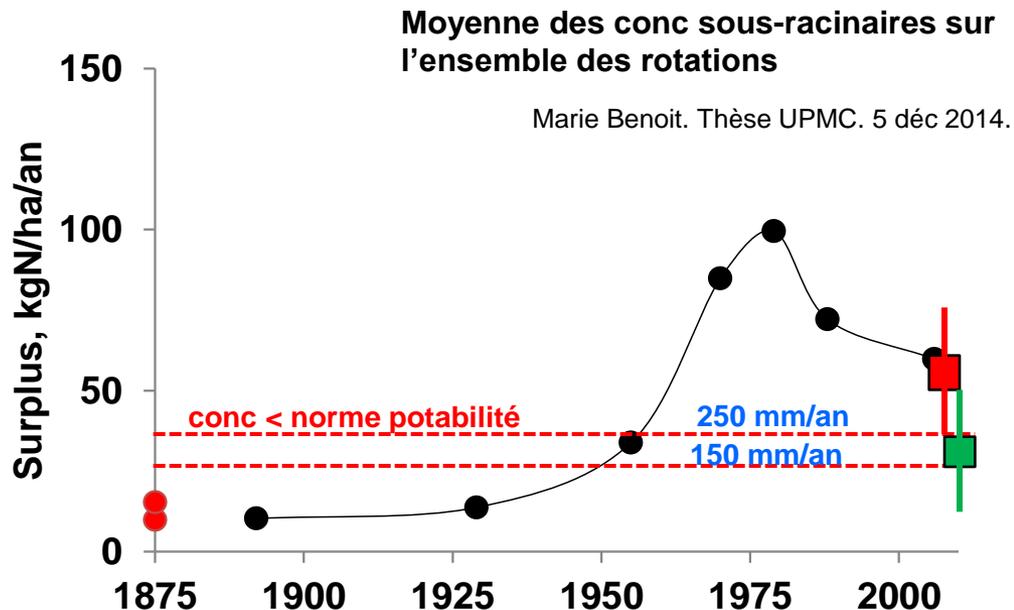
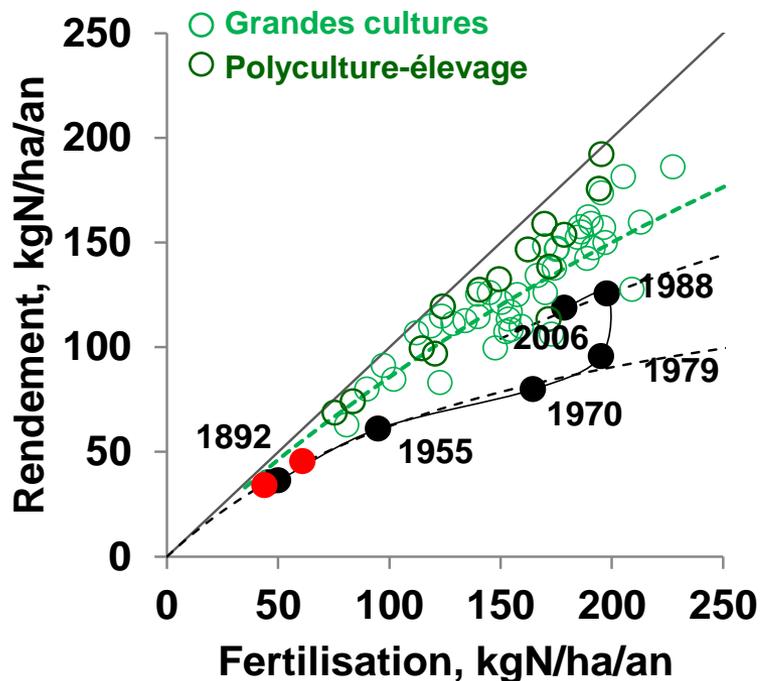
Des rotations longues et diversifiées avec une forte proportion de légumineuses fourragères

Un rendement global en protéines équivalent, à niveau de fertilisation identique

Des surplus généralement nettement inférieurs (surtout en système polyculture élevage)



Anglade, J et al. (2015). Agricultural Systems



Généralisation à tout le territoire français?

3. Un scénario de reconnexion agriculture-élevage

Produire autrement c'est produire autre chose

Repenser l'ensemble de la chaîne agro-alimentaire

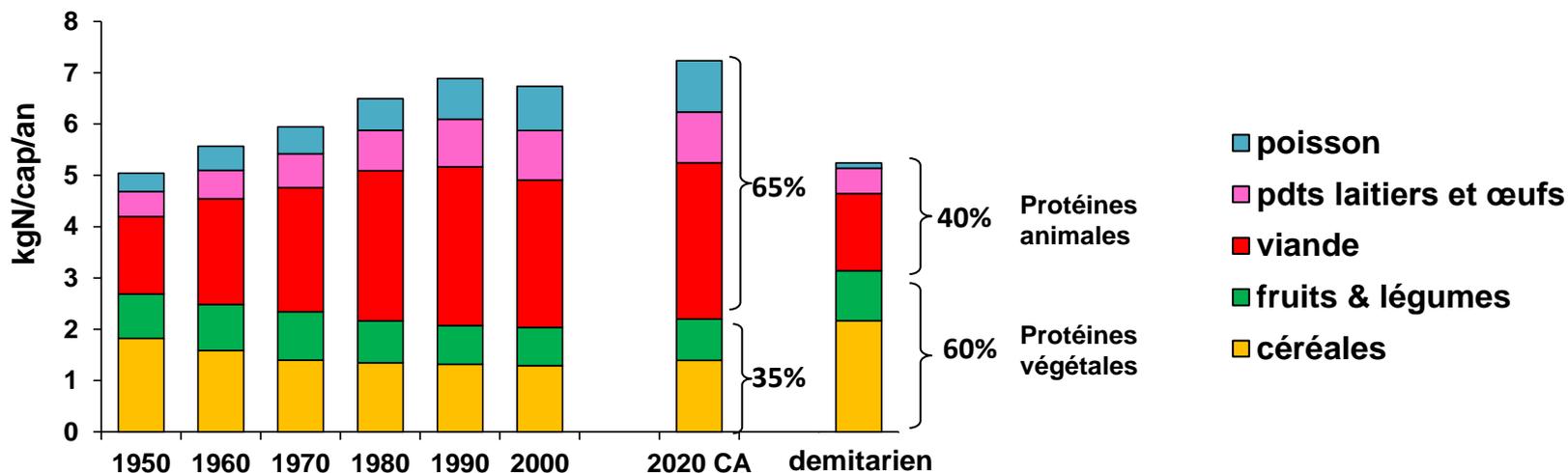
Un scénario extrême autour de 3 leviers qui font système:

le régime alimentaire

la reconnexion de l'agriculture et de l'élevage

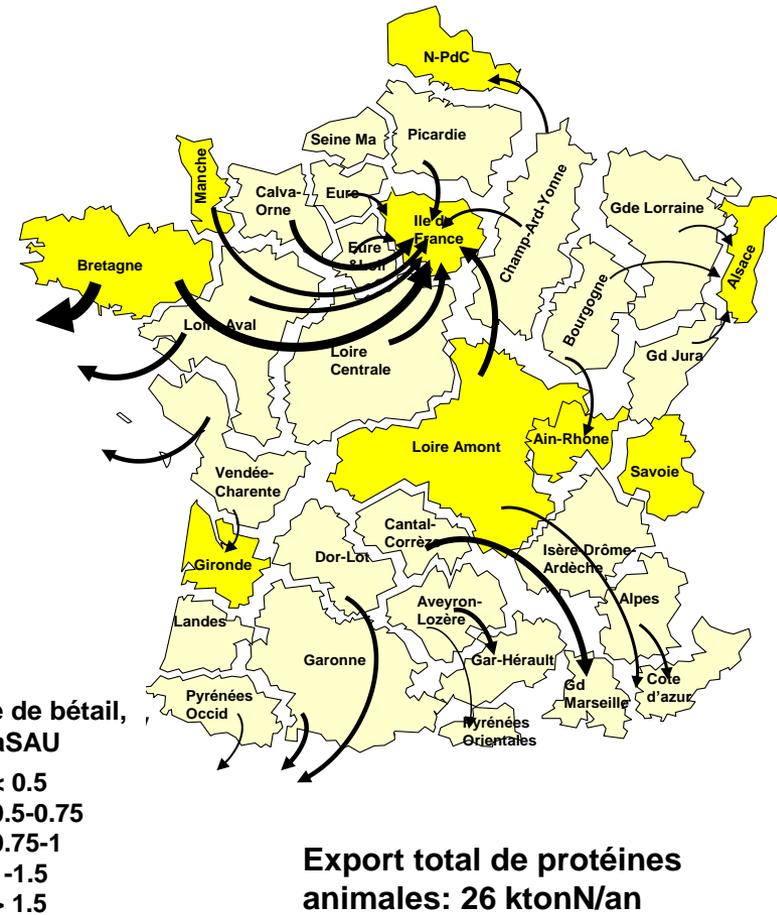
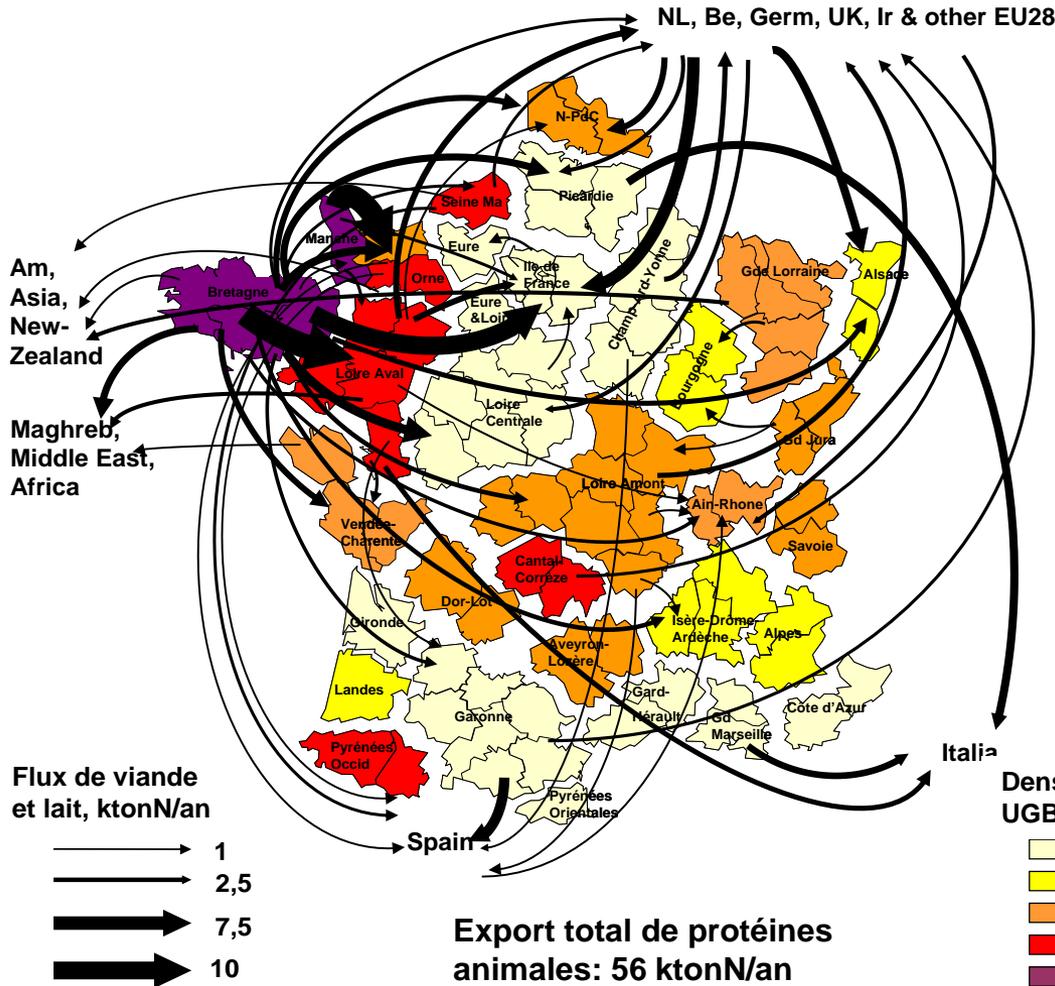
le recours à la fixation symbiotique

(1). Réduction de moitié de la consommation de protéines animales



(2). Redistribution du cheptel Reconnexion agriculture - élevage

Dimensionnement du cheptel animal sur les (nouveaux) besoins régionaux de protéines animales (40%) jusqu'à un max de 0.6 UGB/ha SAU, sans descendre en dessous de 0.14 UGB/ha SAU réduction max d'un facteur 3 le cheptel des régions actuellement spécialisées dans l'élevage. Les régions à forte densité de population importent des protéines animales des régions voisines



Situation actuelle

Scénario de reconnexion

(2 suite). Usage du sol:

Surfaces en prairies permanentes maintenues ou augmentées à au moins 0.25 ha/UGB

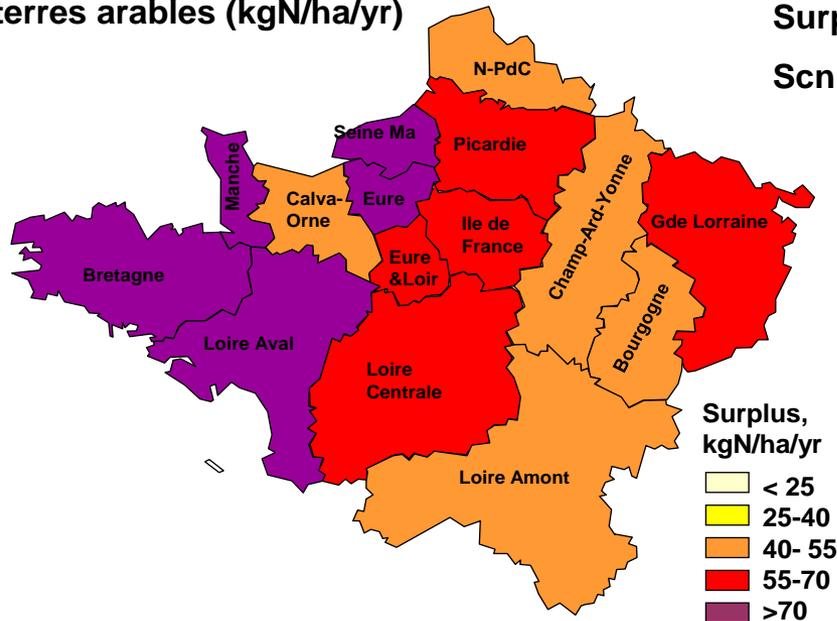
(3). Fertilisation et production des terres arables:

On garde inchangée la relation rendement-fertilisation actuelle de chaque région (Ymax)

On introduit des rotations longues, intercalant des légumineuses qui assurent seules, avec les déjections animales, la fertilisation azotée.

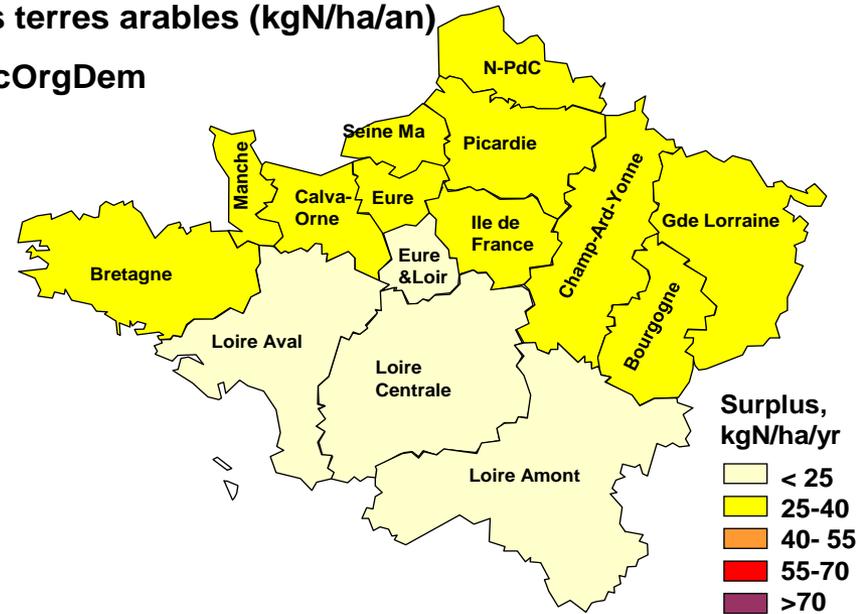
Surplus terres arables (kgN/ha/yr)

2006

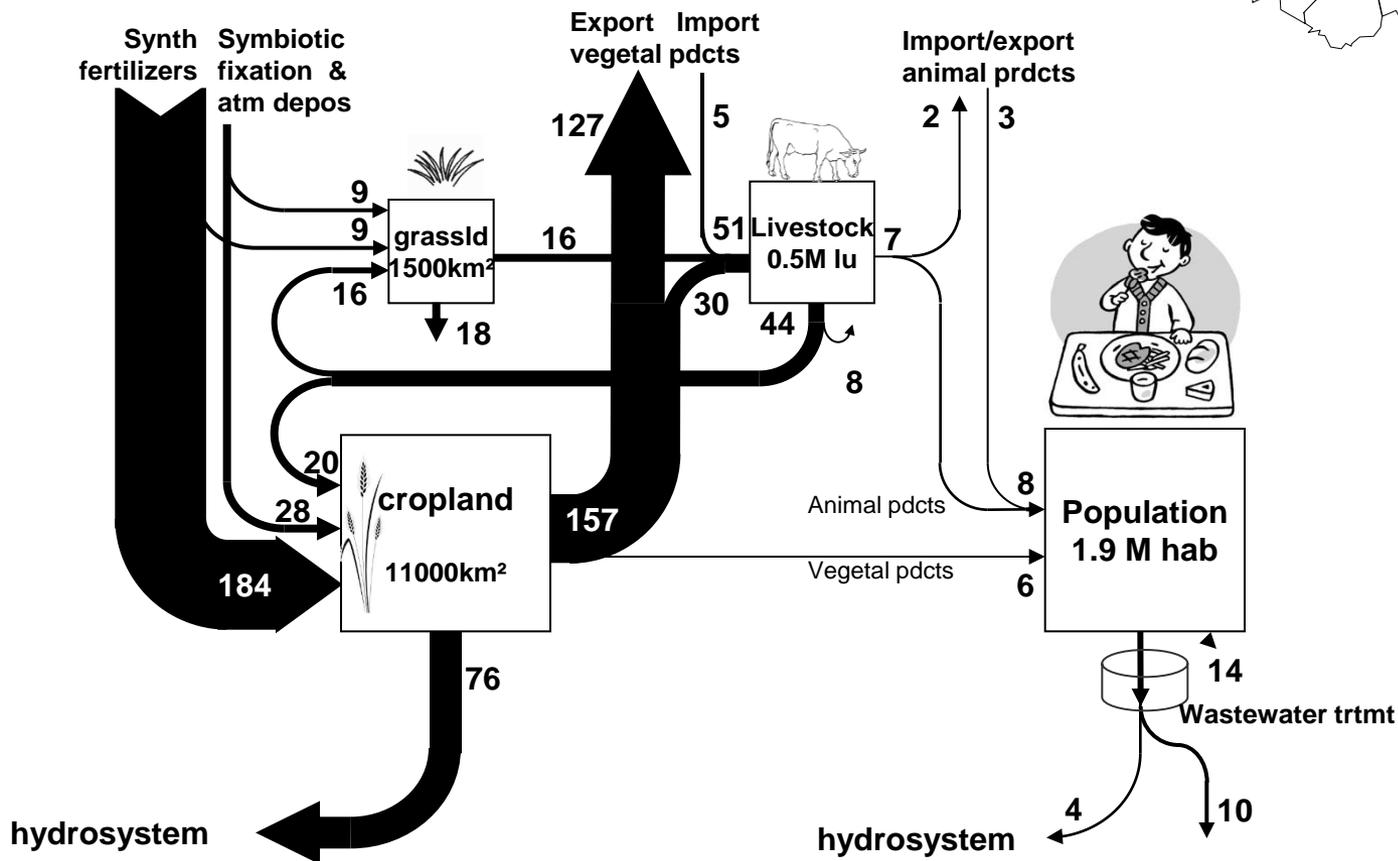
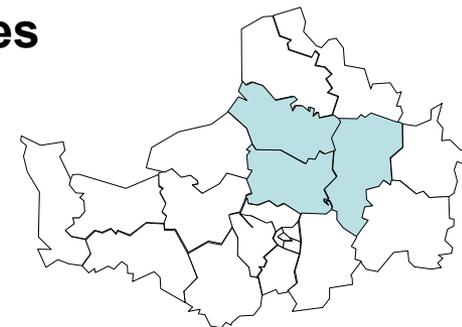


Surplus terres arables (kgN/ha/an)

Scn LocOrgDem

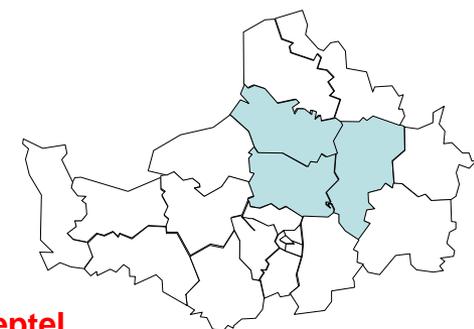


La Picardie: l'exemple d'un territoire exportateur de céréales



Picardie 2006, 1000 tons N / yr

Un scénario pour la Picardie en 2050?



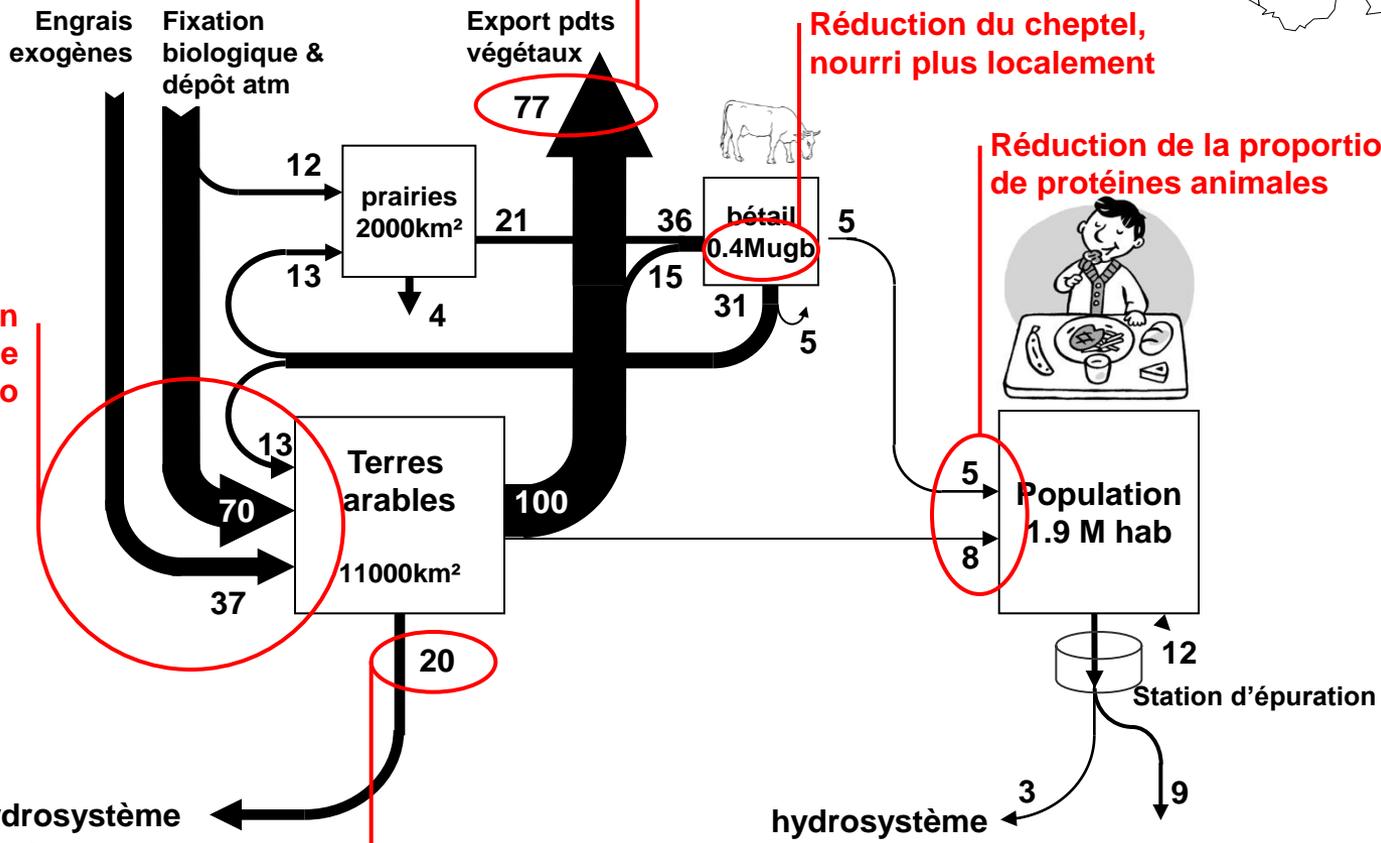
La région reste largement exportatrice de produits végétaux

Réduction du cheptel, nourri plus localement

Réduction de la proportion de protéines animales

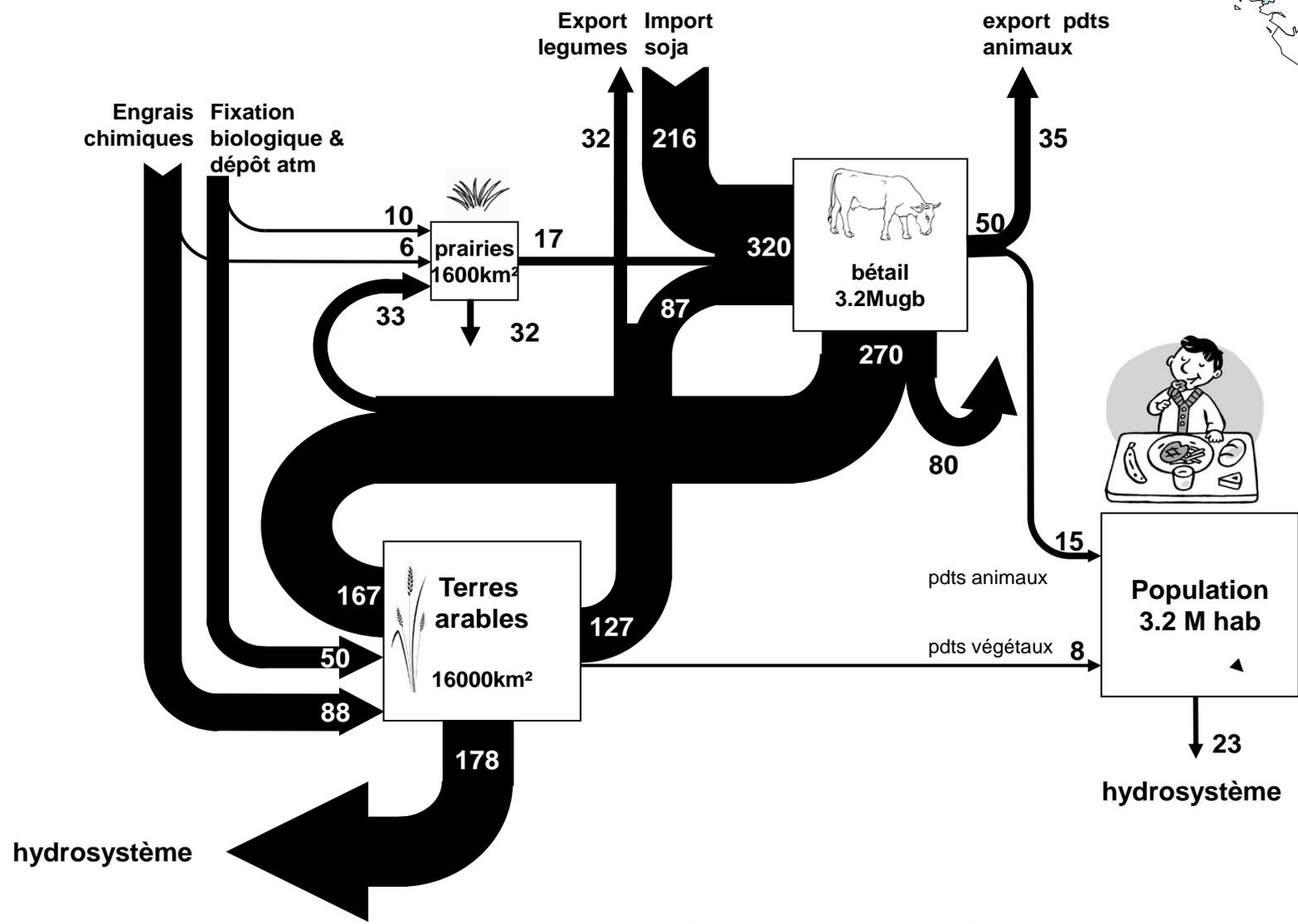
Généralisation des principes de l'agriculture bio

hydrosystème
La région produit une eau de qualité



Picardie, milliers de tonnes d’N / an

La Bretagne: l'exemple d'un territoire voué à l'export de produits animaux

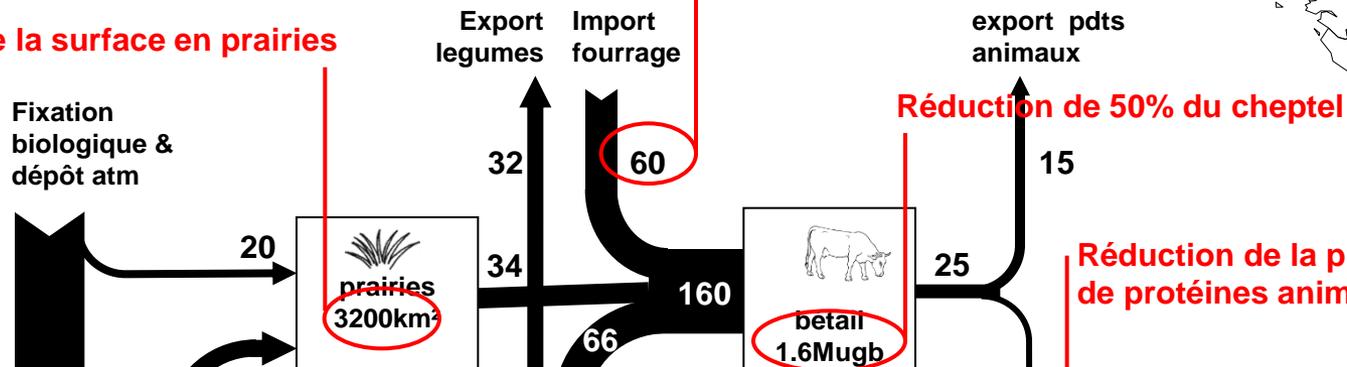


Bretagne 2006, 1000 tons N / yr

Bretagne 2050 ? milliers de tonnes d'N / an



Doublment de la surface en prairies



Réduction par 4 de la dépendance importations d'aliment pour animaux

Réduction de 50% du cheptel

Réduction de la proportion de protéines animales



Généralisation des principes de l'agriculture bio

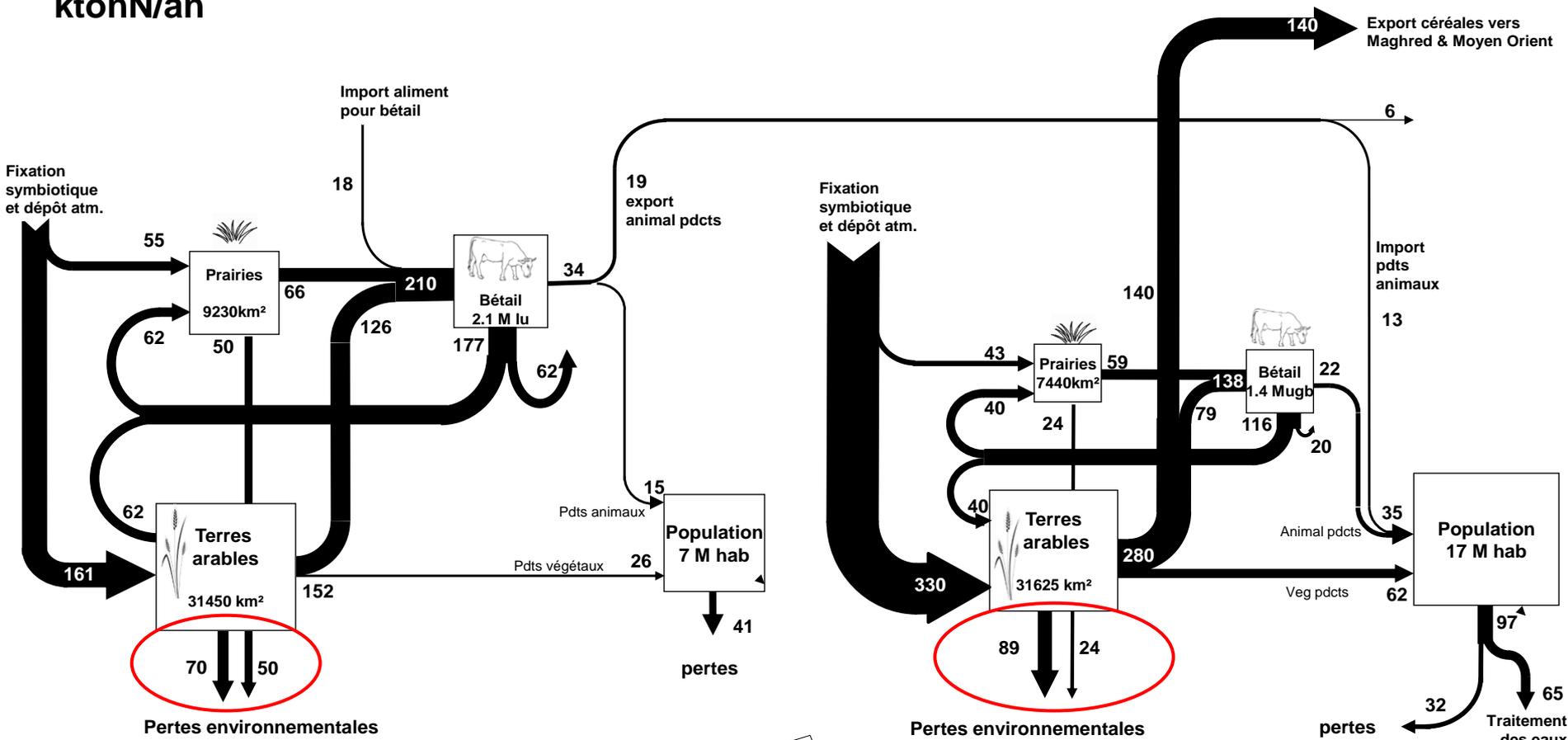
hydrosystème

hydrosystème

Réduction de moitié de la pollution azotée

Le scénario bio-local et demitarien pour le bassin de la Seine

ktonN/an



Grand Ouest
(65200km²)

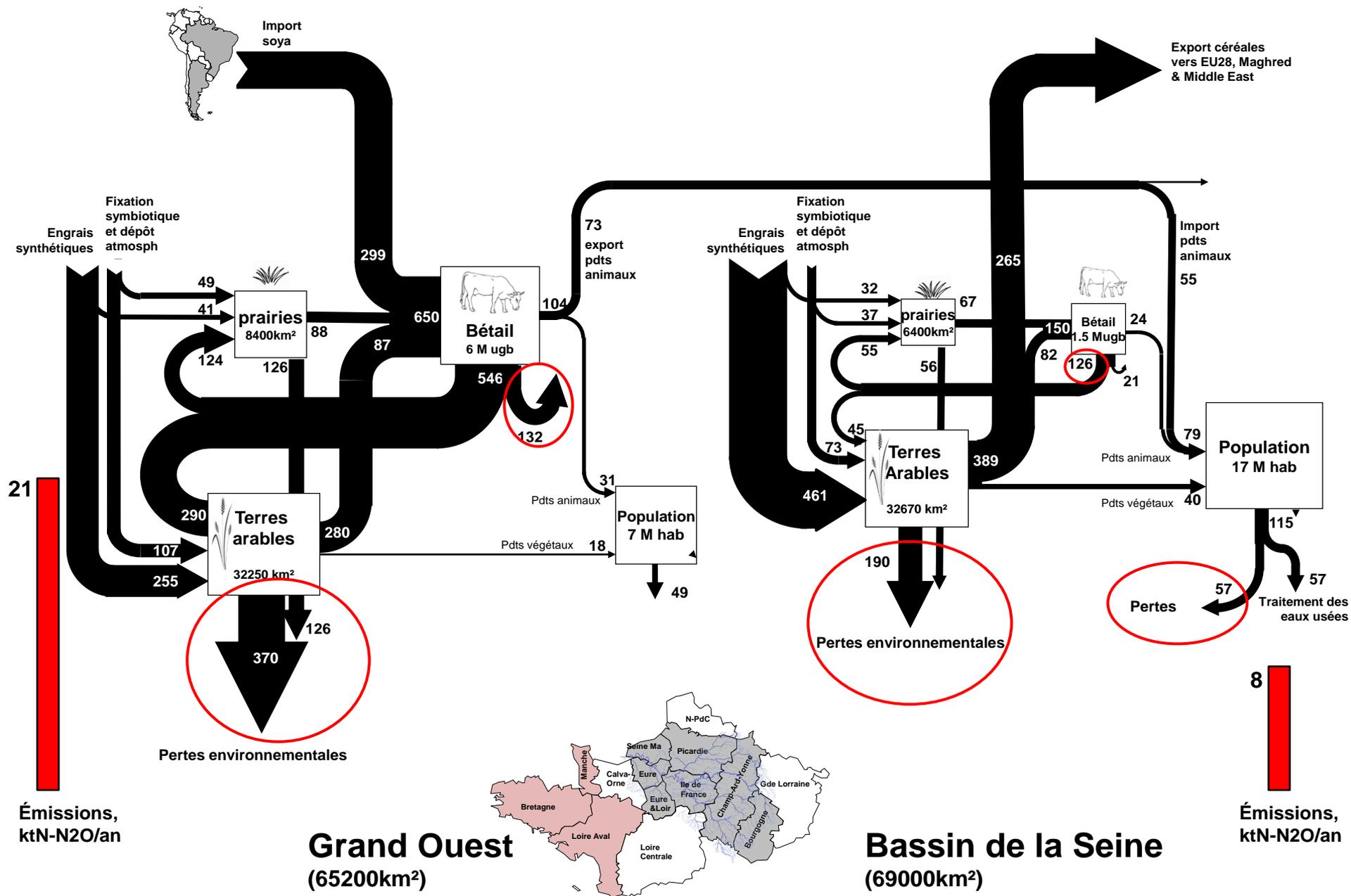
Bassin de la Seine
(69000km²)

5
Émissions,
ktN-N2O/an

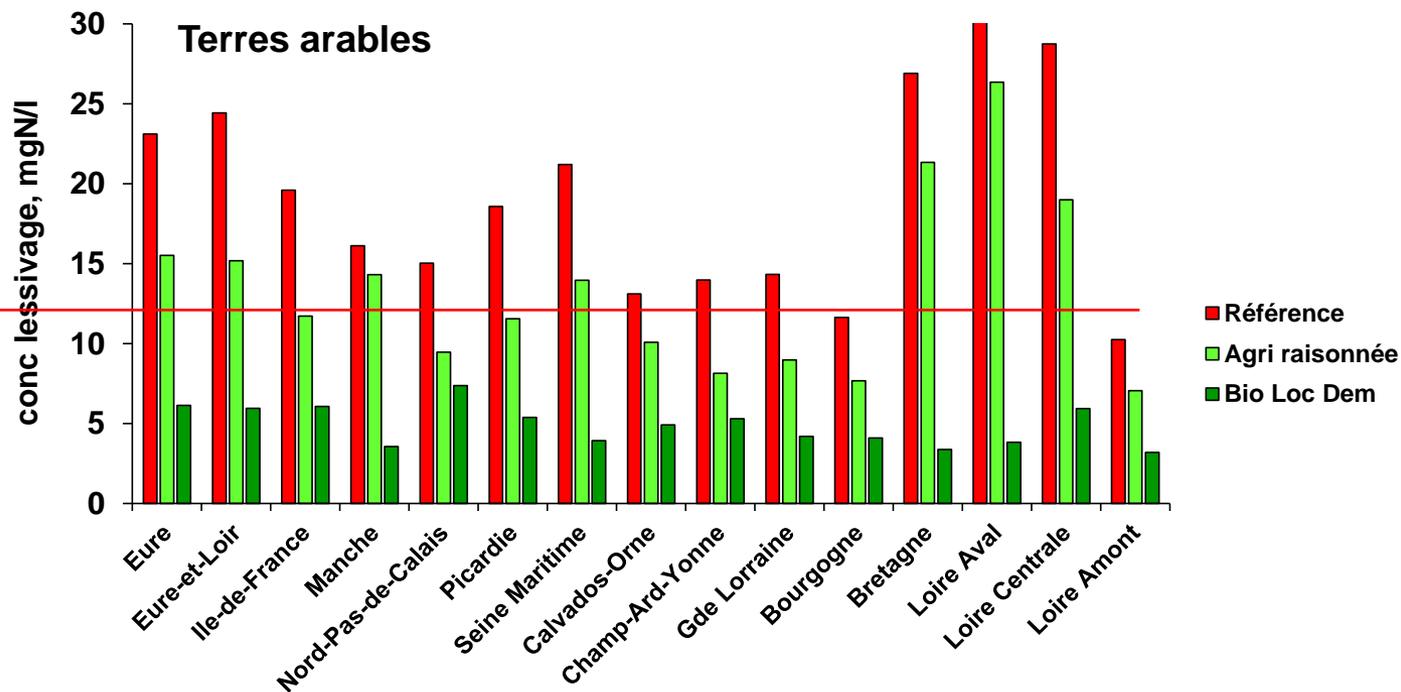
4
Émissions,
ktN-N2O/an

... comparé à la situation actuelle du bassin de la Seine

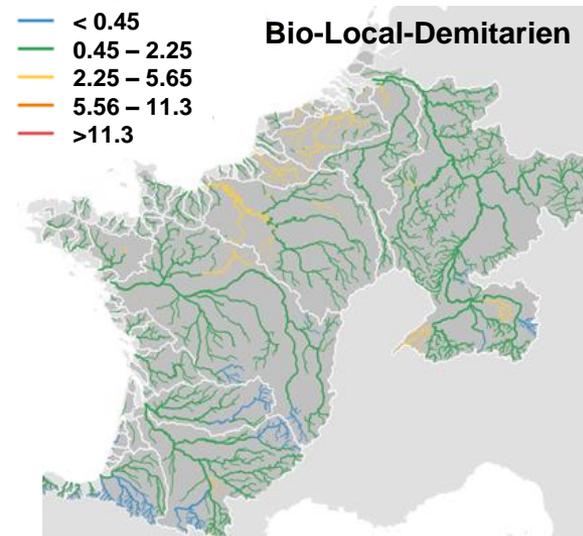
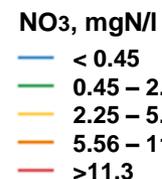
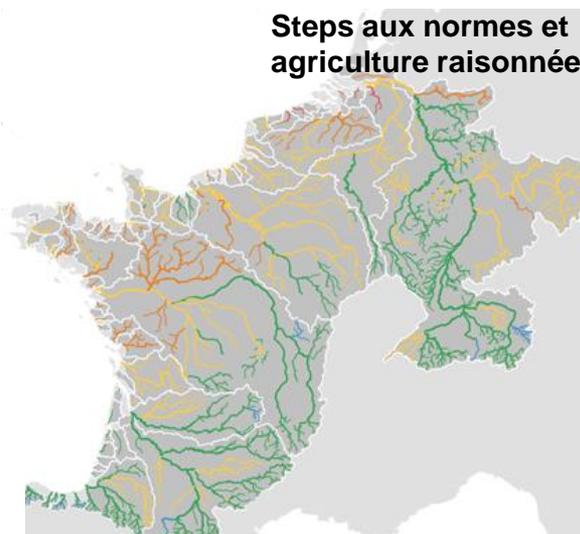
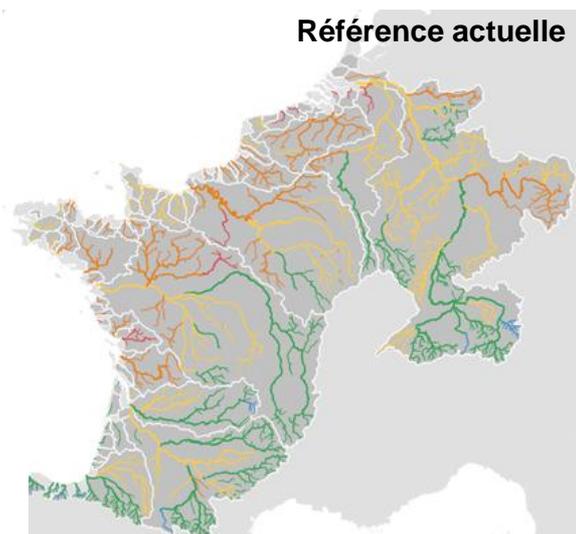
ktonN/an



Concentrations sous-racinaires (recharge nappe)



Concentrations dans le réseau hydrographique



Une agriculture
moins intensive en azote,
plus centrée sur les besoins locaux,
reconnectée avec l'élevage,
diversifiée pour se passer des pesticides,

Une alimentation
moins riche en protéines animales,

permettraient aux territoires français de nourrir
localement la population,
tout en produisant une eau de très bonne qualité
et en exportant encore (ou en utilisant à des fins
énergétiques) une part importante de sa
production agricole.



Le scénario d'agriculture biologique reconnectée à l'élevage à l'échelle de la France

		France entière	
		2006	OrgLocDemit
population	Minhab	64	64
Surface agricole	M ha	26	26
<i>% prairies permanentes</i>	%	31	33
Effectifs bétail	M UGB	21	10
production lait & viande	ktN/an	335	162
<i>fraction utilisée localement</i>	%	83	84
Disponible pour l'export	ktN/an	56	26
Production des prairies	ktN/an	769	517
<i>fraction besoins du bétail</i>	%	37	51
Production terres arables	ktN/an	1708	1183
Dont légumineuses	ktN/an	545	941
céréales & autres	ktN/an	1163	241
<i>fraction besoins humains</i>	%	726	102
Disponible pour l'export ou autres usages	ktN/an	222	448