



**Agriculture et métabolisme
socio-écologique :
du solaire au minier
... et retour ?**

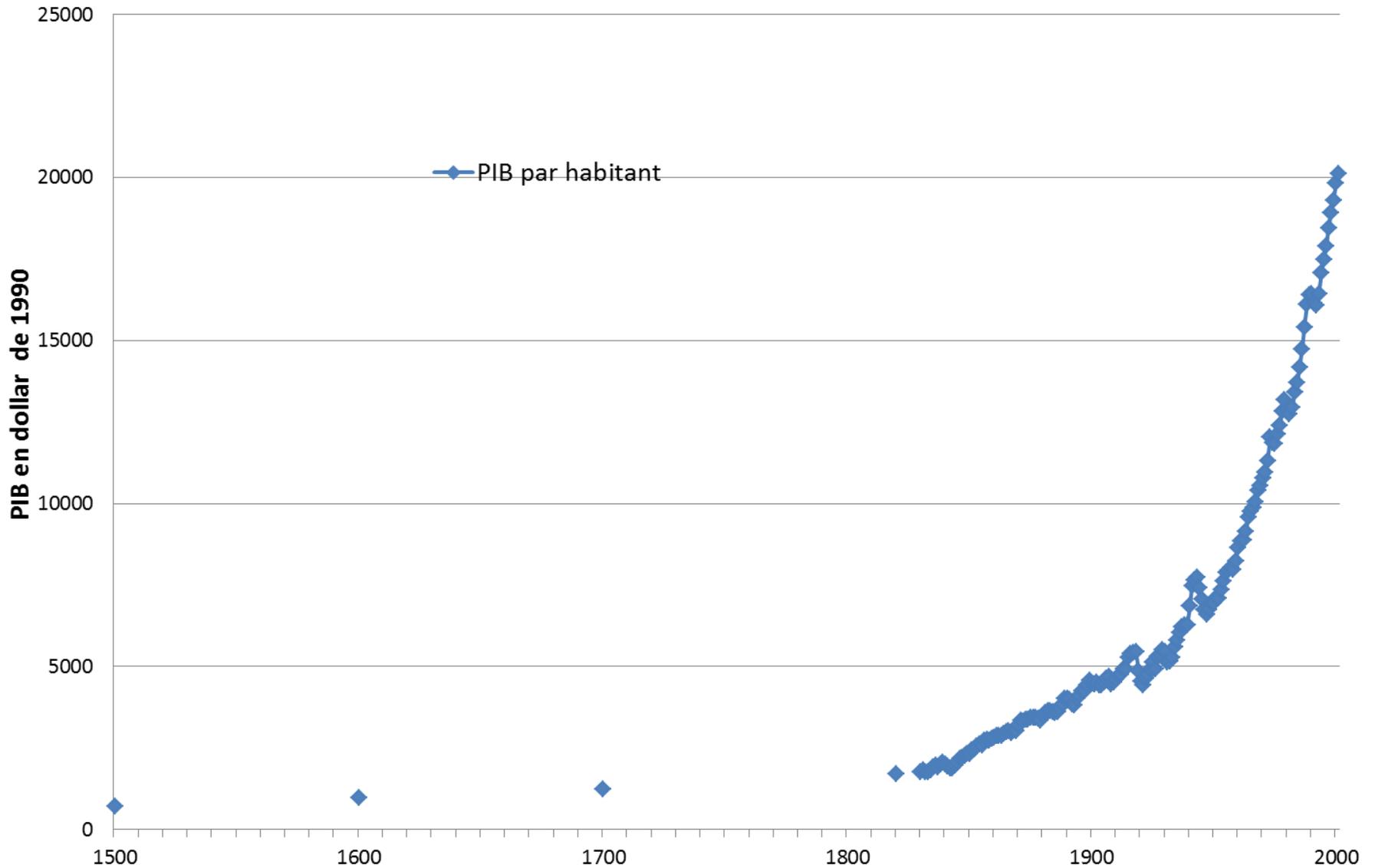
Benoit DAVIRON (CIRAD, UMR MOISA), Septembre 2019

Arles 1888

Métabolisme social

- Flux d'énergie et de matière
- Intrans et extrants
- Déchets
- Régime métabolique
- Transitions métaboliques
 - La révolution du néolithique
 - La révolution industrielle

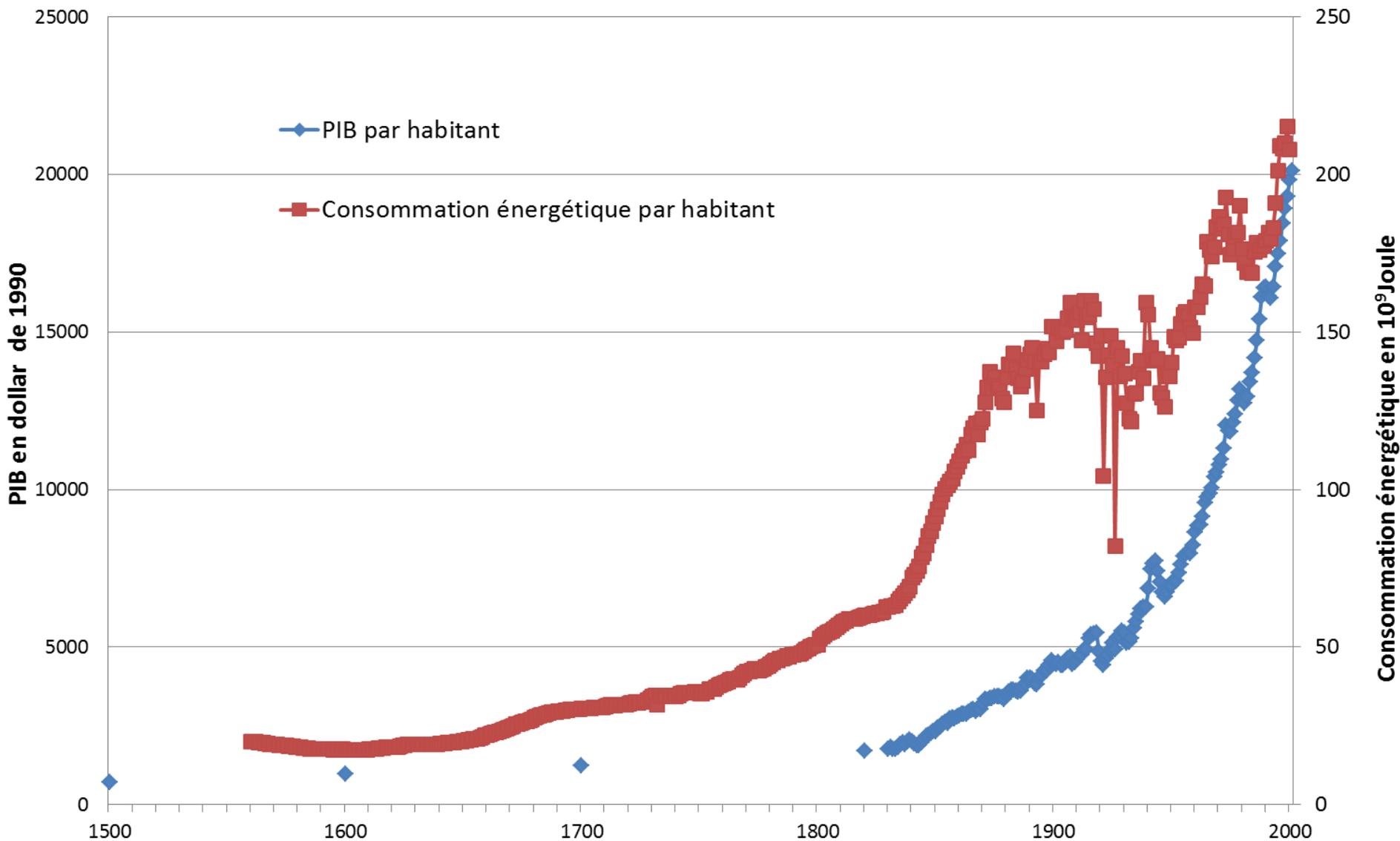
Grande Bretagne : PIB par habitant , 1500-2000



Source : Maddison, A. (2001). The world economy : a millennial perspective. Paris, OCDE

18/10/2019

Grande Bretagne : PIB par habitant et consommation énergétique, 1500-2000



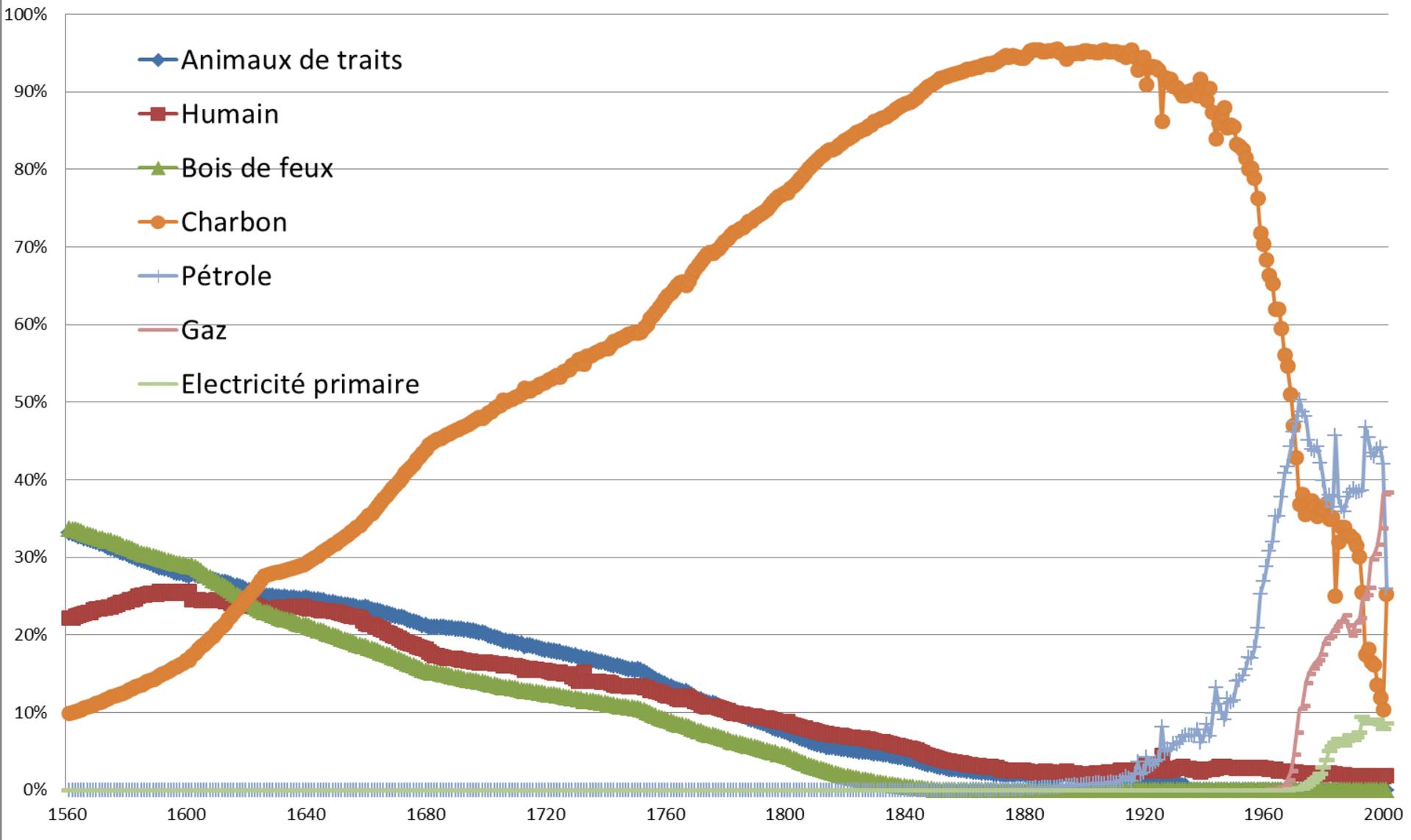
Source :

Maddison, A. (2001). The world economy : a millennial perspective. Paris, OCDE

18/10/2019

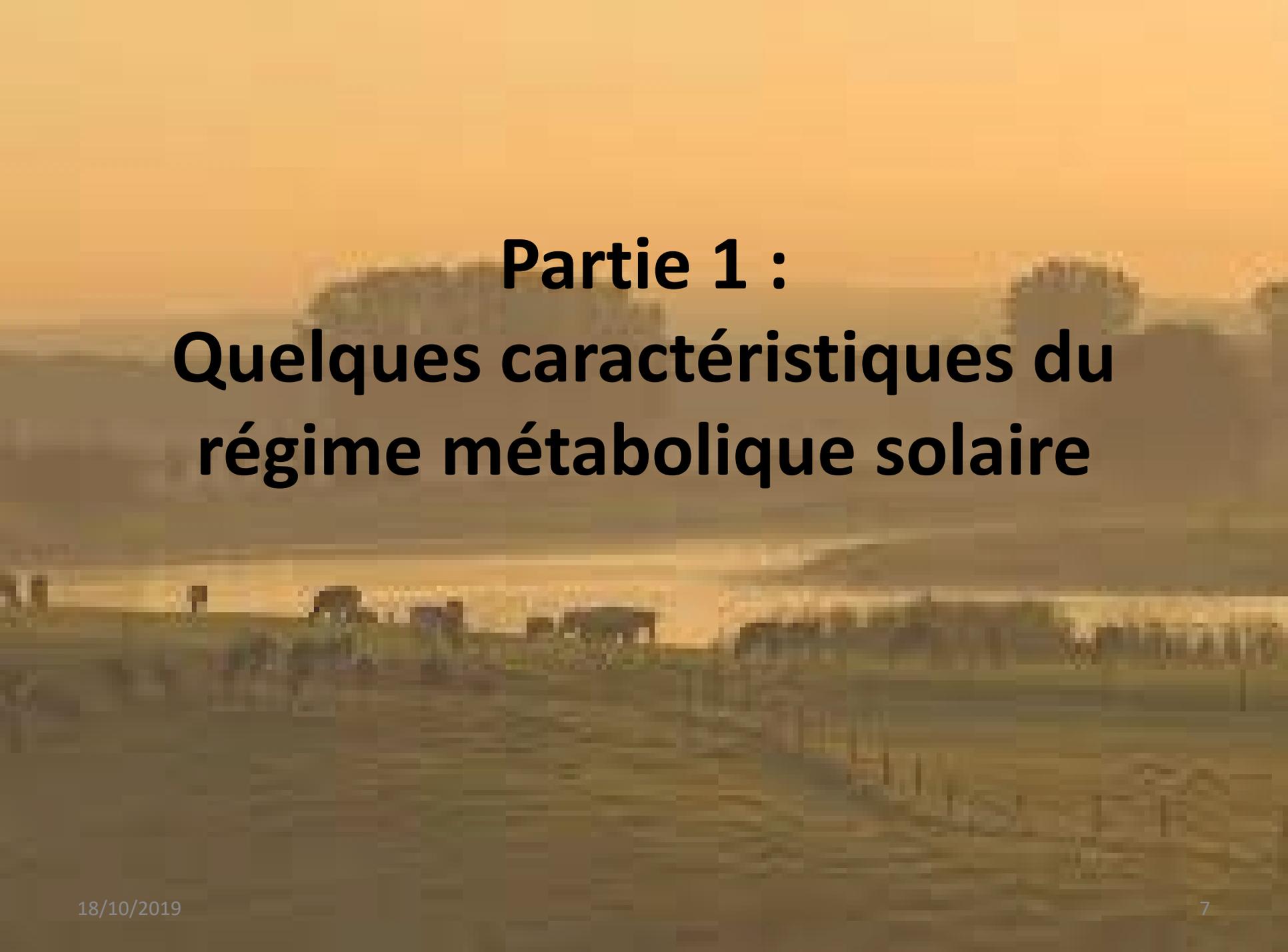
Warde, P. (2007). Energy Consumption in England & Wales, 1560-2000. Napoli, Consiglio nazionale delle ricerche. 4

Composition de la consommation énergétique du Royaume Uni, 1560-200

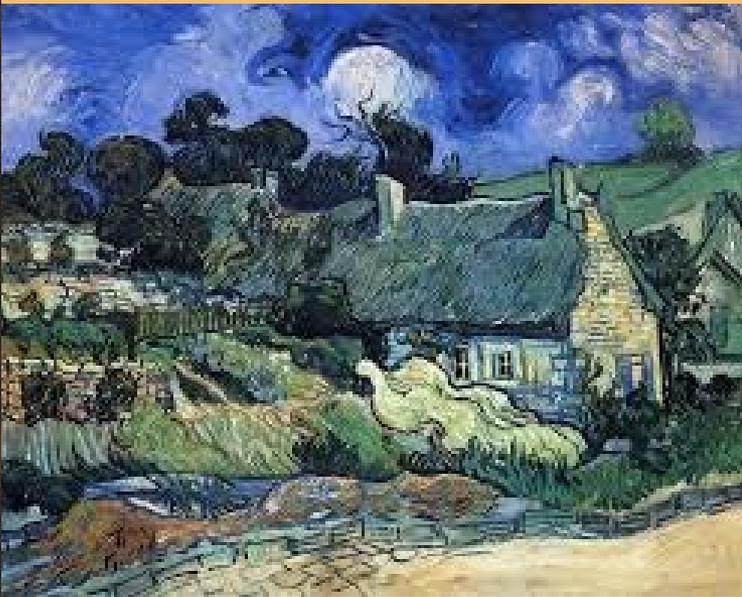


Plan

- Quelques caractéristiques du régime métabolique solaire
- L'offre agricole dans le régime métabolique minier 1: le charbon et la croissance horizontale
- La demande de biomasse dans le régime métabolique minier : la disparition des usages non alimentaires
- L'offre agricole dans le régime métabolique minier 2 : le pétrole et la croissance verticale
- Éléments de bilan



Partie 1 : **Quelques caractéristiques du** **régime métabolique solaire**



18/10/2019



18/10/2019

L'agriculture dans le régime métabolique solaire 1

- Agriculture = système énergétique solaire contrôlé (Rolf Peter Sieferle)
- Energie produite > énergie consommée
- Energie disponible dépend de l'espace contrôlé
- Champ, pâturage, bois = trois types d'énergie (métabolique, mécanique, thermique) = jeu à somme nulle

L'agriculture dans le régime métabolique solaire 2 : La diversité (suite)

Culture et lieu	Rendement (jachère incluse)
Horticulture en PPNG	1 390 MJ/Ha
Blé en Inde	11 200 MJ/Ha
Mais au Mexique	29 400 MJ/Ha
Riziculture intensive en Chine	281 000 MJ/Ha

Leach, G. (1975). Energy and food production.

L'agriculture dans le régime métabolique solaire 2 : La diversité (suite)

Société, lieu et plante	Productivité du travail
Xavante, Brésil (riz, manioc)	7100 Kcal/heure
Shipibo, Pérou (banane, maïs, haricot, manioc)	7680 Kcal/heure
Kantu, Indonésie (riz pluvial)	4500 Kcal/heure
Anglais, 1800 (blé, lait, viande)	2600 Kcal/heure

Clark G, 2007. *A farewell to alms : a brief economic history of the world*, Princeton University Press, Princeton ; Oxford, xii, 420 p.

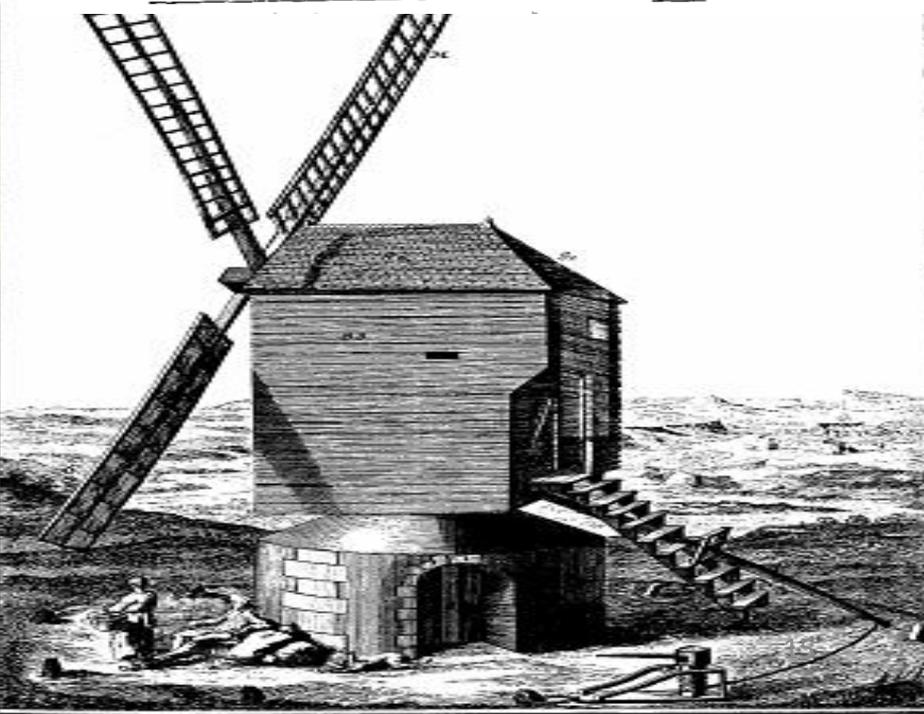
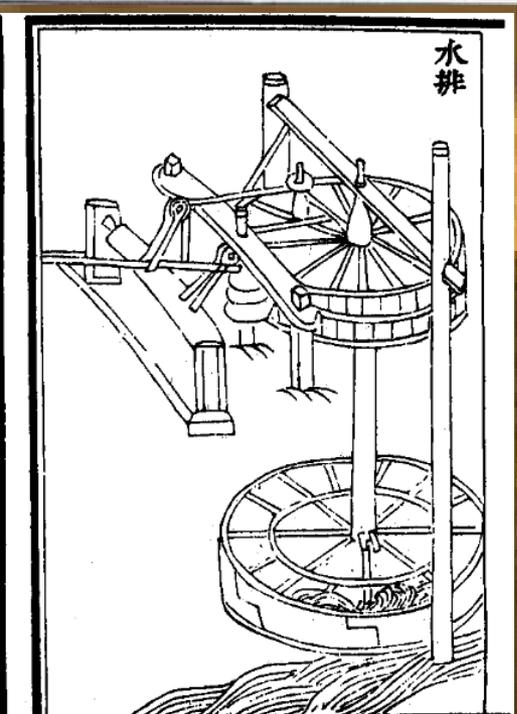
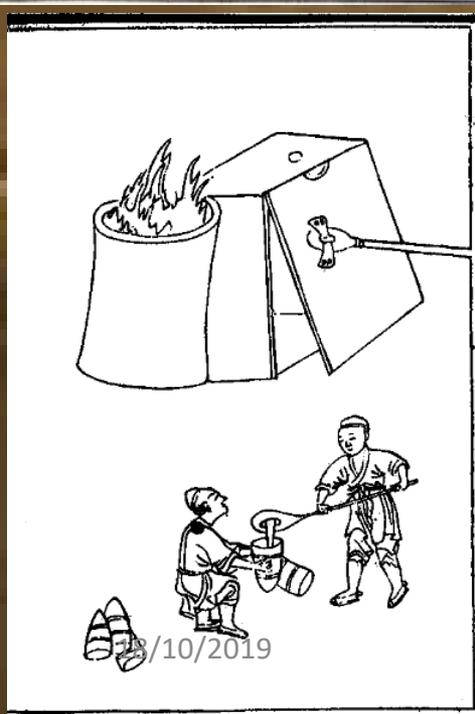
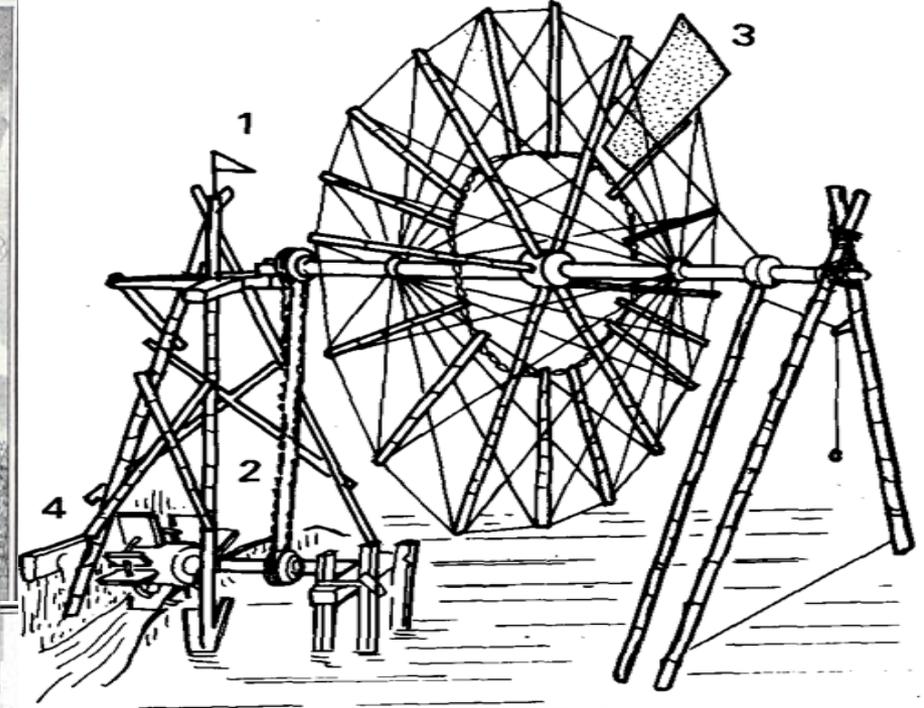
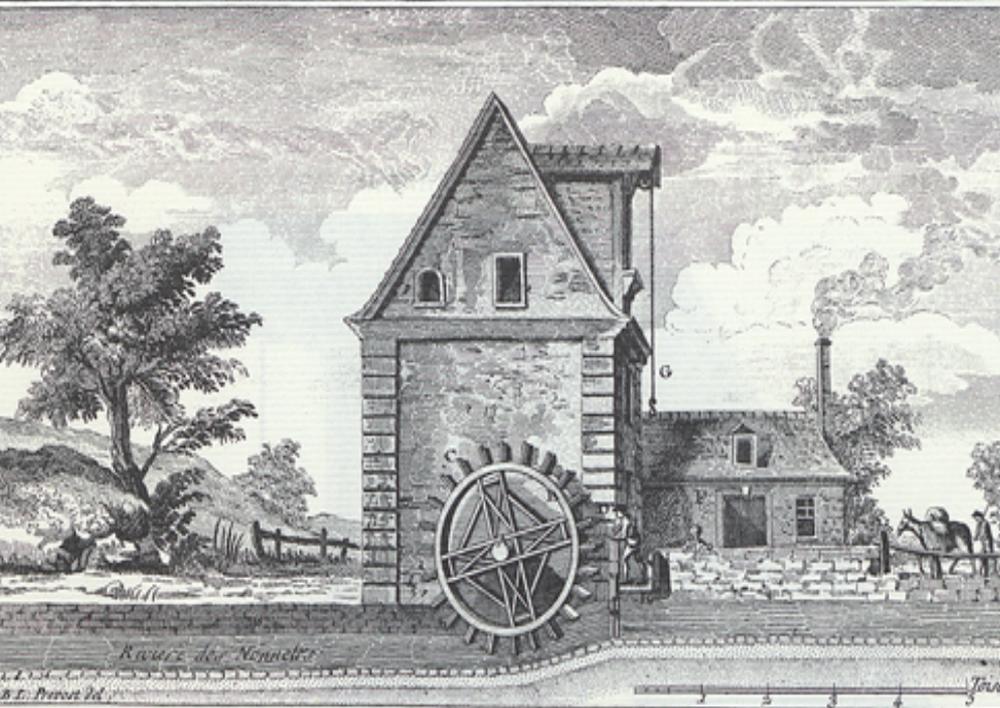
L'agriculture dans le régime métabolique solaire 3 : Le changement

- Le cas de la « Révolution agricole » en Angleterre
 - Rupture démographique à la fin du XVII
 - Accroissement de la production d'aliments et de matières premières
 - Explosion du nombre de chevaux et surf. avoine
 - Point de vue agronomique :
 - Culture de légumineuses et de navets pour le bétail
 - Accroissement de la taille des troupeaux
 - Accroissement de la quantité d'azote apportée au champ
 - *Mixed farming* : Une unité productive autosuffisante en intrants (Thompson)

L'agriculture dans les économies organiques 3 :

Le changement (suite)

- Livre IRD « Agricultures singulières »
- De multiples « révolutions »
- Riziculture intensive en Chine
- L'arrivée des plantes d'Amérique dans l'ensemble Afrique- Eurasie



Possibilités limitées d'échanges : La tyrannie de la distance

- La très grande difficulté du transport terrestre : l'absence de source d'énergie mécanique mobile (F.Cottrell)
- La très grande importance des cours d'eau et des mers

Jonque et caravaques



Caravelle

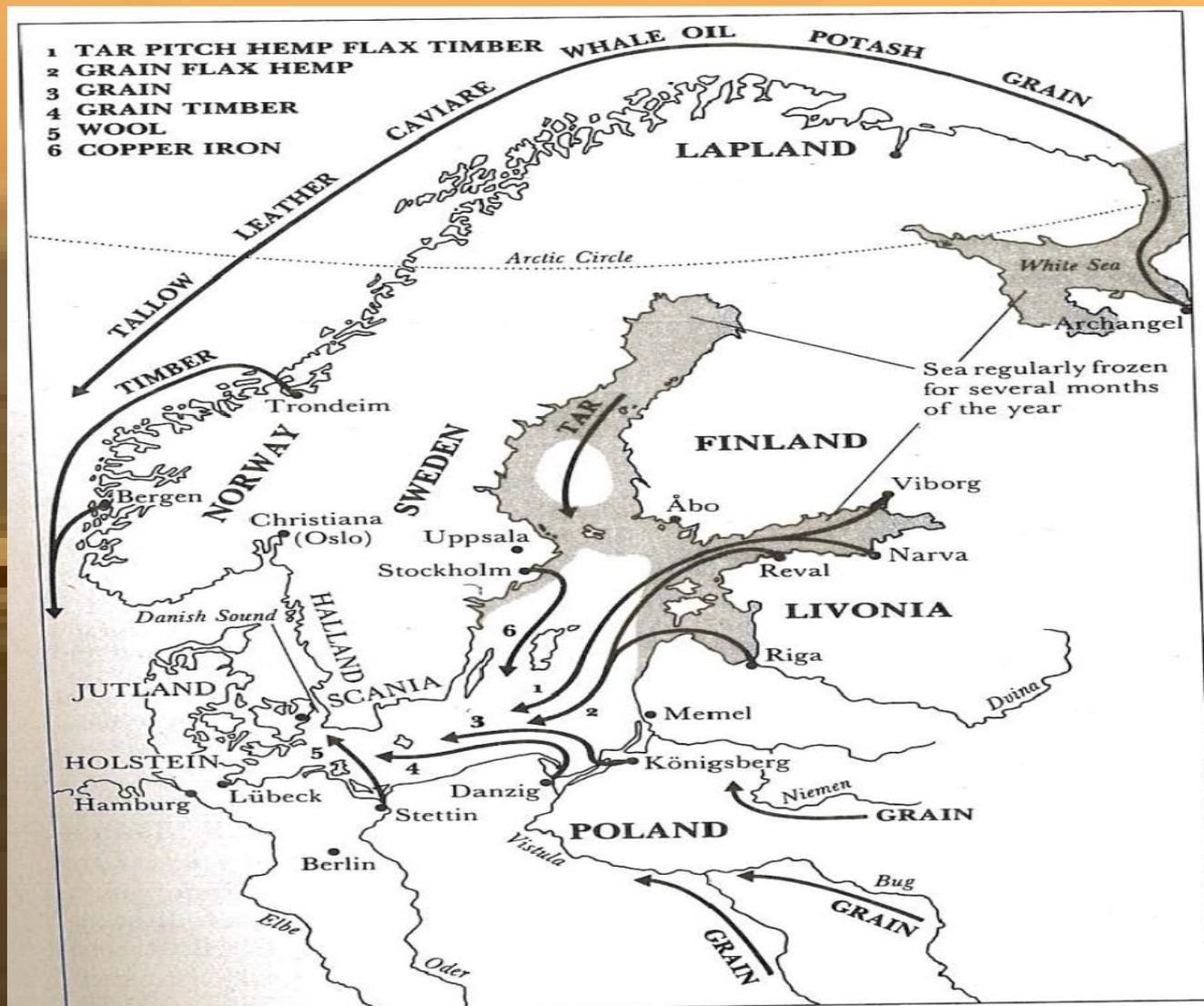
Jonque impériale

www.les-aventures.com

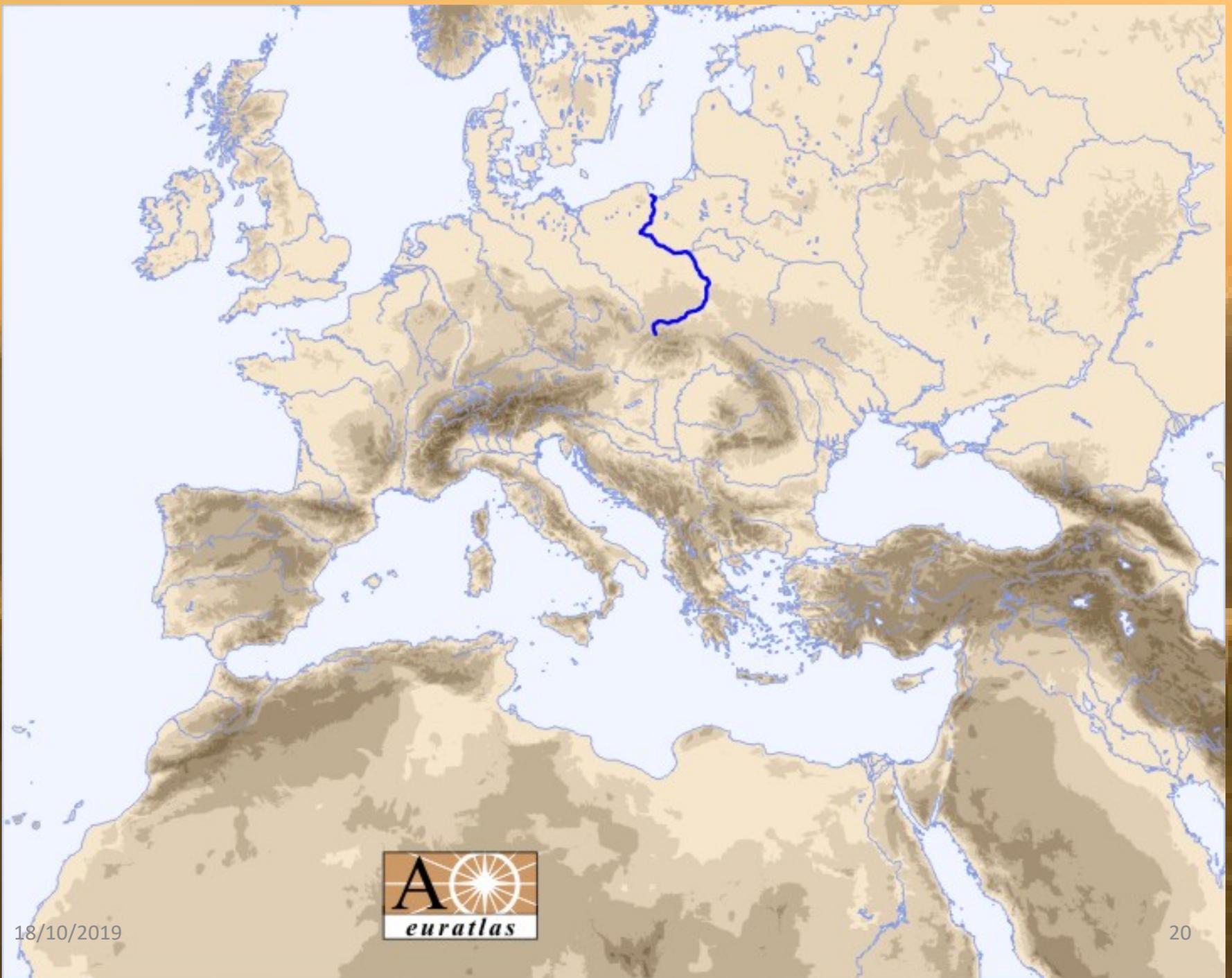
"Bateau aux Trésors" Jonque de Zheng He et Santa Maria de Colomb à l'échelle



Hollande : Importations en provenance de la Baltique au XVIème



2.1 Scandinavia and the Baltic trade area during the sixteenth century.



Allegory of Gdańsk trade 1608. Détail



Importation de biomasse de l'Europe dès le XVII

- Atlantique et Arctique : poisson (morue !) et gras (baleine + poisson)
- Baltique : grain, lin, chanvre, produits forestiers, fourrures
- Îles tropicales: sucre, café, coton, indigo



Partie 2
**L'offre agricole dans le régime
métabolique 1: le charbon et la
croissance horizontale**

Le charbon comme énergie

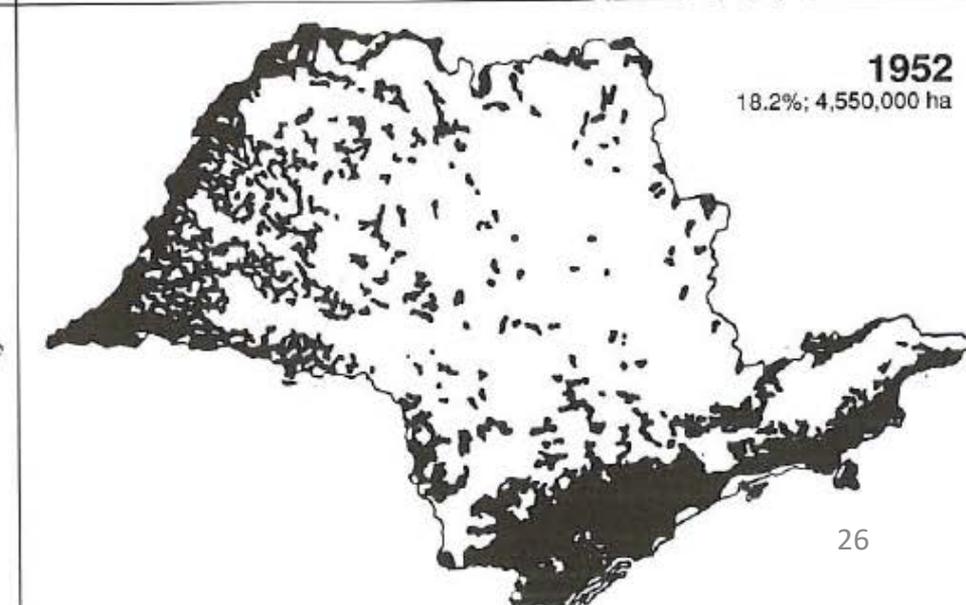
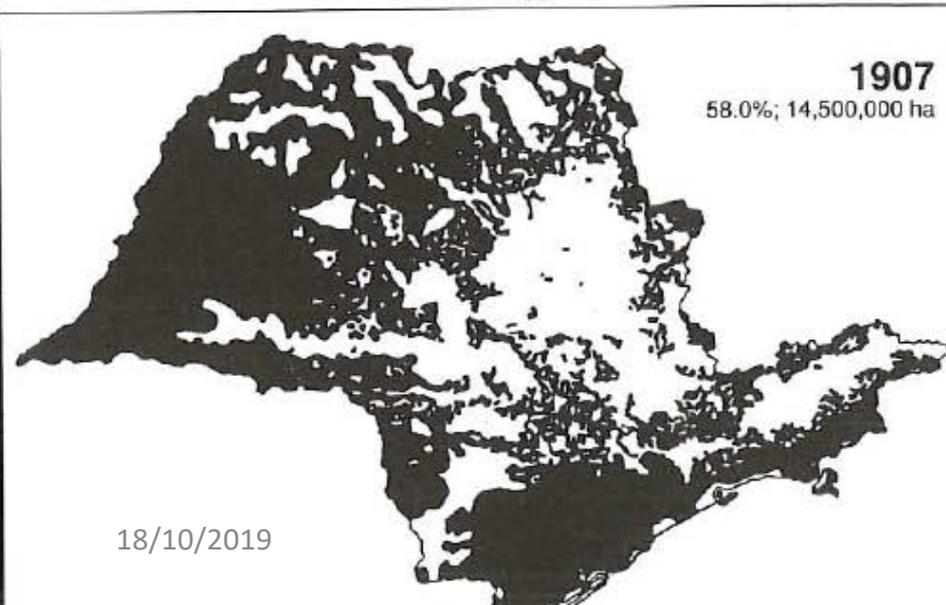
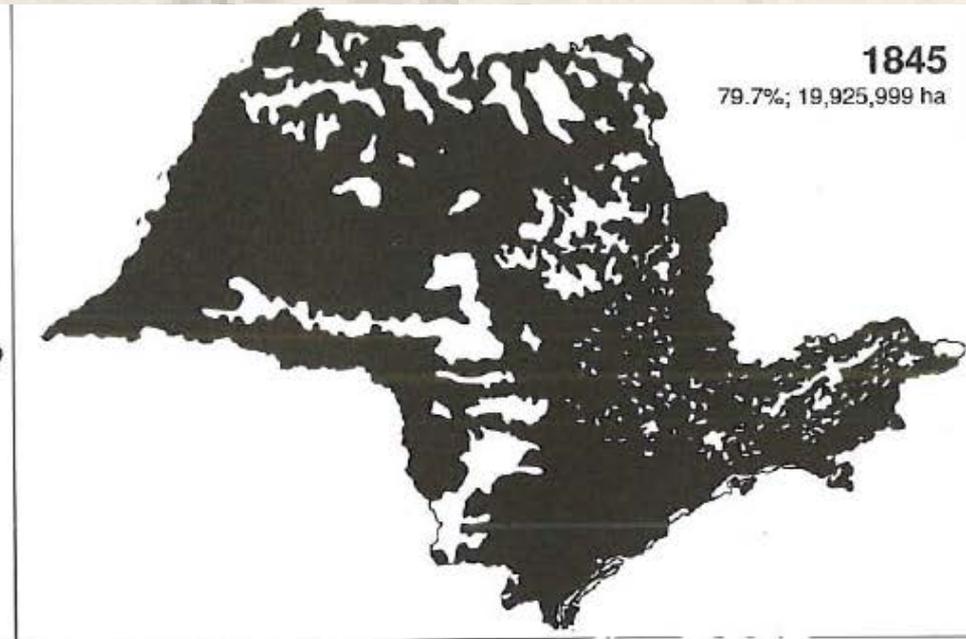
- Energie thermique : acier, brique...
- Energie mécanique : machine à vapeur
 - Redéfinie la contrainte du transport : bateau + chemin de fer. Le transport terrestre ne dépend plus de la biomasse
 - Elimine la dépendance vis-à-vis des cours d'eau : Naissance de la ville industrielle

Front pionnier 1

- Front pionnier frontière (*the frontier*) = accès à un territoire vide, ou plutôt, vidé de sa population (Turner, Webb)
- *Tableau : Surfaces cultivées en millions d'ha*

Continent/Pays	1850	1920	Evolution
Europe	132	147	1
Russie	94	178	2
Amérique du Nord	50	179	3,5
Amérique Latine	18	45	2,5
Afrique Tropicale	57	88	1,5
Asie du Sud	71	98	1,3
Asie du Sud-Est	7	21	3

Surface en forêt de l'état de Sao Paulo

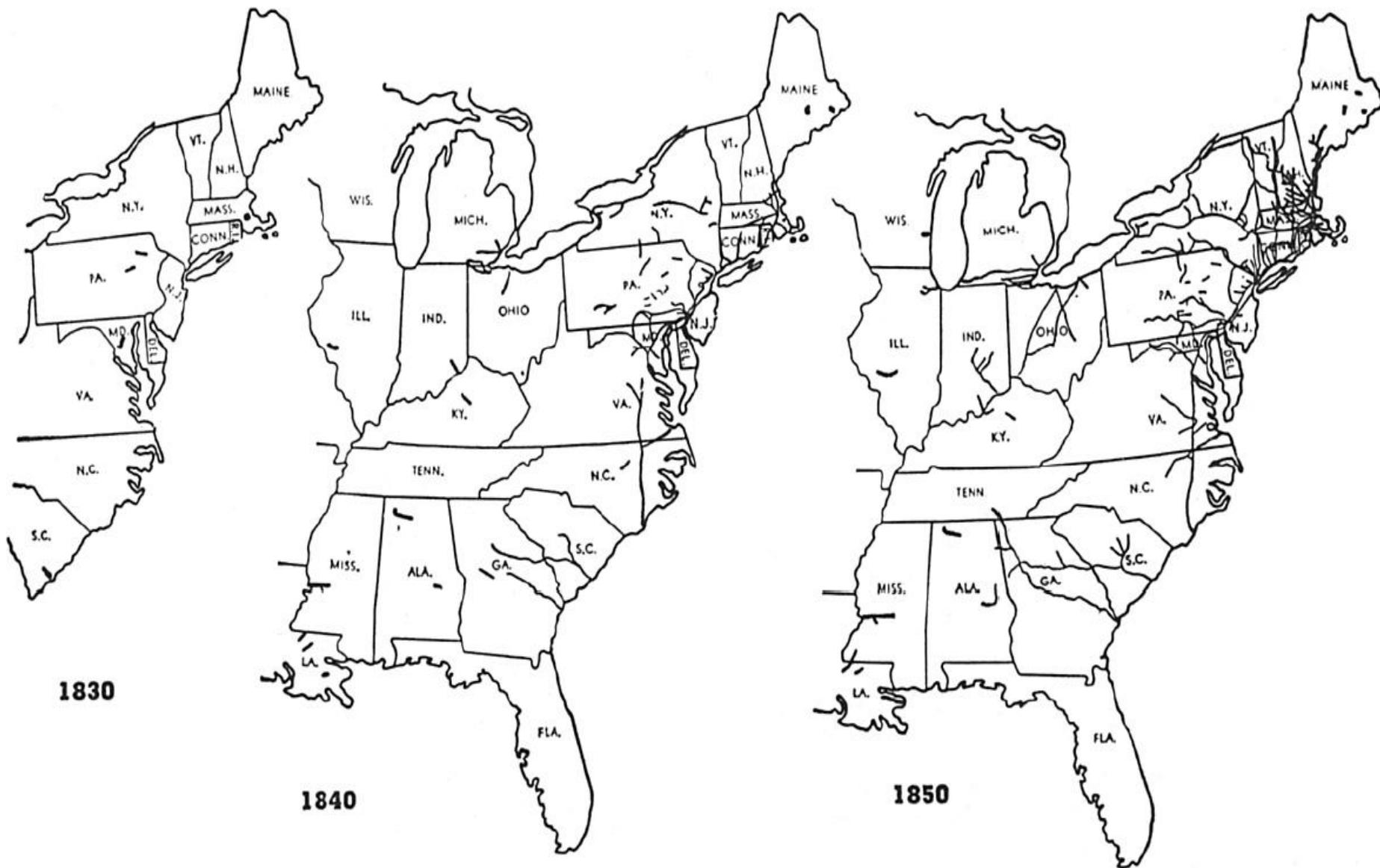


Front pionnier 2

- Le rôle central du chemin de fer

Tableau : Km de voie ferrée par habitant en 1913

Pays	Km/Hab
Grande Bretagne	7,8
France	12,9
Allemagne	9,4
Etats-Unis	43,5
Canada	61,3
Australie	65,0
Argentine	41,9



1830

1840

1850

The early stages of railway development in America are shown by this set of maps. During the decade 1830-1840, the total length of completed railroad lines increased from 23 to 2,808 miles, and during the next ten years, more than 6,200 miles of railroad were opened, bringing the total network up to 9,021 miles in 1850. The most intensive growth during this period was in the Atlantic and Seaboard states. In 1850, a trip from Boston or New York to Chicago was made by rail and lake steamers or by stagecoaches, and required several days. One could travel all the way from Boston to Wilmington, North Carolina, by rail, with several changes of cars and a few ferry trips en route. During the first twenty years of railway development, covered by these maps, the population of the United States nearly doubled.



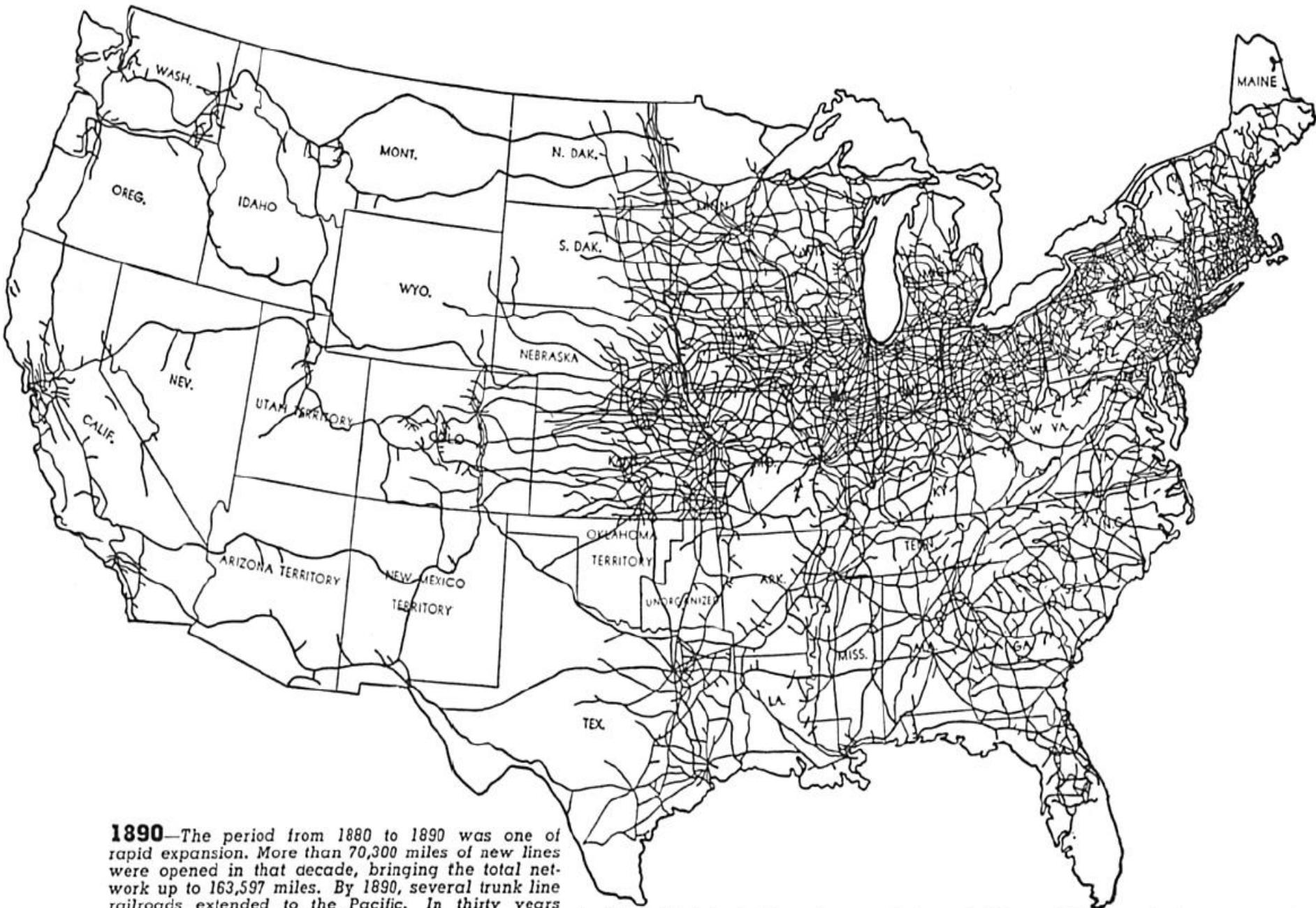
1860—This map shows the extent of railway development just prior to the Civil War. The decade 1850-1860 was a period of rapid railway expansion, characterized by the extension of many short, disjointed lines into important rail routes. This decade marked the beginning of railway development in the region west of the Mississippi River. By 1860, the "Iron Horse" had penetrated westward to the Missouri River and was beginning to make itself felt in Iowa, Arkansas, Texas, and California.



1880—In the ten-year period prior to 1880, some 40,000 miles of railroad were built, bringing the total network up to 93,267 miles. In 1880, every state and territory was provided with railway transportation.

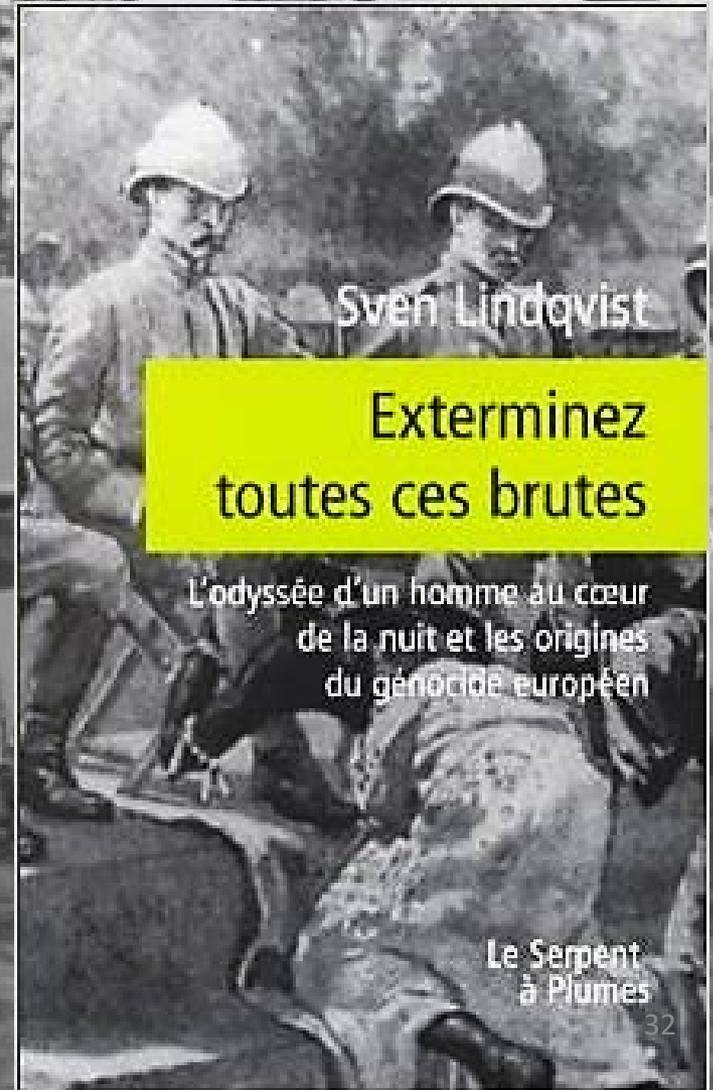
A second line of railroads to the Pacific was nearing completion, and other transcontinental railroads were under construction.

Railway development was exerting a powerful influence upon immigration and agricultural and industrial growth throughout the country.



1890—The period from 1880 to 1890 was one of rapid expansion. More than 70,300 miles of new lines were opened in that decade, bringing the total network up to 163,597 miles. By 1890, several trunk line railroads extended to the Pacific. In thirty years from 1860 to 1890, the total mileage of the region west of the Mississippi River increased from 2,175 to 72,389, and the population of that area increased fourfold.

Front pionnier 3 : Industrialisation de la violence



Sven Lindqvist

**Exterminez
toutes ces brutes**

L'odyssée d'un homme au cœur
de la nuit et les origines
du génocide européen

Le Serpent
à Plumes

32

Front pionnier 4 : Migrations

Destinations	Origines	Nombre
Amériques	Europe	55–58 million
Asie du Sud Est, Côtes de l'Océan Indien, Pacifique Sud	Inde, Chine Sud China	48–52 million
Manchourie, Sibérie, Asie Centrale, Japon	Asie du Nord Est, Russie	46–51 million

Front pionnier 5: Une exploitation minière de la fertilité des sols

- Exemple de Finley dans l'Arkansas
 - 1895 = 1687 kh/ha
 - 1930 = 400 kg/ha
- Sud cotonnier, Brésil du café, Île à sucre

Crise écologique





18/10/2019

La formation d'un marché mondial

Part des importations dans les disponibilités de biomasse aux Royaume Uni

	1872	1892	1912
Blé	48 %	73 %	81 %
Viande	14 %	32 %	42 %

- **Fibres textiles : 1913 = 97%**
- **Bois : 1913 = 87%**



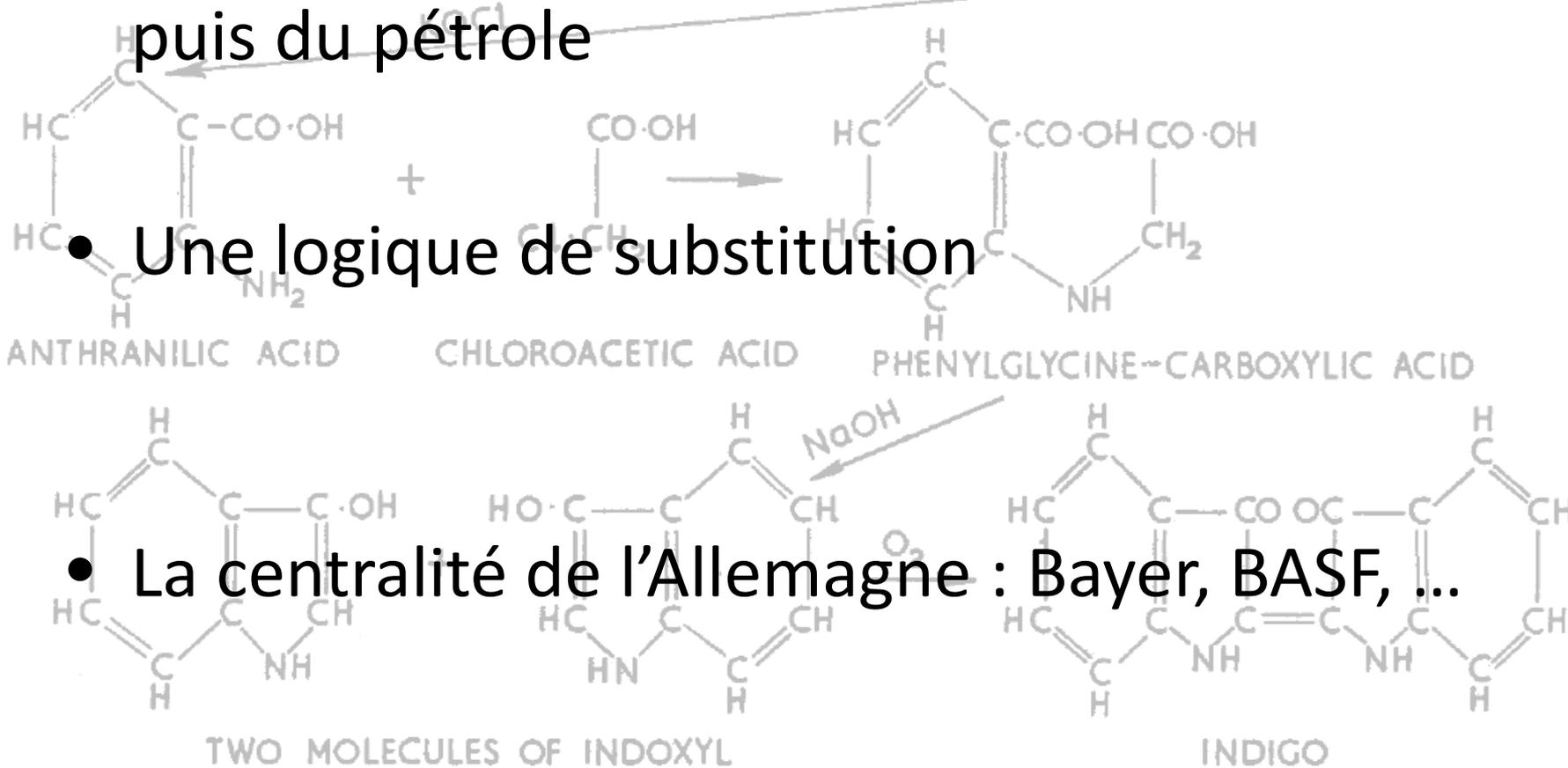
Partie 3 :
**La demande de biomasse dans le régime
métabolique minier : la disparition des
usages non alimentaires**

La chimie organique bouleverse la demande de biomasse

- Une logique de synthèse à partir du charbon puis du pétrole

- Une logique de substitution

- La centralité de l'Allemagne : Bayer, BASF, ...



D'abord les teintures puis... tous types de matériaux

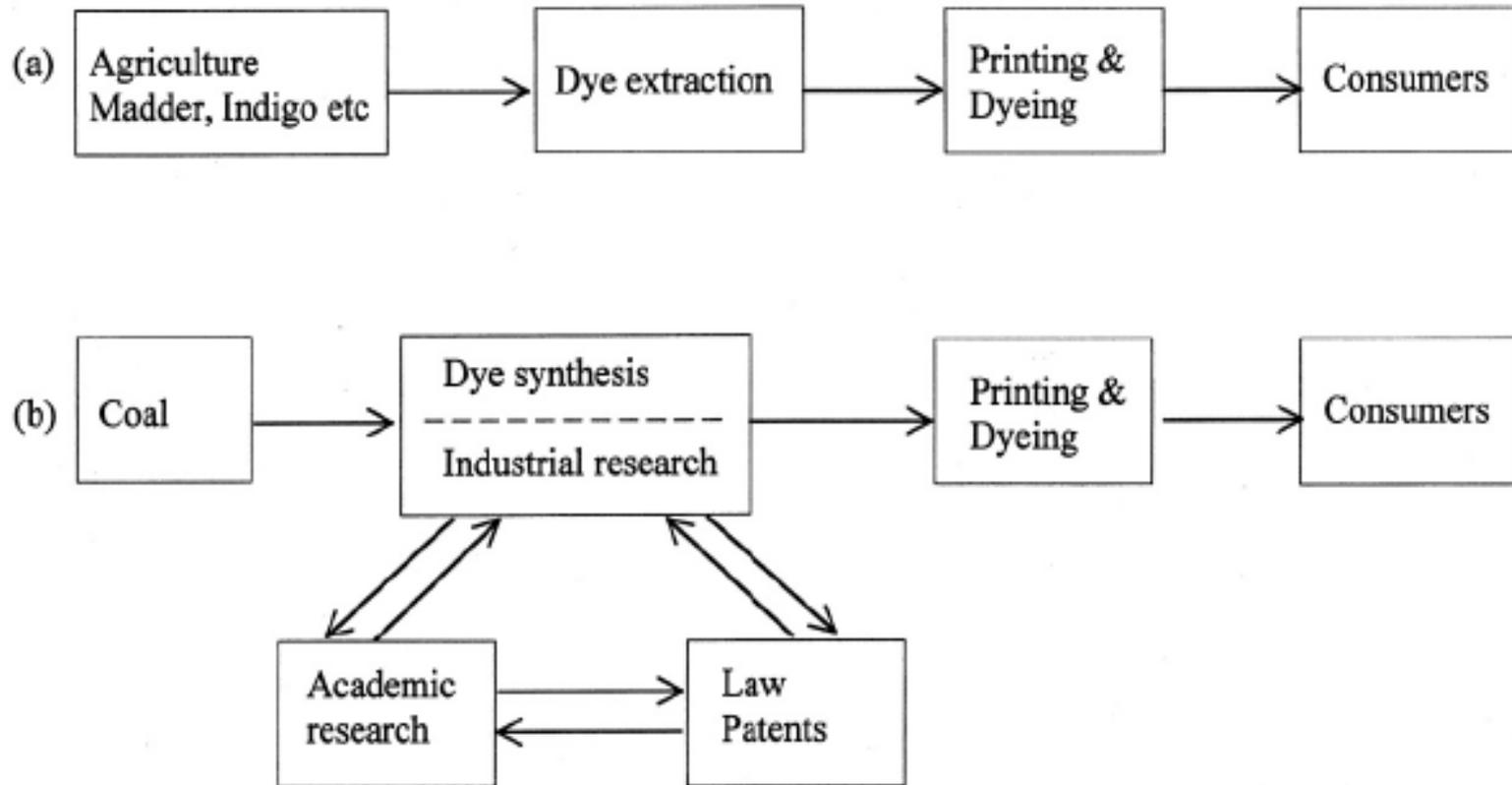
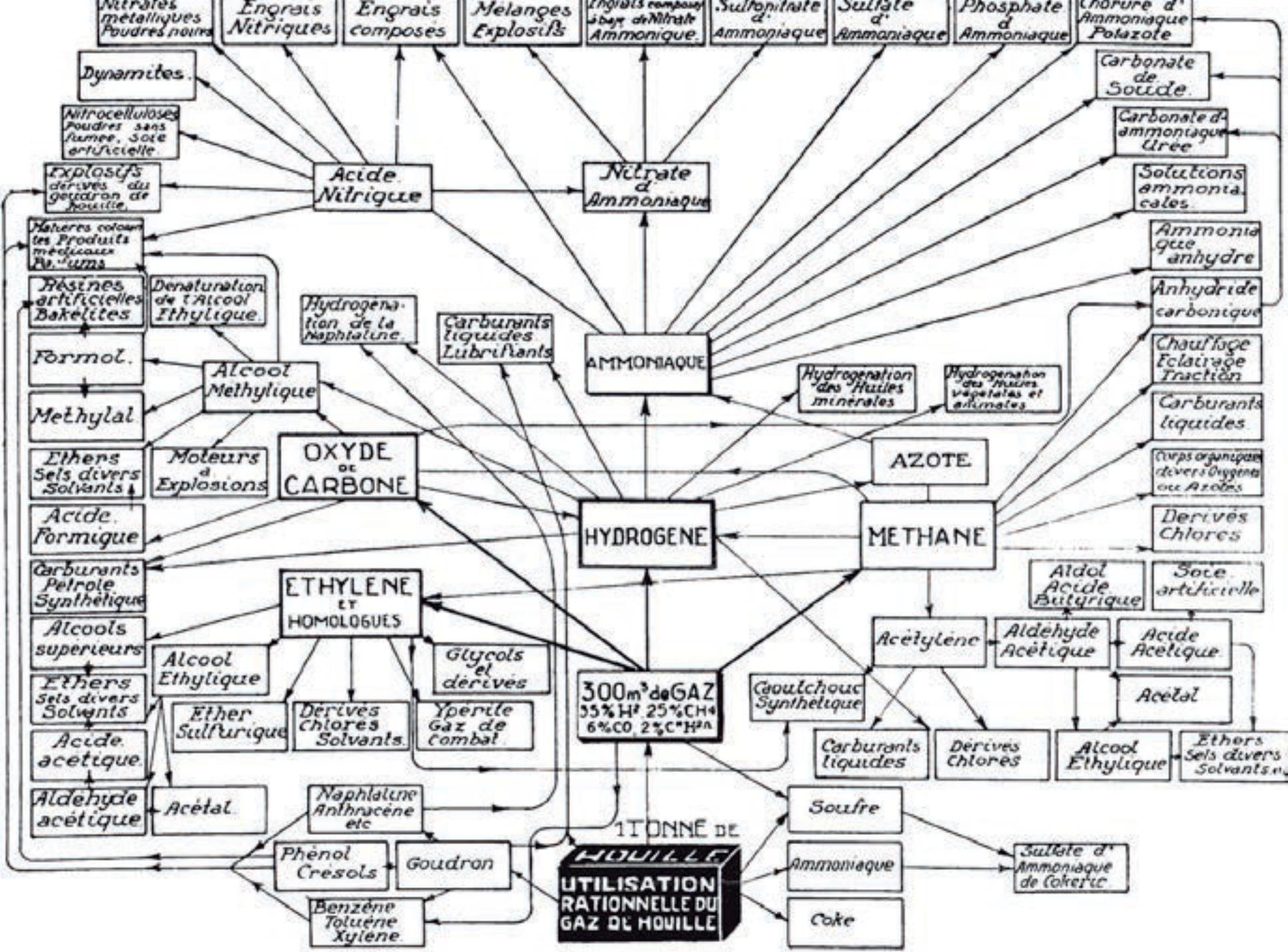


Figure 1. Material flows and social relations of dye production: (a) early nineteenth century, (b) late nineteenth century.



La disparition des débouchés non-alimentaires

- Exemple des matières grasses en France

1817		1993	
Eclairage	43%	Usages industriels	9%
Savon	20%	Alimentation humaine	68%
Alimentation	35%	Alimentation animale	20%
Autres	2%	Autres	2%

Place des animaux

- Comment les animaux sont devenus des usines à viande (poils, os, gras, travail, fumier)

*Round of beef cut for savory,
square-meal Swiss Steak*

Swiss Steak...put it in the pan...turn on the heat
and sniff its steaming fragrance as it simmers, bubbles and

TABLEAU DES PRODUCTIONS ANIMALES			Chien	Porc	Coq Poule
<u>PRODUITS CORPORELS</u>					
Viande	Quartiers		+	+	+
Abats				+	+
Sang		Aliment		+	+
		Colle, etc.			
Graisse		Aliment		+	+
		Eclairage		+	+
		Autres			
Sécrétions diverses		Liquides			
		Solides (Bezoars, gobes)			
Membranes				+	
Tendons					
Os	Crâne				
	Os plats				
	Os longs				
	Osselets				
	Moëlle				
Dents, défenses					
Cornes, bois					
Ecailles					
Peau	Fourrure		+		
	Cuir			+	

Poils	Crins				
	Jarre				+
	Bourre	Feutre			
		Fil		+	
Plumes					
Excréments	Urine				
	Fèces	Enduit, ciment			
		Combustible			
		Engrais		+	+
Lait	Lait frais				
	Produits laitiers				
Oeufs	Aliment				
	Coquille				+

TABLEAU DES PRODUCTIONS ANIMALES (suite)			Chien	Porc	Coq Poule
<u>ENERGIE</u>					
Foulage	Dépiquage				
	Labour	Prépar. du champ		+	
		Enfouiss. des semis		+	
Port	Bât		+		
	Litière				
	Selle				
Trait	Travois		+		
	Attelage	Instr. à dépiquer			
		Araire, charrue			
		Voiture, traîneau	+		±
	Manège	Dalou			
		Noria, saqiya, etc.			
		Moulins			
Roue-cage et assim.			+		
Autres					

COMPORTEMENTS

Aliment. et de prédat.	Nettoyage Excrém. humains	+	+	
	Autres déchets	+	+	+
	Lutte contre les rongeurs, etc.			
	Auxiliaire de chasse	+		
	Auxiliaire de cueillette	+	+	
Territ.	Eveil	+		?
	Garde	+		
	Transmissions de messages			
Sociaux	Compagnie	+		
	Substitut d'enfant	+	+	
	Chant			?
	Appelant de chasse			
	Conduite des troupeaux	+		
	Combats			+
		Courses	+	
	Spectacle et autres	+		

SIGNES

Repère temporel (migrations saisonnières)

Divination

Sacrifice

Signe de statut social

Signe de richesse

Unité monétaire

+

+

+

+

+

Sigaut, F. (1983). "Un tableau des produits animaux et deux hypothèses qui en découlent." Nouvelles de l'Archéologie **11(1)**: 45-50.

The background image shows an oil pumpjack (jack-o'-lantern) in a rural setting during sunset. The sky is filled with soft, orange and pink clouds, and the sun is low on the horizon, casting a warm glow. The pumpjack is a large, dark metal structure with a long, angled arm and a counterweight. In the foreground, there is a yellow metal fence and a sign that reads "NEED OIL CONE".

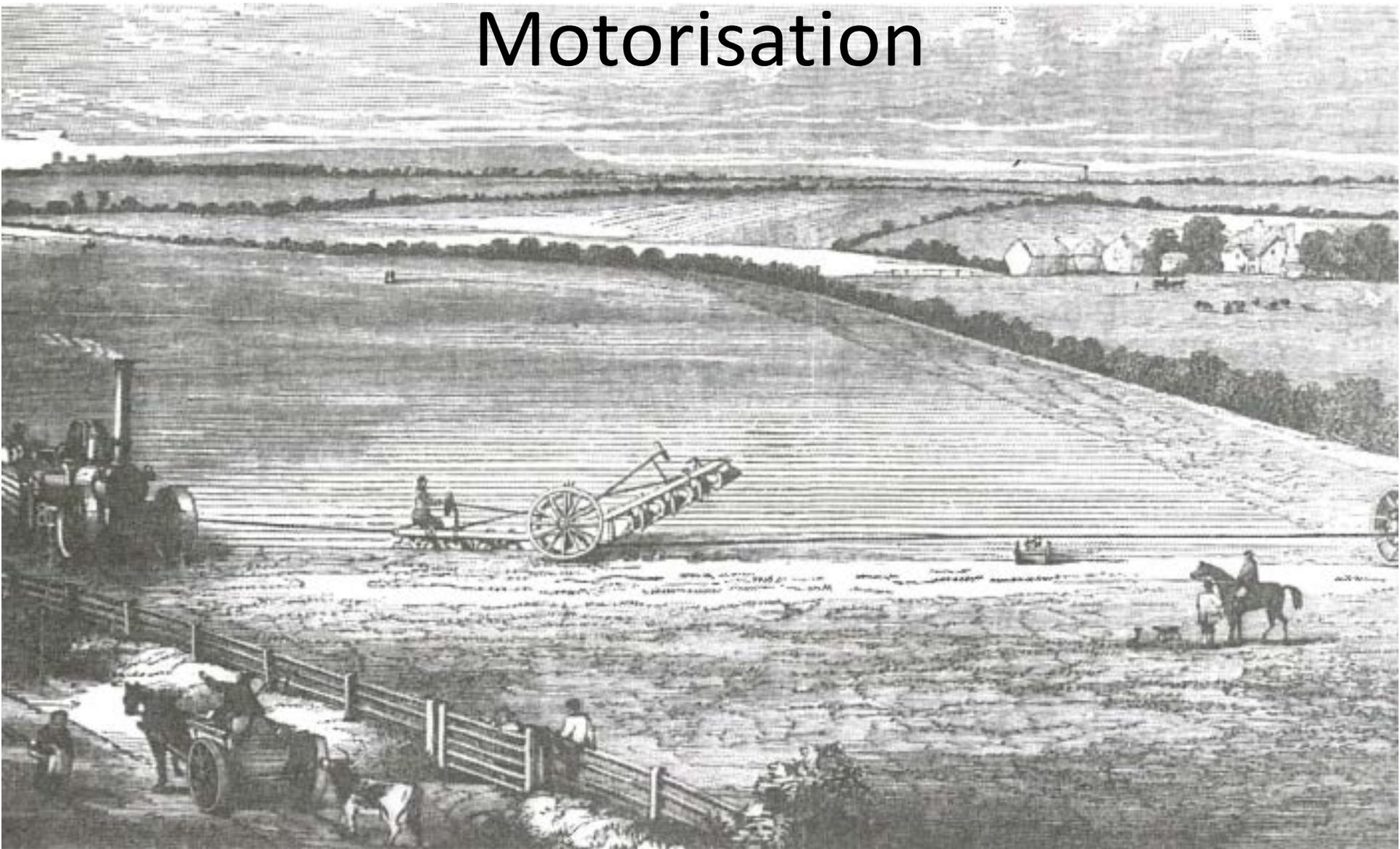
Partie 4

L'offre agricole dans le régime métabolique minier 2: le pétrole et la croissance verticale

Trois Innovations pour l'agriculture

- Liées aux énergies fossiles
- ...et au militarisme

Motorisation







gettyimages[®]
SuperStock



Synthèse de l'ammoniac

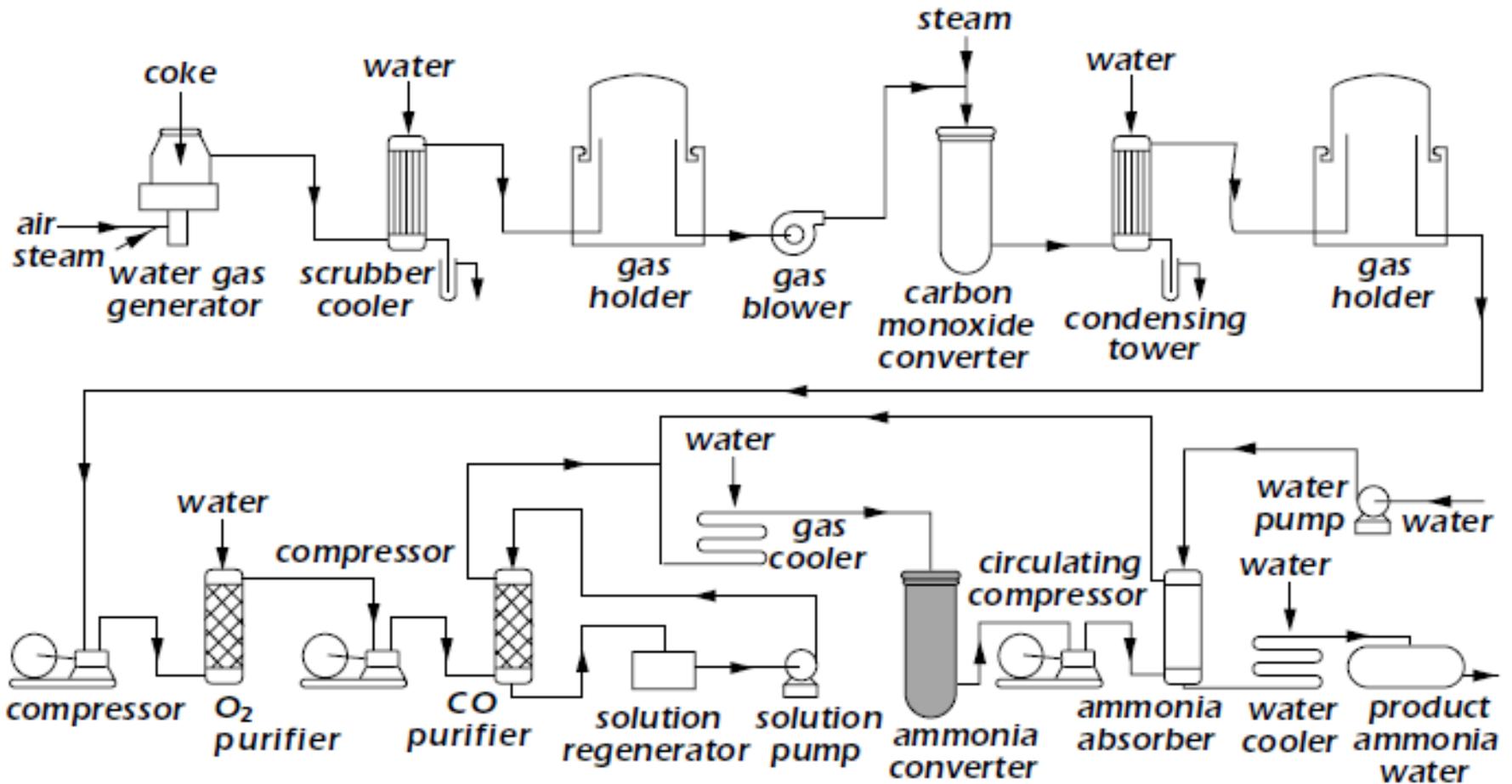
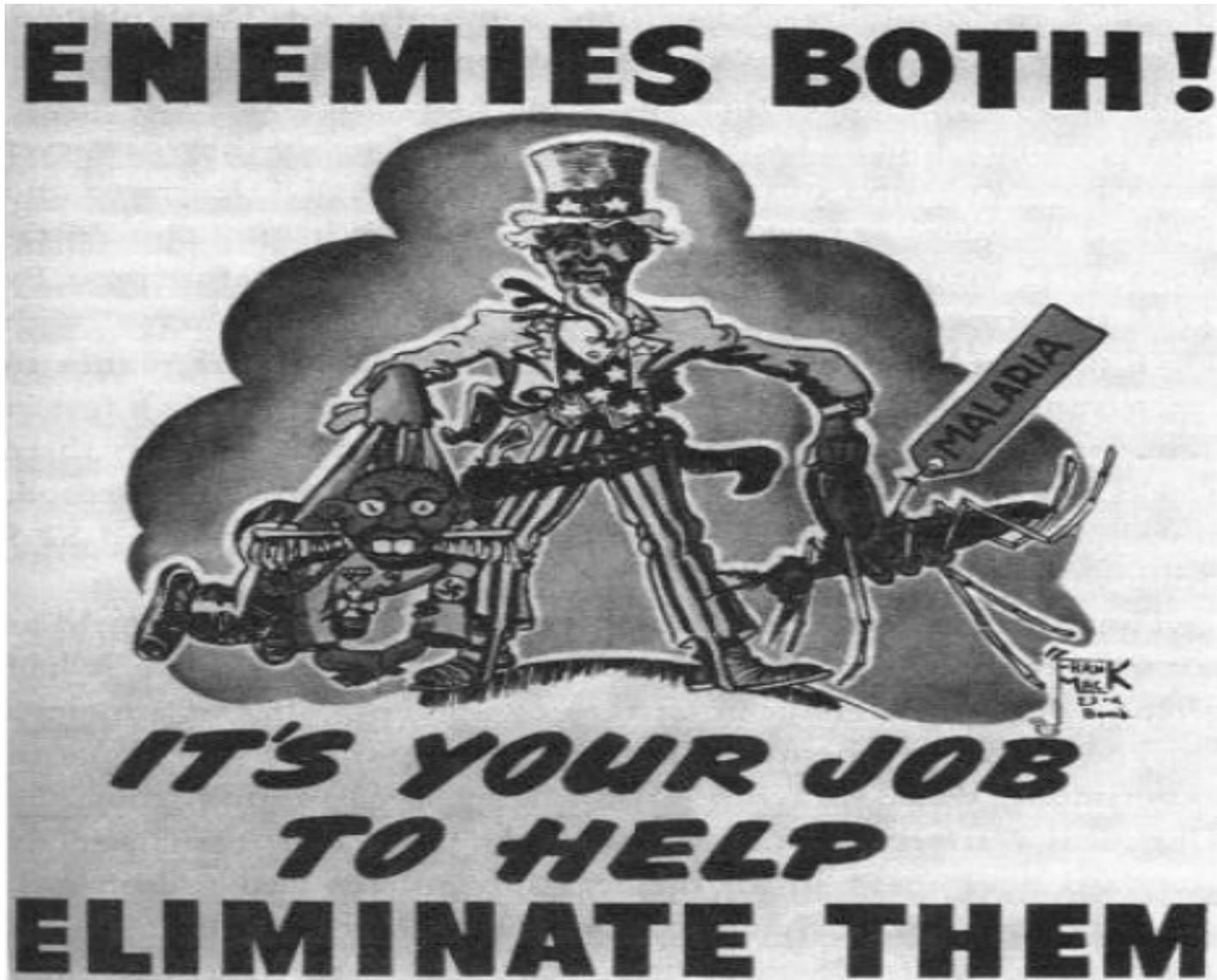


Figure 6.1

Classical Haber-Bosch process of ammonia synthesis.

Smil, V. (2001). Enriching the earth : Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production. Cambridge, Mass. ; London, MIT Press.

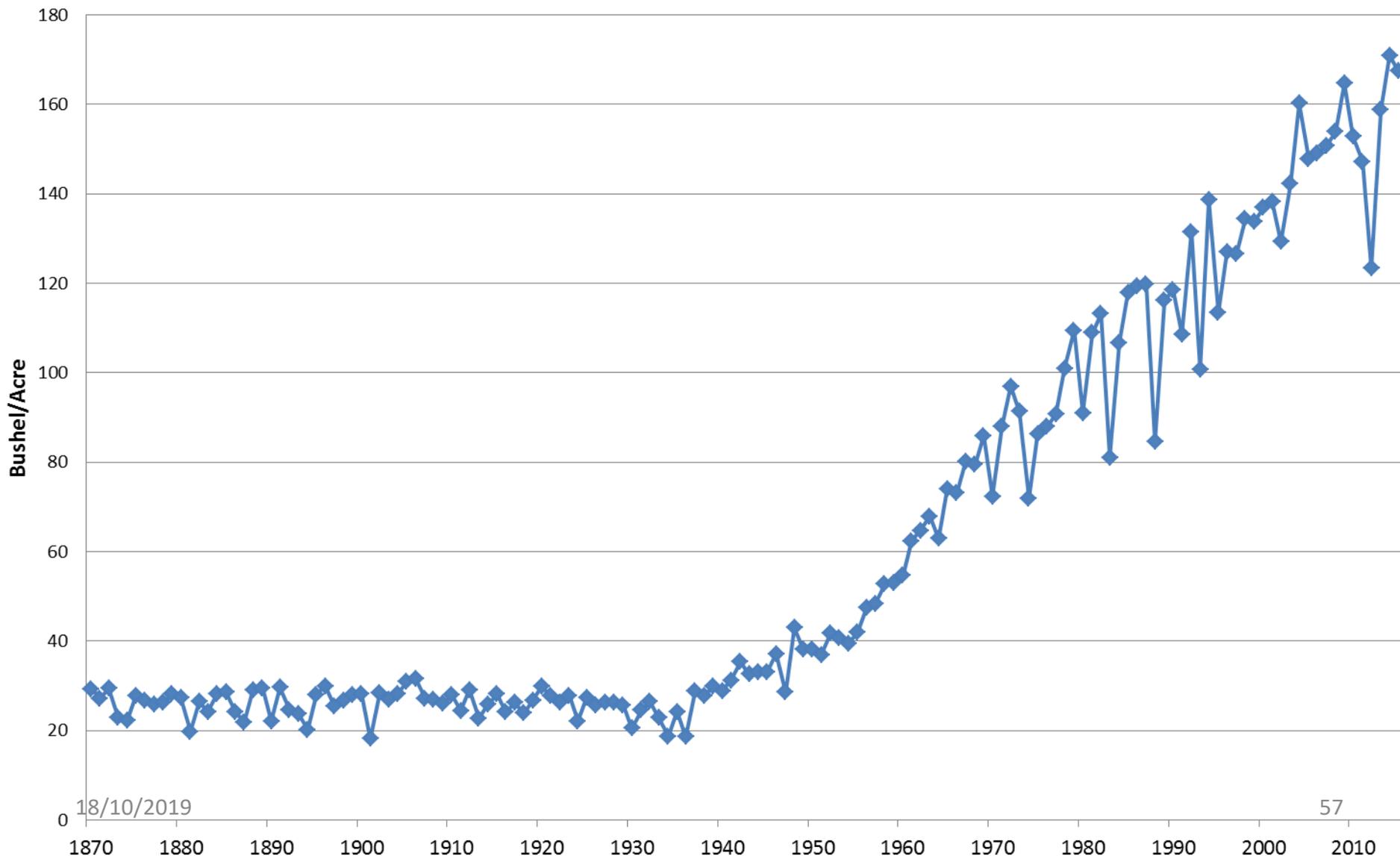
Pesticides



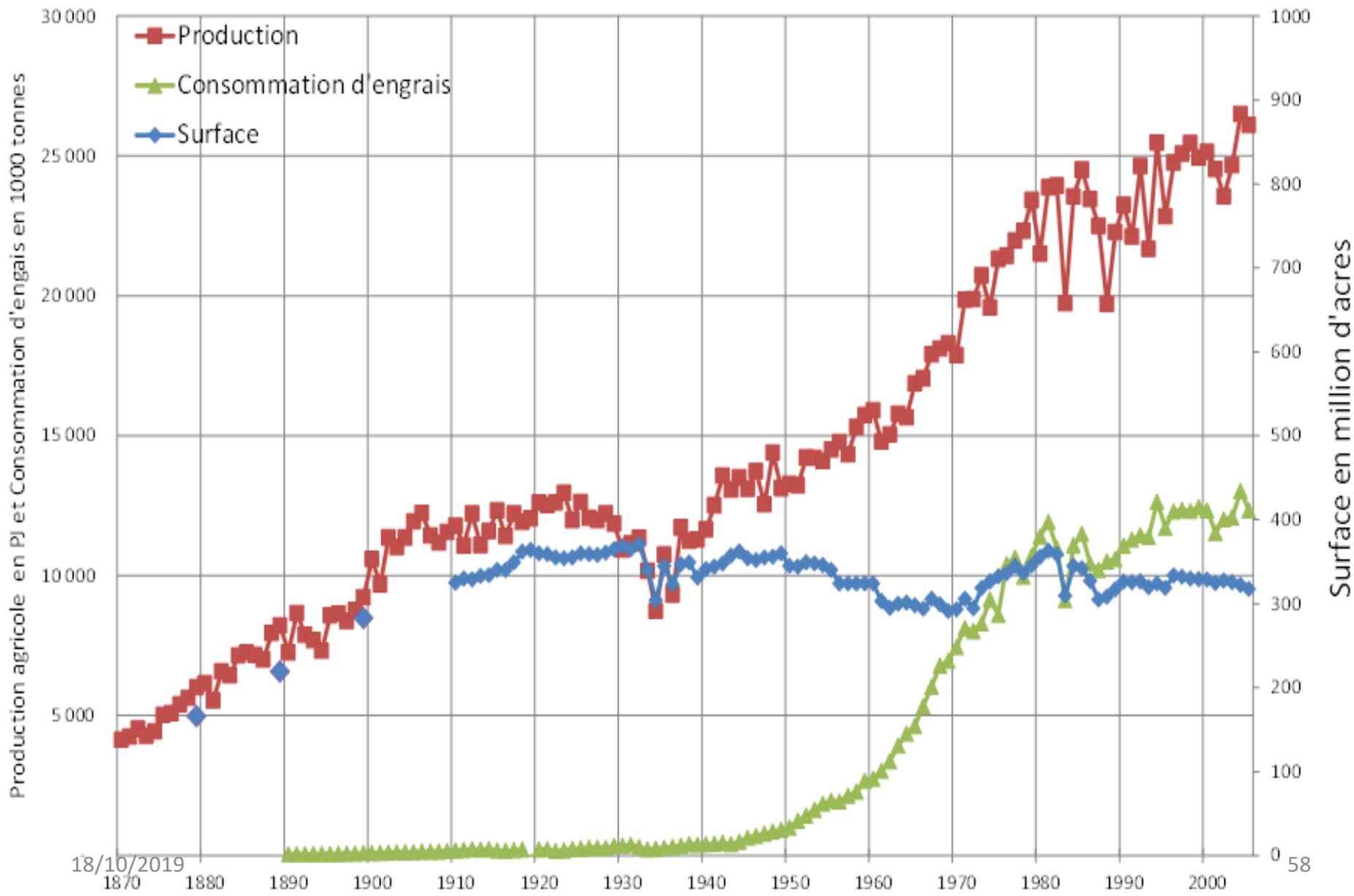
Russell, E. (2001). War and nature : fighting humans and insects with chemicals from World War I to Silent spring. Cambridge, Cambridge University Press.

Rendement du maïs aux Etats-Unis, 1870-2015

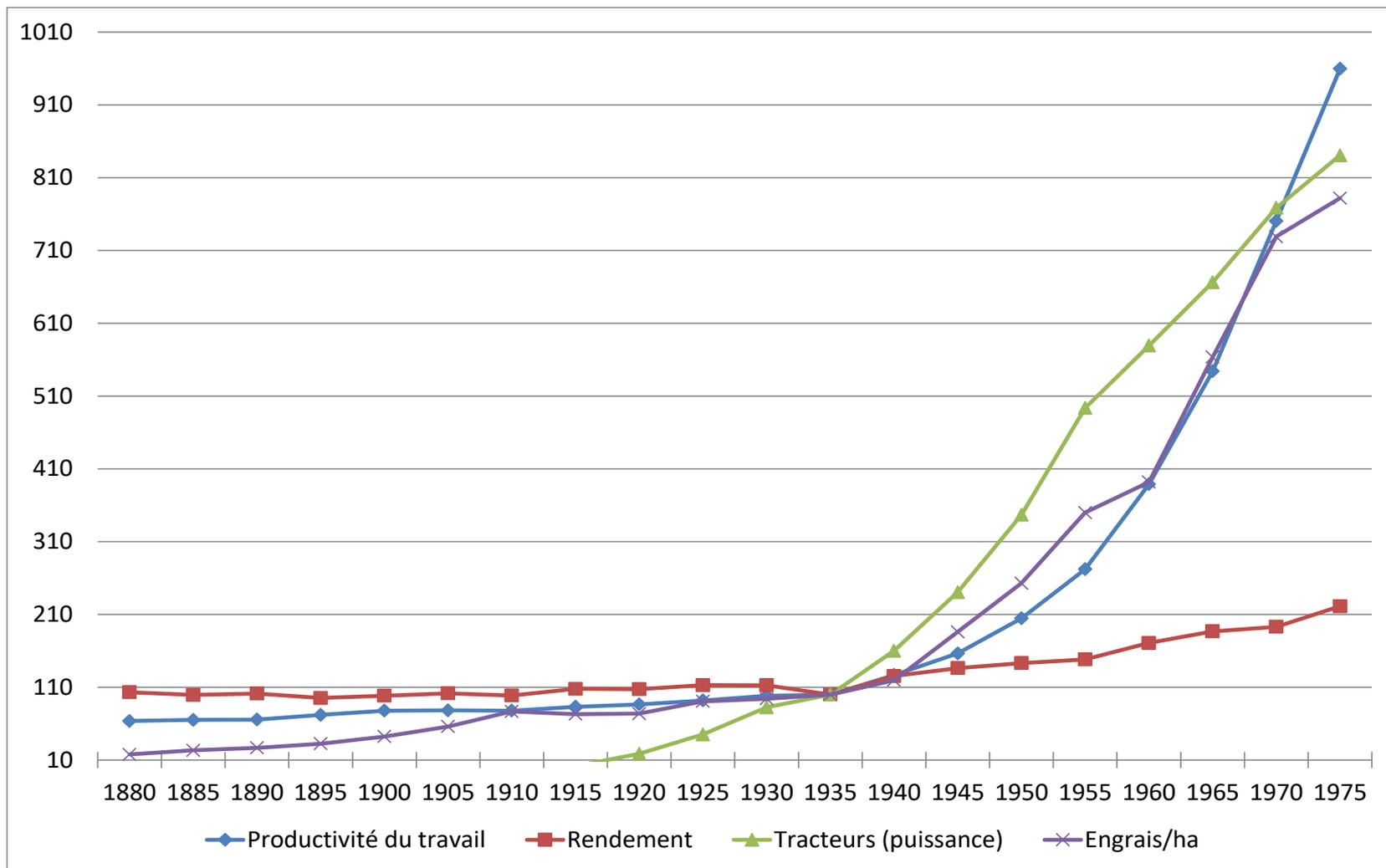
Rendement du maïs aux Etats-Unis, 1870-2015



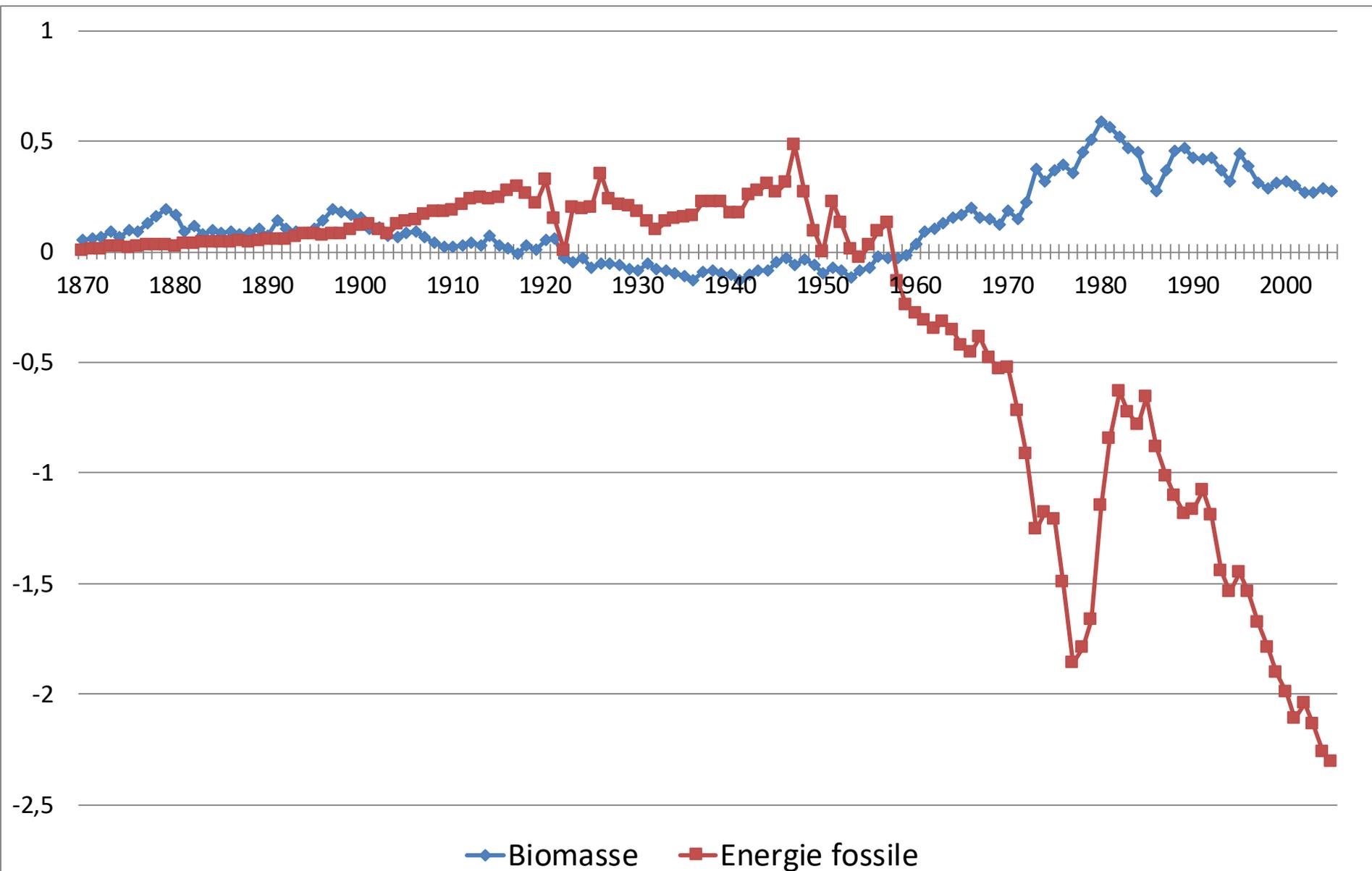
Etats-Unis : Production agricole, surface cultivée et consommation d'engrais azoté, 1870-2005

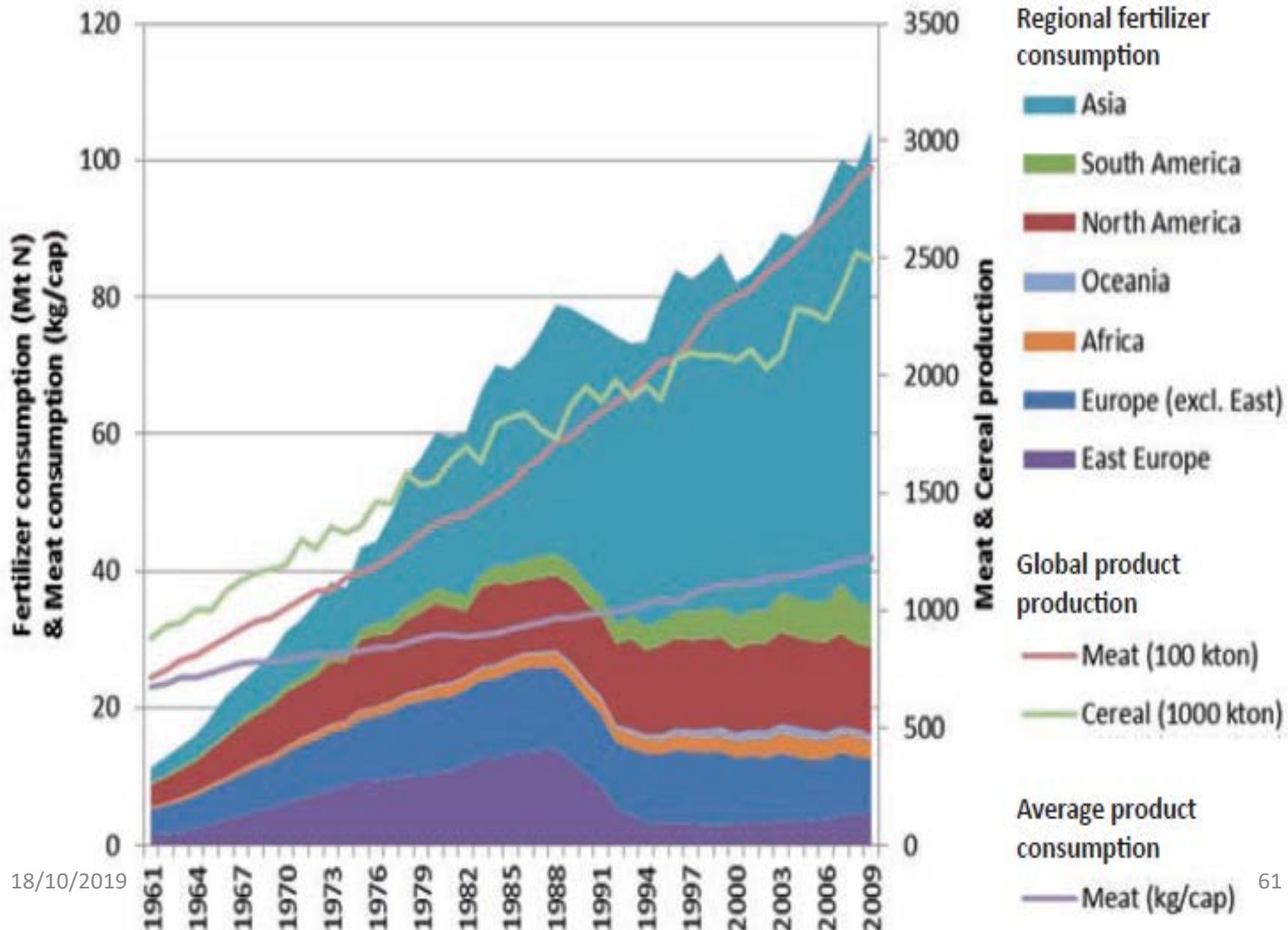


Indice de la productivité du travail, du rendement, de la consommation d'engrais par ha et de la puissance cumulée des tracteurs, 1935=100



Etats-Unis : Bilan des échanges de biomasse et d'énergie fossile, 1870-2005 (t/hab/an)

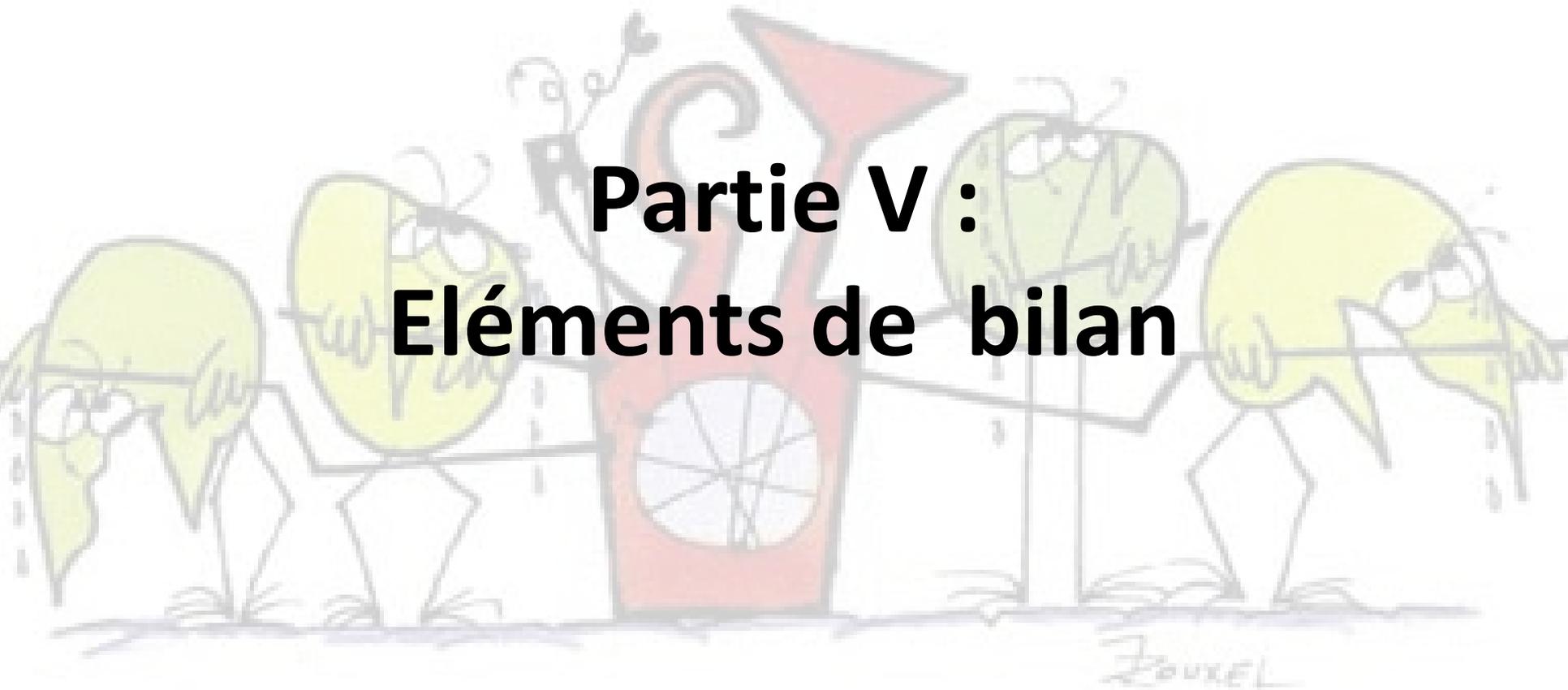




XX = Nationalisation des agricultures

Les devises Shadok

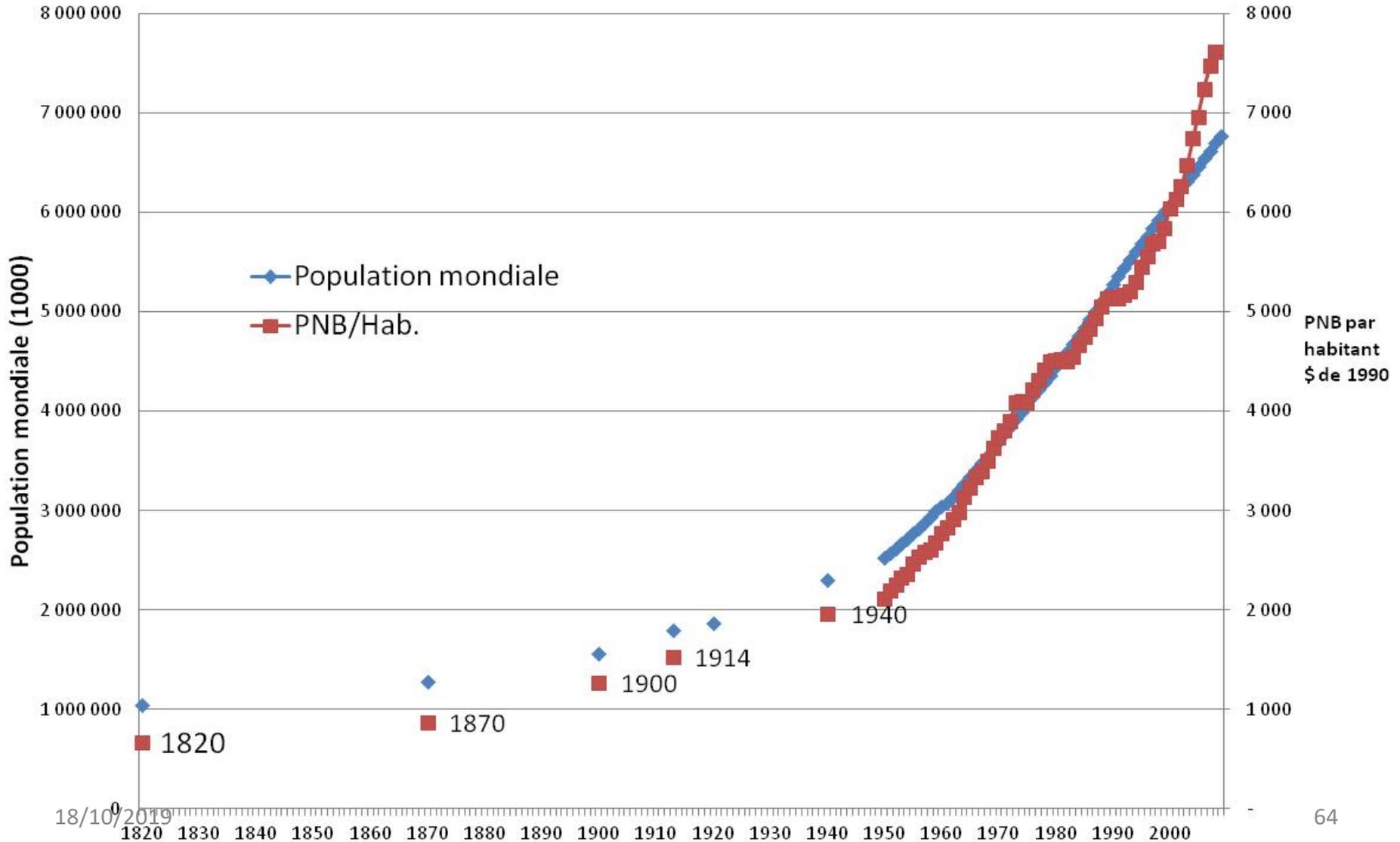
Partie V : Éléments de bilan



IL VAUT MIEUX POMPER MEME S'IL NE SE PASSE
RIEN QUE RISQUER QU'IL SE PASSE QUELQUE CHOSE
DE PIRE EN NE POMPANT PAS.

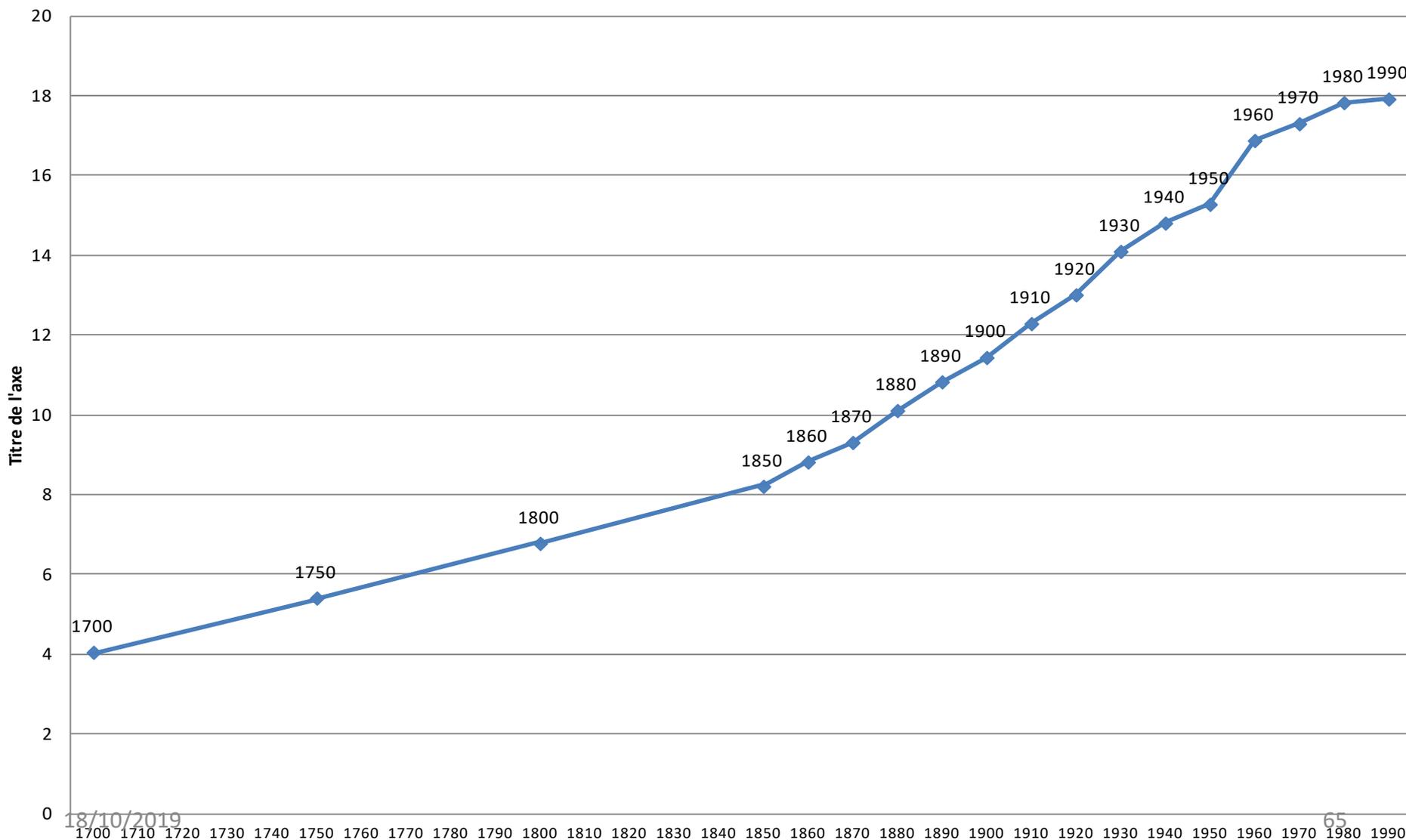
Malthus a eu tort...

Population mondiale et PNB/hab.



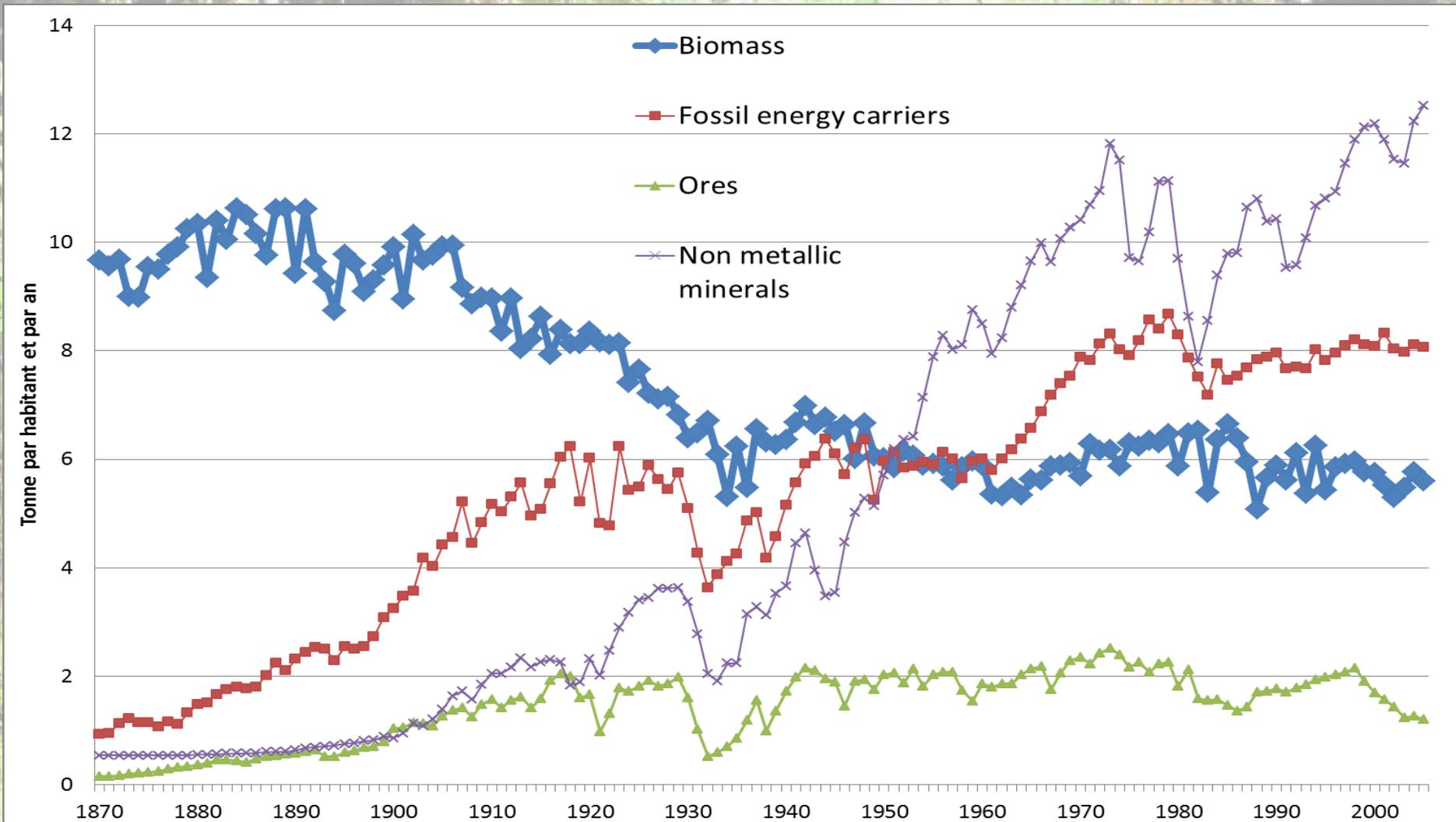
Une relative stabilisation des surfaces cultivées dans le monde (1700-1990)

Surfaces cultivées : Monde



Une demande « limitée » de biomasse

Consommation matérielle par habitant aux Etats-Unis, 1870-2005

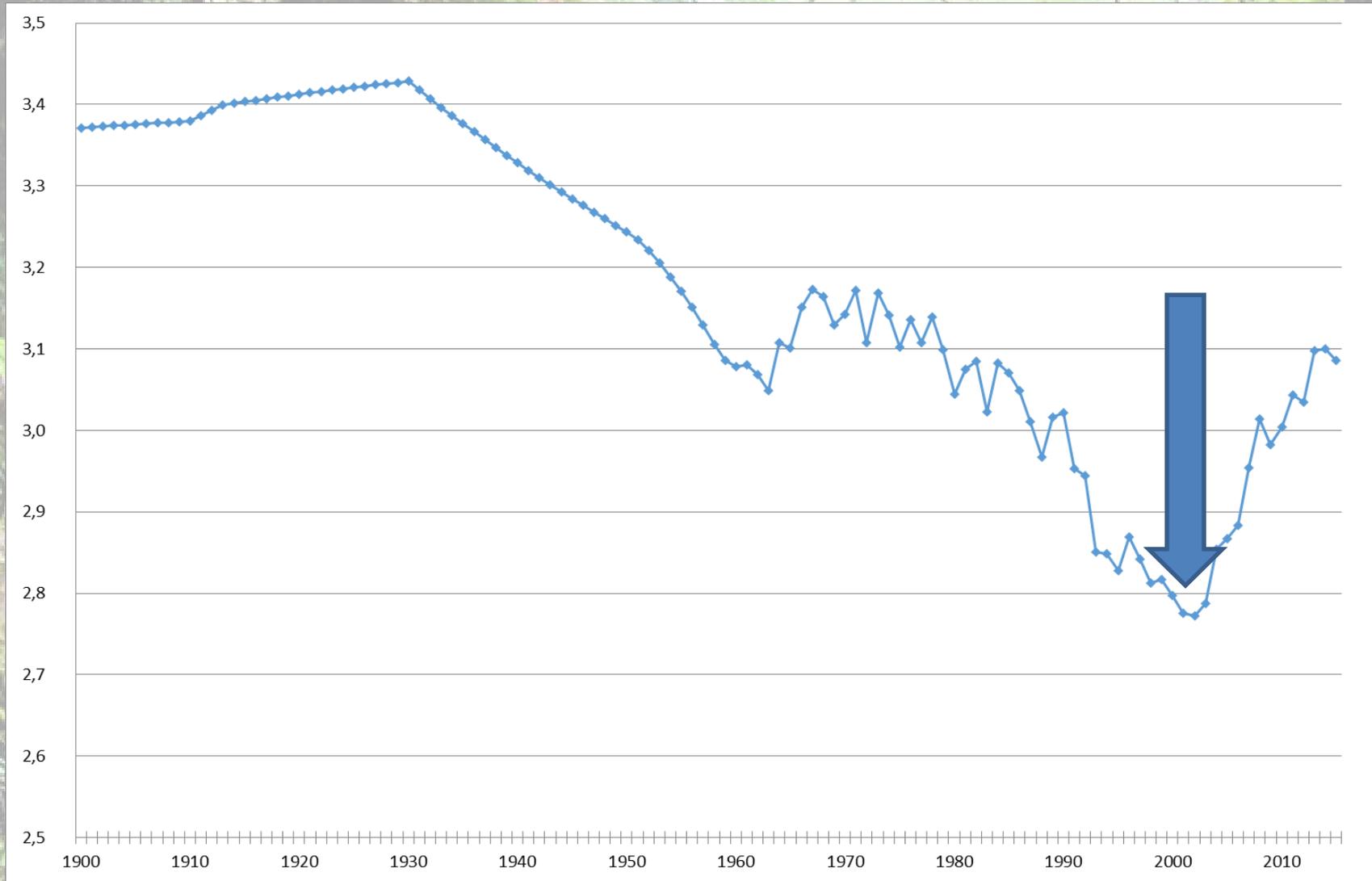


18/10/2019

66

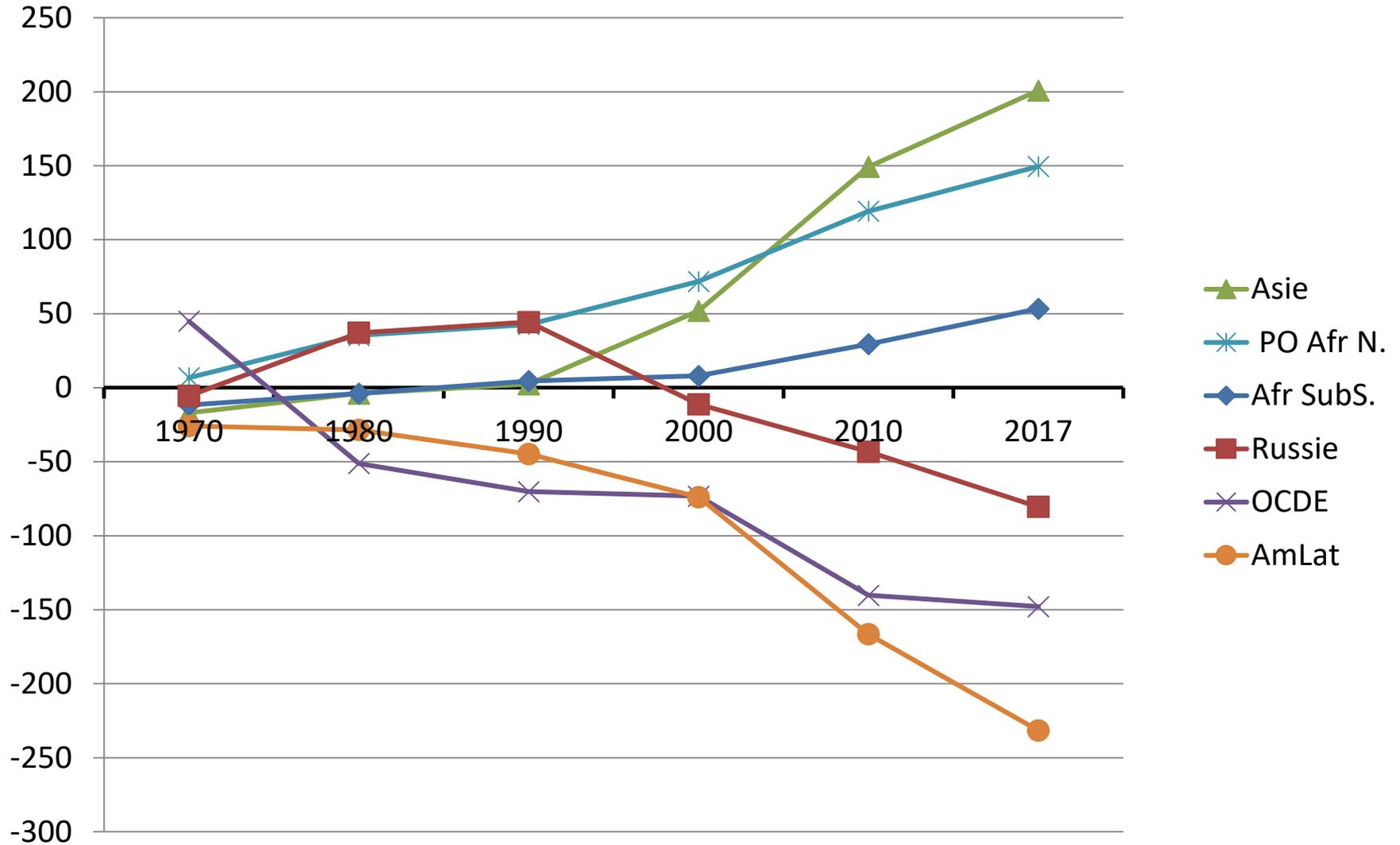
Vraiment ?

Extraction de biomasse par humain (tonne), 1900-2015



Vraiment ?

Bilan des échanges de biomasse, 1970-2017

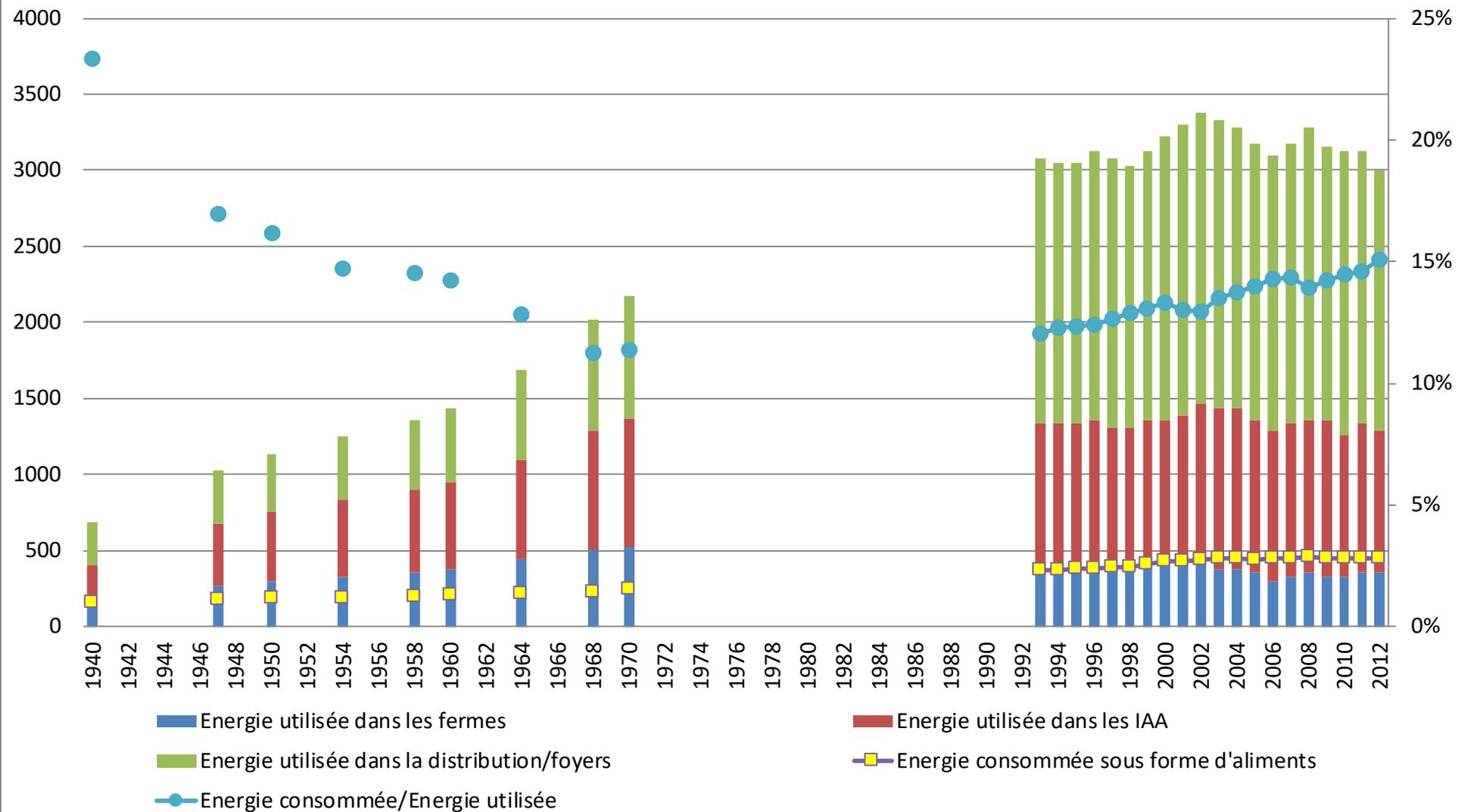


L'effondrement du taux de retour énergétique

	1800	1970
Apports d'énergie (Petajoules)		
Travail humain	18.6	6.9
Travail animal	93	9
Energie fossile	0	550
Total	21	625
Contenu énergétique des produits (Petajoules)		
Produits végétaux	100	320
Produits animaux	14	100
Total	114	420
Productivité énergétique du travail (GJ/T./An)	18.4	182.6
Taux de Retour Energétique	5	0,7

L'effondrement du taux de retour énergétique

Etats-Unis : Energie utilisée par le "système alimentaires", énergie consommée sous forme d'aliments (10^{12} Kcal) et rendement énergétique



Des déchets envahissants (1)

- Le passage de l'solaire au minéral a des implications majeures sur la production de déchets et surtout dans la capacité du vivant de les mobiliser pour leur métabolisme avec deux problèmes distinctes :
 - Celui des déchets déjà produits par les sociétés solaires mais en quantité bien moindre (CO₂) et qui se caractérise aujourd'hui par des phénomènes de saturations
 - Celui des déchets qui ne trouvent pas leur place – ou sur des échelles de temps très longues au regard de l'existence humaine – dans des processus du vivant (molécule de synthèse)

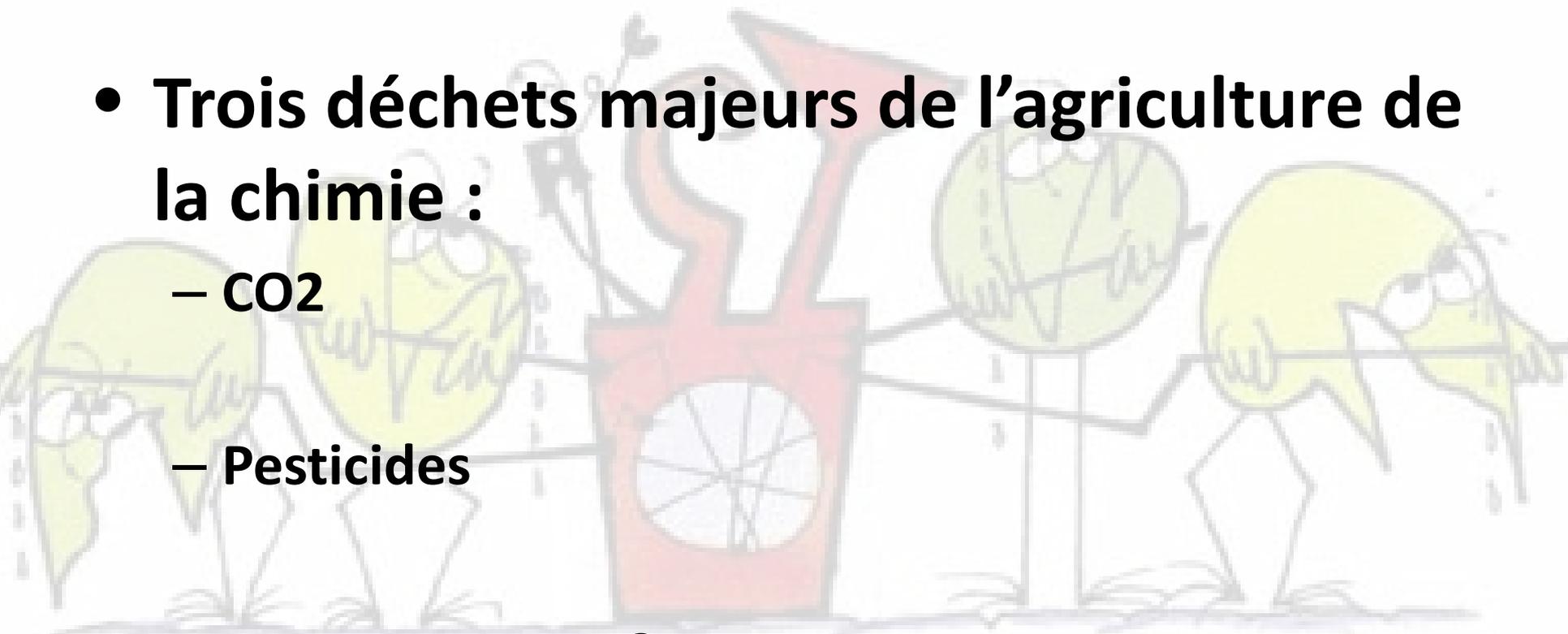
Des déchets envahissants (2)

- Trois déchets majeurs de l'agriculture de la chimie :

- CO₂

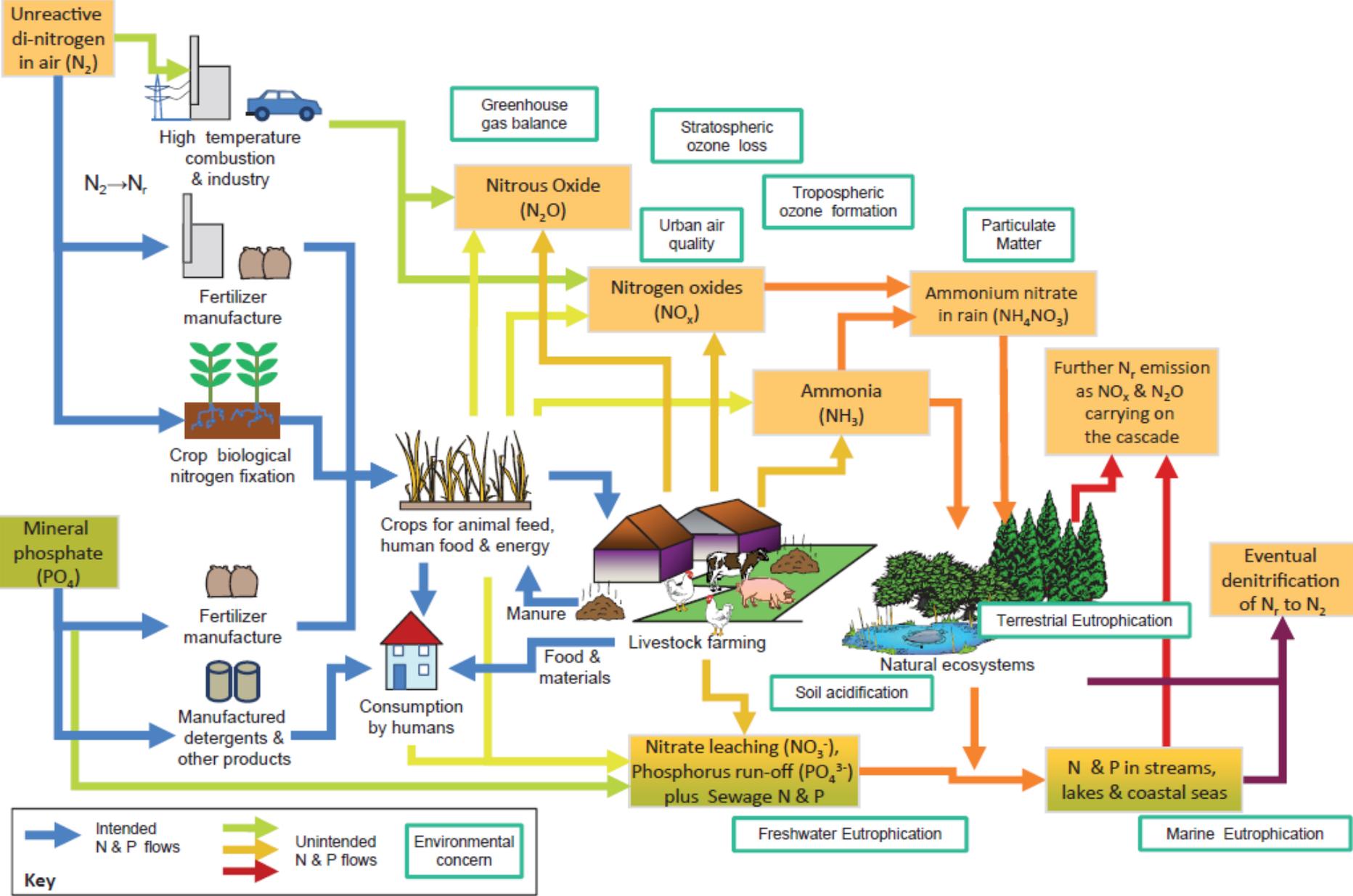
- Pesticides

- Azote actif



Fourel

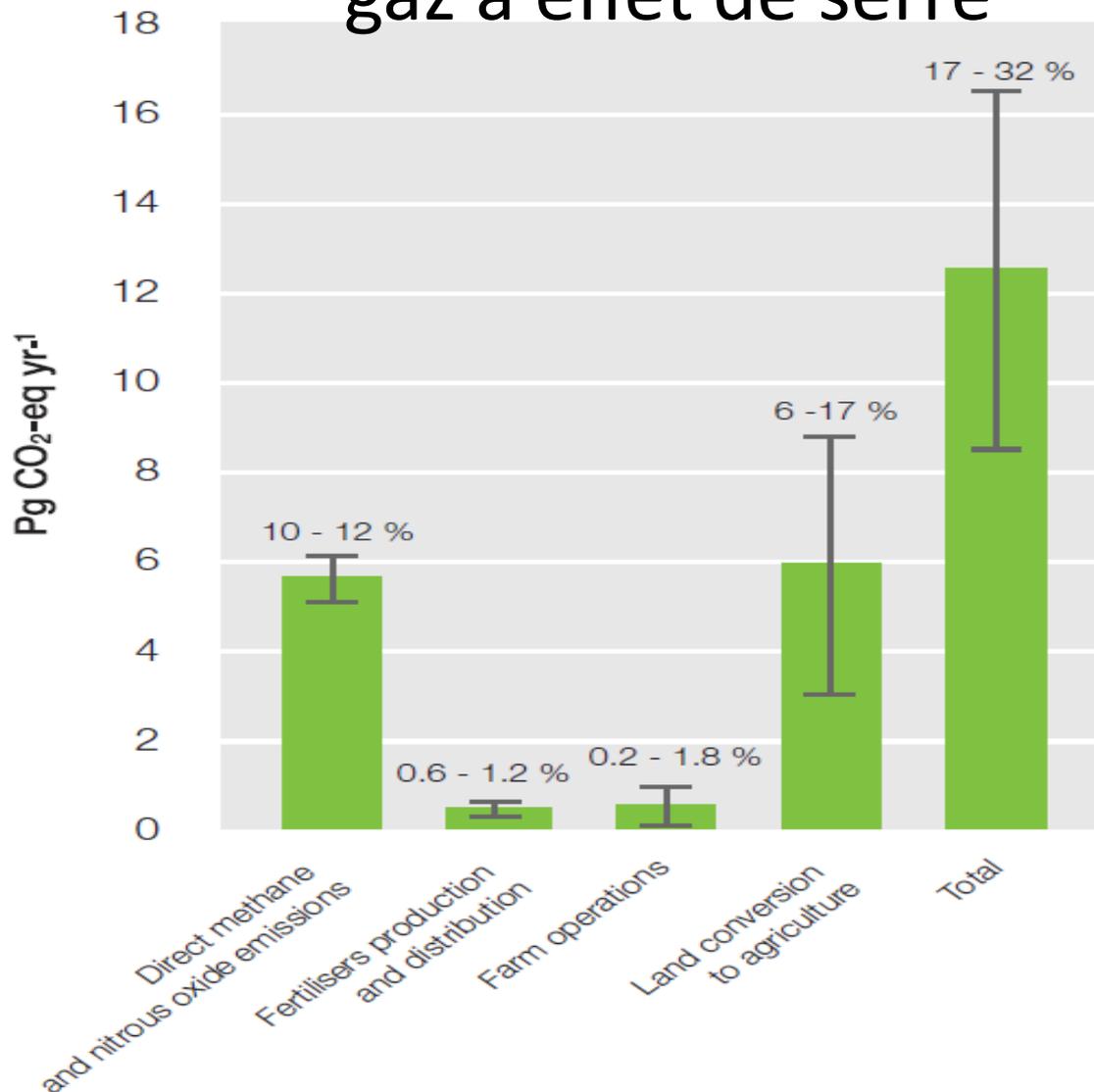
IL VAUT MIEUX POMPER MEME S'IL NE SE PASSE RIEN QUE RISQUER QU'IL SE PASSE QUELQUE CHOSE DE PIRE EN NE POMPANT PAS.



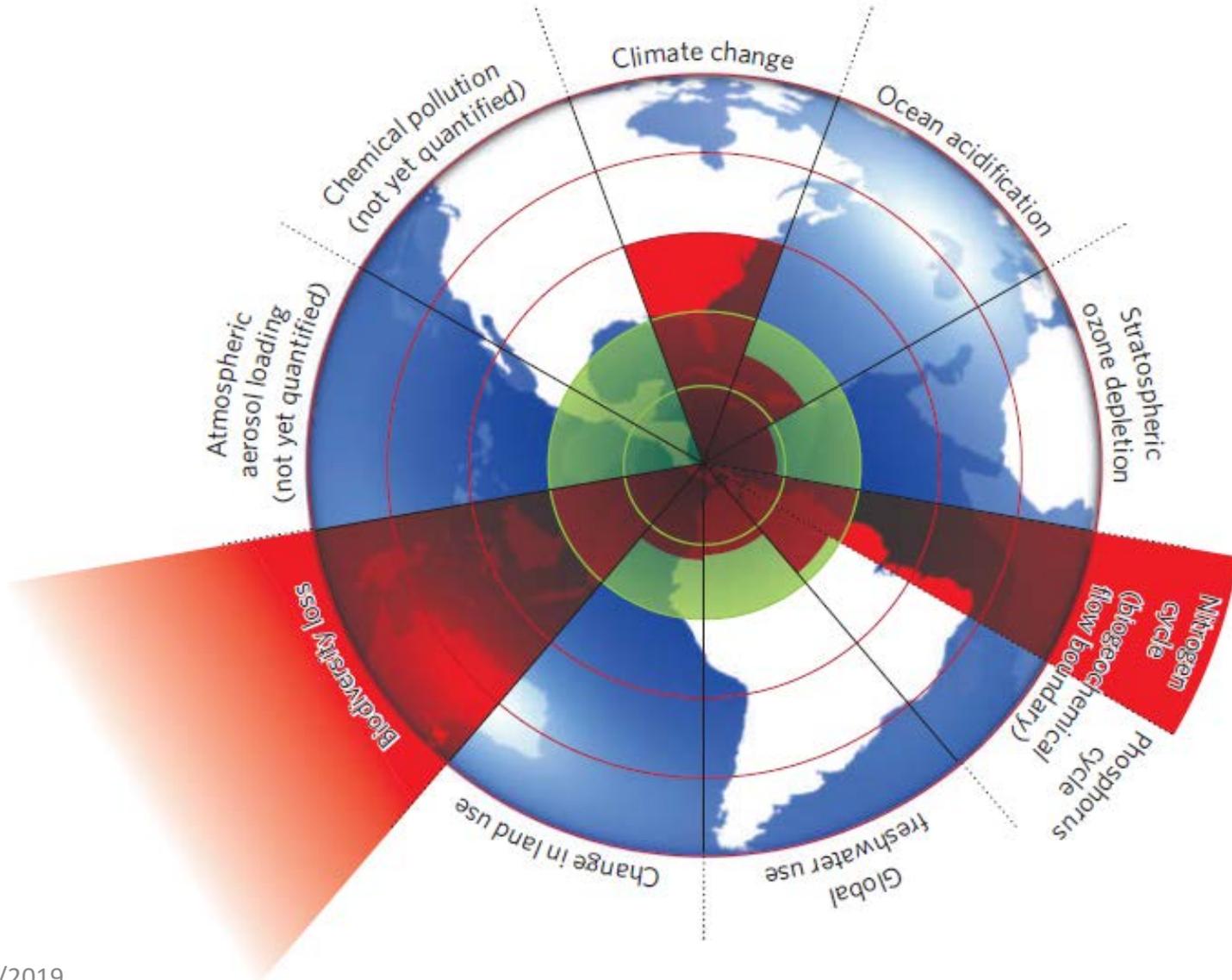
Pollution locale (suite)



Pollution globale : contribution de l'agriculture à la production de gaz à effet de serre



Les *planet boundaries* du Stockholm Resilience Centre



Conclusion

- Comment revenir à un régime métabolique solaire?
- Comment réduire la consommation ?
- Comment hiérarchiser les besoins ?

A painting of a landscape with a large yellow sun, a town in the background, and a field of golden wheat in the foreground. The style is impressionistic, with visible brushstrokes and a warm, golden color palette. The sun is a large, bright yellow circle in the center of the sky. The town in the background features various buildings, including a church with a tall spire. The foreground is dominated by a field of golden wheat, with a small figure of a person in the distance. The overall mood is peaceful and serene.

Merci pour votre attention