

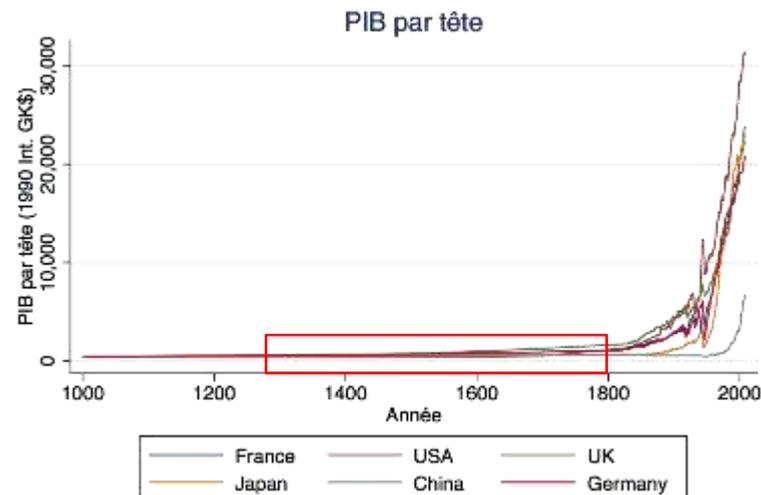
TENDANCES HISTORIQUES LA CROISSANCE DE 1300 À 1800 EN EUROPE



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

MADDISON PROJECT

- Depuis 2006 et la dernière révision du rapport OCDE, seules des corrections marginales ont été apportés à Maddison sur la période post-1820.
- En revanche, un important travail de cliométrie a été réalisé concernant la période entre 1300 et 1820 afin de mieux comprendre la croissance à cette époque en Europe
- L'économie était-elle stagnante ? Ou au contraire connaissait-elle des évolutions importantes ?
- Si c'est le cas, quelles sont les raisons de ces évolutions ?



Source : Maddison Project - 2010



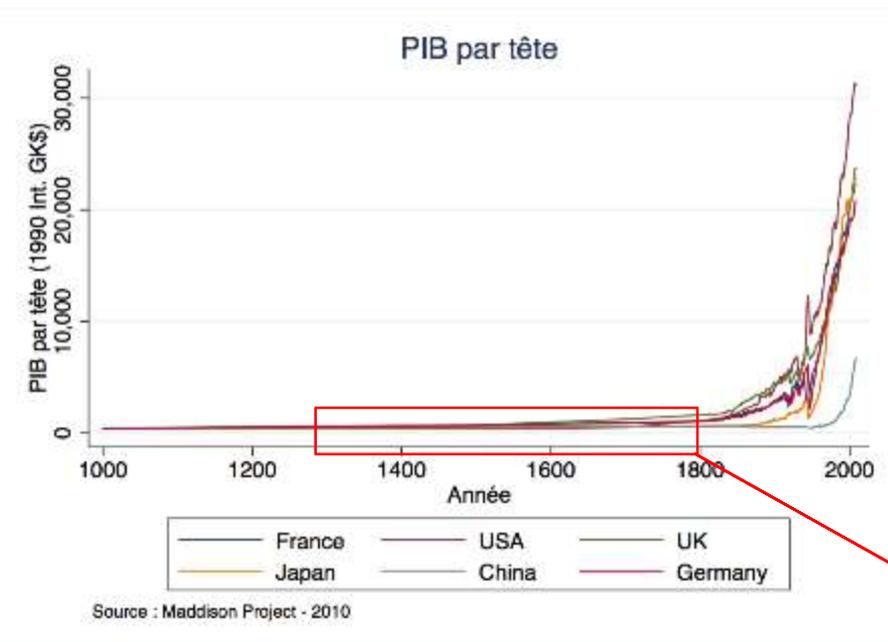
COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

FOUQUET ET BROADBERRY (2015)

- ***Seven Centuries of European Economic Growth and Decline***, Fouquet et Broadberry, *Journal of Economic Perspectives* (2015)
- **Idée :**
 - En zoomant sur la période 1300-1820, on s'aperçoit qu'il y a des évolutions (hausse et baisse) notables du PIB par tête
 - Si le *take-off* écrase ces évolutions, elles sont loin d'être négligeables pour l'époque : à quoi sont-elles dues ?

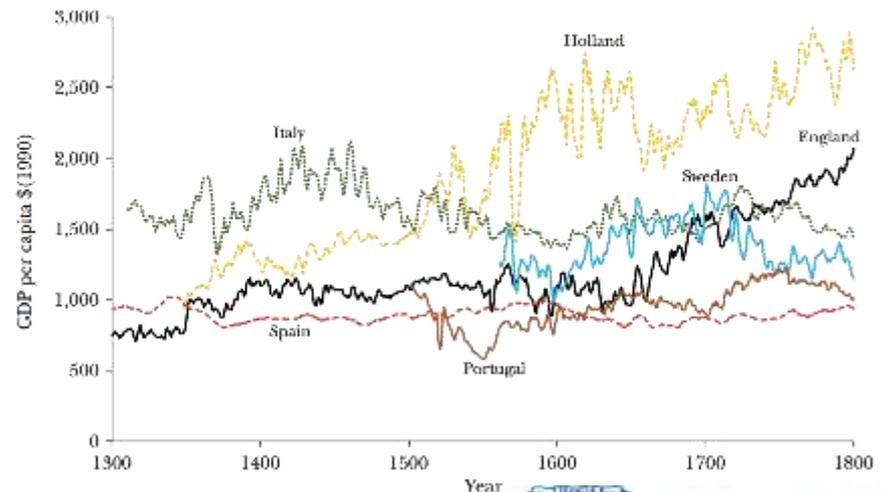


RÉSULTAT PRINCIPAL



Même si les niveaux de PIB par habitant ne sont pas comparables avec ceux d'après 1820, l'économie entre 1300 et 1820 connaissait de nombreuses évolutions

Figure 1
GDP per Capita in Selected European Economies, 1300–1800
(three-year average; Spain eleven-year average)



FOUQUET ET BROADBERRY (2015)

- Idée généralement répandue d'une économie totalement stagnante en Europe avant 1820
- Cet article montre que, contrairement à ce que l'on pourrait croire, plutôt que d'être stagnantes, les économies européennes d'avant le XIXe siècle connaissaient de nombreux changements marqués par des phases de hausse du PIB par tête, et des phases de baisse.
- Mais il confirme aussi que le décollage de 1820 est d'une autre nature que ces phases de fluctuation : le XIXe siècle a pour la première fois permis une hausse continue du PIB par tête.



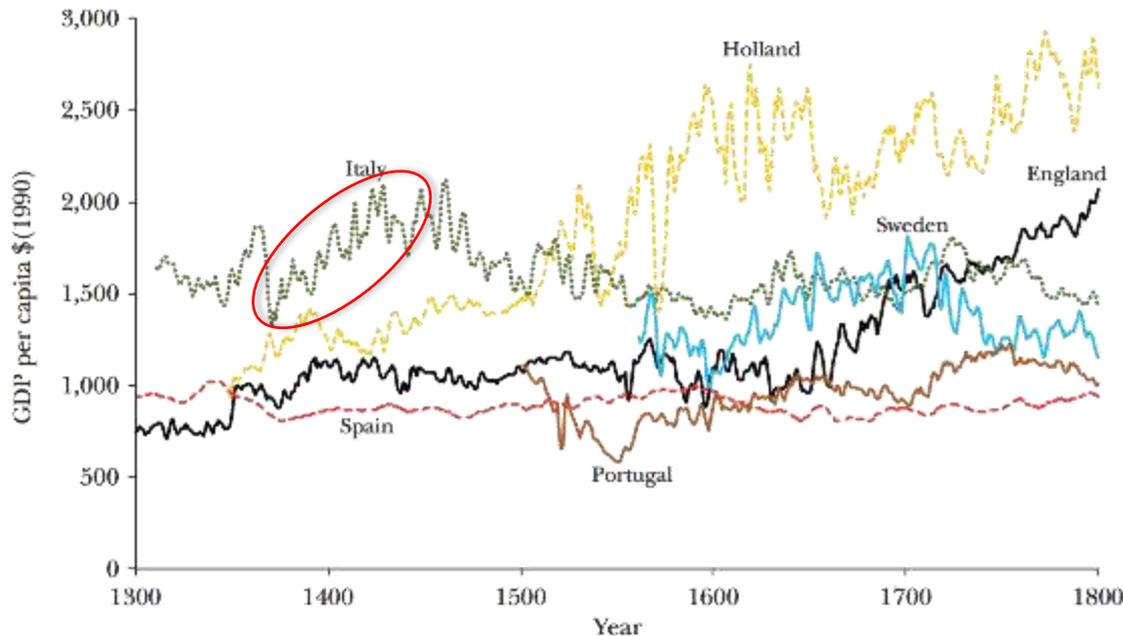
EPISODES DE CROISSANCE

- L'Italie connaît une hausse de 40% de son PIB par tête entre 1350 et 1420, soit une moyenne non négligeable de 0,8% par an pendant 70 ans
- Causes : baisse de la population suite à la grande peste et rôle central de l'Italie dans le commerce entre Europe et Asie.

Figure 1

GDP per Capita in Selected European Economies, 1300–1800

(three-year average; Spain eleven-year average)



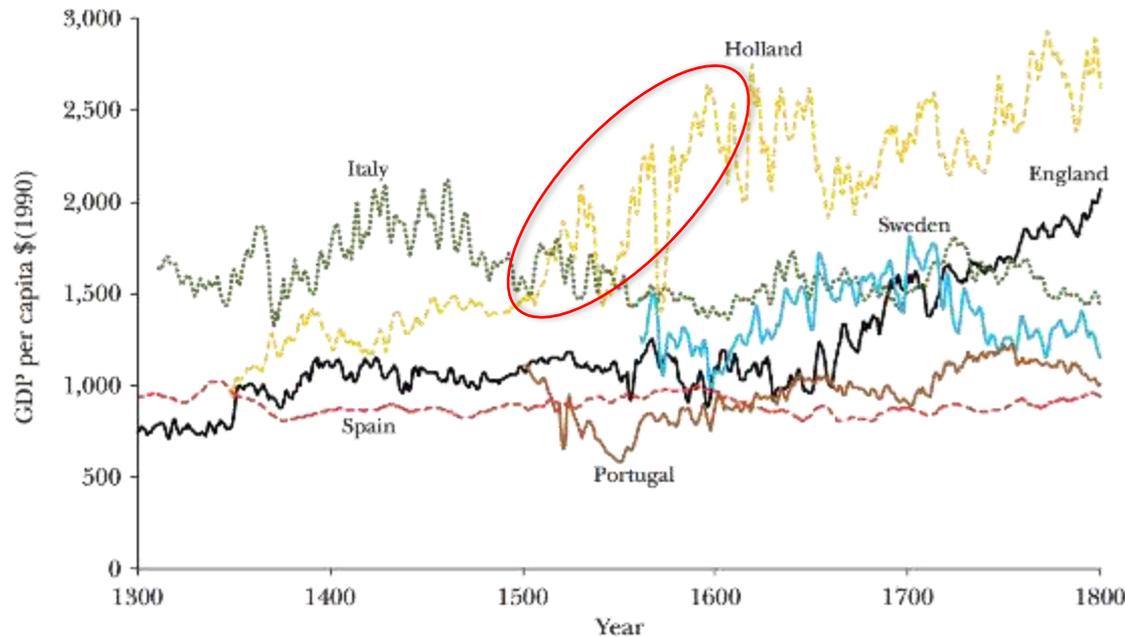
EPISODES DE CROISSANCE

- Pays-Bas : hausse du PIB par tête de 70% entre 1505 et 1595 soit une moyenne de 1,3% par an
- Causes : Développement du commerce et évolution de l'économie de production agricole à des produits à plus grande valeur ajoutée.

Figure 1

GDP per Capita in Selected European Economies, 1300–1800

(three-year average; Spain eleven-year average)



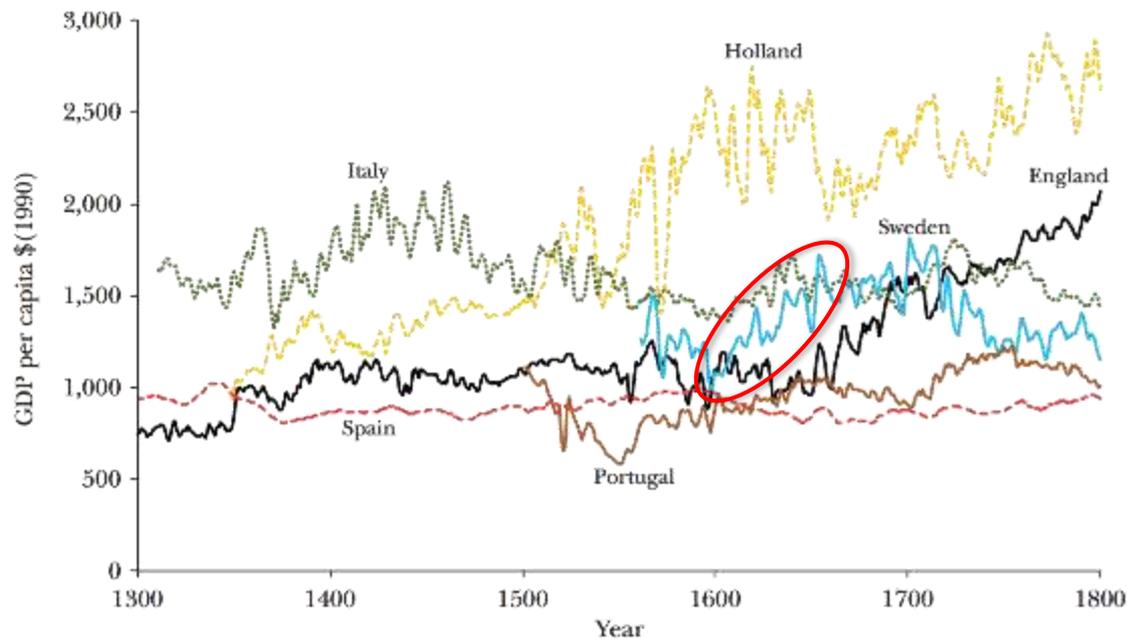
EPISODES DE CROISSANCE

- Suède : PIB par habitant a augmenté de 41% au cours de la première moitié du dix-septième siècle.
- Cause : Contrôle du commerce sur la mer baltique

Figure 1

GDP per Capita in Selected European Economies, 1300–1800

(three-year average; Spain eleven-year average)



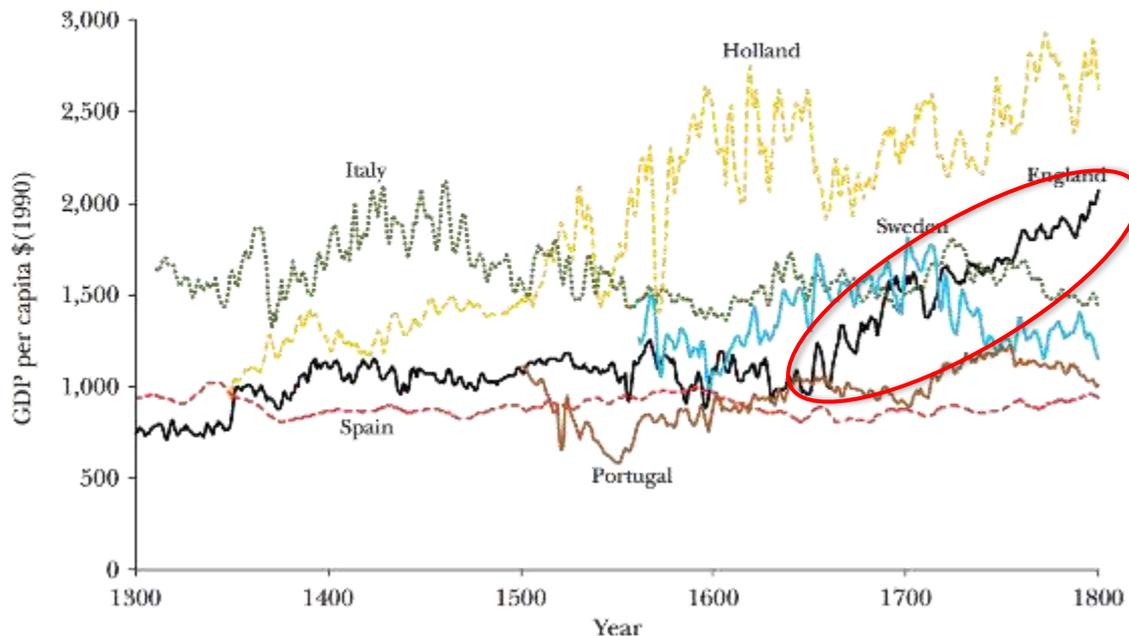
EPISODES DE CROISSANCE

- Angleterre 1650-1700 : Hausse du PIB par habitant de plus de 50%
- Causes : Fin de la guerre civile marquant une étape importante vers la monarchie constitutionnelle avec la *Glorious Revolution* of 1688.
- North et Weingast (1989) : La *Glorious Revolution*, qui place le Parlement au-dessus du Roi, donne une meilleure assurance du respect des droits de la propriété intellectuelle. Cela incite alors l'innovation en Angleterre et ouvre la porte à la Révolution industrielle

Figure 1

GDP per Capita in Selected European Economies, 1300–1800

(three-year average; Spain eleven-year average)



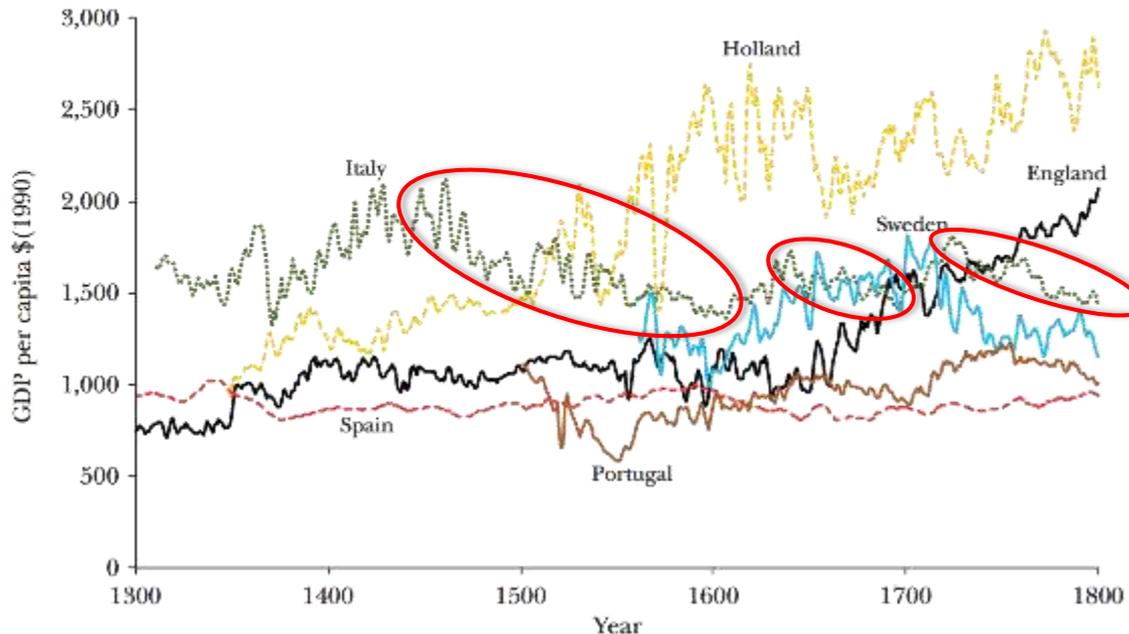
EPISODES DE DÉCLIN

- Italie : Trois périodes de déclin important du PIB par habitant
- Causes :
 - Retour de la croissance démographique (Malthus)
 - Fragmentation des marchés entre petits Etats (Florence, Venise, etc.)
 - Déplacement du commerce européen de la Méditerranée vers l'Atlantique suite à la découverte de l'Amérique

Figure 1

GDP per Capita in Selected European Economies, 1300–1800

(three-year average; Spain eleven-year average)



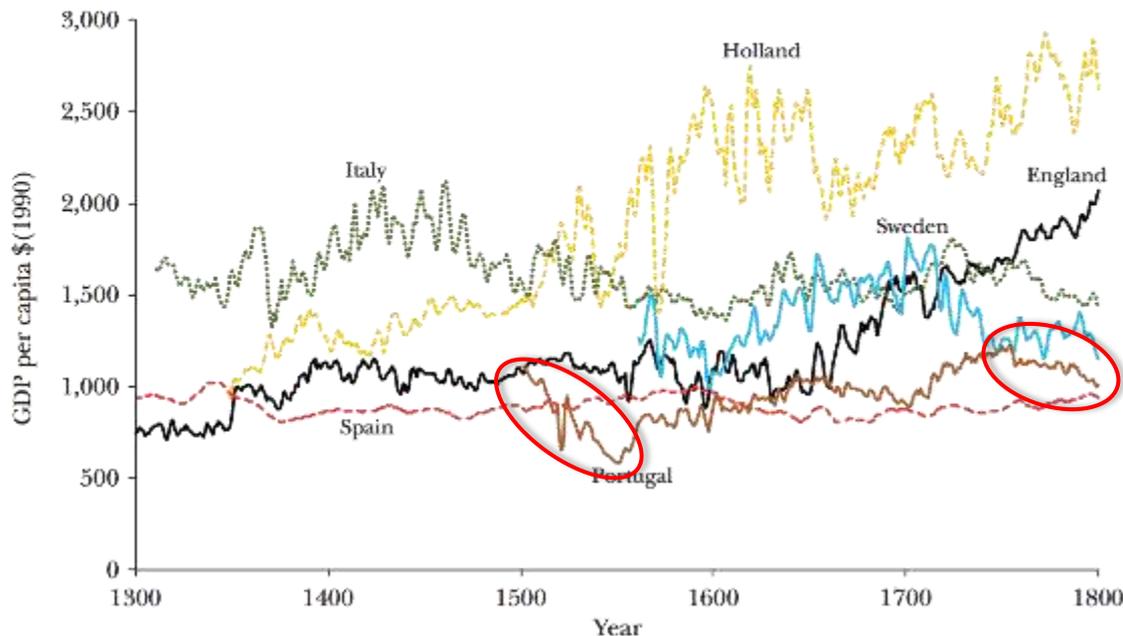
EPISODES DE DÉCLIN

- Portugal : Effondrement spectaculaire d'environ 40% du PIB par habitant dans la première moitié du XVIe siècle
- Cause : Mauvaises conditions météorologiques avec impact sur récolte, commerce maritime et pêche
- Baisse du PIB par tête suite au grand séisme de Lisbonne de 1755.

Figure 1

GDP per Capita in Selected European Economies, 1300–1800

(three-year average; Spain eleven-year average)



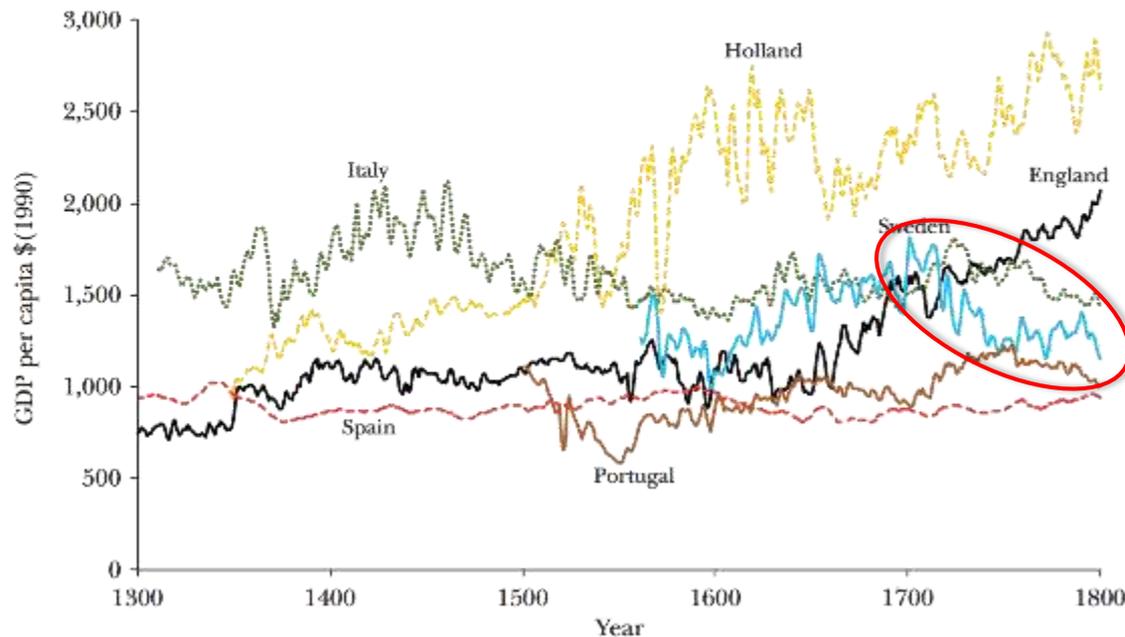
EPISODES DE DÉCLIN

- Suède : Effondrement du PIB par tête au début du XVIIIe siècle
- Cause : baisse de son influence sur le commerce en mer Baltique

Figure 1

GDP per Capita in Selected European Economies, 1300–1800

(three-year average; Spain eleven-year average)



LE CHEMIN VERS LE TAKE-OFF

- Finalement, les économies européennes avant 1820 étaient loin d'être stagnantes !
- Elles ont connu des phases de croissance économique et des phases de déclin liées à de grands événements historiques
- Au delà des différentes tendances nationales, observe-t-on une tendance sur la croissance en général, qui différencierait cette période de celle du *take-off* ?
- Pour cela, Fouquet et Broadberry vont regarder, par siècle, le pourcentage de chance qu'a un pays de se trouver dans une période de croissance à la fois soutenue ($>1,5\%$) et continue (4 années consécutives).
- L'idée serait qu'une phase de 4 ans de croissance supérieure à $1,5\%$ serait le début d'un *take-off*



LE CHEMIN VERS LE TAKE-OFF

Table 1
Periods of Economic Growth and Decline across Six Economies, 1300–2000
(England/Great Britain, Italy, Holland, Sweden, Spain, and Portugal)

	# of phases of 4-year consecutive 1.5% annual growth rate	% of years in 4-year consecutive 1.5% annual growth rate	# of phases of 3-year consecutive –1.5% annual growth rate	% of years in 3-year consecutive –1.5% annual growth rate
1300s	1	1.1%	2	1.6%
1400s	1	1.0%	10	8.0%
1500s	3	2.3%	14	8.7%
1600s	2	1.3%	9	4.3%
1700s	2	1.3%	12	5.8%
1800s	8	5.3%	4	2.0%
1900s	38	40.0%	4	3.2%

Source: Authors.

Notes: Column 1 represents the number of times countries in the group had four consecutive years of at least 1.5 percent growth in GDP per capita. That is, if this were to happen once in one country and twice in another country within a certain century, it would equal three times in that century. Column 2 shows the same as a percentage of the total number of years (for which data exists) during the specified century. Column 3 represents the number of times a country had three consecutive years of –1.5 percent (or lower) growth rates. Column 4 shows the same as column 3 as a percentage of total number of years.

Part des années pour lesquelles un des 6 pays a une croissance de plus de 1,5% depuis 4 ans.

Entre 1300 et 1799, pas de tendance particulière. Les pays n'ont qu'entre 1% et 2% de se trouver dans une phase de croissance soutenue et continue.



LE CHEMIN VERS LE TAKE-OFF

Table 1
Periods of Economic Growth and Decline across Six Economies, 1300–2000
(England/Great Britain, Italy, Holland, Sweden, Spain, and Portugal)

	# of phases of 4-year consecutive 1.5% annual growth rate	% of years in 4-year consecutive 1.5% annual growth rate	# of phases of 3-year consecutive –1.5% annual growth rate	% of years in 3-year consecutive –1.5% annual growth rate
1300s	1	1.1%	2	1.6%
1400s	1	1.0%	10	8.0%
1500s	3	2.3%	14	8.7%
1600s	2	1.3%	9	4.3%
1700s	2	1.3%	12	5.8%
1800s	8	5.3%	4	2.0%
1900s	38	40.0%	4	3.2%

Source: Authors.

Notes: Column 1 represents the number of times countries in the group had four consecutive years of at least 1.5 percent growth in GDP per capita. That is, if this were to happen once in one country and twice in another country within a certain century, it would equal three times in that century. Column 2 shows the same as a percentage of the total number of years (for which data exists) during the specified century. Column 3 represents the number of times a country had three consecutive years of –1.5 percent (or lower) growth rates. Column 4 shows the same as column 3 as a percentage of total number of years.

Cette probabilité est passée à 5% au XIXe siècle et à 40% au XXe siècle.

On observe donc bien une différence entre la période pré-1800 et le *take-off*.

Ainsi, Fouquet et Broadberry ne remettent pas en cause l'idée communément acceptée qu'une croissance économique soutenue est un phénomène récent.



LE CHEMIN VERS LE TAKE-OFF

Table 1
Periods of Economic Growth and Decline across Six Economies, 1300–2000
(England/Great Britain, Italy, Holland, Sweden, Spain, and Portugal)

	<i># of phases of 4-year consecutive 1.5% annual growth rate</i>	<i>% of years in 4-year consecutive 1.5% annual growth rate</i>	<i># of phases of 3-year consecutive –1.5% annual growth rate</i>	<i>% of years in 3-year consecutive –1.5% annual growth rate</i>
1300s	1	1.1%	2	1.6%
1400s	1	1.0%	10	8.0%
1500s	3	2.3%	14	8.7%
1600s	2	1.3%	9	4.3%
1700s	2	1.3%	12	5.8%
1800s	8	5.3%	4	2.0%
1900s	38	40.0%	4	3.2%

Source: Authors.

Notes: Column 1 represents the number of times countries in the group had four consecutive years of at least 1.5 percent growth in GDP per capita. That is, if this were to happen once in one country and twice in another country within a certain century, it would equal three times in that century. Column 2 shows the same as a percentage of the total number of years (for which data exists) during the specified century. Column 3 represents the number of times a country had three consecutive years of –1.5 percent (or lower) growth rates. Column 4 shows the same as column 3 as a percentage of total number of years.

Si on s'intéresse aux phases de déclin, on semble observer une légère réduction de la probabilité de déclin au cours des siècles depuis 1400.



LE CHEMIN VERS LE TAKE-OFF

Table 1
Periods of Economic Growth and Decline across Six Economies, 1300–2000
(England/Great Britain, Italy, Holland, Sweden, Spain, and Portugal)

	# of phases of 4-year consecutive 1.5% annual growth rate	% of years in 4-year consecutive 1.5% annual growth rate	# of phases of 3-year consecutive –1.5% annual growth rate	% of years in 3-year consecutive –1.5% annual growth rate
1300s	1	1.1%	2	1.6%
1400s	1	1.0%	10	8.0%
1500s	3	2.3%	14	8.7%
1600s	2	1.3%	9	4.3%
1700s	2	1.3%	12	5.8%
1800s	8	5.3%	4	2.0%
1900s	38	40.0%	4	3.2%

Source: Authors.

Notes: Column 1 represents the number of times countries in the group had four consecutive years of at least 1.5 percent growth in GDP per capita. That is, if this were to happen once in one country and twice in another country within a certain century, it would equal three times in that century. Column 2 shows the same as a percentage of the total number of years (for which data exists) during the specified century. Column 3 represents the number of times a country had three consecutive years of –1.5 percent (or lower) growth rates. Column 4 shows the same as column 3 as a percentage of total number of years.

Au total, au cours du XIXe et XXe siècle :

1. augmentations substantielles des phases de croissance
2. réductions de la fréquence des récessions



CONVERGENCE ET DIVERGENCE

- Ces données se concentrent sur 6 pays européens.
- Il est donc impossible de débattre de l'évolution du PIB par tête en Asie versus Europe entre le XVIe et le XIXe siècle à partir de cette étude.
- Les auteurs discutent donc la convergence ou la divergence intra-européenne.



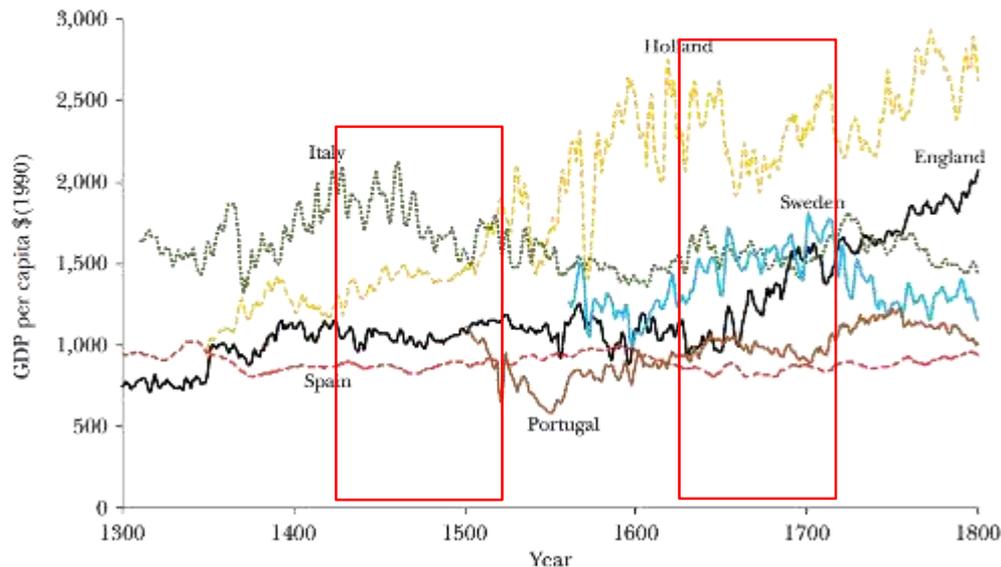
CONVERGENCE ET DIVERGENCE

- On observe des phases de convergence entre pays européens, où les PIB par tête se rapprochent.
- Cela est souvent lié à une baisse du PIB par tête du leader
- Les phases de convergences plus récentes (1950-1980 pour Europe vis-à-vis des USA) étaient liées à une croissance plus importante dans les pays suiveurs que dans le pays leader, et pas une baisse du PIB par tête du pays leader
- Le décollage a donc également changé les choses en termes de convergence entre pays

Figure 1

GDP per Capita in Selected European Economies, 1300–1800

(three-year average; Spain eleven-year average)



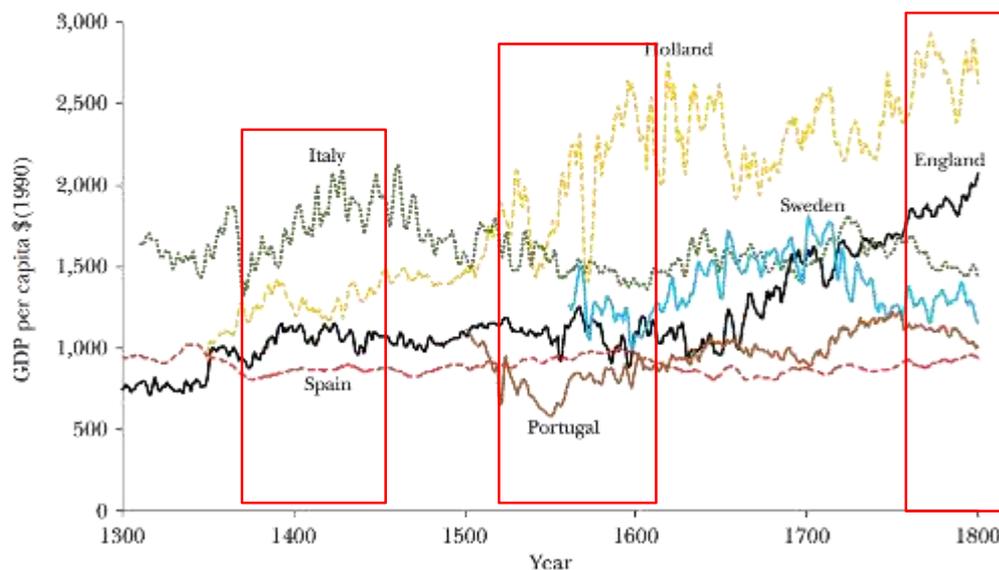
CONVERGENCE ET DIVERGENCE

- Cycles de divergence liés à des événements historiques importants :
- 14^e siècle : émergence du centre et du nord de l'Italie (renaissance, commerce)
- 16^e siècle : Puissance commerciale de la Hollande
- Après 1800 : Révolution Industrielle en Grande-Bretagne

Figure 1

GDP per Capita in Selected European Economies, 1300–1800

(three-year average; Spain eleven-year average)



**POURQUOI LA
CROISSANCE SOUTENUE
DEMARRE T ELLE AVEC LA
REVOLUTION
INDUSTRIELLE?**

QUESTIONS

- Pourquoi des inventions telles que la roue, l'imprimerie, le compas, n'ont pas genere de croissances cumulatives comme avec la revolution industrielle?
- Malgre la multiplicite d'innovations technologiques individuelles pendant pres de 10000 ans, en l'an 1700 une tres grande fraction de la population mondiale ne depassait pas le niveau de subsistance

QUESTIONS

- **Le modele de Solow ne fournit pas la reponse: il predit une croissance base sur l'accumulation de capital, et plus rapide dans les pays moins avances.**
- **C est une croissance par convergence or avec la revolution industrielle il s agit de croissance en faisant avancer la frontiere technologique, une croissance par l'innovation.**

QUESTIONS

- **Pourquoi la transition vers une croissance soutenue a lieu si tard: en 1820?**
- **Pourquoi le decollage industriel a t il lieu dans un petit pays a la limite de l'Europe, et non pas dans un grand pays densement peuplé comme la Chine?**
- **L'Angleterre a une population de 6 millions d'habitants en 1760, contre 270 millions en Chine, 31 millions au Japon et 100 millions en Inde.**

L'importance des institutions



Qu'est ce qu'une institution?

- Institutions: regles du jeu qui gouvernent les interactions économiques, politiques and sociales.
 - Institutions determine “social organization”
- North (1990, p. 3):

"Institutions are the rules of the game in a society or, more formally, are the humanly devised constraints that shape human interaction."
- Caracteristiques principales:
 - Decidees et concues par les hommes en societe
 - Etablissent des contraintes
 - Determinent les incitations individuelles

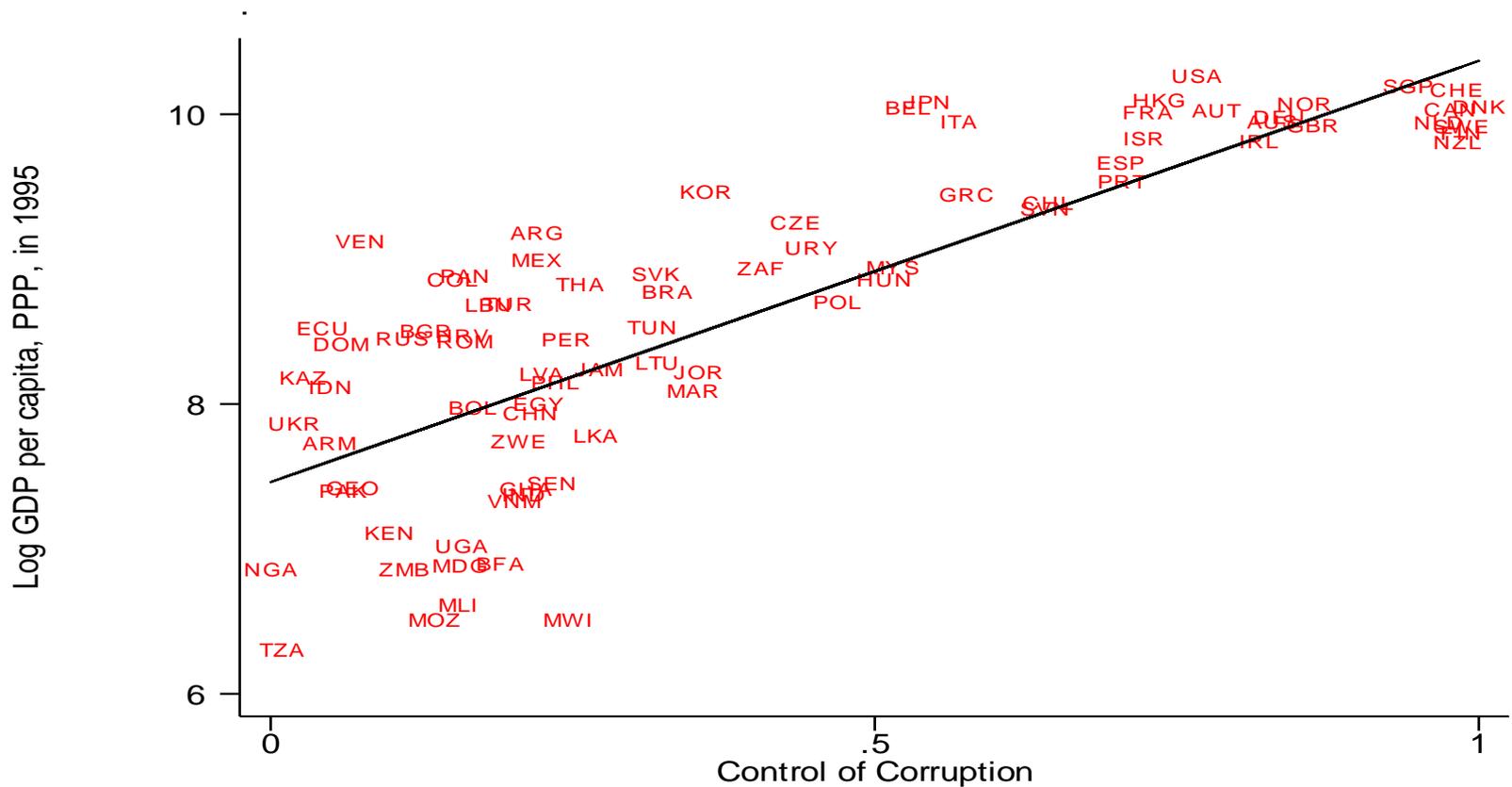
Differences institutionnelles

- Les pays offrent une large diversité en matière d'institutions économiques et politiques:
 - Protection des droits de propriété.
 - Systèmes juridiques.
 - Corruption.
 - Barrières à l'entrée.
 - Démocratie vs. totalitarisme.
 - Contraintes imposées aux élites politiques et aux gouvernements.
 - Règles électorales en démocratie.

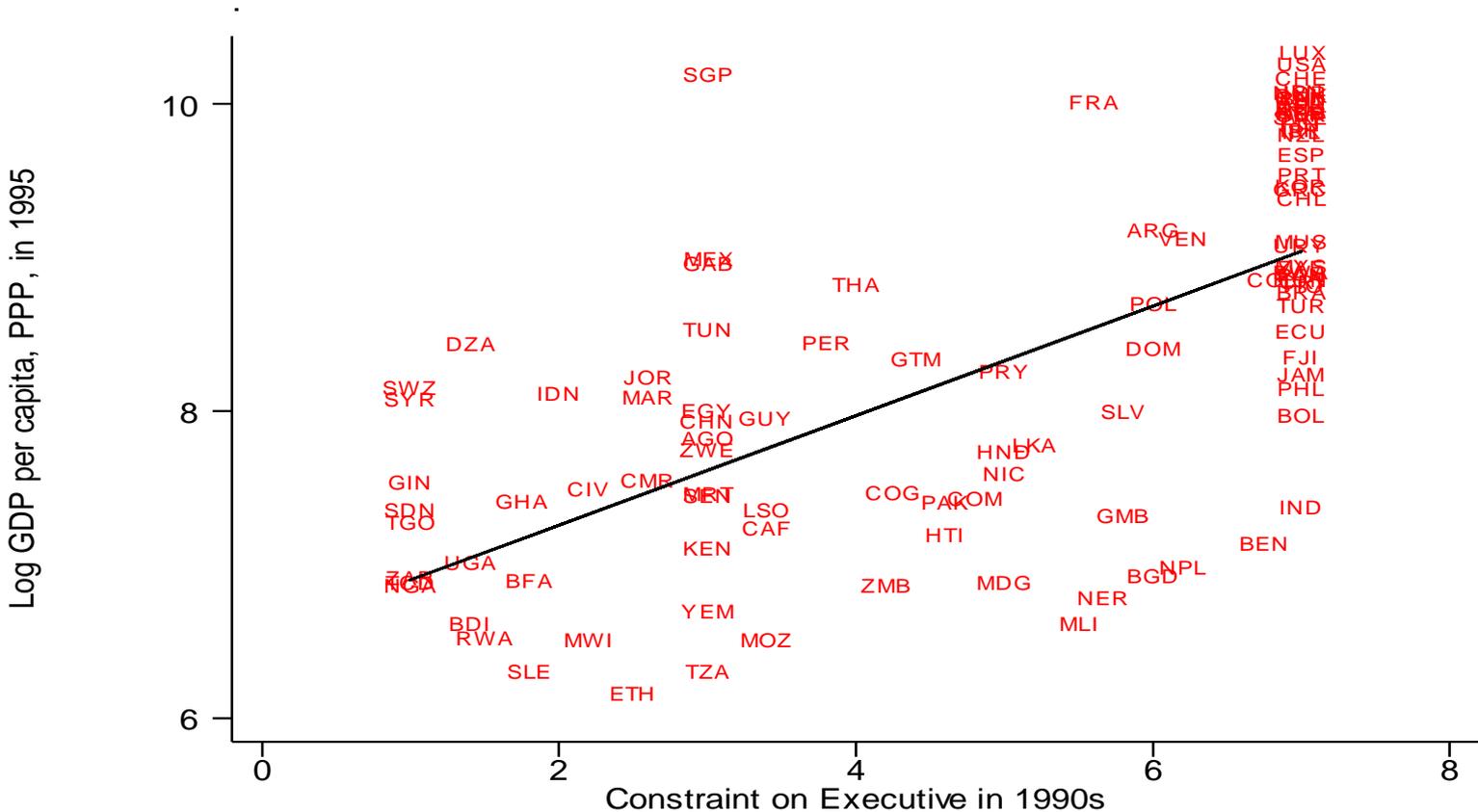
Acemoglu-Johnson-Robinson



Institutions économiques et performance économique (2)



Institutions politiques et performance économique



Identifier un lien causal

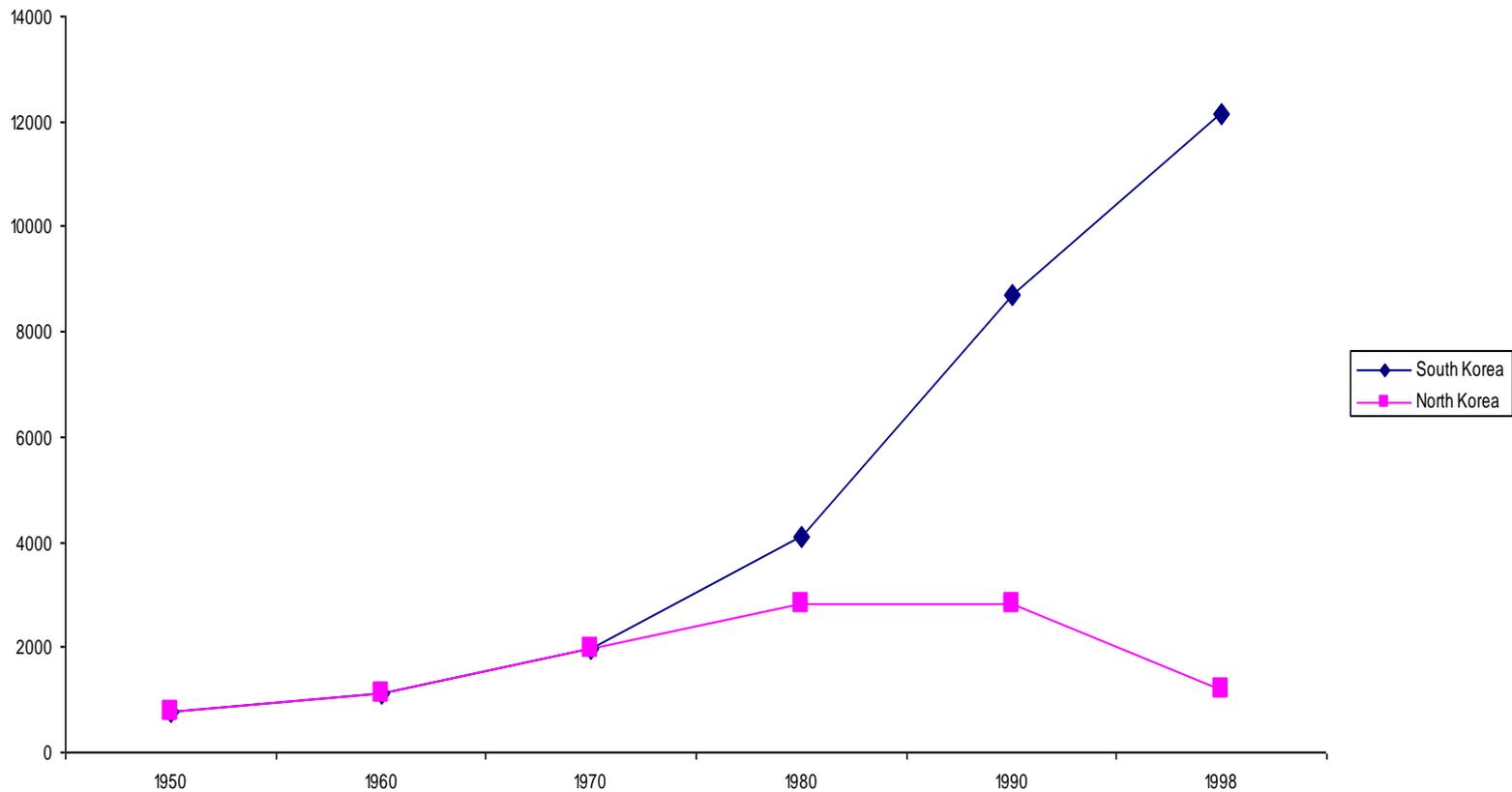
- Variable omises:
 - Institutions, culture, normes---varient d'un pays a l'autre et sont correles avec a la fois les performances economiques et la geographie
- Causalite?
 - Peut-on identifier un effet causal des institutions sur la performance economique?

L'expérience coreenne

- Coree: economiquement, culturellement, et ethniquement homogene au sortir de WWII.
- En fait le Nord est plus industrialise que le Sud.
- Separation “exogene” entre le Nord et le Sud
 - Exogene car le choc institutionnel n'est pas directement relie aux conditions economiques, culturelles ou geographiques dans le Nord ou dans le Sud.
 - C est une experience naturelle ou des sujets semblables recoivent des traitements differents.
- Divergence des institutions economiques et politiques entre le Nord et le Sud.
 - Communisme et economie planifiee dans le Nord.
 - Capitalisme dirigiste dans le Sud.

Les deux Corees

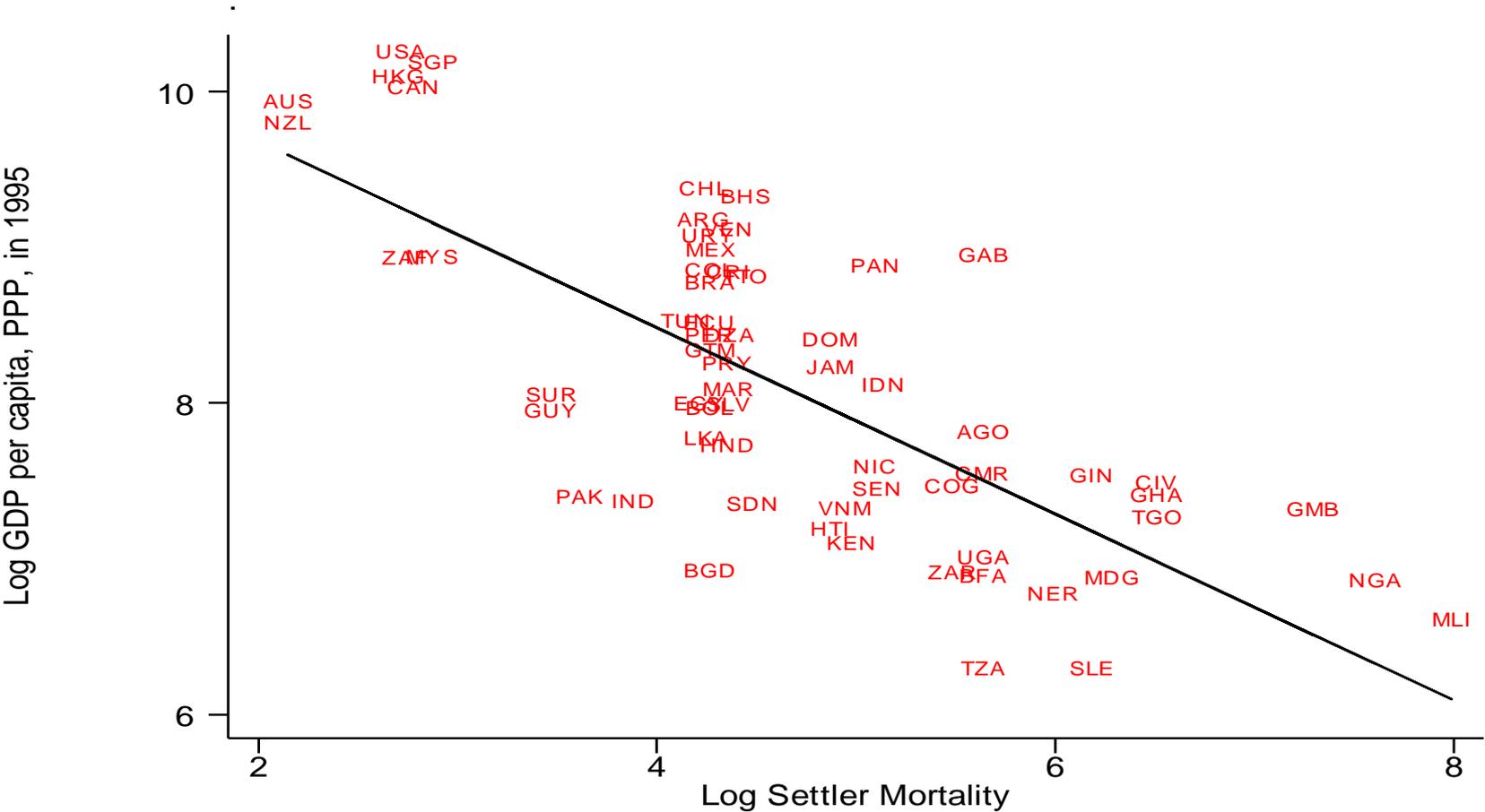
GDP per capita



La colonisation europeene comme experience naturelle

- Les colons sont plus ou moins contamines par les maladies locales. La ou ils sont fortement contamines et meurent en grands nombres, les colons utilisent davantage la region colonisee comme comptoir, et par consequent ils investissent moins dans l'etablissement de nouvelles institutions

Mortalite des colons et institutions contemporaines



Regression auxiliaire (“first stage”)

First Stage Regressions:

Dependent variable is protection against risk of expropriation

	All former colonies	All former colonies	All former colonies	Without neo-Europes
Settler Mortality	-0.61 (0.13)	-0.5 (0.15)	-0.43 (0.19)	-0.37 (0.14)
Latitude		2.34 (1.37)		
Continent Dummies (p-value)			[0.25]	
R-Squared	0.26	0.29	0.31	0.11
Number of Observations	63	63	63	59

Standard errors in parentheses

Sample limited to countries for which have GDP per capita data

Regression principale

Second Stage Regressions:

Dependent variable is log GDP per capita in 1995

	All former colonies	All former colonies	All former colonies	Without neo-Europes
Protection Against Risk of Expropriation, 1985-95	0.99 (0.17)	1.11 (0.26)	1.19 (0.39)	1.43 (0.45)
Latitude		-1.61 (1.57)		
Continent Dummies (p-value)			[0.09]	
Number of Observations	63	63	63	59

Robustesse

Second Stage Regressions: all former colonies
Dependent variable is log GDP per capita in 1995
Instrument is:

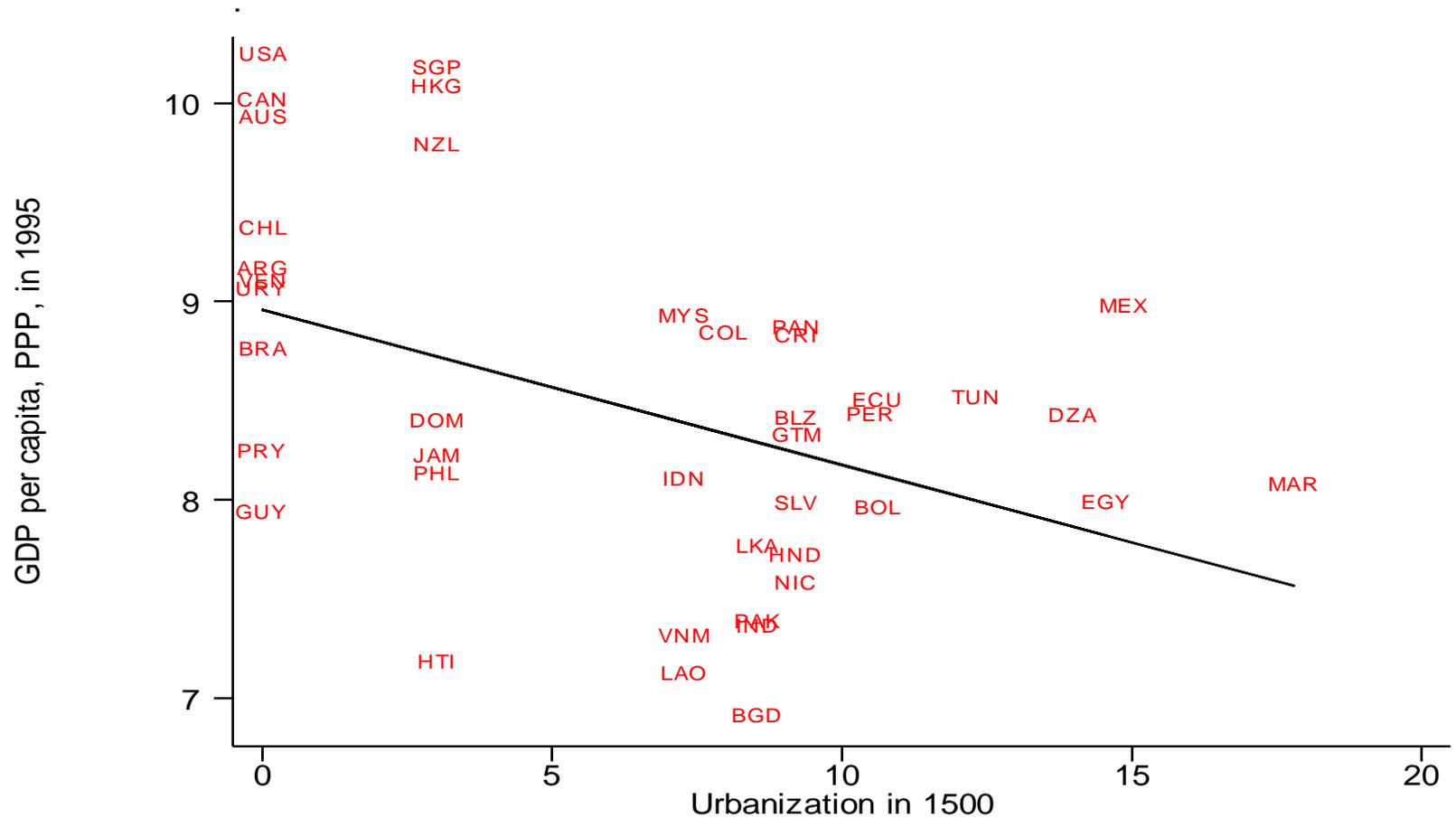
	Log Settler Mortality	Log Settler Mortality	Log Settler Mortality	Log Settler Mortality	Yellow Fever
Protection Against Risk of Expropriation, 1985-95	1.07 (0.27)	0.98 (0.17)	0.87 (0.32)	1.18 (0.84)	0.82 (0.22)
Temperature (p-value)	[0.71]				
Humidity (p-value)		[0.64]			
Malaria			-0.28 (0.59)		
Life Expectancy				-0.014 (0.07)	
Number of Observations	63	63	62	62	63

La roue tourne

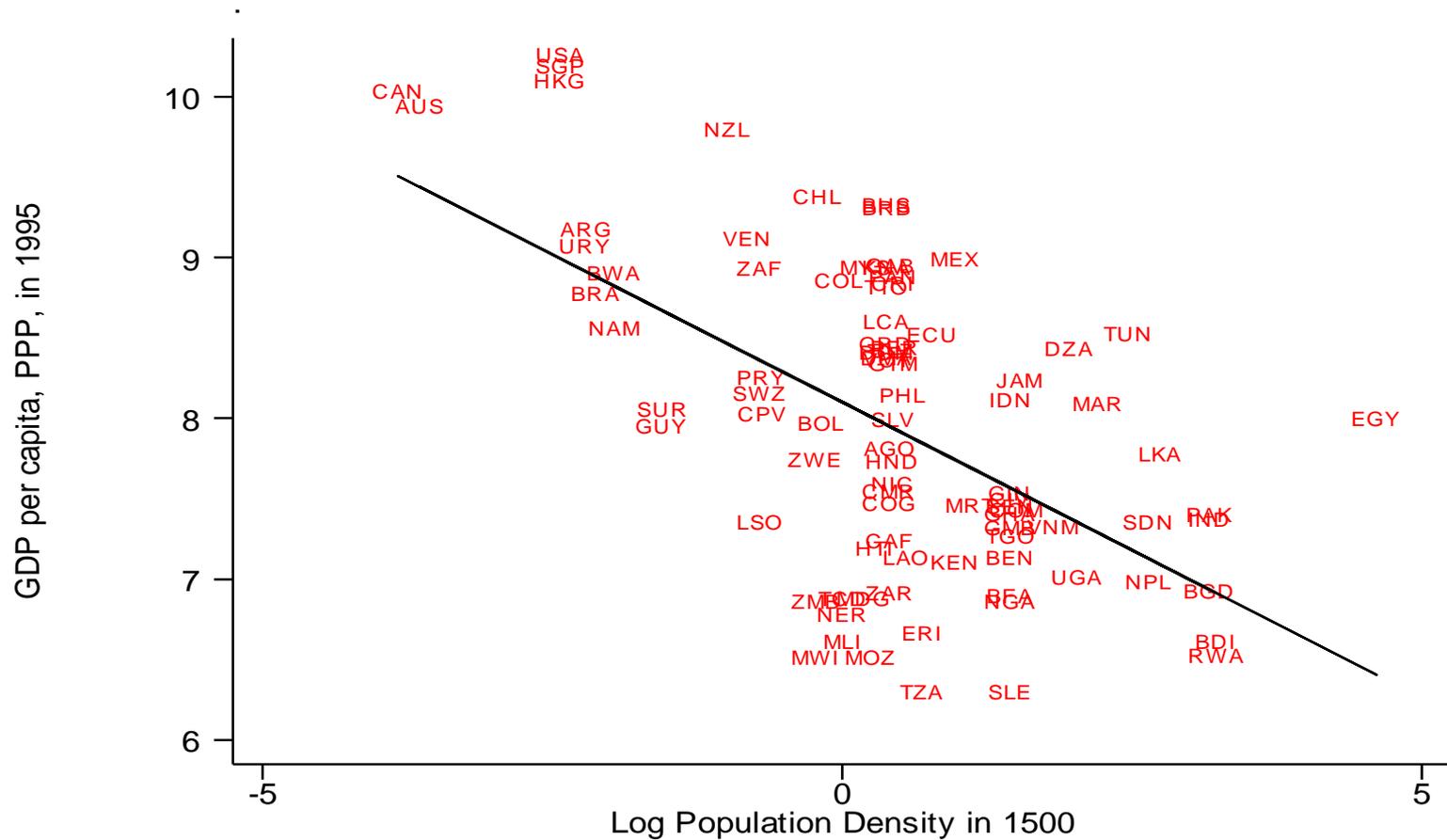
Histoire

- Les anciennes colonies avec des taux d'urbanisation et/ou des densités de population élevées en l'an 1500 connaissent des niveaux de PIB par tête relativement bas de nos jours, tandis que les colonies peu urbanisées ou peuplées en 1500 tendent à être plus prospères de nos jours.
- Explication géographique?
 - Il n'y a pas eu de changements géographiques ou climatiques majeurs depuis 1500.

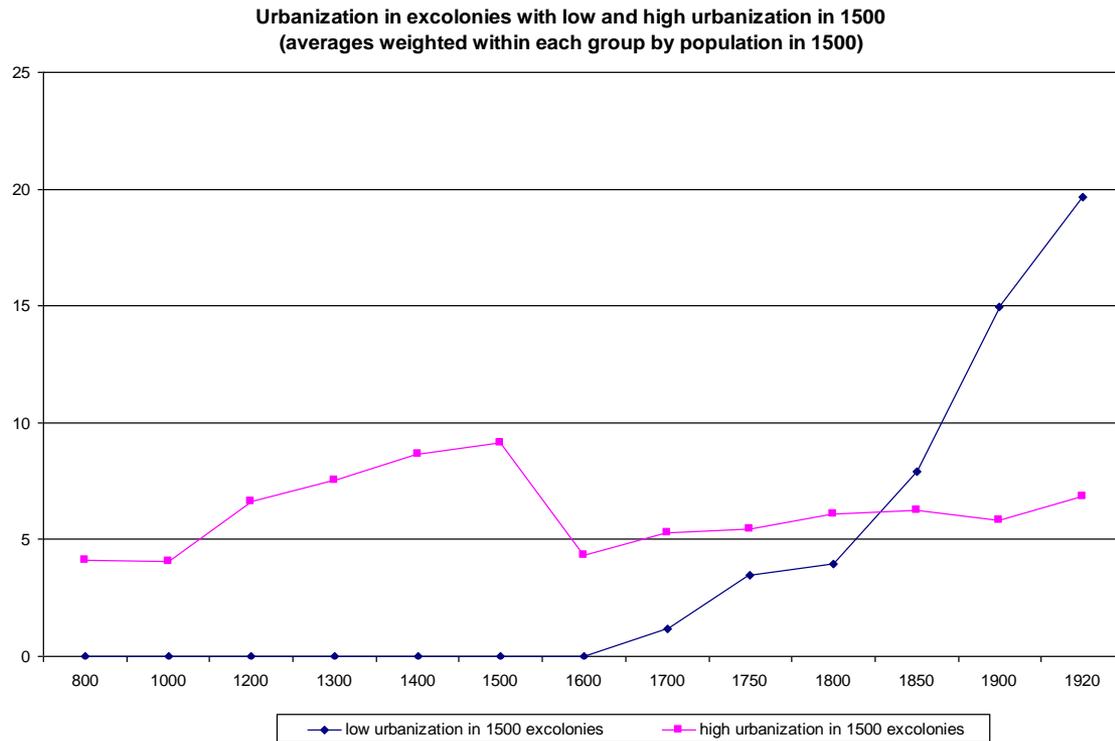
Inversion depuis 1500 (1)



Inversion depuis 1500 (2)



Quand l'inversion s'est elle produite?

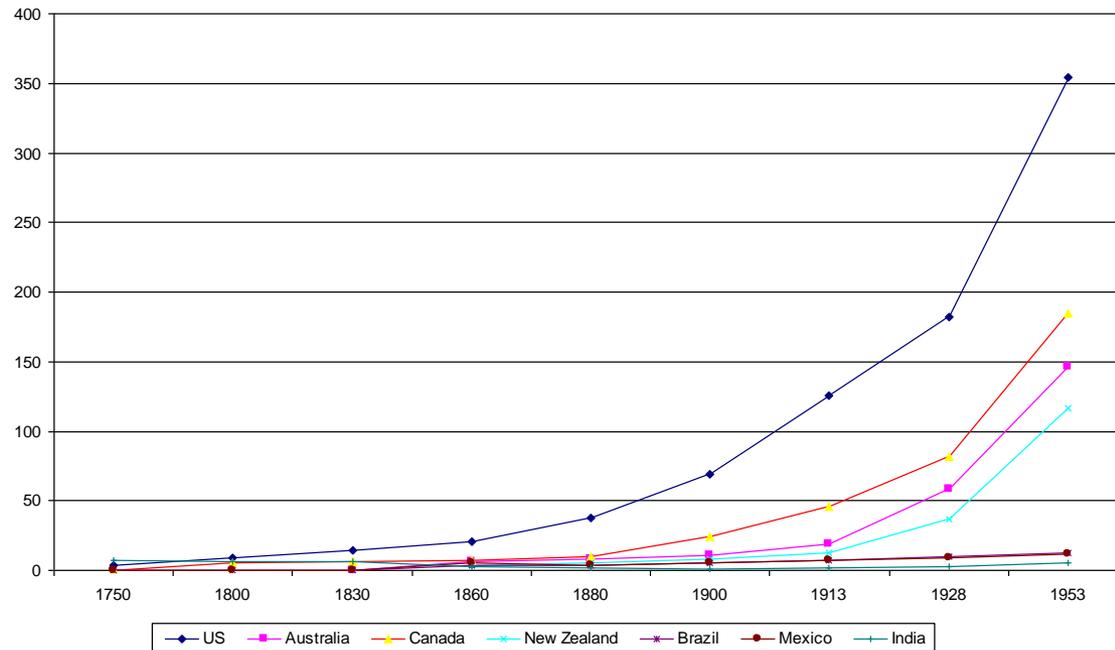


Comprendre le moment de l'inversion

- Pourquoi l'inversion s'est-elle produite au 19eme siecle?
- Institutions "extractives" mises en place par les colons Europeens dans les regions densement peulees
 - E.g., les plantations ont genere des investissements en production de sucre: Barbados, Cuba, Haiti, Jamaica parmi les regions les plus riches a certains moments entre le 16eme et le 19eme siecle.
- Le cote negatif de ces institutions extractives s est manifeste lorsque de nouvelles opportunités se sont presentees, notamment dans le commerce et l'industrie, et qui necessitait de l'innovation avec destruction creatrice et l'arrivee de nouveaux acteurs sur le marche.
 - L'industrialisation au 19eme siecle a favorise les societes plus ouvertes a la concurrence, a la libre entrée, et a la mobilite

La cause de l'inversion: l'industrialisation

Industrial Production Per Capita, UK in 1900 = 100
(from Bairoch)

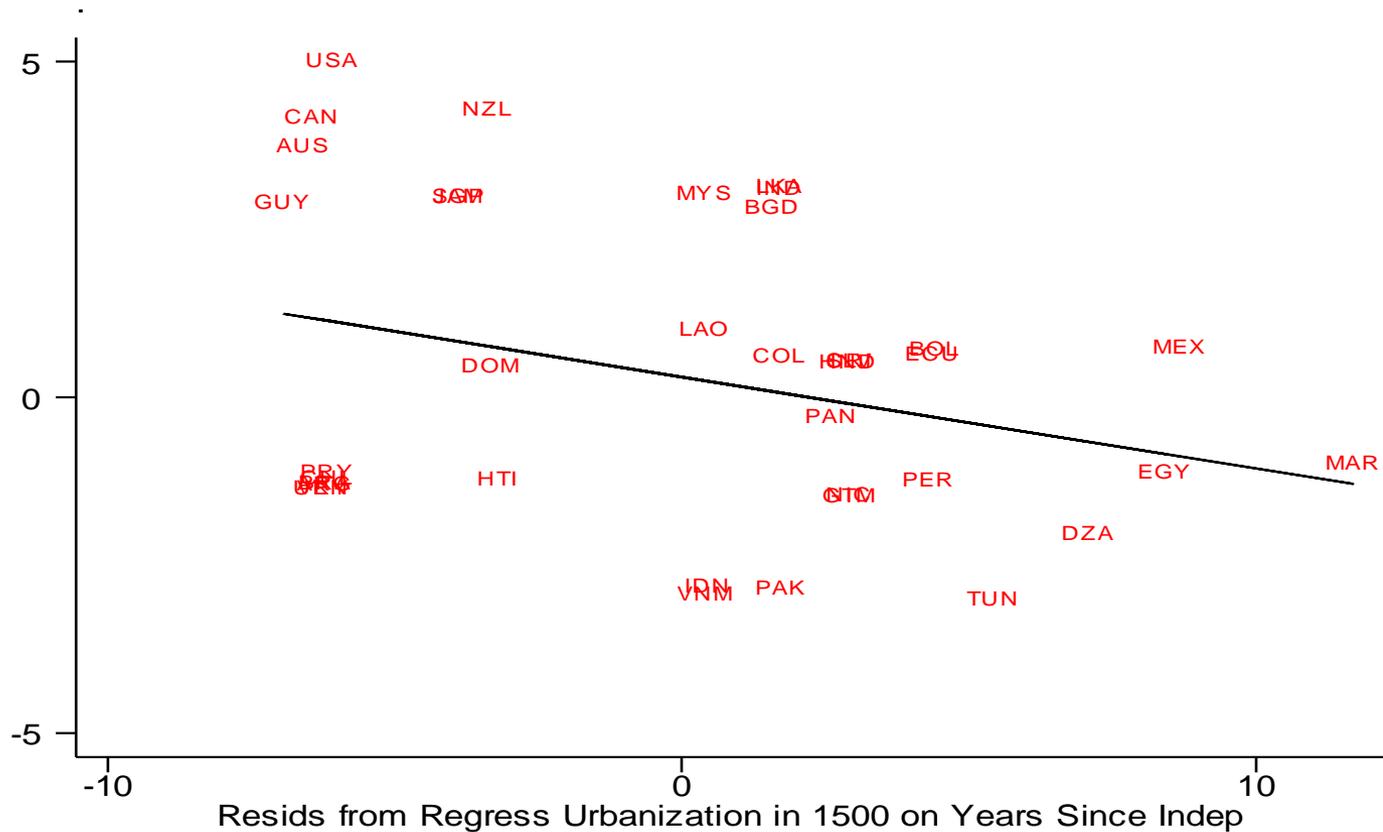


Expliquer l'inversion

- Donc il y a eu une *inversion institutionnelle*
 - Les sociétés initialement plus riches se sont dotées d'institutions extractives qui n'ont pas favorisé l'innovation et le progrès technique lorsque la vague de l'industrialisation est arrivée d'Europe.
 - Les Européens ont introduit des institutions plus "inclusives" dans les régions moins densément peuplées, et au contraire ils ont introduit des institutions plus "extractives" dans les régions initialement plus pauvres et moins densément peuplées
 - E.g.; l'esclavage dans les Caraïbes, le travail forcé en Amérique du Sud,.....

L'inversion institutionnelle (1)

Resids Cons. Executive First Year Indep on Years Since Indep



Recapitulons:

- Causes immediates et fondamentales de la diversite des niveaux de PIB par tete entre pays
- Importance des institutions et de la protection des droits de proprietes
- Strategie empiriques: exploiter les experiences naturelles de l'histoire
 - L'experience coreenne
 - L'experience coloniale
 - La roue qui tourne
- Primaute des institutions sur la geographie

Prochaine section

- L'importance de *openness*
- Le role du systeme des *brevets*

Malthus et le decollage

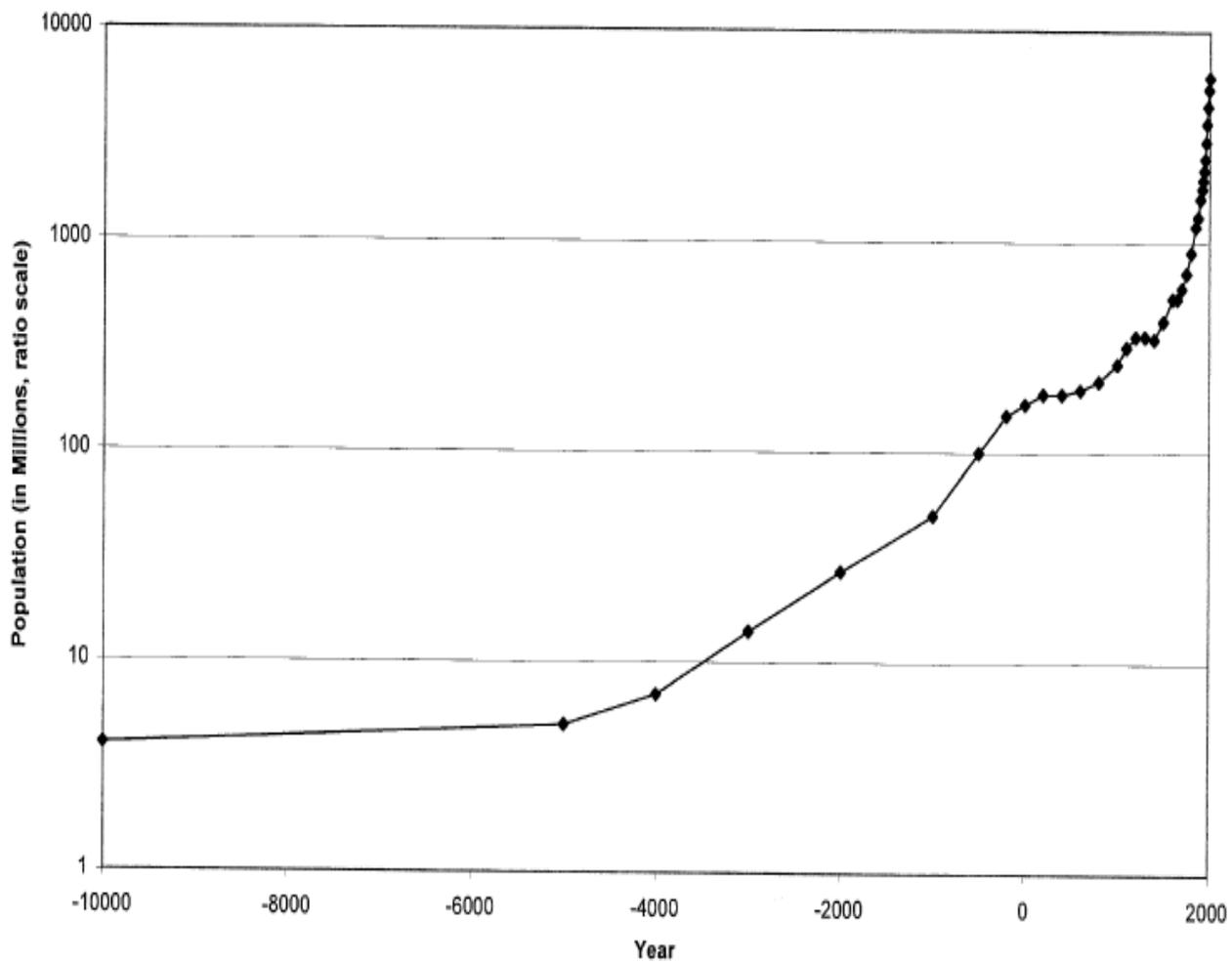
Question

- Comment expliquer le passage d'une quasi-stagnation du PIB par tête à une croissance forte de celui-ci?
- Comment expliquer la relative stagnation démographique suivie d'une explosion démographique puis d'une nouvelle transition démographique?

Evolution historique

- La Figure ci-apres montre l'évolution de la population mondiale depuis l'an 10000 avant JC
- La population mondiale demeure faible même en l'an 1000 après JC
- La croissance de la population a décollé au XIXème siècle, pas avant:
 - 0,04% entre 10000 avant JC et l'an 1 après JC
 - 0,6% au XIXème siècle
 - 0,9% pendant la première moitié du XXème siècle
 - 1,8% depuis 150 ans

World Population 10,000 BC to 2000



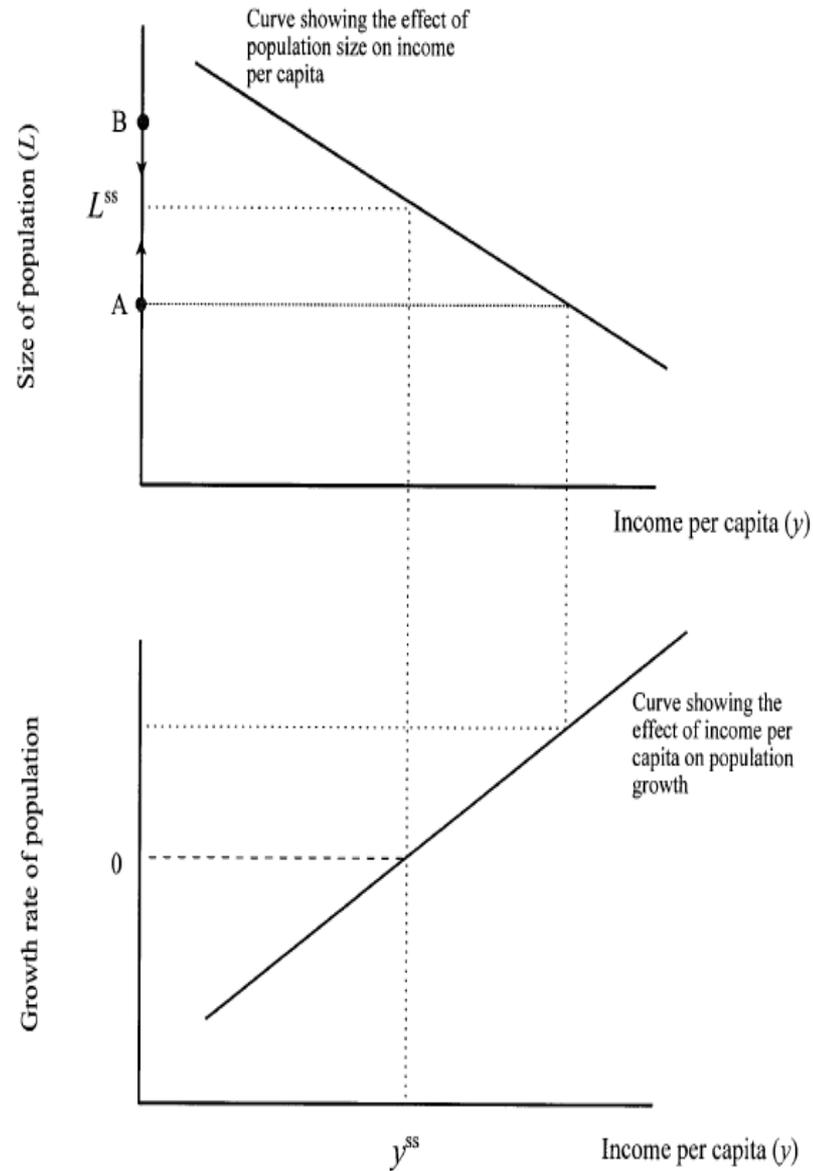
Le modèle Malthusien

- Expliquer la stagnation à la fois du niveau de PIB par tête et de la population jusqu'au 19ème siècle
- Malthus (1766-1834): Essay on the Principle of Population

Le modèle Malthusien

- Idées de base:
 - La production se fait en combinant le travail et le facteur fixe “terre”; plus la population est nombreuse, plus le PIB par tête diminue à cause d’un effet de congestion
 - Les êtres humains peuvent contrôler la fertilité en fonction du niveau de PIB par tête: Petit Poucet, Hansel et Gretel; plus le niveau de PIB par tête est élevé, plus la fertilité est élevée

The Malthusian Model



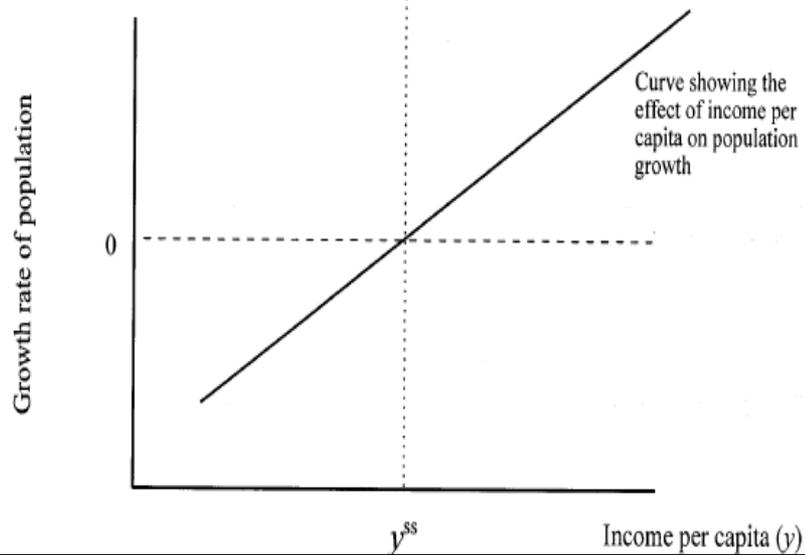
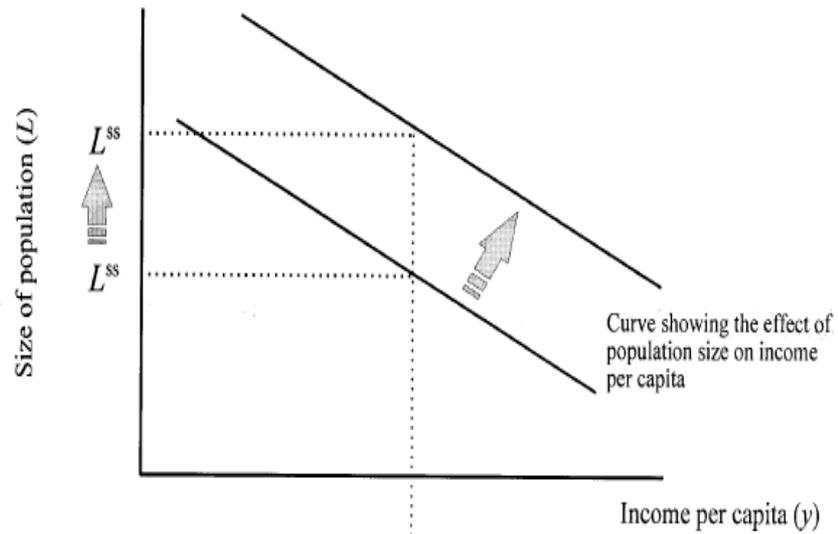
Le modèle Malthusien

- Le modèle Malthusien admet un état stationnaire unique où à la fois la population et le PIB par tête demeurent constants au cours du temps
- Cet équilibre est stable!

Le modèle Malthusien

- Effet d'un accroissement de productivité
 - à court terme
 - à long terme

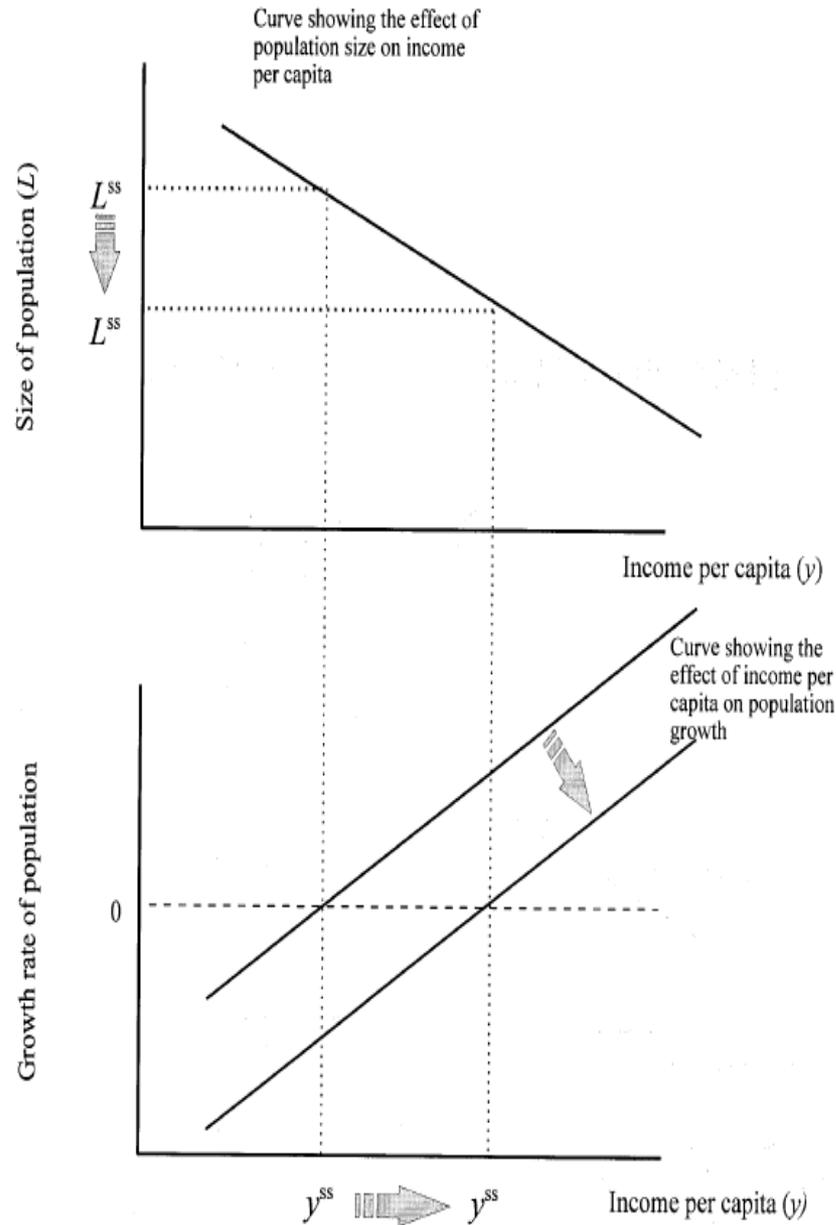
The Effect of a Productivity Improvement in the Malthusian Model



Trappe Malthusienne

- Croissance faible du PIB par tête
- Cette croissance est entièrement absorbée par la démographie
- Seule façon d'augmenter le PIB par tête chez Malthus, c'est l'abstinence

The Effect of "Moral Restraint" in the Malthusian Model



Modèle Malthusien

- Prédiction: les pays plus productifs ne jouissent pas d'un niveau de vie plus élevé, tout passe dans la démographie
 - En l'an 1000 après JC, la Chine était le pays le plus technologiquement avancé de la planète, pourtant son niveau de vie (PIB par tête) était aussi proche du niveau de subsistance que le niveau de vie en Europe (à l'époque en retard sur elle)
 - Importation de la pomme de terre en Irlande: la population irlandaise a triplé entre 1750 et 1850 mais le PIB par tête n'a pas augmenté

Comment expliquer le décollage au 19ème siècle?

- Comment expliquer que les pays européens soient sortis de la trappe Malthusienne au 19ème siècle?
 - Transition de l'agriculture vers l'industrie permet d'échapper au facteur fixe
 - Théorie “unifiée” de la croissance

Théorie “unifiée” de la croissance

- Le taux de progrès technique augmente avec la taille du marché (effet d'échelle: Romer, Aghion-Howitt)
- Modeles de croissance par l'innovation

Theorie “unifiée” de la croissance

- L'accélération du progrès technique se traduit dans un premier temps par une explosion démographique
- A plus long terme, les ménages décident de réduire le nombre d'enfants pour mieux investir dans leur éducation et ainsi mieux profiter du progrès technique (Nelson-Phelps et choix individuels entre quantité et qualité)....cela conduit à la transition démographique!

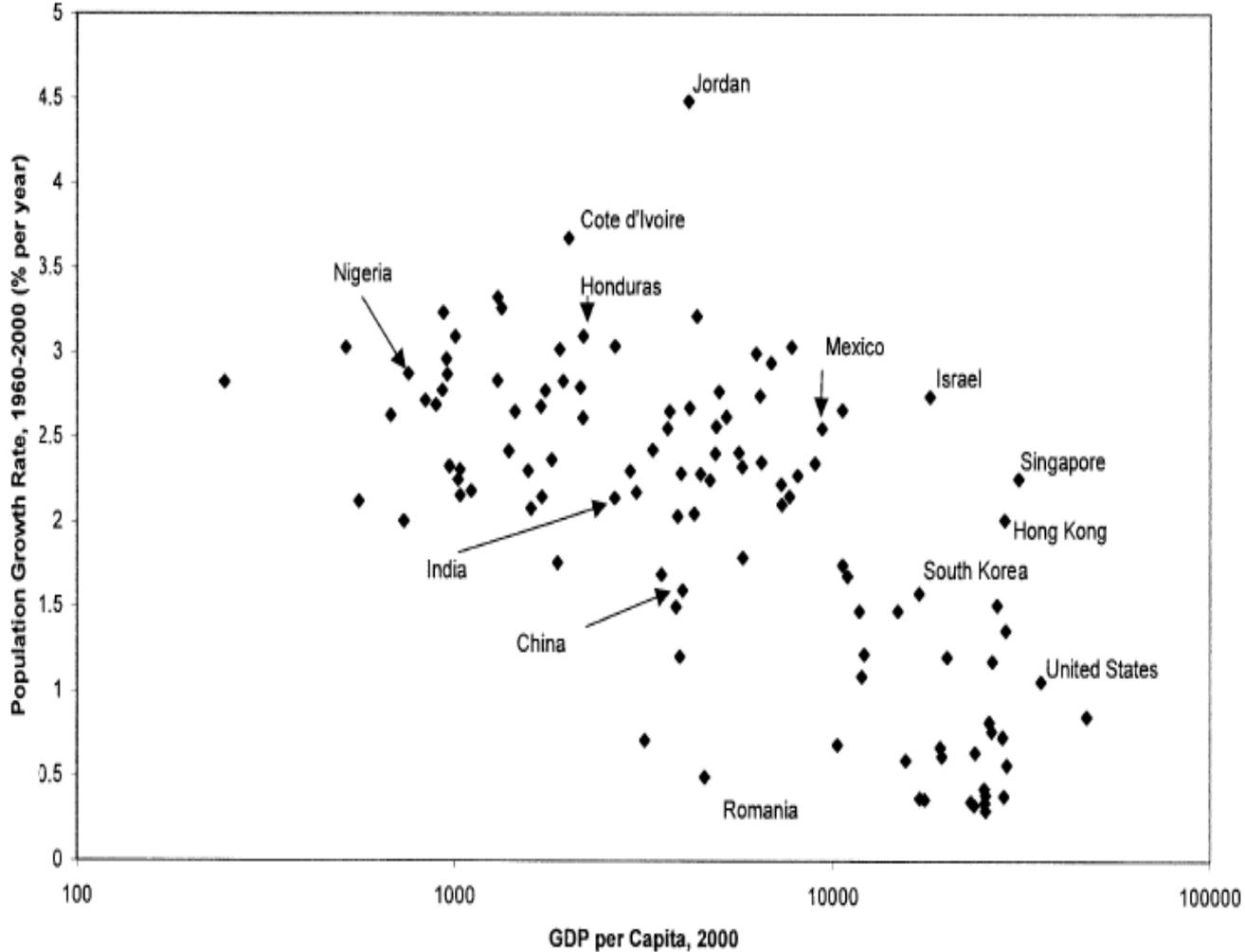
Théorie “unifiée” de la croissance

- La transition démographique empêche que la croissance de la population n’absorbe entièrement l’accélération du progrès technique...
- ...ce qui nous sort de la trappe Malthusienne: le PIB par tête se met a augmenter, et durablement

Support empirique

- La Figure ci-apres montre que les pays plus avancés ont un taux de croissance de la population plus faible que les pays moins avancés, ce qui contredit le premier diagramme de Malthus
- Transition démographique:
 - Jusqu'en 1870, on observe une croissance du PIB par tête qui va de pair avec une croissance rapide de la population (0,2% de 1500 à 1700; 0,4% de 1700 à 1820; 0,7% de 1820 à 1870)
 - Après 1870, la croissance du PIB par tête s'accompagne d'un ralentissement de la croissance de la population

The Relationship Between Income per Capita and Population Growth



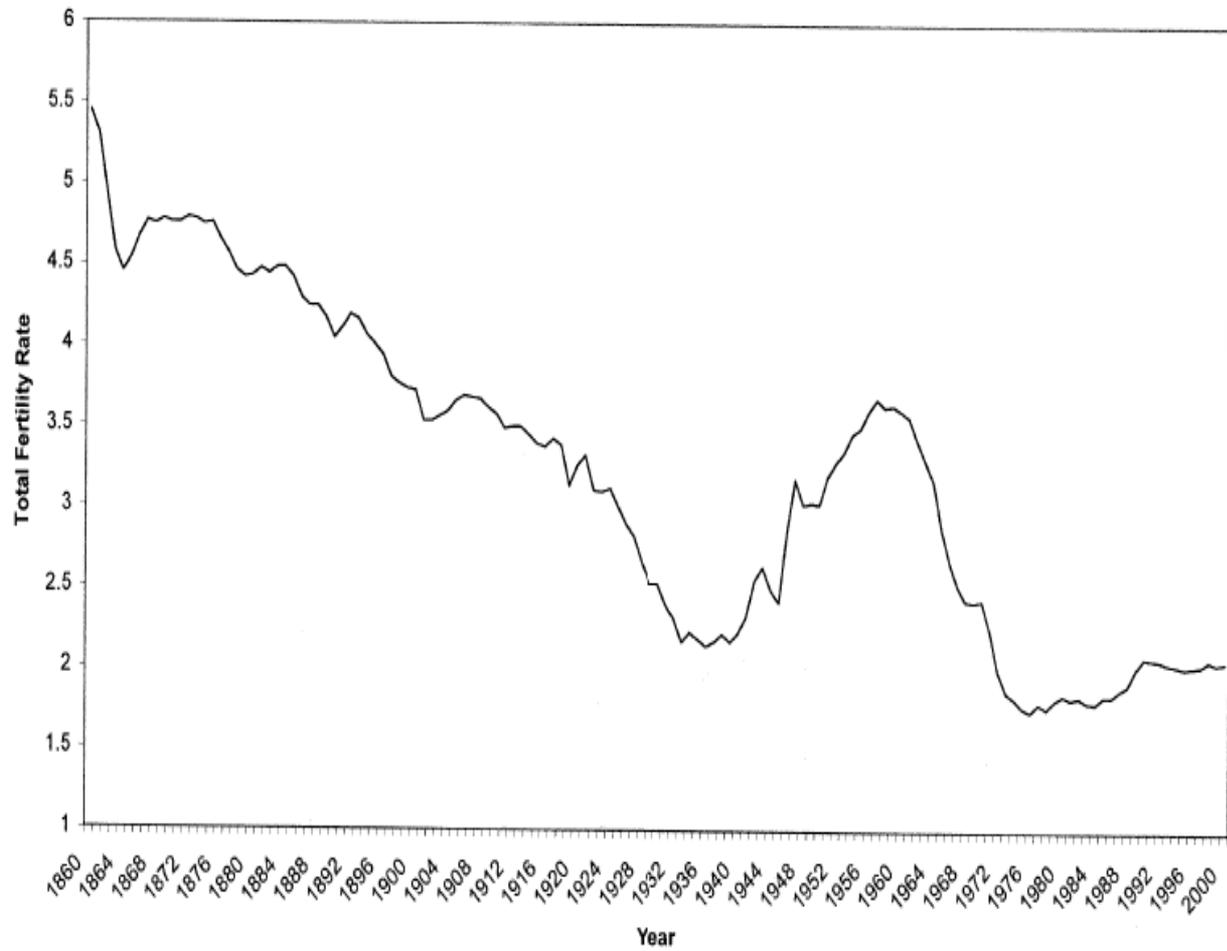
La transition dans la mortalité

- Facteurs de réduction du taux mortalité:
 - Amélioration de quantité et de la qualité des aliments; amélioration de l'habitat; lavages de vêtements plus fréquents (après 1775 en France et en Angleterre, 90% du déclin de la mortalité)
 - Amélioration de l'hygiène publique: eau potable grâce aux nouveaux systèmes d'égouts et d'eau courante, (seconde moitié du 19ème siècle, ont réduit la mortalité dû au choléra et à la fièvre typhoïde)
 - Traitements médicaux (20ème siècle).

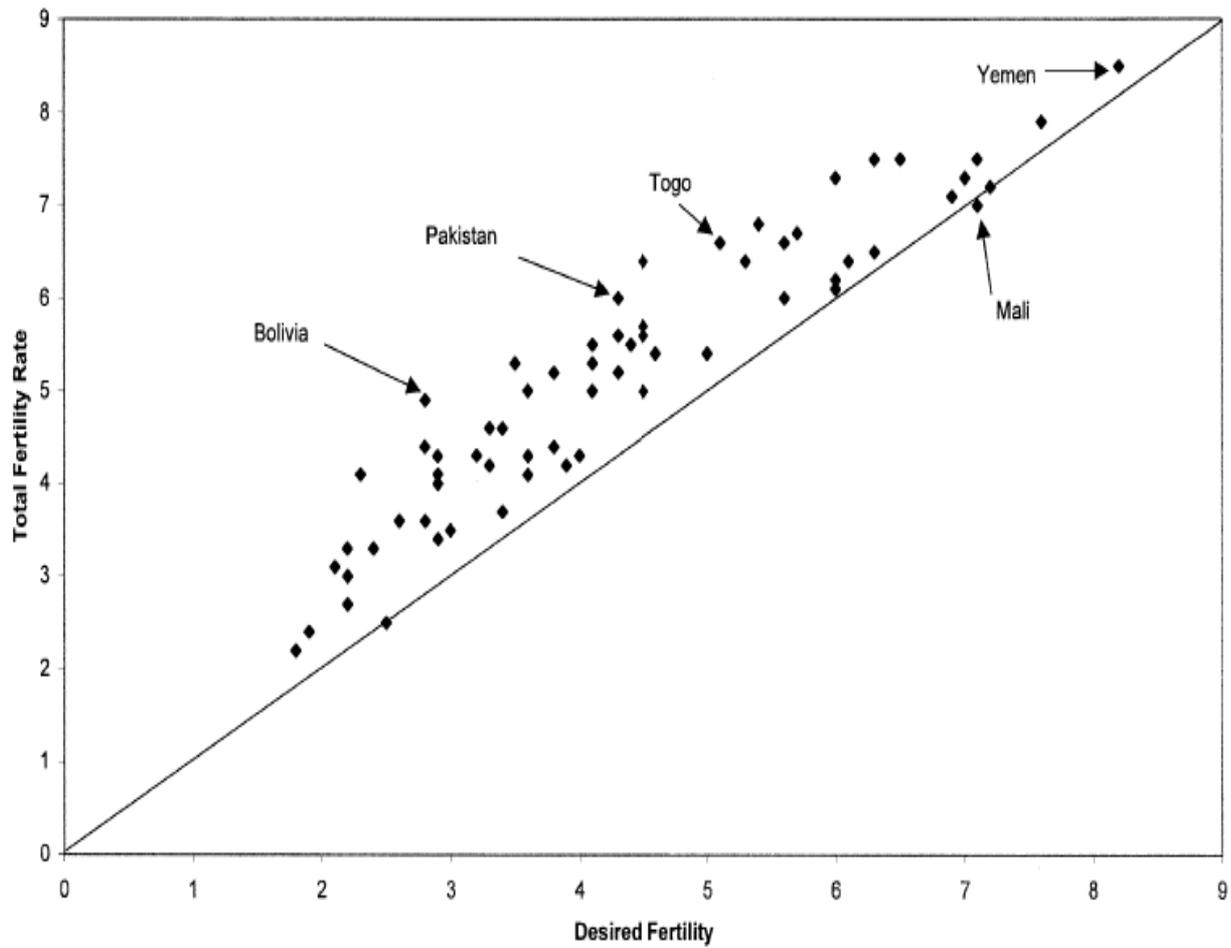
La transition dans la fertilité

- La figure ci-apres montre l'évolution du taux de fertilité aux Etats-Unis depuis 1860: déclin rapide depuis 140 ans
- Comment réduire la fertilité?
- La réduction du taux de fertilité en Europe a précédé l'introduction des contraceptifs modernes
 - C'est surtout la fertilité désirée qui a baissé (Figure ci-apres)
- Pourquoi réduire la fertilité?

Total Fertility Rate in the United States, 1860-2000



Desired Fertility Versus Total Fertility Rate



Discussion générale

- Difficile de croire que la technologie manufacturière existait déjà et attendait le bon moment pour remplacer l'activité agricole
- L'explication par les effets d'échelle et la transition démographique est une peu mécanique et pose un problème de timing: Mokyr et Voth (2006)

Discussion générale

- Mokyr et Voth (2006):
 - Population et PIB par tête ont augmenté en parallèle dans plusieurs régions d'Europe depuis 1700....contrairement au modèle Malthusien!
 - La population anglaise est demeurée constante entre 1700 et 1750, donc pas d'effet d'échelle tel que décrit par cette théorie
 - Pas de skill premium qui aurait motivé une substitution du nombre d'enfants par un investissement supérieur dans leur éducation

Discussion générale

- Mokyr, Mokyr et Voth: facteurs alternatifs
 - Développement d'une culture scientifique parmi les artisans et entrepreneurs
 - Emergence d'institutions protégeant les droits de propriété
 - Concurrence entre pays européens

MOKYR ET LE TAKE-OFF



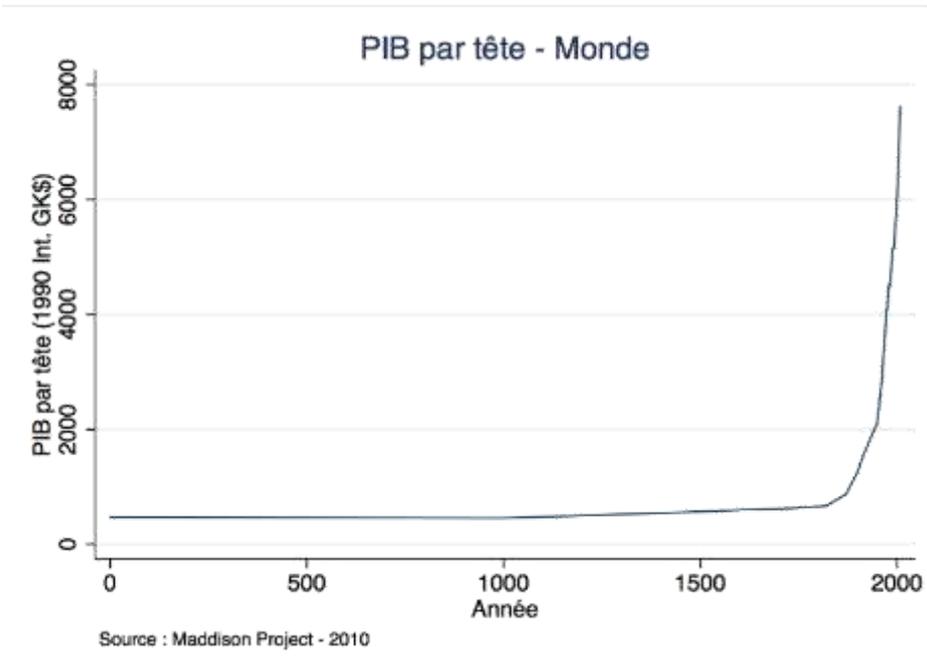
COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

LE TAKE-OFF

- Pourquoi la Révolution Industrielle?
- Pourquoi en Europe ?
- Pourquoi en 1820 ?
- Ces questions occupent les historiens depuis des décennies et à juste titre : la révolution industrielle a marqué le début de la plus grande croissance de la prospérité humaine jamais enregistrée.
- Beaucoup d'autres innovations technologiques dans l'histoire de l'humanité. Mais ces innovations étaient isolées et idiosyncratiques, et n'étaient donc pas à l'origine d'une période soutenue d'innovation et de croissance, comme nous l'avons vu après la révolution industrielle.



LE TAKE-OFF



En niveau

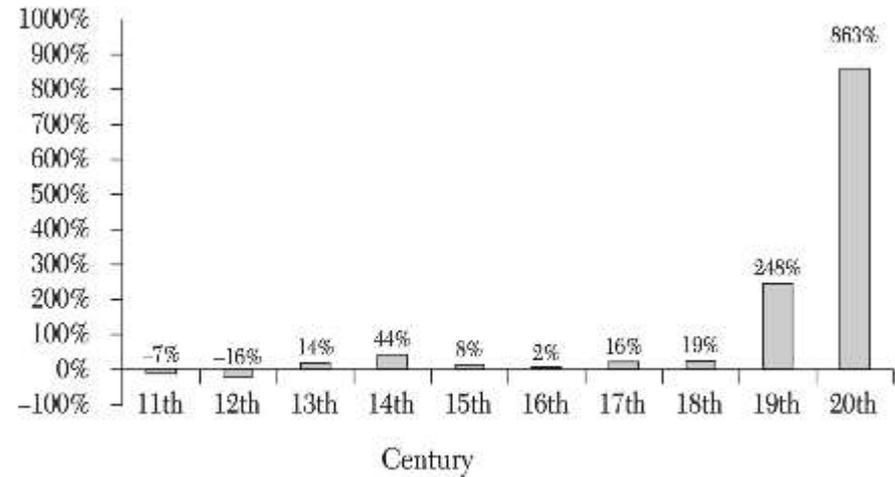
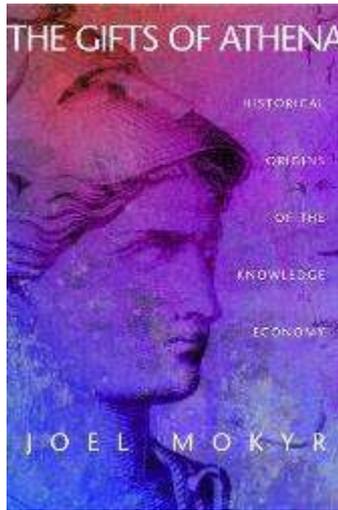


Figure 1. Growth in Real World Per-Capita GDP by Century.
Source: J. Bradford DeLong 2000.

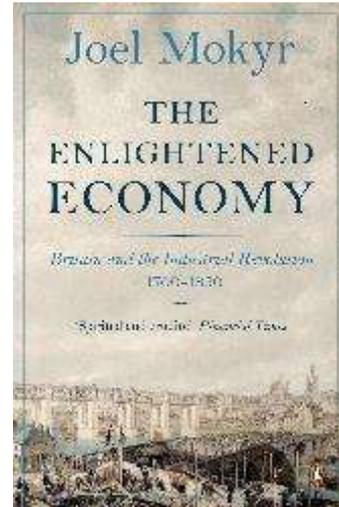
En croissance



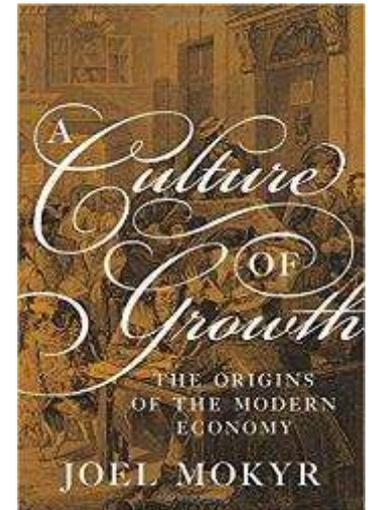
JOËL MOKYR



2002



2010



2017

3 causes majeures à l'origine de la Révolution

Industrielle en Europe :

1. Diffusion du savoir
2. Propriété intellectuelle
3. Concurrence entre pays



COLLÈGE
DE FRANCE
— 1530 —

MOKYR

- Mokyř met l'accent sur le dialogue entre savoir théorique et savoir pratique qui s'est pleinement établi   la faveur d'une *openness revolution* au 18 siècle
- Mokyř distingue entre savoir propositionnel (= savoir portant sur des ph enomenes naturels) et savoir prescriptif (= savoir portant sur les techniques, comprendre pourquoi certaines techniques marchent et d'autres pas).

MOKYR

- **Une avancée du savoir propositionnel est une découverte, une avancée du savoir prescriptif est une innovation.**
- **Exemple du dialogue entre les deux types de savoirs: les mathématiques**
- **Les mathématiques ont permis la formulation de la loi de mouvement de Newton, ce qui a permis d'expliquer le mouvement des projectiles, ce qui a permis des progrès en balistique, ce qui a conduit à de nouvelles découvertes scientifiques**

MOKYR

- **Autre exemple : Microscope permet le développement de la micro-biologie**

CONNAISSANCE ET RÉVOLUTION INDUSTRIELLE

- Révolution Industrielle :
 - Evolution conjointe des connaissances propositionnelles et prescriptives
- La découverte de techniques a permis à la science de se développer
- Cette *co-évolution* de la science et des techniques caractérise la Révolution Industrielle pour Mokyr.



CAUSES DU DÉCOLLAGE

- Qu'est-ce qui a permis cette évolution conjointe de la science et des techniques ?
- 3 causes majeures à l'origine de la Révolution Industrielle en Europe :
 1. **Diffusion du savoir et de l'information**
 2. Droits de propriété intellectuelle
 3. Concurrence entre pays



MOKYR

- **La *openness revolution* au 18eme siècle**
 - Services postaux bon marche
 - Couts d'imprimerie decroissants
- **Cela a permis une explosion du nombre de journaux et l'apparition des encyclopedies et des manuels**
- **Ces developpements ont en retour favorise le developpement de societes et clubs scientifiques pour faire avancer et pour echanger des savoirs et des idees**

MOKYR

- Alors qu'au 15eme siècle les savoirs deviennent proteges par des *trade secret* et des guildes (confreries), les 18eme et 19eme siècle voient se developper une veritable culture du partage de l'information

DIFFUSION DU SAVOIR

- Rôle crucial du développement des services postaux :
 - À la fois pour l'échange d'information en général et aussi pour l'accès aux journaux

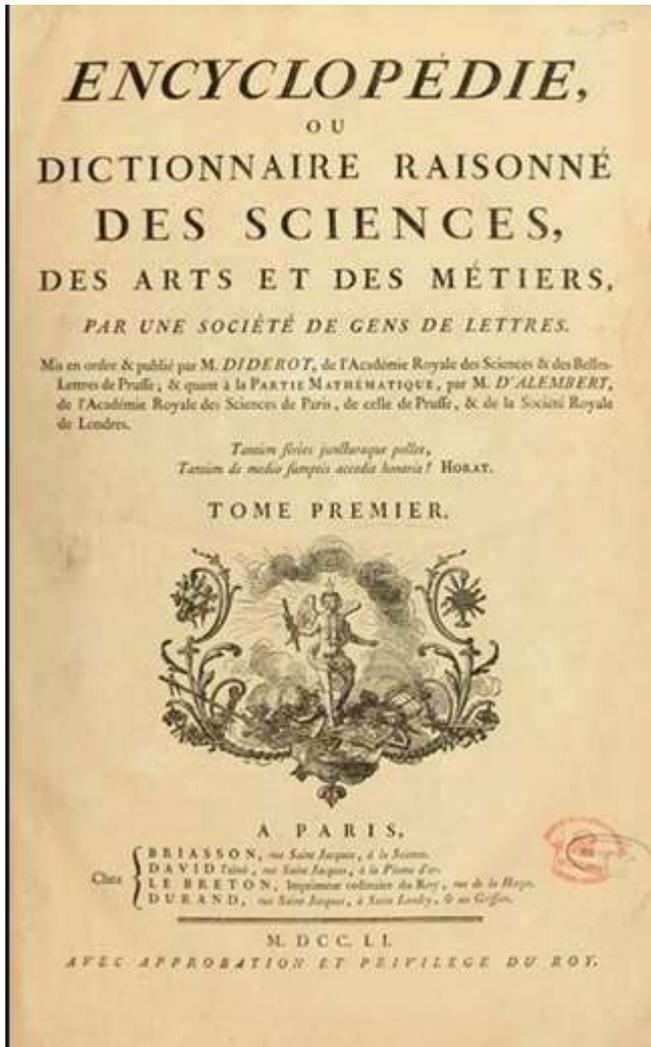
Table 3.2 Letters and Newspapers Transmitted by the Postal System, 1790–1840

Year	Letters (millions)	Letters Per Capita	Newspapers (millions)	Newspapers Per Capita
1790	0.3	0.1	0.5	0.2
1800	2.0	0.5	1.9	0.4
1810	3.9	0.7	n.a.	n.a.
1820	8.9	1.1	6.0	0.7
1830	13.8	1.3	16.0	1.5
1840	40.9	2.9	39.0	2.7

Source: John, *Spreading the News*. 4.



DIFFUSION DU SAVOIR



- Les Lumières et l'encyclopédie de Diderot
- Permet de collecter, codifier et de publier des informations sur le savoir à la fois scientifique et artistique
- Au sein des 72000 thèmes, on trouve notamment des informations sur les techniques : fabrication du verre (44 pages) ou fonctionnement des moulins (25 pages)
- Cela permet de rendre accessible à tous le savoir technique et scientifique



DIFFUSION DU SAVOIR

- Pour Mokyr, la Révolution Industrielle s'inscrit dans la continuité directe du siècle des Lumières :
 - But de la société est d'apporter le bonheur du plus grand nombre
 - Croyance dans le progrès social
 - Eveil scientifique passant par une application systématique de la raison et de l'observation
- Les Lumières ont donc créé un environnement social propice pour un changement technologique
- Mais pourquoi la Révolution Industrielle a-t-elle d'abord eu lieu en Angleterre alors que les Lumières étaient principalement en France, aux Pays-Bas et en Allemagne ?



MOKYR

- Mokyr revient à l'argument de la co-évolution des connaissances : pour lui les artisans anglais étaient plus qualifiés, et donc plus à même de s'approprier les technologies issues des développements scientifiques
- Mais il y a également le rôle de la protection des droits de propriété, où l'Angleterre est en avance sur la France

CAUSES DU DÉCOLLAGE

- Même si Mokyr caractérise le décollage ainsi, cela ne répond pas à la question suivante : Qu'est-ce qui a permis cette évolution conjointe de la science et des techniques ?
- 3 causes majeures à l'origine de la Révolution Industrielle en Europe :
 1. Diffusion du savoir et de l'information
 2. **Droits de propriété intellectuelle**
 3. Concurrence entre pays



PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

- Pourquoi la propriété intellectuelle est-elle importante pour permettre l'émergence de la Révolution Industrielle ?
 - Elle permet de créer des incitations à innover pour l'inventeur qui espère ainsi disposer d'une rente provisoire
 - « *Le système de brevets a ajouté le carburant de l'intérêt au feu du génie* » Abraham Lincoln cité par Khan and Sokoloff
- Le système de brevets, en assurant une propriété intellectuelle aux inventeurs et scientifiques, a donc incité à la diffusion des idées en Europe.

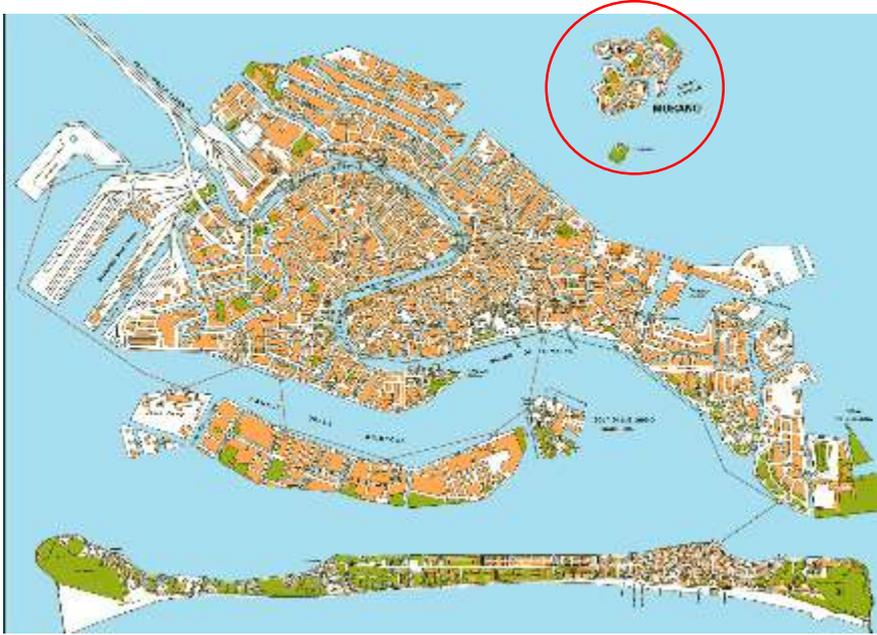


PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

- Avant la propriété intellectuelle ? C'était le secret qui dominait.
- Souvent, les métiers étaient encadrés par des guildes qui gardaient précieusement les connaissances techniques acquises. Seuls les apprentis méritants étaient alors initiés à la compréhension des techniques utilisées.
- Cela empêchait bien entendu l'échange du savoir, et donc l'amélioration des techniques.
- Exemple proposé par Varian (2004) : Venise au XVème siècle avec deux procédés de fabrication de pointes de l'époque : le verre de Murano et la construction de navires.



PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE



Le verre de Murano

Ceux qui naissaient sur l'île de Murano ne pouvaient jamais la quitter, pour éviter qu'ils ne révèlent les secrets de fabrication du verre.

De même, il était interdit aux étrangers d'observer la construction des navires dans l'Arsenal.



Verre de Murano – 14^{ème} siècle



PROPRIETE INTELLECTUELLE

- Autre exemple: en mathematiques au debut du 15eme siècle, la guerre entre “algoristes” et les “albacistes”chaque camp conservant ses algorithmes pour lui-meme, et faisant signer aux etudiants des promesses de sang pour ne jamais reveler les secrets a qui que ce soit.

PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

- Ce type de pratique du secret stoppait naturellement le partage de connaissance, et ne permettait donc pas l'amélioration des techniques par le mouvement de co-évolution décrit plus tôt
- Pourquoi la propriété intellectuelle a-t-elle émergé ?
- North et Weingast (1989) émettent une hypothèse :
 - *Glorious Revolution* (1688-1689) en Angleterre a donné au Parlement la suprématie sur le Roi.
 - Cela a alors créé pour la première fois une sécurité des droits de propriété à l'abri de toute ingérence politique et a ainsi incité à innover.



CAUSES DU DÉCOLLAGE

- Même si Mokyr caractérise le décollage ainsi, cela ne répond pas à la question suivante : Qu'est-ce qui a permis cette évolution conjointe de la science et des techniques ?
- 3 causes majeures à l'origine de la Révolution Industrielle en Europe :
 1. Diffusion du savoir et de l'information
 2. Droits de propriété intellectuelle
 3. **Concurrence entre pays**



MOKYR

- En amont du développement des Lumières, Mokyr insiste dans son dernier livre sur le rôle prépondérant d'une République des Lettres (*Republic of Letters*) transnationale, réunissant tous les universitaires et lettrés d'Europe grâce à une langue commune : le latin.
- Dès la Renaissance, la *Republic of Letters* place le savant dans un environnement supra-national (européen), et lui fournit donc un public plus large que ses compatriotes.
- Avec la *Republic of Letters*, émergent aussi les prince-savants comme Frédéric II de Prusse qui protègent les savants pour affirmer leur grandeur auprès des autres nations européennes.
- D'où le rôle de la concurrence entre états pour aider les inventeurs.



CONCURRENCE ENTRE PAYS

- Pourquoi la Révolution Industrielle a-t-elle eu lieu en Europe et pas en Chine ?
- Rôle de la concurrence entre nations européennes : une Europe politiquement fragmentée crée une compétition entre les nations pour attirer les esprits les plus brillants.



CONCURRENCE ENTRE PAYS

- Acemoglu et Robinson prennent l'exemple de la Chine dans *Why Nations Fail*, comme contre-exemple à l'Europe
- En 1661, l'empereur Kangxi ordonna à toutes les personnes vivant le long de la côte sud, de se déplacer de 30 kilomètres dans les terres. Jusqu'en 1693, la navigation était interdite partout sur la côte. Cette interdiction a été périodiquement réimposée au dix-huitième siècle, retardant de fait l'émergence du commerce chinois à l'étranger.
- Selon Acemoglu et Robinson, les empereurs chinois obéissaient à une peur de la destruction créatrice car elle leur semblait une menace pour leur stabilité politique.
- Les seules innovations qui pouvaient émerger en Chine étaient celles choisies par l'empereur. Contrairement à l'Europe, peu de possibilité d'expatriation pour les inventeurs non sélectionnés.
- Conséquence de ce contrôle absolutiste : économie stagnante tout au long du XIXe et au début du XXe siècle alors que d'autres économies s'industrialisaient.



CONCURRENCE ET CROISSANCE

- Concurrence, mobilité sociale et croissance, l'exemple du développement de Venise au Moyen-Âge
- ***International Trade and Institutional Change: Medieval Venice's Response to Globalization***, Diego Puga et Daniel Trefler, *Quarterly Journal of Economics* (2014)
- Idée :
 - Rôle des institutions comme garanties de la concurrence et de la mobilité sociale, pour permettre la croissance



CONCURRENCE ET CROISSANCE

- Rapide historique :
- Avant 1036, le Doge disposait du pouvoir absolu et pouvait désigner son propre successeur.
- En 1036, nouvelle période de limitation à des limites explicites aux pouvoirs des Doges
- En 1192, le Doge ne pouvait presque rien faire sans l'approbation d'un parlement élu : le Grand Conseil.



CONCURRENCE ET CROISSANCE

- Venise était alors tournée vers le commerce avec Constantinople



CONCURRENCE ET CROISSANCE

- Mais le commerce requiert des investissements (coûts fixes) importants, avec un risque élevé d'échec (piraterie, naufrage, retard) avec faible probabilité d'un revenu très élevé
- D'où la nécessité de partager les risques
- La réponse vénitienne : un contrat connu sous le nom de *colleganza*, l'un des premiers exemples de société par actions. Dans sa forme la plus simple, c'est un arrangement entre deux parties, investisseur et commerçant voyageur.
- L'investisseur fournit des marchandises au commerçant voyageur qui navigue pour les vendre. Le partage des bénéfices potentiels est contractualisé à l'avance.



CONCURRENCE ET CROISSANCE

- Ce type de contrats permet à une grande partie de la population d'accéder au commerce international.
- C'est à cette époque que Venise connaît son apogée

TABLE I
COMMONER INVOLVEMENT IN COLLEGANZA

(1) Period	(2) Number of surviving <i>colleganza</i>	(3) Number of <i>colleganza</i> involving commoners	(4) % of <i>colleganza</i> involving commoners	(5) Median merchant's family seats per session in the Great Council	(6) Officium de Navigantibus
1073–1200	65	27	42	1.5	
1201–1220	63	24	38	1.0	
1221–1240	79	42	53	0.9	
1241–1261	59	30	51	0.8	
1310–1323	81	22	27	3.0	
1324	3	0	0	1.8	In force
1325–1330	19	1	5	4.8	
1331–1338	10	0	0	5.4	In force
1339–1342	2	0	0	13.6	



CONCURRENCE ET CROISSANCE

- Mais, les familles les plus riches et les plus puissantes craignaient une érosion de leur statut à la fin du XIII^{ème} siècle.
- En 1297, ils ont réussi à adopter la première d'une série de lois (connue sous le nom de *Serrata*) qui réservait le contrôle des élections du Grand Conseil à quelques familles puissantes.
- Le pouvoir politique et la richesse se sont alors concentrés, et la ville se met a décliner progressivement en tant que puissance maritime et économique.

TABLE I
COMMONER INVOLVEMENT IN COLLEGANZA

(1) Period	(2) Number of surviving <i>colleganza</i>	(3) Number of <i>colleganza</i> involving commoners	(4) % of <i>colleganza</i> involving commoners	(5) Median merchant's family seats per session in the Great Council	(6) Officium de Navigantibus
1073–1200	65	27	42	1.5	
1201–1220	63	24	38	1.0	
1221–1240	79	42	53	0.9	
1241–1261	59	30	51	0.8	
1310–1323	81	22	27	3.0	
1324	3	0	0	1.8	In force
1325–1330	19	1	5	4.8	
1331–1338	10	0	0	5.4	In force
1339–1342	2	0	0	13.6	



XX SIÈCLE

- Le XIXème siècle est le siècle de la Révolution Industrielle
- Mokyr présente le XXème siècle comme celui d'une nouvelle révolution qui passe par une *institutionnalisation de l'innovation* : mise en place de politiques favorables à son développement
- Toutefois, il regrette l'ingérence parfois trop forte des Etats dans ce processus : « pick winners »



CONCLUSIONS

- Révolution Industrielle caractérisée par la co-évolution des sciences et des techniques, qui se renforcent mutuellement
- 3 causes majeures à l'origine de la Révolution Industrielle en Europe :
 1. Diffusion du savoir et de l'information
 2. Droits de propriété intellectuelle
 3. Concurrence entre pays



Path Dependence in Clean vs Dirty Innovation: Theory, Evidence and Policy Implications

Philippe Aghion (Harvard) David Hemous (Harvard)

April 29, 2011

Introduction (1)

- Increased awareness about the importance of innovation and technological progress in fighting climate change and its consequences
- Here we will argue that factoring in endogenous directed technical progress changes our view of what the optimal environmental policy should look like
 - ① it makes us reassess the costs of delayed intervention
 - ② it leads to different policy prescriptions, e.g. on the optimal mix of instruments

Introduction (2)

- A main ingredient in our analysis is the assumption that there is *path-dependence* in the direction of technical change
→ namely, firms that have innovated a lot in dirty technologies in the past will find it more profitable to innovate in dirty technologies today

Introduction (3)

- This path-dependence assumption has important policy implications, as we will argue in the first part of the presentation, in particular:
 - ① Because firms have innovated "dirty" in the past, they will continue to do so in the future
→ this in turn, under laissez-faire, may precipitate the occurrence of an environmental disaster
 - ② The government can improve welfare and avoid a disaster by "redirecting" technical change.
 - ③ Immediate and decisive intervention may be necessary (even with high discount rates)

The theory in a nutshell (1)

- Two sector model with “clean” and “dirty” inputs with two key externalities
- *Environmental externality*: production of dirty inputs creates environmental degradation.
- Researchers work to improve the technology depending on expected profits and “**build on the shoulders of giants**” in their sector.
 - *Knowledge externality*: advances in dirty (clean) inputs make their future use more profitable.
- Policy interventions can **redirect technical change** towards clean technologies.

The theory in a nutshell (2)

- 1 Immediate and decisive intervention is necessary
 - without intervention, innovation is directed towards dirty sectors; thus gap between clean and dirty technology widens; thus cost of intervention (reduced growth when clean technologies catch up with dirty ones) increases
- 2 Temporary intervention may be sufficient
 - once government intervention has induced a technological lead in clean technologies, firms will spontaneously innovate in clean technologies (if clean and dirty inputs are sufficiently substitutes).
- 3 Two instruments, not one:
 - optimal policy involves both a carbon tax and a subsidy to clean research to redirect innovation to green technologies
 - too costly in terms of foregone short-run consumption to use carbon tax alone

The empirics in a nutshell (1)

- However, one might challenge the path-dependence hypothesis and wonder whether instead there should not be decreasing returns to each type (clean or dirty) of innovation
 - thus a firm that has innovated dirty a lot in the past would have more incentives to innovate clean today.
 - in that case the market should do at least part of the job of redirecting technical change towards clean technologies

The empirics in a nutshell (2)

- In the second part of the presentation, we will exploit a new patent data set on innovations in the car industry to show that:
 - ① Higher fuel prices (and therefore higher carbon taxes) tend to redirect innovation towards clean technologies;
 - ② Firms' propensity to innovate "clean" rather than dirty:
 - is positively correlated to the stock of past clean innovations..
 - ..but is negatively correlated to the stock of dirty innovations
 - thereby vindicating the path-dependence hypothesis which underlies the analysis in AABH.

Road map

- 1 **Our Theory of the Environment and Directed Technical Change**
→ based on Acemoglu, Aghion, Bursztyn and Hemous (2010)
- 2 **Empirical Evidence on Path-Dependence**
→ based on Aghion, Dechezlepretre, Hemous, Martin and Van Reenen (2010)

Model (1): production

- Infinite horizon in discrete time (suppress time dependence for now)
- Final good Y produced competitively with a clean intermediary input Y_c , and a dirty input Y_d

$$Y = \left(Y_c^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + Y_d^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} \right)^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}}$$

- Most of the analysis: $\varepsilon > 1$, the two inputs are substitute.
- For $j \in \{c, d\}$, input Y_j produced with labor L_j and a continuum of **machines** x_{ji} :

$$Y_j = L_j^{1-\alpha} \int_0^1 A_{ji}^{1-\alpha} x_{ji}^\alpha di$$

- Machines produced **monopolistically** using the final good

Model (2): consumption

- Constant mass 1 of infinitely lived representative consumers with intertemporal utility:

$$\sum_{t=0}^{\infty} \frac{1}{(1+\rho)^t} u(C_t, S_t)$$

where u increasing and concave, with

$$\lim_{S \rightarrow 0} u(C, S) = -\infty; \quad \frac{\partial u}{\partial S}(C, \bar{S}) = 0$$

Model (3): environment

- Production of dirty input depletes environmental stock S :

$$S_{t+1} = -\zeta Y_{dt} + (1 + \delta) S_t \quad \text{if } S \in (0, \bar{S}). \quad (1)$$

- Reflecting at the upper bound $\bar{S} (< \infty)$: baseline (unpolluted) level of environmental quality.
- Absorbing at the lower bound $S = 0 \implies S = 0$ is a disaster.
- $\delta > 0$: rate of “environmental regeneration” (measures amount of pollution that can be absorbed without extreme adverse consequences)
- S is general quality of environment, inversely related to CO2 concentration (what we do below for calibration).

Model (4): innovation

- At the beginning of every period scientists (of mass $s = 1$) work either to innovate in the clean or the dirty sector.
- Given sector choice, each randomly allocated to one machine in their target sector.
- Every scientist has a probability η_j of success (without congestion).
 - if successful, proportional improvement in quality by $\gamma > 0$ and the scientist gets monopoly rights for one period, thus

$$A_{jit} = (1 + \gamma) A_{jit-1};$$

- if not successful, no improvement and monopoly rights in that machine randomly allocated to an entrepreneur who uses technology

$$A_{jit} = A_{jit-1}.$$

Model (5): innovation (continued)

- Therefore, law of motion of quality of input in sector $j \in \{c, d\}$ is:

$$A_{jt} = \left(1 + \gamma \eta_j s_{jt}\right) A_{jt-1}$$

- Thus researchers “build on the shoulders of giants” effect but importantly “**giants in the same sector**”.

Assumption

A_{d0} sufficiently higher than A_{c0} .

- Capturing the fact that currently fossil-fuel technologies are more advanced than alternative energy/clean technologies.

Laissez-faire equilibrium: direction of innovation

- Scientists choose the sector with higher expected profits Π_{jt} :

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c}{\eta_d} \underbrace{\left(\frac{p_{ct}}{p_{dt}} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}}}_{\text{price effect}} \underbrace{\frac{L_{ct}}{L_{dt}}}_{\text{market size effect}} \underbrace{\frac{A_{ct-1}}{A_{dt-1}}}_{\text{direct productivity effect}}$$

- The direct productivity effect pushes towards innovation in the more advanced sector
- The price effect towards the less advanced, price effect stronger when ε smaller
- The market size effect towards the more advanced when $\varepsilon > 1$

Laissez-faire equilibrium (continued)

- Use equilibrium machine demands and prices in terms of technology levels (state variables) and let $\varphi \equiv (1 - \alpha)(1 - \varepsilon)$ (< 0 if $\varepsilon > 1$):

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \frac{\eta_c}{\eta_d} \left(\frac{1 + \gamma\eta_c s_{ct}}{1 + \gamma\eta_d s_{dt}} \right)^{-\varphi-1} \left(\frac{A_{ct-1}}{A_{dt-1}} \right)^{-\varphi}.$$

- Implications:** innovation in relatively advanced sector if $\varepsilon > 1$

Laissez-faire equilibrium (continued)

- If $\varepsilon > 1$, then given the assumption that A_{d0} sufficiently higher than A_{c0} , innovation will be directed towards increasing A_d
- Thus Y_d will grow without bound under laissez-faire
 - \rightarrow all scientists directed at dirty technologies, thus $g_{Y_d} \rightarrow \gamma\eta_d$,
 - \rightarrow consequently, economy will reach disaster ($S_t = 0$) in finite time

Optimal environmental regulation

Proposition

Optimal environmental regulation.

The social planner can implement the social optimum through a "carbon tax" on the use of the dirty input, a clean research subsidy and a subsidy for the use of all machines (all taxes/subsidies are financed lump sum).

For sufficiently low discount rate, the optimal carbon tax and profit subsidy are temporary if the clean and dirty inputs are strong substitutes ($\varepsilon > 1 / (1 - \alpha)$), not otherwise.

Both carbon taxes and clean research subsidies

- This is quite intuitive: 2 (+1) distortions require 2 (+1) instruments
 - knowledge externality: research subsidy
 - environmental externality: carbon tax
 - (→ monopoly distortion: subsidy to machines)

Temporary policy

- Optimal policy involves avoiding disaster
- Clean research subsidy can direct technical change towards clean innovation
- If inputs are substitutes ($\varepsilon > 1$), once clean technology (A_c) has caught up with dirty one (A_d), market forces ensure innovation stay in clean technologies
- If inputs are strong substitutes ($\varepsilon > 1/(1 - \alpha)$), this in turn implies that production of dirty input (Y_d) ends up decreasing and thus S gets to \bar{S}

Calibration: environmental quality

- Production parameters:
 - $\alpha = 1/3$: share of capital
 - $\eta_c = \eta_d = 0.1$, $\gamma = 1$: long-run growth 2% per year
 - A_{c-1} , A_{d-1} to match Y_{c-1} , Y_{d-1} with 2002 - 2006 production of non fossil fuel, fossil fuel energy Same as before +
- ξ from the observed value of Y_d and the annual emission of CO_2 in 2002-2006
- δ such that only half of the amount of emitted carbon contributes to increasing C_{CO_2}

Calibration: environmental quality

- Relate S with the atmospheric concentration of carbon:
 - 1 Relate atmospheric concentration of carbon dioxide (ppm), C_{CO_2} to increase in temperature since preindustrial times ($^{\circ}C$), Δ . Common approximation:

$$\Delta \approx 3 \log_2 (C_{CO_2} / 280) .$$

- 2 Choose a “disaster temperature” $\Delta_{disaster} = 6.9^{\circ}C$ which corresponds to twice the temperature increase that would lead to the melting of the Greenland icesheet.
- 3 Relate S to Δ so that $S = 0 \Leftrightarrow \Delta = \Delta_{disaster} = 6.9^{\circ}C$, namely:

$$S = 280 \times 2^{\Delta_{disaster} / 3} - \max \{ C_{CO_2}, 280 \} .$$

Calibration: utility

- Choose utility function to reproduce welfare consequences in Nordhaus' DICE 2007 model for temperature increases up to 3°C.
- More specifically, choose

$$u(C_t, S_t) = \frac{(\phi(S_t) C_t)^{1-\sigma}}{1-\sigma}.$$

With $\sigma = 2$. Same as previous literature.

$$\phi(S) = \frac{(\Delta_{disaster} - \Delta(S))^\lambda - \lambda \Delta_{disaster}^{\lambda-1} (\Delta_{disaster} - \Delta(S))}{(1-\lambda) \Delta_{disaster}^\lambda},$$

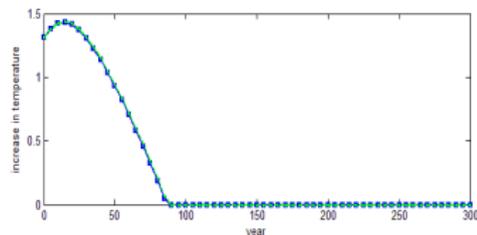
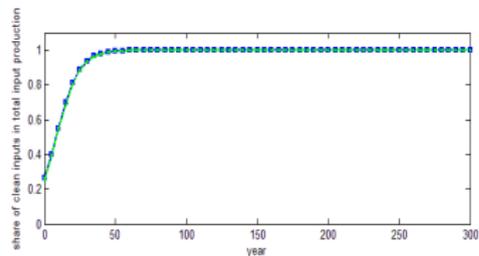
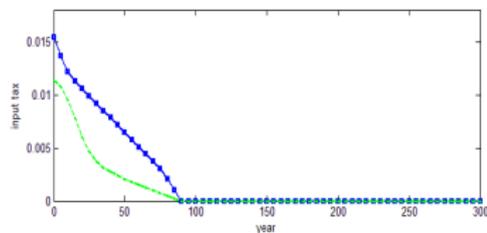
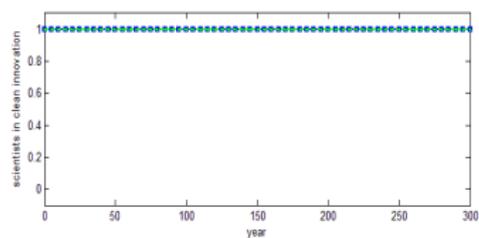
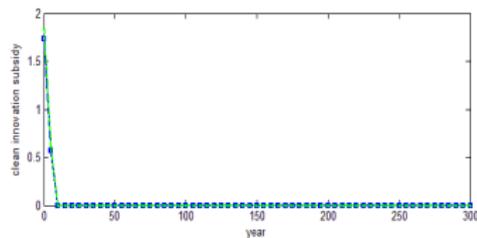
where ϕ is strictly increasing and concave in S .

- This defines a flexible family of continuous functions parameterized by λ , such that $\phi(0) = 0$
- Compute λ to match ϕ with the mapping between temperature and final output in Nordhaus' DICE 2007 model over the range of temperature increases up to 3°C.

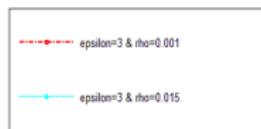
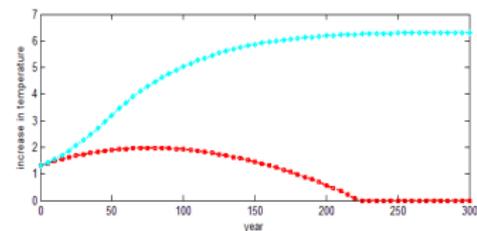
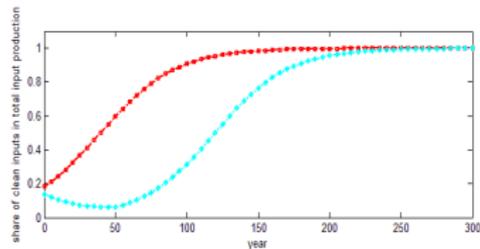
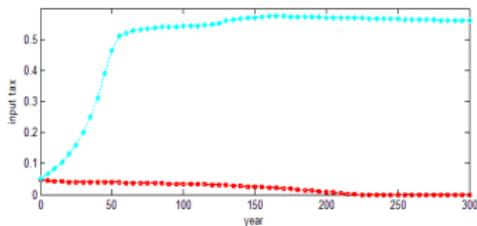
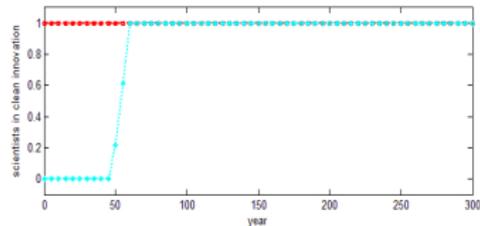
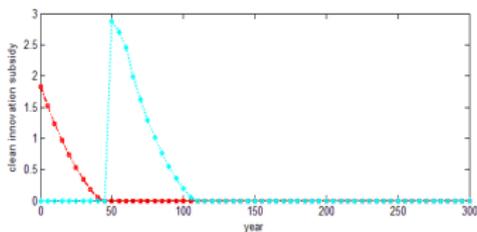
Calibration: 2 important parameters

- Choose the elasticity of substitution between clean and dirty input as $\varepsilon = 3$ or 10 (low or high).
- Choose ρ , time discount rate (/year here) as $\rho = 0.001$ (Stern; discount factor $\simeq 0.999$) and $\rho = 0.015$ (Nordhaus; discount factor $\simeq 0.985$).

Simulation: optimal policy, high elasticity of substitution



Simulation: optimal policy, low elasticity of substitution



Simulation: cost of delaying optimal policy implementation

Welfare costs of delayed intervention as functions of ε and ρ
 (Percentage reductions in consumption relative to immediate optimal policy)

Elasticity of substitution ε	10		3	
Discount rate ρ	0.001	0.015	0.001	0.015
delay = 10 years	8.75	1.87	2.71	0.05
delay = 20 years	14.02	1.92	4.79	0.12
delay = 30 years	17.65	1.99	6.88	0.23

Simulation: cost of using only carbon tax

Welfare costs of relying solely on the carbon tax as functions of ε and ρ

(Percentage reductions in consumption relative to optimal policy)

Elasticity of substitution ε	10		3	
Discount rate ρ	0.001	0.015	0.001	0.015
Welfare cost	0.95	1.58	1.74	2.70

Exhaustible resources

- Polluting activities (CO₂ emissions) often use an exhaustible resource (most importantly, oil).
- Implications for evolution of production and direction of research.
- Questions:
 - Does this make environmental disaster less likely? *Yes*.
 - Does it change the structure of optimal environmental regulation? *No*.

Model

- Dirty input produced with some exhaustible resource R :

$$Y_d = R^{\alpha_2} L_d^{1-\alpha} \int_0^1 A_{di}^{1-\alpha_1} x_{di}^{\alpha_1} di,$$

with $\alpha_1 + \alpha_2 = \alpha$.

- The resource stock Q_t evolves according to

$$Q_{t+1} = Q_t - R_t$$

- Extracting 1 unit of resource costs $c(Q_t)$ (with $c' \leq 0$, $c(0)$ finite). As Q_t decreases, extracting the resource becomes increasingly costly.
- Consider two polar cases:
 - 1 For now, resource is directly available ("tragedy of commons case")
 - 2 In a few slides, resource is owned by infinitely lived agents ("Hotelling case")

Direction of innovation

- Ratio of expected profits from innovation in clean versus dirty is modified to:

$$\frac{\Pi_{ct}}{\Pi_{dt}} = \text{constant} \times \frac{\eta_c c (Q_t)^{\alpha_2(\varepsilon-1)}}{\eta_d} \frac{(1 + \gamma \eta_c s_{ct})^{-\varphi-1} A_{ct-1}^{-\varphi}}{(1 + \gamma \eta_d s_{dt})^{-\varphi_1-1} A_{dt-1}^{-\varphi_1}},$$

where $\varphi_1 \equiv (1 - \alpha_1)(1 - \varepsilon)$

- Provided that $\varepsilon > 1$, increasing cost of extraction helps switching towards clean innovation (again price effect vs market size effect).

Environmental disaster in the laissez-faire equilibrium

Proposition

When the two inputs are substitutes ($\varepsilon > 1$), innovation in the long-run will be directed towards the clean sector only and the economy will grow at a rate $\gamma\eta_c$. Provided that \bar{S} is sufficiently high, an environmental disaster is avoided under laissez-faire.

- Either the increase in the cost of dirty input production due to depletion of exhaustible resources or the full depletion of the resource create enough incentives for research to switch to clean technologies.
- This prevents an environmental disaster provided that initial environmental stock is large enough.
- (In complement case ($\varepsilon < 1$), dirty input and so the resource are essential. Resource stock is depleted in finite time and economic growth is not sustainable).

Optimal environmental regulation

- How does optimal environmental regulation look like with exhaustible resources?
- *Answer:* generally similar to that without exhaustible resources, but also a resource tax so that the exhaustible resource does not get depleted completely.

Proposition

The social planner can implement the social optimum through a tax on the use of the dirty input, a subsidy on clean research, a subsidy on the use of all machines and a resource tax (all taxes/subsidies are imposed as a lump sum way to the corresponding agents). The resource tax must be maintained forever.

Resource owned by the infinitely-lived consumers (1)

- Firms in perfect competition own infinitesimal amount of the resource.
- Utility is separable in consumption and environment quality
- Cost of extraction constant $c(Q_t) = c$

→ P_t price of the resource determined by the Hotelling rule:

$$\frac{P_{t+1} - c}{P_t - c} = 1 + r_t = (1 + \rho) \frac{\partial u / \partial C(C_t)}{\partial u / \partial C(C_{t+1})}.$$

Resource owned by the infinitely-lived consumers (2)

- Disaster is less often avoided under laissez-faire
- Intuition:
 - If price of the resource increases more slowly than the dirty productivity A_{dt} , innovation keeps occurring in the dirty sector forever and the economy runs into disaster.
 - this case arises for example if ρ is very small
 - then consumers value the resource more in the future, therefore they extract less of it today
 - If price increases sufficiently fast, innovation shifts to clean.
 - high ρ pushes towards higher prices.
- As before temporary subsidy to clean research can implement the switch.
- Optimal policy remains identical but the resource tax now becomes useless

Global interactions

- Consider a world with North and South:
 - ① *environmental externality*: dirty input productions by both contribute to global environmental degradation;
 - ② *knowledge externality*: South imitates North' technologies
- Do we need global coordination to avoid disasters?
- The answer is no again because of **directed technical change** (advances in the North will induce the South to also switch to clean technologies).
- But free trade may undermine this result by creating **pollution havens**.

Global interactions

- 1 North should take the lead in moving towards clean production and innovation
- 2 North should facilitate diffusion of new clean technologies...
- 3 ...but at the same time, North should use the threat of carbon tariffs to prevent or mitigate pollution haven effect

Road map

- 1 **Our Theory of the Environment and Directed Technical Change**
—→ based on Acemoglu, Aghion, Bursztyn and Hemous (2010)
- 2 **Empirical Evidence on Path-Dependence**
—→ based on Aghion, Dechezlepretre, Hemous, Martin and Van Reenen (2010)

Data and methodology (1)

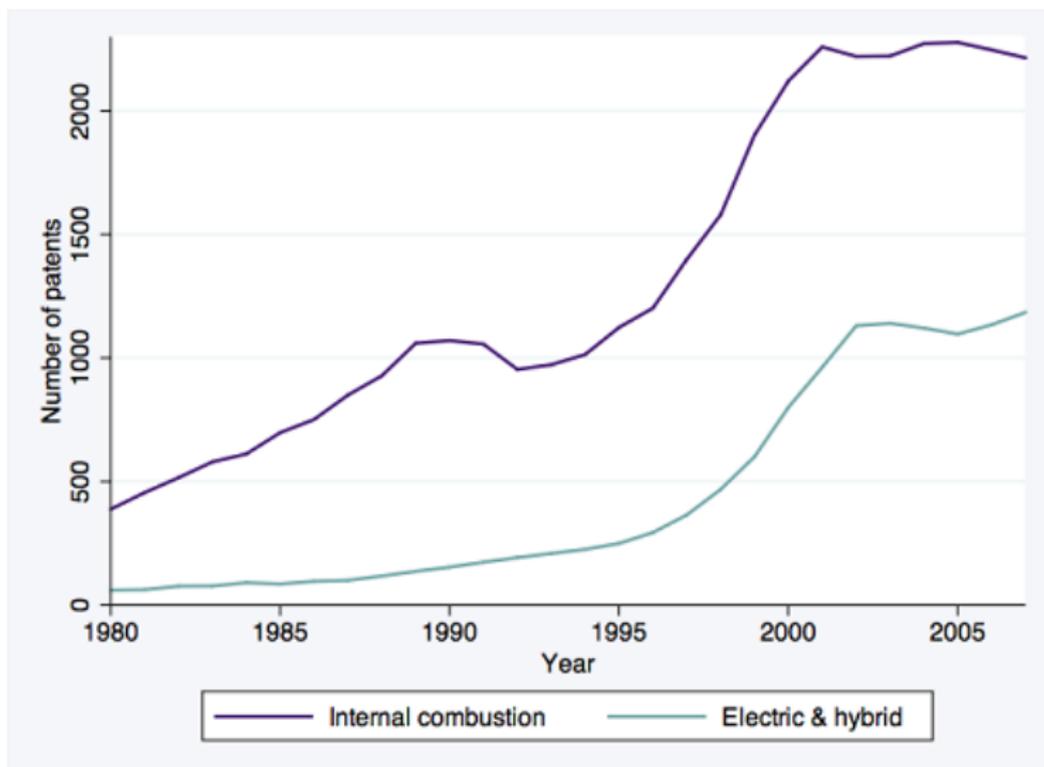
- Our data are drawn from the European Patent Office World Patent Statistical database.
 - these data are annual and cover 80 countries over the period from 1978 to 2007.
 - they include around 12,000 patents in "clean" technologies (electric vehicles, hybrid vehicles, fuel cells,..) and about 36,000 patents in "dirty" technologies which affect regular combustion engines.
- In our baseline empirical exercise we regress the ratio between the current flows of clean versus dirty patents on the fuel price and:
 - 1 the firm's stocks of (past) clean and dirty patents
 - 2 interaction terms between the fuel price and patent stock variables
- Our regressions control for country and year fixed effects.

Data and methodology (2)

- Dependent variable: ratio between the number of Clean and Dirty Patents
- Explanatory variables:
 - The firm specific fuel price
 - The firm's stock of clean patents and stock of dirty patents
 - Control variables: country \times year fixed effects
 - Interaction terms between fuel price and stock of clean and dirty patents

Descriptive statistics (1)

Number of annual clean and dirty patents, 1980 - 2007



Descriptive statistics (3)

Knowledge spillovers:

		Share of cited patents	
		Clean	Dirty
Citing	Clean	55%	4%
patents	Dirty	1%	68%

Results

Dep. Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Difference between Clean and Dirty Patent applications $\ln(1+P_c)-\ln(1+P_d)$				
Fuel Price (including tax) $\ln P_{it-1}$	1.688*** (0.246)		1.235*** (0.225)	0.838*** (0.201)	0.498** (0.194)
Stock of clean patents $\ln(1+KPATC_{it-1})$		0.161*** (0.014)	0.159*** (0.014)	0.158*** (0.014)	0.144*** (0.015)
Stock of dirty patents $\ln(1+KPATD_{it-1})$		-0.085*** (0.013)	-0.084*** (0.013)	-0.080*** (0.014)	-0.046** (0.019)
Stock of clean patents X Fuel Price $\ln(1+KPATC_{it-1}) \times \ln P_{it-1}$					-0.029 (0.046)
Stock of dirty patents X Fuel Price $\ln(1+KPATD_{it-1}) \times \ln P_{it-1}$					0.131*** (0.032)
Controls for population & GDP	no	no	no	yes	yes
Firm Fixed Effects	yes	yes	yes	yes	yes
Year Fixed Effects	yes	yes	yes	yes	yes
Observations	141284	141284	141284	141284	141284
Firms	6422	6422	6422	6422	6422

Separating clean and dirty innovation

Dep.Variable	Number of Patent Applications					
		Clean			Dirty	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Fuel Price (including tax)	0.564***	0.307***	-0.006	-0.671***	-0.531***	-0.504***
$\ln(P_{it-1})$	(0.068)	(0.077)	(0.078)	(0.086)	(0.097)	(0.098)
Stock of clean patents	0.216***	0.216***	0.201***	0.057***	0.057***	0.057***
$\ln(1+KPATC_{it-1})$	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.003)
Stock of dirty patents	0.036***	0.039***	0.072***	0.120***	0.120***	0.118***
$\ln(1+KPATD_{it-1})$	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.002)
Stock of clean patents X Fuel Price			-0.040***			-0.011
$\ln(1+KPATC_{it-1}) \times \ln(P_{it-1})$			(0.006)			(0.007)
Stock of dirty patents X Fuel Price			0.125***			-0.006
$\ln(1+KPATD_{it-1}) \times \ln(P_{it-1})$			(0.004)			(0.005)
Controls for GDP & Population	no	yes	yes	no	yes	yes
Firm Fixed Effects	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Year Controls	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Observations	141284	141284	141284	141284	141284	141284
Firms	6422	6422	6422	6422	6422	6422

A stronger response to large price increase

Dep. Variable	(1)	(2)	(3)
	Ratio between Clean and Dirty Patent applications		
Fuel Price (including tax)	1.278***	0.684**	0.083
$\ln P_{it-1}$	(0.232)	(0.298)	(0.277)
Fuel Price squared	0.222***	-0.102	-0.211
$(\ln P_{it-1})^2$	(0.070)	(0.142)	(0.132)
Stock of clean patents	0.159***	0.158***	0.150***
$\ln(1+KPATC_{it-1})$	(0.014)	(0.014)	(0.016)
Stock of dirty patents	-0.080***	-0.081***	-0.048**
$\ln(1+KPATD_{it-1})$	(0.014)	(0.014)	(0.020)
Stock of clean patents X Fuel Price			-0.180**
$\ln(1+KPATC_{it-1}) \times \ln P_{it-1}$			(0.072)
Stock of dirty patents X Fuel Price			0.191***
$\ln(1+KPATD_{it-1}) \times \ln P_{it-1}$			(0.053)
Stock of clean patents X Fuel Price ²			-0.394***
$\ln(1+KPATC_{it-1}) \times (\ln P_{it-1})^2$			(0.153)
Stock of dirty patents X Fuel Price ²			0.118
$\ln(1+KPATD_{it-1}) \times (\ln P_{it-1})^2$			(0.092)
Controls for population & GDP	no	yes	yes
Firm Fixed Effects	yes	yes	yes
Year Fixed Effects	yes	yes	yes
Observations	141284	141284	141284
Firms	6422	6422	6422

Robustness check: fuel tax instead of fuel price

Dep. Variable	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Difference between Clean and Dirty Patent applications $\ln(1+P_c)-\ln(1+P_d)$				
Fuel tax	1.643***		1.116***	0.616**	0.26
$\ln P_{it-1}$	(0.308)		(0.287)	(0.312)	(0.294)
Stock of clean patents		0.161***	0.159***	0.159***	0.218***
$\ln(1+KPATC_{it-1})$		(0.014)	(0.014)	(0.014)	(0.053)
Stock of dirty patents		-0.085***	-0.083***	-0.080***	0.02
$\ln(1+KPATD_{it-1})$		(0.013)	(0.013)	(0.014)	(0.044)
Stock of clean patents X Fuel Tax					0.09
$\ln(1+KPATC_{it-1}) \times \ln P_{it-1}$					(0.064)
Stock of dirty patents X Fuel Tax					0.113***
$\ln(1+KPATD_{it-1}) \times \ln P_{it-1}$					(0.041)
Controls for population & GDP	no	no	no	yes	yes
Firm Fixed Effects	yes	yes	yes	yes	yes
Year Fixed Effects	yes	yes	yes	yes	yes
Observations	141284	141284	141284	141284	141284
Firms	6422	6422	6422	6422	6422

Summary:

- 1 **There is path-dependence in clean vs dirty innovation**
- 2 This in turn calls for:
 - **Acting now**, even with Nordhaus' discount rate for reasonable degree of substitutability between clean and dirty inputs
 - **Using two instruments, not one**: carbon tax and subsidy to clean innovation, not just the former
 - **Developed countries acting as technological leaders and diffusers worldwide** and diffuser on clean technologies to the South