

EROI, consommations énergétiques et croissance économique : une approche historique mondiale

Florian Fizaine*, Victor Court

* Ingénieur de recherche, Université de Bourgogne Franche-Comté.

Email : florian.fizaine@gmail.com, Website : <https://sites.google.com/site/florianfizaine/home>

- I. Introduction et définition(s)
- II. Quelle dynamique sur le long terme
- III. Liaison avec la croissance économique

Introduction et définition(s)

Partie I

Introduction et définition(s)



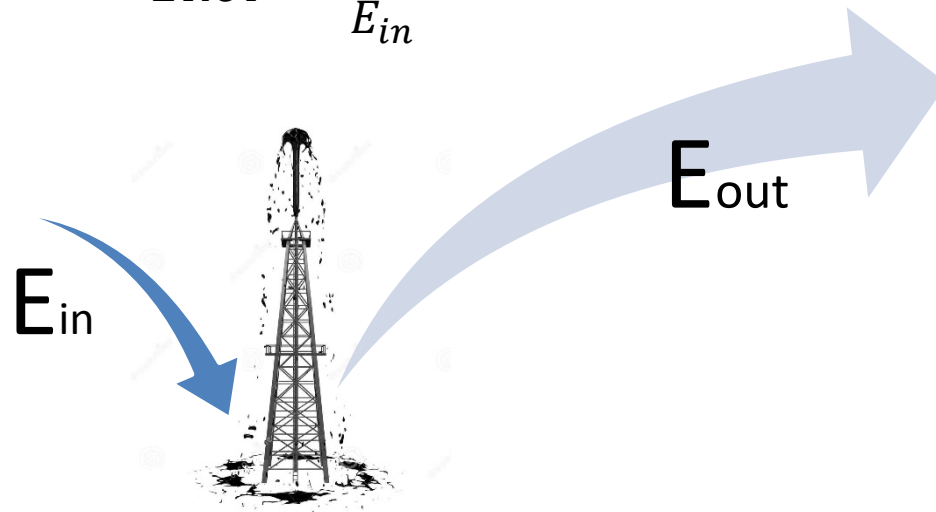
Introduction : pourquoi revisiter le rôle de l'énergie ?

- Courant économique orthodoxe a mis du temps à considérer l'énergie comme un facteur de production (au départ K, L voire facteur terre)
- Le courant biophysique (courant hétérodoxe) : énergie facteur de production primaire versus K et L facteurs de production secondaires
- Dans cette optique : proposition d'un indicateur alternatif au prix de l'énergie pour déterminer la disponibilité d'une ressource énergétique : l'EROI
- L'objectif de l'exploitation d'une source d'énergie est d'offrir un surplus d'énergie (énergie nette) à destination des autres secteurs économiques

Qu'est-ce que le EROI ?

L'Energy Return On Investment (EROI) est le rapport de l'énergie extraite sur l'énergie investie d'une source d'énergie ou d'un système énergétique.

$$EROI = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$



Limite évidente : 1

EROI > 1 source d'énergie

EROI < 1 vecteur énergétique

Quelle dynamique du EROI sur le long terme ?

Partie II

Quelle dynamique du EROI sur le long terme ?



Estimation empirique du EROI de long terme

La mesure du EROI sur le long terme :

$$EROI = \frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{E_{out}}{\frac{P_e}{MROI} \times E_{out} \times I_e} = \frac{E_{out}}{\frac{P_e}{MROI} \times E_{out} \times \frac{E_{out}}{PIB}} = \frac{MROI}{P_e \times \frac{E_{out}}{PIB}}$$

Pour calculer cet EROI empirique pour le pétrole, le gaz, et le charbon

Plusieurs hypothèses sont nécessaires :

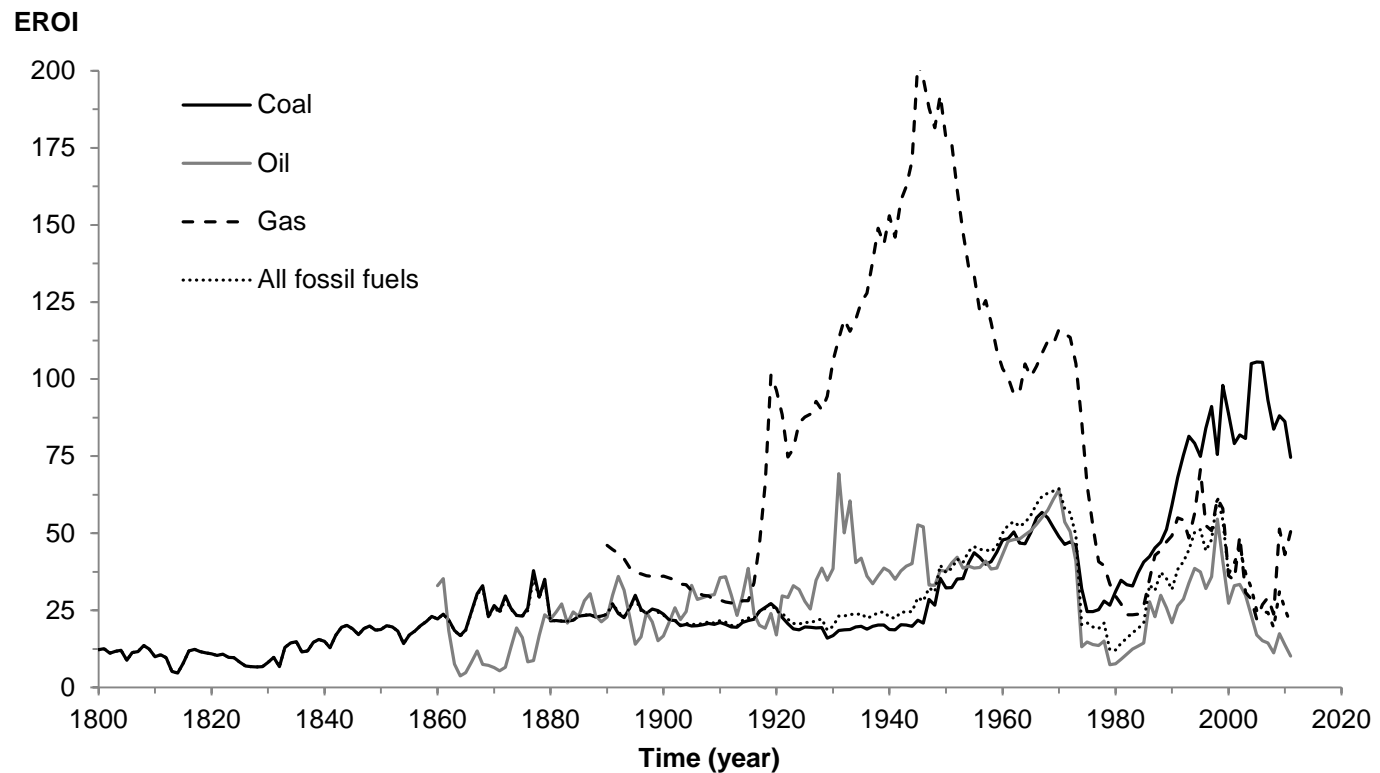
- (a) Les prix américains reflètent bien les prix mondiaux compte tenu d'arbitrages spatiaux
- (b) La marge du secteur énergétique est bien évaluée
- (c) L'intensité énergétique moyenne est une bonne proxy de l'intensité de l'investissement dans le secteur

Des analyses de sensibilités ont été réalisées pour évaluer la robustesse des résultats

Estimation empirique du EROI de long terme

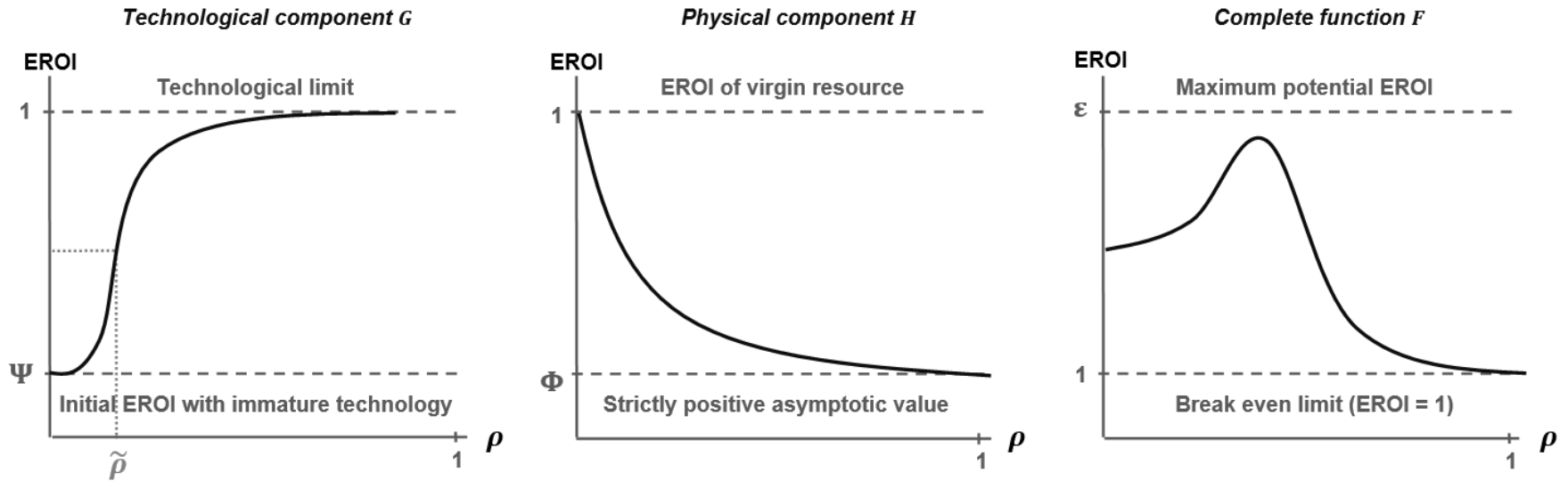
Travail sur les données historiques

=> remonter jusqu'au développement des énergies fossiles.



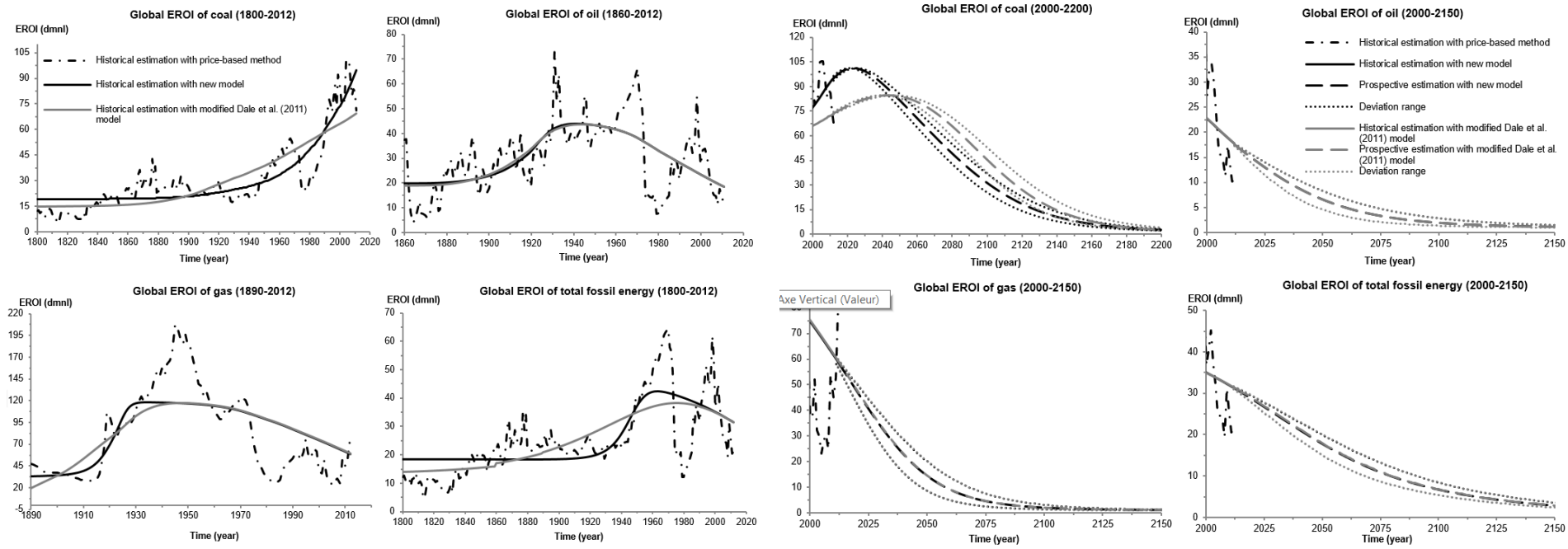
Une prospective sur le EROI de long terme

Calibrage d'un modèle théorique



Une prospective sur le EROI de long terme

Calibrage d'un modèle théorique



Liaison avec la croissance économique

Partie III

Liaison avec la croissance économique



EROI minimum pour la croissance économique

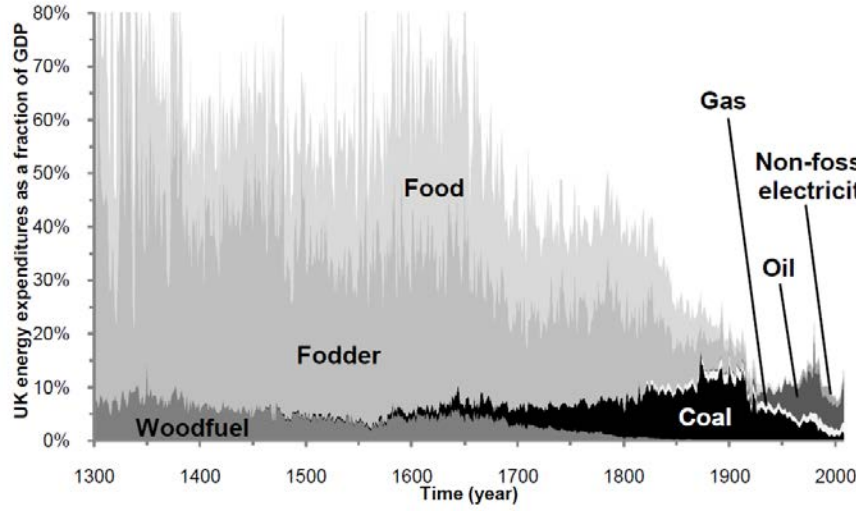
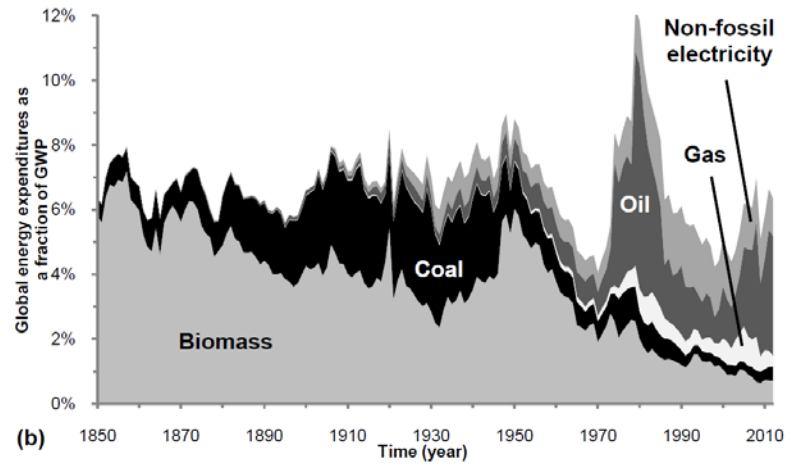
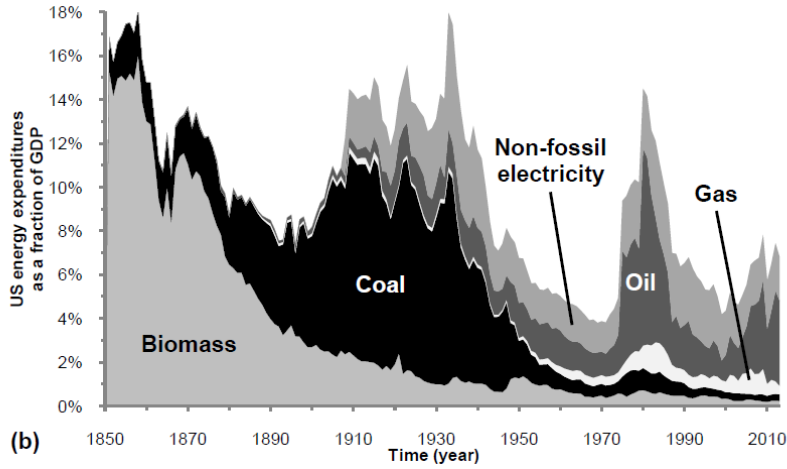
- Quel pourrait être le EROI minimum pour que la société continue de croître ?
- Pas de réponse empirique ou quantitative

Constat empirique

- Dépenses énergétiques (% PIB) élevées durant le moyen âge et croissance économique imperceptible (<0,1%)
- Hausse des dépenses énergétiques durant les 70s et chute des taux de croissance
- Entrée par le niveau de dépenses énergétiques (% PIB)
- Estimation de la relation niveau de dépenses énergétiques et croissance
- Raccrochage au EROI minimum

- I. Introduction et définition(s)
- II. Quelle dynamique sur le long terme
- III. Liaison avec la croissance économique

Dépenses énergétiques historiques



Estimation des dépenses énergétiques maximales

- Notre variable est intéressante dans la mesure où elle intègre l'impact du prix et de l'efficacité énergétique :

$$P_{Energy} * \frac{Energy\ consumption}{GDP} = \frac{Energy\ expenditures}{GDP} \quad [1]$$

- Nous supposons ensuite une relation du type :

$$g_{GDP} = \alpha + \theta_1 \frac{Energy\ expenditures}{GDP} + \theta_2 \frac{Capital\ formation}{GDP} + \theta_3 d(population, 2) \quad [2]$$

- En égalisant l'équation (2) à zéro, nous pouvons trouver le level Beta (dépenses énergétiques maximales):

$$Max \left[\frac{Energy\ expenditures}{GDP} \right] = \beta = \frac{-\alpha - \theta_2 \frac{Capital\ formation}{GDP} - \theta_3 d(population, 2)}{\theta_1} \quad [3]$$

- En utilisant Beta, nous pouvons également trouver le niveau de prix de l'énergie maximum :

$$Max[P_{Energy}] = \frac{\beta}{\frac{Energy\ consumption}{GDP}} \quad [4]$$

Résultats et robustesse

Table 2

Results of multivariate regressions of US economic growth on energy expenditure, capital formation, and labor availability between 1960 and 2010.

Specification	Dependent variable: US GDP growth rate				
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)
Constant	-0.180740 (0.045554) ^{***}	-0.260034 (0.052281) ^{**}	-0.277873 (0.052875) ^{***}	-0.276934 (0.053082) ^{***}	-0.264372 (0.057749) ^{***}
US oil expenditure	-0.406652 (-3.294917) ^{***}	-0.608737 (0.131068) ^{***}			
US fossil energy expenditure			-0.554234 (0.118643) ^{***}		
US total energy expenditure including wood				-0.475930 (0.114248) ^{***}	-0.522700 (0.152441) ^{***}
US capital investment	0.957723 (0.206976) ^{***}	1.206830 (0.205298) ^{***}	1.288255 (0.208538) ^{***}	1.307545 (0.208708) ^{***}	1.238985 (0.223166) ^{***}
US population first difference	-1.15E-09 (8.48E-10)				
US unemployment rate		0.434847 (0.252110) [*]	0.522721 (0.257490) ^{**}	0.605045 (0.284391) ^{**}	0.724169 (0.334816) ^{**}
dum1974					-0.018473 (0.004933) ^{***}
dum1979					0.011897 (0.010671)
dum1986					-0.017128 (0.006443) ^{**}
dum2009					-0.031794 (0.011243) ^{***}
R ²	0.493143	0.533416	0.540681	0.520744	0.583032
R ² adjusted	0.460790	0.503634	0.511362	0.490154	0.515154
Residual tests					
Durbin-Watson	1.683556	1.744475	1.765262	1.687059	1.623818
White	2.150983 ^{**}	3.467135 ^{***}	3.462751 ^{***}	3.514716 ^{***}	1.900220 [*]
Arch (1)	0.170333	2.75E-05	0.025367	0.034475	0.006592
Jarque-Bera	0.686598	0.454564	0.305434	0.409832	4.152342
Shapiro-Wilk	0.986928	0.971674	0.972468	0.983263	0.968714
CUSUM test	Stability: yes	Stability: yes	Stability: yes	Stability: yes	/
CUSUM squared test	Stability: yes	Stability: yes	Stability: yes	Stability: yes	/

Robust standard error estimates are reported in parentheses.

^{*} Significant at 10% level.^{**} 5% level.^{***} 1% level.

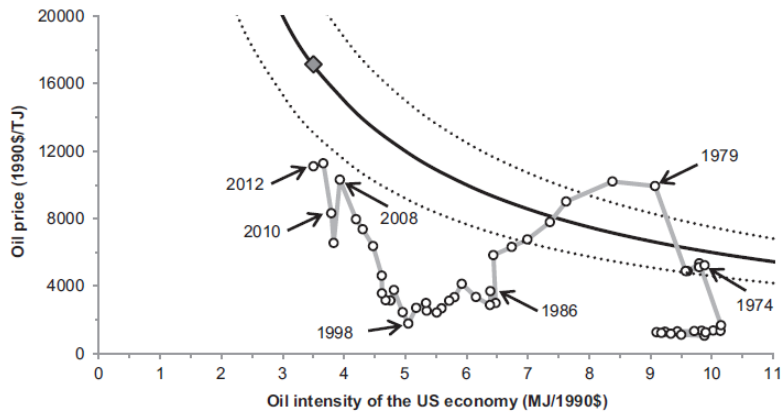
- I. Introduction et définition(s)
- II. Quelle dynamique sur le long terme
- III. Liaison avec la croissance économique

Dépenses maximales, prix maximal et EROI minimum

Table 3
 β , P_{max} , and $EROI_{min}$ using parameter values from specification (IV) and (II).

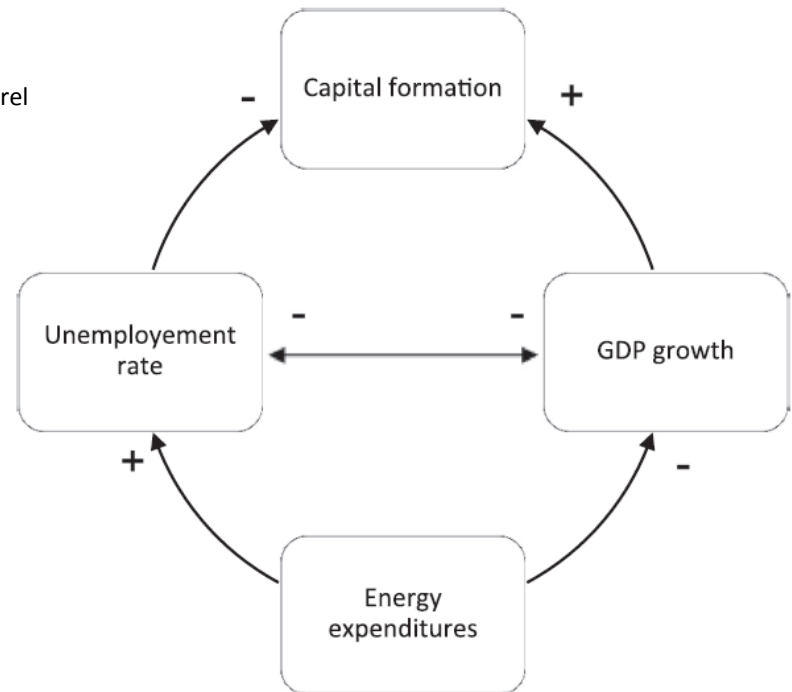
	US total energy expenditure including wood (IV)	US oil expenditure (II)	
β (%)			
Max 5%	13.1%	7.5%	
Average	11%	6.0%	
Min 5%	9%	4.6%	
P_{max} (\$1990/TJ)			
Max 5%	12,023	21,347	→ 170\$2010/barrel
Average	10,096	16,977	
Min 5%	8260	12,921	
$EROI_{min}$			
Max 5%	13	25	
Average	11	19	
Min 5%	9	15	

P_{max} estimates depend on the level of energy intensities taken here for year 2010, i.e. 10.9 MJ/\$1990 for total energy and 3.8 MJ/\$1990 for oil only.



- Maximum tolerable price of oil for the US as a function of the oil intensity (1990\$/TJ)
- 5% uncertainty range
- ◆ Maximum tolerable price of oil for the US considering current oil intensity (1990\$/TJ)
- Historical price of oil

Causalité à la Granger USA (1960-2010)



Merci de votre attention

Questions ?

