

L'énergie,  
facteur de production

# Qu'est-ce qu'une fonction de production ?

- Dans un modèle économique, une « fonction de production » (ou modèle de croissance) est une fonction qui donne la production économique (le PIB) en fonction de certains facteurs (dits « facteurs de production »)
- Dans certains modèles économiques, le PIB est une donnée « exogènes », c'est-à-dire donnée a priori.

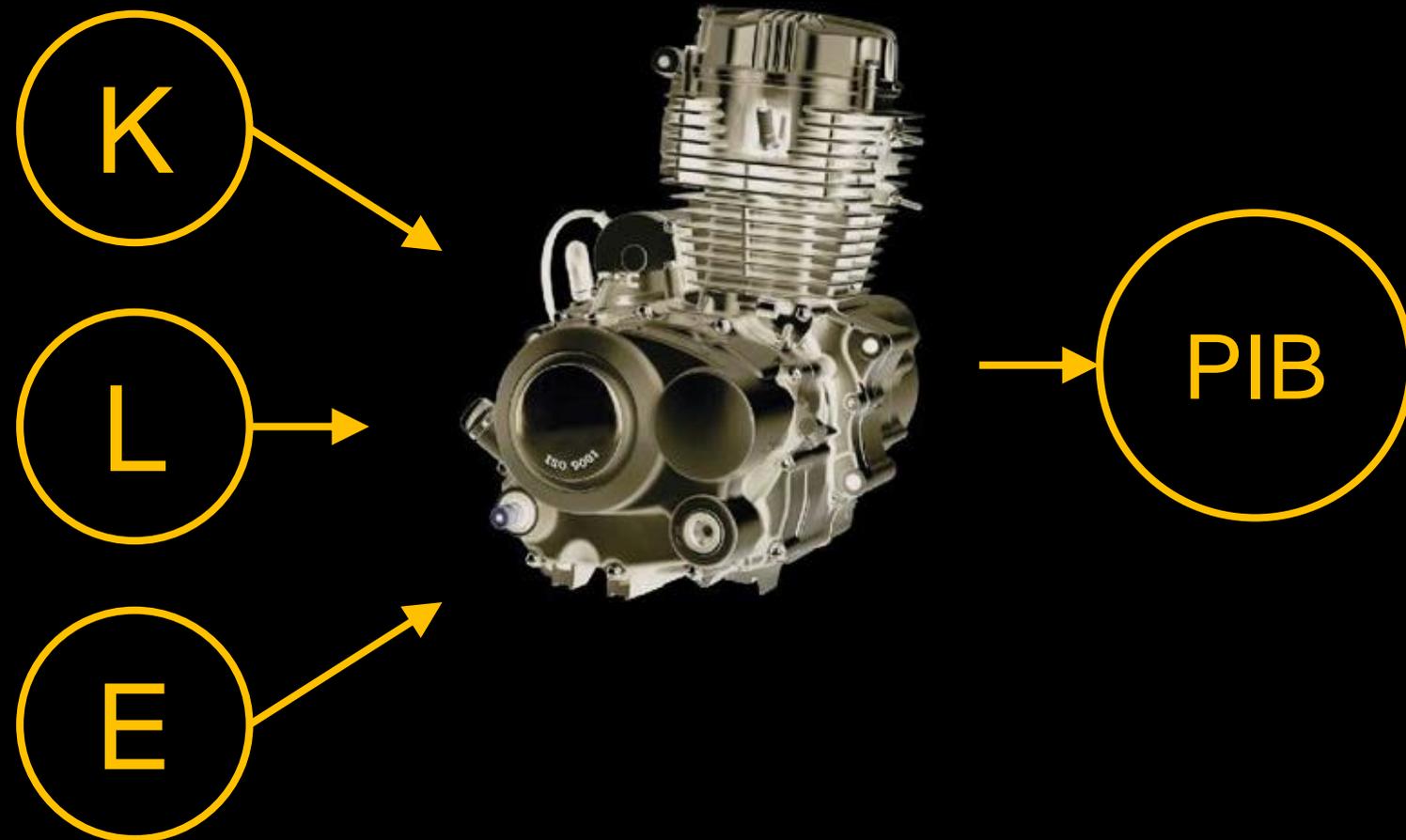
# Pourquoi une fonction de production ?

- Le PIB ne peut pas se décréter politiquement
- Il dépend de facteurs de production externes
- => Il **ne peut pas** être une données exogène

# Exemples de fonctions de productions

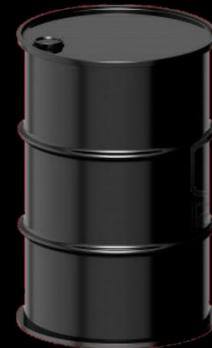
- Solow-Swan :  $Y = Y(K, AL)$
- + énergie :  $Y = Y(K, L, E)$
- ...ou travail utile :  $Y = Y(K, L, U)$
- + matière :  $Y = Y(K, L, E, M)$
- + créativité :  $Y = Y(K, L, E, C)$

# Fonction de production de type « KLE »



# Fonction de type « Cobb-Duglas »

$$Y = K^{\alpha} L^{\beta} E^{\gamma}$$



# Notation Mathématique

$$Y = X_1^{\varepsilon_1} X_2^{\varepsilon_2} X_3^{\varepsilon_3}$$

$$X = (X_1, X_2, X_3)$$



espace 3D

# Chaque facteur est essentiel

$$Y(0, X_2, X_3) = 0$$

$$Y(X_1, 0, X_3) = 0$$

$$Y(X_1, X_2, 0) = 0$$

Chaque facteur est essentiel

$$Y = K^{\alpha} L^{\beta} E^{\gamma}$$



Chaque facteur est essentiel

$$Y = 0^\alpha L^\beta E^\gamma = 0$$



Chaque facteur est essentiel

$$Y = K^{\alpha} 0^{\beta} E^{\gamma} = 0$$



Un facteur de production contribue à produire !

$$\frac{\partial Y}{\partial X_i} > 0$$

Mais il a un rendement décroissant

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_i^2} < 0$$



Mais il a un rendement décroissant

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_i^2} < 0$$



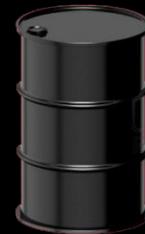
Mais il a un rendement décroissant

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_i^2} < 0$$



Mais il a un rendement décroissant

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_i^2} < 0$$



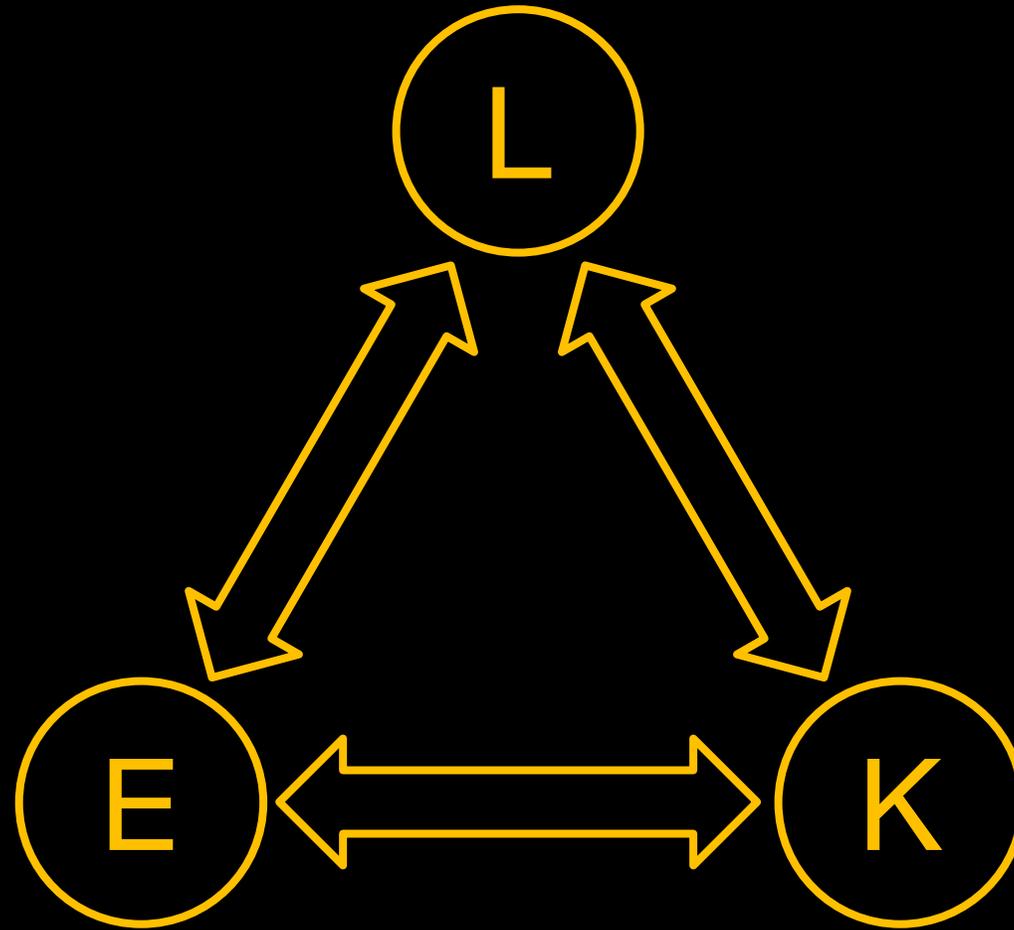
On fait souvent l'hypothèse du rendement d'échèle constant

$$Y(\lambda X) = \lambda Y(X)$$

$$(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 1)$$



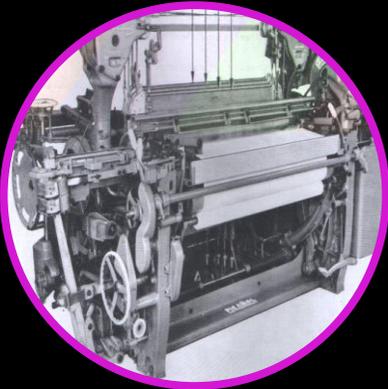
# Substituabilité entre les facteurs



# Substituabilité entre les facteurs



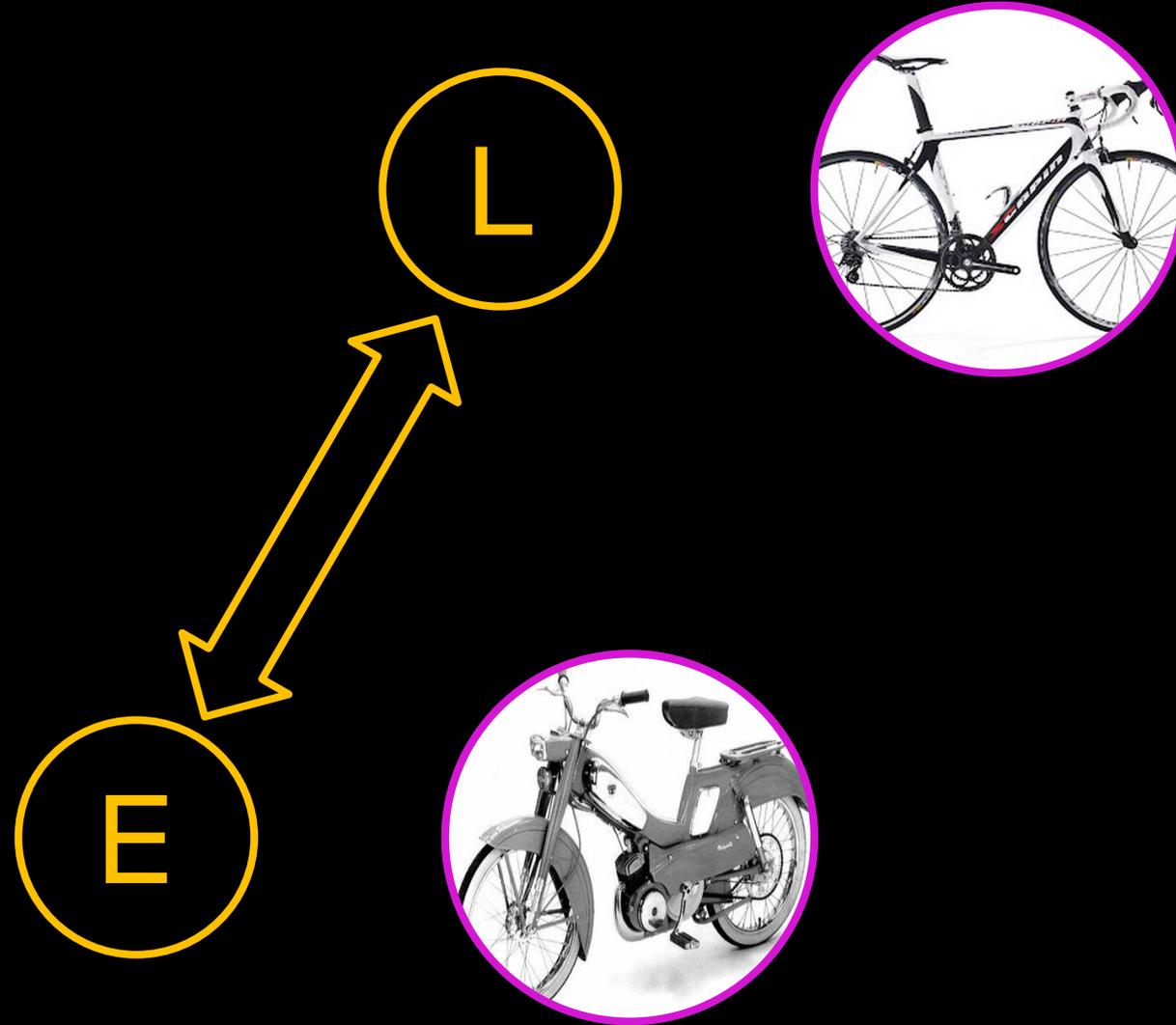
L



K



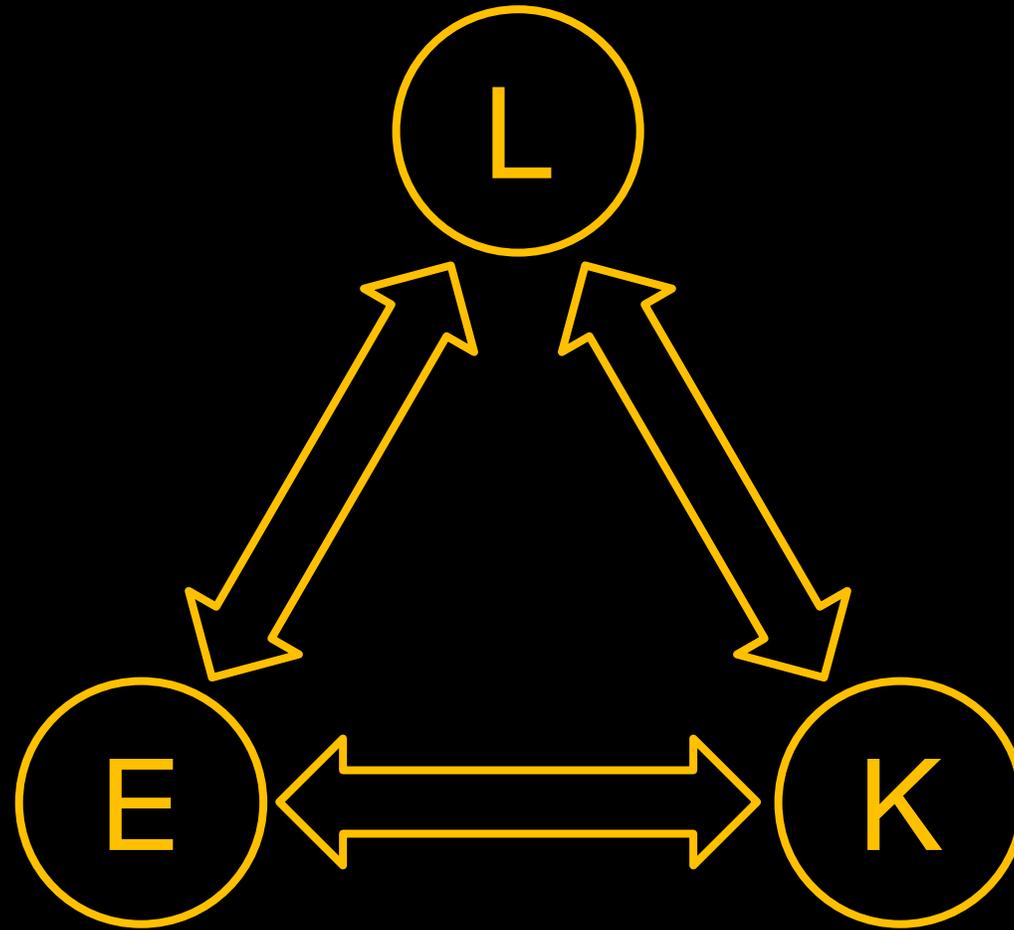
# Substituabilité entre les facteurs



# Substituabilité entre les facteurs



# Substituabilité entre les facteurs



# La substituabilité a des limites !

$$Y(0, X_2, X_3) = 0$$

$$Y(X_1, 0, X_3) = 0$$

$$Y(X_1, X_2, 0) = 0$$

Mais elle est valable dans le voisinage du point où l'on est aujourd'hui.

# Dérivée logarithmique

$$Y = X_1^{\varepsilon_1} X_2^{\varepsilon_2} X_3^{\varepsilon_3}$$

$$\frac{dY}{Y} = \varepsilon_1 \frac{dX_1}{X_1} + \varepsilon_2 \frac{dX_2}{X_2} + \varepsilon_3 \frac{dX_3}{X_3}$$

Élasticité du facteur de production

# Élasticité du facteur de production

$$\varepsilon_i = \frac{X_i}{Y} \frac{\partial Y}{\partial X_i}$$

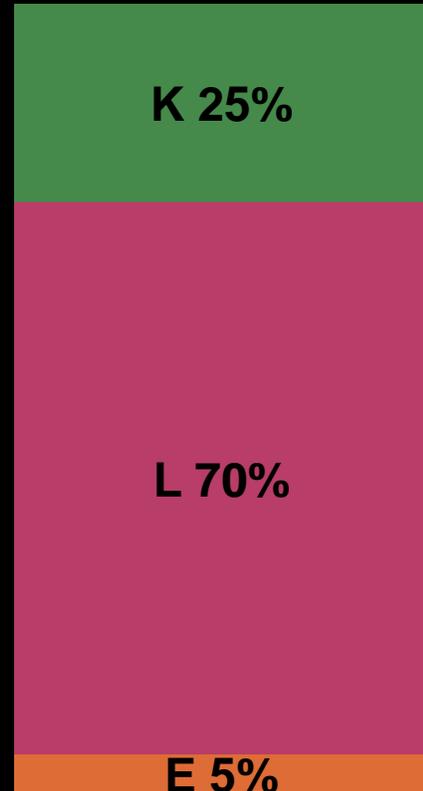
$$\varepsilon_i = \frac{\frac{\partial Y}{Y}}{\frac{\partial X_i}{X_i}}$$

## « cost share theorem »

« A l'équilibre, l'élasticité d'un facteur de production est égale à la part des coûts de ce facteur dans la production »

# Coût des facteurs de production

Coûts



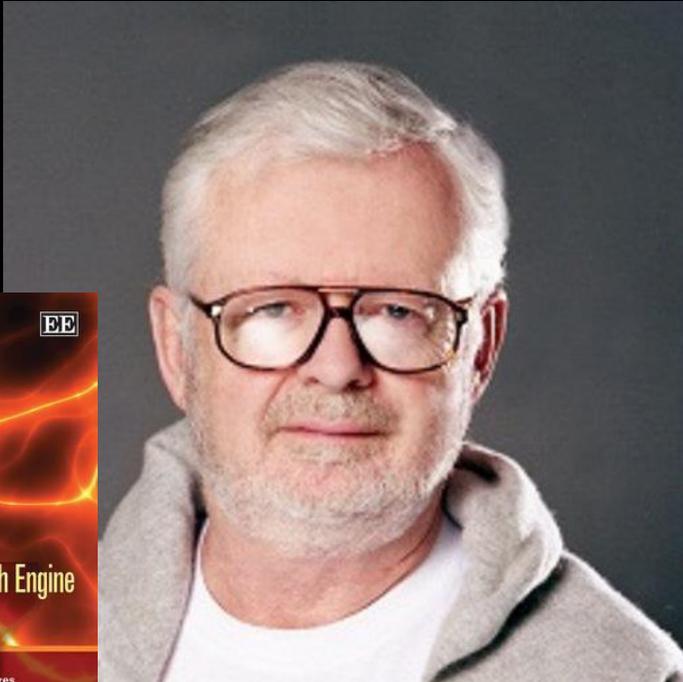
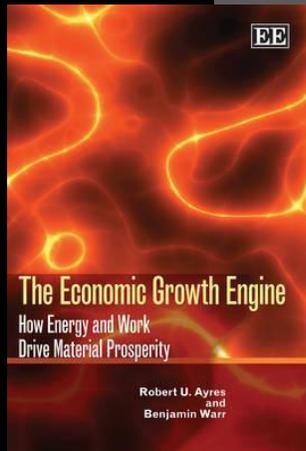
K

L

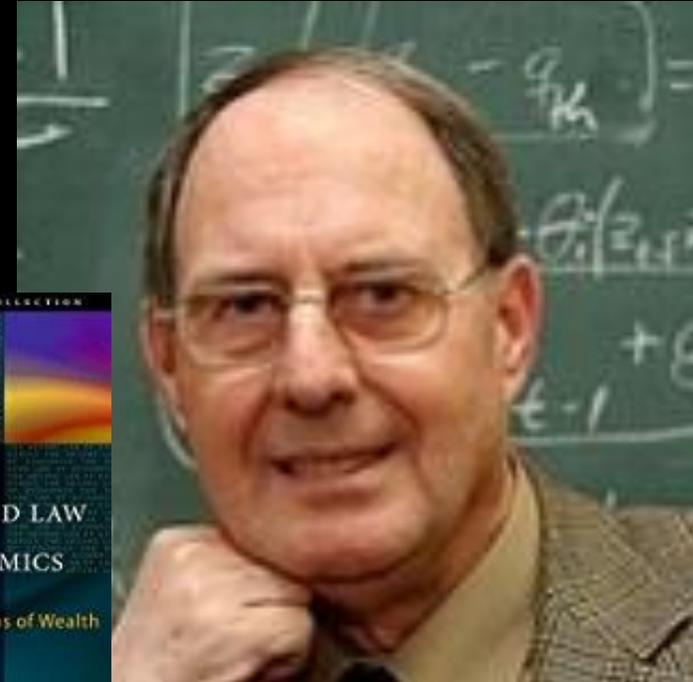
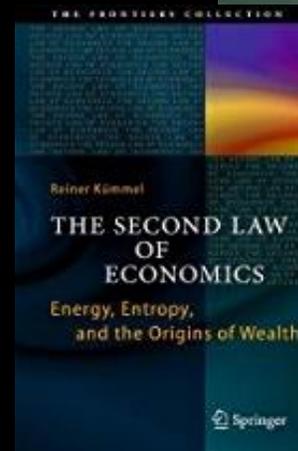
E



# Calcul de l'élasticité



Robert Ayres  
The Economic Growth Engine



Reiner Kümmel  
The Second Law of Economics

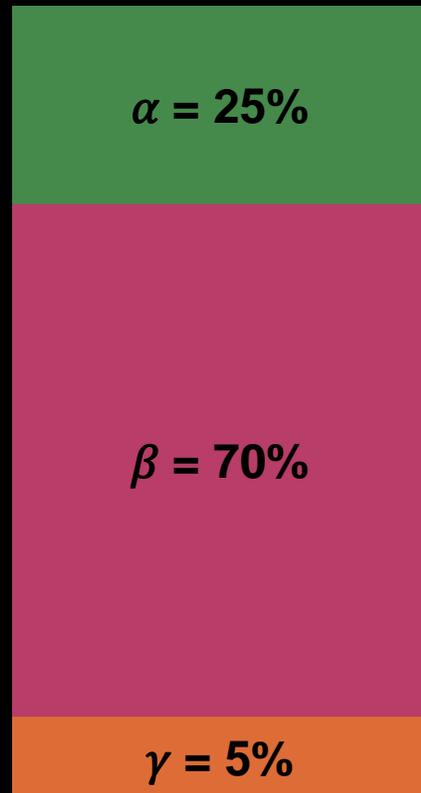
# Calcul de l'élasticité

- $Y$  < PIB
- $K$  < Comptabilité nationale
- $L$  < Ministère du travail (nb d'h travaillées)
- $E$  < IEA (conso d'énergie primaire)

➤ Trouver  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  tels que  $Y = K^\alpha L^\beta E^\gamma$

# Coût et élasticité

Coûts

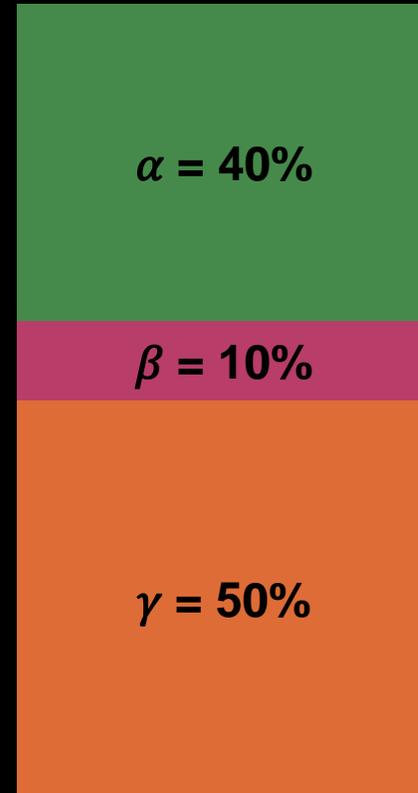


K

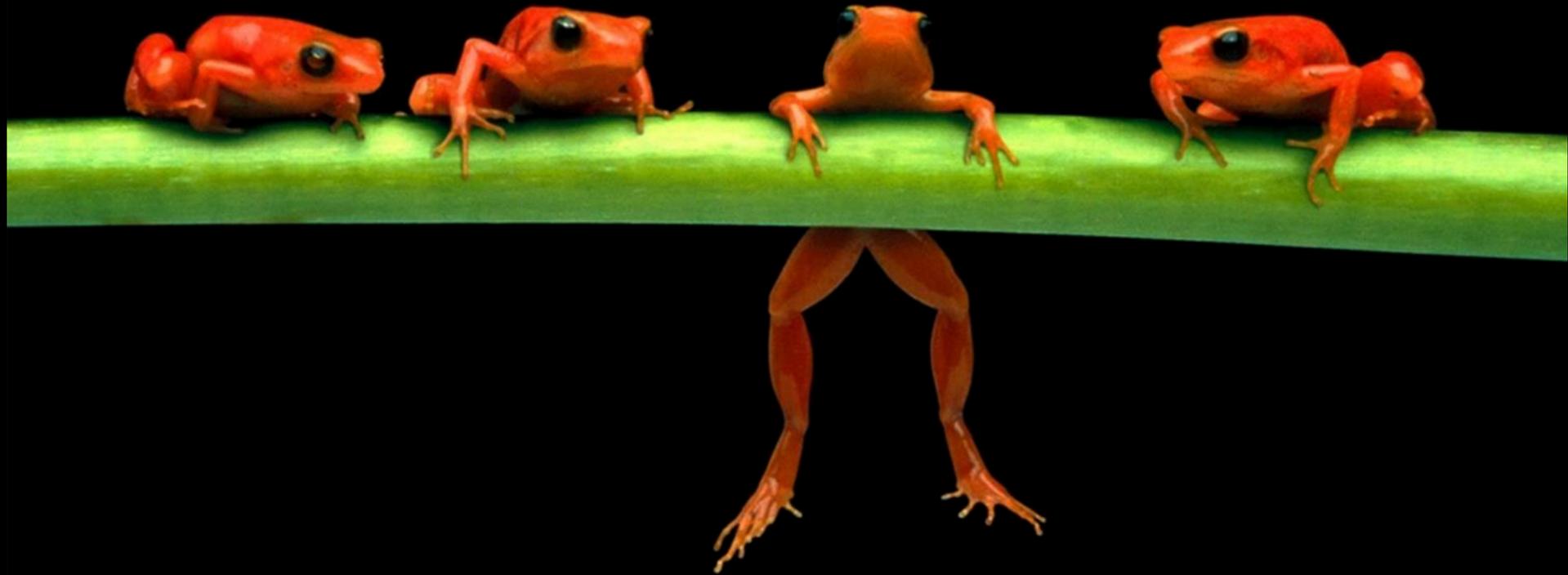
L

E

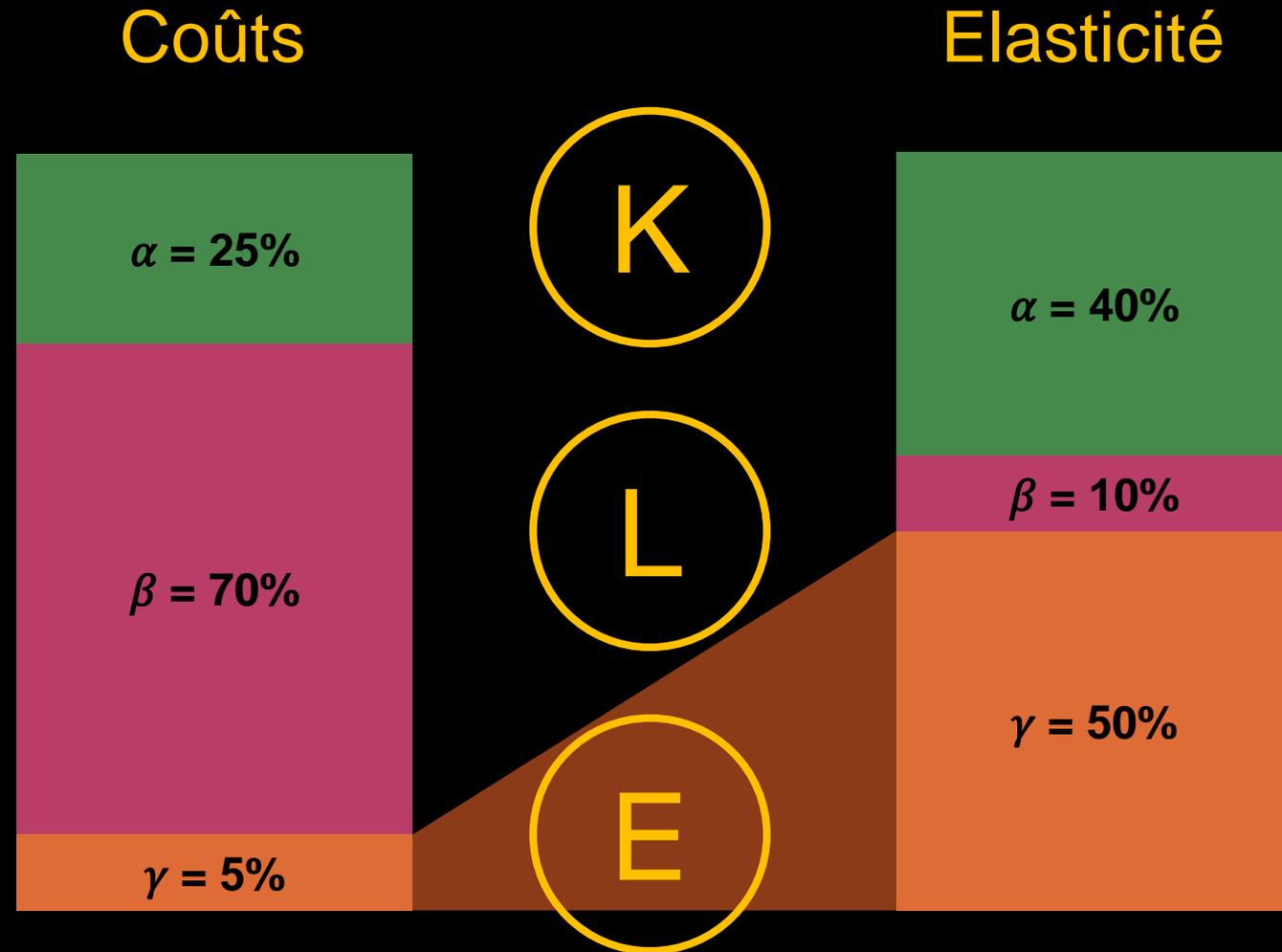
Elasticité



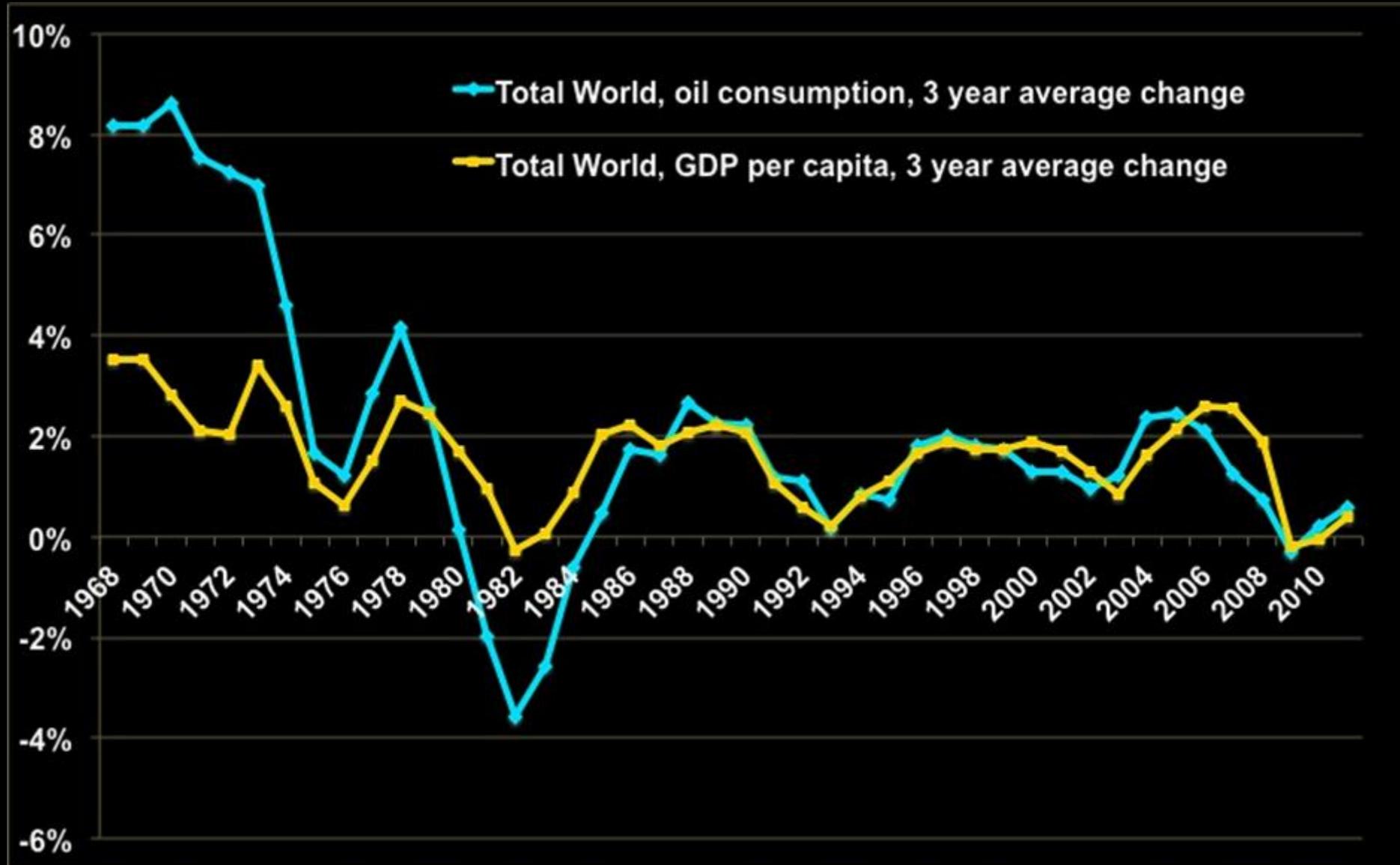
Bon, OK, mais que  
fait-on de tout ça?



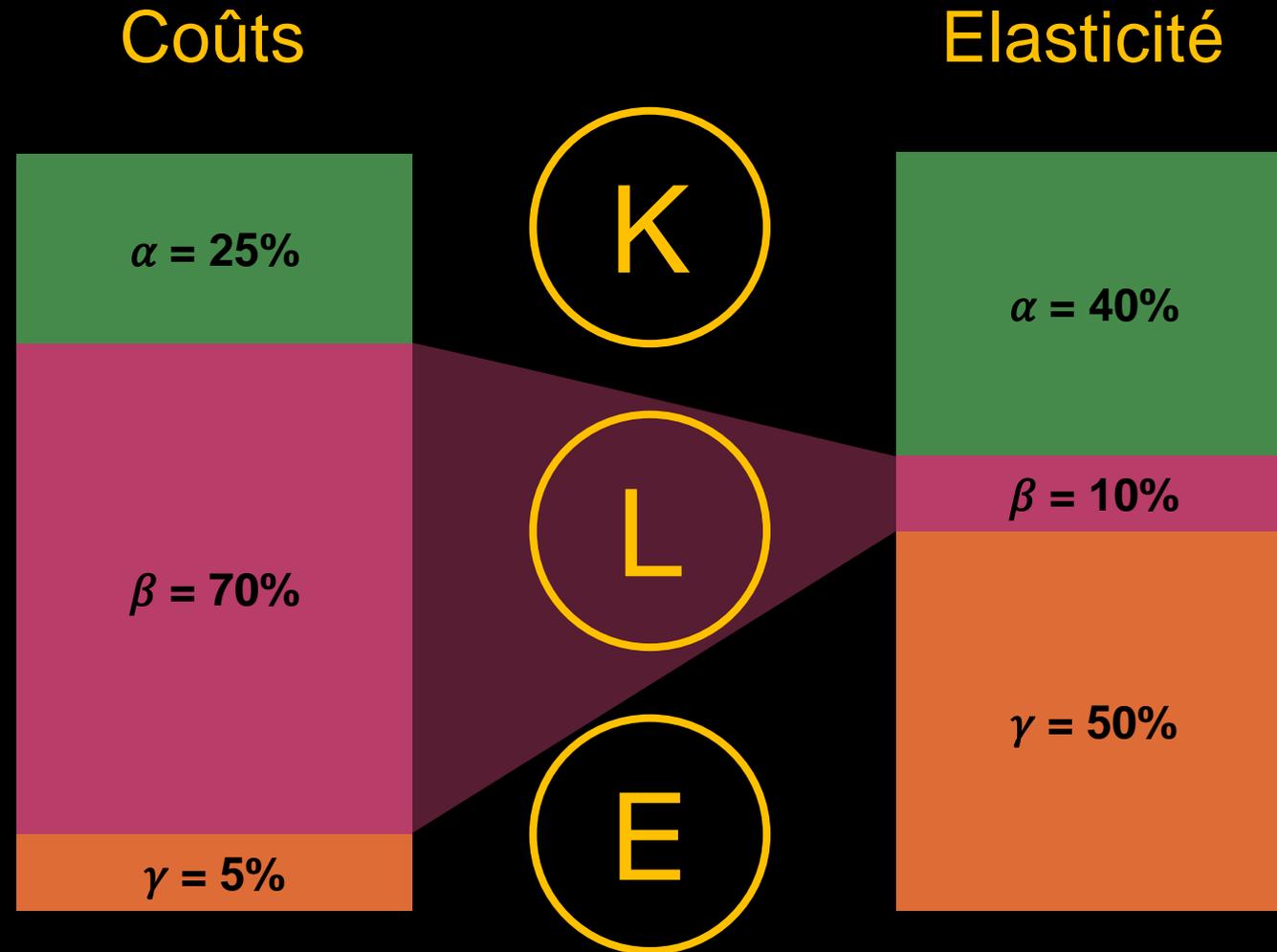
# 1) Le rôle de l'énergie est sous-estimé



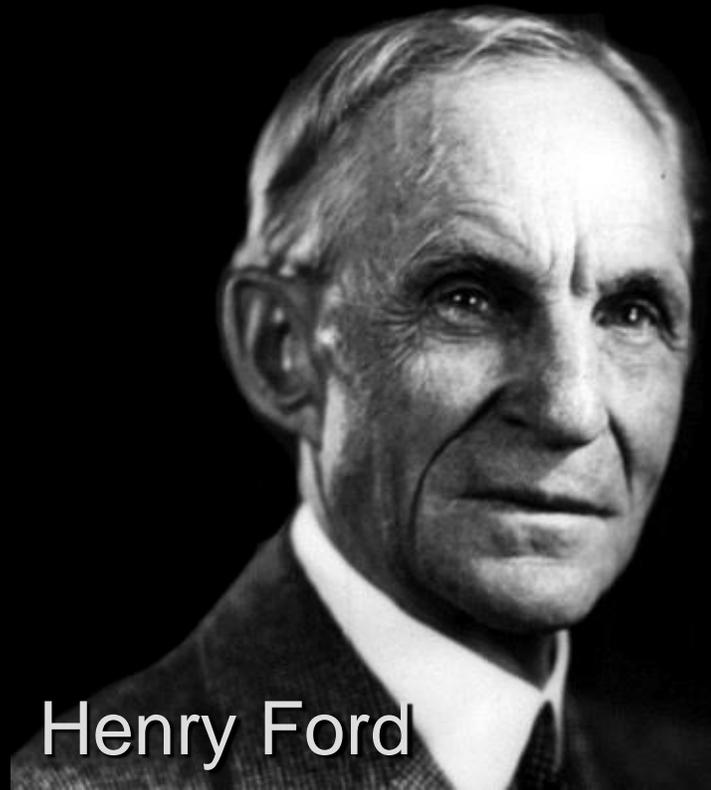
# 1) Le rôle de l'énergie est sous-estimé



## 2) Le travail est trop payé ?



C'est fait exprès !



Henry Ford



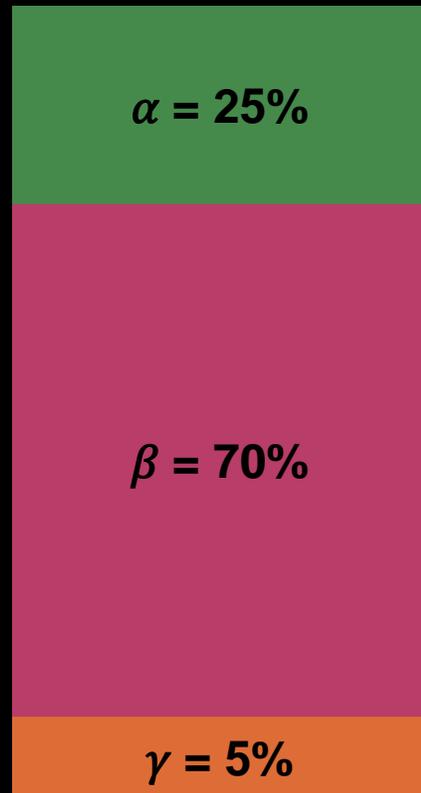
John Maynard Keynes

3) l'énergie ne peut pas être  
remplacée par le travail...



### 3) l'énergie ne peut pas être remplacée par le travail...

Coûts

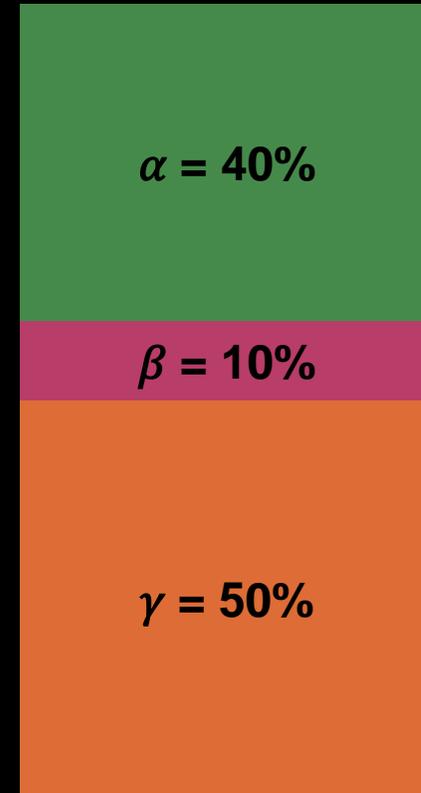


K

L

E

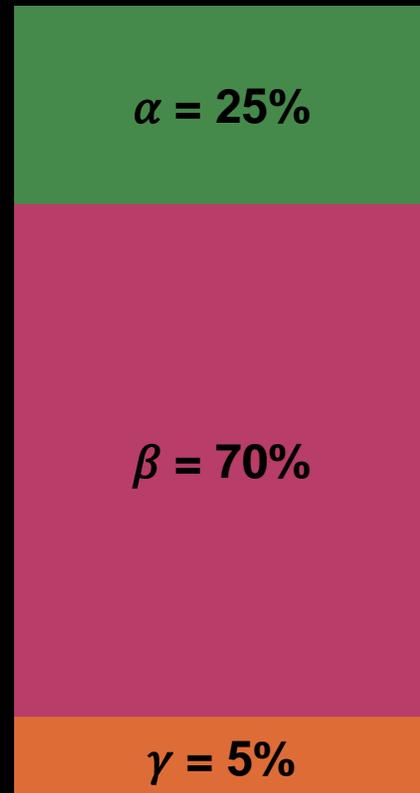
Elasticité





# 4) La solution passe par l'investissement !

Coûts

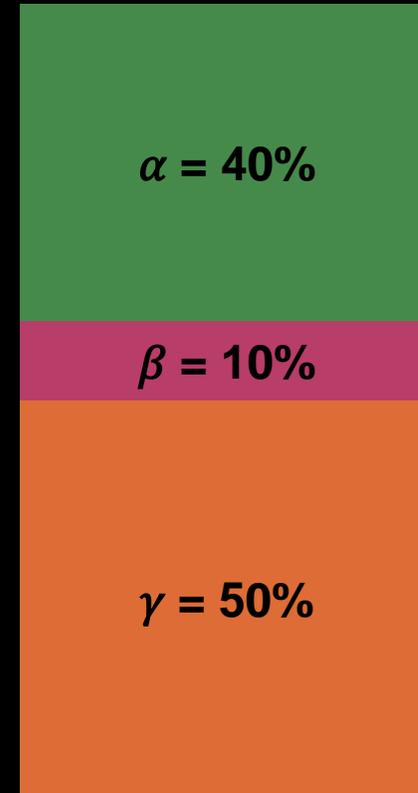


K

L

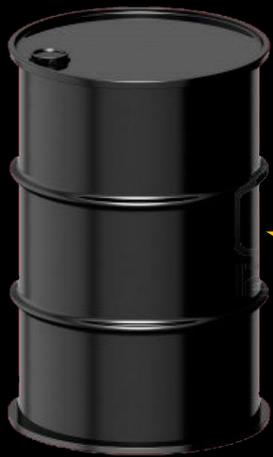
E

Elasticité



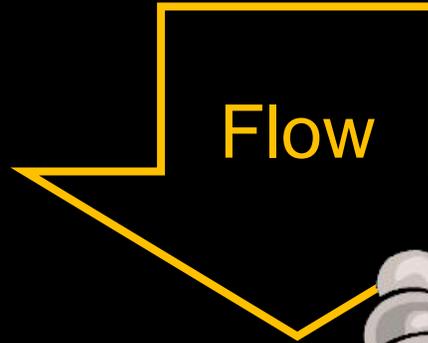
# 4) La solution passe par l'investissement !





E

(Flow)



K

(Stock)

“We are moving from a OpEx to a CapEx world”

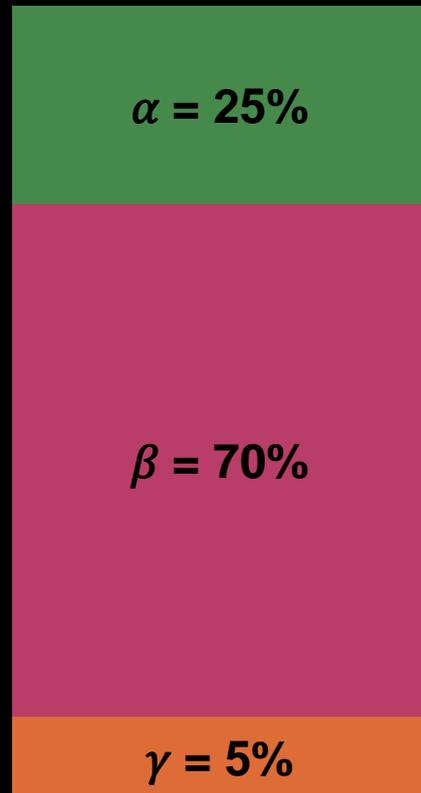
HSBC

## 4) La solution passe par l'investissement !



# 5) La question de la rémunération du capital se pose...

Coûts

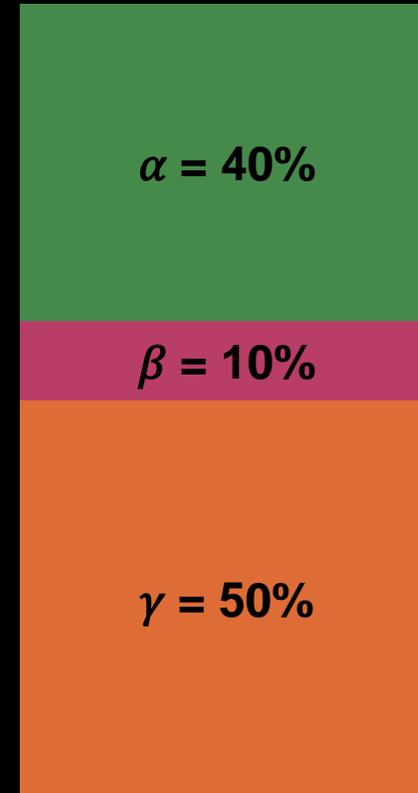


K

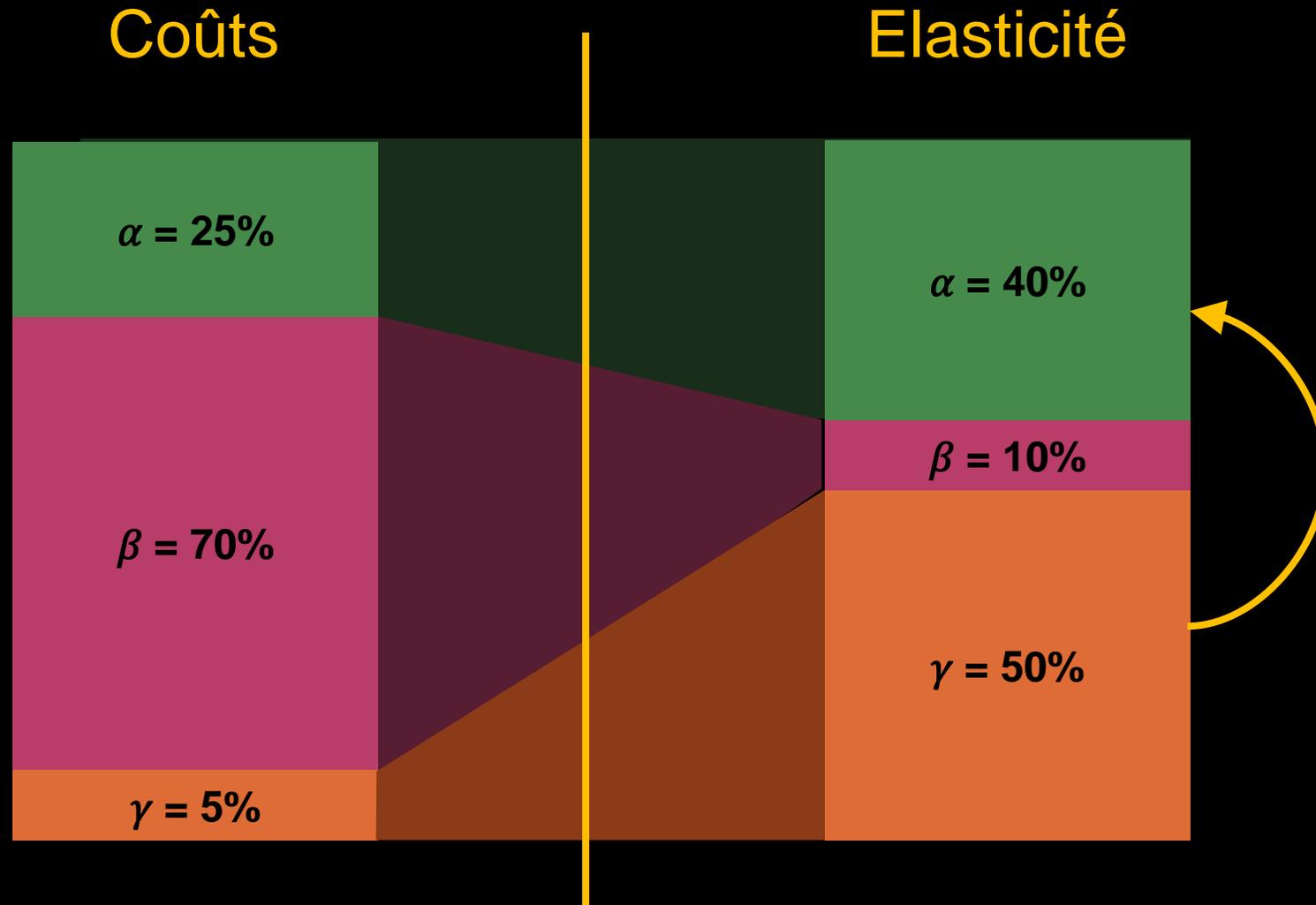
L

E

Elasticité



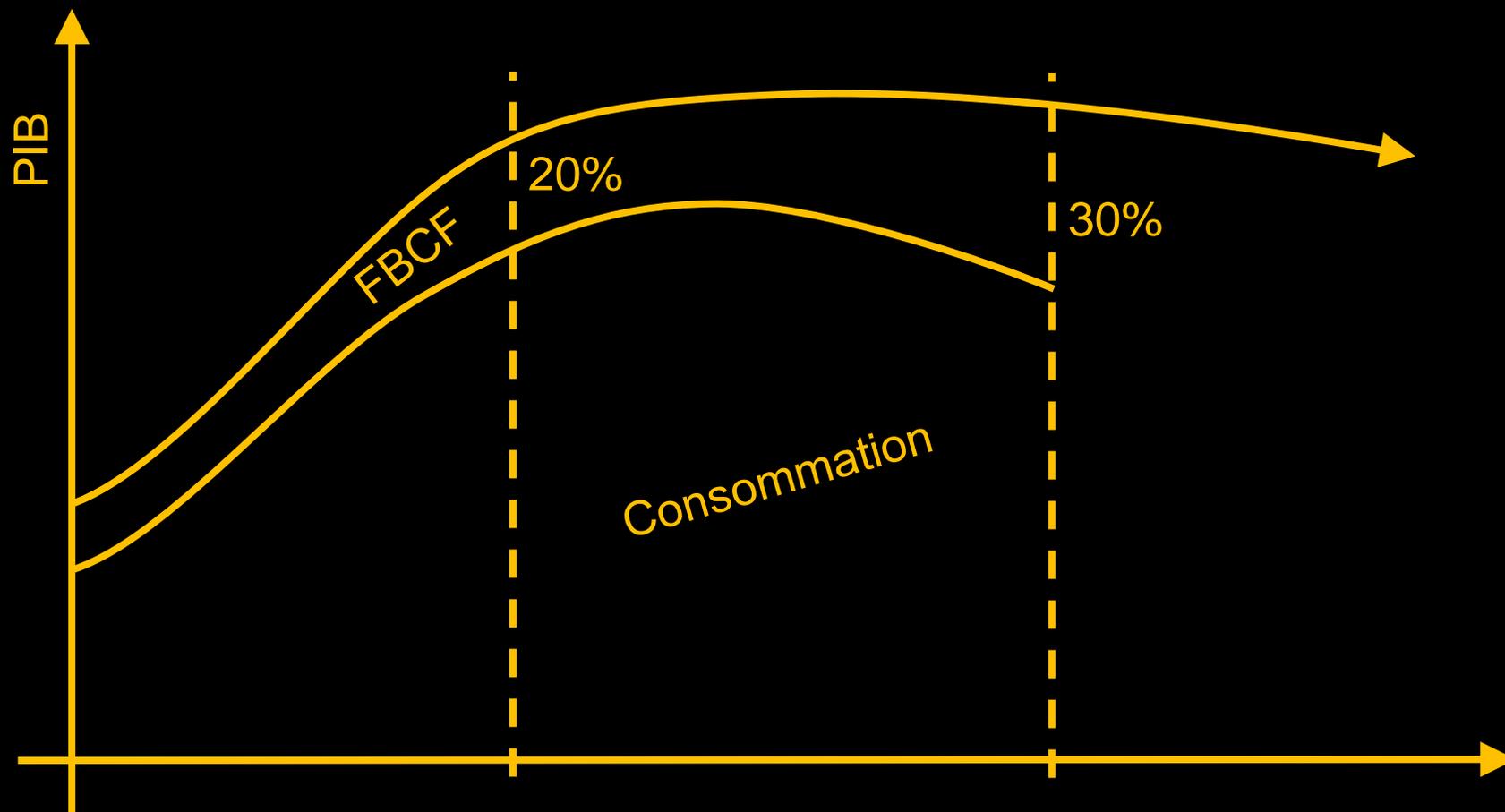
# Vers l'équilibre ?



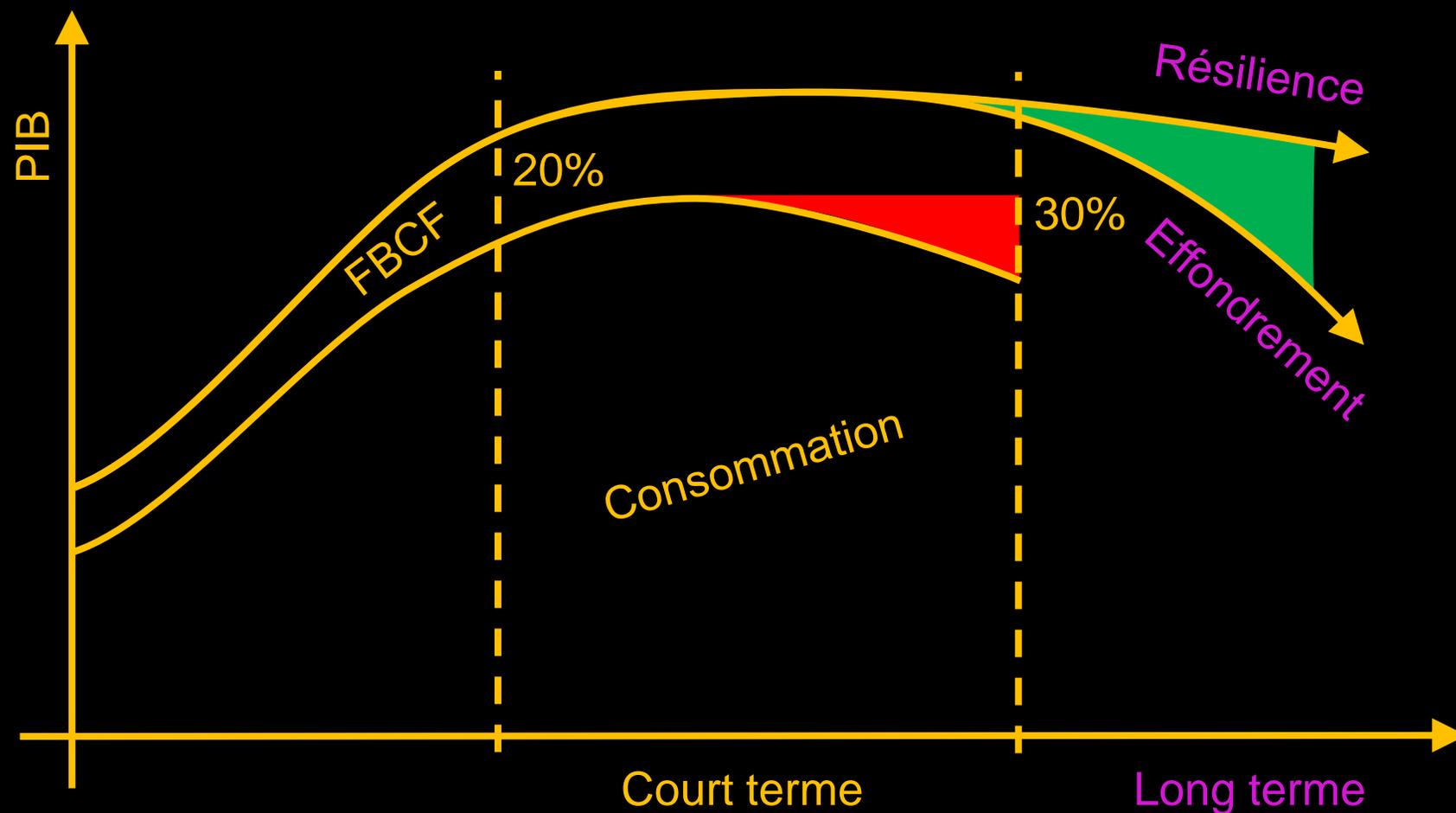
# Rethinking Innovation



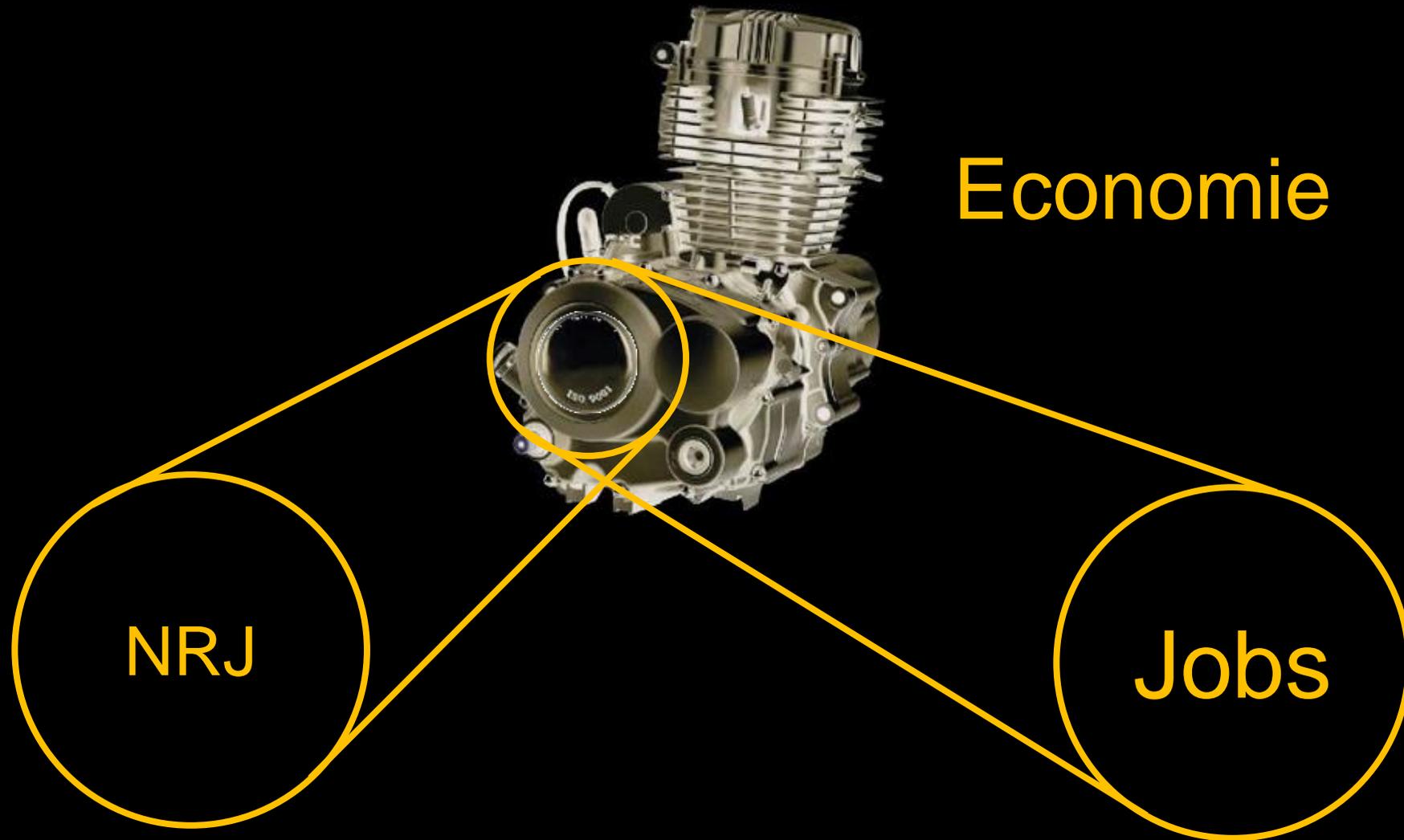
## 6) Une question de court et long terme



## 6) Une question de court et long terme



Le découplage va être un vrai challenge !



**Merci !**