



# Un modèle (V.0.0) de prix du pétrole avec exploration en rationalité limitée

Pierre - Noël Giraud (Cerna), Cédric Léonard (EDF),  
Timothée Denis (EDF), Timothée Ollivier (Cerna)

Cerna, Centre d'économie industrielle  
ParisTech / Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris

60, boulevard Saint Michel  
75272 Paris Cedex 06 – France  
Tél. : 33 (1) 40 51 90 91 – Fax : 33 (1) 44 07 10 46  
pierre-noel.giraud@ensmp.fr – <http://www.cerna.ensmp.fr>

# Un travail en cours...

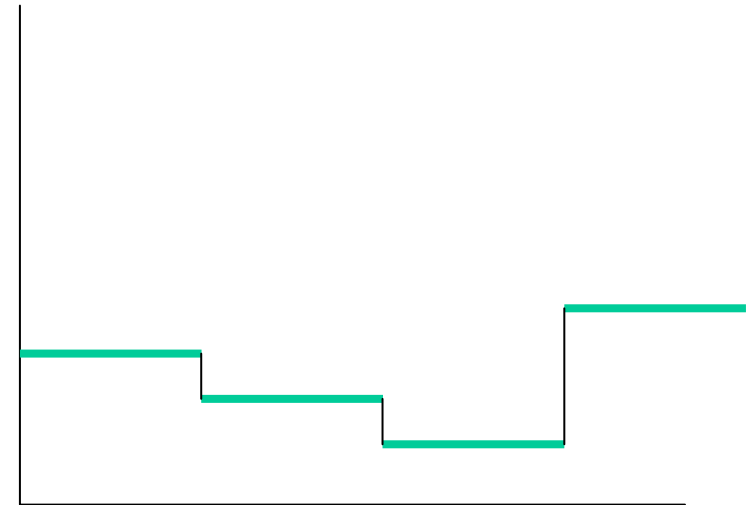
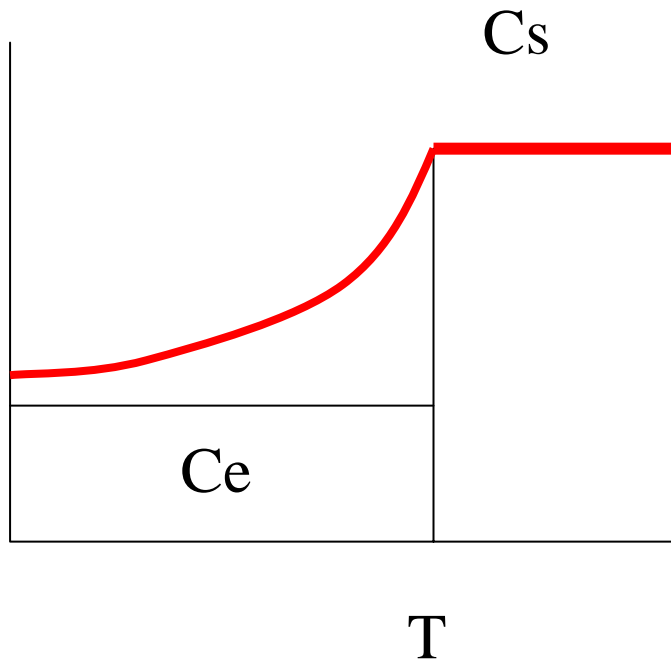
- Un projet de recherche Cerna / EDF: revisiter les fondamentaux des marchés pétroliers
- Reprendre des questions classiques:
  - Hotelling vs Adelman
  - Pics de Hubbert
- Par une modélisation reflétant **la rationalité procédurale réelle d'agents représentatifs**
- Un modèle de simulation à usage heuristique
- **Un travail en cours: des résultats très provisoires**

# Nos questions de départ

Hotelling

ou

Adelman



# Nos questions de départ

## Hotelling:

- Il existe des acteurs capables d'optimiser dans le temps la valeur de la ressource en terre.
- Il leur faut connaître, au moins en probabilité subjective:
  - Leur coût d'extraction
  - Le prix du substitut
  - La date d'épuisement

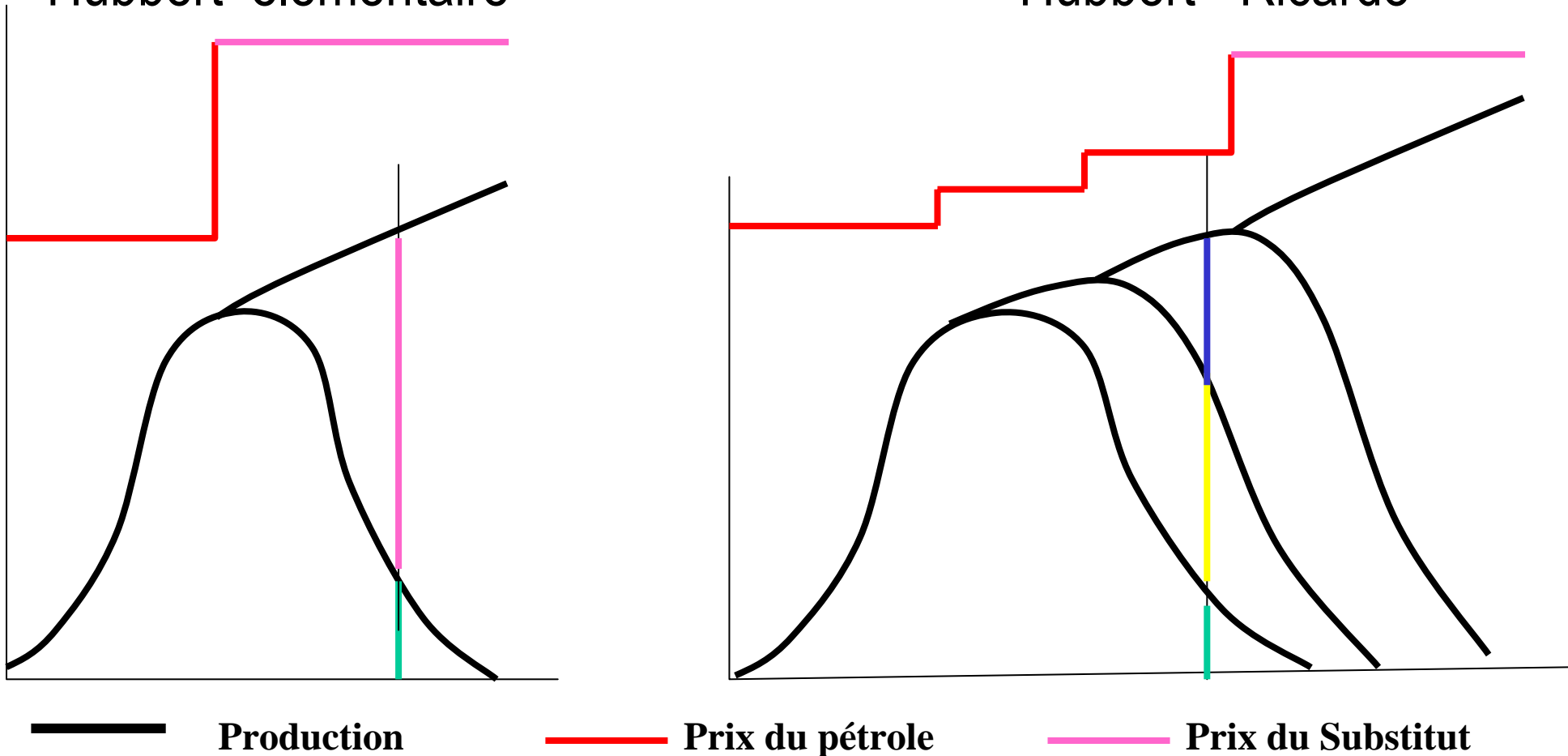
## Adelman:

- les réserves sont produites, on avance en trouvant devant soi, un peu à l'aveugle...
- le prix de marché dépend de l'évolution des coûts totaux, donc:
  - Des difficultés de découverte – production de différents types de gisements
  - Du progrès technique dans l'exploration, production, conversion

# Nos questions de départ

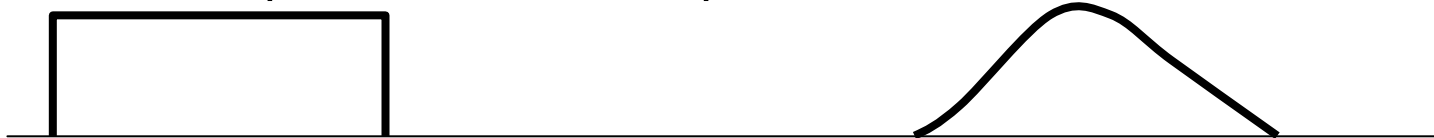
Hubbert élémentaire

Hubbert - Ricardo



# Nos questions de départ

- La courbe de Hubbert s'applique-t-elle aux réserves mondiales? D'une région géologique? D'une catégorie de gisements?
- Quels sont les comportements économiquement rationnels sous jacents?
- Est-ce autre chose que (Ricardo+ contrainte technique), avec un profil différent de production de chaque classe de réserves?



- Les Pics de Hubbert sont ils à l'origine de rentes différentielles ricardiennes?

# Nos hypothèses de départ

- Si les réserves étaient connues des acteurs, on aurait:
  - Ricardo: les producteurs les mettraient en exploitation par coût croissant
  - Hotelling: le propriétaire exigerait la rente d'épuisabilité, aisément calculable sous une hypothèse de demande mondiale future
- Or elles ne sont pas connues mais produites (Adelman)
  - Il faut donc modéliser leur processus de production: **l'exploration**
  - Qui est aussi un processus de **production d'informations** sur les réserves restant à découvrir ( Reynolds, Norgaard, ...)
- Mais les propriétaires de gisements eux aussi sont informés et rationnels...

# Un modèle de simulation

- **Trois catégories d'acteurs:**
  - **Les consommateurs:** ils expriment une demande élastique au prix
  - **Un producteur:** il minimise en information imparfaite le coût (exploration + extraction) de chaque période
    - Ce producteur « bénévolant » unique est équivalent à des acteurs « preneurs de prix » en compétition pure et parfaite
    - On peut aussi modéliser un oligopole avec frange compétitive
  - **Des propriétaires de gisement:** ils cherchent à optimiser la valeur de leur ressource en terre



# Un modèle de simulation

- Information des acteurs:
- Ils ont une connaissance statistique des gisements à découvrir
- Cette connaissance s'améliore au fur et à mesure des découvertes

# Un modèle de simulation

## Rationalité du producteur:

- Il dispose de réserves en portefeuille produites par l'exploration des périodes précédentes
- Il calcule à chaque période un montant «optimal »d'exploration tel que:
  - $E(\text{coût de découverte} + \text{extraction}) \leq \text{coût marginal des réserves en portefeuille qui devront être mises en exploitation si on ne trouve pas mieux}$
- Il effectue l'exploration: **aléa** sur le volume et le coût d'extraction des découvertes de la période
- Il satisfait la demande en mettant en exploitation les réserves par coût croissant d'extraction,
  - Sous une **contrainte technique de production**: une fois un gisement mis en exploitation, il produit un flux constant pendant 20 ans.

# Un modèle de simulation

## Rationalité des propriétaires:

- Ils donnent le droit au producteur d'exploiter
- Contre une redevance qu'ils évaluent en fonction:
  - De leur connaissance de la date  $T$  d'épuisement
  - De leur connaissance du coût d'extraction de leurs réserves
  - De leur aversion face au risque (taux d'actualisation), risque qui dépend de la qualité de leur information

# Un modèle de simulation

**Prix de marché =**

- Coût d'extraction de la réserve marginale mise en production dans la période

+

- Coût d'exploration de la période = dépenses (optimales) d'exploration de la période/ production de la période

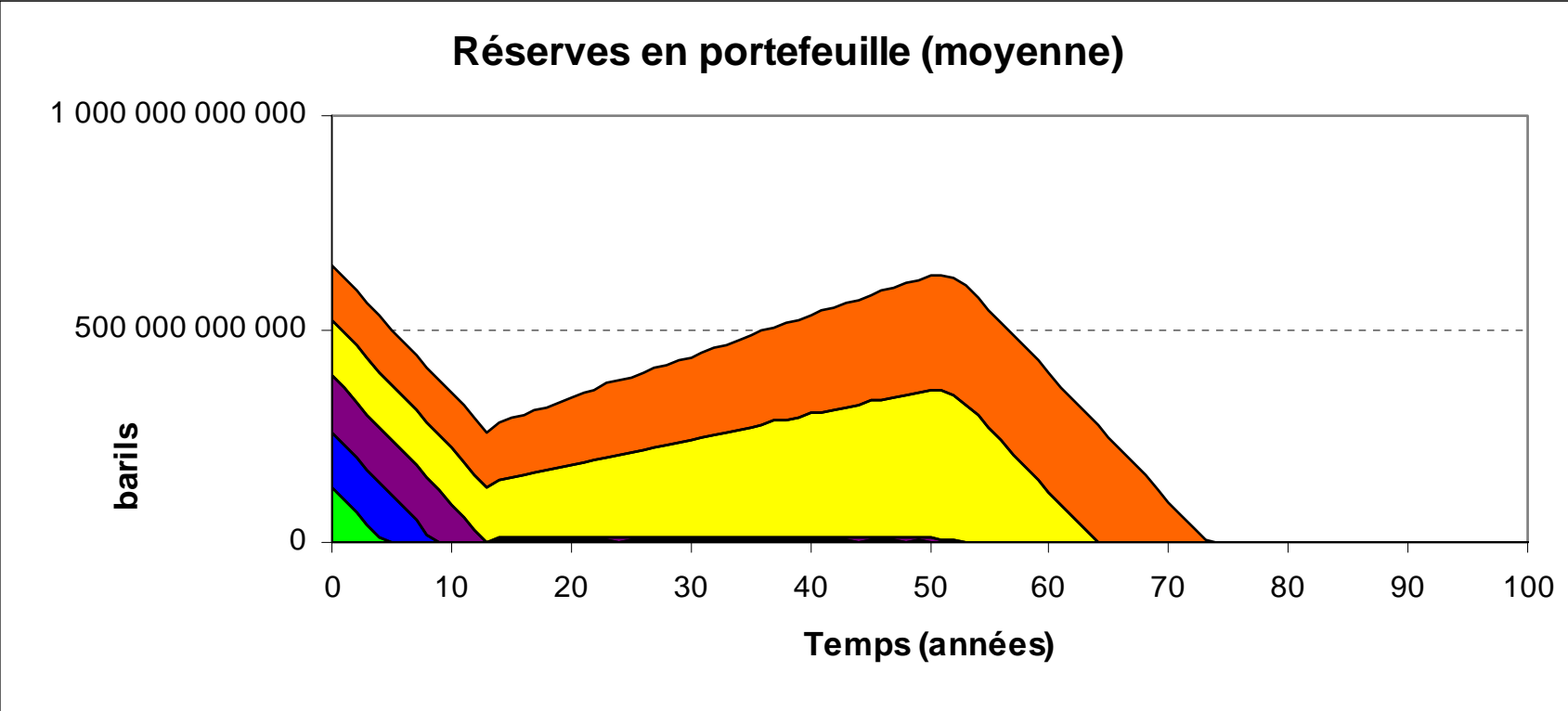
+

- Rente de Hotelling demandée par le propriétaire de la réserve marginale mise en exploitation

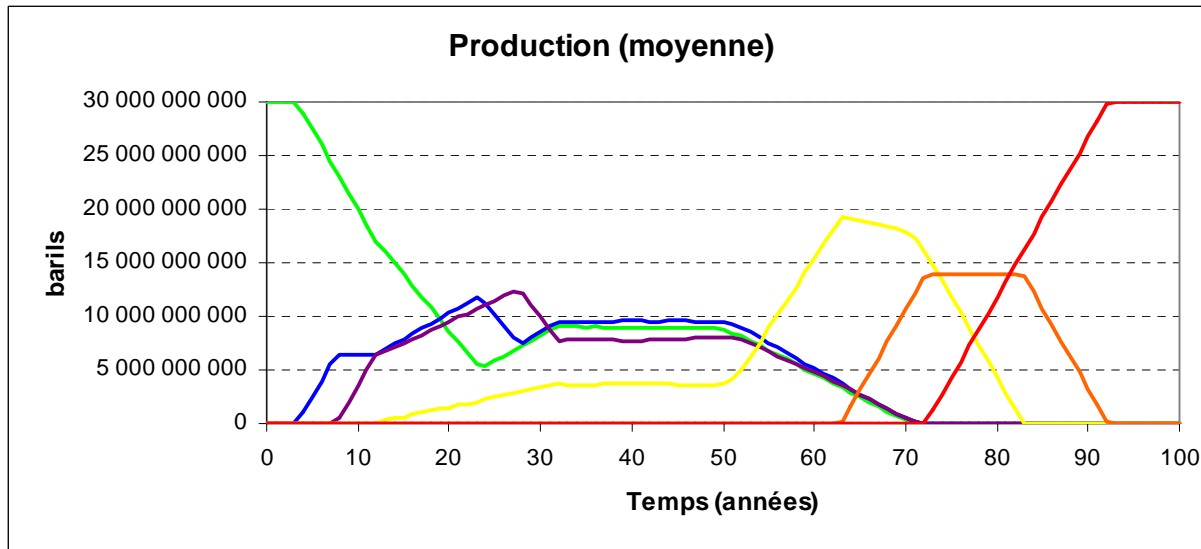
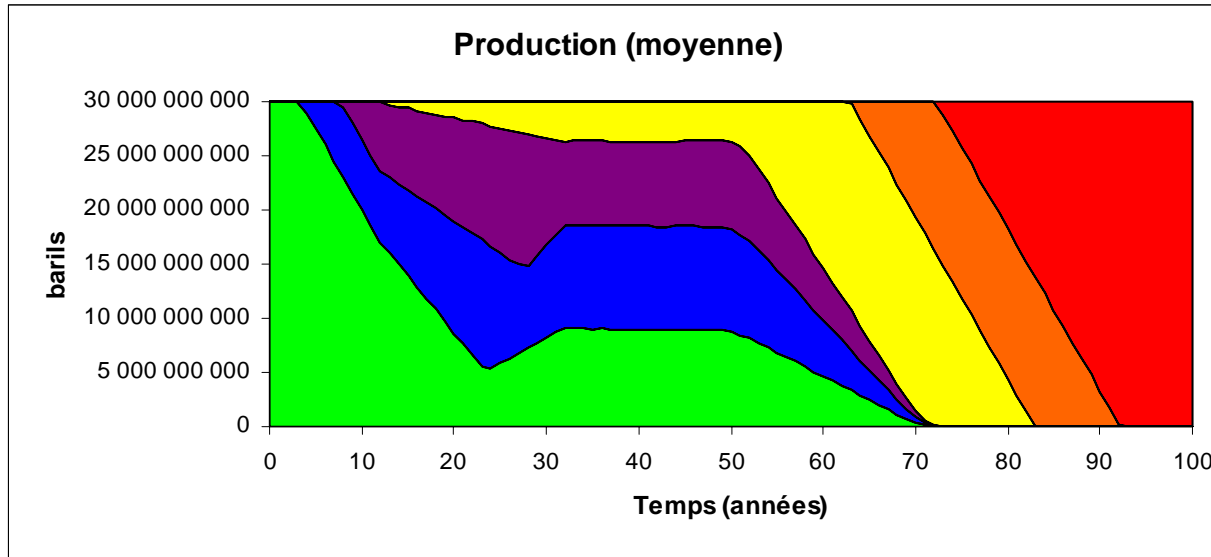
# Premiers résultats avec des hypothèses simplifiées

- Information des agents:
  - tous connaissent la distribution ( par taille et coût d'extraction ) des gisements et le prix du substitut abondant
  - La probabilité de découverte est constante dans le temps
  - La demande est constante
  - La date d'épuisement est donc connue de façon (quasi)certaine
- Les propriétaires décident de la mise en exploitation après la découverte: ils connaissent donc aussi leur coût d'extraction et peuvent calculer une rente de Hotelling

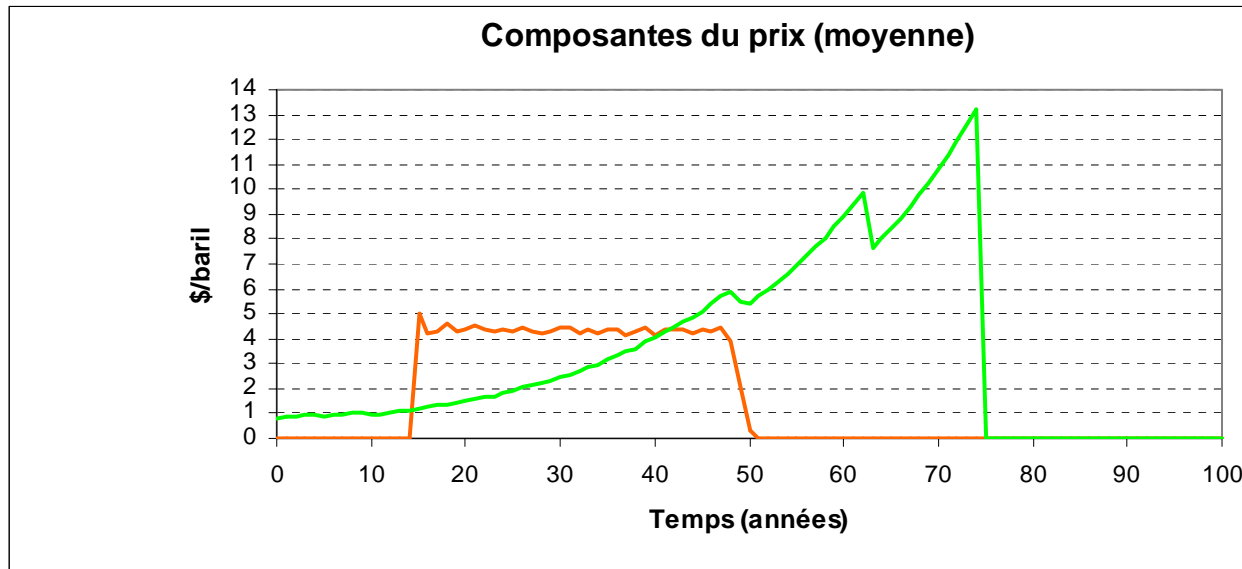
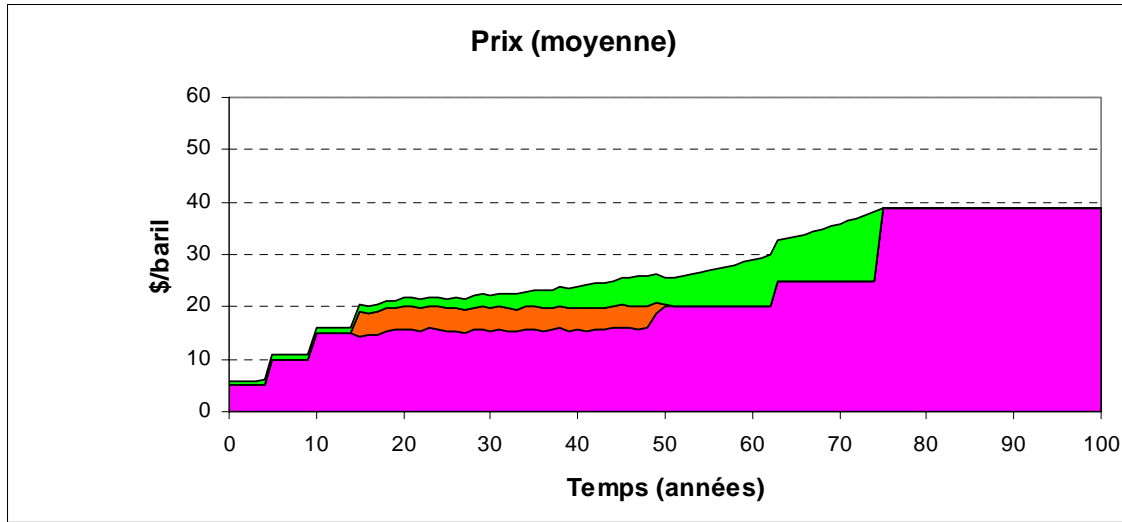
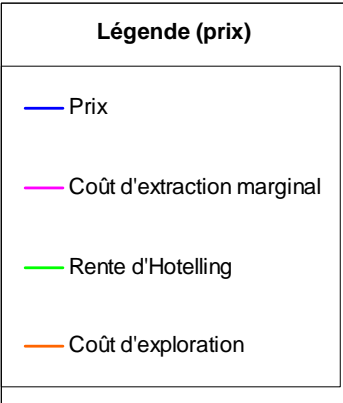
# Résultats: exploration



# Résultats: production



# Résultats: prix





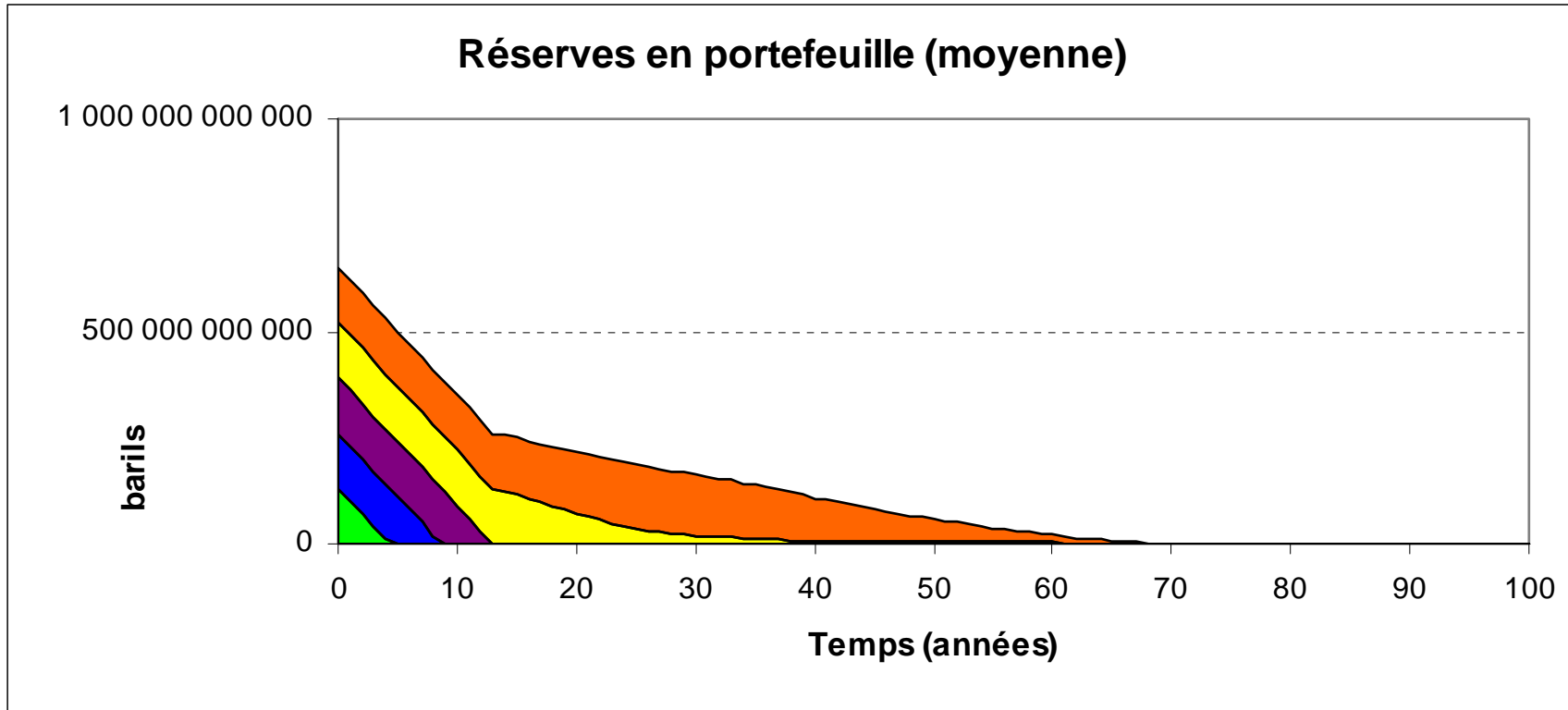
# Premiers résultats: interprétation

- La stratégie d'exploration du producteur fait qu'on exploite rapidement plusieurs types de gisements:
  - C'est une explication de la présence de rentes différentielles ricardiennes, même en situation compétitive
- Il n'y a pas de pic de Hubbert global: on a une décroissance purement « technique » de la production (durée de vie des gisement de 20 ans) après l'arrêt de l'exploration
- Le rente de Hotelling ne devient significative qu'à l'approche (20 - 25 ans avant) du passage au substitut

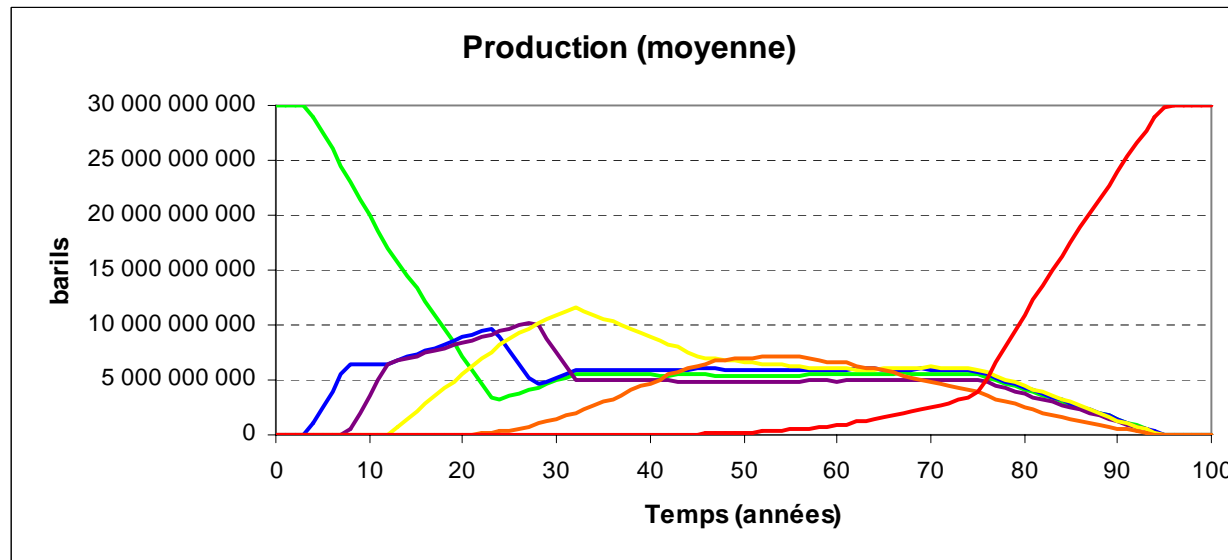
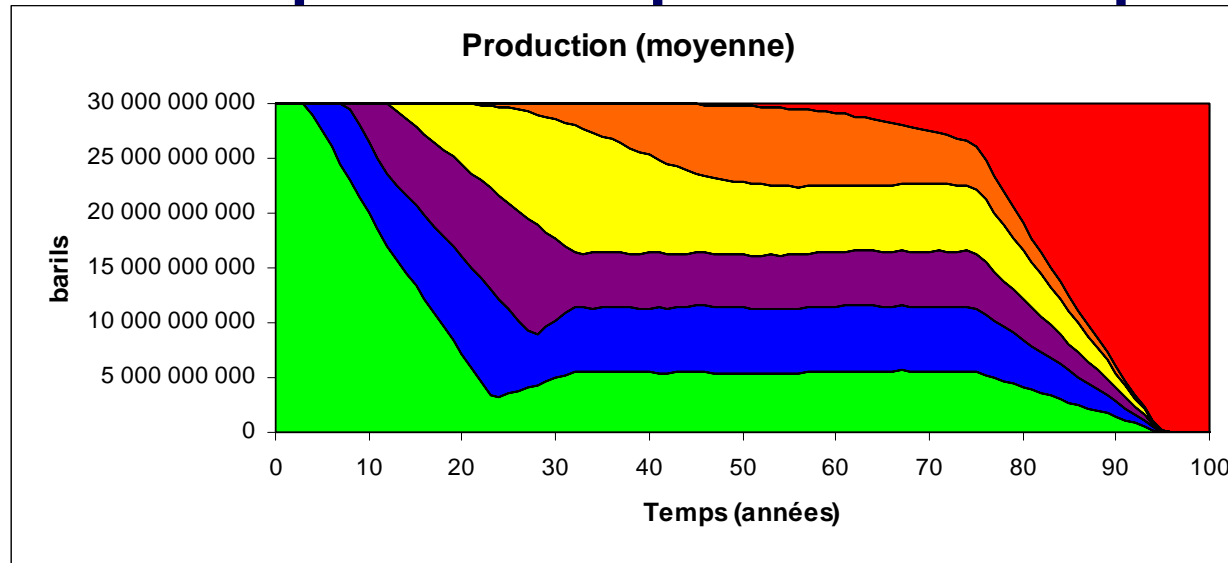
# Et Hubbert?

- Dans le modèle, un « vrai » pic de Hubbert ( sur l'ensemble des ressources hors substitut) n'apparaît que si les dépenses d'exploration sont limitées à un niveau inférieur au niveau « optimal »

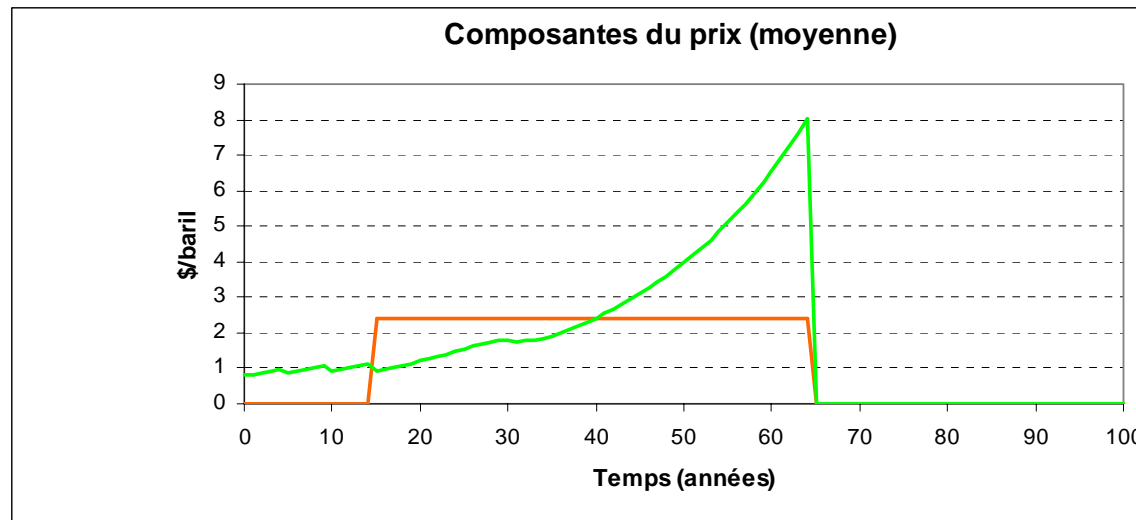
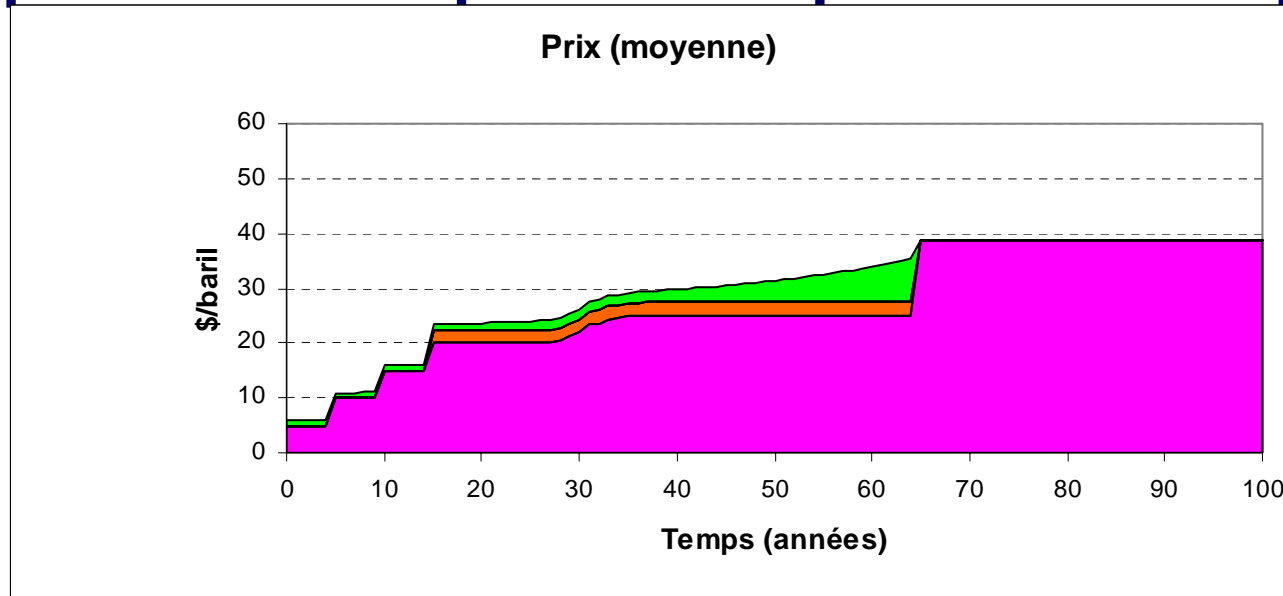
# Dépenses d'exploration plafonnées



# Dépenses d'exploration plafonnées: production

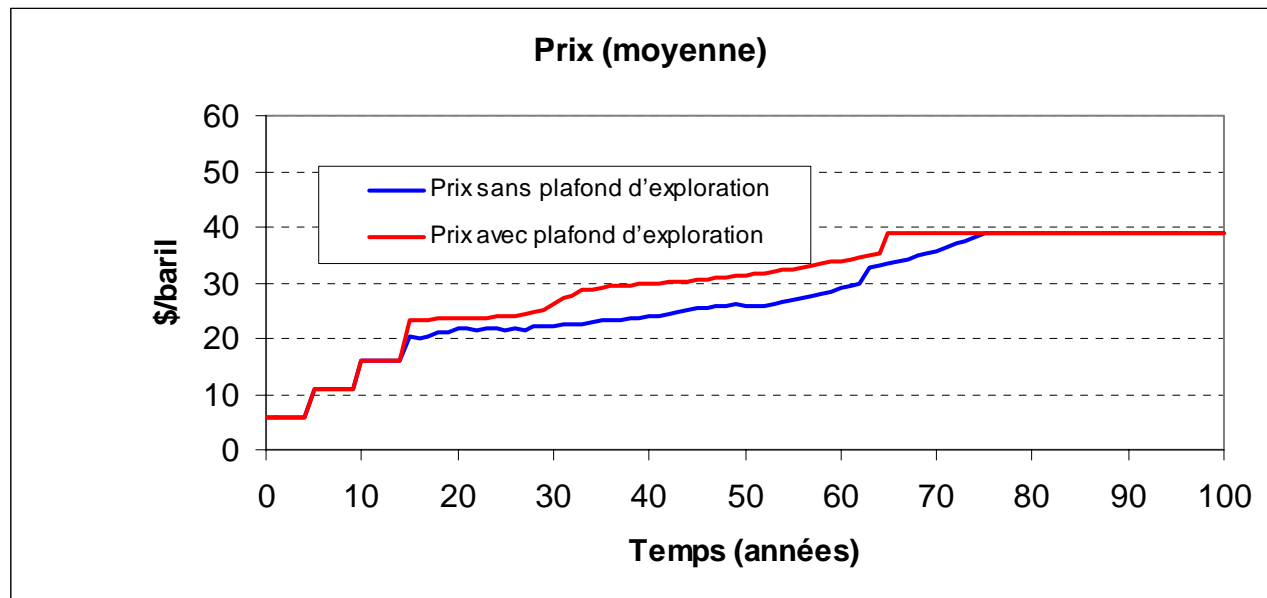


# Dépenses d'exploration plafonnées: prix



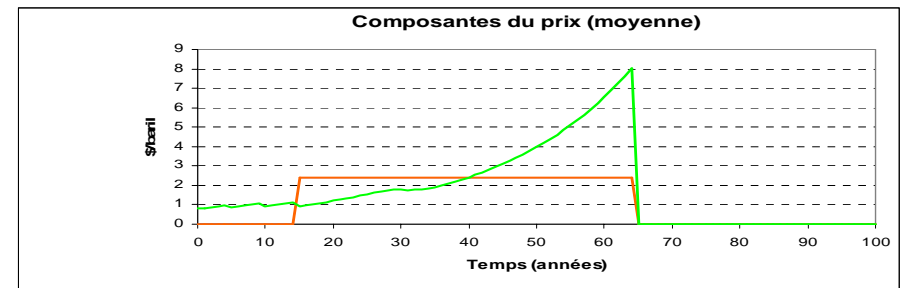
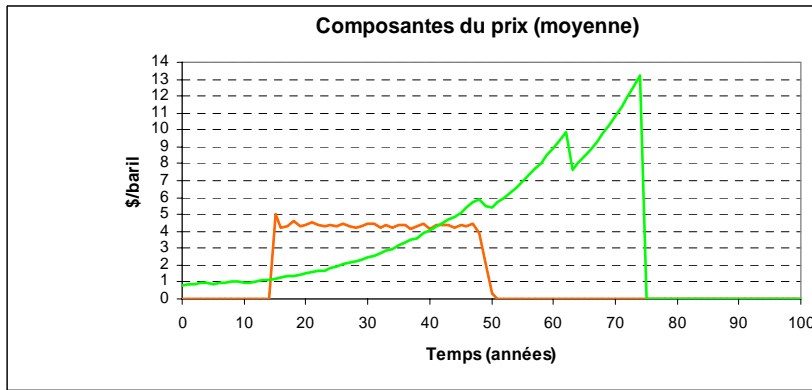
# Dépenses d'exploration plafonnées

- Le prix est plus élevé qu'avec les dépenses d'exploration « optimales »



# Dépenses d'exploration plafonnées

- La rente de Hotelling est moins élevée car on atteint plus vite la production de substitut (10 ans avant)



- L'exploration est moins intensive mais dure plus longtemps
- Les rentes différentielles sont plus importantes

# Discussion

- Pourquoi les dépenses d'exploration seraient elles plafonnées?
- Dans une zone donnée: par la probabilité de trouver mieux ailleurs (non modélisé à ce stade, mais facile avec ce type de modèle)
- Au niveau d'ensemble:
  - Par une contrainte de budget: imperfection du marché des capitaux?
  - Par une prime de risque anormalement élevée?
  - Par une mauvaise anticipation du prix futur de la part des explorateurs producteurs?



# Développements prévus avec ce modèle

- **Calibrage sur données réelles**
- **Information sur les gisements à découvrir:**
  - Plus « réaliste » au départ: espérance en volume et en coût avec fortes variances
  - Précision de l'information croissante avec les réserves découvertes
  - Probabilité de découverte décroissante ( et donc coût de découverte croissant) avec les réserves découvertes ( par classe de gisement)
- **Monopole** (le Golfe) disposant de réserves connues à bas coût
  - Connaissant l'élasticité de la demande au prix
  - Connaissant l'élasticité à CT, mais découvrant l'élasticité à LT par essais et erreurs (1979 -1986)
  - Introduisant une volatilité du prix pour augmenter le risque de la frange compétitive...

- Votre avis sur ce type de modèle et sur les comportements à modéliser nous serait précieux
- Merci de votre patience et de votre attention!