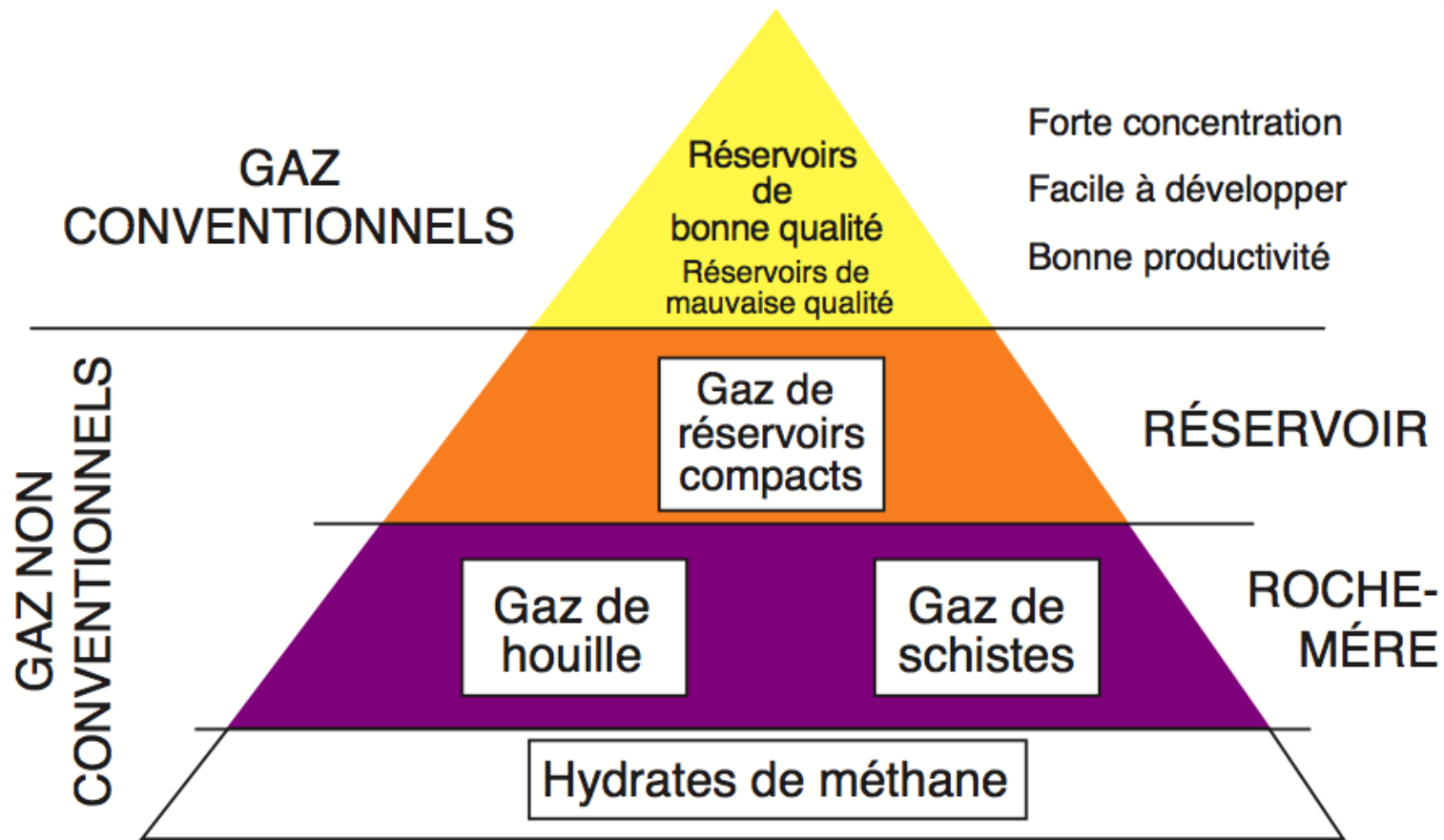


Hydrocarbures de roche-mère : la révolution énergétique américaine peut-elle traverser l'Atlantique ?

Ecole des Mines de Paris
Mercredi 7 octobre 2015
Aurélien Saussay

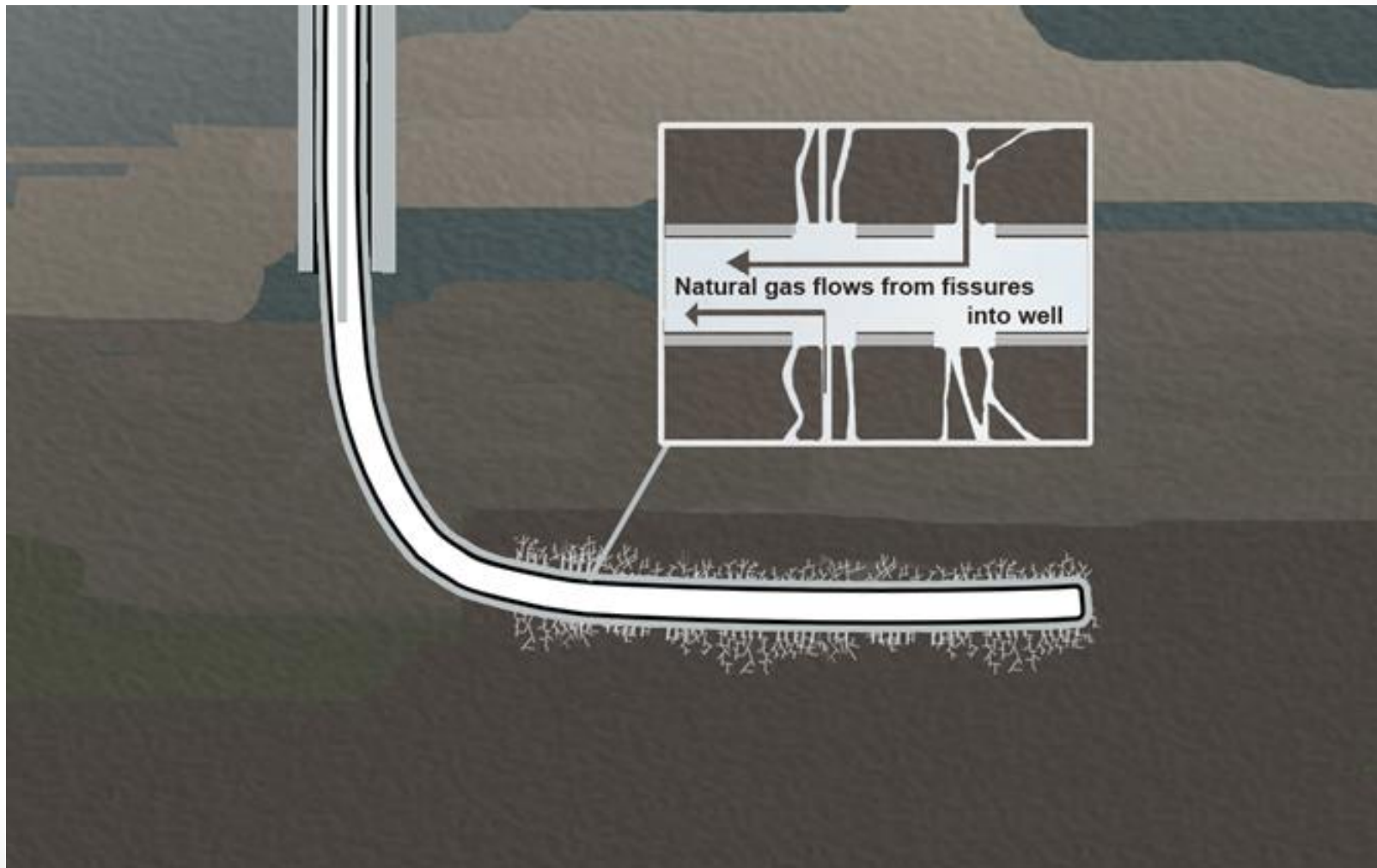
Où se trouvent les hydrocarbures de roche-mère ?



Des hydrocarbures très difficiles d'accès

- Les hydrocarbures de schistes sont enterrés plus profondément que les gisements conventionnels
- Gaz et huiles se trouvent piégés dans des roches très peu poreuses et imperméables
- Les techniques d'extraction conventionnelles ne permettent pas leur exploitation commerciale

La fracturation de la roche est nécessaire à l'exploitation



Une révolution technique mais aussi réglementaire

- Energy Policy Act de 2005 vise à réduire la dépendance des Etats-Unis aux importations d'énergies fossiles
- Deux lois environnementales sont modifiées
 - **Safe Drinking Water Act** : l'interdiction de forer à proximité des aquifères contenant de l'eau potable est levée pour les forages gaziers et pétroliers
 - **Clean Water Act** : l'article définissant la liste des polluants aqueux est modifiée pour exclure « toute eau, gaz, ou autre matériaux injecté dans un puits pour faciliter la production de gaz ou de pétrole »

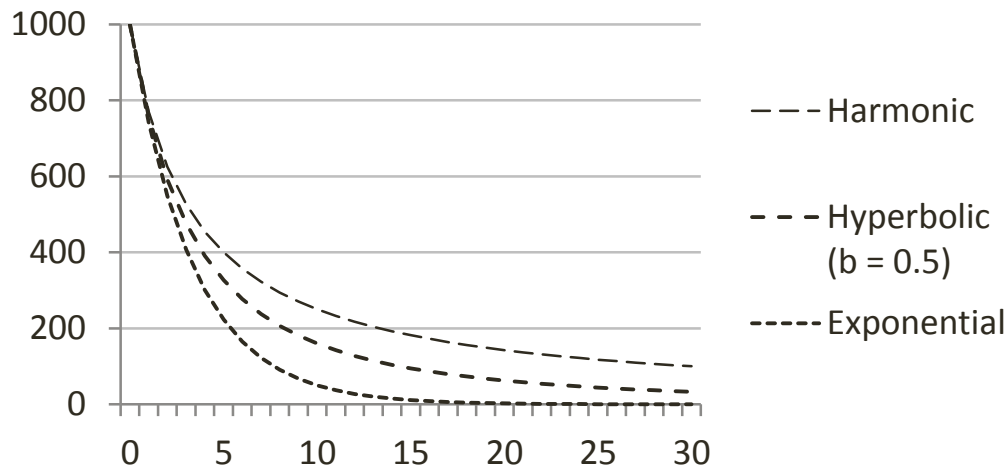
Modélisation de l'exploitation

Profil de production d'un puits : équation de Arps

- Equation de Arps (1945)

$$q(t) = q_i \frac{1}{(1 + bD_i t)^{\frac{1}{b}}}$$

où q_i est la production initiale, D_i le taux de déclin initial et b ($0 \leq b \leq 1$) un paramètre contrôlant l'évolution du taux de déclin



Production et rentabilité d'un puits

- La production mensuelle d'un puits au mois n , pour une production initiale q_0 et un taux de déclin mensuel δ_i par rapport au mois $i - 1$:

$$q_n = q_0 \prod_{i=0}^n (1 - \delta_i)$$

- La valeur actuelle nette (VAN) de la production d'un puits sur N_w mois, pour un coût de forage I , un coût opérationnel c , un prix de vente p , et un taux d'actualisation r :

$$VAN_{puits} = \sum_{n=0}^{T_w} \frac{q_0 (p - c) \prod_{i=0}^n (1 - \delta_i)}{(1 + r)^n} - I$$

- Le seuil de rentabilité p^* :

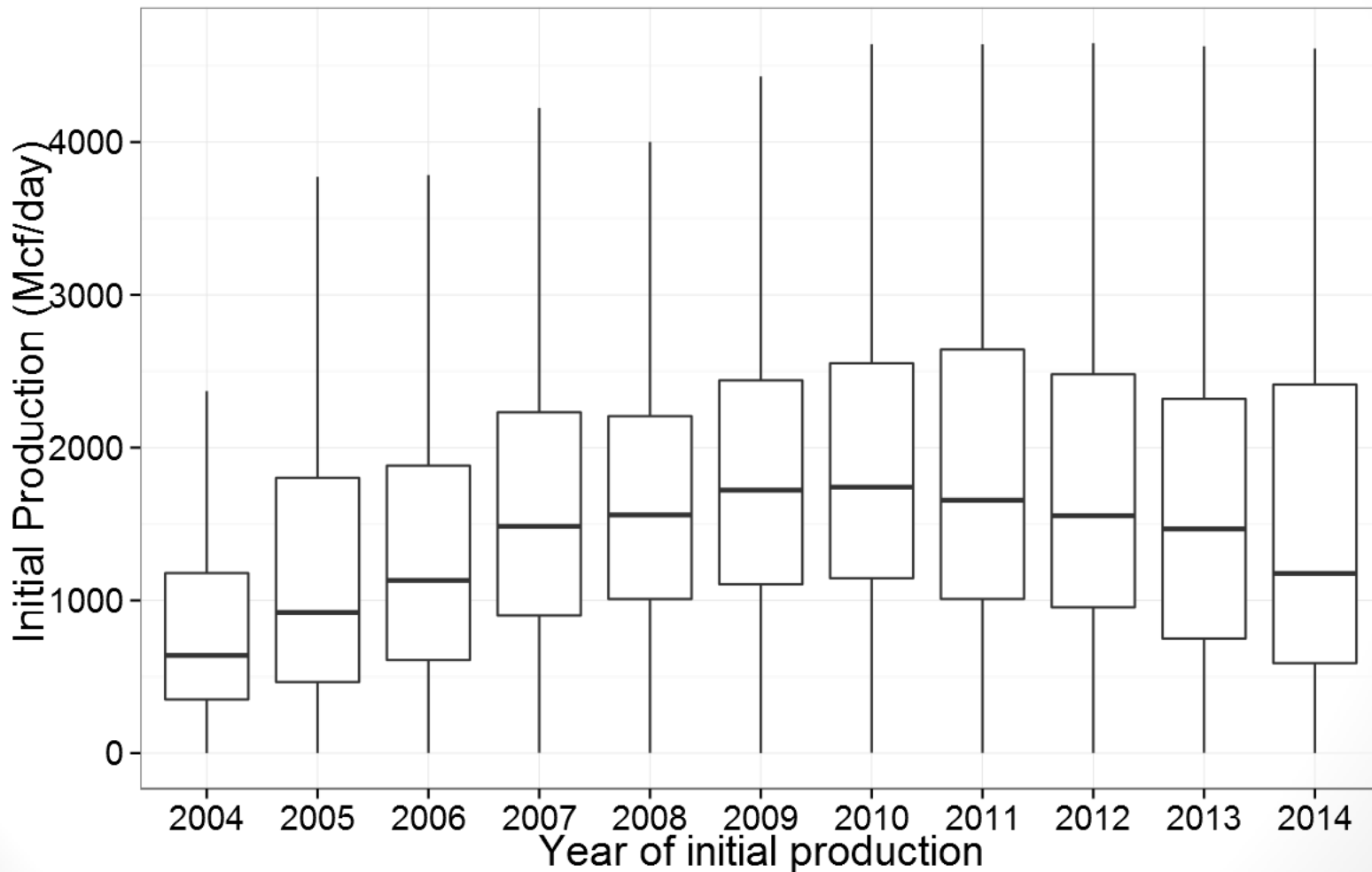
$$p^* = c + \frac{I}{\sum_{n=0}^{T_w} \frac{q_0 \prod_{i=0}^n (1 - \delta_i)}{(1 + r)^n}}$$

Analyse de la production américaine

Utiliser les données américaines pour calibrer le cas européen

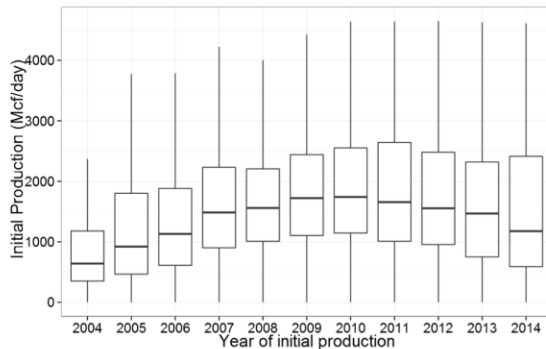
- Depuis le début des années 2000, 30 gisements exploités commercialement aux Etats-Unis
- 6 gisements représentent plus de 95% de la production américaine de gaz de schistes
- L'historique des données de production américaine permet de calibrer production initiale, taux de déclin et coûts de forage
- Analyse d'une base de données de 40,000 puits couvrant l'ensemble de la production de gaz de schistes américain depuis 2004

Production initiale par année de forage (Barnett)



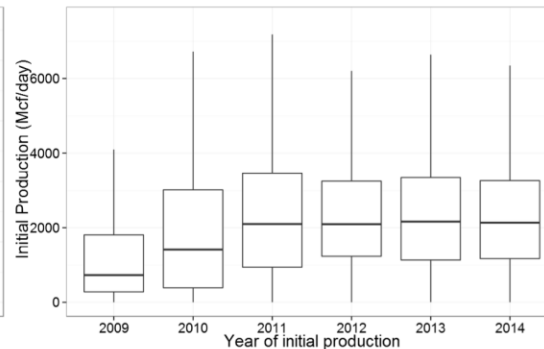
Production initiale par année de forage (2)

Barnett



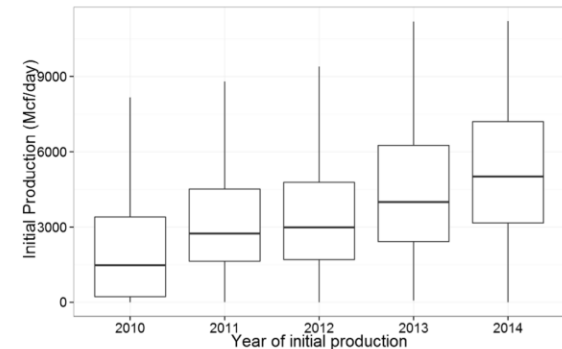
Source: Texas Railroad Commission / Author's calculations

Eagle Ford



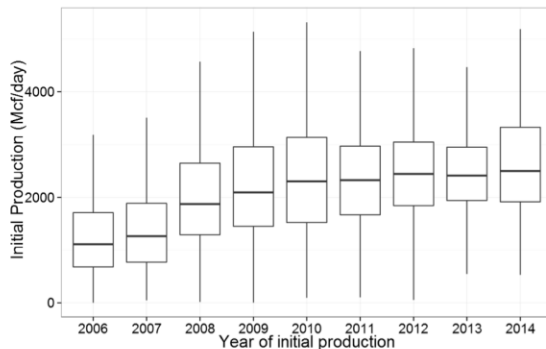
Source: Texas Railroad Commission / Author's calculations

Marcellus



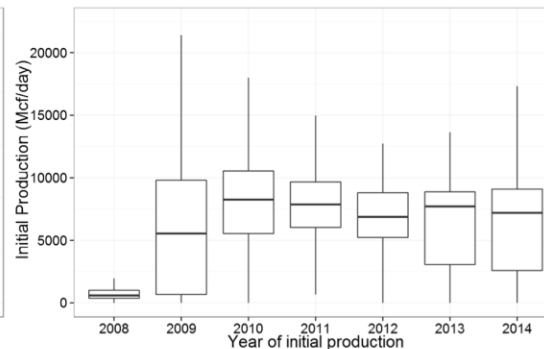
Source: Pennsylvania Dpt. of Environmental Protection / Author's calculations

Fayetteville



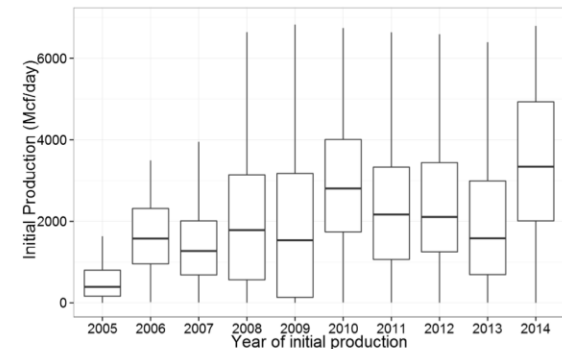
Source: Arkansas Oil and Gas Commission / Author's calculations

Haynesville



Source: Louisiana Dpt. of Natural Resources / Author's calculations

Woodford

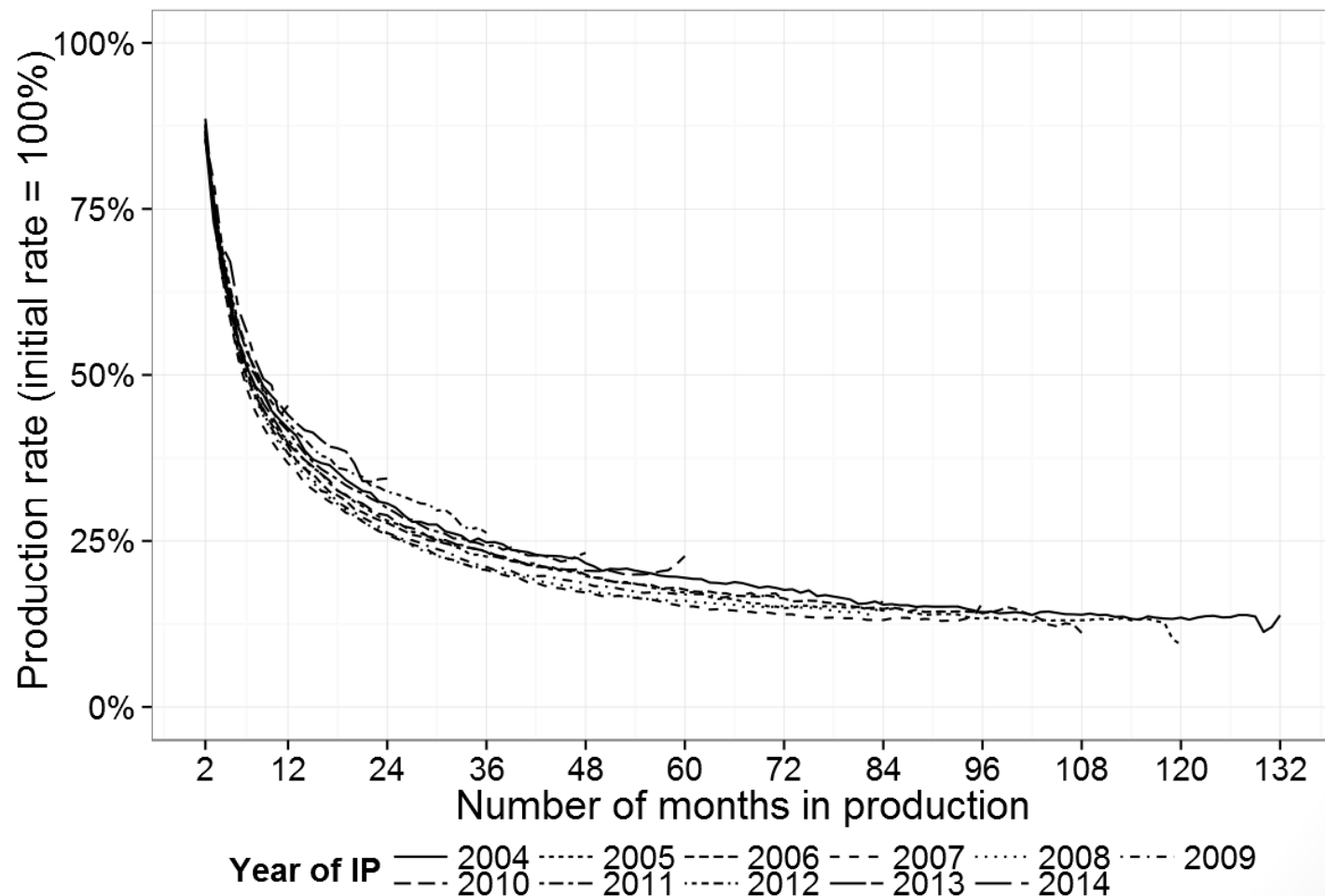


Source: Oklahoma Corporation Commission / Author's calculations

Production initiale moyenne par année de forage

Year of IP (Mcf/j)	Haynesville	Barnett	Marcellus	Fayetteville	Eagle Ford	Woodford
2010	8,632	2,093	2,272	2,385	2,461	3,542
2011	8,076	2,138	3,720	2,361	2,641	2,436
2012	6,977	1,849	3,815	2,479	2,596	2,561
2013	7,082	1,801	5,754	2,540	2,538	2,253
2014	6,939	1,675	6,560	2,777	2,554	4,032

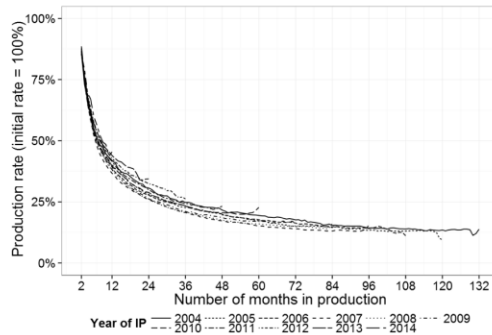
Profil de déclin par année de forage (Barnett)



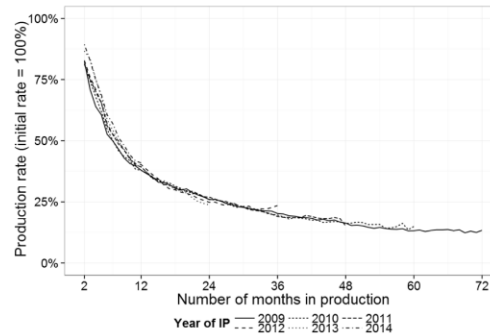
Profil de déclin par année de forage

(2)

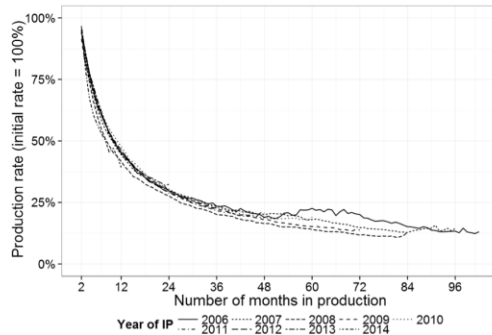
Barnett



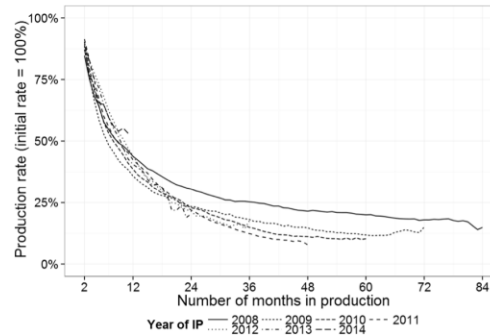
Eagle Ford



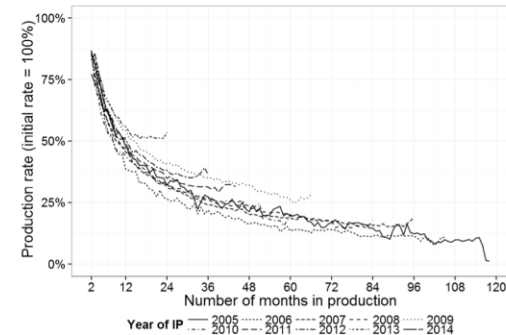
Fayetteville



Haynesville



Woodford

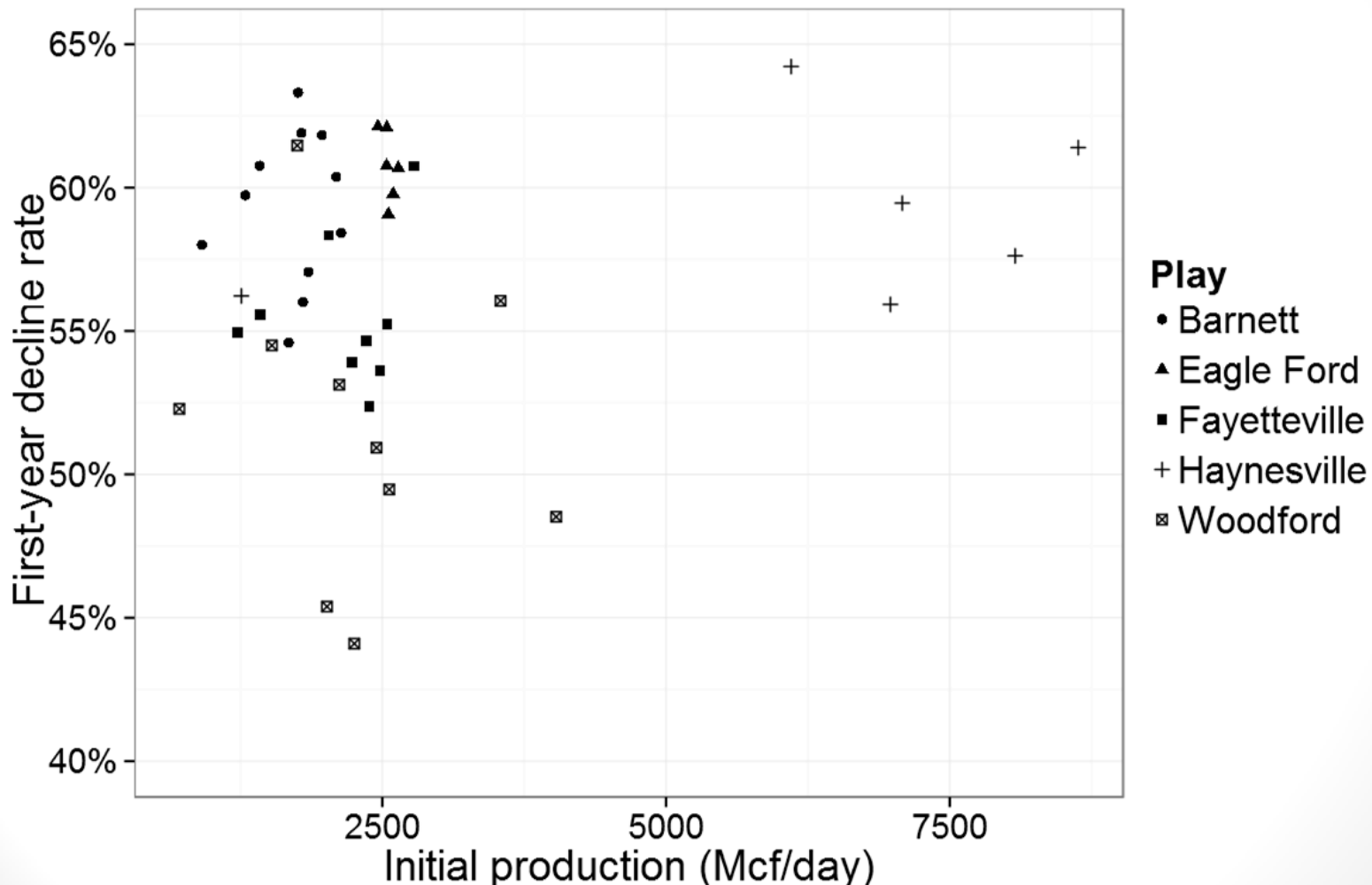


Taux de déclin annualisés

	An 1	An 2	An 3	An 4	An 5
Barnett	58%	28%	19%	17%	12%
Eagle Ford	58%	31%	28%	16%	16%
Fayetteville	57%	33%	24%	18%	13%
Haynesville	59%	39%	30%	18%	14%
Woodford	47%	23%	17%	14%	9%

	An 6	An 7	An 8	An 9	An 10
Barnett	12%	10%	10%	6%	3%
Eagle Ford	-	-	-	-	-
Fayetteville	16%	12%	3%	-	-
Haynesville	10%	-	-	-	-
Woodford	3%	10%	19%	7%	-

Taux de déclin et niveau de production initiale ne sont pas corrélés



Coûts de forage

	Haynesville	Barnett	Marcellus
Coût de forage moyen (million USD)	9,5	3,5	5,3
Profondeur moyenne (m)	3 700	2 400	1 900

	Fayetteville	Woodford	Granite Wash
Coût de forage moyen (million USD)	2,8	8,5	7,8
Profondeur moyenne (m)	1 100	4 000	4 000

**Les gisements d'Europe continentale seraient compris
entre 3 000 et 4 300 m de profondeur**

Scénarios en Europe

Hypothèses de production initiale et de taux de déclin

- Les niveaux de production initiale des 40 000 puits américains analysés permettent d'estimer des quartiles de performance
- Pour prendre en compte la phase de progrès technique, nous ne retenons que les puits forés de 2010 à 2014

Faible production (quartile 1)	Production moyenne (quartile 2)	Production élevée (quartile 3)
1 305 Mcf/j	2 353 Mcf/j	3 352 Mcf/j

- Les taux de déclin sont en revanche stables au cours du temps, et varient relativement peu d'un gisement à l'autre
 - La moyenne des taux de déclin est donc retenue

An 1	An 2	An 3	An 4	An 5	An 6	An 7	An 8	An 9	An 10
58%	30%	22%	17%	12%	11%	10%	10%	6.1%	3.3%

Hypothèse sur les coûts de forages en Europe

- En l'absence de forages expérimentaux, il est impossible de connaître précisément les caractéristiques mécaniques de la roche en fracturation
 - Seule la profondeur potentielle des gisements est connue
- Hypothèse basse d'un coût comparable au coût américain à profondeur égale : 10 millions de dollars
- Deux variantes de surcoût résultant en Europe de :
 - l'absence d'une infrastructure de forage on-shore développée
 - réglementations environnementales plus strictes

Faible coût	Coût moyen	Coût élevé
\$10 million	\$15 million	\$20 million

Résultats : le breakeven est très proche des prix moyens du gaz sur la période récente

- Prix du moyen du gaz européen (2010-2014): **10.6\$/MMbtu**

(\$/MMBtu)	Faible coût	Coût moyen	Coût élevé
Faible production	11.3	16.5	21.8
Production moyenne	6.6	9.5	12.4
Production élevée	4.8	6.9	8.9

taux d'actualisation : 7%

coût opérationnel : 0.5\$ / MMBtu

durée de vie des puits : 10 ans

Le breakeven est peu sensible au taux d'actualisation

- Taux d'actualisation à 10%

(\$/MMBtu)	Faible coût	Coût moyen	Coût élevé
Faible production	11.9	17.5	23.1
Production moyenne	6.9	10.1	13.2
Production élevée	5.1	7.3	9.5

- Taux d'actualisation à 4% (extraction par une structure publique)

(\$/MMBtu)	Faible coût	Coût moyen	Coût élevé
Faible production	10.6	15.5	20.4
Production moyenne	6.2	8.9	11.6
Production élevée	4.6	6.5	8.4

La VAN d'une campagne de forage de 20 000 puits est faible

- Forage de 20 000 puits sur 30 ans
- Prix du gaz de 10.6\$/MMBtu

(billion €)	Faible coût	Coût moyen	Coût élevé
Faible production	-4.0	-23.0	-31.5
Production moyenne	23.2	4.3	-11.0
Production élevée	49.2	22.8	8.5

Conclusions

- L'incertitude reste très grande sur la qualité géologique des gisements européens
- Pour palier cette incertitude, un modèle technico-économique est calibré sur une analyse détaillée des données de production historiques américaines
- L'intégration de contraintes environnementales plus sévères qu'aux Etats-Unis pourrait rapidement annuler une rentabilité déjà faible
- Même dans le cadre d'hypothèse géologique et de coûts de forage favorables, la valeur de la ressource reste faible en Europe

Merci beaucoup !

aurelien.saussay@sciencespo.fr

“Can the U.S. shale revolution
be duplicated in Europe?”
Document de travail de l’OFCE