



INRAE



La prise en compte d'itinéraires techniques latents dans les modèles de production : une approche par modèle de Markov caché à paramètres aléatoires

Esther DEVILLIERS, Philippe Obafémi KOUTCHADE, Alain CARPENTIER

Plan de la présentation

Contexte général

Approches économétriques

Résultats

Conclusion

Une nécessité de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires : la réponse des économistes

- ❖ **Externalités négatives** associées à l'utilisation de produits phytosanitaires bien connues et documentées (*e.g.*, Pimentel *et al.*, 1992).
- ❖ Réponse standard des économistes : utilisation de **taxes** ou de **subventions** pour internaliser l'externalité.
- ❖ Problème : l'**utilisation de pesticides** semble **inélastique** au changement de **prix** (Böcker et Finger, 2017 ; Skevas *et al.*, 2013).

La notion d'itinéraire technique pour comprendre l'inélasticité des pesticides

Notion d'**itinéraire technique** : ensemble des décisions culturales prises en début de saison par l'agriculteur pour atteindre un rendement objectif donné *i.e.*

- ❖ Opérations culturales = un **tout cohérent** ;
- ❖ Utilisation d'intrants définie en amont \Rightarrow **peu d'ajustement** possible **en cours de saison culturale** de la quantité de produits phytosanitaires si ce n'est pour raisons météorologiques.

Besoin d'**agir sur l'itinéraire technique (ITK)** **pour agir sur le niveau d'utilisation en intrants** \Rightarrow politique de moyen/long terme et non pas de court terme.

Des itinéraires techniques aux fonctions de production

- ❖ **Similarité conceptuelle** entre les ITK des agronomes et les fonctions de production des économistes \Rightarrow considérer des **fonctions de production spécifiques à l'ITK** utilisé ;
- ❖ **Variation dans les utilisations d'intrants** peut se faire :
 1. À l'intérieur d'un ITK = **élasticité** dans les utilisations d'intrants ;
 2. Par un changement d'ITK = effet du **changement de "technologie"**.

Le **changement d'ITK** permet-il **davantage de variation** dans les **utilisations d'intrants** ? Comment **inciter** les agriculteurs à **adopter des ITK bas-intrants** ?

Une application au cas des producteurs de blé de la Marne

- ❖ Données comptables sur **1351 agriculteurs** de la Marne entre 1998 et 2014 ;
- ❖ Données sur les **rendements** et les prix observés, les **dépenses en engrais et en pesticides** ;
- ❖ Pas d'information sur l'ITK utilisé \Rightarrow **ITK latents**.

Un double objectif :

- ❖ **Identification** des ITK latents, leurs caractéristiques et leurs déterminants ;
- ❖ Étude des instruments de **politique publique** pour l'**adoption d'ITK bas-intrants**.

Une brève revue de la littérature

- ❖ Une littérature abondante sur l'**adoption technologique** :
 - ▶ **Hétérogénéité des retombées économiques** (e.g., Griliches, 1957 ; Michler et al., 2018 ; Suri, 2011) ;
 - ▶ Adoption en tant que **processus social** : échange d'information (e.g., Foster et Rosenzweig, 2010 ; Ryan et Gross, 1943), imitation (e.g., Rogers, 1962) ;
 - ▶ Autres facteurs tels que l'efficacité technique (e.g., Kumbhakar et al., 2009), les contraintes de main d'oeuvre (e.g., Fernandez-Cornejo et al., 2005), le risque (e.g., Chavas et Nauges, 2020), **considérations sociétales** (e.g., Mzoughi, 2011).
- ❖ Une littérature sur les **frontières stochastiques à classes latentes** (Alvarez et Corral, 2010 ; Dakpo et al., 2021 ; Greene, 2005 ; Martinez Cillero et al., 2018 ; Orea et Kumbhakar, 2004).

Plan de la présentation

Contexte général

Approches économétriques

Résultats

Conclusion

La stratégie d'identification des ITK latents

Deux types d'itinéraires techniques :

1. **ITK haut-rendement** : rendements élevés et utilisation intensive d'intrants chimiques ;
2. **ITK bas-intrants** : viser des **rendements objectifs moins élevés** pour réduire la pression sur les cultures et **réduire les utilisations d'intrants** ⇒ expérimentations INRA en France à partir des années 1990 (Meynard, 2008 ; Rolland et al., 2003).

Identification des **ITK** à l'aide des caractéristiques attendues en termes de **rendement et d'utilisation d'intrants**.

Deux approches d'identification des ITK latents

- ❖ Méthodes exploratoires de **classification non-supervisée** sur des sous-panels de 4 ans ;
 - ❖ Approche entièrement paramétrique avec un **modèle de Markov caché** :
 1. Contraintes d'identification des ITK ;
 2. Probabilités de passage entre ITK structurées ;
- ⇒ Prise en compte de l'**aspect économique** des ITK et du **lien intertemporel** dans le choix d'ITK.

Zoom sur l'approche d'identification paramétrique

- ❖ Modèle pour les **rendements latents** (y) et les niveaux d'utilisation d'intrants ($x_k, k \in \{1, \dots, K\}$) :

$$\text{Pour } c \in \{1, \dots, C\}, \begin{cases} y_{it}^c = b_{y,i}^c + d_{y,t,0} + \delta'_{y,0} z_{it} + \varepsilon_{y,it}^c \\ x_{it}^c = b_{x,i}^c + d_{x,t,0} + \Delta_{x,0} z_{it} + \varepsilon_{x,it}^c \end{cases} ;$$

i = l'agriculteur, t = l'année, c = l'itinéraire technique

- ❖ $(b_{y,i}^c, b_{x,i}^c)$ sont **les paramètres aléatoires** qui sont spécifiques de l'itinéraire utilisé ;
- ❖ **Contraintes d'intensité décroissante** :

$$\text{Pour } c \in \{2, \dots, C\}, b_{y,i}^c = b_{y,i}^1 \prod_{d=2}^c a_{y,i}^d,$$

avec $b_{y,i}^1 \geq 0$ le niveau de rendement visé de l'itinéraire le plus intensif, et $\forall c > 1, a_{y,i}^c \in [0, 1]$.

Un modèle de Markov pour décrire la dynamique du choix d'itinéraire technique

La **dynamique** du choix d'itinéraire technique :

- ❖ **Pas de coûts irrécupérables** \Rightarrow choix qui diffère d'un choix d'investissement comme la technologie d'irrigation ;
- ❖ Néanmoins, il existe des **coûts d'apprentissage et d'opportunité** intangibles \Rightarrow choix de court terme similaire au choix de variété culturale ;
- ❖ **Sans incitation**, les agriculteurs auront donc tendance à **garder le même itinéraire technique** \Rightarrow **processus de Markov**.

Comment **définir** les **probabilités initiales et de transition** de ce processus de Markov ?

Comment intégrer les facteurs économiques et non-économiques du choix d'itinéraire technique ?

- ❖ Le choix d'itinéraire peut être influencé par des motifs **économiques** et **non économiques** ;
- ❖ **Probabilité** que l'agriculteur i **adopte l'itinéraire** d l'année t sachant qu'il utilisait l'itinéraire c l'année précédente :

$$\frac{\exp\left(\rho_i(\pi_{it}^d - \mu_i^{d|c})\right)}{\sum_{k \in C} \exp\left(\rho_i(\pi_{it}^k - \mu_i^{k|c})\right)},$$

avec $\pi_{it}^c = w_{y,t-1} b_{y,i}^c - w'_{x,t} b_{x,i}^c + \eta_{it}$.

π_{it}^d représente le **profit espéré** associé à l'itinéraire d , $\mu_i^{d|c}$ représente **les coûts d'adoption spécifiques à l'agriculteur** i .

Description de la procédure d'estimation

❖ Un modèle HMM à paramètres aléatoires

Approximation Stochastique de l'Espérance-Maximisation
entièrement paramétrique ⇒ Algorithme **SAEM** (Delyon et al.,
Maximum de vraisemblance
1999) ;

❖ Un modèle de Markov caché consiste à résoudre “trois problèmes essentiels” (Lavielle, 2018 ; Rabiner, 1989) :

1. Un problème d'**entraînement** : estimer le vecteur des paramètres du modèle pour maximiser la vraisemblance ;
2. Un problème d'**évaluation** : évaluer la vraisemblance de l'échantillon étant donné le modèle ⇒ algorithme **Forward-Backward** ;
3. Un problème de **décodage** : estimer la séquence la plus probable d'états cachés correspondant à nos données ⇒ algorithme **Viterbi**.

Plan de la présentation

Contexte général

Approches économétriques

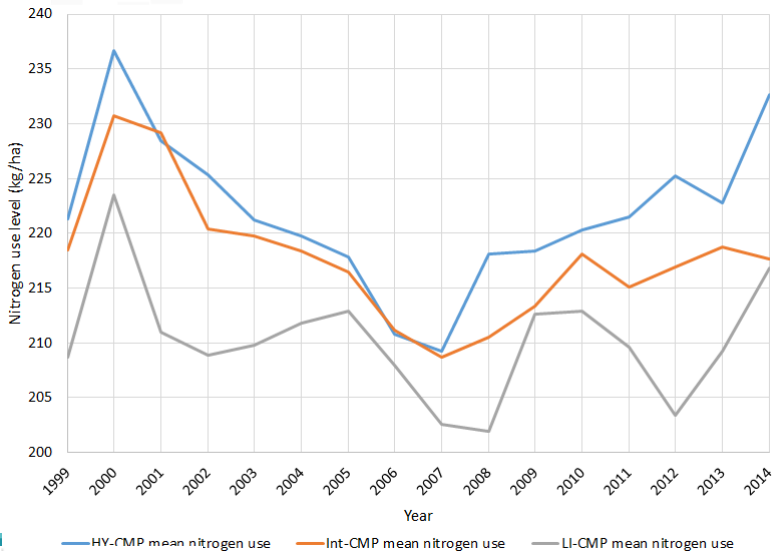
Résultats

Conclusion

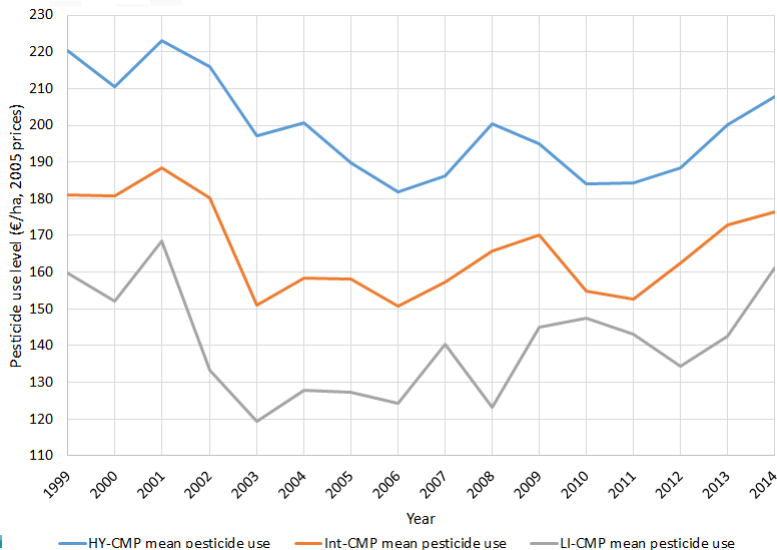
Les rendements annuels moyens des trois ITK



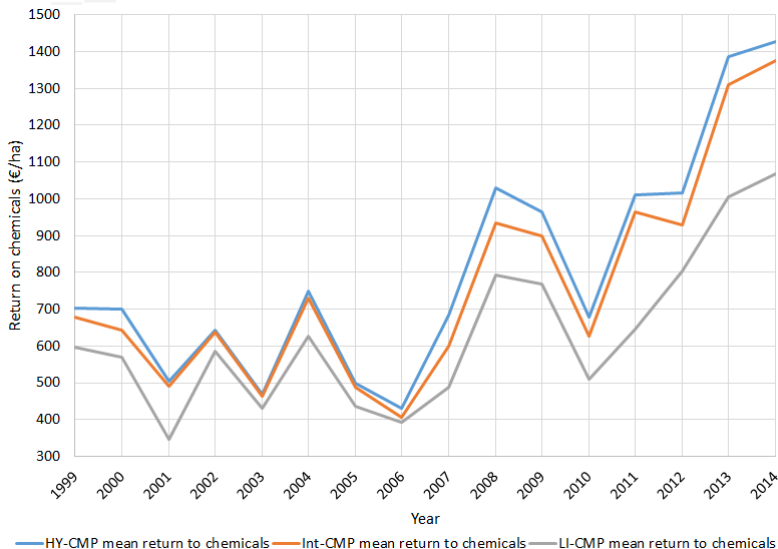
Les utilisations d'engrais azotés annuelles moyennes des trois ITK



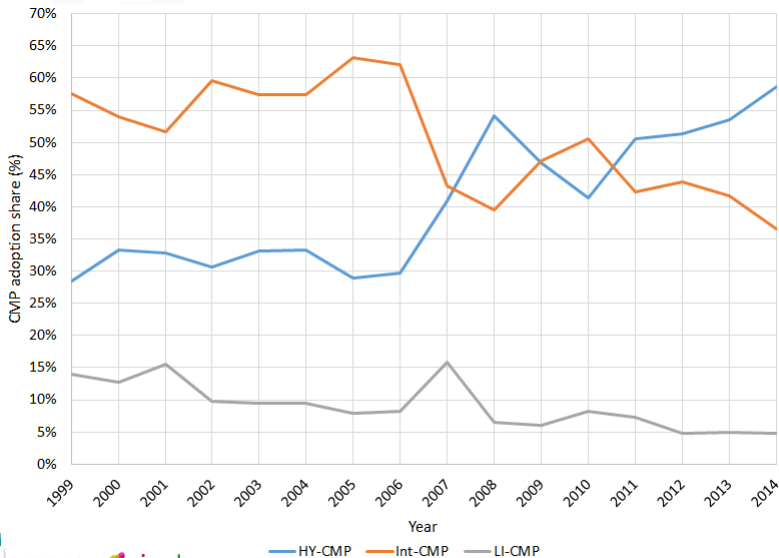
Les utilisations de pesticides annuelles moyennes des trois ITK



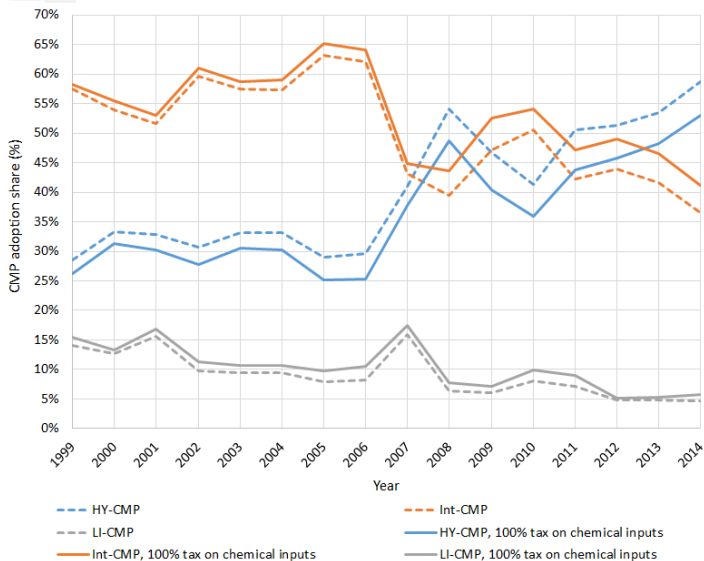
Les profits espérés annuels moyens des trois ITK



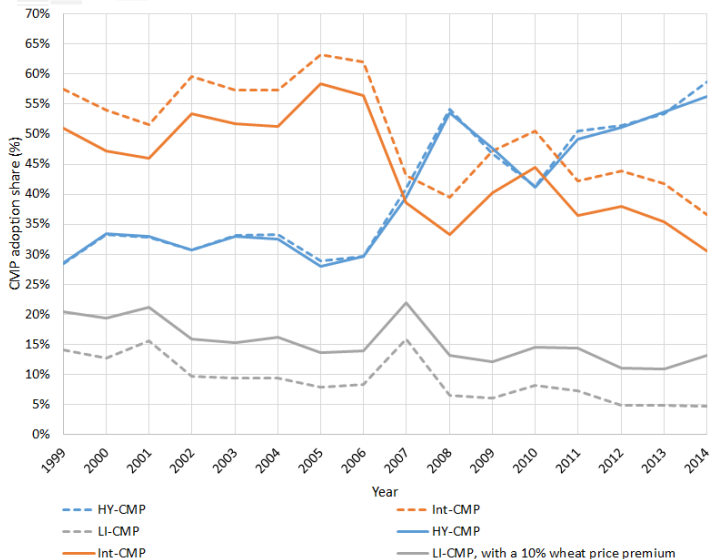
La part annuelle estimée d'agriculteurs pour chacun des trois ITK



Simulation d'une taxe sur les intrants chimiques de 100%



Simulation d'une prime de 10% sur les prix du blé



Plan de la présentation

Contexte général

Approches économétriques





Résultats

Conclusion






Retour sur les principaux résultats

- ❖ **Caractéristiques** des ITK identifiés **similaires aux ITK des agronomes** (Loyce et al., 2012 ; Rolland et al., 2003) ;
- ❖ **Motifs non-économiques** d'adoption des pratiques bas-intrants ;
- ❖ **Différences d'utilisation d'intrants** entre itinéraires bas-intrants et haut-rendement **faibles** dans un contexte où les prix du blé sont élevés ;
- ❖ **Politique de taxation** du prix des intrants a **moins d'effet** sur adoption des itinéraires bas-intrants qu'une **politique de prime**.




Références I

-  Alvarez, A. et J. del Corral (2010). « Identifying different technologies using a latent class model : extensive versus intensive dairy farms ». In : *European Review of Agricultural Economics* 37.2, p. 231-250.
-  Böcker, T. G. et R. Finger (2017). « A meta-analysis on the elasticity of demand for pesticides ». In : *Journal of Agricultural Economics* 68.2, p. 518-533.
-  Chavas, J.-P. et C. Nauges (2020). « Uncertainty, learning, and technology adoption in agriculture ». In : *Applied Economic Perspectives and Policy* 42.1, p. 42-53.
-  Dakpo, K. H. et al. (2021). « Latent Class Modelling for a Robust Assessment of Productivity : Application to French Grazing Livestock Farms ». In : *Journal of Agricultural Economics*.







Références II

-  Delyon, B., M. Lavielle et E. Moulines (1999). « Convergence of a Stochastic Approximation Version of the EM Algorithm ». In : *The Annals of Statistics* 27.1, p. 94-128.
-  Fernandez-Cornejo, J., C. Hendricks et A. Mishra (2005). « Technology adoption and off-farm household income : the case of herbicide-tolerant soybeans ». In : *Journal of Agricultural and Applied Economics* 37.3, p. 549-563.
-  Foster, A. D. et M. R. Rosenzweig (2010). « Microeconomics of technology adoption ». In : *Annual Revue of Economics* 2.1, p. 395-424.
-  Greene, W. (2005). « Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model ». In : *Journal of econometrics* 126.2, p. 269-303.
-  Griliches, Z. (1957). « Hybrid corn : An exploration in the economics of technological change ». In : *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, p. 501-522.





Références III

-  Kumbhakar, S. C., E. G. Tsionas et T. Sipiläinen (2009). « Joint estimation of technology choice and technical efficiency : an application to organic and conventional dairy farming ». In : *Journal of Productivity Analysis* 31.3, p. 151-161.
-  Lavielle, M. (2018). « Pharmacometrics models with hidden Markovian dynamics ». In : *Journal of pharmacokinetics and pharmacodynamics* 45.1, p. 91-105.
-  Loyce, C. et al. (2012). « Growing winter wheat cultivars under different management intensities in France : A multicriteria assessment based on economic, energetic and environmental indicators ». In : *Field crops research* 125, p. 167-178.
-  Martinez Cillero, M. et al. (2018). « Technology heterogeneity and policy change in farm-level efficiency analysis : an application to the Irish beef sector ». In : *European Review of Agricultural Economics* 46.2, p. 193-214.

Références IV

-  Meynard, J. M. (2008). *Introduction générale : Produire autrement : réinventer les systèmes de culture.*
-  Michler, J. et al. (2018). « Money matters : The role of yields and profits in agricultural technology adoption ». In.
-  Mzoughi, N. (2011). « Farmers adoption of integrated crop protection and organic farming : Do moral and social concerns matter ? » In : *Ecological Economics* 70.8, p. 1536-1545.
-  Orea, L. et S. C. Kumbhakar (2004). « Efficiency measurement using a latent class stochastic frontier model ». In : *Empirical economics* 29.1, p. 169-183.
-  Rabiner, L. R. (1989). « A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition ». In : *Proceedings of the IEEE* 77.2, p. 257-286.
-  Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of innovations.* New York : Free Press.

Références V

-  Rolland, B. et al. (2003). « Des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants pour des variétés rustiques de blé tendre : une alternative pour concilier économie et environnement ». In : *Le courrier de l'environnement de l'INRA* 49.49, p. 47-62.
-  Ryan, B. et N. C. Gross (1943). « The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities ». In : *Rural sociology* 8.1, p. 15.
-  Skevas, T., A. O. Lansink et S. Stefanou (2013). « Designing the emerging EU pesticide policy : A literature review ». In : *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 64, p. 95-103.
-  Suri, T. (2011). « Selection and comparative advantage in technology adoption ». In : *Econometrica* 79.1, p. 159-209.