



HAL
open science

Analyse coût-bénéfice de la réglementation sur le confinement de la chrysomèle des racines du maïs

S. Rousset, Kévin Petit, Daniel Uny

► **To cite this version:**

S. Rousset, Kévin Petit, Daniel Uny. Analyse coût-bénéfice de la réglementation sur le confinement de la chrysomèle des racines du maïs. Notes et Etudes Socio-Economiques, 2012, 36, p. 27 - p. 53. hal-00773562

HAL Id: hal-00773562

<https://hal.science/hal-00773562>

Submitted on 14 Jan 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Notes et études socio-économiques

CENTRE D'ÉTUDES ET DE PROSPECTIVE

n° 36 - Juin 2012



Sylvain Rousset, Kevin Petit, Daniel Uny

- Analyse coût-bénéfice de la réglementation sur le confinement de la chrysomèle des racines du maïs

NESE n° 36, juin 2012, pp. 27-53

CENTRE D'ÉTUDES ET DE PROSPECTIVE

SERVICE DE LA STATISTIQUE ET DE LA PROSPECTIVE

Présentation

Notes et Études Socio-Économiques est une revue du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, publiée par son Centre d'Études et de Prospective. Cette revue technique à comité de rédaction se donne pour double objectif de valoriser des travaux conduits en interne ou des études commanditées par le ministère mais également de participer au débat d'idées en relayant des contributions d'experts extérieurs. Veillant à la rigueur des analyses et du traitement des données, elle s'adresse à un lectorat à la recherche d'éclairages complets et solides sur des sujets bien délimités. D'une périodicité de deux numéros par an, la revue existe en version papier et en version électronique.

Les articles et propos présentés dans cette revue n'engagent que leurs auteurs.

Directrice de la publication :

Fabienne Rosenwald, MAAF-SG-SSP, Chef du Service de la Statistique et de la Prospective

Rédacteur en chef :

Bruno Hérault, MAAF-SG-SSP, Chef du Centre d'Études et de Prospective

Secrétaire de rédaction :

Pierre Claquin, MAAF-SG-SSP-CEP, Chargé de mission

Comité de rédaction

Jean-Claude Teurlay, MAAF-SG-SSP, Adjoint au chef du SSP

Martin Bortzmeyer, MEDDTL-CGDD, Chef de bureau

Patrick Aigrain, FranceAgriMer, Direction Marché Études et Prospective

Frédéric Courleux, MAAF-SG-SSP-CEP, Chef du BEAE

Bruno Hérault, MAAF-SG-SSP, Chef du Centre d'Études et de Prospective

Aurélié Darpeix, MAAF-DGPAAT, Chargé de mission au BPCEC

Aurélien Daubaie, MEFI-DGT, chef du BEA (POLSEC 4)

Nathanaël Pingault, MAAF-DGPAAT, Chef du BSECC

Jean-Luc Pujol, INRA, Directeur Mission d'anticipation Recherche Société et Développement durable

Sylvain Rousset, IRSTEA, Ingénieur Chercheur

Julien Vert, MAAF-SG-SSP-CEP, Chef du BPSIE, Centre d'Études et de Prospective

Sébastien Treyer, IDDRI, Directeur des programmes

Tancrede Voituriez, CIRAD, IDDRI

Pascale Pollet, MAAF-SG-SSP, Sous-directrice de la SDSSR

Composition : SSP - ANCD

Impression : SSP - BSS

Dépôt légal : à parution

ISSN : 2259-4841

Renseignements et diffusion : voir page 4 de couverture

Analyse coût-bénéfice de la réglementation sur le confinement de la chrysomèle des racines du maïs

Sylvain Rousset¹, Kevin Petit², Daniel Uny²

Résumé

Cet article présente une analyse coût-bénéfice de la réglementation sur le confinement de la chrysomèle des racines du maïs, en modélisant la dynamique spatiale d'infestation du territoire français par le ravageur. Les simulations sous SIG montrent que seule l'intensification de la lutte obligatoire combinée à un élargissement de l'actuelle zone de confinement ralentit assez nettement l'invasion biologique. Pour autant, la valeur actuelle nette des scénarios alternatifs reste faible et sensible aux paramètres écologiques retenus. Le scénario contrefactuel, sans politique de confinement, apparaît le plus pertinent ; le modèle de dispersion négligeant la dispersion par voie anthropique, pourtant déterminante, l'étude sous-estime toutefois le bénéfice à contrôler l'abondance du ravageur.

Mots clés

Analyse coût-bénéfice, modèle de diffusion, santé des plantes, chrysomèle des racines du maïs (*Diabrotica virgifera virgifera*), SIG

**Le texte ci-après ne représente pas nécessairement les positions officielles
du ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.
Il n'engage que ses auteurs.**

Les auteurs remercient Jean-Baptiste Thibord (Arvalis), Peter Baufeld et Burghard Golla (Julius Kühn-Institut Bundesanstalt für Kulturpflanzen), Philippe Reynaud et Jean-Claude Streito (Anses, Laboratoire de la Santé des Végétaux) pour leur aide précieuse dans la construction et la calibration du modèle. Ils remercient également Benjamin Zervo pour le recueil des données sur les coûts de production, et les trois relecteurs anonymes pour leurs remarques et leurs suggestions sur une première version du texte. Cet article se base sur une étude financée par le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, coordonnée par le Bureau de l'appui scientifique et technique de la Direction Générale de l'Alimentation (convention 2010-55/18760).

1. Économiste, Irstea, UR ADBX Aménités et dynamiques des espaces ruraux sylvain.rousset@irstea.fr

2. Géomaticien, Irstea, UR ADBX Aménités et dynamiques des espaces ruraux daniel.uny@irstea.fr

Introduction

Les mesures préventives contre les organismes nuisibles aux végétaux représentent un coût pour les services de l'État et les opérateurs engagés dans la mise en œuvre de ces mesures obligatoires. Pour les autorités nationales compétentes en charge de la réglementation européenne (CPHR ou *Common Plant Health Regime*), le coût annuel est évalué à près de 60 millions d'euros (Christodoulou, 2011). À cela s'ajoutent les coûts pour les exploitants agricoles, pépiniéristes, exportateurs et autres acteurs des filières.

Ces coûts doivent cependant être mis en regard des bénéfices pour la collectivité. Selon la théorie économique, les politiques phytosanitaires se justifient par les défaillances de marché. Un exemple bien connu est celui des mesures aux frontières visant à réguler des externalités, les conséquences des bioinvasions n'étant pas intégrées aux décisions des importateurs de produits agricoles, de bois ou de plantes ornementales (Touza et al., 2007 ; Oude Lansink, 2011). De même, les choix des agriculteurs confrontés à un foyer de ravageurs peuvent être individuellement pertinents mais collectivement inefficaces, ce qui justifie une lutte obligatoire à l'échelle d'un territoire.

Il existe donc un niveau de prévention efficace pour la société et l'analyse coût-bénéfice peut aider à déterminer ce niveau optimal (Hanley, 2002 ; Pearce et al., 2006 ; Treich, 2005). Bien éprouvé dans l'évaluation des projets de transport et la gestion des risques environnementaux (CGP, 2001, 2005 ; CAS, 2008, 2011), le calcul économique public commence à se développer dans la gestion des risques sanitaires en agriculture (Blanchemanche et al., 2009 ; Bordes et al., 2010). Encouragé par la rationalisation de l'action gouvernementale et le renouvellement de la réglementation phytosanitaire européenne, il peut contribuer à de meilleurs choix collectifs en matière de gestion des organismes de quarantaine ou réglementés.

L'objet de cette recherche est de procéder à une analyse coût-bénéfice de la réglementation sur le confinement de la chrysomèle des racines du maïs en France. Dans le cas de cet insecte, le seuil de nuisibilité économique (niveau d'abondance du ravageur à partir duquel les dommages sont égaux au coût du traitement) est plus élevé que le seuil de risque phytosanitaire pour la collectivité. L'effort privé de protection pourrait dès lors être insuffisant ou trop tardif pour éviter la dispersion des populations et la propagation du ravageur d'une région à l'autre. La réglementation impose dès lors certaines pratiques culturales aux exploitants des territoires où des insectes ont été capturés, l'hypothèse étant que les coûts immédiats seront plus que compensés dans le futur. La réglementation actuelle a pour finalité de ralentir l'invasion biologique en maîtrisant les populations alsacienne et Rhône-alpine où les captures se multiplient depuis plusieurs années. Le confinement contribue à protéger les autres régions de production, notamment du grand Sud-ouest.

L'article propose une démarche originale basée sur une modélisation spatiale de dispersion simulant la dynamique d'infestation de la chrysomèle. L'utilisation d'un système d'information géographique permet l'intégration des données majeures pour explorer et réaliser les simulations, produire des cartes et des données pour une analyse coût-bénéfice.

La section 1 introduit le contexte réglementaire et les conséquences des quatre scénarios envisagés. La suivante présente les hypothèses générales de l'étude et des simulations. La section 3 restitue les résultats de modélisation de la dispersion des populations de ravageur à l'échelle de l'hexagone. La section 4 considère les coûts économiques pour les exploitants agricoles pratiquant la monoculture du maïs. La dernière section présente et discute les résultats de l'analyse coût-bénéfice.

1. Le contexte

La chrysomèle des racines du maïs *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte, 1858 (Coleoptera: Chrysomelidae) est le principal ravageur du maïs en Amérique du Nord. Les larves de l'insecte consomment les racines provoquant un déficit nutritionnel et la verse de la plante dans les cas de fortes attaques, avec une atteinte au rendement en grain.

Sur le continent européen, les premiers individus ont été détectés en 1992 à Belgrade. Des populations de chrysomèles sont aujourd'hui bien implantées sur le continent, notamment en Europe centrale et en Italie du Nord. Un réseau de piégeage a été mis en place en France dès 1999 et la présence de *Diabrotica virgifera virgifera* (par la suite *Diabrotica*) a été détectée pour la première fois en août 2002 près des aéroports de Roissy et du Bourget.

Dans l'Union européenne, *Diabrotica* est un organisme réglementé de quarantaine dont l'introduction et la dissémination sont interdites (CE, 2000, 2006a, 2006b). En France, l'insecte fait l'objet de mesures obligatoires visant à l'éradication dans un périmètre de lutte établi autour des points de capture (MAP, 2000, 2008, 2009).

Après une éradication réussie des foyers franciliens, on assiste depuis 2009 à une recrudescence des captures d'insectes dans l'Est de la France, le Laboratoire de la Santé des Végétaux (LSV)¹ constatant le manque d'efficacité des mesures d'éradication mises en place dans des zones à forte densité en maïs. Il convient en effet de rappeler que la monoculture est particulièrement favorable au développement de l'insecte (Reynaud et al., 2010).

En 2010, le ministère chargé de l'agriculture a donc décidé la mise en place d'une politique de confinement des populations pour les régions Alsace et Rhône-Alpes, dès la campagne 2010-2011 (MAP, 2011). Les territoires en confinement sont la Haute-Savoie, la Savoie, l'Ain, l'Isère, le Rhône et les deux départements alsaciens (sur une bande de 40 km à l'ouest de la frontière allemande). Dans cette zone de confinement, la mesure phytosanitaire retenue consiste en l'obligation, pour tous les agriculteurs, d'une rotation sur au moins un sixième de la sole maïs de l'année 2010, avec l'obligation d'effectuer un traitement larvicide sur les parcelles faisant l'objet d'une culture de maïs à partir de la troisième année consécutive. La lutte sera renforcée en cas de capture d'insectes. Ainsi, à l'intérieur d'un périmètre d'un kilomètre de rayon autour du piège, les mesures de lutte se déclineront en fonction du niveau de capture :

- entre 1 et 29 chrysomèles capturées : rotation une année sur 6 et lutte larvicide 4 années sur 6 (à partir de la 2^e année consécutive de maïs) ;
- à partir de 30 chrysomèles capturées : rotation une année sur 3 et lutte larvicide une année sur 3 (à la 2^e année de maïs).

Selon le LSV, cette combinaison présente une certaine efficacité pour contenir les populations de chrysomèles (Reynaud, 2010). Elle reste toutefois moins efficace que la rotation du maïs une année sur 3 avec lutte larvicide 2 années sur 3, proposée par la Commission européenne dans la recommandation 2006/565/CE du 11 août 2006.

Par ailleurs, une première analyse de la situation en Bourgogne, avec des captures depuis deux années consécutives et une diffusion du nuisible, montre que cette région connaît

1. Anciennement laboratoire national de la protection des végétaux (LNPV), aujourd'hui intégré à l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses).

aussi des difficultés d'éradication. La campagne de piégeage 2010 a en outre révélé la présence de l'insecte dans le Jura et dans les Vosges. Si l'insecte n'a été re-capturé en 2011, ni en Lorraine, ni en Franche-Comté, il continue à se développer dans les régions où il était déjà présent avec de nouveaux foyers et un nombre de captures en augmentation par rapport à 2010 : 339 en Alsace sur 74 communes, 1 110 en Rhône-Alpes sur 75 sites – un foyer de l'Ain a atteint près de 800 captures – et 11 en Bourgogne sur deux foyers².

Dans ce contexte, se pose la double question de la pertinence d'une intensification de la lutte et d'une extension du confinement au territoire restant des régions Alsace et Rhône-Alpes, ainsi qu'aux autres départements de l'Est de la France.

Les scénarios étudiés dans l'analyse coût-bénéfice sont les suivants :

- le scénario de référence S_{REF} correspond au *statu quo*, c'est-à-dire la poursuite du confinement tel qu'il a été établi pour la campagne 2010-2011.
- le scénario S_{INT} consiste en une intensification des mesures de lutte, à périmètre géographique constant.
- le scénario S_{EXT} correspond à une extension du périmètre de lutte, à mesure constante, aux départements suivants : Loire, Ardèche, Drôme, Saône-et-Loire, Côte-d'Or, Vosges, Meuse, Moselle, Meurthe-et-Moselle, Jura, Doubs, Haute-Saône et Territoire de Belfort.
- le scénario S_{MAX} est un scénario « maximaliste » combinant cet élargissement de la zone de confinement avec une intensification de la lutte.

Les différences entre scénarios ne concernent que la zone de confinement (ZC). En dehors des départements concernés, la réglementation générale s'applique, avec une poursuite de la politique d'éradication dès la première capture selon l'arrêté modifié du 28 juillet 2008³.

2. Hypothèses générales de l'étude

Période d'analyse

Quand les effets d'une invasion biologique se manifestent avec un temps de latence et lorsque la phase de propagation de l'organisme est lente, les évaluateurs retiennent un horizon de planification très long, parfois infini, les pertes subies étant considérées comme irréversibles et perpétuelles (Thomas et Gozlan, 2006). On a retenu un horizon de cent ans. Celui-ci est cohérent avec le cas *Diabrotica*, les simulations du modèle de dispersion montrant que dans le scénario d'invasion la plus lente, les derniers maïs français sont atteints dans la 96^e année : au-delà les coûts sont identiques quel que soit le scénario.

2. La chrysomèle progresse également sur le territoire avec deux nouvelles régions concernées : l'Aquitaine et la Provence-Alpes-Côte d'Azur.

3. Arrêté du 28 juillet 2008 relatif à la lutte contre *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte dans sa version consolidée au 31/12/2011.

Actualisation

Le taux d'actualisation des flux monétaires établit le taux de change entre consommation future certaine et consommation immédiate (Gollier, 2007). Conformément aux recommandations du rapport « Lebègue » pour le calcul économique public (CGP, 2005), nous avons retenu un taux d'actualisation décroissant avec le temps, avec une valeur constante de 4 % pendant les trente premières années, puis une décroissance jusqu'à atteindre une valeur plancher de 2 %⁴.

Paramètres exogènes

Les producteurs de maïs grain et de fourrages sont directement impactés par les mesures de lutte obligatoire et les dégâts de chrysomèles dans les zones européennes infestées. Le maïs est l'unique plante hôte subissant des dégâts par les larves. Le variant américain adapté au maïs assolé étant absent du continent européen, seuls les plantes conduites en monoculture, c'est-à-dire avec des parcelles connaissant au moins trois années successives de maïs, sont supposées sensibles aux attaques du ravageur. Les coûts aux producteurs sont évalués à partir des marges brutes du maïs et des cultures de substitution. Dans la zone de confinement (ZC), les exploitants doivent mettre en place des mesures préventives (tableau 1).

En dehors de la ZC, les producteurs ne déclenchent une lutte que lorsque leur commune est infestée, la stratégie individuelle dépendant alors de la nuisibilité du ravageur et des contraintes locales de production. Notons que ces dispositions retenues dans l'étude ne correspondent pas à la réglementation actuelle dans laquelle la lutte est obligatoire et les modalités imposées ; mais cette réglementation porte sur des foyers isolés alors que le modèle représente une infestation par un large front d'attaque. Les éventuels nouveaux foyers isolés apparaissant en aval de ce front sont supposés éradiqués ; il n'y a donc pas de nouveau front d'attaque en dehors de celui provenant de la ZC. Par ailleurs, la ZC a vocation à contenir la dissémination des chrysomèles et non à la stopper, elle finira par être dépassée (voir

Tableau 1 - Hypothèses de lutte contre *Diabrotica*

Années	Zone	Infestation ¹	Scénarios S _{REF} et S _{EXT}	Scénarios S _{INT} et S _{MAX}
1 à 15	ZC	non	<i>obligation de rotation une année sur 6 et lutte larvicide 4 années sur 6</i>	<i>obligation de rotation une année sur 3 et lutte larvicide 2 années sur 3</i>
		oui	<i>obligation de rotation une année sur 3 et lutte larvicide une année sur 3</i>	
	Hors ZC	non	<i>pas de lutte</i>	
		oui	<i>pas de lutte obligatoire ; choix du producteur en fonction de la nuisibilité du ravageur</i>	
16 et au-delà	non	<i>pas de lutte</i>		
	oui	<i>pas de lutte obligatoire ; choix du producteur en fonction de la nuisibilité du ravageur</i>		

1. Au moins 30 chrysomèles capturées par piège.

4. Voir la formule complète dans CGP (2005, p.102).

section 3.4.). Les simulations du modèle spatial montrent qu'avec la mesure la plus efficace, la ZC est entièrement infestée dès la 15^e année. Aussi, on considère que les mesures obligatoires en zone de confinement sont abandonnées par l'administration au-delà de cette période. À partir de la 16^e année, la lutte contre *Diabrotica* devient sur l'ensemble du territoire national une affaire de choix individuel et de seuil de nuisibilité économique.

Par rapport aux autres études sur la chrysomèle (Baufeld et Enzian, 2005a, 2005b ; Macleod et al., 2005, 2007 ; Carrasco, 2009 ; Wesseler et Fall, 2010), on a cherché à différencier les effets du ravageur à la parcelle par grande zone de production homogène en mobilisant un groupe d'experts (voir section 4.2.). En revanche, les effets sur les productions spécialisées (maïs semence, doux et biologique, alimentation des palmipèdes gras) et les effets indirects sur les entreprises de l'aval ne sont pas intégrés à la présente étude. Comme l'insecte n'a jamais été capturé sur des cargaisons de grains, on peut donc négliger l'effet de restriction au commerce, essentiel pour d'autres organismes de quarantaine (Mumford et al., 2000 ; Acquaye et al., 2007). Les coûts administratifs de surveillance du territoire (réseau de pièges) et de gestion des foyers isolés en dehors de la zone de confinement sont supposés identiques entre les scénarios.

Les superficies en maïs sont considérées constantes durant la période de projection. Le rapprochement de deux enquêtes du Service de la statistique et de la prospective (SSP) permet d'estimer la surface en maïs cultivée en monoculture, donc « sensible » à la chrysomèle, à 671 825 ha sur les 2 886 963 ha cultivés en France. Cela représente un taux moyen de 23,3 %. De même, le prix du maïs et des cultures de substitution sont considérés comme exogènes et ne dépendent pas de l'évolution de l'offre française. Les paramètres écologiques et phytopathologiques sont issus d'un rapport d'expertise du LSV réalisé à la demande de la direction générale de l'alimentation (Reynaud, 2010). Le tableau 2 récapitule les principaux paramètres de modélisation et les sources de données.

Tableau 2 - Paramètres de modélisation

Paramètre	Sources
Rendements, prix et charges spécifiques	Arvalis, FranceAgriMer ¹ , Chambres d'agriculture ²
Culture de substitution au maïs	Arvalis, Chambres d'agriculture, SSP ³
Superficie en monoculture du maïs	SSP ^{3,4}
Superficie en maïs grain	SSP ⁴
Localisation des foyers	DGAL
Efficacité des mesures phytosanitaires	Avis du LSV du 6 décembre 2010

1. Enquête auprès des collecteurs de céréales, période 2005-2009.

2. Analyses de groupe transmises par CA01, CA17, CA31, CA32, CA40, CA64, CA71, CA72, CRA Midi-Pyrénées, CRA Normandie, CRA Rhône-Alpes.

3. Enquête Teruti-Lucas, période 2006-2009.

4. Recensement agricole 2000.

3. Modélisation de la dispersion des chrysomèles

3.1. Les modèles existants

Dans les évaluations de politiques phytosanitaires, plusieurs méthodes sont mobilisées pour intégrer les risques biologiques. Une approche usuelle consiste à établir des scénarios prospectifs à dire d'experts, en testant la sensibilité des résultats. Macleod et al. (2004) simulent ainsi la propagation de *Thrips palmi* en Angleterre en s'appuyant sur les invasions répertoriées au Japon et au Pays de Galles. Cette méthode présente le principal avantage d'être simple à appliquer et évite l'introduction et le calibrage de modèles mathématiques. Certains auteurs approfondissent la méthode en introduisant une probabilité subjective pour chaque scénario envisagé (Mumford et al., 2000 ; Heikkila et Peltola, 2007).

Une autre méthode repose sur des simulations de Monte-Carlo. Elle est souvent employée dans le milieu financier, car elle permet d'introduire une approche statistique du risque, utile dans l'aide à la décision. La méthode consiste à simuler, pour chacun des paramètres du risque, un grand nombre de tirages aléatoires selon les distributions de probabilités préalablement établies. Elle permet ainsi de déterminer des probabilités d'occurrence pour chacun des différents résultats. Elle est employée par Ha et al. (2010) dans l'étude sur la mouche des fruits du Queensland. Les auteurs modélisent l'apparition des mouches selon une distribution de probabilités. Cette distribution est déterminée à partir de données issues d'observations dans des régions voisines ainsi que dans d'autres pays touchés par l'insecte.

Une dernière méthode consiste en une représentation explicite du phénomène d'invasion, avec un modèle écologique couplé à un simulateur de coûts ou à un modèle sectoriel (Livingston, 2007 ; Carrasco, 2009 ; Van der Werf et al., 2010 ; Soliman et al., 2011). Les modèles bioéconomiques initialement développés dans le domaine de la gestion des pêcheries et des ressources naturelles font ainsi l'objet d'une attention croissante en santé des plantes. Breukers et al. (2007, 2008) ont développé un modèle pour étudier le cas de la pourriture brune dans la chaîne de production de pommes de terre en Hollande : l'étude compare la politique de contrôle systématique à celle où seulement 10 % des lots seraient contrôlés, le modèle simulant l'effet sur la propagation de la bactérie et ses conséquences économiques, en particulier à l'export.

Peu de travaux modélisent explicitement la dynamique de dispersion de *Diabrotica*. Dans leur analyse coût-bénéfice pour la DG SANCO, Van Nieuwenhuysse et al. (2009) font des hypothèses d'installation des populations à dire d'experts.

Baufeld et Enzian (2005a) introduisent un modèle de progression naturelle sur longue distance, qui correspond à un paysage peu compartimenté, avec une vitesse de dispersion corrigée par la proportion de maïs dans le paysage. Dans les zones de très forte densité maïsicole, la vitesse de dispersion est alors de 80 km/an. Dans les autres cas, la vitesse est corrigée pour prendre en compte la diversité des cultures. D'autres études permettent également d'estimer cette vitesse de dispersion (cf. *infra*).

Dans leur étude portant sur le Royaume-Uni, Macleod et al. (2005) reprennent le principe d'une dispersion concentrique à partir d'un foyer unique. Fall et Wesseler (2007) simulent une dispersion plus théorique à l'échelle continentale. Les auteurs intègrent un temps de latence entre l'infestation et les pertes de récolte. Celles-ci sont maximales après 5 ans et sont considérées comme linéaires durant les 5 premières années. Elles varient alors de 10 à 30 % selon le pays. Carrasco (2009) définit un modèle de propagation calibré sur des essais

réalisés en Hongrie. La dynamique des populations et le comportement des agriculteurs sont simulés avec un modèle Multi-Agents qui introduit l'hétérogénéité des comportements.

3.2. Le modèle retenu dans l'étude

Nous modélisons la dispersion spatiale des chrysomèles sur le territoire français à partir d'un programme informatique en Arc Macro Language (AML), un langage algorithmique propriétaire d'ESRI, utilisé dans son progiciel ArcInfo (ESRI 2005). Ce programme a été réalisé par le Centre fédéral allemand de recherche sur les plantes cultivées (Julius Kühn-Institut Bundesanstalt für Kulturpflanzen) pour l'évaluation de l'impact potentiel de *Diabrotica* en Allemagne (Baufeld et Enzian, 2005a). La macro permet la simulation de dispersion naturelle des populations d'insectes à partir du foyer de l'aéroport Bâle-Mulhouse. Le centre a mis à notre disposition la macro, que nous avons implémentée en utilisant les fonctionnalités d'un système d'information géographique (ArcGIS 9.3.1).

Le LSV considère que l'ensemble de la France possède un climat favorable à l'installation du ravageur et que seule l'absence du maïs est un facteur limitant son établissement. D'autres facteurs abiotiques peuvent intervenir pour expliquer l'abondance de l'insecte dans un milieu donné ou la vitesse de dispersion, comme le type de sol, la vitesse ou la direction du vent, l'hétérogénéité spatiale du milieu cultivé ou les pratiques culturales et phytosanitaires (Reynaud, 2010). Le modèle de Baufeld et Enzian est assez simple mais prend en compte les deux critères les plus importants, à savoir la vitesse de dispersion et l'importance du maïs dans le paysage agricole.

Nous l'avons modifié en introduisant un paramètre ε_j , corrigeant pour l'efficacité des mesures phytosanitaires mises en œuvre dans la zone de confinement, qui ont pour conséquence de ralentir plus ou moins nettement la progression des populations de ravageurs. Ce paramètre prend des valeurs comprises entre 0 pour un confinement complet des chrysomèles et 1 qui correspond à la situation contrefactuelle en l'absence de lutte dans la zone de confinement. Le modèle est présenté dans la formule suivante :

$$V_{ij} = V \cdot K_i \cdot \varepsilon_j$$

$$\text{avec } K_i = \min \left\{ 1; \frac{2 \cdot SM_i}{SAU_i} \right\}$$

V_{ij} : dispersion dans le canton i en fonction du scénario réglementaire j (km/an)

V : capacité maximale de dispersion (km/an)

K_i : facteur de correction pour la densité en maïs [0-1]

ε_j : facteur de correction pour l'efficacité de la lutte obligatoire [0-1]

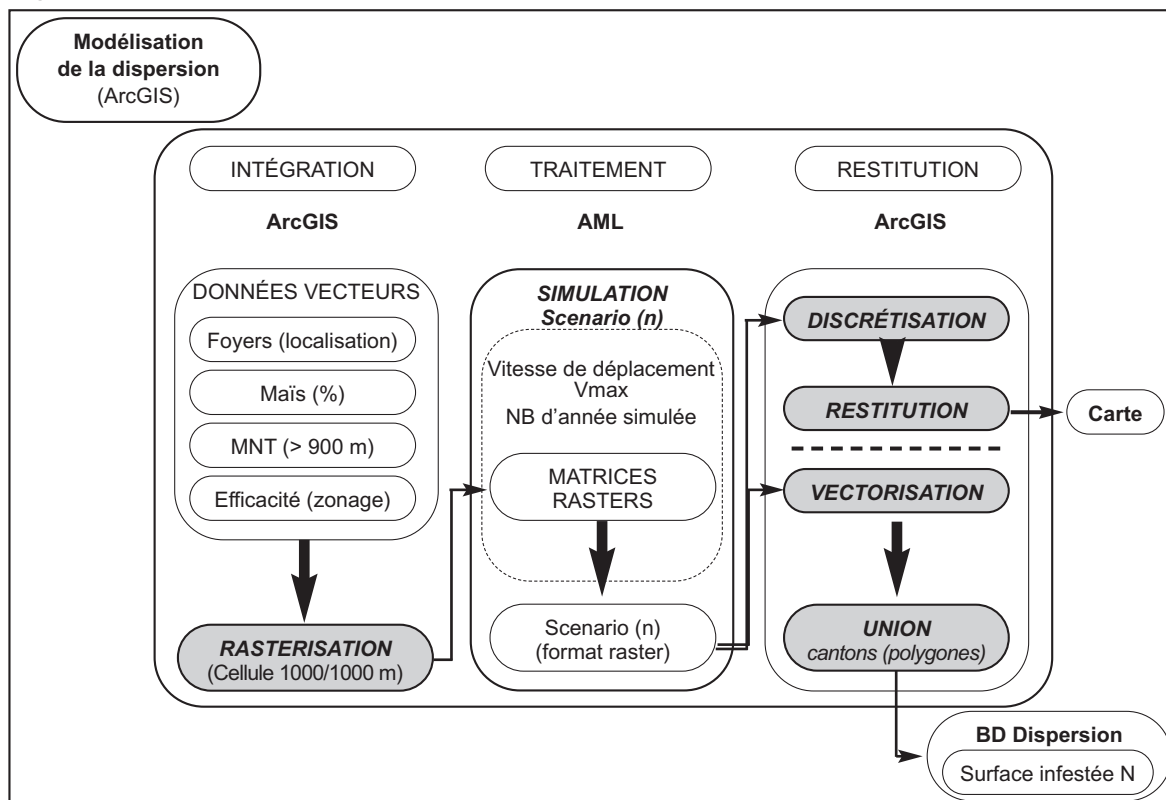
SM_i : surface en maïs (ha)

SAU_i : surface agricole utile (ha)

Le facteur K_i est compris entre 0 pour les espaces sans maïs et 1 pour les espaces dans lesquels la culture représente au moins 50 % de la superficie agricole utile. Selon le recensement agricole, seuls 96 cantons sur 3 662 dépassent le seuil de 50 %. Ils sont essentiellement localisés dans la plaine du Rhin et dans le Sud-Ouest.

Nous avons également modifié le programme pour prendre en compte la situation française en 2010 caractérisée par des foyers multiples. Le programme intègre par ailleurs une contrainte topographique, le vol des adultes étant supposé impossible au-delà de 900 m d'altitude selon l'expertise du LSV (Reynaud, 2010). Cette contrainte est introduite dans le SIG avec un modèle numérique de terrain France entière au pas de 1 000 mètres (IGN).

Figure 1 - Processus de modélisation sous SIG



Source : auteurs.

Le processus de modélisation sous SIG est présenté dans la figure 1. Les données en vecteurs telles que le pourcentage de maïs dans le canton ou l'efficacité de la mesure phytosanitaire sont intégrées au SIG. Elles sont ensuite converties en format raster, c'est-à-dire sous la forme de cellules unitaires ou pixels de 1 000 m par 1 000 m ; par exemple, pour la densité en maïs, chaque pixel contient le taux moyen du canton sur lequel il est positionné. Le programme macro simule les différents scénarios réglementaires. La dispersion se fait de proche en proche et « à 360° » à partir des pixels infestés. Au vu de la littérature et des données disponibles, on considère en effet implicitement que la dispersion de la chrysome est équiprobable dans toutes les directions (Reynaud, 2010). Les résultats de simulation sont ensuite restitués, soit sous la forme de carte après discrétisation, soit sous la forme de polygones représentant la surface infestée l'année N, N+1, N+2, etc.

3.3. Paramétrage du modèle de dispersion de l'insecte

Les valeurs des facteurs V et ε_j ont été établies partir d'une analyse de risque du LSV portant sur l'évaluation de différents scénarii de confinement de *Diabrotica virgifera* Le Conte (Reynaud, 2010).

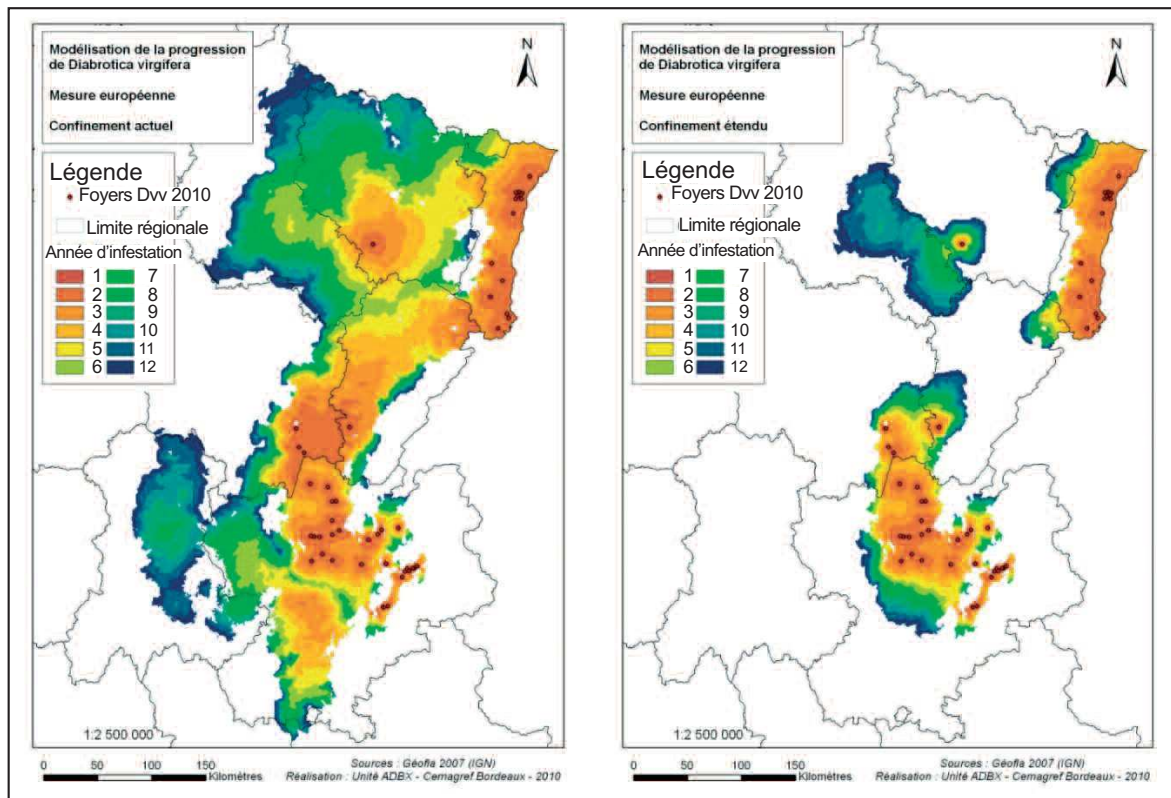
La capacité de dispersion naturelle du ravageur en zone de culture intensive du maïs et en l'absence de mesure de lutte est un paramètre central du modèle. Baufeld et Enzian (2005a) retiennent par exemple une V de 80 km/an pour l'Allemagne et l'Est de la France. Sur la base d'un atelier d'experts européens, Fall et Wessler (2007) retiennent 60 km/an pour les zones de culture dense. Les observations de terrain mesurent plutôt une progression moyenne des populations aux États-Unis, en Europe centrale et en Italie. Celle-ci peut être relativement bien approchée grâce aux plans de surveillance : « Par exemple,

les premières populations ont quitté la Serbie en 3 ans (soit 53 km/an), la Hongrie a été traversée en 5 années (soit une vitesse moyenne de 40 km/an) et la chrysome a franchi la distance de 430 km entre Belgrade et la frontière autrichienne en 10 ans (soit 43 km/an) » (Reynaud, 2010). Hemerik et al. (2004) ont mesuré la vitesse naturelle de dispersion du coléoptère en Europe entre 1992 et 2000, selon eux la vitesse moyenne s'établit à 33,3 km/an. L'exemple de la situation italienne est intéressant car bien documenté et dans des conditions culturelles proches de celles de certaines régions françaises, comme l'Aquitaine. Rapportée à la période 2000-2009, la vitesse moyenne du foyer italien s'établit à environ 37 km/an.

En fonction des données précédentes, le LSV retient une vitesse maximale de dispersion pour la France comprise entre 40 et 80 km/an (Reynaud, 2010). Nous retenons la vitesse maximale de 80 km/an, les autres valeurs servant pour l'analyse de sensibilité.

Pour évaluer l'efficacité des mesures, le LSV a réalisé un modèle théorique dont les paramètres sont le nombre initial de femelles, le nombre moyen d'œufs par femelle, le taux de mortalité œuf-adulte, le taux de *Diabrotica* avec vol à longue distance, l'efficacité moyenne de la rotation et celle des traitements larvicides. Le critère d'efficacité retenu par le laboratoire est le nombre de zones atteintes après 12 ans par des populations supérieures à 10 000 individus. D'après le modèle, sur le critère « nombre de zones atteintes » comme sur le critère « importance des populations », la meilleure stratégie pour le confinement du ravageur est celle reposant sur la recommandation européenne 2006/565/CE du 11 août 2006. La mesure française avec une intensification de la lutte en cas de capture d'adultes retarde de plusieurs

Figure 2 - Effet d'une extension de la zone de confinement avec mesure européenne¹
Scénario S_{INT} Scénario S_{MAX}



1. Vitesse de dispersion maximale V de 80 km/an.

Figure 3 - Résultat du scénario du statu quo S_{REF}

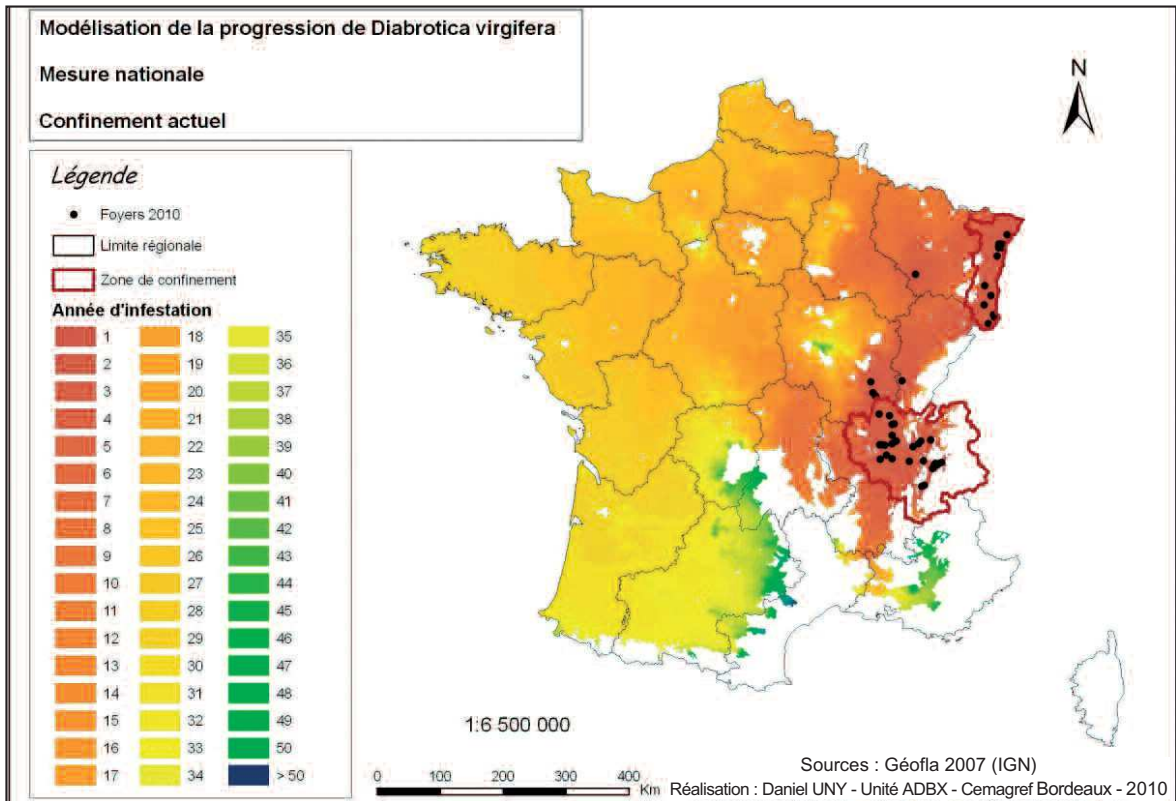
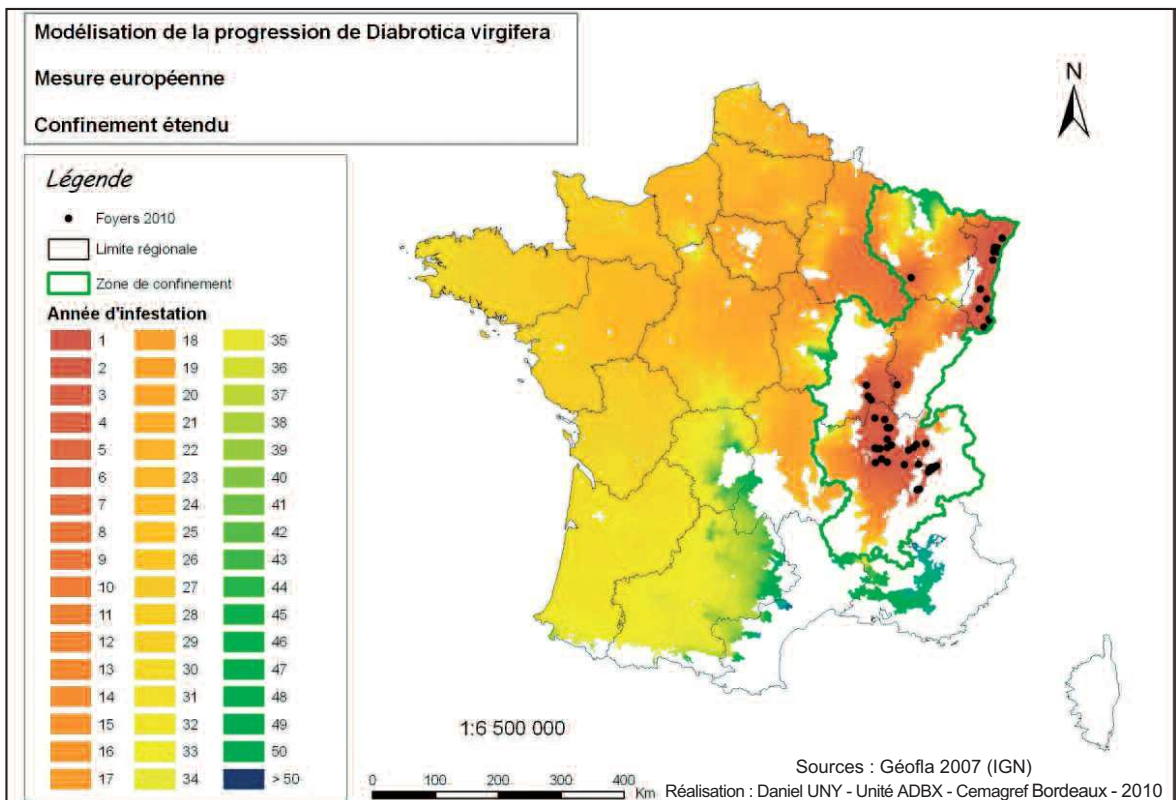


Figure 3 bis - Résultat du scénario S_{MAX}



années l'explosion des populations mais ne permet cependant pas de réduire notablement le nombre de zones contaminées (Reynaud, 2010). Les valeurs d'efficacité ε_j retenues sont respectivement de 0,2 pour la mesure européenne et 0,7 pour la mesure nationale. Une valeur de 0,7 correspond à un ralentissement théorique de 30 % de la vitesse de déplacement du front d'attaque par rapport à une situation « contrefactuelle » sans mesure. Notons qu'il s'agit d'efficacités relatives, calculées par le LSV à partir d'une situation de culture intensive du maïs, plus précisément de monoculture longue avec au moins six années successives de maïs. Ces valeurs d'efficacité ne seraient pas valides dans des cantons peu maïsicoles (K_j bas), lorsque cette faible densité est corrélée au maïs en rotation⁵ : on surestimerait alors l'efficacité de la réglementation, puisque les producteurs appliquent déjà une partie des mesures préventives.

3.4. Résultats des simulations

Selon les simulations, quand la mesure européenne est appliquée à la zone de confinement actuelle (S_{INT}), on observe un ralentissement initial du front d'attaque dans les départements frontaliers (figure 2). Toutefois, à un horizon de 12 ans, le programme n'empêche pas la dispersion des insectes vers l'Auvergne à partir des foyers rhône-alpins, ni vers le bassin parisien à partir du foyer lorrain. L'extension de la zone de confinement à 19 départements (S_{MAX}) permet de contenir plus efficacement les populations installées en incluant tous les foyers de chrysomèles et en faisant jouer un rôle tampon aux départements limitrophes comme la Loire.

À très long terme, les différences entre scénarios sont minimales. À l'horizon du siècle, en définitive seul le scénario S_{MAX} combinant l'intensification de la lutte et l'élargissement du confinement ralentit assez nettement l'invasion de *Diabrotica*, de 7 ans en moyenne par rapport aux autres scénarios, pour une V de 80 km/an (figures 3 et 3 bis).

Avec cette vitesse maximale, la vitesse de dispersion moyenne simulée est de 16 à 19 km/an selon l'orientation du front de population. Elle tombe à 7-12 km/an avec une hypothèse de V à 40 km/an et atteint 28-35 km/an avec une V de 120 km/an. Cette valeur, certes peu en rapport avec la littérature présentée ci-dessus, a cependant été retenue pour apprécier la sensibilité du résultat obtenu dans l'hypothèse centrale (80 km/h).

Il convient de noter que cette vitesse moyenne est inférieure à celles enregistrées en Europe centrale et en Italie. Selon le LSV, cela s'explique par le fait que « ces zones montrent une très forte concentration en maïs (nord Serbie, Hongrie, plaine du Pô), ce qui favorise la dispersion rapide des chrysomèles. La situation française est différente, avec des surfaces consacrées au maïs variables d'une région à l'autre, parfois très élevées (Alsace, Aquitaine) mais sans réelle continuité entre elles » (Reynaud, 2010).

5. Ce n'est pas toujours le cas : par exemple dans certains cantons alpins et pyrénéens le maïs est une culture minoritaire dans la SAU, mais les îlots avec maïs sont conduits en monoculture.

4. Coûts aux producteurs

4.1. Méthode de calcul

On utilise la méthode du budget partiel (Brossier et *al.*, 2003) pour évaluer l'impact théorique des scénarios réglementaires sur le revenu de l'exploitant. L'apparition d'un organisme de quarantaine entraîne des pertes de marge pour l'entreprise agricole, du fait des dégâts de ravageurs et des surcoûts associés aux traitements phytosanitaires et autres mesures de lutte. Comme le soulignent Soliman et *al.* (2010) dans leur revue des méthodes applicables pour évaluer les impacts des bioinvasions, cette méthode requiert peu de formalisation et s'applique directement au producteur représentatif. Elle peut être utilisée à diverses échelles, y compris à l'échelle de l'atelier ou de la parcelle agricole. L'approche peut être adaptée en intégrant les possibilités de substitution entre productions agricoles. Ainsi, dans une étude sur le flétrissement bactérien, Mumford et *al.* (2000) estiment que pour compenser les pertes de rendement subies, les agriculteurs exploiteront une surface plus importante de pomme de terre au détriment de l'orge ; les quantités de tubercules échangées sur le marché domestique sont supposées inchangées, les agriculteurs adaptant leur stratégie pour répondre à cette demande. Concernant *Diabrotica*, dans le cas de la rotation du maïs imposée par la réglementation en zone de confinement ou librement choisie par les agriculteurs en zone infestée, il convient de faire des hypothèses sur la culture de substitution.

4.2. Références européennes

Quelques références de coûts sont disponibles pour *Diabrotica*, il s'agit malheureusement de moyennes nationales masquant la diversité des situations locales. Baufeld et Enzian (2005b) n'intègrent pas le comportement des agriculteurs à leur évolution et considèrent que ceux-ci subissent une perte de rendement moyen de 10 % dans les zones de monoculture. Pour le maïs grain, cela se traduit par une perte de 112 €/ha en Italie, de 104 €/ha en France et en Allemagne. Dans l'étude pour la DG SANCO, le coût de la rotation est évalué à 150 €/ha en moyenne pour l'Italie, 175 €/ha pour la France, et 60 €/ha pour l'Allemagne (Van Nieuwenhuyse, 2009). Comme l'étude précédente, ce rapport ne différencie pas les régions de production. En Hongrie, en l'absence de lutte, la perte moyenne est estimée à 176 €/ha pour le maïs grain par Dillen et *al.* (2010). Les auteurs abordent la diversité des réponses des producteurs face au ravageur, avec un modèle d'optimisation stochastique sous contraintes, maximisant l'utilité de l'agriculteur en intégrant son aversion au risque. Les équations représentant les probabilités de dommages larvaires et l'efficacité des mesures de lutte sont construites à partir d'essais expérimentaux. Les pertes de rendement avec mesure préventive sont de 0 % (rotation), 4 % (semence OGM), 7 % (traitement de sol) et 12 % en moyenne (traitement de semence), avec une dispersion significative autour de ces moyennes. Les données technico-économiques (rendements, prix et charges variables) sont également introduites dans le modèle de simulation sous forme de distributions de probabilités. Par exemple, le prix du maïs est représenté par une loi log-normale basée sur la moyenne et l'écart type des prix entre 2000 et 2008. L'article a l'intérêt de souligner l'hétérogénéité des situations individuelles, aucune stratégie n'étant préférable dans tous les cas de figure. Ainsi, pour le maïs ensilage, il est pertinent économiquement de ne rien faire dans 8% des cas (structures de coûts particulières de ces éleveurs, faible nuisibilité de *Diabrotica*, moindre efficacité des méthodes de lutte, etc.) (Dillen et *al.*, 2010).

4.3. Estimation des coûts

Nuisibilité du ravageur

Si le coût des méthodes de lutte peut être approché facilement, il persiste une forte incertitude sur les dégâts occasionnés par des populations installées, donc sur le coût effectif aux producteurs. En effet, dans les territoires français où des insectes ont été capturés, les populations restent peu denses et soumises à des mesures de lutte obligatoire. Par ailleurs le statut d'organisme de quarantaine du ravageur interdit les essais en France.

Sur le continent européen, les premiers dégâts économiques ont été observés quelques années après les premières captures, 5 ans en Hongrie, 6 ans en Slovaquie et 9 ans en Lombardie (Thibord, 2010). Dans ces zones infestées, les pertes varient alors de quelques quintaux à 80 % du rendement, avec des différences entre pays et une forte variabilité interannuelle. Nous avons mobilisé un groupe d'experts d'Arvalis, de l'AGPM et du ministère chargé de l'agriculture pour définir les principaux critères permettant de différencier les territoires (tableau 3). Ces éléments sont développés plus largement dans le rapport final d'étude (Rousset et al., 2011).

Dans les zones européennes infestées, différentes pratiques culturales permettent de réduire la nuisibilité : variété tardive semée précocement pour esquiver les dommages sur le rendement liés aux attaques de larve, fertilisation au semis favorisant la densité racinaire et la résistance naturelle du maïs aux dommages sur le rendement. Une irrigation maîtrisée permet par ailleurs de réduire les dommages en assurant la régénérescence des racines et limite le stress hydrique lié aux dégâts physiques sur la plante. Ainsi, les maïs lombards, à 90 % irrigués, subissent des pertes de rendement limitées (Zseller, 2007). Ces pratiques ont déjà été mises en œuvre dans certaines régions françaises et assurent un niveau de protection jugé satisfaisant par les experts. Le contexte climatique joue également un rôle, avec une nuisibilité *a priori* plus forte en situation continentale chaude et sèche qu'en climat atlantique frais et humide.

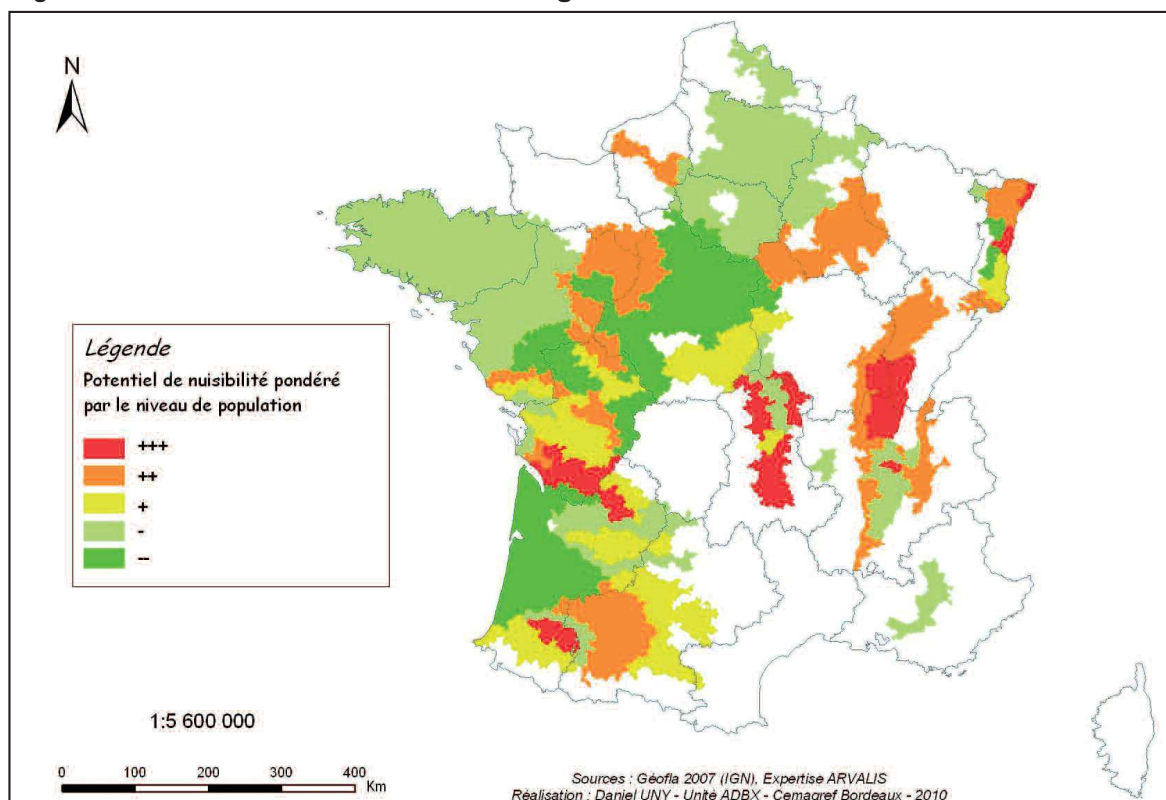
Sur cette base une appréciation qualitative a été réalisée par Arvalis en vue de classer les zones de production selon le potentiel de nuisibilité pondéré par le niveau de population (figure 4). L'institut s'est basé sur les cinquante zones de production homogènes définies dans une typologie du maïs grain français destinée à l'adaptation locale du conseil agronomique (AGPM, 2010).

Tableau 3 - Critères retenus pour évaluer la nuisibilité du ravageur

Méta-critère	Critère	Effet
Potentiel de développement des populations	Type de sol	Argile (+), sable (-)
	Assolement du maïs	Monoculture longue (+) à rotation 1 an sur 2 (-)
	Protection insecticide au semis	-
Potentiel de nuisibilité en situation de population installée	Irrigation	+
	Variété	Précoce (+) à tardive (-)
	Date de semis	Précoce (-) à tardive (+)
	Protection insecticide au semis	-
	Fertilisation starter	-

Source : Groupe d'experts Arvalis-AGPM-MAAF.

Figure 4 - Potentiel de nuisibilité du ravageur



Dégâts aux cultures

Les pertes occasionnées par les larves de chrysomèles sur les maïs en monoculture varient fortement d'un territoire à l'autre. Elles sont faibles en Lombardie, de l'ordre de quelques pour-cents, à l'opposé particulièrement élevées en Hongrie, 28 à 40 % en moyenne (Dun et al., 2010 ; Dillen et al., 2010 ; Toth, 2005). D'après le groupe d'experts, la France présente un continuum de situations agropédoclimatiques, les situations de l'Italie du Nord et d'Europe centrale pouvant être considérées comme des cas-limites bordant ce continuum. Sur la base de l'expertise et des références disponibles, une perte de rendement maximale de 2 à 32 % a été affectée à chaque territoire : 2 % (--), 4 % (-), 8 % (+), 16 % (++) et 32 % (+++).

Stratégies de lutte

Les stratégies des agriculteurs nord-américains, italiens et hongrois pour limiter les dégâts de chrysomèles sont diverses. Elles dépendent des agro-écosystèmes, des pratiques culturales et des conditions socio-économiques locales (Borioni et al., 2006 ; Thibord, 2010). Les principales méthodes de contrôle disponibles sont les pratiques culturales, en particulier la rotation du maïs, le semis décalé et la gestion du stress hydrique par l'irrigation (Zseller, 2007), la lutte chimique contre les adultes et les larves (Van Rozen et Ester, 2010), la protection intégrée qui combine ces techniques, avec des interventions en fonction de seuils de capture (Komáromi et Kiss, 2007) et les variétés génétiquement modifiées résistantes aux larves (Ivesic et al., 2007), non autorisées en France.

La rotation du maïs est la solution recommandée pour lutter contre la chrysomèle (Zseller, 2007). En Suisse, elle a permis de maîtriser le développement du ravageur (Bertossa,

2009). D'après le groupe d'experts, la rupture de monoculture une année sur trois est suffisante pour limiter les dégâts de larves. Ce raisonnement pourrait toutefois être mis en défaut en année de pression exceptionnelle, dans certains contextes climatiques. Notons que l'efficacité de la rotation est réduite quand le parcellaire est morcelé à cause des déplacements inter-parcellaires des adultes et des pontes sur la bordure du champ de maïs dans la culture voisine en l'absence de séparation entre les parcelles (Delos, 2010). La rotation une année sur trois, ou une année sur deux, permet de contrôler les dégâts de l'insecte ou de ralentir la progression des populations, mais elle ne supprime pas l'insecte. Enfin, avec des successions de culture trop simplifiées (maïs-blé-maïs-blé), un risque d'adaptation du coléoptère se pose à long terme comme constaté aux États-Unis pour la rotation maïs-soja-maïs-soja (Gray et al., 2009 ; Thibord, 2010).

Une protection chimique contre les larves peut être assurée par des insecticides néonicotinoïdes en traitement de semences ou bien par des pyréthrinoïdes de synthèse (téfluthrine, bifenthrine, cyperméthrine) microgranulés ou liquides, appliqués dans la raie de semis (Delos, 2010). Les larvicides réduisent la pression des larves sur les racines et le nombre d'adultes émergeant, avec une efficacité bonne, voire très bonne en réduction des dégâts, surtout en combinaison avec une interruption dans la monoculture.

En l'absence de mesure phytosanitaire obligatoire, on suppose que le comportement des producteurs dépend principalement du statut sanitaire de leur territoire, de la nuisibilité de l'insecte en cas d'infestation, des coûts et bénéfices privés de la lutte contre le ravageur (tableau 1).

On considère ici trois stratégies possibles dans les territoires infestés non soumis à lutte obligatoire :

- ne rien faire et tolérer la présence du ravageur.
- rotation du maïs une année sur 3.
- rotation une année sur 6 et lutte larvicide 3 années sur 6 (à partir de la 3^e année consécutive de maïs).

La première stratégie implique un dégât résiduel δ_{is} qui dépend de la zone de production. Les deux dernières stratégies sont supposées assurer le maintien du rendement en grain.

Tableau 4 - Coût de la rotation du maïs et des stratégies de lutte (€/ha/an)

Territoire ²	Rotation avec la culture de substitution	Ne rien faire	Rotation du maïs une année sur 3	Rotation une année sur 6 et lutte larvicide 3 années sur 6
Côteaux de Chalosse et du Béarn	192	338	64 ¹	72
Sables des Landes	784	32 ¹	26 ¹	171
Terres de Champagne	199	375	66 ¹	73
Terres de Groies	551	122 ¹	184	132
Vallées de Garonne amont et du Tarn	328	113	109	95 ¹

Calculs auteurs d'après données Arvalis, FranceAgriMer et Chambres d'agriculture.

1. Référence retenue pour l'étude.

2. Zonage Arvalis.

La stratégie retenue est celle qui minimise la perte de marge brute :

$$CL_i = \min \{ \delta_{is} \cdot Y_i \cdot PM + \alpha_s \cdot (MM_i - MC_i) + \beta_s \cdot PT \}$$

- CL_i : coût minimal de la lutte dans le canton i (€/ha/an)
 δ_{is} : dégât résiduel avec la stratégie s dans le canton i (%)
 α_s : maïs en rotation (%)
 β_s : maïs avec traitement larvicide (%)
 MM_i : marge brute du maïs (€/ha/an)
 MC_i : marge brute de la culture de substitution (€/ha/an)
 Y_i : rendement maïs grain (q/ha)
 PM : prix du maïs (€/q)
 PT : prix du traitement larvicide (€/ha)

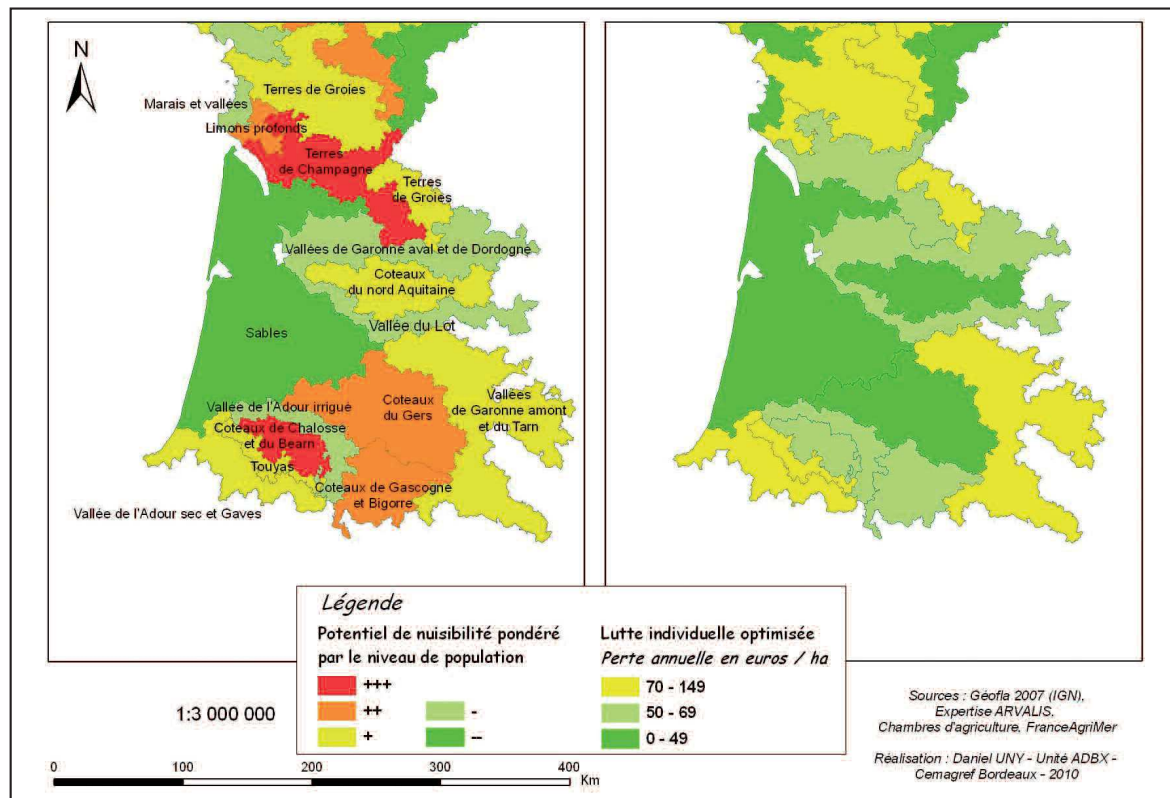
La culture de substitution au maïs est définie à partir d'une enquête auprès de 19 chambres d'agriculture régionales et départementales, croisée avec l'expertise des ingénieurs régionaux Arvalis et les successions de culture observées en France sur la période 2006-2009 par l'enquête sur l'utilisation du territoire TERUTI-LUCAS du SSP. Pour tous les territoires, la culture de substitution retenue est le blé tendre, sauf dans le val de Durance (blé dur) et les sables des Landes (sorgho). Les rendements, prix et charges opérationnelles sont issues de données Arvalis, FranceAgriMer et chambres d'agriculture (voir Rousset et al., 2011 pour le détail).

Dans le sud-ouest de la France, du fait de la faible rentabilité des cultures alternatives, certains territoires se caractérisent par un coût de la rotation particulièrement élevé, plus de 500 €/ha pour la Vallée de l'Adour irriguée, les Sables des Landes ou encore les Terres de Groies charentaises (tableau 4).

Dans ces territoires, la nuisibilité de la chrysomèle n'est pas suffisante pour justifier une rotation du maïs. La stratégie adaptée au contexte serait de ne pas lutter et d'accepter des pertes de rendements.

Dans d'autres terroirs, la rupture dans la monoculture du maïs, seule ou en combinaison avec une protection chimique, permet de réduire l'impact de la chrysomèle. Plus généralement, une optimisation de la lutte permet de réduire fortement l'impact de *Diabrotica* dans les zones infestées (figure 5).

Figure 5 - Nuisibilité et coût aux producteurs



5. Analyse coût-bénéfice de la réglementation

5.1. Principaux résultats

Valeur actuelle nette

Les résultats des simulations du modèle spatial sont restitués sous la forme de polygones représentant la surface infestée l'année N, N+1, N+2, etc. Seuls les maïs en monoculture sont impactés. Le coût aux producteurs C_{ijt} dépend de la localisation du canton, dans la zone de confinement (ZC), donc soumis à mesure de lutte obligatoire ou non. Il dépend également du statut sanitaire de ce territoire, infesté ou non. Le coût dépend enfin de la période considérée ; rappelons que, dans tous les scénarios, la ZC est démantelée dès la 16^e année.

La somme actualisée des coûts aux producteurs est exprimée par la formule suivante :

$$SAC_j = \sum_{it} \left(\frac{C_{ijt} \cdot SM_{ijt}}{(1 + a_t)^t} \right)$$

- SAC_j : somme actualisée des coûts dans le scénario j (€₂₀₁₀)
 C_{ijt} : coût aux producteurs dans le territoire i, en année t (€/ha)
 SM_{ijt} : surface en maïs monoculture (ha)
 a_t : taux d'actualisation (%)

La valeur actuelle nette (VAN) est calculée en considérant la poursuite de la politique actuelle (S_{REF}) comme la référence. On a distingué les coûts dans la zone de confinement et hors ZC.

Tableau 5 - Valeur actualisée nette des scénarios (M€₂₀₁₀)

Scénario	Coûts aux producteurs			VAN
	ZC	Hors ZC	Total	
S_{REF}	193	381	574	référence
S_{EXT}	229	343	572	+ 2
S_{INT}	219	365	583	- 9
S_{MAX}	260	297	557	+ 17

D'après les simulations, dans le scénario de référence (S_{REF}), les coûts subis par les producteurs sont de 574 M€ sur la période de cent ans, dont 193 M€ pour les agriculteurs des départements en confinement (tableau 5, première colonne). Le renforcement de la politique de confinement accroît logiquement les coûts privés, avec une accentuation de la contrainte de rotation et/ou l'extension de la zone concernée par les mesures phytosanitaires. Dans le scénario S_{MAX} , les coûts des producteurs en confinement atteignent ainsi 260 M€, soit + 67 M€ par rapport au scénario de référence. Avec S_{MAX} , les coûts de la ZC sont toutefois plus que « compensés » par les bénéfices d'une lutte plus efficace pour les producteurs de l'Ouest de la France. C'est également le cas avec le scénario S_{EXT} , mais plus modestement.

Analyse de sensibilité

Pour tester la robustesse des résultats, on a réalisé une analyse de sensibilité sur la vitesse maximale de déplacement des populations V , avec une valeur, volontairement fixée au niveau élevé de 120 km/an et une autre à 40 km/an, soit la fourchette basse dans l'expertise du LSV (Reynaud, 2010). La hiérarchie des scénarios est la même avec une invasion biologique plus lente (40). En revanche, avec une dispersion naturelle rapide (120), c'est désormais le scénario au fil de l'eau (S_{REF}) qui apparaît comme le plus intéressant.

Le principal enseignement à retenir est qu'à l'horizon du siècle, les écarts de coûts entre stratégies de lutte sont modestes, moins de 5 % entre le scénario le plus coûteux pour

Tableau 6 - Coût en fonction de la vitesse maximale de dispersion (M€₂₀₁₀)

V	40 km/an		80 km/an		120 km/an	
	Coûts	VAN	Coûts	VAN	Coûts	VAN
S_{REF}	334	référence	574	référence	709	référence
S_{EXT}	333	+ 1	572	+ 2	715	- 6
S_{INT}	356	- 22	583	- 9	735	- 26
S_{MAX}	307	+ 27	557	+ 17	727	- 18

les producteurs et le scénario le moins coûteux (tableau 6, 4^e colonne). Par ailleurs, les résultats ne résistent pas à une analyse de sensibilité sur un paramètre écologique élémentaire. Le choix d'un scénario devrait donc s'appuyer sur d'autres critères que la VAN, tels que les effets distributifs des mesures ou une évaluation des impacts environnementaux.

5.2. Discussion

Une dynamique écologique complexe

Dans leur revue de la littérature sur la dynamique des populations de *Diabrotica*, Meinke et al. (2009) soulignent les lacunes scientifiques en matière de dispersion sur longue distance. Par exemple, il reste difficile d'isoler et de pondérer les différents facteurs naturels et anthropiques facilitant la propagation (climat, topographie, densité en maïs, routes, chemins de fer et voies aériennes, etc.). En l'absence de calibration sur données d'observations, le modèle dérivé de Baufeld et Enzian (2005a) reste donc fragile. Par ailleurs, on a représenté la dispersion des populations par un « front d'attaque » gagnant de proche en proche, de façon concentrique, or l'expansion de *Diabrotica* se caractérise par un processus de progression stratifiée « dans laquelle des populations satellites disjointes sont établies par quelques adultes fondateurs qui se trouvent en avant du front principal, ce processus accélérant le taux apparent d'expansion » (Reynaud, 2010). Ce type de progression n'est pas intégré à notre modèle. La dispersion par voie anthropique (Carrasco, 2009) n'est pas non plus explicitement prise en compte. Or les piégeages de 2009 et 2010 en France caractérisent une détection qui suit les grands axes de communication : ce sont des foyers récents très vraisemblablement liés à des introductions *via* des véhicules à moteur et non pas en dispersion naturelle, qui supposerait une distribution plus aléatoire (Delos, 2011).

Pertinence d'une intervention publique

Nous avons testé un scénario contrefactuel, sans politique de confinement dans les régions Alsace et Rhône-Alpes. On fait également l'hypothèse qu'aucune mesure d'éradication n'est mise en place dans ces territoires. Par définition, l'efficacité de la lutte est nulle, soit $\varepsilon_j=1$. Le scénario contrefactuel apparaît comme le plus efficace, avec une valeur actuelle nette de + 54 M€ par rapport à S_{REF} . Pour les producteurs, le coût du confinement serait donc supérieur aux bénéfices. Ce n'est pas surprenant compte tenu des zonages et des hypothèses sur les mesures testées. En effet, dans le cas des scénarios avec mesure nationale (S_{REF} et S_{EXT}), l'efficacité intrinsèque des pratiques préventives est assez faible. Dans le scénario S_{INT} , la mesure présente une bonne efficacité, mais elle est appliquée sur une bordure trop étroite pour endiguer la dispersion de *Diabrotica*. En négligeant la dispersion de *Diabrotica* par voie anthropique, on sous-évalue toutefois les bénéfices du confinement de populations. En effet, la stratégie décidée à partir de la campagne 2010-2011 a deux objectifs : freiner la dispersion à partir des foyers existants mais également maintenir les populations à un faible niveau pour limiter le risque d'introduction accidentelle par les transports à partir de la zone infestée.

Impacts socio-économiques

On a évalué les impacts sur les producteurs avec la méthode du budget partiel. Cette approche est statique et décrit une activité isolée, elle n'intègre pas les contraintes d'entreprise dans le calcul du coût d'opportunité des activités, ni les préférences des producteurs face au risque (Hazel et Norton, 1988 ; Flichman, 2011). Elle ne permet pas d'étudier l'effet

sur le prix du produit agricole, ni les effets sur d'autres marchés, ce qui supposerait l'utilisation de modèles en équilibre partiel (Choi, 2003 ; Hoddle et al., 2003 ; Jetter et al., 2003). Par exemple, dans le cas de la chrysomèle, on n'a pas considéré l'impact sur le marché du maïs, ni les effets indirects sur les cultures de substitution. On peut toutefois raisonnablement considérer que l'effet sur l'offre globale de maïs grain et de blé tendre (principale culture de substitution) est trop limité pour impacter le prix au producteur.

Par ailleurs, on a considéré exclusivement les effets marchands, or les actions déployées pour la lutte contre un nuisible réglementé (emploi de produits phytopharmaceutiques, de variétés résistantes, d'agents de lutte biologique, modification des assolements, etc.) ont également des effets environnementaux et sociétaux. En particulier, si l'utilisation de pesticides contribue efficacement à réduire les pertes pour les producteurs, elle peut être à l'origine de divers effets sanitaires, qu'il conviendrait idéalement d'intégrer au calcul économique. Cependant, malgré une bibliométrie croissante, on manque encore de références sur la valeur monétaire des risques liés aux pesticides (Rousset et al., 2011). Concernant l'approche directe par les préférences individuelles, seuls les risques sanitaires réels ou supposés liés à la consommation fortuite de résidus de pesticides sur des produits frais (fruits et légumes) ont fait l'objet d'un nombre significatif de publications. En revanche, encore peu de travaux portent sur le secteur des grandes cultures. Une méta-analyse (Travisi et al., 2006) concluait à la difficulté à réaliser des transferts de valeur en l'état de la recherche dans le domaine de l'exposition au risque des pesticides.

Conclusion

Le présent article développe une analyse coût-bénéfice de différents scénarios de gestion du risque posé par la chrysomèle des racines du maïs (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte). Plus précisément, il s'agissait de comparer la poursuite de la stratégie de confinement des populations de *Diabrotica* mise en œuvre à partir de 2010-2011 dans six départements de l'est de la France (scénario de référence), avec trois scénarios alternatifs de renforcement de cette stratégie. Le calcul économique s'appuie sur une démarche de modélisation spatiale de la dynamique des populations de ravageurs, couplée à une évaluation des impacts différenciée par zone de production.

À partir de l'analyse de sensibilité des résultats au paramètre « vitesse maximale de diffusion », aucun scénario n'apparaît supérieur aux autres en termes de valeur actuelle nette. Les surcoûts à court terme pour les agriculteurs situés dans la zone de confinement et les bénéfices à plus long terme tendent à s'équilibrer. Le choix d'un scénario ne peut se justifier à partir du seul critère de la valeur actuelle nette. Notons qu'au-delà des valeurs moyennes de paramètres (efficacité de la lutte, vitesse de dispersion), l'analyse de risque biologique appuyant l'étude ne permet pas d'affecter une probabilité aux différentes occurrences, qui permettrait de calculer la variance de la VAN mesurant le risque attribuable à chaque scénario.

Le traitement spatialisé du processus de dispersion temporelle de *Diabrotica* apporte une approche visuelle et dynamique intéressante, tout en gardant à l'esprit qu'une prise en compte additionnelle de phénomènes anthropiques (transport, réseaux routiers, etc.)

permettrait une intégration de ces causes aggravantes et accélératrices d'infestation. La fréquence de capture et le nombre d'individus capturés pourraient être des variables également intéressantes à prendre en compte, de manière à pondérer les impacts de dispersion des foyers. Ce couplage exploratoire entre un système d'information géographique et une approche simplifiée des impacts socio-économiques permet d'envisager des expérimentations possibles, sur d'autres espèces, voire à des échelles spatiales plus fines.

Bibliographie

- Acquaye A.K.A., Alston J.M., Hyunok L., Sumner D.A., 2007, Hurricanes and invasive species. The economics and spatial dynamics of eradication policy. Oude Lansink A. (ed), *New Approaches to the Economics of Plant Health*. Springer, Dordrecht, pp 101-116.
- AGPM, 2010, « Segmentation de la production de maïs en France : un outil pour la filière », *AGPM-Info* (369).
- Baufeld P., Enzian S., 2005a, "Diabrotica virgifera virgifera, its potential spread and economic and ecological consequences in Germany". Alford D.V., Backhaus G.F. (eds.), *Plant protection and plant health in Europe: introduction and spread of invasive species*. Humboldt University, Berlin.
- Baufeld P., Enzian S., 2005b, "Maize Growing, Maize High-Risk Areas and Potential Yield Losses due to Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) Damage in Selected European Countries". Vidal S., Kuhlmann U., Edwards C. R. (eds.), *Western Corn Rootworm. Ecology and Management*. CABI Publishing, Wallingford.
- Bertossa M., 2009, « Chrysomèle des racines du maïs : un ravageur sous contrôle en Suisse », *Revue Suisse d'Agriculture*, vol 41, n° 3, pp 190-191.
- Blanchemanche S., Treich N., Tello R., 2009, *Évaluation socio-économique en appui à la gestion des risques alimentaires*, INRA-Met@risk, Paris, 69 p.
- Bordes S., Parisot P., Mahé T., 2010, « Analyse socio-économique et décision publique en matière d'alimentation », *Analyse*, n° 20 (juin 210).
- Boriani M., Agosti M., Kiss J., Edwards C. R., 2006, "Sustainable management of the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte (Coleoptera: Chrysomelidae), in infested areas: experiences in Italy, Hungary and the USA", *Bulletin OEPP*, vol 36, n° 3, pp 531-537.
- Breukers, A., Mourits, M., Van der Werf, W.V.D., Oude Lansink, A., 2008, "Costs and benefits of controlling quarantine diseases: A bio-economic modeling approach", *Agricultural Economics*, vol 38, n° 2, pp 137-149.
- Breukers A., Van der Werf W., Kettenis D.L., Mourits M., Oude Lansink A., 2007, "Evaluating the cost-effectiveness of brown-rot control strategies. Development of a bio-economic model of brown-rot prevalence in the Dutch potato production chain", *Phytopathology*, vol 97, n° 8, pp 945-957.

- Brossier J., Chia E., Marshall E., Petit M., 2003, *Gestion de l'exploitation agricole familiale : éléments théoriques et méthodologiques*, Educagri Editions, Dijon.
- Carrasco L.R., 2009, *Modelling for Pest Risk Analysis: Spread and Economic Impacts*. Centre for Environmental Policy. PhD Thesis, Imperial College London.
- CAS, 2009, *La valeur tutélaire du carbone*. Rapport de la commission présidée par Alain Quinet, rapporteur général Luc Baumstark, Centre d'analyse stratégique. La Documentation française, Paris.
- CAS, 2011, *Le calcul du risque dans les investissements publics*. Rapport de la mission présidée par Christian Gollier, rapporteur général Luc Baumstark, Centre d'analyse stratégique, La Documentation française, Paris.
- CE, 2000, Directive 2000/29/CE du Conseil du 8 mai 2000 concernant les mesures de protection contre l'introduction dans la Communauté d'organismes nuisibles aux végétaux ou aux produits végétaux et contre leur propagation à l'intérieur de la Communauté.
- CE, 2006a, Décision communautaire 2006/564/CE du 11 août 2006 modifiant la décision 2003/766/CE sur les mesures d'urgence destinées à prévenir le développement de *Diabrotica* dans la communauté européenne.
- CE, 2006b, Recommandation communautaire 2006/565/CE du 11 août 2006 sur les programmes de confinement destinés à limiter une nouvelle progression de *Diabrotica* dans les zones de la communauté où sa présence est confirmée.
- CGP, 2001, *Transports : choix des investissements et coûts des nuisances*. Rapport du groupe de travail présidé par Marcel Boiteux, rapporteur général Luc Baumstark, Commissariat Général du Plan, La Documentation française, Paris.
- CGP, 2005, *Révision du taux d'actualisation des investissements publics*. Rapport du groupe d'experts présidé par Daniel Lebègue, Commissariat Général du Plan, Paris.
- Choi J.-S., Sumner D.A., Webster R.K., Greer C.A., 2003, "Economic Consequences of a New Exotic Pest: The Introduction of Rice Blast Disease in California". Sumner D.A (ed.), *Exotic Pests and Diseases. Biology and Economics for Biosecurity*, Iowa State Press, Ames, Iowa, pp 215-224.
- Christodoulou M., 2011, *Evaluation of the Community Plant Health Regime*. Final report for European Commission - DG SANCO, Food Chain Evaluation Consortium - Civic Consulting - Van Dijk MC - Arcadia International - Agra CEAS, Brussels, 420 p.
- Delos M., 2010, Intérêt comparé des substances actives pour le contrôle des larves de *Diabrotica virgifera*, autres options de lutte, communication personnelle (23/07/2010). Direction générale de l'alimentation, Sous-Direction de la qualité et de la Protection des Végétaux.
- Delos M., 2011, Communication personnelle (19/04/2011). Direction générale de l'alimentation, Sous-Direction de la qualité et de la Protection des Végétaux.

- Dillen K., Mitchell P.D., Tollens E., 2010, "On the competitiveness of *Diabrotica virgifera virgifera* damage abatement strategies in Hungary: a bio-economic approach", *Journal of Applied Entomology*, vol 134, n° 5, pp 395-408.
- Dun Z., Mitchell, P.D., Agosti M., 2010, "Estimating *Diabrotica virgifera virgifera* damage functions with field trial data: applying an unbalanced nested error component model", *Journal of Applied Entomology*, vol 134, n° 5, pp 409-419.
- ESRI, 1995, *ARC Macro Language*. ESRI Press, 828 p.
- Fall E.H., Wesseler J., 2007, *Report on Environmental and Socio-Economic Analysis*. D02.14. WP2 Task 3. Diabr-Act - Harmonise the strategies for fighting *Diabrotica virgifera virgifera*. Specific Support Action FP6-2004-SSP-4-022623.
- Flichman G.
2011, *Bio-Economic Models Applied to Agricultural Systems*, Springer, Dordrecht.
- Gollier C.
2007, « Comment intégrer le risque dans le calcul économique ? ». *Revue d'Économie Politique*, vol 117, n° 2, pp 209-223.
- Gray M.E., Sappington T.W., Miller N.J., Moeser J., Bohn M.O., 2009, "Adaptation and Invasiveness of Western Corn Rootworm: Intensifying Research on a Worsening Pest", *Annual Review of Entomology*, vol 54, pp 303-321.
- Ha A., Larson K., Harvey S., Fisher B., Malcolm B., 2010, *Benefit-cost analysis of options for managing Queensland fruit fly in Victoria*. Evaluation Report Series No. 11. Victoria State, Department of Primary Industries, Economics and Policy Research Branch, Policy and Strategy Group, 60 p.
- Hanley N., 2002, "Cost-benefit analysis and environmental policy and management". Van Den Bergh J.C.J.M. (ed.), *Handbook of Environmental and Resource Economics*, Edward Elgar Pub, Cheltenham.
- Hazel P.B., Norton R.D., 1986, *Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture*, Macmillan Publishing Company, New York.
- Heikkilä J., Peltola J., 2007, "Phytosanitary measures under uncertainty. A cost-benefit analysis of the Colorado potato beetle in Finland". Oude Lansink A (ed), *New Approaches to the Economics of Plant Health*, Springer, Dordrecht, pp 131-144.
- Hemerik L., Busstra, C., Mols P., 2004, "Predicting the temperature-dependent natural population expansion of the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera*", *Entomologia Experimentalis et Applicata*, vol 111, n° 1, pp 59-69.
- Hoddle M.S., Jetter K.M., Morse J.G., 2003, "The economic impact of *Scirtothrips perseae* Nakahara (Thysanoptera: Thripidae) on California avocado production", *Crop Protection*, vol 22, n° 3, pp 485-493.
- Ivezic M., Raspudic E., Brmez M., Majic I., 2007, *State-of-the-art report on resistance and tolerance in European maize cultivars*. D01.08. WP1 Task 5.1. Diabr-Act - Harmonise the strategies for fighting *Diabrotica virgifera virgifera*, Specific Support Action FP6-2004-SSP-4-022623.

- Jetter K.M., Civerolo E.L., Sumner D.A., 2003, "Ex-Ante Economics of Exotic Disease Policy Citrus Canker in California". Sumner D.A (ed.), *Exotic Pests and Diseases, Biology and Economics for Biosecurity*. Iowa State Press, Ames, Iowa, pp 121-149.
- Komáromi J.P., Kiss J., Pálincás Z., István S., Toepfer S., 2010, *Western Corn Rootworm in Europe: Integrated Pest Management is the only sustainable solution*. ENDURE Maize Case Study - Guide Number 2: European Network for the Durable Exploitation of Crop Protection Strategies.
- Livingston M.J., 2007, "The Mediterranean Fruit Fly and the United States: Is the Probit 9 Level of Quarantine Security Efficient", *Canadian Journal of Agricultural Economics*, vol 55, n° 4, pp 515-526.
- Macleod A., Baker R., Cannon R., 2005, "Costs and benefits of European Community (EC) measures against an invasive alien species- current and future impacts of *Diabrotica virgifera virgifera* in England & Wales", *Plant Protection and Plant Health in Europe, Introduction and Spread of Invasive Species*, Humboldt University, Berlin.
- Macleod A., 2007, "The benefits and costs of specific phytosanitary campaigns in the UK. Examples that illustrate how science and economics support policy decision making". Oude Lansink A. (ed), *New Approaches to the Economics of Plant Health*. Springer, Dordrecht, pp 163-177.
- Macleod A., Head J., Gaunt A., 2004, "An assessment of the potential economic impact of Thrips palmi on horticulture in England and the significance of a successful eradication campaign", *Crop Protection*, vol 23, n° 7, pp 601-610.
- MAP, 2000, Arrêté modifié du 31/07/2000 établissant la liste des organismes nuisibles aux végétaux, produits végétaux et autres objets soumis à des mesures de lutte obligatoire.
- MAP, 2008, Arrêté modifié du 28 juillet 2008 relatif à la lutte contre *Diabrotica*.
- MAP, 2009, Arrêté du 24 juillet 2009 fixant les modalités de participation de l'État aux frais nécessairement occasionnés par la lutte contre *Diabrotica*.
- MAP, 2011, Plan de contrôle *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte en culture de maïs - Campagne 2011, Note de service DGAL/SDQP/N2011-8136 du 20 juin 2011.
- Meinke L.J., Sappington T.W., Onstad D.W., Guillemaud T., Miller N.J., Komáromi J., Levay N., Furlan L., Kiss J. et Toth F., 2009, "Western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte) population dynamics", *Agricultural and Forest Entomology*, vol 11, pp 29-46.
- Mumford J.D., Temple M.L., Quinlan M.M., Gladders P., Blood-Smyth J.A., Mourato S.M., Makuch Z., Crabb R.J., 2000, *Economic Evaluation of MAFF's Plant Health Programme*, Report to Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. ADAS Consulting Ltd / Imperial College of Science, Technology and Medicine, London.
- OEPP, 2011, *Diabrotica virgifera virgifera*. Organisation Européenne et Méditerranéenne pour la Protection des Plantes. http://www.eppo.org/QUARANTINE/Diabrotica_virgifera/diabrotica_virgifera.htm.

- Oude Lansink A.G.J.M., 2011, "Public and private roles in plant health management", *Food Policy*, vol 36, n° 2, pp 166-170.
- Pearce D.W., Atkinson G., Mourato S., 2006, *Cost-Benefit Analysis and the Environment, Recent Developments*, OECD, Paris.
- Reynaud P., 2010, *Avis portant sur l'évaluation de différents scénarii de confinement de Diabrotica virgifera Le Conte*. Expertise demandée le 25 août 2010 (LDL BSSV/2010_08-019) par la Sous-direction de la Qualité et de la Protection des végétaux (SDQPV), Laboratoire national de la protection des végétaux.
- Rousset S., Zervo B., Petit K., Uny D., 2011, *Évaluation socio-économique en appui de la décision dans la gestion du risque phytosanitaire. Étude méthodologique et application au cas de la chrysomèle des racines du maïs Diabrotica virgifera virgifera Le Conte*, Rapport d'étude pour le ministère de l'Alimentation, de l'agriculture et de la pêche. Cemagref, UR ADBX, Cestas.
- Soliman T.A.A, Mourits M.C.M., Oude Lansink A.G.J.M., Van der Werf W., 2010, "Economic impact assessment in pest risk analysis", *Crop Protection*, vol 29, pp 517-524.
- Soliman T.A.A., Hengeveld G., Robinet C., Mourits M.C.M., Van der Werf, W., Oude Lansink A.G.J.M., 2011, *A Risk Assessment Model on Pine Wood Nematode in the EU*, XIIIth Congress of the European Association of Agricultural Economists, August 30 to Sept. 2, 2011, Zurich, Switzerland, ETH Zurich.
- Thibord J. B., 2010, « La Chrysomèle des racines du maïs. Analyses de la situation dans les pays voisins : Quels enseignements retenir ? », Séminaire technique Arvalis-Institut du végétal. Sainte Croix en Plaine, 12 mai 2010.
- Thomas A., Gozlan E., 2006, « La stratégie d'évaluation des politiques de lutte contre les espèces envahissantes : inconvénients et difficultés de l'analyse coûts / bénéfiques, méthodes alternatives de critères de décision ». Beauvais M.-L., Coléno A. (ed), *Les espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien. Un risque environnemental et économique majeur*, IRD Editions, Collection Expertise Collégiale, Paris.
- Toth V., 2005, "Protection against western corn rootworm adults (*Diabrotica virgifera*) in Bannanya County (Hungary)", *Journal of Central European Agriculture*, vol. 6, pp 309-316.
- Touza J., Dehnen-Schmutz K., Jones G., 2007, "Economic Analysis of Invasive Species Policies". Nentwig W. (ed), *Ecological Studies*, vol 193 : Biological Invasions. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, pp 353-366.
- Travisi C.M., Nijkamp P., Vindigni G., 2006, "Pesticide risk valuation in empirical economics: a comparative approach", *Ecological Economics*, vol 56, pp 455- 474.
- Treich N., 2005, *L'analyse coût-bénéfice de la prévention des risques*, Version préliminaire, INRA-LERNA, Toulouse.

- Van der Werf W., Robinet C., Kehlenbeck H., 2010, *Generic spread module - Purpose and concepts*. PRATIQUE-EPPO Workshop on Pest Risk Analysis, Towards a new EPPO decision support scheme for Pest Risk Analysis. Hammamet (TN), 2010-11-23/26.
- Van Nieuwenhuysse L., 2009, *Analysis of the economic, social and environmental impacts of options for the longterm EU strategy against Diabrotica virgifera (Western Corn Rootworm), a regulated harmful organism of maize, to support the drafting of the Commission Impact Assessment*. Final report for European Commission - DG SANCO. Food Chain Evaluation Consortium - Civic Consulting - Van Dijk MC - Arcadia International - Agra CEAS, Brussels, 170 p.
- Van Rozen K., Ester A., 2010, "Chemical control of *Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte". *Journal of Applied Entomology*, vol 134, n° 5, pp 376-384.
- Wesseler J., Fall E.H., 2010, "Potential damage costs of *Diabrotica virgifera* infestation in Europe; the 'no control' scenario", *Journal of Applied Entomology*, vol 134, n° 5, pp 385-394.
- Zseller I.H., 2007, *Case studies on cultural control measures on WCR control*. D01.26. WP1 Task 6.3. Diabr-Act - Harmonise the strategies for fighting *Diabrotica virgifera*, Specific Support Action FP6-2004-SSP-4-022623.

Recommandations aux auteurs

● Format

Les manuscrits sont présentés sous format Word ou Writer en police de taille 12. Ils ne dépassent pas 50 000 signes espaces inclus, y compris tableaux, graphiques, bibliographie et annexes.

Sur la première page du manuscrit doivent figurer :

- le titre de l'article ;
- le(s) nom(s) de(s) auteur(s) et leur(s) institution(s) ;
- le résumé de l'article (800 signes espaces compris) en français et en anglais ;
- trois à six mots-clés en français et en anglais.

Toutes les sources des chiffres cités doivent être précisées. Les sigles doivent être explicités. Lorsque l'article s'appuie sur une enquête, des traitements de données, etc., un encadré présentant la méthodologie est souhaité. Pour une meilleure lisibilité, les notes de bas de page doivent être limitées en nombre et en longueur.

Les références bibliographiques sont présentées ainsi :

- a** - Dans le texte ou les notes, chaque référence citée est constituée du nom de l'auteur et de l'année de publication entre parenthèses, renvoyant à la bibliographie en fin d'article. Par exemple : (Griffon, 2004).
- b** - À la fin de l'article, les références sont classées par ordre alphabétique d'auteurs et présentées selon les normes suivantes :
 - pour un ouvrage : nom de l'auteur, initiale du prénom, année, *Titre d'ouvrage*, ville, maison d'édition ;
 - pour un article : nom de l'auteur, initiale du prénom, année, « Titre d'article », *Revue*, n° de parution, mois, pages.

Seules les références explicitement citées ou mobilisées dans l'article sont reprises en fin d'article.

● Compléments pour mise en ligne de l'article

Dans la perspective de la publication de l'article sur le site internet du CEP et toujours selon leur convenance, les auteurs sont par ailleurs invités à :

- adresser le lien vers leur(es) page(s) personnelle(s) à caractère « institutionnelle(s) » s'ils en disposent et s'ils souhaitent la(les) communiquer ;
- communiquer une liste de références bibliographiques de leur choix utiles pour, contextualiser, compléter ou approfondir l'article proposé ;
- proposer une liste de lien vers des sites Internet pertinents pour se renseigner sur le sujet traité ;
- proposer, le cas échéant, des annexes complémentaires ou des développements utiles mais non essentiels (précisions méthodologiques, exemples, etc.) rédigés dans la phase de préparation de l'article mais qui n'ont pas vocation à intégrer la version livrée, limitée à 50 000 caractères. Ces compléments, s'ils sont publiables, viendront enrichir la version Internet de l'article.

● Procédure

Tout texte soumis est lu par au moins 3 membres du comité de rédaction. Deux fiches de lecture rédigées par un des membres du comité de rédaction et par un expert extérieur sont transmises aux auteurs. La décision de publication est prise collectivement par le comité de rédaction. Tout refus est argumenté.

Les manuscrits sont à envoyer, en version électronique uniquement, à :

- Pierre Claquin, secrétaire de rédaction : pierre.claquin@agriculture.gouv.fr
- Bruno Héroult, rédacteur en chef : bruno.herault@agriculture.gouv.fr

● Droits

En contrepartie de la publication, l'auteur cède à la revue *Notes et Études Socio-Économiques*, à titre exclusif, les droits de propriété pour le monde entier, en tous formats et sur tous supports, et notamment pour une diffusion, en l'état, adaptée ou traduite. À la condition qu'il demande l'accord préalable à la revue *Notes et Études Socio-Économiques*, l'auteur peut publier son article dans un livre dont il est l'auteur ou auquel il contribue à la condition de citer la source de première publication, c'est-à-dire la revue *Notes et Études Socio-Économiques*.

Notes et études socio-économiques

Tous les articles de *Notes et Études Socio-Économiques* sont téléchargeables gratuitement sur :

<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr>

- Rubrique **Publications > Notes et études socio-économiques**

<http://agriculture.gouv.fr/centre-d-etudes-et-de-prospective>

- Rubrique **Publications du CEP > Notes et études socio-économiques**

Abonnement à l'alerte électronique en envoyant un message à l'adresse :

revue-nese@agriculture.gouv.fr avec le sujet « **abonnement** »

Notes et études socio-économiques

Ministère de l'Agriculture,
de l'Agroalimentaire et de la Forêt
Secrétariat Général
Service de la Statistique et de la Prospective
Centre d'études et de prospective

Renseignements :

Service de la Statistique et de la Prospective
Centre d'Études et de Prospective
12, rue Henri-Rol-Tanguy –
TSA 70007 –
93555 Montreuil sous Bois Cedex

tél. : 01.49.55.85.05

Diffusion :

Service de la Statistique et de la Prospective
Bureau des ventes – BP 32688
31326 – Castanet Tolosan cedex

Vente au numéro : agreste-ventes@agriculture.gouv.fr
fax : 05.61.28.93.66

Abonnement : tél. : 05.61.28.93.05