

Le contrôle autocide des insectes ravageurs de grande dimension. Une méthode efficace et durable en rapide développement.

par Bernard Blum

Membre correspondant de l'Académie d'Agriculture de France

En 1989, alors que le monde était concentré sur des événements politiques de grande ampleur, peu se souciaient de la découverte en 1988 dans le nord-ouest Jamahiriya de Lybie, de la lucilie bouchère, *Cochliomyia hominivorax* (Coquerel) ; une invasion venue d'Amérique du Nord, seul pays où cet insecte avait été détecté jusqu'ici. Il ne fallut pas attendre plus longtemps que mars 1989, pour que la FAO confirme la présence de cas de myiase en Lybie. Parmi les mouches, la lucilie bouchère, désignée sous le nom de « dévoreuse d'hommes », est l'une des espèces les plus redoutées. Ce diptère au corps bleuté profite de petites blessures cutanées pour injecter en une dizaine de secondes jusqu'à 400 œufs qui ont l'apparence d'une masse blanchâtre. Une femelle peut ainsi renouveler ce type de ponte dans un hôte et déposer jusqu'à 5 000 œufs au cours de sa très brève existence qui ne dépasse pas 20 jours. Les œufs éclosent en quelques heures et donnent naissance à des larves de moins d'un millimètre. Carnivores, elles sont munies de crochets qui leur permettent de s'enfoncer dans la peau d'où le nom « ver qui se visse ». Ces larves se nourrissent de la chair animale ou humaine. En quelques jours, la petite plaie se transforme en plaie béante qui peut atteindre 10 cm de profondeur. Au fur et à mesure que le trou grandit, les asticots grandissent. La plaie devient purulente et dégage une odeur d'ammoniacque. Cette odeur attire d'autres lucilies bouchères qui, à leur tour, pondent leurs œufs. La victime est rongée de l'intérieur par des centaines, voire des milliers de vers, et succombe en moins de 15 jours. Malheureusement, on ne peut se protéger de ce fléau car si l'hôte n'a aucune plaie, la mouche pénètre dans l'organisme par les orifices naturels : sexe, rectum, narines, bouche ou oreilles et même les yeux. Dans ce cas, les asticots dévorent l'intérieur du crâne en provoquant des hémorragies.

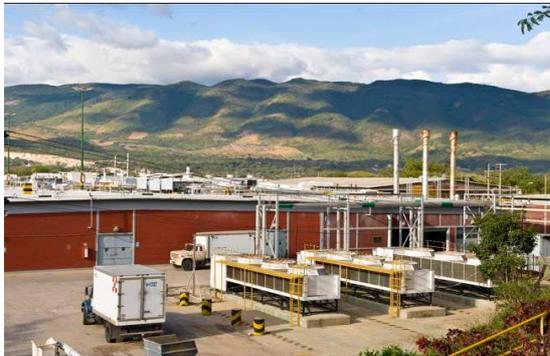


Adulte et larve de lucilie bouchère
Photos USDA

Bien qu'encore limitée à cette zone nord-centrale de Lybie, la lucilie menaçait d'immenses territoires d'Afrique du Nord : Tunisie, Algérie, Tchad, Egypte et Soudan. « Une catastrophe majeure », selon D.A. Linqvist et M. Abuzowa, vite nommés responsables du programme de lutte. Les méthodes classiques de lutte risquaient de coûter plus de 250 Mio de dollars, sans éviter une hécatombe parmi la faune sauvage et le bétail et des risques graves parmi les populations exposées. Dès le mois de juin 1989, 6 millions de têtes de bétail malades étaient recensées et 2 millions étaient déjà mortes.

Tenant compte des résultats obtenus au Texas (USA), il fut décidé de mettre en œuvre, avec l'aide de la FAO, du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), du Fonds international de développement agricole (FIDA) et de l'Agence internationale d'énergie atomique (AIEA), un programme autocide d'éradication par lâcher massifs d'insectes stériles (SIT).

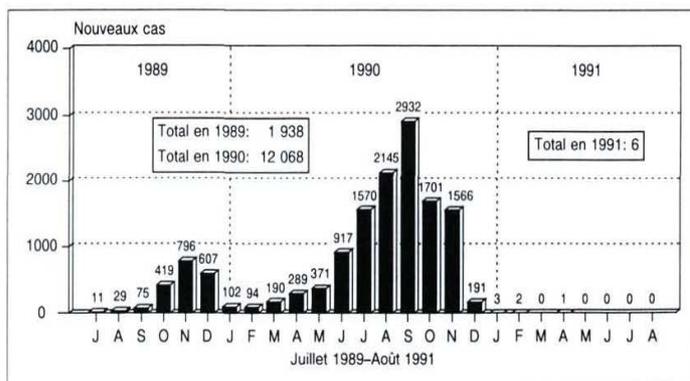
Dès 1990, dans le cadre de péripéties diplomatiques dignes d'un roman d'espionnage, plus de 250 Millions sont mobilisés pour faire un test d'efficacité et traiter l'ensemble de la zone. Produits en masse dans l'usine USDA de Tuxla Gutierrez (Mexique), conditionnés dans des boîtes en carton, les insectes stériles ont été transportés par avion lâchés par les populations dans toute la zone concernée. En novembre 1991, la lucilie est « éradiquée » de Lybie. Le succès est passé pratiquement inaperçu du fait d'un autre évènement politique : la guerre du Golfe.



Usine USDA de Tuxla Gutierrez, Mexique



Lâcher de mouches stériles



Evolution de la myiase en Lybie de 1989 à 1991

Description et historique et du concept de la technique du lâcher d'insectes stériles (TIS)

La Technique de l'Insecte Stérile (TIS) est la première méthode de lutte contre les insectes ravageurs qui utilise la génétique. Elle consiste à reproduire des quantités énormes d'insectes cibles dans une "usine" et à stériliser les mâles en les exposant à des faibles doses de radiations. Ces mouches (mâles stériles) sont ensuite lâchées par voie aérienne dans les zones infestées, où elle s'accouplent aux femelles sauvages. Si les mâles stériles l'emportent largement en nombre sur les mâles sauvages féconds, la population de mouches sauvages est rapidement anéantie.

En fait, c'est dès 1930 que deux entomologistes de l'USDA, Raymond Bushland et Edward Knipling (Menard, Texas), ont cherché une alternative à l'emploi massif d'insecticides contre la lucilie bouchère. Le concept de lutte autocide, permettant de casser le cycle de reproduction des insectes, fut mis au point par Knipling. Les travaux interrompus durant la Seconde Guerre Mondiale n'ont finalement débouché qu'en 1950 (Ile de Sanibel, Floride). Dès 1954, on a enregistré les premiers succès à grande échelle à Curaçao et au Venezuela. Dans les années 60 et 70, la technique a été mise en œuvre aux Etats Unis, pour ensuite se développer au Mexique et dans toute l'Amérique Centrale. Des programmes similaires ont, dans la foulée, été développés avec succès contre la mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata*) au Mexique et en Floride, la mouche du melon à Okinawa (Japon) et la mouche Tsé-tsé en Afrique (île de Zanzibar).

En raison du fait que cette technique particulièrement sûre pour l'environnement est capable de protéger d'importantes ressources alimentaires, Bushland and Knipling ont reçu en 1992 le "World Food Prize", en reconnaissance pour leurs travaux, considérés comme "le progrès le plus important durant le 20^{ème} siècle accompli en entomologie" (Orville Freeman, chef de l'USDA).

Principaux contributeurs

année	Point d'étape	E.F. Knipling	Serebro-wsky	Brouss-e	Bush-land	Hermann Müller	Yen & Barr
1928	Concept stérilisation par radiation					X	
1930	Concept SIT	X					
1936	Elevage de masse			X	X		
1937	Mode Accouplement	X					
1940	Amélioration concept		X				
1955	Dynamique populations	X					
1970	Effet Wolbachia						X
1979-85	Cas Lucilie b.	X					

La technique TIS ne peut naturellement convenir qu'à des insectes à reproduction sexuée. Deux problèmes majeurs doivent être résolus au départ : la production en masse des insectes et la méthode de stérilisation qui permet aux mâles de garder leurs capacités de copulation avec les femelles "sauvages". Les œufs ainsi produits seront stériles et les populations réduites, génération après génération. La TIS est la seule méthode non chimique permettant de concevoir une élimination, une éradication pratique, d'insectes sur de grandes surfaces.

Sa mise en œuvre nécessite cependant une très bonne connaissance de la biologie et du comportement des insectes visés et on ne pourra concevoir son emploi que dans des espaces confinés ou sur des zones plus vastes agro-écologiquement homogènes, d'où la nécessité de prévoir des actions de protection collectives. Comme il s'agit souvent d'intégrer la TIS à d'autres moyens de protection, le calendrier des lâchers doit être particulièrement précis et il devient nécessaire de disposer d'outils électroniques de surveillance et d'aide à la décision. Enfin, des mesures de sécurité sont nécessaires pour s'assurer que seuls des insectes stériles sont lâchés et suivre ensuite leur dynamique dans la nature.

Les techniques de stérilisation

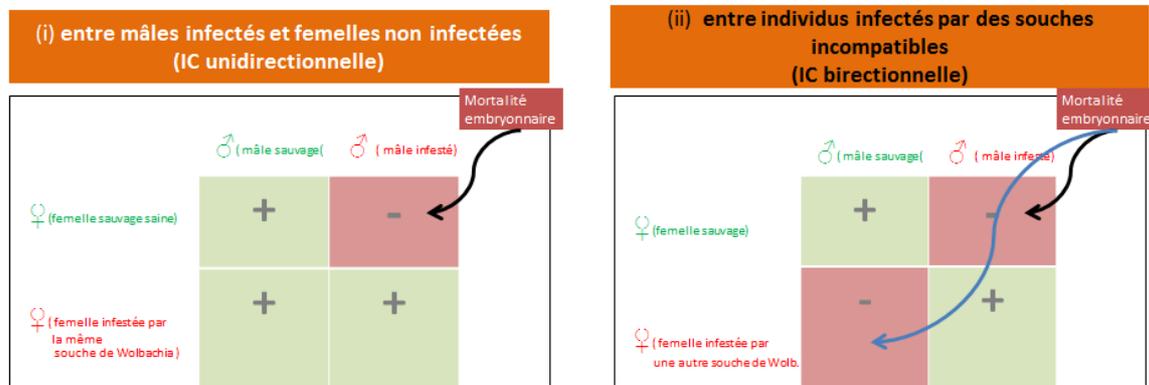
On considère trois techniques de stérilisation des insectes :

- l'induction de l'incompatibilité cytoplasmique,
- la transgénèse conduisant à l'introduction d'un gène de stérilité,
- la stérilisation par ionisation.

a) la stérilisation par incompatibilité cytoplasmique

Le processus "d'incompatibilité cytoplasmique" est induit par une bactérie symbiote du genre *Wolbachia* (α - proteobactérie intracellulaire). Il s'agit de bactéries intracellulaires qui se localisent au sein du cytoplasme des cellules de leurs hôtes. On les retrouve en abondance principalement dans les cellules germinales et l'épithélium du système reproducteur des insectes, mais aussi des nématodes. La bactérie induit chez la femelle des mécanismes moléculaires complexes qui n'ont pas

encore été expliqués. Il en résulte des phénomènes de parthénogénèse, de féminisation ou d'incompatibilité cytoplasmique qui conduisent à une très forte mortalité (jusqu'à 100%). Deux situations de fécondation conduisent à produire des descendance « incompatibles », selon que la femelle est infestée par la même ou une autre souche de Wolbachia. En cas d'infestation avec la même souche, l'incompatibilité se manifeste uniquement lorsque la copulation est faite avec des femelles sauvages (IC unidirectionnelles). Par contre si les souches sont différentes, l'effet se manifeste aussi avec des femelles infestées (IC bidirectionnelles).



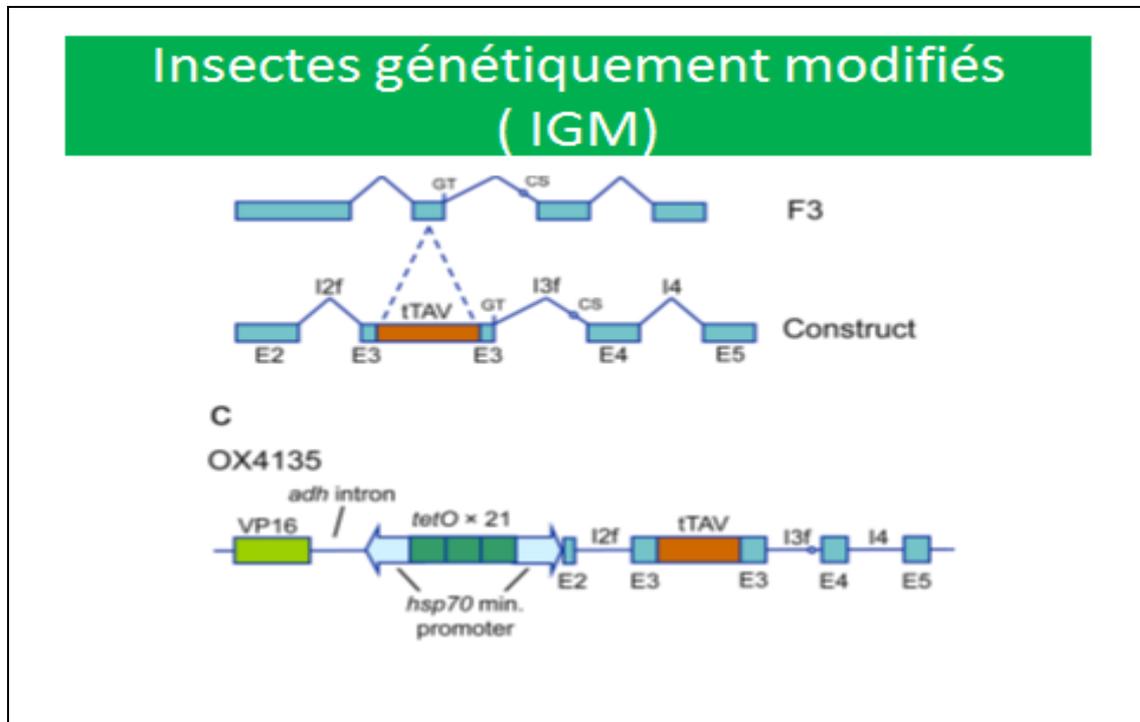
Cette méthode est envisagée principalement dans la lutte contre des insectes ravageurs vecteurs de maladies (*Aedes*, *Culex*, Anophèles etc..). Des travaux sont en particulier entrepris dans l'océan Indien sur *Culex quinquefasciatus* (Célestine Atyame) depuis 2011. Par croisement entre une femelle sauvage et des mâles infestés sélectionnés en laboratoire, on a créé une nouvelle souche de *Culex* dénommée « Attila ». Les femelles de cette souche ont une fertilité très affaiblie, mais en revanche les mâles sont très actifs et après un lâcher massif, on assiste très vite à une mortalité importante des populations (jusqu'à 98%). Une extension est en cours contre *Aedes albopictus*.

Il faut cependant signaler que cette technique ne va pas sans poser de multiples questions. Les souches de Wolbachia restent mal connues, leur production industrielle in vitro est encore impossible et elles sont notoirement instables. Enfin, il y a un grand risque de transmission à des insectes auxiliaires utiles. Mais le plus grand risque provient des propriétés ambivalentes de Wolbachia. En effet Sabesan et Jambilingam (2011) soulignent les limites de cette stratégie de lutte anti-vectorielle. « En premier lieu, il n'est pas sûr que ces résultats obtenus en laboratoire soient reproductibles dans un environnement naturel où la durée de développement des parasites/pathogènes chez les vecteurs dépend très largement des conditions de température et d'humidité. L'effet délétère des Wolbachia sur la longévité du vecteur par exemple pourrait être contrebalancé par l'augmentation de la température actuellement constatée dans de nombreuses régions, susceptible d'accélérer la multiplication virale et de permettre à un virus comme celui de la dengue d'atteindre plus rapidement le seuil d'infectivité. Surtout, de nombreux nématodes agents de filarioses tels que *Wuchereria bancrofti*, *Brugia malayi*, *Onchocerca volvulus*... sont aussi porteurs de Wolbachia. A la différence des insectes, une relation symbiotique extrêmement étroite s'est développée avec les filaires, au point que la présence des Wolbachia est indispensable à la reproduction et à la survie des parasites. Il est clair que les relations établies par les Wolbachia avec les moustiques vecteurs et les parasites sont divergentes. Une stratégie basée sur l'utilisation des Wolbachia contre les premiers risque d'avoir des effets imprévus sur les seconds dans certaines situations, comme par exemple pour les moustiques *Anopheles gambiae* et *A. funestus* vecteurs du paludisme et de la filariose lymphatique en Afrique ».

b) stérilisation par transgénération

Une méthode utilisant la méthode de recombinaison moléculaire conduisant à la création d'insectes

génétiqnement modifiés est en cours de développement par la firme Oxitec, en collaboration avec l'Imperial College de Londres et la fondation Melinda & Bill Gates. Cette méthode RIDL (Release of Insects carrying a Dominant Lethal) consiste à introduire un gène dominant létal dans les insectes. L'addition se fait par voie orale, il suffit donc de l'ajouter à la diète alimentaire des insectes, pour l'introduire.



L'expression de ce gène mortel pour les insectes peut être « temporisée » par un additif externe, la tétracycline. Il n'y aura alors aucune difficulté à élever en masse les insectes. On ajoute en même temps un marqueur génétique, DsREG fluorescence, de façon à pouvoir par la suite identifier les insectes génétiquement modifiés et suivre leur épidémiologie dans la nature.

Il y a plusieurs types de RIDL, mais couramment on utilise un gène dominant spécifique des femelles. Ainsi il ne sera pas nécessaire de séparer les sexes au moment du lâcher : on supprime l'adjonction de tétracycline dans les derniers stades de l'élevage. Les femelles vont mourir et il ne restera que des mâles dans les lâchers. Les mâles ont un comportement sexuel normal et sont en bonne condition pour concurrencer, vis à vis des femelles sauvages, les mâles sauvages. L'efficacité avoisine alors 95%.

Au départ les études ont concerné les diptères grands vecteurs de maladies et des extensions ont été menées avec succès dans plusieurs pays: Iles Caïman, Malaisie, Mexique. Un programme européen (INFRAVEC) travaille le sujet et dernièrement, une grande application menée au Brésil a été couronnée de succès (98% d'efficacité en 6 mois). Oxitec entend étendre les applications de la technique RIDL aux grands ravageurs agricoles et a entrepris des expérimentations contre la mouche méditerranéenne des fruits (*Ceratitis capitata*), le carpocapse (*Cydia pomonella*), la mouche de l'olive (*Bactrocera oleae*) et le ver rose du cotonnier (*Pectinophora gossypiella*).

Là encore beaucoup de questions restent en suspens et aucun cadre légal n'a été mis en place pour contrôler l'adoption de cette technique. Dès avril 2002, la FAO a organisé une conférence : "Status and Risk Assessment of the Use of Transgenic Arthropods in Plant Protection", qui a permis au NAPPO

(North American Plant Protection Organization) de développer le [NAPPO Regional Standard No. 27 "Guidelines for Importation and Confined Field release of Transgenic Arthropods"](#).

Il s'agit encore d'emploi en milieu confiné et, sous l'impulsion de la Commission européenne, l'EFSA a entrepris en 2010 une vaste étude de façon à identifier les risques potentiels de RIDL (Benedict & al.) en milieu naturel qui a conduit en 2012 à la consultation des états membres et du public. De son côté, le CISRO avait dès 2005 entrepris en Australie, une étude sur les risques environnementaux de la technique.

Il est clair que la technique RIDL, une fois jugée sans risques, pourra jouer un rôle majeur dans la lutte contre les insectes ravageurs et les ravageurs des cultures. Son coût est relativement bas et son efficacité est excellente. Sa mise en œuvre est très facile.

c) La stérilisation par ionisation.

La technique consiste à produire en masse l'insecte visé. A un stade voulu, les insectes seront soumis à une dose "efficace", mais aussi réduite que possible de rayons γ . Le protocole de stérilisation est établi par l'AIEA qui assure par ailleurs le contrôle des installations en service.

Les insectes libérés dans la nature vont alors copuler avec les femelles sauvages qui seront amenées à pondre des œufs stériles. De façon à assurer un monitoring efficace des insectes lâchés, ils sont marqués avec un produit fluorescent. Après plusieurs générations, les populations déclinent, voire disparaissent. La méthode est particulièrement efficace pour les diptères dont les femelles n'ont souvent qu'une seule copulation. C'est d'ailleurs la méthode qui a été utilisée dans les célèbres campagnes contre la lucilie bouchère.

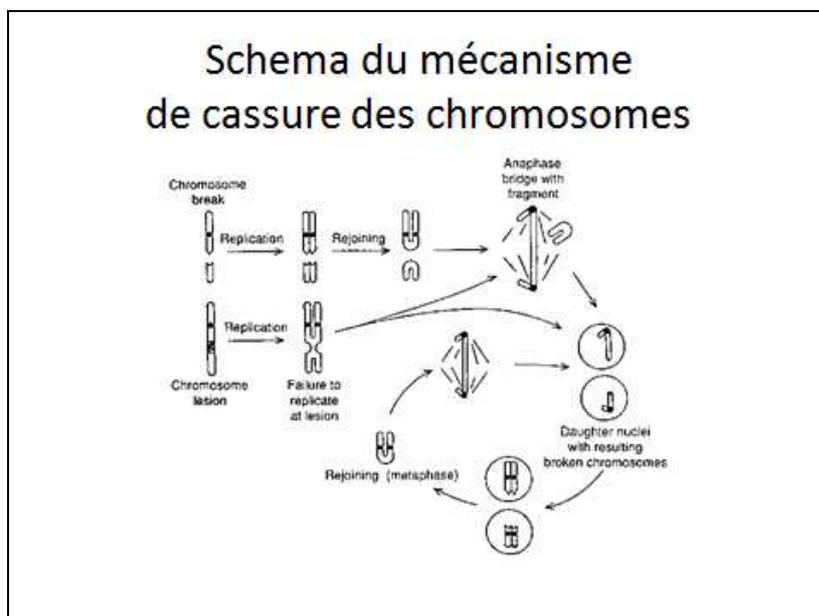


Schéma de l'action des rayons gamma sur les chromosomes, selon Müller - 1928

Le processus moléculaire qui conduit à la stérilisation des mâles a été décrit par Müller dès 1928. Les rayons gamma ont la capacité de rompre les chromosomes qui alors, se collent les uns aux autres pour former des fragments « dicentriques ». Ce processus peut conduire soit à la mort de la cellule, soit une incapacité de transmission de l'information génétique. Il devient impossible d'assurer la division cellulaire nécessaire faisant suite à la fécondation des ovules, donc au développement des embryons (voir fig. ci-dessus).

Suite aux travaux et aux résultats probants obtenus contre la lucilie bouchère, de nombreuses applications, ont été menées contre différents vecteurs et ravageurs dans diverses cultures. On remarquera que les projets sont majoritairement situés en Amérique ou en Afrique. Pour des raisons pratiques d'intervention et la nécessité de mettre en place des actions collectives qui dépassent la dimension des parcelles de culture, peu de programmes ont été lancés jusqu'ici en Europe. Il semble aussi que des expériences entreprises en France dans les années 1960 n'aient pas été couronnées de succès, probablement en raison d'un manque de maîtrise des techniques de stérilisation.

SIT par ionisation: une technique largement utilisée

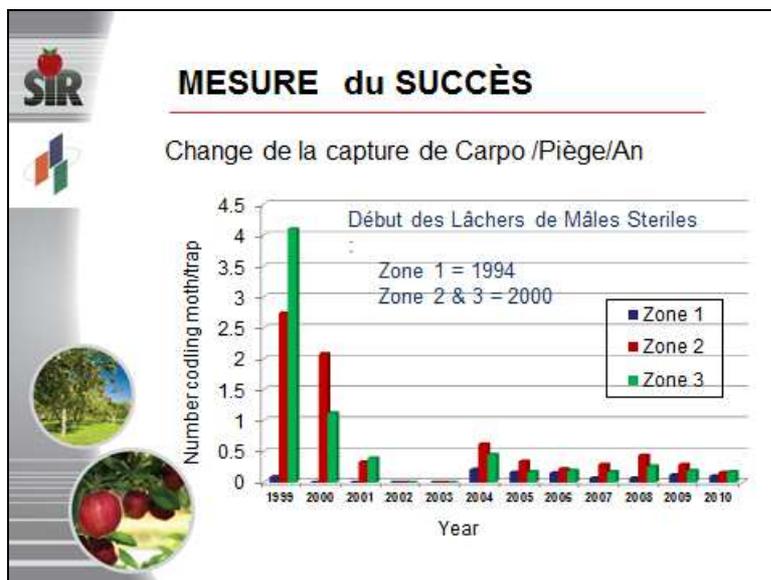
Insecte	Sites anciens	Sites actuels
Lucilie bouchère	Cuba, États-Unis, Mexique, Puerto Rico, les Îles Vierges américaines	Guatemala, Belize, Libye
Mouche méditerranéenne des fruits	Italie *, Pérou *, Mexique, États-Unis (Californie), Israël *	Guatemala, États-Unis (Hawaï), Espagne
Mouche des fruits des Caraïbes	États-Unis (Floride) *	États-Unis (Floride) zone voler sans
la mouche du melon	Japon *	Japon, Israël
Mouche orientale des fruits	Kota, Hawaï *	
mouche de l'oignon	Pays-Bas *	Pays-Bas (contrôle)
Mouche méditerranéenne des fruits	États-Unis / Mexique *	États-Unis / Mexique (+ zone de quarantaine voler sans)
Cérise mouche des fruits	Suisse *	
Ver rose du cotonnier	États-Unis *	États-Unis (mise en quarantaine)
Carpocapse	Canada *, États-Unis *	Canada (contrôle)
Spongiosa	États-Unis *	États-Unis (mise en quarantaine)
Mouches té-té	République-Unie de Tanzanie *, Nigeria, Nigeria, Soudan	
(Quatre espèces)	Burkina Faso *	
tordeus des bourgeons de tabac		États-Unis *
Charançon de la capsule de cotonnier	États-Unis *	
Mouton Blowfly	Australie *	
Moutiques	El Salvador *	
Mouche étéle	St Croix, États-Unis *	
sphinx du tabac	St Croix, États-Unis *	
Bovine tique de fièvre	St Croix, États-Unis *	St Croix, USA

Plusieurs programmes donnent cependant des résultats spectaculaires, soit à titre préventif, soit pour éradiquer des ravageurs particulièrement préoccupants. Un vaste programme préventif contre la mouche méditerranéenne des fruits est mis en place depuis 10 ans en Floride pour se prémunir contre les invasions en provenance d'Amérique centrale. Les insectes sont produits en masse au Guatemala (El Pino), irradiés dans une installation de l'USDA au Mexique et transportés en Floride, où, après conditionnement, des lâchers aériens hebdomadaires sont effectués. Ce programme, étendu maintenant à la Californie, a permis jusqu'ici d'épargner toute invasion de cératite.

Dans la vallée d'Okanagan (Colombie Britannique), les autorités et les planteurs de pommes ont lancé en 1994 un vaste programme d'éradication du carpocapse du fait de la montée de la résistance de ces ravageurs aux insecticides et des restrictions concernant les résidus de pesticides dans les fruits. Le programme OKSIR a donc été lancé sur une base réglementaire sévère (obligation de participer et destruction des arbres hors des zones couvertes). Une installation de production du carpocapse a été mise en place et un programme lancé, zone par zone, sur près de 5000 ha.



Consécutivement au lâcher hebdomadaire massif d'insectes ionisés durant les 20 semaines de végétation, on a assisté à une rapide diminution des infestations du ravageur conduisant une éradication pratique en 5 ans, avec une baisse de 98% de l'emploi des insecticides.



3) le projet Regio Biocontrôle

La situation mentionnée au Canada pour le carpocapse se présente malheureusement toujours pour de nombreux ravageurs endémiques : les traitements répétés conduisent au développement de résistances, à l'augmentation des rythmes de traitement et à la recherche sans cesse renouvelée de nouvelles molécules. Par ailleurs, les producteurs font face à une invasion accélérée de nouveaux ravageurs. Cette invasion résulte sans doute de la globalisation des échanges, des flux touristiques et, peut-être aussi, des changements climatiques. Des insectes tels que la chrysome du maïs (*Diabrotica virgifera*), la drosophile à ailes tachetées (*Drosophila suzukii*) ou la mouche du noyer (*Rhagoletis completa*) font partie de ces ravageurs pour lesquels, selon l'étude de risques de l'OEPP

(Organisation Européenne de la Protection des Plantes), les mesures de quarantaine ont été sans effet.

Ces éléments ont motivé le lancement du projet Regio Biocontrôle qui consiste à développer et mettre en place une lutte intégrée centrée sur la technique du lâcher d'insectes stériles. Le projet doit se dérouler à la fois dans le temps, dans l'espace et étape par étape, contre plusieurs insectes ravageurs.

a) Insectes cibles

Dans un premier temps, on s'adressera au carpocapse et à la drosophile suzukii pour ensuite se pencher sur la mouche du brou des noyers. On envisage plus tard de s'occuper d'insectes méditerranéens comme la cératite et mouche de l'olive. Un sujet intéressant restant le cas des coléoptères (chrysomèle du maïs...). Les surfaces concernées par ces ravageurs dépassent actuellement 9 millions d'hectares en Europe et dans le bassin méditerranéen, et environ 650 000 ha en France.

Cultures et ravageurs				
Culture	Ravageur	Surface (ha) concernée en Europe /Medit.	Surface concernée en France	Commentaires
Petits fruits rouges	<i>Drosophila suzukii</i>	19'000	3'000	
Cerises	<i>Drosophila suzukii</i>	28'000	6'000	
Noyers	<i>Rhagoletis completa</i>	90'000	15'000	
	<i>Cydia pomonella</i>	90'000	10'000	
Châtaignes	<i>Cydia splendana</i>	110'000	5'000	
Pêches, abricôts, nectarines	<i>Drosophila suzukii</i>	110'000	8'000	Extension rapide
Pommes	<i>Cydia pomonella</i>	180'000	12'000	
	<i>Drosophila suzukii</i>		?	1ère infestations 2013
Vigne	<i>Drosophila suzukii</i>	8'670'000	360'000 (sur 780'000)	1ère attaques en 2012

b) Partenaires

Pour aborder les questions multiples soulevées par un tel projet, il est nécessaire de rassembler plusieurs partenaires qui seront réunis dans un « Groupement d'Intérêt Economique et Ecologique » (GI2E), tel que défini dans la nouvelle loi d'Avenir Agricole.

Il s'agit des partenaires suivants :

- Producteurs de fruits, leurs groupements, comités et coopératives ;
- Organisations scientifiques et techniques : INRA, CTIFL, ARS-USDA, AIEA, FiBL ;
- Industries et organisations privées : Koppert, NPP, De Sangosse, Pherobank, Oxitec, eProtecta ;
- Organisations territoriales et pôles de compétitivité : régions MiPy, Aquitaine, Languedoc-Roussillon, PACA, Rhône-Alpes, commune de Floirac (46), Agrimip, Qualimed etc....
- Académie du Biocontrôle : formation et communication.

Le Ministère de l'Agriculture, à travers le plan Ecophyto, l'ONEMA et diverses régions de France apporte un soutien important et estimé au projet.

c) Organisation

Pour la France, le projet global sera subdivisé en 3 sous-projets régionalisés en fonction de priorités territoriales :

- Régions Sud-est : s/projet 1 : *D.suzukii* ;
- Régions Sud-ouest : s/projets 2 et 3 : *Cydia* et *Rhagoletis*

On disposera d'une administration centrale située dans le Lot à Floirac, proche de la station expérimentale de la Noix. Les différents partenaires seront réunis dans un Comité de Pilotage, tandis que les partenaires techniques disposeront d'un comité de coordination. Les opérations de traitement seront prises en charge par des Groupements Locaux de Protection (GLPs) formés par les producteurs concernés dans chaque zone couverte.

d) Actions et calendrier de réalisation

Le projet doit se dérouler en 4 étapes :

- étude de faisabilité : mars-juin 2014 ;
- création GI2E ;
- démonstration pilote (*Cydia*) : 2015-2017 ;
- études techniques et scientifiques : 2015-2017 ;
- mise en place opérationnelle : à partir de 2016, par étape.

Les travaux techniques et scientifiques seront répartis en 7 domaines d'action comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Les actions

Regio Biocontrôle : 7 domaines d'actions

1. Mise au point de la production de masse des insectes stériles
2. Développement et production des médiateurs chimiques
3. Développement du système spatio-temporel de protection
4. Modélisation et outils d'aide à la décision
5. Formation et diffusion
6. Standards qualité, mesures de sureté et monitoring
7. Direction opérationnelle et administration

d) Aspects économiques

Une première approche des coûts et bénéfices économiques du projet Regio Biocontrôle montre que si les investissements industriels, en recherche et pour la mise en œuvre du système sont relativement importants (approximativement 16 Mio €), les bénéfices directs sont très substantiels puisqu'ils dépassent 700 Mio €.

Dans le cas de Regio Biocontrôle, le coût annuel devrait être d'environ 40 Mio € pour 300 000 ha couverts, soit légèrement moins de 150 €/ha : un coût tout à fait compétitif avec les moyens conventionnels, pour une efficacité meilleure.

- investissements en Mio € :	
investissements en R&D	3.0
investissements industriels (4 unités)	12.0
matériel AOD	1.2 soit au total environ 16.2 Mio €.
- coûts annuels de fonctionnement (pour 300 000 ha)	
personnel (120-130)	18
matériel et produits	15
services (OAD etc,)	6 soit au total environ 39.0 Mio €.
- revenus annuels résultant des redevances payées par les producteurs (en année pleine)	
	54
- estimation des gains à la production	
réduction des pertes de récolte	700
gains à l'export de fruits « sans pesticides »	50 soit au total environ 750 Mio €.

CONCLUSION

La méthode de lutte autocide par lâcher d'insectes stériles est une méthode relativement ancienne qui a été réactualisée grâce aux progrès récents en biologie, biologie moléculaire, électronique, etc... Il est alors possible de concevoir des programmes innovants de contrôle efficaces pour des ravageurs particulièrement préoccupants. Aucune autre méthode biologique n'a, jusqu'ici, apporté une telle efficacité (jusqu'à 98%). Cependant cette technique nécessite de revoir fondamentalement les conditions de développement et de mise en œuvre car il est nécessaire de fédérer les connaissances de plusieurs acteurs, d'intégrer des moyens et de concevoir des opérations collectives de protection. Les bénéfices à attendre sont immenses. Il a été démontré, par exemple, que la lutte contre la lucilie bouchère a rapporté plus de 1500 Mio €, pour des investissements totaux durant 50 ans de 600 Mio€. Le Mexique protège des fruits et légumes d'une valeur à l'export se montant à 3000 Mio \$/an, pour un investissement de 25 Mio \$. Au Chili, la lutte contre la cératite a ouvert un marché d'exportation se montant à 500 Mio \$.

La méthode de lutte autocide par insectes stériles apporte non seulement des avantages économiques et sociaux tangibles, mais crée de nombreux emplois dans les régions rurales qui en ont bien besoin et, pour couronner le tout, elle permet de protéger efficacement l'environnement. De nombreux projets TIS voient le jour et se développent en ce moment à travers le monde.