

***Groupe de travail « Saisine Moustiques modifiés »***

**Rapport préparatoire à la recommandation du CEES**

**Saisine du 12 octobre 2015**

**sur l'utilisation de moustiques modifiés par les biotechnologies  
pour la lutte antivectorielle**

---

## *Avertissement*

Ce document correspond à la réflexion engagée par le Groupe de travail mis en place au sein du Comité Économique Éthique et Social sous l'égide de Jean-Luc Pujol, délégué à la veille scientifique et à la prospective du HCB, pour préparer la Recommandation devant être faite en réponse à la saisine du 12 octobre 2015<sup>1</sup> par la ministre en charge de l'Environnement. Cette saisine demandait un éclairage sur les avantages et inconvénients de l'utilisation de divers moustiques modifiés par l'homme dans la lutte contre les maladies à vecteurs et sur les critères d'évaluation à appliquer.

Bien que la « Recommandation du CEES relative à la Saisine du 12 octobre 2015 sur l'utilisation de moustiques modifiés par les biotechnologies pour la lutte antivectorielle », du 1<sup>er</sup> Juin 2017<sup>2</sup>, soit le seul document officiel du HCB, ce document a été l'occasion d'explorer de nombreuses et diverses pistes pour appréhender, sur de multiples plans, le problème posé par les moustiques. Il est apparu utile de le porter à la connaissance du public.

Le Secrétariat du HCB a fait l'effort de le rendre le plus lisible et le plus accessible possible, mais il reste cependant un document de travail avec les caractéristiques propres de ce type de document. Il doit donc être lu comme tel.

Des publications à venir devraient permettre d'exploiter au mieux les informations et les analyses qu'il contient.

Claude GILBERT

Président du Comité Économique, Éthique et Social

---

<sup>1</sup> La saisine est communiquée en annexe.

<sup>2</sup> [http://www.hautconseildesbiotechnologies.fr/sites/www.hautconseildesbiotechnologies.fr/files/file\\_fields/2017/06/06/hcbceesmoustiquesrecommandation2juin2017.pdf](http://www.hautconseildesbiotechnologies.fr/sites/www.hautconseildesbiotechnologies.fr/files/file_fields/2017/06/06/hcbceesmoustiquesrecommandation2juin2017.pdf)

## INTRODUCTION

Le Haut Conseil des biotechnologies (HCB) a été saisi le 12 octobre 2015<sup>3</sup> par la ministre en charge de l'environnement d'une demande d'éclairage sur les avantages et inconvénients de l'utilisation de divers moustiques au patrimoine génétique modifié par différentes techniques dans la lutte contre les maladies à vecteurs et sur les critères d'évaluation à appliquer.

Pour répondre à cette saisine, le Bureau a mandaté, pour le Comité économique, éthique et social (CEES), un groupe de travail (GT) dont les membres sont principalement issus du CEES<sup>4</sup>. Le GT s'est attaché à la rédaction d'un rapport éclairant le CEES sur les enjeux et les attentes autour de ces technologies.

Le rapport rédigé par le GT se fonde d'une part sur les premiers débats qui ont eu lieu au sein du CEES, d'autre part sur les informations scientifiques et techniques émanant du GT mis en place par le Comité scientifique (CS) avec le concours d'experts extérieurs au HCB, notamment du Centre National d'Expertise sur les Vecteurs (CNEV), pour répondre à cette même saisine. En outre, les principes de l'analyse socio-économique, tels que déjà dégagés par le CEES dans ses travaux précédents<sup>5</sup>, ont été pris en compte par le GT du CEES dans le cadre de cette étude.

Afin de répondre au mieux aux attentes de la saisine, il est apparu important aux membres du GT d'analyser diverses dimensions du problème posé par les moustiques dont le patrimoine génétique est modifié, sachant qu'il s'agit là de questions complexes dont l'appropriation n'est pas aisée pour des profanes. Ce faisant, le rapport ne peut être considéré comme une expertise, n'en ayant pas les conditions d'élaboration, mais comme une contribution, aussi approfondie que possible, à la réflexion et la délibération du CEES.

---

<sup>3</sup> La saisine est donnée en annexe.

<sup>4</sup> La composition du groupe de travail est donnée en annexe.

<sup>5</sup> Recommandation du CEES relative à la Directive 2015/412 et à l'analyse socio-économique et éthique de la mise en culture des plantes génétiquement modifiées, accessible sur le site du HCB.

## Table des matières

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>1 PRISE EN COMPTE DE LA SAISINE POUR DÉFINIR LE PÉRIMÈTRE DE RÉFLEXION DU GT .....</b>	<b>6</b>
1.1 TOUS LES MOUSTIQUES MODIFIÉS RELÈVENT DE LA RÉFLEXION DU CEES .....	7
1.2 PÉRIMÈTRE INITIAL ET ÉVOLUTION .....	8
<b>2 LA LUTTE ANTIVECTORIELLE AVANT LES BIOTECHNOLOGIES .....</b>	<b>10</b>
2.1 LES MOUSTIQUES VECTEURS : UN PROBLÈME À CONSÉQUENCES MULTIPLES .....	10
2.2 LA LUTTE CONTRE LES MOUSTIQUES : UN PROBLÈME TECHNIQUE .....	21
2.3 L'ACTION CONTRE LES MOUSTIQUES : UN PROBLÈME ANTHROPOLOGIQUE .....	29
2.4 PORTÉE ET LIMITES DU TRAITEMENT DES PROBLÈMES ASSOCIÉS AUX MOUSTIQUES .....	43
<b>3 CARACTÉRISATION DES NOUVELLES PROPOSITIONS BIOTECHNOLOGIQUES.....</b>	<b>54</b>
3.1 RECOURS AUX MOUSTIQUES MODIFIÉS : DÉTAIL DES TECHNOLOGIES ET STRATÉGIES .....	55
3.2 ÉTAT DES EXPÉRIMENTATIONS.....	65
3.3 ÉTAT DES COMMERCIALISATIONS .....	66
<b>4 PREMIERS ENSEIGNEMENTS DES EXPÉRIMENTATIONS SUR LES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU RECOURS À DES MOUSTIQUES MODIFIÉS.....</b>	<b>68</b>
4.1 DU POINT DE VUE DE LA LUTTE ANTIVECTORIELLE .....	68
4.2 DU POINT DE VUE DE L'ENVIRONNEMENT .....	75
4.3 DU POINT DE VUE ÉCONOMIQUE .....	79
4.4 DU POINT DE VUE DES JEUX D'ACTEURS .....	84
<b>5 LES QUESTIONS INDUITES PAR LES MOUSTIQUES AU PATRIMOINE GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉ ....</b>	<b>101</b>
5.1 REMISE EN PERSPECTIVE DE LA SAISINE.....	102
5.2 DES CHANGEMENTS POUR LA GOUVERNANCE DE LA LAV ET DE LA SANTÉ.....	104
5.3 LES ATTITUDES DES PUBLICS CONCERNÉS .....	111
5.4 LES CHANGEMENTS JURIDIQUES.....	116
5.5 DES ATTENTES DANS LA MOBILISATION DU CALCUL COÛTS/BÉNÉFICE ? .....	122
5.6 CHANGEMENTS INDUITS DU POINT DE VUE ÉTHIQUE. ....	127
5.7 CHANGEMENTS POUR LA DÉMOCRATIE. ....	128
<b>6 ÉLÉMENTS POUR UNE RECOMMANDATION. ....</b>	<b>131</b>
6.1 EN SAIT-ON ASSEZ POUR DÉCIDER ? .....	131
6.2 DES CRITÈRES POUR UNE DÉCISION ÉTHIQUE. ....	132
6.3 FAUT-IL UN CADRE UNIFIÉ SPÉCIALISÉ POUR CES MOUSTIQUES MODIFIÉS ? .....	133
6.4 CLARIFIER LES RESPONSABILITÉS SUR CES INNOVATIONS EN FRANCE. ....	135
6.5 NE PAS NÉGLIGER LES DIVERS ENJEUX DES TERRITOIRES ET LES LIMITES DU DROIT. ....	135
6.6 ÉLÉMENTS TECHNIQUES À RENDRE ACCESSIBLES POUR DES DÉBATS ÉCLAIRÉS.....	137
6.7 INTERFÉRENCES DE CES MOUSTIQUES AVEC LES APPROCHES DE SANTÉ ET LA GOUVERNANCE .....	144
6.8 CONSERVER LA DISTINCTION ENTRE INTERVENTION ET SURVEILLANCE .....	149
<b>7 CONCLUSION .....</b>	<b>150</b>

<b>8</b>	<b>ANNEXES. ....</b>	<b>153</b>
8.1	ANNEXE 1 : BIBLIOGRAPHIE. ....	154
8.2	ANNEXE 2 : COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL. ....	158
8.3	ANNEXE 3 : SAISINE. ....	159
8.4	ANNEXE 4 : PRINCIPES GÉNÉRAUX ÉTHIQUES ET MORAUX ....	162
8.5	ANNEXE 5 : ASPECTS JURIDIQUES.....	181
8.6	ANNEXE 6 : RESPONSABILITÉ ENVIRONNEMENTALE : MOUSTIQUES GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉS.....	214

## 1 PRISE EN COMPTE DE LA SAISINE POUR DÉFINIR LE PÉRIMÈTRE DE RÉFLEXION DU GT

La saisine du ministère en charge de l'Environnement vise à donner un éclairage sur l'état d'avancement technologique, expérimental et commercial de certains nouveaux moyens de lutte antivectorielle mobilisant des moustiques à patrimoine génétique modifié, à évaluer leur intérêt et les risques et à proposer des critères d'évaluation de projets d'utilisation de telles technologies.

La saisine est motivée de deux façons : d'une part, elle rappelle que les luttes par biocides rencontrent diverses limites. D'autre part, elle identifie l'émergence de nouveaux moyens de lutte utilisant des moustiques « au patrimoine génétique modifié ». Derrière cette désignation, deux types de moustiques modifiés sont plus particulièrement évoqués :

- Les moustiques génétiquement modifiés principalement par transgénèse pour exprimer un gène de mortalité dominant (acronyme RIDL pour *Release of Insects with Dominant Lethality*) condamnant leur descendance. Ce sont les moustiques proposés essentiellement par la société Oxitec et qui sont des OGM au sens de la Directive 2001/18/CE (insertion d'un transgène).
- Les moustiques modifiés par leur « transfection » artificielle par une bactérie de type *Wolbachia*, endocellulaire, qui change de nombreuses propriétés du moustique ou de sa descendance, elle-même héritière de l'infection. De nombreuses capacités des moustiques sont potentiellement affectées par l'infection : comportement, physiologie, fertilité, durée de vie, capacité à transmettre les pathogènes. Il n'y a pas consensus sur leur qualification technique d'OGM ou pas. À cela s'ajoute, pour le moment, un flou réglementaire concernant tant leur dénomination que leur utilisation. Alors que la saisine semble ne pas demander de précision sur ces moustiques, ces incertitudes juridiques questionnent : elles pourraient être un obstacle au lancement de processus d'expérimentation et de validation dans les contextes français et européen. Ces innovations font l'objet de qualifications juridiques très différentes suivant les pays. Ces différences induisent des interrogations sur la pertinence de ces procédures par rapport au droit européen et français.

La saisine interroge le HCB sur quatre points :

- établir un état des lieux de la recherche et de la commercialisation des moustiques génétiquement modifiés,
- établir un état des lieux des expérimentations et des utilisations déjà menées dans le monde (sujet traité essentiellement par le CS du HCB),

- comparer les avantages et inconvénients de ces moustiques génétiquement modifiés, par rapport aux autres stratégies de lutte aujourd'hui disponibles (la saisine liste les plus fréquentes),
- préciser les critères pour l'évaluation d'éventuels lâchers de ces moustiques génétiquement modifiés par les autorités compétentes.

### 1.1 Tous les moustiques modifiés relèvent de la réflexion du CEES

Il convient de préciser que très tôt, la question du périmètre de l'avis s'est posée. La saisine du HCB identifie différents moustiques « au patrimoine génétique modifié », pour finalement demander un avis concernant les moustiques « génétiquement modifiés ». Les moustiques tels que ceux qui sont transinfectés par *Wolbachia* sont bien inclus dans les moustiques « au patrimoine génétique modifié ». Qu'ils relèvent d'une qualification de « génétiquement modifiés », qui les inclurait immédiatement dans la réglementation actuelle sur les OGM et donc dans les préoccupations du HCB semble donc *a priori* avoir été écarté par la saisine. Pourtant, il est très vite apparu qu'on ne peut pas, sur le plan du droit, affirmer qu'il y a une différence clairement identifiée entre « au patrimoine génétique modifié » et « génétiquement modifié ». La poursuite des réflexions a conduit à penser que ces moustiques pourraient relever des réglementations sur les OGM et que le HCB se devait de les inclure dans la réflexion. Ils ont d'ailleurs fait l'objet de décisions variées dans le monde à ce sujet. Cela apparaît particulièrement lorsque l'on se situe dans la perspective du Protocole de Carthagène, de la définition qui y est donnée des organismes vivants modifiés, et des conséquences des engagements liés à ce Protocole.

Quoiqu'il en soit, ils relèvent bien de « biotechnologies » et donc de préoccupations légitimes du HCB. Sur le plan juridique ils ont des caractéristiques qui relèveraient de plusieurs réglementations (dissémination des OGM, lutte antivectorielle, gestion des territoires, biocides, médicaments vétérinaires, lutte biologique, etc.). Des débats et des controverses qui se sont développés dans des pays s'étant lancés dans les expérimentations confirment l'ambiguïté de la qualification réglementaire et la transversalité des questions soulevées. Aux États-Unis, la FDA (*Food and Drug Administration*) a sollicité l'EPA (*Environmental Protection Agency*) et le CDC d'Atlanta (*Center for Disease Control and Prevention*) sur le sujet. Objets biotechnologiques relevant peut-être pour certains de la réglementation sur les OGM, ils suscitent (au moins pour le CEES) des préoccupations liées à leur usage sur les plans éthique et socio-économique et à la perception de cette technologie par l'opinion publique. L'ensemble des moustiques au patrimoine génétique modifié, au sens large du terme, suscite de nombreuses questions communes.

Pour le GT, il a paru donc nécessaire de fournir au CEES les moyens de répondre aux questions posées sans s'en tenir à un avis portant strictement sur les moustiques explicitement obtenus par transgénèse.

## 1.2 PÉRIMÈTRE INITIAL ET ÉVOLUTION

La crise du Zika, déclarée le 1er février 2016 par l'OMS urgence de santé publique de portée internationale <sup>6</sup>, a suscité des propositions visant à recourir à des biotechnologies émergentes et a ravivé des débats sur l'utilisation des pesticides à l'échelle mondiale. Au moment de la saisine, un nombre restreint de variantes technologiques de ces moustiques au patrimoine génétique modifié était visible et en cours de développement. Certaines technologies ont poursuivi leur développement avec de nouvelles expérimentations. D'autres ont émergé depuis lors<sup>7</sup>.

Dans le domaine des moustiques modifiés, l'utilisation, en attente d'expérimentations de terrain à La Réunion de moustiques mâles stérilisés par irradiation, a même élargi le champ des questionnements du GT. Cette méthode, déjà utilisée sur d'autres insectes au niveau mondial pour lutter contre des ravageurs agricoles, a été réactivée pour la lutte contre les moustiques vecteurs de maladies. Ces stratégies, exploitées contre la mouche tsé-tsé ont même fait l'objet de travaux et de grilles d'analyse permettant de conclure à un véritable intérêt économique leur usage.

Une autre alternative technique occupe aussi une place importante dans les débats bien qu'elle ne soit pas au stade opérationnel, ni même expérimental. Elle intègre la technologie CRISPR-Cas9 <sup>8</sup> pour des stratégies de forçage génétique <sup>9</sup> au sein des populations de moustiques. On peut la considérer comme un « dispositif embarqué » de modification génétique du génome des moustiques, mis en œuvre à chaque fécondation lors de la reproduction. Un peu comme si le laboratoire de modifications avait été inclus dans chaque œuf. Tous les descendants sont obligatoirement porteurs de la modification et d'une capacité à forcer leur descendance à être porteuse de cette modification et de cette capacité. Le débat du forçage génétique dépasse bien sûr le cadre des moustiques et doit être mené quels que soient les êtres vivants auxquels il pourrait être appliqué. Il s'est néanmoins pour l'instant

---

<sup>6</sup> Cette urgence s'est étendue jusqu'au 18 novembre 2016

<sup>7</sup> De nombreuses bactéries endosymbiotiques des insectes, autres que *Wolbachia*, sont en cours d'étude. On peut citer également les utilisations de champignons de type *Leptolegnia chapmanii*, toxiques pour les larves d'une quinzaine d'espèces de moustiques dont des moustiques vecteurs de maladie. Les scientifiques tentent de les conditionner de façon à pouvoir éliminer les larves d'eaux propres ou polluées. Voir par exemple (Montalva *et al.*, 2016).

<sup>8</sup> Nouvelle technologie de ciseaux moléculaires ciblés sur des séquences identifiées.

<sup>9</sup> Voir le rapport du CS pour les définitions.



cristallisé sur la question des moustiques, de leur éradication et des maladies associées. Le débat sur les moustiques devra donc s'associer à une réflexion générale sur le forçage génétique.

## 2 LA LUTTE ANTIVECTORIELLE AVANT LES BIOTECHNOLOGIES

### 2.1 LES MOUSTIQUES VECTEURS : UN PROBLÈME À CONSÉQUENCES MULTIPLES

Pour comprendre quelle peut être la portée des innovations proposées pour lutter contre les moustiques, et leurs conditions potentielles d'acceptation, il est nécessaire de préciser quelle est la nature du problème que l'on cherche ainsi à traiter. L'humanité lutte contre la présence de moustiques principalement en raison de deux conséquences des piqûres des femelles lorsqu'elles absorbent le sang nécessaire à la maturation de leurs œufs :

- la nuisance que constitue ces piqûres pour les humains (inconfort, douleur...) : ce motif est en soi suffisant pour combattre les moustiques ;
- les maladies transmises par ces piqûres : les moustiques sont alors combattus en tant que vecteurs de maladies dans le cadre de la lutte antivectorielle (LAV). Les morts se comptent par centaines de milliers.
- Les problèmes posés par les moustiques sont donc tout à la fois d'ordre sanitaire et d'ordre socio-économique :
  - les maladies qu'ils propagent ont des incidences directes sur les activités humaines (économie, éducation, santé), notamment dans les pays en développement ;
  - les nuisances provoquées par leurs piqûres (douleur et réactions allergiques) posent un problème général en termes de qualité de vie et, de façon plus spécifique, pour de nombreuses activités touristiques.

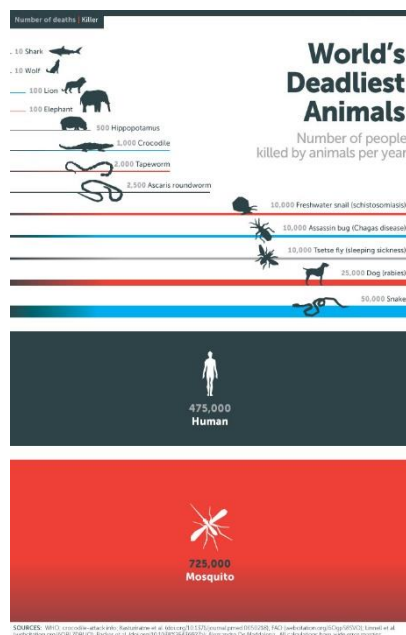
La lutte contre les moustiques, que ce soit pour des raisons de confort ou pour des raisons sanitaires, est elle-même à l'origine de problèmes environnementaux du fait des moyens qui ont été et qui sont encore utilisés (insecticides, assèchements de zones humides par exemple).

Ces moyens-là ont d'abord potentiellement des conséquences sanitaires (toxicité sur les humains, les animaux...).

La suppression de ces insectes ou de leurs habitats suscite également des interrogations d'ordre environnemental en raison de leur rôle écologique.

Cette volonté d'éradication d'une espèce ou d'un genre animal pose enfin un ensemble de problèmes d'ordre éthique soulevés, par exemple, par les conflits de priorités entre la préservation de la nature et la protection de la santé humaine.

### 2.1.1 Un problème de santé publique.



Les moustiques, vecteurs de divers pathogènes pour l'homme et des espèces animales, sont à l'origine de problèmes de santé publique à un niveau tel qu'ils constituent aujourd'hui une préoccupation à l'échelle mondiale. Certains transmettent des maladies en piquant les hommes ou les animaux. Lorsque les femelles prélèvent du sang sur un être contaminé (homme, cheval, oiseau, singe, etc.) pour maturer leurs œufs, elles ingèrent parfois un pathogène. Elles peuvent ainsi infecter des humains ou d'autres animaux lors de repas de sang ultérieurs. Pour aboutir à cette transmission de maladie, il peut être nécessaire que les pathogènes poursuivent certaines étapes de leur cycle de développement au sein des femelles moustiques concernées. Dans certains cas, les femelles communiquent les pathogènes à leur propre descendance.

De ce fait, comme le montre le schéma ci-dessus les moustiques sont « les premiers tueurs d'hommes de la planète » (plus de 400 000 par an pour le seul paludisme, largement plus d'un million par les maladies à vecteurs, maladies qui correspondent à 17% des maladies infectieuses. Au fardeau sanitaire que constitue cette importante mortalité, peu acceptable éthiquement parlant, s'ajoutent des impacts socio-économiques parfois très lourds.

Les types de maladies propagées par les moustiques sont nombreux. Lors de l'instruction de ce dossier, le Groupe de travail mis en place dans le cadre du Comité scientifique s'est tout particulièrement attaché au paludisme, à la filariose lymphatique, à la dengue, au chikungunya, à la fièvre jaune, à la fièvre du Nil occidental, ainsi qu'au zika. Certaines de ces maladies ont connu des épidémies récentes<sup>10</sup> et génèrent des risques nouveaux sur la santé, tout particulièrement sur celle des nouveau-nés. Elles conduisent depuis longtemps à des syndromes fébriles aigus, encéphalitiques, ou hémorragiques, parfois combinés. Elles peuvent aussi, dans certains cas, entraîner des troubles graves du développement du fœtus et des enfants, conduisant à des handicaps forts et irréversibles. Se préoccuper ici de ces maladies

<sup>10</sup> Dans des pays émergents et des pays occidentaux, la maladie liée au virus Zika est apparue il y a à peine plus de 50 ans.

est justifié tant par l'importance de leurs impacts au niveau mondial que par leur présence sur les territoires français.

En l'état des connaissances, encore partielles de ces insectes (plus de 3500 espèces ont été identifiées), seule une centaine d'espèces de quelques genres<sup>11</sup> de moustiques pose problème pour la santé humaine. Une quarantaine d'*Anopheles* transmettent le *plasmodium*, parasite responsable du paludisme (ou malaria). Les « *Aedes* », l'un des principaux genres de moustiques, peuvent être porteurs des virus du zika, de la dengue, du chikungunya et de la fièvre jaune. Ces maladies sont des « arboviroses », car dues à des « arbovirus » (de l'anglais « *arthropod-borne virus* »). L'*Aedes albopictus* ou moustique Tigre, qui se répand en métropole, est l'un d'eux. Son extension, sans qu'il porte de maladies pour l'instant, est à considérer comme la mise en place d'un système vectoriel prêt pour la circulation d'un pathogène pour des épidémies rapides. Un autre groupe, les « *Culex* », transmet des maladies invalidantes provoquées par des vers et d'autres parasitoses.

Les pathogènes ont des cycles au cours desquels ils affectent des animaux ou des hommes. Chacun devient potentiellement à son tour réservoir de pathogènes, ce qui complique la gestion des maladies. Pour certaines maladies, des animaux, domestiques ou sauvages, sont « réservoirs » de pathogènes. Dans d'autres cas, l'homme ou d'autres animaux peuvent être infectés sans pour autant devenir des réservoirs. Ils sont alors des « cul de sac » (infectés mais ne propageant pas le pathogène du fait que souvent la charge en pathogènes qu'ils véhiculent n'atteint pas un niveau suffisant pour qu'ils puissent réinfecter de nouveaux moustiques quand ceux-ci les piqueront).

De nombreux virus ou parasites qui touchent l'homme proviennent de cycles endozootiques (entre animaux) pour lesquels on connaît plus de 200 virus circulant. Les mouvements de population humaine et les déforestations accroissent les possibilités que des groupes humains soient au contact de virus, qui peuvent devenir pathogènes et élargir leur circulation, ce qui peut générer des foyers épidémiques. Zika est un de ceux-là<sup>12</sup>. Des circulations d'agents pathogènes à pouvoir épidémique ont déjà été identifiées dans les

---

<sup>11</sup> En systématique, le genre est un rang taxonomique qui regroupe un ensemble d'espèces ayant en commun plusieurs caractères similaires.

<sup>12</sup> Le virus Zika tire son nom de la forêt de Zika en Ouganda où il a été identifié pour la première fois en 1947. Ce virus à ARN est transmis par la piqûre d'un moustique infecté du genre *Aedes*. C'est par ailleurs le seul arbovirus pour lequel une transmission sexuelle a été mise en évidence.

réservoirs naturels<sup>13</sup>. Ces virus sont estimés à une centaine et leur émergence ne peut être négligée.

#### 2.1.1.1.1 Une urgence internationale

Les pathologies associées aux moustiques sont au cœur de nombreuses priorités de santé au plan mondial. Ainsi, les deux priorités des « Objectifs du Millénaire pour le développement » (OMD) consacrés à la santé par les Nations Unies, sont la lutte contre le paludisme et celle contre le VIH. 3,3 milliards de personnes dans le monde risquent en effet de contracter le paludisme. En 2012, selon les estimations, 207 millions de cas sont survenus et la maladie a tué quelques 627 000 personnes – pour la plupart, des enfants de moins de cinq ans vivant en Afrique. L’objectif mondial est de maîtriser le paludisme en faisant baisser le nombre de cas, et en l’empêchant de réapparaître dans les zones préservées.

La lutte contre les maladies à vecteur est une nécessité au niveau mondial qui concerne les pays de façon inégale. C’est aussi une nécessité sur le territoire français. Certes les territoires français métropolitains sont très peu touchés par ces maladies, leur éradication ayant eu lieu au XX<sup>ème</sup> siècle. Le paludisme endémique a été éliminé en métropole en 1960<sup>14</sup>. Mais les Outremer français y sont confrontés avec, de surcroît, des épidémies récentes et nouvelles : le chikungunya à La Réunion, le zika en Polynésie française et maintenant aux Antilles. La Guyane est exposée aux maladies qui circulent dans le continent sud-américain, à savoir la fièvre jaune, le paludisme, la dengue, le zika et le chikungunya. Et l’extension du moustique Tigre dans les départements métropolitains y réactive une nécessité de lutte.

Au niveau mondial les arboviroses sont des maladies surtout tropicales. Selon l’OMS, le nombre réel de cas est sous-notifié et de nombreux cas ne sont pas correctement classés. La plupart de ces maladies sont surtout présentes dans les pays à revenu faible où elles figurent parmi les toutes premières causes de morbidité et de mortalité. Les différentes zones du monde ne sont pas touchées par les mêmes maladies et les mêmes vecteurs. De plus, les évolutions climatiques, que ce soit dans le cadre des variations naturelles (*El niño* par exemple), ou du changement climatique en cours auquel l’homme contribue, sont susceptibles de faire partie des facteurs importants de modification des aires de répartition.

La dengue est actuellement l’arbovirose la plus répandue dans le monde : 2,5 milliards de personnes vivent dans des zones à risques dans 128 pays : tous les pays des zones tropicales

---

<sup>13</sup> Auditions OPECST le 7 avril 2016 au Sénat, vidéos disponibles sur [http://videos.senat.fr/video.173071\\_57d52fcd894e6.les-maladies-a-transmission-vectorielle](http://videos.senat.fr/video.173071_57d52fcd894e6.les-maladies-a-transmission-vectorielle).

<sup>14</sup> Gilles Bouvenot, Bernard Devulder et Loïc Guillevin, *Pathologie médicale*, tome 2 : Immunopathologie, allergologie, maladies infectieuses, parasitologie, gériatrie, éditions Masson, Abrégé Médecine, 1994, p. 336.

et intertropicales sont touchés. Les vecteurs, de genre *Aedes*, sont majoritairement de l'espèce *aegypti*. Mais l'espèce *albopictus* (Tigre) est en voie de dissémination importante, ce moustique s'adaptant facilement à différents contextes et tout particulièrement aux habitats humains. C'est la dengue qui a connu l'expansion la plus rapide au cours des 50 dernières années (Fontenille *et al.*, 2009). Chaque année, d'importantes épidémies surviennent dans les Caraïbes, en Asie, en Amérique latine et plus récemment en Afrique. La principale complication est associée à la dengue dans sa version hémorragique (DH), mais la mortalité résulte essentiellement de la survenue d'un syndrome de choc (DSC). Un vaccin est actuellement développé et adopté dans certains pays. La dengue, a reculé en intensité dans ses pays d'origine, mais elle ne cesse de s'étendre géographiquement.

Au total, 900 millions de personnes sont exposées à la fièvre jaune (vecteur du genre *Aedes*) en Afrique noire et Amérique intertropicale (200 000 cas et 30 000 décès par an). Les autres zones intertropicales dans le monde ne sont pas concernées. De 2007 à 2014, 95 millions de personnes ont été vaccinées en Afrique (protection à 80%)<sup>15</sup> et, en 2013, le vaccin a été introduit pour les enfants dans les pays d'Amérique Centrale.

Le chikungunya, virus isolé en 1952 en Tanzanie, circule actuellement dans le monde à peu près partout où son vecteur potentiel (*Aedes*) est présent : il est à l'origine de nombreuses épidémies, conquérant actuellement le continent américain et même l'Europe (Italie du Nord en 2007). Suivant les zones, il peut conduire à des épisodes fébriles aigus, parfois chroniques, ou des complications graves (La Réunion, épidémie de 2005 à 2006). Pour cette raison, dans les zones d'épidémies actives, le malathion, insecticide normalement interdit, a été utilisé pour diminuer la population de moustiques adultes. En 2010, deux premiers cas autochtones de chikungunya ont été recensés en France, dans le Var suivis, en octobre 2014, de douze autres cas autochtones observés à Montpellier. En 2011, la Nouvelle-Calédonie est touchée, en décembre 2013 une épidémie se déclare dans les Antilles, à Saint-Martin avant de se propager dans le reste de la Caraïbe puis sur le continent américain. Enfin, la Polynésie française est atteinte en 2014.

Aujourd'hui, l'hypothèse d'une dissémination du virus du chikungunya n'est pas à exclure dans les régions tempérées d'Europe où le moustique vecteur *Aedes albopictus* – dit moustique Tigre – est établi, notamment en Italie et dans le sud de la France. En septembre 2007, une flambée épidémique est survenue en Italie, dans la région de Ravenne (Nord-Est), touchant environ 300 personnes. Elle aurait été introduite par un voyageur en provenance d'Inde. Le risque que la dengue et le chikungunya se propagent en Europe du sud est donc

---

<sup>15</sup> Initiative Fièvre Jaune de l'OMS

surveillé par les autorités de santé. En conséquence, l'infection à chikungunya a été ajoutée à la liste des maladies à déclaration obligatoire et depuis janvier 2006, un dispositif de surveillance renforcée a été mis en place.

Le paludisme, maladie parasitaire, fait l'objet d'une stratégie technique internationale de lutte (2016-2030) de l'OMS<sup>16</sup>, essentiellement fondée sur la prévention, l'accès aux soins et l'utilisation de moustiquaires imprégnées d'insecticide (ces moustiquaires ne sont pas recommandées dans les pays tempérés). Ce programme international, est appuyé par un dispositif de partenariat, le *Roll Back Malaria Partnership* (RBM Partnership), « initiative pour un monde sans paludisme », cadre international de coordination et de lutte contre le paludisme. Il a été lancé en 1998, par le Dr. Gro Harlem Brundtland, pour accompagner une initiative collective (UNICEF, Banque Mondiale, OMS, Nations Unies). Une douzaine de vaccins sont actuellement à l'étude ; certains sont en phase d'essai clinique. L'OMS espère qu'un vaccin efficace pourra être disponible d'ici sept à quinze ans.

#### 2.1.2 Un problème de santé publique avec des impacts socio-économiques

Les maladies véhiculées par les moustiques ont d'importants impacts socio-économiques. Elles portent en effet gravement atteinte à la richesse des pays touchés et à leur activité économique. L'impact annuel mondial est évalué à 12 milliards de dollars actuellement. Pour de nombreux États, la lutte vectorielle est donc un investissement justifié (même si les budgets de lutte restent souvent faibles par rapport à ces pertes).

Les problèmes posés sont multiples et divers<sup>17</sup>. Le paludisme, par exemple, entraîne un impact négatif sur la croissance annuelle du PIB<sup>18</sup> des pays touchés allant jusqu'à 1,3 point de croissance. Si on intègre cette perte sur trente ans cela induit un retard de 50% pour le PIB pour les pays concernés.

Cela concerne aussi bien le fonctionnement des collectivités que les activités des individus. Ces maladies contribuent en effet à la déscolarisation des enfants, diminuent les capacités de travail des adultes, tuent surtout des femmes et des enfants, restreignent les circulations de biens et de personnes, pèsent sur les budgets de santé, accroissent les inégalités<sup>19</sup>.

---

<sup>16</sup> [http://www.who.int/malaria/areas/global\\_technical\\_strategy/en/](http://www.who.int/malaria/areas/global_technical_strategy/en/)

<sup>17</sup> Frédéric Simard, de l'IRD, dans *Le Monde* du 04/10/2016.

<sup>18</sup> <http://www.rollbackmalaria.org/fr/page-daccueil>

<sup>19</sup> [http://www.coalitionpaludisme.org/pages/impact\\_economique\\_et\\_social\\_du\\_paludisme.html](http://www.coalitionpaludisme.org/pages/impact_economique_et_social_du_paludisme.html)

Les impacts sur l'activité humaine sont importants : il s'agit plus particulièrement des impacts sur la production à travers les travailleurs exposés (souvent les plus jeunes), sur l'attrait économique du pays, sur le tourisme, sur le capital humain (Thuilliez, 2009). Les impacts sur les politiques d'éducation sont importants avec des taux d'absentéisme scolaire qui peuvent dépasser 60%.

Les programmes d'actions internationaux ont prévu depuis longtemps des critères de priorité d'action, *via* divers critères et pondérations<sup>20</sup>, des approches « techniques » (potentiel épidémique, etc.), des approches socio-économiques (interactions des maladies avec la circulation des biens et des personnes) en les reliant à des considérations d'ordre éthique<sup>21</sup> (priorité donnée à la prise en compte des maladies qui touchent des populations défavorisées). Les impacts sur la circulation des biens et des personnes prennent en compte le fait que cette circulation est à la base de l'amélioration du niveau de vie, selon les approches privilégiées par l'OCDE ou l'OMC. Les atteintes au « droit à la circulation » provoquées par les pathologies associées aux moustiques sont donc aussi retenues dans les critères de priorisation mobilisés par les Nations Unies ou les organisations internationales.

Face à ces maladies (paludisme, dengue ...), il est parfois possible, avec des succès divers, de se faire vacciner, de se soigner mais aussi, dans une optique de prévention, de se protéger des moustiques et d'éliminer les espèces porteuses de pathogènes dans le cadre de la lutte dite antivectorielle (LAV). Les conséquences économiques directes les mieux identifiées sont donc les dépenses de santé publique (soins, consultations et hospitalisation) et les dépenses de lutte contre les vecteurs (collectives comme individuelles). Cela représente déjà un impact important sur la richesse des pays.

Cet impact économique est probablement sous-estimé du fait que, par convention, les dépenses de soin sont intégrées de façon positive dans le calcul du PIB<sup>22</sup>. Certains impacts économiques engagent l'avenir : dans le cas des maladies actuellement sur le devant de la scène (zika, chikungunya), qui ne sont pas immédiatement les plus pénalisantes pour les individus touchés, la prise en charge des pathologies de l'enfant contaminé *in utero* est

---

<sup>20</sup> Voir par exemple la méthodologie très détaillée pour les parasites liés à la nourriture dans le tableau 3 page 11 du document : *Multicriteria based ranking for risk management of foodborne parasites report of a joint FAO/WHO expert meeting*, 3---7 september, 2012, FAO headquarters, Rome, Italy.

<sup>21</sup> On peut aussi envisager que prendre en compte le fait que les populations défavorisées soient particulièrement touchées n'est pas l'expression d'une solidarité, mais le fait qu'elles ne seront pas en mesure de mettre en place des stratégies efficaces et représentent donc un danger/un réservoir de pathogène pour les autres.

<sup>22</sup> Le calcul classique du PIB est actuellement discuté. Les activités « néfastes » ou de réparation l'alimentant de façon toujours positive en tant qu'activité économique. Des propositions de capital naturel, de bien être, etc. existent.



particulièrement longue et difficile. L'infection virale peut en effet rester cachée avant d'aboutir à des pathologies neurologiques graves. Elle est donc coûteuse sur le long terme, tant pour les familles que pour les systèmes sociaux et les budgets publics. Les évaluations du coût des crises devraient intégrer ces dépenses futures.

Les dépenses collectives sont engagées par diverses entités dans le monde : collectivités, districts, départements, organismes d'État, organisations internationales. Les budgets sont très variables. Les actions comportent l'épandage de produits, les travaux d'aménagement de l'espace, l'information, la surveillance des moustiques, des habitants, des habitats, l'équipement des habitats...

Les dépenses individuelles de protection (moustiquaires, répulsifs...) pèsent sur les budgets des ménages. Selon une étude réalisée à La Réunion le montant des dépenses individuelles serait au moins cinq fois plus important que celles engagées par l'État dans le cadre de la lutte antivectorielle (Thuilliez *et al.*, 2014).

À cet égard, certains résultats globaux sont parlants bien que souvent imprécis. Par exemple, sur les 6,1 milliards d'euros de coûts de santé annuels attribués aux insectes invasifs et chiffrés par des moyens plus ou moins directs, 84 % seraient dus à la dengue (Bradshaw *et al.*, 2016). Ils couvrent les frais d'hospitalisation, le remboursement des médicaments et les campagnes d'éradication ou de prévention. Concernant le Brésil, en l'absence de vaccin contre le zika, la lutte antivectorielle est centrale et coûteuse, le gouvernement brésilien ayant notamment fait appel à l'armée, le coût de cette mobilisation de l'armée est chiffré à 136 millions de réais (environ 30 millions d'euros)<sup>23</sup>. La Banque mondiale a investi 150 millions de dollars dans la lutte contre le zika. Mais « ... *les dépenses pour les ménages n'ont jamais été calculées. Pas plus que les coûts indirects : manque à gagner et séquelles pour les malades, absentéisme pour les entreprises* » ...<sup>24</sup>. De façon générale, les coûts des crises sont souvent très importants : c'est un argument pour légitimer des stratégies de long terme, parfois onéreuses mais qui, en évitant la survenue des crises, seraient « rentables » à long terme.

Il faut également compter avec des dépenses plus indirectes. La circulation de ces maladies renforce par exemple considérablement les coûts de collecte du sang, imposant des traitements ou des évictions de lots. Choisir de détecter les contaminations plutôt qu'exclure

---

<sup>23</sup> [https://www.lesechos.fr/14/02/2016/lesechos.fr/021696419737\\_mobilisation-generale-au-bresil-contre-le-virus-zika.htm#hT4YRpWPYD6SkOhj.99](https://www.lesechos.fr/14/02/2016/lesechos.fr/021696419737_mobilisation-generale-au-bresil-contre-le-virus-zika.htm#hT4YRpWPYD6SkOhj.99)

<sup>24</sup> Commentaire de Frédéric Simard dans *Le Monde* à propos de l'étude sur les coûts des espèces envahissantes (Bradshaw *et al.*, 2016).

*a priori* de nombreux donneurs nécessite des techniques de laboratoire coûteuses quand des tests de routine à grande échelle n'existent pas.

### **2.1.3 Un problème de santé publique avec des impacts environnementaux**

La gestion des moustiques est étroitement liée à des questions environnementales sur plusieurs plans.

#### **2.1.3.1 *Liés à la modification des écosystèmes naturels***

De profondes modifications des milieux sont réalisées depuis longtemps pour limiter les biotopes favorables aux moustiques (assèchement des marais, drainage de zones humides par exemple). Des hydrocarbures ont été déversés sur les plans d'eau afin de noyer les larves. On envisage actuellement l'usage de films de silicone à la surface des petites surfaces d'eau (microréservoirs, pots, et) pour empêcher les œufs d'entrer en contact avec l'eau. La lutte contre les moustiques s'est donc traduite par de fortes modifications d'écosystèmes. Pourtant ces milieux sont souvent d'une grande richesse biologique, et producteurs de services environnementaux basiques importants (épuration des eaux, stockage du carbone, régulation des crues, etc.). Historiquement, c'est la toxicité des insecticides utilisés massivement dans les milieux naturels qui a été considérée comme l'impact environnemental le plus néfaste de la lutte contre les moustiques. La prise de conscience de la valeur des services écosystémiques de ces types de milieux est récente. Sa mesure est encore plus récente.

#### **2.1.3.2 *Liés à la toxicité des substances utilisées***

On pourrait tenter de quantifier les conséquences sur la santé publique de l'utilisation de ces produits de lutte et donc de l'exposition des populations humaines à ces toxiques. L'impact de l'usage des pesticides sur la population en général a tardé à être évalué. On commence tout juste à comprendre les effets liés à l'exposition des professionnels dans le contexte agricole où ces produits sont le plus massivement employés mais il est difficile de dégager l'effet de tel ou tel produit, ou d'analyser les effets « cocktail ». L'analyse actuelle des conséquences de l'exposition des populations aux pesticides de tous ordres dans chaque contexte (utilisation professionnelle, individuelle, exposition par l'air, l'eau, etc.) est un exercice complexe mais reconnu comme nécessaire.

Dans le milieu naturel

Le DDT a été, majoritairement utilisé en agriculture au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle : cette utilisation est la source essentielle des impacts environnementaux imputés à cette molécule. Son usage généralisé au niveau mondial pour la lutte anti-moustique a été la manifestation d'une pratique planétaire et uniciste pour contrer ces insectes. L'usage du DDT (et de nombreux insecticides) est aujourd'hui limité en raison d'impacts forts sur l'environnement

comme par exemple des effets sur les insectes pollinisateurs, les oiseaux. Ce qui était toléré hier ne l'est plus aujourd'hui, ce qui conduit à une restriction des usages autorisés, une sévérité accrue des protocoles, une réduction des doses et la recherche de nouvelles solutions. Les insecticides les plus toxiques sont strictement réservés aux situations d'urgence<sup>25</sup>. On se souviendra qu'en 2016, anticipant le retour de populations ayant fréquenté le Brésil pour les jeux Olympiques et donc potentiellement porteuses de Zika, et alors que les moustiques potentiellement vecteurs étaient très présents localement, les autorités américaines ont pris une autre option que celle que préconisait le Centre pour le contrôle et la prévention des maladies d'Atlanta à savoir identifier les nouveaux malades et traiter leur seul environnement. Elles ont préféré épandre des insecticides assez massivement avec des conséquences importantes (par exemple sur les abeilles) qui ont connu un certain écho médiatique.

Les différents produits utilisés, adulticides ou larvicides, posent toujours des problèmes de toxicité pour l'environnement. Certains sont interdits, d'autres se heurtent à des résistances des moustiques ciblés et sont donc inefficaces ou conduisent à augmenter les doses et l'éventail des produits utilisables se restreint. Même le Bti, insecticide « bio », utilisé dans le sud de la France n'est pas exempt d'effets adverses comme la reproduction des oiseaux<sup>26</sup>, soit directement par la suppression de leur ressource en diptères, ou comme cela a été montré récemment, par la persistance de la libération de la toxine par des spores disséminées, impactant durablement les chironomes et donc suscitant de nouveau une nouvelle perte de ressources alimentaires pour les oiseaux<sup>27</sup>. Le rapport du CS a détaillé les interrogations actuelles sur ces études. Le cadre d'utilisation légal du Bti pourrait être restreint.

#### En utilisation individuelle

En protection ou lutte individuelle, les individus sont exposés aux nombreux insecticides, répulsifs, de synthèse ou naturels. Par exemple, l'utilisation des moustiquaires imprégnées expose potentiellement les personnes à l'insecticide, tout particulièrement les enfants susceptibles de sucer le tissu. Les produits sont donc réglementés, nécessitent un avis de l'Anses et leur mise en marché pour un tel usage doit faire l'objet d'une demande d'autorisation. L'interdiction de la vente de la deltaméthrine a entraîné celle des

---

<sup>25</sup> Afin de disposer de moyens de réaction en cas de crise grave, l'OMS conserve la possibilité d'utiliser des insecticides rémanents dont la décision d'utilisation relève de l'OMS seule.

<sup>26</sup> <http://www.nature.com/news/2010/100615/full/news.2010.296.html> : Mosquito spray affects bird reproduction.

<sup>27</sup> [http://www.tourduvalat.org/fr/newsletter/lettre\\_numero/13](http://www.tourduvalat.org/fr/newsletter/lettre_numero/13)

moustiquaires imprégnées avec ce produit, mais dans le cadre de l'épidémie de zika, l'Anses a été saisie d'une demande de dérogation pour l'usage de ce produit dans les territoires français d'Amérique<sup>28</sup>. L'avis rendu illustre bien le souci que pose l'exposition des individus. Les avis de l'Anses permettent de faire le bilan des risques (toxicité) et des bénéfices (efficacité constatée du produit contre les vecteurs) pour juger de l'intérêt, spécifiquement aux Antilles confrontées au Zika, de maintenir la commercialisation de ces produits.

Mais l'analyse globale de ces expositions à des produits utilisés dans des stratégies individuelles serait très compliquée. On peut penser pour mémoire aux conséquences de l'utilisation de très nombreux et divers produits sur la qualité de l'air intérieur.

#### **2.1.3.3 Liés aux rôles écologiques des moustiques**

Un problème d'un autre ordre est posé par les rôles écologiques des moustiques. Lutter contre les moustiques modifie potentiellement des équilibres écologiques. Ceux-ci sont associés à des services écosystémiques, à l'alimentation ou la survie d'autres espèces, à la circulation de virus au sein du règne animal. Ils sont donc « utiles » à certains égards. Les rôles écologiques des moustiques ont surtout été étudiés dans les habitats où ils représentent une biomasse et une population importante comme les grandes étendues de toundra arctique. De nombreux aspects des rôles écologiques des moustiques ont été détaillés (Fang, 2010). Adultes, ils sont consommés par différents animaux (chauve-souris, oiseaux). Ils sont (modestement) pollinisateurs. Le rôle des larves est important : nourriture pour divers poissons, filtrage et épuration de l'eau, décomposition des matières organiques, y compris dans les urnes des plantes carnivores, leur permettant de digérer les insectes qu'elles piègent. Il semble aux yeux de scientifiques que les quelques moustiques nuisibles puissent être remplacés sur ces plans, mais des travaux de recherche sont encore nécessaires pour pouvoir l'affirmer.

#### **2.1.4 Un problème éthique**

L'accumulation pour l'espèce humaine des problèmes attachés aux moustiques semble suffisante pour faire taire toute inquiétude sur la légitimité des actions visant à les éliminer. Cette élimination des moustiques pose pourtant un problème de nature éthique. Il devient de plus en plus difficile de faire l'économie d'une telle interrogation dès lors qu'il ne s'agit plus

---

<sup>28</sup> L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail a été saisie le 05 février 2016 (Anses–Saisine « n°2016-SA-0024 ») par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) afin qu'elle rende un avis en urgence, en complément des éléments fournis par le HCSP, sur l'opportunité d'utilisation des moustiquaires imprégnées à la deltaméthrine par usage dérogatoire tel que prévu par l'Article 55.2 du Règlement Biocides (UE) 528/2012, compte tenu de l'épidémie de zika dans les DFA. L'avis a été rendu le 12 février 2016.

seulement de « lutter » contre une catégorie spécifique d'insectes mais, véritablement, de les éradiquer, comme cela a déjà été envisagé et continue à l'être avec la mise en œuvre de nouvelles technologies. En outre, les atteintes au monde animal sont parfois contestées : d'un bout à l'autre de la planète, la vision utilitariste de la nature n'est pas partagée par toutes les sociétés. Certes, on peut douter que des considérations sur le bien-être du moustique puissent être opposées à des stratégies destinées à sauver des vies humaines, mais l'élimination totale peut sembler « gratuite » ou démesurée. Rappelons-nous aussi que nous trouvons en général moralement répréhensible d'arracher les ailes ou les pattes des mouches pour le plaisir quand bien même les insectes ne sont pas pour l'instant inclus dans les espèces capables de « souffrance ». Les espèces peuvent aussi présenter une « valeur d'option » s'opposant à leur éradication volontaire (en raison par exemple d'une utilité potentielle future, non avérée au temps présent)<sup>29</sup>. En outre, les arbitrages entre urgence sanitaire et prise en compte de l'environnement ne relèvent pas de règles écrites, même si des priorités sanitaires sont évidentes.

## 2.2 LA LUTTE CONTRE LES MOUSTIQUES : UN PROBLÈME TECHNIQUE

La LAV à des fins de santé humaine renvoie à un ensemble d'actions et de politiques, établies parfois de longue date, tant au plan mondial qu'au plan des États, visant à empêcher les moustiques de contaminer les hommes. Dans certaines sociétés, sa mise en œuvre repose sur des acteurs spécialisés et des organisations expérimentées disposant de différents moyens.

La LAV diffère suivant les lieux et les contextes, par la nature des moyens techniques mis en œuvre mais aussi par l'attribution des rôles et responsabilités aux acteurs concernés (aussi bien du côté des autorités, des experts que des populations exposées au risque). En référence à la saisine, on s'attachera ici tout particulièrement à décrire les éléments qui peuvent présenter un intérêt par rapport à l'introduction de certaines innovations pour la LAV et, plus globalement, aux changements qu'ils peuvent induire dans la conception et l'efficacité de cette lutte.

Dans le cas français, la LAV (*stricto sensu*) est une politique déjà ancienne. Les territoires français ne sont pas tous concernés par les maladies portées par les moustiques. Les principales maladies à vecteurs affectant les humains ont été éliminées du territoire métropolitain. Le paludisme endémique y a disparu en 1960. Mais l'arrivée du moustique Tigre (*Aedes albopictus*) potentiellement vecteur de maladies nouvelles sur le territoire

---

<sup>29</sup> Pour de plus amples développements, voir l'annexe.

métropolitain, change les choses. Elle entraîne des mesures au titre de la LAV, sur une trentaine de départements désignés par arrêté en 2016. Aujourd'hui, cette lutte consiste surtout à réaliser des piégeages et, localement, des traitements par insecticides dès que la présence de ce moustique est identifiée. Dans les DROM et COM, la LAV est beaucoup plus développée en raison de l'exposition récurrente à des maladies circulant sur les continents concernés (paludisme, fièvre jaune, dengue) ou d'épidémies récentes (chikungunya et zika).

Les disparités constatées sur le territoire français sont encore plus nettes au plan mondial. De vastes zones sont chroniquement exposées à des maladies à vecteur endémiques (Asie, Afrique, zones intertropicales, pour la fièvre jaune, le paludisme, la dengue...), d'autres sont soumises périodiquement à des épidémies. Enfin, des épidémies réapparaissent dans des zones qui avaient été considérées comme durablement assainies ou épargnées.

### 2.2.1 Panorama des choix stratégiques

L'éventail des choix stratégiques est large. La panoplie des moyens de lutte encore plus : ils ne ciblent pas seulement la réduction quantitative des vecteurs mais aussi leurs facultés à provoquer les maladies.

Actuellement, si l'on se réfère à l'exemple du paludisme, l'action internationale de santé publique visant à éliminer le paludisme d'un maximum de pays, se fonde essentiellement sur la diffusion de moyens de protection immédiats (diffusion des moustiquaires imprégnées d'insecticides et/ou de répulsifs, notamment), des soins adaptés, surtout aux plus faibles (femmes enceintes, enfants), la délivrance de médicaments (antipaludéens curatifs ou préventifs, fébrifuges) adaptés au contexte et à la résistance locale des moustiques aux principes actifs, enfin la validation de vaccins à des échelles internationales. La stratégie par les moustiquaires s'est révélée efficace avec une baisse de plus de 60% du paludisme depuis le début de l'action (2000). Même s'il s'agit de la principale stratégie contre les maladies à vecteurs, d'autres actions ont été mises à œuvre comme, par exemple la vaccination (dengue, fièvre jaune<sup>30</sup>) présentée comme un axe privilégié pour Zika à un horizon proche.

Les offres biotechnologiques récentes accroissent la diversité des stratégies disponibles.

Au sens large du terme, la lutte antivectorielle se déploie sur plusieurs axes :

- limitation des vecteurs potentiels :
  - prévention/limitation de la reproduction des moustiques,

---

<sup>30</sup> Des documents de l'OMS qualifient la fièvre jaune de bombe à retardement.

- destruction des adultes et des larves par tous moyens (piégeages, biocides, lutte biologique). L'usage des biocides a été une solution majeure et proposée uniformément au début du XX<sup>ème</sup> siècle,
- limitation de la capacité des vecteurs potentiels à infecter les humains :
  - évitement du contact entre vecteurs infectés et humains (moustiquaires, équipement des domiciles),
  - limitation de la circulation du pathogène lui-même (virus, parasite...) en supprimant les réservoirs animaux,
  - et dorénavant, rendre les moustiques inoffensifs en modifiant leur capacité biologique à être vecteurs.
- soin ou vaccination des humains, ce qui n'est pas de la LAV en soi mais y contribue par le fait que des humains sains ou trop faiblement porteurs de virus<sup>31</sup> ne sont ainsi pas source de contamination des vecteurs.

Sur le plan opérationnel, les stratégies peuvent faire appel à des opérateurs, ou à la coopération de la population, en la mobilisant directement ou simplement en suscitant des comportements adaptés des populations. C'est pourquoi les alternatives ne peuvent être considérées comme purement « techniques ». Elles sont aussi sociotechniques.

Diverses options techniques permettent la limitation des vecteurs potentiels :

- la lutte contre les habitats du moustique : souvent les récipients et volumes d'eau où se déroule la partie larvaire de leur cycle de vie (pneus, bâches, sacs plastiques sous la pluie, gouttières, coupelles...) ;
- la lutte biologique : poissons, prédateurs, compétiteurs, souvent spécifique d'une espèce ;

---

<sup>31</sup> L'humain devient ainsi un « cul de sac » pour le pathogène. C'est le cas naturellement pour le West Nile dont le réservoir de pathogène est la population aviaire, qui peut ainsi contaminer ensuite un humain, mais qui ne peut « attraper » le virus en piquant un homme.

- la lutte chimique par des insecticides, avec différentes stratégies pour les diffuser au plus près de leur cible : pulvérisation, transport par les insectes eux-mêmes<sup>32</sup>, peintures, imprégnations, diffuseurs, etc.
- le piégeage (attraction par CO<sup>2</sup>, confusion sexuelle, etc.) ;

C'est dans ce contexte qu'apparaissent actuellement des initiatives de lutte autocide<sup>33</sup> par moustiques biologiquement modifiés ou altérés (au sens large). La lutte ciblée contre un vecteur par ses congénères modifiés est une innovation relativement récente pour les maladies à vecteurs touchant l'homme, bien que déjà opérationnelle pour la mouche tsé-tsé.

## 2.2.2 Précisions sur l'évolution des usages de biocides et larvicides

La lutte antivectorielle mondiale mobilise avec efficacité de nombreuses substances toxiques pour les moustiques ou les larves. Les stratégies par biocides sont en première ligne avec la mobilisation des soins et des vaccins disponibles, lorsqu'il faut répondre à des situations de crise. Sur le plan des vecteurs, la stratégie est d'éliminer les femelles. L'objectif est d'en baisser immédiatement la population et donc la pression d'infestation. Répondre à des crises par des stratégies de limitation de la capacité des insectes à se reproduire prend plus de temps. Envisager une réponse par l'élaboration d'un vaccin ou d'un médicament n'est pas non plus une réponse à la crise.

Des substances nouvelles permettent de limiter la prolifération des moustiques en diversifiant l'offre technologique de lutte. À des substances toxiques renouvelées, voire classiques, se rajoutent des « biocides » nouveaux : des champignons toxiques pour les larves<sup>34</sup>, des densovirus<sup>35</sup>, avec lesquels on contamine les moustiques lâchés afin qu'ils les dispersent dans les micro-habitats qu'ils fréquentent et régulent activement la survie des larves<sup>36</sup>. On envisage même l'action de spores de champignons, particulièrement létales pour les moustiques résistants aux insecticides, tout en préservant d'autres insectes utiles. La modification génétique des spores permet même d'accroître leur efficacité dans leur létalité ciblée.

---

<sup>32</sup> Par exemple, des moustiques lâchés peuvent être porteurs de larvicides qu'ils déposeront dans les sites de pontes.

<sup>33</sup> Méthode de lutte contre des insectes au moyen de l'insecte lui-même.

<sup>34</sup> Champignons de type *Leptolegnia chapmanii*, toxiques pour les larves d'une quinzaine d'espèces de moustiques dont des moustiques vecteurs de maladie.

<sup>35</sup> Les densovirus sont des parvovirus d'arthropodes ; petits virus octaédriques (19-26 nm), 4 genres densoviraux sont pathogènes à des stades larvaires pour différents ordres d'insectes. Ces caractéristiques les font considérer comme des agents potentiels de lutte biologique (agriculture, lutte antivectorielle).

<sup>36</sup> Voir le sous paragraphe sur le « boost »



Dans un autre registre, des innovations concernent les moyens de dissémination des biocides au plus près de leur cible. Des drones permettent l'accès à des sites, des peintures intérieures ou des moustiquaires contenant des agents biocides attendent le moustique dans l'environnement de l'homme. Des projets récents en attente de financement permettent d'attirer les femelles moustiques sur des sites de ponte, où elles seront contaminées par des biocides, qu'elles déposeront ensuite elles-mêmes dans les autres sites qu'elles visiteront. La femelle de *A. albopictus*, pondant en plusieurs fois dans plusieurs sites est potentiellement vulnérable à ce mode d'élimination.

Sur le plan réglementaire, l'usage de ces toxiques est très encadré, et nécessite du professionnalisme pour être utilisé efficacement en minimisant les impacts environnementaux et/ou l'émergence de résistances. Les qualifications professionnelles exigées dorénavant pour l'utilisation des pesticides, établies pour leur usage en agriculture et en paysagisme s'appliquent bien évidemment pleinement pour les opérateurs de la LAV et de la lutte de « confort ».

Les autorisations et disponibilités des produits utilisés ne sont pas définitives : ils peuvent ne plus être sur le marché pour différents motifs : toxicité révélée, non renouvellement des dossiers d'autorisation, ou simplement fin de la fabrication pour différentes raisons dont la rentabilité. En outre, la réduction potentielle de l'offre de Bti pourrait, résulter de mécanismes économiques (disparition d'un des deux fabricants, le Bti est actuellement produit par deux entreprises, l'une américaine, l'autre japonaise, l'une étant en situation de racheter l'autre conduisant à une situation de monopole) et non pas seulement techniques et réglementaires. De nos jours, les tonnages de produits phytosanitaires utilisés en agriculture sont largement plus importants que ceux mis en œuvre dans le cadre de la lutte antivectorielle. Le marché potentiel de la seule LAV est potentiellement considéré comme trop étroit et/ou aléatoire par les industriels pour inciter à développer de nouveaux produits spécifiques de cet usage, voire simplement renouveler les autorisations administratives des anciens. La concurrence, nécessaire, passe par des dossiers d'autorisation dont le coût (et les risques) est élevé par rapport au marché envisageable pour les nouveaux entrants.

### 2.2.3 La lutte biologique

La lutte biologique est « l'utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs ». Elle est basée sur l'exploitation par l'homme et à son profit d'une relation naturelle entre deux êtres vivants : la cible, et l'agent de lutte (ou auxiliaire) qui est un organisme différent, le plus souvent un parasite (ou parasitoïde), un prédateur ou un agent pathogène du premier. Ce peut être un concurrent de la même espèce (lutte autocide). On connaît depuis longtemps des prédateurs des moustiques vecteurs à divers stades de leur

développement. Les stades larvaires sont la cible d'organismes aquatiques (comme les gambusies, les libellules) qui peuvent être endémiques ou introduits dans les habitats permanents. On peut aussi rechercher des organismes vivants qui attaquent les stades larvaires ou les adultes. D'une certaine façon, utiliser *Wolbachia* ou *Bacillus thuringiensis* sous-espèce *israelensis* (bactérie naturellement présente dans le sol, qui libère de la toxine *Bti*), constitue une forme de lutte biologique. Ces techniques ne sont pas exemptes de risques comme ceux liés à l'utilisation d'espèces invasives comme auxiliaires de lutte. Par exemple, l'introduction de la gambusie, petit poisson mangeur de larves de moustiques originaire des eaux douces du Sud-Est des États-Unis, a eu des conséquences écologiques non voulues dans les voies navigables où elle a été introduite au début du siècle dernier. En effet, elle apprécie aussi les œufs de poissons présentant un intérêt économique et met en péril certaines espèces indigènes rares de poissons et d'invertébrés. La gambusie est très difficile à éliminer une fois introduite.

#### 2.2.4 Vaccination et LAV

Les vaccins sont un moyen (potentiel) de protéger les populations mais aussi de faire (potentiellement) obstacle à la circulation de la maladie.

Mais pour beaucoup de maladie à vecteurs il n'y a pas de vaccin connu. Il semble en outre actuellement qu'une partie de l'opinion publique s'interroge, tout particulièrement en France, sur le rôle des vaccinations dans les acquis de santé, et sur le rôle des lobbies correspondants.

De nombreux vaccins sont pourtant attendus contre ces maladies. Ils apparaissent souvent comme une promesse de solution définitive à l'aune des succès connus à propos de maladies anciennes et ayant fait l'objet de vaccinations obligatoires. Pourtant les vaccins candidats restent souvent d'une efficacité très partielle. Les vaccins, quelle que soit leur efficacité, ne sont pas des « solutions définitives » (même si le vaccin contre la fièvre jaune couvre 99% des sujets vaccinés après trente jours). Pour cette raison, le public peut ne pas adhérer à cette option de lutte, si elle est comparée aux autres moyens de lutte contre la maladie.

La conception des vaccins n'est pas un processus simple. La recrudescence de menaces de bioterrorisme a actuellement amené certaines organisations à donner une priorité forte au développement de moyens technologiques de développement de vaccins face à des menaces

émergentes visant des délais divisés par 10, stade de validation clinique et public compris<sup>37</sup>. C'est pour l'instant une intention.

La voie vaccinale est souvent plus aisée à envisager pour des pathologies virales (malgré la grande labilité des virus) que pour celles qui mettent en jeu des parasites comme le paludisme. Néanmoins, pour le paludisme, la voie vaccinale est explorée sous différentes formes par de nombreuses équipes depuis les années 70. Mosquirix, le vaccin expérimental le plus avancé, est développé par GlaxoSmithKline (GSK). Il a reçu un avis scientifique favorable de l'Agence européenne des médicaments (EMA). Un vaccin est également en phase 1 d'essai clinique, visant à protéger les femmes avant la grossesse. Il est développé par l'*organisation European Vaccine Initiative* EVI (Groupement d'Intérêt Économique Européen menant les efforts européens pour le développement de vaccins efficaces et accessibles contre les maladies de la pauvreté) en lien avec des organisations françaises (Inserm, Pasteur), allemandes et écossaise.

Jusqu'à l'arrivée d'un vaccin, le contrôle des moustiques vecteurs *Aedes* a été le seul procédé pour prévenir l'infection par la dengue. Le Dengvaxia de Sanofi est en phase d'expérimentation depuis avril 2016, après vingt ans de recherches et 1,5 milliards d'euros d'investissements. Il pourrait « prévenir huit hospitalisations sur dix et jusqu'à 93 % des cas de dengue sévère », dont la dengue hémorragique, potentiellement mortelle. Les études de phase III sont en cours<sup>38</sup> et montrent que la combinaison de vaccinations de routine et de campagne de vaccinations peut réduire l'impact de la maladie là où elle est endémique. La vaccination n'offre par ailleurs pas toujours la solution attendue : les vaccins permettent une immunité variée, souvent limitée, intrinsèquement (la performance n'est pas garantie à 100%) ; dans la population (contre quoi est-on vacciné ?), dans le temps (le virus a-t-il changé ?). D'autre part, les stratégies vaccinales doivent être inscrites dans la durée quand la maladie est encore susceptible de circuler : si, en 1940, la vaccination massive de 25 millions de personnes en Afrique occidentale et équatoriale francophone a pratiquement fait disparaître la fièvre jaune, l'immunisation insuffisante des populations et la tendance à l'urbanisation créent désormais les conditions d'une résurgence de la maladie<sup>39</sup>. Dans les

---

<sup>37</sup> Voir par exemple la lettre du président des conseillers en sciences et technologies de la présidence des États-Unis (*President's Council of Advisors on Science and Technology*) de novembre 2016 recommandant d'abaisser à moins de six mois le délai de mise sur le marché des vaccins.

<sup>38</sup> Par exemple : *Potential impact of dengue vaccination: Insights from two large-scale phase III trials with a tetravalent dengue vaccine* ; Laurent Coudeville , Nicolas Baurin, Maïna L'Azou, Bruno Guy , 2016 The Authors. Published by Elsevier Ltd.

<sup>39</sup> OMS, UNICEF, Banque mondiale. Vaccins et vaccination: la situation dans le monde, 3ème édition, Genève, Organisation mondiale de la Santé, 2010, p. 166.

stratégies de vaccination de l'OMS, la mise au point d'un vaccin contre la fièvre jaune est considérée comme une priorité face à une maladie qualifiée de « bombe à retardement ».

Évaluer les coûts et bénéfices de leur usage contre les maladies à vecteurs est complexe.

- le délai nécessaire pour l'élaboration d'un vaccin est une variable importante. L'activité de recherche correspondante peut aussi fluctuer en fonction de l'intérêt financier à développer un « blockbuster » pour des marchés solvables.
- Il est évaluable comme vaccin (protégeant les individus de la maladie), en coûts bénéfices de santé pour les populations effectivement vaccinées.
- Il est aussi à évaluer pour ses effets collectifs car diminuant la quantité de virus circulant et contaminant au sein de la population. Il complète les efforts de LAV pour viser l'élimination des pathogènes circulant. C'est d'ailleurs l'immunité acquise par les populations qui amène la fin des crises épidémiques.

Il peut être périlleux d'envisager d'abandonner la lutte antivectorielle pour consacrer tous les moyens à la vaccination et vice versa.

#### 2.2.5 Le recours aux moyens mécaniques (pièges, etc.)

Confrontés à l'impossibilité d'épandre massivement des molécules chimiques (présence humaine, classement environnemental) des opérateurs explorent avec succès des stratégies de piégeage des adultes (en les attirant, par exemple, par la diffusion de CO<sup>2</sup>). L'EID Languedoc a ainsi testé de tels pièges autour de lotissements avec succès (vérifié par le test dit du « mollet »<sup>40</sup> diffusé sur les médias). De la même façon, des pièges attracteurs fondés sur la simulation des odeurs humaines et fonctionnant avec des panneaux solaires, ont été développés<sup>41</sup> et testés. Ces moyens de lutte ont l'avantage d'être sans risque<sup>42</sup> pour l'homme.

On peut noter, également, le développement de technologies exploitant les avancées de l'électronique. Par exemple des lasers, actuellement relativement onéreux, identifiant les types de moustiques par la fréquence de battement de leurs ailes et grillant en vol les moustiques dangereux (au rythme de plus de 20 par seconde) : des barrières électroniques

---

<sup>40</sup> L'opérateur compte les attaques de moustique sur son mollet pendant un temps défini : le résultat est une indication de la quantité de moustiques.

<sup>41</sup> Entre 2013 et 2015, des scientifiques de l'université néerlandaise de Wageningen, du Centre international kényan de physiologie et d'écologie des insectes ICIPE et du Swiss TPH ont déployé 4 500 pièges à moustiques sur l'île kényane Rusing faisant baisser de 70% la population des moustiques vecteurs, et 30% les personnes porteuses.

<sup>42</sup> <https://www.letemps.ch/sciences/2016/08/10/contre-malaria-un-piege-moustiques-solaire>

peuvent être ainsi constituées. Cette fréquence de battement est également un moyen d'identification des moustiques *via* une application sur smartphone !

## 2.3 L'ACTION CONTRE LES MOUSTIQUES : UN PROBLÈME ANTHROPOLOGIQUE

Une présentation exhaustive des dispositifs de lutte antivectorielle n'est pas l'objet de cet état des lieux. Il expose les axes stratégiques de la lutte antivectorielle et les dispositifs institutionnels actuels en France. Il met en évidence les différentes prises en charge de la lutte dans les territoires métropolitains et les DROM-COM. Deux dispositifs de portée internationale sont ensuite décrits.

### 2.3.1 Stratégies publiques et/ou participatives

La lutte antivectorielle peut être mise en œuvre techniquement directement par des instances spécialisées, prestataires, chargés de mission d'intérêt public. La puissance publique peut agir seule : elle alerte, prescrit, surveille (c'est le cas en France). On peut aussi adopter des stratégies mettant largement à contribution les populations dans une stratégie du faire-faire. Des résultats concrets peuvent ainsi être obtenus avec des effets supplémentaires importants (contrôle social, salubrité, vigilance). On peut demander aux citoyens de participer activement à la lutte, impliquer leur responsabilité dans la salubrité des habitats. On peut associer la population autant à la protection (moustiquaires, répulsifs) qu'à la lutte (peintures insecticides, traitement, lutte contre le développement des habitats et des gîtes larvaires). La communication par les collectivités peut alerter, sensibiliser, expliquer<sup>43</sup>.

Ces politiques, qui induisent des innovations sociales importantes, peuvent utilement faire l'objet de travaux en sciences humaines et sociales.

Les nouvelles biotechnologies relèvent d'actions mises en œuvre par des opérateurs obéissant à la puissance publique. Dans certains cas, des stratégies participatives ont été entreprises. On peut noter le cas de l'expérimentation menée dans le Queensland (Olsen *et al.*, 2001), mobilisant des moustiques *Wolbachia* destinés à abaisser la compétence des vecteurs responsables de la dengue. Les habitants ont la possibilité de participer au programme d'essai. Ils reçoivent alors un carton contenant des œufs de moustiques modifiés et le sucre permettant leur développement. Il suffit d'ajouter de l'eau et de placer le dispositif dans leur propriété. Les larves se développent et les moustiques obtenus se disséminent aux alentours. Les cartons peuvent aussi être distribués aux écoliers tel que c'est

---

<sup>43</sup> Le ministère de la Santé a publié en novembre 2016 un guide à l'attention des collectivités locales pour communiquer auprès des populations sur les questions des maladies à vecteurs

également envisagé dans de futurs programmes. C'est une forme particulière de mode de diffusion de la technique et de l'enrôlement des populations.

### 2.3.2 Les stratégies individuelles

Les populations confrontées à des moustiques nuisants ou porteurs de maladies ont des savoirs propres et développent des stratégies de lutte<sup>44</sup> et de protection à l'échelle de leur foyer ou de leur environnement.

L'apparition d'une menace sur la santé publique induit des stratégies individuelles de protection, mobilisant divers outils et produits accessibles sur un marché en évolution, parfois innovants<sup>45</sup>, détournés, ou classiques. Un marché de nouveaux produits anti-moustiques est en plein essor (Thuilliez *et al.*, 2014) et conduit à apporter une aide aux populations pour développer une compétence technique et financière dans ces stratégies individuelles.

L'initiative individuelle stimulée par les recommandations publiques (campagne appelant à se protéger) peut aboutir à des dépenses par personne parfois nettement supérieures à l'investissement public (Thuilliez *et al.*, 2014). Ces recommandations sont également susceptibles de mettre les populations dans des situations de risques objectifs mal maîtrisés (surexposition personnelle à des substances toxiques surdosées – bracelets répulsifs, lotions surdosées – charlatanisme, etc.). Ces « auto luttes » (comme des automédications) sont prises en compte par les autorités en charge des politiques publiques. En France, la Haute autorité de santé a labellisé des recommandations précises, élaborées par la Société de médecine des voyageurs et la Société française de parasitologie<sup>46</sup>, sur l'usage de ces produits pour une PPAV ou Protection personnelle antivectorielle.

Les limites entre des stratégies de délégation de l'action à la puissance publique (qui met en œuvre des solutions techniques) et des stratégies de laisser-faire par la population ne sont pas toujours claires.

Sur le plan culturel, l'interprétation de la (ou des) cause(s) de la maladie peut émerger en dehors des savoirs scientifiques et du discours institutionnel et être la source de comportements particuliers. Une communication claire et une relation de confiance entre les autorités et les populations locales ont parfois permis de restreindre le champ des interprétations des causes de la maladie et de focaliser le développement de stratégies individuelles et collectives de protection sur la lutte contre les moustiques vecteurs, ou sur

---

<sup>44</sup> La Convention sur la diversité biologique insiste sur la nécessité d'identifier et de favoriser ces stratégies.

<sup>45</sup> Par exemple, des répulsifs « naturels » <http://fr.euronews.com/2014/04/09/moustiques-un-repulsif-naturel-et-efficace>

<sup>46</sup> [http://www.medecine-voyages.fr/detail\\_document.php5?id=188](http://www.medecine-voyages.fr/detail_document.php5?id=188)

leur évitement. Cette communication, surtout pour des solutions très technologiques, qui ne reposent pas sur des perceptions partagées, semble indispensable.

En ce qui concerne l'adoption de nouvelles techniques, on ne peut pas passer sous silence la capacité d'action et d'innovation de certains décideurs privés, par exemple les responsables économiques de complexes touristiques. Confrontés aux exigences de leurs clientèles, ils cherchent à atteindre des situations « zéro moustique » pour éviter nuisances et contaminations afin d'obtenir la satisfaction de clientèles particulièrement exigeantes. Répondre en saturant leurs installations en produits chimiques est possible (c'est invisible), mais peu responsable<sup>47</sup>. Les solutions biotechnologiques sont une opportunité pour eux pour se débarrasser de nuisances incompatibles avec leur activité économique. Leur contrôle territorial (possession d'îles, de complexes touristiques étendus) les a amenés à être pionniers dans le test de solutions biotechnologiques.

### 2.3.3 Les acteurs et dispositifs de la lutte antivectorielle

Les modalités décisionnelles et réglementaires de la LAV varient selon les pays. Elles encadrent l'activité d'acteurs mobilisés au plan mondial (ONU, OMS, fondations) *via* différents programmes, celle des États ou des entités locales en charge de la lutte. Ces entités de terrain sont souvent innovatrices et promotrices d'essais.

La lutte intègre explicitement un ensemble de moyens préventifs et curatifs, la veille entomologique, la participation du public, les traitements insecticides. À ces divers titres, elle s'inscrit dans différents dispositifs et mobilise une pluralité d'acteurs : l'État, ses agences de santé, des collectivités territoriales mais aussi des acteurs issus du domaine de la recherche, de l'université et des associations. L'organisation réglementaire face aux maladies à vecteurs

Le Règlement Sanitaire International <sup>48</sup> s'impose aux 196 pays membres de l'OMS donc à la France. Il a pour but d'aider la communauté internationale à prévenir les risques graves pour la santé publique, susceptibles de se propager au-delà des frontières et de constituer une menace dans le monde entier et à y riposter. L'objet et la portée du RSI (2005) consistent à éviter la propagation internationale des maladies, à s'en protéger, à la maîtriser et à y réagir par une action de santé publique proportionnée et limitée aux risques qu'elle présente pour la santé publique, en évitant de créer des entraves inutiles au trafic et au commerce

---

<sup>47</sup> D'autant que la concurrence sur les assertions environnementales est forte dans le secteur touristique.

<sup>48</sup> <http://www.who.int/features/qa/39/fr/>

internationaux. On peut penser qu'une solution qui s'étendrait au-delà des limites nationales impliquerait de l'évaluer dans le cadre du RSI.

En ce qui concerne la France, la lutte est pilotée par l'État, en application de Loi n° 64-1246 du 16 décembre 1964 relative à la lutte contre les moustiques (article L 3114-5 du Code de la santé publique)<sup>49</sup>. La mise en œuvre de la réglementation est l'œuvre du ministère de la Santé *via* ses Agences régionales de santé (ARS). Elle relève donc de la santé publique et de l'intérêt public.

La lutte antivectorielle encadrée par la Loi n° 64-1246 du 16 décembre 1964 modifiée par l'article 72 de la Loi n° 2004-809 du 13 août 2004 relative aux libertés et responsabilités locales ainsi que par l'article L. 3114-5 du Code de la santé publique s'impose *via* les décisions du représentant de l'État.

Elle est réalisée à travers divers dispositifs de terrain financés par les collectivités locales qui peuvent être techniquement très voisins (voire identiques) de ceux qui visent à lutter contre les « simples » nuisances. Les organisations chargées de la démoustication en métropole sont des émanations des collectivités locales (EID) qui consacrent l'essentiel de leur activité et de leur budget à la démoustication au titre des nuisances tout du moins quand il n'y a pas de LAV « ordonnée » par l'État. Celles-ci passent sous l'autorité d'emploi de l'État quand la lutte antivectorielle s'impose. La LAV représente actuellement moins de 20% de leur budget<sup>50</sup> en métropole mais croît avec l'expansion territoriale du moustique Tigre. Les EID disposent d'un conseil d'administration (conseillers généraux), d'un conseil scientifique et technique, d'un directeur (fonctionnaire territorial). Les actions sont menées par des unités opérationnelles dirigées par un responsable d'unité.

Sur le terrain, la division entre le niveau décisionnaire au sein de l'État (la LAV est décidée dans le cadre ministériel, celui des agences régionales de santé ; et sa définition opérationnelle à l'échelle du département par des arrêtés préfectoraux) et les services chargés de la mise en œuvre (qui sont financés par les départements). Cette division conduit à une certaine ambiguïté concernant les responsabilités, rend parfois confuse la répartition

---

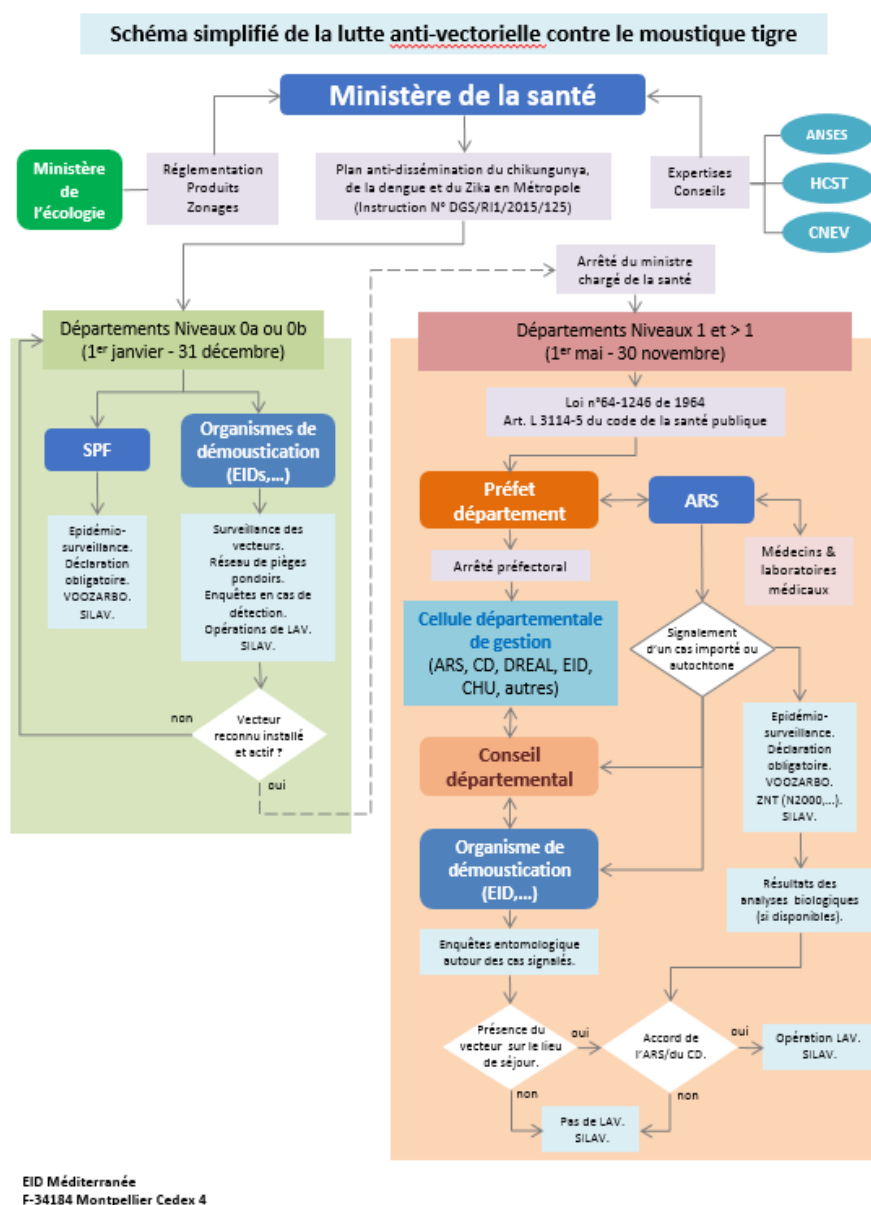
<sup>49</sup> « La lutte antivectorielle est encadrée par la Loi n° 64-1246 du 16 décembre 1964 modifiée par l'article 72 de la Loi n° 2004-809 du 13 août 2004 relative aux libertés et responsabilités locales ainsi que par l'article L. 3114-5 du Code de la santé publique. La responsabilité de la lutte contre les moustiques vecteurs de maladies est confiée aux conseils généraux alors que la définition de cette lutte et son évaluation sont de la responsabilité de l'État. Les conseils généraux ont également la compétence de la lutte dite de confort ». <https://www.senat.fr/questions/base/2013/qSEQ130606707.html>

<sup>50</sup> Entretien avec les responsables de l'EID Méditerranée.



des rôles, notamment en situation d'urgence<sup>51</sup>, mais permet en fait de combiner une motivation régalienne avec la légitimité que donne l'action locale.

L'existence de situations épidémiques dans les DROM-COM implique, pour les entités de lutte, une prédominance de l'activité de LAV, avec des usages de toxiques sensiblement plus importants qu'en métropole et la poursuite de stratégies mobilisant expressément les populations dans la lutte contre les habitats des moustiques proches des hommes. De nouvelles solutions sont attendues plus impatiemment qu'en métropole.



<sup>51</sup> <http://documentation.ehesp.fr/memoires/2008/ies/margueron.pdf>

Schéma proposé par l'EID Méditerranée, 2017

#### 2.3.4 Cadre opérationnel français face à l'arrivée de moustiques éventuellement vecteurs

Les différentes situations identifiées en fonction de la situation épidémiologique et entomologique locale et retenues dans la loi sont décrites dans les paragraphes qui suivent.

##### **2.3.4.1 Existence de conditions entraînant un risque de développement de maladies humaines transmises par l'intermédiaire d'insectes et constituant une menace pour la santé de la population : classement niveau 2**

Les départements concernés figurent sur une liste fixée par l'arrêté du ministre en charge de la Santé. Ils sont classés au niveau 2 pour le moustique considéré.

Dans ces départements<sup>52</sup> :

- la définition des mesures de lutte nécessaires relève de la compétence de l'État ;
- l'exécution des mesures de LAV relève du département (Conseil départemental) ou d'un OPD depuis la Loi n° 2004-809 du 13 août 2004 relative aux libertés et responsabilités locales ;
- la surveillance entomologique des insectes vecteurs et, en tant que de besoin, des résistances des insectes vecteurs aux produits biocides, et la définition de la stratégie et des contenus des actions d'information et d'éducation sanitaire de la population sont des missions exercées par l'Agence régionale de santé (au titre du 1° et du 2° de l'article R. 3114-9 du Code de la santé publique).

Il faut noter que des classements à des niveaux 3, 4, 5 sont possibles, lors de crises extrêmes, mais n'ont pour l'instant pas concerné le territoire français.

##### **2.3.4.2 Présence de moustiques constituant une menace pour la santé de la population : classement niveau 1**

Les départements concernés figurent sur une liste fixée par arrêté conjoint du ministre en charge de la Santé et du ministre en charge de l'Environnement. Ces départements sont classés au niveau 1 du plan anti-dissémination concernant la maladie (comme cela a été récemment le cas pour le chikungunya et la dengue en métropole)<sup>53</sup>.

Dans ces départements :

---

<sup>52</sup> Actuellement les départements de la Haute-Corse, de la Corse-du-Sud, de la Guadeloupe, de la Guyane, de la Martinique et de La Réunion.

<sup>53</sup> Le Var, les Alpes-Maritimes, les Bouches-du-Rhône, les Alpes-de-Haute-Provence, le Gard, l'Hérault, le Vaucluse, le Lot et Garonne, les Pyrénées-Orientales, l'Aude, la Haute-Garonne, le Rhône, l'Ardèche, la Drôme, l'Isère, la Gironde, la Saône-et-Loire et la Savoie.

- la définition des mesures de lutte nécessaires relève de la compétence de l'État ;
- l'exécution des mesures de LAV, la surveillance entomologique des insectes vecteurs et en tant que de besoin, des résistances des insectes vecteurs aux produits biocides relèvent du département (Conseil départemental) (depuis la Loi n° 2004-809 du 13 août 2004 relative aux libertés et responsabilités locales) ;
- les actions d'information et d'éducation sanitaire de la population sont des missions exercées par l'Agence régionale de santé, par les conseils départementaux, les communes et les structures chargées de la surveillance entomologique et de la démoustication.

#### **2.3.4.3 Pas de présence des moustiques : classement niveau zéro**

Les départements en question sont classés en niveau zéro. La surveillance est décidée et réalisée par l'État (ARS). Les surveillances entomologiques sont réalisées par exemple en mobilisant contractuellement les moyens des structures locales comme les EID. En temps de « paix » subsiste la veille sanitaire pilotée par l'État *via* l'ARS pour les maladies à déclaration obligatoire (SI-LAV).

#### **2.3.4.4 En cas de besoin, dans les départements dont les conseils départementaux le demanderaient**

Dans ces départements les mesures concernant la démoustication sont élaborées en concertation entre le préfet, les services du conseil départemental et la structure chargée de la surveillance entomologique et de la démoustication. Elles ne concernent que certaines communes dans lesquelles la lutte contre les moustiques autochtones est nécessaire.

Cette lutte ne relevant pas d'un risque pour la santé, elle est sans incidence sur le classement du département concerné par rapport à un plan anti-dissémination existant concernant par exemple le chikungunya et la dengue en métropole.

Remarque : les maires peuvent, au titre de leurs pouvoirs de police générale et spéciale (dont le règlement sanitaire départemental), mettre en place des mesures de lutte contre les moustiques (élimination des gîtes larvaires, traitement larvicide).

#### **2.3.4.5 Évolutions organisationnelles et discussion**

Dans les DROM-COM, la lutte antivectorielle s'inscrit dans des dispositifs beaucoup plus hétérogènes, en raison de la complexité d'un dispositif législatif et réglementaire construit tantôt pour répondre à des préoccupations d'aménagement du territoire et de lutte contre les moustiques nuisants<sup>54</sup> ; tantôt pour se protéger des maladies transmises par les insectes.

---

<sup>54</sup> Un insecte sera considéré comme nuisant si, bien que ne transmettant pas de maladie, il induit une gêne par ses piqures (douleur, prise de sang). À distinguer des notions de nuisibles, de ravageurs, de vecteurs...

En 2010, suite à la publication en 2009 d'une recommandation d'un réseau d'experts en lutte antivectorielle, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) et l'Institut de veille sanitaire (InVS) ont lancé la création du Centre National d'Expertise sur les Vecteurs (CNEV), structure multidisciplinaire rassemblant des chercheurs de plusieurs instituts et des laboratoires partenaires, pour mobiliser dans une perspective d'aide à la décision, l'ensemble de l'expertise et des compétences françaises dans les domaines de l'entomologie médicale et vétérinaire, de la lutte antivectorielle et des sciences humaines et sociales appliquées à la lutte antivectorielle<sup>55</sup>. La décision relative à la création de ce centre d'expertise pour une période de cinq ans (2011-2016) est portée par les ministères en charge de l'Agriculture et de la Santé.

#### *2.3.4.5.1 Disparité de répartition des compétences entre départements et État*

La mise en œuvre des dispositions réglementaires n'a pas pleinement été réalisée dans certains départements où les conseils généraux, pour des raisons variées, se sont désengagés de la lutte antivectorielle. Ainsi par exemple à La Réunion, la lutte antivectorielle est assurée depuis 2006 par un service de prophylaxie mis en place dans le cadre d'un groupement d'intérêt public (GIP<sup>56</sup>) et c'est la DRASS (puis l'ARS), service de l'État, qui assure les moyens financiers et humains. En Guadeloupe, les moyens de la lutte antivectorielle sont censés avoir été transférés au Conseil général dans le cadre d'une convention signée en 2006, mais à ce jour aucun transfert n'a été opéré et c'est la direction de la santé et du développement social (DSDS), service de l'État, qui dispose des moyens et assure toutes les activités de lutte antivectorielle. Enfin en Martinique, l'État et le Conseil général (service de démoustication) travaillent de manière coordonnée et complémentaire.

---

<sup>55</sup> <http://www.cnev.fr/index.php/le-cnev/constitution-les-partenaires>

<sup>56</sup> Un groupement d'intérêt public (GIP) a été créé à La Réunion, le GIP-LAV. C'est une personne morale de droit public, constituée de partenaires publics et de quelques partenaires privés et ayant un objectif déterminé devant répondre à une mission d'intérêt général à but non lucratif. Le Groupement d'Intérêt Public - Lutte Anti-Vectorielle (GIP-LAV) a été créé par arrêté préfectoral en octobre 2006, en pleine épidémie de chikungunya, dans l'objectif de coordonner les actions des différents partenaires qui interviennent de façon directe ou indirecte dans la lutte contre les moustiques vecteurs. En cas d'épidémie, il est la structure de réponse pour les actions de lutte antivectorielle à l'échelle du département. Il comprend les institutions suivantes : l'État, l'ARS OI, le Conseil régional, le Conseil départemental, l'Association des maires, les 24 communes et les 5 intercommunalités du département. Présidé par le Préfet, il décide de la politique générale de prévention des maladies vectorielles, et des stratégies d'action retenues pour la lutte antivectorielle. Le GIP-LAV s'appuie sur les missions menées au quotidien par le service de lutte antivectorielle de l'ARS OI, complétées par les activités des communes et des intercommunalités en matière de gestion des déchets et de maintien de l'hygiène du milieu.

En période épidémique, les moyens financiers et humains des services de la lutte antivectorielle, tant au niveau institutionnel qu'au niveau opérationnel sur le terrain, sont systématiquement renforcés (cas du chikungunya et de la dengue en 2006 à La Réunion et en Guadeloupe (Fontenille et al., 2009), cas plus récent de zika dans les départements Sud-Est de la France métropolitaine). Mais ces dispositifs semblent précaires à long terme, notamment quand une maladie semble contrôlée (comme le pointe l'OMS pour le cas de zika au Brésil<sup>57</sup>). Les solutions onéreuses de long terme que sont les propositions de moustiques génétiquement modifiés vont poser des questions politiques importantes et faire l'objet de débats complexes. L'analyse juridique (B. Tirel dans Fontenille *et al.*, 2009 pp. 250-262) illustre les difficultés d'application de la Loi du 13 août 2004 voir, en particulier, son article 72 qui organise la décentralisation des compétences en lutte antivectorielle de l'État vers le département pour l'exécution des mesures. Il apparaît que ce transfert, amorcé puis suspendu, présente plus de difficultés que d'avantages<sup>58</sup> et que les modalités de prise en charge de la lutte varient dans chacun des territoires métropolitains et des DROM-COM. En effet, la responsabilité de la lutte contre les moustiques vecteurs de maladies et de la lutte « de confort » (nuisances seules) est confiée aux conseils généraux alors que la définition de cette lutte et son évaluation sont de la responsabilité de l'État. L'extension rapide du moustique Tigre sur le territoire métropolitain pose de nouveaux problèmes techniques et organisationnels. En particulier, les départements nouvellement touchés n'appartiennent pas à des ententes interdépartementales.

On peut se poser la question de l'opposition des deux responsabilités ou de leur complémentarité et s'interroger sur la capacité d'un tel système en tension à gérer les questions particulières soulevées par l'intrusion de moustiques génétiquement modifiés dans les objets à gérer.

La surveillance d'État (centralisation et décisions sont en fait pilotées par l'ARS), sur la présence des vecteurs, sous-traitée aux EID, débouche *in fine* sur la déclaration d'un nombre croissant de départements en zone de lutte, la lutte devant être à la charge des départements dès lors qu'elle est déclarée. Or les « nouveaux » n'ont pas de compétence, de services et ne font pas partie des noyaux originaux des « cotisants » aux EID. Pour l'instant, les EID peuvent exécuter des tâches à la demande pour les nouveaux départements, mais des limites sont atteintes. Le moustique Tigre s'étendant (par covoiturage surtout), l'idée que le territoire métropolitain soit concerné dans son intégralité fait son chemin, ce qui pourrait conduire de

---

<sup>57</sup> <http://who.int/dg/speeches/2016/wha-69/en/>

<sup>58</sup> Cf. la question écrite n° 06707 de M. André Vairetto (Savoie - Soc.) publiée dans le JO Sénat du 06/06/2013, page 1681.

fait à ce qu'un EID national apparaisse souhaitable, et que donc cette mission relève de l'État. En tout état de cause, un nombre croissant de départements devra être couvert par de telles compétences. Et les compétences à mobiliser sont rares.

Sur ce point, la salubrité publique, la communication, etc. sont des prérogatives des collectivités locales voire des maires. L'État a publié en novembre 2016 un manuel de communication pour les actions communautaires, la vigilance, la lutte à la maison, à l'attention des communes. C'est un moyen d'étendre le domaine de la lutte. Néanmoins, ces collectivités nouvellement concernées sont sans moyens dédiés.

L'expansion du moustique Tigre va donc poser des problèmes de définition de contours, et de prérogatives, et bien sûr de budget. Et donc un jour de technique.

#### 2.3.4.5.2 *Disparités en termes d'expertise*

La lutte antivectorielle utilise des moyens distincts selon ses objectifs et le groupe de vecteurs ciblés. Les méthodes de lutte diffèrent donc, elles aussi, selon les objectifs fixés et en fonction du contexte vectoriel, écosystémique, environnemental, mais aussi économique et sociopolitique. En outre, les vecteurs sont des êtres mouvants et il est encore difficile de prévoir l'émergence d'un sérotype dans une zone n'ayant jamais connu la maladie, transmis par des vecteurs jusque-là considérés comme nuisants ou secondaires. Cette variation des outils et techniques de lutte pose le problème de l'expertise et du renouvellement des compétences locales dans ces domaines.

Si la création du CNEV constitue une avancée considérable en matière d'expertise entomologique, d'appuis scientifique et technique et de formation, l'expertise est concentrée en France métropolitaine et seuls deux de ses membres représentent les zones géographiques d'intérêt (pour la région Antilles-Guyane, et pour la région océan Indien). Plus généralement, et au-delà des tensions sociales liées au transfert des personnels au Conseil général dans certains départements d'outre-mer, le manque d'encadrement intermédiaire et l'isolement des chercheurs sur place par rapport à l'expertise en métropole est jugé important<sup>59</sup>.

Concernant l'expertise sur les technologies émergentes de lutte, un article récent (Boëte *et al.*, 2015) montre que les scientifiques impliqués dans la lutte antivectorielle sont peu informés de ces nouvelles techniques de lutte. Elles sont en outre mises au point par des scientifiques dans des pays où les maladies visées ne sont pas endémiques.

---

<sup>59</sup> [http://www.lepoint.fr/sante/zika-la-propagation-de-l-epidemie-etait-previsible-depuis-2014-03-02-2016-2014974\\_40.php](http://www.lepoint.fr/sante/zika-la-propagation-de-l-epidemie-etait-previsible-depuis-2014-03-02-2016-2014974_40.php)

Enfin, lors de la crise du chikungunya à La Réunion, les études ont montré que l'autonomisation des organisations de lutte antivectorielle et de leurs objectifs propres dans l'action aboutissait à un résultat paradoxal. Les collectivités disposent d'un « affichage » de leurs actions (elles font « quelque chose ») alors que, dans le même temps, les médecins en charge des soins étaient esseulés et invisibles<sup>60</sup>. Pourtant l'optimisation de la politique de santé doit se trouver à mi-chemin entre le soin des personnes malades et la lutte antivectorielle.

#### **2.3.4.6 Comment sont déterminées les méthodes de lutte : rôle central de l'arrêté préfectoral**

L'activité de démoustication en métropole s'inscrit dans le respect de nombreuses contraintes environnementales, « luxe » que permet la démoustication de « confort ». Elle y répond par une grande connaissance de terrain, une protection centrée sur les habitats humains, une utilisation parcimonieuse d'insecticides autorisés (parfois un seul insecticide disponible). Elle met les EID en situation de proposition de diverses innovations techniques (pièges, dispositifs de comptage, etc.) pour lesquelles les EID peuvent définir des programmes expérimentaux et rechercher des financements aussi bien localement qu'auprès de l'Anses. En fonction de la situation de LAV ou de lutte de confort, les modalités de lutte ne sont pas tout à fait identiques dans leurs prérogatives et leurs moyens. Elles sont définies par arrêté préfectoral, tant pour les activités de routine que pour les propositions expérimentales.

Dans le cadre de la LAV, les arrêtés donnent des pouvoirs importants aux personnels et organisations : les agents sont autorisés à pénétrer dans les propriétés privées avec leur matériel pour procéder à leurs actions de LAV. Il y a peu de moyens de s'y opposer, sachant que la mise en demeure du préfet, en cas de refus, est d'exécution rapide. Pour la lutte de confort, on est plutôt dans le registre des obligations incombant aux propriétaires, en conformité avec des considérations générales relevant des décisions des collectivités locales ou des règlements sanitaires départementaux.

En ce qui concerne les outils mobilisables, les substances autorisées à grande échelle sont visées par l'arrêté préfectoral, limitatif (avec leurs différentes dénominations commerciales) et avec les réglementations s'appliquant à l'emploi de biocides (règlement européen N° 528/2012 « biocides » transposé en droit français aux articles L 522-1 et suivant du code de l'environnement). Leur emploi est autorisé sans avis préalable.

---

60 Pascale Metzger, « L'épidémie de chikungunya : un problème de moustiques ? », in Gilbert C. (ed.), Henry E. (ed.) *Comment se construisent les problèmes de santé publique*, La Découverte, 2009, p. 175-193. ISBN 978-2-7071-5910-6

Il faut noter que pour des crises d'un niveau supérieur aux classements évoqués, l'OMS peut autoriser l'utilisation de substances interdites.

Pour la lutte de confort toutes les substances actives peuvent être utilisées à titre expérimental sous réserve d'être notifiées au titre de la Directive 98/8/CE, pour le *Type de produits 18* : insecticides, acaricides et *produits* utilisés pour lutter contre les autres arthropodes. Leur utilisation doit respecter les obligations réglementaires :

- étiquetage ;
- composition des produits déclarés aux fins de toxicovigilance ;
- déclaration au MEDDE avant mise sur le marché.

Les classifications environnementales des lieux doivent être respectées.

#### **2.3.4.7 Conclusion sur le choix des méthodes**

On constate que le choix des « armes » relève d'une culture commune aux administrations et aux organismes de terrain. Les entités de lutte sur le terrain sont constamment engagées dans des dispositifs d'essai, de validation, d'expérimentation éventuellement de façon autonome ou avec des organismes de recherche. Elles sont à la recherche de financement de toutes sources pour ces expérimentations et leur validation, que ce soit auprès de l'Anses, de programmes européens, de fondations, d'administrations...

Ce panorama indique en fait quelle serait la trajectoire technico-administrative pour l'élargissement de la panoplie disponible pour l'incorporation de nouveaux outils :

- la validation du cadre général, probablement européen, d'utilisation ;
- la familiarisation sur le terrain avec des essais et expérimentaux ;
- le positionnement expert dans la panoplie des outils de telles politiques définies par des objectifs de santé ;
- en revanche on constate dans les arrêtés que les interactions avec la population formellement exigées se réduisent à l'information et à la capacité de mise en demeure pour accéder aux propriétés privées. On sent bien que cela tient peu compte de l'éventuelle sensibilité de la population aux méthodes utilisées et à leur implication comme cela a été déjà le cas à La Réunion lors de la crise du chikungunya.

Cela permet d'identifier les obstacles administratifs à lever pour que la décision (ou pas) d'utiliser ce type de moustique soit fonction de leur réel intérêt, et non pas d'une inertie administrative. L'arrêté préfectoral et son instruction sont donc fondamentaux : c'est à ce



stade que sont identifiés les objectifs, les outils, les projets, les réglementations disponibles, les mesures de consultation, d'information, de notification, de suivi à mettre en place et aussi et surtout, le cadre particulier des expérimentations.

#### **2.3.4.8 Principes de la surveillance en France métropolitaine et dans les DROM-COM**

En France métropolitaine, les surveillances du chikungunya, de la dengue et de zika (depuis 2016) s'inscrivent dans un même Plan anti-dissémination en métropole. Ce plan, élaboré par le ministère chargé de la Santé est actualisé chaque année. Il prévoit de renforcer la surveillance entomologique et épidémiologique notamment dans les zones d'implantation d'*Aedes albopictus* pour évaluer et prévenir les risques de dissémination de ces virus<sup>61</sup>. Cette surveillance repose d'une part sur la déclaration obligatoire (DO) des cas confirmés de ces maladies avec signalement immédiat à la plateforme régionale de veille et d'urgences sanitaires placée au sein de l'Agence régionale de santé (ARS) et s'applique à l'ensemble du territoire métropolitain. Elle repose d'autre part sur un réseau de laboratoires volontaires réalisant les diagnostics du chikungunya, de la dengue et de zika, qui fournissent leurs résultats à l'ANSP, Agence nationale de santé publique<sup>62</sup>.

Les objectifs de la surveillance en métropole dans les zones exemptes de moustiques vecteurs sont :

- le suivi des cas importés et la documentation des sérotypes circulant de la dengue au niveau mondial ;
- le suivi des tendances (échelon départemental, régional).

Dans les zones où le moustique vecteur est implanté, les objectifs de surveillance sont :

- la détection rapide des cas importés, afin de mettre en place les mesures de lutte antivectorielle adaptées autour de ces cas et afin d'éviter l'essor d'une transmission autochtone ;
- la détection rapide des cas autochtones, pour limiter l'extension de la circulation autochtone.

---

<sup>61</sup> Cf. N°DGS/RI1/2015/125 du 16 avril 2015 et N°DGS/RI1/2016/103 du 1er avril 2016.

<sup>62</sup> Depuis le 1<sup>er</sup> mai 2016, l'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (Inpes), l'Institut de veille sanitaire (InVS) et l'Établissement de préparation et de réponse aux urgences sanitaires (Eprus) sont devenus Santé publique France. Établissement public administratif sous tutelle du ministre chargé de la Santé, Santé publique France, l'Agence nationale de santé publique a été créée par le décret n° 2016-523 du 27 avril 2016 et fait partie de la loi de modernisation du système de santé (loi n° 2016-41 du 26 janvier 2016).

Les départements et collectifs d'outre-mer disposent d'un dispositif de surveillance des virus spécifiques à leur contexte épidémiologique. Cette surveillance est assurée par les Agences régionales de santé et les Cellules interrégionales d'épidémiologie (Cire, antennes régionales de l'ANSP).

### 2.3.5 Les dispositifs globaux

#### 2.3.5.1 *Programme mondial de lutte antipaludique ([http://www.who.int/malaria/about\\_us/fr/](http://www.who.int/malaria/about_us/fr/))*

Le Programme mondial de lutte antipaludique est chargé de coordonner les activités menées par l'OMS au niveau mondial pour lutter contre le paludisme et l'éliminer. Ses activités s'appuient sur la *Stratégie technique mondiale de lutte contre le paludisme 2016-2030* adoptée par l'Assemblée mondiale de la santé en mai 2015.

La Stratégie fournit un cadre technique complet à tous les pays d'endémie s'efforçant de lutter contre le paludisme et de parvenir à son élimination. Elle fixe des buts ambitieux, mais réalisables, pour 2030 :

- réduire le nombre des cas de paludisme d'au moins 90 % ;
- réduire la mortalité due au paludisme d'au moins 90 % ;
- éliminer le paludisme dans au moins 35 pays ;
- empêcher la réapparition de la maladie dans tous les pays exempts du paludisme.

Le Programme mondial de lutte antipaludique s'est engagé à aider les États membres à atteindre les cibles fixées par la stratégie technique mondiale en :

- formulant et disséminant des orientations et des politiques sur la lutte contre le paludisme et son élimination au niveau mondial ;
- aidant les pays à adapter, adopter et mettre en œuvre les normes et standards de l'OMS pour la lutte contre le paludisme et son élimination ;
- appuyant les pays dans la formulation de plans stratégiques nationaux contre le paludisme ;
- aidant les pays à développer des systèmes solides de surveillance du paludisme ;
- répondant aux demandes des pays pour faire face aux urgences biologiques et opérationnelles et à divers problèmes.

L'une des principales fonctions du Programme mondial de lutte antipaludique consiste à évaluer de façon indépendante les progrès réalisés dans la lutte antipaludique à l'échelle mondiale. Sa publication phare, le *Rapport sur le paludisme dans le monde*<sup>63</sup>, présente tous les ans les dernières données disponibles sur l'impact des interventions contre le paludisme dans l'ensemble du monde.

#### 2.3.5.2 Le réseau SEGA One Health<sup>64</sup>

L'épidémie de chikungunya, qui a touché en 2005 et 2006 des centaines de milliers de personnes dans la région, a servi de révélateur aux pays membres de la Commission de l'océan Indien (COI : Union des Comores, Madagascar, Maurice, La Réunion/France, Seychelles).

Mieux informés, ils auraient pu davantage se préparer et limiter les impacts. Les systèmes d'alerte ont montré des défaillances, le manque de personnel qualifié, d'informations et de communication. Les maladies infectieuses transmises de façons diverses (dengue, grippe, rougeole, choléra...) peuvent se propager très vite d'une île à l'autre et avoir des conséquences économiques et sociales désastreuses sur les populations. Les risques sanitaires sont partagés par tous les pays de la COI. La riposte doit donc être régionale.

Conscients de ces enjeux, les ministres de la Santé de la COI se sont engagés en 2006 à mettre en réseau leurs services publics de surveillance des maladies (Réseau SEGA), à développer une veille sanitaire active et à renforcer leurs capacités d'action, pour détecter au plus tôt les épidémies et réduire leur impact sur les populations. Ainsi est né le projet RSIE-COI<sup>65</sup> lancé en 2008 par la COI et financé à hauteur de 5,6 millions d'euros sur quatre ans par l'Agence française de développement.

Au cœur du dispositif organisationnel, l'Unité de veille sanitaire de la Commission de l'océan Indien est appelée à devenir à terme le socle d'une Unité régionale de santé pérenne en charge d'animer et de développer le réseau SEGA (Surveillance des épidémies et gestion des alertes).

## 2.4 PORTÉE ET LIMITES DU TRAITEMENT DES PROBLÈMES ASSOCIÉS AUX MOUSTIQUES

---

<sup>63</sup> Rapport 2015 sur le paludisme dans le monde : <http://www.who.int/malaria/publications/world-malaria-report-2015/report/fr/>

<sup>64</sup> Source : <http://reseau-sega-coi.org/content/le-projet-rsie-coi>

<sup>65</sup> Le projet RSIE-COI fait fonctionner un réseau régional de partage d'informations épidémiologiques issues des services de surveillance des Etats membres.

Au plan mondial, le risque de contamination et la densité de moustiques sont empiriquement convergents (Bowman *et alli*, 2016). C'est l'argument de base pour reconnaître une importance stratégique à la LAV. Dans les situations de crise, éliminer les insectes est considéré comme efficace. Dans les faits, les choses sont plus complexes, que ce soit sur le long ou le court terme<sup>66</sup>.

La protection des populations est un autre axe majeur au niveau mondial pour les situations endémiques. Ces stratégies ont permis dans le passé et encore aujourd'hui d'obtenir des résultats notables : on doit ainsi au grand programme de lutte contre le paludisme équipant les habitats de moustiquaires imprégnées d'insecticides une plus grande protection des enfants et des femmes avec une diminution de 60% du nombre de morts du paludisme dans les pays les plus exposés depuis 2000 (pour l'essentiel, des pays du Sud). Les grandes organisations internationales misent encore beaucoup sur ce type d'actions, mais cela reste encore insuffisant au regard de l'ampleur de la mortalité imputable aux moustiques.

#### 2.4.1 Les limites dans l'usage des moyens disponibles

De façon globale (sur un plan mondial), la LAV, telle qu'elle a été conçue et mise en œuvre au cours des dernières décennies, a permis :

- de diminuer de façon parfois significative les effets nocifs des moustiques ;
- de mettre en place des dispositifs de lutte, à un coût raisonnable et en recourant à une panoplie de moyens pouvant s'inscrire dans des actions publiques à grande échelle ou au plan local (comme en Camargue au début du XX<sup>ème</sup> siècle) ;
- de susciter une implication du public (comme, par exemple l'intervention des habitants dans la lutte contre les habitats des moustiques, l'usage effectif et approprié des moustiquaires, etc.) ;
- de favoriser des innovations s'inscrivant dans la lignée des moyens déjà mis en œuvre (comme, par exemple, la conception de nouveaux pièges, le recours à des prédateurs naturels, etc.).

En France (territoire métropolitain et DROM-COM), la LAV s'avère globalement efficace grâce à des moyens de veille et de lutte éprouvés, une organisation relativement stabilisée,

---

<sup>66</sup> Par exemple, diminuer la population de moustiques en plein crise peut, en retardant l'acquisition de l'immunité collective par la population, rallonger de fait la situation de crise qui a en elle-même de fortes conséquences (vigilance nécessaire, impact sur les activités économiques...).

des acteurs ayant une grande expérience du terrain et capables de faire « la part des choses », la persistance dans le temps de dispositifs ayant à la fois des objectifs sanitaires et de confort<sup>67</sup>, importants aux yeux de la population et des acteurs économiques (dans le secteur du tourisme notamment).

#### **2.4.1.1 Les difficultés à atteindre les cibles sans générer de risques**

Les nouveaux défis sont aussi liés à des changements de contextes résultant tout à la fois des modifications climatiques, de la mondialisation des échanges, de l'évolution des densités humaines, de la baisse de la biodiversité (il y a moins de maladies émergentes dans les milieux biodivers au sens interspécifique, voir Morand *et al.*, 2014), ainsi que de menaces associées à l'émergence de nouveaux virus dont les moustiques pourraient être les vecteurs, suite par exemple à la déforestation ou de la recolonisation des milieux urbains.

Les biocides doivent atteindre leurs cibles, le plus souvent en étant diffusés dans les habitats des moustiques. Cela n'est pas forcément aisé ni acceptable, surtout dans les contextes urbains nouvellement colonisés.

Saturer en toxiques les milieux où vivent des humains est perçu comme de moins en moins acceptable et durable. Or, pour les experts, le moustique Tigre par exemple, est quasiment « domestique » tellement son éthologie est inféodée aux conditions offertes par les habitats humains.

Une alternative originale est de conférer aux moustiques eux-mêmes la dissémination des biocides<sup>68</sup>. D'autres stratégies tendent à contaminer des moustiques avec des densovirus, relativement mortels pour les larves, qui seront ainsi transportés par les moustiques dans les gîtes larvaires.

#### **2.4.1.2 Les résistances aux biocides, la réduction des biocides disponibles : un problème mondial**

Le développement de la résistance des moustiques aux produits biocides est un problème mondial qui nécessite des stratégies concertées de gestion et de substitution des substances utilisées, et de garder en réserve des substances efficaces pour la gestion des crises. Ces limites objectives inquiètent les opérateurs de terrain quant à la pérennité des outils dont ils disposent mais aussi sont un moteur pour la recherche de solutions innovantes. Au moins sur

---

<sup>67</sup> L'intensité de la lutte contre les moustiques au titre des nuisances, limitant un certain nombre de moustiques potentiellement vecteurs, joue un certain rôle prophylactique.

<sup>68</sup> L'EID Méditerranée cherche à financer un programme expérimental attirant les *A. albopictus* sur des « pondoires » noirs, dans lesquels les femelles vont pondre, et ce faisant se charger d'un larvicide qu'elles diffuseront dans leurs tentatives de pondre dans d'autres lieux. Cette stratégie cible le moustique Tigre car sa femelle pond en plusieurs endroits, et ne serait pas pertinente pour des moustiques qui pondent en une fois.

les territoires français, les mesures de traitement décidées au titre de la LAV sont associées à une surveillance des résistances.

En général, le développement de résistances est un processus physiologique coûteux pour les moustiques ce qui fait que l'arrêt de l'usage d'un produit devrait permettre de constater une diminution des résistances et donc de restaurer l'efficacité du produit. Mais il peut arriver que ce soit l'usage du biocide par d'autres acteurs qui entretienne la pression de sélection de résistance dans la population de moustiques. À titre d'exemple, l'usage des organophosphorés a été abandonné contre les moustiques. Il a été montré que la résistance des moustiques à ces substances est un handicap reproductif. Or cette résistance persiste dans les populations de moustiques, révélant la persistance de l'utilisation fort probablement agricole de ces biocides<sup>69</sup>. Le maintien de l'efficacité de substances pourrait nécessiter une coordination avec d'autres acteurs.

Pour des insecticides comme la deltaméthrine, employée en imprégnation de moustiquaires, le développement de résistances peut altérer l'efficacité du dispositif. Il y a débat sur cette baisse d'efficacité : l'insecticide semble en effet conserver un rôle répulsif, permettant à une moustiquaire même endommagée de continuer à apporter une protection efficace.

Certaines études ont montré des conséquences parfois importantes et inattendues de l'émergence de résistances sur les résultats en termes de santé humaine mais par des relations de cause à effet peu intuitives : par exemple, l'emploi de biocides larvicides de façon importante et répétée, efficace, peut susciter une sélection forte des phénotypes résistants. Après l'écroulement initial de la population de moustiques, avec les bénéfices sanitaires correspondant (arrêt transitoire de l'épidémie), la réapparition des insectes résistants peut recréer des conditions épidémiques fortes, et réactiver la situation de crise, qui sera cette fois ci d'autant plus forte que la population a en partie perdu son immunité collective en raison de l'efficacité initiale des traitements larvicides.

#### **2.4.1.3 L'adaptation comportementale multiple des moustiques**

Les populations de moustiques adaptent génétiquement leur comportement à d'autres formes de pressions de multiples façons. L'adaptation comportementale est le fait que des moustiques ayant spontanément (génétiquement) un comportement qui s'écarte de la moyenne, peuvent avoir ainsi un avantage pour réussir leur reproduction. Ce n'est pas un « apprentissage » par les moustiques concernés.

---

<sup>69</sup> Exposé lors du séminaire de lancement de l'étude au HCB.

Ceux qui évitent naturellement les situations dangereuses ont un avantage : leur descendance envahit rapidement la population. Ainsi par exemple, des populations de moustiques habituellement nocturnes, dont on s'est protégé la nuit par des moustiquaires imprégnées, ont comporté de plus en plus d'individus qui piquent le soir et le matin quand les personnes sont sans protection. Ces modalités de sélection de comportements pourraient même sélectionner les femelles qui évitent naturellement les mâles modifiés ou irradiés.

Ces problèmes révèlent d'une part la difficulté à maîtriser les objectifs de lutte dans le temps et d'autre part, ils rappellent l'éventuelle illusion de solutions « définitives ». La multiplicité des moyens d'action est une façon de déjouer la capacité de « contournement » des populations de moustiques visées et d'en limiter le nombre.

#### 2.4.2 Le problème du temps de crise et du temps de paix

L'affaiblissement de la surveillance dans de nombreux pays (soulignée notamment par l'OMS) est consécutive parfois à des succès. Ainsi le Brésil a mis en place une forte campagne de lutte contre les moustiques il y a quelques décennies. Son succès, en fait essentiellement obtenu dans les villes, a pu faire croire que le pays entier s'était débarrassé de ce vecteur pourtant toujours présent dans les campagnes. C'est de ces mêmes campagnes qu'ont migré les vecteurs actuels, accompagnant l'intense urbanisation au plus proche des forêts, alors que les institutions de lutte avaient « désarmé » en ville. La réaction à la crise épidémique peut être lente. La lutte de crise est mise en place avec des délais importants pour des raisons budgétaires évidentes mais aussi en raison de la difficulté à identifier un problème émergent faute d'avoir conservé les compétences nécessaires. Lors de la crise du chikungunya à La Réunion, les moyens pour faire face à la crise n'ont été débloqués qu'après qu'on a recensé 150 000 cas de malades. Lors de l'épidémie de zika en Polynésie en 2014, malgré 30 000 cas de zika le lien avec des pathologies, pourtant anormalement présentes comme le syndrome de Guillain Barré, la microcéphalie ou les affections neurologiques du fœtus, n'a été mis en évidence que plus tard.

Il est difficile de maintenir à la fois compétences techniques (connaissances entomologiques, identification et connaissance des gîtes, dynamiques de populations, foyers de réapparition des populations, etc.) et vigilance sur ces vecteurs en l'absence de crise. C'est un enjeu politique permanent dans les assemblées territoriales ou les autorités nationales qui votent les budgets. Il serait illusoire de croire que de nouvelles solutions techniques rendraient inutiles ces compétences accumulées sur l'insecte, ses milieux, ses comportements, et ses évolutions.

#### 2.4.3 Les difficultés associées à l'appropriation locale

La mise en œuvre de solutions pose parfois des problèmes inattendus reposant plus sur des questions sociales et culturelles que technique.

La lutte contre les moustiques peut ainsi être vécue et réappropriée de diverses manières selon les lieux. L'histoire locale, les dynamiques sociales propres à chaque pays ou communautés, peuvent donner lieu à des pratiques ou des représentations multiples qui conditionnent fortement l'efficacité de toute nouvelle proposition. L'utilisation des moyens techniques proposés peut être transformée en raison de biais inattendus. On peut citer, pour l'anecdote, la difficulté qu'avaient certaines populations à apposer les moustiquaires blanches sur leurs fenêtres, le blanc étant pour elles la couleur du deuil ! Ou le fait de réserver les moustiquaires à la protection des légumes, ou du chef de famille dans des contextes marqués par des coutumes et stratégies de survie particulières.

Dans les milieux à endémisme ancien, dans les plaines de la côte Est de la Corse par exemple, les villageois se sont établis en hauteur au-dessus des plaines humides pour éviter les moustiques. Ces savoirs ne sont pas pris en compte dans les zones sur lesquelles pèse une pression immobilière conduisant à coloniser les moindres espaces.

À La Réunion, les *Aedes albopictus* ont longtemps été considérés comme autochtones et peu nuisants, aussi bien par les autorités que par les habitants de l'île. Ils ne sont devenus porteurs d'une menace, puis l'objet de la lutte antivectorielle que depuis l'apparition du chikungunya en 2005. De ce fait, convaincre les habitants que leur « commensal » était devenu leur ennemi a pris beaucoup de temps. En outre, d'autres discours circulaient sur les « vraies » sources de la maladie. Ces divergences imposent un changement important dans la façon de gérer la coexistence avec les moustiques, et donc la capacité à intégrer de nouvelles postures, de nouveaux argumentaires et de nouvelles pratiques non encore connues.

#### 2.4.4 Les défis liés au changement : qui doit céder ?

Des pathogènes nouveaux apparaissent dans des populations de vecteurs potentiels préexistants. Les populations humaines colonisent voire urbanisent des espaces nouveaux où existent des moustiques et des pathogènes associés dans des cycles sauvages. L'homme rencontre ainsi des moustiques et des pathogènes nouveaux. Il facilite l'acclimatation des moustiques « ruraux » à des contextes urbanisés et/ou pollués. Après avoir disparu, le moustique *Aedes aegypti* réapparaît au Brésil. Le moustique Tigre semble s'installer en Europe, voire devenir potentiellement endémique dans le Sud de la France, comme il l'est



déjà à Rome. Ses caractéristiques l'expliquent : ces moustiques sont certes peu mobiles<sup>70</sup> par eux-mêmes : (« le moustique qui vous pique, est né dans votre jardin... ») a été fréquemment évoqué. Ils sont peu résistants. Mais le Tigre adore le covoiturage, il monte en voiture ou en camion sans problème. Il vole et pique de jour, sans bruit. En outre, pondant en plusieurs fois, il ne met pas tous ses œufs dans le même panier et les pond en plusieurs fois. Ses œufs résistent à la dessiccation et sont reviviscents quand l'eau revient : ils peuvent être transportés et éclore ailleurs. Enfin, sa période de diapause s'adapte aux températures extérieures. Il peut donc s'installer aisément à des latitudes variées. C'est donc collectivement un invasif performant, de plus prompt à véhiculer des maladies.

Les vecteurs profitent des modifications des modes de vie humains (urbanisme, espaces verts urbains sans prédateurs, usage des plastiques, mobilité, stockage et commerce de pneus...) et rappellent leur existence aux sociétés humaines, parfois « oubliées », ou qui ont évolué sans prendre garde aux nouvelles opportunités qu'elles offrent à des vecteurs. Les nouveaux habitats « anthropisés » offrent de nouvelles niches écologiques pour certains moustiques impliqués dans les épidémies actuelles : multiplication des murs et des toits végétalisés, agriculture urbaine, usages, stockages, dépôts sauvages de sacs plastiques, de bâches, de pneus, de récipients, tous déchets recueillant les eaux de pluie. On pourrait aussi considérer qu'il est du devoir des hommes de ne pas créer les conditions favorables au moustique et de mettre en place une vraie ingénierie écologique anti-moustique dans la conception de leurs habitats.

Le changement climatique laisse par ailleurs entrevoir des changements d'aires de répartition des moustiques et questionne la temporalité des décisions : agit-on pour aujourd'hui ou agit-on pour demain ? Se référer à un habitat écologique de référence serait ainsi potentiellement sans signification.

#### 2.4.5 Les limites dans l'approche du problème de santé par les seuls moustiques

Si la suppression du vecteur, voire de ceux susceptibles de le remplacer, apparaît comme la solution « définitive » incontestable au problème de santé qu'ils représentent, les artefacts techniques mis en œuvre sur le terrain n'ont pas, pour la grande majorité, cette capacité de solution finale. Ils doivent donc être évalués, dans leur (in)capacité à contribuer à la limitation du fardeau sanitaire (qui peut être obtenue par un ensemble d'approches). Cela passe aussi par des solutions consistant à contrôler les populations de moustiques plutôt qu'imaginer les éradiquer. Enfin, la suppression totale posera la question de la vulnérabilité de la population

---

<sup>70</sup> Néanmoins certaines espèces se déplacent de façon plus importante, ne serait-ce que parce que leurs habitats de reproduction, de nourrissage, de développement larvaire sont différents.

en cas de réapparition, ces possibilités de réapparition étant accrues par de nombreuses circulations de biens et de personnes.

Modifier la densité des moustiques au contact de l'homme est l'objectif direct des LAV. Malgré des résultats dans lesquels, au plan mondial, le risque de contamination et la densité de moustiques sont empiriquement convergents (Bowman *et al.*, 2016). Mais le changement n'est pas aisé à relier directement à des résultats en termes de santé publique. En effet, la relation n'est pas univoque lorsqu'on se penche sur des cas précis (Desenclos and Fontenille, 2011). À partir de quel niveau de réduction de cette densité de moustiques obtient-on l'arrêt des possibilités de circulation du pathogène ?

C'est lorsque les moustiques atteignent une densité de population critique, qu'ils constituent un danger. La LAV essaye de ramener les effectifs en deçà de ce seuil. Celui-ci est difficile à évaluer, et dépend tout autant de facteurs naturels que sociaux (Thammapalo *et al.*, 2005). Le taux d'humidité dans l'air ambiant (Câmara *et al.*, 2007), le climat et la pluviométrie (Delatte *et al.*, 2009) (Delatte *et al.*, 2009), influent sur la densité de moustiques. Quant aux facteurs sociaux, ils dépendent essentiellement de la proximité entre humains et moustiques, qui varie avec la densité de l'habitat humain (Taglioni and Dehecq, 2009), (Knudsen and Slooff, 1992), la gestion de l'eau — essentielle au cycle de vie du moustique — (Delatte *et al.*, 2008), la prise en charge des malades par les politiques publiques (Reis-Castro and Hendrickx, 2013), la mise en place de pratiques de lutte, etc. Par ailleurs, la capacité d'infection par un moustique porteur est variable. Une femelle moustique prélevant du sang sur un porteur, ne s'infecte pas forcément (cela dépend entre autres de la charge infectieuse de l'organisme piqué, de l'espèce de moustique, et du pathogène). On constate en outre des capacités différentes des moustiques à répondre aux besoins du pathogène pour finaliser son cycle.

En outre, les effets dans le temps liés tant aux adaptations du système vectoriel qu'aux composantes dans le temps des systèmes d'immunités des populations, perturbent l'idée de la validité d'une relation linéaire entre la densité de moustiques et le gain sanitaire. Toutes ces variabilités rendent difficile la construction de modèles prédictifs fiables, et l'on n'est pas sûr que les paramètres soient stables dans le temps.

Malgré la multiplicité de ces facteurs, et le potentiel d'action qui en découle, c'est pourtant souvent sur les seuls moustiques et plus particulièrement sur leur nombre que se focalise l'action, une vision de la lutte contre les maladies issue de la théorie pasteurienne (Soubeyran, 2001). L'incorporation de sciences humaines (notamment sociologie, anthropologie) dans les projets expérimentaux reste rare.

#### 2.4.6 Conclusion : une période charnière

Les moyens de compréhension et d'identification des pathogènes ont grandement augmenté<sup>71</sup> et accru la diversité des moyens de lutte contre la maladie, par la médication ou la vaccination par exemple. Cela ouvre des perspectives de lutte contre la plupart de ces maladies. Ces moyens doivent être examinés avec leurs intérêts et leurs limites. Dans le même temps, les politiques demandent d'accélérer la capacité et la rapidité de riposte face aux évolutions des complexes pathogènes/vecteurs/maladies. À l'instar de la prévention du bioterrorisme ou des maladies émergentes, la capacité de modification de la réponse et la rapidité de mobilisation sont une part importante de la préparation aux crises. Cette rapidité devient une composante importante de la validation des réponses aux menaces.

Après avoir délaissé les campagnes contre le paludisme pendant une vingtaine d'années, les organisations internationales (dont l'OMS) et les bailleurs de fonds (dont la Banque Mondiale) ont à nouveau fait de son éradication un enjeu de santé publique avec l'initiative Roll Back Malaria (RBM) (Nabarro and Tayler, 1998). En outre, l'émergence et la réémergence de maladies transmises par les moustiques dans toute la zone intertropicale, au sein de laquelle se trouvent quelques enclaves du Nord (anciennes colonies européennes) ou des pays en voie de développement (Brésil), ont remis les pratiques de lutte contre les moustiques au cœur des problématiques mondiales de santé publique. La réactivation énergique de méthodes éprouvées, à partir du Millenium Assessment de 2000 (détection précoce et accès aux soins médicaux préconisés par l'OMS pour faire baisser les mortalités, installation de moustiquaires imprégnées, lutte contre les eaux stagnantes<sup>72</sup>) a donné des résultats importants (60% de réduction sur le paludisme mondial notamment grâce à des résultats importants sur le taux d'enfants dormant sous moustiquaires dans les pays exposés). Il ne semble pas que les instances internationales soient disposées à abandonner cette voie technique.

Actuellement, la lutte contre le paludisme et les vecteurs par des moyens antivectoriels classiques a marqué des points dans de nombreux états souvent pauvres. Mais dans d'autres endroits du monde, l'efficacité des programmes de lutte passés semble avoir fait baisser la vigilance. Le moustique et les maladies sont maintenant présents ou sont revenus dans des contextes urbains, où il n'y a plus ou pas encore de services disposant de moyens d'intervention et où la « culture de la lutte » adaptée fait (encore) défaut. Comme le rappelle

---

<sup>71</sup> Ce qui a permis à l'Institut Pasteur par exemple dès la crise de chikungunya de 2005 de séquencer très rapidement les souches, établir des tests diagnostiques, etc.

<sup>72</sup> Ce fut le cas particulièrement à La Réunion.

la saisine, certains moyens de lutte s'émeoussent. Les moyens de lutte pourraient aussi être remis en question par de nouvelles combinaisons vecteurs/pathogènes/épidémiologie.

Un fait important est que, en atteignant le développement du fœtus, les nouvelles pathologies sont désormais très lourdes. La microcéphalie et autres désordres neurologiques associés au Zika en sont un exemple : un enfant atteint de microcéphalie ne peut être soigné, c'est un drame et une charge collective de longue durée, quels que soient les contextes et les facilités de prise en charge. Enfin, les modalités épidémiques et de transmission des maladies sont labiles. La multiplicité des modes de transmission possibles (piqûre, transmission sexuelle) bouscule les stratégies de prévention et de surveillance.

Pour les populations confrontées à ces évolutions, un sentiment de dégradation de leur situation, voire de « tiers mondialisation », en particulier pour les populations de pays aisés et « débarrassés » de ces questions depuis quelques décennies, peut les conduire à parier aveuglément sur des solutions présentées comme super technologiques et radicales. *In fine*, on pourrait imaginer que les outils biotechnologiques, comme les moustiques modifiés, puissent devenir un jour des objets marchands, mobilisables par chacun, chez soi, surtout pour des enjeux de confort ou de crainte diffuse. Alors même que leur évaluation commence tout juste dans le contexte de la lutte antivectorielle, qui reste pour l'instant une mission de service public voire une responsabilité de l'État, certains acteurs (comme des responsables de complexes touristiques par exemple) pourraient tenter de les utiliser sans cadre.

Dans le même temps, comme on l'a rappelé, les biotechnologies bousculent tous les moyens de lutte : elles permettent de modifier les moustiques mais changent aussi la vitesse d'élaboration de vaccins. D'autres maladies à vecteurs seront tôt ou tard combattues par des voies vaccinales (fièvre jaune, dengue, et, à l'avenir, zika...). Cela permet de raisonner différemment : ainsi il a pu être dit que la première crise du zika arrivait à son terme, et que la suivante, dont l'émergence dépend entre autres de l'affaiblissement de la défense immunitaire actuellement acquise par les populations ayant subi les premières crises, n'arriverait que dans dix ans. D'ici là, un vaccin pourrait être disponible. La rapidité de réaction à des maladies émergentes, naturelles ou fabriquées par l'homme, semble être un axe stratégique de la biovigilance mondiale. Les enjeux financiers de la course aux brevets et certaines inquiétudes sur le bioterrorisme en sont des moteurs.

La compréhension des comportements humains permet aussi de mieux cerner les facteurs d'efficacité de solutions « conventionnelles » ; les considérations écologiques ajoutent de la complexité. Les solutions de grande innovation potentielle doivent faire leurs preuves sur de nombreux plans et se confrontent non pas sur le plan étroit de la capacité à supprimer des moustiques, mais comme part de stratégie de santé mobilisant des approches très diverses et

parfois complémentaires et interdépendantes. Par ailleurs, l'évaluation des politiques de santé cherche à devenir plus intégratrice, combinant prévention et accès aux soins, court terme et moyen terme.

En 2005-6, le virus du chikungunya, transmis par les moustiques *Aedes albopictus*, a touché 38% des habitants de La Réunion. Cette épidémie a marqué un temps la fin de l'usage systématique des insecticides et la refonte des politiques de santé. Les pouvoirs publics ont enrôlé les citoyens et les moustiques dans l'élaboration de nouvelles frontières, matérielles et symboliques, entre humains et insectes. Les nouvelles pratiques de lutte ont intensifié les interactions entre eux. C'est l'occasion de réfléchir aux relations entre l'État, les scientifiques et les citoyens.

En conclusion, présenter la dissémination des moustiques modifiés comme une alternative uniquement technique serait une simplification abusive. Dans cette période charnière, il importe que les hypothèses d'utilisation de solutions nouvelles soient volontairement traitées dans un cadre intégrateur et de précaution.

### 3 CARACTÉRISATION DES NOUVELLES PROPOSITIONS BIOTECHNOLOGIQUES.

L'accroissement des connaissances relatives à la physiologie et l'éthologie des moustiques contribue à modifier les approches (recours à des ennemis naturels, lâchers de mâles stériles). L'animation scientifique et l'expertise comme le mettent en œuvre le CNEV<sup>73</sup> ou, au plan international, l'OMS, s'accroissent. Enfin, des innovations en lien avec l'exploitation des connaissances les plus récentes en génétique et en physiologie, avec un rôle central des laboratoires universitaires et des fondations, apparaissent. C'est maintenant la biologie et non plus par l'usage de toxiques, que la limitation des moustiques ou de leur capacité à infecter les humains est recherchée par certaines propositions d'innovation.

De tels moyens de luttés sont pourtant apparus dès les années 1960 et en plusieurs points du globe avec des lâchers de moustiques stériles. Mais ces initiatives s'étaient toutes soldées par des échecs, essentiellement liés à des conditions politiques locales (Oliva *et al.*, 2014). De nouveaux lâchers de moustiques stérilisés par irradiation ou voie chimique ont été effectués récemment à La Réunion et en Italie. L'irradiation stérilisante des mâles, largement pratiquée pour la lutte contre des insectes ravageurs agricoles, a fait ses preuves techniquement et économiquement. Cette technique ne permet en général que la limitation des populations d'insectes. La stérilisation par tous moyens des moustiques est promue par des organisations internationales comme l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et la FAO.

Plus récemment, des moustiques au patrimoine génétique modifié ont été proposés pour contrer la dynamique démographique de leurs congénères ou restreindre la capacité de ces derniers à être vecteurs de pathogènes. Si l'on se fonde sur le cadre esquissé par la saisine du HCB, il s'agit :

- des moustiques modifiés génétiquement, principalement par transgénèse, afin d'exprimer un gène de mortalité dominant (acronyme RIDL pour *Release of Insects with Dominant Lethality*) condamnant leur descendance. Cette option est promue par des *start-up* issues de recherches menées dans des universités (*spin-off*) et parfois soutenues par des fondations ;
- des moustiques modifiés (comportement, physiologie, fertilité, fécondité, capacité à transmettre les pathogènes) suite à leur « infection » par une bactérie de type *Wolbachia*. La trans-infection (infection en laboratoire) par ces bactéries peut induire

---

<sup>73</sup> Le Centre National d'Expertise sur les Vecteurs (CNEV) est une structure multidisciplinaire permettant de mobiliser rapidement et efficacement, dans une perspective d'aide à la décision, l'ensemble de l'expertise et des compétences françaises dans les domaines de l'entomologie médicale et vétérinaire, de la lutte antivectorielle et des sciences humaines et sociales appliquées à la lutte antivectorielle.

des stérilités par incompatibilité, voire provoquer des interférences entre le vecteur et/ou le pathogène. Cette option est surtout promue par des laboratoires ou des instituts de recherche coordonnant des programmes internationaux, associés parfois sur le terrain à des entreprises.

- une autre offre de moustiques génétiquement modifiés émerge. Elle a recours à CRISPR-Cas9 (nouvelle technologie de ciseaux moléculaires ciblés sur des séquences identifiées) pour des stratégies de forçage génétique reposant sur ce que l'on peut considérer comme un dispositif de modification génétique embarqué dans le génome des moustiques, permettant de répandre un gène dans toute la population d'insectes.

Certains de ces moustiques sont incontestablement des OGM au regard des réglementations européennes. La question de leur mise en œuvre sur le territoire français, Départements-Régions d'Outre-Mer (DROM) et Collectivités d'Outre-Mer (COM) compris, en milieu ouvert, relève donc de l'application de la Directive 2001/18/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 mars 2001 relative à la dissémination volontaire d'organismes génétiquement modifiés dans l'environnement et abrogeant la Directive 90/220/CEE du Conseil (et de ses modalités d'application parfois complexes dans le contexte de l'outre-mer). En revanche, les moustiques porteurs artificiellement de *Wolbachia* et la transmettant à leur descendance interrogent. Selon les États, les approches diffèrent : en Australie, par exemple, les moustiques transinfectés par *Wolbachia* relèvent de la réglementation vétérinaire, tandis qu'aux États-Unis ou au Brésil, leur utilisation relève de la réglementation des biocides. Au plan européen, la réglementation applicable à ces moustiques *Wolbachia* n'est pas définie. Le GT du CEES considère qu'il ne peut rester myope dans ses analyses. L'ensemble des techniques utilisées qui relèvent de manipulations biotechnologiques au sens large et qui entrent ainsi dans le domaine de compétence du HCB, méritent d'être examinées conjointement afin de déterminer quels sont leurs apports et limites pour la LAV.

### 3.1 RECOURS AUX MOUSTIQUES MODIFIÉS : DÉTAIL DES TECHNOLOGIES ET STRATÉGIES

Les nouvelles propositions reposent toutes sur une modification des moustiques par des techniques qui évoluent rapidement : transgénèse, transfection d'endosymbiotes, stérilisation par irradiation, chémostérilisation, et dans un avenir proche mutagénèse ciblée, portant sur le moustique ou ses endosymbiotes, etc. Les moustiques sont destinés à interagir génétiquement et/ou sur le plan de la reproduction avec les populations de leurs congénères sauvages.

Ces propositions permettent, pour celles qui sont les plus avancées, d'envisager de limiter les populations de moustiques, voire de les supprimer localement comme avec la lutte

classique. Mais la nouveauté est qu'elles permettent aussi d'envisager d'éradiquer des espèces de moustiques à de grandes échelles ou de transformer la biologie de certaines espèces de moustiques sauvages. Par exemple en rendant les moustiques femelles de certains espèces incapables (on parle d'incompétence vectorielle) de propager la maladie : soit parce qu'elles sont « immunisées » (elles ne sont pas elles-mêmes malades, mais elles ne permettent pas au pathogène d'accomplir la partie de son cycle interne à la femelle), soit parce que leur durée de vie ne permet pas le cycle de transmission.

Que ce soit en usant du génie génétique ou des techniques « d'infection » par des bactéries de type *Wolbachia*, ou bien encore d'autres techniques en émergence, ces trois stratégies (limitation, éradication, transformation) peuvent être poursuivies. La saisine à l'origine de ce travail a décrit les moustiques au « patrimoine génétique modifié » en les distinguant par la technologie mise en œuvre, pour ensuite demander un éclairage concernant les moustiques « génétiquement modifiés ». L'évolution biotechnologique montre, qu'en fait, chaque type de stratégie pourrait être atteint par chacune des biotechnologies mentionnées ; l'analyse à mener est donc large.

### 3.1.1 Description par technique de modification

Les moustiques GM existants actuellement sont essentiellement issus de la technique RIDL<sup>74</sup> et proposés par la société Oxitec. Quand des moustiques GM mâles s'accouplent avec des femelles, leur descendance meurt à des stades larvaires précoces. Leur utilisation est donc de lâcher en grand nombre des moustiques GM mâles (produits en usines dédiées) pour qu'ils aient plus de chance de s'accoupler avec les femelles sauvages que les mâles sauvages et, ainsi, supprimer leur descendance. Dans la technique RIDL actuellement déployée, le gène de létalité est contrôlable par un autre gène permettant son inactivation en élevage par un antibiotique (et donc la société produit des lignées porteuses de ces gènes modifiés, lignées incapables de se reproduire en milieu naturel où l'antibiotique est absent). Diverses autres stratégies peuvent être envisagées à l'avenir par le biais de modifications génétiques, dont l'une, le forçage génétique. Celui-ci permet de diffuser dans la population de moustiques sauvages soit un gène de stérilité pouvant en théorie conduire à l'extinction de l'espèce, soit un gène donnant une propriété intéressante comme, par exemple, l'incapacité à transmettre le parasite responsable du paludisme.

Dans le cas des moustiques modifiés par l'incorporation de la bactérie *Wolbachia*, il s'agit d'infecter des moustiques par une cette bactérie *via* une technique de laboratoire, de les faire se reproduire dans une ferme, puis de les relâcher. Il faut noter que la bactérie *Wolbachia*

---

<sup>74</sup> RIDL : *Release of Insects with Dominant Lethality*. La stérilité est conférée par modification génétique.



existe dans la nature et qu'elle est naturellement endosymbiote de nombreux arthropodes. Dès les années 60, les incompatibilités de reproduction entre populations de moustiques de même espèce avaient été constatées sur des populations sauvages. Des expériences de lâchers de moustiques issus de zones différentes avaient été menées en Myanmar. Cette incompatibilité présentait ainsi un intérêt pour limiter la descendance des populations locales d'insectes. À cette époque, le constat avait été fait que la transmission de cette incompatibilité passait par le cytoplasme, et donc par la femelle. Mais le lien à l'infection (naturelle dans ce cas) par une bactérie endocellulaire n'était, à l'époque, pas identifié.

Différents types de *Wolbachia* sont associés à différentes espèces d'insectes. Il existe des espèces de moustiques n'étant associés à aucune bactérie *Wolbachia*. Plusieurs conséquences peuvent résulter de l'association forcée en laboratoire : des incompatibilités dites cytoplasmiques lors de l'accouplement des moustiques infectés et de moustiques non infectés (ou par des bactéries incompatibles) conduisant à l'absence de descendance ; des modifications de la fécondité des moustiques ; des interactions avec les pathogènes pouvant empêcher les moustiques porteurs des pathogènes de les transmettre à l'homme, voire des modifications positives des capacités reproductives pour les moustiques porteurs (avec des conséquences sur la diffusion de l'infection par *Wolbachia* dans la population sauvage). Ces interactions complexes peuvent donc être instrumentalisées dans la lutte antivectorielle, mais on commence juste à comprendre les mécanismes qui en sont à l'origine.

En résumé, la bactérie intracellulaire « *Wolbachia* » provoque chez son hôte des modifications :

- l'incompatibilité cytoplasmique ou IC qui conduit à :
  - empêcher la reproduction entre un mâle infecté et une femelle non infectée, ou infectée par une souche de *Wolbachia* incompatible ;
  - favoriser la reproduction des femelles infectées et la propagation de la bactérie dans la population de moustiques.
- l'interférence avec le pathogène ou IP, qui peut modifier la capacité de transmission par certains moustiques, de certains virus ou autres parasites.

Deux techniques distinctes de lutte antivectorielle exploitent ces propriétés :

- la technique de l'insecte incompatible : lâcher en grands nombres de mâles infectés, incompatibles avec les femelles locales, qui n'auront pas de descendance ;

- la propagation de l'infection permettant de favoriser dans la population la reproduction des femelles infectées par la bactérie qui altère leur capacité de transmission du pathogène.

### 3.1.2 Description des dimensions temporelles et spatiales

Certaines stratégies ne visent pas à s'étendre à toute la population de moustiques : il s'agit de faire interagir avec les moustiques présents sur les lieux, pour les faire disparaître sans laisser de descendance. L'extension territoriale sera en fait liée à la mobilité des moustiques lâchés et s'éteindra avec leur mort.

D'autres stratégies visent à répandre des caractéristiques génétiques au sein de la population sauvage, au gré de la mobilité des porteurs et des contacts entre les différents isolats de population et des capacités intrinsèques des gènes considérés à être transmis.

Concernant l'expansion des propriétés des moustiques lâchés, des questions de seuil peuvent exister (il faut parfois qu'un gène soit déjà un peu présent dans la population pour qu'il puisse s'y répandre). Parfois, des gènes défavorables à la reproduction peuvent rester présents dans des effectifs de populations faibles).

Certaines stratégies opèrent donc en une fois, d'autres nécessitent une action répétée, une maintenance constante. On peut ainsi distinguer :

- les stratégies « *self limiting* » ou auto-limitées (lâchers de stériles) qui permettent une action théoriquement limitée dans le temps et sur le territoire. En cas de lutte, il faut donc avoir la capacité et le droit de répéter les actions ;
- les stratégies « *self sustaining* » ou auto-entretenu, dans lesquelles les effecteurs (les moustiques modifiés ou leur patrimoine génétique) s'entretiennent et se reproduisent sur le territoire et dans le temps, voire diffusent plus largement.

L'étendue des responsabilités des décisionnaires et la nature des évaluations préalables doivent être adaptées à ces différences fortes sur le plan de l'irréversibilité.

L'analyse précise de leurs supports biologiques, des connaissances et incertitudes, des risques relève des travaux du CS. Dans l'approche socioéconomique, il faudra éclairer quelles conséquences sont liées aux stratégies. La nature OGM de certains moustiques pose des questions.

### 3.1.3 Détails sur les luttes autocides par insectes stériles, toutes technologies confondues

Le principe de cette lutte « biologique » autocide consiste à introduire, dans la population de vecteurs, une surpopulation de mâles dont l'accouplement aux femelles sauvages sera sans

descendance avec pour résultat attendu une baisse de la population de moustiques. Un intérêt du moustique lâché, c'est qu'il « trouve » lui-même les habitats de ses congénères. Les techniques d'épandage sont aisées en milieu urbain ; elles sont encore en développement pour les milieux ruraux<sup>75</sup>. N'éradiquant en principe pas le vecteur mais l'empêchant de trouver descendance, ce sont des stratégies de contrôle de la population de vecteurs.

Ces stratégies pourraient permettre, pour certaines pathologies, de passer en dessous de seuils d'infestation des moustiques et donc d'arrêter la circulation du pathogène.

La performance de ces lâchers relève de nombreux paramètres (entre autres la capacité des mâles modifiés à concurrencer les mâles sauvages dans la rencontre de femelles sauvages, capacité qui est surtout confiée à leur surnombre), la qualité de la dissémination, l'efficacité du sexage avant le lâcher pour éviter de lâcher des femelles qui peuvent piquer, etc.). Ces « paramètres » techniques sont détaillés dans le rapport du CS. Diverses technologies permettent d'obtenir ce résultat, et elles ne relèvent pas de la même biologie, ni, à ce stade, d'une seule catégorie réglementaire :

- Stérilité des mâles par irradiation (qui détruit ses gamètes et/ou ses organes reproducteurs – mais ils n'en deviennent pas pour autant radioactifs comme peuvent le penser de nombreuses personnes). Des populations de moustiques produites en « fermes » sont irradiées de façon à être techniquement castrées. Ni les mâles lâchés ni les femelles sauvages rencontrées n'auront de descendance : cette technique est largement utilisée dans le domaine agricole dans le monde et a montré des résultats probants<sup>76</sup>. Pour le moustique, elle est au stade expérimental —notamment à La Réunion. Un enjeu technique est le sexage (la capacité à sélectionner les mâles pour ne pas lâcher de femelles susceptibles de piquer) qui dépend grandement de l'espèce de moustique. Les sources d'irradiation (radioactive ou rayons X<sup>77</sup>) peuvent poser des difficultés sur les plans logistique et sécuritaire. En termes de critère de performance, il faut bien évidemment que les moustiques irradiés aient conservé une vitalité suffisante pour être des partenaires acceptables pour les femelles sauvages. Cela

---

<sup>75</sup> Les moustiques « lâchés » de trop haut se déshydratent rapidement. Leur diffusion par hélicoptère ou avion est peu adaptée. Des drones sont à l'étude.

<sup>76</sup> Voir la lutte et l'élimination sur de vastes territoires de la lucilie bouchère (Lybie, Mexique, US), de mouches du fruit (Amérique centrale).

<sup>77</sup> Les établissements de traitement des dons du sang ont aussi des irradiateurs pour le traitement des poches de sang afin d'en éliminer les pathogènes.

impose de ne pas trop les irradier, au risque que certains ne soient pas stériles, bien que leur génome ait subi des mutations par l'irradiation.

- Chémostérilisation : la stérilisation des insectes par voie chimique a été utilisée dans les années 50 aux îles Salvador. On s'est rendu compte que cette technique avait des limites car les araignées et tout ce qui mangeait des moustiques devenait stérile aussi. Dans les années 1970<sup>78</sup> cette voie a été rejetée par les entomologistes. On pouvait s'inquiéter du rejet de résidus des substances utilisées dans l'environnement. Les nouvelles connaissances en génétique et métagénomique permettent d'envisager un meilleur ciblage dans la recherche de produits pertinents (Baxter, 2016) et une reprise de cette voie de recherche qui a l'avantage potentiel de ne pas affecter la vitalité des moustiques mâles stériles.
- Non compatibilité cytoplasmique : les moustiques mâles lâchés sont porteurs dans leurs cellules d'une bactérie (type *Wolbachia*), introduite en laboratoire dans l'espèce voulue. La descendance après accouplement avec des femelles non porteuses de cette bactérie ou porteuse d'une bactérie incompatible est impossible.
- Intégration d'un gène de létalité dans la descendance, transmis par les mâles. Les larves meurent à des stades précoces si elles ne sont pas en présence d'un antidote. Cette technologie est actuellement largement représentée par les propositions d'Oxitec avec la technologie RIDL, dans laquelle l'antidote est un antibiotique. Mais d'autres structures (université, FAO, autres *start-up*) ont développé ces options techniques. Des questions peuvent être posées sur la survie en extérieur si l'antibiotique est présent, ou encore sur l'exposition à l'antibiotique du microbiote des moustiques lâchés.

Pour les moustiques modifiés utilisés dans ces stratégies, leur étude ou leur suivi nécessitent qu'ils puissent être identifiés : un transgène de fluorescence issu de méduse peut être incorporé. C'est déjà le cas pour le moustique de la société Oxitec par incorporation d'un gène de GFP (protéine fluorescente issue de méduse). Cette technologie pourrait être appliquée aux moustiques « *Wolbachia* » ou assimilés. Néanmoins, cette inclusion d'un gène de fluorescence leur confèrerait, rien qu'à ce titre, un statut d'OGM.

---

<sup>78</sup> <http://www.sleeping-sickness.ird.fr/pdf/05049.pdf>

Notons que, par nature, une modification conférant une stérilité est un handicap sélectif. Si cette stérilité est obtenue par un gène modifié, celui-ci a peu de chance d'envahir la population. Sa présence dans le milieu est en théorie limitée dans le temps et l'espace.

#### 3.1.4 Détails sur les modifications biologiques rendant le vecteur incompetent pour la transmission de la pathologie

Ces approches cherchent à modifier voire à supprimer la capacité du moustique vecteur femelle à finaliser le cycle du pathogène entre l'infection du moustique et la transmission du pathogène à l'humain<sup>79</sup>. L'infection par certaines bactéries de type *Wolbachia* permet cela : le moustique n'est plus un vecteur performant, il devient inoffensif (même s'il pique). Elles peuvent aussi diminuer la durée de vie des moustiques, une autre façon d'handicaper le cycle du pathogène, le moustique ne disposant pas d'assez de temps pour que le pathogène finalise la partie de son cycle en lui.

Rendre le moustique incompetent pourrait être aussi le fruit de modifications génétiques du moustique. Cette option, qui joue sur la physiologie du moustique lui-même, reste au stade de recherche tant elle est complexe<sup>80</sup>. Enfin il serait possible de modifier les bactéries de type *Wolbachia* avec lesquelles on infecte le moustique pour arriver à cette fin : la bactérie serait un OGM et le moustique serait réglementairement le support de dissémination.

Ces diverses stratégies de « remplacement » (obtenir une population de moustiques incapables de transmettre la pathologie) sont actuellement au stade de la recherche et du test confiné. Les enjeux techniques principaux sont liés au fait que les modifications physiologiques intéressantes pour l'homme et apportées aux moustiques sont souvent « coûteuses » sur le plan reproductif. Elles sont donc difficiles à répandre dans la population sauvage. Il faut donc trouver un moyen de favoriser leur compétitivité au sein de la population sauvage (ne pas transmettre la maladie ne procure *a priori* pas d'avantage compétitif au moustique porteur de cette modification).

---

<sup>79</sup> Mais pas absolue : les moustiques actuellement impliqués dans la diffusion du zika ne sont pas particulièrement « compétents » mais la diffusion est importante en raison des conditions de vie, des densités humaines et de moustiques, et donc de l'augmentation forte des événements de transmission potentiels (communication de Mme. Bella Failloux, aux auditions de l'OPECST au Sénat le 7 avril 2016, vidéos sur le site du Sénat).

<sup>80</sup> Ainsi lors du séminaire du HCB du 2 mars 2016 ont été présentées les réflexions sur les étapes du cycle interne au moustique du *Plasmodium* (parasite responsable du paludisme), qu'il serait pertinent de viser par modification génétique du moustique afin de diminuer sa capacité à les héberger.

Remplacer la population sauvage par la descendance de ces moustiques modifiés peu compétitifs ne peut être obtenu qu'en obtenant simultanément une transmission accrue de leur hérédité dans la population sauvage.

### 3.1.5 Le forçage génétique

Le forçage génétique (en anglais *Gene drive*) permet d'obtenir la diffusion dans une population d'êtres vivants (de vecteurs par exemple) d'une caractéristique génétique, bien que celle-ci n'apporte pas d'avantage reproductif aux individus qui en sont détenteurs. Il s'agit par diverses techniques moléculaires de biaiser le sex-ratio de la descendance ou l'héritabilité d'un gène. Des chercheurs travaillent sur de tels projets depuis plusieurs années et un groupe de 34 chercheurs a publié en juillet 2005 un catalogue<sup>81</sup> de recommandations techniques (laboratoires) et réglementaires. Cette démarche d'anticipation collective rappelle la conférence d'Asilomar<sup>82</sup> de 1974.

Un forçage a été réussi en 2011, en laboratoire, sur des anophèles.

Les découvertes récentes sur des bactéries endosymbiontes ou des techniques CRISPR-Cas9, en simplifiant les processus d'obtention d'organismes porteurs de caractéristiques permettant le forçage, ont bouleversé les perspectives.

Divers grands axes de forçage génétique sont actuellement identifiables : des manipulations génétiques, à l'exploitations de mécanismes présents dans le monde animal :

Les incompatibilités cytoplasmiques évoquées dans le cadre de moustiques infectés par *Wolbachia* peuvent conduire à favoriser les populations de moustiques porteuses de la bactérie et éventuellement de gènes d'intérêts associés. Progressivement, les moustiques femelles non *Wolbachia* auront de moins en moins de chance de tomber sur un partenaire avec lequel se reproduire.

La notion de forçage génétique désigne néanmoins le plus souvent, dans les débats actuels, l'usage d'une technologie très récente (obtenue par l'insertion de CRISPR-Cas9 – « ciseaux moléculaires » – dans le génome en plus d'un gène d'intérêt dans le même dispositif). Lors de l'appariement des chromosomes à la fécondation, le dispositif CRISPR porté par le

---

<sup>81</sup> Safeguarding gene drive experiments in the laboratory, Akbari *et al.* Science 349 (6251), 927-929, originally published online July 30, 2015

<sup>82</sup> La conférence d'Asilomar organisée en 1974 par Paul Berg (futur prix Nobel de chimie en 1980) appelait à un moratoire sur les manipulations génétiques. Elle a réuni à huis clos 150 chercheurs de tous pays du 24 au 27 février 1975. Les chercheurs lèvent le moratoire, mais avec mise en place de conditions de précaution et de sécurité renforcées (confinement des OGM en particulier).

chromosome apporté par l'un des parents, repère le même emplacement que le sien sur le chromosome homologue apporté par l'autre parent et s'y insère (gène plus cassette CRISPR-Cas9). *In fine*, les deux chromosomes de la descendance sont porteurs de cette même « cassette » intégrée. Cette réaction génétique en chaîne permet de contraindre la descendance à l'homozygotie sur la détention de ce dispositif CRISPR et les régions de l'ADN concernées. Comme la descendance de tous ces homozygotes sera obligatoirement homozygote, quel que soit le profil du partenaire rencontré, au lieu d'être dans les proportions usuelles de la génétique mendélienne, le nombre d'individus modifiés augmentera, continuant à abaisser la probabilité que les moustiques sauvages se reproduisent entre eux. On obtient ainsi que ce gène se diffuse rapidement à l'intégralité de la population et qu'elle soit entièrement homozygote.

En fonction des séquences qu'on associerait à ce processus de recopie forcée, on pourrait obtenir l'incompatibilité génétique du moustique avec le pathogène (diffusion de gènes antiviraux, antiparasitaires, ou même d'autres caractéristiques) et la diffuser à l'intégralité de la population de moustique.

Le forçage génétique à base de CRISPR-Cas9, avec un gène de létalité porté par les mâles et les femelles mais ne tuant que les descendances femelles, ou ne produisant que des mâles, permettrait, lui, d'imaginer des stratégies d'extinction de la population d'une espèce de moustique ou d'abaissement de la population de moustiques à des niveaux très faibles. C'est le fond du projet actuel de Target Malaria<sup>83</sup>. Les spécialistes considèrent que la technologie pourrait être prête dans une dizaine d'années.

Actuellement, ce forçage génétique peut être envisagé pour de nombreux organismes vivants : c'est un montage génétique sophistiqué qui ne serait *a priori* jamais apparu dans une population sauvage. Les débats actuels dépassent le cas des moustiques et des inquiétudes sont nombreuses sur les possibilités que le système échappe au contrôle. Certains scientifiques proposent d'ailleurs d'élaborer des moustiques modifiés qui, sur la base d'un montage génétique largement comparable, viendraient « corriger » la première modification en cas de problème. En l'état des réflexions, il s'agit seulement d'une voie de recherche, mais elle confirme les inquiétudes sur la réversibilité des processus de *Gene drive*. Plus qu'une véritable réversibilité des modifications, c'est plutôt une course en avant porteuse de plus de questions qui semble se profiler à travers ce type de proposition.

---

<sup>83</sup> <http://targetmalaria.org/our-work/>

Il est à noter que de nombreux acteurs, ONG<sup>84</sup> et scientifiques, appellent à ne pas libérer des moustiques *Gene drive*<sup>85</sup> voire même, pour certaines, à une interdiction ou un moratoire sur les recherches correspondantes<sup>86</sup>. Il serait prématuré de lâcher des moustiques génétiquement modifiés et porteurs de caractéristiques de *Gene drive* dans la nature pour combattre la propagation du paludisme, du zika et d'autres infections transmises par ces insectes *Gene drive*, selon un rapport<sup>87</sup> des Académies américaines des sciences (NASEM) qui juge cependant cette technologie comme prometteuse<sup>88</sup>. Notons que ce rapport n'est consacré qu'aux enjeux liés à la biodiversité. Il n'évoque pas d'autres enjeux majeurs : les enjeux de sécurité alimentaire, ceux de la commercialisation, mais aussi ceux issus des usages duaux (militaires). Questions abordées en particulier dans la Biological Weapons Convention (BWC) des Nations Unies ou la convention sur les modifications de l'environnement (Environmental Modification Convention (ENMOD) et, plus précisément, la Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques). Il suffirait en effet par exemple d'associer ce système de *Gene drive* à un gène conférant au moustique une capacité de production de toxine et d'inoculation pour construire une arme.

La gouvernance internationale doit considérer de tels enjeux aussi bien pour l'analyse des impacts que pour l'expertise et la mobilisation des connaissances disciplinaires (séquençage, big data) dans des sciences de la vie dont la puissance potentielle s'étend à travers de tels outils<sup>89</sup>. Les problèmes scientifiques et éthiques du forçage génétique en général dépassent d'ailleurs le seul cas des moustiques : cette question nécessiterait un travail en soi de la part du HCB.

### 3.1.6 Le « boost »

Des techniques « supplémentaires » permettent d'augmenter (*boost*) l'efficacité des stratégies de suppression de moustiques, par exemple en contaminant des individus lâchés (éventuellement OGM, irradiés, porteurs d'endosymbioses bactériennes...) avec des produits toxiques sélectifs ou des pathogènes (densovirus par exemple) qui tuent les partenaires qu'ils

---

<sup>84</sup> 160 ONG ont conjointement appelé à un moratoire sur le *Gene drive* à la Conférence de Cancun de décembre 2016 sur le Protocole de Carthagène, au nom des menaces sur la biodiversité, la paix, et sécurité et des irréversibilités introduites par ces technologies.

<sup>85</sup> Le consortium qui « vend » les licences d'utilisations de CRISPR-Cas9 a inclus, pour les utilisations pour les utilisations agricoles, l'interdiction de l'utilisation dans une perspective de *Gene drive*.

<sup>86</sup> En 2017, à Cancun, la CBD n'a pas donné suite à la demande de moratoire soutenu la nécessité de recherches, suite à une pétition de scientifique, en particulier issus des zones intertropicales soumises au paludisme.

<sup>87</sup> <http://nas-sites.org/gene-drives/>, <https://www.nap.edu/catalog/23405/gene-drives-on-the-horizon-advancing-science-navigating-uncertainty-and>

<sup>88</sup> Intervention de M. Éric Le Marois au séminaire du 2 mars 2016 du HCB, reprise le 6 avril 2016 devant l'OPECST. Depuis lors de nombreux autres scientifiques ont pointé aussi les promesses de cette technique.

<sup>89</sup> Intervention de M. Chneiweiss, Comité d'éthique de l'Inserm à l'OPECST le 27/10/2016.



rencontrent, ou les larves quand ils contaminent les milieux aquatiques. Le moustique est alors, en plus de ses propriétés propres, un transporteur de produits plus efficace par exemple que l'homme. Cela tient en particulier à sa capacité naturelle à identifier et atteindre les milieux propices à la reproduction, difficiles d'accès, ou à pénétrer dans les propriétés privées.

### 3.2 ÉTAT DES EXPÉRIMENTATIONS

L'utilisation de moustiques modifiés donne lieu à diverses expérimentations selon différents niveaux de confinement et avec différents objectifs. Des essais en conditions semi-contrôlées (cages, serres) ont été menés pour évaluer la compétitivité des souches utilisées dans les lâchers face aux souches sauvages. Des essais de terrain ont été conduits dans divers endroits du monde pour étudier les performances des moustiques et l'efficacité des méthodes de contrôle des populations.

Dans le cas des moustiques GM, les expérimentations de terrain ont été conduites principalement par la société Oxitec, avec la souche OX513A porteuse de la modification RIDL, gène de stérilité contrôlé en élevage par un antibiotique. Les expérimentations ont eu lieu aux îles Caïmans, en Malaisie, au Brésil et au Panama. Un projet de lâcher expérimental en Floride a déjà fait l'objet de validations par la FDA (*Food and Drug Administration*), de consultations du public et de nombreux débats. Les partenaires de la société Oxitec sont des instituts publics de lutte, des collectivités et les pouvoirs publics. Ponctuellement, de petits essais concernant d'autres moustiques GM ont été menés.

Dans le cas des moustiques modifiés par *Wolbachia*, les stratégies misant sur l'incompatibilité sont essentiellement expérimentées aux États-Unis (Californie, État de New York, Floride) par l'université du Kentucky associée à la société Mosquito Mate, et en Polynésie française par l'Institut Louis Malardé, associé ou pas avec l'université du Kentucky). Des essais démarrent à Singapour et en Chine avec des acteurs institutionnels et universitaires comparables. Les stratégies misant sur l'interférence avec le pathogène sont expérimentées dans diverses parties du monde, essentiellement dans le cadre du programme *Eliminate Dengue*. Ce programme est une collaboration internationale sans but lucratif menée par l'université australienne Monash dans le cadre de l'Institut des maladies à vecteurs. Les expérimentations ont eu lieu en Asie du Sud Est (Vietnam), Inde (Pondichery), Indonésie (Yogyakarta), Océanie (Nouvelle-Calédonie et d'autres îles du Pacifique), Brésil (*via* la fondation Oswaldo Cruz), Colombie et Australie (Queensland). Enfin, une expérimentation est prévue à Nouméa en 2018.

Il faut par ailleurs noter, pour mémoire, l'existence d'expérimentations de lâchers de moustiques mâles stérilisés par irradiation (Italie, La Réunion, Soudan, île Maurice,

Allemagne), voire par produits chimiques dans le cadre de coopérations d'acteurs locaux avec l'AIEA et la FAO.

De façon générale, ces expérimentations ouvertes, qui concernent essentiellement des stratégies liées à la stérilité, ont montré que la vitalité des lignées relâchées par rapport aux souches sauvages est un paramètre important pour leur capacité à s'accoupler avec les femelles sauvages, et donc pour leur réussite. Comme cela conditionne la quantité de mâles à lâcher, cela a aussi une forte incidence potentielle sur les coûts. Ces essais ont été l'occasion de tester aussi les processus d'information, de décision, de faire expertiser les dossiers par les autorités compétentes concernées (Brésil, États-Unis...) et de voir comment il était ou non répondu aux interrogations de la population, dont certaines inattendues (comme la question des conséquences pour l'homme de l'ingestion de moustiques...). Dans un certain nombre de cas, les réactions des populations, les coûts, la prise en compte de préférences locales ont conduit à arrêter les expérimentations (Malaisie). Dans d'autres cas, d'importantes controverses, voire des conflits, ont lieu (Caïmans, Floride).

Sur le plan technique, les incertitudes et risques des différentes technologies ont été analysés de façon approfondie par le CS du HCB.

### 3.3 ÉTAT DES COMMERCIALISATIONS

En l'état actuel, il n'y a pas, à strictement parler, de commercialisation de moustiques génétiquement modifiés, même si les expérimentations se font à titre onéreux pour les collectivités. Ces techniques sont au mieux en stade III de développement, le stade de la commercialisation étant le IV (voir les travaux du CS). Plusieurs expérimentations font l'objet d'investissements de collectivités locales ou de sociétés privées, soutenues par des fondations.

La technique pour laquelle la pré-commercialisation est la plus structurée est celle qui recourt au gène RIDL. Le 10 avril 2014, le Brésil avait été le premier État à autoriser la commercialisation des moustiques génétiquement modifiés de la société Oxitec. Suite à la vente d'une usine importante de production de moustiques GM à la municipalité de Piracicaba (au Brésil) pour la production sur quatre ans de moustiques GM, avec une capacité dépassant les besoins locaux, on peut considérer qu'un pas important a été fait dans ce pays vers la commercialisation des moustiques génétiquement modifiés. Malgré le potentiel commercial développé par la construction de cette usine, le Brésil a finalement rendu l'autorisation temporaire et demandé à la société de fournir des éléments sur l'efficacité dans la lutte contre la propagation effective de la dengue.

On reste à ce stade loin des importants dispositifs mis en place pour lâchers de mâles stériles pour lutter contre des ravageurs comme c'est le cas avec la lucilie bouchère ou les mouches du fruit (lâchers qui sont aujourd'hui des outils « classiques » en agriculture dans certaines zones du monde).

La Malaisie, qui avait mené de nombreux essais sur une zone inhabitée, les a abandonnés en 2015 en raison des coûts et d'une mobilisation citoyenne contre le programme de lutte. Les pouvoirs publics ont préféré investir dans la mise en œuvre de peintures incorporant un insecticide à l'intérieur des habitations.

Certaines expérimentations déjà menées se rapprochent de fait d'une pré-commercialisation pour les moustiques :

- génétiquement modifiés par la technique RIDL pour réduire leur population (Société Oxitec, avec création d'une usine de production de 60 millions de mâles modifiés par semaine au Brésil à Piracicaba ; expérimentations menées en Malaisie, Panama, Caïmans) ;
- infectés par *Wolbachia* avec incompatibilité cytoplasmique pour réduire leur nombre dans une perspective liée au Zika (société Mosquito Mate sur *Aedes aegypti*, Californie...) ;
- rendus incompetents comme vecteur de la dengue (université Monash Australie sur *Aedes aegypti*, avec des expérimentations menées à Cairns depuis 2011 et suppression constatée de la circulation de la dengue, suivie d'autres essais dans d'autres pays (Brésil, Colombie, Indonésie, Vietnam) ;
- stériles irradiés pour réduire la population de vecteurs, stratégie soutenue par la FAO, l'AIEA, et des universités (La Réunion, Italie).

Ne sont pas testés en milieu ouvert les moustiques :

- porteurs de la modification CRISPR induisant un *Gene drive* conduisant à la mort de la descendance ;
- porteurs d'autres modifications génétiques sur la compétence vis-à-vis de l'infection ;
- boostés par des densovirus ;
- infectés par des bactéries elles-mêmes modifiées.

On peut constater une augmentation de ces expérimentations, un rapprochement de conditions de commercialisation, une mise sous tension des dispositifs réglementaires. On en déduira la nécessité de cadrer rapidement ces agissements par les dispositifs d'évaluation et de production du droit *ad hoc*.

## 4 PREMIERS ENSEIGNEMENTS DES EXPÉRIMENTATIONS SUR LES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU RECOURS À DES MOUSTIQUES MODIFIÉS

Comme y invite la saisine, les avantages et inconvénients du recours aux moustiques modifiés dans le cadre de la LAV doivent s'apprécier en fonction de critères variés : critères de santé publique, critères socio-économiques, critères environnementaux et, en arrière-plan, questionnements éthiques. Lors de la réponse donnée à une précédente saisine sur la façon d'appréhender les motifs dits « socio-économiques »<sup>90</sup>, le CEES a souhaité dépasser certaines limites des analyses risques/bénéfices. Aussi se propose-t-on d'apprécier les « avantages et inconvénients » du recours aux moustiques modifiés au regard : de son utilité sociale et de son coût, compte tenu des objectifs de la LAV ; de ses impacts environnementaux ; des problèmes soulevés en termes démocratique et éthique. L'objectif est, en se référant à la notion de « trajectoire d'innovation » recommandée par le CEES<sup>91</sup>, de pouvoir apprécier de façon large les effets attendus de l'innovation introduite, qu'il s'agisse de moustiques modifiés génétiquement ou *via Wolbachia*.

### 4.1 DU POINT DE VUE DE LA LUTTE ANTIVECTORIELLE

C'est pour les stratégies de stérilité induite que des expérimentations ont pu être menées de façon ouverte. Elles concernaient des stérilités obtenues par des transfection par *Wolbachia* ou par modification génétique.

Les perspectives de remplacement de populations jouant sur l'expansion d'un caractère génétique durable ou d'une interférence avec le pathogène envahissant toute la population sont restées à notre connaissance en laboratoire clos ou en modélisation. Elles nécessitent des recherches approfondies et des cadres précautionneux d'expérimentation avant tout lâcher dans la nature.

#### 4.1.1 Des résultats intéressants en termes de contrôle de la démographie des moustiques

Les expertises du CS ont détaillé ces expérimentations. Des résultats concrets sur la démographie des moustiques ont été obtenus. Il importe néanmoins de rappeler que les moustiques modifiés ont été évoqués surtout en contexte de crise comme par exemple lors de la récente épidémie associée au virus Zika. Or, ils ne réduisent pas instantanément la population de femelles existantes. Ils n'ont d'ailleurs pas été testés dans cette perspective.

---

<sup>90</sup> Recommandation du CEES relative à la Directive 2015/412 et à l'analyse socio-économique et éthique de la mise en culture des plantes génétiquement modifiées, accessible sur le site du HCB.

<sup>91</sup> Le concept de trajectoire se réfère ici aux évolutions possibles des systèmes de production, celles-ci se caractérisant par un recours préférentiel à un type de technologie pour résoudre les problèmes rencontrés.

Il ressort des expérimentations que certains moustiques modifiés pourraient être des outils efficaces de contrôle démographique à moyen terme (baisse de 80% à 95% de la population de leur espèce suivant les essais). Pour les expérimentations les plus avancées de moustiques stériles (Australie, Queensland, avec l'université Monash), l'absence de transmission de dengue sur le territoire considéré constitue un résultat prometteur pour le moustique *Wolbachia*, mais encore statistiquement peu robuste. Au vu des résultats actuels des expérimentations sur les moustiques modifiés, il s'avère complexe, en termes de santé, de corréler les résultats et un bénéfice sanitaire global, et ce pour diverses raisons (effets de substitution de vecteurs, état de santé initial de la population humaine, type de vecteurs, etc.). Il apparaît plus complexe encore de transposer les résultats de l'action à d'autres situations.

Des expériences déjà abouties comme celles conduites au Brésil avec les moustiques GM ont ainsi amené les autorités à limiter les autorisations dans l'attente de conclusions plus claires sur les facteurs d'efficacité et sur le lien existant avec l'amélioration sanitaire de la population.

En 2016 des lâchers de moustiques *Ae. polynesiensis* transinfectés effectués en Polynésie française<sup>92</sup> sur une île d'1 km<sup>2</sup>, ont permis en treize mois de réduire de 99,9 % la population ciblée (95% huit mois après l'arrêt des lâchers). Ces lâchers se déroulent dans un contexte réglementaire particulier, celui de la Polynésie Française, avec un statut d'autonomie qui a permis d'obtenir dès 2007 une autorisation à travers un arrêté du Conseil ministériel du gouvernement de Polynésie Française. Depuis deux ans, l'expérimentation relève d'un partenariat public privé avec un hôtel de luxe sur un atoll privé. L'insularité est une garantie technique pour les expérimentations (confinement de fait).

La spécificité (une seule espèce visée), est mise en avant par les promoteurs de ces techniques qui espèrent *a priori* éviter les effets collatéraux des produits toxiques (biocides). L'efficacité des moustiques modifiés semble donc posée de façon similaire à ce que l'on a pu constater, dans un tout autre domaine, avec le recours aux insectes modifiés dans la lutte contre des ravageurs agricoles (mouche du fruit<sup>93</sup>, lucilie bouchère<sup>94</sup>, etc.).

---

<sup>92</sup> La Polynésie française est une collectivité d'outre-mer. Son statut législatif ne l'oblige pas à appliquer les dispositions nationales françaises sur les OGM, ni les dispositions européennes.

<sup>93</sup> Insecte faisant l'objet de programmes de plusieurs milliards de dollars à l'initiative des producteurs de fruits d'Amérique Centrale.

<sup>94</sup> Dont la larve se nourrit des tissus vivants du bétail et qui a dû faire l'objet d'un vaste programme d'éradication en Lybie (1990), au Mexique et en Amérique centrale (1995), et aux US (1982) et connaît des réapparitions récentes dans des parcs nationaux aux US.

#### 4.1.2 Des technologies de mise en œuvre assez aisée

L'utilisation des moustiques génétiquement modifiés apparaît techniquement relativement aisée, aussi bien du point de vue des entités les promouvant (entreprises, universités...) que du point de vue des utilisateurs/consommateurs, dès lors que les infrastructures sont en place (usine de production, logistique de dissémination, dispositif d'information et de débat). La mobilité des moustiques leur permet d'explorer des espaces d'accès difficile ou des propriétés fermées. La technicité demandée sur le terrain est aussi complexe que la mise en œuvre des stratégies classiques et ciblées de LAV : choix de corridors biologiques, d'écosystèmes favorables, etc.

Cette technique permet, pour certains types de moustiques, de pouvoir *a priori* envisager des stratégies locales, limitées dans le temps et dans l'espace. Elle pourrait dès lors acquérir un statut de « technologie sur étagère », disponible tant pour la LAV que pour les luttes contre les nuisances et donc potentiellement mise en œuvre en tant que de besoin par des utilisateurs de terrain (acteurs locaux, collectivités locales, opérateurs privés...). Cette technique permet aussi d'envisager des actions à plus grande échelle.

Toutefois, doit être pris en compte le fait que cette technique :

- constitue un outil de gestion au long cours nécessitant des investissements (en structure, en compétence, en ressources financières) et des engagements (humains, organisationnels). Avec le recours aux moustiques modifiés se dessine une trajectoire d'innovation qui peut durablement impacter les orientations et les compétences des structures ;
- exige bien évidemment des évaluations et autorisations par les autorités, pour la technique (de production et de diffusion) et pour le produit (l'insecte modifié). Mais pour devenir d'utilisation courante et dépasser le cadre expérimental du coup par coup, cette technique nécessiterait à terme un agrément approprié n'exigeant pas un renouvellement administratif complexe, *via* éventuellement des autorisations pluriannuelles sous peine de ne jamais trouver de cas d'utilisation courante.

#### 4.1.3 La maîtrise : un enjeu technique déterminant

Le recours aux moustiques modifiés apparaît maîtrisable d'un point de vue technique en raison de la compétence des acteurs impliqués, des protocoles mis en œuvre, du suivi opéré (certains peuvent même être dotés de gènes de fluorescence *ad hoc* par génie génétique pour permettre un suivi).

Cette maîtrise semble d'autant plus atteignable que cette stratégie de lutte repose sur des lâchers de mâles qui ne piquent pas (GM) ou de populations mixtes (*Wolbachia*) qui ne sont *a priori* pas problématiques (excepté si le lâcher de femelles représente un contingent notable par rapport à la population sauvage et donc aggrave le problème plutôt que de le résoudre).

Les risques de dissémination massive apparaissent limités (les moustiques se déplacent peu, divers obstacles pouvant limiter leur diffusion tels que : l'incompatibilité reproductive des variants, les non-mélanges de populations, les barrières physiques liées par exemple à l'insularité, etc.).

Cette maîtrise peut cependant être remise en cause du fait que :

- le moustique est mobile, et d'autant plus grâce aux activités de l'homme (automobile, avion) ; la restriction territoriale des lâchers peut dès lors apparaître un leurre ;
- l'action pourrait en partie échapper à ses auteurs. Pour les stratégies « *self sustaining* » par exemple, les moustiques modifiés introduits vont certes se reproduire mais la transmission à leur descendance peut être perturbée. Comme le CS l'a souligné, des inquiétudes existent à propos d'effets non prévus, comme par exemple la modification de la virulence du pathogène ;
- il existerait une irréversibilité technique : celle de ne pas pouvoir restituer l'équilibre initial des forces vectorielles. Supprimer un vecteur d'un territoire constitue une victoire sur la maladie ; mais pour diverses raisons, on peut craindre que la situation finale ne soit pas satisfaisante lorsque, par exemple, le vecteur visé est remplacé par un autre dont l'association avec le pathogène est problématique. Le CS recommande d'ailleurs que, dans ce cas, les stratégies visent les deux vecteurs.

#### 4.1.4 Des facteurs d'efficacité complexes

Les travaux d'expertise scientifique (voire les travaux du CS) montrent que l'efficience des stratégies dans le temps, la pertinence et l'efficacité des moustiques élevés pour être lâchés, les risques d'échappement des moustiques lâchés, de microbiotes liés aux conditions d'élevage, etc. comportent des incertitudes. On est face à des objets très complexes sur le plan scientifique, avec des paramètres de mise en œuvre à explorer :

- le recours aux moustiques stériles, afin de limiter les populations de moustiques nécessite, notamment pour des raisons économiques, que l'on ait préalablement diminué les populations naturelles, ce qui se fait usuellement avec des produits biocides. Les lâchers de moustiques (*Wolbachia*, modifiés génétiquement par RIDL, irradiés) n'exonèrent donc pas forcément de l'usage de ces autres moyens. Parfois,

aussi, les lâchers de moustiques ne sont pas possibles en raison des conditions climatiques ;

- les populations d'insectes se reproduisent très rapidement (six générations dans la saison) et comptent des milliers d'individus avec des descendance importantes. Les interactions avec les pathogènes sont complexes. Ce sont *a priori* là des conditions favorables à ce que s'engagent des processus rapides et importants d'adaptation et de contournement, pouvant obérer l'efficacité des lâchers : le CS a fait état des questionnements scientifiques sur ce point ;
- la réussite pour les stratégies de descendance stérile est liée à l'adéquation de la lignée utilisée aux moustiques. Il faut donc combattre toutes les éventuelles sous-espèces locales porteuses de pathogènes. Mais ces stratégies ont l'avantage de lutter ainsi, *via* une seule espèce, contre toutes les maladies qu'elles véhiculent ;
- la réussite pour les stratégies d'interférence avec le pathogène peut dépendre de l'existence de différents variants du pathogène. Il faut donc s'adapter aux évolutions possibles d'un complexe « vecteur/bactérie/pathogène » et enfin, si des moustiques sont vecteurs de plusieurs maladies, se questionner sur celle qui prime dans la définition de la cible ;
- de nombreuses incertitudes demeurent sur les conditions optimales d'efficacité, sur la transposabilité de ces outils à différentes situations et sur la stabilité des suppressions obtenues (possibilité de ré-infestation par les zones voisines, affaiblissement de la présence des moustiques modifiés dans le temps, Cf. avis du CS).

Enfin, en cas de généralisation de ces techniques, on devra analyser les interactions entre les stratégies, voire des changements complexes apportés dans le futur par l'empilement de techniques dans les mêmes moustiques.

Au-delà des interrogations que soulèvent ces incertitudes techniques, voire les garanties à obtenir, telles que le CS les a identifiées, il semble qu'actuellement, la concurrence entre les technologies porte essentiellement sur l'efficacité des moustiques lâchés, qui conduit à en lâcher plus ou moins, ce qui joue directement sur les coûts. L'acceptabilité des technologies sous-jacentes est un autre élément du positionnement de concurrence des porteurs de ces techniques.



#### 4.1.5 Difficulté persistante d'évaluation de l'atteinte de l'objectif de santé

La lutte antivectorielle est avant tout un moyen, au service d'un projet politique de santé publique (ou de confort). L'appréciation de son efficacité devrait concerner le court terme et le long terme en se fondant sur des critères d'amélioration sanitaire.

La diminution immédiate de la population de moustiques a en général fait ses preuves en situation de crise sur le nombre de malades immédiats. Mais son niveau de diminution, quel que soit le terme, on l'a rappelé plus tôt, n'est pas relié de façon systématique et prévisible à des résultats sur la circulation de la maladie (c'est d'ailleurs un handicap fort pour mener une analyse coûts/bénéfices *ex ante*), et sur la cessation de la situation de crise. Cela a d'ailleurs conduit le Brésil à demander que les résultats des expérimentations soient traduits en gains sanitaires objectifs avant de redonner les autorisations. Les facteurs influant sur le lien entre ces questions de densité de vecteurs et d'exposition des population, exposés plus haut à propos des limites de la LAV, restent pertinents pour ces techniques. Plus encore, de nouveaux travaux questionnent ces relations. Ainsi une étude (Tsai and Teng, 2016) publiée en 2016 montre que les densités de *A. aegypti* sont corrélées à la densité de population humaine et à l'incidence de la dengue dans des agglomérations du Sud de Taïwan, mais pas les *A. albopictus*, alors qu'ils sont tous deux vecteurs de la dengue. Quels sont les niveaux de contrôle de la population pertinents ?

Pour certaines de ces technologies, les résultats ont été déjà (partiellement) appréciés en termes de santé : par exemple, le programme Eliminate Dengue en Australie a mis en évidence l'absence de dengue autochtone dans les secteurs de dominance des moustiques *Wolbachia* – mais les mécanismes de diffusion de la contamination *Wolbachia* au sein de la population de moustiques vecteurs ne sont pas très efficaces : le lâcher initial, voire répété d'une certaine quantité de moustiques modifiés est nécessaire pour aboutir à l'objectif : une population de moustiques non vecteurs. Ces résultats sont à confirmer à plus grande échelle.

Mais même des succès rapides ne sont pas forcément durables ou suffisants. Les incertitudes déjà constatées dans la lutte insecticide traditionnelle<sup>95</sup> ne sont pas levées par les moustiques GM utilisés comme régulateur de la population.

---

<sup>95</sup> On peut retrouver les difficultés classiques liées à des raisons très diverses : ne pas éliminer complètement les moustiques maintient une population résiduelle susceptible de véhiculer des maladies : le seul constat objectif que l'on est en mesure de produire est la densité de moustique, rarement le taux de circulation du pathogène. Garder une faible population de moustique n'écarter pas le risque de transmission de la maladie voire de certaines versions hémorragiques. Sur le plan écologique, la diminution du nombre de larves dans les milieux aquatiques a pu en fait limiter leur mortalité liée à la compétition alimentaire, et finalement augmenter le nombre de celles qui arrivaient à maturité.

#### 4.1.6 Des techniques en évolution dans un contexte scientifique pionnier et producteur de connaissances

Les techniques actuellement en test sont des prototypes, étapes d'une progression technologique en évolution et en adaptation aux contraintes. Elles vont évoluer très probablement en combinant des ressources techniques (facilitation du sexage, incorporation de fluorescence...) dans le génome des moustiques modifiés. Qualifiées ou pas de techniques de modification génétique, elles posent toutes des questions nouvelles et comportent des incertitudes qui ne peuvent être résolues que par l'expérimentation d'une part, et par la recherche d'autre part. Par exemple, les bactéries *Wolbachia* actuellement utilisées ne sont pas aussi stables génétiquement qu'on le voudrait lors de la transmission maternelle. Les travaux de recherche actuels examinent différentes souches. Les questions des échanges d'ADN entre la bactérie et l'hôte, à moyen terme, se posent, surtout que l'on a des preuves d'échanges de présence importante d'ADN bactérien dans le génome de nombreux insectes et vice-versa<sup>96</sup>.

En libérant dans un contexte « pionnier », des organismes au patrimoine génétique modifié qui peuvent interférer avec les populations sauvages, la première inquiétude est celle de la perte de contrôle et de l'irréversibilité ; ce registre est largement documenté par les travaux du CS. Nous verrons plus loin néanmoins que cette notion d'irréversibilité peut dépasser le cadre technique : l'image des territoires, le choix d'une trajectoire technologique particulière et sensible, peuvent être des composantes importantes pour la décision.

Le cadre technique de prudence sanitaire et environnementale établi pour les OGM en France et en Europe semble légitimement devoir s'appliquer, sur le plan technique, aux dispositifs reposant sur la transfection par *Wolbachia* ou des bactéries semblables : en effet, les mécanismes d'interaction entre les bactéries endosymbiotes sont peu connus et font l'objet de recherche. À ce titre, il semble qu'ils représentent une complexité peut être supérieure au fonctionnement du transgène utilisé chez les moustiques RIDL. La large diffusion préexistante de ces bactéries dans la biosphère et, tout particulièrement, parmi les insectes pourrait donner confiance, mais il n'y a pas de cadre scientifique pour légitimer cette posture, ne serait-ce que parce que l'on crée des associations forcées, parfois pour des espèces de moustiques pour lesquels on ne connaît pas d'association naturelle à *Wolbachia* et qu'on ne connaît pas les raisons de ces obstacles. Au-delà des inconnues sur les modes d'action, il reste des incertitudes sur la possibilité de conséquences déroutantes au sein de la population de moustiques et des conséquences sur la pathogénicité du tandem

---

<sup>96</sup> Présence de séquences issues d'araignées (production de toxine) dans certaines *Wolbachia*.

vecteur/pathogène. L'expertise scientifique sera cruciale. Des publications récentes commencent à comprendre les interactions complexes de la bactérie et de son hôte.

Enfin, si l'évolution technologique ne connaissait pas d'entraves réglementaires, économiques ou de cloisonnements concurrentiels (brevets), il est probable qu'émergeraient des propositions combinant des techniques avec, par exemple, insertion de transgènes dans de nombreux types de moustiques, ne serait-ce que pour le suivi (insertion de GFP<sup>97</sup>).

## 4.2 DU POINT DE VUE DE L'ENVIRONNEMENT

La LAV utilisant des moustiques modifiés doit être appréciée quant à ses impacts sur le plan environnemental, ce qui conduit à prendre en compte principalement la question des biocides et celle de la biodiversité. Les stratégies reposant sur des moustiques biologiquement instrumentalisés pour la lutte permettent de confier au moustique lui-même le soin d'aller investiguer les habitats. Rien de tel qu'un moustique pour débusquer ses congénères. Il n'est pas besoin de parcourir des propriétés privées ou des habitats difficiles d'accès, le moustique s'y rend. Cette dynamique précise d'action est aussi, avec raison, présentée comme un atout sur le plan écologique. Elle permet d'éviter de saturer le milieu avec les toxiques. Le moustique modifié ou simplement auto-disséminateur d'hormones, larvicides ou densovirus, est un disséminateur précis et ciblé, donc efficace et non gaspilleur, dans la mesure où la modification de son génome a permis le maintien de ses comportements de vol et de reproduction. Cet avantage est commun à toutes les stratégies de lâchers de moustiques (GM, transinfectés, irradiés, chémostérilisés, contaminés par des produits chimiques, des densovirus, des pathogènes du moustique etc...).

### 4.2.1 Du point de vue de l'usage de biocides

Les stratégies impliquant l'usage de toxiques posent des problèmes d'atteintes à des espèces non-cibles, de toxicité pour l'homme et l'environnement, de respect de normes environnementales, de restrictions d'usage, d'efficacité dans le long terme et d'atteintes des lieux les plus compliqués. C'est à ces impacts que l'on peut opposer l'intérêt de l'usage de moustiques modifiés. L'usage moindre des insecticides est un des principaux arguments mis en avant par les promoteurs du recours aux moustiques modifiés.

---

<sup>97</sup> Insertion d'un gène de production d'une protéine phosphorescente, issue d'une méduse. La technologie est largement banalisée dans les laboratoires.

Les insectes non-cibles peuvent avoir des rôles écologiques. Il en va ainsi des chironomes dont les larves sont une nourriture importante pour divers animaux aquatiques, et qui sont directement impactés par l'usage des insecticides<sup>98</sup>. Les moustiques modifiés semblent donc aptes à aider à la limitation de tels impacts.

Ce recours n'implique pourtant pas l'évacuation de toute utilisation d'insecticides comme on l'a déjà dit. Le recours aux biocides s'impose dans des situations de flambée épidémique, pour éliminer immédiatement de forts contingents de femelles piqueuses<sup>99</sup>. Par ailleurs, pour être efficaces, et pas trop coûteux, les lâchers de moustiques stériles génétiquement modifiés nécessitent le plus souvent de diminuer préalablement les densités et les effectifs des populations de moustiques sauvages. Par la suite, pour maintenir dans le temps des populations faibles, les lâchers de moustiques modifiés, coûteux, ne doivent pas connaître d'infléchissement : ce n'est pas facile à expliquer aux financeurs. L'utilisation des moustiques modifiés est par ailleurs plus difficile dans certaines conditions climatiques (pluie, vent) et est alors remplacée par l'emploi de biocides. Enfin, la réduction de l'impact des pesticides sur les espèces non-cibles est donc un argument mis en avant par les promoteurs des moustiques modifiés, mais :

- les moustiques modifiés ne répondant pas aux situations de crise, on peut considérer que, sur le long terme, en maintenant les populations sauvages à des niveaux faibles, ils permettront d'éviter les crises et donc le recours aux biocides ;
- il existe d'autres stratégies innovantes n'utilisant pas de biocides aux impacts étendus, comme par exemple, divers modes de piégeage ou de diffusion très ciblée.

Au chapitre des avantages indirects, une utilisation moindre des produits biocides peut restaurer leur efficacité, la résistance des insectes étant due à une utilisation régulière. Ces produits peuvent donc ainsi retrouver de l'efficacité dans le cadre de la LAV d'urgence. Cette requalification des produits peut être importante.

---

<sup>98</sup> Même les insecticides Bti pourtant parfois considérés comme « écologiques » peuvent poser ces problèmes.cf. communication du 9 septembre La tour du Valat.

<sup>99</sup> En 2016, anticipant le retour de populations ayant fréquenté le Brésil pour les jeux Olympiques et donc potentiellement porteuses de Zika, et alors que les moustiques potentiellement vecteurs étaient très présents localement, les autorités américaines ont préféré épandre des insecticides assez massivement avec des conséquences importantes par exemple sur les abeilles, en abandonnant transitoirement les recommandations du CDC d'Atlanta qui continuait à préconiser d'identifier les nouveaux malades et traiter leur seul environnement.

*In fine*, des études évaluant l'intérêt de ces économies de biocides, en contexte au sein de la panoplie des outils réellement utilisés, seraient porteuses d'enseignement sur la réalité de l'argument sur les économies de biocides. Nous n'avons pas connaissance d'études identifiant cette économie. Nous notons qu'une telle étude serait aussi justifiée que celles sur les conséquences de l'utilisation de certains OGM agricoles (maïs Bt) sur l'utilisation alternative de biocides.

#### 4.2.2 Du point de vue écosystémique

C'est toujours par leur action ciblée sur une espèce que ces techniques présenteraient des intérêts potentiels sur le plan de la biodiversité en limitant les conséquences sur les écosystèmes à la seule disparition de ces moustiques. Les expérimentations menées ne visent pas à identifier cet impact. Certaines ont pu tester l'effet de la suppression d'une population d'un vecteur sur la population d'un autre et examiner si un remplacement du vecteur est une possibilité (technique RIDL au Panama).

Limitant l'usage de biocides et la destruction d'habitats (propices aux moustiques mais aussi à d'autres espèces), la solution des moustiques modifiés éviterait bon nombre d'impacts environnementaux indirects.

Précisons que ces particularités sont aussi l'apanage des techniques de lâchers de moustiques irradiés et chémostérilisés. Néanmoins l'espèce visée peut avoir divers rôles écologiques : pollinisateurs, proies y compris au stade larvaire aquatique pour divers organismes, proies adultes pour oiseaux, chauve-souris, agents interagissant avec des virus jouant des rôles éventuellement importants sur certaines espèces ou écosystèmes, dépollution des eaux. Autant de rôles qui sont parfois non substituables et qui peuvent avoir des effets en cascade. En revanche, dans de nombreux contextes urbains, la suppression ciblée des moustiques (surtout si ceux-là sont invasifs) a certainement peu de conséquences écologiques.

En revanche, et c'est peut-être l'essentiel concernant les moustiques modifiés, des interrogations résultent de leur seule présence dans l'environnement. Les raisons évoquées sont diverses puisque, à titre d'exemple, elles peuvent avoir trait :

- à la suspicion d'effets indésirables liés à la persistance des moustiques modifiés dans l'environnement (comme, par exemple, *via* leur ingestion par d'autres êtres vivants qui interroge sur la dissémination de nouveaux gènes ou d'antibiotiques) ;
- aux risques de pollution génétique, des risques d'irréversibilité biologique après avoir libéré des séquences génétiques (en particulier lors du lâcher fortuit de femelles en

raison d'un sexage imprécis en élevage), des organismes biologiques, des pathogènes non voulus (nouvelle forme de pollution).

Certaines options envisagent le lâcher de moustiques qui par un moyen biotechnologique (ici la transfection par une bactérie commune *Wolbachia*), visent à la capacité du pathogène à finaliser son cycle : le moustique ne peut pas infecter. Dans ces stratégies donc, les moustiques existent toujours au sein de l'écosystème : c'est une raison importante de la préférence affichée de certains groupes environnementalistes (Caïman, Nouvelle-Calédonie, Floride). L'atteinte au moustique lui-même est donc relative, et les questions écologiques se posent moins. Il devient « inoffensif ».

On peut voir aussi diverses limites :

- Le moustique reste « disponible » pour devenir le vecteur d'autres pathogènes, voire du pathogène si un mécanisme biologique éventuellement adaptatif rompt cet obstacle à la transmission. En revanche, le fait que le moustique continue à occuper sa niche écologique peut limiter le risque qu'il soit remplacé ;
- Dans des situations mêlant des préoccupations sur plusieurs maladies et plusieurs vecteurs, il faudrait multiplier ces stratégies ciblées, anticiper les interactions entre stratégies alors qu'on peut considérer que des approches plus globales, plus « systémiques » de salubrité, de lutte contre les habitats, multi vectorielles, etc. pourraient être moins aisément mises en déroute par des variants multiples. La précision devient ici presque un désavantage !
- Enfin, si la maladie est repoussée, la nuisance reste si le moustique en question est un piqueur douloureux et que le respect de son écosystème lui permet de prospérer ; or la lutte contre les nuisances est un enjeu économique de taille et peut susciter le maintien de lutte classique avec des biocides, des destructions d'habitats. Confrontés à la nuisance, les particuliers seront donc en situation de lutte individuelle et prendront le risque d'utiliser des produits plus ou moins nocifs pour leur propre santé ou pour l'environnement alors que le moustique ne présente par ailleurs plus de risque vectoriel.

Enfin, comme déjà mentionné, se consacrer majoritairement à un seul vecteur peut désarmer les autres moyens de lutte antivectorielle pertinents ou, plus largement, les autres actions communautaires bénéfiques.

### 4.3 DU POINT DE VUE ÉCONOMIQUE

L'appréciation de l'utilité sociale de l'usage de nouvelles technologies dans le cadre de la LAV devrait pouvoir être menée *ex ante* non seulement en fonction des critères d'intérêt social, écologique, technique mais également en termes économiques par comparaison avec les méthodes mises en œuvre sur le terrain, recourant principalement aux biocides. Les résultats actuels n'apportent que peu d'éclairage pour différentes raisons illustrées ci-dessous.

Sur le plan des coûts directs, les dispositifs de LAV par biocides sont extrêmement hétérogènes dans le monde. Il n'est guère possible de faire émerger un référentiel. Les études économiques fondées sur les dépenses de lutte contre les moustiques, ramenées à l'habitant protégé, ou au malade évité concluent à des montants extrêmement variables, y compris à l'intérieur d'un même État, aussi bien en termes de montant global que de types de dépenses collectives (salaires, substances, biocides, travaux d'aménagement<sup>100</sup>, etc.).

Dans l'état actuel, les dispositifs logistiques nécessaires pour effectuer des lâchers de moustiques stériles et la nécessité de répétition des mesures ne permettent donc pas de conclure à un avantage économique évident (la Malaisie l'a d'ailleurs considéré comme trop coûteux), d'autant qu'il faudra déterminer pour ces acteurs des prix permettant la rémunération de la phase de recherche et de développement : les moustiques GM brevetables permettent aux acteurs privés d'envisager un retour sur investissement (pour Oxitec par exemple). Le coût de l'usine de production de moustiques reste dans les ordres de grandeur des stratégies usuelles (quelques dollars par personne et par an) pour des collectivités financièrement aisées.

Il faut noter que, même pour les moustiques destinés à transformer les « compétences » des populations sauvages, il semble nécessaire, en l'absence de forçage génétique, de procéder à des lâchers de populations relativement importants donc coûteux d'autant qu'ils doivent être répétés.

Des moustiques avec « *Gene drive* », propageant une stérilité dans la population pourraient abaisser durablement les populations sauvages (après une phase de dissémination du gène dans la population). Enfin l'association d'un avantage reproductif et d'interférence avec les pathogènes, qui peut être obtenu *via Wolbachia*, peut durablement remplacer la population sauvage après un seul lâcher. Mais ces stratégies « *one shot* » ne permettent pas pour l'instant d'envisager quel pourrait être le modèle économique pour le financement des recherches et

---

<sup>100</sup> Explicitement visés dans les arrêtés préfectoraux de LAV.

expérimentations. Dans le cas où l'on obtiendrait le résultat voulu à partir d'un nombre très faible de lâchers, seules des organisations non commerciales peuvent porter ces projets (les acteurs privés d'ailleurs s'en détournent...).

#### 4.3.1 Analyse coûts/bénéfices

Dans cette perspective et dans la lignée du mode d'analyse et des critères habituellement retenus à propos des grands investissements publics, on pourrait être tenté d'appliquer un modèle coûts/bénéfices et faire des hypothèses *ex ante*.

Sur le plan monétaire, les dépenses engagées sont alors à comparer aux occurrences de maladies évitées, aux dépenses de santé, aux externalités de tous ordres (gains et coûts associés à d'autres conséquences de ces actions), voire à la valeur des vies humaines (suivant des monétarisations de type « QALY »<sup>101</sup> ou « DALY »<sup>102</sup>, ou des coûts directs associés à la maladie ou aux décès). Une demande de ce type avait d'ailleurs été faite préalablement au développement de stratégies de techniques d'insectes stériles (par irradiation) à La Réunion, et ce sans succès. Les difficultés rencontrées pour envisager de telles analyses apparaissent généralisables aux autres situations actuelles.

La lutte contre le trypanosome véhiculé par la mouche tsé-tsé (et dont les coûts pour les troupeaux sont très importants) a fait l'objet de nombreux travaux économiques de ce type<sup>103</sup> permettant aux acteurs d'en identifier la rentabilité. Les dommages monétaires sont essentiellement les dommages aux troupeaux.

Il est compliqué d'intégrer la monétarisation de tous les bénéfices associés à l'action, des impacts environnementaux, de la toxicité des insecticides sur les populations humaines (donnée non documentée, sachant qu'il y a déjà peu de données sur les impacts de santé des professionnels utilisateurs des pesticides en agriculture). Si les risques en sont connus (les risques sanitaires sont décrits par le CS, et servent de base aux préconisations de l'Anses) cet impact n'est ni quantifié ni monétarisé, tout comme celui sur les services écosystémiques éventuellement atteints par lesdits biocides.

Des analyses coûts/bénéfices menées a posteriori sur des cas de LAV utilisant des produits biocides existent. Elles dépendent de relations entre les densités de population humaines, les densités de populations de moustiques, leur capacité à transmettre des pathogènes se révèlent très variables, multifactorielles et dépendantes de l'état épidémiologique de

---

<sup>101</sup> Quality Adjusted Life Year

<sup>102</sup> Disabled Adjusted Life Year

<sup>103</sup> Voir le site <http://www.tsetse.org/fr/index.htm>



référence. Elles font l'objet de recherches (Pepin *et al.*, 2013). Ces analyses n'ont permis de calculer que très ponctuellement et localement à partir de programmes existants le nombre de malades ou de morts évités à partir duquel on peut considérer un programme de LAV comme une action publique collectivement « bénéficiaire ».

Enfin, les résultats d'une opération de LAV doivent aussi s'évaluer dans une perspective pluriannuelle, en intégrant les crises évitées (qu'on ne connaît donc pas) : or la juxtaposition de stratégies de santé diverses, les effets d'immunité des populations touchées, viendront troubler l'imputation économique des évolutions futures à telle ou telle action. Non que ce soit impossible, mais cela se révèle être d'une grande complexité et soumis à de nombreux arbitrages.

Il n'y a donc pas de véritable référentiel permettant d'évaluer les prix et encore moins les coûts, dans une perspective réellement transposable, voire de les comparer à d'autres stratégies. On n'a pas non plus, à ce stade, suffisamment de recul (dépendance aux données épidémiologiques, robustesse statistique des résultats) pour élaborer des modèles prédictifs et pour comparer les modèles de LAV avec d'autres stratégies.

À l'heure actuelle, on peut simplement dire que les moustiques GM apparaissent comme un moyen de lutte parmi d'autres dans le cadre de la LAV sans qu'il soit véritablement possible – tout comme d'ailleurs pour les autres moyens – de déterminer quels seraient leurs avantages en termes de bilans économiques. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire, une fois indiqués ses apports et limites en termes d'efficacité, d'usage et de maîtrise, de se référer à un ensemble d'autres critères pour préciser quels seraient les avantages et inconvénients d'une telle option.

#### 4.3.2 Comparaison de coûts

Les données économiques sur les dispositifs de lutte antivectorielle sont pourtant nombreuses. Sont par exemple accessibles les budgets des Ententes interdépartementales de démoustication (EID), les budgets publics des collectivités chargées de luttres dans divers pays. Des études analysent les budgets de lutte de différentes organisations en les ramenant aux populations concernées comme par exemple en Caroline du Nord (Del Rosario *et al.*, 2014). Les montants dépensés vont de moins de quelques centimes par personne et par an à près de 70 dollars suivant les districts. Ces études concluent à la nécessité de mener des études coûts/efficacité pour tirer des enseignements solides. L'Argentine a mené diverses études (dengue, maladie de Chagas). Ainsi certaines tentent, dans certains contextes, d'évaluer la rentabilité des opérations. Par exemple, (Orellano and Pedroni, 2008) ont été analysés dans la ville de Clorinda (Argentine) les coûts d'intervention, le nombre d'infections et de décès dus à la dengue effectivement évités, en les comparant aux situations de non intervention sur le

contrôle des vecteurs : il a été ainsi possible, sur la base des coûts des malades et des décès, d'évaluer à partir de quel nombre de décès évités la lutte antivectorielle pouvait être considérée comme une dépense publique réalisée avec un bilan économique positif. D'autres études de coût/efficacité comme (Vazquez-Prokopec *et al.*, 2009) menées sur la maladie de Chagas, ont permis de conclure au fait que des stratégies mêlant biocides et participation de la population étaient optimales.

Enfin les programmes internationaux de lutte contre le paludisme ont permis, dans certains contextes, d'évaluer les coûts par habitant de ces programmes et de les ramener à des évaluations de nombre d'habitants concernés, de morts évités, de malades... Mais en général, les premières études conduisaient à considérer que le nombre insuffisant d'études rendait difficile leur mobilisation dans les débats sur les stratégies de lutte (par exemple, Goodman and Mills, 1999). Les nombreuses conclusions du même ordre ont activé ce domaine de recherche et d'étude.

Néanmoins, en parcourant ces données on constate que :

- les budgets des luttes par biocides ramenés au nombre d'habitants « protégés » sont très variables ;
- la nature même des dépenses n'est pas fixée : dans le cas de la Caroline du Nord évoqué, la proportion de dépenses consacrées à la main d'œuvre par rapport à la dépense de produits chimiques peut varier énormément ;
- sur le territoire métropolitain, pour les EID, les activités d'aménagement des milieux et de traitement, essentiellement dictées par la lutte contre les nuisances, l'emportent largement sur les activités de LAV (actuellement les budgets de traitement imputés comptablement au titre de la LAV ne représentent que 2% des budgets de traitement de l'EID Méditerranée). Il serait en outre pertinent de considérer qu'à travers l'activité de lutte contre les nuisances, est réalisée une limitation des vecteurs ;
- outre les fortes hypothèses faites sur la valeur des vies épargnées, il est complexe de transposer les résultats tant ils dépendent de paramètres propres au lieu considéré (endémicité de la maladie, mortalité, crises épidémiques...) ;
- pour les études économiques sur les programmes internationaux de diffusion des moustiquaires imprégnées dans la lutte contre le paludisme, le contexte économique des pays, le recours ou pas à des salariés, la rémunération de ceux qui mettent les stratégies de lutte en œuvre, la

volonté des pouvoirs locaux, etc. sont des paramètres tellement changeants qu'il est hasardeux d'en tirer des chiffrages transposables, seulement peut-être des objectifs techniques et encore... Quelques études montrent néanmoins souvent que, ramenés aux nombres d'enfants sauvés, les budgets sont faibles.

#### 4.3.3 Coûts des nouvelles biotechnologies

Les coûts des expérimentations sont peu accessibles. Les propositions financières sont confidentielles. Les programmes d'expérimentation reposent sur des bricolages entre soutien à la recherche, contributions de collectivités, dons, etc. Dans une première approche extrêmement sommaire, on peut dire que des coûts compris entre 3 et 10 euros par personne protégée et par an sont parfois annoncés par leurs promoteurs pour les stratégies de contrôle des populations de moustiques par une action récurrente (lâchers de mâles stériles GM). Cela les positionne dans les mêmes ordres de grandeur que les stratégies de contrôle récurrent par biocides tout en restant relativement chers.

Sur le plan économique, les responsables de la société Oxitec ont clairement affiché qu'ils facturent leur prestation aux collectivités en fonction de leurs moyens financiers. Les prix sont ajustés au pays et à leurs moyens existants de lutte, en collaboration avec le ministère de la Santé<sup>104</sup>. La prestation peut couvrir des moyens pour expliquer les modalités de diffusion, les effets attendus et les risques aux populations concernées. Le *business model* final sera de fournir les œufs sous brevets à des organisations indépendantes d'Oxitec ou à leurs opérateurs, dans une déclinaison propre à chaque partenaire : soit des missions de service public (collectivités, ententes, organisations professionnelles, etc.), soit des utilisations privées (complexes touristiques par exemple, ou simples particuliers). Offre économique non négligeable, Oxitec propose d'installer l'usine de production de moustiques dans les zones ayant établi un contrat pluriannuel (une usine de production de 60 millions de moustiques par semaine implantée à Piracicaba, 360 000 habitants, pour une somme de 1,1 millions de dollars sur quatre ans payée par la ville et une utilisation de 10 millions de larves par semaine pour la seule ville de Piracicaba). Néanmoins, à terme, le modèle économique visé par la société Oxitec serait restreint à la seule vente de moustiques brevetés sous licence.

Les coûts de lutte annoncés sont inférieurs à 10 dollars par personne (dans la zone concernée) et par an. Ceci est d'un montant relativement faible par rapport aux dépenses consenties par les individus pour leur protection personnelle (un à trois aérosols de répulsif convenablement dosés) mais relativement élevé comme dépense collective. En cas de crise,

---

<sup>104</sup> <http://www.journaldelenvironnement.net/article/dengue-la-malaisie-dit-adieu-aux-moustiques-gm,57130>

les dépenses individuelles de protection peuvent être bien supérieures. Il faut noter que la dépense annoncée est annuelle et qu'elle devra être reconduite sur le très long terme.

#### 4.4 DU POINT DE VUE DES JEUX D'ACTEURS

##### 4.4.1 Les nouveaux acteurs et leurs stratégies

Les trois dernières années ont vu l'accélération des propositions technologiques sur des nouveaux moustiques modifiés. On peut déjà tirer des observations générales sur les types d'acteurs porteurs de ces nouvelles technologies et leurs stratégies.

Le modèle principal est lié au système internationalement majoritaire de valorisation de la recherche : des *start-up*, *spin off* de laboratoires universitaires, s'investissant dans les étapes de validation technologique de découvertes scientifiques élaborées dans le cadre universitaire. Les acteurs économiques privés sont sollicités comme apporteurs de solutions techniques par les pouvoirs publics locaux ou nationaux confrontés aux besoins de LAV. Leur progression passe par :

- les partenariats locaux expérimentaux avec financement par des collectivités ;
- le recours à des soutiens financiers comme ceux de fondations qui choisissent d'aider ces entreprises pendant cette phase cruciale de leur développement et qui sont des acteurs importants de la crédibilisation de ces solutions ;
- le rachat final dans le portefeuille de holdings spécialisées, (typiquement le rachat d'Oxitec par Intrexon) positionnées sur la croissance du marché des biotechnologies.

Le trépied université/collectivité/*start-up* permet, tout en restant dans un cadre expérimental – et d'exception réglementaire – de protéger le régime de propriété industrielle et d'établir des partenariats pour l'expérimentation. Des partenaires « solvables » permettent, à ce stade de développement, de finaliser des opérations en grandeur nature et d'établir des cadres techniques et économiques. Ces modèles se retrouvent en Amérique, en Chine, en Australie... Des organisations non lucratives se consacrent au développement de solutions particulières comme le programme *Eliminate Dengue*.

##### 4.4.1.1 **Oxitec**

Oxitec est une société « *spin out* » de l'université d'Oxford spécialisée dans la mise en œuvre d'insectes GM. Elle a été soutenue par Syngenta et la fondation GATE. Elle a été acquise en 2015 pour 160 millions de livres par la société Intrexon (société spécialisée fondée en 1998 spécialisée dans le développement de technologies brevetées dans les biotechnologies). Intrexon a aussi acquis Aquabounty technologie, la société qui développe le saumon transgénique en Amérique du Nord. Intrexon construit actuellement une usine à Piracicaba

(Brésil) pour produire 60 millions de moustiques mâles par semaine, production susceptible de protéger au moins 300 000 personnes selon leurs annonces (source *The New York Times*). Dans une interview, la société a évoqué un coût de 7,5 dollars par personne dans le cadre d'un programme visant une population de 1 million d'habitants au Brésil (Piracicaba).

La société Oxitec a déjà mené ses essais de terrain. Oxitec a mené des essais en 2009 aux îles Caïmans et en Malaisie, avec le moustique O3X604C, de l'espèce pour *Aedes aegypti*. La société utilise diverses souches dont la souche OX513A porteuse de la modification RIDL, au Brésil et au Panama et en prépare aux États-Unis. On bénéficie donc d'un retour d'expérience sur certains débats locaux. Les partenaires de la société Oxitec sont des instituts de lutte, des collectivités et les administrations nationales. D'autres insectes de la technique RIDL (Release of Insects carrying a Dominant Lethal) sont en développement : des moustiques *Aedes* ne nécessitant pas de tri qui endommage les insectes (mâles stériles et femelles incapables de voler), une teigne des crucifères RIDL est prête à un essai en champ en juin 2017. Elle devait être épanchée en 2012 au Royaume-Uni : l'opération a été reportée, faute d'un dossier suffisant sur les risques encourus. L'essai de la mouche de l'olivier modifiée, proposé en Catalogne a été abandonné après une instruction très complète. L'entreprise Oxitec détient plus de 50 brevets sur de tels insectes à vocation agronomique. Oxitec envisage également que plus de la moitié de son activité concerne les luttes antivectorielles dans le cadre de l'agriculture, sur la base de la technologie RIDL.

#### 4.4.1.2 Mosquitomate et l'université du Kentucky

MosquitoMate Inc. est une société privée de biotechnologie, fondée en 2010 sur la propriété intellectuelle développée à l'université du Kentucky, au Département d'entomologie par des chercheurs travaillant sur le contrôle non chimique du moustique Tigre, (un moustique essentiellement diurne et vecteur de maladies). La mission de MosquitoMate est de développer des technologies innovantes dans le domaine de la lutte contre les moustiques et de les mettre sur le marché. Cette entreprise est actuellement porteuse de deux solutions de lâchers de moustiques mâles.

- ZapMale : des moustiques Tigre sont transinfectés par une bactérie *Wolbachia* commune dans d'autres espèces. L'incompatibilité cytoplasmique conduit à ce que, quand ces mâles sont lâchés, les œufs des femelles avec lesquelles ils s'accouplent n'éclosent pas. La même technologie est aussi testée avec *Aedes aegypti*. Fin mai 2016<sup>105</sup>; l'agence

---

<sup>105</sup> <http://www.scientificamerican.com/article/u-s-reviews-plan-to-infect-mosquitoes-with-bacteria-to-stop-disease/>

américaine EPA, après une période de consultation publique menée jusqu'à fin mars 2016, est en train d'examiner les conditions d'utilisation de *Wolbachia* contre le moustique Tigre. Sur le plan réglementaire, il est envisagé de réglementer *Wolbachia* comme un pesticide. Il semble y avoir consensus pour considérer que la transinfection du moustique par cette bactérie ne relève pas de la manipulation génétique.

- Dans l'autre, à laquelle participe aussi l'université Davis de Californie, les mâles lâchés sont porteurs d'une hormone empêchant le développement des larves : les mâles contaminent les femelles qui elles-mêmes contaminent leurs lieux de ponte.

Cette société mène plusieurs essais dans trois États américains (Clovis en Californie, Orange County et Floride) et est associée au département sciences de la vie de Google, pour le programme « *Debug project* ». Celui-ci développe les outils techniques permettant de passer de dispositifs expérimentaux à des dispositifs opérationnels, tant pour la production que pour la diffusion des moustiques mâles.

L'université du Kentucky est aussi associée à l'Institut Maladré pour mener des expérimentations sur les moustiques de même type que ZapMales en Polynésie française.

L'université Sun Yat Sen de Guangzhou et la Michigan state University ont par ailleurs démarré une expérimentation sur l'île de Shana Island à Quanzhou.

#### **4.4.1.3 Université Monash et les pouvoirs publics au Queensland (Australie) et le programme Eliminate dengue**

L'Australie est le premier pays au monde à avoir produit et lâché dans la nature des moustiques immunisés contre la dengue, dès 2010-2011. Les scientifiques ont inoculé la *Wolbachia* à ces moustiques. La bactérie bloque le développement de la dengue et du zika chez les insectes piqueurs et donc aussi chez les humains. Les « bons » moustiques se reproduisent avec les moustiques sauvages et le virus n'est pas transmis à la génération suivante. D'après Peter Ryan, chercheur en entomologie médicale à l'université Monash au sein du programme « éliminer la dengue », les résultats sont très encourageants : « nous avons lâché des moustiques porteurs de la bactérie *Wolbachia* dans la plupart des zones où les cas de dengue étaient recensés ces vingt dernières années, donc autour de Townsville et Cairns. Et depuis l'introduction de ces bons moustiques, on n'a pas recensé de transmissions locales du virus. » Dans les quartiers qui n'ont pas été immunisés, il y a encore des contaminations. La mobilisation des habitants est une particularité : à Townsville, 80 000 personnes sont maintenant protégées du fait de leur propre implication dans le programme : « On donne aux habitants une petite boîte en carton qui contient des œufs de moustiques à

qui on a inoculé la bactérie *Wolbachia* » explique Peter Ryan. « Les habitants doivent ajouter un peu d'eau dans le carton et de la nourriture pour les œufs. Ils placent le carton dans le jardin et les larves éclosent une semaine plus tard. » Cette stratégie rend la mobilisation des habitants bien plus facile constate Peter Ryan : « Avant, il fallait pouvoir accéder aux maisons des gens pour diffuser des insecticides et il fallait répéter l'opération régulièrement. Et donc c'était compliqué d'obtenir des habitants qu'ils restent mobilisés. L'avantage avec les lâchers de moustiques porteurs de la *Wolbachia*, c'est qu'on le fait une fois, et après, plus besoin de le refaire. » Mais cette méthode ne marche que localement, elle n'immunise pas contre les cas de dengue importés qui sont les plus nombreux dans le Queensland. Le cas classique étant celui du vacancier qui rapporte le virus de Bali.

Le programme de recherche sur l'élimination de la dengue, Eliminate Dengue, est une collaboration internationale sans but lucratif menée à l'université australienne Monash dans le cadre de l'Institut des maladies à vecteur. Le programme rassemble des collaborateurs scientifiques du monde entier autour de la génétique de *Wolbachia*, la biologie et l'écologie des moustiques, l'épidémiologie et le contrôle de la dengue et l'éducation et la promotion de la santé. Dans chaque pays, l'équipe du programme travaille en collaboration avec les instituts de recherche locaux, les gouvernements, les autorités de réglementation, les entreprises privées et les membres de la communauté. Des essais de terrain ont été réalisés dans l'Asie du Sud Est (Vietnam), l'Inde (Pondichery), l'Indonésie (Yogyakarta), l'Océanie (Nouvelle-Calédonie et d'autres îles du Pacifique), le Brésil (via la fondation Oswaldo Cruz), la Colombie et l'Australie (Queensland). Un essai est prévu en 2018 à Nouméa.

#### **4.4.1.4    FAO / AIEA / IRD**

D'autres acteurs internationaux comme l'AIEA et la FAO sont associés à des acteurs plus institutionnels comme l'IRD et à des laboratoires de recherche pour la mise en œuvre de moustiques irradiés (c'est le cas à La Réunion).

Depuis les années 1960, des programmes d'utilisation de la Technique de l'insecte stérile (TIS) ont été appliqués contre des populations sauvages de différentes espèces de mouches nuisibles au bétail ou aux cultures. De nos jours l'intérêt international dans la TIS appliquée au contrôle de populations de moustiques s'est renforcé. L'équipe de l'Institut de recherche pour le développement installée au Centre de recherche et veille sur les maladies émergentes de l'océan Indien (CRVOI), travaille à développer la TIS contre des moustiques vecteurs à l'île de La Réunion : *Ae. albopictus*, *Ae. aegypti*, vecteurs de dengue et de chikungunya et *An. arabiensis* vecteur du paludisme. L'objectif général de ce programme est de développer et de mettre à disposition sur l'île de La Réunion une stratégie de lutte basée sur la technique de l'insecte stérile, alternative à la lutte par substances insecticides.



#### 4.4.2 Un encadrement balbutiant

Plusieurs exemples permettront d'illustrer ce propos. Les deux premiers montrent comment Oxitec bénéficie de conventions, avec leurs failles, pour réaliser les premiers essais, aux Caïmans (2010), et en Malaisie (2011). Le troisième rappelle comment, à La Réunion, les porteurs politiques et scientifiques du projet de lutte contre les moustiques se sont appuyés sur la polysémie du terme « acceptabilité sociale » pour proposer une action légitimante plutôt que légitime ((Dupé, 2015).

##### **4.4.2.1 Oxitec : un positionnement qui s'appuie sur des cadres législatifs et s'en affranchit à la fois**

Cette analyse est essentiellement celle de l'organisation Genewatch UK (2010) : « *Oxitec's genetically-modified mosquitos: in the public interests ?* », consultée le 15 juin 2016.

Les îles Caïmans n'ont pas de réglementation sur la biosécurité. Elles ne sont couvertes ni par le Protocole de Carthagène sur la prévention des risques biotechnologiques ni par la Convention d'Aarhus<sup>106</sup>. Elles n'intègrent pas non plus l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement. Or les conventions établies avec Oxitec auraient nécessité, dans un tel cadre, qui est celui de nombreux pays, la publication et la consultation d'une évaluation des risques environnementaux avant la publication. Au lieu de cela, les seules exigences réglementaires étaient une autorisation locale du Département des plantes des îles Caïmans et une notification des mouvements transfrontières d'un OGM (les œufs de moustiques GM envoyés par Oxitec à Grand Cayman) en vertu du Règlement (CE) 1946/2003. Aucun de ces documents n'a été publié. Le gouvernement du Royaume-Uni a déclaré que s'agissant des îles Caïmans, le Foreign and Commonwealth Office (FCO) n'avait pas eu de discussions avant l'expédition des œufs de moustiques GM. Enfin, le consentement éclairé ne semble pas avoir été obtenu auprès de la population locale, bien que le consentement à la recherche médicale soit une exigence de la Déclaration d'Helsinki de l'Association médicale mondiale (qui couvre les responsabilités éthiques des professionnels de la santé)<sup>107</sup>. Certains acteurs pensent nécessaire d'étendre ces obligations<sup>108</sup>.

---

<sup>106</sup> La convention d'Aarhus sur l'accès à l'information, la participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement signée le 25 juin 1998 par trente-neuf états, est un accord international visant la « démocratie environnementale ».

<sup>107</sup> House of Lords Hansard 22 Nov 2010, 30 Nov 2010, 29 Nov 2010, site: [www.publications.parliament.uk](http://www.publications.parliament.uk)

<sup>108</sup> Sans recourir directement à la Déclaration d'Helsinki (1964, révisée en 2004), élaborée par l'Association médicale mondiale, les décideurs publics pourraient s'inspirer de certains de ses principes pour s'assurer de processus de décision garantissant une information suffisante des populations. Ex : un agrément public assujéti à la publication d'une déclaration sur les implications éthiques de la recherche et l'expérimentation



#### **4.4.2.2 De la légitimation des moustiques génétiquement modifiés à leur légitimité en Malaisie**

Sans entrer dans le débat philosophique et politique lié aux diverses formes de démocratie (délégative, participative, dialogique, etc.), un exemple permettra d'apprécier les limites de ce positionnement. En 2010-2011, Oxitec effectue des lâchers de MGM OX513A en Malaisie. La condition préalable à ces lâchers était que ces moustiques soient acceptés localement – ou au moins légitimés. Après avoir conclu un accord avec le gouvernement, puis avec les diverses institutions impliquées dans la décision du lâcher de moustiques, Oxitec a organisé une information auprès de la « communauté locale », avant d'effectuer ses premiers lâchers (Lacroix et al., 2012). Or, l'effet et la portée réels de cette information à la population locale ont été trop faibles. Une association, qui a jugé les lâchers de MGM illégitime, s'est mobilisée contre Oxitec (*Consumers' Association of Penang and Sahabat Alam Malaysia*). Un débat public a alors émergé à l'échelle du pays tout entier, *via* les médias, dont l'issue fut sans appel : la population n'était pas favorable aux lâchers de MGM<sup>109</sup>. La communauté internationale s'est appropriée la controverse, puis l'a exportée, montrant qu'une approche *top-down* n'est pas nécessairement légitimante (Anonymous, 2011), (Enserink, 2010)). Le gouvernement malais a choisi d'arrêter la coopération avec Oxitec, en présentant cette décision surtout comme un choix financier et a préféré une solution de peintures insecticides dans les domiciles.

#### **4.4.2.3 Appropriation d'un terme polysémique**

Lors de travail de recherche sur le terrain (Dupé, 2015) sur l'acceptabilité sociale de la technique de l'insecte stérile à La Réunion (par radiation), il est rapidement apparu que le terme même d'acceptabilité sociale mobilisait de manière très diverse les acteurs impliqués dans le programme de recherche. La polysémie des termes qui sont utilisés pour le définir multiplie les pistes d'appropriation de la mise en société d'une biotechnologie. Dans le tableau ci-dessous, sont restituées les définitions les plus éloignées de « acceptabilité » et de « sociale ». Dans les faits, les acteurs en présence se sont appropriés ces termes selon un gradient de nuances qui s'échelonne d'une définition à l'autre, donnant un ensemble de postures mouvantes dans le temps et rarement figées en termes de sens. Les diverses appropriations de ces termes ont conduit à des propositions très diverses de mise en pratique des échanges entre chercheurs, politiques et citoyens. *In fine*, c'est une définition proche de

---

en milieu ouvert ; information préalable sur les avantages, risques, contraintes et méthodes d'évaluation. Ce texte est une déclaration de principes éthiques (éthique médicale) dont l'objectif est de fournir des recommandations aux médecins et autres participants à la recherche médicale sur des êtres humains. De nombreux professionnels (médecins, instituts de recherche) s'y réfèrent.

<sup>109</sup> <http://www.aljazeera.com/programmes/101east/2010/10/2010101275343405218.html>, débat télévisé 2010L

« Comment faire accepter la TIS à des élus réunionnais ? » qui a été retenue par les porteurs scientifiques et politiques du projet. On voit ici encore comment une posture qui se veut légitime finit par devenir légitimante.

	<b>Acceptabilité</b>	<b>Sociale</b>
<b>Discours issu d'un modèle de démocratie sanitaire</b>	Est-ce acceptable ? (mise en débat d'une biotechnologie)	Pour l'ensemble des Réunionnais (modèle de la démocratie dialogique)
<b>Discours technocratique, restrictif</b>	Comment faire accepter ? (approche technocratique)	Pour les élus, représentants des Réunionnais (modèle de la démocratie délégative)

#### 4.4.3 Des stratégies de conquête ?

Un ensemble de « produits » est désormais (ou sera bientôt) en concurrence sur le marché international. Cela représente des enjeux considérables, avec d'ailleurs des risques financiers très importants pour les *start-up* concernées si aucun produit n'accède à la validation réglementaire et commerciale (lourd investissement en recherche et développement ; levée des fonds sur les marchés financiers...). Les « marchés » visés ne sont pas comparables à ceux de moustiquaires imprégnées de fabrication éventuellement locale, avec des produits biocides tombés dans le domaine public. Ils impliquent des acteurs mondialisés, porteurs d'une solution sous brevet en situation éventuelle de monopole ou d'oligopole. Ces acteurs proposent la mise en place locale d'usines conséquentes de production de moustiques (économie locale, emploi). Ainsi Intrexon/Oxitec construit actuellement une usine à Piracicaba (Brésil) pour produire 60 millions de moustiques mâles GM par semaine, production susceptible de protéger au moins 300 000 personnes selon leurs annonces (source *The New York Times*). Dans une interview, la société a évoqué un coût de 7,5 dollars par personne dans le cadre d'un programme visant une population de 1 million d'habitants au Brésil (Piracicaba).

Les *start-up* qui abordent ce domaine ont mis en place des stratégies variées de conquête des marchés et les choix faits peuvent influencer sur l'acceptation ou pas de ces techniques par le public. Ces entreprises, soucieuses d'un développement rapide sont confrontées à différentes contraintes (réglementations des produits génétiquement modifiés non adaptées, cadres usuellement adaptés à des actions de service public et non à des initiatives privées). Elles recherchent des situations comme celles des petits États (Enserink, 2011). (Subbaraman, 2011) ou des territoires d'Outre-mer, où les contraintes réglementaires, en ce qui concerne

les OGM et l'environnement, ne sont pas du même niveau que pour les territoires de l'Union européenne. Toutefois, l'importance de la validation tant par les instances les plus reconnues que par les marchés les plus « solvables », a conduit ces *start-up* à se confronter aux cadres réglementaires particulièrement exigeants des grands États (USA, Brésil).

La multiplication d'essais menés à titre de recherches peut apparaître comme une diffusion de fait, sans établissement d'un référentiel réglementaire qui pourrait demander des processus plus ou moins contraignants. Dans certaines opérations, le cadre « expérimental » a pu alimenter la défiance, les populations locales ne voulant pas être « des animaux de laboratoires » selon certains termes employés. Ils peuvent en fait pallier l'absence de décision des autorités les plus hautes ou la complexité de cette décision.

Ces stratégies internationales offensives de la part d'entreprises pionnières alimentent des argumentaires critiques. Ainsi, certaines entreprises ont pu exploiter des situations de flou juridique (cas des îles Caïmans, relevant certes des réglementations du Commonwealth, mais avec des exceptions juridiques). Il y a eu des passages « plus ou moins en force », mettant des populations devant le fait accompli : une controverse a ainsi éclaté en Malaisie où des associations de consommateurs ont découvert après coup en janvier 2011 les lâchers de l'essai du 21 décembre 2010 à Bentong alors que le Département de biosécurité de Malaisie et l'Institut de recherche médicale de Malaisie (IMR) avaient annoncé le report de l'essai. Ces situations ont déjà de fait alimenté l'argumentaire critique des organisations surtout internationales hostiles à ces outils. Ces critiques sont renforcées par le fait que les expertises disponibles sont essentiellement produites par les promoteurs et qu'il n'y a pas de contre-expertise indépendante.

Ces stratégies offensives développées par des *start-up* pressées par le temps et les questions financières, créent des images potentiellement négatives sur l'opinion publique (intérêt économique, « passage en force » ou « marché de la peur » sont évoqués par tous les acteurs scientifiques, associations voire journalistes), en sus de possibilités de risques objectifs pris, et de responsabilités importantes.

L'utilisation de moustiques modifiés génétiquement et leur dissémination dans la nature est une préoccupation pour les défenseurs de l'environnement. Cette utilisation est néanmoins proposée pour une « bonne cause » : la santé publique et les milliers de morts et de malades. Mais, déjà, des échanges ont eu lieu sur la pertinence ou la morale qu'il y a à recourir ou pas aux OGM, échanges dont les éléments rappellent des controverses, par exemple celle sur le riz doré ou sur l'éviction du DDT de la lutte insecticide.

#### 4.4.4 L'opinion publique face aux promesses

L'offre potentielle de solutions techniques (méthodes, concept, objectifs) se déploie de façon rapide, amenant un renouvellement des décisions à prendre dans un contexte d'incertitudes parfois radicales (techniques, scientifiques, juridiques, environnementales) sur leur efficacité, leur acceptabilité et dans un contexte économique et politique pressant (poids économique et humain des épidémies anciennes — paludisme, dengue, etc. et émergentes comme le zika).

Les nouvelles propositions biotechnologiques sont aisément associées à des promesses d'une puissance impressionnante. Rappelons néanmoins que, pour l'instant, les hommes n'ont jamais réussi à éradiquer volontairement des vecteurs de la surface du globe. On a réussi à éliminer une maladie humaine (la variole) en atteignant de hauts taux de vaccination dans la population (plus de 80% de personnes vaccinées) et une chez les animaux (la peste bovine en 2011).

Certains de ces porteurs de projets mettent en avant tous les éléments pouvant conduire à rassurer, donner confiance, donner des gages de sécurité, voire de traçabilité des « nouveaux » insectes. Parmi les garanties mises en avant par les firmes, on peut rappeler qu'un gène de fluorescence provenant d'une méduse a été rajouté à des moustiques issus de la technologie RIDL de la société Oxitec, ce qui permettrait de les reconnaître dans la nature. Est ainsi fourni aux tiers un moyen de contrôle de la présence de moustiques dans leur environnement (mais en donnant un tour potentiellement encore plus « étrange » au moustique pour le public, la fluorescence étant issue d'un gène de méduse...).

L'information donnée par les médias n'est pas sans ambiguïté. Une vidéo<sup>110</sup> diffusée par le *New York Times* en juin 2016, et concernant les essais de moustiques transfectés par *Wolbachia* menés par MosquitoMate en Californie montre les efforts de communication des entreprises<sup>111</sup>. Ces stratégies de mise en confiance ont potentiellement leur revers, comme ce fut le cas pour des pesticides (boire de l'atrazine, du glyphosate), ou au moment de la crise de la « vache folle » (intervention d'un ministre anglais assurant donner de la viande de bœuf à ses enfants sans états d'âme lors de la crise de la vache folle).

---

<sup>110</sup> <http://www.nytimes.com/video/science/100000004459613/enlisting-mosquitoes-to-fight-zika.html>

<sup>111</sup> La jeune femme qui les diffuse porte un gilet fluo, dialogue, sécurise sa position sur la chaussée avec des plots, propose de les libérer plus loin quand une personne les refuse (ce qui signifie que le moustique reste proche de l'endroit où l'on le libère) et va même jusqu'à rire et ironiser quand elle avale un moustique par « inadvertance » ... Cette dernière séquence, sur un document parfaitement « monté » cinématographiquement vise clairement à convaincre de l'innocuité en cas d'ingestion.

L'appui d'universités et d'acteurs publics est une autre « caution » possible. Ainsi, en Nouvelle-Calédonie, le gouvernement a annoncé fin 2016 son intention de procéder à des lâchers d'*Aedes aegypti* début 2018, pour en finir avec la dengue, à titre d'expérimentation dans un quartier de Nouméa et dans le cadre d'un partenariat avec l'université australienne Monash. Il est difficile, dans cette communication, de savoir si c'est un projet d'expérimentation ou directement opérationnel qui est visé. La répartition du budget prévu est parlante : le coût estimé de l'opération est de 189 millions de francs pacifiques sur deux ans, 2017-2018. Il se répartit entre les quatre participants au projet : la ville de Nouméa, la Monash University, la Dass et l'IPNC, (Institut Pasteur). Ce coût est à comparer aux 100 millions de francs pacifiques français par an (un peu moins de 1 million d'euros) que représentent les épandages de pesticides, et le milliard de francs pacifiques qu'a coûté l'épidémie de 2013.

D'autres modèles de développement actuels (par exemple celui d'Oxitec) misent sur un service « clé en main » pendant la phase de conquête et de validation technique et réglementaire, dans lequel l'information, l'animation, le débat avec les populations sont organisés par l'entreprise elle-même.

Ces positionnements peuvent-ils entraîner l'opinion du public dans le sens espéré par ces entreprises ? Ou risquent-ils, au contraire, de créer des défiances qui influenceront sur la trajectoire de ces biotechnologies ? Des travaux ont analysé l'influence parfois négative de stratégies de communication de grandes entreprises sur l'acceptation des PGM en agriculture : le contexte est ici différent puisque le moustique est porteur d'une pathologie, alors que les PGM sont simplement proposées comme porteuses de modifications visant des propriétés agronomiques (présentées par leurs promoteurs comme des améliorations). Les ressorts des stratégies commerciales peuvent cependant être similaires. Il faut en outre se rappeler que les opinions publiques des pays perçoivent différemment le rôle des entreprises privées, même si elles sont missionnées par le service public ; elles peuvent juger de façon très variable les stratégies des acteurs privées pour faire la promotion de tels outils. Les stratégies de communication sont, sur ce type de questions, souvent à double tranchant.

La position des pouvoirs publics sur ces questions sera aussi déterminante quant à la l'orientation ou pas de la confiance. La FDA a considéré que les données et études fournies par la société Oxitec pour mener un essai en Floride du moustique OX513A de technologie RIDL, en collaboration avec le « Florida Keys Mosquito Control District » étaient satisfaisantes

mais des ONG s'interrogent sur les critères adoptés<sup>112</sup>. À travers la consultation par voie électronique du public menée par la FDA en mars 2016 (c'est une obligation réglementaire préalable à la réalisation du projet), on se rend compte de la diversité des questions (mais aussi des confusions) émanant du public (le sujet est très complexe). On constate aussi l'émergence d'oppositions plus ou moins organisées. L'entreprise privée y est bien sûr accusée d'instrumentaliser la peur du virus Zika. Le groupe « Florida Keys Environmental Coalition », ONG environnementaliste localement très impliqué, dénonce le fait que l'entreprise, sollicitant la validation de ses moustiques brevetés par la FDA, utilisera cette acceptation réglementaire pour pouvoir disséminer les moustiques GM partout sans l'accord des habitants. Les argumentaires sur les impacts associés à la généralisation des OGM agricoles (résistances, impacts sur le papillon monarque, mono utilisation d'herbicides...) développés partout dans le monde par les opposants aux OGM cultivés sont pris comme l'illustration de l'existence d'aspects non maîtrisés du maniement d'organismes génétiquement modifiés. Enfin, la mobilité du moustique est « comparée » à celle du maïs, en rappelant même que le maïs n'a pas de pattes ni d'ailes, pour s'inquiéter d'un risque plus grand encore de dissémination pour les moustiques que pour le pollen de maïs. Le groupe soutient dès lors une approche fondée sur des moustiques infectés par des bactéries (type *Wolbachia*) limitant la capacité du moustique à transmettre le virus et avance en outre des arguments financiers : la technologie RIDL d'Oxitec nécessite en effet de continuer en permanence à lâcher des moustiques.

Moustiques GM ou *Wolbachia* est une controverse déjà active qui a pris un tour plus précis et visible aux îles Caïmans. Une action en justice a été intentée contre les expérimentations de lâchers de moustiques OX513A de la société Oxitec<sup>113</sup>. Après la décision de justice rendue en faveur du lâcher<sup>114</sup>, l'ONG américaine *Institute for responsible technology* (IRT) spécialisée dans la veille et l'information critique sur les OGM, a entamé une action demandant que les alternatives comme les moustiques *Wolbachia* soient portées à la connaissance des populations concernées par les moustiques GM, afin que le choix des technologies employées ne relève pas de conflits juridiques, mais de prise en compte d'une opinion publique éclairée. Les débats se sont donc publiquement engagés au début du mois de février 2017<sup>115</sup>. Les

---

<sup>112</sup> Sont posées des questions sur les critères d'efficacité technique, de pratiques de communication, d'origine des données – elles sont produits par la société.

<sup>113</sup> Court delays Cayman Islands' release of genetically modified mosquitoes | CEEN News | July 15, 2016

<sup>114</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=HI043hKPvEw>,

<sup>115</sup> <https://www.caymancompass.com/2017/01/31/anti-gm-mosquito-group-launches-new-campaign/>  
<http://cayman27.ky/2017/02/mrcu-and-anti-gmo-group-face-off-in-mozzie-discussion/>

opposants aux lâchers de moustiques GM, appuyés par l'IRT et les représentations locales des Amis de la Terre avancent différents arguments :

- l'insuffisance des informations sur les coûts ;
- l'absence d'information sur les risques propres aux OGM ;
- l'absence d'informations sur les alternatives comme les moustiques *Wolbachia* permettant aux populations de constituer leur choix ;
- la présence dans le milieu naturel de la bactérie qui en ferait un procédé plus naturel (ou moins artificiel) ;
- l'existence de retours d'expérience sur les bonnes conditions de mise en œuvre obtenues dans le cadre du programme *Eliminate Dengue* pour des moustiques *Wolbachia* à la compétence diminuée pour la transmission des pathogènes ;
- et, enfin, le fait qu'à leurs yeux, les Caïmans devraient signer le Protocole de Carthagène, ce qui impliquerait des obligations accrues vis-à-vis du lâcher d'organismes génétiquement modifiés et en particulier la circulation des OGM entre les différents pays.

Le MCRU (*Mosquito Research and Control Unit*) associé à la société Oxitec a mis en avant divers éléments :

- la quantité de tests déjà menés en particulier au Brésil, en laboratoire et aux USA ayant reçu un avis positif de la FDA ;
- le fait que la trans-infection par *Wolbachia* est en soi une biotechnologie ;
- le fait que les processus biologiques mis en œuvre sont mieux connus et simples dans le cas du moustique GM que pour les interactions entre le moustique, le pathogène et la bactérie ;
- le fait que la technologie de lâchers de mâles stériles évite de lâcher des femelles et donc d'accroître potentiellement les piqûres.

On peut noter en outre que les organisations de préservation de l'environnement consultées sur les programmes de lâcher de moustiques (*Wolbachia*) en Nouvelle-Calédonie, ont exprimé le fait que « Nous ne voulons pas éliminer le moustique, mais les virus. », préférant le scénario permettant de transformer le moustique pour le rendre incompetent vis-à-vis de la transmission des maladies, plutôt que l'éliminer.

#### 4.4.5 Des questions techniques sensibles soulevées

Les expérimentations et les débats qui les accompagnent ont révélé des questions sensibles aux yeux des populations concernées :

- sur les risques :
  - Quels sont les risques de pollution génétique des populations sauvages de moustiques ?
  - Est-il possible d'envisager des solutions biotechnologiques qui résistent à la capacité d'adaptation de la multitude des insectes ?
  - Les risques liés à l'ingestion des moustiques par les humains, les animaux ont-ils été pris en compte et évalués ?
  - Que se passe-t-il si un moustique modifié nous pique (le fait que seules les femelles piquent est souvent oublié) ?
    - dans les stratégies de lâchers de mâles, la question se situe en amont des lâchers, au sujet de l'efficacité du sexage ;
    - en revanche, dans les stratégies impliquant une descendance femelle, la question se situe en aval du lâcher et mérite d'être étayée scientifiquement pour clarifier les types d'interactions entre les moustiques génétiquement modifiés et les humains, d'une part, et l'augmentation du risque vectoriel et de la nuisance, d'autre part
  - Quels sont les effets de l'usage des antibiotiques dans l'élevage des moustiques GM, du devenir de leur gène d'activation, de l'influence de l'utilisation de l'antibiotique sur le microbiote bactérien des moustiques lâchés, ainsi sélectionné lors de l'élevage des moustiques ?
- Sur la sécurisation et l'indépendance des approvisionnements en moustiques :
  - le remède n'aggrave-t-il pas le mal ? est-il possible de revenir en arrière ?
  - la plupart des stratégies « *self limited* » et des stratégies inondatives de contrôle de la population de moustiques sont des stratégies de « temps de paix ». Elles exigent de la constance. Risque-t-on de se retrouver démuné en ayant tout misé sur une stratégie ?
  - les protocoles de sélection des lignées relâchées et de nourrissage en élevage produisent-ils des moustiques eux-mêmes indemnes de pathogènes ?



- l'approvisionnement en moustiques (sécurisation des lignées, des usines de protection) et le cadre technique sont-ils fiables dans le temps, les coopérations sont-elles possibles ?

Toutes ces questions ont été explorées par le GT du CS.

D'autres questions sont présentes.

- Est-il éthiquement et techniquement acceptable de modifier la génétique des populations sauvages d'êtres vivants de façon à ce qu'elles fonctionnent selon un idéal défini par une communauté humaine ?
- Comment préserver l'environnement tout en donnant la priorité à la santé des uns plutôt qu'à celle des autres ?

#### 4.4.6 Des technologies qui sont débattues dans d'autres secteurs

L'offre potentielle de solutions techniques (méthodes, concepts, objectifs) se déploie et se diversifie de façon rapide, amenant un renouvellement des décisions à prendre dans un contexte d'incertitudes parfois radicales (techniques, scientifiques, juridiques, environnementales, sur leur efficacité, leur acceptabilité) et dans un contexte économique et politique pressant (poids économique et humain des épidémies anciennes –paludisme, dengue, etc.... – et émergentes, zika). Elle se diversifie, on l'a vu, dans les différentes propositions au service de la lutte antivectorielle.

Mais elle se diversifie aussi vers d'autres secteurs. Ainsi, la lutte contre les insectes ravageurs des cultures par insecte autocide a donné lieu, pour le moment, aux développements les plus aboutis. Pour des insectes faciles à trier selon leur sexe, la technique — inventée en 1950 (Knippling, 1959) — de mâles stérilisés par irradiation a obtenu des succès importants dans un contexte agricole. Elle consiste à lâcher des mâles stériles, en grand nombre (stratégie « inondative ») pour que le maximum de femelles sauvages s'accouple avec eux et soient sans descendance. L'éradication de la lucilie bouchère en Afrique subsaharienne<sup>116</sup>, aux USA sur décision du Congrès et au Mexique, est l'exemple le plus connu. À cette occasion, des centaines de milliards de mâles stériles ont été relâchés et de nombreux programmes ont été soutenus par la FAO. L'utilisation de cette technique dans une optique sanitaire (lutte contre la mouche tsé-tsé) est plus limitée mais rencontre aussi des succès.

---

<sup>116</sup> L'apparition de la lucilie bouchère sur les troupeaux nomades de Lybie a fait craindre une expansion dramatique aux cheptels voisins : le lâcher de mâles stérilisés par irradiation a permis l'élimination en 1992 de la lucilie bouchère (Vargas-Terán et al., 2005).

Le contrôle des mouches des fruits en Amérique centrale opéré à la demande des producteurs de fruits dans le cadre MOSCAMED (pour « mouche méditerranéenne ») est aussi un important précédent en matière de lutte antivectorielle en particulier sur le plan socio-économique : il existe en effet un marché de la lutte anti-ravageurs par TIS pour l'agriculture, opérationnel, de plusieurs milliards de dollars par an, au service d'organisations de producteurs agricoles. Les insectes sont produits dans des usines de grande taille et diffusés avec des moyens logistiques importants<sup>117</sup>. L'organisation MOSCAMED, présente dans plusieurs pays d'Amérique centrale et du sud, est un partenaire important de la société Oxitec pour les essais sur les moustiques modifiés.

Depuis quelques années, la technique RIDL est en développement au sujet de nombreux vecteurs ou nuisibles agricoles. Les techniques d'insectes stériles par des insectes irradiés ou par RIDL (compétitivité des mâles, lâchers d'insectes mutés non stériles, imperfections du tri des mâles, contournements) sont clairement en concurrence aussi bien en LAV qu'en lutte contre les ravageurs agricoles. Les brevets étant déposés par dizaines, on peut s'attendre à des demandes accrues dans le domaine agricole et donc une banalisation possible de ces technologies dans le monde. Les sociétés promotrices ont par exemple créé des mouches de l'olivier ainsi modifiées. En Europe, une demande d'essai, formulée au gouvernement de la Catalogne, s'est heurtée à un refus en août 2015. Le fait que les larves, pondues dans les olives, meurent pendant leur développement et soient donc potentiellement consommées a suscité des inquiétudes. Des essais pour des papillons ravageurs de Brassicacées génétiquement modifiés ont été aussi menés dans l'État de New York et un lâcher expérimental d'insectes luttant contre la teigne du chou, proposé par Oxitec, a reçu l'aval des autorités en Californie.

Sur ces dossiers, les débats ont donc déjà abordé les questions liées aux gènes d'activation par l'antibiotique (Tétracycline), les risques de dissémination génétique, d'échappement mais dans un contexte un peu différent : seules les larves femelles meurent, ce qui fait que les gènes sont transmis alors que, pour les moustiques, toutes les larves meurent. Des analyses approfondies des conséquences de la consommation de ces insectes (humains, faune) ont été demandées par des organisations comme *GeneWatch* qui a posé la même question pour les moustiques. Et les débats sur les trajectoires technologiques de l'agriculture devant les hypothèses de productions OGM ont repris.

---

<sup>117</sup> [http://moscamed-guatemala.org.gt/?page\\_id=93&secc=Control](http://moscamed-guatemala.org.gt/?page_id=93&secc=Control)

On peut noter que l'utilité de ces OGM dans l'agriculture n'est pas mise au même plan que la lutte contre des maladies qui touchent de plus les pays les plus pauvres<sup>118</sup>.

#### 4.4.7 Confrontation de régimes de justification

L'acceptation de ces innovations technologiques par les populations locales peut être un défi dans certains cas. Les arguments de santé facilitent l'acceptation de technologies comme les OGM. Dans des situations où ces arguments sont présentés comme porteurs d'amélioration pour la santé publique, leurs opposants peuvent faire l'objet de mises en cause graves. Des conflits sur ces registres existent déjà : c'est le cas pour le riz doré OGM présenté par ses promoteurs comme combattant efficacement des carences vitaminiques graves (cécité et mort) pour de nombreux enfants dans le monde. L'opposition des ONG au riz doré a donc été critiquée sur les registres éthiques et moraux (leurs réponses portaient d'une part sur l'efficacité réelle, mais aussi sur la nécessité de réponses globales aux enjeux de pauvreté des populations concernées). Dans le domaine de la lutte contre les maladies à vecteurs, ce type de conflit a déjà eu lieu : les ONG à l'origine des restrictions d'usage du DDT (en raison de ses impacts environnementaux), ont parfois été désignées comme moralement responsables de la persistance du paludisme et donc des morts (alors qu'elles ne s'opposaient qu'aux usages agricoles de ces substances). On peut actuellement trouver des débuts de controverses concernant l'usage des moustiques modifiés génétiquement, reprochant aux opposants aux organismes génétiquement modifiés de ne pas assez prendre en compte les malades et morts (potentiellement) évités, souvent des femmes et des enfants, dans des pays pauvres.

Ces mises en cause postulent d'une part l'efficacité de ces moustiques, d'autre part que c'est au nom de valeurs qui devraient s'effacer devant ces questions de santé publique que certains s'opposeraient à cette LAV par organismes génétiquement modifiés. Les arguments des différentes parties en présence relèvent de registres de justification différents<sup>119</sup>. Les techniques de LAV par moustiques modifiés seront donc prises dans des conflits de priorités, de représentations et de valeurs. Or, l'objectif sanitaire – le plus souvent considéré comme prioritaire lorsqu'il est question de ces insectes – peut être directement en contradiction avec des objectifs de préservation de l'environnement. *In fine*, l'enjeu environnemental pourra venir s'opposer à l'enjeu sanitaire dans un débat souvent difficile à résoudre, car la valeur environnementale et la valeur de la santé ou de la santé humaine sont difficilement

---

<sup>118</sup> « Avec ce papillon transgénique, nous changeons de logique. Il ne s'agit plus, comme avec le moustique GM, d'aider les pays pauvres à lutter contre la dengue, mais de lutter contre des parasites des cultures industrielles. Ce marché semble plus juteux que celui des malades de la dengue. » <http://www.bastamag.net/Apres-le-moustique-bientot-un#nb2>

<sup>119</sup> Voir Boltanski Luc, Thévenot Laurent, *De la justification. Les économies de la grandeur*, Paris, Gallimard, 1991.

commensurables. Complexité supérieure à envisager : si ces insectes permettent de faire l'économie d'usage de biocides, ils émargent aussi aux justifications environnementales.

Les stratégies qui viseraient à modifier irréversiblement le moustique, ou à l'éradiquer, portent ces tensions à un point paroxystique, entre promoteurs d'une vision « utilitariste » idéalement sans moustique et donc sans maladie, les autres pouvant rejeter cela soit comme une utopie, soit comme relevant de valeurs anthropocentrées qu'ils ne partagent pas. Se pose aussi la question de la valeur d'existence intrinsèque du moustique, problème complexe abordé dans de nombreux travaux sur la valeur de la biodiversité.

La question du moustique est au carrefour de deux options, réglementaires, technologiques et éthiques :

- considéré comme vecteur, il est visé par une stratégie sanitaire suivant la séquence supprimer/contenir/remplacer ;
- considéré comme être vivant, la stratégie de préservation conduit à éviter, réduire et compenser les atteintes au moustique.

Certains débats peuvent prendre des formes polarisées : aux institutions en charge de santé publique les préoccupations concernant les vies humaines ; aux ONG environnementalistes la vie des moustiques.

Envisager le débat public sous l'angle de cette polarisation serait négliger l'attention portée par de nombreuses ONG environnementalistes aux questions de santé. Celles-ci mettent en avant l'importance des solutions pragmatiques et elles restent dans l'expectative face aux promesses technologiques liées aux innovations biotechnologiques, en raison des incertitudes liées à leur efficacité ou à leurs impacts. Pour les organisations plus spécifiquement liées à la santé, les innovations pouvant sauver des personnes doivent avant tout bénéficier aux malades malgré des incertitudes

## 5 LES QUESTIONS INDUITES PAR LES MOUSTIQUES AU PATRIMOINE GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉ

Outre le travail d'appréciation des bénéfices et inconvénients potentiels de ces technologies, les membres du groupe ont proposé un cadre élargi d'analyse, cohérent avec les missions du CEES. En effet, les questions précédemment examinées ont déjà été traitées dans différentes instances et ont parfois fait l'objet d'approfondissements pertinents (rapports de bonnes pratiques, rapport NASEM, résultats des consultations EPA, Agence brésilienne de l'environnement, Nuffield Council, Chambre des Lords). Le GT a porté son attention sur les deux derniers qui développent des angles d'analyse proches de ceux du CEES.

La *House of Lords* a publié le 17 décembre 2015 un rapport sur les insectes génétiquement modifiés. Après avoir constaté que le Royaume-Uni est l'un des fers de lance de la recherche et rappelé qu'il héberge la seule entreprise à ce jour produisant des insectes GM, le rapport soutient que tester les possibilités de la technologie est un « devoir moral ». S'il concède que les techniques GM ne constituent pas une panacée, il dénonce fortement les limites des procédures régulatrices européennes et déplore un biais : les insectes GM sont toujours appréciés en termes de risques et jamais en termes de bénéfices. D'autre part, les techniques GM sont comparées avec d'autres techniques souvent fortement idéalisées et présentées comme sans risque. La *House of Lords* préconise l'essai en extérieur d'insectes GM. Elle en espère une meilleure compréhension et une plus forte adhésion du public à ces techniques nouvelles. Le public est, en quelque sorte, inclus dans l'essai<sup>120</sup>.

Dans la communication du 9 février 2016 sur les pathologies liées au virus Zika<sup>121</sup>, le Nuffield Council<sup>122</sup> montre tout d'abord que plusieurs types d'action sont possibles, depuis celle qui consiste à ne rien faire jusqu'à l'éradication. Deux principes guident sa réflexion sur les décisions. Il s'agit d'adopter la mesure qui, tout en parvenant au but cherché, reste la moins intrusive. Sinon, il s'agit de chercher l'accord de la population et, pour cela, de justifier d'autant plus fortement le choix que la décision retenue est intrusive. Trois éléments ont retenu l'attention du GT : l'évidence des faits ; la proportionnalité des mesures aux faits observés et la recherche de l'adhésion du public.

---

<sup>120</sup> Sur ce point, le GT signale néanmoins que, dans certains projets d'expérimentations sur les moustiques, des personnes ont exprimé leur réticences à être des « rats de laboratoire ».

<sup>121</sup> Briefing note du Nuffield Council, Zika: ethical considerations, 9 février 2016.

<sup>122</sup> Le Nuffield Council on Bioethics est un organisme indépendant qui examine et traite des questions éthiques en biologie et en médecine. Il a été créé par les fiduciaires de la Fondation Nuffield en 1991 et, depuis 1994, il a été financé conjointement par la Fondation, le Wellcome Trust et le Medical Research Council.

Dans la droite ligne de ces réflexions, le GT a souhaité exposer comment il les intègre et les articule à ses principes d'analyse.

## 5.1 REMISE EN PERSPECTIVE DE LA SAISINE

La question des risques sanitaires liés à l'utilisation de biotechnologies est du ressort de l'évaluation du CS du HCB. Le CEES s'attache, lui, à préciser quelles sont les caractéristiques économiques, éthiques et sociales des luttes antivectorielles qui sont potentiellement modifiées par le changement des moyens technologiques employés.

### 5.1.1 Une demande qui induit l'élargissement de la réflexion à la santé et l'environnement

La saisine émane du ministère de l'Environnement alors que les champs couverts par la lutte antivectorielle (son organisation, sa mise en œuvre, les structures et les outils mobilisables, ainsi que la chaîne de responsabilité) relèvent essentiellement de la compétence du ministère en charge de la Santé.

En demandant un éclairage concernant les moustiques génétiquement modifiés seulement, la demande se positionne réglementairement : le ministère de l'Environnement questionne le HCB au titre des enjeux de la dissémination des OGM pour l'environnement et la santé humaine, voire des réglementations (nationales et européennes) sur les biocides, la lutte biologique, les substances vétérinaires. Mais en souhaitant une analyse sur les risques et les bénéfices, non pas dans l'absolu, mais en les comparant aux autres stratégies qui ont elles aussi des conséquences en termes environnementaux, de santé humaine, et socio-économiques, la saisine requiert une palette d'analyses beaucoup plus riche.

Il est apparu au GT que tôt ou tard, la question de l'efficacité technique de ces technologies sera posée<sup>123</sup> dans un cadre technique certes, mais aussi dans un cadre politique et éthique. S'imposent l'état de santé, la maladie et la mort des individus. La question des risques de tous ordres présentés par des biotechnologies est perçue différemment quand il y a de forts enjeux de santé. En effet, si le recours aux OGM est largement accepté dans le contexte de la production de substances d'intérêt pharmaceutique : vaccins, enzymes, autres..., il fait l'objet de vives controverses quand les OGM concernent des alternatives alimentaires. La lutte antivectorielle se place aussi dans un contexte de santé et cela modifie la perception de la balance risques / bénéfices : en termes de santé publique, franchir le pas de la dissémination de moustiques modifiés, transitoire ou non, est-il acceptable ou non ? Le GT note que ces moustiques peuvent apparaître tantôt parés de leur « vertu » propre à conserver la santé des

---

<sup>123</sup> Depuis, l'Anses a été saisie d'une demande d'évaluation des risques concernant ces technologies, par les différents ministères concernés.

hommes, tantôt comme un cheval de Troie préparant l'avènement de la dissémination d'animaux génétiquement modifiés. Enfin, le GT souligne que la saisine se focalise sur la question des risques telle qu'elle est vue depuis la métropole. Or la métropole n'est pas victime de l'endémisme des maladies mortelles et elle est moins sensible aux bénéfices qui peuvent être attendus sur la santé<sup>124</sup>.

La formulation de la saisine ne restreint donc pas le champ de questionnements aux biotechnologies récentes ni qu'à l'éventail des techniques de l'instant présent même si elle ne fait état que de quelques-unes. Les apports des autres formes d'innovation dans la lutte pour une meilleure santé doivent être compris. La lutte antivectorielle « classique » (pièges, moustiquaires, lutttes biologiques, lutte contre les gîtes, salubrité, etc.) doit être prise en compte au même titre que les solutions recourant aux biotechnologies. Des techniques nouvelles font leur apparition et elles ne se réduisent pas aux deux seules stratégies singulières particulièrement citées par la saisine.

#### 5.1.2 Un précédent pour d'autres applications des insectes modifiés

Par ailleurs, parmi les solutions envisagées, il ne s'agit pas tant de disséminer des animaux génétiquement modifiés que de contrôler les populations de leurs congénères sauvages. Il s'agit même de transformer les espèces vivantes de façon telle que les écosystèmes sauvages incluent désormais les caractéristiques nouvelles créées par les hommes. Dans l'histoire récente, la vaccination des renards sauvages contre la rage, par la dissémination d'appâts vaccinant, fait figure de précurseur de l'emploi des procédés biotechnologiques destinés à « reconfigurer » les populations d'animaux sauvages. Le GT souligne qu'il y a là une nouvelle approche de la nature : la nature est contrôlée ou transformée par les voies de la biologie et du vivant.

L'usage de nouveaux insectes modifiés pourrait prospérer dans la lutte contre les ravageurs agricoles. Les entreprises qui proposent des moustiques modifiés pour la lutte antivectorielle sur les maladies humaines ont déjà breveté en grand nombre leurs équivalents dans le domaine agricole (insectes ravageurs porteurs de technologies de type RIDL par exemple). Elles ont déposé des dossiers de dissémination dans divers pays du monde. Mais appliqués au domaine agricole, ces auxiliaires de lutte pourraient être employés à la demande de *personnes privées* et non pas à la demande de décisions publiques dans l'intérêt de la santé. Ces nouvelles formes de biocontrôle agricole pourraient conduire à modifier la nature même des espèces visées. Cela change le cadre socioéconomique et éthique de l'analyse demandée. Le

---

<sup>124</sup> Voir dans les réflexions sur l'éthique, la lecture du document de la House of Lords.

rapport mentionne plus loin que des innovations diverses bousculent certains cadres réglementaires et éthiques.

#### 5.1.3 Cadrage du questionnement

Le CEES ne peut pas répondre aux questions de la saisine s'il ne dépasse pas l'examen du simple bénéfice technique immédiat. Toute comparaison impliquerait la prise en compte de catégories de risques et bénéfices spécifiques des différentes techniques destinées à être « remplacées », en particulier les biocides. Mais les réalités de terrain conduisent à envisager en premier lieu les conséquences de l'adjonction de ces nouvelles technologies à la panoplie existante des stratégies et techniques de la LAV.

## 5.2 DES CHANGEMENTS POUR LA GOUVERNANCE DE LA LAV ET DE LA SANTÉ

### 5.2.1 Réactivation des dimensions internationales du problème moustique

Le GT souligne que la question des moustiques a d'emblée plusieurs dimensions, qui doivent être traitées simultanément : santé publique, environnement, problèmes socio-économiques, éthiques, mais aussi nuisances des moustiques. Ces considérations ne sont pas identiques dans le monde.

Il y a des moustiques qui ne piquent pas, qui piquent sans faire mal, certains dont les piqûres sont très douloureuses voire allergènes (comme celles de moustiques arrivés par des cargaisons de vieux pneus et ayant colonisé dans les dernières décennies des villes italiennes et américaines). Associé à ses nuisances ou aux maladies, le bruit du moustique (en particulier celui du *Culex pipiens* en Europe) devient vite insupportable, preuve de sa présence et donc de sa piqûre potentielle. Mais certains moustiques ne font pas de bruit ! Dans de nombreux cas, les populations de moustiques et d'humains coexistent sans enjeu particulier. Qu'il soit porteur de maladie ou non, le moustique n'a pas beaucoup d'amis et les raisons légitimes ne manquent pas de vouloir l'évincer. Par ailleurs, il peut devenir l'outil d'intentions malveillantes.

Les stratégies plus « écologiques » qui maintiendraient le moustique tout en l'empêchant de contaminer, laisseraient intacte sa nuisance. Cette nuisance fournit pourtant un puissant motif de lutte contre l'insecte (pour le ramener à un niveau tolérable...) et favorise un réel consentement à payer pour cette lutte, y compris internationalement. Même dans des pays indemnes de maladies comme la métropole, les dépenses publiques ou privées de répulsifs et d'anti-moustiques sont importantes et le consentement à payer est en hausse avec l'apparition du zika. Jusqu'à présent, la nuisance et la menace étaient potentiellement traitées de la même façon, l'intensité de la traque et de la destruction étant ajustées, politiquement en ce qui concerne les nuisances, décidée par des administrations de santé pour les menaces.



Avec certains moustiques modifiés, on dispose d'un moyen de *disjoindre* le traitement de la menace de celui de la nuisance et de n'attaquer finalement que le pathogène. Cette dernière alternative semble avoir la préférence des organisations de protection de l'environnement, mais serait probablement moins appréciée des acteurs du secteur touristique. Comme décider de telles préférences ? Comment intégrer les attentes des autres pays pour leurs propres territoires, ou leurs ressortissants ? Comment le règlement sanitaire international intégrera-t-il ces alternatives techniques ? Le contexte éthique de l'utilisation de technologies potentiellement controversées pour des raisons de confort n'est probablement pas le même que pour la lutte contre la maladie.

Plus encore, certaines conséquences de ces techniques (leur ampleur, la cohérence dans leur développement, les problèmes transfrontaliers...) devraient conduire à inscrire la décision d'utilisation à l'échelle de l'action sanitaire internationale. Or, les acteurs concernés, compte tenu de leurs cadres de référence et leurs intérêts, se positionnent diversement sur les stratégies et outils techniques.

#### 5.2.2 La santé internationale et ses évolutions pour une validation « internationale » de ces outils

Le concept de « santé internationale » a fait principalement référence depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle jusqu'aux années 1990 au contrôle des épidémies qui ne s'arrêtaient pas aux frontières nationales. « International » et « intergouvernemental » désignaient alors les relations entre les gouvernements des États souverains, à l'égard des politiques et des pratiques nationales de santé publique. Le champ de compétence de l'OMS était celui de la « santé publique » et son autorité couvrait la « santé internationale ». Son leadership concerne la période allant de 1948 à 1998, date à laquelle le « global » a mis cette institution en crise et au bord de la faillite. C'est plutôt du côté de la Banque Mondiale que l'on trouve l'origine de la « santé globale ». Ce concept a une charge polémique à l'encontre des organisations internationales (interétatiques ou intergouvernementales comme l'OMS) dans la mesure où il les juge inefficaces à prendre en charge les problèmes de la santé mondiale (Bonnet *et al.*, 2014). Les acteurs appelés à prendre la relève sont dès lors les médias, les fondations influentes au plan international comme la fondation Bill & Melinda Gates, les organisations non gouvernementales et les sociétés transnationales, les chercheurs travaillant au sein ou en partenariat avec ces organisations.

La santé globale fait l'objet de plusieurs définitions. Celle du *Consortium of Universities for Global Health Executive Board* fait référence et considère la santé globale comme « une notion (situation actuelle de la santé globale), un objectif (un monde de personnes en bonne santé est condition de la santé globale) et un mélange de connaissances, recherches et pratiques ».

La santé devient globale « quand les problèmes de santé transcendent les frontières nationales, peuvent être influencés par les circonstances ou les expériences d'autres pays, et appellent des réponses collectives » (ibid. pp. 8-10). Cette approche émerge avec les nouveaux virus à diffusion mondiale, en premier lieu le VIH, mais aussi la grippe aviaire, le syndrome respiratoire aigu sévère (SRAS), la fièvre à virus hémorragique Ébola, et les récentes épidémies de choléra. Cette menace suscite un positionnement sécuritaire global autour de l'idée récurrente de se protéger, d'empêcher la diffusion des maladies émergentes à risque pandémique.

La question s'est aussitôt posée de la circulation des patients, de la définition et de l'application de normes de prévention aux niveaux international et national. Dans le même temps, les produits de santé connaissent une large diffusion dans un marché devenu florissant. Les laboratoires pharmaceutiques, de plus en plus concentrés, évoluent vers une logique financière prépondérante, aux dépens des investissements de recherche et profitent parfois de la faiblesse des États et des systèmes de santé de pays du Sud pour y mener des essais thérapeutiques, bien loin des procédures définies dans les pays du Nord (Brauman *et al.*, 2014). Mais la santé globale est aussi, comme le souligne encore R. Brauman, la santé publique à l'échelle mondiale, un ensemble à multiples niveaux liés entre eux, couvert par une communauté universitaire, surtout dans les pays anglo-saxons, avec ses instituts, postes et enseignements, et enfin un enjeu pour des organisations internationales, des États et des acteurs privés. C'est donc un nouveau réseau d'acteurs qui se dessine comme nous le soulignons déjà dans le chapitre 4.

Le concept de « *Global health* » dans les institutions internationales renvoie, enfin, à une forme de légitimation politique des actions menées au nom « de la planète », de l'humanité toute entière. Au sein de ce nouveau paradigme et nouveau réseau d'acteurs émerge, dès 2004, l'approche « une santé, un monde » (One World, One Health), sur laquelle la France affiche sa position en 2011<sup>125</sup>. Issue du constat des limites des approches conventionnelles sur les maladies infectieuses, cette approche vise à renforcer les liens entre santé humaine, santé animale et gestion de l'environnement, en particulier de la biodiversité et des services fournis par les écosystèmes. Six organisations internationales – l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE), le Fonds des Nations unies pour l'enfance (UNICEF), le bureau du Coordonnateur du système des Nations unies sur la grippe (UNSIC) et la Banque mondiale – ont élaboré un cadre de référence fondé sur ce concept en 2008. En

---

<sup>125</sup> [http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/IMG/pdf/Rapport\\_One\\_Health.pdf](http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/IMG/pdf/Rapport_One_Health.pdf)

avril 2010, la FAO, l'OIE et l'OMS ont réaffirmé l'importance et l'utilité de cette approche dans une note tripartite sur « le partage des responsabilités et la coordination des actions globales pour gérer les risques sanitaires aux interfaces animal-homme-écosystèmes ». Le concept ne se limite pas aux zoonoses, mais englobe l'ensemble des pathologies ayant un impact sur la santé publique et la sécurité alimentaire.

Cette approche s'inscrit dans le continuum du passage d'une santé internationale à la gestion d'une santé globale, mais se singularise aussi dans la tentative de reprise en main par les gouvernements étatiques et supra-étatiques de la sécurité sanitaire laissée pour compte dans l'approche « santé globale ». Ainsi en témoigne la position française en 2011 qui encourage l'approche intégrée de la santé prônée par le concept One Health et notamment les actions qui se concentrent sur la prévention, moins coûteuse que l'intervention en cas de crise, ainsi que sur le contrôle des zoonoses à leur source animale, en cohérence avec la stratégie européenne de santé animale. Cela passe en particulier par le renforcement des capacités des services gouvernementaux (de santé publique, vétérinaires et phytosanitaires) et le développement de programmes de recherche et de formation.

En conclusion, dès lors que l'usage des moustiques modifiés est une question sensible qui suscitera des débats élargis, les concepts de santé qui s'accordent à cet usage (ou pas) et à ce qu'il implique pourront être questionnés et seront donc à expliquer et justifier, y compris au niveau des cadres internationaux d'action pour la santé publique.

#### 5.2.3 Une modification des cadres pour penser et évaluer les outils de la lutte antivectorielle

Les solutions introduites par les biotechnologies s'ajoutent-elles seulement ou changent-elles l'approche *technique* globale de la diminution des populations de moustiques, de la gestion des crises et de leur incorporation aux outils pour une politique de santé ? On a vu précédemment que nous sommes dans une période charnière du point de vue des maladies à vecteurs et que de nouveaux acteurs émergent.

L'emploi d'insecticides, aux impacts regrettables mais habituels sur les autres insectes, reste la principale solution chronique mais aussi la principale réponse en cas de crise, comme ce fut le cas récemment en Floride ou à Manhattan, ou encore avec l'usage de malathion dans les DROM-COM lors des crises de chikungunya. Certains insecticides sont d'ailleurs réservés à un usage en temps de crise, sur autorisation de l'OMS<sup>126</sup>. Disposer d'alternatives non directement biocides pour le contrôle quotidien des moustiques est une façon de « requalifier » l'efficacité des biocides usuels confrontés aux résistances. Cela permet de

---

<sup>126</sup> L'OMS garde la compétence exclusive et réglementaire pour l'utilisation en dernier recours d'insecticides rémanents puissants mais toxiques.

réévaluer ces technologies au niveau international et de repenser leur intégration dans la panoplie des outils disponibles. Néanmoins, parmi les technologies évoquées, celles qui visent la suppression de populations de moustiques, sans permettre d'atteindre leur éradication totale (l'éradication concernant l'espèce, au-delà du territoire concerné directement par le lâcher), ne définissent pas de perspectives globales vraiment différentes des modes de la lutte passée. Les logiques de lutte issues du passé persistent (ciblage des vecteurs, diminution des densités de moustiques, insertion dans une politique de santé). Leur originalité est qu'elles ciblent l'espèce visée. La précision de leur action est présentée comme une amélioration.

Les techniques de modification des compétences des moustiques sont probablement des facteurs de changement plus important. Le moustique est instrumentalisé ; il devient un rempart vivant contre les épidémies et ses congénères susceptibles de circuler (le plus souvent en empruntant les moyens de circulation des biens et des personnes) à une échelle mondiale qu'il s'agit de mieux connaître. Les populations indigènes sont potentiellement bouleversées : elles se verraient conférer, de façon assez totale et potentiellement irréversible, des caractéristiques élaborées par l'homme et conformes à ses fins, susceptibles par ailleurs de se propager de façon très rapide.

La maîtrise des conséquences de ces propriétés, voire les conséquences de leur conjonction, sur la survie de l'espèce qui se trouve être, de fait, férale<sup>127</sup> est incertaine. Le cadre d'évaluation des outils usuels mobilisés par la LAV s'en trouve changé, en particulier sur les rôles respectifs des hommes et des espèces animales. Qui peut décider de remplacer toute la population sauvage par une population définie selon ses propres critères et intérêts ? Il s'agit d'une question éthique qui réinterroge l'histoire de la domestication puisqu'il ne s'agit plus de domestication. Un consensus important semble nécessaire au plan international : la transformation des populations de moustiques à grande échelle dépasse les frontières et donc concernera des sociétés qui n'ont pas les mêmes considérations sur le droit de l'homme à modifier la nature. L'entre-soi n'est pas un cadre de réflexion valide.

Dans le cas de *Wolbachia*, qui permet des forçages génétiques selon des modalités « naturelles » et très différentes, des bactéries déjà existantes dans la nature sont utilisées. Les régulations entre des populations infectées par diverses souches existent aussi dans la nature. Le remplacement d'un moustique par un moustique « influencé » par cette bactérie mobilise des mécanismes de régulation certes naturels mais peu compris. Selon le GT, de telles

---

<sup>127</sup> On parle de féralisation (du latin « fera » signifiant « animal ») pour les animaux ou les plantes domestiques retournés à l'état sauvage.

modifications ne peuvent se faire sans un consensus transfrontalier et sans élargir l'échelle de décision et d'évaluation.

#### 5.2.4 Les moustiques modifiés : des actants politique qui modifient la gouvernance de la LAV

Tandis que les mesures classiques visent à réduire le contact entre les animaux potentiellement infestés et les humains, les lâchers de moustiques transgéniques (avec *Gene drive* éventuel pour remplacer une population de moustiques), ou encore l'usage de *Wolbachia* (pour bloquer la transmission des pathogènes) ciblent une relation de compétition intra-espèces spécifique dont le but, pour certaines techniques, est de remplacer une population par une nouvelle. Le moustique modifié est censé devenir une espèce invasive dont les nouvelles caractéristiques restent stables et se diffusent à travers les générations, capable de s'accoupler et d'évincer les infectés. En ciblant les moustiques de la lutte contre les maladies, la nouvelle offre technologique qui émerge des laboratoires "miniaturise" le lieu de la lutte antivectorielle et l'embarque à l'intérieur même du corps des moustiques, devenus des auxiliaires. Plus précisément, les moustiques issus des nouvelles techniques portent en eux une nouvelle ingénierie de l'interface homme-animal-écosystème et la communauté humaine compte sur le maintien de cette ingénierie face aux évolutions des pathogènes. Cela suppose qu'il existe des mécanismes de contrôle génétique qui peuvent transformer l'hôte ou un vecteur animal en une sorte de barrière avancée contre l'infection et que les espèces animales à travers lesquelles passent les pathogènes peuvent être reconçues pour fonctionner comme un périmètre d'isolement prolongé pour les communautés humaines.

Pour le dire autrement, alors que le modèle OWOH<sup>128</sup> cherche à remodeler les écosystèmes partagés entre humains et animaux en mettant en place des dispositifs de confinement, de « bonne distance », les biotechnologies (transgéniques, mais pas seulement), trouvent dans le génome de l'espèce animale concernée un interrupteur moléculaire qui provoquerait un court-circuit de transmission à l'homme (Lezaun and Porter, 2015 p. 97). Dans cette approche, la stratégie de confinement n'est pas absente, mais c'est le moustique lui-même qui est porteur du dispositif de confinement (le « switch » moléculaire) de la solution dans un organisme, même s'il existe à des millions d'exemplaires.

---

<sup>128</sup> Le concept « One World, One Health » est apparu récemment, en réponse aux interdépendances croissantes de la santé des hommes et des animaux au niveau mondial. Les nouveaux dangers conduisent à devoir adapter les systèmes existants de gouvernance de la santé aux niveaux mondial, régional et national de manière harmonisée et coordonnée. L'OIE, l'OMS et la FAO entre autres organisations mondiales, ont conduit les représentants de plus de 100 pays à adopter des principes lors d'une conférence à Sharm el-Cheikh, en Égypte, en octobre 2008.

Plus encore, la conception de l'interface homme-animal-écosystème portée par le moustique modifié est réduite à une compétition intra-espèces. Les méthodes éventuellement transgéniques de contrôle des maladies interviennent au niveau du point de transmission entre les hôtes animaux et les humains, mais écartent les questions plus larges liées à la dynamique écologique. Celle-ci implique d'autres espèces compagnes qui dépendent des mêmes habitats et réservoirs sauvages.

Pourtant, d'après Lezaun and Porter (2015 p. 99) l'introduction de variétés réfractaires peut générer de nouvelles pressions et contraintes évolutives sur la population des agents pathogènes. Les nouvelles souches pathogènes feront potentiellement émerger des souches mieux adaptées aux nouveaux réservoirs ou vecteurs ou seront en mesure de contourner la barrière moléculaire de la transmission à l'homme incorporée dans la variété modifiée. En clair, cela signerait l'inefficacité de la solution proposée. Il pourrait être difficile de détecter ces mutations au début du processus. Il est très peu probable par ailleurs qu'une variété transgénique alternative puisse être prête à temps pour arrêter les nouveaux foyers (pour une vue contrastée en ce qui concerne les moustiques GM et le contrôle de la dengue, voir Alphey (2014)).

La solution modifiée ou transgénique pourrait être aveugle à une dynamique susceptible d'émerger et ne prévoit pas de gérer les nouvelles cascades de pathogènes que l'arrivée d'une nouvelle forme de vie serait susceptible de déclencher, autrement que comme un risque. Se profilerait une fuite en avant, dont le rythme serait piloté par les capacités des populations de moustiques à répondre aux pressions de sélection. D'ailleurs, en ce qui concerne les risques potentiels des stratégies de « *Gene drive* », l'idée de répondre à un problème qu'il serait susceptible de poser par un autre « *Gene drive* » a déjà été évoquée. Les remarques du CS sur la stabilité des constructions géniques et les obstacles aux contournements possibles sont donc précieuses.

#### 5.2.5 Un mode distinct d'intervention et de surveillance : caractère inévitable de la circulation des agents pathogènes versus contrôle absolu des épidémies.

L'ingénierie de l'interface homme-animal-écosystème du OWOH agenda part de l'hypothèse que la circulation des agents pathogènes entre les espèces est inévitable ; sa prémisse fondamentale est que les frontières, même constituées par un insecte conçu pour être cette frontière, sont trop poreuses et perméables pour circonscrire la politique de la santé au seul bien-être de l'homme (FAO et al., 2008). Faire face aux menaces pour la santé humaine exige d'anticiper, d'appréhender et de gérer les agents pathogènes déjà en circulation dans les populations animales prêtes à entrer dans le corps humain et l'environnement. Tous les programmes de surveillance, malgré les difficultés de collecte de

données (Fontenille *et al.*, 2009), partagent une orientation vers la détection précoce des épidémies toujours imminentes et l'identification rapide des vecteurs.

Les technologies GM de transformation des moustiques, reconfigurent ces mesures de surveillance en mettant potentiellement en doute le caractère inévitable des épidémies. Ce changement ne serait en lui-même pas plus critiquable a priori que l'usage de biocides parfois très dommageables ou bien encore de moustiquaires. Mais en changeant des équilibres, des pratiques établies, des représentations, il conduit à devoir en anticiper les effets.

Par ailleurs, cette nouvelle ingénierie est susceptible d'empiéter sur les efforts existants de contrôle et de surveillance des épidémies. Les lâchers de souches Anophèles ou Aedes modifiés pourraient ne pas diminuer le besoin ou le désir d'éviter les moustiques qui continueront à constituer une nuisance pour les populations humaines (piqûres notamment). Ils pourraient aussi diminuer le respect des procédures de protection personnelles. L'étude de (Maheu-Giroux and Castro, 2014) suggère en effet que l'introduction de programmes de contrôle des vecteurs conventionnels réduit, par exemple, l'utilisation de moustiquaires.

### 5.3 LES ATTITUDES DES PUBLICS CONCERNÉS

Des lâchers de moustiques génétiquement modifiés par les services chargés de la démoustication dans les quartiers concernés présentent l'avantage de ne pas entrer dans les propriétés privées, ce qui écarte le caractère particulièrement intrusif voir des problèmes culturels inattendus. Par exemple, les Réunionnais, qui, pour des raisons de hiérarchies sociales au sein du voisinage, accordent une grande importance aux soins apportés à leurs jardins, ont mal vécu l'intrusion d'opérationnels chez eux, leur apprenant comment tenir leur jardin pour maintenir à distance les moustiques<sup>129</sup>.

Ces moustiques présentent aussi l'avantage, en tant qu'êtres vivants, de pouvoir débusquer par eux-mêmes les femelles vecteurs, sans qu'il soit nécessaire de procéder à des diffusions d'insecticides plus larges, souvent mal perçues par les populations humaines. Enfin, un dernier effet potentiellement positif des lâchers de moustiques concerne la possibilité d'augmenter l'attention et la participation des habitants à la stratégie de lutte.

Tout cela pourrait laisser penser que ces technologies présentent de réels atouts « politiques ».

Néanmoins, les investigations du CEES montrent deux trajectoires différentes de l'implication de la population. Si certaines font appel à la capacité des populations

---

<sup>129</sup> Voir par exemple les observations réalisées à La Réunion par Sandrine Dupé (2015).



destinataires à prendre en charge la lutte contre les moustiques, de manière ponctuelle ou continue, d'autres entretiennent l'idée d'une « minorité rationnelle », les populations se voyant imposer une technique qu'elles ne comprennent pas, qu'elles ne maîtrisent pas et qui peuvent se trouver à l'inverse de leurs représentations des rapports à la nature au nom de démonstrations techniques difficiles à appréhender.

Pour explorer ces deux pôles, la dimension sociale peut ici être appréhendée sous l'angle de l'acceptation sociale, en examinant les stratégies qui peuvent être mises en œuvre pour faciliter l'adhésion des populations humaines exposées aux moustiques avec les choix stratégiques de lutte qui ont été faits. Le principe de la lutte contre les populations de moustiques vecteurs ou nuisibles recueille un assentiment général, même si l'intégration des aspects environnementaux ou la nature des techniques mobilisées peuvent moduler cette acceptation. Certains choix individuels peuvent ne pas être respectés. On peut présumer que l'assentiment général de la lutte contre les populations de moustiques n'entraîne pas forcément l'acceptation sociale d'user de moustiques génétiquement modifiés. L'approche de l'acceptabilité sociale — soit les formes de légitimation des moustiques génétiquement modifiés et le rôle attribué aux populations concernées par les lâchers — ne fait pas consensus dans les grandes organisations internationales ((Lavery *et al.*, 2008), (Angulo and Gilna, 2008), (El Sayed *et al.*, 2009). En outre, des courants contestataires considèrent que les débats pilotés par des porteurs d'enjeux ou la puissance publique visent à faire croire à l'acceptation (« *faire participer* [au débat], *c'est faire accepter* »)<sup>130</sup>.

Parfois, ignorer la question de l'acceptation se niche au cœur des meilleures contributions. Au sein de l'OMS, et afin de la conseiller, le *Vector Control Advisory Group* (VCAG) est chargé de recenser et d'évaluer les nouveaux outils, les nouveaux paradigmes et les nouvelles technologies et approches en matière de lutte antivectorielle. Saisi de la question des moustiques modifiés, le VCAG<sup>131</sup> favorise les deux principales technologies (repérées par la saisine du HCB)<sup>132</sup>, mais il ne soulève pas les questions de l'acceptabilité sociale et de la durée dans le temps de l'usage de ces moustiques. L'approche reste technique. Enfin les techniques connues et d'usage courant cohabitent avec les techniques mettant en œuvre des

---

<sup>130</sup> PMO (Pièces et Main d'œuvre) (2006) : « L'art de nous faire avaler la pilule. » URL : [http://www.piecesetmaindoeuvre.com/spip.php?page=resume&id\\_article=205](http://www.piecesetmaindoeuvre.com/spip.php?page=resume&id_article=205) [Consulté le 09/01/13].

<sup>131</sup> Au sein de l'OMS, et afin de la conseiller, le *Vector Control Advisory Group* est chargé de recenser et d'évaluer les nouveaux outils, les nouveaux paradigmes et les nouvelles technologies et approches en matière de lutte antivectorielle.

<sup>132</sup> Le VCAG ne retient en outre pas la technique d'insecte stérile (mâles irradiés) alors qu'elle est relayée par deux instances internationales, la FAO et l'AIEA.



connaissances et des dispositifs technologiques sans que la question de leur acceptabilité soit définie et appropriée à une échelle globale. Il a donc semblé nécessaire au GT d'aller plus loin.

Dans nos sociétés, on considère que l'État doit veiller à ce que chacun puisse accéder aux biens premiers que sont la santé, l'intégrité des personnes, la qualité de l'environnement de vie qui inclut l'habitat humain et l'habitat naturel. Or, plus une proposition d'action est intrusive, moins son approbation va de soi et plus les discours rappelant les libertés de choix personnels voire individualistes émergent. Les débats vont rapidement opposer valeurs collectives, santé publique, sécurité et libertés collectives et individuelles sur le plan des priorités et des justifications de l'action.

Par ailleurs, les moustiques génétiquement modifiés interrogent les modes de caractérisation et d'interaction des humains avec les êtres vivants. Ils pourraient fragiliser des représentations construites socialement au contact du vivant. Nombre de questions de fond sur les droits des hommes par rapport à la nature seront réactivées.

L'intrusion des moustiques génétiquement modifiés dans la sphère privée et la modification des relations au vivant sont donc deux dynamiques susceptibles de limiter l'acceptation de ces innovations. C'est pourquoi la population devrait être partie intégrante du processus de décision. Faire de cette question une affaire d'experts scientifiques, d'État ou d'entreprises privées expose à des risques de crispation du débat et à une prise en considération partielle des enjeux de santé et de société embarqués dans les politiques de lutte contre les moustiques. Dans l'idéal, l'État ne devrait appliquer une décision qu'à l'issue d'un processus légitimant ce franchissement de barrières individualistes prégnantes comme la propriété individuelle, les garanties de libertés de choix par rapport aux OGM (qui ont fait leur chemin dans l'alimentation).

Dans cette perspective, le Nuffield Council a listé diverses options : ne pas intervenir mais avant tout surveiller ; fournir l'information à tous les acteurs ; donner le choix aux populations ; guider le choix en offrant des alternatives ; guider le choix par des mesures incitatives ; guider le choix par des mesures dissuasives ; restreindre le choix ; supprimer la possibilité de choisir.

En se plaçant dans une perspective utilitariste, et quel que soit l'axe qui serait privilégié dans l'évaluation des finalités (confort, richesse, bonheur, santé, etc.), il est important que les populations menacées dans leur santé puissent faire valoir leurs représentations du risque, l'appréciation qu'elles ont de la pertinence des solutions proposées, ainsi que leur propre capacité à collaborer ou intervenir, leurs intérêts à se protéger ou à être protégées, leur volonté de comprendre, d'approuver ou de contester une technique qui serait imposée dans

un moment d'urgence. Une situation d'urgence absolue pourra continuer à être traitée par des moyens ne faisant pas appel à l'initiative individuelle ou collective, au nom des missions de l'État. On a là, comme souvent, un curseur calé sur des supposées évidences, mais en fait malaisé à cerner, qui pilote le fait de tenir compte de l'avis des citoyens. C'est d'ailleurs hors temps de crise que se construit la légitimité future de l'action d'urgence ou de l'action tout court (mais pour les moustiques modifiés, dont l'usage est techniquement pertinent « en temps de paix », c'est un peu en temps de crise que se prépare l'acceptation).

Une option retenue serait, hors temps de crise, de permettre l'engagement de la population pour le recueil des données (observation des lieux de pont, déclaration des cas), la mise en œuvre des moyens (éliminations des coupelles d'eau, des pneus ; moustiquaires ; changement des habitudes de sortie hors du domicile), ou enfin, négocier l'acceptation des moyens technologiques (*Wolbachia*, MGM OX513A). Les opérateurs peuvent certes opter pour une mise en œuvre opérationnelle des lâchers, afin d'en maîtriser les éléments techniques et l'efficacité. Il est cependant possible d'impliquer, de rendre acteurs les habitants en étendant le domaine professionnel au domaine profane (Torny, 1998), afin d'induire une appropriation et une acceptation de la lutte. C'est la stratégie développée par l'université Monash, avec la mobilisation des écoliers et des habitants dans les lâchers des moustiques transinfectés. Pour certains, cela peut apparaître machiavélique. Au-delà de la recherche d'une acceptation de la technique par sa dédramatisation et son introduction dans la sphère de l'intime, cette démarche renvoie à la notion d'« *empowerment* »<sup>133</sup>. Elle vise à valoriser : « (...) la capacité des individus et des collectivités à agir pour assurer leur bien-être ou leur droit de participer aux décisions les concernant (...) »<sup>134</sup>.

Quelle que soit la procédure retenue par le décideur politique, il importerait *a minima* de récolter les savoirs et les savoir-faire des populations destinataires de ces techniques, afin de déterminer quelles sont les stratégies qui ont de l'intérêt pour l'avenir.

Il conviendra ensuite de mesurer ce que, sur le long terme, peut entraîner le choix d'une technique mise en œuvre par un État ou une collectivité, délégué ou pas (voire providentiel) dans une logique du FAIRE ou celui de la mobilisation de compétences partagées, de lutte impliquant des populations nécessairement concernées, dans une logique du FAIRE FAIRE

---

<sup>133</sup> Sans équivalent strict dans notre langue, façonné par son histoire dans la libération des peuples opprimés, dans l'émancipation des femmes, dans la prise en main de leur sort des populations déclassées.

<sup>134</sup> A.-E. Calvès, « « *Empowerment* » : généalogie d'un concept clé du discours contemporain sur le développement », *Revue Tiers Monde* 4/2009 (n° 200), p. 736

(Dupé, 2015a<sup>135</sup>). Cette différence dans le mode d'action et dans la répartition des rôles est un point important sur différents plans : coûts, acceptation, gouvernance...

L'adhésion demeure l'une des conditions de l'efficacité d'une mesure politique. Plus la mesure s'écarte soit des intérêts de la population destinataire, soit des représentations et des pratiques de cette population<sup>136</sup>, plus l'adhésion doit être recherchée, acquise, renforcée. Sauf en cas d'urgence sanitaire, la décision politique doit s'accompagner de processus visant à maintenir le lien social (c'est la position du *Nuffield Council*).

Les moyens de chercher cette adhésion sont nombreux : jurys citoyens, grand débat national. L'un des plus connus reste les conférences de consensus dont le modèle danois a inspiré la conférence des citoyens sur les OGM en France. Par nature, la lutte antivectorielle porte sur des territoires délimités sur lesquels vit une population humaine, cible des moustiques. Les moyens de la recherche de l'adhésion dépendront donc inévitablement de ces circonstances comme d'autres encore : le niveau d'alphabétisation, le niveau d'instruction, le niveau de vie, la facilité des déplacements et des communications, la position des acteurs (un directeur d'une chaîne internationale hôtelière n'aura pas les mêmes vues que l'exploitant agricole résident).

La recherche de l'adhésion de la population ne doit pas conduire à ce que les populations pensent qu'elles ont librement délibéré et consenti et que ce soit une illusion. L'adhésion doit résulter d'une réflexion portant sur des éléments de connaissance simples, accessibles, loyaux, contrôlés et vérifiables, équilibrés par d'autres éléments contraires. Une technique de lutte antivectorielle, s'imposant à tous les habitants d'un territoire, promue par des moyens publicitaires donnant des éléments partiels, ne satisferait pas à ces conditions, aussi efficace puisse-t-elle être.

La recherche de l'adhésion est d'autant plus nécessaire que des opinions et des inquiétudes<sup>137</sup> pèsent sur le recours à des espèces vivantes modifiées lâchées dans l'environnement et qu'elles s'alimentent sur les questions déjà existantes sur les OGM en général.

---

<sup>135</sup> Dupé, 2015a : « Transformer pour contrôler. Humains et moustiques à La Réunion à l'ère de la biosécurité. » *Revue d'Anthropologie des Connaissances*, numéro spécial, la Surveillance des animaux, 9, 2. 213-236.

<sup>136</sup> Sur ce point on peut remarquer qu'une alternative reposant sur des moustiques irradiés rencontrerait une hostilité probable en Polynésie Française, en raison du passé d'essais nucléaires.

<sup>137</sup> Les opinions sont des peurs qui s'appuient sur des faits constatés alors que les inquiétudes sont des craintes sur des faits possibles à venir. Opinions et inquiétudes collectives se constituent sur des fondements très divers.

Parmi les opinions il a été affiché que le moustique est une espèce mobile et transportable par l'homme lui-même (automobile, avion) si bien que le confinement dans des espaces traités serait potentiellement un leurre. La comparaison avec le transport des pollens par le vent a été faite, rejoignant les débats menés sur les plantes GM. Pourtant le moustique a de lui-même des capacités et des besoins de voyage limités tout en ayant d'incontestables capacités de covoiturage avec les hommes ou leurs marchandises. La question de la mobilité de ces OGM sera donc complexe.

Par ailleurs, le choix d'un environnement est un acte politique qui se fait au vu de préférences, mais aussi de craintes. Les moustiques ont leur place dans l'écosystème (ils sont pollinisateurs même si c'est faiblement – voir la partie sur l'impact environnemental) de sorte que leur suppression ou leur réduction produirait des déséquilibres et l'apparition de nouveaux états de l'écosystème plus ou moins désirables. Du côté des craintes, la destruction des moustiques laisserait ouverte une niche pour des insectes plus nuisibles ou pour des insectes nuisibles résistants. Les craintes exprimées sont, pour certaines, des leçons de l'expérience passée (par exemple des femelles moustiques GM peuvent être relâchées par inadvertance), pour d'autres de quasi « expériences de pensée » : (que produit la piqûre d'un moustique GM<sup>138</sup> ? Pour les prédateurs qui se nourriraient de moustiques GM, quelles seraient les conséquences sur leur santé et ultérieurement sur l'environnement ? Que se passerait-il en cas d'ingestion involontaire d'un moustique GM ? Un moustique stérilisé par irradiation est-il un moustique radioactif ?)

Même en cherchant activement l'adhésion, le décideur en contexte de démocratie n'arrivera évidemment pas au consensus. Toutefois l'information et les réponses aux interrogations très diverses doivent trouver leur chemin : sur un sujet aussi complexe et concernant tout le monde, diverses démarches de médiation peuvent être utilement envisagées. Un bon nombre de ces questionnements sont traités sur le plan technique et scientifique par les promoteurs de ces technologies, et par le rapport du GT du CS : la pédagogie reste nécessaire et c'est relativement pour la LAV.

## 5.4 LES CHANGEMENTS JURIDIQUES.

---

<sup>138</sup> Le moustique-vaccinateur : un exemple paradoxal. « Il est peu probable toutefois que le concept d'un moustique transgénique « vaccinateur volant » donne lieu à une méthode pratique de contrôle des maladies : comparé aux programmes actuels, un « vaccinateur volant » est un moyen inacceptable pour vacciner alors qu'il n'y a ni estimation des doses ni recueil du consentement des sujets » (Yamamoto et al., 2010).

Les différentes techniques mobilisant des moustiques pour la lutte antivectorielle nécessitent certainement de passer par des dispositions réglementaires d'autorisation, reposant sur l'analyse des risques et la définition de conditions d'usage. Au-delà du régime d'autorisation d'un projet de lutte antivectorielle se pose aussi celui de la qualification juridique de son outil, le moustique modifié<sup>139</sup>. Dans le cas présent, le fait que ces moustiques soient obtenus par des procédés de modification génétique impose des conditions particulières d'autorisation de leur emploi et de leur dissémination. En France, la qualification d'OGM ou non-OGM de ces moustiques est un sujet particulièrement sensible. Il s'agirait des premiers animaux GM disséminés intentionnellement sur des territoires français et cela serait un précédent pour d'autres OGM animaux qui peuvent arriver, que ce soit dans des usages d'agrément (poissons), alimentaires ou agricoles. En outre, une réglementation autorisant des insectes GM devra certainement intégrer les préoccupations liées à leur consommation : de nombreux travaux évoquent les insectes comme source future de protéines pour l'humanité pourrait y trouver.

La lutte vectorielle peut apparaître comme une situation très singulière, permettant de contourner en catimini les problèmes de long terme de liés à la dissémination généralisées d'insectes modifiés. Le choix de disséminations expérimentales dans des îles peut être vu comme un confinement (relatif) de fait. Il ne faut pas pour autant s'en tenir à une multiplication de situations d'exception, au motif de recherche, d'expérimentation ou de crise sanitaire mais bien raccrocher ces insectes aux problématiques que posent toute dissémination d'organisme animal GM dans l'environnement.

Un éventuel cadre réglementaire en France pour cette lutte antivectorielle qui s'appuierait sur les procédures des produits phytosanitaires ne permettrait a priori pas de traiter les spécificités de ces nouveaux outils tant les principes d'action sont différents. Mais l'éclatement réglementaire potentiellement lié à la multiplicité des outils et à l'existence de la Loi de 1964 relative à la lutte contre les moustiques, est un handicap pour une gestion simple des techniques de lutte antivectorielle qui comprennent des dispositifs physiques, des toxiques et maintenant des êtres vivants. Juristes, sociologues et anthropologues constatent que la lutte antivectorielle est essentiellement définie comme un objet scientifique et appropriée par les milieux correspondants (scientifiques, chercheurs, médecins, ingénieurs). Les avancées scientifiques devançant le droit et la socio-économie et mettent à l'épreuve les

---

<sup>139</sup> Les questions du statut juridique du moustique lui-même, de l'éradication des espèces sont approfondies en annexe.

cadres. Cette situation n'est pas nouvelle, mais elle est particulièrement prégnante dans ce cas.

#### 5.4.1 Le droit à l'épreuve des moustiques génétiquement modifiés par transgénèse, RIDL et CRISPR-Cas9.

Les moustiques génétiquement modifiés par transgénèse relèvent de la réglementation sur les OGM et donc d'une évaluation telle qu'elle est décrite dans la Directive 2001/18 en ce qui concerne l'Europe (les termes de la Directive 2015/412 permettant de fait à un pays de s'opposer à la dissémination d'un OGM autorisé au niveau européen ne concernant que les plantes génétiquement modifiées). Un certain nombre de critères d'évaluation des moustiques modifiés découlent directement de l'application de ce droit et la Commission européenne a sollicité l'EFSA en 2013, qui a établi un document d'orientation sur ces questions. Il apparaît que les moustiques modifiés par la technique RIDL, mais aussi les moustiques obtenus *via* le système CRISPR-Cas9 constituent des OGM assujettis à la réglementation afférente.

#### 5.4.2 Le droit à l'épreuve des moustiques transfectés par la bactérie *Wolbachia*.

S'agissant des moustiques transfectés par la bactérie *Wolbachia*, il est impossible de conclure à une modification directe de leur matériel génétique nucléaire. Mais le constat de l'héritabilité de leur modification en laboratoire pourrait conduire à les qualifier d'OGM et à les soumettre à la réglementation dédiée. En revanche, les moustiques *naturellement* infectés par la bactérie *Wolbachia* devraient échapper à la réglementation sur les OGM ainsi qu'aux réglementations biocide et biocontrôle.

Le moustique transfecté par *Wolbachia* pose question et les pays ont des approches diverses sur ce point. La saisine le désigne parmi les moustiques à « patrimoine génétique modifié ». En 2010, en Australie, le projet de lâchers de moustiques *Aedes aegypti* infectés par *Wolbachia*, a posé la question du droit applicable. Il a été considéré que l'introduction de *Wolbachia* dans le moustique n'était pas une technique de modification génétique et l'organisme a été soumis à la réglementation sur l'approbation des produits vétérinaires. D'après (De Barro *et al.*, 2011), cette solution serait satisfaisante car elle garantirait un bon niveau d'attention aux risques de biosécurité. Néanmoins, on peut se rappeler que le recours aux réglementations des produits vétérinaires, qui a été utilisée aux États-Unis pour le saumon transgénique (la modification génétique y est traitée comme le serait un implant hormonal) interpelle dans le cadre des réglementations européennes sur les OGM.

Aux États-Unis, la voie réglementaire choisie est celle de l'appartenance au domaine des biocides qui est donc un choix lié non pas intrinsèquement à la technologie embarquée par le

moustique modifié mais à son usage (et sa finalité, mais le moustique modifié ne tue pas directement ses congénères).

En France, la notion de biocontrôle pourrait correspondre techniquement tel qu'il est caractérisé dans le Guide pédagogique « Procédures réglementaires applicables aux produits de bio contrôle »<sup>140</sup>. Le principe du biocontrôle est fondé sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication. Les produits de biocontrôle privilégient l'utilisation de mécanismes et d'interactions naturels<sup>141</sup>, qui permettent de régir les relations entre les espèces dans le milieu naturel. On pourrait penser que l'interaction d'organismes vivants pourrait être une définition adaptée, en précisant la notion d'interaction naturelle. Néanmoins certains mots peuvent changer de sens suivant le contexte, c'est le cas de biocontrôle qui est saisi sous son angle juridique. La catégorie de droit prend le pas sur la nature de l'objet : même si on peut avoir le sentiment que *Wolbachia* ne peut être comparée à une coccinelle introduite pour lutter contre des pucerons, sans induire de modification génétique, décider que c'est un produit « biocontrôle » est entrer dans un cadre qui s'impose comme étant celui de la lutte contre les ravageurs agricoles. L'évolution actuelle de l'encadrement du biocontrôle est essentiellement orientée vers l'allègement de procédures réglementaires considérées par les acteurs comme trop lourdes pour permettre l'autorisation de tels outils particulièrement utiles à l'agriculture biologique. Le préfixe « bio » dans le biocontrôle, s'accorde donc de fait plus avec l'appartenance à l'univers de la certification « biologique » qu'au fait qu'il s'agit de faire interagir des êtres vivants.

Il serait donc dangereux de traiter la question des moustiques modifiés en mobilisant le cadre juridique du biocontrôle tel qu'il existe actuellement, même en signalant le risque de confusion. Il faut affirmer la nécessité d'évaluer les moustiques par rapport aux interactions attendues avec les populations sauvages et recommander l'adoption de la réglementation la plus contraignante disponible pour « saisir » ces insectes.

Modifier le fonctionnement de populations sauvages de vecteurs plutôt que les détruire a déjà été fait par exemple dans le cadre de la lutte contre la rage vulpine<sup>142</sup>. La vaccination de population d'animaux sauvages, sans avoir à les capturer, en utilisant une seringue vivante

---

<sup>140</sup> [http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents//Guide\\_biocontrôle\\_cle0417eb.pdf](http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents//Guide_biocontrôle_cle0417eb.pdf)

<sup>141</sup> Néanmoins, il resterait à clarifier ce que veut dire naturel ; les débats sur la mutagénèse, ou sur les molécules de synthèses en montrent des limites.

<sup>142</sup> Le dernier cas de rage du renard en France a été diagnostiqué en Moselle en 1998. L'épizootie de rage vulpine avait atteint le territoire français en 1968, provenant d'un foyer polonais. Elle a pu être éradiquée grâce à la vaccination orale des renards, distribuée sous forme d'appâts, et fondée sur un vaccin obtenu à partir de virus recombinants. Les autorisations reposaient sur deux évaluations : l'une comme organisme génétiquement modifié, l'autre comme médicament vétérinaire et donc enregistrées à deux titres

constituée d'un insecte spécifique de l'animal cible, fait l'objet de divers projets. Par exemple, des projets envisagent de vacciner les populations de lapins sauvages en lâchant des puces porteuses du vaccin.

Dans le monde de nombreux projets de modification génétiques d'insectes ravageurs existent. Il semble que ce concept de populations sauvages régulées voire modifiées par des interactions génétiques ou reproductives soit une perspective grandissante à prendre en compte et qui ne semble pas encore bien appréhendée par le droit existant. Même si certains acteurs comme Oxitec ont déjà entamé des processus d'évaluation, de discussion aux USA ou au Brésil par exemple, l'aveu même de ces acteurs « c'est un process qui est très jeune, très peu de systèmes législatifs qui sont prêts à réguler les moustiques. »

Sur le plan de l'évaluation scientifique par des organismes comme l'Anses, il semble que ce soit même un changement important de perspective.

#### 5.4.3 Le droit à l'épreuve des moustiques irradiés.

L'usage des moustiques irradiés ne semble pas précisément réglementé, les éléments réglementés (étiquetage) sur l'irradiation concernant d'une part les aliments (désinfection d'aliments contaminables par des salmonelles et autres germes dangereux), d'autre part l'usage pour les poches de sang destinées à la transfusion (inactivation des virus potentiels des donneurs). Les expérimentations sont autorisées sur le plan administratif seulement (La Réunion) <sup>143</sup>. Le cadre d'autorisation par l'arrêté préfectoral de LAV pourrait être plus opportun.

#### 5.4.4 Le droit à l'épreuve des moustiques non qualifiés d'OGM.

Pour d'autres moustiques modifiés par l'homme mais qui ne seraient pas des OGM (question en suspens pour les moustiques porteurs de *Wolbachia* mais question probablement à venir pour des moustiques qui seraient issus de nouvelles techniques de génétique), l'héritabilité des modifications apportées au sein des populations naturelle pose problème, notamment par rapport à leur dissémination au-delà des frontières. Le Protocole de Carthagène sur la prévention des risques biotechnologiques, relatif à la Convention sur la diversité biologique, auquel la France et l'Union européenne sont parties semble un cadre nécessaire. Conformément à ses dispositions, des critères d'évaluation des moustiques vivants modifiés ont été définis dans le cadre de la Convention sur la diversité biologique par

---

<sup>143</sup> Voir en annexe le développement fait dans le cadre du GT sur la question des moustiques irradiés. Les irradiateurs à rayons X sont préférés aux rayons gamma (sources radioactives) pour des raisons de limitation des circulations de sources radioactives, mais le contexte de l'usage potentiel de sources radioactives pose pour l'opinion publique et pour la géopolitique ponctuellement, des problèmes d'acceptation et de mise en œuvre, le domaine du nucléaire étant sensible à de nombreux points de vue.



ses directives pour l'évaluation des risques posés par les organismes vivants modifiés (CBD, 2012). Le Protocole ne parle pas d'OGM, comme c'est le cas par exemple dans la réglementation française et européenne, mais d'OVM, c'est-à-dire : « *tout organisme vivant possédant une combinaison de matériel génétique inédite obtenue par recours à la biotechnologie moderne* ». Cette définition est plus restrictive que celle d'OGM : elle permet d'exclure tout ce qui relève du produit dérivé ou manufacturé (par exemple le maïs transgénique est concerné mais pas la farine de maïs). Mais elle l'est moins en ce qui concerne les technologies évoquées et les considérations à apportées aux organismes eux-mêmes.

#### 5.4.5 Compatibilité des moustiques modifiés avec certaines réglementations territoriales.

L'usage de différentes techniques de lutte antivectorielle doit se faire dans le respect des réglementations environnementales. La question de la compatibilité de ces moustiques avec ces réglementations sur certains territoires se pose. Des territoires français ou relevant de juridictions françaises se trouvent dans des parties du monde où les maladies sont présentes, bien plus, actuellement, que sur le territoire métropolitain. Outre la métropole, les règles de droit interne relatives aux OGM ont vocation à s'appliquer dans les Régions et départements d'Outre-mer, mais aussi à Clipperton, Saint-Pierre-et-Miquelon et Saint-Martin. À Saint-Barthélemy, le droit français devrait s'appliquer, mais dans son état antérieur au 21/02/2007 (qui prévoit tout de même l'évaluation des organismes génétiquement modifiés). En revanche, à Wallis-et-Futuna, en Polynésie française, en Nouvelle-Calédonie et dans les îles éparses rattachées aux TAAF, la réglementation française des OGM ne paraît pas applicable. Il faut toutefois préciser que les OGM sont réglementés au titre de la réglementation sur les ICPE<sup>144</sup> en Polynésie française et qu'il pourrait en aller de même à Wallis-et-Futuna. Par ailleurs, l'importation d'animaux GM et, partant, de moustiques GM paraît interdite en Nouvelle-Calédonie. Il faut, enfin, noter qu'en vertu du Protocole de Carthagène, les dispositions françaises relatives aux OGM pourraient être applicables aux collectivités d'outre-mer orphelines de règles de droit applicables aux OGM. Dans tous les cas, la responsabilité de l'État français pourrait être engagée pour non-respect de ses obligations internationales.

La présence du moustique modifié par l'homme, quelle que soit la méthode, interroge face au droit des citoyens, à la souveraineté des États, aux réglementations (droit de l'environnement, territoires, appellations, etc.), aux diffusions transfrontalières, à l'intrusion dans des propriétés privées, etc. On retrouvera des interrogations proches de la coexistence des cultures GM avec des cultures conventionnelles.

---

<sup>144</sup> Installation Classée pour la Protection de l'Environnement.

Se pose la question des responsabilités en cas de problème, d'échec ou d'incident. En cas de commande publique ou privée, comme pour les PGM, la question du retrait des OGM de l'environnement peut se poser. Elle devra aussi être considérée dans les dispositions contractuelles, dans les clauses de cession ou dans les préconisations d'usage en cas de régime d'autorisation.

Une question essentielle se pose : qui est au final responsable des conséquences non désirées ou non prévues d'un lâcher de moustiques modifiés (sachant que ces derniers ne connaissent théoriquement pas les frontières entre États) ?

Enfin, ces objets technologiques soumis à décision publique, peuvent l'être dans des perspectives d'utilisation dans un cadre de politique publique, mais on ne peut écarter l'idée qu'ils soient utilisés par des personnes privées (complexes insulaires, hôteliers, propriétés étendues, domicile, copropriété de lotissements) voire même modifiés autrement, dans d'autres perspectives<sup>145</sup>, ou bien encore de façon malveillante, comme arme. À l'instar de l'achat et du lâcher de coccinelles dans la lutte contre les pucerons, des insectes OGM destinés à la lutte contre les ravageurs seraient employés en dehors de décisions des États.

En annexe, on trouvera un développement sur la responsabilité environnementale appliquée à la problématique des lâchers, concluant à l'insuffisance des cadres internationaux et européens et la nécessité de renforcer un cadre national (annexe 6).

## 5.5 DES ATTENTES DANS LA MOBILISATION DU CALCUL COUTS/BÉNÉFICE ?

L'analyse coûts/bénéfices (ACB) semble un cadre partiellement pertinent et attendu pour aider à l'évaluation des stratégies de santé, que ce soit sur un mode *ex ante* (en prévision) ou *ex post* (pour analyser l'efficacité économique – la rentabilité – d'actions effectivement réalisées). Le monde de la santé est d'ailleurs de plus en plus familiarisé avec les notions de coûts-bénéfices (fondamentales dans l'évaluation des vaccins, médicaments, et campagnes de prévention), mais ce n'est que récemment que ce mode d'analyse s'est implanté pour des évaluations *ex ante*, d'abord au Royaume Uni, et plus récemment en France pour les décisions de politiques de santé.

---

<sup>145</sup> On peut se rappeler ce projet d'un scientifique japonais, de rendre le moustique capable d'injecter une séquence antigénique, permettant de vacciner les populations humaines lors des piqûres.

Dans le cas des atteintes à la santé, une forme de « monnaie commune » pour l'évaluation des fardeaux et gains de santé est souvent utilisée avec les indicateurs « QALY »<sup>146</sup> ou « DALY »<sup>147</sup>. Ils peuvent agréger de façon consensuelle la quantification des années de vies perdues ou altérées par une qualité de vie dégradée<sup>148</sup>. Ils sont d'ailleurs utilisés par les instances de santé pour hiérarchiser les maladies à traiter. Ils deviennent opérationnels pour comparer, a posteriori des maladies entre elles et mesurer l'efficacité de mesures entreprises. Les travaux sur ces indicateurs montrent qu'ils ne sont pas exempts de partis pris peu explicites comme par exemple, sur le plan de l'éthique, la pondération des années de vies perdues par leur « qualité », qui peut faire penser que certaines vies vaudraient moins que d'autres. D'autres bénéfices potentiels pourraient faire l'objet d'une évaluation : les nuisances évitées, qui pourraient être traduites en impact économique ou évaluées par des méthodes contingentes ; les bénéfices de certaines stratégies dans le contrôle social et collectif de la salubrité, la protection contre l'émergence d'autres maladies qui auraient le même vecteur, les impacts sur l'attractivité économique du pays, l'efficacité sur l'absentéisme des élèves, des employés ...

Dans l'établissement des justifications publiques de ce genre de stratégie, il faudra être attentif que les approches qui donnent une valeur économique à la vie humaine sont extrêmement difficiles à manier. Le concept est clivant. Néanmoins, lors d'un arbitrage sur le coût financier d'une action susceptible de sauver des vies humaines, il y a de fait une valeur de la vie humaine, implicite ou explicite qui y est associée.

#### 5.5.1 Remédier à l'absence des modèles techniques ?

Les modèles techniques sont pour l'instant indisponibles. Dans le domaine de la lutte antivectorielle, si l'argument économique devait être mobilisé pour évaluer le bénéfice en termes de santé, il faut déjà résoudre un premier problème : établir le modèle épidémiologique et clinique qui permette d'associer les densités de moustiques et leur répartition avec les impacts sur la santé immédiats et dans le temps. Cela n'a rien à voir avec l'analyse économique, mais sans ces modèles initiaux aucune évaluation n'est possible.

Mais même si ce premier niveau était disponible, passer à l'analyse coûts/bénéfice reste difficile. Des analyses menées dans des cas proches (impacts des espèces invasives et

---

<sup>146</sup> QualityAdjusted Life Year.

<sup>147</sup> DisabledAdjusted Life Year.

<sup>148</sup> Les Daly (*DisabilityAdjusted Life Years* comptabilisent le nombre d'années « perdues » à cause de la maladie, du handicap ou d'une mort précoce. Le Qaly, les pondère de leur « qualité ».

stratégies de lutte) ont montré que l'analyse coûts-bénéfices peut rarement conduire à des prédictions fiables et robustes en termes de choix publics<sup>149</sup>. Les auteurs signalent « que pour mener une analyse coûts/bénéfices, il est nécessaire de disposer d'une distribution réaliste des événements que les politiques cherchent à contrôler ». Dans un contexte de données lacunaires, l'analyse coûts/bénéfices, fondée exclusivement sur un modèle technique, peut conduire à une vision réductrice de la réalité certes économique, mais aussi sociale et éthique du monde. De plus la discussion sur la base de ce type d'approche demande un niveau de technicité qui rend difficile la discussion multi-acteurs et réserve le type de débat dans lesquels elle est centrale à des cénacles déjà rompus à ces analyses.

Ainsi, comme exposé dans le rapport du CEES sur la mise en œuvre de l'analyse socio-économique<sup>150</sup>, l'analyse coûts/bénéfices apparaît très limitée pour être appliquée efficacement dans une procédure d'évaluation *ex ante* de mesures de LAV trop incertaines dans des contextes de questionnements d'alternatives technologiques et sociologiques.

Pourtant, il semble que ces analyses soient réellement attendues par de nombreux acteurs ou décideurs. Déjà, en l'état actuel, des travaux existants sur les méthodes appliquées à la lutte antivectorielle *ex post* concluent à l'insuffisance des travaux d'évaluation et des données, la rattachant au retard de la France en général dans l'évaluation économique de ces politiques de santé (« le retard de la France », (Fontenille *et al.*, 2009). Il est certes possible d'identifier des coûts budgétaires de la lutte antivectorielle dans différents contextes : budgets des ententes départementales de démoustication, ligne budgétaire (*Direction de la recherche, des études, de l'évaluation et des statistiques*). Mais cela n'est qu'une portion faible de l'analyse. Des travaux mentionnés précédemment ont montré qu'un nombre important de facteurs conditionnaient l'efficacité sanitaire de la LAV ce qui obère la capacité à transférer ou comparer les résultats. Le fait de pouvoir émarger, pour les actions, à divers objectifs simultanément (santé et confort) rend l'analyse encore plus complexe. Au vu des dépenses annoncées, on peut néanmoins estimer qu'il n'y a pas de méthodes de contrôle des populations par biocides ou par lâchers qui soient systématiquement et absolument plus efficaces ou moins onéreuses que d'autres (en coûts directs). Mais là encore, comme le

---

<sup>149</sup> THOMAS, Alban ; GOZLAN, Estelle. Question 6. Sur quelles bases, et de quelles manières, conduire une analyse coût/bénéfices intégrant différents scénarios d'introduction et permettant d'appuyer une politique de contrôle raisonnée ? Les stratégies d'évaluation des politiques de lutte contre les espèces envahissantes : inconvénients et difficultés de l'analyse coûts/bénéfices, méthodes alternatives de critères de décision In : *Les espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien : Un risque environnemental et économique majeur* [en ligne]. Montpellier : IRD Éditions, 2006 (généré le 15 septembre 2016). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/irdeditions/7683>>. ISBN : 9782709917759.

<sup>150</sup> Recommandation du CEES relative à la directive 2015/412 et à l'analyse socio-économique et éthique de la mise en culture des plantes génétiquement modifiées, accessible sur le site du HCB.

montrent des études menées sur différents districts de lutte contre les moustiques, les montants affectés par personnes protégées et la répartition des budgets entre biocides, logistique et salaires sont très divers. Ils témoignent de fonctionnements techniques extrêmement divers même au sein de services privilégiant l'usage de « biocides ».

#### 5.5.2 Complexité de la comparaison en raison de la diversité des options en lice.

On pourrait envisager une réflexion sur le coût/efficacité des différentes techniques au regard d'un objectif particulier, partiel. Par exemple on pourrait comparer différents moyens baisser de 95% la population de moustiques. Il n'est pas sûr que ce même seuil obtenu par diverses stratégies soit fiable à des efficacités sanitaires similaires. En ce qui concerne les nouvelles technologies proposées, le faible nombre d'expérimentations et la variabilité des contextes économiques et techniques ne permettent pas de disposer de résultats directement transposables surtout dans les contextes des territoires français.

On peut chercher à réduire le champ de l'analyse en comparant deux types de décisions au regard d'un objectif de santé, afin d'évaluer uniquement les coûts et avantages qui diffèrent entre les alternatives considérées à résultats comparables. Néanmoins, l'épure donnée par la saisine conduit à « comparer » éventuellement des stratégies aussi différentes que la vaccination ou la lutte antivectorielle, voire leur combinaison, ou encore celle reposant sur la limitation des habitats favorables aux moustiques. Un tel questionnement, séduisant en théorie, mais de fait très complexe, serait en outre un contresens. En effet, l'ACB, ou toute autre analyse comparative ainsi menée peut conduire à opposer les stratégies les unes aux autres, fabriquant artificiellement l'idée de stratégies « pures », « exclusives », qui trancheraient avec les cadres stratégiques élaborés par l'OMS par exemple<sup>151</sup>. Ceux-ci prennent en compte des stratégies combinées et identifient par ailleurs des stades différents et des outils à mobiliser sur un chemin, un continuum vers la finalité de ces politiques de santé. Cette finalité se définit comme le fait d'arriver à des territoires exempts de la circulation et de la transmission des pathogènes et où la maladie ne risque pas de réapparaître : plusieurs objectifs simultanés qui imposent d'évaluer sous plusieurs angles. Les maladies et les vecteurs sont variables, mais on doit se référer à des cadres comme par exemple le cadre stratégique de l'OMS pour la lutte contre le paludisme à l'horizon 2030<sup>152</sup>. C'est là qu'une solution biotechnologique exclusive pourrait (ou non) s'imposer seule dans le chemin vers l'objectif final : un territoire exempt de la maladie et non vulnérable à sa réapparition.

---

<sup>151</sup> Il faut probablement chercher à mieux évaluer des politiques que des techniques.

<sup>152</sup> [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/176720/1/9789242564990\\_fre.pdf?ua=1&ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/176720/1/9789242564990_fre.pdf?ua=1&ua=1)

Il semble que les décideurs soient donc condamnés à un certain empirisme, qui n'exclut pas, bien au contraire, de documenter ce genre d'analyses mais a posteriori.

#### 5.5.3 La prise en compte des contributions positives des moustiques et/ou de ses habitats : les milieux préservés en premier.

Les moustiques ont des rôles environnementaux. Dans les cas qui nous occupent, seraient mobilisables :

- la valeur de chaque moustique ou de l'espèce. En fait, la nuisance du moustique lui confère une valeur négative si on essaye de l'approcher par des méthodes indirectes. Mais la valeur intrinsèque des espèces face à une perspective d'éradication est une question complexe. À titre de précaution ou par choix idéologique, nombre de personnes sont hostiles à l'élimination d'une espèce ;
- les services rendus par les moustiques eux-mêmes, que ce soit l'espèce ciblée par la lutte, ou la population de moustiques collectivement impactés par les stratégies : quelques études signalent la faiblesse des rôles écologiques identifiés des moustiques qu'il est difficile de plus de traduire en valeur monétaire. Selon le CS, le rôle écologique de moustiques invasifs, quand ils sont implantés en milieu urbains, est très certainement négligeable ;
- l'essentiel des valeurs associées au moustique est à lier fort probablement à la valeur environnementale de ses biotopes. Les luttes historiques contre les habitats de moustiques ont détruit des environnements précieux ou productifs (marais, lagunes, tourbières, etc.) pour lesquelles existent dorénavant des prises de conscience et des monétarisations particulièrement importantes (essentiellement fondées sur la valeur du carbone, mais aussi parfois sur les contributions à la biodiversité, la chasse, la pêche, la qualité de l'eau...). Elles permettent même de comptabiliser positivement ces milieux dans les richesses naturelles des pays. Même si, actuellement, les indicateurs de richesse collective officiels<sup>153</sup> prennent peu en compte ces milieux, ils émergent dans des dispositifs internationaux importants de comptabilité environnementale<sup>154</sup>. Des stratégies existent donc qui viseraient à éviter les atteintes à ces zones présentent donc un intérêt écologique particulier ;
- la restauration de zones humides (3000 ha par an en France, contre 10000 ha perdus par an), l'engouement pour les mares (il y a de nombreuses actions associatives pour

---

<sup>153</sup> <http://www.gouvernement.fr/partage/8290-rapport-annuel-sur-les-nouveaux-indicateurs-de-richesse>

<sup>154</sup> CF les comptes écosystémiques du capital naturel, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique

la restauration de ces petits écosystèmes) sont majeurs en termes de valeur environnementale. Mais si les régulateurs naturels des populations de moustiques ne sont pas présents dans ces milieux, surtout s'ils sont reconstitués de façon trop artificielle, cela peut favoriser des recrudescences de populations de moustiques<sup>155</sup> dont certains sont potentiellement dangereux.

Il faut aussi prendre en compte le fait que la plupart des évaluations monétaires de ces impacts différenciant les stratégies sont très complexes et toujours au stade d'études.

#### 5.5.4 Des arguments non exclusivement économiques à intégrer.

L'analyse coûts-bénéfices conduit à tenter d'inventorier exhaustivement ce qui concourt à l'évaluation monétaire de la décision projetée pour une décision orientée vers la rentabilité. L'analyse coût/efficacité plus directe, nécessite tout de même d'inventorier les coûts y compris indirects.

Les critères de décision internationaux dans les enceintes comme l'OMS par exemple, sont plus complexes. Ils reposent sur des méthodologies de pondération et d'expertise très opérationnels : les priorités de lutte établies au niveau mondial dans le cadre des Nations Unies ou des dispositifs qui en découlent intègrent des composantes explicitement liées aux impacts socio-économiques, mobilisant des critères et des pondérations qui intègrent des aspects éthiques (prise en compte prioritaire des maladies quand elles touchent des populations défavorisées), socio-économiques (liens aux circulations de biens et de personnes) ainsi que « opérationnelles » (potentiel épidémique, etc.).

On pointera donc que les attentes de rationalisation des approches en termes de santé risquent de conduire à des travaux très complexes pour être applicables à la comparaison des types de lutttes antivectorielles, les catégories de bénéfices et de risques potentiellement pertinents dans les différents outils mobilisables étant très variés. En conclusion, il n'est pas possible en l'état de proposer de calculs avérés qui imposeraient par eux-mêmes les décisions optimales. On peut penser qu'en fait, cette complexité amène à l'indécidabilité directe, conduit à rechercher la négociation et à privilégier essentiellement le résultat sanitaire même au détriment de l'environnement si une attention particulière n'est pas exigée.

## 5.6 CHANGEMENTS INDUITS DU POINT DE VUE ÉTHIQUE.

Le recours aux moustiques modifiés suscite quelques inquiétudes d'ordre éthique. L'ampleur des pertes et dommages dont les moustiques sont la cause n'empêche pas des

---

<sup>155</sup> Cette approche n'est pas valable pour tous les moustiques

réticences de s'exprimer, notamment face à l'emploi d'une technologie qui renouvelle, amplifie et modifie les façons de combattre des insectes mais aussi à terme d'autres espèces animales que l'homme considérerait comme adverses. Dans ce contexte, la référence au principe de précaution, le rejet des OGM en France, ou les préoccupations plus fondamentales sur la relation de l'homme à son environnement se dressent devant l'usage de ces biotechnologies. Cette question n'est pas sans rapport avec les débats précédents sur la « faim dans le monde », les OGM comme le riz doré, ou les interdictions d'usage du DDT. Elle mérite l'attention compte tenu de la disparité des situations entre le Nord et le Sud. Les orientations en matière de lutte contre les moustiques sont habituellement données par les pays du Nord – pays où les débats sur les OGM sont par ailleurs particulièrement vifs.

Outre ces questions d'ordre général sur la place de l'homme dans la nature ou sur la place respective des pays du Nord et des pays du Sud, la balance entre la valeur accordée à la santé et la vie humaines et la préservation de l'environnement, de la biodiversité ne semble pas aisée. Selon que l'on retient les « promesses » de ces techniques ou les doutes dont elles s'accompagnent, la façon d'accepter cette balance et le bilan final changent du tout au tout.

Enfin, autre objet de vives controverses, l'éradication des moustiques dangereux pour l'homme et l'animal, même si elle est considérée comme peu probable par les scientifiques, soulève des questions. Cette « solution définitive », internationale par définition, pose évidemment des problèmes éthiques. Quelle légitimité aurait l'homme à disposer de l'existence d'une autre espèce, et aux seuls motifs de son intérêt propre et alors qu'il existe peut-être d'autres alternatives. À quoi s'ajoute que les moustiques ont peu « d'amis » pour soutenir leur cause. Ce problème n'est pas également perçu par les pays selon la prégnance des maladies sur leur territoire et selon la représentation du statut de la « nature » (cf. la constitution de l'Équateur, la Nouvelle Zélande).

## 5.7 CHANGEMENTS POUR LA DÉMOCRATIE.

La France doit savoir quoi faire de ces alternatives techniques au niveau de ses territoires, mais aussi avoir une doxa en ce qui concerne ses positions dans les organismes internationaux, les coopérations, et les effets de frontières sur ces questions<sup>156</sup>. De nombreuses initiatives de gestion peuvent être prises par des États souverains, des collectivités territoriales, des communautés, des acteurs économiques. L'étendue des effets doit être conforme aux prérogatives des différents niveaux décisionnels. Ainsi, pour soutenir la mise en place de luttes génétiques, Lavery et ses collaborateurs écrivent en 2008 (Lavery et al., 2008) qu'il est

---

<sup>156</sup> Des éléments existent par exemple, en droit international *via* les Protocoles liés à la Convention sur la Diversité Biologique.



nécessaire de rendre les moustiques GM légitimes avant d'envisager toute expérimentation. Leur recommandation aux porteurs scientifiques des projets est de passer par une collaboration avec les instances décisionnaires des plus hautes (organisations supranationales, États), aux plus locales (districts, municipalités), dans une approche top-down. Ici, la légitimité est celle issue de la démocratie délégative ; elle ne se mesure pas à l'acceptation des populations locales. Il convient de rappeler que si ce modèle est celui qui est dominant depuis plusieurs décennies, il n'en demeure pas moins qu'il est largement remis en question (Callon et al., 2001). L'introduction d'une nouvelle technologie susceptible de bénéfices pour la santé publique (celle des pays du Nord comme celles des pays du Sud) pourrait bousculer certaines règles de décision d'une démocratie. Dans un contexte déjà traversé par de nombreuses controverses sur les OGM et les tensions entre État, professionnels et société civile, la possibilité d'introduire des moustiques modifiés ne va pas de soi et les introductions récentes de moustiques GM tendent à confirmer ces enjeux :

- dans certains cas, de nombreuses ONG ou associations locales, plutôt hostiles aux modifications génétiques ou impliquées dans la protection de l'environnement, se sont, on l'a vu précédemment, émues de décisions prises unilatéralement par les pouvoirs publics, sans respecter les engagements de consultation de la population, comme dans les îles Caïman<sup>157</sup> ou en Malaisie<sup>158</sup>. Se pose aussi la question du respect des choix individuels, le moustique s'imposant à tous les riverains, sans limites de propriétés. Enfin, malgré les avis officiels favorables à la conduite d'expérimentations, certaines populations mobilisées refusent d'être considérées comme : « des rats de laboratoires » (*sic*) dans une expérimentation de santé ;
- dans d'autres cas, comme pour le projet de diffusion de moustiques transgéniques en Floride (projets suivis par la FDA), des organisations environnementales se sont opposées à ces moustiques, soutenant l'alternative *Wolbachia*. Enfin, des associations

---

<sup>157</sup> Rappel : une action en justice a été intentée contre les expérimentations de lâchers de moustiques OX513A de la société Oxitec. Après la décision de justice rendue en faveur du lâcher, l'ONG américaine Institute for responsible technology (IRT), spécialisée dans la veille et l'information critique sur les OGM, a entamé une action demandant que les alternatives comme les moustiques *Wolbachia* soient portées à la connaissance des populations concernées par les moustiques GM utilisés, afin que le choix des technologies employées ne relève pas de conflits juridiques, mais de la prise en compte de l'opinion publique. Les débats se sont donc publiquement engagés au début du mois de février 2017.

<sup>158</sup> Rappel : en 2010-2011, Oxitec a effectué des lâchers de MGM OX513A en Malaisie. La condition préalable à ces lâchers était que ces moustiques soient acceptés localement – ou au moins légitimés. Après avoir conclu un accord avec le Gouvernement, puis avec les diverses institutions impliquées dans la décision du lâcher de moustiques, Oxitec a organisé une information auprès de la « communauté locale », avant d'effectuer ses premiers lâchers (Lacroix et al., 2012). Or, l'effet et la portée réels de cette information à la population locale ont été trop faibles. Une association, qui a jugé les lâchers de MGM illégitimes, s'est mobilisée contre (Consumers' Association of Penang and Sahabat Alam Malaysia).

de protection de la nature ont été consultées en Nouvelle-Calédonie dans la perspective d'une utilisation expérimentale de moustiques « *Wolbachia* ». Elles ont préféré, parmi les différents scénarios recourant à la technologie *Wolbachia*, ceux qui visent à éliminer les virus sans éradiquer les moustiques. Si cette solution préserve la présence des moustiques, elle laisse en suspens deux incertitudes : les moustiques restants sont des vecteurs potentiels ; leurs femelles restent « nuisantes ». Mais les responsables de complexes touristiques, soucieux du confort de leur clientèle, ne choisiraient sans doute pas cette option. Certains se sont déjà prêtés à des expérimentations d'élimination des moustiques « nuisants », grâce à des moustiques modifiés ;

- enfin, l'image et la réputation des territoires concernés par les lâchers pourraient être affectées. Ces préoccupations seront particulièrement présentes dans les zones touristiques (qui peuvent aussi se prévaloir de l'impact négatif des nuisances) ainsi que dans les zones de production agricole « bio ». Les certifications « bio » dans les zones de lâchers d'insectes GM dans la lutte contre les ravageurs pourraient être menacées (Ryffel, 2017)). L'ingestion de moustiques modifiés *via* les productions agricoles a par ailleurs suscité un débat<sup>159</sup>.

Ces débats et, parfois leur vivacité, montrent que la diversité des points de vue de la société civile doit être prise en compte. La confusion des rôles entre promoteur de la technique et « pédagogue » suscite des interrogations, y compris quant au positionnement des autorités publiques et des agences d'expertise.

---

<sup>159</sup> L'association Genewatch a produit un rapport critique sur les moustiques GM mettant en avant l'insuffisance de la prise en compte de l'ingestion dans les études de risque.

## 6 ÉLÉMENTS POUR UNE RECOMMANDATION.

Nous assistons à l'émergence des techniques de lutte *via* des organismes vivants modifiés ou interagissant génétiquement ou reproductivement avec leurs congénères. Ces principes de lutttes ne seront pas limités aux seuls moustiques. Les mêmes techniques sont prêtes contre certains ravageurs agricoles. Le GT du CEES s'est focalisé sur les effets sociaux, éthiques, réglementaires et socioéconomiques de la mobilisation de ces outils biotechnologiques et tout particulièrement sur la gouvernance et la mise en œuvre de programmes publics de lutte antivectorielle.

### 6.1 EN SAIT-ON ASSEZ POUR DÉCIDER ?

Les investigations menées montrent qu'il n'y a pas de certitudes que ces technologies puissent apporter de succès radicaux. Mais la possibilité de sauver de nombreuses vies humaines interdit d'écarter a priori ces propositions. Quelques expérimentations ont montré des résultats prometteurs. Les enseignements de ces expérimentations amènent à se poser des questions sur le cadre politique de décision tant sur le plan de l'expérimentation que de leur utilisation opérationnelle.

Il semble au GT qu'on ne peut pas adopter, devant l'émergence de ces propositions, de posture passive : le vide juridique<sup>160</sup> ou le laisser-faire ne sont pas des cadres de (non)décision acceptables. La sensibilité des publics sur ces technologies oriente le débat public vers les arguments dorénavant classiques de contestation des OGM d'une part ; sur des tensions entre des régimes de justification différents d'autre part (santé publique *versus* environnement par exemple). Ceux-ci ne donnent en l'état pas de légitimité absolue au choix de l'utilisation ou la non-utilisation de ces moustiques.

Pour le GT, le CEES, saisi, doit proposer des éléments technico-administratifs permettant la poursuite des expérimentations et la validation des résultats, l'incorporation des expériences étrangères à des fins d'expertise et l'harmonisation des positions techniques et réglementaires à de très nombreuses échelles, de locales à internationales. Mais en raison de la sensibilité à l'égard des technologies employées et des enjeux de santé, une réflexion sur ces nouveaux moustiques, sur l'évolution des cadres réglementaires et sur les débats à conduire avec les populations concernées est nécessaire. Dans les expérimentations étrangères, des termes de débats assez clairs sont déjà identifiables. La société civile doit

---

<sup>160</sup> Pour les juristes, la notion de vide juridique est controversée puisqu'en l'absence de droit spécifique, le droit commun s'applique. On retiendra que cette notion correspond pour le lecteur moyen au cas où il ne lui est pas facile d'identifier un droit applicable, assez spécifique pour être a priori pertinent.

pouvoir comprendre et débattre non seulement de ces outils, mais aussi des projets de santé qui les justifient.

Les projets techniques devraient donc être :

- traitables par les cadres réglementaires, quitte à les faire évoluer ;
- discutables par les populations concernées, avec des cadres d'évaluations clairs sur les enjeux de santé, d'environnement, de gouvernance et de trajectoires d'innovation pour les évolutions proposées ;
- ouverts aux nouveautés biotechnologiques qui feront foisonner les premières pistes actuellement proposées ;
- intégrables dans des dispositifs qui respectent les exigences de démocratie que suscitent puissance et haut degré de technicité de ces solutions technologiques ;
- prémonitoires pour le déclenchement de réflexions éthiques et donc juridiques à propos de l'influence de ces nouveaux outils biotechnologiques sur la conception de la nature et de son contrôle dans les projets humains.

## 6.2 DES CRITÈRES POUR UNE DÉCISION ÉTHIQUE.

Ces innovations suscitent des réflexions éthiques sur les conflits de priorités et de représentations, réflexions dont l'urgence est accrue par le fait que ces technologies sont en passe d'être généralisées à d'autres secteurs, avec une vision utilitariste de la nature et des inégalités des sociétés devant ces moyens technologiques.

Mettre en débat publiquement le recours aux moustiques modifiés, renouveler les modalités d'expertise pour situer ce recours dans la panoplie des moyens de la LAV et préciser comment et pourquoi les décideurs pourraient mobiliser ce nouveau moyen d'action, tout cela est nécessaire mais non suffisant : malgré la technicité des solutions, malgré les éventuelles délégations de service public, les populations doivent continuer à percevoir une « politique de santé », et pas seulement une prestation dont chacun serait le bénéficiaire passif.

1. Il faut porter une grande attention aux dissonances éthiques ou politiques induites par le recours à des moustiques génétiquement modifiés : les décisions devraient être prises en cohérence avec les options retenues dans d'autres domaines et qui auront fait leur preuve. Ainsi le choix de recourir aux moustiques GM sera une décision cohérente dans un État où l'agriculture GM est déjà une option. Dans d'autres contextes, les finalités de santé peuvent

amener l'opinion publique à être plus favorables à ces solutions OGM dans ces cas précis sans que ce soit pour autant la porte ouverte à une généralisation.

2. La décision doit être acceptée par des parties prenantes et, à tout le moins, par des populations des territoire concernés. Pour la rendre acceptable, trois conditions au moins doivent être satisfaites : une information doit être donnée et elle doit l'être de manière accessible, loyale, complète, précise ; le retour d'expérience doit être loyal et ouvert ; la décision retenue doit répondre aux attentes explicites (les moustiques sont effectivement contenus, supprimés, éradiqués) et implicites (elle doit s'accorder avec les convictions comme avec les pratiques de la population – quitte à les réviser<sup>161</sup>).

3. La décision doit être partagée : non seulement elle doit avoir pour préalable l'accord des populations, mais le suivi de la décision doit aussi être relayé par les populations (comités de pilotage, comités de quartiers, par exemple). Une décision acceptable doit être une décision partagée, sans effacer, estomper ou dissoudre la responsabilité du promoteur qui doit demeurer identifiable. La « co-construction » de cette stratégie sanitaire peut devenir une façon de respecter ces enjeux.

4. La décision doit être révisable, soit que les impacts ne répondent pas aux attentes, soit que les réticences deviennent des obstacles, soit que les conséquences non voulues ou non prévisibles produisent plus de nuisances que celles l'on cherchait à endiguer ou réduire.

5. Des formation et information loyales, accessibles et précises doivent être données aux différents personnels chargés d'élaborer, de disposer, d'épandre, de surveiller le dispositif retenu.

### 6.3 FAUT-IL UN CADRE UNIFIÉ SPÉCIALISÉ POUR CES MOUSTIQUES MODIFIÉS ?

Mobiliser des outils pour la LAV pose la question de leur évaluation préalable, de leur portée et des conditions d'usage, et de savoir si une seule évaluation englobe suffisamment les différents contextes d'usage ou si des obligations particulières doivent être mises en œuvre différemment suivant les contextes.

---

<sup>161</sup> « (...) la communication, pour être efficace, devrait se concevoir comme un produit dérivé des connaissances propres à une situation à risque donnée, dans un contexte donné. Celles-ci portent sur les perceptions par le public, à la fois du risque vectoriel et des bénéfices/risques de la lutte antivectorielle. Il se peut, par exemple, que les « croyances » de la population aillent à l'encontre de la réalité scientifiquement prouvée : lors de l'épidémie de chikungunya de 2005-2006, à La Réunion, une enquête réalisée en mai 2006 a révélé que près de 25% de la population doutait de l'affirmation selon laquelle le moustique en était la seule cause (...) », D. Fontenille et al., La lutte antivectorielle en France, Marseille, 2011, p. 102-103.

Les outils actuellement utilisés dans la LAV sont réglementés par diverses dispositions. C'est le cas des biocides. La LAV étant un usage parmi d'autres, les arrêtés de mise en œuvre des biocides visent les règlements biocides et précisent des conditions spécifiques à la LAV d'information, de rendre compte, d'évaluation des actions entreprises.

Pour les moustiques modifiés, la question de l'évaluation des conséquences de la dissémination de l'insecte modifié se pose. L'évaluation par rapport à son usage dans un contexte de LAV définit des questions supplémentaires par rapport à ses impacts comme OGM car ces insectes modifiés sont proposés pour réguler, biocontrôler leurs congénères.

Est-il donc souhaitable d'unifier les évaluations liées à la dissémination d'OGM, celles liées aux impacts sanitaires et environnementaux du projet de LAV et celles qui mettent en jeu la régulation de populations d'organismes sauvages ou bien faut-il procéder à des évaluations distinctes ? À l'analyse, les enjeux liés à la modification génétique et donc aux risques de la dissémination d'OGM, relèvent d'univers de pensée différents de l'interaction volontaire avec les populations d'insectes sauvages. Un cadre unifié de validation technique des projets et de leurs outils pourrait être envisagé, mais au risque de « tout traiter » et de mal traiter. En outre ce cadre serait à créer.

On pourrait au contraire considérer qu'évaluer ces moustiques sur la base de réglementations différentes en fonction des technologies qui les ont créés d'un côté, et de la finalité des stratégies au service desquelles ils sont employés de l'autre, pourrait simplifier l'identification des concepts d'évaluation à employer.

On peut donc envisager un cadre qui justifie, par deux moyens disjoints, les décisions administratives de mise en œuvre et leurs conditions :

- d'une part les caractéristiques intrinsèques de l'outil et des disséminations avec une analyse des risques liés aux modifications ;
- d'autre part la finalité de sa mise en œuvre, le contrôle d'une population de vecteurs.

Il semble en effet que rien n'existe sur le plan réglementaire qui soit bien aligné avec ces nouvelles utilisations et que ce problème d'inclusion réglementaires de nouveaux objets techniques ou technologiques par les cadres existants se pose aussi ailleurs :

- l'OCDE avait élargi le champ des biopesticides aux phéromones, ce qui était déjà un éloignement conceptuel par rapport à la notion de 'destruction' (car les phéromones ne font que changer le comportement des espèces cibles, afin qu'on puisse les détruire ou les contrôler) ;

- l'OCDE a aussi des recommandations pour les macrobiote/invertébrés (qui eux sont ennemis naturels).
- le cadre du médicament vétérinaire est un peu difficile à apprécier même si le contrôle du vecteur est un contrôle indirect de la maladie. Mais l'insecte lui-même n'est pas malade. Il commence à y avoir de telles indications pour les anti-tiques (où le médicament a maintenant une indication de prévention des maladies transmises). Ceci donne un cadre scientifique solide mais de ce fait assez lourd, lent et coûteux (et des exigences adaptées seraient à définir pour les moustiques) ;
- l'utilisation d'animaux pour délivrance d'organismes vaccinaux (comme ou pourrait considérer la bactérie symbiote qui « vaccinerait » le moustique contre le pathogène) serait tout à fait dans le cadre des réglementations pour les médicaments vétérinaires mais à ce jour il n'y a rien qui permettrait de définir les données nécessaires à l'évaluation, tout serait à construire.

#### **6.4 CLARIFIER LES RESPONSABILITÉS SUR CES INNOVATIONS EN FRANCE.**

Les collectivités territoriales et l'État disposent en France de compétences distinctes dans la LAV. La législation française distingue deux temps distincts dans la prise en charge de la lutte antivectorielle : le Conseil Général en période épidémique (sauf exceptions), l'État en période inter-épidémique. Dans tous les cas, l'État prescrit les techniques à mobiliser dans le cadre de la LAV. Comment peut-il actuellement prescrire l'utilisation d'outils aussi sensibles politiquement à des collectivités responsables de la mise en œuvre ?

En outre, entre deux épisodes épidémiques, le risque d'épidémie n'est plus perçu comme une menace forte : l'investissement nécessaire pour contenir un risque peu palpable ne s'impose pas aux yeux des populations. Cela a fréquemment conduit à la démobilisation des institutions (Chateauraynaud, 2011) (Doré and Barbier, 2015). Comment alors justifier l'usage d'outils politiquement sensibles qu'il faudrait mettre en œuvre en période « calme » ? Un effort soutenu d'explications est nécessaire.

En tout état de cause, le principe que toute action de LAV, expérimentale ou pas, passe par un arrêté préfectoral, permettrait de clarifier, lors de son instruction, les exigences, les procédures, les réglementations auxquelles sont adossées les procédés, les suivis et les responsabilités.

#### **6.5 NE PAS NÉGLIGER LES DIVERS ENJEUX DES TERRITOIRES ET LES LIMITES DU DROIT.**

Si la politique sanitaire recourt à des lâchers de « nouveaux » moustiques, elle devra prendre en compte certains éléments des territoires. Les stratégies de suppression et

d'éradication supposent le plus souvent la disparition des moustiques modifiés lâchés, une fois qu'ils ont rempli leur fonction : les stratégies sont dites « self-limiting ». Mais les lâchers doivent être répétés dans le temps : cette image de territoire « OGM » peut poser un problème de cohérence. En effet, quelle serait la conséquence sur l'image des productions en agriculture biologique de cette région ? Faudra-t-il gérer les calendriers et les lieux de lâchers, en fonction des calendriers agricoles ? Quel serait également l'impact économique sur ces filières biologiques et sur le tourisme ? Ces questions sont celles qui se posent déjà à propos de la coexistence des cultures GM et biologique, avec la question de la répartition des coûts de séparation. Mais elles se posent ici dans un cadre nouveau si bien que l'on est conduit à ne pouvoir raisonner que par analogie :

- pour les moustiques de type *Wolbachia*, et qui auraient vocation à survivre, il est indispensable de clarifier le statut OGM ou non de cette technologie<sup>162</sup> ;
- pour les moustiques OGM « à durée d'existence limitée et sans descendance », la compatibilité de cette présence temporaire d'organismes OGM circulant, avec les productions bio par exemple, doit être discutée sur le terrain.

Les lieux concernés par d'éventuels lâchers de moustiques génétiquement modifiés sont parfois aussi des territoires protégés (parcs naturels nationaux et régionaux ; aires Natura 2000 ; etc.). Par exemple en Languedoc, ce zonage environnemental est très important et représente une contrainte forte pour les actions des EID. Le cas des parcs naturels nationaux et régionaux en est une bonne illustration juridique. L'article L. 335-1 du Code de l'environnement dispose, en effet, que « les parcs nationaux et les parcs naturels régionaux peuvent, avec l'accord unanime des exploitants agricoles concernés, exclure la culture d'organismes génétiquement modifiés sur tout ou partie de leur territoire, sous réserve que cette possibilité soit prévue par leur charte ».

Nonobstant la difficulté pratique de réunir les deux conditions susmentionnées, la disposition concerne la seule introduction de culture d'OGM, par exemple celle du maïs. Sans doute, la tentation de l'étendre à l'élevage d'animaux GM sera-t-elle forte. Si la règle vise à préserver des espèces agricoles de toute pollution génétique, il n'est pas certain qu'elle puisse être mise en avant pour s'opposer à l'introduction d'insectes à des fins sanitaires (la même problématique émerge actuellement aux US -Ryffel, 2017). En sens contraire, on pourrait arguer que la mesure vise à préserver le patrimoine génétique propre aux aires concernées quelle que soit la destination d'espèces OGM.

---

<sup>162</sup> Rappelons qu'en Floride, les opposants aux lâchers de moustiques OGM ont invoqué l'existence de l'alternative « *Wolbachia* » ...



Les élus locaux (conseils généraux chargés de la mise en œuvre de la lutte antivectorielle définie par l'État, mais aussi maires et communautés de communes potentiellement concernés par la valorisation de leur territoire), se trouveront dans l'embarras pour connaître leurs droits à s'opposer localement à des lâchers de moustiques génétiquement modifiés ou en conditionner l'usage.

## 6.6 ÉLÉMENTS TECHNIQUES À RENDRE ACCESSIBLES POUR DES DÉBATS ÉCLAIRÉS.

### 6.6.1 Prendre en compte l'évolution des politiques de protection de l'environnement.

Pour le CS, l'évaluation environnementale dans le cadre de la Directive 2001/18 couvre a priori l'étendue des questions que posent ces moustiques. Mais les moustiques modifiés arrivent dans un contexte de prise en compte de l'environnement lui-même en évolution : la protection de la nature est à la fois une question scientifique et un sujet sociétal.

La lutte intégrée contre les moustiques vecteurs fait l'objet de très nombreux travaux dans le monde. Elle est étroitement liée aux différentes pratiques agricoles : dans des paysages agricoles, largement modifiés par l'homme, lutter contre les moustiques n'est qu'une composante particulière. Lutter contre un moustique afin de contrôler sa population (stratégie d'insectes stériles par exemple) ne pose pas de problème particulièrement nouveau. Les luttes antivectorielles chimiques, biologiques ou physiques n'ont pas provoqué de grands débats dans les années 1960<sup>163</sup>. Mais après des décennies de silence, des voix se sont néanmoins élevées dans les milieux scientifiques et la société civile a été associée aux décisions<sup>164</sup>. La réduction des conséquences écologiques de la lutte contre les moustiques fait dorénavant partie des préoccupations sociales.

Ainsi la prise en compte des conséquences écologiques, directement ou au nom des engagements collectifs dans la préservation de la biodiversité, a déjà largement remodelé les conditions légitimes d'usage des produits biocides employés (lesquels, comment et où)<sup>165</sup> ce qui s'impose par exemple aux EID, et constitue aussi la compétence de leurs agents. L'usage des moustiques modifiés ne peut pas échapper à ces préoccupations.

---

<sup>163</sup> Dupé S (2015b) : « Séparer les moustiques des humains. Co-production d'un nouvel ordre socio-naturel en contexte post-colonial. » Thèse de doctorat, Université de La Réunion

<sup>164</sup> La société civile s'est mobilisée contre les insecticides, et cela doit être pris en compte dans les choix politiques, Door J.P., Blandin M.C. (2010) : « Rapport sur mutation des virus et gestion des épidémies. », n° 2654 n° 581. Assemblée Nationale Sénat. « Ce projet a pour objectif de trouver une alternative à l'utilisation des insecticides dont l'impact sur l'environnement est de plus en plus critiqué »

<sup>165</sup> Par exemple, Natura 2000 et les circulaires du ministère en charge de l'Environnement encadrent la pratique de la démoustication par les EID

La suppression d'un être vivant est dans l'absolu une action « anti environnementale » qui doit, dans le cadre réglementaire français, et dans la plupart des États être justifiée (elle ne peut être gratuite). Selon certaines prises de position, et sur le plan juridique, l'éradication volontaire d'une espèce pourrait être assimilée à un écocide. Ces courants de pensée contestent la légitimité de cette éradication, même quand la pullulation de cet être vivant est une conséquence directe de l'action de l'homme, même quand cet être vivant est considéré comme nuisible ou nuisant. Le moustique a peu d'amis chez les hommes, et les virus, malgré des rôles écologiques, régulateurs, etc. scientifiquement indéniables, à peu près aucun. Mais il n'est pas possible de prendre de telles décisions en catimini et sans interroger. Ainsi, des associations environnementales interrogées dans le projet *Eliminate Dengue* de Nouvelle-Calédonie donnent la préférence au scénario qui préserve le moustique et élimine le virus. Et les débats en cours aux îles Caïmans donnent les mêmes résultats. Si virus et moustiques sont habituellement considérés comme également nuisibles, les personnes ou les sociétés n'accordent pas la même valeur aux uns et aux autres : les virus auraient une valeur moindre que les moustiques.

#### 6.6.2 Documenter le rôle du moustique dans les écosystèmes

En écologie, dans les modalités réglementaires actuelles en Europe et en France, les modifications apportées par l'homme se jugent par rapport à un état de référence<sup>166</sup>. Est-ce l'état d'« avant » l'irruption d'un moustique considéré comme invasif ou est-ce l'état « encore plus avant » d'un moustique qui, éliminé un temps, retrouverait une aire historique transitoirement abandonnée ? Dans le domaine de l'aménagement, et cela fournit une piste possible, l'obligation (codifiée aux articles L.122-3 et L.122-6 du Code de l'environnement et L.121-11 du Code de l'urbanisme) est légalement faite aux maîtres d'ouvrage d'éviter de réduire et de compenser (ERC) les atteintes aux milieux naturels. Une telle hiérarchie est-elle nécessaire pour s'attaquer aux moustiques ou l'impératif de santé publique permet-il de s'en passer ? Dans la LAV classique, ces impératifs sont progressivement venus s'opposer à des actions trop fortes ou radicales sur les milieux, sans pour autant trouver le formalisme ERC.

Quel peut être le rôle écologique des moustiques ciblés ? Des travaux pourraient utilement être menés sur les « services écosystémiques » rendus par ces insectes, alors que cette question est jusqu'à présent peu investie, ou qu'elle est focalisée sur des écosystèmes très particuliers (taïga, zones humides). Le but serait d'une part de répondre aux débats dans la

---

<sup>166</sup> Une référence très explicite sur ces questions d'état de référence est la directive cadre sur l'eau (directive 2000/60) et ses textes d'application.

société, d'autre part éventuellement de savoir quoi compenser. Pour l'essentiel, les débats « écologiques » portent sur le rôle trophique<sup>167</sup> des moustiques. Mangés (adultes consommés par les oiseaux, les chauves-souris, etc., larves représentant des parts non négligeables de la biomasse aquatique, consommées par les poissons, les libellules...), ils représentent une ressource dans les étapes des cycles de vie d'autres espèces. Mangeuses, les larves de moustiques épurent les eaux de nombreux petits organismes et particules. Les moustiques rendent des services écosystémiques : certains moustiques, tout comme les abeilles, les bourdons, les syrphes, etc. peuvent également être les pollinisateurs spécifiques de plantes. Par leur rôle de vecteur de maladies, ils régulent certaines populations animales ; les virus ont en effet une place majeure dans la limitation des populations d'animaux. Le rapport sur le *Gene drive* de l'Académie des sciences américaine<sup>168</sup> montre par exemple le rôle de zoonoses véhiculées par des moustiques sur des populations de corvidés aux États-Unis (ce rôle n'est pas une régulation de ces corvidés, mais des atteintes à leur population). L'éradication desdits moustiques pourrait conduire à des changements écologiques dans des compartiments initialement insoupçonnés.

Mais dans les argumentaires souvent échangés, l'un d'eux est rarement évoqué : le fait que les moustiques sont aussi nuisants pour la faune. Par exemple éradiquer les moustiques responsables en métropole de la propagation du West Nile, serait utile pour les hommes mais aussi pour les chevaux.

Les projets de LAV mobilisant des moustiques modifiés devraient au moins préciser explicitement s'ils entraînent de telles conséquences et comment elles sont prises en compte.

### 6.6.3 Éclairer les risques liés à la capacité adaptative des moustiques et des pathogènes

Les populations d'insectes montrent de fortes capacités à contourner ou à s'adapter aux pressions d'élimination. Leur nombre, leur grande descendance, la rapidité du cycle intergénérationnel sont des facteurs d'adaptation rapide. Il faut dès lors anticiper les moyens par lesquels les populations de moustiques peuvent échapper aux stratégies les plus efficaces. Les experts interrogés rappellent que c'est là la source majeure de disqualification possibles de solutions supposées initialement radicales. Le devenir des modifications héréditaires est peu prévisible et en tout cas, on a peu de recul. De nombreux mécanismes d'adaptations comportementales, physiologiques, écosystémiques des moustiques sont décrits ou sont à découvrir. Ces nouvelles technologies n'y échappent pas. Les contextes d'utilisation et les

---

<sup>167</sup> Participation à la chaîne alimentaire

<sup>168</sup> <http://nas-sites.org/gene-drives/>, <https://www.nap.edu/catalog/23405/gene-drives-on-the-horizon-advancing-science-navigating-uncertainty-and>

dynamiques des vecteurs, leurs adaptations potentielles et l'évolution des maladies doivent être caractérisés au maximum avant les lâchers.

#### 6.6.4 Porter une attention importante aux sujets auxquels la population est particulièrement sensible

En l'absence de réponse simple à l'ensemble des questions qui la touchent, la population pourrait nourrir une défiance profonde. Et dans ce genre de cas, il n'y a pas de question inutile.

Prenons en exemple les questions qui ont été soulevées par le fonctionnement du gène de létalité RIDL. Réprimé par l'antibiotique pendant l'élevage du moustique OX513A, le gène peut être devenu inactif par altération de la construction génétique éventuellement lors des événements reproductifs en insectarium. Les mâles lâchés en milieu naturel portent alors une construction génétique modifiée, mais qui ne s'exprimera pas dans leurs descendants et ne produira pas leur mort même en absence d'antibiotique. La descendance comportera des femelles porteuses de ces dispositifs génétiques non opérationnels mais dont le devenir n'est pas connu. Or elles sont susceptibles de piquer les humains ce qui accroît l'inquiétude des populations. Restera donc dans la population de moustiques une forme de « pollution génétique » dont il importera de tenir compte pour l'analyse des risques associés, pour la qualification de cet événement sur un territoire initialement dépourvu d'OGM et pour l'information de la population. Le fait qu'un antibiotique soit associé à ce moustique est porteur aussi de questions : il peut être associé dans les débats, à tort, aux questions sur l'usage de gènes de résistance à des antibiotiques pour la sélection des premiers OGM. Ces questions ont conduit à des positions réglementaires excluant la dissémination de ce genre de gènes. Sur le plan de cette sensibilité, on pourrait même regretter que ce soit un antibiotique qui ait été choisi comme régulateur de l'expression de ce gène même si c'est pertinent sur le plan technique.

Dans les expérimentations (Malaisie, Brésil, Floride), on a pu constater une grande sensibilité des populations à l'évocation d'un risque de persistance de l'OGM dans l'environnement avec des inquiétudes sanitaires ou écologiques, conduisant à une hostilité vis-à-vis de la technique. On peut aussi noter que le moustique GM en question a été pourvu d'un gène de fluorescence permettant à la population ou à un système de surveillance organisé de tracer la présence ou l'absence des insectes en question. Mais c'est également une « modification génétique » de plus à évaluer : ce moyen de traçage, forme d'étiquette moléculaire est déjà un sujet sensible.

Autre exemple : dans des projets d'insectes génétiquement modifiés, concernant des ravageurs agricoles, la létalité issue de la modification ne touche que la descendance femelle. Les mâles modifiés ont donc une descendance mâle, porteuse du gène modifié, ce qui n'est

pas le cas pour le moustique d'Oxitec. Or le fait qu'il n'y ait pas de survie est une des « garanties » donnée par Oxitec sur ses moustiques. Il y a déjà eu des confusions dans les débats sur le terrain entre ces particularités techniques, ce qui ne clarifie pas la situation. Les informations apportées doivent donc être particulièrement éclairantes.

Bien sûr, les populations sont extrêmement sensibles aux risques et au sens profond que revêtent les projets de modifier le vivant et il faut aussi accepter d'aller sur ces thèmes-là dans les débats associés à ces outils technologiques.

#### 6.6.5 Préciser les échelles temporelles et territoriales des projets ainsi que la distribution des compétences

##### **6.6.5.1 Échelle territoriale**

Le territoire visé par l'action de lutte est un élément important pour définir le cadre réglementaire et opérationnel (les conditions d'utilisation ainsi que les risques et les bénéfices attendus). Les produits toxiques, les modifications d'habitat, les pièges, sont circonscrits au lieu de leur mise en œuvre. Les réglementations correspondantes prennent théoriquement en compte les zonages environnementaux et permettent de réserver l'action aux zones prioritaires (habitation, élevages, etc.) bien que dans de nombreux cas de crise, l'épandage à grande échelle soit mis en œuvre. Il en est de même des moustiques engagés dans les stratégies d'insectes stériles, peu véloces et peu voués à proliférer. Un moustique modifié peut légèrement dépasser les limites du territoire d'application mais probablement pas se répandre de son seul fait. Il peut toutefois se déplacer *via* les modes de transport des humains. La portée territoriale d'arrêtés de LAV est donc globalement adaptée aux stratégies « auto limitées » mais il faut préciser les conséquences (ou pas) de ces échappements éventuels.

En revanche, les stratégies de modification des vecteurs, ou d'éradication par voie génétique (*Gene drive*) vont relever d'analyses et de décisions dépassant le cadre des États, dans le sens où elles ne vont pas s'étendre à un territoire défini mais à une population de moustiques ne connaissant pas de limites administratives et pouvant se diffuser<sup>169</sup>, le temps aidant, plus largement. Un tel moustique modifié lâché, s'impose à tous : il ne laisse pas de choix (comme celui dont dispose le consommateur dans un contexte d'étiquetage des produits). C'est une composante importante à prendre en compte pour identifier les niveaux auxquels l'évaluation doit être soumise et les engagements (comme le Protocole de Carthagène) qui sont à respecter.

---

<sup>169</sup> Fontenille cite l'île de Saint-Martin, partagée entre les Pays-Bas et la France. L'île n'a qu'un seul aéroport dépendant d'un seul État. Et les États n'ont pas la même politique sanitaire. Quid du moustique qui sortirait de l'un pour aller dans l'autre ?

Des questions juridiques très différentes enfin se poseront si l'on vise une autorisation de mise en marché (comme un produit sur étagères que certains pourraient décider d'utiliser de leur propre chef, où qu'ils soient). Même si les conditions actuelles autour de la LAV ne tendent toutefois pas vers ce type de mise en œuvre, on peut envisager des individus décidant d'utiliser de tels moustiques dans leur propriété, que ce soit pour des raisons de santé ou de confort. C'est d'ailleurs d'une certaine façon le cadre technique choisi par l'université Monash qui enrôle écoliers et habitants pour faire éclore les moustiques, même si les lâchers réalisés par les habitants participent à un projet de santé commun.

La puissance publique sera *in fine* certainement amenée à juger d'un cadre pertinent, et si ce n'est pas pour les moustiques, cela sera probablement en question rapidement pour la lutte contre les ravageurs.

#### **6.6.5.2 Échelle temporelle**

Au vu des éléments développés ci-dessus, le temps intervient à des niveaux divers dans les luttes antivectorielles et les projets devraient expliciter le rôle de chaque outil et les décisions correspondantes.

Le premier temps est celui du moustique et de son renouvellement générationnel. Bien qu'ils soient publicisés à l'occasion de crises épidémiques, ils répondent à des stratégies à long terme.

Le second temps est celui du pathogène : ainsi, des travaux ont montré qu'il faut quatorze jours à un moustique Tigre infecté par le Zika pour devenir infectant, ce qui définit l'usage d'instruments de crise.

Le troisième temps est celui de l'immunité des populations humaines : pour certaines maladies, les populations exposées acquièrent une immunité qui forme un obstacle à la circulation massive du pathogène. Ainsi, les populations exposées une première fois au Chikungunya ou au Zika n'ont pas connu de deuxième crise. En outre, des travaux ont annoncé la fin de l'épidémie actuelle de zika<sup>170</sup>, et une probable période d'environ dix ans sans retour de l'épidémie. Prendre en compte ces effets différés peut justifier des stratégies peu compréhensibles pour les populations.

Le quatrième temps est celui de l'action sur les moustiques : d'« une génération de moustiques » pour les stratégies de stérilité, à « presque l'éternité » pour les modifications génétiques de compétences de populations de moustiques. Les solutions orientées vers le

---

<sup>170</sup> Fin de l'épidémie annoncée en Octobre 2016 en Guyane.

contrôle des populations de vecteurs impliquent la répétition des actions et la mise en place d'organismes dédiés et financés comme des missions de service public (sauf à imaginer des solutions de prestations à destination par exemple de complexes touristiques, à l'image de la professionnalisation de la lutte contre les ravageurs des fruits par les techniques de TIS, lutte financée par les organismes professionnels agricoles en Amérique centrale). C'est donc l'organisation de la décision publique et des organismes d'action qui doit intégrer cette temporalité.

Le cinquième temps est celui de l'investissement économique pour les acteurs. Les stratégies d'insectes stériles, qui nécessitent de répéter les actions, garantissent une activité économique dans le temps, l'éradication d'un vecteur, des stratégies de remplacement des vecteurs par leurs congénères rendus génétiquement incompetents par une caractéristique associée à un forçage génétique, relèvent d'une action unique, à l'effet rapide. Elles représentent donc un investissement limité dans le temps (cela pose d'ailleurs la question du modèle économique de développement et des tests de ces moustiques à « un seul lâcher »).

Il est donc nécessaire de se projeter dans le temps et de prévoir le rôle de la lutte antivectorielle à divers horizons voire même d'envisager des changements de stratégies à terme.

Préciser ces éléments permet de mettre en lumière des argumentaires importants. Ainsi, les expérimentations menées en Malaisie avec les moustiques génétiquement modifiés RIDL ont été arrêtées par les collectivités en raison du coût annuel, préférant des dépenses relevant plutôt de l'investissement (peintures protectrices, équipements...).

Pour les stratégies de contrôle, en termes d'emploi, outre les dispositifs dédiés, les usines de production de moustiques sont des investissements importants. Proposés par les sociétés opératrices, ils sont des éléments « positifs » (production locale, emploi), mais peuvent être des « obstacles » à la réorientation des stratégies de lutte.

Les stratégies peuvent varier dans le temps : ainsi, l'OMS sépare clairement dans sa stratégie technique mondiale de lutte contre le paludisme pour la période 2016–2030 le chemin pour arriver à un territoire exempt d'un pathogène et les dispositifs permettant d'éviter la réapparition<sup>171</sup>.

---

<sup>171</sup> [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/176720/1/9789242564990\\_fre.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/176720/1/9789242564990_fre.pdf)

## 6.7 INTERFÉRENCES DE CES MOUSTIQUES AVEC LES APPROCHES DE SANTÉ ET LA GOUVERNANCE

L'usage de moustiques auxiliaires de santé s'inscrit dans divers cadres de gouvernance. Les moustiques irradiés sont parfois inclus dans des bouquets technologiques proposés par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique à des États membres de l'ONU. De la même manière, le recours aux moustiques transgéniques d'Oxitec OX513A s'inscrit dans des politiques économiques et d'innovation de certains pays<sup>172</sup>. Le développement et le transfert de cette technologie sont donc à penser dans un contexte de gouvernance plus large que celui du contrôle vectoriel. Mais, avant tout, l'arrivée de ces outils et leurs particularités va remettre en question certains cadres usuels de conception sur la lutte contre les maladies vectorielles.

### 6.7.1 Gouverner la santé en agissant (seulement) sur les moustiques ?

Les discours qui circulent dans le public ainsi que les discours médiatiques (le politique est peu présent), activés dans le contexte d'urgence « Zika », portent en général sur « le moustique vecteur » qui transmet un agent pathogène à l'homme. Il est préférable de parler de « système vectoriel qui implique des populations de vecteurs, d'agents pathogènes et de vertébrés, dans un environnement donné » (Fontenille *et al.*, 2009). Rappelons comme cela a déjà été dit dans le rapport, que si l'objectif de la lutte antivectorielle est de réduire la densité de moustiques vecteurs jusqu'à un certain seuil (Dumont and Tchuenche, 2012), la corrélation entre l'intensité du risque vectoriel et la densité de moustiques n'est pas univoque (Desenclos and Fontenille, 2011), bien qu'elle soit confirmée par la force de l'empirisme à l'échelle internationale (Bowman *et al.*, 2016). Malgré la multiplicité des facteurs qui entrent en jeu, et la complexité de leurs interactions ouvrant à de nombreux niveaux d'actions, c'est sur les moustiques que se focalise l'action, et plus particulièrement sur leur nombre.

Dans ce système vectoriel, la notion d'environnement devrait inclure toutes les transformations de l'activité humaine qui le modifient constamment. Les échanges mondiaux, par exemple, favorisent l'expansion des virus et des vecteurs (commerce de pneus usagés ; habitats humains en expansion ; circulation des humains contaminés, etc.).

---

<sup>172</sup> Reis-Castro L., Heindrickx (2013), « Winged promises. Exploring the discourse on transgenic mosquitoes in Brazil. » *Technology in Society*, 35, 2. 118-128.



Or, face à cette complexité, les trois solutions biotechnologiques nouvellement offertes à l'échelle mondiale, partagent, à différents degrés <sup>173</sup>, l'objectif de régler de manière universelle un problème avec un mode opératoire unique : la transformation de moustiques en auxiliaires de santé. Cette approche uniciste <sup>174</sup> embarque avec elle des modes de gouvernance dont il convient de repérer les potentiels impacts, positifs comme négatifs. Les décideurs publics doivent pouvoir disposer de réflexion stratégique sur les alternatives et les complémentarités de ces outils, d'autant que certains, nouvellement concernés (rappelons-nous de l'expansion rapide en métropole du moustique Tigre et des conséquences en termes de classement réglementaire des départements concernés), ne disposent pas des réservoirs de compétence et d'analyse nécessaires.

#### 6.7.2 Rappeler que la santé publique face aux maladies à vecteurs doit reposer sur différents leviers

L'action sur les moustiques est nécessaire, mais n'est pas la seule possible. Une technologie, si puissante soit-elle, ne doit pas éteindre les autres luttes, que ce soit sur le plan des moyens de recherche, de vigilance, et d'articulation aux fonctionnements socioéconomiques. Le « désarmement » à l'issue d'une bataille technologique (au DDT) est la cause de la recolonisation et la réapparition des populations de vecteurs, support tout prêt pour la circulation de nouveaux pathogènes. Cela doit servir d'enseignement. En outre il faut se rappeler que les autres techniques ont acquis des niveaux d'expérience de terrain approfondies : ce sont bien les hommes sur le terrain qui savent utiliser les insecticides avec des doses minimales, des lieux choisis, des stratégies d'évitement des effets hors cible et des gestions de l'apparition des résistances.

La diminution du risque de survenue de maladies, outre les méthodes classiques pour d'autres maladies (médicaments, vaccins), peut et doit s'effectuer en maintenant d'autres leviers d'action. Elle peut être effective par le biais du contrôle de la densité de l'habitat humain (Taglioni and Dehecq, 2009) (Knudsen and Slooff, 1992), par des architectures urbaines (en questionnant par exemple la végétalisation récente des bâtiments urbains, la

---

<sup>173</sup> Notons toutefois que sur ce marché potentiel, les promoteurs de l'usage de *Wolbachia* présentent leur innovation comme une solution parmi d'autres dans la panoplie de la lutte antivectorielle, à mobiliser en alternance dans le temps et dans l'espace.

<sup>174</sup> L'usage mondialisé du DDT au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle pour lutter contre les moustiques vecteurs est la manifestation la plus patente de cette organisation planétaire et uniciste — sur le plan opératoire — d'une catégorie de maladies. Or les succès du DDT se sont faits ressentir en priorité dans les pays riches. Cela a conduit à une problématisation Nord/Sud de la gestion des maladies vectorielles, avec d'une part un désinvestissement des pays du Nord à maintenir un haut niveau de savoirs et de compétences dans la lutte contre les moustiques (surtout jusqu'à la fin des années 1990), et d'autre part de faibles moyens dédiés à la lutte contre les moustiques.

renaturation partielle de biotopes favorables aux moustiques qui oublie leurs régulateurs naturels, par la gestion de l'eau – essentielle au cycle de vie du moustique – (Delatte *et al.*, 2008) ou par la prise en charge des malades par les politiques publiques (Reis-Castro and Hendrickx, 2013).

#### 6.7.3 Prévoir les conséquences de l'invisibilisation de la technique de lutte par les moustiques transformant les populations sauvages

Il n'y a pas que le dispositif de lutte qui est modifié : le recours à des moustiques supposés modifier leurs congénères, introduit en effet d'importants changements potentiels dans la vision même de l'action publique face aux épidémies. Le recours à des moustiquaires, à des répulsifs, à des zones de confinement sont des moyens qui ont une présence extérieure et perceptible par tous ; ces dispositifs sont vus, sentis, après avoir été commercialisés, recensés sur des cartes, enregistrés dans des programmes de prévention. En revanche les moustiques transformés par diverses techniques sont des moustiques dont l'identité technique est imperceptible. Cette technique est d'abord une ruse<sup>175</sup>, une ruse qui loge la raison sous les apparences, une ruse qui détourne la confiance dans les apparences (le moustique modifié n'est plus un moustique sauvage, sa nature dépend de l'homme voire de son contrôle). Ces insectes modifiés deviennent les instruments voire les acteurs d'une politique de santé publique et d'un combat dont ils sont l'avant-poste, invisibles et autonomes.

Sont-ils fiables dans la durée ? Avec le temps, chacun des protagonistes (le pathogène, les moustiques, les hommes) s'adapte, évolue. Il n'est pas possible de baisser la garde, de croire que le moustique « soldat » a définitivement vaincu les épidémies. Surveillance et analyse des évolutions seront plus que jamais nécessaires.

#### 6.7.4 Anticiper l'impact de ces choix technologiques sur l'organisation institutionnelle de la lutte

Il est nécessaire de s'attacher à l'existant et de voir comment l'organisation institutionnelle de la lutte pourrait être impactée par les nouvelles technologies, de nouveaux acteurs ayant la prétention de « s'emparer » du problème moustique. Il faut tenir compte de l'état des lieux local : les dispositifs existants tels les EID ont exigé des investissements humains et organisationnels importants. Ils ont travaillé à leur pérennité en s'adaptant, en évoluant, et en innovant. Il leur a fallu :

---

<sup>175</sup> La Mètis des Grecs est une espèce d'habileté et de prudence avisée, fondée sur « la délibération en vue d'un bien ».

- adapter les modèles économiques et techniques et pour cela choisir des priorités, faire évoluer des techniques ; développer et renouveler les compétences, la connaissance du terrain ;
- répondre aux contraintes du terrain : et, pour cela, segmenter les techniques employées en fonction des contextes réglementaires, environnementaux, humains. Ainsi, dans une région comme le Languedoc, dont 85% du territoire est protégé à un titre ou un autre par la réglementation sur la protection de l'environnement, les moyens de lutte ont intégré ces contraintes ;
- justifier de leur existence : or en réussissant la lutte, la structure rend invisible la nécessité de son action et risque de perdre le soutien budgétaire, politique, réglementaire et humain, à moins de choisir des approches nécessitant le maintien de la structure et la récurrence des actions.

Les structures doivent donc absolument conduire en même temps des missions de surveillance et d'analyse, voire de prospective afin d'identifier les risques de « désarmement » lors de l'invisibilisation de la menace.

L'évaluation de l'action publique doit pouvoir prendre en compte les risques individuels du renvoi de la lutte et de la protection à des stratégies individuelles, conduisant potentiellement les uns à s'exposer à des produits hasardeux, les autres à négliger des protections essentielles.

#### 6.7.5 Comment anticiper les risques d'inégalité entre « zones pauvres » et « zones riches » : une santé globale ?

Les connaissances et les investissements financiers nécessaires à la mise au point des moustiques auxiliaires de santé sont centralisés dans des structures (*start-up*, laboratoires de recherche, organisations internationales...) issues des pays occidentaux capables de les « offrir » partout où le besoin se fait ressentir dans le monde. Ces pays exercent un monopole du savoir et du savoir-faire : de nombreux travaux montrent les difficultés opérationnelles inhérentes à la composante « importations » de méthodes, moyens, concepts.

Depuis, des efforts ont été déployés, par exemple dans le cadre du paradigme de la « santé globale » et de l'approche « One Health, One World » vu précédemment, soit par le biais de choix financiers, soit par des rapprochements institutionnels (coopérations, échanges, mutations...) entre « pays du Nord » et « pays du Sud ». Mais au moins deux craintes continuent à se faire entendre dans l'espace public :

- la crainte que les « mouvements anti-OGM » écologistes bloquent le déploiement des nouvelles biotechnologies au nom des conséquences environnementales de

l'éradication d'une espèce, alors « qu'éradiquer une espèce sauverait des millions d'Africains chaque année »<sup>176</sup> relègueraient la valeur environnementale du moustique au deuxième rang ;

- celle, plus largement partagée (par des chercheurs et opérateurs de la lutte antivectorielle notamment) de la diminution du soutien financier des États entre les dernières campagnes d'éradication du paludisme dans les pays riches (années 1960-1970) et les nouvelles épidémies du XXI<sup>ème</sup> siècle telle que zika. Dans cette perspective, les États en mesure de financer la recherche sur la lutte contre les moustiques, confiants dans l'idéologie du progrès, n'auraient pas pris la mesure d'un risque de globalisation des épidémies de maladies transmises par les moustiques.

Enfin, notons qu'une troisième critique relative aux droits de propriété est susceptible d'émerger comme ce fut le cas pour les OGM végétaux. Même s'ils étaient classés comme des auxiliaires de santé publique, les moustiques nouvellement offerts seront affectés par les régimes de propriété d'exclusivité qui introduiront un intérêt privatisé dans les programmes de santé fondés quant à eux sur le partage des ressources (Lezaun and Porter, 2015). Dans un tel marché, la distribution de ces moustiques sera déterminée par des arrangements non flexibles et oligopolistiques (Branford, 2008) pouvant aggraver les inégalités d'accès à ces nouvelles techniques.

En parallèle se développent au sujet de technologies comme le *Gene drive*, des projets d'organisation à but non commercial qui tentent de développer des solutions reposant sur le lâcher d'un faible nombre de moustiques modifiés pour supprimer la maladie à grande échelle (comme le consortium Target Malaria qui cible le paludisme). Cette solution, non coûteuse, peut être préférée par les pays pauvres (le consortium a déjà anticipé les besoins d'acceptation par les populations en ayant déjà des représentations dans les pays considérés), mais elle implique en amont de financer le surcroît de précaution et d'expérimentation de ces solutions certes séduisantes mais comportant encore de grandes incertitudes.

Ainsi, le mode d'émergence des technologies associées à ces moustiques, alors même que les concepts de la santé internationale s'imprègnent des notions de santé globale conduit à devoir analyser chaque projet (transfert de compétences, autonomie, processus de décision, gouvernance, implication des populations) dans une perspective le positionnant clairement dans le système de santé qui le promeut.

---

<sup>176</sup> Voir par exemple <https://www.geneticliteracyproject.org/2015/12/09/white-privilege-will-western-activists-block-crispr-solution-protecting-millions-africans-malaria/>

## 6.8 CONSERVER LA DISTINCTION ENTRE INTERVENTION ET SURVEILLANCE

Il s'agit de reconnaître le caractère inévitable de la circulation d'agents pathogènes, concept qui s'oppose à celui d'un contrôle absolu des épidémies.

Dans l'approche One World One Health, il est considéré que la circulation des agents pathogènes entre les espèces est inévitable. Ce qui fait que, quand on travaille sur l'interface homme/animal/écosystème pour favoriser la santé publique, on ne peut pas parier sur une solution d'étanchéité qui serait confiée à un moustique génétiquement modifié pour stopper définitivement les contaminations. La prémisse fondamentale est que les frontières sont trop poreuses et perméables pour circonscrire la politique de la santé au seul bien-être de l'homme (FAO et al., 2008). Faire face aux menaces pour la santé humaine exige d'anticiper, d'appréhender et de gérer les agents pathogènes déjà en circulation dans les populations animales, prêts à entrer dans le corps humain ou coloniser nos environnements. Tous les programmes de surveillance, malgré les difficultés de collecte de données (Fontenille *et al.*, 2009), partagent une orientation vers la détection précoce des épidémies toujours imminentes et vers l'identification rapide des vecteurs.

Les technologies GM reconfigurent potentiellement ces mesures de surveillance en mettant en doute, dans l'opinion publique, le caractère inévitable des épidémies. Les espèces animales, à travers lesquelles passent les pathogènes, pourraient génétiquement être reconçues pour fonctionner comme un périmètre d'isolement prolongé pour les communautés humaines. Ainsi l'animal GM protège l'homme en régulant l'environnement des hommes et il le fait au bon vouloir de l'homme (sans égard pour les autres fonctionnements écologiques auxquels il appartient).

Par ailleurs, cette nouvelle ingénierie est susceptible d'empiéter sur les efforts existants de contrôle et de surveillance des populations de moustiques nuisants. Les lâchers de souches Anophèles ou *Aedes* transgéniques pourraient ne pas diminuer le besoin ou le désir d'éviter les moustiques qui continueront à constituer une nuisance pour les populations humaines (piqûres notamment). Ils pourraient aussi diminuer le respect des procédures de protection personnelles ou domestiques. L'étude de Maheu-Giroud et Castro (Maheu-Giroux and Castro, 2013) suggère en effet que l'introduction de programmes de contrôle des vecteurs conventionnels réduit l'utilisation de moustiquaires, par exemple.

À bien des titres, c'est un changement de paradigme important, tant sur le statut de ces animaux (re)conçus par l'homme, et instrumentalisés, sur leurs congénères sauvages modifiés dont nous ne mesurons pas bien encore les conséquences voire les paris.

## 7 CONCLUSION

Les moustiques au patrimoine génétique modifié peuvent apporter des éléments intéressants dans la LAV. Les enjeux sont tels qu'il n'est pas possible de les rejeter a priori mais leur intégration à la panoplie des outils de LAV est sensible à plusieurs titres :

- il reste des incertitudes scientifiques et techniques ;
- les technologies qu'ils mobilisent font déjà l'objet de controverses dans la société civile, avec divers registres d'argumentations ;
- le principe même de modifier des êtres vivants pour qu'ils interfèrent sur le plan génétique et reproductif avec leurs congénères sauvages, afin de créer un fonctionnement écologique qui correspondent à des spécifications élaborées par tout ou partie de la société civile, est un changement de paradigme majeur dans les relations avec la nature. C'est une question philosophique et éthique qui n'a pour l'instant pas conduit à des dispositifs réglementaires. Pourtant, on peut pressentir que ces principes seront très prochainement questionnés pour d'autres applications dans l'agriculture.

Il semble donc que des dispositions technico-administratives doivent permettre de donner un cadre, que des dispositions d'accompagnement politique et démocratique sont nécessaires à une mise en œuvre acceptée et, enfin, qu'on doive porter un regard attentif sur les conséquences de ces choix d'innovations biotechnologiques, sur les orientations des politiques de santé, des progrès techniques, et sur les modifications plus profondes des relations entre les acteurs et la société civile qu'elles induisent. Dans la perspective de mettre en œuvre tant les évaluations que les dispositifs de consultation du public pertinents, il apparaît nécessaire de considérer les éléments suivants :

- certains moustiques sont génétiquement modifiés et, à ce titre, soumis aux exigences de la Directive 2001/18 en termes d'évaluation et de participation du public. L'évaluation scientifique de cette procédure est bien adaptée à l'évaluation de leur dissémination ;
- ces moustiques dits « *Wolbachia* » soulèvent *a minima* autant d'incertitudes que les insectes GM. Le CEES estime que ce type de projet devrait être évalué, au plan sanitaire et environnemental, selon des dispositions largement comparables à celles préconisées par la Directive 2001/18 avec une focalisation particulière sur les enjeux que posent le caractère invasif de la bactérie et les spécificités de son fonctionnement biologique en symbiote de l'insecte ;

- le problème revêt des dimensions internationales qui conduisent à réfléchir aux engagements du Protocole de Carthagène. À la fois en raison des problèmes de santé auquel il s'adresse, et en raison des possibilités de migrations transfrontalières d'organismes modifiés ;
- la lutte antivectorielle avec ce type d'outil dépasse le cadre décisionnel actuel : en particulier le débat avec les populations concernées est indispensable, en acceptant que les plans économiques éthique et sociaux de ce genre d'approche d'une mission de service public soient débattus ;
- il s'agit cependant de débats potentiellement difficiles. D'une part, le fait que certains de ces moustiques soient GM tend à inscrire la question dans un débat préexistant, concernant principalement les PGM, mais surtout largement polarisé. D'autre part, en raison de l'abord complexe de la question posée, le débat est peu accessible en France ;
- l'évolution rapide des connaissances et leur diffusion conduisent à penser que le moment de ces débats est arrivé. Ce travail sera à mener en collaboration avec les instances pouvant, à un titre ou à un autre, environnemental, éthique ou de santé, se prononcer de façon transparente en pointant, chaque fois que nécessaire, les éventuelles difficultés et incertitudes rencontrées.

L'autonomie de déplacement des moustiques auxiliaires de santé configure les relations entre les services et les habitants de façon différente, voire même l'organisation générale de ces services et les trajectoires technologiques qui les structurent. Dans cette perspective, une attention doit être portée aux évolutions organisationnelles et administratives pour traiter ces problèmes, notamment en métropole (confrontée à l'extension prévisible de la LAV anti moustiques Tigre à tout le territoire métropolitain) et hors du territoire métropolitain où des modalités d'action peuvent être source d'enseignement sur la façon d'intégrer l'option « moustiques modifiés ». Le GIP LAV de La Réunion, établi face à la crise du chikungunya, pourrait de fait correspondre à une expérimentation d'une forme souple et opérationnelle d'intégration décisionnelle mêlant la légitimité régaliennne et politique au plus près des territoires. Cette légitimité conduit aussi à ce que toutes les expérimentations et projets fassent l'objet d'arrêtés très explicites sur les dispositifs de consultation, de notification et de suivi. Des lâchers de moustiques génétiquement modifiés par les services chargés de la démoustication dans des quartiers pourraient présenter l'avantage de ne pas avoir à rentrer dans les propriétés privées par la force du droit.

Le recours aux moustiques modifiés a parfois été présenté comme une solution pouvant se substituer à celles habituellement mises en œuvre dans le cadre de la LAV, et d'autant plus

mise en avant qu'elle est portée par le progrès scientifique et technique. Or, tant les travaux du CS que ceux du CEES ont montré la nécessité de prendre en compte cette nouvelle offre en la situant par rapport aux moyens déjà mis en œuvre dans le cadre de la LAV, en l'inscrivant même comme un outil de plus dans la panoplie des moyens disponibles. Il est nécessaire, pour l'instant, d'évacuer l'illusion selon laquelle existerait par ces moustiques, une solution unique, universelle, peu coûteuse et sans dommages collatéraux (notamment du point de vue environnemental).

Il semble donc nécessaire que les autorités traitent le « problème public » posé par les moustiques dans une perspective multidimensionnelle : les questions de santé publique doivent être traitées en prenant en compte les questions adjacentes (qu'il s'agisse de celles liées aux nuisances, à l'environnement, à l'éthique), en ayant à l'esprit les risques de confusion dans l'action (l'acceptation des moustiques modifiés dans le cadre de la LAV et leur refus pour lutter contre les nuisances).

Cela permettra de prêter pleinement attention tant aux effets induits par les trajectoires d'innovation et les sentiers de dépendance<sup>177</sup> qui en résultent, qu'aux questions que le projet soulève, de façon spécifique, au niveau d'un territoire et d'une population donnés.

---

<sup>177</sup> La notion de *path dependence* ou dépendance au chemin emprunté s'est développée en science politique au cours des années 1990, pour souligner le poids des choix effectués dans le passé et celui des institutions politiques sur les décisions présentes.





## 8.1 ANNEXE 1 : BIBLIOGRAPHIE.

Alphey, L. (2014). Genetic Control of Mosquitoes. *Annu. Rev. Entomol.* 59, 205–224.

Angulo, E., and Gilna, B. (2008). International law should govern release of GM mosquitoes. *Nature* 454, 158–158.

Anonymous (2011). Letting the bugs out of the bag. *Nature* 470, 139–139.

Baxter, R.H.G. (2016). Chemosterilants for Control of Insects and Insect Vectors of Disease. *Chim. Int. J. Chem.* 70, 715–720.

Boëte, C., Beisel, U., Reis Castro, L., Césard, N., and Reeves, R.G. (2015). Engaging scientists: An online survey exploring the experience of innovative biotechnological approaches to controlling vector-borne diseases. *Parasit. Vectors* 8.

Bonnet, M., Delanoë, D., and Caulier (2014). Introduction. *J. Anthropol.* 138–139.

Bowman, L.R., Donegan, S., and McCall, P.J. (2016). Is Dengue Vector Control Deficient in Effectiveness or Evidence?: Systematic Review and Meta-analysis. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 10, e0004551.

Bradshaw, C.J.A., Leroy, B., Bellard, C., Roiz, D., Albert, C., Fournier, A., Barbet-Massin, M., Salles, J.-M., Simard, F., and Courchamp, F. (2016). Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. *Nat. Commun.* 7, 12986.

Branford, S. (2008). Oligopoly-type situation in food industry. *The Hindu*.

Brauman, R., Bonnet, Ma., and Delanoë, D. (2014). Santé mondiale : l'évolution vers la privatisation », *Journal des anthropologues*, 138-139 | 2014, 27-41. *J. Anthropol.* 138–139.

Callon, M., Lascoumes, P., and Barthe, Y. (2001). *Agir dans un monde incertain: essai sur la démocratie technique* (Paris: Éd. du Seuil).

Câmara, F.P., Theophilo, R.L.G., Santos, G.T. dos, Pereira, S.R.F.G., Câmara, D.C.P., Matos, R.R.C. de, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Secretaria Estadual de Saúde do Rio de Janeiro, and Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (2007). Estudo retrospectivo (histórico) da dengue no Brasil: características regionais e dinâmicas. *Rev. Soc. Bras. Med. Trop.* 40, 192–196.

Chateauraynaud, F. (2011). Sociologie argumentative et dynamique des controverses : l'exemple de l'argument climatique dans la relance de l'énergie nucléaire en Europe. *Contrar.* 16, 131–150.

De Barro, P.J., Murphy, B., Jansen, C.C., and Murray, J. (2011). The proposed release of the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti* containing a naturally occurring strain of *Wolbachia pipientis*, a question of regulatory responsibility. *J. Fr Verbraucherschutz Leb.* 6, 33–40.

Del Rosario, K.L., Richards, S.L., Anderson, A.L., and Balanay, J.A.G. (2014). Current status of mosquito control programs in North Carolina: the need for cost-effectiveness analysis. *J. Environ. Health* 76, 8–15.

Delatte, H., Paupy, C., Dehecq, J.S., Thiria, J., Failloux, A.B., and Fontenille, D. (2008). *Aedes albopictus*, vecteur des virus du chikungunya et de la dengue à la Réunion : biologie et contrôle. *Parasite* 15, 3–13.

Delatte, H., Gimonneau, G., Triboire, A., and Fontenille, D. (2009). Influence of temperature on immature development, survival, longevity, fecundity, and gonotrophic cycles of *Aedes albopictus*, vector of chikungunya and dengue in the Indian Ocean. *J. Med. Entomol.* 46, 33–41.

Desenclos, J.-C., and Fontenille, D. (2011). L'avenir des infections transmises par les vecteurs en France ? *Médecine Mal. Infect.* 41, 293–294.

Doré, A., and Barbier, M. (2015). Maintenir la vigilance. Les objets-frontières-transitionnels dans la pérennisation des dispositifs de surveillance des « soldats de Dieu ». *Rev. Anthropol. Connaiss.* 9, 2, 189–212.

Dumont, Y., and Tchuente, J.M. (2012). Mathematical studies on the sterile insect technique for the Chikungunya disease and *Aedes albopictus*. *J. Math. Biol.* 65, 809–854.

Dupé, S. (2015). Transformer pour contrôler. Humains et moustiques à La Réunion, à l'ère de la biosécurité. *Rev. Anthropol. Connaiss.* 9, 2, 213–236.

El Sayed, B.B., Malcolm, C.A., Babiker, A., Malik, E.M., El Tayeb, M.A., Saeed, N.S., Nugud, A., and Knols, B.G. (2009). Ethical, legal and social aspects of the approach in Sudan. *Malar. J.* 8, S3.

Enserink, M. (2010). GM Mosquito Trial Alarms Opponents, Strains Ties in Gates-Funded Project. *Science* 330, 1030–1031.

Enserink, Ma. (2011). GM Mosquito Release in Malaysia Surprises Opponents and Scientists—Again.

Fang, J. (2010). Ecology: A world without mosquitoes. *Nature* 466, 432–434.

FAO, OIE, WHO, UN System Influenza Coordination, unicef, and The World Bank (2008). Contributing to One World, One Health. A Strategic Framework for Reducing Risks of Infectious Diseases at the Animal–Human–Ecosystems Interface.

Fontenille, D., Lagneau, C., and Lecollinet, S. (2009). La lutte antivectorielle en France (Paris: IRD).

Goodman, C., and Mills, A. (1999). The Evidence Base on the Cost-Effectiveness of Malaria Control Measures in Africa. *Health Policy Plan.* 14, 301–312.

- Knipling, E.F. (1959). Sterile-male method of population control. *Science* 130, 902–904.
- Knudsen, A.B., and Slooff, R. (1992). Vector-borne disease problems in rapid urbanization: new approaches to vector control. *Bull. World Health Organ.* 70, 1–6.
- Lacroix, R., McKemey, A.R., Raduan, N., Kwee Wee, L., Hong Ming, W., Guat Ney, T., Rahidah A.A., S., Salman, S., Subramaniam, S., Nordin, O., et al. (2012). Open Field Release of Genetically Engineered Sterile Male *Aedes aegypti* in Malaysia. *PLoS ONE* 7, e42771.
- Lavery, J.V., Harrington, L.C., and Scott, T.W. (2008). Ethical, social, and cultural considerations for site selection for research with genetically modified mosquitoes. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 79, 312–318.
- Lezaun, J., and Porter, N. (2015). Containment and competition: Transgenic animals in the One Health agenda. *Soc. Sci. Med.* 129, 96–105.
- Maheu-Giroux, M., and Castro, M.C. (2013). Impact of Community-Based Larviciding on the Prevalence of Malaria Infection in Dar es Salaam, Tanzania. *PLoS ONE* 8, e71638.
- Maheu-Giroux, M., and Castro, M.C. (2014). Cost-effectiveness of larviciding for urban malaria control in Tanzania. *Malar. J.* 13, 477.
- Montalva, C., dos Santos, K., Collier, K., Rocha, L.F.N., Fernandes, É.K.K., Castrillo, L.A., Luz, C., and Humber, R.A. (2016). First report of *Leptolegnia chapmanii* (Peronosporomycetes: Saprolegniales) affecting mosquitoes in central Brazil. *J. Invertebr. Pathol.* 136, 109–116.
- Morand, S., Jittapalapong, S., Suputtamongkol, Y., Abdullah, M.T., and Huan, T.B. (2014). Infectious Diseases and Their Outbreaks in Asia-Pacific: Biodiversity and Its Regulation Loss Matter. *PLoS ONE* 9, e90032.
- Nabarro, D.N., and Tayler, E.M. (1998). The “roll back malaria” campaign. *Science* 280, 2067–2068.
- Oliva, C.F., Vreysen, M.J.B., Dupé, S., Lees, R.S., Gilles, J.R.L., Gouagna, L.-C., and Chhem, R. (2014). Current status and future challenges for controlling malaria with the sterile insect technique: Technical and social perspectives. *Acta Trop.* 132, S130–S139.
- Olsen, K., Reynolds, K.T., and Hoffmann, A.A. (2001). A field cage test of the effects of the endosymbiont *Wolbachia* on *Drosophila melanogaster*. *Heredity* 86, 731–737.
- Orellano, P.W., and Pedroni, E. (2008). [Cost-benefit analysis of vector control in areas of potential dengue transmission]. *Rev. Panam. Salud Publica Pan Am. J. Public Health* 24, 113–119.
- Pepin, K.M., Marques-Toledo, C., Scherer, L., Morais, M.M., Ellis, B., and Eiras, A.E. (2013). Cost-effectiveness of Novel System of Mosquito Surveillance and Control, Brazil. *Emerg. Infect. Dis.* 19, 542–550.

Reis-Castro, L., and Hendrickx, K. (2013). Winged promises: Exploring the discourse on transgenic mosquitoes in Brazil. *Technol. Soc.* 35, 118–128.

Ryffel, G. (2017). I Have a Dream: Organic Movements Include Gene Manipulation to Improve Sustainable Farming. *Sustainability* 9, 392.

Soubeyran, O. (2001). Vincent Berdoulay et Olivier Soubeyran (éd.) Milieu, colonisation et développement durable. Perspectives géographiques sur l'aménagement. *Inf. Géographique* 65, 36–37.

Subbaraman, N. (2011). Science snipes at Oxitec transgenic-mosquito trial. *Nat. Biotechnol.* 29, 9–11.

Taglioni, F., and Dehecq, J.-S. (2009). L'environnement socio-spatial comme facteur d'émergence des maladies infectieuses: Le chikungunya dans l'océan Indien. *EchoGéo*.

Thammapalo, S., Chongsuwatwong, V., Geater, A., Lim, A., and Choomalee, K. (2005). Socio-demographic and environmental factors associated with Aedes breeding places in Phuket, Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health* 426–433.

Thuilliez, J. (2009). L'impact du paludisme sur l'éducation primaire : une analyse en coupe transversale des taux de redoublement et d'achèvement. *Rev. Déconomie Dév.* 17, 167.

Thuilliez, J., Bellia, C., Dehecq, J.-S., and Reilhes, O. (2014). Household-Level Expenditure on Protective Measures Against Mosquitoes on the Island of La Réunion, France. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 8, e2609.

Torny, D. (1998). La traçabilité comme technique de gouvernement des hommes et des choses. *Politix* 11, 51–75.

Tsai, P.-J., and Teng, H.-J. (2016). Role of Aedes aegypti (Linnaeus) and Aedes albopictus (Skuse) in local dengue epidemics in Taiwan. *BMC Infect. Dis.* 16.

Vargas-Terán, M., Hofmann, H.C., and Tweddle, N.E. (2005). Impact of Screwworm Eradication Programmes Using the Sterile Insect Technique. In *Sterile Insect Technique*, V.A. Dyck, J. Hendrichs, and A.S. Robinson, eds. (Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag), pp. 629–650.

Vazquez-Prokopec, G.M., Spillmann, C., Zaidenberg, M., Kitron, U., and Gürtler, R.E. (2009). Cost-Effectiveness of Chagas Disease Vector Control Strategies in Northwestern Argentina. *PLoS Negl. Trop. Dis.* 3, e363.

Yamamoto, D.S., Nagumo, H., and Yoshida, S. (2010). Flying vaccinator; a transgenic mosquito delivers a Leishmania vaccine via blood feeding: Flying vaccinator mosquito. *Insect Mol. Biol.* 19, 391–398.

## 8.2 ANNEXE 2 : COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL.

18/01/2016



### GT CEES "MOUSTIQUE"

**Coordinateur :** Jean-Luc PUJOL

**Composition :**

**Parties prenantes**

Bénédicte Bonzi (Amis de la Terre), démissionnaire

Manuel Messey (CNAFAL - consommateurs)

Bernard Verdier (Assoc Départements de France, agronome)

Anne Wanner (Réseau Semences Paysannes), démissionnaire

**Élus**

Anne-Yvonne Le Dain (OPECST Assemblée, députée)

Pierre Medevielle (OPECST Sénat, sénateur, vétérinaire)

**Personnalités qualifiées**

Sandrine Barrey (sociologue)

Serge Boarini (sociologue)

Sarah Vanuxem (juriste)

**Expert extérieur**

Sandrine Dupé (anthropologue).

### 8.3 ANNEXE 3 : SAISINE.



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE

*La ministre*

Paris, le 12 OCT. 2015

Madame la Présidente,

La récurrence des épidémies de maladies vectorielles transmises par les moustiques (dengue, chikungunya, ...) est établie, principalement dans les DOM. Le moustique Tigre, vecteur du chikungunya, est par ailleurs désormais implanté en métropole.

La lutte antivectorielle appelle une combinaison d'actions de toutes natures, dont la mise en place de bonnes pratiques par les citoyens et des stratégies de destruction des larves et adultes résiduels.

La destruction des larves et des adultes s'appuie principalement sur des substances chimiques insecticides.

La palette de molécules disponibles, efficaces et ne présentant pas de danger sanitaire important pour les populations, est néanmoins réduite. Seule une molécule « larvicide » et une molécule « adulticide » sont autorisées en France, même si quelques autres molécules autorisées dans d'autres pays d'Europe sont en cours d'examen par l'Anses.

Le développement de résistances à la molécule adulticide a été d'ores et déjà constaté dans certaines régions. Le malathion a été utilisé ces derniers mois en Guyane, mais son usage a cessé suite à son classement par le CIRC (centre international de la recherche sur le cancer, dépendant de l'Organisation mondiale de la santé OMS) comme « cancérigène probable » en mars 2015.

Dans ce contexte, le Gouvernement doit examiner avec rigueur toutes les options à sa disposition. L'une d'entre elles consiste à introduire des populations de moustiques

disposant d'un patrimoine génétique modifié par rapport à celui des populations de moustiques *Aedes aegypti* présents sur notre territoire et principaux vecteurs de la dengue et de la fièvre jaune.

L'introduction de moustiques au patrimoine génétique modifié vise à réduire la survivance de la descendance des adultes vecteurs de maladies. Elle est testée dans différentes régions du globe.

Ainsi, il existe par exemple des moustiques génétiquement modifiés tels que ceux développés par la société Oxitec. Le génome de ces moustiques est modifié pour y insérer un gène qui sera transmis à la descendance et stoppera le développement larvaire, entraînant ainsi la diminution des populations de moustiques. La société a procédé à des essais sur le terrain au Brésil, au Panama, aux îles Caïman et en Malaisie. Elle indique disposer de résultats probants assurant une réduction de plus de 90% des populations. Toutefois certaines associations de protection de l'environnement se sont montrées critiques considérant que la technologie ne serait efficace qu'avec des nombres de lâchers de moustiques trop importants, et donc peu réalistes. Le Gouvernement de Malaisie aurait d'ailleurs abandonné l'idée de recourir à cette technologie après des essais menés en 2010, la jugeant peu efficace et trop coûteuse. Par ailleurs, la stratégie même de suppression de population est sujette à critique dans la mesure où elle pourrait entraîner le développement d'autres familles de moustiques qui pourraient également être porteuses d'agents pathogènes.

Une autre stratégie, développée par la Fondation Oswaldo Cruz basée à Rio de Janeiro, consiste à "immuniser" les populations de moustiques *Aedes Aegypti* en les infectant artificiellement par une bactérie *Wolbachia* les rendant réfractaires au virus de la dengue. Des expérimentations actuellement en cours en Australie, au Vietnam, en Indonésie et au Brésil laisseraient entrevoir des premiers résultats prometteurs. Si cette technique a l'avantage de ne pas laisser de niche écologique vacante, en remplaçant les populations vectrices de pathogènes par des populations non vectrices, le risque pourrait être que ces populations deviennent plus compétentes pour transmettre d'autres agents pathogènes.

Dans ce contexte, je souhaite disposer de votre éclairage concernant l'utilisation de moustiques génétiquement modifiés dans le cadre de la stratégie de lutte anti vectorielle.

Le Haut Conseil des Biotechnologies établira un état des lieux de la recherche et de la commercialisation de ces insectes génétiquement modifiés ainsi que des techniques de production de ces insectes génétiquement modifiés et leurs spécificités par rapport aux techniques déjà utilisées.

Le Haut Conseil des Biotechnologies précisera quels sont les critères applicables pour l'évaluation sanitaire et environnementale de ces insectes au niveau international, européen et national (y compris DROM-COM).

Enfin, le Haut Conseil des Biotechnologies déterminera les résultats des premières utilisations et expérimentations menées dans le monde et indiquera quels pourraient être les bénéfices et les risques de l'utilisation de ces insectes génétiquement modifiés pour la



France, y compris les DROM-COM, notamment d'un point de vue socio-économique et éthique.

Je souhaite que vous puissiez nous faire part de vos résultats pour le mois de mars 2016.

Je vous prie d'agréer, Madame la Présidente, l'expression de mes salutations les meilleures.

  
Ségolène ROYAL

## 8.4 ANNEXE 4 : PRINCIPES GÉNÉRAUX ÉTHIQUES ET MORAUX

Contribution de Serge Boarini, personnalité qualifiée du CEES et philosophe, membre du Groupe de Travail, permettant au CEES de questionner la perception ordinaire du moustique à partir des sciences humaines et sociales, et de dépasser une approche uniquement technique.

### 8.4.1 De l'irruption du moustique dans la culture. Origine et conséquences

«Quis inquit meritis ad quae delatus acerbas cogor adire vices ? tua dum mihi carior ipsa  
vita fuit vita, rapior per inania ventis »

Virgile ( ?), *Culex*, v. 210-212

#### 8.4.1.1 *Préalables*

Le moustique vecteur du virus Zika est devenu un enjeu de sécurité sanitaire dans le monde, à la veille de l'organisation des Jeux Olympiques par le Brésil, et pour la France au moment de l'expansion du chikungunya dans le sud de la métropole alors que les études portant sur la Polynésie française n'eurent pas de retentissement<sup>178</sup>. L'entrée du moustique dans la représentation publique n'est pas d'abord, n'est pas seulement, n'est pas principalement peut-être, une question d'ordre sanitaire ; elle est une question *culturelle* dans le sens défini ci-après. La chronologie de l'entrée dans le champ de la représentation publique montre l'antériorité des questions sanitaires (Polynésie française, 2013), et elle suggérerait que la question de la lutte antivectorielle n'a été identifiée comme problème qu'à la croisée de préoccupations sociales, économiques, politiques propres à un ensemble de représentations et de pratiques d'une culture. Sur les 231 publications portant sur le virus Zika et recensées par PubMed, de 1952 à 2016, 159 sont datées de 2016 à ce jour : 56, 6% de la littérature scientifique existante est concentrée sur moins de trois mois. Les différentes solutions soumises au HCB s'appuient toujours et inévitablement sur un tel ensemble de

---

<sup>178</sup> E. Oehler, L. Watrin, P. Larre, I. Leparc-Goffart, S. Lastère, F. Valour, L. Baudouin, H. P. Mallet, D. Musso, F. Ghawche, « Zika virus infection complicated by Guillain-Barré syndrome – case report, French Polynesia, December 2013 », *Euro Surveill.* 2014 Mar 6;19(9). pii: 20720 ; M. Besnard, S. Lastère, A. Teissier, V.-M. Cao-Lormeau, D. Musso, « Evidence of perinatal transmission of Zika virus, French Polynesia, December 2013 and February 2014 », *Euro Surveill.* 2014;19(13):pii=20751 ; D. Musso, T. Nhan, E. Robin, C. Roche, D. Bierlaire, K. Zisou, A. Shan Yan, V.-M. Cao-Lormeau, J. Brout, « Potential for Zika virus transmission through blood transfusion demonstrated during an outbreak in French Polynesia, November 2013 to February 2014 », *Euro Surveill.* 2014 Apr 10;19(14). pii: 20761 ; V.-M. Cao-Lormeau, C. Roche, A. Teissier, E. Robin, A.-L. Berry, H.-P. Mallet, A. Alpha Sall, and D. Musso, « Zika Virus, French Polynesia, South Pacific, 2013 », *Emerg Infect Dis.* 2014 Jun; 20(6): 1085–1086 ; D. Musso, E. J. Nilles, V.-M. Cao-Lormeau, « Rapid spread of emerging Zika virus in the Pacific area », *Clin Microbiol Infect.* 2014 Oct;20(10):O595-6.

préoccupations, d'intérêts et d'attentes qui ne sont pas toujours explicitées ni clairement identifiés. Choisir une solution plutôt qu'une autre revient à choisir tout un ensemble de valeurs, d'options, de représentations. Il s'agit d'abord de présenter un tableau de tous ces ensembles avant de contextualiser chacun des choix possibles. La décision prise devra avoir pesé non seulement les conséquences possibles (attendues ou redoutées) de l'option retenue, mais elle devra encore se déterminer en fonction du monde d'idées, de pratiques et de représentations que cette option « embarquera » avec elle. La difficulté devient plus redoutable encore si l'on songe que la question est une question dont les termes sont d'ores et déjà façonnés par le monde technique dans lequel la question est posée. Il est inévitable que l'effort suivant de contextualisation des choix soit lui-même contextualisé.

Pour représenter et comparer les modes d'action sur le moustique vecteur, le moustique lui-même doit être replacé dans le *contexte culturel de la représentation* (artistique, religieuse, intellectuelle), puis dans le *contexte de l'action technique de notre culture*. En effet, le choix d'une approche de confinement, de suppression, d'éradication a un *sens* et un *motif* qui ne sont pas immédiatement apparents et qui resteraient implicites sans cette archéologie de la représentation du moustique (**point I**). D'autre part notre culture a développé un certain ensemble de solutions aux résistances qui s'opposent à sa conservation, à savoir un ensemble de solutions *techniques* (**point II**)

#### 8.4.1.2 Archéologie de la représentation du moustique.

Comment le moustique est-il vu et considéré dans la culture occidentale ? L'abeille est présente dans l'*Histoire naturelle* de Pline, dans les *Géorgiques* de Virgile ; elle figure dans la *Préface au Traité du vide* de Pascal ; elle est un personnage des fables de La Fontaine ; elle sert de titre à l'essai de Mandeville. Ainsi elle a, pour nous, une *forte densité symbolique* ; elle est devenue un personnage dans notre culture et quasi un sujet de droits : la menace de disparition des essaims est un sujet d'actualité. *Mais le moustique ?* Parce qu'il n'a pas cet enracinement dans la représentation culturelle, il est immédiatement exposé à des décisions radicales : inutile (il ne produit rien qui profite à l'homme et sa place dans l'écosystème paraît ténue), nuisible (il pique), nocif (il transporte des maladies), *comment ne pas vouloir le supprimer ?*

##### 8.4.1.2.1 De l'invisibilité du moustique à l'invisibilité technique du moustique.

La représentation culturelle du moustique se lit différemment selon les textes religieux, les Belles-Lettres, les récits de voyage, les études d'histoire naturelle.

La Bible évoque les moustiques comme un fléau appelé par Dieu sur l'Égypte dont le pharaon reste sourd aux demandes de Moïse (*Ex. 8, 12-15*). Le moustique est ambivalent : son apparition est le témoignage de la puissance divine (« C'est le doigt de Dieu ») ; le moustique

naît de la terre dont la poussière prend la forme de l'insecte (*Ps*, 105, 31 ; *Sagesse*, 19, 10). Manifestation de la toute-puissance (« Vois, je t'établis comme dieu pour le Pharaon, et ton frère Aaron sera ton prophète » (*Ex.*, 7,1), signe et menace, être vivant issu de la poussière, le moustique est un être mixte : vie produite à partir de l'inerte et de l'informe, « C'est le doigt de Dieu » qui se fait connaître. Dans le Coran, à la sourate 2, 26, le moustique est invoqué comme l'insecte dont le prophète n'hésite pas à se servir pour s'adresser à l'intelligence, soulignant ainsi la modicité de cet animal. La modicité était ridicule dans les *Nuées* d'Aristophane quand Socrate devait répondre à la question de Chéréphon : savoir si le vrombissement des moustiques (« ἐμπίδας ») est dû à leur trompe ou bien à leur derrière.

De tous les animaux qui ont suscité l'intérêt des Belles-Lettres en Occident, le moustique est l'un des plus dédaignés : aucune mention du moustique dans les fables, les contes, les récits, les essais, et cela de Pline à La Fontaine. Trois explications pourraient être données : la taxonomie des espèces vivantes n'est pas constante à travers les siècles – le moustique n'est guère distingué du moucheron (La Fontaine, *Fables*, II, IX) ; la traduction des langues anciennes dans la nôtre ne donne pas de termes strictement équivalents à « moustique » – le *culex* désigne aussi bien le moustique que le cousin, plus sympathique ; le mot « moustique », construit sur le radical « mosca » (la mouche) ne serait apparu qu'au XVII<sup>e</sup> s. – si bien que l'identification de l'insecte par son nom présent reste incertaine. La distinction entre les termes « cousins », « moustiques », « maringoins » n'est pas nette. Exception doit être faite pour le texte attribué à Virgile et cité en exergue : le moustique reproche au berger de l'avoir écrasé alors que sa piqûre l'a réveillé au moment où un serpent allait le piquer. Qui a sauvé la vie a pourtant été tué – ce qui pourrait déjà suspendre la réflexion de nos jours avant toute intervention irrévocable.

Ainsi le moustique a une forme *d'invisibilité* dans la littérature occidentale soit qu'il n'ait pas été nommé soit qu'il n'ait pas été distingué d'autres insectes soit qu'il n'ait pas été vu et tenu pour digne d'importance par le poète, le fabuliste, le romancier.

En revanche il figure dans les récits de voyage, notamment à l'occasion de la découverte des nouveaux mondes (Asie, Amérique) : en 1599, Champlain dans le *Bref discours des choses les plus remarquables* mentionne l'île des Mousquittes (ancienne appellation) dans laquelle il y a : « (...) quantitté de petites mouches, comme chesons [*sic*] et cousins qui piquent de si étrange façon (...) » qu'elles provoquent des boutons rendant la « personne difforme »<sup>179</sup>. Les

---

<sup>179</sup> C. H. Laverdière, *Œuvres de Champlain*, 2<sup>ème</sup> éd., t. I, Québec, G.-E. Desbarats, 1870, p. 14.

récits de voyages aux Antilles exposent les méfaits de ces insectes : « (...) ils ont un aiguillon si piquant, & venimeux que leur piquûre cause une démangeaison tellement importante (...) »<sup>180</sup> qu'ils peuvent provoquer des ulcères. En octobre 1751, Michel Adanson qui voyage au Sénégal rapporte que les moustiques : « sucçoient encore beaucoup de [son] sang » et qu'il avait : « (...) tous les matins le visage couvert de boutons »<sup>181</sup>. Dans ce contexte, le moustique est l'insecte exotique, nocturne, néfaste, agressif, caché, qui détourne l'homme d'une fonction (le sommeil) et d'une identité sociale (les piquûres le rendent méconnaissable au regard des autres). Il est d'emblée associé au déplaisir et à la maladie. Il est également l'animal qui entre dans le monde humain et qui oblige l'homme à des stratégies pour chasser l'insecte ou pour s'en prémunir : construire des lits en hauteur, faire de la fumée, laisser le grand vent entrer. Le moustique est du monde de la nature entrant dans le monde de l'homme.

Dans le domaine de l'histoire naturelle, le moustique est mentionné à l'occasion de la description des hirondelles donnée par Buffon dans *l'Histoire universelle*<sup>182</sup>. *L'Histoire naturelle, générale et particulière* de F. M. Daudin<sup>183</sup> en fait état dans un contexte d'action proche du texte du pseudo-Virgile (*Culex*). De même *l'Histoire naturelle, générale et particulière* de P. A. Latreille<sup>184</sup>. Dans la culture occidentale, le moustique est donc un insecte à présence infime dans la représentation littéraire et à faible présence dans l'étude scientifique.

Comment tenir et comment attacher de la valeur à ce qui n'a pas retenu l'attention de notre culture dans la représentation ? Comment accorder une valeur morale à un être vivant qui n'a pas de place dense dans la représentation ? La comparaison avec la place prise par l'abeille montre avec évidence le refus de considérer le moustique.

#### 8.4.1.2.2 De l'invisibilité technique du moustique au moustique technique

À cette invisibilité ancienne s'ajoute, pour ce qui concerne les moyens de combat les plus expédients, l'invisibilité technique du moustique. En effet ces modes d'action sont des modes qui produisent de l'invisibilité : ils agissent dans l'être même de l'insecte. Qu'il s'agisse d'une

<sup>180</sup> L. de Poincy, *Histoire naturelle et morale des isles Antilles et de l'Amérique*, Rotterdam, Arnout Leers, 1658, p. 249

<sup>181</sup> M. Adanson, *Histoire naturelle du Sénégal. Coquillages*, Paris, C. P. B. Bauche, 1757, p. 139.

<sup>182</sup> « (...) les cousins, appelés maringouins, sont fort incommodes, par conséquent fort nombreux ; et cela doit être, car c'est le temps où finissent les pluies, or l'on sait qu'une température humide et chaude est la plus favorable à la multiplication des insectes, surtout de ceux qui, comme les maringouins, se plaisent dans les lieux aquatiques », Leclerc, Comte de Buffon, *Histoire naturelle, générale et particulière, avec la description du cabinet du Roi*, T. XXI, 1779, p. 585.

<sup>183</sup> F. M. Daudin, *Histoire naturelle, générale et particulière*. Des reptiles, T. IV, Paris, an X, p. 280-281.

<sup>184</sup> P. A. Latreille, *Histoire naturelle, générale et particulière*, Des crustacés et des insectes, T. XIV, Paris, an XIII, p. 272.

séquence insérée dans le génome, ou qu'il s'agisse d'une bactérie dont il sera porteur, la technique ici est masquée dans l'identité du moustique. Le recours à des moustiquaires, à des répulsifs, à des zones de confinement ont une présence extérieure et perceptible ; ces dispositifs sont vus, sentis, après avoir été commercialisés, recensés sur des cartes, enregistrés dans des programmes de prévention. En revanche le moustique transformé par la technique est un moustique dont l'identité technique est imperceptible. Il s'agit ici du principe du cheval de Troie : la technique est d'abord une ruse, une ruse qui loge la raison sous les apparences, une ruse qui détourne la confiance dans les apparences (le moustique n'est pas ce qu'il paraît).

#### *8.4.1.2.3 Le moustique technique*

Les techniques expédientes entendent transformer le moustique afin qu'il agisse sur sa propre espèce. Elles agissent sur l'être même de l'insecte en l'amenant à l'insu de l'organisation des écosystèmes – et, diront certains, à son insu peut-être, – à contenir, voire supprimer sa propre population. Le moustique devient alors un quasi objet technique mais aussi une machine à emporter ses congénères. D'une part, le moustique sort du domaine du naturel : les modifications apportées par l'ingénierie humaine ne peuvent pas être semblables à celles que les processus naturels pourraient provoquer, à la différence de ce qui se passe dans le monde végétal lorsqu'il est mis en regard des résultats provoqués par la mutagenèse. D'autre part le moustique entre dans une catégorie inédite : il est attendu du moustique qu'il produise sa propre extinction. Il est ainsi un moteur qui s'emballe ; il est conçu pour produire les conditions de sa propre disparition. Reste en suspens la question des moustiques transformés mais survivants, et qui seraient alors des épaves, choses égarées et sans appartenance à l'espèce qu'elles ont contribué à détruire.

#### **8.4.1.3 De l'irruption du moustique dans la culture. Ses conséquences.**

Le propos qui suit ne conteste aucune des propositions de traitement du moustique vectoriel et il n'en recommande aucune. Il entend replacer ces propositions au sein du dispositif culturel dont elles sont l'expression. À défaut de désigner les méthodes à suivre, il entend montrer comment celles qui sont avancées n'ont rien de simple, d'immédiat, d'évident, ni rien de certain.

##### *8.4.1.3.1 Comment la présence du moustique devient un problème.*

Une culture peut se définir par l'ensemble de solutions coordonnées à des problèmes universels et communs qui se posent à l'être humain, qu'il s'agisse de l'individu (accès aux biens premiers : manger, boire, le bien-être) ou qu'il s'agisse d'un ensemble d'individus (assurer un ordre de coexistence pacifique, régler les échanges, résorber les conflits). *Notre* culture, quelle que soit l'étendue du sol qu'elle occupe et quelles que soient les origines des hommes qui la composent, se caractérise particulièrement par la nature des solutions apportées aux problèmes universels communs. Le recours à la technologie c'est-à-dire à la

technique organisée par la raison et non pas apportée, rectifiée et perfectionnée par l'expérience et la routine, a été le mode le plus constant de solutions adopté par notre culture<sup>185</sup>. Le recours à la technologie impose un rapport médiatisé au monde<sup>186</sup>. Ainsi l'exploitation du sol, du sous-sol, l'organisation des transports et des communications des informations, ont pris la forme de dispositifs mettant en œuvre des machines (ensembles complexes de pièces en mouvement), des sources d'énergie indépendantes du corps humain, des éléments préalablement transformés – comme le béton, l'acier, les matières plastiques. La manière particulière de traiter les problèmes universels communs a envahi le domaine de la vie puis le domaine du vivant. La médecine s'est instrumentalisée, puis automatisée, « décorporisée » (sont analysés, traités des éléments du corps humain : sang, génome) enfin dématérialisée avec la télémedecine, le recours à des objets connectés, le traitement informatisé de données. Toute question de santé, ici de santé publique avec le moustique vecteur du Zika, devient un problème à traiter par la technologie. Il n'est donc pas étonnant que le rapport aux insectes vecteurs de virus pathogènes soit aussitôt compris comme un problème dont la solution est technologique. Il s'agit d'un problème culturel en ce sens que l'insecte oppose une résistance à l'accès à l'un des biens premiers, à savoir la santé. Il s'agit d'une solution culturelle à ce problème en ce sens que la plupart des moyens envisagés pour supprimer le vecteur sont des technologies, c'est-à-dire des dispositifs rationnels faisant appel à des connaissances agissant sur des éléments matériels. *Ainsi la présence du moustique porteur du virus Zika est identifiée comme un problème culturel.*

#### 8.4.1.3.2 Identification d'un problème culturel

L'irruption du moustique vecteur du virus Zika fait l'objet d'une mise en scène et d'une *mise sur la scène*. D'insecte source de *nuisances* et occasion de désagréments, le moustique est devenu insecte *nocif* voire *nuisible* en ce qu'il est supposé comme investi d'une intelligence s'opposant aussi bien à la vie humaine (ce qui fait de lui un problème culturel) qu'à l'intelligence humaine. Il devient un quizz, une invitation pour l'intelligence humaine à affirmer son pouvoir au moyen des ressources technologiques. La manière dont notre culture identifie le moustique n'a donc rien d'anodin ni d'insignifiant. Elle manifeste une relation particulière de l'homme à son milieu de vie, au sein de la culture qui est la sienne. D'une forêt africaine, il n'est étudié et décrit que depuis la contamination d'une population dans ce qu'elle

---

<sup>185</sup> « La meilleure qualification que l'on puisse donner à notre société est celle de société technicienne », J. Ellul, « Recherche pour une Éthique dans une société technicienne », in J. Sojcher, G. Hottois, *Éthique et Technique. Annales de l'Institut de Philosophie et de Sciences morales*. « Morale et Enseignement », Bruxelles, Éditions de l'Université de Bruxelles, 1983, p. 7.

<sup>186</sup> « La technique est le milieu complexe et complet dans lequel l'homme a à vivre, par rapport à quoi il a à se déterminer. Elle est une médiatrice universelle, produisant une médiation généralisée, totalisante et prétendant à la totalité », J. Ellul, *id.*

a de plus vulnérable : les bébés. L'agent pathogène dont la présence est le plus souvent asymptomatique ne devient un problème qu'au moment où l'humanité est prise en défaut de pouvoir, au moment de la gestation, de la mise au monde d'une nouvelle génération, du renouvellement de l'humanité. Une étude des titres de presse populaire, des photos et des dessins pourrait montrer comment l'insecte est identifié : une identité symbolique lui est attribuée, et cette identité est celle de la négation du pouvoir de l'homme à résoudre par la technologie les questions du maintien de sa santé, de sa vie, de sa pérennité en tant qu'espèce.

#### 8.4.1.3.3 *Problème nouveau, modèle ancien*

À ce problème nouveau, notre culture apporte, comme il se doit, une approche technologique. Les savoir-faire de protection à l'égard des moustiques (vêtements amples et couvrants, moustiquaires), d'éloignement des moustiques (odeurs répulsives) ne conviennent pas. Les approches proposées font toutes appel à des savoirs scientifiques, entrant parfois dans le plus intime de l'être vivant, dans l'ingénierie cellulaire du cytoplasme voire dans la chaîne ADN. La nouveauté des technologies et leur ingéniosité sont aussi la réapparition de modèles anciens et l'effort de réaffirmation de leur valeur. Cela se voit sous ses quatre aspects : l'instantanéité l'immédiateté et la soudaineté, l'universalité. C'est sous ces aspects que la question de l'efficacité RÉELLE des moustiques génétiquement modifiés n'est pas véritablement discutée, bien qu'elle soit tout à fait limitée. La technique étant, par essence, supposée être efficace.

Le temps de la technologie est un temps du raccourcissement des segments de production, ce que le taylorisme montrait déjà. Plus que cela encore le temps de la technologie est un temps de la suppression du temps. L'effet doit suivre aussi rapidement que possible la cause qui la produit. En cela toute technologie est dans l'instant. Elle ne crée pas l'impatience chez l'être humain qui voudrait par exemple que la voiture le conduise plus vite chez lui, ou que la fièvre retombe dès le comprimé avalé. La technologie est impatiente d'abord parce qu'elle affirme le pouvoir et qu'elle ne supporte pas de devoir pâtir (l'ambition cartésienne de devenir « comme maîtres et possesseurs de la nature »), ensuite parce que le résultat soit être là, dès la mise en œuvre des dispositifs. Dans les solutions technologiques du problème culturel du moustique vecteur du Zika, le temps est compressé. En quinze jours, le moustique régresserait avec la technique mixte TIS/Densovirus<sup>187</sup>. Inversement, la TIS a une efficacité relative par rapport aux méthodes classiques, dont l'utilisation d'insecticides.

---

<sup>187</sup> J. Carlson, E. Suchman, L. Buchatsky, « Densoviruses for Control and Genetic Manipulation of Mosquitoes », *Advances in Virus Research*, Volume 68, 2006, Pages 361-392.



Le temps de la technologie est un temps d'allègement des segments de production. Il se fait, où il se veut, un temps sans moyens ou plus exactement sans moyens qui puissent freiner ce qui doit avoir lieu. L'effet doit avoir lieu sans résistances, sans obstacles, sans effets hors-cible. La technique CRISPR Cas9 entretient, et peut-être réalise, ce rêve d'immédiateté. Cela a trois conséquences. La première est la négligence (l'aveuglement, diront certains) des effets secondaires, des effets non volontaires (remplacement de vecteurs par d'autres, adaptation des insectes aux biocides parfois utilisés en complément). La démarche technologique efface en quelque sorte ses pas au fur et à mesure qu'elle avance. C'est la seconde conséquence : les avancées technologiques sont implicitement des avancées magiques, ou encore des dispositifs dans lesquels les mécanismes sont finalement masqués. La primauté du résultat finirait par faire oublier tout ce qui l'a permis – si ce n'était la nécessité d'obtenir des retombées financières en contrepartie de l'investissement et de la recherche pour mettre au point ces dispositifs. Enfin, troisième conséquence, l'allègement des segments de production de la technologie est à son apogée quand le vivant lui-même prend en charge la mise en œuvre des moyens qui lui ont d'abord été imposés. Le forçage génétique (*Gene drive*) est l'expression aboutie du paradigme ancien qui porte notre culture.

Le temps de la technologie est le temps de l'universalité en ceci que la production voulue et prévue rationnellement est conçue pour être de tout temps, de tout lieu, de toutes circonstances. La mise au point d'un dispositif technologique est potentiellement toujours valable : il est utilisable par tout et par tous (d'où l'intérêt du brevet) ; il a de la valeur et il est normatif : il s'agit de produire l'effet comme cette technologie le prévoit. Or les exposés montrent que les moustiques sont divers, par leurs espèces, par leur lieu de reproduction, par leur mode de ponte, par les moments de la journée où ils piquent. Les solutions universelles ne peuvent être radicales qu'à la condition de ne plus être universelles. L'acuité de ces questions serait plus grande encore si l'on considérait la différence des attentes culturelles. Les pays de la *culture technologique* proposent des modes universels d'identification et de traitement à des cultures ayant d'autres attentes que l'approche technologique.

L'approche technologique transforme tout en objet. Non seulement le vivant est approprié, non seulement les propriétés du vivant sont des propriétés privées, mais la technologie objective. Le moustique est transformé dans sa nature génomique pour Oxitec ; les moustiques sont affaiblis et rendus malades par d'autres techniques alternatives ; le moustique devient un objet non seulement parce que lui ou son corps deviennent des biens, mais encore parce qu'il est le lieu où se réalise l'intention et l'invention humaine. Il ne lui reste que la vie. Pour l'essentiel il est l'auxiliaire, l'agent, la cause qui fait arriver la volonté de l'homme. Parmi les moustiques d'Oxitec, ceux qui survivent sont des reliquats alors qu'il ne

devrait rien rester conformément à l'idéal d'un retour à l'état premier, antérieur au développement des pathologies.

#### 8.4.1.3.4 Solutions nouvelles, paradigmes archaïques

La nouveauté des solutions technologiques est incontestable et leur pouvoir est sans doute plus universel que le projet culturel qui les porte. Il n'en reste pas moins qu'elles sont porteuses de paradigmes anciens et structurants. Les solutions sanitaires du passé étaient des pratiques universelles et portées par des représentations contraignantes. L'un des exemples est celui de la vaccination antivariolique. Il s'agit d'une solution technologique alors que l'inoculation était une solution technique, née de l'observation (Lady Montagu) et de la constance de la répétition des gestes observés, rectifiée après modification des effets indésirables (les brevets de Sutton). La vaccination antivariolique a fait l'objet d'une campagne d'obligation vaccinale à laquelle s'est greffée, de manière concertée ou accidentelle, la représentation de la nécessité de se soumettre à ce vaccin. Cette pratique, et d'autres peut-être encore, ont constitué une référence imposant des schémas d'actions et de représentations structurant les pensées et les actions à venir. Il s'agit de paradigmes archaïques (*archè* : principe).

Or ces principes archaïques ont été bouleversés par les faits : expérimentations malencontreuses (Tuskegee), pratiques fortuitement malheureuses (vaccin contre l'hépatite B). Ils se sont heurtés également à l'affirmation de pratiques constituées par l'expérience privée, par la revendication des patients à l'autonomie et par leur revendication à disposer de leur corps. Ainsi contre l'obligation vaccinale se sont constituées des pratiques préventives dans lesquelles la première des considérations n'est pas la couverture la plus grande mais la sécurité individuelle. Les modèles de décision ont alors changé : le premier modèle suppose que l'individu doit supporter un risque pour en faire profiter la communauté ; de même il bénéficiera des risques supportés par les autres desquels il se trouvera protégé (la couverture vaccinale). Dans ce premier modèle, l'individu compte pour un et, comptant pour un, il cède la priorité à l'intérêt collectif. Le second modèle suppose qu'en prévenant le risque pour lui-même, l'individu contient le risque pour la collectivité. L'individu se constitue en personne, sujet de droits, sujet refusant de mettre en péril sa santé, et sujet capable d'organiser son existence.

Dès lors les paradigmes archaïques ne sont plus des paradigmes structurants mais des paradigmes dépassés et inadaptés aux pratiques nouvelles. La solution la plus innovante dans le domaine des technologies se trouve être, en réalité, une solution archaïque en cela qu'elle répète des modèles de conduite anciens sans avoir repéré les différences dans les pratiques

et dans les attentes : souci de l'environnement, souci des effets-dominos sur le long terme, crainte de recolonisation.

#### 8.4.1.3.5 Politiques de santé, politiques en santé

Retenir une option dans la lutte contre le virus Zika est tout à la fois conduire une politique en matière de santé et construire une politique à partir d'une question de santé. Les principales options pour faire face au moustique vecteur du Zika sont : la lutte physique par l'aménagement de l'environnement (l'entretien des canaux et des berges, la destruction des gîtes anthropiques par exemple), la lutte insecticide (pulvérisations larvicides sur des gîtes en nombre limité repérables et accessibles, par exemple), la lutte biologique par les prédateurs ou par l'emploi de champignons entomopathogènes, la lutte génétique. Chacune de ces options impose de choisir une chaîne de mesures indissociables qui s'accompagne de mesures d'information du public, de financement pour la mise en œuvre, de contrôle des effets produits et de suivi des opérations de nature différente. Ainsi faire le choix de dresser des barrières de pièges attractifs comme cela se fit dans un camping de l'Aude (été 2015) a pour conséquences de poser ces pièges, d'effectuer un comptage et une analyse des espèces capturées, mais aussi de s'intéresser aux représentations des personnes résidentes : les moustiques restent présents dans l'air extérieur. Irradier des moustiques demande le recours à des prestataires de services (l'Établissement Français du Sang, EFS) pour le lâcher des moustiques.

Parce que les décisions et les pratiques qui en résultent forment un *entrelacs*, avec des effets rétro-actifs parfois (la décision engendrant une pratique qui, en retour et par ses conséquences, dément, conteste ou décrédibilise la décision), il peut être utile de distinguer des *politiques de santé* c'est-à-dire des stratégies locales voulant répondre dans l'immédiateté à des questions sans tenir compte des enjeux et des conséquences lointaines, et des *politiques en santé* c'est-à-dire des stratégies insérant les mesures prises dans une compréhension plus large des relations de la politique à la société. Une politique en santé serait l'expression d'une vision politique dont le domaine de la santé serait une application parmi d'autres. Parmi les critères possibles d'une véritable politique en santé, figureraient l'inclusion des citoyens dans le processus d'élaboration des décisions non seulement en aval mais aussi en amont.

#### 8.4.2 Quelle approche éthique ou morale pour les décisions ?

Décider moralement dans une situation à portée éthique incertaine : il faudrait préciser que les alternatives techniques proposées sont des techniques en développement, avec une certaine incertitude, et ne sont pas des « solutions ».

La décision (ne pas intervenir, intervenir – et selon quelles modalités) mobilise également une réflexion de nature et de portée éthique. Par commodité, le terme « éthique » sera

compris comme ayant le même sens que le terme « morale », en lui réservant cependant à certains endroits une dimension propre<sup>188</sup>. Par « morale », on peut entendre l'ensemble de prescriptions, de conseils, de recommandations dont le but est la réalisation (ou l'abstention) d'une action dans laquelle se trouvent exprimées des valeurs (le bien, le juste, le bien-être). Par « éthique », on peut entendre la réflexion sur la nature, le fondement, l'origine de cet ensemble de prescriptions, de conseils, de recommandations. Par « situation à portée éthique incertaine », il faut comprendre que le statut éthique de la situation décrite n'est pas nécessairement inscrit dans le champ des questions éthiques : la situation peut être sociale, politique, économique, juridique, anthropologique, sans être en elle-même strictement de nature éthique. Par exemple, l'institution du Conseil d'Orientation des Retraites (Code de la sécurité sociale, L114-2) ne crée pas une situation éthique, mais une situation de prospective, de suivi, d'information impliquant les aspects économiques, politiques, administratifs et sociaux. Toute situation difficile, celle dans laquelle ou pour laquelle la lisibilité des faits et la visibilité des décisions sont confuses, n'est pas *ipso facto* une situation éthique.

#### **8.4.2.1 Lecture éthique**

Une lecture *éthique* de la décision en matière d'usage d'espèces vivantes pour sauvegarder la santé humaine considérera d'une part ce qui motive cette décision, d'autre part ce qui résulte de cette décision, enfin ce qu'exprime cette décision de la manière dont l'espèce humaine se considère. Respectivement ce seront des approches dites déontologique, conséquentialiste, arétiste.

##### **8.4.2.1.1 Déontologie**

L'approche déontologique reportera la qualité éthique de l'action sur le motif qui l'aura déterminée. Une action est juste, bonne, bienfaisante si elle est commandée par le motif et si ce motif vise la réalisation d'un devoir. Les deux principaux modèles de l'approche déontologique sont d'une part le stoïcisme qui fait de la rectitude de l'intention la qualité morale de l'acte, cette rectitude étant assurée quand l'intention retrouve l'impulsion de la nature, impulsion que l'homme saura retrouver par la raison, d'autre part la formulation kantienne de la morale qui fait de l'intention en tant qu'elle est dictée par le devoir, c'est-à-dire par la représentation d'une loi de l'action, le critère de toute moralité.

Dans le cas d'espèce du traitement des moustiques vecteurs, l'approche déontologique pourrait être interprétée de deux façons. Interprétée dans un sens fondamentaliste c'est-à-dire dans un sens exprimant le fondement de cette approche, celle-ci devrait trouver le devoir

---

<sup>188</sup> Chaque auteur trace la distinction selon sa propre conception de la philosophie morale – quand il ne l'efface pas ou quand il ne la juge pas opératoire : « Je ne ferai aucune distinction de ce point de vue entre « éthique » et « morale » », R. Ogien, *La morale a-t-elle un avenir ?*, Nantes, Pleins Feux, 2006, p. 13.

en vertu duquel le confinement, la suppression, l'éradication d'une espèce vivante nuisible ou nuisante pour l'homme seraient nécessaires. Interprétée dans un sens subsidiaire c'est-à-dire considérant l'ensemble des actions pour lesquelles aucune norme ne commande ni n'interdit expressément, l'approche déontologique se demandera si la décision relative aux moustiques vecteurs est une « chose indifférente », qui n'emporte avec aucune valeur morale.

#### 8.4.2.1.1.1 Déontologie version fondamentale.

Est-ce un devoir moral pour l'homme de se prémunir de pathologies qui ne sont pas mortelles, qui restent le plus souvent asymptomatiques, qui ne laissent pas nécessairement de séquelles ? La santé et le bien-être de l'homme sont-ils des commandements absolus qui imposent des mesures de protection, de confinement, de suppression, d'éradication d'une espèce vivante, quelles que soient les conséquences par ailleurs de ces mesures ? La question ne trouverait de réponse que si une définition de l'homme détaillant sa valeur propre et sa valeur irréductible à celle de tous les vivants pouvait être donnée, définition de laquelle des caractères et des critères d'action pourraient être déduits. Kant trouve ces critères et ces caractères dans la nature raisonnable de l'homme : parce qu'il est un être doué de raison, il est capable d'autonomie, et à ce titre il dispose de la capacité morale. Une telle définition est embarrassante : elle ne fait pas de l'homme le seul agent moral puisqu'elle ne l'inclut dans cette catégorie qu'à titre d'être raisonnable. Tout être vivant partageant la faculté rationnelle disposerait de ce même pouvoir et de ces mêmes prérogatives. La définition est embarrassante parce que ce n'est qu'en tant qu'être raisonnable que l'homme jouit de dignité. Ainsi son corps n'entre pas immédiatement dans la sphère de la moralité et la santé n'est pas *immédiatement* l'objet de commandements moraux. Sous un autre aspect, la formulation kantienne de la morale proscriit d'utiliser seulement à titre de moyen un être digne de respect. Aussi tout être digne de respect qui serait employé seulement comme moyen ne pourrait souscrire à cette condition d'éthicité. Le statut du vivant doit alors être déterminé : faut-il ranger les insectes et les bactéries dans la catégorie d'êtres capables de conduites volontaires rationnelles ? Si la réponse est oui, il faudra renoncer à toute modification des séquences génétiques ou à toute mutilation, à tout recours à des bactéries. Si la réponse est non, il faudra tout de même répondre aux objections qui s'appuient sur la rationalité des *conduites* chez les espèces vivantes – quoiqu'il soit juste de soutenir qu'une conduite peut être rationnelle sans que l'agent de cette conduite soit lui-même un être rationnel (quand un distributeur de boisson rend la monnaie) ou un être rationnel au moment de l'action (quand un commerçant rend par habitude et sans y penser la monnaie à l'enfant qui ne sait pas compter).

#### 8.4.2.1.1.2 Déontologie version subsidiaire

Est-il moralement indifférent que l'homme agisse en un sens, ou en un autre, pour prémunir sa santé contre des pathologies véhiculées par des insectes ? Ne saurait être considérée comme indifférente toute action qui menacerait la dignité de l'être humain en tant qu'être raisonnable. Ainsi ne sauraient être adoptées, dans cette perspective, des mesures portant atteinte à l'intégrité de la nature raisonnable de l'homme. À titre d'exemple, devraient être rejetées des décisions dont les conséquences seraient d'altérer les capacités rationnelles mais encore les capacités d'accéder au savoir permettant à l'homme de librement choisir et d'organiser sa vie. Cela concernerait aussi bien l'intégrité de ses facultés que les moyens de les exercer : le secret industriel des procédés ne doit pas empêcher l'exercice de la raison.

#### 8.4.2.1.2 Conséquentialisme

L'approche conséquentialiste considère la moralité de l'action en jugeant et en évaluant les conséquences qu'elle aura produites. Le motif intentionnel n'importe pas – ce qui permet d'inclure dans la sphère de la moralité des agents collectifs (groupes, entreprises, associations) voire des agents non intentionnels. Le modèle le plus répandu de conséquentialisme est l'utilitarisme selon lequel une action est bonne lorsqu'elle produit le plus grand bien-être pour le plus grand nombre. Il s'agit d'une maximisation des bienfaits et d'une extension de la population qui profitera de ces bienfaits. En prenant en compte ces deux facteurs, maximisation et bien-être, deux versions conséquentialistes peuvent être mises à l'épreuve.

##### 8.4.2.1.2.1 La maximisation ?

La maximisation consiste à porter au plus haut degré possible la satisfaction attendue d'une décision. Ce degré est lui-même évalué par un ensemble de paramètres, au moins dans la perspective de Bentham, parmi lesquels l'intensité, la durée, la certitude et l'éloignement. En d'autres termes la maximisation implique que le bien-être attendu soit plus durable, plus intense, plus facilement identifiable comme bien-être, et plus facilement mis en place que celui attendu par une mesure concurrente poursuivant le même objectif. Il semble donc que les propositions comme celles d'Oxitec ou celle de l'irradiation des moustiques mâles, par l'EFS à La Réunion<sup>189</sup>, sont plus à même de réaliser ce programme que les propositions recommandant la protection des hommes (crèmes répulsives, moustiquaires, désinfections systématiques des lieux de pontes) ou le confinement des moustiques (pièges). Cependant les objections adressées à l'utilitarisme portent également sur de telles mesures. Une mesure

---

<sup>189</sup> C. Oliva, Études biologiques et comportementales de deux espèces de moustiques (*Aedes albopictus* et *Anopheles arabiensis*) vectrices de maladies en vue du développement de la Technique de l'Insecte Stérile (TIS) contre ces vecteurs à l'île de La Réunion. Sciences agricoles. Université de la Réunion, 2012. p. 95.

répond d'autant mieux au critère de la certitude qu'elle a déjà été éprouvée dans le passé. L'utilitarisme de la règle entérine l'usage de procédés éprouvés, et, précisément, dans le cas d'espèce de la lutte antivectorielle, un tel recul fait défaut. L'autre objection porte sur la prévision des conséquences : le bénéfice immédiat peut s'estomper voire être contrebalancé par des nuisances plus lourdes à l'avenir. Les insectes supprimés ne laisseront-ils pas place à des espèces plus nuisibles ou plus nuisantes encore ? L'équilibre biologique, et peut-être l'éco-anthropo-système (l'homme dans son environnement), ne seront-ils pas menacés ? Les insectes ne s'adapteront-ils pas aux produits biocides – provoquant des effets de résistance et d'escalade des doses avec d'autres conséquences encore pour l'homme ?

#### 8.4.2.1.2.2 Le bien-être ?

La notion de bien-être n'est pas univoque. De prime abord, les pathologies les plus lourdes produites par le virus sont invoquées pour appeler à combattre par quelque moyen que ce soit les insectes vecteurs. Qui peut mettre en question les larmes d'une mère ? Cependant la notion de bien-être signifie que toutes les conditions d'une vie ordinaire peuvent être *réunies* (*amélioration* de la vie) et qu'elles soient *subjectivement* vécues comme apportant le sentiment qu'elles le sont en effet (*bonification* de la vie). Or parmi les facteurs de prolifération des moustiques vecteurs, se trouvent aussi les conditions de moindre vie réservées aux plus démunis. En d'autres termes, pour bonifier la vie, il s'agit pour certaines zones du globe non pas d'éradiquer les moustiques vecteurs mais d'éradiquer les conditions matérielles de vie, offrant revenus, éducation à la santé, accès aux soins, aux populations les plus pauvres.

#### 8.4.2.1.3 Arétisme

L'approche dite « arétiste » considère l'action comme l'expression d'une qualité constante et que l'agent tient pour conforme à son être propre : l'action morale est une vertu. L'action est bonne quand elle est l'expression manifeste et volontaire de la qualité que l'individu entend développer. Appliquée à la lutte antivectorielle, elle signifierait que tout choix exprimerait ce qu'une société entend être. Ainsi une société misant sur la technologie pour résoudre ce qu'elle identifie comme un obstacle à sa survie ou à son bien-être, trouvera dans les ressources de la bio-ingénierie ce qui correspond à son projet. Deux aspects peuvent être repris : quelle identité est affirmée et qui affirme de fait cette identité ?

Faire un choix serait donc promouvoir une identité. Les thèses de J.-P. Sartre trouvent ici une application. L'homme devient ce qu'il est, par la réalisation d'un projet. Un projet est autre chose qu'un programme où trouvent à se réaliser des intentions préconçues. Le choix *fait* l'identité de la personne qui choisit : en choisissant la Résistance, le jeune homme de Sartre se fait résistant ; il ne l'est pas avant ce choix. Cependant quand il s'agit de choix



collectifs ou du moins de choix qui concernent une collectivité, la question importe de savoir quelle identité sera alors affirmée par ce choix. La décision politique peut faire appel à la bonne volonté des citoyens ; elle peut faire appel à des opérateurs délocalisés, par exemple des agences ; elle peut faire appel à des opérateurs extérieurs à la puissance publique, par exemple Oxitec. Selon chacune de ces procédures, une certaine identité sera exprimée. Comment se reconnaître dans le choix d'une intervention de largage de moustiques stériles, produits sur un autre continent et livrés par une instance que la population locale ne contrôle pas ?

L'auteur du choix n'est pas toujours l'auteur de la demande à laquelle ce choix répond, ni le destinataire de ce choix. Le choix ne sera pas nécessairement issu d'une réflexion individuelle assignable et identifiée. Dans les décisions qui portent sur des ensembles de personnes, il s'agit d'examiner les relations entre commanditaires, prestataires, bénéficiaires. S'il s'agit d'affirmer, de consolider une manière d'être qu'un ensemble de personnes entend promouvoir par son choix, il convient de déterminer : qui demande ? que demandent exactement l'individu ou la collectivité ? qui prend la décision et selon quelles modalités ? Là encore selon qu'une population exprime une revendication ou selon qu'elle se voit imposer des choix (largages de moustiques stériles pour protéger l'industrie hôtelière d'une île), selon que les instances de choix s'emparent de la décision ou selon qu'elles entendent relayer une décision prise conjointement avec la population, selon que les prestataires exécutent un cahier des charges dont le mandat a été donné par la population ou par ses représentants, il apparaît que ce n'est pas la même identité, ni la même volonté d'affirmer une identité qui se feront jour.

#### 8.4.2.1.4 *Conclusions*

Si aucune des lectures éthiques ne donne à elle seule un choix univoque, juste et vrai, chacune montre que les décisions prises ne peuvent l'être que sur le fond d'engagements, de principes et de procédures qui ne vont pas de soi et qui ne doivent pas rester implicites.

#### 8.4.2.2 *Lecture morale*

Cette sous-section s'intéresse au *contenu* des prescriptions et de recommandations selon la direction éthique choisie et aux modalités des décisions.

##### 8.4.2.2.1 *La position du Nuffield Council.*

Dans sa Note d'information sur le zika (9 février 2016), le Nuffield Council rappelle sa conception d'une éthique de maintenance (« *stewardship* ») développée par ailleurs (*Public health : ethical issues*, 2007, p. xvii et § 2.44). Les États libéraux sont partagés entre le devoir de fournir les conditions de bonne santé et d'accès aux soins, et le souci de minimiser l'intrusion dans les vies privées. Il défend l'idée d'une « échelle d'intervention »



progressivement graduée depuis le premier degré qui consiste à ne rien faire ou à gérer la situation jusqu'au dernier degré qui élimine le choix individuel et impose une intervention contraignante afin de obtenir les meilleures conditions de santé<sup>190</sup>. Dans le cas d'espèce du Zika, ces degrés progressifs seraient : informer la population sur les risques, donner à la population les moyens de choisir et d'agir par elle-même (moustiquaires, répulsifs), restreindre les choix (épandage aérien d'insecticides), rendre le choix impossible (le largage de moustiques GM fait partie de cette option). La considération de l'équilibre et de la proportionnalité doit faire préférer la mesure la moins intrusive, et si la mesure la plus intrusive est retenue il est nécessaire de la motiver solidement. Ainsi deux principes guident toute décision : justifier les mesures les plus intrusives ; prendre en compte la perception des risques de la population concernée. Dans les situations d'urgence où le temps manque pour chercher les solutions les plus évidentes, les décisions les plus intrusives doivent être prises de manière ouverte en cherchant l'accord. Pour cela les incertitudes doivent être explicitement reconnues ; les approches alternatives à celle finalement adoptée doivent être examinées. Pour ce faire, le public, dans toute la diversité de ses voix, doit être associé.

Appliqués à la lutte antivectorielle, et pour les règles générales, le Nuffield Council admet la collecte et l'usage de données obtenues sans consentement individuel pour autant que cela contribue à l'intérêt public. L'épidémie impose aux États le devoir de coopérer, et les organisations internationales peuvent avoir un rôle dans cette mutualisation des ressources. Pour le détail des mesures, le Nuffield Council recommande aux États de donner aux citoyens une information claire et à jour des connaissances. Les femmes enceintes infectées par le Zika doivent avoir un accès équitable à l'assistance sanitaire. Le Nuffield Council insiste sur la confiance à instaurer, sur la spécificité des populations locales.

La Note d'information présente les diverses approches. Les mesures traditionnelles (insecticides, désinfection des sites de nourrissage) peuvent être hautement intrusives puisqu'elles peuvent forcer l'accès à la propriété privée. Cet ensemble de mesures outrepassa le consentement des populations concernées soit que le traitement soit général (épandage d'insecticides) soit que les risques de laisser subsister des niches mettent en jeu la sécurité d'autres personnes. Cet ensemble suppose l'adhésion du public, la prise en compte des situations particulières – notamment dans les pays où l'eau fait défaut.

Venant enfin à la solution proposée par Oxitec, le Nuffield Council demande qu'elle soit comparée avec d'autres procédures, qu'elle prenne en compte les valeurs sociales. Il invite le public à examiner la conformité des pratiques nouvelles avec les valeurs qu'il défend. La Note

---

<sup>190</sup> B. Hepple, *Public Health : ethical issues*, London, Nuffield Council on Bioethics, 2007, p. 41-42.

d'information conclut en demandant au politique de veiller au bon équilibre entre l'efficacité des mesures prises et le respect des droits individuels.

#### 8.4.2.2.2 *Torts sans victimes*

Ce sont les torts commis soit envers des entités qui ne peuvent en tant que tels être représentés (la couleur bleue ne peut se retourner contre Yves Klein qui a déposé un brevet sur une nuance de bleu), soit envers l'environnement, soit envers soi-même alors que le consentement requis a été donné (le lancer de nain est interdit désormais quoiqu'il puisse se trouver des personnes pour accepter de se livrer à ce lancer). Dans la lutte antivectorielle, le choix de certaines mesures peut provoquer des torts soit sur l'environnement (bouleversement de la biodiversité, adaptation des moustiques aux biocides, occupation par d'autres insectes des niches écologiques laissées vacantes) soit sur l'homme lui-même dans son statut social (Protocole Alizes, la visite d'agents dans les jardins, alors que la bonne tenue de son jardin est une valeur de reconnaissance sociale, à La Réunion (Dupé, 2015) comme dans sa santé (qu'en serait-il des maladies nouvelles si d'autres insectes venaient à prospérer en lieu et place du vecteur du Zika ?).

#### 8.4.2.2.3 *Torts sans auteur*

Ils sont le fait d'agents (ceux de qui procèdent la conséquence) qui ne sont pas pour autant les auteurs (la conséquence ici n'a été ni voulue, ni pensée). Ces torts résultent soit de circonstances qui n'ont pas été intentionnellement réunies pour produire cet effet (les effets cumulatifs par exemple), soit de circonstances réunies par des agents humains indiscernables en raison de leur nombre, de leur collusion (le réchauffement climatique est la résultante d'États et d'entreprises n'ayant ni prémédité ni voulu l'extinction de populations de vie). L'enjeu moral ici sera celui de l'initiative et celui de la responsabilité.

S'agissant de *l'initiative*, la question résurgente est celle de l'expression de la demande, de la commande, de la conduite de l'opération, et aussi celle de son contrôle. La sphère politique ne peut pas s'en remettre aux événements et à leurs aléas ; elle est celle de l'empreinte de l'homme sur son sort. Il ne saurait être question de laisser les choses se faire d'abord, puis laisse les choses aller ensuite. Il convient donc de disposer des instances de consultation, de participation, de décision au plus près des populations qui auront exprimé le besoin d'intervention. La demande (par la population concernée), la commande (par le politique), la prestation (par le politique ou par le prestataire), le contrôle (par la population, le politique, des instances administratives, des jurys) doivent être en continuité tout du long du processus, sinon pour ce qui concerne l'exécution des décisions du moins dans la prise de connaissance loyale de ce qui se fait, de ce qui a lieu, de ce qui excède les prévisions, de ce qui devrait être mis en œuvre pour contenir ou pour contrer les effets indésirables.

Quant à la *responsabilité*, la question de déterminer qui pourra rendre réponse aux questions posées par les effets indésirables et non prévisibles des choix faits. Le monde du vivant est le monde de la relation et de l'interaction. Introduire des ruptures ou seulement des variantes expose à des changements qui ne peuvent être anticipés. Qui en répondra en cas d'écarts avec les prévisions faites ? Il importe de définir les auteurs des torts possibles dès avant la prise de décision et l'engagement des mesures, d'anticiper les procédures de dédommagements, de mettre en œuvre les plans de réparation ou à tout le moins d'endigement des conséquences indésirables.

#### 8.4.2.2.4 Conclusions

Le contenu de la décision ne peut se passer de deux tâches d'identification : d'une part identifier les acteurs (ceux qui décident), les agents (ceux qui coopèrent), les facteurs humains (les représentations et les pratiques des populations) et naturels (la circulation des masses d'air en cas de largage de moustiques stériles, par exemple), d'autre part identifier le lien de causalité, de responsabilité entre les mesures prises et les conséquences manifestes (par exemple, on compte moins de moustiques) et les conséquences perçues (par exemple, les moustiques restant constituent une source de désagréments par leur pique). L'identification permet d'inclure les éléments en jeu et d'exclure ceux qui sont indifférents. Enfin elle permet de tracer l'arborescence de l'autorité qui décide ?) et de la responsabilité (devant qui ?)

#### 8.4.2.3 Conclusion : décider moralement dans une situation à portée éthique incertaine

Quelles qu'elles soient, les décisions prises ne peuvent pas valoir pour des solutions. Une solution suppose que les termes du problème initial ont trouvé après analyse et développement une expression telle que la difficulté aura disparu tant objectivement (l'ignorance est levée) que subjectivement (l'incertitude a disparu). Ainsi la recherche de la longueur de l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont la longueur des deux autres côtés sont connus est-elle un problème qui a une solution. Toute décision est une option : une autre est possible ; elle n'a rien de nécessaire ; elle s'accompagne d'un arrière-plan de représentations et d'un plan de pratiques.

Cela ne signifie pas que tout est possible ou que toutes les décisions se valent. Quatre préalables doivent être respectés.

1. La décision doit être prise en *cohérence* avec les autres options qui auront été retenues dans d'autres domaines et qui auront fait leur preuve. Ainsi le choix de recourir aux moustiques GM sera une décision cohérente dans un État où l'agriculture GM est déjà une option.

2. La décision doit être *acceptée* des parties prenantes, et à tout le moins des populations sur le territoire desquelles la décision prendra effet. Pour rendre la décision acceptable, trois conditions au moins doivent être satisfaites : une information doit être donnée et elle doit l'être de manière accessible, loyale, complète, précise ; le retour d'expérience doit être loyal et ouvert ; la décision retenue doit répondre aux attentes explicites (elle doit avoir prouvé un impact : les moustiques sont contenus, supprimés, éradiqués) et implicites (elle doit s'accorder avec les convictions comme avec les pratiques de la population – quitte à les réviser<sup>191</sup>).

3. La décision doit être *partagée* non seulement en cela qu'elle doit avoir pour préalable l'accord des populations mais aussi en cela que le suivi de la décision doit être relayé par les populations (comités de pilotage, comités de quartiers, par exemple). Une décision acceptable doit être une décision partagée, sans effacer, estomper ou dissoudre la responsabilité qui doit demeurer identifiable.

4. Enfin la décision doit être *révocable* soit que les impacts ne répondent pas aux attentes, soit que les réticences deviennent des obstacles, soit que les conséquences non voulues ou non prévisibles produisent plus de nuisances que la nuisance qu'elle entendait endiguer ou réduire.

---

<sup>191</sup> « (...) la communication, pour être efficace, devrait se concevoir comme un produit dérivé des connaissances propres à une situation à risque donnée, dans un contexte donné. Celles-ci portent sur les perceptions par le public, à la fois du risque vectoriel et des bénéfices/risques de la lutte antivectorielle. Il se peut, par exemple, que les « croyances » de la population aillent à l'encontre de la réalité scientifiquement prouvée : lors de l'épidémie de chikungunya de 2005-2006, à La Réunion, une enquête réalisée en mai 2006 a révélé que près de 25% de la population doutait de l'affirmation selon laquelle le moustique en était la seule cause (...) », D. Fontenille et al., *La lutte antivectorielle en France*, Marseille, 2011, p. 102-103.

## 8.5 ANNEXE 5 : ASPECTS JURIDIQUES

Ces analyses sur le plan juridique ont été discutées dans le cadre des travaux du GT. Sarah Vanuxem, personnalité qualifiée, juriste et membre du GT, a proposé les éléments d'analyse ci-dessous, afin d'aider les membres du CEES à se positionner sur les questions relevant du droit.

### 8.5.1 Du droit de disséminer des moustiques génétiquement modifiés

#### 8.5.1.1 *Les stratégies de lutte antivectorielle à l'aune de la réglementation sur les OGM*

Parmi les stratégies de lutte antivectorielle (LAV) listées et déjà existantes, on compte la lutte physique, la lutte biologique et la lutte chimique. Aucun de ces trois modes de LAV n'entre *a priori* dans le champ d'application de la réglementation sur les organismes génétiquement modifiés (OGM) : en recherchant l'élimination des gîtes larvaires, la modification des habitats favorables aux adultes, la mise en place de protection physique empêchant le contact hôtes-vecteurs, voire l'utilisation de pièges attractifs, la lutte physique ne requiert pas, en principe, l'emploi d'organismes génétiquement modifiés. De même, la lutte biologique dont le principe est d'utiliser un « ennemi naturel » d'un arthropode pour en diminuer les populations et ainsi réduire les risques de transmission du pathogène demeure étrangère au droit des OGM dès lors que l'« ennemi naturel » employé ne consiste pas ou n'implique pas l'utilisation d'un OGM<sup>192</sup>. Quant à la lutte chimique, elle renvoie aux insecticides, répulsifs et appâts, dont l'utilisation et la mise à disposition sur le marché sont réglementées dans le cadre de la police sur les biocides<sup>193</sup>. Dans la mesure où les substances ou microorganismes sélectionnés pour agir sur ou contre les organismes nuisibles ne sont pas génétiquement modifiés, la réglementation sur les OGM n'a pas vocation à s'appliquer.

Au regard de la réglementation sur les OGM, les nouvelles stratégies de LAV que représentent l'emploi de la technique de l'insecte stérile (TIS) par irradiation, des bactéries *Wolbachia*, de la technique RIDL<sup>194</sup> d'Oxitec, de la mutagénèse dirigée et du forçage génétique (CRISPR-Cas9) posent davantage de difficultés. En distinguant entre l'utilisation de la TIS, celle des *Wolbachia* et celle des moustiques génétiquement modifiés, l'on pourrait laisser penser que l'emploi de la TIS par irradiation et des *Wolbachia* ne relèvent pas de la réglementation sur les OGM. Pourtant, les stratégies dites « émergentes ou en cours de développement »

---

<sup>192</sup> Voir la liste des produits de biocontrôle mentionnée à l'art. 1<sup>er</sup> de l'arrêté du 9 mars 2016 fixant le taux de la taxe sur la vente de produits phytopharmaceutiques. Note de service DGAL/SEQPV/2016-279.

<sup>193</sup> Voir le règlement n° 528/2012 du Parlement européen et du Conseil du 22 mai 2012.

<sup>194</sup> RIDL : Release of Insects carrying a Dominant Lethal.

paraissent toutes entrer dans la catégorie de la « lutte dite génétique ». De fait, l'ensemble de ces techniques suppose la dissémination de moustiques dont le « matériel génétique » a été modifié, que ce soit par la voie de la transgénèse, de la mutagenèse ou d'une infection. Il convient donc de se demander si toutes ces nouvelles stratégies ne consistent pas en l'emploi d'OGM et, le cas échéant, si elles doivent être soumises à la réglementation afférente ou bénéficient, à l'inverse, d'une exemption déjà prévue ou susceptible d'être ajoutée.

À l'examen, on peut distinguer entre les techniques de modification des moustiques qui demeurent soumises à la réglementation sur les OGM (I) et celles qui lui échappent (II).

#### **8.5.1.2 Des moustiques modifiés soumis à la réglementation sur les OGM**

À côté des procédés « classiques », expressément listés parmi les techniques produisant des OGM (A), de nouvelles techniques de modification génétique, aujourd'hui appelées NBT (*New Breeding Techniques*) dans le secteur végétal (B), pourraient être utilisées pour modifier les moustiques.

##### **8.5.1.2.1 Des OGM obtenus par des techniques de modification génétique "classiques".**

###### **8.5.1.2.1.1 Les moustiques transgéniques obtenus par la technique RIDL d'Oxitec.**

Portant un transgène exprimant de grandes quantités d'une protéine synthétique, la *tetracycline repressible activator variant*, le moustique modifié par la technique RIDL (*Release of Insects carrying a Dominant Lethal*) est un moustique dont le matériel génétique a été modifié artificiellement. La technologie RIDL incluant « un gène marqueur fluorescent permettant de suivre son impact dans l'environnement », le moustique Oxitec comporte au moins deux transgènes. Partant, le moustique d'Oxitec est un OGM au sens de l'article 2. 2 de la Directive 2001/18 : il s'agit d'un organisme « dont le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison naturelles ».

Le moustique Oxitec ne saurait bénéficier d'une exemption et échapper à la réglementation sur les OGM. Car son procédé d'obtention relève, selon toute apparence, des techniques de modification génétique mentionnées sur la liste indicative de la Directive 2001/18. L'annexe I A de cette dernière prévoit, en effet, que « les techniques de modification génétique visées à l'article 2, point 2, sous a), sont, entre autres 1) les techniques de recombinaison de l'acide désoxyribonucléique impliquant la formation de nouvelles combinaisons de matériel génétique par l'insertion de molécules d'acide nucléique, produit de n'importe quelle façon hors d'un organisme, à l'intérieur de tout virus, plasmide bactérien ou autre système vecteur et leur incorporation dans un organisme hôte à l'intérieur duquel elles n'apparaissent pas de façon naturelle, mais où elles peuvent se multiplier de façon continue (...) ».

Comme les moustiques modifiés par la technique RIDL, les moustiques transinfectés par la bactérie *Wolbachia* constituent des OGM.

#### 8.5.1.2.1.2 Les moustiques infectés par *Wolbachia* via transinfection

Des entités biologiques capables « de se reproduire ou de transférer du matériel génétique », les moustiques sont des organismes au sens de la Directive 2001/18. Après infection par la bactérie *Wolbachia*, la question se pose de savoir si les moustiques doivent être qualifiés d'OGM. Les OGM étant définis tels des organismes « dont le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison naturelles »<sup>195</sup>, les moustiques infectés constitueraient des OGM si ces deux conditions étaient remplies : l'infection bactérienne des moustiques modifie leur « matériel génétique » ; le cas échéant, cette modification ne s'effectue pas naturellement.

La deuxième condition n'est pas, *a priori*, source de difficulté : elle nous semble remplie lorsque l'infection bactérienne des moustiques est réalisée par trans-injection et, plus précisément, par microinjection ou par introgression. Le rapport du CS souligne, en effet, le caractère artificiel de la modification apportée aux moustiques dans cette hypothèse : les programmes de lutte antivectorielles peuvent faire « appel à des transinfections qui sont des infections *artificielles* d'un nouvel hôte non naturel par introgression (...) ou par injection de *Wolbachia* dans des femelles adultes ou plus efficacement dans le cytoplasme des œufs ». « Transfert d'une infection bactérienne ou virale d'un hôte à un autre par microinjection », la transinfection désigne, s'agissant de *Wolbachia*, une « infection *artificielle* de *Wolbachia* d'un nouvel hôte non naturel par introgression (...), ou par injection de *Wolbachia* soit dans des femelles adultes, soit, plus efficacement, dans le cytoplasme des œufs ». La microinjection se trouve, d'ailleurs, mentionnée dans la liste indicative des techniques de modification génétique. L'annexe I A de la Directive 2001/18 prévoit que les « techniques de modification génétique visées à l'article 2, point 2, sous a), sont, entre autres : (...) les techniques impliquant l'incorporation directe dans un organisme de matériel héréditaire préparé à l'extérieur de l'organisme, y compris la microinjection, la macro-injection et le micro-encapsulation (...) ».

La première condition fait, en revanche, difficulté. On peut, en effet, s'interroger sur le sens de l'expression « matériel génétique » et se demander si l'infection bactérienne des moustiques par *Wolbachia* modifie leur « matériel génétique ». À titre informatif, le glossaire de la Commission européenne définit le « matériel génétique » de la manière suivante : « tout matériel d'origine végétale, animale, microbienne ou autre qui renferme l'information

---

<sup>195</sup> De même, l'article L. 531-1 point 2 du Code de l'environnement dispose qu'un OGM est un « organisme dont le matériel génétique a été modifié autrement que par multiplication ou recombinaison naturelles ».

génétique et la transmet d'une génération à la suivante ». Et il apporte ces précisions : « l'information contenue détermine la reproduction, le développement, le comportement, etc. » ; « pour l'ensemble des organismes vivants connus à ce jour, le matériel génétique est presque exclusivement constitué d'ADN, à l'exception de certains virus et prions (formes infectieuses de protéines normales) »<sup>196</sup>. D'un côté, l'infection des moustiques par la bactérie *Wolbachia* altère leur système reproducteur et, en certains cas, leur compétence vectorielle, de sorte que l'information contenue dans le matériel génétique paraît modifiée. D'un autre côté, l'insertion réalisée ne touche pas au noyau des cellules modifiées de sorte qu'elle ne devrait pas toucher au matériel génétique de l'organisme modifié. La définition du matériel génétique reprise dans le glossaire de la Commission européenne pourrait toutefois être datée, qui ne semble pas reconnaître, par exemple, le développement de l'épigénétique.

En toute hypothèse, le travail du CS nous apporte plusieurs éléments confortant, sauf mécompréhension de notre part, l'idée que l'infection bactérienne modifie le matériel génétique des moustiques : « les transinfections par des *Wolbachia* « étrangères » s'accompagnent, de changements transcriptionnels extensifs chez l'hôte receveur avec augmentation de l'expression de gènes de l'immunité, variation d'activité mitochondriale, stress, tous plus ou moins liés au phénotype d'interférence avec le pathogène même si les mécanismes de l'IP ne sont pas clairement élucidés et semblent de nature multiple » ; la transinfection d'une espèce de moustique avec une *Wolbachia* particulièrement virulente a « entraîné des changements de méthylation de gènes » ; « les *Wolbachia* produisent des petits ARN et modifient le profil des petits ARN de leur hôte, ce qui pourrait participer à l'incompatibilité cytoplasmique ». D'autres affirmations du CS paraissent accréditer l'idée que du « matériel héréditaire » se trouve préparé à l'extérieur de l'organisme des moustiques pour leur être incorporé : des études suggèrent, est-il précisé, que « les effets de *Wolbachia* sur l'hôte sont restés stables plus de deux ans après les derniers lâchers » et que « l'infection par *Wolbachia* reste à des niveaux élevés dans les deux populations, entre 80 et 100 %, les individus non infectés étant attribués à des événements d'immigration ».

Devant l'impossibilité de conclure à une modification du matériel génétique des moustiques infectés par *Wolbachia*, il conviendrait de reconnaître juridiquement l'existence d'une telle modification et de qualifier, par prudence, les organismes transinfectés par *Wolbachia* d'organismes génétiquement modifiés. C'est du reste le choix qu'avait, nous semble-t-il, effectué le HCB concernant la technique de la greffe : dès lors qu'il n'est pas

---

<sup>196</sup> Voir [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/opinions\\_layman/security-scanners/fr/glossaire/mno/materiel-genetique.htm](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/security-scanners/fr/glossaire/mno/materiel-genetique.htm)



certain qu'un greffon ne puisse pas être modifié *via* son porte-greffe GM, la plante doit être considérée comme un OGM.

Nous pensons donc que la dissémination de moustiques artificiellement infectés par la bactérie *Wolbachia* requiert l'obtention d'une autorisation au titre de Directive 2001/18. D'autres insectes, obtenus par de nouvelles techniques de modification génétique, pourraient être soumis à la réglementation sur les OGM.

#### 8.5.1.2.2 Des OGM obtenus par de "nouvelles" techniques de modification génétique.

##### 8.5.1.2.2.1 Les moustiques obtenus par des techniques de mutagenèse dirigée.

Plusieurs applications de la mutagenèse ciblée pourraient être faites dans le cadre de la lutte antivectorielle : il sera bientôt possible de « sélectionner une souche de moustique mutante portant un caractère désiré, tel que la résistance à un pathogène (ou l'incapacité à la transmettre (...)) ». Des « souches de sexage permettant le tri des mâles destinés à l'irradiation (...) » devraient être également mises au point. Enfin, le système CRISPR-Cas 9 pourrait être utilisé, sans forçage génétique, afin d'obtenir « rapidement des mutants chez les moustiques ». On sait que l'exemption de plusieurs des nouvelles techniques de modification génétique, appelées *New Breeding Techniques* dans le domaine du végétal, est actuellement en cours de discussion et que des acteurs défendent l'idée que la mutagenèse ciblée devrait échapper à la réglementation sur les OGM. Il n'en demeure pas moins qu'au regard du droit positif, les moustiques obtenus *via* la mutagenèse dirigée, constituent, selon nous, des OGM au sens de la Directive 2001/18.

Il est vrai que la mutagenèse est visée au titre des techniques produisant des OGM non assujettis à la réglementation afférente : la directive prévoit à son annexe I. B que la mutagenèse est une technique de modification génétique « produisant des organismes à exclure du champ d'application de la présente directive ». Néanmoins le motif ayant conduit à l'exemption de la mutagenèse aléatoire, seule mise au point en 2001, ne saurait concerner la mutagenèse dirigée. Il est, en effet, précisé au considérant 14 de la directive que « la présente directive ne devrait pas s'appliquer aux organismes obtenus au moyen de certaines techniques de modification génétique qui ont été *traditionnellement utilisées* pour diverses applications et dont la sécurité est avérée depuis longtemps », et que l'article D. 531-2 du Code de l'environnement, énumérant les techniques dont les produits échappent à la réglementation sur les OGM, dispose pareillement que ne lui sont pas soumis « les organismes génétiquement modifiés obtenus par des techniques (...) qui ont fait l'objet d'une *utilisation traditionnelle* sans inconvénient avéré pour la santé publique ou l'environnement ». Participant des nouvelles techniques de modification génétique, la mutagenèse ne saurait être considérée tel un procédé couramment employé, traditionnellement utilisé.

À supposer que le considérant 14 de la directive européenne et l'article L. 531-2 du Code de l'environnement français puissent être ignorés, encore faudrait-il que les conditions d'exemption des techniques soient réunies : l'annexe I B précise, en effet, que la mutagenèse et les autres techniques ou méthodes listées produisent des OGM exclus de la réglementation « à condition qu'elles n'impliquent pas l'utilisation de molécules d'acide nucléique recombinant ou d'OGM autres que ceux qui sont issus d'une ou plusieurs des techniques/méthodes énumérées (...) ». De même, l'article D. 531-2 du Code de l'environnement prévoit que « les techniques mentionnées à l'article L. 531-2, qui ne sont pas considérées comme donnant lieu à une modification génétique, sont les suivantes 2° à condition qu'elles n'impliquent pas l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés en tant qu'organismes récepteurs ou parentaux (...) ». Or la mutagenèse dirigée pourrait ne pas toujours remplir cette condition de ne pas recourir à des molécules d'acide nucléique recombinant.

Ainsi la mutagenèse guidée par oligonucléotides requiert ou peut requérir de remplacer une partie de la séquence d'ADN du gène cible par une autre séquence obtenue chimiquement. Même courte de quelques dizaines de nucléotides, cette autre séquence d'ADN n'en est pas moins utilisée en remplacement d'une partie de la séquence d'ADN du gène cible. Dès lors, la condition de non-utilisation d'ADN recombinant pourrait ne pas être remplie. La mutagenèse dirigée peut également être facilitée par l'utilisation de « ciseaux à ADN », plus précisément, par le recours aux méga-nucléases et nucléases à doigt de zinc. Or ces techniques d'appui peuvent impliquer l'introduction dans les cellules de l'organisme hôte d'un transgène codant pour l'enzyme de coupure. N'est-ce pas à dire que la mutagenèse dirigée implique, en ce cas, l'utilisation d'ADN recombinant ? S'agissant, en particulier des moustiques susceptibles d'être obtenus *via* le système CRISPR-Cas 9, sans forçage génétique, la condition de ne pas utiliser d'ADN recombinant pourrait ne pas être remplie. Le CS précise, nous semble-t-il en ce sens, qu'une « souche mutante s'obtient artificiellement, soit par injection de ciseaux moléculaires (protéines, ARN), soit par expression transgénique de ces mêmes ciseaux moléculaires ».

Les partisans d'une exemption de la mutagenèse dirigée de la réglementation sur les OGM invoqueront encore le fait que les moustiques obtenus par mutagenèse ciblée ne devraient pas contenir de transgène exogène. Dans ces travaux, le CS précisait ainsi que le résultat de l'obtention de moustiques par la technique CRISPR-Cas9, mais sans forçage génétique, « est un organisme génétiquement modifié non transgénique (dès l'instant où les transgènes éventuellement utilisés pour générer la mutation ont été éliminés) ». Les rédacteurs observaient alors que l'on « pourra vouloir établir une distinction entre les deux méthodes possibles d'obtention du mutant : par des outils impliquant une étape de transgenèse ou

non ». Il reste qu'en l'état du droit positif, la présence d'ADN exogène dans le produit final n'est pas un critère déterminant de la qualification d'OGM. Que l'on s'attache à la lettre ou à l'esprit des textes en vigueur<sup>197</sup>, l'absence de molécules d'acide nucléique recombinant dans le produit final ne caractérise pas les OGM<sup>198</sup>.

Que ce soit avec ou sans forçage génétique, les moustiques obtenus par le système CRISPR-Cas9 constituent des OGM assujettis à la réglementation afférente.

#### 8.5.1.2.2.2 Les moustiques obtenus par des techniques de forçage génétique

Dans son avis, le CS présente les apports d'un éventuel recours aux techniques de forçage génétique (*Gene drive*) dans le cadre de la lutte antivectorielle : ces techniques permettent de s'affranchir des lois de Mendel et d'augmenter l'héritabilité d'un élément génétique par rapport à la situation naturelle. Concernant les moustiques, on envisage de répandre « soit un caractère de résistance à une maladie, soit une stérilité des femelles dans le but de réduire la population » et ceci avec la plus grande efficacité puisqu'à chacune des fécondations d'un insecte sauvage par un transgénique, les chromosomes sauvages seront convertis en "chromosomes transgéniques".

S'agissant des techniques de forçage génétique, et notamment du système CRISPR-Cas9, la question n'est manifestement pas de savoir si les organismes modifiés par leur biais et porteurs d'un *Gene drive* constituent des OGM au sens de la Directive 2001/18. Nul ne semble contester que les moustiques porteurs d'un transgène qui ne serait pas seulement transmissible, mais nécessairement transmis à leur descendance constituent des OGM. Du reste, le simple fait que des organismes résultent de l'utilisation d'une technique de modification génétique non exemptée justifie, selon nous, qu'on les qualifie et soumette à la réglementation sur les OGM<sup>199</sup>. Nous l'avons déjà dit, la circonstance que les moustiques soient ou ne soient pas porteurs d'un transgène ne saurait influencer sur leur qualification d'OGM et l'application de la réglementation afférente.

Modifiés par irradiation ou par leur infection « naturelle », d'autres moustiques pourraient échapper à la réglementation sur les OGM.

---

<sup>197</sup> Voir la Directive 2001/18/CE et la loi du 25 juin 2008 relative aux OGM.

<sup>198</sup> Sur ce point, je me permets de renvoyer au texte rédigé sur les NBT et dont la première partie avait été publiée sur le site du HCB.

<sup>199</sup> Peu importe que les techniques soient listées expressément dans la liste indicative de techniques de modification génétique.

#### **8.5.1.3 Des moustiques modifiés échappant à la réglementation sur les OGM**

Non soumis à la réglementation sur les OGM, les moustiques irradiés et naturellement infectés par la bactérie *Wolbachia* pourraient échapper à toute réglementation.

##### **8.5.1.3.1 Des moustiques non-GM ou GM exemptés.**

###### **8.5.1.3.1.1 Les moustiques irradiés : des OGM exemptés.**

Si la TIS par irradiation ne participe pas de la lutte biologique, elle pourrait relever de la lutte génétique et consister en l'introduction de moustiques GM : la Directive européenne 2001/18 définit les OGM à l'article 2.2 tels des organismes « dont le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison naturelles »<sup>200</sup>. Dans la mesure où leur matériel génétique est modifié par irradiation et, partant, « d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison naturelle », les moustiques-TIS répondent à la définition littérale des OGM.

On pourrait, toutefois, discuter de la qualité d'« organismes » des moustiques stérilisés. En effet, l'article 2.1 de la directive précitée définit un organisme comme « toute entité biologique capable de se reproduire ou de transférer du matériel génétique ». Or la technique de l'insecte stérile vise à priver l'organisme du moustique de sa capacité de se reproduire. Reste que la technique est utilisée sur des moustiques que l'on suppose capables de se reproduire et qui constituent, donc, des organismes aux sens biologique et juridique du terme avant que la modification génétique subie ne les rende inaptes à la reproduction (en sens contraire, voir l'avis du CS et la recommandation du CEES)<sup>201</sup>.

Le fait que les moustiques stérilisés par irradiation ne soient pas le produit de recherches visant l'amélioration génétique de leur organisme pourrait faire obstacle à la qualification d'OGM. En effet, les moustiques stérilisés ne se présentent pas comme des produits « obtenus » par l'utilisation de techniques de modification génétique, comme des organismes savamment sélectionnés pour leurs traits ou qualités, mais tels des organismes amoindris, grossièrement diminués, par la technique de l'ionisation. Mais cette distinction ne résulte-t-elle pas d'une appréciation subjective des OGM ? D'aucuns diront, en effet, que les organismes ne sont pas génétiquement améliorés, mais manipulés<sup>202</sup>, que la capacité des

---

<sup>200</sup> De même, l'article L. 531-1 point 2 du code de l'environnement dispose qu'un OGM est un « organisme dont le matériel génétique a été modifié autrement que par multiplication ou recombinaison naturelles ».

<sup>201</sup> On pourrait également argumenter que les OGM résultent de l'utilisation de techniques limitativement énumérées dans la directive 2001-18. Mais nous ne pensons pas que cette liste des techniques soit exhaustive, au contraire de la liste des techniques ne produisant pas d'OGM. Sur ce point, voir l'étude juridique réalisée sur les NBT, précédemment mentionnée.

<sup>202</sup> Le terme est, par exemple, employé par le Réseau Semences Paysannes.

plantes à perdurer malgré l'emploi, par exemple, de pesticides est une vertu contestable et que la stérilité peut être présentée comme une qualité recherchée par les utilisateurs de la TIS.

En réalité, il est un élément de la Directive 2001/18 qui nous semble clairement attester que le législateur n'a pas entendu soumettre les organismes irradiés à la réglementation sur les OGM : l'exemption de la mutagenèse. L'annexe I B de la Directive 2001/18 prévoit, en effet, que « les techniques/méthodes de modification génétique produisant des organismes à exclure du champ d'application de la présente directive, à condition qu'elles n'impliquent pas l'utilisation de molécules d'acide nucléique recombinant ou d'OGM autres que ceux qui sont issus d'une ou plusieurs des techniques/méthodes énumérées ci-après sont : 1. la mutagenèse ; 2. la fusion cellulaire (...) »<sup>203</sup>. Dans la mesure, d'une part, où la mutagenèse visée par la Directive 2001/18, -i.e. la mutagenèse aléatoire, consiste à exposer des cellules à des agents énergétiques (rayons gamma, rayons X, etc.) ou chimiques afin de les faire muter et où, d'autre part, l'irradiation des moustiques consiste à les exposer à des rayons gamma ou X afin de les rendre stérile, les moustiques ionisés devraient être qualifiés d'organismes obtenus par mutagenèse.

Modifiés par mutagenèse, les moustiques ionisés échapperaient à la réglementation sur les OGM. Simultanément, cette exemption viendrait confirmer la qualité d'OGM des moustiques mutés par irradiation. Au regard du droit en vigueur, le statut d'OGM des moustiques obtenus par TIS n'a, certes, pas d'incidence puisque la réglementation afférente ne leur est pas, par exception, applicable. Mais l'exemption de la mutagenèse étant au cœur des débats actuels sur les Variétés Tolérantes aux Herbicides (VTH), les organismes mutés pourraient être, à l'avenir, soumis à la réglementation sur les OGM. Le cas échéant, la qualification d'OGM des insectes ionisés revêtirait une importance pratique, d'autant que la technique de l'insecte stérile a connu et devrait connaître d'autres applications dans les domaines, en particulier, de la culture et de l'élevage.

À l'inverse, selon nous, des moustiques irradiés, les moustiques naturellement infectés par la bactérie *Wolbachia* ne sauraient être qualifiés d'OGM.

---

<sup>203</sup> À savoir la mutagenèse et la fusion cellulaire (y compris la fusion de protoplastes) de cellules végétales d'organismes qui peuvent échanger du matériel génétique par des méthodes de sélection traditionnelles. Voir également l'article D. 531-2 du Code de l'environnement, qui a pour base l'article L. 531-2 du même Code.

8.5.1.3.1.2 2. Les moustiques « naturellement » infectés par *Wolbachia* : des non-OGM

S'ils peuvent être infectés « artificiellement » par la bactérie *Wolbachia*, les moustiques peuvent être aussi infectés « naturellement ». Le CS note, en effet, que « les infections de moustiques avec *Wolbachia* à des fins de lutte antivectorielles ne sont pas toutes artificielles. *Aedes polynesiensis*, vecteur des filaires W. Bancrofti et occasionnellement de DENV en Polynésie française, a en effet été infecté de manière naturelle, par croisement avec une espèce compatible, *Aedes riversi*. La souche de *Wolbachia* d'*Aedes riversi* a induit une incompatibilité cytoplasmique chez *Aedes Polynesiensis*, qui pourrait être exploitée pour une stratégie de suppression de la population ».

Dans cette hypothèse d'infection « naturelle », les moustiques ne devraient pas être qualifiés d'OGM. Car l'article 2. 2 de la Directive européenne 2001/18 les définit tels des organismes « dont le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison naturelles »<sup>204</sup>. À supposer que le matériel génétique des moustiques soit modifié *via* l'infection par *Wolbachia*<sup>205</sup>, le fait que cette modification soit réalisée par croisement naturel exclut la qualification d'OGM.

L'article D. 531-2 du Code de l'environnement en donne confirmation, qui dispose que « les techniques mentionnées à l'article L. 531-2, qui ne sont pas considérées comme donnant lieu à une modification génétique, sont (...) à condition qu'elles ne fassent pas appel aux techniques de recombinaison de l'acide nucléique recombinant ou à des organismes génétiquement modifiés : (...) les *processus naturels tels que* la conjugaison, la transduction, la transformation ou l'infection virale (...) ». Un « processus naturel » de croisement avec des espèces compatibles, l'infection des moustiques réalisée sans faire « appel » aux techniques de microinjection et d'introgression ne saurait être considérée « comme donnant lieu à une modification génétique ». Sans doute, l'infection bactérienne n'est-elle pas (à la différence de l'infection virale) mentionnée, mais l'expression « tels que » atteste que la liste des « processus naturels » est seulement indicative.

Il reste que les moustiques sont le plus souvent transinfectés par la bactérie *Wolbachia* et que l'infection par croisement naturel devrait rester moins fréquente, car moins efficace. En ce sens, le CS mentionne que « dans tous les cas étudiés, la transinfection est responsable d'incompatibilité cytoplasmique et les effets de *Wolbachia* sont en général plus forts dans le

---

<sup>204</sup> De même, l'article L. 531-1 point 2 du code de l'environnement dispose qu'un OGM est un « organisme dont le matériel génétique a été modifié autrement que par multiplication ou recombinaison naturelles ».

<sup>205</sup> Voir, *supra*.

cas de ces nouvelles associations « non naturelles » obtenues par transinfections et souvent associées à de fortes densités d'infection ».

Échappant à la réglementation sur les OGM, les moustiques ionisés et « naturellement » infectés pourraient échapper à toute autre réglementation.

#### 8.5.1.3.2 B. Des moustiques échappant aux réglementations biocide et biocontrôle ?

##### 8.5.1.3.2.1 L'absence de soumission à la réglementation biocide

Des scientifiques travaillant sur la technique de l'insecte stérile par irradiation ont pu se demander s'ils devaient obtenir une autorisation au titre de la réglementation sur les « produits biocides » pour l'introduction de moustiques ionisés dans l'environnement. De fait, les techniques de l'insecte stérile pourraient se rattacher à la lutte chimique : en 1964, le rapporteur du projet de loi relative à la lutte contre les moustiques, M. Massot, rangeait la technique, « encore à l'état de projet », de l'insecte stérile parmi les procédés chimiques de démoustication<sup>206</sup>. De même aujourd'hui, l'Australie pourrait considérer la technique de l'insecte stérile utilisant la bactérie *Wolbachia* comme un moyen de lutte chimique<sup>207</sup>.

La question se pose alors de savoir si l'on peut appliquer aux insectes stérilisés ou stérilisants la réglementation sur les produits biocides dans les États membres de l'Union européenne. L'article 1<sup>er</sup> du règlement n° 528/2012 du Parlement européen et du conseil du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides prévoit d'établir une liste de substances actives susceptibles d'être utilisées dans les produits biocides au niveau de l'Union européenne. L'annexe V du règlement énumère, à cette fin, quatre groupes de « produits biocides » : les « désinfectants », les « produits de protection », les « produits de lutte contre les nuisibles » et les autres « produits biocides »<sup>208</sup>. Aussi, les moustiques stérilisés ou stérilisants pourraient-ils être regardés comme des « substances actives » destinées à tuer leurs homologues, participant du 3<sup>ème</sup> groupe de « produits biocides » et plus précisément des types de produits n° 18 : « insecticides, acaricides et produits utilisés pour lutter contre les autres arthropodes », décrits comme des « produits utilisés pour lutter contre les arthropodes (tels que les insectes, les arachnides et les crustacés), par d'autres moyens qu'en les repoussant ou en les attirant ».

---

<sup>206</sup> Il annonçait, alors, « une nouvelle forme de lutte chimique, qui consisterait à stériliser les mâles de moustiques ».

<sup>207</sup> À la différence, semble-t-il, du droit australien qui permet de qualifier les moustiques stériles de « *veterinary chemical product* » (Paul J. De Barro, Brendan Murphy, Cassie C. Jansen, Justine Murray, « The proposed release of the yellow fever mosquito, *Aedes aegypti* containing a naturally occurring strain of *Wolbachia pipientis*, a question of regulatory responsibility », *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 5 mai 2011).

<sup>208</sup> Soit les produits antiallergie et les fluides utilisés pour l'embaumement et la taxidermie.



La définition donnée des produits biocides fait cependant obstacle à l'application dudit règlement aux moustiques : l'article 3. 1. a) du règlement énonce certes que l'on doit entendre par « produit biocide : - *toute substance ou tout mélange*, sous la forme dans laquelle il est livré à l'utilisateur, *constitué d'une ou plusieurs substances actives*, en contenant ou en générant, qui est destiné à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière par une action autre qu'une simple action physique ou mécanique, - *toute substance ou tout mélange généré par des substances ou des mélanges qui ne relèvent pas eux-mêmes du premier tiret*, destiné à être utilisé pour détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, pour en prévenir l'action ou pour les combattre de toute autre manière par une action autre qu'une simple action physique ou mécanique. (...) ». Entendu de manière extensive, le terme de substance pourrait éventuellement renvoyer à des organismes. Mais l'article 3. 1. b) du même règlement conduit à exclure les organismes de la catégorie des « substances actives ». La disposition précise, en effet, que par « substance active », il faut entendre « *une substance ou un microorganisme* qui exerce une action sur ou contre les organismes nuisibles ». En précisant que la notion de « substance active » s'étend aux microorganismes, le législateur exclut par là même les organismes et, partant, les moustiques.

S'agissant de la technique de l'insecte stérile *via Wolbachia*, nous pourrions douter que le règlement européen ne puisse pas s'appliquer dès lors que l'article 3. 1. b) définit un microorganisme comme « toute entité microbiologique, cellulaire ou non cellulaire, capable de se répliquer ou de transférer du matériel génétique, y compris les champignons inférieurs, les virus, les *bactéries*, les levures, les moisissures, les algues, les protozoaires et les helminthes parasites microscopiques » et que *Wolbachia* constitue une bactérie. Nous ne saurions toutefois ignorer que ce que l'on se propose de disséminer dans l'environnement n'est pas un produit composé de bactéries, mais des moustiques infectés par des bactéries, soit des organismes clairement exclus de la réglementation sur les produits biocides.

#### 8.5.1.3.2.2 L'absence de soumission à la réglementation « biocontrôle »

Concernant la stratégie TIS, le CS mentionne qu'elle « ne semble pas réglementée. Le lâcher de moustiques stérilisés par irradiation réalisé en Italie (...) n'a pas nécessité d'autorisation ou d'évaluation de risques préalable (...). La publication correspondante fait référence aux normes internationales pour les mesures phytosanitaires de la FAO et de la Convention internationale pour la protection des végétaux, dans le cadre desquelles le lâcher d'insectes stériles est traité dans les directives pour l'exportation, l'expédition, l'importation et le lâcher d'agents de lutte biologique et autres organismes utiles (...). Les moustiques stérilisés par



irradiation seraient donc considérés comme des agents de lutte biologique et la stratégie de TIS s'apparenterait à du biocontrôle »<sup>209</sup>.

Ainsi les moustiques irradiés seraient soumis au même régime juridique que les poissons larvivoires ou crustacés prédateurs « ennemis naturels » des moustiques. À « l'état naturel », les moustiques ne sont pourtant pas considérés comme des ennemis de leurs congénères. C'est seulement après avoir été élevés, ionisés et relâchés que les moustiques deviennent les « ennemis naturels » de leurs homologues demeurés à l'état naturel. Paradoxalement, seuls les anophèles domestiqués pourraient être employés dans la lutte « naturelle » contre leurs homologues sauvages. Il semble, dès lors, peu cohérent de traiter les moustiques irradiés tels des auxiliaires de la lutte biologique.

De même, les moustiques infectés par la bactérie *Wolbachia* ne sont pas des « ennemis naturels » des moustiques de la même espèce ; ils le deviennent après que leur matériel génétique a été modifié. Une distinction pourrait être faite entre les moustiques transinfectés, d'une part, et les moustiques « naturellement » infectés, d'autre part<sup>210</sup>. Les premiers seraient tels des « ennemis artificiels » quand les seconds pourraient être qualifiés d'« ennemis naturels ». Mais ce serait faire l'impasse sur la transformation subie par ces derniers.

En toute hypothèse, les diverses techniques de modification des moustiques ne sauraient *a priori* être rangées dans la catégorie du biocontrôle lorsqu'elles sont utilisées pour l'éradication d'espèces. Car l'objectif d'éradiquer une espèce paraît contraire à l'idée même d'opérer un contrôle des déprédateurs. En effet, « le principe du biocontrôle est fondé sur la gestion des équilibres des populations d'agresseurs plutôt que sur leur éradication. Les produits de biocontrôle privilégient l'utilisation de mécanismes et d'interactions naturels, qui permettent de régir les relations entre les espèces naturelles dans le milieu naturel »<sup>211</sup>.

En définitive, seule une « batterie » de moustiques « naturellement » infectés par la bactérie *Wolbachia* et disséminés à fin, non d'éradication, mais de limitation ou de modification de la population pourrait être considérée comme un produit biocontrôle. Encore faut-il préciser que les moustiques étant des macroorganismes, ils ne sauraient être considérés comme des produits de protection des cultures au sens du règlement CE

---

<sup>209</sup> Le biocontrôle vise à la protection des plantes en privilégiant l'utilisation de mécanismes et d'interactions naturels.

<sup>210</sup> Cf. infra.

<sup>211</sup> « Procédures réglementaires applicables aux produits de biocontrôle ». Guide pédagogique – mars 2013, p. 10.

n°1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et ne devraient donc pas suivre « le parcours habituel des autres produits de protection des cultures »<sup>212</sup>.

Observons, enfin, que les moustiques modifiés peuvent difficilement être qualifiés de produits de protection des cultures dès lors qu'ils ont une destination sanitaire et non agricole. Reste que la dissémination de moustiques modifiés pourrait annoncer l'introduction de divers insectes modifiés pour les besoins de l'agriculture<sup>213</sup>, de sorte qu'il est permis de se demander si ces derniers relèveraient de la réglementation intéressant l'agriculture biologique : selon l'article 4 a) i) du règlement européen n° 834/2007 sur la production biologique, celle-ci est fondée sur le fait de « concevoir et de gérer de manière appropriée des procédés biologiques en se fondant sur des systèmes écologiques qui utilisent des *ressources naturelles internes au système*, selon des méthodes qui utilisent des organismes vivants et des méthodes de production mécaniques ». Autrement dit, « l'utilisation de macroorganismes est autorisée dans les systèmes de production en Agriculture Biologique, comme moyen de lutte biologique, à condition que ces macroorganismes ne soient pas obtenus à partir ou issus d'Organismes Génétiquement Modifiés »<sup>214</sup>. Ainsi les insectes GM seraient interdits dans les systèmes de production biologique. Des OGM exemptés, les insectes irradiés devraient être exclus de la production en Agriculture biologique<sup>215</sup>.

Mais comment refuser l'entrée aux champs à des organismes volants, capables de s'affranchir des distances imposées par le principe de coexistence entre les cultures GM et non-GM ? En d'autres termes, comment appliquer une réglementation conçue pour les végétaux à des animaux ? C'est là une des multiples questions que pose la mise en œuvre de la réglementation sur les OGM aux insectes GM.

---

<sup>212</sup> *Ibid.* Les moustiques sont des insectes et, partant, des macroorganismes au sens juridique du terme : un macroorganisme est présenté comme « tout organisme autre qu'un micro-organisme » tel que défini à l'article 3 du règlement européen n° 1107/2009. Or « cette catégorie de produits n'entre pas dans le champ d'application du règlement européen n°1107/2009. Les macroorganismes ne sont pas considérés comme des produits de protection des cultures au sens du règlement CE n°1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques. Ces produits de biocontrôle ne suivent donc pas le parcours habituel des autres produits de protection des cultures. Ils ne sont ni soumis au processus d'approbation au RCE n°1107/2009, ni soumis au dispositif d'Autorisation de mise sur le marché ».

<sup>213</sup> Voir le Rapport de la chambre des Lords du Royaume-Uni du 17 décembre 2015.

<sup>214</sup> « Procédures réglementaires applicables aux produits de biocontrôle », Guide pédagogique – mars 2013, p. 10.

<sup>215</sup> Dans la mesure, toutefois, où de nombreuses variétés utilisées en Agriculture biologique sont issues de pratiques anciennes de mutagénèse, il est permis d'imaginer que les insectes irradiés soient pareillement acceptés.

### 8.5.2 De l'application outre-mer des règles relatives aux OGM<sup>216</sup>.

Outre la métropole<sup>217</sup>, sur quels territoires français les règles juridiques relatives aux OGM auraient-elles vocation à s'appliquer dans l'hypothèse où la France projeterait d'utiliser des moustiques génétiquement modifiés<sup>218</sup> ? Nous tenterons d'apporter quelques éléments de réponse à cette question, en distinguant entre le droit interne (I), le droit de l'Union européenne (II) et le droit international de l'environnement (III).

#### **8.5.2.1 Du droit interne relatif aux OGM**

S'agissant du droit interne, il nous faut rechercher si les dispositions françaises intéressant les OGM, notamment les articles L. 531-1 à L. 537-1, D. 531-1 à D. 531-3 et R. 531-1 à R. 533-51 du Code de l'environnement, ont vocation à s'appliquer aux départements et régions d'outre-mer (DROM) (A), aux collectivités d'outre-mer (COM) (B) et aux autres territoires d'Outre-mer (C).

##### *8.5.2.1.1 Application aux DROM des règles de droit françaises relatives aux OGM*

Les quatre régions d'outre-mer (ROM) sont la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane et La Réunion. Dans la mesure où l'article 73 de la Constitution énonce que dans les « régions d'outre-mer, les lois et règlements sont applicables de plein droit », les dispositions du Code de l'environnement français, et en particulier celles relatives aux OGM, s'appliquent dans ces régions. La Constitution réserve, certes, la possibilité d'adapter les lois et règlements centraux en fonction des « caractéristiques et contraintes particulières » de ces territoires. Mais aucune mention n'étant, *a priori*, faite des ROM au livre V du Code de l'environnement (partie législative et partie réglementaire), le droit interne des OGM devrait, en principe, s'appliquer *in extenso* à la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane et La Réunion.

Seul département d'outre-mer (DOM), Mayotte obéit, depuis 2010<sup>219</sup>, au régime de l'identité législative, au même titre que les ROM. L'application, en particulier, du Code de l'environnement ne fait guère de doute, qui est expressément spécifiée au livre VI du Code de l'environnement : l'article L. 651-1 I dispose que « le présent code est applicable à Mayotte sous réserve des adaptations prévues par le présent titre ». Comme les ROM, le département peut ainsi faire l'objet d'adaptations tenant à ses « caractéristiques et contraintes particulières », notamment, en droit de l'environnement. Mais les rares modifications apportées au droit des pollutions, des risques et des nuisances ne concernent guère les OGM.

---

<sup>216</sup> Cette note est essentiellement construite sur la base du « fascicule 4750 : collectivités d'outre-mer et environnement », *JurisClasseur Environnement et Développement durable*, 31 décembre 2012, dernière mise à jour : 1<sup>er</sup> juillet 2014, rédigé par E. Naïm-Gesbert et Frédéric Sauvageot, puis actualisé par Lucile Stahl.

<sup>217</sup> La métropole comprend l'hexagone, ses îles et la Corse.

<sup>218</sup> Voir notre contribution visant à déterminer quels moustiques pourraient être juridiquement qualifiés d'OGM.

<sup>219</sup> Voir la loi organique n° 2010-1486 du 7 décembre 2010 et la loi n° 2010-1487 du même jour.

Aussi, les lois et les règlements français relatifs aux OGM s'appliquent-ils, *in extenso*, à l'unique département d'outre-mer.

#### 8.5.2.1.2 Application aux COM des règles de droit françaises relatives aux OGM.

Au sens de l'article 74 de la Constitution, les collectivités d'outre-mer (COM) sont Saint-Barthélemy, Saint-Pierre-et-Miquelon, Saint-Martin, la Polynésie française et les îles Wallis-et-Futuna. En dépit de leur identité de statut, ces territoires n'obéissent pas tous au même régime juridique : tandis que Saint-Barthélemy, Saint-Pierre-et-Miquelon et Saint-Martin obéissent au régime d'identité législative, la Polynésie française et les îles Wallis-et-Futuna obéissent au régime de spécialité législative. C'est dire que les dispositions françaises relatives aux OGM s'appliquent, *a priori*, de plein droit aux trois premières collectivités, et ne s'appliquent pas aux deux dernières, sauf à ce que le champ d'application des articles L. 531-1 à L. 537-1, D. 531-1 à D. 531-3 et R. 531-1 à R. 533-51 du Code de l'environnement leur ait été expressément étendu. Il nous faut, donc, y regarder de plus près.

##### 8.5.2.1.2.1 Des COM soumises au principe d'identité législative

Par principe, Saint-Pierre-et-Miquelon est soumise au principe d'identité législative : l'article LO 6413-1 al. 1 du CGCT dispose que « les dispositions législatives et réglementaires sont applicables de plein droit à Saint-Pierre-et-Miquelon, à l'exception de celles qui interviennent dans les matières relevant de la loi organique en application de l'article 74 de la Constitution ou dans les matières relevant de la compétence de la collectivité en application du II de l'article LO 6414-1 ». Or, aucune des matières énumérées à ces deux articles n'intéresse le droit de l'environnement. Dès lors, le Code de l'environnement et, en particulier, ses dispositions relatives aux OGM sont applicables à Saint-Pierre-et-Miquelon. Certes, quelques particularismes existent<sup>220</sup>, mais aucun n'intéresse *a priori* les OGM.

À l'instar de Saint-Pierre-et-Miquelon, Saint-Martin obéit au régime d'identité législative : l'article LO 6313-1 al. 1 du CGCT prévoit que « les dispositions législatives et réglementaires sont applicables de plein droit à Saint-Martin, à l'exception de celles qui interviennent dans les matières relevant de la loi organique en application de l'article 74 de la Constitution ou de la compétence de la collectivité en application de l'article LO 6414-3 ». Or, aucune des matières énumérées à cet article n'intéresse le droit de l'environnement. Aussi, les dispositions nationales relatives aux OGM s'appliquent-elles à Saint-Martin. Sans doute, l'applicabilité de plein droit des lois et règlements ne fait pas « obstacle à leur adaptation à

---

<sup>220</sup> L'applicabilité de plein droit des lois et règlements ne fait pas obstacle à leur adaptation à l'organisation particulière de Saint-Pierre-et-Miquelon.

l'organisation particulière »<sup>221</sup> de la collectivité, mais nulle règle spécifique n'a été, *a priori*, adoptée en matière d'OGM.

Comme Saint-Pierre-et-Miquelon et Saint-Martin, Saint-Barthélemy est soumise au régime d'identité législative<sup>222</sup>. Mais il est précisément fait exception à ce principe en matière environnementale : l'article LO 6214-3 I 5° du code général des collectivités territoriales (CGCT) dispose que la collectivité de Saint-Barthélemy fixe les règles applicables en matière, notamment, d'environnement, « y compris la protection des espaces boisés ». À telle enseigne qu'un Code de l'environnement de Saint-Barthélemy existe depuis 2009<sup>223</sup>. L'adoption de ce code local n'a, cependant, pas conduit à l'abrogation de toutes les dispositions du Code national de l'environnement<sup>224</sup>. En particulier, le titre 3 du livre V du Code de l'environnement français relatif aux OGM demeure applicable, mais dans sa version antérieure à la loi organique du 21 février 2007<sup>225</sup>. En l'absence de précision, et dans la mesure où le Code de l'environnement local ne comporte aucun titre relatif aux OGM<sup>226</sup>, il y a lieu de penser que ce sont, à la fois, les anciennes dispositions légales et réglementaires du code national de l'environnement qui demeurent en vigueur. Concrètement, cela signifie que le *corpus* de règles relatives aux OGM découlant de la loi n° 92-654 du 13 juillet 1992 demeure applicable à Saint-Barthélemy, sans que les justiciables puissent se prévaloir, pour ce territoire, des importants compléments apportés par les lois n° 2008-595 du 25 juin 2008 et 2015-1567 du 2 décembre 2015.

Néanmoins au chapitre 3 intitulé "Organismes génétiquement modifiés" du titre 7 de ce code actualisé en novembre 2016, figure l'article 731-1 qui dispose que "L'utilisation confinée, la dissémination et la mise sur le marché d'OGM sur le territoire de la Collectivité de Saint-Barthélemy sont soumis aux dispositions du titre III du livre V du code national de l'environnement" (page 85 du document joint). Par conséquent, les dispositions du code de l'environnement national relatives aux OGM et plus particulièrement les articles L. 533-3 et suivants de ce code prévoyant un régime d'autorisation en cas de dissémination volontaire

---

<sup>221</sup> Voir l'article LO 6313-1 al. 1 du CGCT.

<sup>222</sup> Ibid.

<sup>223</sup> Voir la délibération du Conseil territorial n° 2009-050 CT du 12 juin 2009 portant approbation dudit Code de l'environnement.

<sup>224</sup> Voir la délibération du Conseil territorial n° 2010-041 CT du 15 juin 2010.

<sup>225</sup> Voir la loi organique n° 2007-223 du 21 février 2007 (Journal Officiel du 22 Février 2007, p. 3121, et du 14 Avril 2007) qui lui reconnaît l'autonomie administrative tout en l'érigeant en collectivité d'outre-mer au sens de l'article 74 de la Constitution.

<sup>226</sup> Information à jour du 1<sup>er</sup> juillet 2014.

d'OGM ou de mise sur le marché de tels organismes, sont applicables à la collectivité de Saint-Barthélemy." Ainsi si les réglementations prises par la France postérieurement à 2007 sont ainsi reconnues valables par le code de la collectivité, c'est bien la réglementation nationale en 2017 et donc le cadre européen de l'autorisation de mise en marché qui s'applique.

#### 8.5.2.1.2.2 Des COM soumises au principe de spécialité législative

À la différence de Saint-Pierre-et-Miquelon, Saint-Martin et Saint-Barthélemy, Wallis-et-Futuna obéit au principe de spécialité législative : l'article 4 de la loi du 29 juillet 1961<sup>227</sup> prévoit que, sous réserve des textes, par principe, applicables sur l'ensemble du territoire français et communément désignés par l'expression « lois de souveraineté », le territoire de Wallis-et-Futuna est régi « par les lois, décrets et arrêtés ministériels déclarés expressément applicables (...) au territoire de Wallis-et-Futuna ». Par conséquent, les lois et règlements relevant du droit de l'environnement ne sont pas applicables de plein droit dans l'archipel, devenu une COM en 2003. Faute de mention expresse, les dispositions nationales relatives aux OGM ne devraient donc pas s'appliquer à Wallis-et-Futuna.

En 2006, les îles se sont, néanmoins, dotées d'un Code de l'environnement : si son livre IV, relatif au droit des pollutions, des risques et des nuisances, ne comporte pas de titre relatif aux OGM, il comporte des dispositions relatives aux études d'impact, aux enquêtes publiques et, surtout, aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). À défaut de réglementation spécifique aux OGM, la production de moustiques GM pourrait, alors, se trouver réglementée, à Wallis-et-Futuna, à travers le droit des ICPE. En ce sens, notons qu'il existait déjà en droit français, avant la loi du 13 juillet 1992, une autorisation préalable obligatoire après enquête publique au titre de la loi de 1976 sur les installations classées (rubrique 58-11° de la nomenclature) pour les centres de préparation industrielle de micro-organismes, de manipulations virologiques et microbiologiques et de recombinaison génétiques<sup>228</sup>. Mais faute d'avoir pu trouver la nomenclature des ICPE sur les îles de Wallis-et-Futuna, nous ne saurions nous prononcer sur la possibilité d'agir en justice sur le fondement du droit local des ICPE, à l'occasion d'un litige relatif à la production d'OGM<sup>229</sup>.

En toute hypothèse, le Code de l'environnement local reprend, aux articles E. 110-1 à E. 115-4, les principes d'intégration, de prévention, pollueur-payeur, de précaution,

---

<sup>227</sup> Cette loi confère aux îles Wallis-et-Futuna le statut de territoire d'outre-mer (loi n° 61-814, *Journal Officiel* du 30 Juillet 1961).

<sup>228</sup> M. Prieur (dir.), *Droit de l'environnement*, 7<sup>ème</sup> éd., Dalloz, 2016, n° 835, p. 647.

<sup>229</sup> Voir les articles 411-1 et s. du Code de l'environnement de Wallis-et-Futuna.

d'information et de participation<sup>230</sup>. Aussi, les acteurs opposés à la production et/ou à l'importation de moustiques GM pourraient-ils invoquer ces principes directeurs du droit de l'environnement, en particulier, le principe de précaution<sup>231</sup>, lequel a valeur constitutionnelle et se trouve au fondement de la réglementation nationale sur les OGM. Ajoutons que l'existence d'un droit coutumier<sup>232</sup> est reconnu à Wallis-et-Futuna : émanant des royaumes d'Alo, de Sigave et d'Uvéa, ce droit régit l'utilisation du lagon, des bois et de la terre. Aux articles E. 132-3 et E. 123-4, le Code de l'environnement de Wallis-et-Futuna prévoit, d'ailleurs, la consultation des autorités coutumières par la Commission de l'Assemblée territoriale chargée des questions environnementales, et l'association privilégiée des institutions coutumières « au processus de préparation et de décision, ainsi qu'aux opérations d'information, de concertation, de sensibilisation et de suivi »<sup>233</sup>. C'est dire que le projet de produire ou d'importer des moustiques GM sur les îles de Wallis-et-Futuna devrait être examiné à l'aune, aussi, des règles de droit coutumières.

De même que Wallis-et-Futuna, la Polynésie française relève du régime de la spécialité législative : l'article 7 de la loi du 27 février 2004, qui érige la Polynésie en COM, prévoit que « sont applicables en Polynésie française les dispositions législatives et réglementaires qui comportent une mention expresse à cette fin »<sup>234</sup>. Or, le Code de l'environnement national ne prévoit pas, *a priori*, l'application des dispositions relatives aux OGM. Dès lors, les dispositions *nationales* relatives aux OGM ne devraient pas davantage s'appliquer en Polynésie française qu'à Wallis-et-Futuna.

Cependant, l'assemblée de la collectivité polynésienne est compétente en matière environnementale : la loi du 27 février 2004 lui confie « le soin de définir les régimes de

---

<sup>230</sup> Selon les cas, il s'agit des dispositions qui traduisent des normes de souveraineté (ES) ou qui résultent de délibérations de l'Assemblée territoriale de Wallis et Futuna (E).

<sup>231</sup> Ce principe a une valeur constitutionnelle (Voir la charte de l'environnement, intégrée au bloc de constitutionnalité).

<sup>232</sup> Les coutumes de Wallis-et-Futuna sont reconnues par la République « en tant qu'elles ne sont pas contraires aux principes généraux du droit » et aux dispositions de la loi de 1961 (loi n° 61-814, *Journal Officiel* du 30 Juillet 1961, art. 3).

<sup>233</sup> Selon l'auteur du fascicule, le Code de l'environnement de Wallis-et-Futuna lui reconnaît un rôle majeur puisqu'il prévoit que « l'Autorité coutumière, seule compétente en matière foncière sur le territoire des îles Wallis-et-Futuna, devra être consultée pour toutes les questions relatives à l'environnement et notamment celles destinées à assurer sa protection » (Code de l'environnement de Wallis-et-Futuna, art. E. 110-3). Mais nous n'avons pu retrouver une telle disposition.

<sup>234</sup> Voir la loi organique n° 2004-1932 portant statut d'autonomie de la Polynésie française (*Journal Officiel* du 2 Mars 2004).



protection environnementale en lieu et place du législateur »<sup>235</sup>. Depuis le 15 décembre 2003, la collectivité possède, en outre, un Code de l'environnement, venu modifier le code local de l'aménagement. S'il ne comporte pas davantage que celui de Wallis-et-Futuna de titre relatif aux OGM, le Code de l'environnement de la Polynésie française comprend, néanmoins, des dispositions relatives aux études d'impact, aux enquêtes publiques et aux ICPE. Or, la nomenclature des ICPE vise, à la rubrique 2680, « les installations où sont mis en œuvre dans un processus de production industrielle ou commerciale des Organismes Génétiquement Modifiés ». Ces OGM relèvent, alors, de la première classe, *-i.e.* de celles qui présentent des graves dangers ou inconvénients « soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publique, soit pour l'agriculture, soit pour l'aquaculture et la pêche, soit pour la protection de la nature et de l'environnement »<sup>236</sup> et qui se trouvent, à ce titre, soumises au strict régime de l'autorisation<sup>237</sup> pourrait, toutefois, contester la subsumption des moustiques GM sous la rubrique 2680 dans l'hypothèse où ils seraient produits à des fins, non industrielles ou commerciales, mais exclusivement sanitaires.

Les moustiques GM pourraient encore être obtenus à l'extérieur du territoire, puis importés. À cet égard, le gouvernement polynésien a reconnu, le 24 mars 2016, que « la réglementation sur l'importation des animaux, produits animaux, végétaux et produits végétaux ne comprend pas de dispositions spécifiques relatives aux OGM » et que « le service du développement rural n'effectue, donc, aucun contrôle sur les produits agro-alimentaires eu égard à la présence éventuelle d'OGM »<sup>238</sup>. Mais, là encore, il ne faut pas oublier que le Code de l'environnement polynésien reprend, à l'article D. 100-2, les principes directeurs du droit de l'environnement, de sorte que le juge saisi d'une affaire relative à des moustiques GM importés en Polynésie française ne serait pas entièrement démunie pour statuer<sup>239</sup>.

#### 8.5.2.1.3 Application aux autres territoires d'Outre-Mer des règles de droit françaises relatives aux OGM.

Comme Wallis-et-Futuna et la Polynésie française, la Nouvelle-Calédonie est régie par le principe de spécialité législative. *A priori*, il n'existe pas davantage de dispositions nationales

---

<sup>235</sup> Fascicule 4750, loc.cit.

<sup>236</sup> Voir l'article D. 221-4 du Code de l'environnement.

<sup>237</sup> Voir l'article D. 221-1 (Délibération n° 87-80 AT du 12 juin 1987, délibération n° 93-169 AT du 30 décembre 1993) et s.

<sup>238</sup> En réponse à une question écrite n° 01939, Papeete, 24 mars 2016, posée par Monsieur Edouard Fritch à Madame Eliane Tevahitua, représentante UPLD de l'Assemblée de la Polynésie française (la question posée à Edouard Fritch porte sur la « qualité et sécurité sanitaire des produits alimentaires et agro-alimentaires importés »).

<sup>239</sup> Rappelons que l'article 4 du Code civil français dispose que « Le juge qui refusera de juger, sous prétexte du silence, de l'obscurité ou de l'insuffisance de la loi, pourra être poursuivi comme coupable de déni de justice ».



relatives aux OGM qui soient rendues applicables en Nouvelle-Calédonie que dans les COM soumises au principe de spécialité législative.

À cet égard, il faut préciser que la règle selon laquelle les lois et règlements édictés par la République française sont applicables à la condition d'une mention spéciale prévoyant leur application ne vaut pas entièrement pour la Nouvelle-Calédonie. Car le système juridique est plus complexe : la Nouvelle-Calédonie forme une collectivité *sui generis*, elle-même divisée en trois collectivités territoriales spécifiquement néo-calédonienne, les provinces. Or, pour l'élaboration du droit de l'environnement, la collectivité calédonienne partage ses compétences avec les provinces. Ce sont même les provinces qui bénéficient de la compétence de droit commun dans le domaine du droit de l'environnement, la collectivité néo-calédonienne ne disposant que d'une compétence d'attribution. Ainsi, la Province Nord<sup>240</sup>, la Province Sud et la Province des îles Loyauté<sup>241</sup> se sont chacune dotées d'un Code de l'environnement. Mais aucun de ces trois codes ne comporte de titre dédié aux OGM. Et il n'est pas certain que les dispositions relatives aux ICPE soient applicables. Car les OGM ne figurent pas dans les nomenclatures. Reste à savoir si les installations produisant des moustiques GM pourraient être classées pour la protection de l'environnement dans la mesure où elles produisent d'une certaine manière des insecticides et, en ce sens, des produits toxiques.

S'agissant des moustiques GM qui pourraient être importés, et non produits, en Nouvelle-Calédonie, le gouvernement de la collectivité a adopté, le 24 février 2014, un arrêté relatif aux conditions d'importation des produits à risques sanitaires, comportant des dispositions relatives aux OGM. Or, l'une de ces dispositions paraît reposer sur une interdiction tacite d'importer des animaux génétiquement modifiés, de sorte que l'importation des moustiques GM pourrait être prohibée. En effet, l'arrêté susmentionné a pour objet et champ d'application « les produits à risque sanitaire », lesquels sont « classés en fonction de leur nature, de leur destination, du niveau de risque et de la certification qui y est afférente en classes, groupes, sous-groupes, catégories et sous catégories de produits tels que mentionnés à l'annexe I et II du présent arrêté ». À l'annexe II, la classification des produits à risques sanitaires nécessitant l'obtention d'un permis d'importation vise, notamment, les animaux vivants de rente (par opposition aux animaux de compagnie) « autres » que les mammifères, les oiseaux, les mollusques et, donc, par hypothèse, les insectes. Or, à l'annexe IV-1, le « modèle de demande de permis pour l'importation d'animaux ou de matériel génétique ou de produits biologiques d'origine animale en Nouvelle-Calédonie » commande d'attester

---

<sup>240</sup> Voir la délibération n° 193-2003/APN.

<sup>241</sup> Voir la délibération du 18 janvier 2013.

« que les animaux, le matériel génétique animal ou les produits biologiques d'origine animale destinés à l'importation ne sont pas de type OGM ». Aussi, l'importation de moustiques GM paraît être *ipso facto* interdite. Encore faut-il préciser que des laboratoires de recherche comme l'IRD, voire une firme telle Oxitec, pourraient se prévaloir de l'article 35 dudit arrêté : intitulé « Cas de certains produits à risque sanitaire à destination des instituts de recherche, des organismes de développement et des laboratoires d'analyses », l'article prévoit, à son alinéa 1, que « des dérogations aux dispositions du présent arrêté peuvent être accordées par le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie aux organismes de recherche, de développement et d'analyse pour les besoins de leurs activités, dans les conditions fixées à l'annexe XXVI ». Il n'est, toutefois, pas certain que les conditions d'octroi d'une dérogation puissent être remplies s'agissant des moustiques GM utilisés dans le cadre de la lutte anti-vectorielle. Car il est prévu, pour les animaux, « la délivrance d'un permis unique avec conditions de destruction, réexpédition ou conservation en banque de données ». Aussi, l'élevage confiné des moustiques GM pourrait-il être seul envisagé, à l'exclusion de leur dissémination et introduction dans l'environnement. De manière plus fondamentale, l'on pourrait contester l'applicabilité d'un arrêté relatif aux « produits à risque *sanitaire* » en l'espèce. Car l'importation de moustiques GM vise à limiter la propagation de maladie ; la santé est sa finalité. Mais un tel argument ne paraît pas dirimant, qui pourra être qualifié de spécieux ou rhétorique. *In fine*, le récent arrêté pris par le gouvernement de la Nouvelle-Calédonie pourrait efficacement faire obstacle à l'importation de moustiques GM sur le territoire de la collectivité.

À l'instar de la Nouvelle-Calédonie, les Terres australes et antarctiques françaises (TAAF), auxquelles sont rattachées les îles éparses de l'océan indien : Europa, Tromelin, les Glorieuses, Bassas da India, Juan da Nova, constituent une collectivité *sui generis*, soumise au régime de la spécialité législative : l'article 1-1, al. 1<sup>er</sup> de la loi du 6 août 1955<sup>242</sup> dispose que « dans les matières qui relèvent de la compétence de l'État, sont applicables dans les TAAF, les dispositions législatives et réglementaires qui comportent une mention expresse à cette fin ». Par exception, l'article 1-1, al. 2 prévoit que les lois et règlements adoptés par la République française sont applicables de plein droit dans dix matières. Aucune de ces matières ne concernant le droit de l'environnement, il apparaît que les lois et règlements nationaux intéressant ce droit ne sont pas applicables aux TAAF, sauf à ce que leur application soit

---

<sup>242</sup> Il s'agit de la loi n° 55-1052 du 6 août 1955 portant statut des TAAF (Terres australes et antarctiques françaises) et de l'île de Clipperton (*Journal Officiel* du 9 août 1955).

dûment envisagée. Faute de mention expresse, les lois et les règlements français relatifs aux OGM ne sont, donc, pas applicables aux TAAF.

Reste que les TAAF font l'objet de nombreuses mesures de protection<sup>243</sup>. En particulier, les îles éparses participent du parc naturel marin des Glorieuses, lequel forme, avec le parc naturel marin de Mayotte, la plus grande aire maritime protégée française. Aussi, faut-il veiller à ne pas inférer de l'absence de réglementation spécifique aux OGM la possibilité d'introduire librement des moustiques GM et examiner la réglementation relative aux aires protégées concernées.

Comme la Nouvelle-Calédonie et les TAAF, Clipperton forme une collectivité *sui generis*. Mais l'île présente cette particularité d'être placée « sous l'autorité directe du gouvernement ». L'article 9, alinéa 2 de la loi modifiée du 6 août 1955<sup>244</sup>, portant statut de l'île de Clipperton<sup>245</sup>, précise que son administration se trouve « confiée au ministre chargé de l'Outre-mer » qui « y exerce l'ensemble des attributions dévolues par les lois et les règlements aux autorités administratives ». Surtout, l'alinéa 3 de la même disposition soumet l'île au principe d'identité législative ; il dispose que « les lois et règlements sont applicables de plein droit dans l'île de Clipperton ». Dans la mesure où la disposition est entrée en vigueur le 23 février 2007, le Code de l'environnement français et, en particulier, les lois et règlements relatifs aux OGM sont, *a priori*, applicables sur l'île de Clipperton.

#### 8.5.2.2 Du droit interne relatif aux OGM. Résumé schématique

Statuts juridiques	Territoires d'outre-mer	Applicabilité des dispositions nationales relatives aux OGM	Existence de dispositions locales relatives à la production d'OGM	Existence de dispositions locales relatives à l'importation d'OGM	Existence d'autres règles locales susceptibles d'encadrer les OGM (principes directeurs, droit coutumier, aires protégées, etc.)
Régions d'outre-mer (ROM)	Guadeloupe, Martinique,	Oui			

<sup>243</sup> Les terres australes constituent une réserve naturelle.

<sup>244</sup> Voir la loi susmentionnée n° 55-1052 du 6 août 1955.

<sup>245</sup> Et des TAAF.

	Guyane, Réunion.				
Département d'outre-mer (DROM)	Mayotte	Oui			
Collectivités d'outre-mer (COM)soumises au principe d'identité législative	Saint- Pierre-et- Miquelon &Saint-Martin	Oui			
	Saint- Barthélemy	Oui, <i>mais</i> dans leur version antérieure au 21/02/07			
Collectivités d'outre-mer (COM)soumises au principe de <i>spécialité</i> législative	Wallis-et- Futuna	Non	Peut-être, <i>via</i> ICPE	Sans renseignement	Oui
	Polynésie française	Non	Oui, <i>via</i> ICPE	Non	Oui
Collectivité <i>sui</i> <i>generis</i>	Nouvelle- Calédonie	Non	Non	Oui	Oui
Collectivité <i>sui</i> <i>generis</i> soumise au principe de <i>spécialité</i> législative	TAAF, dont les îles éparses	Non	Non	Sans renseignement	Oui
Collectivité <i>sui</i> <i>generis</i> soumise au principe d'identité législative	Clipperton	Oui			

Bordure diagonale = non recherché

#### 8.5.2.3 Du droit de l'Union européenne relatif aux OGM<sup>246</sup>

L'Union européenne compte, d'une part, neuf régions ultrapériphériques (RUP), dont les cinq DROM français et une COM française : Saint-Martin. Parce que les RUP font partie de

<sup>246</sup> Directive 2001-18 + autres directives et règlements.

l'Union européenne, le droit de celle-ci leur est, en principe, applicable. Aussi, la réglementation européenne sur les OGM s'applique-t-elle à la Guadeloupe, la Guyane, la Martinique, La Réunion, Mayotte, et Saint-Martin<sup>247</sup>. Dans la mesure où les dispositions légales et réglementaires françaises découlent largement du droit de l'Union et où les lois et règlements internes s'appliquent aux DROM et à Saint-Martin, le fait que le droit de l'Union soit applicable à ces derniers territoires demeure, *a priori*, sans incidence pratique.

L'Union européenne rassemble, d'autre part, vingt-six pays et territoires d'outre-mer (PTOM), dont les COM françaises autres que Saint-Martin, soit Saint-Pierre-et-Miquelon, Saint-Barthélemy, Wallis-et-Futuna, la Polynésie française, la Nouvelle-Calédonie, les TAAF, avec les îles éparses, et Clipperton. Dans la mesure où ils ne font pas partie du territoire de l'Union européenne, mais sont seulement des pays et territoires associés à l'Union pour leur développement économique et social<sup>248</sup>, les PTOM ne sont pas soumis au droit de l'Union<sup>249</sup>. Aussi, la réglementation européenne sur les OGM n'a-t-elle pas vocation à s'appliquer aux collectivités d'outre-mer françaises autres que Saint-Martin<sup>250</sup>. C'est dire que le droit de l'Union européenne ne permet pas de pallier, le cas échéant, l'absence de réglementation sur les OGM.

Statuts juridiques	Territoires d'outre-mer	Applicabilité des dispositions européennes relatives aux OGM
RUP (Régions ultrapériphériques)	Guadeloupe, la Guyane, la Martinique, la Réunion, Mayotte, et Saint-Martin.	Oui
PTOM (Pays et territoires d'outre-mer)	Saint-Pierre-et-Miquelon, Saint-Barthélemy, Wallis-et-Futuna, la Polynésie française, la Nouvelle-	Non

<sup>247</sup> *Contra*, toutefois, Patrick Thieffry, fascicule 2100 : politique européenne de l'environnement. – Bases juridiques. – Processus normatif. – Principes, Date du fascicule : 3 novembre 2010, Date de la dernière mise à jour : 28 décembre 2013, § 124 : « – Différenciation écologique – (...) , la question ne se pose pas pour les « régions ultra-périphériques » – les quatre départements d'outre-mer français, les îles Canaries, Madère et les Açores – qui sont exemptes des dispositions européennes ».

<sup>248</sup> L'article 198 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne dispose : « le but de l'association est la promotion du développement économique et social des pays et territoires, et l'établissement de relations économiques étroites entre eux et l'Union dans son ensemble ».

<sup>249</sup> Pour autant, les (citoyens français ?) habitant(s) les PTOM bénéficient de la citoyenneté européenne.

<sup>250</sup> Jean-Claude Douence, Introduction générale Chapitre 1 (folio n°63) – Le statut constitutionnel des collectivités territoriales, juin 2005 (actualisation : mars 2014) § 3 – L'association des collectivités d'outre-mer à la communauté européenne, § 22. Contrairement aux départements et régions d'outre-mer, dont le régime de droit communautaire européen des régions ultra-périphériques (RUP) est celui de la métropole, les collectivités d'outre-mer sont placées sous un régime spécial, dit des pays et territoires d'outre-mer (PTOM). Il s'agit d'un régime d'association à la Communauté européenne. cf. Jacques Ziller, L'Union européenne et l'outre-mer, Pouvoirs, no 113, 2005, p. 145.

	Calédonie, les TAAF, avec les îles éparses, et Clipperton	
--	---	--

#### **8.5.2.4 Du droit international relatif aux OGM : le Protocole de Carthagène**

En droit international de l'environnement, le principal texte en matière d'OGM est le *Protocole de Carthagène* sur la prévention des risques biotechnologiques relatif à la convention sur la diversité biologique. Découlant de l'article 19 de cette convention, adopté à Montréal le 29 janvier 2000, signé à Nairobi le 24 mai 2000, et entré en vigueur le 11 septembre 2003, le Protocole a pour objectif « (...) de contribuer à assurer un degré adéquat de protection pour le transfert, la manipulation et l'utilisation sans danger des organismes vivants modifiés résultant de la biotechnologie moderne qui peuvent avoir des effets défavorables sur la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique, compte tenu également des risques pour la santé humaine, en mettant plus précisément l'accent sur les mouvements transfrontières » et « conformément à l'approche de précaution consacrée par le Principe 15 de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement » (article 1<sup>er</sup> du Protocole).

Par une loi n° 2003-206 du 12 mars 2003, le législateur français avait autorisé l'approbation du Protocole de Carthagène. Composé d'un unique article, cette loi prévoit qu'est « autorisée l'approbation du Protocole de Carthagène (...) dont le texte est annexé à la présente loi », et précise que celle-ci « sera exécutée comme loi de l'État »<sup>251</sup>, sans qu'il soit apparemment émis aucune réserve d'application relative à certaines collectivités d'outre-mer. Dans la mesure où l'article 2.1 du Protocole de Carthagène dispose que « chaque Partie prend les mesures juridiques, administratives et autres nécessaires et appropriées pour s'acquitter de ses obligations au titre du Protocole » et où son article 2.2 énonce que « les Parties veillent à ce que la mise au point, la manipulation, le transport, l'utilisation, le transfert et la libération de tout organisme vivant modifié se fassent de manière à prévenir ou à réduire les risques pour la diversité biologique, en tenant compte également des risques pour la santé humaine », il est permis de penser que l'État français s'est engagé, le 12 mars 2003, à prendre les mesures nécessaires et appropriées pour que les agissements portant sur des organismes vivant modifiés soient effectués avec toute la prudence requise, en matière environnementale et sanitaire, sur l'ensemble du territoire français, y compris sur les territoires d'outre-mer et quel que soit le statut de ces derniers.

---

<sup>251</sup> Voir le JORF n° 61 du 13 mars 2003 page 4328.

Suite à l'entrée en vigueur du Protocole de Carthagène, l'Union européenne a adopté un règlement n°1946/2003/CE du Parlement européen et du Conseil relatif aux mouvements transfrontières des OGM<sup>252</sup>. Pour autant, ce texte ne concerne que les exportations d'OGM vers des pays tiers. Car, en tant que partie importatrice, l'Union européenne disposait déjà, à cette date, d'une législation répondant aux exigences du Protocole de Carthagène<sup>253</sup>. C'est dire que les textes français correspondant à la mise en œuvre du protocole ne sont autres que les lois et règlements issus, pour la majorité d'entre eux, du droit européen, et transposant, notamment, la Directive 2001/18. Si, donc, les dispositions françaises relatives aux OGM ne sont pas, en principe, applicables aux collectivités d'outre-mer obéissant au principe de spécialité législative, ces dispositions pourraient leur être applicables en vertu du Protocole de Carthagène, sauf à ce que ces collectivités aient adopté, en matière d'OGM, une réglementation locale. En clair, Wallis-et-Futuna, la Polynésie française, la Nouvelle-Calédonie, les TAAF et les îles éparses pourraient revendiquer l'application de la réglementation française concernant la production et/ou à l'importation d'OGM en vertu du Protocole de Carthagène.

À supposer que les lois et règlements français relatifs aux OGM ne puissent, sur le fondement du protocole, s'appliquer aux collectivités d'outre-mer françaises échappant à toute réglementation sur les OGM, la responsabilité de l'État français pourrait être engagée pour non-respect de ses obligations internationales, découlant du Protocole de Carthagène. Par exemple, en Polynésie française, l'association Stop-OGM<sup>254</sup> pourrait être fondée à exercer une action en manquement contre l'État français.

#### 8.5.2.5 Hypothèses soumises à l'appréciation des juristes spécialisés en droit public

Statut au regard du droit international	Invocabilité du Protocole de Carthagène	Applicabilité des dispositions françaises relatives aux OGM <b>en tant qu'</b> elles sont une mise en œuvre le Protocole de Carthagène	Applicabilité du règlement européen n°1946/2003/CE relatif à l'exportation d'OGM, et mettant en œuvre le Protocole de Carthagène
Territoires français(y compris les DROM-COM)	Oui (tous les territoires français, en l'absence –	Oui (y compris pour les COM soumises au principe de spécialité législative, dans la mesure où leur	Oui, pour la métropole et les RUP, lesquelles sont parties du territoire de l'UE

<sup>252</sup> Voir le règlement n°1946/2003/CE, *Journal Officiel de l'Union européenne*, 5 novembre 2003.

<sup>253</sup> Voir le fascicule 4100 OGM, n° 151 ; Règlement n° 1946/2003/CE.

<sup>254</sup> Voir « Le Protocole de Cartagena, ratifié par la France, n'est pas appliqué en Nouvelle-Calédonie, ni en Polynésie française », <http://www.stopogmpacifique.org/accueil/situation-dans-le-pacifique/>

	apparente – de réserve territoriale)	éventuelle réglementation ne couvre pas un domaine pourtant spécifié dans le Protocole de Carthagène) À défaut, possibilité d’engager la responsabilité de l’État français pour non-respect de ses obligations nées du Protocole de Carthagène	Non, pour les PTOM, lesquels ne font pas partie de l’UE Mais, possibilité d’engager la responsabilité de l’État français pour non-respect de ses obligations nées du Protocole de Carthagène
--	--------------------------------------	--	--

### 8.5.3 Les moustiques irradiés

#### **8.5.3.1 Un échappement réel et légitime à la réglementation ?**

Les scientifiques concernés par la technique des moustiques stérilisés par ionisation ont pu s’interroger sur le droit applicable au lâcher de ces insectes. En l’absence d’une réglementation dédiée à la dissémination d’organismes irradiés dans l’environnement, les autorités auraient conclu à la liberté de procéder à l’introduction de tels organismes dans l’environnement. Il existe, pourtant, une police des installations nucléaires, laquelle s’étend au Code de la santé publique et comprend un corpus de règles relatives à l’utilisation des sources radioactives scellées. Or, ce sont de telles sources qui paraissent devoir être utilisées pour l’irradiation des moustiques. Le cas échéant, il existerait des règles applicables à l’irradiation des moustiques. Reconnaisant implicitement l’existence de règles possiblement applicables, d’aucuns auraient, par ailleurs, énoncé que les établissements souhaitant relâcher des insectes ionisés doivent en faire la simple déclaration.

À l’aide de ces quelques informations, nous tenterons de déterminer les règles à respecter pour l’ionisation (I) et la dissémination d’anophèles dans le cadre de la lutte anti-vectorielle (II).

#### **8.5.3.2 L’irradiation de moustiques, une activité nucléaire réglementée**

L’article R. 1333-17 du Code de la santé publique prévoit que « sont soumises au régime d’autorisation ou de déclaration » diverses « activités nucléaires » au nombre desquelles on trouve « l’irradiation de produits de quelque nature que ce soit, y compris les denrées alimentaires ». Ainsi l’irradiation des moustiques apparaît, en principe, soumise à un régime d’autorisation ou de déclaration.

L’article R. 1333-23 du même code précise que les activités nucléaires mentionnées à l’article R. 1333-17 – y compris donc l’irradiation de produits – sont soumises au régime de l’autorisation à condition que ces activités ne bénéficient pas des exemptions prévues à



l'article R. 1333-18 et qu'elles ne soient pas soumises à déclaration en application de l'article R. 1333-19. L'irradiation d'insectes à des fins sanitaires ne devrait toutefois pas pouvoir bénéficier d'une exemption d'autorisation ou de déclaration. Car l'article R. 1333-18 dispose, au point II, que « les activités nucléaires destinées à la médecine, à l'art dentaire, à la biologie humaine et à la recherche biomédicale ne peuvent bénéficier de l'exemption d'autorisation ou de déclaration (...) ».

En revanche, l'irradiation de moustiques à des fins de lutte anti-vectorielle pourrait être soumise au régime simplifié de la déclaration : l'article R. 1333-19 du Code de la santé publique prévoit que sont, notamment, soumises au régime de la déclaration « la détention ou l'utilisation de radionucléides en sources radioactives scellées en quantité supérieure aux seuils d'exemption définis au 1<sup>o</sup> de l'article R. 1333-18, pour des activités nucléaires inscrites sur une liste établie par décision de l'Autorité de sûreté nucléaire homologuée par le ministre chargé de la Santé » ainsi que « la détention ou l'utilisation d'appareils électriques générant des rayons X à des fins de recherche biomédicale ou de diagnostic médical, dentaire, médico-légal ou vétérinaire, pour les catégories d'appareils inscrites sur une liste établie par décision de l'Autorité de sûreté nucléaire homologuée par le ministre chargé de la Santé ».

Par une décision n° 2015-DC-0531 du 10 novembre 2015 modifiant sa décision n° 2009-DC-0146 du 16 juillet 2009 définissant la liste des appareils électriques susmentionnés, l'Autorité de sûreté nucléaire a décidé que les appareils électriques générant des rayons X utilisés à des fins d'irradiation de produits sanguins, tissus, organes à transporter ou autres produits issus du corps humain seraient désormais soumis au régime de la déclaration, et non plus de l'autorisation. Dans la mesure où l'irradiation des moustiques semble devoir être réalisée par l'emploi de ces appareils électriques employés par les centres de transfusion sanguine, ces derniers ne seraient pas dans l'obligation de demander une autorisation pour procéder à l'irradiation des moustiques. Il leur reviendrait seulement de déclarer à l'Autorité de sûreté nucléaire l'utilisation et/ou la détention desdits appareils.

Mais un tel raisonnement ne saurait être suivi, qui fait abstraction de l'article R. 1333-39 du Code de la santé publique : celui-ci dispose que « tout changement (...) d'affectation (...) des dispositifs émetteurs de rayonnements ionisants, toute extension du domaine couvert par l'autorisation initiale, toute modification des caractéristiques d'une source de rayonnements ionisants détenue, utilisée ou distribuée, doit faire l'objet d'une nouvelle déclaration ou d'une nouvelle demande d'autorisation auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire (...) ». Avant d'utiliser les appareils électriques à des fins d'irradiation de produits non issus du corps humain et, partant, d'en changer la destination ou affectation, les établissements de

transfusion sanguine devraient donc faire, *a minima*, une nouvelle déclaration auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire.

En réalité, une telle déclaration serait insuffisante. Car, dans notre hypothèse, les établissements détenant et utilisant lesdits appareils ne se contentent pas de les utiliser pour irradier de nouveaux produits issus du corps humain. Ils se proposent d'employer les instruments pour une autre fin que celle pour laquelle ils ont été fabriqués. Il ne s'agit pas d'irradier des « produits sanguins, tissus, organes à transporter ou autres produits issus du corps humain », mais des arthropodes. Aussi, les établissements souhaitant irradier des moustiques devraient-ils, selon nous, en demander l'autorisation à l'Autorité de sûreté nucléaire.

Commentant sa décision précitée du 10 novembre 2015, l'Autorité de sûreté nucléaire énonce, d'ailleurs, que les activités d'utilisation de ces appareils soumises au régime de la déclaration doivent « cependant être exercées dans des conditions de radioprotection comparables à l'utilisation prévues par le fabricant (...) ». Proposé sur le site de l'Autorité de sûreté nucléaire, le formulaire de « déclaration de détention / utilisation d'appareils électriques générant des rayons X »<sup>255</sup> comporte une case dédiée aux appareils d'« irradiation de produits issus du corps humain », mais il précise aussi que « toute mise en œuvre en dehors des conditions normales prévues par le constructeur (...) relève du régime d'autorisation (...) ». Il est, en outre, demandé au déclarant de s'engager à « mettre en œuvre les appareils dans les conditions normales prévues par le constructeur (...) ». Aussi l'irradiation de moustiques avec ces appareils initialement conçus pour l'irradiation des produits issus du corps humain requiert-elle l'obtention d'une autorisation de l'Autorité de sûreté nucléaire.

Dans un second temps, la liste des activités nucléaires soumises à déclaration pourrait, certes, être allongée et intégrer l'irradiation des moustiques, voire des insectes. À cet égard, les articles L. 1333-4 al. 1 et R. 1333-19 al. 4 du Code de la santé publique dessinent une même ligne directrice, qui énoncent que « les activités mentionnées à l'article L. 1333-1 sont soumises à un régime d'autorisation ou de déclaration selon les caractéristiques et les utilisations des sources mentionnées audit article » et que les listes d'activités nucléaires ou d'appareils à rayons X soumis à déclaration « sont établies en tenant compte des caractéristiques des sources de rayonnements ionisants et des appareils qui les contiennent, de leur conception, de leurs conditions d'utilisation et des dispositifs prévus pour assurer une protection efficace des personnes et de l'environnement ».

---

<sup>255</sup> Ce formulaire concerne les déclarations prévues aux 1 et 3 de l'art. R. 1333-19 du Code de la santé publique pour des détentions/utilisations d'appareils électriques générant des rayons X.

Une activité nucléaire, l'irradiation des moustiques apparaît réglementée, à l'inverse de l'acte consistant à les introduire dans l'environnement.

#### **8.5.3.3 La dissémination de moustiques irradiés, une activité à réglementer ?**

*A priori*, l'établissement détenant une autorisation d'irradier des moustiques ne devrait pas détenir, par là même, l'autorisation de les disséminer. De même, l'allongement éventuel de la liste des activités nucléaires à l'irradiation des moustiques ne devrait pas comprendre le droit d'introduire dans l'environnement les moustiques irradiés. Les deux activités d'irradiation et de dissémination sont, en effet, distinctes et la modification génétique d'organismes n'emporte pas le droit de les introduire dans l'environnement. Seulement, les moustiques irradiés échappent, nous l'avons vu, à la réglementation sur les OGM. Il faut donc admettre que si l'exemption des moustiques mutés n'autorise pas à s'affranchir des règles relatives à « l'irradiation de produits de quelque nature que ce soit », les établissements autorisés à ioniser des moustiques pourraient les relâcher ensuite librement<sup>256</sup>.

Se pose alors la question de savoir si l'échappement à la Directive 2001/18 est justifié et si l'introduction de moustiques irradiés dans l'environnement ne présente véritablement aucun danger. Sans doute le CS conclut-il à l'innocuité de la technique de l'insecte stérile par irradiation pour l'environnement. Mais subsistent, pour nous, quelques interrogations.

Premièrement, nous avons bien conscience que les organismes irradiés ne sont pas radioactifs. Mais faut-il comprendre que les organismes irradiés ne sont jamais radioactifs ou qu'ils ne sont pas, sauf accident, radioactifs ? *Quid* d'un dysfonctionnement de l'opération d'irradiation<sup>257</sup> ? À supposer que le risque existe d'introduire des moustiques radioactifs dans l'environnement, il nous semble que ce risque mériterait d'être mentionné, aussi infime-t-il soit-il. À titre comparatif, notons que le faible risque de disséminer des moustiques femelles

---

<sup>256</sup> Pour autant, l'absence de réglementation portant sur l'introduction d'organismes irradiés dans l'environnement ne signifie pas qu'elle soit autorisée. L'absence de réglementation sectorielle n'autorise pas, en effet, à s'affranchir des règles de droit commun et, en particulier, du droit commun de l'environnement. Or le droit de l'environnement est structuré par plusieurs principes directeurs, tels les principes d'information et de participation du public, le principe de précaution ou, bien encore, le principe de prévention, qui sont reconnus dans le Code de l'environnement et la Charte, à valeur constitutionnelle, de l'environnement. Dans la mesure où l'utilisation de sources radioactives représente un risque avéré pour l'environnement, l'introduction d'organismes irradiés dans l'environnement devrait se faire dans le respect, notamment, du principe de prévention

<sup>257</sup> Document CRIIRAD – CC – ALIM-Cont/Irr – Page 1/3, p. 2 : « sauf dysfonctionnement, un aliment irradié ne devient pas radioactif ».

porteuses de sang contaminé, *via* la technique RIDL, promue par la firme Oxitec, a été mentionné.

Deuxièmement, il va sans dire que les moustiques stérilisés ne sont pas, par définition, aptes à la reproduction. Mais est-ce à dire qu'aucun des moustiques irradiés ne demeurera, malgré l'opération, en capacité de se reproduire ? Et à supposer que des moustiques sauvages se reproduisent avec de rares moustiques ionisés, l'apparition de mutants sera-t-elle sans effet sur l'environnement<sup>258</sup> ? S'agissant de la technique RIDL et à titre, encore, de comparaison, on observera qu'est relevé le taux de moustiques GM susceptible de survivre en l'absence de tétracycline et, partant, de se propager dans l'environnement<sup>259</sup>.

Troisièmement, on peut s'interroger sur les effets pathogènes pour les populations d'oiseaux, de poissons ou de plantes insectivores de l'absorption de moustiques ionisés. S'il existe une réglementation relative aux aliments irradiés à destination des hommes et des animaux, n'est-ce pas que les organismes irradiés susceptibles de sustenter d'autres êtres vivants doivent être surveillés ? Considérant que les établissements traitant par ionisation des denrées destinées à l'alimentation humaine ou animale doivent faire l'objet d'un agrément par l'autorité administrative<sup>260</sup>, les établissements irradiant des moustiques susceptibles d'alimenter des êtres vivants ne devraient-ils pas obtenir un pareil agrément ? Mieux, ne devrait-on pas réglementer les insectes ionisés sur le modèle des denrées alimentaires ionisées ?

À cet égard, il faut noter que le décret n° 2001-1097 du 16 novembre 2001 relatif au traitement par ionisation des denrées destinées à l'alimentation humaine ou animale<sup>261</sup> devrait concerner les installations élevant des moustiques dès lors que ceux-ci sont alimentés avec du sang irradié. De fait, le tableau n° 3 de l'annexe I de l'arrêté du 20 août 2002 relatif aux denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation<sup>262</sup> prévoit une valeur maximale d'irradiation pour les aliments destinés aux « animaux de laboratoire ». Sans être en mesure

---

<sup>258</sup> Ibid. : « l'irradiation provoque (...) l'induction de mutations notamment chez les bactéries ou les insectes les plus pathogènes qui sont généralement les plus résistants au traitement (avec création possible de lignées plus résistantes) ».

<sup>259</sup> Il est estimé à 2%, un pourcentage possiblement non négligeable au regard de l'importante quantité de moustiques GM appelés à être disséminés.

<sup>260</sup> Principe posé à l'article L. 218-6 al. 1 du code de la consommation.

<sup>261</sup> Voir Jacques-Henri Robert, fascicule 20 : Fraudes. – Falsification et délits, in *JurisClasseur Pénal des Affaires*, 27 janvier 2014, remis à jour le 24 avril 2016, § 40. Voir également le Décret du Premier ministre, pris aux visas, notamment de la Directive 1999/92/CE du Parlement européen et du Conseil du 22 février 1999 relative au rapprochement des législations des États membres sur les denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation et de la directive 1999/3/CE du Parlement européen et du Conseil 22 février 1999 établissant une liste communautaire de denrées et ingrédients alimentaires traités par ionisation.

<sup>262</sup> JORF n° 208 du 6 septembre 2002, Texte n°14, Nor : ECOC0200067A.

d'apprécier ces chiffres, on relèvera que la dose maximale est de 10 kgy pour le « sang animal, plasma et cruor déshydratés » des « denrées et ingrédients alimentaires » destinés à l'alimentation humaine, quand elle est de 60 kgy pour l'ensemble des aliments – et donc par hypothèse du sang – destinés aux « animaux de laboratoire » – en l'occurrence les moustiques, lesquels pourraient être absorbés par d'autres êtres vivants, une fois disséminés dans l'environnement.

Il faut, encore et surtout, observer que l'existence de règles relatives aux sources scellées s'explique, notamment, par les risques que crée l'introduction de ces sources dans l'environnement : « l'utilisation de sources radioactives scellées constitue une pratique déjà courante dont l'essor ira croissant, certainement de façon exponentielle, en raison de la multiplication des applications que le procédé permet, principalement dans les secteurs de l'industrie, de la médecine et de la recherche scientifique, observe un juriste. Or « ce phénomène, qui s'accompagne, en conséquence, d'une dissémination sans cesse accentuée des sources scellées, *suscite d'ores et déjà des difficultés tenant aux dangers sanitaires manifestes* que créent tant la mise en œuvre de ces substances, que les conditions de leur récupération et de leur élimination »<sup>263</sup>. Les scientifiques travaillant sur la technique de l'insecte stérile par irradiation n'en disconviendraient, qui ont le souci de ne pas multiplier les installations dédiées à l'irradiation. En particulier, leur souhait d'exclure les irradiateurs des États jugés politiquement instables témoigne de la dangerosité des équipements nécessaires à ce mode de LAV.

---

<sup>263</sup> Voir la « Problématique des sources radioactives scellées », in Lamy environnement, § 515-1.

## 8.6 ANNEXE 6 : RESPONSABILITÉ ENVIRONNEMENTALE : MOUSTIQUES GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉS

Cette note a été rédigée à l'attention du GT par Anissa Sahli, étudiante en droit, lors de son stage de maîtrise réalisé au sein du CEES. Elle vise à situer la question des lâchers des moustiques dans le droit international sur la responsabilité environnementale.

Au niveau international et européen, plusieurs instruments législatifs ont été prévus afin de réglementer la question de la responsabilité environnementale. Il s'agira donc ici de les énumérer et voir comment ces instruments peuvent s'appliquer à la problématique des lâchers de moustiques.

Les premiers textes internationaux à consacrer une telle responsabilité des États sont les **déclarations de Stockholm<sup>264</sup> et de Rio<sup>265</sup>** qui disposent que les activités menées sous la juridiction d'un État ne doivent pas porter atteinte à l'environnement d'autres États. Ces deux instruments, portant bien leur nom, ne sont en effet « que déclaratifs » et forcément très larges et peu précis. Néanmoins, ce sont les premières pierres ayant contribué à la construction des règles régissant la responsabilité environnementale. Ces éléments ont d'ailleurs été confirmés dans un avis de la **Cour Internationale de Justice de 1996 sur la licéité de la menace ou de l'emploi d'armes nucléaires<sup>266</sup>** qui reconnaît que le principe de responsabilité « fait maintenant partie du corps de règle du droit international ».

L'importante avancée concernant le droit international des biotechnologies a été marquée par l'adoption du **Protocole de Cartagena<sup>267</sup>**. Celui-ci contient les règles devant s'appliquer

---

<sup>264</sup> Principe 21 de la Déclaration de Stockholm de 1972 : « Conformément à la Charte des Nations Unies et aux principes du droit international, les États ont le droit souverain d'exploiter leurs propres ressources selon leur politique d'environnement et ils ont le devoir de faire en sorte que les activités exercées dans les limites de leur juridiction ou sous leur contrôle ne causent pas de dommage à l'environnement dans d'autres États ou dans des régions ne relevant d'aucune juridiction nationale »

<sup>265</sup> Principe 2 de la Déclaration de Rio de 1992 : Conformément à la Charte des Nations Unies et aux principes du droit international, les États ont le droit souverain d'exploiter leurs propres ressources selon leur politique d'environnement et de développement, et ils ont le devoir de faire en sorte que les activités exercées dans les limites de leur juridiction ou sous leur contrôle ne causent pas de dommages à l'environnement dans d'autres États ou dans des zones ne relevant d'aucune juridiction nationale.

<sup>266</sup> CIJ 1996, licéité de la menace ou de l'emploi d'armes nucléaires : « l'obligation générale qu'ont les États de veiller à ce que les activités exercées dans les limites de leur juridiction ou sous leur contrôle respectent l'environnement dans d'autres États ou dans des zones ne relevant d'aucune juridiction nationale fait maintenant partie du corps de règle du droit international »

<sup>267</sup> Protocole de Cartagena sur la prévention des risques biotechnologiques relatif à la Convention sur la biodiversité.

« aux mouvements transfrontières, au transit, à la manipulation et à l'utilisation de tout organisme vivant modifié qui pourrait avoir des effets défavorables sur la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique, compte tenu également des risques pour la santé humaine »<sup>268</sup>. Il vise donc « à assurer un degré adéquat de protection pour le transfert, la manipulation et l'utilisation sans danger des organismes vivants modifiés résultant de la biotechnologie moderne qui peuvent avoir des effets défavorables sur la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique, compte tenu également des risques pour la santé humaine, en mettant plus précisément l'accent sur les mouvements transfrontières ». La question des mouvements transfrontières paraît d'autant plus compliquée à traiter lorsqu'il s'agit des moustiques. Ceux-ci peuvent en effet, de façon totalement indépendante, se déplacer et traverser plusieurs frontières, notamment de pays qui ne voulaient pas de MGM sur leur territoire national. Dans le Protocole, ce sont les articles 17 et 25 qui traitent de ces questions de mouvements transfrontières :

- **l'article 17** du Protocole de Cartagena règle la question des « mouvements transfrontières non intentionnels » en imposant uniquement une obligation d'information ou notification des États pouvant être potentiellement touchés par un lâcher de moustiques ;
- **l'article 25**, lui, gère la question des « mouvements transfrontières illicites » en disposant que dans ce cas précis, les États doivent tout d'abord tout mettre en œuvre pour éviter ces mouvements, puis, que lorsqu'ils ont eu lieu, « la Partie touchée peut demander à la Partie d'origine d'éliminer à ses propres frais les organismes vivants modifiés concernés, en les rapatriant ou en les détruisant, selon ce qu'il convient ».

À la lecture de ce second article, une question se pose alors presque immédiatement : lorsqu'il s'agit de plantes, il n'est pas très difficile de repérer une cargaison ayant franchi illicitement une frontière pour pouvoir ensuite la détruire. Mais lorsqu'il s'agit de moustiques, ceux-ci n'attendent aucune autorisation pour franchir une frontière et ensuite se déplacer dans le nouveau territoire franchi. Comment donc les repérer ? Cette réflexion en appelle alors directement une autre : la distinction entre mouvement transfrontière licite et mouvement transfrontière illicite est-elle pertinente lors de l'application de ces dispositions à un cas de lâcher de MGM ?

Enfin, la question de la responsabilité se pose. Néanmoins, lors des négociations ayant abouti à l'adoption du Protocole, les États ne sont pas parvenus à se mettre d'accord sur les

---

<sup>268</sup> Article 4 du Protocole de Cartagena.

règles devant régir cette responsabilité environnementale. Ils ont alors adopté un **article 27** disposant que « La Conférence des Parties, siégeant en tant que Réunion des Parties au présent Protocole, engage, à sa première réunion, un processus visant à élaborer des règles et procédures internationales appropriées en matière de responsabilité et de réparation pour les dommages résultant de mouvements transfrontières d'organismes vivants modifiés, en analysant et en prenant dûment en compte les travaux en cours en droit international sur ces questions, et s'efforce d'achever ce processus dans les quatre ans. ». Cet article est le point de départ du processus ayant abouti à l'adoption du **Protocole additionnel de Nagoya-Kuala Lumpur**<sup>269</sup> en 2010.

Il faut tout de suite apporter une réserve importante à ce protocole s'intéressant exclusivement à la responsabilité concernant les risques biotechnologiques : faute de ratification suffisante, ce texte n'est pas encore entré en vigueur. Cette nuance faite, nous pouvons tout de même étudier les règles qu'il contient dans l'hypothèse d'une application dans les prochaines années. Tout d'abord, ce protocole additionnel s'applique « au dommage résultant d'organismes vivants modifiés trouvant leurs origines dans un mouvement transfrontière »<sup>270</sup>, qu'il soit intentionnel ou non, en précisant quels OVM sont concernés. C'est alors notamment le cas de ceux « destinés à être introduits intentionnellement dans l'environnement » et donc le cas d'espèce qui nous intéresse qui est l'éventualité de lâcher de moustiques. Le texte donne la définition de « dommage » et pose par la même occasion les conditions d'invocabilité du protocole. Ainsi, ce dommage doit résulter en un « effet défavorable sur la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique, en tenant compte des risques pour la santé humaine »<sup>271</sup>. De plus, non seulement l'effet doit être défavorable mais également « mesurable et autrement observable » et « significatif ». L'article s'appuie ensuite sur quatre éléments afin de qualifier cet effet d'« effet significatif » :

- l'atteinte doit résulter en une « modification à long terme et permanente » du milieu ;
- cette modification doit être d'une ampleur telle qu'elle est mesurable qualitativement et quantitativement ;
- l'atteinte doit se traduire en une « réduction de la capacité qu'ont les éléments constitutifs de la diversité biologique de fournir des biens et des services » ;

---

<sup>269</sup> Protocole additionnel de Nagoya-Kuala Lumpur sur la responsabilité et la réparation relatif au Protocole de Cartagena sur la prévention des risques biotechnologiques, 15 octobre 2010.

<sup>270</sup> Article 3 du Protocole additionnel de Nagoya-Kuala Lumpur.

<sup>271</sup> Article 2.2 b) Protocole additionnel de Nagoya-Kuala Lumpur.



- « l'ampleur de tout effet défavorable sur la santé humaine dans le contexte du Protocole » est également prise en compte.

Enfin, l'article 4 du protocole additionnel précise qu'un lien de causalité entre le dommage et l'OVM doit être obligatoirement établi.

Au vu de ces éléments, nous pouvons déjà dégager plusieurs constats :

- tout d'abord, le protocole ne traite pas des cas de mouvements transfrontières illicites d'OVM non voulus par un État mais ne créant pas dommage à ce même État. Si celui-ci s'oppose à un lâcher de moustiques effectué par un État voisin, il devra donc prouver que cette action crée un dommage qui entre dans les critères posés par le protocole.
- ensuite, quid de l'incertitude ? Un dommage est, pour le protocole, un « effet défavorable sur la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique ». Or, concernant les moustiques génétiquement modifiés, les recherches n'en sont qu'à leur début. L'incertitude quant au caractère défavorable que leur lâcher aurait sur le milieu touché est donc encore grande et difficile à prouver pour les États souhaitant invoquer le protocole à l'appui de leur démarche.

Toutes ces conditions additionnelles nous poussent donc à nuancer la possible invocabilité du Protocole de Nagoya-Kuala Lumpur à la problématique des lâchers de moustiques génétiquement modifiés. De plus, comme celui-ci n'est pas en vigueur, les réponses à nos questions doivent être trouvées ailleurs et notamment dans le droit de l'Union européenne au travers de sa directive sur la responsabilité environnementale, la **Directive 2004/35**<sup>272</sup>. Cette directive s'applique à deux types de dommages très précis, décrits à l'article 3 :

- « les dommages causés à l'environnement par l'une des activités professionnelles énumérées à l'annexe III, et à la menace imminente de tels dommages découlant de l'une de ces activités » ;
- « les dommages causés aux espèces et habitats naturels protégés par l'une des activités professionnelles autres que celles énumérées à l'annexe III, et à la menace imminente de tels dommages découlant de l'une de ces activités, lorsque l'exploitant a commis une faute ou une négligence ».

---

<sup>272</sup> Directive 2004/35/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 avril 2004 sur la responsabilité environnementale en ce qui concerne la prévention et la réparation des dommages environnementaux.

Les premiers dommages visés sont donc ceux causés par une liste d'activités présente en annexe de la directive. Or, parmi ces activités figure « **toute dissémination volontaire dans l'environnement, tout transport ou mise sur le marché d'organismes génétiquement modifiés** au sens de la Directive 2001/18/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 mars 2001 relative à la dissémination volontaire d'organismes génétiquement modifiés dans l'environnement »<sup>273</sup>. On apprend dans l'article 3 que, contrairement aux secondes activités, les dommages visés, causés par les premières activités sont plus larges et le régime choisi est celui de la responsabilité objective, sans faute. Donc, quand ces activités énumérées entraînent un dommage, il n'est pas nécessaire d'apporter la preuve d'une faute pour engager la responsabilité de l'exploitant. Cela élargit le champ de la responsabilité des exploitants. De plus, la seule présomption forte d'une « menace imminente » suffit à engager cette responsabilité, ce qui permet d'agir en amont afin d'éviter la survenance de ce dommage.

Néanmoins, il est nécessaire de venir tempérer ces premiers constats au regard des autres dispositions de la directive. Ainsi, les dommages visés dans la directive sont uniquement ceux<sup>274</sup> :

- « causés aux espèces et habitats naturels protégés » ;
- « affectant les eaux » ;
- « affectant les sols » et impactant gravement « la santé humaine du fait de l'introduction directe ou indirecte en surface ou dans le sol de substances, préparations, organismes ou micro-organismes ».

La directive précise davantage ces catégories. Les dommages les plus évidents dus à des MGM pourraient concerner les animaux et la santé humaine. La probabilité d'un dommage affectant les eaux ou les sols est, pour sa part, beaucoup moins forte que celle d'un dommage causé aux animaux. De plus, les autres dommages étant entièrement exclus, il est important de garder à l'esprit que **la présente directive ne s'applique qu'aux dommages environnementaux purs**, ce qui vient tempérer le potentiel d'invocabilité de la directive. De plus, au regard de l'article 4, une autre nuance doit être ajoutée : la directive dispose en effet qu'elle « s'applique uniquement aux dommages environnementaux ou à la menace imminente de tels dommages causés par une pollution à caractère diffus, **lorsqu'il est possible d'établir un lien de causalité entre les dommages et les activités des différents exploitants**. ». La condition classique du lien de causalité est alors reprise dans la directive ce

---

<sup>273</sup> Directive 2004/35/CE, Annexe III « Activités visées à l'article 3, paragraphe 1 » §11.

<sup>274</sup> Directive 2004/35/CE, article 2§1.

qui entraîne le fait qu'une pollution trop diffuse, dont l'origine serait bien trop complexe à rapporter, ne pourra pas être condamnée avec l'outil Directive 2004/35. De la même façon, l'annexe I du texte rappelle que **seule les atteintes significatives à un milieu sont concernées**. Un seuil de gravité est alors mis en place.

Sur la question de la preuve de lien de causalité qui doit être rapportée, la Cour de Justice de l'Union européenne<sup>275</sup> a néanmoins admis une légère flexibilité grâce à la notion de « **présomption de responsabilité** » : il peut exister cette présomption de responsabilité à l'égard des exploitants possédant des « installations sensibles » aux alentours de la zone polluée et ce même si l'origine de cette pollution n'est pas connue. Cette présomption pourrait donc trouver à s'appliquer dans le cadre des lâchers si et seulement si l'origine géographique du lâcher est connue.

Notons pour finir que la directive s'appuie largement sur le droit interne des États membres pour voir apparaître des régimes plus stricts de responsabilité environnementale que celui qu'elle met en place ici. Ainsi, l'article 16 dispose que « la présente directive ne fait pas obstacle au maintien ou à l'adoption par les États membres de dispositions plus strictes concernant la prévention et la réparation des dommages environnementaux, notamment l'identification d'autres activités en vue de leur assujettissement aux exigences de la présente directive en matière de prévention et de réparation, ainsi que l'identification d'autres parties responsables ». Il semblerait donc que les réponses concrètes aux questions que nous nous posons sur la responsabilité des États en cas de lâchers de moustiques doivent encore être recherchées dans les droits internes.

---

<sup>275</sup> CJUE 4 mars 2015, Ministerio dell'Ambiente e della Tuleda del Territorio e del Mare e.a c/FIPA Group, C-534/13.