



# Comment faire sortir l'insecte stérile du laboratoire ?

## Agencements sociotechniques pour l'émergence d'une alternative aux pesticides : le cas de la technique de l'insecte stérile (TIS)

TASNIME ADAMJY, MOURAD HANNACHI, SERVANE  
PENVERN, SIMON FELLOUS ET FRÉDÉRIC GOULET

### Résumé

La technique de l'insecte stérile est une alternative prometteuse pour s'affranchir des pesticides en agriculture. Cependant, malgré ses promesses, elle peine à se développer car elle implique de repenser et de construire un nouveau monde sociotechnique. Cet article étudie les différents agencements entre humains et non-humains qui caractérisent chaque étape du développement de la TIS, de la naissance de l'insecte à sa potentielle commercialisation, en passant par sa stérilisation et son lâcher dans le monde réel. Nos résultats montrent que le développement de la TIS nécessite des agencements entre divers actants : insectes stériles, chercheurs, agriculteurs ou riverains, acteurs publics, insectes sauvages, industriels. Nous constatons que dans une situation où le lien entre ces actants n'est pas stabilisé, les agencements sociotechniques nécessaires sont imaginés par les chercheurs ; cette anticipation de leur part des attentes du monde non académique sur lequel ils veulent agir est très présente dans chaque choix du développement de la TIS.

*Mots-clés : Technique de l'Insecte Stérile (TIS), bio-objectivation, STS, promesse technoscientifique, ANT, biocontrôle*

### Abstract

The Sterile Insect Technique (SIT) is a promising alternative to reduce the need for insecticides against mosquitoes and agricultural pests. However, its implementation in France is difficult because the existing sociotechnical system is not yet compatible with this innovation. The use of SIT would imply rethinking and building a new pest management paradigm. This article studies the different organizations between humans and non-humans that characterize the stages of development of SIT inside and outside of the laboratories, from the birth of the insects to their possible commercialization. This article shows that the implementation of SIT requires a stabilized organization between actants such as sterile insects, scientists, farmers and residents, public actors, wild insects, and firms. As there is not yet such organization, SIT is developed by scientists trying to guess the needs and expectations of future users: these anticipations highly influence the sociotechnical choices made by researchers inside and outside the laboratories.

*Keywords: Sterile Insect Technique (SIT), bio-objectification, STS, techno-scientific promise, ANT, biocontrol*





## Penser la bio-objectivation des insectes stériles entre micro et macrocosme

Le développement d'alternatives à des technologies problématiques est devenu un enjeu politique, scientifique, industriel et sociétal majeur. C'est le cas notamment des pesticides agricoles, face auxquels émergent des alternatives portées par des scientifiques, des industriels ou des agriculteurs (Goulet *et al.*, 2023). Ces alternatives sont autant de promesses technoscientifiques (Audetat, 2015) en concurrence les unes avec les autres : leurs porteurs s'efforcent de capter des ressources en tâchant d'intéresser les investisseurs publics, les industriels et les usagers à la performance de leurs innovations.

Nous proposons dans cet article d'analyser l'émergence de l'une de ces alternatives : la technique de l'insecte stérile (TIS). Elle permet de réduire la reproduction de populations d'insectes cibles grâce à l'élevage, la stérilisation et le lâcher répété de mâles qui, s'accouplant aux femelles sauvages, produisent des œufs non viables. Cette technique, mise au point il y a plus de cinquante ans, a fait ses preuves dans de nombreux territoires – notamment des Amériques et d'Asie – sur des insectes bioagresseurs des cultures et des élevages. Elle se distingue notamment d'autres solutions de biocontrôle<sup>1</sup> par ses programmes en santé des plantes, des animaux ou des humains, déployés à large échelle sous l'impulsion et avec le financement des autorités nationales et d'organisations internationales. Toutefois la TIS est parfois également utilisée à plus petite échelle et financée par les producteurs. Dans tous les cas, cette technique, pour être adoptée et efficace, nécessite l'engagement de nombreux acteurs, son déploiement touchant les agriculteurs et l'ensemble des usagers des territoires traités (riverains, touristes, collectivités territoriales...). Plusieurs programmes de développement de la TIS sont aujourd'hui menés en France, dans des territoires métropolitains (Occitanie, Rhône-Alpes) comme insulaires (Corse, La Réunion). Ceux-ci visent des insectes dits ravageurs des cultures, notamment les mouches des fruits *Drosophila suzukii*, *Ceratitis capitata* et *Bactrocera dorsalis* ainsi que les papillons carpocapses qui attaquent pommes et noix. Ils visent également des moustiques comme *Aedes albopictus* et *Aedes aegypti* portant atteinte à la santé humaine.

Dans le cadre de ces programmes, les scientifiques tentent de « mettre au travail » les insectes (Dupé, 2015) à la fois en laboratoire et dans les parcelles agricoles ou les quartiers riverains. Afin

<sup>1</sup> Le biocontrôle est défini par le code rural et de la pêche maritime comme étant un ensemble de solutions de protection des végétaux basées sur les mécanismes naturels et les interactions entre les espèces. Ces solutions sont classées en quatre familles de produits : macroorganismes, microorganismes, médiateurs chimiques et substances naturelles.





de démontrer l'efficacité de la TIS, ils doivent prouver à leurs partenaires que leurs insectes sont à la fois aptes à être transformés, masqués et stérilisés en laboratoire tout en étant capables de survivre, de se disperser et de suivre leur « instinct naturel » en s'accouplant avec des femelles sauvages. Les insectes, une fois relâchés, ont donc deux missions en apparence contradictoires : ils doivent s'accoupler avec le plus de femelles sauvages possible, mais en faisant diminuer les populations de leur propre espèce. Cette apparente contradiction découle explicitement d'un processus de bio-objectivation (Holmberg *et al.*, 2011), au gré duquel des chercheurs « produisent » en laboratoire les insectes malléables, dont le cycle de vie est compatible avec des contraintes logistiques (stockage, transport, traçabilité), et qui vont remplir une fonction qui leur est assignée par des humains. À cet effet ils les stérilisent, leur faisant perdre leur capacité reproductive – l'une des propriétés définissant les êtres vivants (Chevasus-au-Louis, 2000) –, et les confortant dans un statut profondément hybride entre vie naturelle et vie artificielle (Baertschi et Willemsen, 2009).

Cette bio-objectivation des insectes stériles se joue donc aussi bien au sein du microcosme confiné des laboratoires que dans le macrocosme, le « grand monde » (Callon *et al.*, 2001) des écosystèmes et sociétés humaines qui sont amenés à les accueillir. Peu de choses ont néanmoins été dites sur ce passage entre le microcosme et le macrocosme pour de tels bio-objets. La bio-objectivation a en effet été étudiée sous l'angle de la standardisation et de la marchandisation de matériaux vivants pour correspondre à des critères industriels (Lafontaine, 2021). Dans le cas de la TIS, il s'agit non seulement d'envisager les issues industrielles des recherches en laboratoire, mais également de s'assurer de l'opérationnalité des insectes stériles dans le grand monde, c'est-à-dire auprès de leurs congénères et des agriculteurs, sans pour autant créer de nuisance aux écosystèmes ou aux sociétés rurales. Nous faisons donc l'hypothèse que le cas de la TIS peut nous permettre de mieux saisir ce que font les chercheurs au grand-monde pour développer leurs bio-objets. Nous montrons ici que les agencements construits lors du développement de cette innovation, et qui mêlent scientifiques, insectes, conditions environnementales, usagers et citoyens, acteurs politiques et acteurs privés, s'apparentent à une forme de biopolitique (Keck, 2008) par laquelle les concepteurs de la TIS cherchent à façonner un monde compatible avec une technologie fondée sur le vivant.

Pour conduire cette analyse<sup>2</sup>, nous nous appuyons sur le cadre de la sociologie de la traduction (Callon, 1986). Il permet non seulement

<sup>2</sup> Cette étude est issue d'une recherche doctorale en sociologie en cours, cofinancée par INRAE et la région Occitanie. En France et au moment du début de la





de saisir le travail d'intéressement (Akrich *et al.*, 1988) conduit pour démontrer l'efficacité d'une innovation développée en laboratoire, mais également de rendre compte de la formation et de la stabilisation d'agencements sociotechniques (Callon *et al.*, 2013) entre le laboratoire confiné et le grand monde, associant des acteurs humains et non humains. Notre démonstration se fera en deux temps, illustrant les deux mouvements qui caractérisent le travail des scientifiques développant la TIS en France : ces derniers cherchent à façonner des insectes stériles compatibles avec le grand monde, et dans le même temps à façonner un grand monde compatible avec les insectes stériles.

## Façonner des insectes stériles compatibles avec le grand monde

Les insectes produits et stérilisés en laboratoire sont destinés à être lâchés dans l'environnement. Cette notion de « lâcher », utilisée par les acteurs, pourrait donner le sentiment que cette étape marque le véritable moment de la rencontre entre l'insecte stérile et le grand monde. Or cette rencontre est préparée largement en amont des lâchers. Avant de les lâcher, les chercheurs s'efforcent d'avoir prise sur les insectes stériles pour les rendre capables de réussir le passage de la captivité en laboratoire à la dispersion dans l'environnement. Cette préparation consiste en une succession d'étapes dont chacune est un processus sociotechnique en soi : i) réussir à travailler avec un bioagresseur, ii) massifier la production de ces bioagresseurs devenus alliés, et iii) mettre à l'épreuve les insectes afin d'en améliorer la qualité et les rendre plus performants dans le grand monde.

### Travailler avec un bioagresseur

Trois étapes marquent la transformation d'un bioagresseur en allié : l'élevage d'une population finement choisie, le tri des mâles et des

---

thèse (septembre 2021), la TIS est une technique d'avenir en train d'être pensée et conçue. Les réflexions et actions sont alors largement confinées au sein de six projets différents dans des institutions de recherche publiques comme l'Institut national de la recherche agronomique et de l'environnement (INRAE), l'Institut de recherche pour le développement (IRD), le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) et des centres de R&D interprofessionnelle tel que le Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes (CTIFL). Les principaux instituts que nous avons enquêtés sont le Cirad (10 personnes), l'INRAE (9 personnes), l'IRD (5 personnes) et le CTIFL (2 personnes). Parmi ces enquêtés, la majorité est constituée de chercheurs, le reste (5 personnes) ont des postes de management et en gestion de la recherche. 4 personnes interrogées, chercheurs ou managers, font partie d'une start-up liée à la TIS ou en ont fondé une. Le reste des acteurs sollicités sont des agents de l'État (chambre d'agriculture et Direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt à La Réunion) ou des agriculteurs.





femelles et la stérilisation. Chaque étape contient des choix de la part des scientifiques, réalisés en fonction des contraintes techniques, logistiques et organisationnelles de laboratoire, mais aussi en fonction de contraintes sociales, juridiques, éthiques ou environnementales du grand monde sur lequel ils souhaitent agir.

Tout d'abord, il convient de trouver les moyens d'élever en captivité ces êtres vivants et d'interagir avec eux pour les transformer. En effet, dans leur état « naturel », les espèces et populations variées d'insectes ne s'adaptent pas toujours à la vie en laboratoire. À l'inverse, certaines populations sont conçues et sélectionnées pour la vie de laboratoire à des fins de recherche, mais ne peuvent pas être relâchées pour des raisons éthiques, environnementales ou juridiques. Par exemple, certaines sont génétiquement modifiées et ne peuvent être libérées dans l'environnement du fait de la réglementation. Les chercheurs sont aussi attentifs à ce que les insectes élevés en laboratoire soient issus de populations « locales », capturées dans la zone géographique sélectionnée pour les lâchers. En effet, relâcher des populations allochtones qui ne sont pas à 100 % stériles pourrait constituer un risque de croisement et d'introduction de gènes pouvant troubler ou bouleverser l'écosystème local. Enfin, certaines espèces qui requièrent pour le tri entre mâles et femelles l'utilisation de molécules insecticides dont l'usage hors laboratoire est interdit sont écartées. Le choix des insectes à élever dépend donc à la fois de contraintes propres au laboratoire et au grand monde.

Une fois la population de l'espèce cible sélectionnée, il s'agit pour les chercheurs de réussir à la manipuler pour réellement transformer les bioagresseurs en alliés. Cela passe par une étape optionnelle et néanmoins importante : le tri des mâles et des femelles, appelé « sexage ». Ce tri permet de ne conserver que les mâles car les femelles, même stérilisées, causent parfois des dommages : elles peuvent toujours piquer les fruits et provoquer des lésions, ou piquer les humains et être vectrices de pathogènes. Mais pour les chercheurs interrogés, il ne s'agit pas seulement d'une exigence liée à l'efficacité technique de la TIS ; il s'agit aussi d'anticiper la réaction du monde social si les scientifiques se mettaient à lâcher des femelles moustiques ou ravageurs des cultures. Comme le précise un des mathématiciens interviewés, ne pas sexer en laboratoire les insectes avant de les relâcher pourrait poser des problèmes vis-à-vis des acteurs de terrain qui savent que seules les femelles piquent les fruits ou les humains : « On est quand même obligés de dire la vérité, entre guillemets, aux agriculteurs. Et quand ils entendent "femelle", ils ne sont pas d'accord ! »

Sans sexage, donc sans élimination en amont des femelles, les insectes stériles seront ainsi potentiellement d'une efficacité moindre dans le grand monde et risquent de ne pas être perçus comme des





alliés. Or, trier des mâles et des femelles est plus ou moins aisé selon les espèces, le dimorphisme sexuel apparaissant plus ou moins tardivement. La facilité ou non de sexage est ainsi un critère important de sélection des types d'insectes élevés, puisque la transformation du bioagresseur en allié est facilitée par l'élimination des femelles avant lâcher.

Arrive ensuite l'étape qui fait réellement basculer le statut de l'insecte de bioagresseur à allié : la stérilisation. Celle-ci consiste en un passage de quelques minutes dans un irradiateur, dont les rayonnements ionisants (rayons X ou gamma) vont destabiliser la structure de l'ADN des insectes et ainsi nuire aux capacités reproductives. Plus la dose d'ionisation est forte, plus les taux de stérilité sont importants. Or, ces rayonnements à haute dose heurtent les insectes, réduisant leur viabilité et compétitivité dans le grand monde. Il s'agit ainsi pour les chercheurs de stabiliser un optimum entre compétitivité de l'insecte et taux de stérilisation. Ici aussi, cet équilibre optimal recherché par les scientifiques dépend largement de la population d'insecte choisie. Par exemple chez la mouche tropicale *Bactrocera dorsalis*, il a été constaté que deux populations différentes nécessitent des doses d'ionisation plus ou moins élevées pour atteindre un même niveau de stérilité. Ainsi, la population sélectionnée peut déterminer le taux d'ionisation minimum et donc être plus ou moins apte à être lâchée dans l'environnement.

Les critères choisis pour sélectionner la population sont ainsi déterminants dans la capacité à travailler avec des bioagresseurs. La transformation de ces insectes bioagresseurs en alliés pour les humains nécessite à chaque étape des choix de la part des chercheurs, et chacune de ces décisions résulte en des agencements (élevage, sexage, etc.) qui sont interdépendants.

### Massifier la production d'alliés

Avoir sélectionné les insectes adaptés à la vie en laboratoire et aptes à voyager vers le grand monde est une chose. Mais pour que ce voyage soit efficace, il doit reposer sur un effectif considérable d'insectes stérilisés. Pour parvenir à faire baisser les populations d'insectes, il est en effet nécessaire d'inonder de mâles stériles la zone géographique ciblée. Le ratio minimum souvent cité par les chercheurs est celui de 10 mâles stériles pour 1 mâle sauvage, relâchés chaque semaine environ. Autrement dit, pour parvenir à transformer les bioagresseurs en alliés efficaces, il faut réussir à produire les insectes en masse, à une échelle industrielle.

Cette capacité n'est pas présente parmi les projets et les laboratoires étudiés. En effet, si l'élevage et la manipulation d'insectes à petite échelle sont un travail habituel pour les chercheurs, l'industrialisation de la production d'insectes requiert des savoir-faire





spécifiques (Vallier et Besle, 2023) relevant de l'ingénierie des procédés. Elle nécessite également des moyens importants, en termes notamment de temps, d'espace et de main-d'œuvre, qui font défaut aux laboratoires publics. Les chercheurs et les ingénieurs engagés dans le développement de la TIS essayent donc de convaincre les acteurs déjà déployés autour de la TIS d'investir dans des usines ou d'attirer de nouveaux investisseurs. Ils s'efforcent pour cela de démontrer la rentabilité et l'efficacité de la TIS dans le grand monde, hors du laboratoire, en parvenant à une « preuve de concept » matérialisée par un démonstrateur préindustriel, c'est-à-dire un prototype à échelle réduite permettant de remplir la fonction clé de production de masse pour « inonder » le grand monde d'insectes stériles. L'INRAE a ainsi recruté une personne en CDD en 2021 pour penser ce prototype, autour de trois laboratoires montpelliérains et concevoir une petite usine d'élevage multi-espèces.

Le développement de la TIS suit donc une trajectoire d'innovation qui conditionne en amont la manière dont les mâles stériles seront produits, évalués et diffusés : les chercheurs ne doivent pas seulement fournir des preuves académiques, scientifiques, mais également montrer la compatibilité des insectes stériles avec le monde industriel.

### Mettre à l'épreuve les alliés

Au cours des processus décrits précédemment – transformation d'un bioagresseur en allié et en production de masse –, les insectes sont mis à l'épreuve au cours de différents « contrôles qualité ». Il faut en effet, pour que ces mâles stériles réussissent leur sortie du laboratoire, qu'ils parviennent à imiter correctement les mâles sauvages. Le mâle, né et élevé en laboratoire, stérilisé, transporté, lâché dans la nature, doit entrer en concurrence avec des mâles sauvages qui n'ont subi aucun de ces traitements.

Ce sont donc principalement quatre paramètres – stérilité, survie, dispersion, accouplement – qui sont testés par les chercheurs. Ils veulent, avant tout lâcher, vérifier que la fertilité résiduelle soit inférieure à 1 à 5 %, taux approximatif au-delà duquel les insectes partiellement stériles pourraient ne pas être efficaces voire augmenter la population qu'on cherche à diminuer. Puis il s'agit de vérifier la capacité de survie des insectes stérilisés, ainsi que leur capacité à se disperser pour couvrir le plus d'espace possible une fois lâchés, par le biais de tests de vol. Enfin, un des points les plus déterminants de l'efficacité de la TIS est l'attractivité sexuelle des mâles stériles de laboratoire. Les scientifiques la testent en les mettant en compétition avec des mâles sauvages non stérilisés avec une ou plusieurs femelles dans un environnement contrôlé. Ces expérimentations permettent de savoir si la stérilisation a affecté la compétitivité des mâles ; elles





peuvent également donner des indications quant aux « préférences » des femelles, et ce faisant donner des informations potentielles sur les populations à élever en masse.

À travers ces différentes épreuves, les chercheurs essayent de définir des critères de « qualité » des mâles stériles, qui garantiront qu'une fois lâchés dans le grand monde ils se mêleront à la population sauvage pour entraîner une diminution de son effectif. En ce sens, une grande partie des projets TIS consiste en la stabilisation d'agencements, depuis l'élevage en laboratoire jusqu'au lâcher des insectes stériles, pour transformer ces bioagresseurs en alliés. En alliés malléables tout d'abord, pour les manipuler en laboratoire, puis en alliés compatibles avec des critères de performance, d'éthique, de légalité et d'environnement anticipés par les chercheurs pour leur sortie du laboratoire.

## Façonner un macrocosme compatible avec les insectes stériles

Les scientifiques développent donc des dispositifs pour avoir prise sur les insectes, les maîtriser en laboratoire et les rendre aptes à être « lâchés » pour performer le grand monde. Mais ils cherchent également, comme nous allons le voir dans cette section, à agir sur le grand monde pour le rendre compatible aux mâles stériles et à leur action : en rendant l'environnement sociotechnique accueillant, en renouvelant les paradigmes de lutte, et enfin en créant un nouveau marché pour les insectes stériles.

### Rendre l'environnement sociotechnique accueillant

Les chercheurs sélectionnent avec précision les insectes stériles, mais ils sont également très attentifs à l'environnement qui va accueillir les lâchers, ainsi qu'à la fréquence de ces lâchers. Grâce à la modélisation et aux résultats expérimentaux, il est possible d'estimer la dispersion des mâles stériles et leur durée de vie, mais ces éléments restent tributaires des conditions sur le terrain. Combien d'insectes sauvages sont présents, où se cachent-ils, se nourrissent-ils et se reproduisent-ils ? Y a-t-il des zones favorables à leur prolifération (haies, ravines, points d'eau, etc.) ? Quelles interactions ont-ils avec les autres insectes et animaux, et avec les humains ? Quelles sont les stratégies de lutte mises en place par les agriculteurs ou riverains ? Toutes ces questions sont abordées explicitement dans les projets TIS étudiés. Elles mettent en lumière d'importants manques de connaissances et de nouveaux champs d'investigation.

Les chercheurs tentent donc de mieux connaître ces différents paramètres afin de mieux les maîtriser. En effet, les milieux de lâchers sont toujours occupés, exploités ou habités par les humains. Dans





les quartiers urbanisés pour la lutte antivectorielle, ou les parcelles agricoles pour la protection des végétaux, les paramètres étudiés par les chercheurs dépendent fortement des pratiques humaines. Si par exemple des stratégies de lutte (piégeage de masse ou insecticides) sont mises en place dans les parcelles agricoles où vont être lâchés les insectes stériles, elles risquent de nuire aussi aux insectes stériles. À l'inverse, si aucune stratégie de lutte n'est mise en place contre les bioagresseurs et que ces derniers sont présents en trop grand nombre, la TIS ne sera pas efficace à elle seule. Dans le premier cas donc, les chercheurs demandent aux agriculteurs de suspendre ou d'adapter leurs traitements, du moins temporairement. Dans le deuxième cas, une sensibilisation à des mesures prophylactiques complémentaires limitant la pullulation des insectes (élimination des fruits infectés ou des gîtes larvaires) est mise en place. Il s'agit ainsi de trouver un équilibre pour concevoir des pratiques agricoles défavorables aux insectes sauvages, mais favorables à l'efficacité des insectes stériles. Le projet TIS de lutte contre la mouche orientale des fruits à La Réunion a spécifiquement pour objet de combiner la TIS à d'autres techniques de lutte (piégeage de masse par exemple) et à d'autres pratiques agricoles (prophylaxie, modalités d'enherbement sous les arbres, etc.) Tous les chercheurs interrogés s'accordent sur la nécessité de ces combinaisons, comme cette chercheuse développant la TIS depuis plusieurs années : « Je veux faire comprendre aux agriculteurs que la TIS seule sans prophylaxie, ça ne marchera pas. »

De la même manière, les porteurs de projets TIS contre le moustique-tigre insistent toujours sur l'importance de limiter les gîtes larvaires, ces points d'eau stagnante dans lesquels les femelles peuvent pondre. Cela a été répété plusieurs fois lors d'un entretien avec une des premières personnes en France à avoir défendu et à avoir porté le projet TIS contre le moustique-tigre, *Aedes albopictus* : « C'est impossible de lutter contre *Aedes albopictus* avec une technique unique miraculeuse [la TIS]. 80 % [des efforts] passent d'abord par rendre la vie d'*Aedes albopictus* la plus difficile possible, supprimer les gîtes, ne pas lui faciliter le contact avec l'homme. »

Enfin, la TIS est considérée comme une technologie à raisonner à l'échelle du bassin-versant, car les insectes se déplacent au-delà des zones de lâcher. Comme l'évoque une des porteuses de projet TIS, la gestion de l'insecte doit être pensée à l'échelle des territoires : « [La TIS] n'est pas un outil qu'on peut acheter chez un distributeur et utiliser soi-même quand on est producteur, il faut qu'il soit utilisé à une échelle relativement grande pour que ce soit efficace. »

Cet aspect territorial de la TIS requiert une forme de coopération entre les mairies, les collectivités, les agriculteurs, les riverains, etc. Ce besoin de dialogue et de concertation dans les méthodes de lutte serait, d'après une autre chercheuse développant la TIS, « un des





freins et une des choses les plus compliquées ». Le travail des chercheurs ne s'arrête donc pas à la manipulation des insectes en laboratoire : il s'agit également pour eux de rendre accueillant l'environnement sociotechnique des zones de lâcher pour les insectes stériles.

### Renouveler les paradigmes de lutte

Développer une innovation technologique performante et agir sur son environnement sociotechnique est une chose ; mais s'assurer que les acteurs sociaux s'en saisiront en est une autre.

« Le point le plus important, c'est d'informer la population sur ce genre de méthode. L'acceptation sociale, c'est indispensable. » Comme l'exprime ce biologiste porteur de projet, pour les scientifiques qui développent la TIS, il est ainsi important de pouvoir compter sur « la société » et sur ses dispositions à accueillir l'insecte stérile. De la même manière qu'ils prouvent que les mâles stériles sont « acceptables » par des femelles sauvages, les porteurs de projets tentent aussi de s'assurer que leur technique est « acceptable » auprès des citoyens. Cette démonstration est importante pour argumenter les demandes de financements publics : il importe en effet de prouver que l'innovation promue ne fera pas controverse auprès des populations des territoires concernés. La plupart des chercheurs interrogés sont soucieux de ces risques pouvant entraver l'adoption ou l'acceptation par les acteurs du grand monde. Ils citent des exemples de technologies comme les OGM qui n'auraient pas pu se développer à grande échelle à cause d'un manque de préparation et de communication envers le public<sup>3</sup>. Pour lever ces écueils potentiels, certains spécialistes de la TIS sollicitent dans leurs projets des collègues issus de différentes disciplines en sciences sociales afin de réaliser des études d'« acceptabilité sociale ». Les travaux attendus sont par exemple des enquêtes d'opinion ou des questionnaires permettant d'identifier des « freins et leviers » à l'acceptabilité. Les biologistes attendent de ces travaux des ressources pour mieux présenter cette technique auprès des médias et du grand public. Ils admettent, comme cette porteuse de projet, que la communication ne fait pas toujours partie de leurs savoir-faire : « Comment convaincre les gens ? Là, je pense qu'on dépasse mon métier et mes compétences. »

Pourtant, ce sont les chercheurs en sciences biologiques qui trouvent les financements, mobilisent des partenaires non académiques, font du porte-à-porte pour expliquer les modalités de lâchers d'insectes, discutent avec les agriculteurs et les riverains lors de leurs expérimentations sur le terrain, ou donnent des interviews. Ils sont donc fortement impliqués dans le processus de popularisation des





insectes stériles, pour que ces derniers puissent être bien accueillis et trouver leur place dans le grand monde.

Toutefois, même si les développeurs de la TIS veulent promouvoir leur solution, ils tentent également de relativiser les performances des insectes stériles face aux fortes attentes liées au développement d'alternatives aux pesticides. Si les insectes stériles passent par les diverses épreuves décrites dans la section précédente, il reste en effet possible qu'ils ne réussissent pas tous les tests hors du laboratoire. Les chercheurs s'accordent donc à dire que les résultats de la TIS, en particulier à court terme, ne seront jamais aussi satisfaisants qu'une molécule insecticide. Comme on l'a vu, la TIS ne fonctionne qu'avec la collaboration soutenue dans le temps de divers acteurs à l'échelle territoriale, contrairement à l'insecticide qui peut être appliqué avec une efficacité drastique et instantanée sur de petites zones. Avant de convaincre d'adopter les insectes stériles, les chercheurs préviennent donc : « La TIS, ce ne sera pas la balle en argent. On l'a cru pour les insecticides, il ne faut pas refaire la même erreur. » « Les résultats qu'on a en biocontrôle, ce n'est pas comme un insecticide. Un insecticide, vous mettez le produit une fois, ça tue tout le monde. Et puis le problème est réglé. »

La TIS n'est donc pas, selon ses promoteurs, une solution miracle de substitution des insecticides, et la percevoir comme telle amènerait inéluctablement à une déception vis-à-vis de son efficacité. Ils cherchent à façonner un imaginaire qui ne repose pas sur des attentes erronées et disproportionnées, en expliquant que la TIS permettrait de diminuer l'utilisation de pesticides, mais en aucun cas de s'en passer totalement. Ils défendent ainsi l'idée selon laquelle la TIS ne peut être efficace que si elle est associée à un changement de pratiques et de perception de la lutte contre les ravageurs et les moustiques.

Les promoteurs de la TIS veulent donc faire connaître cette technique afin d'obtenir des ressources et de donner une chance aux mâles stériles d'être acceptés dans le monde réel, mais anticipent les réactions parfois mitigées des parties prenantes lors de la restitution des résultats d'expérimentations. Ils préparent ainsi la sortie des mâles stériles du laboratoire en façonnant un imaginaire et une vision qu'ils estiment justes, de ce dont la TIS est capable.

### Faire émerger un marché pour les insectes stériles

Pour les porteurs de projets TIS, le travail de la recherche publique n'est pas d'aller jusqu'à industrialiser la technique, mais doit plutôt s'arrêter à l'obtention de la preuve de concept. Or, nous avons vu que celle-ci ne pouvait être validée que lorsqu'une quantité industrielle d'insectes stériles serait lâchée à large échelle, et les pratiques agricoles fortement modifiées. Il est donc difficile de démontrer une forte efficacité sans disposer des moyens conséquents, sans partenaire





industriel, au même titre qu'il est également complexe de convaincre des investisseurs sans démontrer une forte efficacité.

Pour sortir de cette impasse, certains porteurs de projets ont essayé – sans succès – de nouer des relations avec des industriels afin de massifier la production d'insectes. La question du modèle économique est donc au cœur des préoccupations des chercheurs qui développent la TIS ; ils font alors souvent appel à nouveau à des collègues d'autres disciplines, en sciences économiques et sociales, cette fois-ci pour mieux connaître les coûts de la technique et les potentiels profits qu'elle peut générer. Deux de ces porteurs de projets soulignent l'importance de définir un « modèle économique » : « J'ai besoin qu'on me fasse des analyses coûts bénéfiques, pour savoir : est-ce que la plus-value de la TIS est plus importante que celles d'autres techniques ? Quels coûts pour quelles retombées ? C'est tout ça qui nous dira à la fin, s'il faut choisir la TIS. Il faut qu'on ait toutes les cartes en main. »

Une fois encore, les chercheurs ne se limitent donc pas à mettre au point une technique : ils réfléchissent à la manière dont la TIS peut s'inscrire dans le marché en croissance des technologies de biocontrôle<sup>4</sup>, dans le but notamment de convaincre un industriel. Jusqu'à présent cependant, si des candidats potentiels ont été repérés par un pôle de compétitivité, aucune entreprise implantée n'a affiché sa volonté de développer et de commercialiser la TIS. Plusieurs caractéristiques de cette technique pourraient expliquer cela, en particulier l'instabilité du statut légal de l'insecte stérile, ce qui l'empêche actuellement de pouvoir être commercialisé au même titre qu'une molécule par exemple. Les lâchers d'insectes stériles font tous l'objet d'autorisations préfectorales ponctuelles, et comme le dit une personne chargée du transfert des innovations de biocontrôle, le manque de cadre légal pourrait être un frein pour une entreprise : « La position des industriels c'est le principe de précaution, si ce n'est pas autorisé c'est que c'est interdit. Du coup, ils ont vraiment des craintes à ce niveau-là. »

Ainsi, les chercheurs peuvent très difficilement compter sur les industriels pour faire sortir les insectes stériles du laboratoire. Certains s'extraient de leurs activités de recherche à proprement parler pour faire émerger par eux-mêmes ce marché des insectes stériles. Cela se fait de différentes manières. Pour certains, il s'agit, comme expliqué précédemment, de réaliser dans les projets des analyses coûts bénéfiques et d'études de marché, ou de réfléchir collectivement à des « modèles d'affaire » qui permettraient de ne pas laisser la TIS cantonnée au laboratoire. D'autres, comme c'est le cas de deux

<sup>4</sup> La part de marché des macroorganismes (insectes) était de 10 % du marché du biocontrôle en 2021, et sa valeur a augmenté de 40 % depuis 2018.





chercheurs ayant porté des projets TIS, décident de devenir entrepreneurs et de se lancer dans un spin-off pour prendre en charge la massification de la production et la commercialisation des insectes stériles<sup>5</sup>. Enfin, un des porteurs de projets TIS tente actuellement de mobiliser des acteurs des filières agricoles pour monter une coopérative qui produirait des insectes stériles pour protéger les cultures.

Les chercheurs ne restent donc pas passifs face au manque d'intérêt des industriels, et décident d'agir eux-mêmes pour faire émerger le marché de la TIS. Les porteurs de projets explorent différents agencements entre acteurs privés, services de lutte antivectorielle, collectivités, agriculteurs et ravageurs, pour faire émerger des marchés permettant d'inscrire les insectes stériles dans un continuum entre le laboratoire et le grand monde.

### Quel nouvel imaginaire de lutte contre les insectes ?

Les agencements sociotechniques décrits autour des tentatives pour faire sortir la TIS du laboratoire reposent sur des activités de mise au point d'une technologie, d'un travail d'anticipation de ce que la TIS pourrait faire au grand monde et de ce que le grand monde pourrait faire à la TIS. Les outils de la sociologie de la traduction offrent une ressource éclairante pour penser le passage de l'insecte stérile du microcosme au grand monde. Ils donnent à voir l'entremêlement constant du vivant, de la technologie et du social dans ces agencements, incarnés dans l'être vivant hybride qu'est l'insecte stérile.

La description du travail des chercheurs avec les insectes réalisée en première partie permet de comprendre le processus de bio-objectification qui intervient dans le monde confiné du laboratoire. Ce travail repose sur la production et la standardisation d'être vivants devenant stériles, que des acteurs veulent transformer en outils de biocontrôle commercialisables. Mais cette première partie montre également l'impossibilité pour les chercheurs de réduire ces insectes en bio-objets : ils veulent au contraire que ces derniers se comportent comme des insectes sauvages lorsqu'ils seront relâchés dans le grand monde. Les insectes de laboratoire doivent donc à la fois être stériles, et se comporter comme s'ils ne l'étaient pas.

La deuxième partie permet de mettre en avant le travail effectué parallèlement par les chercheurs : façonner un grand monde qui soit apte à accueillir les insectes stériles. En effet, agir sur les insectes ne suffit pas, il faut également agir sur l'environnement avec lesquels ils vont interagir, fait de normes, de technologies, d'humains et d'autres

<sup>5</sup> Sur les motivations et les trajectoires des chercheurs-entrepreneurs, voir Escobar E. S. O. *et al.* (2017), « Researchers' Willingness to Engage in Knowledge and Technology Transfer Activities : An Exploration of the Underlying Motivations », *R&D Management*, 47/5, p. 715-726.



êtres vivants. Cela demande aux chercheurs de passer outre les frontières définissant habituellement leur métier (Gieryn, 1983), pour devenir également ingénieurs, communicants, lobbyistes, entrepreneurs... Ce faisant, ils façonnent le grand monde pour anticiper l'arrivée des insectes stériles et préparer un changement de paradigme dans la lutte contre les moustiques et ravageurs de culture. Ils définissent et prescrivent une nouvelle manière d'interagir avec les insectes, d'accepter de percevoir des bioagresseurs comme des alliés, et donc de changer nos relations au vivant. Ces actions relèvent d'une forme de biopolitique (Keck, 2008) dans la mesure où les agencements décrits tout au long de cet article visent à enrôler à la fois insectes, acteurs de la lutte antivectorielle, agriculteurs, services de l'État, organisateurs de la recherche et citoyens.

Dès lors, pour prolonger cette réflexion, il serait intéressant de scruter précisément les types d'imaginaires que les chercheurs promeuvent à travers le développement de la TIS. Une telle analyse permettrait d'ouvrir la réflexion aux autres techniques de biocontrôle émergentes, qui portent elles aussi la promesse d'une lutte contre les insectes qui, à l'inverse des pesticides, ne serait pas centrée sur le « faire mourir », mais sur une collaboration avec les êtres vivants pour réguler leur vitalité. Ce paradigme associé aux technologies de biocontrôle, identifié comme plus écologique et demandant une connaissance plus fine des organismes et de leurs interactions, nécessite pourtant souvent la mise en place d'unités de production industrielle ainsi que la commercialisation d'êtres vivants. La production d'insectes ou de micro-organismes semble jusqu'à présent échapper aux critiques sur le bien-être des animaux d'élevage, cette tension mériterait d'être examinée lors de prochains travaux.

## Bibliographie

- Akrich M., Callon M., Latour B. (1988), « À quoi tient le succès des innovations ? », *Gérer et comprendre*, p. 4-17. <https://shs.hal.science/halshs-00081741>
- Audetat M. (2015), *Sciences et technologies émergentes : pourquoi tant de promesses ?*, Paris, Hermann.
- Baertschi B., Willemsen, A. (2009), *La vie artificielle : le statut moral des êtres vivants artificiels*, Contributions à l'éthique et à la biotechnologie, Off. Fédéral des Constructions et de la Logistique.
- Beisel U., Boëte C. (2013), « The Flying Public Health Tool: Genetically Modified Mosquitoes and Malaria Control », *Science as Culture*, 22/1, p. 38-60. DOI : 10.1080/09505431.2013.776364
- Bonneuil C. (2006), *Engagement public des chercheurs. Cultures épistémiques et engagement public des chercheurs dans la controverse OGM*, *Natures Sciences Sociétés*, 14/3, p. 257-268.
- Callon M. (1986), « Éléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins pêcheurs en



- baie de Saint-Brieuc », *L'année sociologique*, 6, p. 169-208. <https://www.jstor.org/stable/27889913>
- Callon M., Akrich M., Dubuisson-Quellier S., Granclément C., Hennion A., Latour B., Mallard A., Méadel C., Muniesa F., Rabeharisoa V. (2013), *Sociologie des agencements marchands. Textes choisis*, Paris, Presses des mines.
- Callon M., Lascoumes P., Barthe Y. (2001), *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*, Paris, Seuil.
- Chevassus-Au-Louis B. (2000), « L'appropriation du vivant : de la biologie au débat social », *Le courrier de l'environnement de l'INRA*, 40.
- Dupé S. (2015), « Transformer pour contrôler: humains et moustiques à La Réunion, à l'ère de la biosécurité », *Revue d'anthropologie des connaissances*, 9/2, p. 213-236. DOI : 10.3917/rac.027.0213.
- Gibbons M., Limoges C., Nowotny H., Schwartzman S., Scott P., Trow M. (1994), *The New Production of Knowledge: the Dynamics of Science and Research. The Contemporary Societies*, Londres, SAGE Publications.
- Gieryn T. F. (1983), « Boundary-Work and the Demarcation of Science from Non-Science: Strains and Interests in Professional Ideologies of Scientists », *American Sociological Review*, 48, p. 781-795. DOI : 10.2307/2095325
- Goulet F., Aulagnier A., Fouilleux E. (2023), « Moving beyond Pesticides: Exploring alternatives for a Changing Food System », *Environmental Science & Policy*, 147, p. 177-187. DOI : 10.1016/j.envsci.2023.06.007
- Holmberg T., Schwennesen N., Webster A. (2011), « Bio-objects and the Bio-Objectification Process », *Croatian Medical Journal*, 52/6, p. 740-742. DOI : 10.3325/cmj.2011.52.740
- Keck F. (2008), « Les usages du biopolitique », *L'Homme*, 187-188, p. 295-314. DOI : 10.4000/lhomme.29305
- Lafontaine C. (2021), *Bio-objets. Les nouvelles frontières du vivant*, Paris, Seuil.
- Pitrou P., Dalsuet A., Hurand B. (2016), « Modélisation, construction et imitation de processus vitaux. Approche pluridisciplinaire du biomimétisme », *Natures Sciences Sociétés*, 23/4, p. 380-388.
- Raimbault B. (2023), « Faire avec l'industrie: Repenser la crédibilité scientifique par la preuve de concept », *Revue d'anthropologie des connaissances*, 17/2. DOI : 10.4000/rac.30114
- Vallier E., Besle S. (2023), « Industrialisation de la recherche clinique en cancérologie », *Sociologie du travail*, 65/1. DOI : 10.4000/sdt.42879

