

L'importation de végétaux et autres produits dérivés (le bois, les semis, le matériel de multiplication, les fleurs coupées, et autres produits *phyto*) sont aujourd'hui hautement réglementés dans l'union Européenne que ce soit en import ou en export. Différents certificats, passeports et permis d'importation sont mis en place et sont nécessaires pour le transport de ces matériaux végétaux. Les méthodes de détection de parasites, insectes, champignons, bactéries sont de plus en plus développées, mais il reste tout de même possible que des introductions se produisent, bien que cela soit de moins en moins courant.

Au cours des siècles, différentes espèces d'insectes, d'animaux, et de micro-organismes ont été introduites par accident dans les pays de l'Union Européenne. Ces insectes, inoffensifs dans leur pays d'origine, se sont transformés en ravageurs dans les pays Européens où ils ont été introduits. En France, en Grèce et en Italie, les deux exemples les plus récents sont le charançon rouge (*Rhynchophorus ferrugineus*) et le papillon (*Paysandisia archon*) du palmier qui causent de gros dégâts, et qui sont aujourd'hui considérés comme étant de grands ravageurs alors qu'ils font partie intégrante de la faune dans leur pays d'origine.

1. Les insectes ravageurs, qui sont-ils?



figure 1: Exemples d'insectes ravageurs. a) Cochenille du manioc (Afrique subsaharienne); b) La chenille foreuse de la canne à sucre (Réunion) ; c) La mouche des fruits (France et Union Européenne); d) Charançon du bananier (Guadeloupe).

a

b

c

d

Depuis l'Antiquité, la notion d'insecte ravageur s'est vue modifiée, en effet, celle-ci qualifiait les espèces d'insectes phytophages migrants, ceux qui causaient des dommages de façon ponctuelle aux cultures (exemple : les criquets en Egypte). Aujourd'hui, avec l'importation de plantes d'Asie ou encore d'Afrique, les ravageurs sont des espèces dites exotiques introduites hors de leur aire naturelle de répartition qui vont s'adapter à leur environnement, s'attaquer de façon nettement plus agressive aux plantes hôtes et se transformer très rapidement en espèces invasives.

Aujourd'hui, un insecte est considéré comme ravageur lorsqu'il est nuisible aux cultures, aux arbres et à la végétation en général. Mais il ne devient ravageur que dans le cas où il est introduit dans un milieu de vie qui lui est totalement favorable.

Le milieu sera considéré comme favorable s'il y a présence de plantes hôtes, ou de plantes sans défense contre le nouvel agresseur, si les températures sont adéquates à son mode de vie, et s'il y a une absence de prédateurs. Plus les plantes hôtes seront présentes à grande échelle, plus les ravageurs seront virulents et se multiplieront.

2. Les traitements connus contre les insectes ravageurs

Comme on a pu l'évoquer dans les différents articles, il existe plusieurs types de traitement pour lutter contre les insectes ravageurs, que ce soit à titre préventif, ou à vocation curative. Nous en ferons ici un petit rappel.

- **La lutte chimique :**

La lutte chimique est la technique la plus communément utilisée pour lutter contre les espèces nuisibles phytophages. Elle nécessite l'intervention de molécules insecticides et pesticides le plus souvent nuisibles pour l'environnement. Aujourd'hui, la réglementation devenant de plus en plus stricte sur les normes environnementales, on a pu observer une évolution au niveau de la composition de ces produits. Les produits sont de plus en plus souvent basés sur des molécules d'origine végétale, ces molécules sont relativement restreintes, ce qui entraîne une réduction des principes actifs. Cela pourrait alors engendrer l'apparition de résistances qui tendent à être enrayées par une diminution de l'utilisation des produits chimiques.

- **La lutte biologique :**

La lutte biologique est basée sur l'utilisation de prédateurs ou pathogènes (*exemple* : utilisation des vers chez *Rhyncophorus ferrugineus*). C'est une méthode qui est plus difficile à contrôler que la lutte chimique. Cette méthode peut causer des dommages à d'autres plantes, les prédateurs ne s'attaquant pas forcément uniquement qu'aux insectes ravageurs visés. Cette méthode a fait ses preuves, notamment sur l'île de la Réunion avec l'utilisation de trichogrammes et de fourmis dans la lutte contre le ver « foreur ponctué » (*Chilo sacchariphagus*) et le ver blanc (*Hoplochelus marginalis*). Ces deux vers sont des ravageurs connus de la canne à sucre (*Hong Do Thi Khanhhet al ;Contre le foreur ponctué de la canne à sucre, le froid aide la lutte biologique*). Néanmoins, cette technique doit encore faire ces preuves sur d'autres ravageurs tels que le *Rhyncophorus ferrugineus*.

- **La lutte mécanique :**

La lutte mécanique consiste en l'utilisation de moyens physiques et non invasifs pour les plantes tels que les pièges, la glue, ou encore les toiles « anti-grêle », notamment chez les espèces *Paysandisia* et *Rhyncophorus ferrugineus*. Ce sont néanmoins des méthodes peu esthétiques et difficiles à mettre en place à grande échelle. Elles seront alors le plus souvent utilisées en serre sur de petites surfaces.

Il reste donc difficile de définir laquelle de ces méthodes, ou encore quelle combinaison de méthodes reste la plus efficace pour lutter contre les insectes ravageurs. Avec l'avancée des recherches et l'émergence des biotechnologies, de nouvelles méthodes sont aujourd'hui envisagées.

3. La lutte autocide ou l'émergence des biotechnologies

La lutte autocide est mise en œuvre dans plusieurs pays pour lutter contre des insectes ravageurs tels que la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* et la mouche de l'oignon *Delia antiqua*. Cette technique est également utilisée pour lutter contre des insectes vecteurs (insectes qui transmettent des maladies) tels que le moustique *Aedes albopictus* à la Réunion.

Cette méthode reste actuellement peu utilisée en France, mais la recherche s'y intéresse avec l'apparition de nouveaux ravageurs ayant un fort pouvoir invasif tels que: *Drosophilla suzukii*, *Cydia pomonella*, *Rhagoletis completa*, *Rhynchoforus ferrugineus* ou encore *Paysandisia archon*. Cette technique permettrait d'éradiquer sur de grandes surfaces des insectes ravageurs ou vecteurs difficiles à combattre, sans aucun dommage pour l'environnement, ni risque pour la santé.

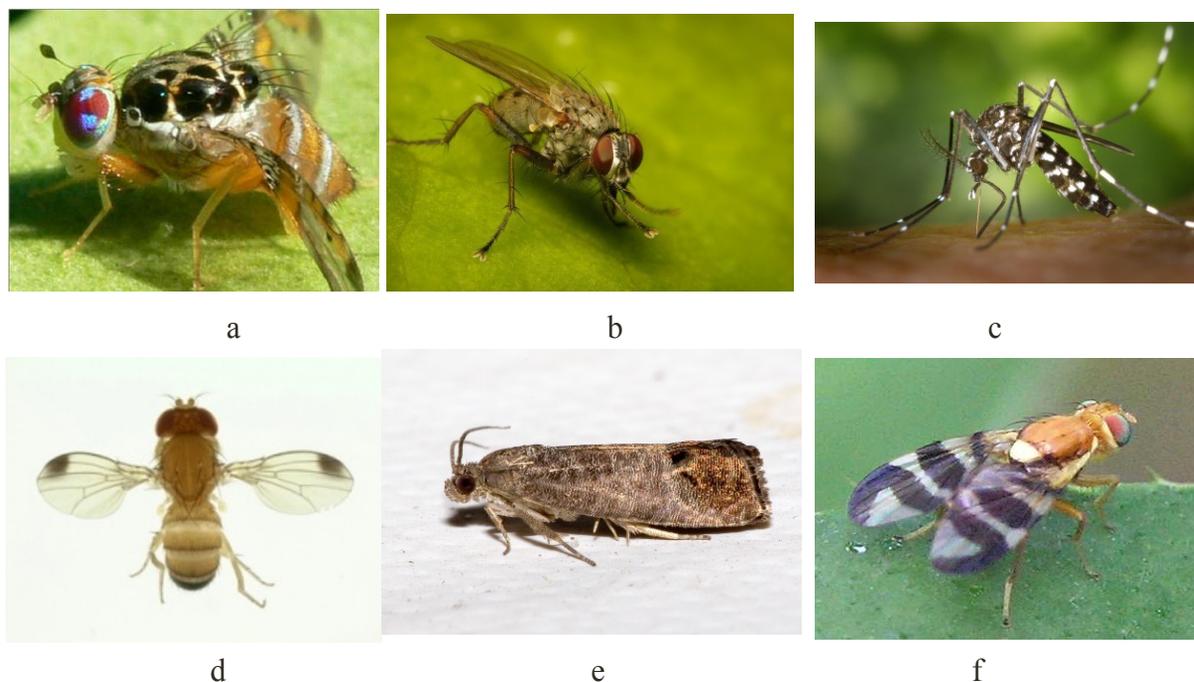


figure .2 : Insectes dont la lutte est réalisée via des méthodes de biotechnologie telle que la lutte autocide. a) *Ceratitis capitata* (image de <http://aramel.free.fr/INSECTES15-6.shtml>) b) *Delia antiqua* (photo de Sylvain Tremblay) c) *Ae.albopictus* (Wikipédia) d) *Drosophilla suzukii* (Photo Fredon Corse), e) *Cydia pomonella* (Wikipédia), f) *Rhagoletis completa* (Photo Fredon Corse).

La lutte autocide est mise en œuvre par le biais de plusieurs techniques innovantes ou anciennement connues réactualisées et améliorées. Ces techniques auront toutes un point commun, on utilisera l'insecte ravageur, vecteur lui-même contre ses propres congénères, et le plus souvent, les individus mâles, physiologiquement et génétiquement plus facilement modifiables que les individus femelles.

A) La technique de l'insecte Stérile (TIS)

La lutte par l'insecte stérile est une méthode qui est principalement développée contre les insectes « vecteurs ». Elle est aujourd'hui envisagée pour lutter contre les insectes ravageurs. Cette méthode reste encore expérimentale et peut être réalisée par des moyens physiques ou par des moyens chimiques.

1- Les moyens physiques :

- Utilisation de mâles hybrides génétiquement modifiés stériles (RIDL).
- Utilisation de radiations (X ou gamma) pour rendre les mâles stériles.
- Utilisation des incompatibilités cytoplasmiques (CMS).

• Les mâles hybrides génétiquement modifiés stériles (RIDL):

La construction de mâles hybrides génétiquement modifiés stériles est aujourd'hui possible par l'introduction d'une séquence de gène ou d'un gène spécifique dans un site actif spécifique. Pour cela, il faut comprendre comment fonctionne un gène, comment il est organisé, et comment il va pouvoir s'exprimer.

Il faut donc savoir dans un premier temps que le génome comporte des zones spécifiques codantes portant l'information génétique appelées exons et des zones non codantes appelées introns. Ces zones vont s'intercaler de la manière suivante : Exon- Intron- Exon-Intron- etc....

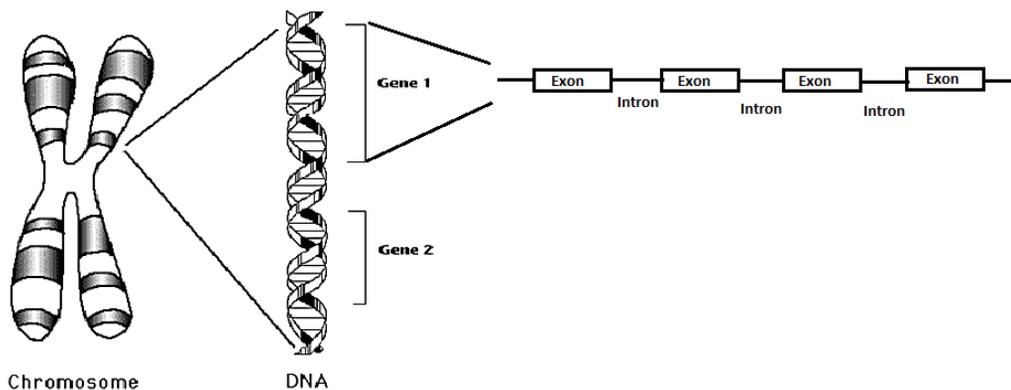


figure .3: Schéma représentatif de l'organisation des gènes sur un chromosome.

Pour qu'un gène soit lu, plusieurs éléments sont nécessaires, et la lecture va se faire en plusieurs étapes. Ces éléments sont :

- Un codon Start et un codon Stop composés de trois nucléotides formant un acide aminé (Exemple : ATG-UAA, le code génétique étant composé de trois nucléotides principaux A, T et G).
- Un promoteur (élément qui amplifie la lecture d'un gène) qui va guider le ribosome (élément qui fait la lecture du gène) à se fixer sur la partie à lire.
- Un gène positionné dans le bon sens de lecture (sens 5'-3').

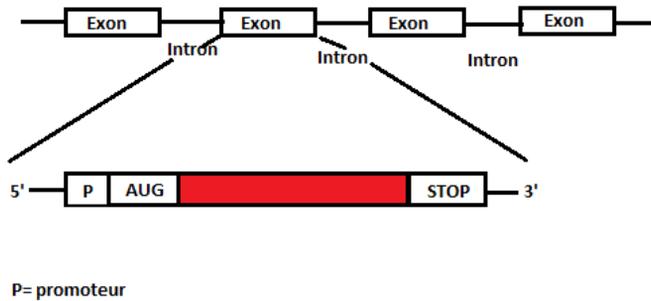


figure .4: Schéma représentatif de l'organisation pour l'expression d'un gène.

Certaines firmes comme OXITEC ont développé la technique en insérant dans le patrimoine de l'insecte un gène dominant (qui s'exprime même avec un seul exemplaire présent). Ce gène, létal chez les femelles mais pas chez les mâles, va donc entraîner une « sélection ». Les mâles porteurs de ce gène n'auront pas de descendance femelle et auront une descendance mâle plus active sexuellement mais qui seront stériles.

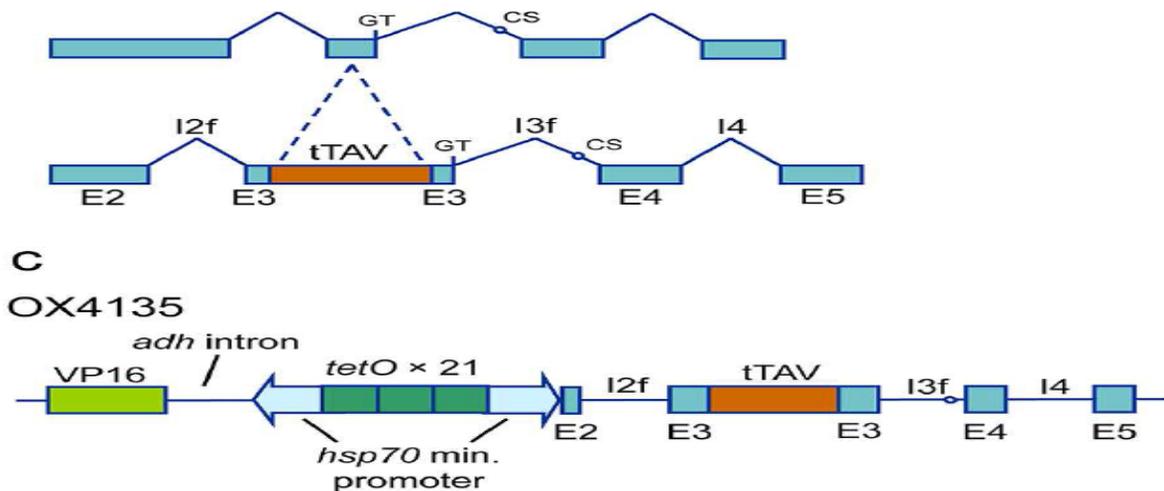


figure .5: Schéma représentant la technique d'insertion rendant l'insecte stérile. Etape 1 : introduction du gène dominant tTAV. Etape 2 : Insertion d'un promoteur (permet d'exprimer fortement le gène introduit) ainsi que d'un marqueur VP16 pour sélectionner les insectes génétiquement transformés et leur descendance stérile (schéma tiré de l'article :une méthode efficace et durable en développement rapide; Bernard J. Blum; 2014).

Des essais en partenariat avec la Fondation Bill Gates contre la dengue ont été réalisés aux Iles Cayman, en Malaisie, au Mexique et tendent à se développer dans l'union européenne avec le projet *Infravec*.

Au Brésil, dans le traitement de la mouche *dengue*, les résultats sont encourageants, avec une baisse de la population de 90 % en six mois (une méthode efficace et durable en développement rapide; Bernard J. Blum; 2014).

- Les mâles rendus stériles par radiation ou ionisation :

L'effet stérilisant des rayons X et des rayons gamma est connu depuis les années 1961. Leur efficacité a été prouvée sur tous les arthropodes qui ont subi le traitement : mouches, moustiques, glossines, etc....

Les rayons appliqués à des doses dites « mesurées » rompent les chromosomes et finissent par former des chromosomes dits « dicentriques ». Si les doses appliquées sont trop importantes le rayonnement va être létal pour l'insecte.

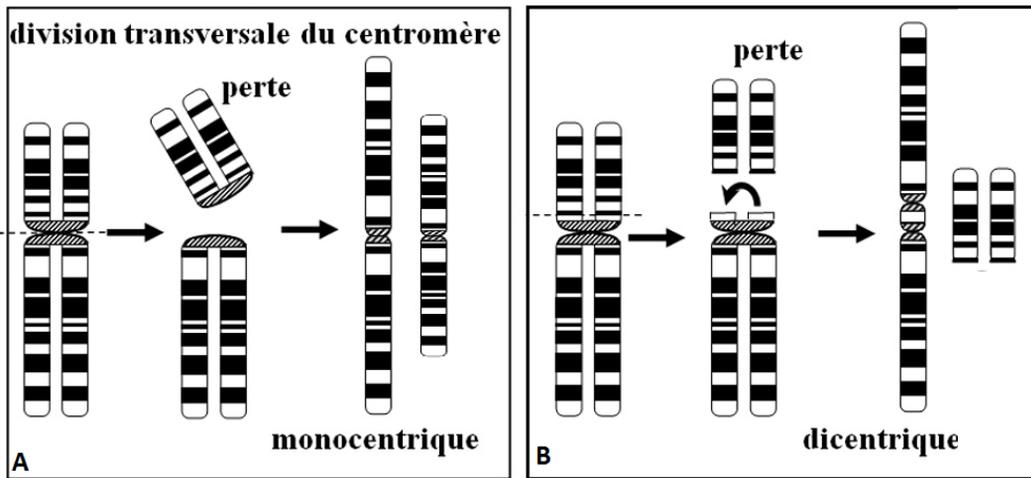


figure .6: Représentation de la division des chromosomes chez un individu sain (A) et chez un individu ionisé (B). Chez l'individu sain le centromère (centre du chromosome) va se diviser par le milieu et créer un bras long et un bras court mono centrique. Tandis que chez l'individu ionisé, le chromosome ne va pas se diviser au niveau du centromère mais au-dessus et va créer un chromosome dicentrique et deux morceaux de chromosomes restants.

L'exposition des mâles aux radiations, va entraîner des mutations dans les cellules responsables de la formation des spermatozoïdes, ce qui entrainera la production de spermatozoïdes à chromosomes dicentriques ou monocentriques ayant une carence ou une duplication de l'information génétique. Ainsi, la totalité de l'information génétique ne sera pas transmise à la génération d'insecte suivante, conduisant à la mort de l'embryon fécondé par une cellule irradiée. Les mâles soumis aux radiations seront donc sexuellement actifs mais stériles.

Suite à l'irradiation, les populations vont être marquées (utilisation d'éléments fluorescents) afin de suivre leur évolution et leur descendance stérile (une méthode efficace et durable en développement rapide, Bernard J. Blum, 2014; La stérilisation par les moyens physiques et chimiques et son utilisation dans la lutte contre les insectes ravageurs, J.Mouchet, 1971).



figure .7: Installation des cuves à radiation pour insectes dans une usine ,

figure .8: La stérilisation des mâles par ionisation ou radiation une technique largement répandue (d'après Bernard J. Blum, 2014).

Insecte	Sites anciens	Sites actuels
Lucille bouchère	Curaçao, Etats-Unis, Mexique, Puerto Rico, les Îles Vierges américaines	Guatemala, Belize, Libye
Mouche méditerranéenne des fruits	Italie *, Pérou *, Mexique, Etats-Unis (Californie), Israël *	Guatemala, Etats-Unis (Hawaii), Espagne
Mouche des fruits des Caraïbes	Etats-Unis (Floride) *	Etats-Unis (Floride) zone voler sans
la mouche du melon	Japon *	Japon, Brésil
Mouche orientale des fruits	Rota, Hawaï *	
mouche de l'oignon	Pays-Bas *	Pays-Bas (contrôle)
Mouche mexicaine des fruits	Etats-Unis / Mexique *	Etats-Unis / Mexique (+ zone de quarantaine voler sans)
Cerise mouche des fruits	Suisse *	
Ver rose du cotonnier	Etats-Unis *	Etats-Unis (mise en quarantaine)
Carpocapse	Canada *, Etats-Unis *	Canada (contrôle)
Spongieuse	Etats-Unis *	Etats-Unis (mise en quarantaine)
Mouches tsé-tsé	République-Unie de Tanzanie *, * Nigeria, Nigeria, Zanzibar	
(Quatre espèces)	Burkina Faso *	
tordeuse des bourgeons de tabac		Etats-Unis *
Charançon de la capsule du cotonnier	Etats-Unis *	
Moutons blowfly	Australie *	
Moustiques	El Salvador *	
Mouche étable	St Croix, États-Unis *	
sphinx du tabac	St Croix, États-Unis *	
Bovins ticques de fièvre	St Croix, États-Unis *	St Croix. USA

• Les mâles Stériles par incompatibilité cytoplasmique (CMS):



figure .9 : *Wolbachia*.

Classification :

Règne -*Bacteria*;

Division -*Proteobacteria*;

Classe-*Alphaproteobacteria*; **Ordre**- *Rickettsiales*;

Famille-*Rickettsiaceae*

(Source Wikipédia).

Le genre *Wolbachia* est le genre bactérien qui infecte essentiellement des arthropodes ainsi que certaines espèces de nématodes. Cette large répartition d'hôtes en fait donc un des symbiotes (association intime, durable et à bénéfices mutuels entre deux organismes) les plus répandus du monde animal. Ces bactéries au mode de vie intracellulaire sont localisées au sein du cytosol des cellules de leurs hôtes. Elles se retrouvent en proportion importante dans l'appareil reproducteur (principalement les cellules germinales: ovules ou spermatozoïdes) et l'épithélium (correspond à la peau) du système génital des arthropodes et nématodes.

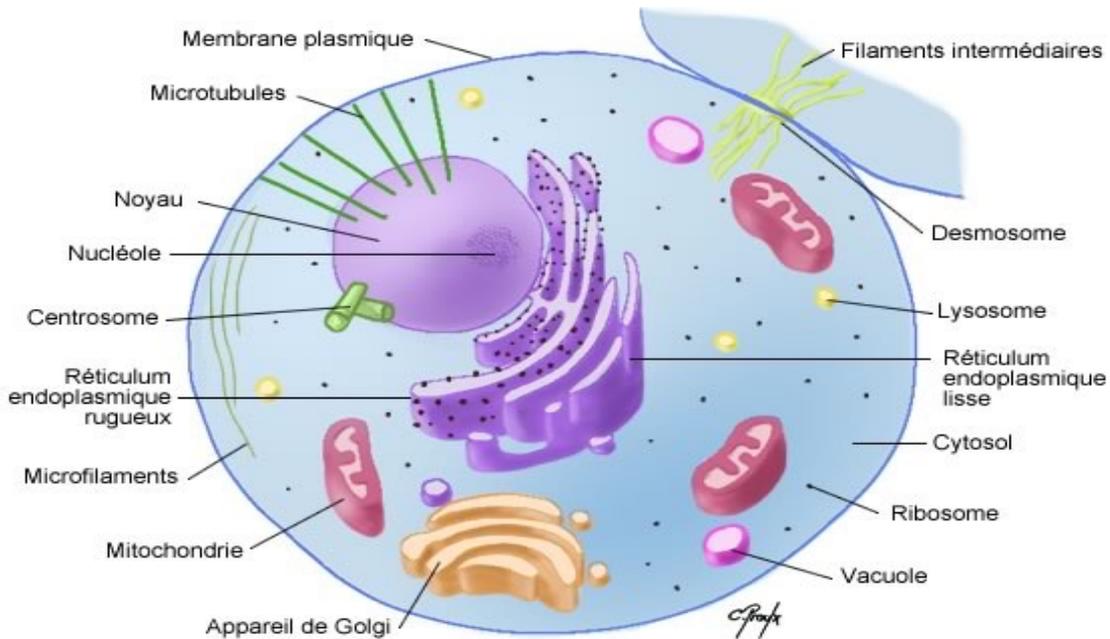


figure .10 : Schéma de l'organisation d'une cellule d'un animal ou d'un insecte eucaryote (avec noyau).
(Source : Google).

L'incompatibilité cytoplasmique est provoquée par l'action d'une bactérie du genre *Wolbachia* (α -protéobactérie intracellulaire) sur les cellules reproductives (spermatozoïde et ovaire) . Cette bactérie empêche la compatibilité entre le sperme et l'ovule, lors de la reproduction chez deux individus d'une même espèce. Le phénomène d'incompatibilité induit alors une forte mortalité embryonnaire.

Cependant, les mécanismes moléculaires impliqués dans le phénomène d'incompatibilité sont encore mal connus et les bactéries du type *Wolbachia* ne sont pas reproductibles dans un laboratoire et difficilement stables.

De plus, les chercheurs ont observé que l'incompatibilité pouvait avoir lieu uniquement lors du croisement de femelles sauvages (prises dans la nature) avec des mâles infestés. Les femelles infestées par la souche de bactérie *Wolbachia* se reproduisant avec des mâles sauvages ou des mâles infestés par la même souche que les femelles se reproduiront et auront une descendance viable.

Il va donc falloir au préalable sélectionner les mâles uniquement, et les infecter avec une souche *Wolbachia* (α -protéobactérie intracellulaire) pour qu'il y ait incompatibilité cytoplasmique et stérilité des mâles.

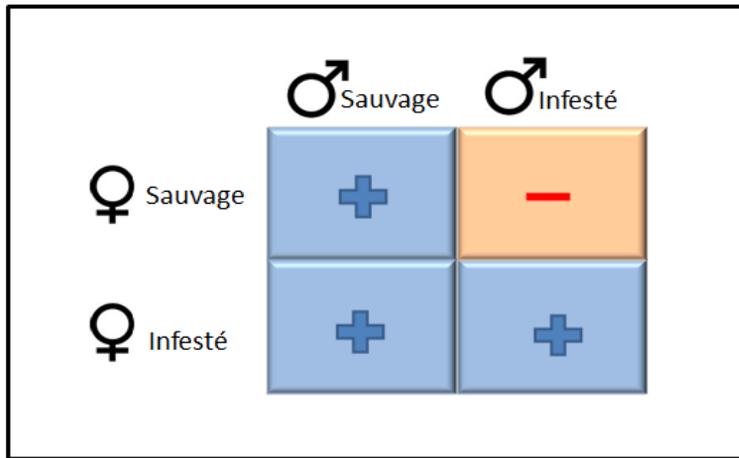


figure .11 : Cas d'une incompatibilité cytoplasmique. Dans ce cas, les mâles et femelles infestés le sont par la même souche de *Wolbachia* (d'après l'étude de Bernard J. Blum; avril 2014).

2- Les moyens chimiques :

- Utilisation de chimiostérilisants (Borkovec;1966).

L'utilisation des agents stérilisants ou chimiostérilisants va pouvoir agir de trois façon différentes:

- En empêchant la production de spermés dans le cas de l'application sur des mâles.
- En empêchant la production d'œufs ou d'ovules dans le cas de l'application sur des femelles.
- En provoquant la mort des gamètes déjà produits.

Dans un second temps, ces agents vont pouvoir induire des mutations létales dites dominantes dans les gamètes (spermatozoïde ou ovule) qui arrivent à maturité et qui vont servir à la formation de l'embryon. Il y aura alors naissance d'un nouvel individu stérile (Proverbs;1969).

Les molécules utilisées vont pouvoir être administrées par ingestion (insertion dans la nourriture) ou par contact.

B) Conditions et limites de la mise en œuvre de la technique de l'insecte stérile

Pour que le processus soit efficace, il faut impérativement que les insectes concernés respectent les critères suivants :

- Ils doivent uniquement être capables de reproduction sexuée.
- Ils doivent avoir un mode de reproduction « en masse ».

La stérilisation des insectes mâles ne doit pas les empêcher de rester sexuellement actifs, voir plus actifs que les insectes « sauvages » de la même espèce. Il faut idéalement que l'espèce d'insectes soumise à la lutte autocide ait une reproduction unique de ces femelles. Les femelles pondront alors des œufs stériles ou à développement embryonnaire perturbé. Ce phénomène entraînera alors une diminution du nombre d'individus au cours des différents cycles de reproduction (Le contrôle autocide des insectes ravageurs de grande dimension ,une méthode efficace et durable en développement rapide; Bernard J. Blum; avril 2014).

Sur le terrain, l'efficacité de cette méthode va dépendre de plusieurs paramètres :

- du type de stérilité choisi,
- du comportement d'accouplement de l'espèce à combattre,
- Et de la longévité des mâles et de leur pouvoir de vol.

Cela va également dépendre de leur aptitude à trouver une femelle et de leur « agressivité » sexuelle (Proverbs ; 1969).

L'utilisation de molécules chimiostérilisantes, peut, à long terme, entraîner une résistance aux traitements des insectes ravageurs ou vecteurs ciblés. Ce phénomène ayant pour signes, une stérilisation moins efficace et l'apparition d'un seuil de toxicité plus élevé (Abasa et Hansens; 1969). Les molécules chimiostérilisantes vont donc se transformer en molécules insecticides.

Au fil du temps et de l'avancement de la recherche , des questions vont être soulevées , notamment :

- Sur la stabilité des souches obtenues par la méthode des insectes stériles,
- Et sur la transmission des gènes introduits chez ces insectes à des espèces d'insectes « utiles » (type abeille).

D'autres questions, d'ordre politique et de réglementation des organismes génétiquement modifiés vont être soulevées, de même que des questions éthiques concernant la propriété industrielle du ou des gènes seront également abordées.