

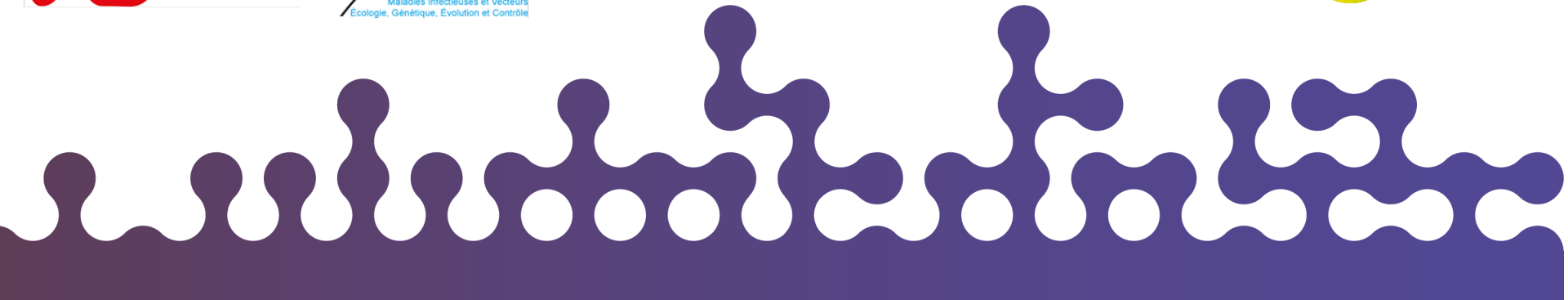


Marie-Marie Olive

Gilbert Le Goff, Thierry Baldet, David Roiz

Revue systématique sur l'efficacité entomologique de la technique de l'insecte stérile et de la technique de l'insecte incompatible pour réduire les populations d'*Aedes* sauvages

RENCONTRES SCIENTIFIQUES



Réponse intégrée du contrôle des vecteurs *Aedes*

Méthodologie:

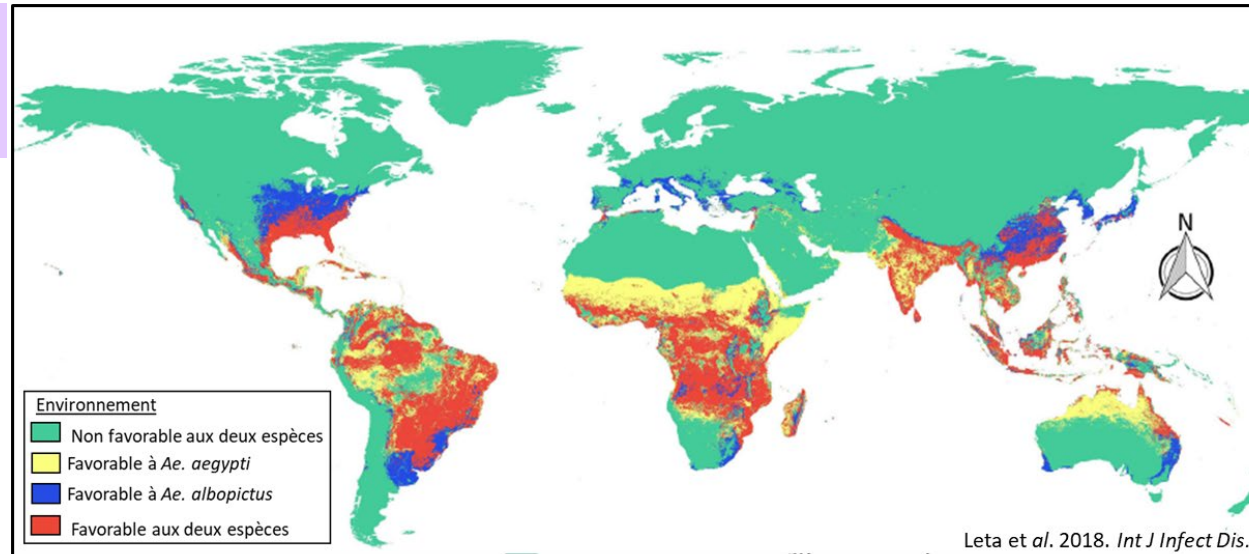
Pulvérisation insecticide

Protection personnelle

Gestion de l'environnement

Larvicide

Contrôle biologique



S₁

Sans *Aedes*

S₂

Aedes locaux

S₃

Transmission sporadique
et *Aedes* établi

S₄

Transmission endémique et *Aedes*
établi

S₅

Transmission épidémique et *Aedes* établi

Roiz et al. 2018. *Plos NTD*



Evaluation de l'efficacité des méthodes de lutte essentielle

Limite dans le contrôle des *Aedes* vecteurs dans le monde et leur évaluation

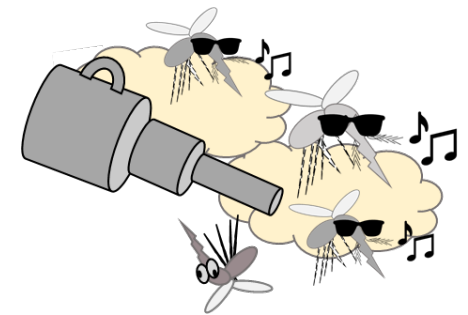
Stratégie de lutte intégrée

Evaluation:

- Complexe
- Pas de méthode standardisée pour l'évaluation stratégies de lutte contre les vecteurs *Aedes*
- Nombreux indicateurs entomologiques : difficulté de comparer les études
- Manque et faiblesse des preuves de l'efficacité

Défis:

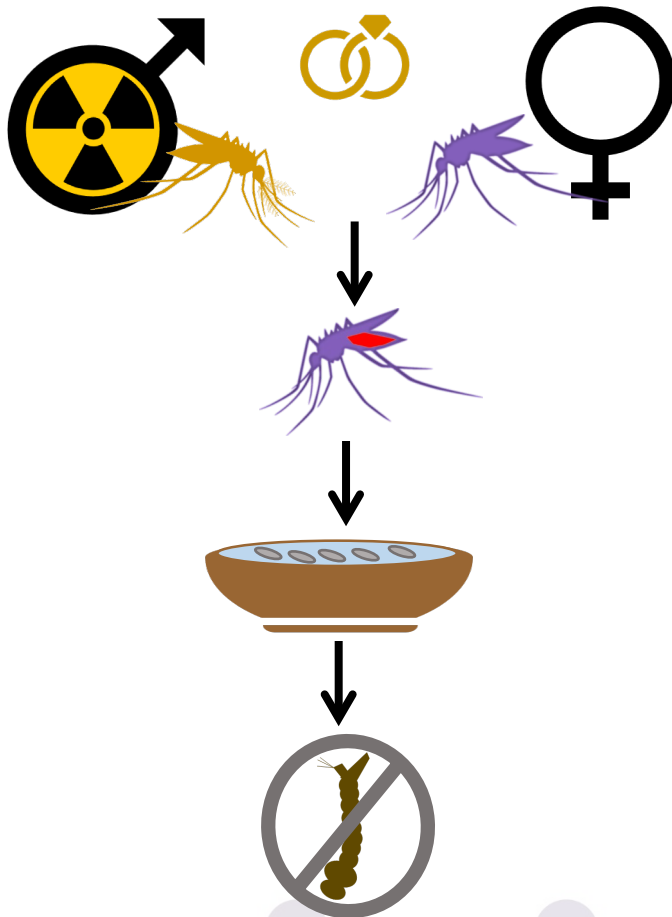
- Difficulté de mise en œuvre
- Aversion aux insecticides et résistances



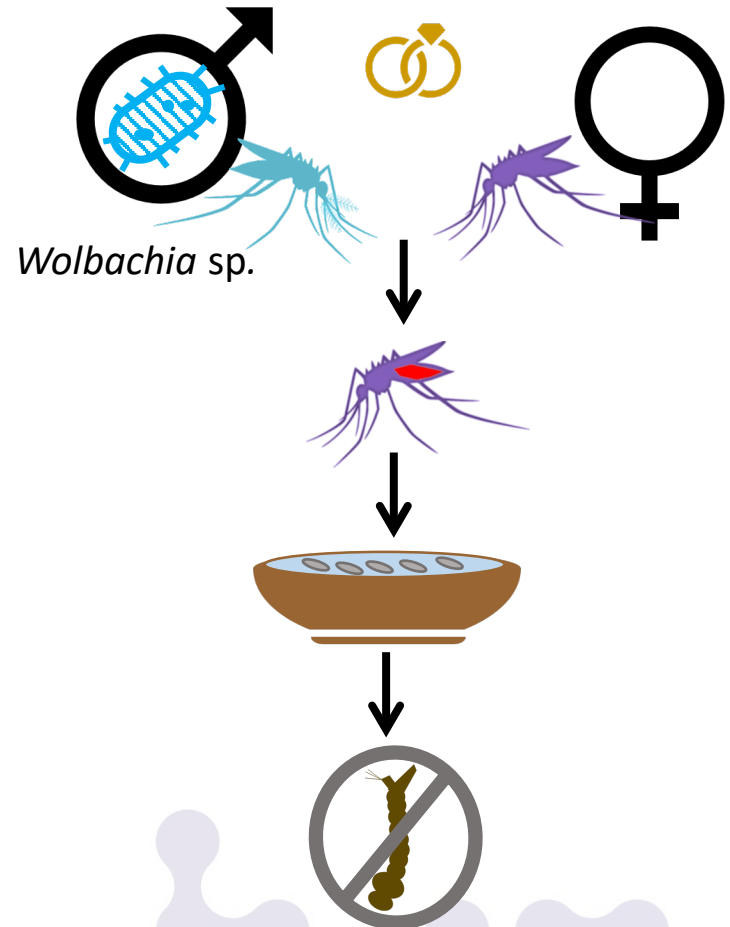
Développement de méthodes de lutte innovantes contre les *Aedes* vecteurs

Les techniques

La technique de l'insecte stérile (SIT)

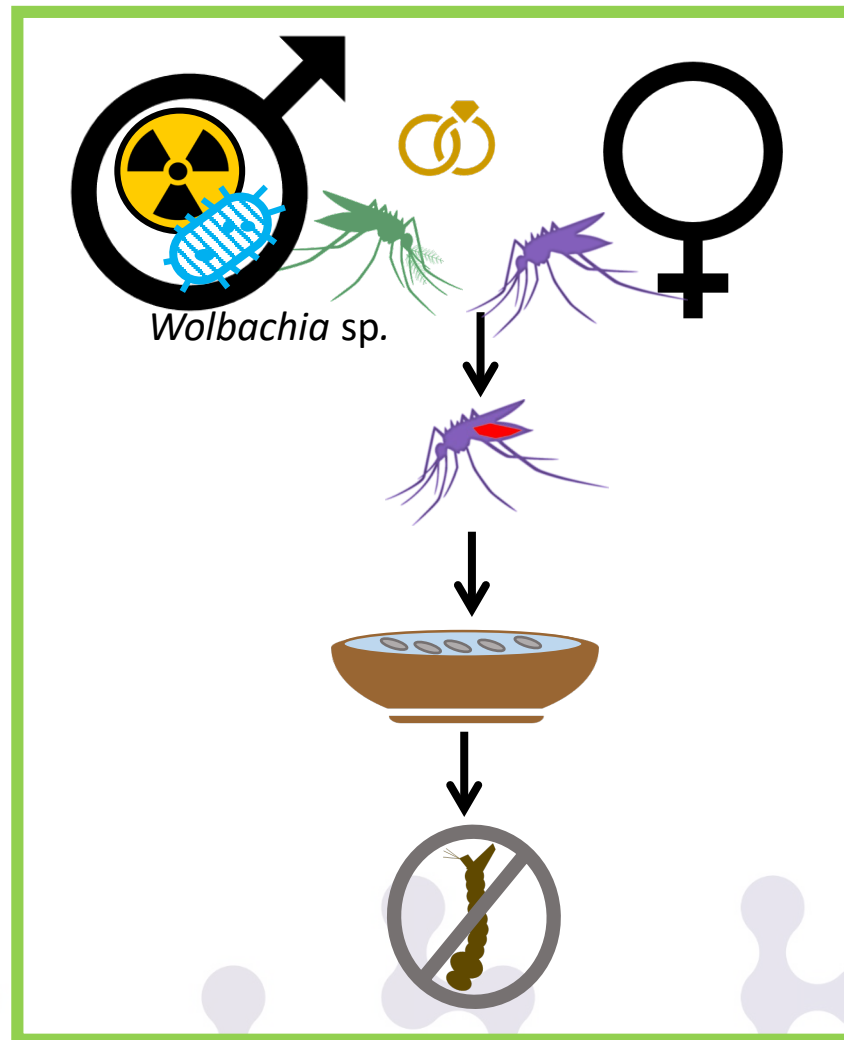


La technique de l'insecte incompatible (IIT)



Les techniques

Combinaison des deux techniques: SIT-IIT



L'évaluation de l'efficacité entomologique



Site de lâcher



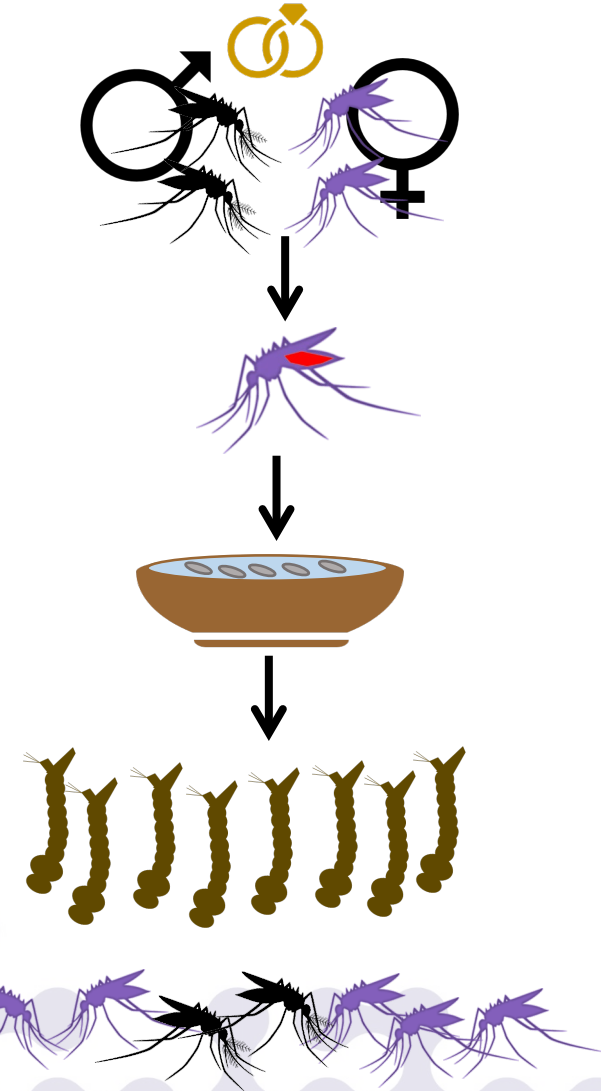
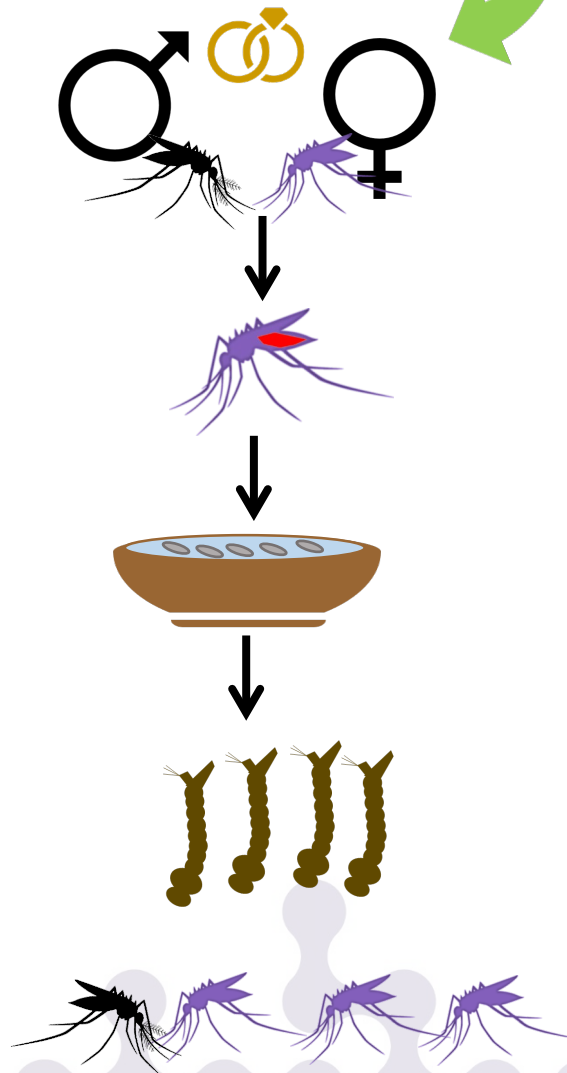
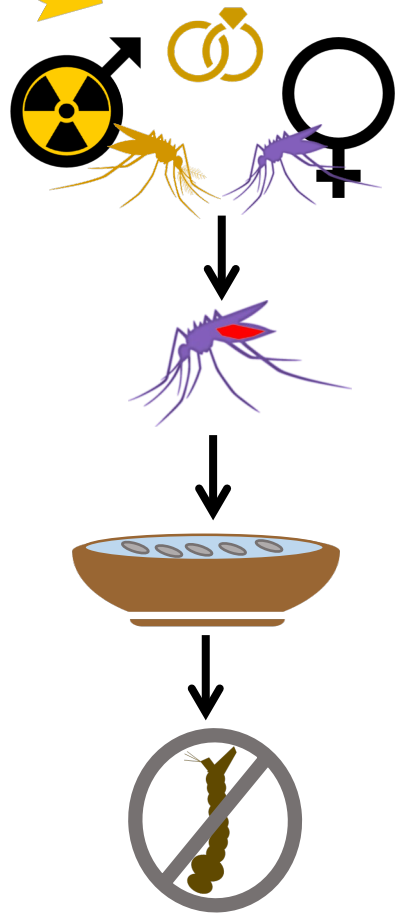
Site contrôle



L'évaluation de l'efficacité entomologique

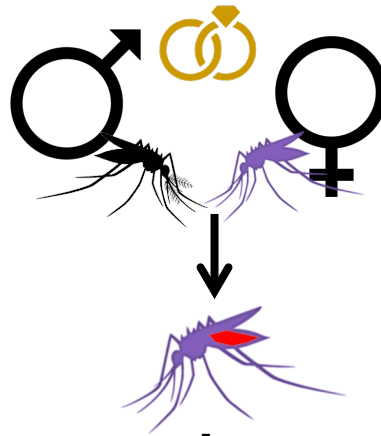
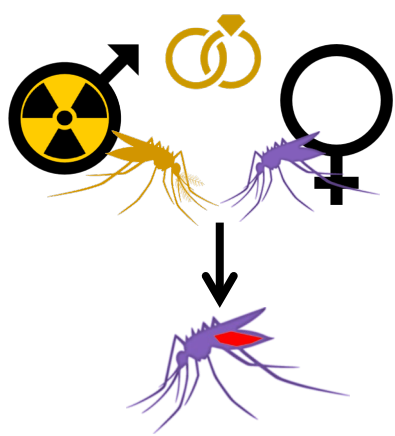
Site de lâcher

Site contrôle

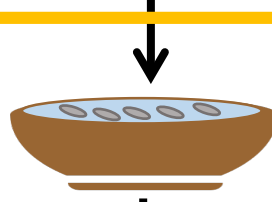
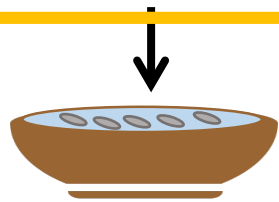
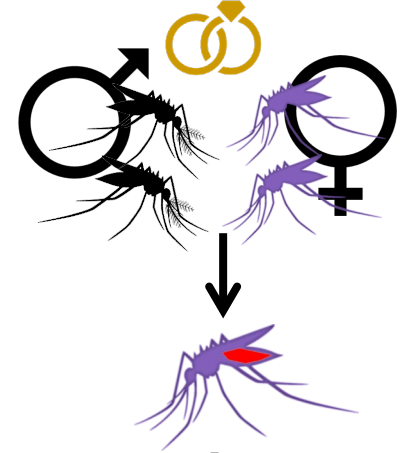


L'évaluation de l'efficacité entomologique

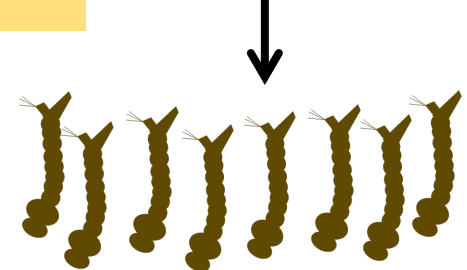
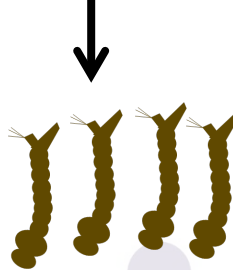
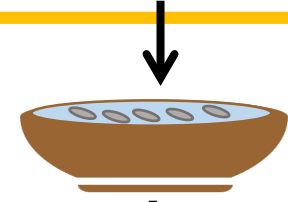
Site de lâcher



Site contrôle

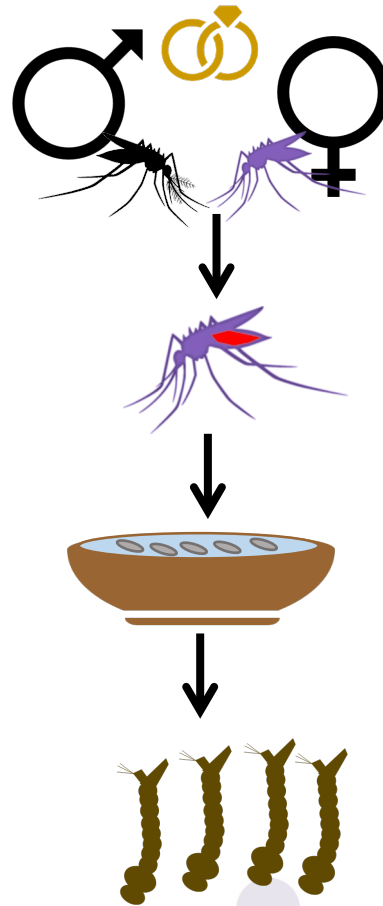
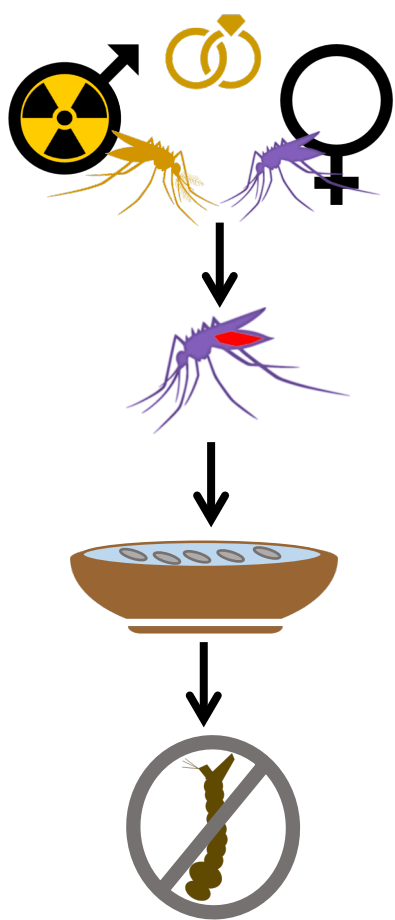


Taux d'éclosion
des œufs



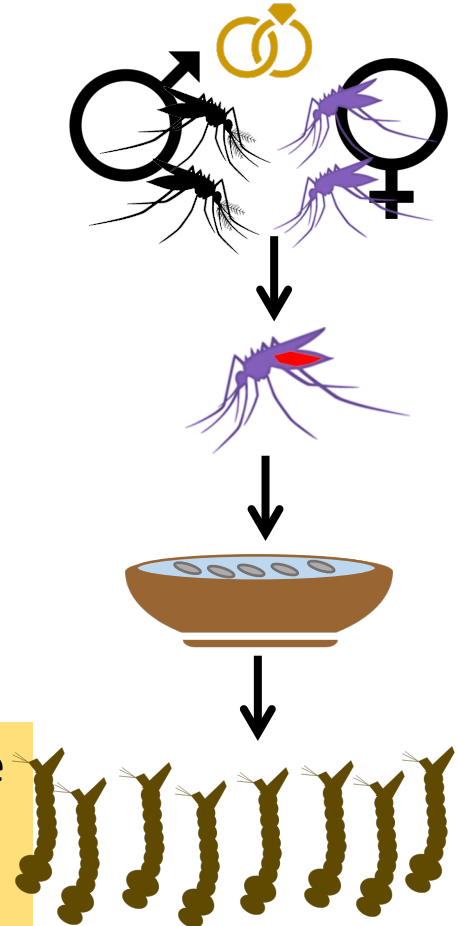
L'évaluation de l'efficacité entomologique

Site de lâcher



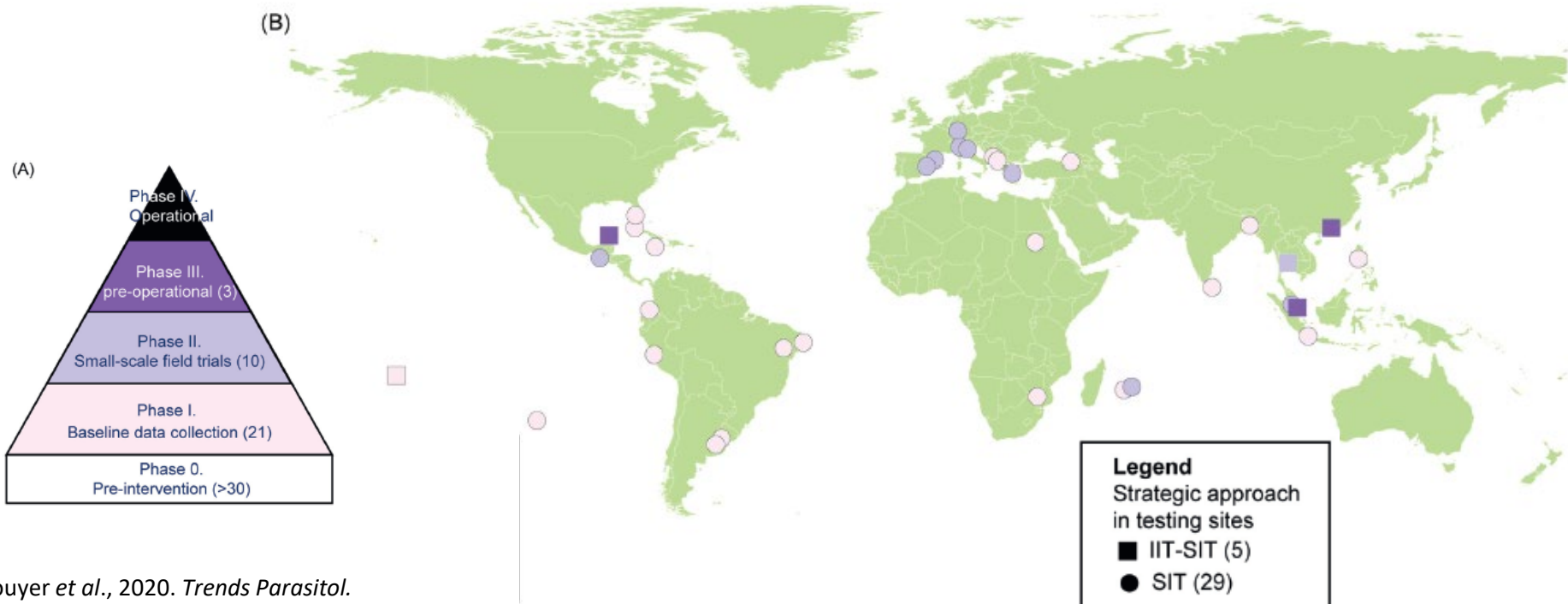
Nombre de
femelles
adultes

Site contrôle



Quelle efficacité?

- Publications scientifiques et rapports
 - AIEA : TIS mis à jour régulièrement
 - Comité Scientifique Du Haut Conseil Des Biotechnologies. Avis en réponse à la saisine HCB du 12 octobre 2015 concernant l'utilisation de moustiques génétiquement modifiés dans le cadre de la lutte antivectorielle. Paris, le 31 mai 2017.
- A ce jour pas de revue systématique
 - Règles méthodologiques PRISMA & Cochrane
 - Méta-analyse

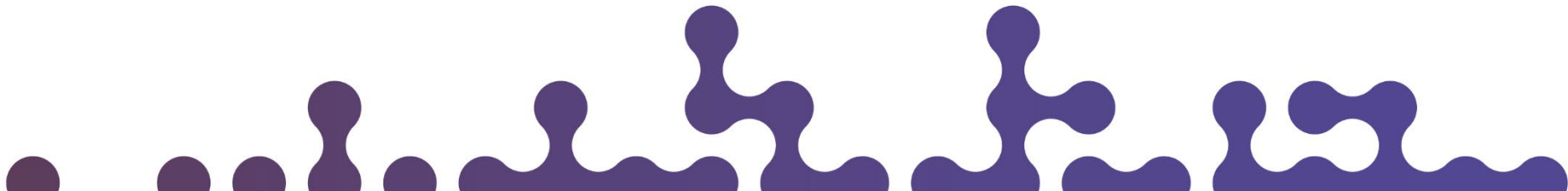


Objectifs de l'étude

Réaliser une revue systématique de l'efficacité entomologique des études de terrain de la SIT et/ou de la IIT pour réduire les populations d'*Aedes* sauvages

PICO Question:

- **Population:** Population d'*Aedes*
- **Intervention:** TIS ou IIT
- **Comparaison:** Sites lâchers mâle stériles vs. site contrôle aucun lâchers
- **Outcomes:** Taux d'éclosion des oeufs et/ou population adultes



Matériels et Méthodes



- Revue systématique sur PubMed et Web of science à partir de l'année 2000
 - Méthode PRISMA
- Recherche opportuniste
 - Pré-publications
 - Rapports



Critères d'éligibilité

1

Aedes sp.

~~*Culex* sp.~~

~~*Anopheles* sp.~~



Critères d'éligibilité

1

Aedes sp.

Culex sp.

Anopheles sp.

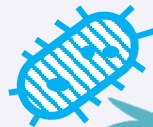
2

Stratégie de réduction



SIT

OR



IIT

OR



SIT-IIT



Critères d'éligibilité

1

Aedes sp.

Culex sp.

Anopheles sp.

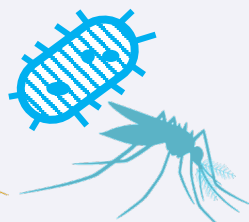
2

Stratégie de réduction



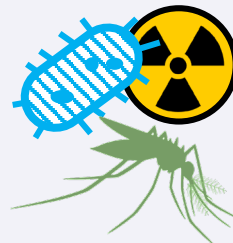
SIT

OR



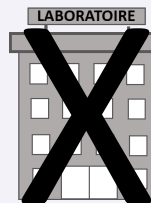
IIT

OR



SIT-IIT

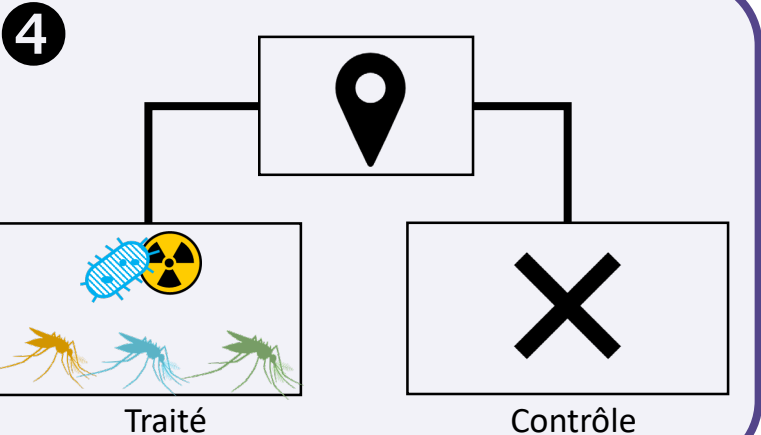
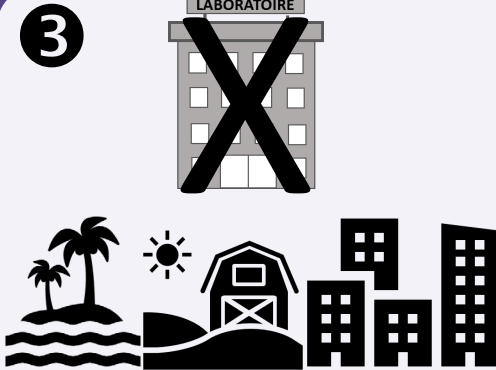
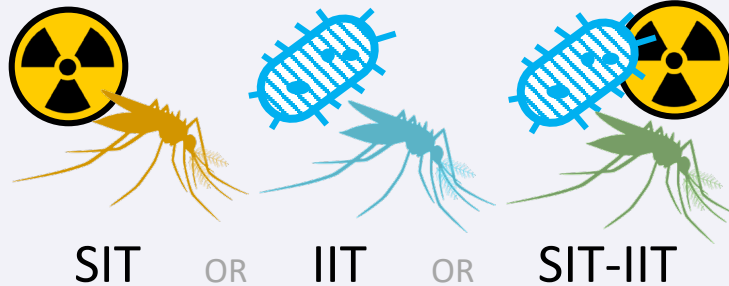
3



Critères d'éligibilité

1 *Aedes* sp.
Culex sp.
Anopheles sp.

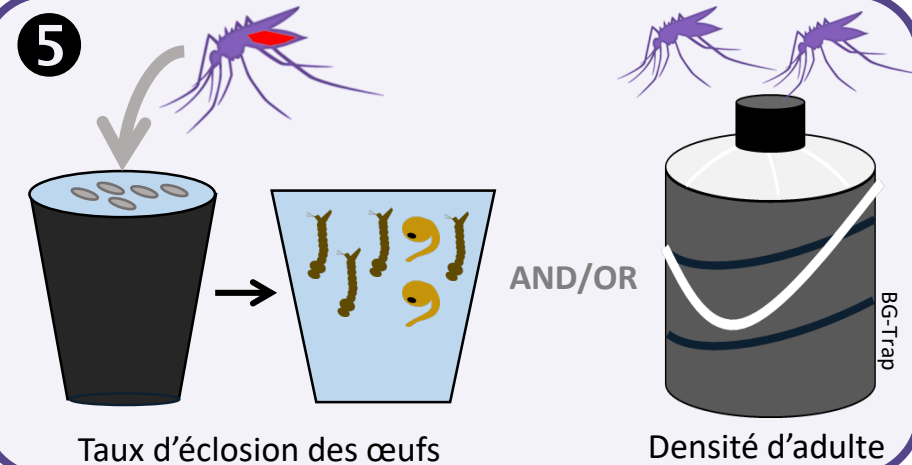
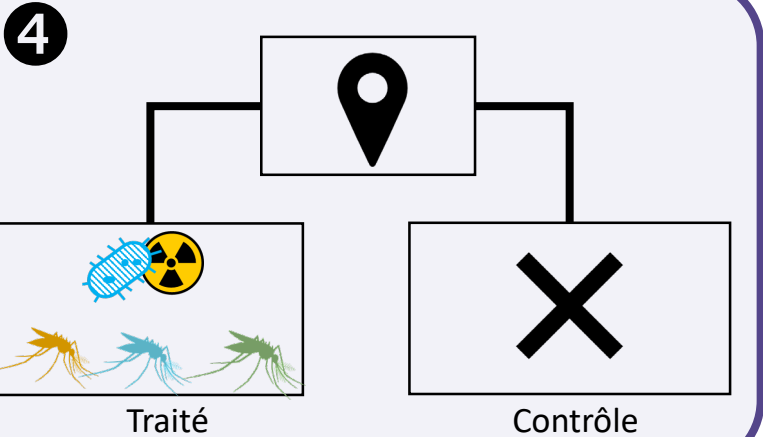
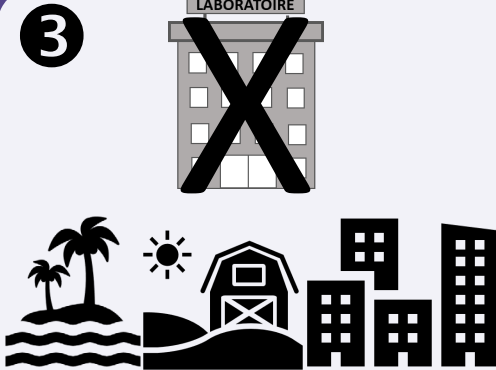
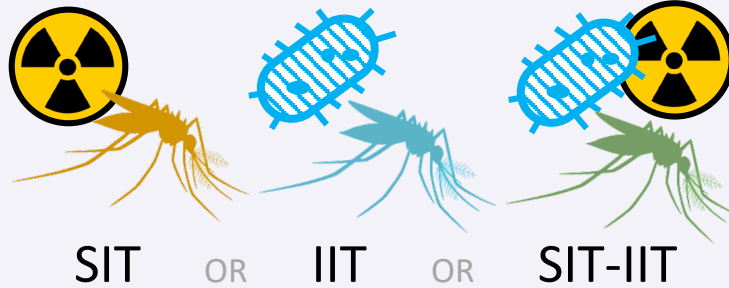
2 Stratégie de réduction



Critères d'éligibilité

1 *Aedes* sp.
Culex sp.
Anopheles sp.

2 Stratégie de réduction



Variable réponse : réduction de la population

ABONDANCE DES FEMELLES

$$\text{Suppression} = 1 - \frac{\text{Nb moyen de femelles par piège } T +}{\text{Nb moyen de femelles par piège } C +}$$

Délai après le lâcher

Etape de standardisation

T+ : Site traité
C+ : Site contrôle

Données brutes ou extraites des figures avec digitize library
Analyse descriptive des données sur R



Variable réponse : réduction de la population

ABONDANCE DES FEMELLES

$$\text{Suppression} = 1 - \frac{\text{Nb moyen de femelles par piège } T +}{\text{Nb moyen de femelles par piège } C +}$$

Délai après le lâcher

Etape de standardisation

T+ : Site traité
C+ : Site contrôle

Variables explicatives : mise en œuvre

TAUX D'ECLOSION DES OEUFS

$$\text{Réduction} = 1 - \frac{\% \text{ moyen de taux d'éclosion des oeufs } T +}{\% \text{ moyen de taux d'éclosion des oeufs } C +}$$

Etape de standardisation

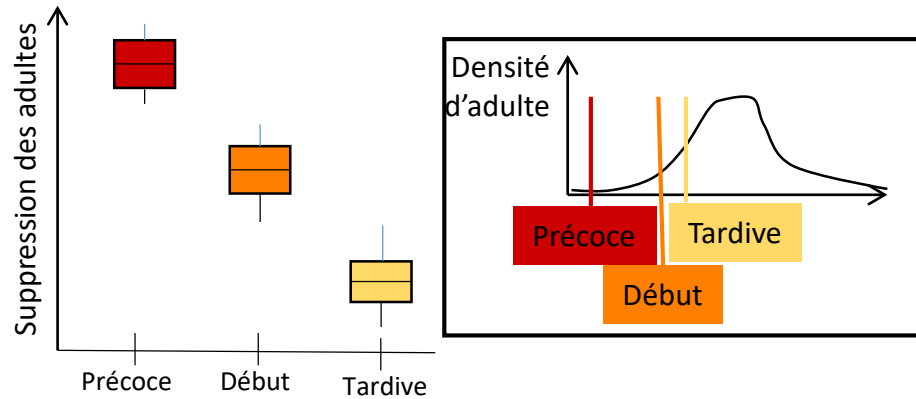
Données brutes ou extraites des figures avec digitize library
Analyse descriptive des données sur R



Qu'est-ce qui peut influencer l'efficacité des stratégies?

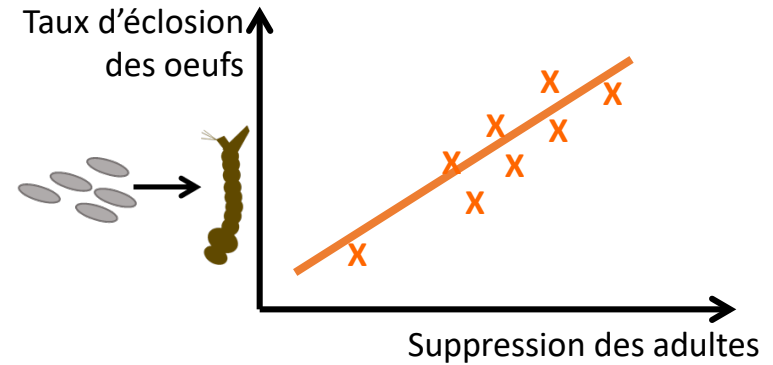
Périodicité

- Période du premier lâcher

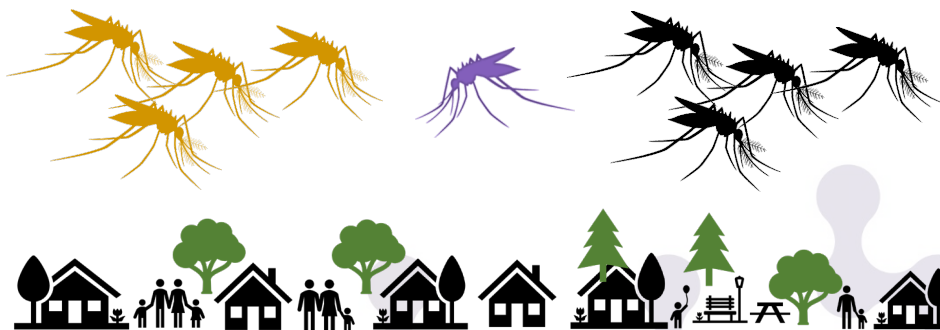


Huang et al., 2016. *Journal of Biological Dynamic.* ; Haramboure et al., 2020. *Ecological Modelling*

Stérilité induite



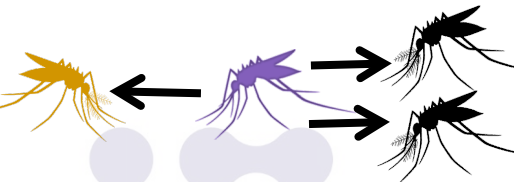
Compétitivité des mâles stériles



Compétitivité = 1



Compétitivité = 0.5

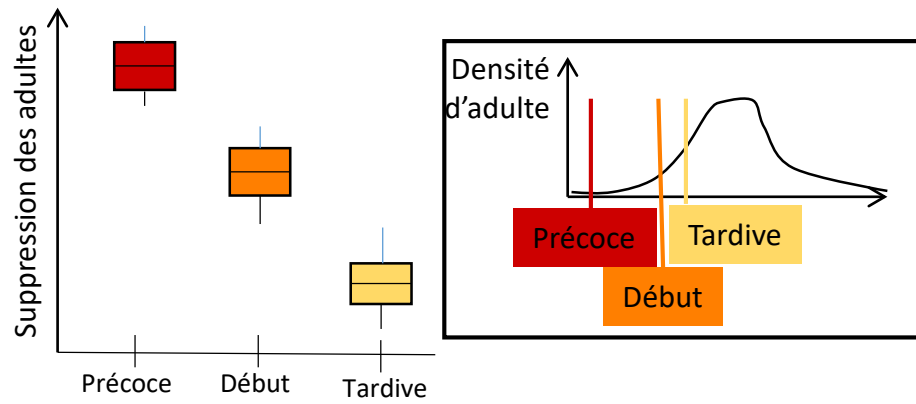


Bouyer and Vreysen, 2020. *Trends in Parasitology.*

Qu'est-ce qui peut influencer l'efficacité des stratégies?

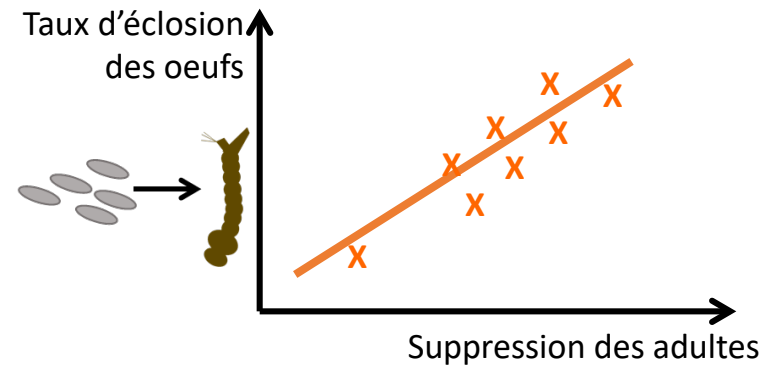
Périodicité

- Période du premier lâcher



Huang et al., 2016. *Journal of Biological Dynamic.* ; Haramboure et al., 2020. *Ecological Modelling*

Stérilité induite



Compétitivité des mâles stériles



Compétitivité = 1

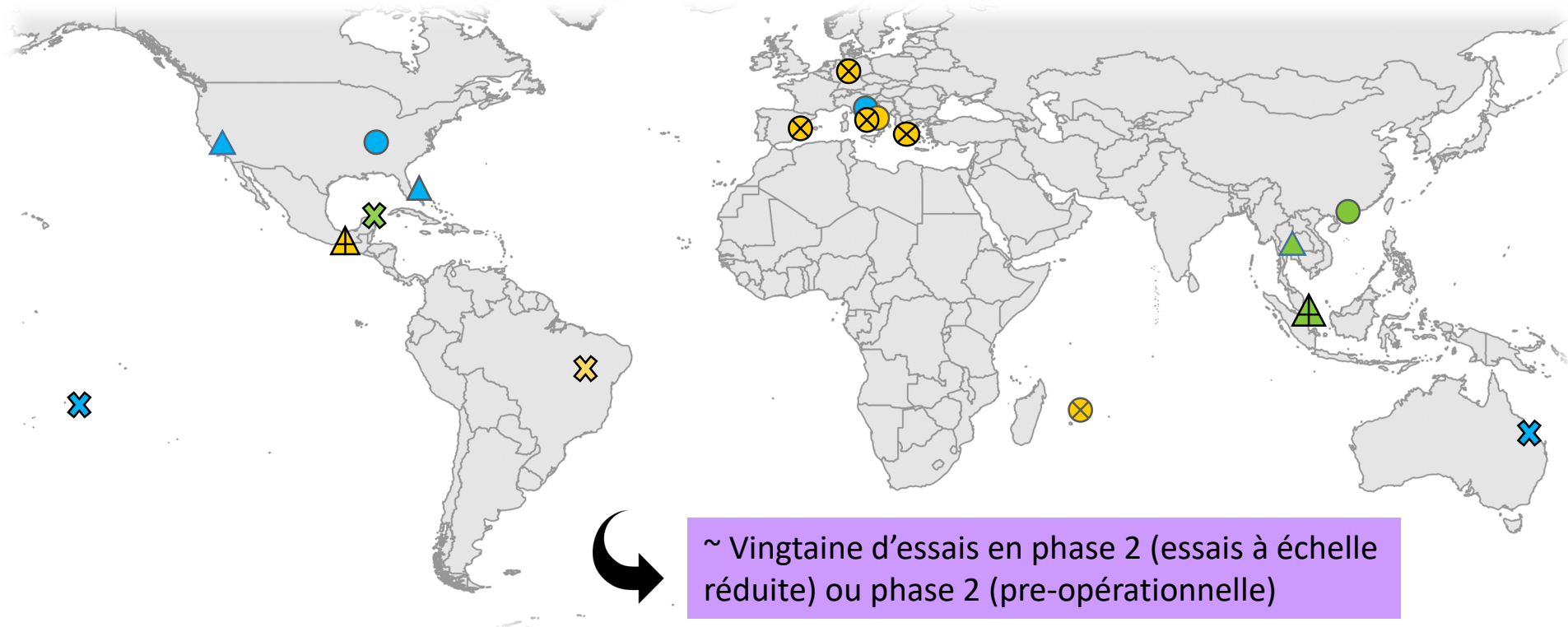


Compétitivité = 0.5



Résultats

Les essais à travers le monde à partir des années 2000




<u>Technique</u>	<u>Publication</u>	<u>Rapports et preprints</u>
SIT	<i>Aedes aegypti</i>	<i>Aedes aegypti</i>
IIT	<i>Aedes albopictus</i>	<i>Aedes albopictus</i>
SIT-IIT	<i>Aedes polynesiensis</i>	<i>Aedes polynesiensis</i>
	Pas de résultats exploitables	

Mise en œuvre

 SIT n = 5 + 6

 IIT n = 6 + 0

 SIT-IIT n = 5 + 1

Nombre d'observation
n=23



Lâchers
~ 260 à 120 000
/semaines/ha



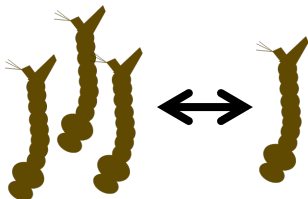
Ratio mâles
stériles:sauvages
1:2 à 350:1



Durée du
suivi :
2 à 24 mois

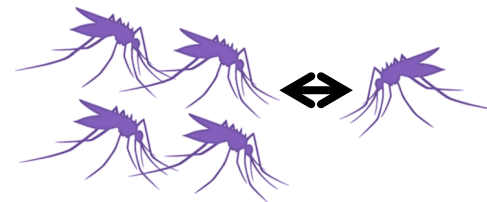
Indicateur de l'efficacité de la technique

Mise en œuvre

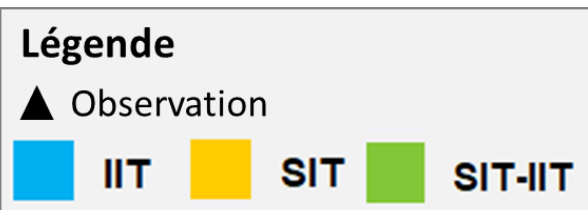
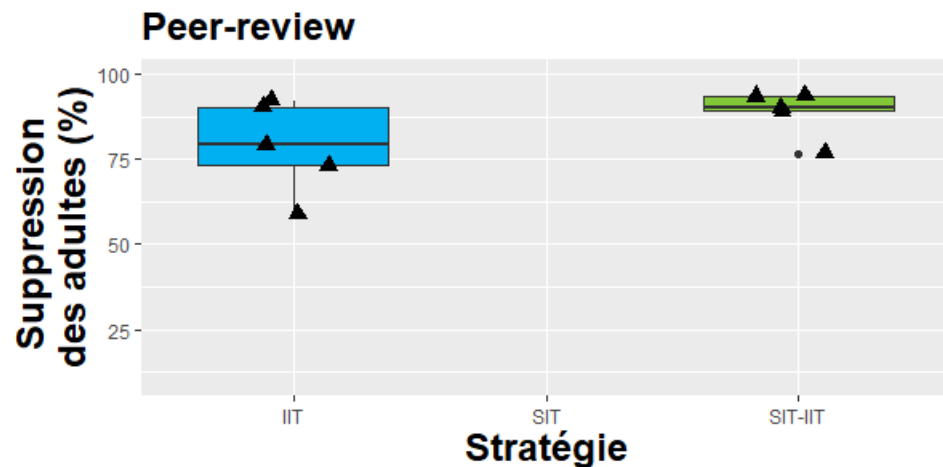
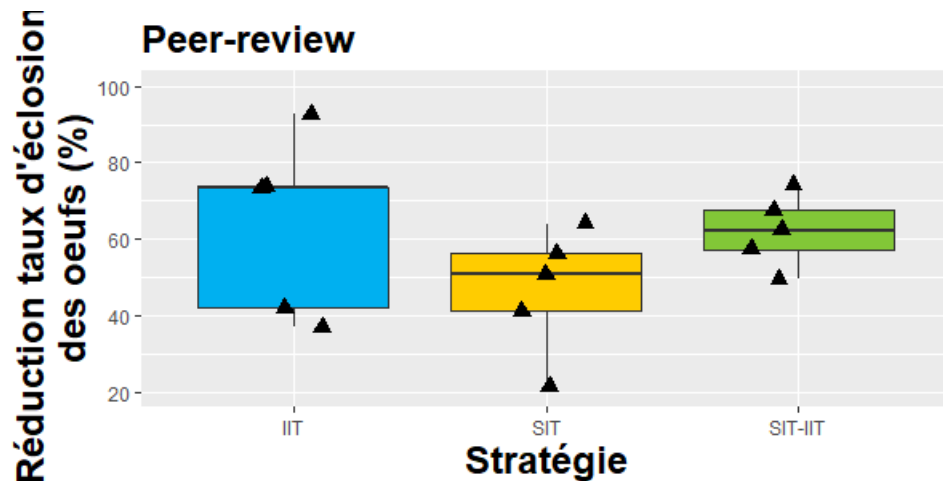


Réduction taux
éclosion des œufs
n=23

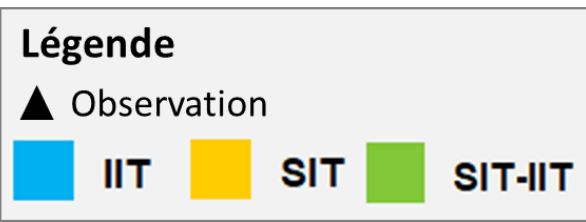
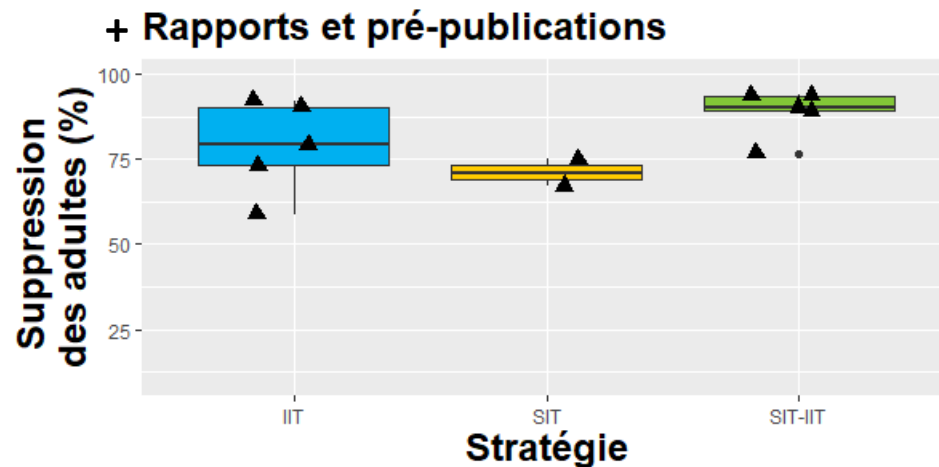
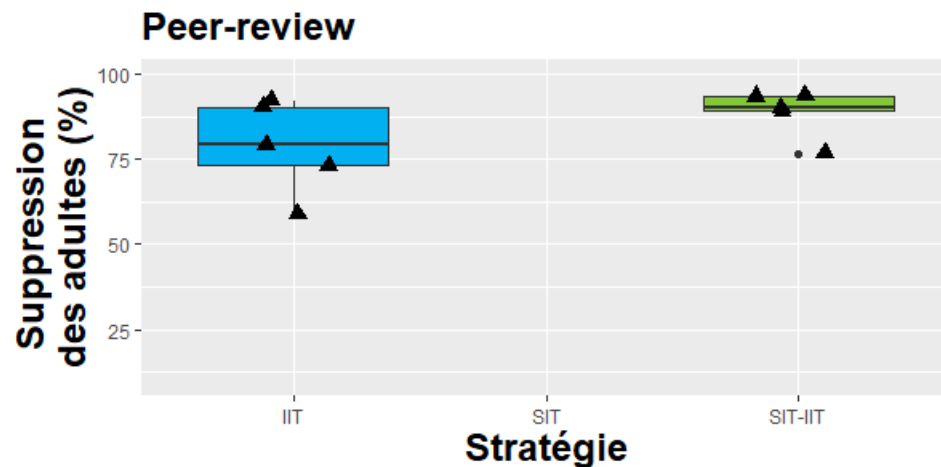
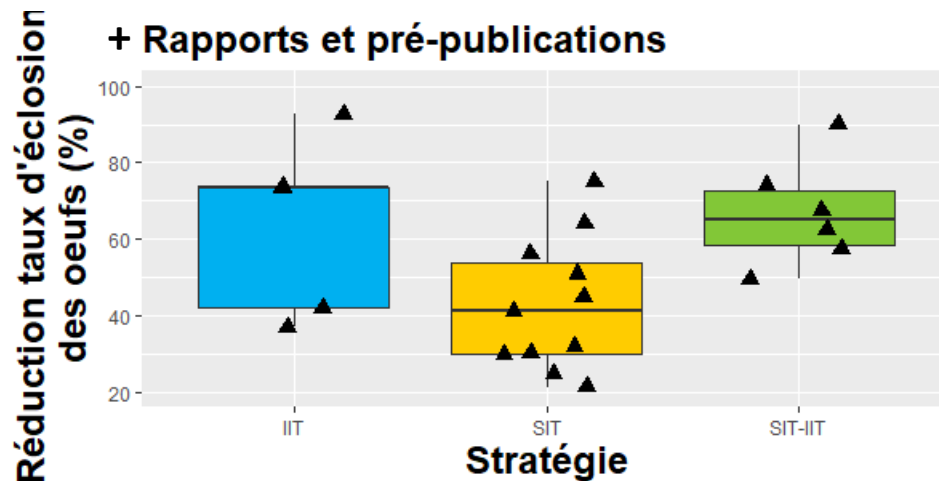
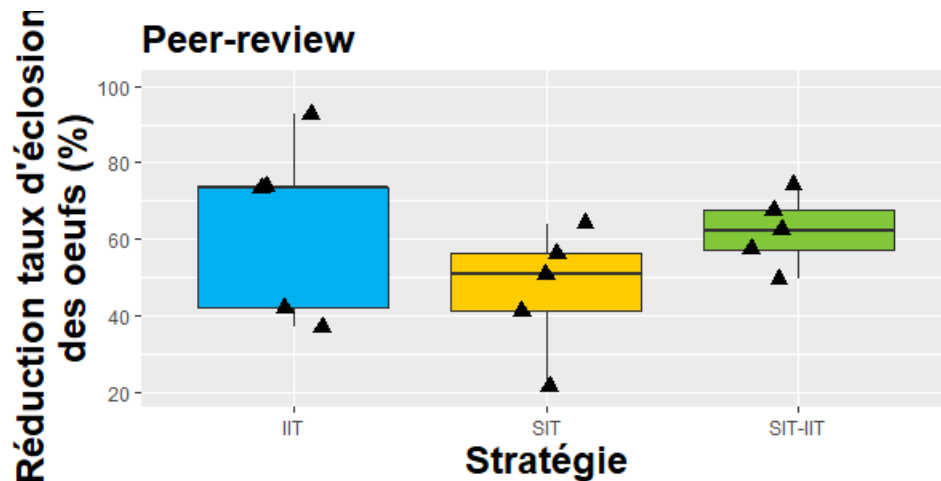
Technique



Suppression
population adultes
n=12

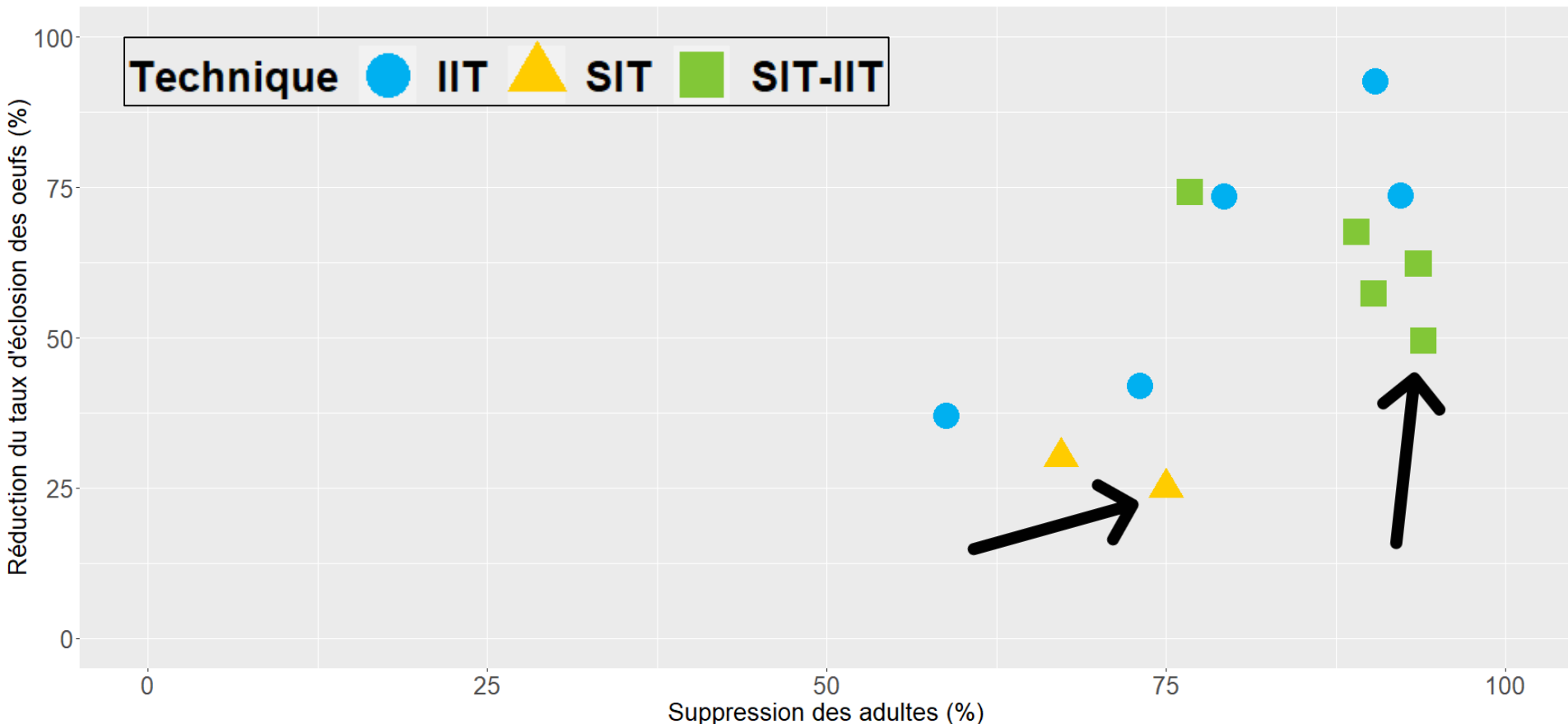


- Moyenne sur l'ensemble de la période d'étude avec un délai d'un mois après le premier lâcher



- Moyenne sur l'ensemble de la période d'étude avec un délai d'un mois après le premier lâcher

Relation réduction entre le taux d'éclosion des œufs et la suppression des adultes

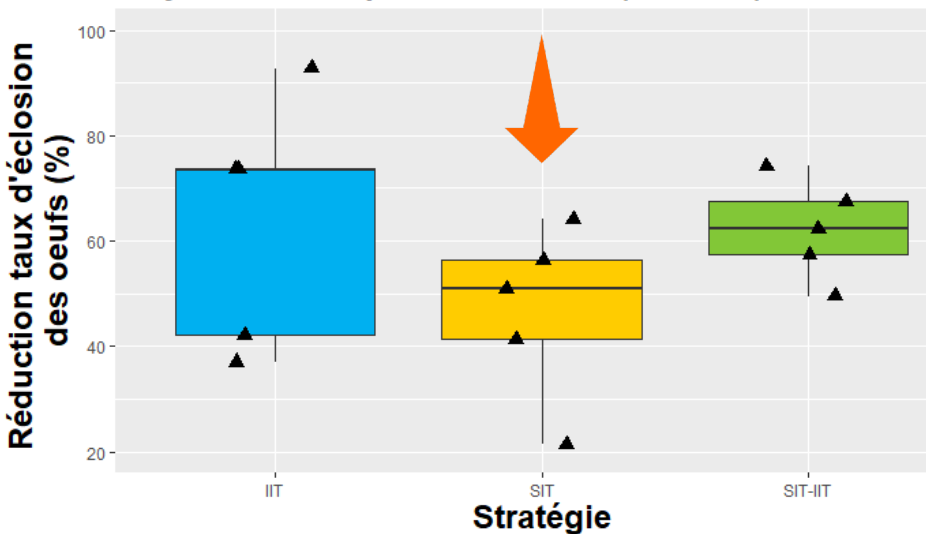


Relation réduction taux d'éclosion des œufs et suppression des adultes? Test de corrélation de Spearman : $p < 0.09$

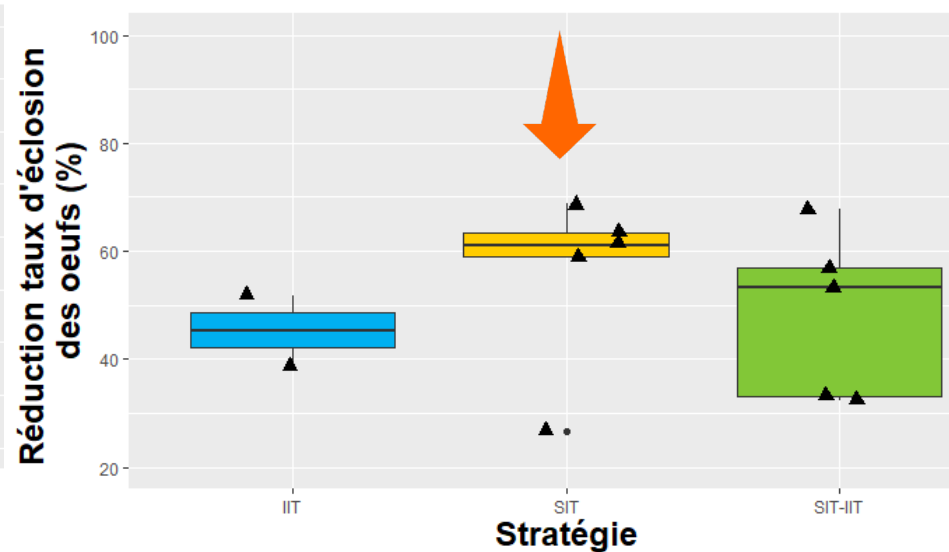
Mise en œuvre (réduction taux d'éclosion des œufs) < Suppression des adultes



Moyenne sur la période d'étude (- Mois 1)



Troisième mois



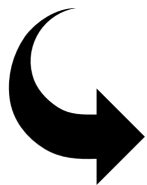
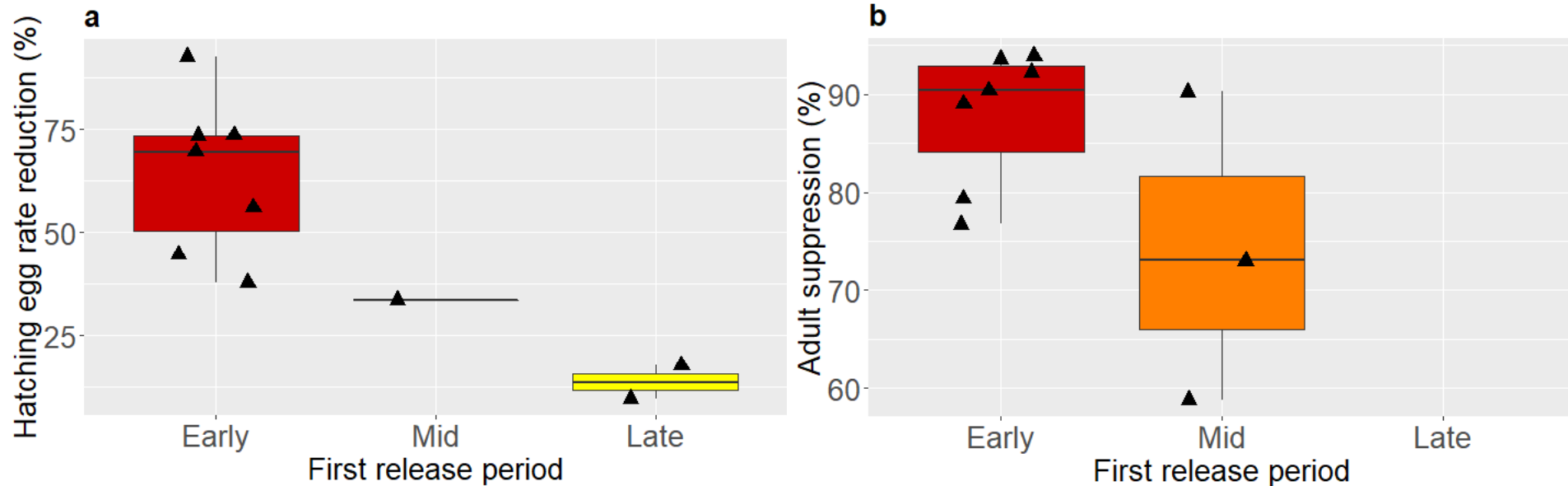
Résultats au troisième mois
Importance d'analyser les résultats en fonction du temps

Légende

▲ Observation

■ IIT ■ SIT ■ SIT-IIT

Reduction des populations d'Aedes et périodicité du premier lâcher



Stratégie mise en œuvre « tard » / saison vectorielle + faible efficacité
Confirmation travaux de modélisation (Huang et al., 2016; Haramboure et al., 2020; Douchet et al. accepted)

Discussion et Conclusion




Discussion


- Evaluation de l'efficacité est un sujet complexe à traiter
 - Pas de méthode standardisée pour évaluer l'efficacité d'une méthode de lutte
 - Difficulté d'harmonisation des indicateurs
 - Encore peu d'essais publiés
 - Première revue systématique réalisée sur SIT et IIT
 - Analyse exploratoire/descriptive



Discussion

- Evaluation de l'efficacité est un sujet complexe à traiter
 - Pas de méthode standardisée pour évaluer l'efficacité d'une méthode de lutte
 - Difficulté d'harmonisation des indicateurs
 - Encore peu d'essais publiés
 - Première revue systématique réalisée sur SIT et IIT
 - Analyse exploratoire/descriptive
- Stérilité induite par les méthodes (réduction du taux d'éclosion des œufs) corrélée à une réduction des populations d'adultes sur le terrain?
 - ➔ Intérêt de faire le monitoring des adultes pour prouver l'efficacité entomologique 

Discussion

- Evaluation de l'efficacité est un sujet complexe à traiter
 - Pas de méthode standardisée pour évaluer l'efficacité d'une méthode de lutte
 - Difficulté d'harmonisation des indicateurs
 - Encore peu d'essais publiés
 - Première revue systématique réalisée sur SIT et IIT
 - Analyse exploratoire/descriptive
- Stérilité induite par les méthodes (réduction du taux d'éclosion des œufs) corrélée à une réduction des populations d'adultes sur le terrain?
 - ➔ Intérêt de faire le monitoring des adultes pour prouver l'efficacité entomologique 
- Résultats à explorer sur différentes période de temps (moyenne vs. mois 3)
- Premiers lâchers : réalisés tôt avant le début de la saison, réduction de population + importante (travaux de modélisation, Huang et al., 2016; Haramboure *et al.*, 2020; Douchet *et al.* accepted)

Limites de notre étude

- Majorité des données extraites des figures:
 - Marge d'erreur dans l'extraction des données
 - Contact avec les auteurs
- Etudes non publiées à ce jour : manque d'information:
 - Etudes réalisées en Polynésie française (IIT)
 - Etude réalisée en Australie (IIT)
 - Etudes réalisées en Europe (SIT)
 - Contact avec les auteurs

Limites de notre étude

- Majorité des données extraites des figures:
 - Marge d'erreur dans l'extraction des données
 - Contact avec les auteurs
- Etudes non publiées à ce jour : manque d'information:
 - Etudes réalisées en Polynésie française (IIT)
 - Etude réalisée en Australie (IIT)
 - Etudes réalisées en Europe (SIT)
 - Contact avec les auteurs
- Sous-estimation des indicateurs?
 - Absence de certains essais dont l'efficacité a été rapportée comme élevée mais dont les résultats ne sont pas rapportés :
 - Etudes réalisées en Polynésie française (IIT)
 - Etude réalisée en Australie (IIT)
 - Etudes réalisées en Europe (SIT)
- Sur-estimation des indicateurs?
 - Essais non fructueux, non rapportés
 - Résultats rapportés vs. résultats standardisés
 - Essais menés avant les années 2000

Perspectives

- Publier une base de données qui pourra être complétée/corrigée au fur et à mesure que de nouveaux résultats d'essais sont publiés
- Trouver des indicateurs communs et en nombre limité pour pouvoir comparer les techniques



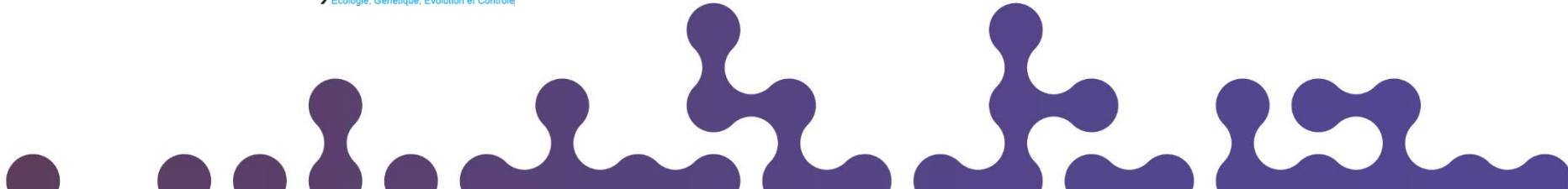
- Publier une base de données qui pourra être complétée/corrigée au fur et à mesure que de nouveaux résultats d'essais sont publiés
- Trouver des indicateurs communs et en nombre limité pour pouvoir comparer les techniques
- Prise en compte de:
 - Relation compétitivité avec la réduction des populations d'adultes à retravailler
 - Prise en compte des baselines
- Autres indicateurs à prendre en compte/développer:
 - Durabilité des méthodes
 - Milieu tempéré vs. Milieu tropical (Haramboure, thèse de doctorate)
 - Intégration d'autres méthodes de lutte
 - Impact sur la circulation des arbovirus : *«l'efficacité de la LAV s'évalue in fine en termes de réduction de l'incidence de l'infection parasitaire ou virale transmise » ANSES, 2018*
→ OMS : l'efficacité de l'intervention s'évalue au regard de l'impact sur la circulation des agents pathogènes
 - Coût économique

- Publier une base de données qui pourra être complétée/corrigée au fur et à mesure que de nouveaux résultats d'essais sont publiés
- Trouver des indicateurs communs et en nombre limité pour pouvoir comparer les techniques
- Prise en compte de:
 - Relation compétitivité avec la réduction des populations d'adultes à retravailler
 - Prise en compte des baselines
- Autres indicateurs à prendre en compte/développer:
 - Durabilité des méthodes
 - Milieu tempéré vs. Milieu tropical (Haramboure, thèse de doctorate)
 - Intégration d'autres méthodes de lutte
 - Impact sur la circulation des arbovirus : *« l'efficacité de la LAV s'évalue in fine en termes de réduction de l'incidence de l'infection parasitaire ou virale transmise »* ANSES, 2018
→ OMS : l'efficacité de l'intervention s'évalue au regard de l'impact sur la circulation des agents pathogènes
 - Coût économique
- Etendre/développer cette approche pour d'autres méthodes de luttes innovantes (e.g. piégeage massif)

Merci pour votre attention

- Remerciements

- ANSES et en particulier Johanna FITE et Elsa Quillery
- Les membres du GT vecteurs
- Jeremy Bouyer, CIRAD
- Frédéric Simard, IRD



Fiabilité élevée

Fiabilité limitée

Réduction / Suppression

Articles publiés dans des revues scientifiques (peer-review)

Méthode de calcul de la réduction standardisée

$$\text{Réduction} = 1 - \frac{\% \text{ moyen de taux d'éclosion des oeufs } T +}{\% \text{ moyen de taux d'éclosion des oeufs } C +}$$

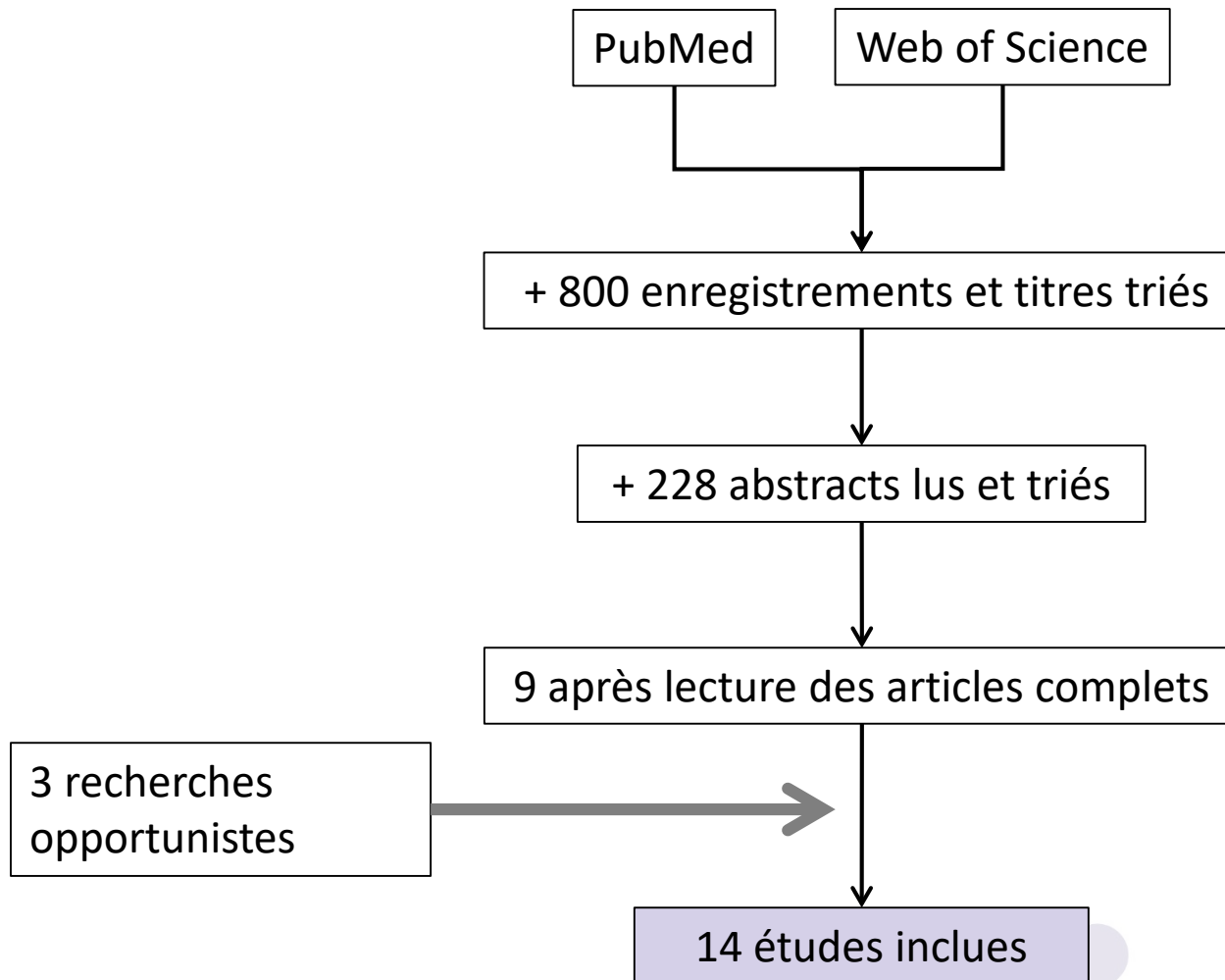
$$\text{Suppression} = 1 - \frac{\text{Nb moyen de femelles par piège } T +}{\text{Nb moyen de femelles par piège } C +}$$

Données issues de rapport ou d'article en pré-publication (pas de peer-review)

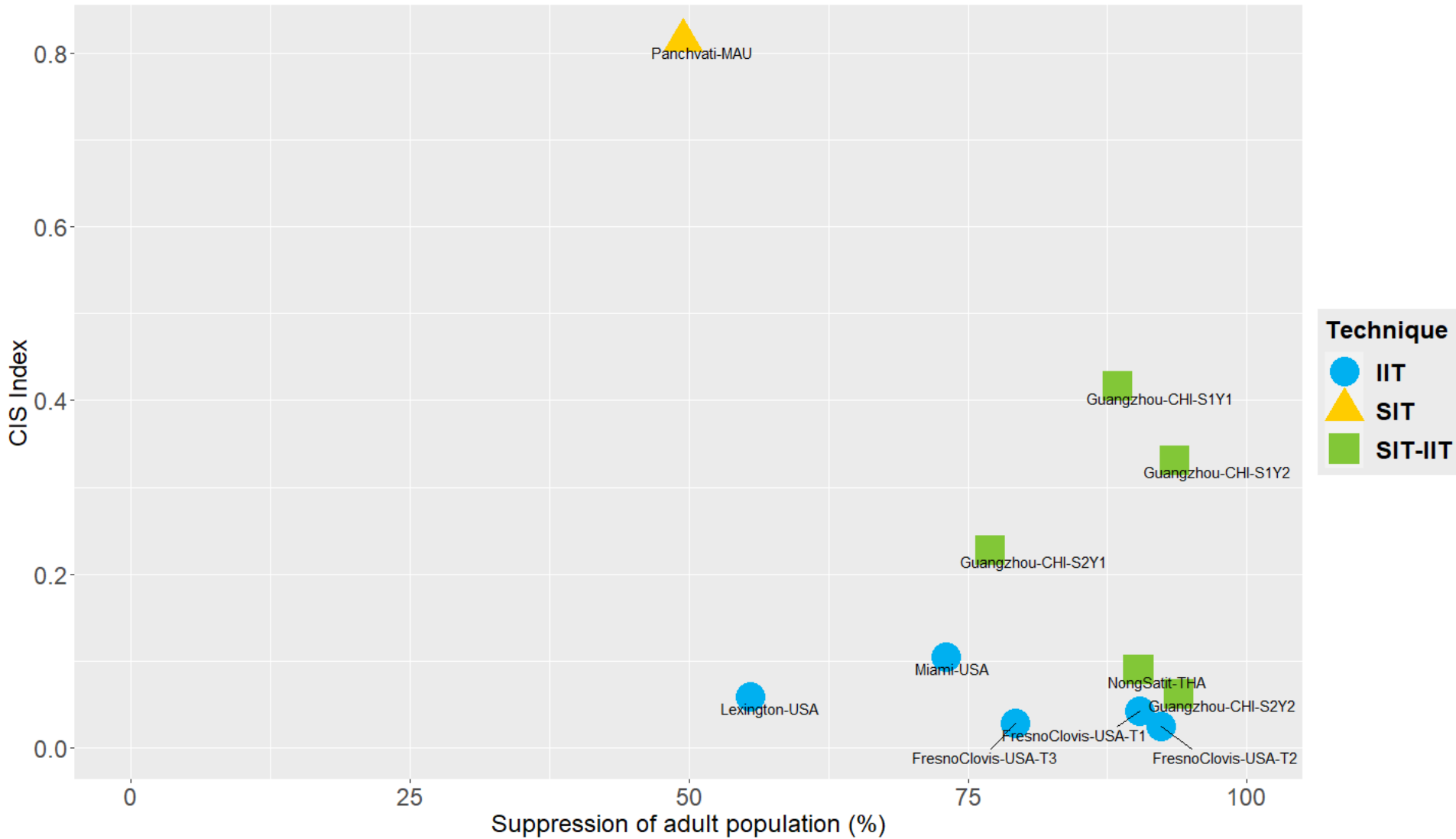
Méthode de calcul de la réduction standardisée pour les pré-publications

Méthodes de calcul pour les données issues des rapports non connues

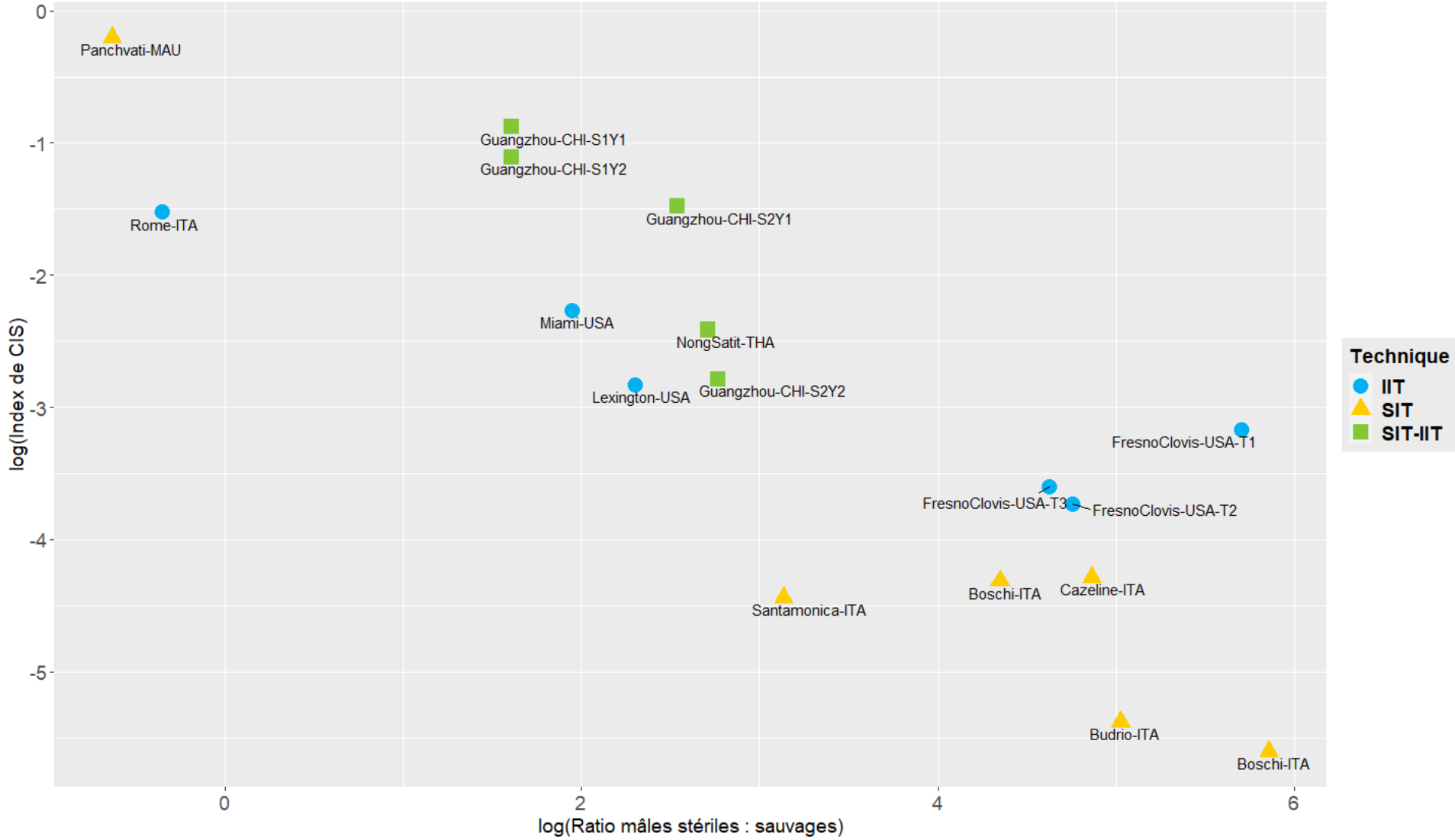
Diagramme PRISMA simplifié

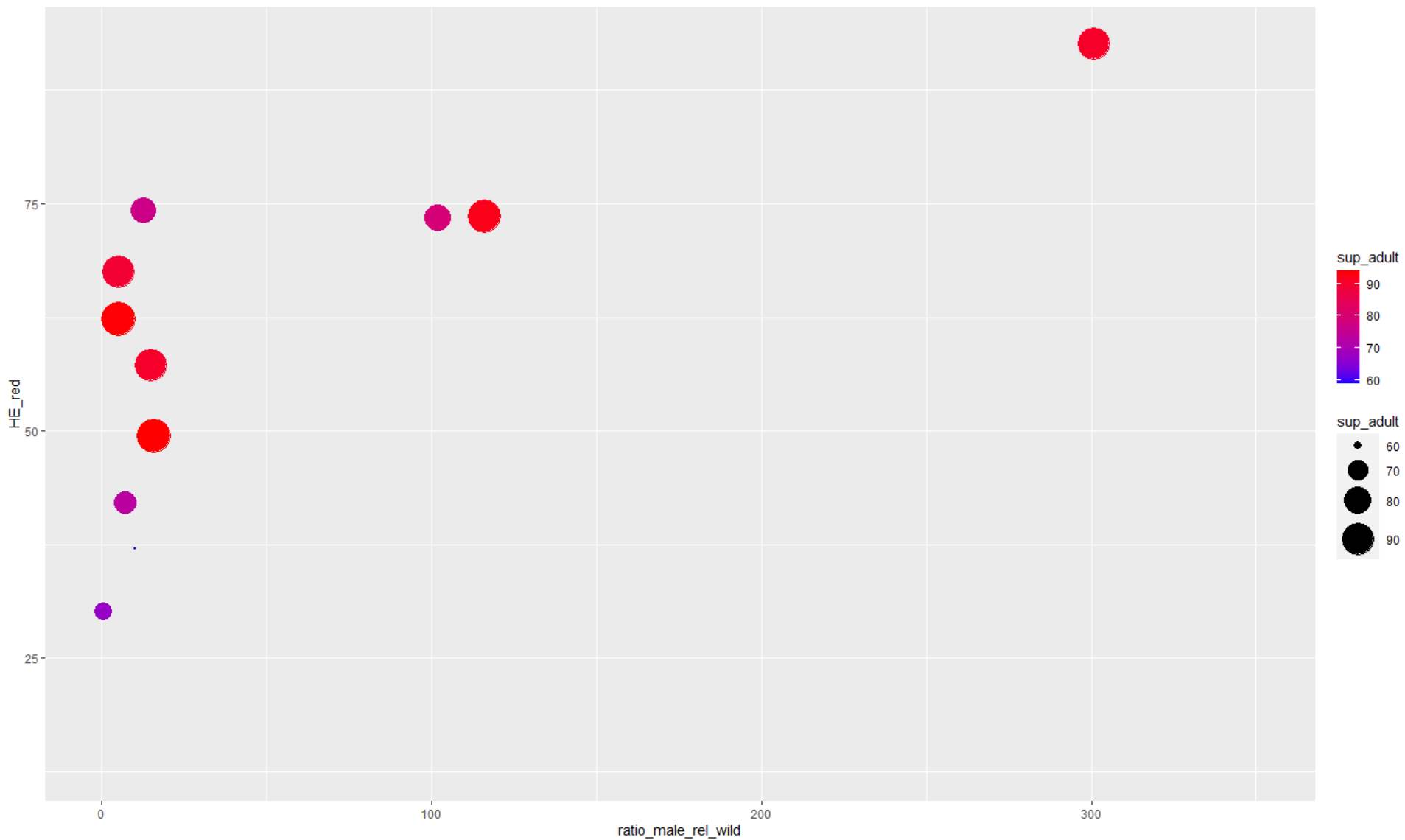


Suppression according CIS Index



Impact du ratio mâles stérile:sauvages sur la capacité à induire la stérilité





mâles stériles:sauvages, Réduction taux d'éclosion des oeufs et suppression des a

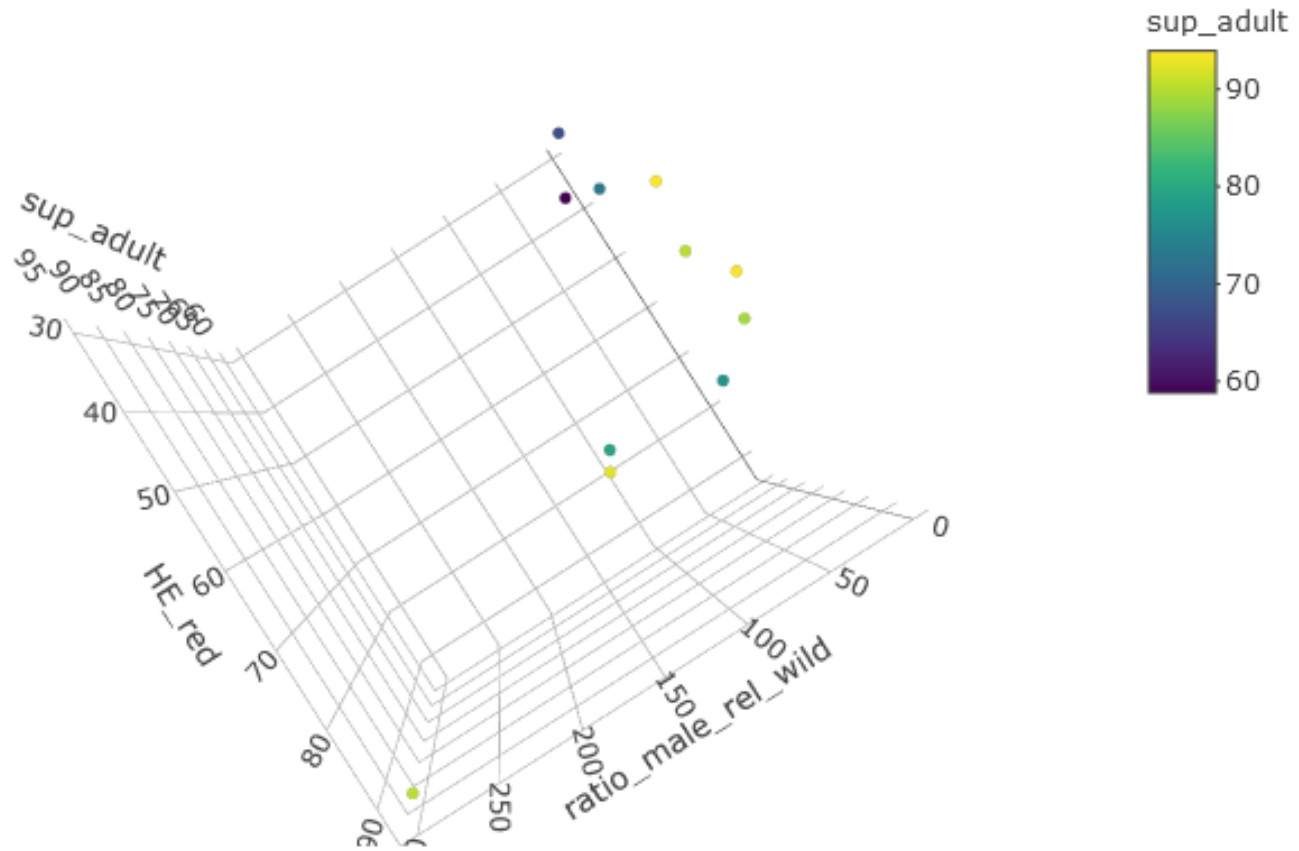
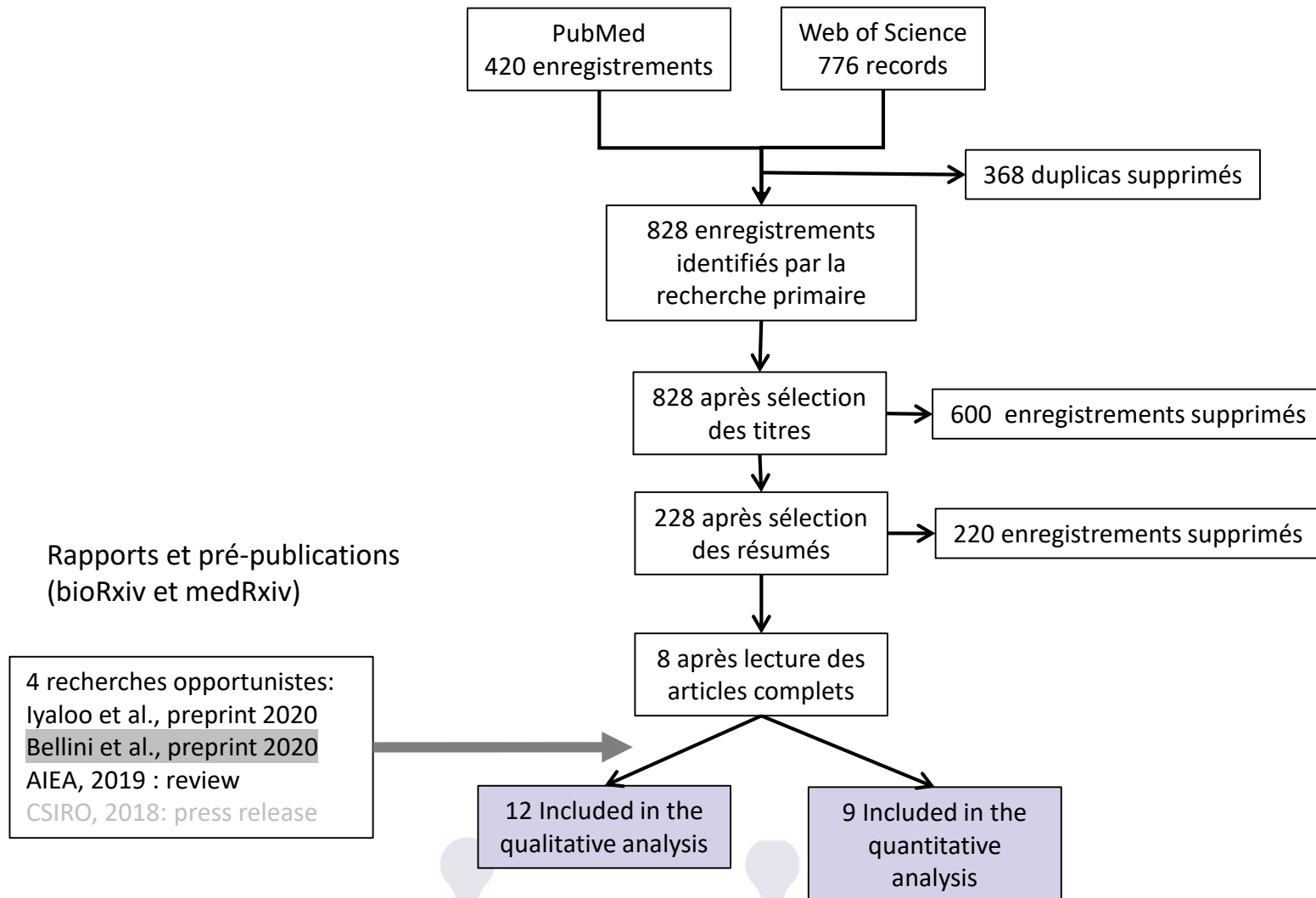


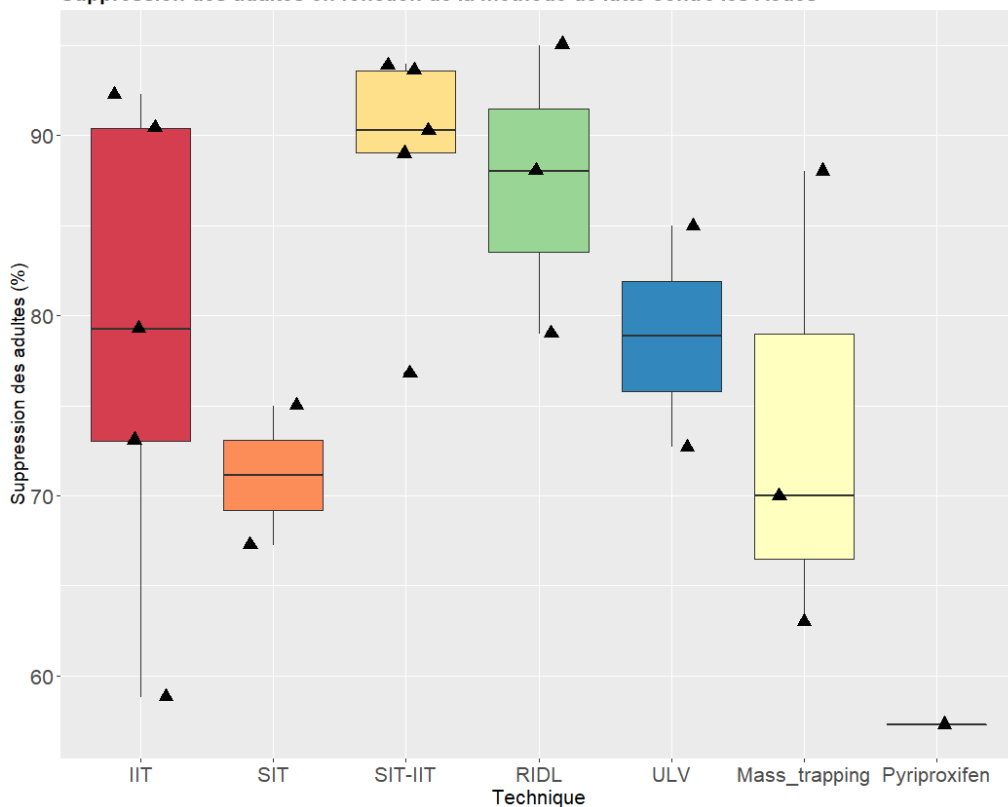
Diagramme PRISMA simplifié





Indicateur d'efficacité commun à toutes les méthodes de lutte : réduction/suppression des populations d'*Aedes* sauvages

Suppression des adultes en fonction de la méthode de lutte contre les Aedes



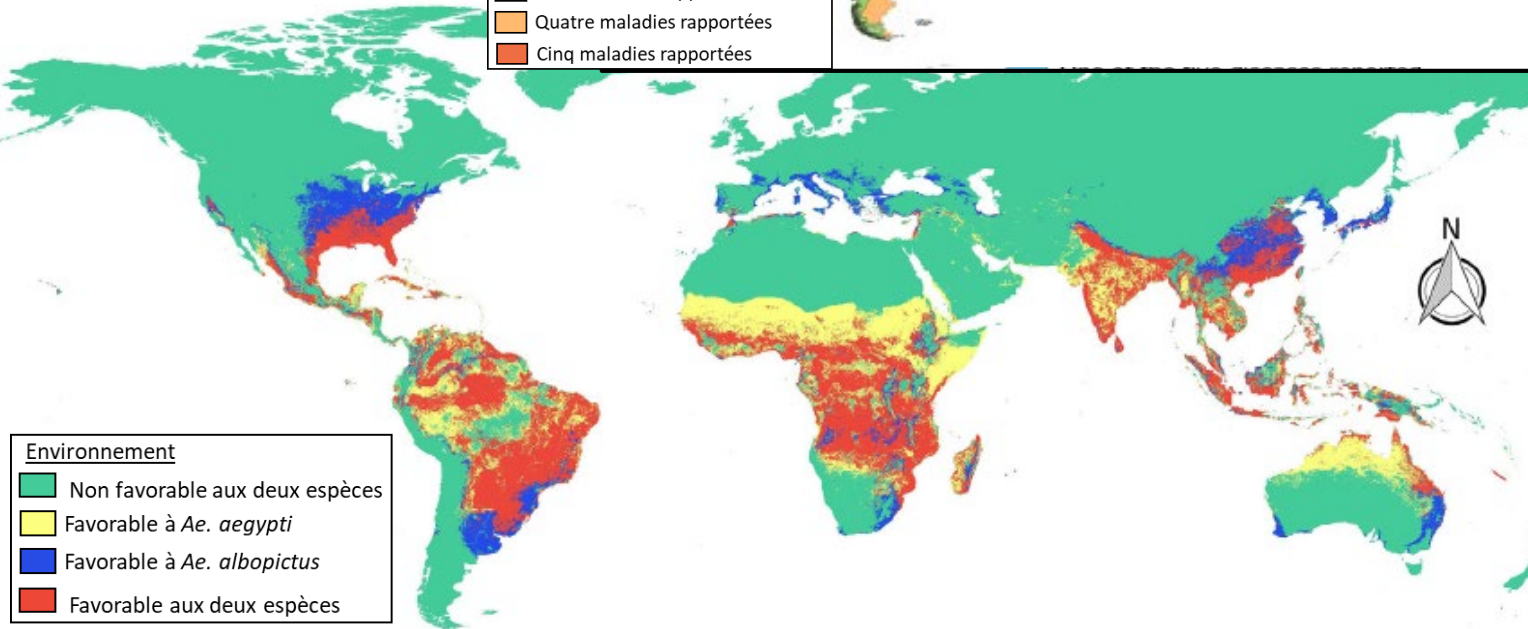
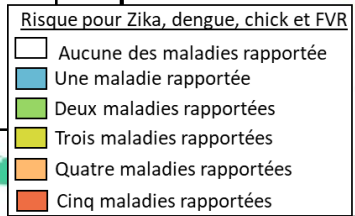
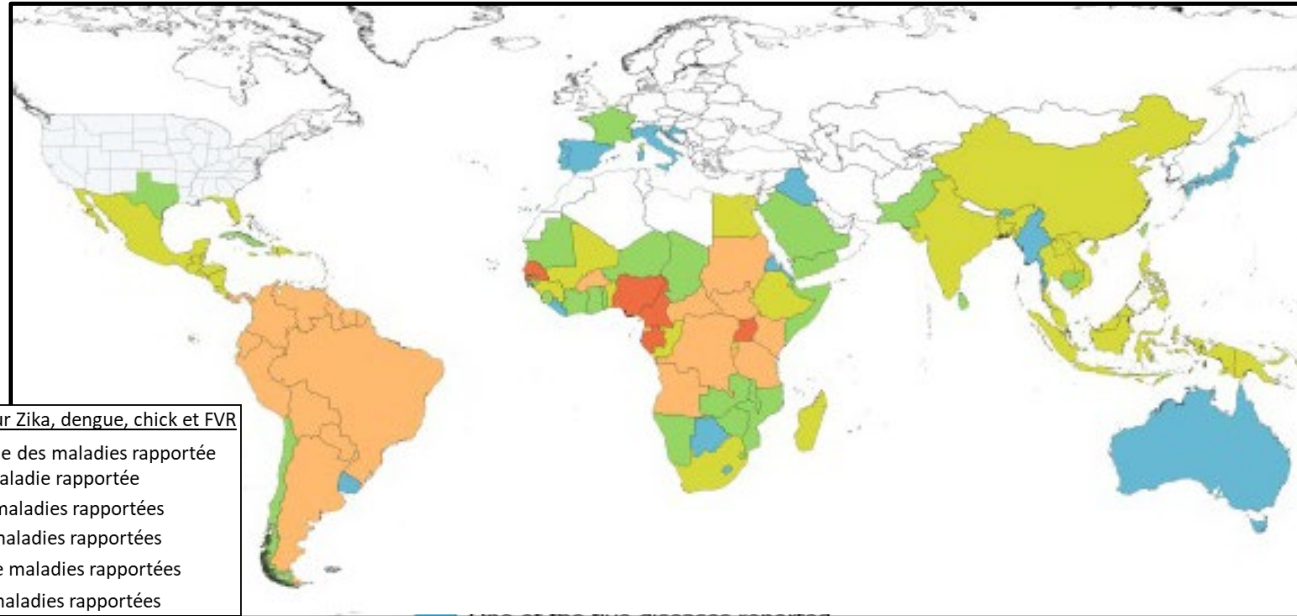
Résultats préliminaires
Travaux en cours



Liste non-exhaustive des
études :
→ Revue des revues
systématiques



Les arbovirus



Qu'est-ce qui peut influencer l'efficacité des stratégies?

Compétitivité des mâles stériles



Compétitivité = 1

Compétitivité = 0.5

Bouyer and Vreysen, 2020. *Trends in Parasitology*.

Index de Fried, dépend de

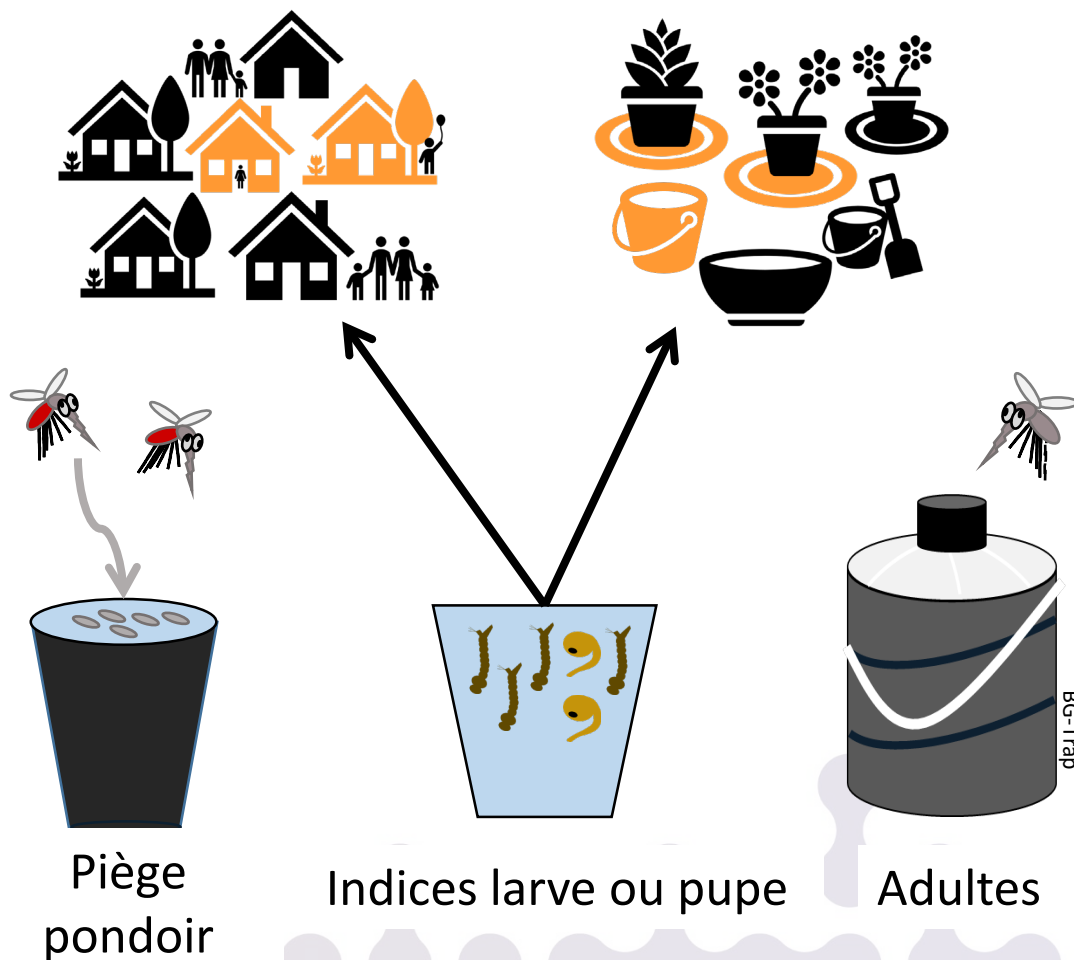
- Fertilité naturelle des femelles
- Ratio mâles stériles:sauvages
- Fertilité observée des femelles à un ratio stériles:sauvages donné
- Fertilité résiduelle des mâles stériles

Mâles stériles moins compétitifs ?

→ élevage, stérilisation, transport, lâcher, environnement...

Comment évalue-t-on l'efficacité des ces techniques?

Indicateurs entomologiques ~15



Indicateurs épidémiologiques



