



HAL
open science

Toxicity of deltamethrin and pyrethroid insecticides to bees

Luc Belzunces

► **To cite this version:**

Luc Belzunces. Toxicity of deltamethrin and pyrethroid insecticides to bees. Toxicité des traitements antimoustiques pour les abeilles, Groupement de défense sanitaire des Bouches du Rhône (GDSA 13), Jun 2021, Martigues et Piolenc (visioconférence), France. hal-04693129

HAL Id: hal-04693129

<https://hal.inrae.fr/hal-04693129v1>

Submitted on 10 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Toxicité de la deltaméthrine, et des insecticides pyréthrinoides, pour l'abeille

Luc Belzunces

Laboratoire de Toxicologie Environnementale
UR 406 Abeilles et Environnement

Centre de Recherche INRAE PACA Avignon

Conférence pour le Groupement de Défense Sanitaire Apicole des Bouches du Rhône (GDSA13)
Martigues/Piolenc 26/06/2021

1

La problématique des infestations de moustiques

Les moustiques

Insectes volants faibles

- 75 espèces : *Aedes, aegypti, Aedes albopictus, Culex pipiens...*
- Moustiques : arrêt du vol avec des vents de 6,5 – 11 km/h (1,8 – 3,1 m/s)
- Abeille : arrêt du vol avec des vents > 30 km/h (8,3 m/s)

Insectes piqueurs-suceurs hémato-phages

- Sensations désagréables (bruit, piqûres, démangeaisons, allergies...)
- Vecteurs de maladies
- Responsables de 43% des mortalités dues aux maladies vectorielles (429 000 décès/an), juste par la transmission de la malaria

Vecteurs d'agents pathogènes

- Chikungunya virus : Le Chikungunya
- Virus Zika : Syndrome de Guillain-Barré
- Virus de la Dengue : La Dengue
- West Nile Virus (WNV) : La fièvre du Nil occidental
- Virus amaril : La fièvre jaune
- Plasmodium vivax* (+ fréquent) } : Le paludisme (malaria)
- P. falciparum* (+ dangereux)
- P. malariae* (+ rare)

2

La problématique des infestations de moustiques

Insect	Type of flyer	Mass (g)	Flight speed (km/h)	Flight speed (m/s)	Kinetic energy (mJ)
Honey bee (<i>Apis mellifera</i>) ^{68,63}	SF	0.09 - 0.11	12.6 - 31.7	3.5 - 8.8	0.55 - 4.3
Hornet (<i>Vespa crabro</i>) ^{64,66}	SF	0.495 - 0.900	4.82 - 21.2	1.34 - 5.9	0.44 - 15.60
Hornet (<i>Vespa velutina: worker</i>) ⁶⁷	SF	0.150 - 0.450	4.82 - 21.2 ^a	1.34 - 5.9 ^a	0.13 - 7.80
Hornet (<i>Vespa velutina: founder</i>) ⁶⁷	SF	0.600 - 0.800	4.82 - 21.2 ^a	1.34 - 5.9 ^a	0.53 - 13.87
House fly (<i>Musca domestica</i>) ^{66,76}	SF	18 10 ⁻³ - 27.5 10 ⁻³	6.5 - 11	1.8 - 3.05	0.029 - 0.128
Tsetse fly (<i>Glossina spp.</i>) ^{73,72}	SF	22.7 10 ⁻³ - 29.3 10 ⁻³	11 - 24	3.1 - 6.7	0.11 - 0.65
Mosquito (<i>Aedes albopictus</i>) ^{64,75}	WF	0.38 10 ⁻³ - 1.03 10 ⁻³	1.6 - 2.4	0.4 - 0.67	0.04 10 ⁻³ - 0.29 10 ⁻³
Mosquito (<i>Aedes aegypti</i>): female ^{66,76}	WF	2.2 10 ⁻³ - 2.5 10 ⁻³	3.2 - 3.6	0.9 - 1.0	0.87 10 ⁻³ - 1.25 10 ⁻³
Mosquito (<i>Aedes aegypti</i>): male ⁶⁶	WF	0.6 10 ⁻³ - 1.1 10 ⁻³	2.9 - 4.7	0.8 - 1.3	0.19 10 ⁻³ - 0.94 10 ⁻³
Mosquito (<i>Culex quinquefasciatus</i>): female ⁶⁶	WF	0.8 10 ⁻³ - 2.0 10 ⁻³	2.9 - 4.5	0.8 - 1.25	0.26 10 ⁻³ - 1.56 10 ⁻³
Mosquito (<i>Culex quinquefasciatus</i>): male ⁶⁶	WF	0.8 10 ⁻³ - 1.3 10 ⁻³	2.9 - 4.5	0.8 - 1.25	0.26 10 ⁻³ - 1.02 10 ⁻³
Sand fly (<i>Phlebotomus papatasi</i>) ^{71,76}	WF	0.24 10 ⁻³ - 0.6 10 ⁻³	2.34 - 2.52	0.65 - 0.70	0.05 10 ⁻³ - 0.15 10 ⁻³

(*) Speed of *Vespa crabro*: SF, strong flyer; WF, weak flyer. The weight of the honey bee was determined experimentally (n = 200).

Kairo, G, Pioz M, Tchamitchian S, Pélessier M, Brunet JL & Belzunces LP (2018) Efficiency of an air curtain as an anti-insect barrier: the honey bee as a model insect. *Pest Manag Sci* 74(12):2707-2715.

3

Les moustiques Les moustiques en France

De nombreuses espèces

- 40 espèces en Camargues
- 10 espèces piquent (femelles), jusqu'à 100.000 œufs/m²

Aedes caspius, *A. detritus*, *Aegypti*

- Ponte dans les sols humides
- Pas de démonstration d'action vectrice de maladies pour l'homme

Culex pipiens

- Ponte dans l'eau
- Espèce la plus commune en ville
- Peu voler à 1-2 km

Culiseta annulata, *Aedes geniculatus*, *Anopheles claviger*, *Anopheles plumbeus*, *Aedes rusticus*, *Aedes cantans*, *Aedes annulipes*, *Anopheles*, *Aedes cinereus*, *Aedes sticticus*, *Aedes vexans*, *Aedes cataphylla*, *Aedes pullatus*, *Anopheles maculipennis*, *Culex pipiens*,

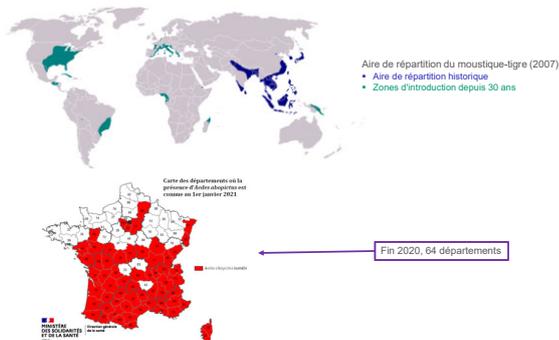
Aedes albopictus

- Moustique tigre
- 80% dans l'habitat individuel et collectif
- Vecteur de maladies
- 2004, détection dans un jardin à Menton
- 2020 : 64 départements infestés



4

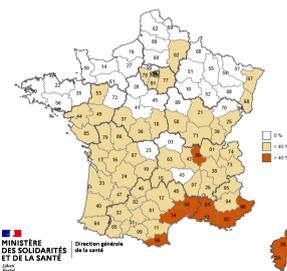
Aedes albopictus



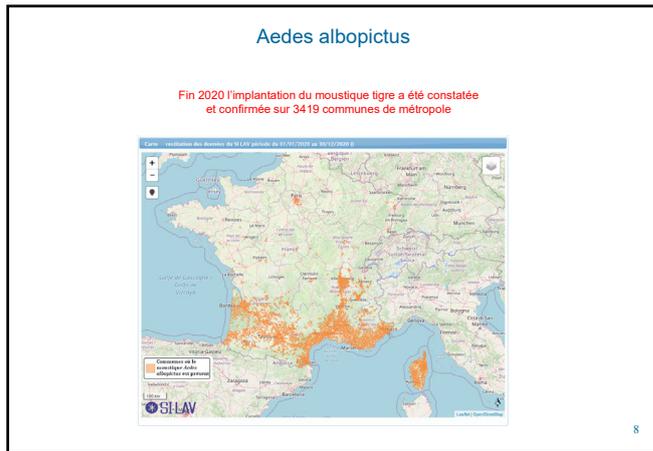
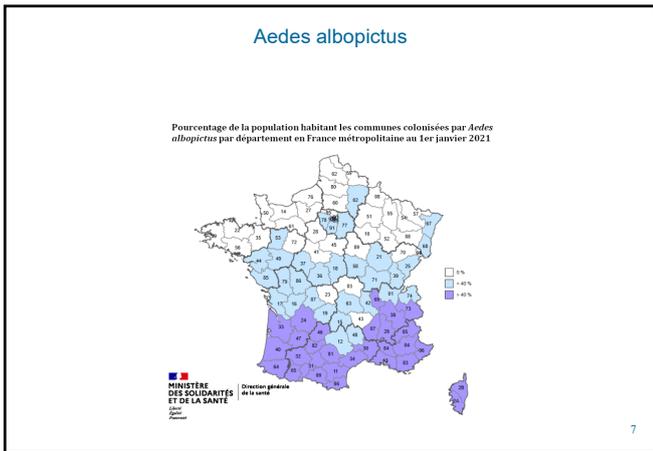
5

Aedes albopictus

Pourcentage de communes colonisées par *Aedes albopictus* des départements en France métropolitaine au 1er janvier 2021



6



Les actions de lutte contre les moustiques et les vecteurs de maladies

Actions au niveau international

- Le plus souvent, pilotées par l'OMS en collaboration avec les états
- Mesures passives
 - Elimination des foyers de développement
 - Utilisation de répulsifs
 - Mise en place de barrières physiques : moustiquaires, habits imprégnés...
- Mesures préventives/curatives
 - Campagnes de traitements anti-vecteurs
 - Actions locales et à grande échelle

Actions au niveau français

- Actions pilotées par l'EID (en zones humides)
- Traitements insecticides à grande échelle
 - Utilisation d'insecticides biologiques : BTI (33000 hectares traités dans le pourtour méditerranéen)
 - Utilisation d'insecticides chimiques : Pyréthrinoides (deltaméthrine)

9

Le bio-insecticide BTI

Bacillus thuringiensis

Différentes souches

- BTk : *B. thuringiensis kurstaki*
- BTI : *B. thuringiensis israelensis* (la plus utilisée)
- BTc : *B. thuringiensis cereus*...

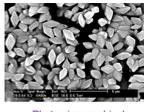
Synthétisent des δ endotoxines au moment de la sporulation

- Protéines Cry toxiques : 20-30% du poids sec
- Regroupent 468 toxines
- BTk : Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, Cry2Aa, Cry2Ab, Cry2Ac
- BTI : Cry4Aa, Cry4Ba, Cry11Aa, Cyt1Aa, Cry10Aa, Cyt2Ba
- Action sur les lépidoptères
- Action sur d'autres espèces

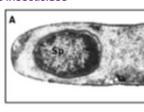
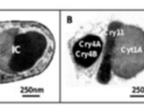
Utilisation en tant qu'insecticide (50% des bio-insecticides, 3-4% du marché des insecticides)



Spore de *Bacillus thuringiensis*



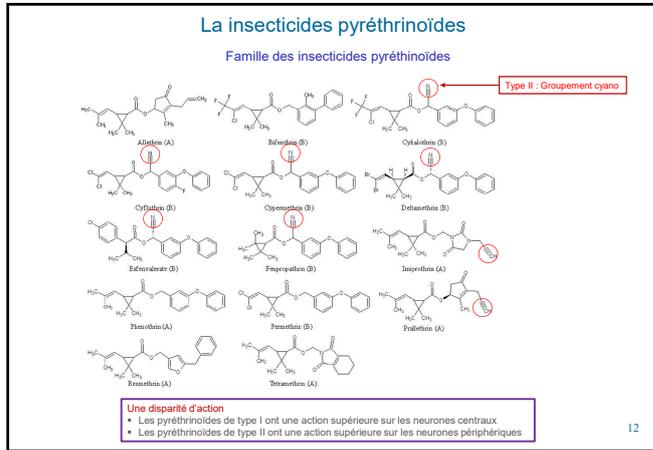
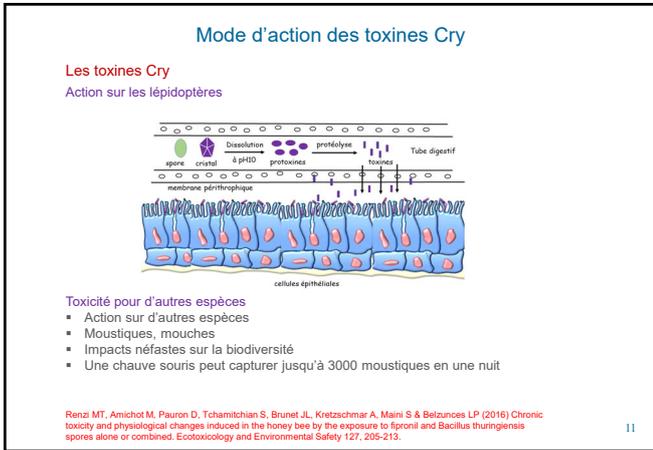
Photomicrographie de cristaux de protéines Cry

Bacillus thuringiensis var. israelensis en phase de sporulation (gauche) et cristal de BTI (droite). Sp. spore: IC, inclusion cristalline. Adapté de Federici et al., 2003.

Source : Guillaume Tebeau. Devenir du bioinsecticide BTI dans l'environnement et impact sur le développement de résistances chez le moustique. Biodiversité. Université de Grenoble, 2012. Français. tel-00815811 v1

10



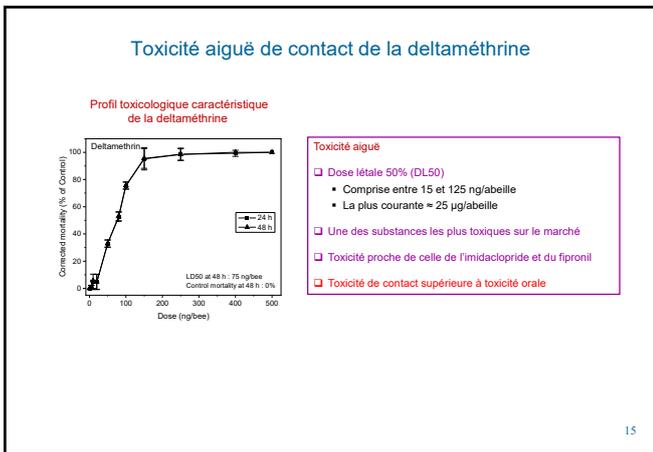
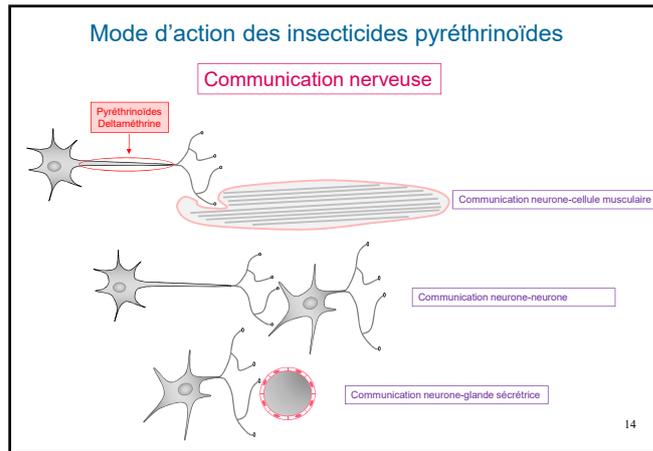
La deltaméthrine

Deltaméthrin

- Huit formes moléculaires (isomères) possibles, une active
- Synthèse dirigée de l'isomère actif (isomère pur)
- Faible dosage à l'hectare (7,5 g/ha)

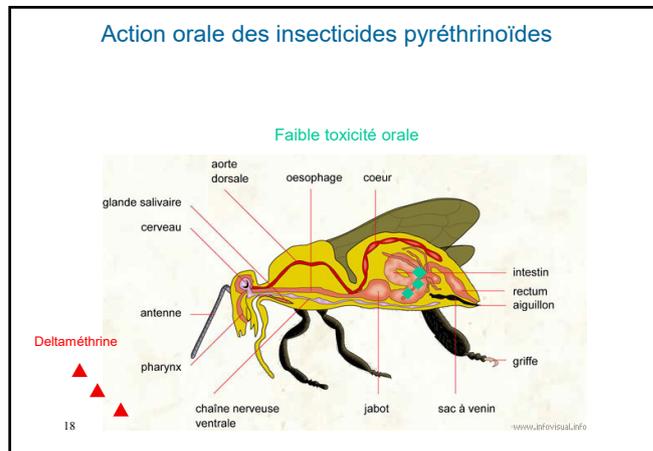
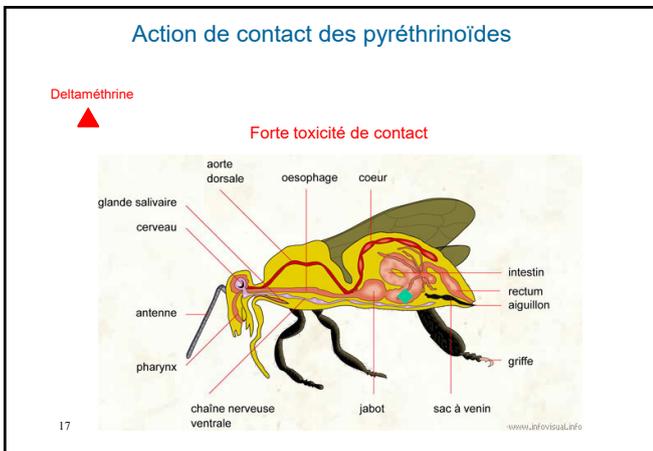
●	1 isomère actif	= 7,5 g/ha (deltaméthrine)
●●	1 isomère actif + 1 isomère inactif	= 15 g/ha (Alphaméthrine et Zeta-Cyperméthrine)
●●●	1 isomère actif + 3 isomères inactifs	= 30-35 g/ha (Alphaméthrine et zeta-Cyperméthrine)
●●●●●●●	1 isomère actif + 7 isomères inactifs	= 70-75 g/ha

13



Disparité entre la toxicité orale et de contact des pyréthrinoïdes

16



Transformation physico-chimique

Action de l'eau

- Hydrolyse de la deltaméthrine

Deux dérivés non toxiques

19

Transformation physico-chimique

Action de la lumière

- Photolyse de la deltaméthrine

Produits de photolyse
Dérivés inactifs

20

Transformation des pesticides dans les organismes

Métabolisme des pyréthrinoides

- Deltaméthrine, un cas de detoxication (baisse de la toxicité insecticide)

21

Biotransformation des pesticides dans les organismes

Métabolisme de la deltaméthrine

Une trentaine de métabolites inactifs

22

Toxicité de la deltaméthrine pour la faune aquatique

Toxicité pour les insectes aquatiques 

Toxicité pour les poissons 

Toxicité pour les batraciens 

Toxicité pour les amphipodes 

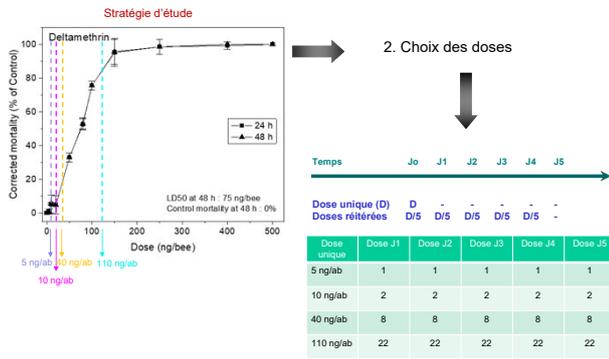
23

Toxicité chronique orale de la deltaméthrine pour l'abeille

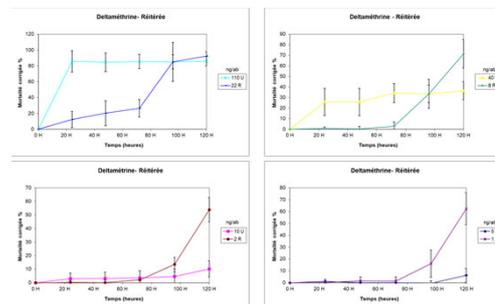
Effet-dose d'une exposition orale à la deltaméthrine

24

Effet d'une exposition réitérée à la deltaméthrine chez l'abeille



Effet d'une exposition réitérée à la deltaméthrine chez l'abeille



Influence de la nature de l'exposition sur la toxicité des pesticides

	DL50 orale (µg/abeille) (traitement unique 5 µl/abeille)	DL50 orale (µg/abeille) (traitements multiples 100 µl/abeille)	Facteur U/M
Alphaméthrine	0.069	0.00450	x 15
Deltaméthrine	0.244	0.00031	x 787
Cyhalothrine	0.535	0.00048	x1115
Cyperméthrine	0.904	0.00064	x1413
Fenvalérate	6.397	0.00500	x1279
S-Fenvalérate	0.352	0.00155	x 227
Bifenthrine	0.128	0.00067	x 191
Etofenprox	0.724	0.00248	x 292
Fluvalinate	24.602	0.09400	x 262
Actellic	0.135	0.00024	x 563
Volaton	0.071	0.00032	x 222

27

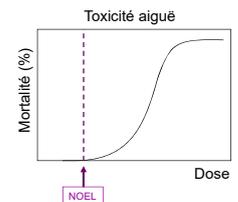
Incidence de la variation de toxicité sur évaluation du risque

Toxicité aiguë

- Relation dose-réponse ou dose-effet généralement bien établie

Doses répétées

- Doses réitérées
Toxicité imprévisible
- Exposition chronique
Toxicité imprévisible



$$\rightarrow HQ = x = \frac{\text{Exposition}}{\text{Toxicité}} = \frac{PEC}{PNEC} : \text{Difficilement extrapolable}$$

→ Effets révélateurs d'une action identique chez l'homme ?

Effets multiples des pesticides

Les pesticides, comme les médicaments, ont plusieurs effets

Médicaments

- Effet principal : Effet thérapeutique +
- Autres effets : Effets secondaires ☠

Pesticides

- Effet principal : Effet attendu (insecticide, fongicide...) +
- Autres effets : Effets non intentionnels, généralement sublétaux ☠

29

Les effets toxiques

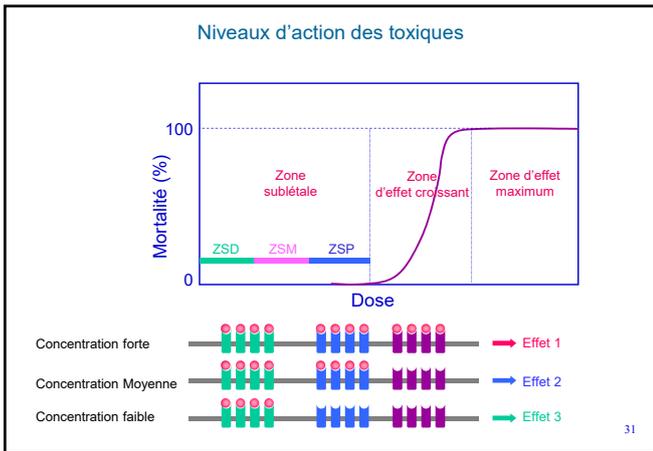
↳ Les effets létaux : Ils entraînent la mortalité

↳ Les effets sublétaux

Un effet sublétaux est un effet induit par un toxique à une dose ou un niveau d'exposition n'entraînant pas la mortalité de l'individu

- Notion de temps d'action
- Le niveau sublétaux ne peut pas être généralisé
- Les effets sublétaux ne sont pas tous dommageables

30

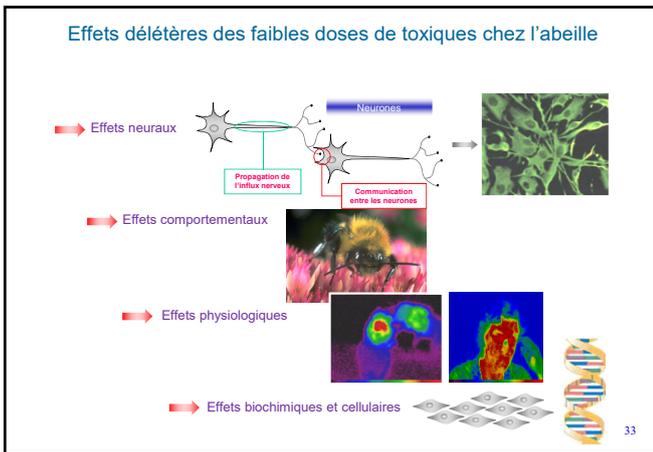


Les différents effets sublétaux

Deux catégories d'effets sublétaux

- Les effets sublétaux non délétères
Les effets sublétaux non délétères n'entraînent pas de dommages irréversibles chez les individus
- Les effets sublétaux délétères
Les effets sublétaux délétères :
 - N'entraînent pas la mortalité de l'individu
 - Compromettent la vitalité des individus et/ou la survie des individus, des populations et des peuplements.
 - Sont de natures variées

32

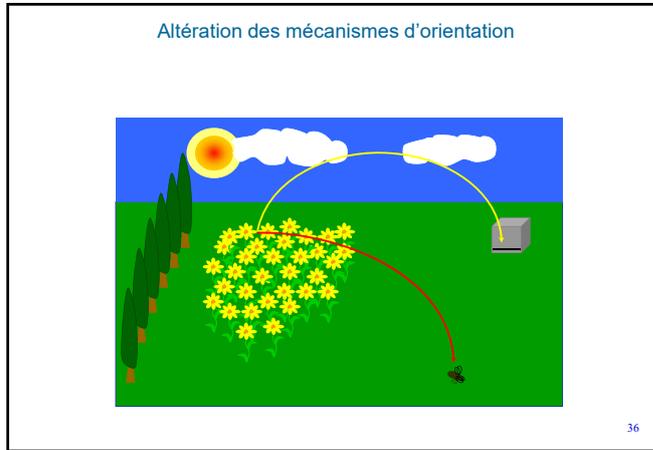


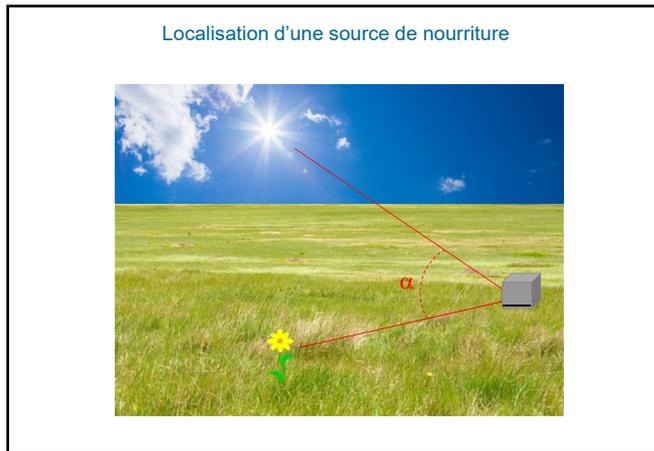
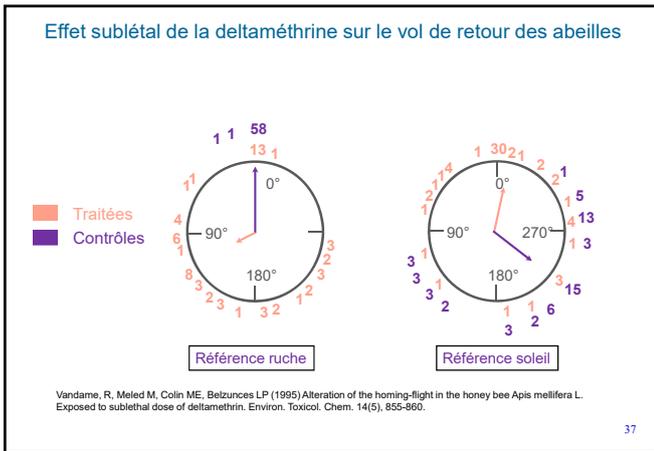
Effets sublétaux des pesticides chez l'abeille domestique *Apis mellifera*

34

Effets neurocomportementaux des pyréthrinoides

35





Synergie létales à doses sublétales

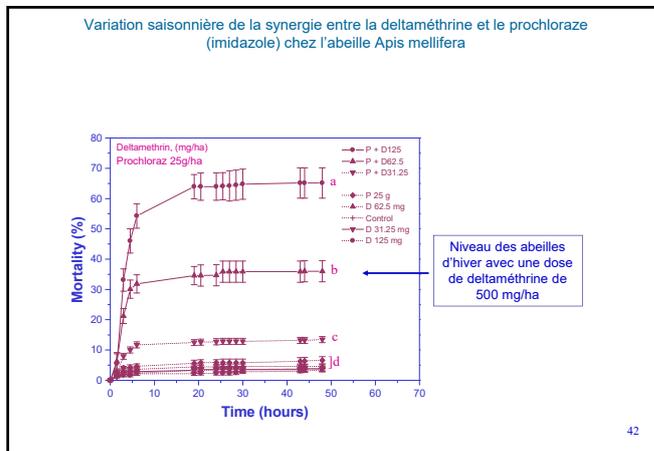
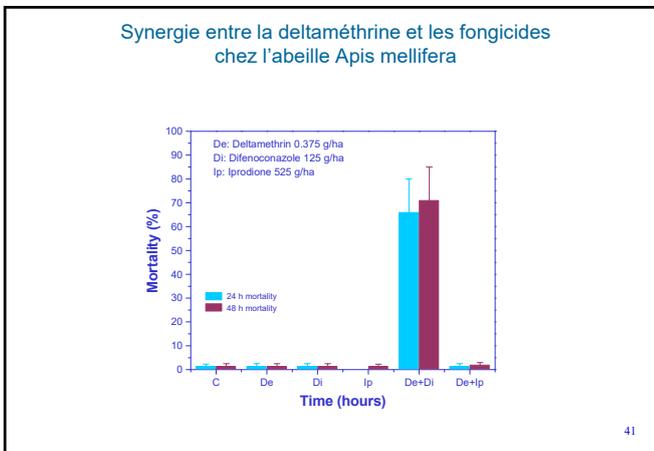
39

Caractéristiques particulières des insecticides pyréthrinoides

Synergies avec les fongicides azoles à doses sublétales

Coefficient de température négatif

40



Synergies entre les fongicides et les insecticides pyréthrinoides

Fongicides azoles

Imidazoles → Synergie

Triazoles → Synergie

Autres fongicides

Dicarboxamides → Pas de synergie

Autres → Non connu

43

Coefficients de température des insecticides

Insecticides

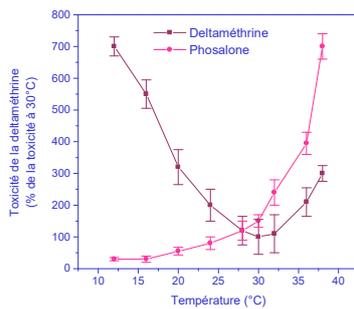
Température → Toxicité

Pyréthrinoides

Température → Toxicité

44

Coefficient de température des pesticides



45

Effets physiologiques

46

Caractéristiques particulières des insecticides pyréthrinoides

Synergies avec les fongicides azoles à doses sublétales

Coefficient de température négatif

47

Effets possibles des pyréthrinoides sur la thermorégulation

Implication de la thermorégulation dans le coefficient de température négatif des pyréthrinoides ?

Effets des azoles sur la thermorégulation de l'abeille ?

Effets conjoints des azoles et des pyréthrinoides sur la thermorégulation de l'abeille ?

48

Thermogenèse de l'abeille

- Localisation : thorax

Tête
Détecteur de chaleur

Thorax
Détecteur de froid

Muscles de vol

- Fabrication de la chaleur
- Contraction tétanique

- Mécanisme : contractions tétaniques des muscles de vol dues à un mouvement discret du scutellum

49

Principe de la thermographie infra-rouge

HR thermocaméra

Corps chaud

$h\nu$
(8-12 μm)

Analyse d'images

50

Calcul de la température réelle d'un corps chaud

Réflectance

Emissivité

Température réelle

51

Centre de contrôle de la température chez l'homme

Hypothalamus

- Détecteur de chaleur
- Détecteur de froid
- Donne la consigne de température
 - 37°C en temps normal
 - 40°C et plus en cas de maladie

52

Analyse thermographique d'une abeille

53

Effet hypothermiant des insecticides pyréthroïdes chez l'abeille

Effects of pyrethroids (10 pmol) on honey bee thermoregulation

Effects of pyrethroids (DL50/8) on honey bee thermoregulation

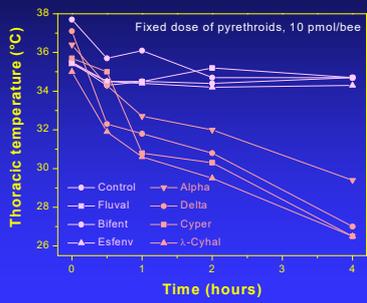
Thoracic temperature (°C)

Time (hour)

Legend:
 - Control (open circle)
 - Deltameth. 75 (filled triangle)
 - Bifent. 850 (open square)
 - Alpha2. 375 (filled diamond)
 - Cyfluth. 2.5 (open inverted triangle)
 - Cyfluth. 375 (filled diamond)

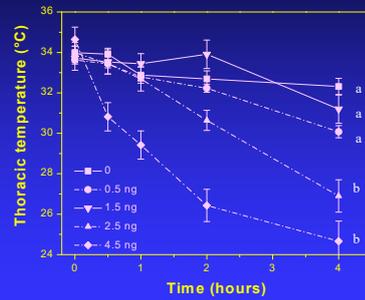
54

Effets des pyréthroïdes sur la thermorégulation de l'abeille



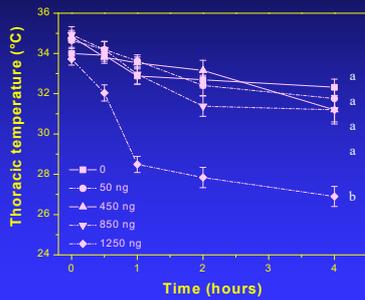
35

Effets de doses sublétales de deltaméthrine sur la thermorégulation de l'abeille



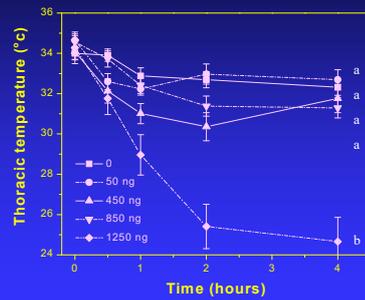
36

Effets de doses sublétales de prochloraz sur la thermorégulation de l'abeille



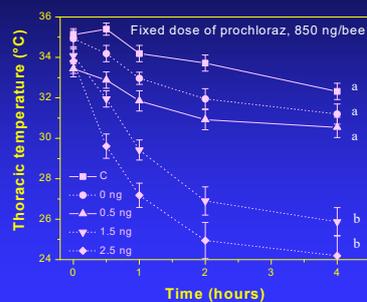
37

Effets de doses sublétales de difénoconazole sur la thermorégulation de l'abeille



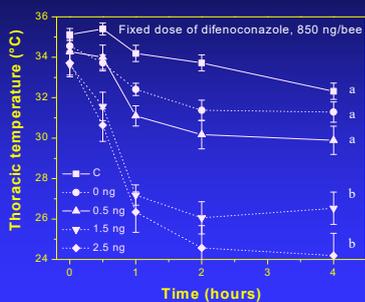
38

Actions conjointes de la deltaméthrine et du prochloraz sur la thermorégulation de l'abeille

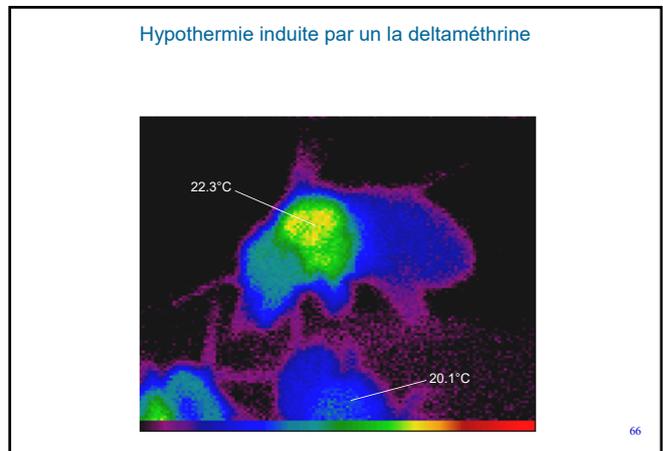
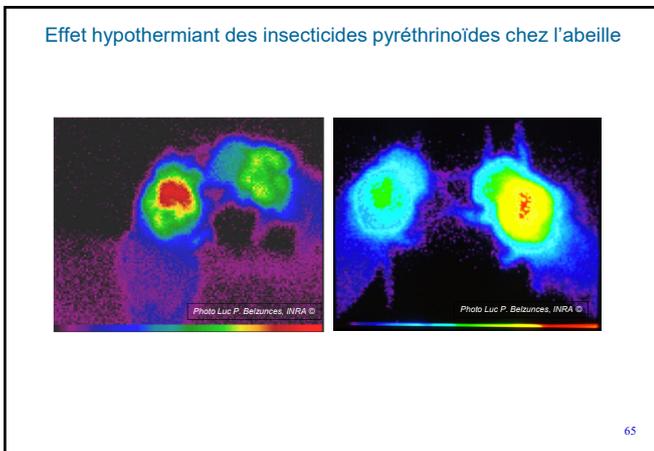
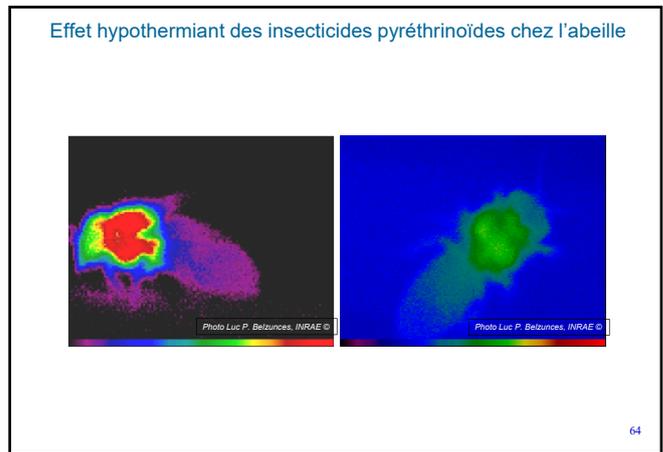
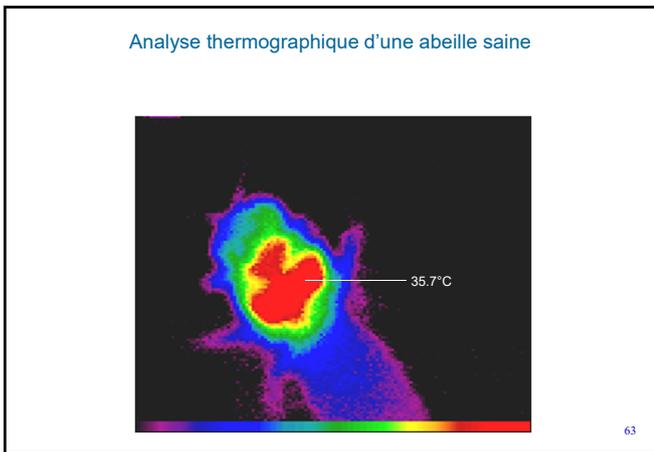
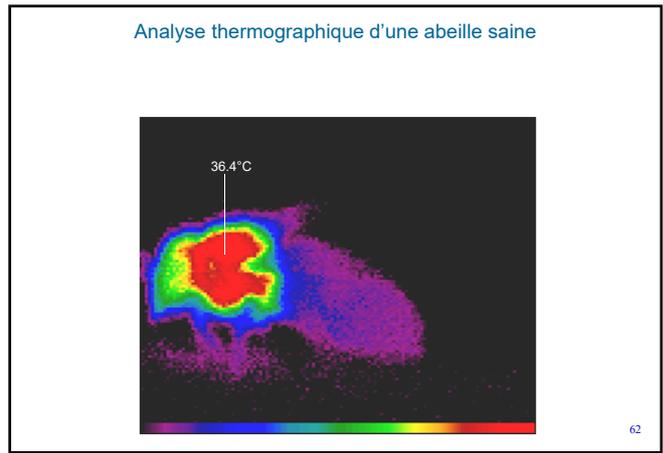
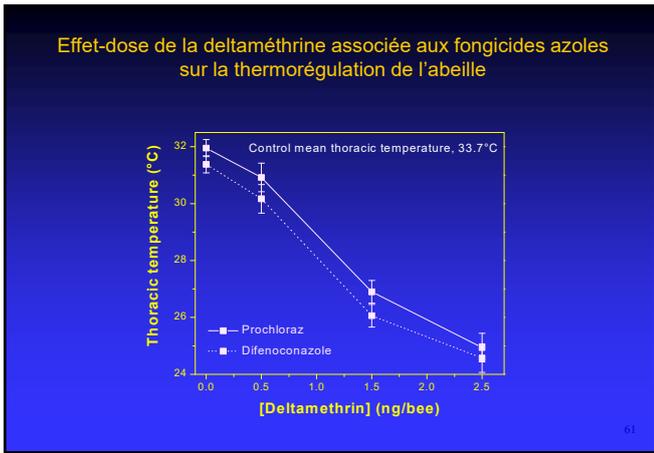


39

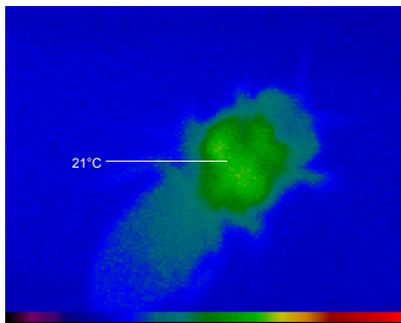
Actions conjointes de la deltaméthrine et du difénoconazole sur la thermorégulation de l'abeille



40

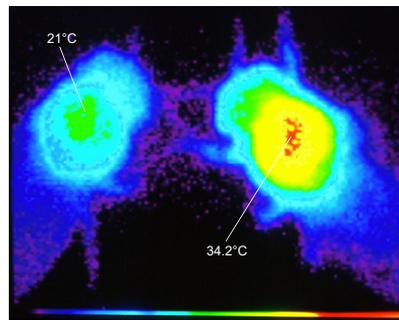


Hypothermie induite par un la deltaméthrine



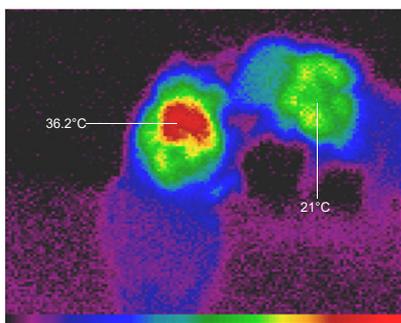
67

Echanges trophallactiques entre abeilles



68

Echanges trophallactiques entre abeilles



69

Découplage des muscles de vol

- ↳ Induits par certains insecticides neurotoxiques
 - Le DDT
 - Les pyréthrinoïdes
 - Les carbamates
- ↳ Impacts sur l'abeille
 - Difficulté ou impossibilité de vol
 - Altération de la thermogénèse

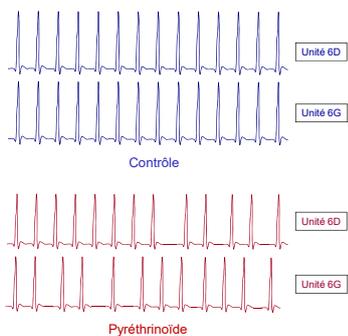
70

Incoordination musculaire : Action des pyréthrinoïdes

Symptômes
Homme et abeille

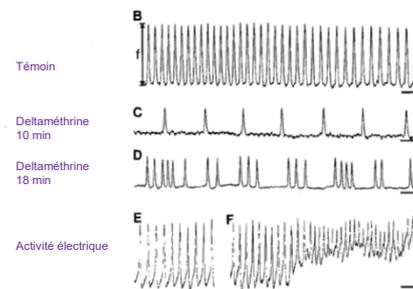
- Tremblements
- Salivation
- Incoordination
- Hyperactivité
- Hypoactivité
- Mort

Action sur les muscles des abeilles



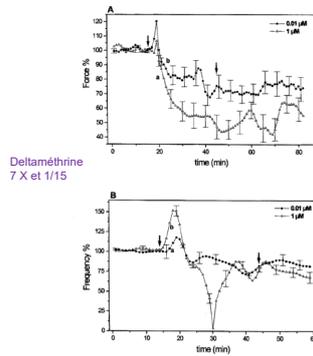
71

Effet de la deltaméthrine sur le rythme cardiaque de l'abeille



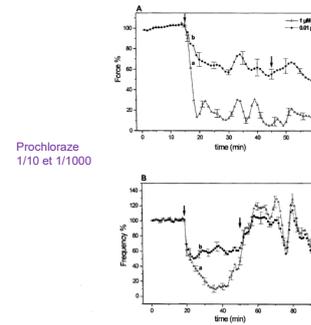
72

Effet de la deltaméthrine sur l'activité cardiaque de l'abeille



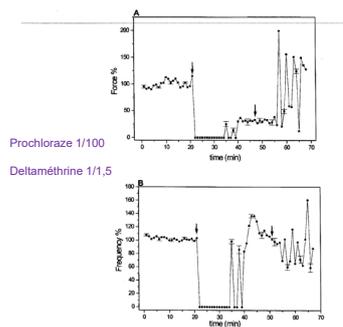
73

Effet du prochloraz sur l'activité cardiaque de l'abeille



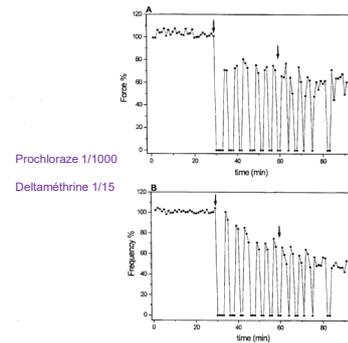
74

Action synergique du prochloraz et de la deltaméthrine sur l'activité cardiaque de l'abeille



75

Action synergique du prochloraz et de la deltaméthrine sur l'activité cardiaque de l'abeille



76

Effets sublétaux des pyréthrinoides affectant le retour des abeilles à la ruche

❖ Effets physiologiques

- Thermorégulation : hypothermie
- Mécaniques : découplage des muscles de vol : action sur l'activité cardiaque

❖ Effets neuro-comportementaux

- Altération du sens de l'orientation
- Altération des capacités mnésiques

❖ Effets biochimiques

- Déviation du métabolisme énergétique

77

78

