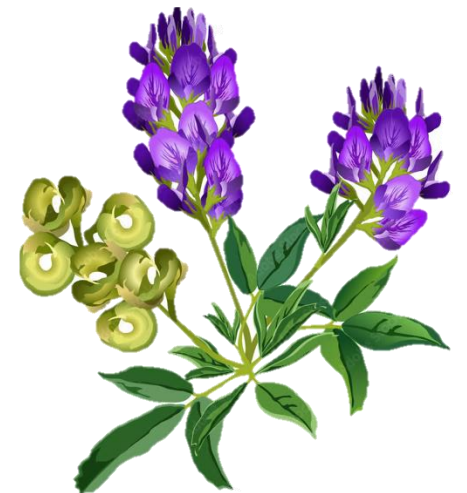


Etude bibliographique des ravageurs de la luzerne porte-graine

Hélène Defendini

09.09.2024



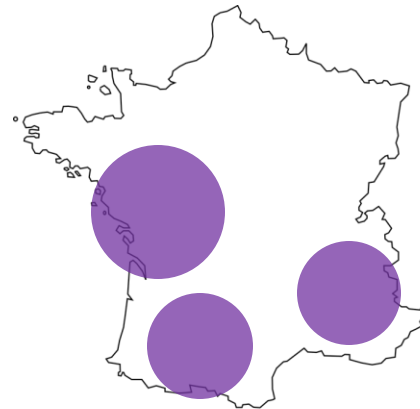
Introduction

La luzerne (*Medicago sativa*) est une des principales espèces fourragères utilisées pour l'alimentation du bétail en France.

Riche en protéines, la luzerne offre de nombreux avantages agronomiques et environnementaux.

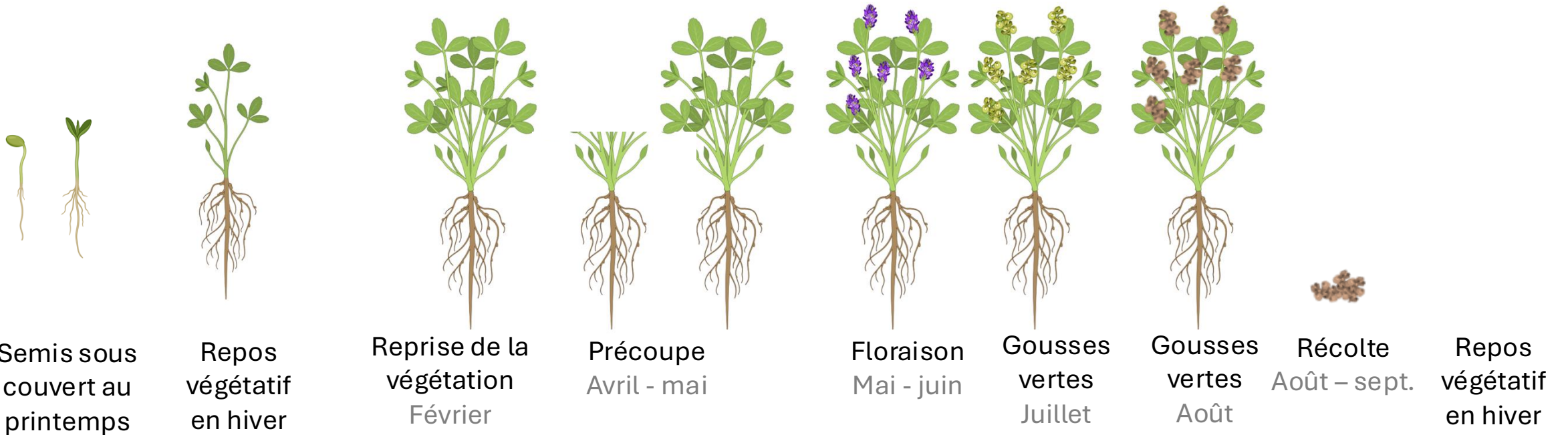
Cette culture abrite une **grande diversité d'insectes**, certains étant phytophages et d'autres auxiliaires (prédateurs naturels, parasitoïdes, pollinisateurs, détritivores). Les espèces phytophages peuvent être problématiques en cas de pullulation, d'où l'importance de les identifier, d'estimer leur impact sur la culture, et de mettre en place des stratégies de lutte durable adaptées.

La luzerne porte-graine est la première espèce fourragère cultivée en France pour la production de semences.



Introduction

Exemple de cycle de la luzerne (*Medicago sativa*) porte-graine :

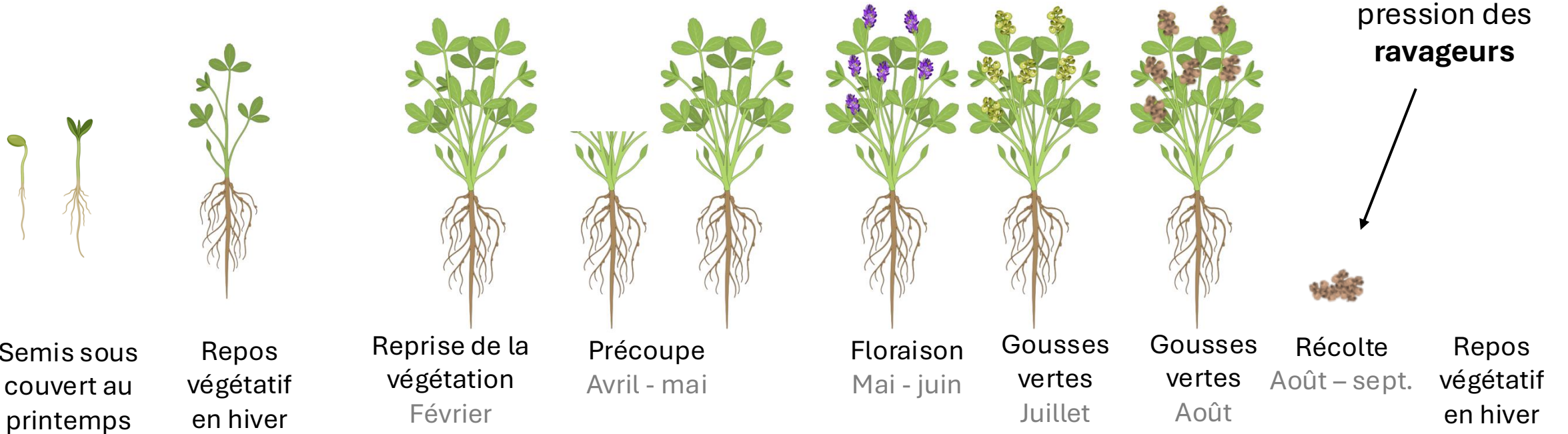


Année d'installation
de la luzerne

Culture installée (~ 3-4 années de production)

Introduction

Exemple de cycle de la luzerne (*Medicago sativa*) porte-graine :



Année d'installation de la luzerne

Culture installée (~ 3-4 années de production)

Introduction

OBJECTIFS

- Etat des lieux des principaux **ravageurs et des méthodes de lutte employées**
 - **Les plus nuisibles** et ceux pour lesquels il n'y a pas de moyen de lutte efficace hormis les pesticides
 - Recherche de **méthodes durables, alternatives aux pesticides**
 - Recherche de **méthodes d'élevage**
- Impact du **changement climatique**
- Impact des **virus** sur les rendements de la luzerne porte-graine ?
- Identifier de possibles **futurs ravageurs**



Introduction

Méthodes de recherche bibliographique

- Livres, articles académiques, articles tirés de revues professionnelles, et articles de congrès/séminaire, posters
- En français, anglais (espagnol et allemand)
- Fiabilité, pertinence, date de publication
- Sites principaux utilisés :
 - <https://scholar.google.com>
 - <https://www.webofknowledge.com>
 - <https://www.eppo.int>
 - <https://www.gbif.org>
 - <https://www.naaic.org>
 - <https://alfalfasyposium.ucdavis.edu/>



Les virus infectant la luzerne

Les conséquences des virus sur le rendement de la luzerne sont peu évaluées.

L'idée répandue du faible impact économique des maladies virales de la luzerne a été contestée par des découvertes récentes (ex : Bejerman et al. 2020)

45 virus identifiés par Nemchinov et al (2022) aux USA

Co-infection virus

+ champignon

+ bactérie

Virus	Déjà connu pour infecter la Luzerne
Alfalfa latent virus	Y
Alfalfa mosaic virus	Y
Alfalfa virus S	Y
Ancient Northwest Territories cripvirus	N
Aphis glycines virus 1	N
Bean leafroll virus	Y
Bombus-associated virus Pic2	N
Bundaberg bee virus 8	N
Cherry virus Trakiya	N
Datura yellow vein nucleorhabdovirus	N
Diabrotica virgifera virgifera virus 2	N
Diaphorina citri picorna-like virus	N
Faecal-associated gemycircularvirus	N
Figwort mosaic virus	N
Garlic yellow virus	N
Hop latent virus	N
Horseradish latent virus	N
Hubei picorna-like virus	N
Hubei toti-like virus 2	N
HVAC-associated RNA virus 1	N
Kilifi Virus	N
Kinkell virus	N
La Jolla virus	N
Lasius niger virus 1	N

Virus	Déjà connu pour infecter la Luzerne
Lucerne transient streak virus	Y
Luckshill virus	N
Maize associated rhabdovirus	N
Maize sterile stunt virus	N
Maize yellow striate virus	N
Maize-associated picornavirus	N
Medicago sativa alphapartitivirus 1	Y
Medicago sativa alphapartitivirus 2	Y
Medicago sativa amalgavirus 1	Y
Medicago sativa deltapartitivirus 1	Y
Nesidiocoris tenuis iflavirus 1	N
Pea streak virus	Y
Picorna-like virus, unknown	N
Potato virus X	N
Pyrus pyrifolia cryptic virus	N
River Liunaeg virus	N
Rudbeckia flower distortion virus	N
Solenopsis invicta virus 7	N
Soybean chlorotic mottle virus	N
Twyford virus	N
Zhuye pepper nucleorhabdovirus	N

Les virus infectant la luzerne

Etude d'impact des virus sur le rendement de la luzerne :

Etudes menées en général sur le virus de la mosaïque de la luzerne (AMV), et sur la luzerne fourrage.

Les souches de ce virus diffèrent en termes de virulence et de symptomatologie, et les cultivars de luzerne diffèrent en termes de sensibilité ; ainsi, les symptômes peuvent varier très fortement et souvent, l'infection ne présente aucun symptôme sur les cultivars tolérants.

(Hill et al. 1991)

Les baisses de rendement en fourrage sont notamment associées à des infections ne présentant généralement pas de symptômes.

(Bailiss & Ollennu 1986)

Etude en serre, sur la production de **graines** de la luzerne : réduction de 30,8 à 34,6 % de la germination et réduction de 45,1 à 68,6 % du rendement en graines de luzernes infectées par l'AMV.

(Hemmati & McLean, 1977)

Les bactéries et champignons infectant la luzerne

Bactéries

- *Clavibacter michiganensis*, associé au flétrissement bactérien
- *Xanthomonas campestris*, associé à la tache foliaire bactérienne
- *Xylella fastidiosa*, associé à la maladie de la luzerne naine
- *Agrobacterium tumefaciens*, associé à la maladie de la galle du collet
- Plusieurs espèces du genre *Pseudomonas* (*P. viridifava*, *P. syringae* et *P. sevastanoi*), associées à la brûlure bactérienne des tiges de la luzerne
- ...

Champignons

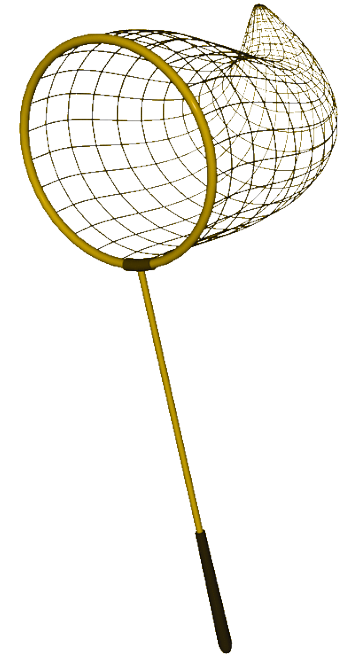
- *Alternaria alternata*, un champignon causant des symptômes de taches foliaires et de mildiou sur la luzerne au Canada
- *Stemphylium spp*, responsable de la tache foliaire de la luzerne
- *Fusarium spp*, champignon associé à la maladie du flétrissement de la luzerne
- *Colletotrichum spp.* responsable de l'anthracnose de la luzerne
- *Bipolaris spp.* connu pour causer la pourriture des racines de la luzerne en Chine
- *Aphanomyces*
- *Phytophthora*
- ...

Suivi des populations et seuil de nuisibilité

L'identification et le suivi des ravageurs sont essentiels pour la mise en place de techniques de lutte adaptées.

Seuil économique = densité de populations à partir de laquelle une nouvelle augmentation de population diminuerait le rendement au point de justifier des mesures de contrôle.

Les seuils économiques sont généralement nominaux et n'ont pas fait l'objet de travaux de recherche. Cependant, certains seuils ont été évalués par modélisation ou tests sur le terrain.



Suivi des populations et seuil de nuisibilité

Le seuil économique dépend de plusieurs facteurs, notamment du stade de la culture (certains stades sont plus sensibles) ou encore de la présence d'ennemis naturels.



Le seuil est plus élevé en fin de cycle qu'avant la floraison, qui est le stade le plus sensible aux **punaises mirides**.

Les seuils diffèrent selon le pays :

En France, 75 ind. en floraison, 150 ind. en fin de cycle (par 25 coups de filet fauchoir)

Aux USA, 100-150 ind. en floraison, 200-250 ind. en fin de cycle

(FNAMS BS n°259, 2018 ; FNAMS Guide pratique Luzerne porte-graine, 2021 ; Hodgson & Pace, 2007 ; Mueller, 2007)



Sous-estimation des seuils en cas de forte prédation ou parasitisme.

En champs de luzerne porte-graine aux USA, le taux de parasitisme par *Bathyplectes curculionis* et *Oomyzus incertus* des larves de *Hypera postica* variait de 0 à 90 % selon les sites. Ces différences ne sont pas prises en compte pour définir le seuil économique.



(Reid, 2022)

En France, le seuil est de 100-150 larves en 25 coups de filet

Aux USA, le seuil établi à > 350 individus pour le fourrage a été réévalué avec des essais au champs pendant 4 ans, sur la base des prix actuels des insecticides et du fourrage : 25-75 larves

(FNAMS BS n°147, 1999 ; FNAMS Guide pratique Luzerne porte-graine, 2021 ; Harrington et al., 2021)

Suivi des populations et seuil de nuisibilité

Le seuil économique dépend de plusieurs facteurs, notamment du stade de la culture (certains stades sont plus sensibles) ou encore de la présence d'ennemis naturels.



Difficulté de détection de certains ravageurs (**cécydomie des fleurs**) : aucun seuil n'est précisément défini



Les pucerons sont facilement capturés au filet fauchoir mais leur nuisibilité n'est vraiment avérée quand ils sont très nombreux.

En France, aucun seuil économique défini.

Aux USA, le seuil économique pour le puceron *Acyrtosiphon pisum* est fixé à 150-200 par coup de filet en champs de luzerne porte-graine.

(FNAMS Guide pratique Luzerne porte-graine, 2021 ; Schaber 1986)

Identification par imagerie en champs : outil prometteur, en développement

- Utilisation de pièges englués, identification basée sur la taille (Xuesong et al., 2017)
- Modèle (deep-learning) identifiant *Rhopalosiphum padi* et distinguant stades de développement (Lins et al., 2020)

Cependant, le développement d'un système automatisé d'identification des ravageurs a des limites.

Stratégies de lutte durable

Gestion intégrée des ravageurs, à 3 niveaux :



paysage



plante



parcelle

Stratégies de lutte durable: échelle du paysage



La **composition** et la **structure** du paysage influencent l'abondance des **ravageurs**, de leurs **ennemis naturels** (parasitoïdes et prédateurs) ainsi que l'efficacité du **contrôle biologique**,

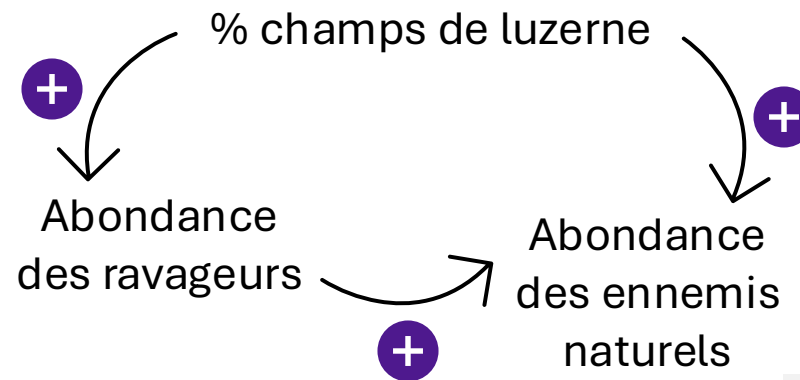
L'effet diffère selon les espèces, la région (Zhang et al. 2024), les échelles de paysage, l'âge de la luzerne (Madeira et al. 2021), l'année et les moments de coupes (Pons et al. 2013), etc.

Stratégies de lutte durable: échelle du paysage



Les **ravageurs** de la luzerne et leurs **ennemis naturels** sont en général plus abondants dans les paysages où la **proportion de champs de luzerne** est plus importante :

Thripidae, Aphididae
(Madeira et al., 2021)
Hypera postica
(Pellissier et al., 2022)



Chrysopidae au printemps
et les *Syrphidae* en été
(Madeira et al., 2021)

● effet inverse pour les prédateurs de pucerons en Chine (Zhang et al., 2024)

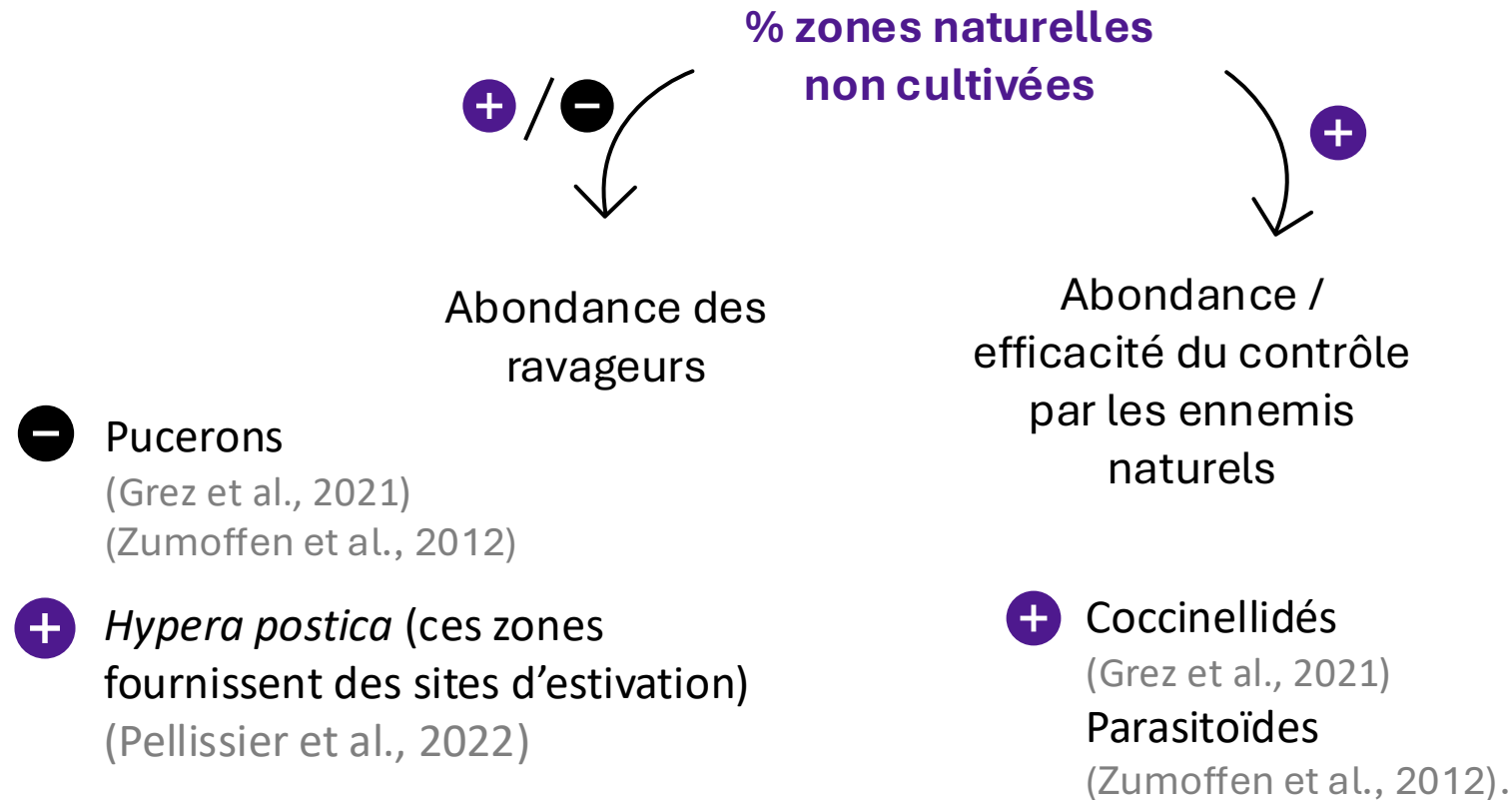
Particulièrement les prédateurs généralistes
(Madeira et al., 2021)

Parasitisme d'*A. pisum*
(Pons et al., 2013)

Parasitisme d'*H. postica* par *Bathyplectes curculionis*
(Pellissier et al., 2022)

La **composition et structure du paysage** ainsi que la **communauté de plantes** présentes expliquent mieux l'abondance des prédateurs (*Coccinellidae*, *Nabidae* et *Chrysopidae*) dans le champ de luzerne que la densité des pucerons qu'ils prédatent (Elliott et al., 2002)

Stratégies de lutte durable: échelle du paysage



Stratégies de lutte durable: échelle du paysage

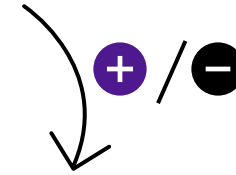


complexité / l'hétérogénéité du paysage



Abondance des ravageurs

- ➖ Ravageurs généralistes de la luzerne
Frankliniella occidentalis,
Laodelphax striatellus
(Grez et al., 2014a)



Diversité / Abondance /
efficacité du contrôle par les
ennemis naturels

- ➕ Coccinellidés
(Grez et al., 2014a)
Nabis
(Elliott et al., 2002)
Prédateurs et parasitoïdes de pucerons
(Zhang et al., 2024)
- 0 Parasitisme et prédateurs
(Pellissier et al., 2022 ; Madeira et al., 2021)
- ➖ (Elliott et al., 2002)

Stratégies de lutte durable: échelle du paysage



Présence de vergers
dans le paysage



Abondance /
efficacité du contrôle
par les ennemis
naturels

Possible explication :
utilisation plus intensive des
insecticides dans les vergers



(Grez et al., 2014a ; Grez et al., 2014b ;
Madeira et al., 2021)



La densité de populations des *Hypera postica* est plus élevée dans les champs ayant fait l'objet d'une application antérieure d'insecticide.

(Pellissier et al., 2022)

Stratégies de lutte durable: échelle du paysage



Virus

Les paysages caractérisés par une faible proportion de luzerne et des zones naturelles non cultivées sont moins vulnérables aux virus.

La proportion de luzerne cultivée détermine l'incidence du virus de la mosaïque de la luzerne (AMV) à l'échelle de 250m (Meseguer et al., 2024)

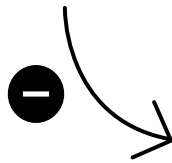
Plus généralement, les paysages simplifiés et avec beaucoup de terres cultivées sont vulnérables à la propagation des virus (ex: virus PVY, Claflin et al., 2017) et l'abondance des vecteurs dans la propagation des maladies virales dans un agrosystème est importante (ex: les pucerons et le virus PVY, Claflin et al., 2017)

Stratégies de lutte durable: échelle de la parcelle



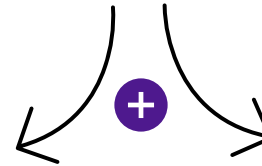
Caractéristiques du champ

Superficie



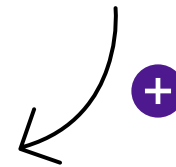
Incidence du virus AMV
(Meseguer et al., 2024)

Âge



Augmentation
annuelle de AMV
(Meseguer et al., 2024)

Nombre cumulé de
morphes alates du
puceron *A. pisum*



Stratégies de lutte durable: échelle de la parcelle



La **lutte culturale** contre les ravageurs qui restent sur les parcelles (ou à proximité).

La **rotation de culture** perturbe le cycle de vie de ravageurs.

Intéressant contre les ravageurs (très) spécifiques à la luzerne, comme le nématode des tiges de la luzerne, *Ditylenchus dipsaci*.

Le modèle de Jordan et al. (2018) suggère que 3-4 ans de rotation des cultures permettront d'obtenir un champ de luzerne qui durera 5-6 ans avant d'être à moitié infesté par le *D. dipsaci*.

La **précoupe** est surtout efficace contre les ravageurs du feuillage (avant la floraison).

Couper la luzerne avant que les larves de *H. postica* ne finissent leur développement permet de réduire drastiquement la population de larves et le nombre d'œufs pondus post-précoupe.

(Evans, 1989)

La coupe d'hiver (de janvier à mi-février) de la luzerne est efficace pour réduire les populations espagnoles de *H. postica* au printemps et favorise également le taux de parasitisme des larves par *Bathyplectes anura* et *B. curculionis*.

(Levi-Mourao, Núñez et al. 2022)

La précoupe n'est pas efficace contre *Tychius aureolus*, qui sévit principalement au moment de la floraison et de la maturation des gousses.

(BS n° 265, 220)

Stratégies de lutte durable: échelle de la parcelle

La **lutte comportementale** contre les ravageurs qui se déplacent bien et communiquent avec leur environnement.

Du mode de dispersion du ravageur dépend l'efficacité de la lutte comportementale.

La lutte comportementale avec kairomones contre *T. aureolus*, qui se déplace en marchant plutôt qu'en volant, n'est aujourd'hui pas efficace (Coussy et al. 2017). Le phytonome *H. postica* vole surtout de manière passive (Prokopy et al. 1967), suggérant que la lutte comportementale basée sur des pièges olfactifs serait peu efficace.

Les punaises mirides ont largement recours aux substances volatiles pour leur communication sexuelle et ont une bonne capacité de vol actif, ce qui en fait des candidats idéals pour la lutte comportementale.

(Shrestha et al. 2022)

Les composés des phéromones sexuelles ont été identifiés chez *Adelphocoris lineolatus* (Koczor et al. 2021) et *Lygus rugulipennis* (Innocenzi et al. 2004), *L. pratensis*, *Lygocoris pabulinus*, et *Liocoris tripustulatus* (Fountain et al. 2014).

Les pièges contenant des substances volatiles végétales telles que le phénylacétaldéhyde se sont montrés efficaces en champ.

(Koczor et al. 2021).

Une technique de push-pull fonctionne sur *L. rugulipennis* s'attaquant aux framboisiers, en intégrant le butyrate d'hexyle (phéromone d'alarme femelle ?) comme élément push et une phéromone sexuelle femelle synthétisée associé à un composé odorant synthétique de fleurs comme élément pull.

(Fountain et al. 2021)

Stratégies de lutte durable: échelle de la parcelle



La **lutte comportementale** contre les ravageurs qui se déplacent bien et communiquent avec leur environnement.

Les pièges visuels :

T. aureolus est plus attiré par les pièges bleus englués placés à l'horizontal à hauteur du sol que les pièges jaunes.
(Coussy et al. 2017)

L. rugulipennis est également plus attirés par les pièges bleus englués, placés au-dessus du sol (capture des deux sexes à 50-100 cm) et dans une zone dégagée entre deux champs de luzerne.
(Holopainen et al. 2001 ; Blackmer et al. 2008)

Stratégies de lutte durable: échelle de la parcelle



La lutte biologique

Identification des ennemis naturels et mise en place de méthodes favorisant le biocontrôle :

Les hyménoptères du genre *Bathyplectes* s'attaquent aux phytonomes *Hypera postica* en Europe, où *Bathyplectes anura* prédomine sur *B. curculionis* (Levi-Mourao, Núñez et al 2022)

Les larves de *H. postica* sont sensibles aux champignons du genre *Beauvaria*, selon des exp. en laboratoire et en champs de luzerne, avec un bon niveau d'infection (23% des *H. postica* adultes ayant hiverné dans les zones de culture de luzerne en Turquie) (Baysal et al. 2018 ; Atay et al. 2015)

Le champignon *Entomophthora phytonomi* infecte également les larves de phytonome, et a participé à réduire la population de phytonome au Canada (Harcourt et al 1977)

L'agroforesterie (association noyer – luzerne) augmente le nombre d'hyménoptères parasites et de prédateurs de *H. postica* (parasitoïde *Bathyplectes* et champignon *Zoophthora*) et augmente significativement le taux de parasitisme des larves par rapport à la luzerne cultivée traditionnellement en monoculture.

(Stamps et al 2002, 2009)

Stratégies de lutte durable: échelle de la parcelle



La lutte biologique

L'introduction d'ennemis naturels exotiques comme moyen de biocontrôle a été largement utilisée pour lutter contre *H. postica*, introduit dans les années 1980 au Japon et 1990 aux Etats-Unis.

Une dizaine d'ennemis naturels exotiques ont été introduits, dont des hyménoptères du genre *Bathyplectes* qui se sont révélés plutôt efficaces. Dans les années 2000, les taux de parasitisme par *B. curculionis* et *B. anura* avoisinaient les 40%.

(Rand 2013 ; Shoubu et al. 2005)

De plus, les dégâts causés par le phytonome sur la vesce de Chine au Japon ont diminués de 2001 à 2004 et sont corrélés négativement avec le parasitisme de l'année précédente.

(Shoubu et al. 2005)

Les **virus entomopathogènes** peuvent représenter une ressource de biocontrôle largement inexplorée. François et al (2021) ont identifié de nouvelles ressources virales entomopathogènes potentiellement adaptées aux stratégies de biocontrôle contre *H. postica*.

Stratégies de lutte durable: échelle de la parcelle



La lutte biologique

L'abondance de l'hyménoptère *Peristenus digoneutis*, en Italie, corrélée à celle de *Lygus rugulinipennis* dans les champs de luzerne ; cependant, le taux de parasitisme semble très faible pour un contrôle biologique efficace.

(Pansa et al 2012)

D'autres ennemis naturels en Europe, dont *Orius laevigatus*, *Chrysoperla* et *Nabis ferus*, prédatent *L. rugulipennis*, mais leur efficacité dans le contrôle des populations de *Lygus* n'est pas suffisante.

(Fitzgerald & Jay 2013 ; Solomon et al 2001)

Aux USA, les populations de *Lygus* dans les champs de luzerne ont diminué de 65% après l'introduction du parasitoïde européen *P. digoneutis* (Day 2005). En revanche, l'introduction de *P. digoneutis* n'a pas été efficace au Canada, sûrement à cause du climat (Haye et al. 2013).

Des essais d'application d'isolats du champignon *Beauveria bassinia* dans des champs de luzerne au Canada n'ont pas eu d'effets significatifs sur les populations de *Lygus hesperus*, malgré un bon niveau d'infection

(Noma 1999 ; Noma et Strickler 2000 ; McGuire et al 2006)

Stratégies de lutte durable: échelle de la parcelle



La lutte biologique

Un hyménoptère parasitoïde de *Tychius aureolus* a été identifié, il s'agit de *Pteromalus sequester*.
(FNAMS, FREDON Rhône-Alpes, FLOR'INSECTES, INRA de Versailles (UMR PISC) et UFS, 2008 et 2011)

Des champignons entomopathogènes (*Metarhizium spp.* et *Beauveria spp.*) ont un effet sur les charançons dont le cycle de vie est similaire à *Tychius aureolus*, parmi les *Curculio sp.* (*Curculioninae*), suggérant une possible utilisation en biocontrôle.

(Khun et al. 2020)

Les nématodes entomopathogènes sont susceptibles de fournir un contrôle plus efficace des charançons proches de *Tychius aureolus*, en étant actifs *sous* la surface du sol que les champignons.

(Khun et al. 2020)

Stratégies de lutte durable: échelle de la plante



Pour les problèmes pour lesquels il n'existe pas de traitements curatifs, comme les maladies virales, et pour lesquels il est donc essentiel de mettre en place des méthodes préventives, le **levier génétique** est une stratégie qui peut s'avérer efficace.

Ressources génétiques abondantes (*Medicago truncatula*)

Majoritairement les maladies fongiques, bactériennes et virales.

(revue de littérature : Yang et al, 2022)

Un gène de résistance à plusieurs races de *Colletotrichum trifolii*, un champignon pathogène qui cause l'antracnose chez *M. truncatula*, confère une résistance à la maladie lorsqu'il est transféré dans des luzerne sensibles (Yang et al. 2003)

Un gène codant pour l'inhibiteur de la protéase des thrips a été transféré dans la luzerne, et les plantes transgéniques sont toxiques pour les thrips (Thomas et al. 1994)

Des gènes / marqueurs d'ADN associés à la résistance / tolérance ont été identifiés sur le génome de *M. sativa*, dont *Pseudomonas syringae* (Moya et al. 2024), *Phytophthora medicaginis* responsable de la pourriture des racines (Musial et al. 2005), *Peronospora trifoliorum* responsable du mildiou (Obert et al. 2000), *Verticillium alfalfae* responsable de la verticilliose (Yu et al. 2017), *Pseudopeziza medicaginis* responsable de maladie de la tache commune (Wang et al. 2012) et *Stagonospora meliloti* causant taches foliaires et pourriture racinaire (Musial et al. 2007). Jusqu'à aujourd'hui, ils n'ont pas été utilisés dans le cadre de programmes de sélection.

Stratégies de lutte durable: échelle de la plante



En revanche, il existe dans le commerce des variétés de luzerne qui ont montré des résistances à certaines maladies ou ravageurs, bien que les mécanismes biochimiques responsables de cette résistance soient encore inconnus :

Variétés tolérantes / résistantes aux pucerons *Therioaphis trifolii* (Zhu et al. 2024), *Therioaphis maculata* (De Almeida E Silva et al. 2006), *Aphis craccivora* (Wu et al. 2022), *Acyrtosiphon pisum* (Bournoville et al. 2001 ; Julier et al. 2003 ; Wu et al. 2022 ; Yu et al. 2023), aux nématodes (*Ditylenchus dipsaci*, Jordan, 2018 ; *Meloidogyne incognita*, Postnikova et al. 2015), aux charançons *Hypera postica* (Shade et al. 1975 ; Jamshidi-Golan et al. 2022 ; Kakaie & Laqab, 2023), lépidoptère *Spodoptera* (Strizhov et al. 1996) ...

Parmi les variétés *M. truncatula*, certaines sont tolérantes / résistantes aux pucerons *Acyrtosiphon pisum* (Gao et al., 2008 ; Guo et al., 2012 ; Kamphuis et al., 2016), *Aphis craccivora* (Kamphuis et al., 2012), *Acyrtosiphon kondoi* (Klingler et al., 2009 ; Guo et al., 2012), *Therioaphis trifolii* (Gao et al., 2007 ; Kamphuis et al., 2013)...

Conséquences du changement climatique sur les ravageurs

Attribuer les tendances biologiques récentes au changement climatique est difficile car les influences non climatiques ont un impact plus important sur les changements biologiques locaux et à court terme.

Le changement climatique a de multiples effets, dont la hausse de la température et du CO₂ atmosphérique, des changements dans les précipitations et des événements météorologiques extrêmes plus fréquents.

Selon le rapport du GIEC de 2023, les activités humaines et principalement les émissions de gaz à effet de serre ont provoqué entre 2013–2022 un réchauffement de la planète de 1,15°C de plus qu'entre 1850 et 1900 et pourraient entraîner une augmentation du réchauffement de la planète de 1,5°C à court terme (avant 2040).

(IPCC, 2023)

Quelles conséquences sur les cultures et l'impact des ravageurs ?

Conséquences du changement climatique sur les ravageurs

Les **prédictions** indiquent que les pertes de rendement associées aux ravageurs et pathogènes des plantes cultivées vont augmenter à cause du changement climatique.

Augmentation de la croissance démographique, de la dispersion, du nombre de générations de ravageurs par an et diminution de l'efficacité des ennemis naturels et la résistance des plantes (Tougeron et al. 2019)

Les pertes de rendement des céréales au niveau mondial à cause des insectes ravageurs devraient augmenter de 10 à 25 % par degré de réchauffement de la surface moyenne du globe (Deutsch et al., 2018)

Conséquences déjà visibles : une méta-analyse a révélé des tendances globales et systématiques, temporelles et spatiales, pour diverses espèces et régions géographiques, correspondant aux prévisions du changement climatique

Ex : les espèces se déplacent vers les pôles à une vitesse de 6,1 km par décennie en moyenne (ou 6,1 m en altitude par décennie) ; les événements phénologiques printaniers, tels que la floraison, la reproduction, la nidification des oiseaux, le débourrement des arbres et l'arrivée des espèces migratrices, avancent en moyenne de 2,3 jours par décennie.

(Parmesan & Yohe, 2003)

Conséquences du changement climatique sur les ravageurs

Les **effets sur les relations luzerne – ravageurs – ennemis naturels**

L'augmentation de [CO₂] atmosphérique peut modifier les **relations plantes – insectes** :

Elle modifie la résistance, la valeur nutritionnelle et l'état hydrique des légumineuses. Ces changements affectent certains stades d'alimentation des pucerons et influencent leur performance, suggérant que les légumineuses pourraient subir des dommages plus importants de la part des pucerons si les niveaux de CO₂ atmosphérique continuent d'augmenter.

(Sun, Guo & Ge, 2020)

Conséquences du changement climatique sur les ravageurs

Les effets sur les relations luzerne – ravageurs – ennemis naturels

L'augmentation de la température peut modifier les relations plantes – insectes :

La hausse des températures globales pourrait favoriser la parthénogenèse et la survie de pucerons parthénogénétiques en hiver. Les lignées asexuées pourraient s'attaquer aux champs de luzerne toute l'année, contrairement aux lignées partiellement sexuées qui entrent en diapause sous la forme d'œufs en hiver.

(Gilabert et al. 2009 ; Blackman 1974)

Une colonisation plus précoce des cultures par les pucerons est observée (le début des vols de *M. persicae* gagnent 2 semaines pour chaque +1°C en janvier-février)

(Bell et al. 2019 ; Chander 2012)

L'arrivée de *Empoasca fabae* sur les champs de luzerne aux USA a avancé de 10 jours sur les dernières 62 années. L'augmentation de la température a un effet positif sur la sévérité de l'infestation.

(Baker et al. 2015)

Conséquences du changement climatique sur les ravageurs

Les effets sur les relations luzerne – ravageurs – ennemis naturels

Les changements climatiques, en particulier le réchauffement, affectent les **ennemis naturels** de manière similaire aux ravageurs, en influençant leur survie, leur développement et leur reproduction.

Changements de composition / abondance dans les communautés de parasitoïdes de la luzerne, peut-être liées au réchauffement climatique, bien que ce ne soit pas toujours clairement établi.

Par exemple, en Bretagne, les deux espèces de parasitoïdes historiquement présentes (*Aphidius rhopalosiphi* et *A. matricariae*) ne diapause plus en hiver, contrairement aux espèces plus récemment arrivées. Cela pourrait être une adaptation locale aux hivers doux.

Une étude sur 9 ans a montré une plus grande diversité de réseaux trophiques hivernaux entre pucerons et parasitoïdes dans l'ouest de la France, probablement à cause de l'augmentation des températures hivernales et de la diminution des épisodes de gel. Cela a permis à de nouvelles espèces de parasitoïdes de s'établir, modifiant ainsi la structure des communautés et impactant la lutte biologique naturelle.

La distribution géographique des parasitoïdes, surtout les spécialistes, est étroitement liée à celle de leurs hôtes. Les généralistes, en revanche, pourraient s'adapter plus facilement aux changements climatiques en changeant d'hôte.

(Tougeron et al. 2018 ; Tougeron et al. 2020)

Conséquences du changement climatique sur les ravageurs

Les effets sur les relations luzerne – ravageurs – ennemis naturels

Le taux d'attaque des parasitoïdes de pucerons diminue alors que le taux de défense des pucerons augmente en augmentant la température.

(Le Lann et al. 2014)

Désynchronisation possible si les ravageurs et leurs ennemis naturels répondent différemment au même changement environnemental (ou répondent à différents signaux environnementaux qui changent différemment sous impulsion du changement climatique).

En général, si un ennemi naturel commence à se développer à une température légèrement inférieure à celle de sa proie (ex : un puceron) et se développe plus rapidement que celle-ci lorsque la température augmente, un printemps trop précoce / chaud conduit à son émergence précoce et un manque de proie, pouvant conduire à l'extinction de l'ennemi naturel.

(Hance et al. 2007)

Effets complexes : modification de la synchronisation des événements du cycle de vie entre des espèces en interaction (ex: prédateur-proie) en réponse au changement climatique, mais pas de tendance globale.

(Tougeron et al. 2018, 2020)

Les bactéries endosymbiotiques peuvent également jouer un rôle dans la structuration de la communauté ou dans les interactions hôte-parasitoïde.

(e.g. Sanders et al., 2016)

Futurs ravageurs ?

Chloridea virescens

(*Lepidoptera: Noctuidae*)

Beaucoup de plantes hôtes, dont *M. sativa*.

Espèce pas observée en Europe.

(EPPO 2015)

Phenacoccus solenopsis

(*Hemiptera, Pseudococcidae*)

Beaucoup de plantes hôtes, dont *M. sativa*.

Espèce invasive, observée en Grèce et Italie récemment.

(EFSA Panel on Plant Health 2021 ; Arif et al. 2009)

Xylella fastidiosa

(Bactérie)

Beaucoup de plantes hôtes, dont *M. sativa* *.

Espèce invasive observée en Europe méditerranéenne.

(EPPO PM3/82, 2016)

Gonioctena fornicata (*Coleoptera,*

Chrysomelidae) aperçu en France

(Alsace) en 2010 pour la première fois.

Les larves mangent les feuilles de luzerne. En Turquie, moyen de lutte biologique étudié : champignons entomopathogènes

Popilla japonica

(*Coleoptera, Scarabaeidae*)

Beaucoup de plantes hôtes, dont *M. sativa*.

Espèce invasive.

En Italie, cette espèce a été observée sur le soja.

(Vieira, 2008 ; EPPO PM9/21, 2016)

Colaspidema barbarum

(*Coleoptera, Chrysomelidae*)

Bruchophagus roddi

(*Hymenoptera, Eurytomidae*)

Présents dans le sud de la France, pourraient étendre leur aire de distribution avec l'augmentation des températures.

* Des études ont été menées pour déterminer la nuisibilité sur la luzerne : La taille des plantes infectées a été réduite jusqu'à 50% (dépend des souches de pathogènes, Lopes et al. 2010). Voir aussi (Abou Kubaa et al. 2019).

Références

Suivi de population et seuil de nuisibilité

- Batz, P., Will, T., Thiel, S., Ziesche, T. M., & Joachim, C. (2023).** From identification to forecasting: The potential of image recognition and artificial intelligence for aphid pest monitoring. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1150748>
- Harrington, K., Carrière, Y., & Mostafa, A. M. (2021).** Re-evaluating the Economic Injury Level for Alfalfa Weevil (Coleoptera: Curculionidae) Control in Low Desert Irrigated Alfalfa. *Journal of Economic Entomology*, 114(3), 1173–1179. <https://doi.org/10.1093/jee/toab070>
- Hodgson, E. W., & Pace, M. (2007).** Lygus Bug in Alfalfa Seed. *Utah State University Extension*, 922, Article 922. https://digitalcommons.usu.edu/extension_curall/922/
- Lins, E. A., Rodriguez, J. P. M., Scoloski, S. I., Pivato, J., Lima, M. B., Fernandes, J. M. C., da Silva Pereira, P. R. V., Lau, D., & Rieder, R. (2020).** A method for counting and classifying aphids using computer vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105200. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105200>
- Mueller, S. C. (2007).** Alfalfa Seed Production in California. In C. Summers & D. Putnam, *Irrigated Alfalfa Management* (the University of California Division of Agriculture and Natural Resources, 1–24).
- Reid, M. (2022).** *Monitoring insect diversity and parasitism levels in alfalfa seed production fields in western Canada* [University of Alberta]. <https://doi.org/10.7939/r3-k7pt-b371>
- Schaber, B. D. (1986).** *Insects associated with alfalfa seed production*. Agriculture Canada, Lethbridge Research Station. <https://open.alberta.ca/publications/2473219/resource/4e5a71cd-7524-4731-929c-00bb5747c7bf>
- Xuesong, S., Zi, L., Lei, S., Jiao, W., & Yang, Z. (2017).** Aphid Identification and Counting Based on Smartphone and Machine Vision. *Journal of Sensors*, 2017(1), 3964376. <https://doi.org/10.1155/2017/3964376>

Virus

Bailiss, K. W., & Ollennu, L. a. A. (1986). Effect of alfalfa mosaic virus isolates on forage yield of lucerne (*Medicago sativa*) in Britain. *Plant Pathology*, 35(2), 162–168. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1986.tb02000.x>

Bejerman, N., Roumagnac, P., & Nemchinov, L. G. (2020). High-Throughput Sequencing for Deciphering the Virome of Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.553109>

Hemmati, K., & McLean, D. L. (1977). Gamete-Seed Transmission of Alfalfa Mosaic Virus and Its Effect on Seed Germination and Yield in Alfalfa Plants. *Phytopathology*, 67, 576–579. <https://doi.org/10.1094/Phyto-67-576>

Hill, K. K., Jarvis-Eagan, N., Halk, E. L., Krahn, K. J., Liao, L. W., Mathewson, R. S., Merlo, D. J., Nelson, S. E., Rashka, K. E., & Loesch-Fries, L. S. (1991). The Development of Virus-Resistant Alfalfa, *Medicago sativa* L. *Bio/Technology*, 9(4), 373–377. <https://doi.org/10.1038/nbt0491-373>

Nemchinov, L. G., Irish, B. M., Grinstead, S., Shao, J., & Vieira, P. (2022). Diversity of the virome associated with alfalfa (*Medicago sativa* L.) in the U.S. Pacific Northwest. *Scientific Reports*, 12(1), 8726. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12802-4>

Echelle paysage

Clafin, S. B., Jones, L. E., Thaler, J. S., & Power, A. G. (2017). Crop-dominated landscapes have higher vector-borne plant virus prevalence. *Journal of Applied Ecology*, 54(4), Article 4. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12831>

Elliott, N. C., Kieckhefer, R. W., Michels, G. J., & Giles, K. L. (2002). Predator Abundance in Alfalfa Fields in Relation to Aphids, Within-Field Vegetation, and Landscape Matrix. *Environmental Entomology*, 31(2), Article 2. <https://doi.org/10.1603/0046-225X-31.2.253>

Grez, A. A., Zaviezo, T., Casanoves, F., Oberti, R., & Plischoff, P. (2021). The positive association between natural vegetation, native coccinellids and functional diversity of aphidophagous coccinellid communities in alfalfa. *Insect Conservation and Diversity*, 14(4), 464–475. <https://doi.org/10.1111/icad.12473>

Grez, A. A., Zaviezo, T., & Gardiner, M. M. (2014). Local predator composition and landscape affects biological control of aphids in alfalfa fields. *Biological Control*, 76, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.04.005>

Grez, A. A., Zaviezo, T., Hernández, J., Rodríguez-San Pedro, A., & Acuña, P. (2014). The heterogeneity and composition of agricultural landscapes influence native and exotic coccinellids in alfalfa fields. *Agricultural and Forest Entomology*, 16(4), Article 4. <https://doi.org/10.1111/afe.12068>

Jordan, S. (2018). Yield to the resistance: The impact of nematode resistant varieties on alfalfa yield. *Natural Resource Modeling*, 31(2), Article 2. <https://doi.org/10.1111/nrm.12150>

Echelle paysage - suite

Madeira, F., Clemente-Orta, G., Alomar, O., Batuecas, I., Sossai, S., & Albajes, R. (2022). Land use alters the abundance of herbivore and predatory insects on crops: The case of alfalfa. *Journal of Pest Science*, 95(1), Article 1.

<https://doi.org/10.1007/s10340-021-01395-y>

Meseguer, R., Levi-Mourao, A., Lucas, E., Pons, X., & Achon, M. Á. (n.d.). Crop age is the main driver affecting alfalfa mosaic virus: The predominant virus in the alfalfa virome. *Annals of Applied Biology*, n/a(n/a).

<https://doi.org/10.1111/aab.12929>

Pellissier, M. E., Rand, T. A., Murphy, M. A., & Jabbour, R. (2022). Landscape Composition and Management History Affect Alfalfa Weevil but not its Parasitoid. *Environmental Entomology*, 51(5), Article 5. <https://doi.org/10.1093/ee/nvac057>

Pons, X., Lumbierres, B., Comas, J., Madeira, F., & Starý, P. (2013). Effects of surrounding landscape on parasitism of alfalfa aphids in an IPM crop system in northern Catalonia. *BioControl*, 58(6), Article 6. [https://doi.org/10.1007/s10526-013-9534-](https://doi.org/10.1007/s10526-013-9534-y)

[y](https://doi.org/10.1007/s10526-013-9534-y)

Zhang, X., Dong, Z., Wu, Q., Gagic, V., Tomanovic, Ž., Zalucki, M., & Lu, Z. (2024). Landscape structure and composition affect aphid biological control in alfalfa fields, but regional differences prevail. *Entomologia Generalis*, 44.

<https://doi.org/10.1127/entomologia/2023/2320>

Zumoffen, L., Salto, C., & Salvo, A. (2012). Preliminary study on parasitism of aphids (Hemiptera: Aphididae) in relation to characteristics of alfalfa fields (*Medicago sativa* L.) in the Argentine Pampas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 159, 49–54.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.019>

Echelle parcelle

Atay, T., Yanar, Y., Baysak, E., & Kepenekci, I. (2015). *Occurrence of entomopathogenic fungus Beauveria sp. On overwintered adults of Hypera postica (Gyllenhal) (Coleoptera, Curculionidae) and Gonioctena fornicata (Brüggemann) (Coleoptera, Chrysomelidae) in soil.* 82.

Baysal, E., Atay, T., & Yanar, Y. (2018). Efficacy of some local isolates of the fungus Beauveria bassiana (Balsamo) Vuillemin on the alfalfa weevil Hypera postica (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae) larvae, under laboratory conditions. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 28(1), 65. <https://doi.org/10.1186/s41938-018-0067-7>

Blackmer, J. L., Byers, J. A., & Rodriguez-Saona, C. (2008). Evaluation of color traps for monitoring *Lygus* spp.: Design, placement, height, time of day, and non-target effects. *Crop Protection*, 27(2), Article 2. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.05.003>

Day, W. H. (2005). Changes in abundance of native and introduced parasites (Hymenoptera: Braconidae), and of the target and non-target plant bug species (Hemiptera: Miridae), during two classical biological control programs in alfalfa. *Biological Control*, 33(3), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.03.015>

Evans, E. W. (n.d.). *The Alfalfa Weevil in Utah.*

Fitzgerald, J., & Jay, C. (2013). Implications of alternative prey on biocontrol of pests by arthropod predators in strawberry. *Biocontrol Science and Technology*, 23(4), Article 4. <https://doi.org/10.1080/09583157.2013.769044>

Fountain, M., Jåstad, G., Hall, D., Douglas, P., Farman, D., & Cross, J. (2014). Further Studies on Sex Pheromones of Female *Lygus* and Related Bugs: Development of Effective Lures and Investigation of Species-Specificity. *Journal of Chemical Ecology*, 40(1), 71–83. <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0375-z>

Echelle parcelle - suite

François, S., Antoine-Lorquin, A., Kulikowski, M., Frayssinet, M., Filloux, D., Fernandez, E., Roumagnac, P., Froissart, R., & Ogliastro, M. (2021). Characterisation of the Viral Community Associated with the Alfalfa Weevil (*Hypera postica*) and Its Host Plant, Alfalfa (*Medicago sativa*). *Viruses*, *13*(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/v13050791>

Harcourt, D. G., Guppy, J. C., & Binns, M. R. (1977). The analysis of intrageneration change in eastern ontario populations of the alfalfa weevil. *The Canadian Entomologist*, *109*(12), Article 12. <https://doi.org/10.4039/Ent1091521-12>

Haye, T., Olfert, O., Weiss, R. M., Garipey, T. D., Broadbent, B., & Kuhlmann, U. (2013). Bioclimatic analyses of distributions of a parasitoid *Peristenus digoneutis* and its host species *Lygus* spp. In Europe and North America. *Agricultural and Forest Entomology*, *15*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2012.00590.x>

Holopainen, J. K., Raiskio, S., & Wulff, A. (2001). Blue sticky traps are more efficient for the monitoring of *Lygus rugulipennis* (Heteroptera: Miridae) than yellow sticky traps. *Agricultural and Food Science*, *10*(3), Article 3. <https://doi.org/10.23986/afsci.5698>

Innocenzi, P. J., Hall, D. R., Cross, J. V., Masuh, H., Phythian, S. J., Chittamaru, S., & Guarino, S. (2004). Investigation of Long-Range Female Sex Pheromone of the European Tarnished Plant Bug, *Lygus rugulipennis*: Chemical, Electrophysiological, and Field Studies. *Journal of Chemical Ecology*, *30*(8), Article 8. <https://doi.org/10.1023/B:JOEC.0000042065.19044.6d>

Khun, K. K., Wilson, B. A. L., Stevens, M. M., Huwer, R. K., & Ash, G. J. (2020). Integration of Entomopathogenic Fungi into IPM Programs: Studies Involving Weevils (Coleoptera: Curculionoidea) Affecting Horticultural Crops. *Insects*, *11*(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/insects11100659>

Echelle parcelle – suite

Koczor, S., Vuts, J., & Tóth, M. (2012). Attraction of *Lygus rugulipennis* and *Adelphocoris lineolatus* to synthetic floral odour compounds in field experiments in Hungary. *Journal of Pest Science*, 85(2), Article 2. <https://doi.org/10.1007/s10340-012-0422-5>

Levi-Mourao, A., Núñez, E., García, A., Meseguer, R., & Pons, X. (2022). Alfalfa winter cutting: Effectiveness against the alfalfa weevil, *Hypera postica* (Gyllenhal) (Coleoptera: Curculionidae) and effect on its rate of parasitism due to *Bathyplectes* spp. (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Crop Protection*, 152, 105858. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105858>

McGuire, M. R., Leland, J. E., Dara, S., Park, Y.-H., & Ulloa, M. (2006). Effect of different isolates of *Beauveria bassiana* on field populations of *Lygus hesperus*. *Biological Control*, 38(3), 390–396. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.12.010>

Meseguer, R., Levi-Mourao, A., Lucas, E., Pons, X., & Achon, M. Á. (n.d.). Crop age is the main driver affecting alfalfa mosaic virus: The predominant virus in the alfalfa virome. *Annals of Applied Biology*, n/a(n/a). <https://doi.org/10.1111/aab.12929>

Noma, T. (1999). *Beauveria bassiana* for control of lygus bug (Hemiptera: Miridae): Studies in the laboratory and in an alfalfa seed field—ProQuest [University of Idaho]. <https://www.proquest.com/openview/86f2aac406bbc16259d7141264d7a799/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>

Noma, T., & Strickler, K. (2000). Effects of *Beauveria bassiana* on *Lygus hesperus* (Hemiptera: Miridae) Feeding and Oviposition. *Environmental Entomology*, 29(2), 394–402. <https://doi.org/10.1093/ee/29.2.394>

Pansa, M. G., Guidone, L., & Tavella, L. (2012). *Distribution and abundance of nymphal parasitoids of Lygus rugulipennis and Adelphocoris lineolatus in northwestern Italy.*

Echelle parcelle – suite

Prokopy, R. J., Armbrust, E. J., Cothran, W. R., & Gyrisco, G. G. (1967). Migration of the Alfalfa Weevil, *Hypera postica* (Coleoptera: Curculionidae), to and from Estivation Sites¹. *Annals of the Entomological Society of America*, 60(1), Article 1. <https://doi.org/10.1093/aesa/60.1.26>

Rand, T. A. (2013). Host Density Drives Spatial Variation in Parasitism of the Alfalfa Weevil, *Hypera postica*, Across Dryland and Irrigated Alfalfa Cropping Systems. *Environmental Entomology*, 42(1), 116–122. <https://doi.org/10.1603/EN12266>

Shoubu, M., Okumura, M., Shiraishi, A., Kimura, H., Takagi, M., & Ueno, T. (2005). Establishment of *Bathyplectes anurus* (Hymenoptera: Ichneumonidae), a larval parasitoid of the alfalfa weevil, *Hypera postica* (Coleoptera: Curculionidae) in Japan. *Biological Control*, 34(2), Article 2. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.04.009>

Shrestha, G., Wiman, N. G., & Rondon, S. I. (2022). Flight Potential of Western Tarnished Plant Bug (Hemiptera: Miridae). *Journal of Economic Entomology*, 115(1), 93–100. <https://doi.org/10.1093/jee/toab216>

Solomon, M. G., Jay, C. N., Innocenzi, P. J., Fitzgerald, J. D., Crook, D., Crook, A. M., Easterbrook, M. A., & Cross, J. V. (2001). Review: Natural Enemies and Biocontrol of Pests of Strawberry in Northern and Central Europe. *Biocontrol Science and Technology*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.1080/09583150120035639>

Stamps, W. T., McGraw, R. L., Godsey, L., & Woods, T. L. (2009). The ecology and economics of insect pest management in nut tree alley cropping systems in the Midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 131(1), Article 1. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.06.012>

Stamps, W. T., Woods, T. W., Linit, M. J., & Garrett, H. E. (2002). Arthropod diversity in alley cropped black walnut (*Juglans nigra* L.) stands in eastern Missouri, USA. *Agroforestry Systems*, 56(2), Article 2. <https://doi.org/10.1023/A:1021319628004>

Echelle plante

Bournoville, R., Carré, S., Julier, B., Landré, B., & Ecalte, C. (2001). Diallel analysis of pea aphid resistance in alfalfa seedlings. In I. Delgado & J. Lloveras (Eds.), *Quality in lucerne and medics for animal production* (Vol. 45, pp. 77–80). Zaragoza : CIHEAM. <http://om.ciheam.org/om/pdf/a45/01600061.pdf>

De Almeida E Silva, A., Varanda, E. M., & Barosela, J. R. (2006). Resistance and susceptibility of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars to the aphid *Therioaphis maculata* (Homoptera: Aphididae): insect biology and cultivar evaluation. *Insect Science*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2006.00068.x>

Gao, L.-L., Horbury, R., Nair, R. M., Singh, K. B., & Edwards, O. R. (2007). Characterization of resistance to multiple aphid species (Hemiptera: Aphididae) in *Medicago truncatula*. *Bulletin of Entomological Research*, 97(1), 41–48. <https://doi.org/10.1017/S0007485307004786>

Gao, L.-L., Klingler, J. P., Anderson, J. P., Edwards, O. R., & Singh, K. B. (2008). Characterization of Pea Aphid Resistance in *Medicago truncatula*. *Plant Physiology*, 146(3), 996–1009. <https://doi.org/10.1104/pp.107.111971>

Guo, S.-M., Kamphuis, L. G., Gao, L.-L., Klingler, J. P., Lichtenzveig, J., Edwards, O., & Singh, K. B. (2012). Identification of distinct quantitative trait loci associated with defence against the closely related aphids *Acyrtosiphon pisum* and *A. kondoi* in *Medicago truncatula*. *Journal of Experimental Botany*, 63(10), 3913–3922. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers084>

Jamshidi-Golan, S., Moosavi, S. S., MazaheryLaghab, H., Kazzazi, M., & MazaheryLaghab, H. (2023). The Biological Role of Glycosides in Alfalfa (*Medicago sativa* L.) as a Resistance Factor Against Alfalfa Weevil (*Hypera postica* Gyll.). *Iranian Journal of Genetics and Plant Breeding, Online First*. <https://doi.org/10.30479/ijgpb.2023.15387.1311>

Jordan, S. (2018). Yield to the resistance: The impact of nematode resistant varieties on alfalfa yield. *Natural Resource Modeling*, 31(2), Article 2. <https://doi.org/10.1111/nrm.12150>

Echelle plante - suite

Julier, B., Barre, P., Hébert, Y., Huguet, T., & Huyghe, C. (2003). *Methodology of alfalfa breeding: A review of recent achievements.*

Kakaei, M., & Mazaheri Laqab, H. (2023). Genetic Analysis of Path Coefficients of Some Traits in Relation with Tolerance to Alfalfa Leaf Weevil (*Hypera postica* Gell.). *Journal of Genetic Resources*, 9(1), 83–91.

<https://doi.org/10.22080/jgr.2023.24987.1343>

Kamphuis, L. G., Gao, L., & Singh, K. B. (2012). Identification and characterization of resistance to cowpea aphid (*Aphis craccivora* Koch) in *Medicago truncatula*. *BMC Plant Biology*, 12(1), 101. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-12-101>

Kamphuis, L. G., Guo, S.-M., Gao, L.-L., & Singh, K. B. (2016). Genetic Mapping of a Major Resistance Gene to Pea Aphid (*Acyrtosipon pisum*) in the Model Legume *Medicago truncatula*. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/ijms17081224>

Kamphuis, L. G., Lichtenzveig, J., Peng, K., Guo, S.-M., Klingler, J. P., Siddique, K. H. M., Gao, L.-L., & Singh, K. B. (2013). Characterization and genetic dissection of resistance to spotted alfalfa aphid (*Therioaphis trifolii*) in *Medicago truncatula*. *Journal of Experimental Botany*, 64(16), 5157–5172. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert305>

Moya, Y. S., Medina, C., Herrera, B., Chamba, F., Yu, L.-X., Xu, Z., & Samac, D. A. (2024). Genetic Mapping of Tolerance to Bacterial Stem Blight Caused by *Pseudomonas syringae* pv. *Syringae* in Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plants*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/plants13010110>

Musial, J. M., Aitken, K. S., Mackie, J. M., & Irwin, J. a. G. (2005). A genetic linkage map in autotetraploid lucerne adapted to northern Australia, and use of the map to identify DNA markers linked to resistance to *Phytophthora medicaginis*. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(4), Article 4. <https://doi.org/10.1071/AR04317>

Echelle plante - suite

Musial, J. M., Mackie, J. M., Armour, D. J., Phan, H. T. T., Ellwood, S. E., Aitken, K. S., & Irwin, J. A. G. (2007). Identification of QTL for resistance and susceptibility to *Stagonospora meliloti* in autotetraploid lucerne. *Theoretical and Applied Genetics*, 114(8), Article 8. <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0528-y>

Obert, D. E., Skinner, D. Z., & Stuteville, D. L. (2000). Association of AFLP markers with downy mildew resistance in autotetraploid alfalfa. *Molecular Breeding*, 6(3), Article 3. <https://doi.org/10.1023/A:1009672008702>

Postnikova, O. A., Hult, M., Shao, J., Skantar, A., & Nemchinov, L. G. (2015). Transcriptome Analysis of Resistant and Susceptible Alfalfa Cultivars Infected With Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita*. *PLOS ONE*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118269>

Shade, R. E., Thompson, T. E., & Campbell, W. R. (1975). An Alfalfa Weevil Larval Resistance Mechanism Detected in Medicago12. *Journal of Economic Entomology*, 68(3), 399–404. <https://doi.org/10.1093/jee/68.3.399>

Strizhov, N., Keller, M., Mathur, J., Koncz-Kálmán, Z., Bosch, D., Prudovsky, E., Schell, J., Sneh, B., Koncz, C., & Zilberstein, A. (1996). A synthetic cryIC gene, encoding a *Bacillus thuringiensis* δ -endotoxin, confers *Spodoptera* resistance in alfalfa and tobacco. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(26), 15012–15017. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.26.15012>

Thomas, J. C., Wasmann, C. C., Echt, C., Dunn, R. L., Bohnert, H. J., & McCoy, T. J. (1994). Introduction and expression of an insect proteinase inhibitor in alfalfa *Medicago sativa* L. *Plant Cell Reports*, 14(1), 31–36. <https://doi.org/10.1007/BF00233294>

Echelle plante - suite

Wang, Y., Bi, B., Yuan, Q. H., Li, X. L., & Gao, J. M. (2012). Association of AFLP and SCAR markers with common leafspot resistance in autotetraploid alfalfa (*Medicago sativa*). *Genetics and Molecular Research*, *11*(1), Article 1.

<https://doi.org/10.4238/2012.March.14.4>

Wu, Q., Zhang, X., Weng, X., Gao, L., Chang, X., Wang, X., & Lu, Z. (2022). Identification and Characterization of Resistance of Three Aphid Species on Contrasting Alfalfa Cultivars. *Insects*, *13*(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/insects13060530>

Yang, B., Zhao, Y., & Guo, Z. (2022). Research Progress and Prospect of Alfalfa Resistance to Pathogens and Pests. *Plants*, *11*(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/plants11152008>

Yu, L., Cui, J., Wang, D., Zhang, Q., & Xu, L. (2023). Comparison of *Acyrtosiphon pisum* probing behaviors on different alfalfa cultivars. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *26*(1), 102034. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2022.102034>

Yu, L.-X., Zheng, P., Bhamidimarri, S., Liu, X.-P., & Main, D. (2017). The Impact of Genotyping-by-Sequencing Pipelines on SNP Discovery and Identification of Markers Associated with Verticillium Wilt Resistance in Autotetraploid Alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00089>

Zhu, K., Zhang, N., Zhang, D., Ni, C., Liu, R., Che, W., Hidayat, U., & Tu, X. (2024). Aphid-resistant alfalfa cultivar minimizes the survival of spotted alfalfa aphid through upregulating plant defense compounds. *Crop Protection*, 106662.

<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106662>

Changement climatique

Baker, M. B., Venugopal, P. D., & Lamp, W. O. (2015). Climate Change and Phenology: *Empoasca fabae* (Hemiptera: Cicadellidae) Migration and Severity of Impact. *PLOS ONE*, 10(5), Article 5. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124915>

Bell, J. R., Botham, M. S., Henrys, P. A., Leech, D. I., Pearce-Higgins, J. W., Shortall, C. R., Brereton, T. M., Pickup, J., & Thackeray, S. J. (2019). Spatial and habitat variation in aphid, butterfly, moth and bird phenologies over the last half century. *Global Change Biology*, 25(6), 1982–1994. <https://doi.org/10.1111/gcb.14592>

Blackman, R. L. (1974). Life-cycle variation of *Myzus persicae* (Sulz.) (Hom., Aphididae) in different parts of the world, in relation to genotype and environment. *Bulletin of Entomological Research*, 63(4), 595–607. <https://doi.org/10.1017/S0007485300047830>

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Péan, C. (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.* (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

Chander, S. (2012). Impact of climate change on insects. In *Climate change impact, adaptation and mitigation in agriculture: Methodology for assessment and application*.

Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), Article 6405. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>

Changement climatique - suite

Gilbert, A., Simon, J.-C., Mieuzyet, L., Halkett, F., Stoeckel, S., Plantegenest, M., & Dedryver, C.-A. (2009). Climate and agricultural context shape reproductive mode variation in an aphid crop pest. *Molecular Ecology*, 18(14), Article 14.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04250.x>

Hance, T., Baaren, J. van, Vernon, P., & Boivin, G. (2007). Impact of Extreme Temperatures on Parasitoids in a Climate Change Perspective. *Annual Review of Entomology*, 52(Volume 52, 2007), 107–126.

<https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091333>

Le Lann, C., Lodi, M., & Ellers, J. (2014). Thermal change alters the outcome of behavioural interactions between antagonistic partners. *Ecological Entomology*, 39(5), 578–588. <https://doi.org/10.1111/een.12135>

Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37–42. <https://doi.org/10.1038/nature01286>

Sanders, D., Kehoe, R., van Veen, F. F., McLean, A., Godfray, H. C. J., Dicke, M., Gols, R., & Frago, E. (2016). Defensive insect symbiont leads to cascading extinctions and community collapse. *Ecology Letters*, 19(7), 789–799.

<https://doi.org/10.1111/ele.12616>

Sun, Y., Guo, H., & Ge, F. (2020). Medicago truncatula–pea aphid interaction in the context of global climate change. In *The Model Legume Medicago truncatula* (pp. 369–376). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119409144.ch45>

Tougeron, K. (2019). Diapause research in insects: Historical review and recent work perspectives. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 167(1), 27–36. <https://doi.org/10.1111/eea.12753>

Changement climatique - suite

Tougeron, K., Brodeur, J., Le Lann, C., & van Baaren, J. (2020). How climate change affects the seasonal ecology of insect parasitoids. *Ecological Entomology*, 45(2). <https://doi.org/10.1111/een.12792>

Tougeron, K., Damien, M., Le Lann, C., Brodeur, J., & van Baaren, J. (2018). Rapid Responses of Winter Aphid-Parasitoid Communities to Climate Warming. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00173>

Futurs ravageurs

Bragard, C., Di Serio, F., Gonthier, P., Jaques Miret, J. A., Justesen, A. F., Magnusson, C. S., Milonas, P., Navas-Cortes, J. A., Parnell, S., Potting, R., Reignault, P. L., Thulke, H.-H., Van der Werf, W., Civera, A. V., Yuen, J., Zappalà, L., Gregoire, J.-C., Malumphy, C., Campese, C., ... MacLeod, A. (2021). Pest categorisation of *Phenacoccus solenopsis*. *EFSA Journal*, 19(8), e06801. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6801>

EPPO. (2015). Study on Pest Risks Associated with the Import of Tomato Fruit. *EPPO Paris*, 1068.

EPPO PM 3/82 (1) Inspection of places of production for *Xylella fastidiosa*. (2016). *EPPO Bulletin*, 46(3), 407–418. <https://doi.org/10.1111/epp.12328>

EPPO PM 9/21(1) *Popillia japonica*: Procedures for official control. (2016). *EPPO Bulletin*, 46(3), 543–555. <https://doi.org/10.1111/epp.12345>

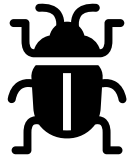
Lopes, J. R. S., Daugherty, M. P., & Almeida, R. P. P. (2010). Strain origin drives virulence and persistence of *Xylella fastidiosa* in alfalfa. *Plant Pathology*, 59(5), 963–971. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02325.x>

Sisterson, M. S., Thammiraju, S. R., Lynn-Patterson, K., Groves, R. L., & Daane, K. M. (2010). Epidemiology of Diseases Caused by *Xylella fastidiosa* in California: Evaluation of Alfalfa as a Source of Vectors and Inocula. *Plant Disease*, 94(7), 827–834. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-7-0827>


Vieira, V. (n.d.). *The Japanese beetle Popillia japonica Newman, 1838 (Coleoptera: Scarabaeidae) in the Azores islands.*

Annexes

Fiche ravageur



- Identification, biologie, distribution, historique (en France), méthodes d'échantillonnage, possibilité d'élevage
- Méthodes de lutte (alternatives aux pesticides)
 - Chimique
 - Variétale
 - Culturelle
 - Biologique
 - Comportementale

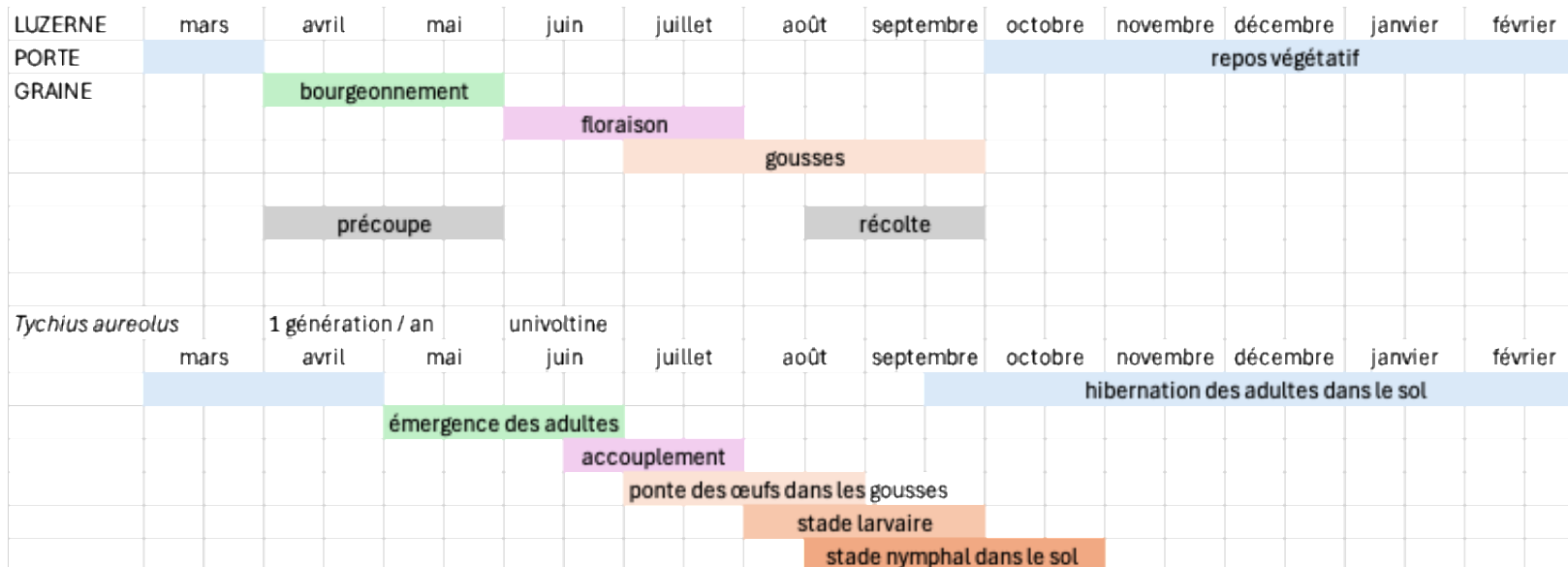
} Connues
Envisageables 



Tychius aureolus (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES

- Europe
- Luzerne + autres fabacées
- Les larves sont pondues et se développent dans les gousses et dévorent les graines. La nymphose a lieu sous le sol. Les adultes hivernent dans le sol de la luzernière.
- Pertes de rendement grainier jusqu'à 30% (FNAMS)





Tychius aureolus (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES

- Europe
- Luzerne + autres fabacées
- Les larves sont pondues et se développent dans les gousses et dévorent les graines. La nymphose a lieu sous le sol. Les adultes hivernent dans le sol de la luzernière.
- Pertes de rendement grainier jusqu'à 30% (FNAMS)

La **lutte chimique** contre le *Tychius* se complique suite au retrait de matières actives (Grenelle de 2011) et le développement de résistance aux insecticides (Tiwari et al 2024).

Recherche en cours sur les métabolites secondaires des plantes, notamment les huiles essentielles :

- l'huile essentielle du **Pélargonium à forte odeur** (*Pelargonium graveolens*) a des propriétés insecticides efficaces de contre *Tychius aureolus* mais aussi *Hypera postica* (Ainane et al 2021).
- La **nanoencapsulation** des huiles essentielles les rendrait plus efficaces pour contrôler les ravageurs *Curculionidae* (Garrido-Miranda et al 2022)
- Des composés présents dans le bois de **Cyprès** (l'huile essentielle, l'extrait de dichlorométhane et des sesquiterpènes) sont efficaces sur *H. obscurus* (*Curculionidae*) (Espinoza et al 2018)



Tychius aureolus (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES

Lutte culturale

✗ travail superficiel du sol après la récolte pour exposer les nymphes/imagos aux prédateurs et aux températures froides (Dumortier, 2014). Les essais de travail du sol par la FNAMS pour lutter contre les infestations de *Tychius* n'ont pas été concluants (BS n° 265).

Résistance variétale

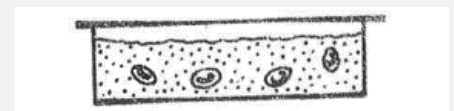
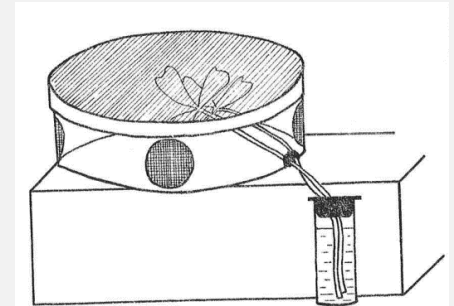
?

Élevage en laboratoire

✗ Élevage continu depuis l'œuf jusqu'à l'adulte compromis par la difficulté à faire fructifier la luzerne (allogame)

✓ Élevage des larves sorties des gousses (jusqu'au stade adulte)

Naïbo (1972)





Tychius aureolus (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES

Lutte comportementale

Pièges visuels

Pièges jaunes collants efficaces à 0,5-1,0 m au-dessus du sol (Silva et al 2018).

Phéromones émises par les insectes

Attraction de *Anthonomus sp.* par un groupe de leurres commerciaux composés de phéromones d'agrégation mâle et de volatiles de plantes hôtes (Revynti et al 2021). Une phéromone d'agrégation d'*A. musculus* attire ces charançons en champs de myrtilles/canneberges. Attraction supérieure des femelles avec ajout de volatiles de feuilles vertes (Szendrei et al 2009).

Composés volatils émis par les plantes hôtes : importance de l'olfaction dans la reconnaissance des plantes hôtes par les charançons *Curculionidae*

Plusieurs composés émis par les plantes ont été identifiés comme suscitant une réponse comportementale d'attraction de la part de charançons : charançon des myrtilles *Aegorhinus superciliosus*, charançon des canneberges *Anthonomus musculus*, charançons des pommes *Anthonomus pomorum*, charançon des fraisiers *Anthonomus rubi*, le charançon des pelouses *Listronotus maculicollis* ...

Les kairomones stade gousse sont attractives, mais les pièges ne sont pas adaptés au comportement de l'insecte (Coussy et al 2017, projet AM&BAS, INRA et FNAMS)



Tychius aureolus (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES

Lutte biologique efficace sur des charançons au mode de vie similaire à *Tychius aureolus*

Hyménoptère parasitoïde

Identification de *Pteromalus sequester*, grâce à un travail collaboratif entre la FNAMS, la FREDON Rhône-Alpes, FLOR'INSECTES, l'INRA de Versailles (UMR PISC) et l'UFS, conduit entre 2008 et 2011

Peu de données sur cette espèce



Champignons entomopathogènes

Khun et al (2020) : Etude de l'effet des entomopathogènes fongiques (*Metarhizium spp.* et *Beauveria spp.*) sur les charançons dont le cycle de vie est similaire au *T. aureolus*, parmi les *Curculio sp.* (*Curculioninae*).

champignons entomopathogènes = bonne efficacité

Ils rendent les charançons plus susceptibles aux insecticides



Nématodes entomopathogènes

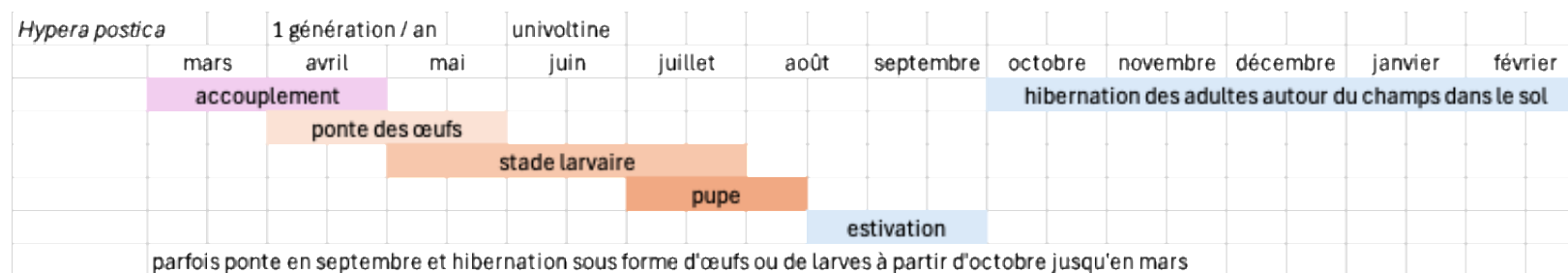
susceptibles de fournir un meilleur contrôle des charançons actifs *sous* la surface du sol que les champignons (Khun et al 2020)



Hypera postica (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DU FEUILLAGE

- Origine Eurasienne, distribué dans l'hémisphère nord
- Luzerne + autres fabacées
- Les larves dévorent les feuilles. L'hivernation de l'insecte peut se faire sous forme d'adulte, de nymphe, de larve ou d'œuf (en cas de ponte tardive, notamment dans le sud).
- Nuisibilité en augmentation





Hypera postica (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DU FEUILLAGE

- Origine Eurasienne, distribué dans l'hémisphère nord
- Luzerne + autres fabacées
- Les larves dévorent les feuilles. L'hivernation de l'insecte peut se faire sous forme d'adulte, de nymphe, de larve ou d'œuf (en cas de ponte tardive, notamment dans le sud).
- Nuisibilité en augmentation

Lutte chimique

Les insecticides utilisés pour lutter contre ce ravageur sont souvent nocifs pour les abeilles et autres insectes utiles (Reddy et al 2016).

L'effet de plusieurs biopesticides (microbiens et botaniques) a été évalué sur le phytonome de la luzerne en laboratoire et en champs (ex : Azadiractin® et Biobit® sont toxiques pour *H. postica*, Alizadeh et al 2019).



Hypera postica (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DU FEUILLAGE

Lutte culturale

La **coupe** d'hiver (janv-fev) de la luzerne est efficace pour réduire les populations espagnoles de *H. postica* au printemps et favorise également le taux de parasitisme des larves par *Bathyplectes anura* et *B. curculionis* (Levi-Mourao, Núñez et al 2022).

La méthode de fauchage a un effet sur les populations de phytonome :

la coupe à moins de 4cm du sol élimine la plupart des œufs (Levi-Mourao, Núñez et al 2022). Le fauchage à la tondeuse laser coupe et **ramasse presque toutes les tiges**, alors que la faucheuse à disque, moins infaillible, laisse les tiges dans le champ, favorisant la survie des œufs/larves (Summers, 1998 ; Blodgett et al., 2000 ; Blodgett et Lensen, 2004).

Effets de la coupe hivernale moins évidents les années propices au développement de *Zoophthora phytonomy* (précipitations hiver et printemps), champignon entomopathogène attaquant *Hypera postica* en France (Papierok et al 1986) et en Espagne (Pons and Núñez 2020).

Dans les champs non précoupés, le taux d'infection des larves par ce champignon est plus élevé que dans les champs précoupés (corrélation positive entre la densité de *H. postica* et l'effet de biocontrôle de *Z. phytonomy*)

Agroforesterie : l'association de culture de luzerne et noyer augmente le nombre d'hyménoptères parasites et/ou de prédateurs de *Hypera postica* présents (principalement le parasitoïde *Bathyplectes* et le champignon *Zoophthora*) et augmente significativement le taux de parasitisme des larves par rapport à la luzerne cultivée traditionnellement en monoculture (Stamps et al 2002, 2005).



Hypera postica (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DU FEUILLAGE



Résistance variétale

Plusieurs variétés de luzerne sont considérées comme modérément tolérantes au charançon de la luzerne et peuvent résister à certains dégâts causés par l'alimentation.

Essais avec des variétés de luzerne à indices de dormance variables réalisés en 2018 et 2019 par les conseillers de la Chambre d'agriculture des Alpes-de-Haute-Provence : les **variétés de luzerne à indice de dormance faible** (repos végétatif précoce à l'automne et redémarrage tardif au printemps) sont moins attaquées au début du printemps que les variétés plus précoces, et ont un rendement plus élevé.

En Iran, des **luzernes génétiquement modifiées** résistent mieux aux larves de *H. postica* (Tohidfar et al. 2013).

Elevage de *H. postica* possible: Ohto 1996 (Japan), Levi-Mourao et al. 2022 (Espagne)



Hypera postica (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DU FEUILLAGE

Lutte biologique

USA :

1900s *H. postica*, puis introduction volontaire de ~10 ennemis naturels exotiques.

1993 parasitisme par 3 esp. de *Bathyplectes* dans un champs de luzerne = 13% max

2009-2010 parasitisme par ***B. curculionis*** = 37,2%, *Oomyzus incertus* = 3,5%

Efficacité complémentaire de ces 2 espèces (Rand 2013).

Japon :

1980s *H. postica*, puis introduction volontaire de plusieurs ennemis naturels dont *Bathyplectes anura*.

1990s parasitisme < 5%

2003 parasitisme = 40%

Les dégâts causés par le phytonome sur la vesce de Chine au Japon ont diminués de 2001 à 2004 et sont corrélés négativement avec le parasitisme de l'année précédente



Hypera postica (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DU FEUILLAGE

Lutte biologique

USA :

1900s *H. postica*, puis introduction volontaire de ~10 ennemis naturels exotiques.

1993 parasitisme par 3 esp. de *Bathyplectes* dans un champs de luzerne = 13% max

2009-2010 parasitisme par ***B. curculionis*** = 37,2%, *Oomyzus incertus* = 3,5%

Efficacité complémentaire de ces 2 espèces (Rand 2013).

Japon :

1980s *H. postica*, puis introduction volontaire de plusieurs ennemis naturels dont *Bathyplectes anura*.

1990s parasitisme < 5%

2003 parasitisme = 40%

Les dégâts causés par le phytonome sur la vesce de Chine au Japon ont diminués de 2001 à 2004 et sont corrélés négativement avec le parasitisme de l'année précédente

Pas de synchronisation spatiale significative n'a été mise en évidence entre *H. postica* et ses prédateurs ***Coccinellidae*** et ***Nabidae*** (Shrestha et al 2021).



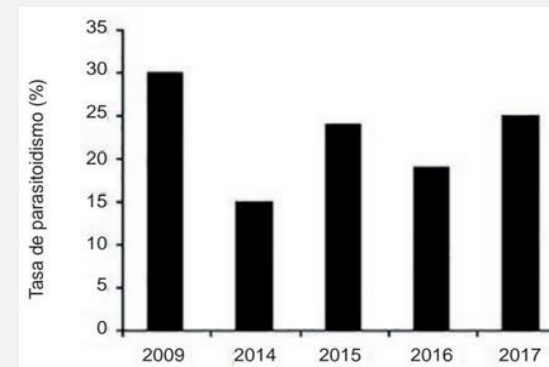
Hypera postica (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DU FEUILLAGE

Lutte biologique

Europe : *B. anura* est largement prédominant sur *B. curculionis* (Levi-Mourao, Núñez et al 2022), et s'explique par une plus forte capacité de reproduction et un comportement plus agressif de *B. anura* (Harcourt, 1990).

Taux de parasitisme en Espagne entre 2009 et 2017 ~20%



(Levi-Mourao, Núñez et al 2022)



Les **virus entomopathogènes** peuvent représenter une ressource de biocontrôle largement inexplorée. François et al (2021) ont identifié de nouvelles ressources virales entomopathogènes potentiellement adaptées aux stratégies de biocontrôle contre *H. postica*.



Les larves de *H. postica* sont sensibles aux **champignons** du genre *Beauvaria*, selon des expériences en laboratoire (Baysal et al 2018) et en champs de luzerne, avec un bon niveau d'infection (23,25 % des adultes de *H. postica* ayant hiverné dans les zones de culture de la luzerne en Turquie, Atay et al 2015).

Le **champignon** *Entomophthora phytonomi* infecte également les larves de phytonome, ce qui a participé à réduire la population de phytonome au Canada (Harcourt et al 1977).



Hypera postica (Coléoptère, famille des *Curculionidae*)

RAVAGEUR DU FEUILLAGE

Lutte comportementale

Le vol est le mode de dispersion de *H. postica*.

Pourtant, peu d'articles traitent de la lutte comportementale basée sur des pièges olfactifs

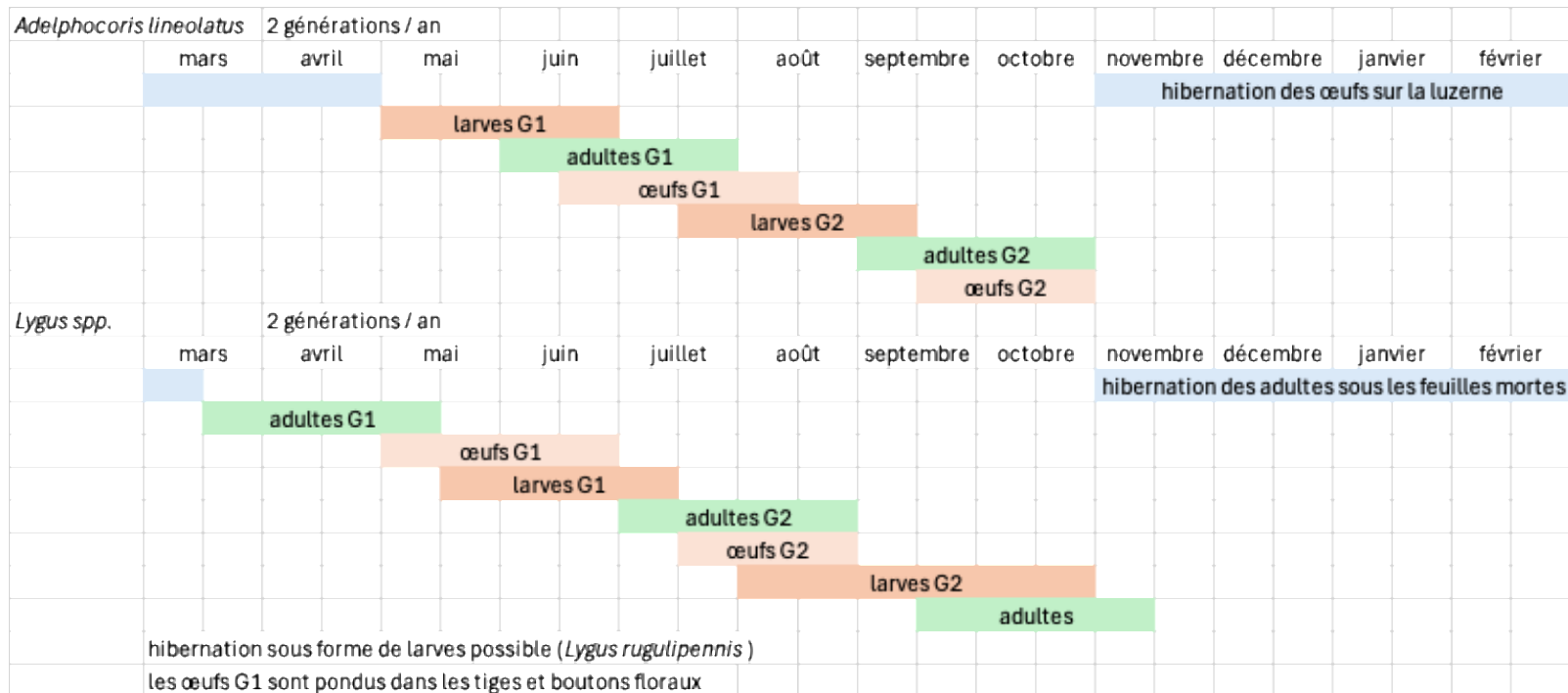
Un article de 1967 suggère que le vol de ce charançon pourrait être majoritairement passif (vent) sans contrôle de direction ni de distance (Prokopy et al 1967)

L'herbivorie du charançon *Hypera rumicis* déclenche la production de composés volatils par la plante (*Rumex confertus*), et les mélanges concentrés de ces composés peuvent être répulsifs pour les femelles et mâles de *H. rumicis* (Piesik et al 2016), selon les concentrations (Piesik et al 2022).

Punaises mirides (Hémiptère, famille des *Miridae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES

- *Lygus sp.* (*L. rugulipennis* ; *L. pratensis* ; et d'autres hors d'Europe) et *Adelphocoris lineolatus*, de la famille des *Miridae*
- Hémisphère nord
- Généralistes (luzerne, coton, pêcher, framboisier, pomme de terre, céréales, betteraves...)
- Les punaises dévorent les bourgeons et fleurs, mais surtout les gousses vertes et les graines. *A. lineolatus* passe l'hiver au stade œuf alors que *Lygus spp.* le passe au stade adulte





Punaises mirides (Hémiptère, famille des *Miridae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES



- *Lygus* sp. (*L. rugulipennis* ; *L. pratensis* ; et d'autres hors d'Europe) et *Adelphocoris lineolatus*, de la famille des *Miridae*
- Hémisphère nord
- Généralistes (luzerne, coton, pêcher, framboisier, pomme de terre, céréales, betteraves...)
- Les punaises dévorent les bourgeons et fleurs, mais surtout les gousses vertes et les graines. *A. lineolatus* passe l'hiver au stade œuf alors que *Lygus* spp. le passe au stade adulte

Lutte chimique

Aujourd'hui, avec la diminution de l'utilisation des insecticides à large spectre, *Adelphocoris* sp. et *Lygus* sp. font partie des ravageurs dont l'importance économique augmente (Lu et al. 2008).



Punaises mirides (Hémiptère, famille des *Miridae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES



Lutte culturale

?



Résistance variétale

Certaines variétés de fraisiers présentent des niveaux de productivité similaires mais des proportions différentes de fruits endommagés, suggérant des résistances variables aux punaises (Rhainds et al 2001).

Etudes en cours sur les mécanismes d'interaction luzerne-punaises (ex: glandes salivaires de *L. lineolaris*, Showmaker et al 2016). Aux USA, recherche en cours pour développer des variétés résistantes au *Lygus* (Mueller & Goodell).

Elevage de *Lygus herperus* : Spurgeon 2012 (USA). Adaptation aux conditions de laboratoire avec perte de diapause après 4 générations.



Punaises mirides (Hémiptère, famille des *Miridae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES

Lutte biologique

En Europe : plusieurs ennemis naturels dont *Orius laevigatus*, *Chrysoperla* et *Nabis ferus* qui prédatent *L. rugulipennis*, mais leur efficacité dans le contrôle des populations de *Lygus* n'est pas suffisante (Fitzgerald & Jay 2013 ; Solomon et al 2001).

Abondance de l'hyménoptère *Peristenus digoneutis* (Nord de l'Italie) corrélée à celle de *L. rugulinipennis* dans les champs de luzerne (Pansa et al 2012). Mais trop faible taux de parasitisme pour un contrôle biologique efficace (Pansa et al 2012).

Aux **USA**, les populations de *Lygus* dans les champs de luzerne ont diminué de 65% après l'introduction du parasitoïde européen *P. digoneutis* (Day 2005).

L'introduction de *P. digoneutis* n'a pas été efficace au **Canada** (surement à cause du climat, Haye et al 2012). Tests d'introduction de *P. relictus* (prédominant au Sud de l'Europe) en cours (Day et Hoelmer, 2008).

Essais d'application d'isolats du champignon *Beauveria bassinia* dans des champs de luzerne au Canada n'ont pas eu d'effets significatifs sur les populations de *Lygus hesperus*, malgré un bon niveau d'infection (Noma et Strickler 1999 ; McGuire et al 2006).





Punaises mirides (Hémiptère, famille des *Miridae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES

Lutte comportementale

Bonne capacité de vol actif (Shrestha et al 2022)

Composition de **phéromones sexuelles femelles** de *L. rugulipennis* attirant les mâles (Innocenzi et al 2004).
Mêmes composés dans les phéromones sexuelles d'autres punaises telles qu'*Adelphocoris lineolatus* (Koczor et al 2021) et *Lygus rugulipennis*, *Lygus pratensis*, *Lygocoris pabulinus*, et *Liocoris tripustulatus* (Fountain et al 2014).

Expériences en champs en Hongrie : *L. rugulipennis* et *A. lineolatus* sont attirées par des **composés odorants synthétiques de fleurs**. Ajout de composés de phéromones sexuelles permet d'attirer les mâles et les femelles *A. lineolatus* (Koczor et al 2021).



Récemment, Fountain et al (2021) ont mis au point une technique de **push-pull** qui fonctionne sur une population de *Lygus rugulipennis* s'attaquant aux framboisiers.

push = butyrate d'hexyle (phéromone d'alarme femelle ?)

pull = phéromone sexuelle femelle synthétisée + composé odorant synthétique de fleurs.

L'efficacité de ces techniques basée sur les odeurs dépend de la **méthode dont les mélanges sont distribués** en champs : tubes capillaires en verre > flacons en polyéthylène (Innocenzi et al. 2004, 2005)



Punaises mirides (Hémiptère, famille des *Miridae*)

RAVAGEUR DES INFLORESCENCES

Lutte comportementale

Pièges visuels :

Pièges collants bleus > jaunes pour *Lygus rugulipennis* (Holopainen et al 2001).

Le moment de la journée, la taille du piège ainsi que son placement influencent l'efficacité des pièges visuels.

Dans les champs de luzerne, les *Lygus* mâles étaient plus susceptibles que les femelles d'être capturés sur des pièges placés à 20 cm au-dessus du sol ; les pièges placés à **50 et 100 cm au-dessus du sol** ont capturé autant de mâles que de femelles. Les pièges placés dans une **zone dégagée entre deux champs de luzerne** sont les plus efficaces. Les pièges en bordure et au centre du champ capturent le moins de punaises (Blackmer et al 2008).

Comparaison avec les pièges à phéromones : dans une expérience réalisée dans une serre par van Tol et al (2022), les pièges à eau avec de la lumière blanche LED ont attrapé 20 à 30 fois plus de *Lygus rugulipennis* que les pièges à phéromones.



Merci !