Anticiper les régulations naturelles

Mode d'emploi de l'arbre d'évaluation multicritères DEXi ARENA portant sur les auxiliaires volants prédateurs et parasitoïdes de pucerons au printemps

Prévoir le « potentiel » auxiliaires des parcelles à l'aide d'un outil d'évaluation multicritères

Projet CasDAR
« Anticiper les REgulations NAturelles. Evaluation de la régulation naturelle des ravageurs en grandes cultures par les auxiliaires des cultures : réseau d'observations et construction de ressources pour intégrer ce service dans le raisonnement de la protection intégrée.» ARENA (2017-2020)

Table des matières

Introduction ... 2
Objectif et intérêt de l'approche multicritère ... 2
Rappel du contexte des études réalisées lors du CASDAR ARENA ... 3
Méthodes suivies pour la conception des arbres DEXi. ... 3
Usage et évaluation de DEXi ARENA dans le cadre du projet CasDAR ... 4
Structure de l'arbre d'évaluation multicritère ... 5
Bilan intermédiaire ... 8
Mode d'emploi de l'outil Auximore DEXi_ARENA ... 10
Le potentiel auxiliaire ... 10
La parcelle et son environnement ... 11
Paysage autour de la parcelle (500m) ... 12
Surface des cultures prairies, bosquets et forêts dans un rayon de 500 m ... 12
Forêts, bois et bosquets ... 14
Surface des grandes cultures ... 15
Prairies et jachères ... 16
Linéaires haies, bandes enherbées, chemins dans un rayon de 500 m ... 17
Linéaires haies ... 18
Linéaires bandes enherbées ... 20
Linéaires de chemins enherbés ... 23
Bords de parcelles ... 23
Bandes enherbées et/ou fleuries (BH) ... 23
Composition de la bande enherbée ... 24
Modalité d'entretien ... 24
Importance des bandes ... 24
Haies ... 25
Nombre de strates ... 25
Importance des haies ... 25
Cultures autour de la parcelle ... 26
Cultures ayant du pollen entomophile ... 26
Système de culture ... 27
Succession culturale ... 28
Culture précédente ... 28
Présence de prairie ... 29
Diversité des cultures ... 30
Nombre de culture principale ... 31
Equilibre entre les cultures d'hiver et de printemps ... 31
Itinéraire technique de la culture en place ... 31
Culture en place ... 32
Culture principale ... 32
Culture associée ... 33
Protection des cultures et fertilisation ... 35

Type de protection insecticide 35
Type de désherbage 37
Type de fertilisation 38
Mode de gestion de l'interculture 39
Travail du sol 40
Gestion des résidus de culture 41
Culture intermédiaire 42
Culture intermédiaire en place 42
Floraison de l'interculture 43
Culture intermédiaire 43
Des effets non pris en compte dans l'arbre : 43

Effet du climat 43
Effet « proies » 44
Pour mémoire : autres facteurs non pris en compte 45
Bibliographie : 45

Introduction

Objectif et intérêt de l'approche multicritère

L'usage d'outils d'évaluation multicritère présente de nombreux atouts afin de concevoir des systèmes de production végétale fiables, prévisibles et économiquement efficaces. En effet, dans le cadre des démarches ESR (Efficience-Substitution-Reconception) (Hill, MacRae, 1996), destinées à soutenir la transition vers une agriculture durable, la reconception est la démarche qui induit les changements les plus profonds, mais qui permet potentiellement de générer les solutions les plus durables. Cette démarche nécessite des outils d'évaluation multicritère pour vérifier sur un ensemble d'indicateurs si les solutions proposées vont bien dans le sens souhaité par les acteurs (Vereijken, 1992 ; Lanson *et al.*,2008).

Conçu par Marko Bohanec, DEXi est un logiciel qui permet de concevoir des systèmes experts (DEcision eXpert) afin d'évaluer et d'analyser différents scénarios décrits à partir d'un ensemble de critères qualitatifs. Ces derniers correspondent aux feuilles de l'arbre de décision. Le modèle multicritère est une structure hiérarchique qui décompose la question à traiter la rendant moins complexe et plus facile à résoudre que la question dans son ensemble (Bohanec, 2000). Ce logiciel a déjà été utilisé pour évaluer des problèmes spécifiques de systèmes agricoles, tels que la qualité des sols, l'impact écologique / économique des cultures génétiquement modifiées, la durabilité de système de culture (Masc), DEXi PM (Integrated Pest Management), IPSIM (Injury Profile SIMulator) (Bohanec *et al.*, 2007, Robin *et al.*, 2013).

L'outil DEXi proposé dans le cadre du projet ARENA est destiné à être utilisé par des conseillers lors d'ateliers d'animation de groupes d'agriculteurs afin de construire des prototypes de systèmes innovants favorables aux auxiliaires liés aux pucerons. Il a pour objectif de caractériser les performances selon différents critères d'évaluation, afin de repérer *a priori* les systèmes les plus performants en termes de développement des auxiliaires. En donnant l'opportunité de faire un diagnostic des systèmes pratiqués, il contribue à évaluer *a priori* l'effet de la mise en œuvre de leviers favorisant le potentiel de population des auxiliaires considérés. L'intérêt de cette démarche est d'explorer rapidement

le champ des possibles en évaluant les conséquences de la mise en œuvre de telle ou telle pratique.

Rappel du contexte des études réalisées lors du CASDAR ARENA

Le projet CasDAR ARENA a pris la suite du projet AuxiMore, (2012-2014) dans lequel quatre arbres de décision type DEXi (DEXi-syrphes, DEXi-coccinelles, DEXi-chrysopes et DEXi-micro-hyménoptères parasitoïdes de pucerons) avaient été construits à dires d'experts pour évaluer le potentiel d'accueil de chaque auxiliaire dans les parcelles agricoles. Ils permettaient de réaliser une évaluation *a priori* d'un système de culture et de son environnement proche vis-à-vis du potentiel de développement de ces quatre groupes d'auxiliaires connus pour réguler les populations de pucerons en grandes cultures.

Les analyses faites plus récemment dans le cadre du projet ARENA sur ces différents outils ont montré que les résultats obtenus, sans être identiques, étaient souvent du même ordre de grandeur. De plus, faire fonctionner un seul outil est bien plus rapide que quatre. Tous les critères d'entrée (ou feuilles de l'arbre) n'étant pas semblables, cela rendait plus complexe les phases de renseignement de la description des systèmes de culture et de l'environnement proche. Ainsi, pour simplifier les évaluations de systèmes, nous avons donc rassemblé ces outils dans un DEXi ARENA commun.

Méthodes suivies pour la conception des arbres DEXi.

A partir des connaissances expérimentales ou bibliographiques, nous avons pu inventorier de nombreuses relations entre les pucerons des grandes cultures, leurs auxiliaires (hyménoptères parasitoïdes, syrphes, chrysopes et coccinelles), le système de culture et l'environnement de la parcelle. Ces données complétées par la consultation d'experts ont permis de construire l'architecture des arbres d'évaluation multicritère du projet Auximore puis celui du projet DEXI ARENA dont l'objectif recentré est d'évaluer le potentiel de présence des auxiliaires « volants » des grandes cultures permettant de réguler les populations de pucerons au printemps. A la suite d'une description assez simple du système de culture et de l'environnement parcellaire proche, il est possible d'identifier des pratiques et/ou des aménagements pouvant améliorer le système de culture du point de vue de ses performances concernant le développement d'auxiliaires des pucerons des grandes cultures.

La construction de l'arbre DEXi ARENA a demandé de rassembler et d'organiser entre eux les principaux facteurs jouant un rôle sur l'évolution des populations d'auxiliaires. Ils correspondent à des critères de bases « ou les feuilles de l'arbre » qui décrivent les parcelles à évaluer. Pour le fonctionnement de l'outil, il est nécessaire de renseigner ces critères qui sont décrits par 3 ou 4 classes de « défavorable » à « très favorable » du point de vue de l'agriculteur. Ce classement s'effectue selon l'impact positif ou négatif de la mise en œuvre du critère sur les peuplements d'auxiliaires.

Ensuite, les « critères agrégés ou nœuds internes de l'arbre » sont également décrits par 3 à 4 classes. Des fonctions d'utilité donnent à chaque critère agrégé une valeur calculée à partir des valeurs de 2 ou 3 critères d'un niveau inférieur. Cette valeur du critère agrégé peut être justifiée par la bibliographie ou une expertise. Ainsi, la table de contingence détermine la classe de chaque critère agrégé en fonction de la valeur des classes des critères du niveau inférieur. Cette pondération affectée à chaque critère peut être indiquée sous forme de pourcentage.

En termes de définition, le « potentiel auxiliaires » traduit la capacité d'accueil et de maintien des auxiliaires (coccinelles, syrphes, chrysopes et hyménoptères parasitoïdes) sur une parcelle en tenant compte de son système de culture et de l'environnement proche. Ce bilan

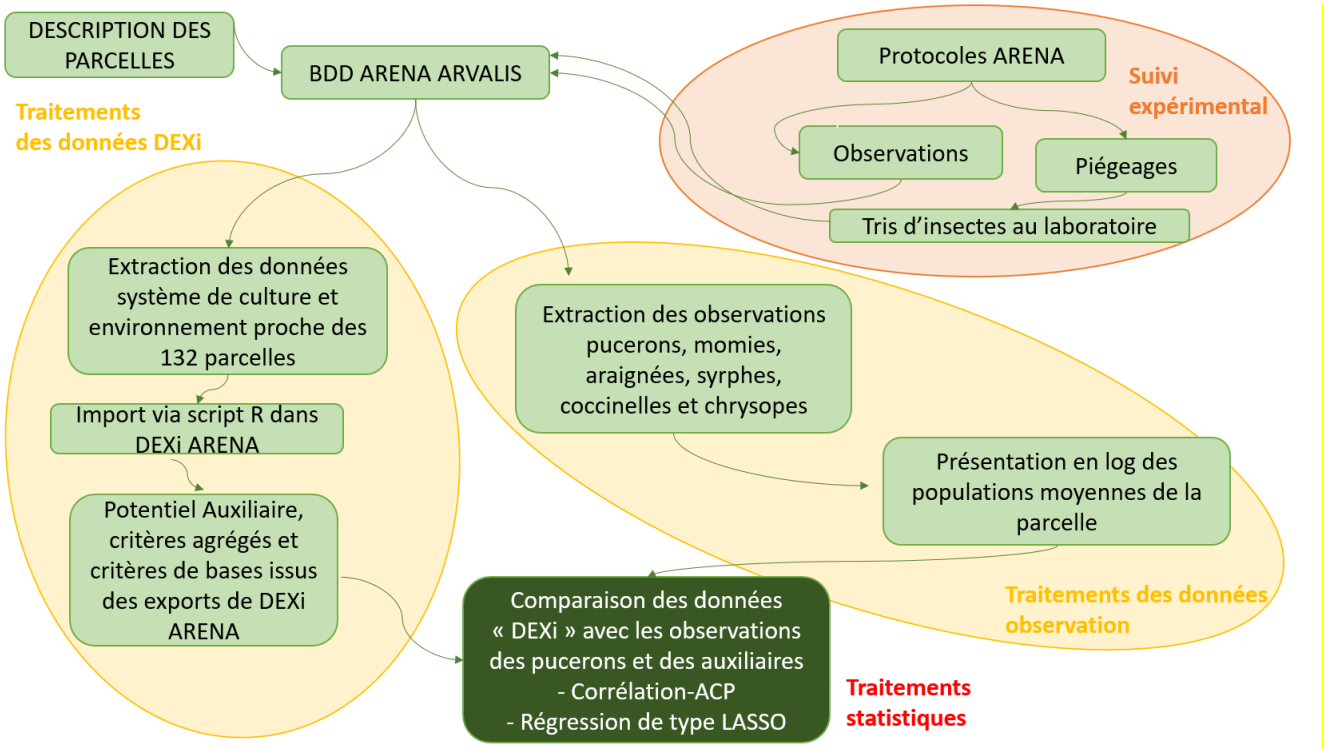
est conçu à la fin du printemps ou au début de l'été, moment où le potentiel de régulation biologique sera le plus efficace en grandes cultures vis-à-vis des pucerons de printemps. Ce potentiel ne tient pas compte de la régulation naturelle effective que pourraient procurer ces auxiliaires, pour ce faire il faudrait compléter de manière importante l'outil produit avec des connaissances relatives à ce sujet et qui sont encore assez rares.

Usage et évaluation de DEXi ARENA dans le cadre du projet CasDAR

Durant le projet ARENA (2017-2020) des protocoles communs ont été réalisés dans un réseau de parcelles situées en Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne Franche-Comté, Hauts de France, Centre Val de Loire et Pays de Loire. La base de données du projet hébergée par ARVALIS contient les caractéristiques des parcelles et toutes les observations des pucerons et leurs auxiliaires. La saisie des données a été scindée en trois phases : « Gestion des pièges », « Gestion de l'itinéraire technique » et « Saisies des observations ». L'exportation des données est ensuite traitée avec un script R afin qu'elles soient importées dans DEXi. Cela permet ainsi d'obtenir une évaluation du « potentiel d'accueil » des auxiliaires pour chaque parcelle sur l'ensemble des critères renseignés et agrégés. Un transfert des sorties dans un fichier permet de réaliser aisément des figures illustratives.

Une phase du projet a été consacrée à vérifier la représentativité de l'outil DEXi ARENA par la comparaison des données issues de DEXi avec les observations de terrain.

La figure 1 ci-dessous présente les différentes données utilisées et leur circulation lors de cette étude.



Figue 1 : Procédure de gestion des données en vue de leur comparaison aux résultats de l'outil DEXi ARENA.

Les tableaux 1 et 2 présentent quelques caractéristiques de ces parcelles.

Tableau 1 : Répartition des cultures des parcelles étudiées dans le réseau

Type de culture	Effectif	Pourcentage
Maïs	12	9 %
Betterave, pomme de terre, orge de printemps	19	14 %
Pois, féverole, tournesol, soja, céréales d'hiver	88	67 %
Colza, luzerne	13	10 %
Total	132	

Tableau 2 : Répartition des observations de pucerons et d'auxiliaires dans les 132 parcelles retenues

Organismes observés	Effectif de présence sur les 132 parcelles	Pourcentage
Pucerons	111	84 %
Momies de pucerons	87	66 %
Araignées	100	76 %
Syrphes (larves +adultes)	97	73 %
Coccinelles (larves + adultes)	72	54 %
Chrysopes (larves +adultes)	33	25 %

Ainsi, hormis les larves et les adultes de chrysopes, les pucerons et les autres auxiliaires ont été très régulièrement observés dans le réseau de parcelles. Dans les phases suivantes de l'étude nous avons utilisé différentes méthodes statistiques (matrices de corrélations, ACP, régression de type Lasso) pour comparer les évaluations de chaque parcelle par DEXi avec les populations moyennes des pucerons et/ou auxiliaires observés dans les parcelles (tableau 2). Cela concerne les observations réalisées au printemps et au début de l'été.

Structure de l'arbre d'évaluation multicritère

Les critères de base de l'arbre DEXi ARENA présentés dans le tableau 3 suivant ont pu être renseignés de manière assez complète pour les 132 parcelles.

Tableau 3 : Critères de base et classes utilisées dans DEXi ARENA, en rouge défavorables et en vert favorables aux auxiliaires (autres couleurs classement intermédiaires)

Forêts, bois et bosquets	Surface (s)<5 %	5<s<30 %	s>30 %	
Surface des grandes cultures	s>90 %	25<s<90 %	s<25 %	
Prairies et jachères	s<10 %	10<s<25 %	s>25%	
Linéaires haies	moins de 1 km	de 1 à 3 km	plus de 3 km	
Linéaires bandes enherbées	moins de 1 km	de 1 à 3 km	plus de 3 km	
Linéaires chemins enherbés	moins de 1 km	de 1 à 3 km	plus de 3 km	
Composition des bandes enherbées	pas de bandes enherbées	BH composées majoritairement de graminées	BH avec des graminées et des dicotylédones	
Modalités d'entretien	labour ou absence	broyage précoce (avant floraison)	broyage tardif ou fauche précoce	fauche tardive (après floraison)
Importance des bandes	moins de 25 % de la périphérie de la parcelle	entre 25 et 50 % de la périphérie de la parcelle	plus de 50 % de la périphérie de la parcelle	
Nombre de strates	pas de haie	haies composées d'une seule strate de ligneux	deux strates de ligneux sans strate herbacée développée ou une strate ligneuse et une strate herbacée	au moins deux strates de ligneux et une strate herbacée développée
Importance des haies	moins de 25 % de la périphérie de la parcelle	entre 25 et 50 % de la périphérie de la parcelle	plus de 50 % de la périphérie de la parcelle	
Cultures ayant du pollen entomophile	aucune	une à deux cultures	plus de deux cultures	
Taille de la parcelle	plus de 10 ha	de 5 ha à 10 ha	de 1 ha à 5 ha	moins de 1 ha
Agroforesterie	pas d'agroforesterie	agroforesterie de moins de 5 ans	agroforesterie de plus de 5 ans	
Culture précédente	maïs	Betterave, pomme de terre, orge de printemps	Pois, féverole, tournesol, soja, céréales d'hiver	Colza, luzerne
Présence de prairies	absence de prairie et de jachère dans la rotation	présence de prairies et/ou jachères annuelles dans la rotation	présence de prairies temporaires, jachères ou luzerne dans la rotation (au moins 3 ans)	
Nombres de cultures	3 cultures ou moins dans la succession	de 3 à 5 cultures dans la succession	plus de 5 cultures dans la succession	
Equilibre entre les cultures d'hiver et de printemps	cultures de printemps dominantes (plus de 60 %)	cultures d'hiver dominantes (plus de 60 %)	Equilibre en cultures de printemps et hiver (entre 40 % et 60 % de cultures de printemps)	
Culture principale	maïs	Betterave, pomme de terre, orge de printemps	Pois, féverole, tournesol, soja, céréales d'hiver	Colza, luzerne
Culture associée	pas de culture associée	culture associée présente		
Type de protection insecticide	2 applications par an ou plus	environ une application par an	pas d'application	
Type de désherbage	chimique uniquement	mécanique et chimique	mécanique seul	
Type de fertilisation	fertilisation minérale	fertilisation minérale et organique	fertilisation organique seule	
Travail du sol	labour fréquent (tous les ans)	travail du sol superficiel et labour rare	travail superficiel uniquement	semis direct seul
Gestion des résidus de culture	résidus exportés	résidus enfouis	résidus de culture laissés en surface	
CI en place	pas de CI	couvert composé d'une seule espèce	mélanges d'espèces	
Floraison de l'interculture	pas de CI	CI sans floraison	CI à floraison	
Durée d'implantation	pas de CI	CI ne couvrant que partiellement l'interculture	CI couvrant la majorité de la période d'interculture	

La figure 2 présente la structure de l'arbre DEXi ARENA

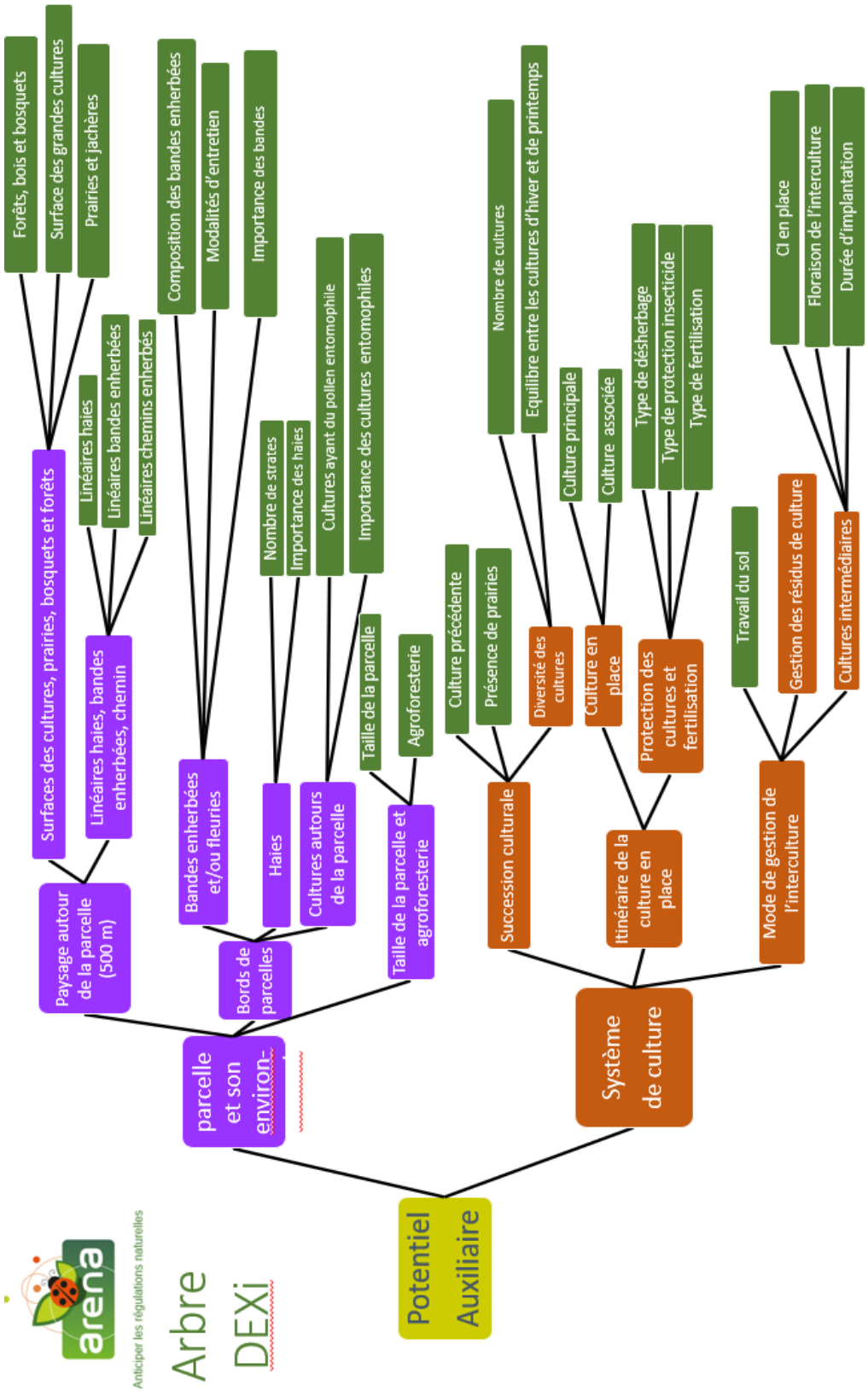


Figure 2 : Structure de l'arbre DEXi Arena concernant les auxiliaires des pucerons des grandes cultures. En vert critères de base ou « feuilles », autres couleurs : critères agrégés.

Etant donné que chaque branche n'est pas composée du même nombre de nœuds (critères agrégés), les critères de base pourraient avoir des poids très différents dans l'évaluation finale. Pour éviter cela, la majorité des fonctions d'utilités a été revue dans le cadre du projet afin que chaque critère de base puisse avoir une influence malgré un nombre de critères agrégés assez élevé. A la suite de la saisie dans le logiciel DEXi des données concernant le système de culture et l'environnement proche des parcelles, nous avons ajusté quelques fonctions d'utilité ou « poids » des critères à la suite d'une étude de sensibilité du modèle.

Présentant un exemple, la figure 3 suivante montre que l'outil est suffisament sensible pour différencier les parcelles de ce réseau sur les principaux critères agrégés. Des parcelles d'une même exploitation peuvent se différencier entre elles selon les cultures, leur environnement et les systèmes de culture pratiqués sur la parcelle.

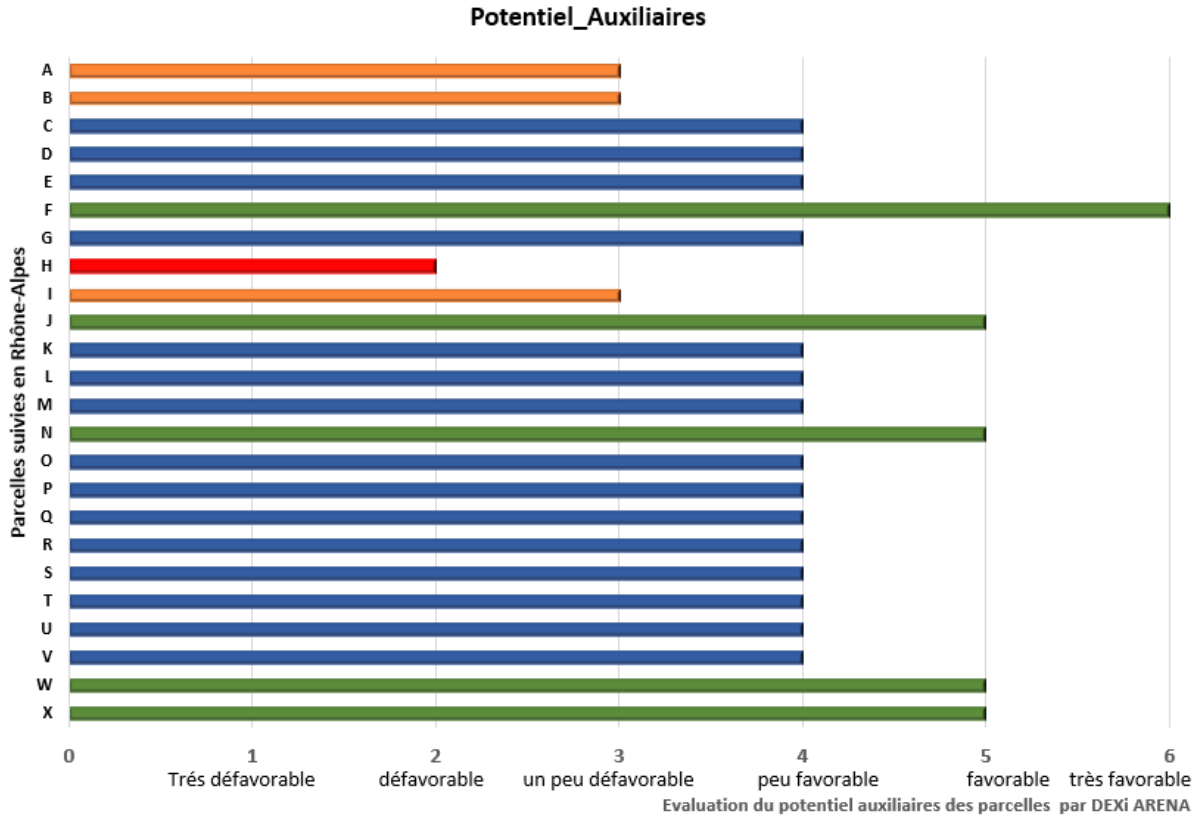


Figure 3 : Présentation des résultats des évaluations par DEXi ARENA des parcelles suivies en Auvergne Rhône Alpes.

Bilan intermédiaire

En résumé, l'outil DEXi d'ARENA identifie bien les parcelles qui ont le moins de pucerons, par contre il n'a pas donné d'information directe sur les populations d'auxiliaires. Cette difficulté provient du fait que les populations d'auxiliaires évoluent en parallèle de celles des pucerons et ne varient donc pas forcément dans le sens attendu initialement par l'arbre DEXi. Nous avons plutôt constaté la résultante positive qui est, du fait d'un effet probable de la régulation, d'avoir moins de pucerons.
A partir de ces données, nous n'avons pas identifié à quel niveau se dérouleraient les phénomènes de régulation biologique. Les analyses statistiques et notamment les régressions de type Lasso mettent aussi en valeur les critères ayant une plus grande influence sur les dynamiques des populations étudiées et devraient permettre, à terme, d'améliorer les pondérations de l'outil DEXi ARENA.

Malgré toutes ces questions liées à l'interprétation des données, cette approche garde tout son intérêt et conserve l'avantage de donner une vision d'ensemble des facteurs pouvant avoir un effet sur la dynamique des populations de ces ravageurs et auxiliaires. Elle pourra toujours être affinée en essayant de prendre en compte la régulation naturelle effective. Par la suite, des prédictions améliorées pourront être faites et comparées aux observations insérées dans la base de données ARENA qui sera alors certainement enrichie.

La structure de l'outil élaboré a été coconçue à l'ensemble des partenaires du projet CasDAR Arena : Jean-David Chapelin-Viscardi (Laboratoire d'Eco-Entomologie), Françoise Lasserre-Joulin (ENSAIA), Manuel Plantegenest (INRAE), Helmut Meiss (ENSAIA), Elsa Canard (INRAE) Véronique Tosser (Arvalis)(Chef projet du CasDAR ARENA), Nicolas Cerrutti et Céline Robert (Terres Inovia), Corinne et Régis Wartelle : Chambre d'agriculture des Hauts de France, Céline Cervek Chambre d'agriculture du Centre Val de Loire, Emmanuelle Bollotte et Pascale Marty CDA 37, Alexia Barrier de la Chambre d'agriculture des Pays de la Loire ; et Perrine Lair de l'EPLEFPA Quetigny-Plombières.
En Rhône-Alpes, les études de terrain ont été réalisées entre 2017 et 2019 par André Chabert (ACTA) avec le soutien de deux stagiaires ACTA : Pilar Otero Sancho (Montpellier SupAgro) et Juliette Gandon (Agrocampus Ouest) et qui ont également traité un grand nombre de données et ont participé à l'amélioration de l'outil DEXI ARENA.

La rédaction de ce document a été finalisée par André Chabert (ACTA) en 2021 et il a été relu par Véronique Tosser.

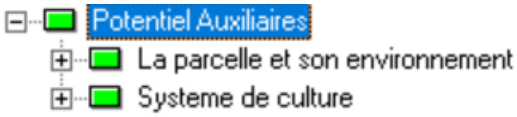
Mode d'emploi de l'outil DEXi_ARENA

Le potentiel « auxiliaires » traduit ici la synthèse de la capacité d'accueil d'une parcelle vis-à-vis du cortège des principaux auxiliaires régulant les pucerons au printemps en grandes cultures : syrphes, coccinelles, chrysopes et hyménoptères parasitoïdes.

Les principaux critères retenus sont présentés avec des éléments d'argumentation issus de la bibliographie. Pour quelques critères, la bibliographie n'est pas indiquée car elle est alors présentée ailleurs dans le document. Quelques rares autres critères ont été établis à dire d'experts.

Le potentiel auxiliaire

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Le potentiel auxiliaire correspond à la première dichotomie qui combine le potentiel de l'environnement de la parcelle et celui du système de culture

Les différences classes sont les suivantes :

1. **très défavorable**
2. **défavorable**
3. **un peu défavorable**
4. **peu favorable**
5. **favorable**
6. **très favorable**

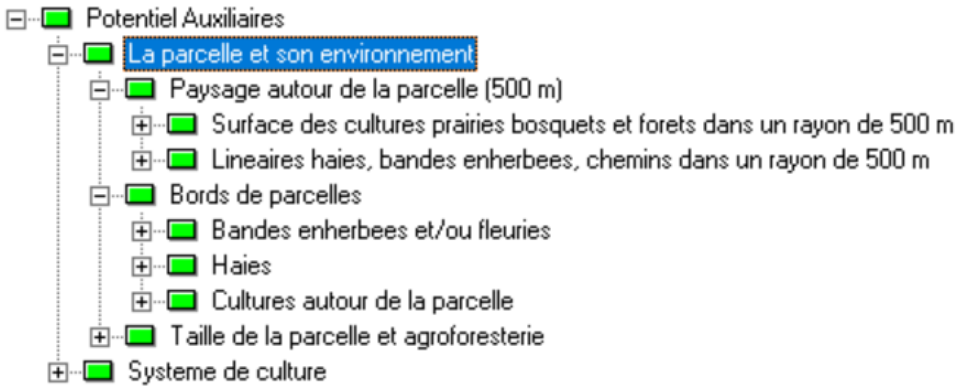
Les syrphes aphidiphages passent l'hiver préférentiellement dans des champs (colza, blé, luzerne par exemple) et sont donc moins influencées par les éléments semi-naturels du paysage (Raymond *et al.*, 2014). Les travaux de Sommaggio (1999) mettent en évidence une richesse spécifique des syrphes plus importante dans un vignoble conventionnel situé dans un milieu diversifié que dans un vignoble en conduite intégrée au milieu de monocultures. Néanmoins, dans le vignoble conventionnel deux espèces représente 74 % des syrphes contre 57 % en conduite intégrée.

La majorité des larves et les adultes des coccinelles sont des prédateurs de pucerons, cochenilles ou d'acariens. A 25 °C les larves de *Coccinella.septempunctata* selon les stades peuvent consommer entre 8 et 35 pucerons par jour (Iperti, 1999). Au printemps, un grand nombre de pucerons infestent les jeunes pousses de nombreuses plantes, offrant ainsi un excellent habitat dans lequel les coccinelles aphidiphages peuvent réaliser leur cycle dans de bonnes conditions. L'infestation de pucerons est déterminée presque exclusivement par l'abondance des pucerons. Au printemps, comme les pullulations de pucerons se produisent sur différentes plantes, ces prédateurs peuvent toujours trouver des proies en abondance et se reproduire dans leurs strates préférentielles. En l'absence de pucerons, la fécondité des coccinellidés est fortement réduite. La présence des pucerons confine les prédateurs à certaines plantes, mais dès que la disette se présente les adultes peuvent migrer et coloniser d'autres parcelles.

Concernant les micro-Hyménoptères parasitoïdes de pucerons, Jonsson *et al.* (2012) indiquent un effet équivalent entre l'intensification des pratiques agricoles (traitements, travail du sol, etc…) et de la simplification du paysage (pourcentage de terres cultivées et d'habitats semi-naturels). La régulation des populations de pucerons par les micro-hyménoptères parasitoïdes peut être effective tôt dans la saison si des adventices hôtes de pucerons restent présentes l'hiver (Powell *et al.*, 1986). Le cycle de développement de la plupart des espèces parasitant les pucerons des céréales est de l'ordre de 13 jours. L'hyper-parasitisme intervient seulement plus tard dans la saison. (Thies *et al.*, 2005).

La parcelle et son environnement

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les différences classes sont les suivantes :

1. **très défavorable**
2. **défavorable**
3. peu favorable
4. **favorable**
5. **très favorable**

La présence des syrphes est influencée par l'environnement de la parcelle. En effet, les plantes présentes mettent à leur disposition des ressources trophiques plus ou moins abondantes et diversifiées. Cela peut être directement via l'apport de pollen pour les adultes ou par la présence de pucerons par exemple pour les larves. Cet environnement végétal va conditionner l'importance et la diversité des populations présentes. La présence d'une route entre fleurs et culture limite le déplacement des Syrphes (*Harwood, 1994 cité par Sommaggio, 1999*).

L'environnement d'une parcelle joue un rôle important dans l'évolution des populations de coccinelles. Par exemple, celui-ci peut fournir à ces auxiliaires des abris pour passer l'hiver. Il peut également mettre à disposition des ressources alimentaires alternatives (pucerons non nuisibles, nectar extra-floral, pollen) qui vont permettre de maintenir les coccinelles autour de la parcelle lorsque la culture n'est pas encore affectée par des pucerons.

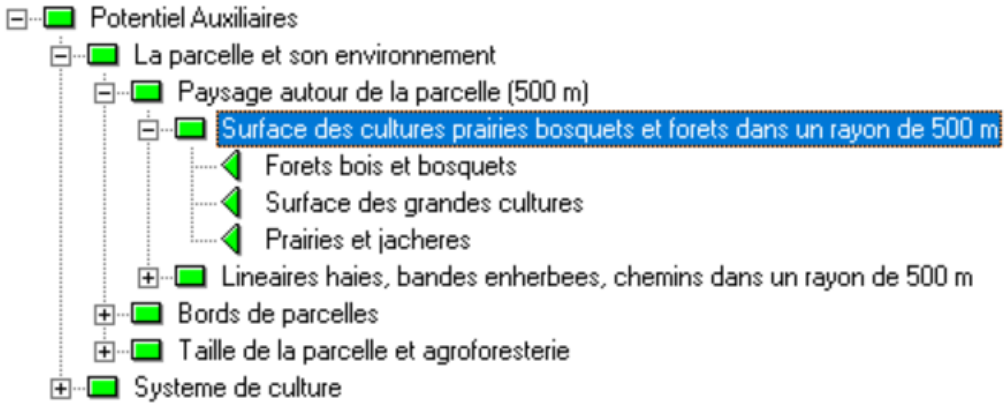
D'une manière similaire, l'installation des chrysopes est favorisée si elles peuvent trouver des abris pour passer l'hiver et des ressources alimentaires pour les adultes. Les Chrysopes butinent de nombreuses fleurs. Au printemps, les haies fournissent de la nourriture pour les adultes sortant des sites d'hivernage. Les espèces végétales arbustives sont essentielles pour les adultes entrant en diapause reproductive à la fin de l'été. Ils ont besoin de miellat pour constituer leurs réserves lipidiques (Villenave, 2007). Sur des plantes herbacées au sein des parcelles, les larves peuvent se nourrir de pollen, de nectar et de miellat. Grâce à l'analyse de la structure paysagère à l'échelle de l'exploitation et à celle de 2 km de rayon, Villenave dans sa thèse a pu montrer que la structure du peuplement des Névroptères, en termes de diversité et d'abondance, est influencée par celle du paysage à l'échelle de l'exploitation. Les exploitations comportant de la végétation environnante (haies et plantes herbacées) présentent un nombre d'espèces et d'individus supérieur à ceux des exploitations en « open-field ». Les haies et les zones enherbées servent bien de « zone réservoir ».

Les hyménoptères parasitoïdes de pucerons ont des populations dont les effectifs sont déterminés par plusieurs facteurs : i) par la présence de végétation qui met à leur disposition des proies pour le développement des larves, ii) des ressources trophiques végétales pour l'alimentation des adultes iii) des habitats pour passer l'hiver. Ainsi la composition de la végétation, de par son abondance et sa diversité, va conditionner à terme l'importance et la diversité des populations présentes. Ces paramètres interviennent à une échelle de 500 m à 2 kilomètres autour de la parcelle (Caballero-López *et al.*, 2012 ; Roschewitz *et al.*, 2005 ; Thies *et al.*, 2005).

Paysage autour de la parcelle (500m)

Surface des cultures prairies, bosquets et forêts dans un rayon de 500 m

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les différences classes sont les suivantes :

1. défavorable
2. peu favorable
3. favorable
4. très favorable

Pour ce facteur, les différentes classes retenues ont été : 1. moins de 10% de zones ouvertes hors cultures, 2. de 10% à 30% de zones ouvertes hors cultures, 3. plus de 30% de zones ouvertes hors cultures.

En termes de définition, les habitats naturels et semi-naturels correspondent à l'ensemble des milieux peu cultivés plus ou moins favorables au développement d'une ou plusieurs espèces animales ou végétales. Ainsi, ces habitats naturels servent de réservoirs à de nombreux d'auxiliaires.

Concernant les coccinelles, ces espaces peuvent fournir des abris pour passer l'hiver et des sources de nourriture alternatives. Celles-ci y migrent depuis les cultures d'hiver en été et depuis les cultures de printemps en automne. Le pourcentage de zones semi-naturelles est comptabilisé hors aménagements urbains (habitation, route, …). Woltz *et al.* (2012) mettent en évidence une corrélation entre le nombre de coccinelles présentes dans du soja et la quantité de végétation semi-naturelle dans le paysage qui peut atteindre jusqu'à 79% de zones semi-naturelles autour de certaines parcelles qu'ils ont étudiées. Dix pourcents des habitats semi naturels comme des haies dans l'environnement d'une parcelle fourniraient assez de ressources aux populations locales de coccinelles pour contrôler les populations de pucerons même si l'attaque a lieu tard dans la saison (Bianchi & Van Der Werf, 2004).

Au printemps, les coccinelles vont quitter les zones semi-naturelles (haies, bois, friches, prairies permanentes) et les jachères pour migrer vers les parcelles de blé (Burgio *et al.*, 2006). Puis en automne les coccinelles quitteront les cultures pour regagner des zones semi-naturelles et les jachères pour passer l'hiver (Burgio *et al.*, 2006). Ainsi, les trois catégories de la moins favorable à la plus favorable pour les développements de coccinelles retenues ont été les suivantes : moins de 10% de zones semi-naturelles, plus de 10% de zones semi-naturelles sans prairie ni jachère, plus de 10% de zones semi-naturelles dont prairies ou jachères.

Les larves et les adultes de chrysopes fréquentent divers milieux naturels ou semi-naturels, cela les maintient près des cultures sur lesquelles leur rôle de régulateur biologique des populations de pucerons est reconnu. Beaucoup de Névroptères préfèrent les bois aux milieux herbacés, cependant, ce sont ceux préférant les milieux herbacés qui sont les plus susceptibles de migrer vers les milieux cultivés (Stelzl & Devetak, 1999). Par rapport aux parcelles cultivées, la diversité de chrysopes est plus importante dans les milieux semi-naturels (Denis, 2009). Les chrysopes comme *Chrysoperla carnae sensu lato*, auxiliaire de culture, utilisent plusieurs habitats au cours de leur cycle de vie. La présence de zones semi-naturelles proches de la parcelle d'intérêt pourrait donc permettre à ces insectes de réaliser l'ensemble de leur cycle de vie autour et dans cette parcelle. Ainsi, les trois catégories de la moins favorable à la plus favorable pour les développements de chrysopes retenues ont été les suivantes : 1. plus de 95% du paysage est composé de cultures sans haies et sans prairie, 2. présence de haies, de bois ou de prairies dans l'environnement de la parcelle, 3. présence de haies ou bois et de prairies dans l'environnement de la parcelle.

Concernant les micro-hyménoptères, la complexité du paysage est relative à la proportion de terres arables dans un rayon de 1.5 km autour de la parcelle (Caballeró-López *et al.*, 2012 ; Roschewitz *et al.*, 2005 ; Thies *et al.*, 2005 ; Tscharntke *et al.*, 2005 ; Vollhardt *et al.*, 2008).

Un paysage présentant des espaces semi-naturels tels que des prairies permanentes ou temporaires, des jachères ou des friches, permet aux micro-hyménoptères de se maintenir dans des milieux qui sont susceptibles d'héberger des hôtes secondaires et à partir desquels ils peuvent ensuite recoloniser les parcelles cultivées.

L'importance de l'effet du paysage à une échelle plus locale que paysagère peut s'expliquer par la fragmentation du paysage qui a tendance à isoler les populations (Tscharntke *et al.*, 2005). Les prairies, pâtures, luzernes et taillis à rotations courtes peuvent héberger des parasitoïdes de *Sitobion avenae* de mai à septembre (Langer, 2001 ; on trouve plus de *Praon* spp. dans les taillis et plus d'*Aphidius* spp. dans les prés et prairies), ceux-ci auraient la possibilité de migrer dans des parcelles proches infestées de pucerons durant cette période.

Au sein d'exploitations conventionnelles (avec des traitements fréquents en mai et juin) Vollhardt *et al.* (2008) ne voient pas d'effet de la complexité du paysage sur le taux de parasitisme des pucerons (ni sur la densité de pucerons présents). Cela peut être dû à une forte spécialisation des parasitoïdes à leur hôte. En outre, Caballeró-López *et al.* (2012) ne relèvent pas d'impact significatif de l'hétérogénéité du paysage sur la densité de parasitoïdes, mais ils notent une tendance (avec une forte variabilité) à l'augmentation du taux de parasitisme avec une simplification du paysage.

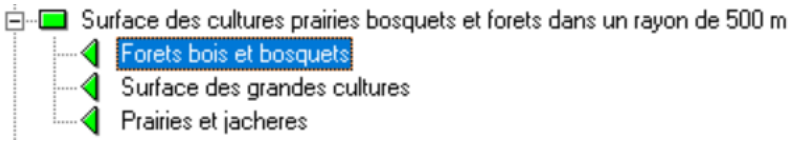
De même Menalled *et al.* (1999) ne parviennent pas à mettre en évidence un effet clair de l'hétérogénéité du paysage sur des micro-hyménoptères parasitoïdes (en effet, la complexité du paysage n'améliore le taux de parasitisme que dans l'un des trois lieux qu'ils testent dans le Michigan (USA)).

En revanche, Roschewitz *et al.* (2005) et Thies *et al.* (2005) observent bien un taux de parasitisme supérieur dans des paysages complexes, même s'ils y voient aussi plus de pucerons.

La complexité du paysage est souvent corrélée au pourcentage de cultures annuelles cultivées de manière intensive. Ainsi Jonsson *et al.* (2012) montrent que si la complexité du paysage favorise les parasitoïdes, cet effet est minime face à celui du pourcentage de couverture par des cultures annuelles.

Forêts, bois et bosquets

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



L'importance des éléments boisés comme les forêts, les bois, les bosquets, etc… est estimée via le calcul du pourcentage de surface boisée sur une surface circulaire de 500 m de rayon (Meyer *et al.*, 2009), le centre correspondant à chaque site d'étude. Suite à ce calcul, les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. S < ou = 5 %
2. 5 < S <30 %
3. S > ou = 30 %

Afin de passer l'hiver, les syrphes *de l'espèce E.balteatus* trouvent leurs abris contre le vent et les basses températures dans la végétation forestière (Arrignon et *al,* 2007). D'après Dor et Maillet-Mezeray (2011), le facteur expliquant le plus l'abondance de larves et d'adultes syrphes est le couvert forestier.

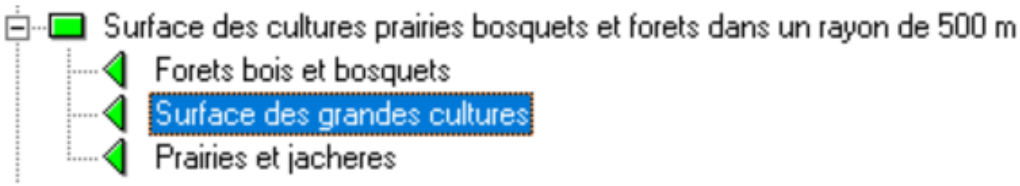
Sarthou *et al.* (2005) observent que l'espèce *E.balteatus* se trouve préférentiellement sur la face sud des forêts en hiver et au printemps, puis de manière plus importante sur les façades nord en été (où il y a plus de fleurs). Ces auteurs concluent que les forêts et les lisières favorisent l'abondance et la diversité des syrphes. La distance de la parcelle à la forêt la plus proche n'a pas d'influence sur les populations de syrphes en automne (Raymond *et al., 2014*). Les syrphes sont plus fréquents en forêts de feuillus que de conifères (Speight, 1996 cité par Sommaggio, 1999).

Les bois et forêts servent également aux coccinelles d'abri pour passer l'hiver. L'espèce *Harmonia axyridis* y trouve bien des abris hivernaux (Woltz *et al.*, 2012 ; Bianchi & van der Werf, 2004).

Les chrysopes trouvent refuge dans les bois à proximité des parcelles cultivées durant la journée ou pendant l'hiver. Elles s'y alimentent et s'y reproduisent. Villenave (2007) remarque que *Chrysoperla lucasina et C. carnea* se retrouvent dans les arbres qui servent de refuges durant la journée, de sites d'alimentation et de reproduction. Ces espèces se rencontrent aussi dans la végétation basse (cultures, jachères, bandes enherbées) accompagnées d'autres Névroptères. Dans cette strate, les espèces présentes sont susceptibles de migrer dans la parcelle et de permettre la régulation biologique de certaines populations de pucerons ; or ce n'est pas forcément le cas de chrysopes inféodées aux arbres et arbustes comme *Chrysoperla pallida* (Villenave, 2007).

Surface des grandes cultures

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. **S > ou = 90 %**
2. 25 < S <90 %
3. **S <25 %**

Différentes espèces de syrphes trouvent des ressources alimentaires dans les zones ouvertes telles que les prés, les prairies et les jachères syrphes (Meyer *et al.,* 2009) et ainsi leur présence dans l'environnement proche de la parcelle va favoriser leurs populations. Ainsi, les zones ouvertes sont importantes pour les syrphes en offrant des abris et des ressources alimentaires, en particulier lors de périodes d'interculture. La richesse spécifique des syrphes est favorisée par la surface de pelouses calcaires (Meyer *et al.,* 2009). Néanmoins, ces auteurs précisent que les syrphes aphidiphages sont plutôt favorisés par la proportion de terres arables (dans un rayon de 1250 m et de 750 m) que par un paysage hétérogène. Reboulet (1999) précise que les syrphes sont présents dans toutes les

cultures mais qu'ils semblent particulièrement abondants dans les cultures de colza, de pois et de céréales. En cultures pérennes, la présence d'enherbement influence positivement les populations de syrphes. Ainsi, l'assolement des grandes cultures peut avoir une influence positive sur les populations de syrphes en fonction de leur ancienneté et/ou de leur diversité.

Au printemps, les coccinelles ont la possibilité de migrer depuis les jachères vers les cultures d'hiver et en été depuis les cultures d'hiver vers les cultures de printemps. Elles peuvent regagner les jachères pour passer l'hiver ou les rejoindre directement en été, après avoir fait un passage sur les cultures d'hiver. Ainsi, en été, les coccinelles peuvent migrer depuis les blés et luzerne récoltés vers des cultures récoltées plus tard comme les betteraves, le maïs ou des cultures maraichères et des zones semi-naturelles (Burgio *et al.*, 2006). Ainsi, la présence de l'ensemble de ces éléments dans le paysage est donc favorable au maintien des coccinelles dans l'environnement d'une parcelle.

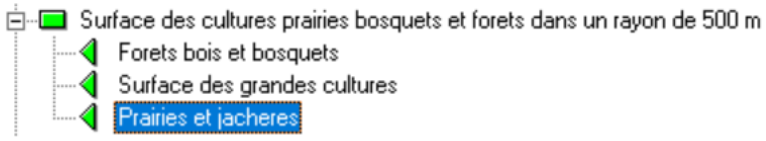
Lors d'un recensement des coccinelles dans les bois, les lisières et les prairies du sud de l'Angleterre, Leather *et al.,* (1999) constatent que l'abondance est deux fois plus importante dans les prairies par rapport aux deux autres habitats.

Pour les adultes de chrysopes, les ressources alimentaires présentes dans les zones de grandes cultures sont essentielles pour permettre leur développement.

Les populations d'hyménoptères parasitoïdes de pucerons dépendront de l'assolement des parcelles entourant la parcelle à évaluer. Une autre source de limitation des populations serait aussi l'utilisation plus importante d'insecticides et les perturbations du milieu par les diverses autres opérations culturales (Jonsson *et al.*, 2012). Ces auteurs remarquent que l'augmentation du pourcentage de couverture par des cultures annuelles défavorise les populations de parasitoïdes de pucerons du fait de la limitation du nombre de proies. Vorley & Wratten (1987) ont montré que les hyménoptères parasitoïdes de pucerons peuvent se disperser d'une parcelle de blé d'hiver semé précocement vers une parcelle de blé semé plus tardivement.

Prairies et jachères

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



L'importance des prairies et des jachères dans un rayon de 500 m. Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. **S < 10 %**
2. 10 < S <25 %
3. **S > 25 %**

Burgio & Sommaggio (2007) ont montré que les syrphes sont plus abondants dans les paysages les plus complexes. Néanmoins leurs résultats montrent que les milieux à faible complexité peuvent avoir des populations supérieures à celles rencontrées dans des paysages en situation intermédiaire. De même, Raymond *et al.* (2014) notent qu'un paysage

majoritairement composé de champs cultivés peut héberger des auxiliaires efficaces si quelques aménagements semi-naturels bien choisis sont mis en place.

Les prairies présentes dans un territoire donné vont être plus favorables aux syrphes si leur composition floristique est ancienne et diversifiée. La richesse spécifique de syrphes est favorisée par la diversité floristique des prairies et des pelouses calcaires (Meyer *et al.*, 2009). Ainsi, il sera intéressant dans un objectif d'étude du caractère « favorable aux syrphes » d'une zone donnée, de classer ces prairies selon leur ancienneté et la richesse de leur flore.

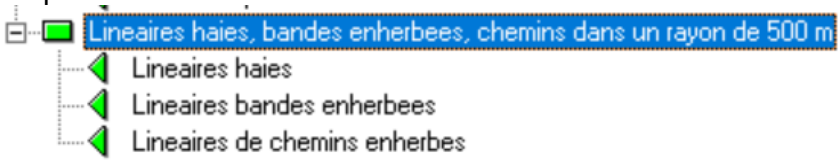
Les chrysopes seront plus susceptibles de se nourrir de pollen de fleurs lorsqu'il se trouve dans un patch comprenant un nombre important de plantes en floraison (Villenave, 2007). Ainsi les prairies offrent du pollen et du nectar aux chrysopes qui sont ensuite susceptibles de migrer dans les cultures pour pondre. La diversité de la flore et la durée de sa floraison seront des éléments favorables à l'activité des chrysopes.

L'abondance des coccinelles est plus importante dans les prairies. Leather *et al.* (1999) remarquent que cette abondance est liée aux pourcentages de chardons, d'herbes et d'orties présents dans le milieu. Ainsi selon sa composition, une prairie pourra être plus ou moins attractive pour les coccinelles.

Les micro-hyménoptères parasitoïdes de pucerons peuvent trouver l'hiver refuge dans les prairies. Elles ont l'avantage de ne pas être trop perturbées par les opérations culturales, comme par le travail du sol et diverses opérations culturales, que les cultures annuelles. Les micro-hyménoptères comme *Aphidius rhopalosiphi* peuvent migrer d'une prairie à un champ de blé adjacent (Vorley & Wratten, 1987). La luzerne peut héberger des hôtes de substitution pour *Aphidius ervi* durant toute la saison de végétation (Langer, 2001 ; Tomanovick *et al.*, 2009) et donc favoriser la présence de cet hyménoptère dans les champs adjacents et la culture suivante sur la parcelle. Ainsi, la présence de prairies ou d'une luzerne à côté d'une parcelle cultivée permet d'augmenter l'abondance (Ahern & Brewer, 2002) et l'activité (Langer, 2001) des parasitoïdes dans cette parcelle.

Linéaires haies, bandes enherbées, chemins dans un rayon de 500 m

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. **Défavorable**
2. **Peu favorable**
3. **Favorable**
4. **Très favorable**

Sommaggio (1999) a observé deux fois plus de syrphes (en richesse spécifique et en abondance) dans un milieu hétérogène avec présence de haies que dans un milieu homogène sans haies. En outre, Sarthou *et al.* (2005) émettent l'hypothèse que des friches

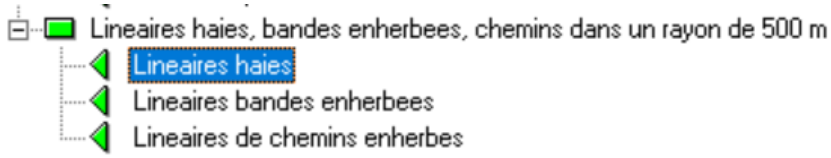
avec des arbustes seraient de bons abris pour permettre aux syrphes de passer l'hiver. La présence de haies accompagnées de bandes fleuries et enherbées favorise les populations de syrphes en plus grande proportion que des haies avec de rares bandes d'herbes ou que des bandes enherbées et fleuries sans haie (Burgio & Sommaggio, 2006 ; MacLeod, 1999).

Dans l'environnement proche des parcelles, l'importance du nombre de strates est à associer à la diversité des habitats et micro-habitats présents. En effet, cette stratification permet de multiplier la diversité des « milieux » présents dans une zone donnée et donc potentiellement de favoriser les syrphes en mettant à leur disposition des sources de nourriture supplémentaires. Les syrphes sont plus abondants en présence de bandes fleuries diversifiées entre la culture et la haie (MacLeod, 1999). Lorsqu'un herbicide est appliqué au niveau d'une haie, on y observe une densité de syrphes plus faible que lorsque la haie n'est pas traitée. Les taux d'oviposition sont également plus faibles lorsque la haie est désherbée (Brewer & Elliot, 2004).

La présence des haies peut être très favorable aux hyménoptères parasitoïdes de pucerons. En effet, elles peuvent contenir des fleurs qui fournissent du pollen et du nectar ainsi que d'éventuels hôtes alternatifs. En outre ce sont des espaces non perturbés (par des labours et des récoltes), ce qui offre l'opportunité aux hyménoptères parasitoïdes de passer l'hiver dans des momies (enveloppes de pucerons parasités). (Langer, 2001 ; Powell *et al.*, 1986)

Linéaires haies

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. moins de 1 km
2. de 1 à 3 km
3. plus de 3 km

En cas de déficit de proies dans les cultures, les haies sont susceptibles de mettre à disposition des ressources trophiques pour les adultes et pour les larves de syrphes. Elles servent également de refuge lorsque les conditions climatiques sont défavorables et lorsque qu'il y a des perturbations de diverses natures dans la parcelle. En hiver, on trouve plus de syrphes côté sud des haies que dans les forêts et les cultures (Arrignon *et al., 2007*). Plus la haie est proche de la parcelle plus l'impact sur les populations sera important (Raymond *et al.*, 2014). Les espèces végétales à favoriser sont celles localement présentes à floraison étalée. Certaines espèces botaniques sont plus particulièrement intéressantes car elles favorisent les syrphes en hébergeant des espèces de proies alternatives qui maintiennent les populations de syrphes en attentes de l'arrivée des pucerons dans les cultures proches. Il s'agit notamment d'espèces comme le noisetier, le sureau, le lierre, etc. La diversification de ces espèces s'accompagne souvent d'une durée de floraison plus importante qui sera donc favorable à la régulation biologique dans cette zone. Ces points sont confirmés par les

études de Meyer *et al.* (2009) qui ont montré que la richesse spécifique de syrphes est favorisée par la diversité des plantes à fleurs présentes.

Les haies vont accueillir des coccinelles durant l'hiver et en début de saison en leur fournissant des abris, des proies alternatives, du pollen et du nectar lorsqu'il n'y a pas de pucerons dans les cultures. La quantité de haies, ainsi que la diversité des espèces et des hauteurs de végétation qui les composent vont plus ou moins favoriser leur potentiel d'accueil. Les haies favorisent les coccinelles en particulier lorsqu'elles sont diversifiées. On trouve des coccinelles en nombre important dans les haies jeunes ou mâtures bien qu'elles semblent dominer dans les premières (Burgio *et al.*, 2006).

Les haies favorisent les coccinelles mais cet effet peut-être plus ou moins important en fonction des essences qui les composent. Une durée de floraison plus importante est un indice de haies plus diversifiées. Leather *et al.* (1999) relèvent le plus souvent les coccinelles sur des Rubus spp, puis ensuite sur des orties et de l'herbe. La présence de ces espèces en bordures de champs pourrait donc favoriser la présence de coccinelles dans la parcelle en leur fournissant des hôtes alternatifs lorsque les pucerons sont encore absents de la parcelle et tout au long de leur période d'activité, ou des abris pour passer l'hiver. Dans ces études, la coccinelle la plus commune sur les orties et les bouleaux est *Adalia bipunctata* ; sur l'herbe, les ronces et les chênes, il s'agit de *Coccinellae setempunctata*.

Par ailleurs, un nombre de strates plus important favorise la diversité des coccinelles et augmente les chances qu'elles puissent venir dans la parcelle au moment du pic de pucerons en été et ensuite qu'elles puissent retourner passer l'hiver en bord de champ. *Coccinella setempunctata* et *Hippodamia undecimnotata* pondent généralement sur des plantes basses entre 0 et 50 cm tandis que *Propylea quatuordecimpunctata* et *Adalia variegata* pondent généralement sur des arbustes entre 50 cm et 2 m et *qu'Adelia bipunctata, Oenopia conglobata* et *Adalia decempunctata* ont besoin d'arbres de plus de 2m (Iperti, 1999).

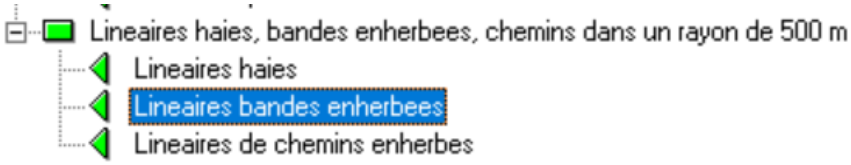
Les haies fournissent à certaines espèces de chrysopes des refuges pour passer l'hiver, des abris durant la journée ainsi que des ressources alimentaires et des sites de reproduction (Villenave, 2007). Elles sont d'autant plus favorables qu'elles fournissent des ressources pendant une longue période. En analysant le pollen contenu dans les diverticules de chrysopes, Villenave (2007) remarque que le pollen de Rosacées est le plus consommé dans la strate arbustive et arborescente. Si les essences végétales sont nombreuses, la haie sera susceptible d'accueillir une grande diversité de chrysopes.

Comme pour les autres auxiliaires, lorsque les cultures ne sont pas en floraison, les haies fournissent aux hyménoptères parasitoïdes une source de pollen, de nectar ou d'autres exsudas végétaux complémentaires pour s'alimenter. Elles peuvent aussi héberger des hôtes de substitution et permettre aux auxiliaires de passer l'hiver sans être perturbés.

Le gain de potentiel d'accueil d'une parcelle bordée d'une haie décroît lorsqu'on s'éloigne de celle-ci jusqu'à devenir équivalent à celui d'une parcelle sans haie. Ainsi dans l'étude de Langer (2001), le taux de parasitisme est plus important jusqu'à 4 mètres des haies qu'à 16 mètres. La strate herbacée au pied d'une haie est aussi susceptible de fournir un habitat aux parasitoïdes pour passer l'hiver. Les haies sont donc particulièrement avantageuses en bordure de parcelle et permettent d'augmenter l'activité des parasitoïdes de pucerons des céréales (Langer, 2001). Elles constituent également un habitat de choix pour passer l'hiver.

Linéaires bandes enherbées

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. moins de 1 km
2. de 1 à 3 km
3. plus de 3 km

La présence de bandes enherbées autour des parcelles est favorable à la présence des syrphes dans la mesure où ces dernières sont susceptibles, tout comme les haies, de servir de réservoir de ressources trophiques. Que les bandes fleuries soient espacées de 50 ou 100 m, l'effet sur les nombres d'œufs et de larves de syrphes semble être lié au nombre de pucerons présents (Gillepsie *et al,.* 2011).

La richesse de la composition floristique de la bande enherbée est favorable aux syrphes. En effet, les syrphes adultes choisissent une zone ou une autre selon l'importance de la floraison et notamment le nombre de fleurs, la richesse en pollen et nectar, etc…
Bien que certaines espèces de syrphes comme *Eupeodes corollae* peuvent se nourrir sur des fleurs à corolles courtes (et ouvertes) comme longues (et étroites), il semble que la majorité des syrphes se nourrit sur des fleurs à corolles courtes (Campbell *et al.*, 2012). On notera que l'espèce *Episyrphus balteatus* se nourrit exclusivement sur ces dernières. D'autres études montrent que la diversité des espèces de syrphes est favorisée par la richesse spécifique des plantes à fleurs (Meyer *et al.*, 2009). La durée de la floraison est un élément particulièrement important dans la mesure où elle va, en augmentant, attirer une plus grande quantité de syrphes aux abords de la parcelle.

La présence de sarrasin et/ou de phacélie que ce soit seul ou en mélange favorise la présence de syrphes adultes en leur fournissant du pollen (Pontin, 2006). On peut remarquer que la coriandre est particulièrement attractive pour *E. balteatus* (Campbell *et al.*, 2012) et augmente le taux de ponte (Laubetie *et al.*, 2012). Le sarrasin allongerait la durée de vie et le niveau de ponte. La phacélie améliorerait l'oviposition et la durée de la fécondité des femelles. C'est sur cette plante que le meilleur potentiel de reproduction des femelles *E.baltateus* est observé (Laubetie *et al.*, 2012). D'après cet auteur, souci, moutarde et alysse ne permettent pas aux syrphes de réaliser leur ponte.

Les pratiques utilisées pour l'entretien des bords de champs sont plus ou moins nuisibles aux syrphes présents. Ainsi, le broyage se révèle plus dommageable que la fauche. Cette dernière, si elle est tardive, permet le maintien d'une végétation favorable pendant une période plus longue.

Durant l'hiver et en début de saison, lorsqu'il n'y a pas encore de pucerons dans les cultures, l'aménagement des bords de parcelle joue un rôle important dans le maintien des populations de coccinelles près des parcelles cultivées. Ainsi, s'ils hébergent des coccinelles ces dernières pourront agir assez rapidement sur les populations de pucerons proches. Le

rôle des haies comme réservoirs d'auxiliaires est bien confirmé avec ce groupe. La mise en place d'abris artificiels en bord de parcelles permettant aux coccinelles de passer l'hiver permet de réduire de 75% la mortalité due aux champignons du genre *Beauvaria* (Iperti, 1999).

La présence de végétation, en bordure de parcelle, susceptible d'abriter des proies de substitution pour les coccinelles est d'autant plus importante lorsque l'infestation de la culture par les pucerons est tardive (Bianchi & van der Werf, 2004). En effet, lorsque l'infestation a lieu tôt dans la saison, les populations de pucerons présentes au sein de la culture sont suffisantes pour que les coccinelles atteignent leur maximum de reproduction (Bianchi & van der Werf, 2004).

Les bandes enherbées et fleuries peuvent accueillir des coccinelles pendant l'hiver si elles sont maintenues durant cette saison. Elles peuvent aussi fournir des ressources alternatives, proies de substitution, pollen et nectar extra-floral qui maintiennent les prédateurs en périphérie de la parcelle lorsque leurs proies sont absentes des cultures.
Coccinella setempunctata et *Hippodamia undecimnotata* pondent généralement sur des plantes basses entre 0 et 50 cm (Iperti, 1999).

Les coccinelles sont deux fois plus abondantes lorsque des bandes de sarrasin sont présentes en bordure de champ (dans soja, Woltz *et al.*, 2012). En fonction de leur composition, les bandes enherbées vont être plus ou moins attractives pour les coccinelles ; elles pourront même dans certains cas être répulsives (cas du pissenlit).
Le pissenlit va repousser les coccinelles de l'espèce *Harmonia axyridis* alors que l'aneth, le tournesol, le souci, la bugle rampante et l'asclépiade tubéreuse vont les attirer (le tournesol et l'aneth étant préférés à la bugle, le souci et l'asclépiade). L'achillée mille-feuilles et la tanaisie vont quant à elles attirer les femelles mais repousser les mâles (Adedipe & Park, 2010).

Plus les bandes sont présentes longtemps, plus les ressources alternatives dureront longtemps. De plus, si les bandes restent présentes durant l'hiver, celles-ci peuvent servir d'abris aux coccinelles pour passer l'hiver. Les coccinelles peuvent passer l'hiver dans des touffes d'herbes (Bianchi & van der Werf, 2004).

Pour les adultes de chrysopes qui volent assez mal, l'installation de bandes enherbées et fleuries leur fournit des abris, du pollen et du nectar proches des cultures. Ils seront donc plus susceptibles de pondre dans ces zones (Denis, 2009).

Concernant les jeunes stades larvaires, la consommation de nectar extra-floral ne contribue que faiblement à leur croissance et en présence de fleurs, ils consomment un plus faible nombre de proies (Robinson *et al.*, 2008). Néanmoins, la consommation de nectar leur permet de conserver plus longtemps leur potentiel de prédation dans la parcelle (Limburg & Roseheim, 2001 ; Robinson *et al.*, 2008). Cette consommation de nectar serait d'autant plus importante que le nombre de proies sera faible (Limburg & Roseheim, 2001). Concernant les adultes, la présence de fleurs à nectar permet de réduire la période de pré-oviposition et d'augmenter le taux d'oviposition quotidien (Robinson *et al.*, 2008). Venzon *et al.* (2006) remarquent que le nombre d'œufs produit par femelle et la durée de vie des adultes de *Chrysoperla externa* sont plus importants lors de leur développement sur des légumineuses.

Le contenu stomacal de chrysopes prélevées dans des champs bordés de bandes enherbées et fleuries contient des Apiacées (dont *Daucus carota*), des Brassicacées, des chénopodes et les Poacées ainsi que les Astéracées et les Caryophyllacées (Denis, 2009 ; Villenave, 2007). Villenave (2007) remarque que les chrysopes ne se nourrissent pas de

Dracocphalum modalvia (Lamiaceae) ni de Gerba sp (Astéraceae) bien qu'elles soient disponibles dans l'environnement.
Les Chrysopes adultes se nourrissent de miellat excepté Chrysoperla spp qui s'alimente aussi de pollen et de nectar et Chrysopa spp qui est omnivore (Stelzl & Devetak, 1999). Une bande enherbée diversifiée est favorable aux chrysopes dans la mesure où l'on a des floraisons décalées de différentes espèces allongeant ainsi la période de floraison de la bande. De juin à septembre, la présence de fleurs aura un effet bénéfique à ces auxiliaires (Villenave, 2007). Les plus grandes populations de larves et adultes *Chrysoperla externa* observées par de Oliveira *et al.* (2012) au Brésil étaient associées à de la végétation herbacée en floraison. Ainsi, les chrysopes seront plus susceptibles de se nourrir de pollen de fleurs qui se trouvent dans un patch comprenant un nombre important de plantes en floraison (Villenave, 2007).

D'une manière similaire aux autres auxiliaires, les bandes fleuries fournissent aux hyménoptères parasitoïdes de pucerons du pollen et du nectar en complément de miellat et des hôtes alternatifs pour se maintenir lorsque les populations d'aphides sont encore faibles dans les cultures. Les bandes peuvent également fournir un habitat moins perturbé que la culture pour passer l'hiver dans des momies.
Une accumulation des hyménoptères parasitoïdes au niveau des bandes fleuries peut être due à l'attractivité de ces bandes ainsi qu'à une augmentation du temps passé à se nourrir sur les fleurs (Bianchi & Wäckers, 2008). L'attractivité des bandes fleuries n'occasionne pas de baisse du nombre d'auxiliaires dans le champ.

Les femelles d'hyménoptères parasitoïdes doivent se nourrir de nectar, pollen ou miellat pour que leur fécondité soit optimale (Baggen & Gurr, 1998). Le taux de parasitisme peut être un peu plus important près des bandes fleuries : 50% de parasitisme à 3,5 mètres de l'aménagement contre 40% à 12,5 mètres (Baggen & Gurr, 1998).

L'attractivité des fleurs et l'accessibilité du pollen peuvent être variables selon les espèces d'hyménoptères parasitoïdes de pucerons (Wäckers, 2004). Ils sont plus abondants lorsque les bandes enherbées sont composées seulement de fleurs à corolles courtes et/ou plates plutôt que de fleurs à corolles longues et étroites ou que d'un mixte des deux types (Campbell *et al.*, 2012). Les fleurs les plus favorables aux hyménoptères parasitoïdes de pucerons sont les légumineuses, les gaillets, les orties et les ombellifères. Les légumineuses sont particulièrement favorables car les pucerons hôtes de cette famille sont assez spécialisés sur ce groupe botanique alors que leurs différents parasitoïdes pourraient également s'attaquer aux pucerons d'autres groupes botaniques. La coriandre, le sarrasin, la phacélie et l'alysse vont favoriser l'abondance en parasitoïdes et leur activité de parasitisme mais aussi l'hyper-parasitisme (Araj *et al.*, 2008).

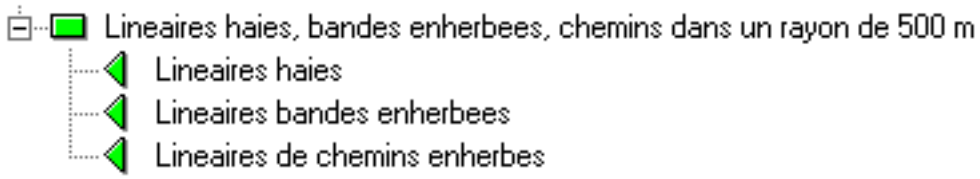
La diversité en plantes non cultivées n'améliore pas toujours la diversité de petites populations de parasitoïdes (Macfadyen *et al.*, 2009) ni le taux de parasitisme des pucerons (Costello & Altieri, 1995). Si une certaine diversité peut être favorable (Araj *et al.*, 2008), une trop grande peut être défavorable. En effet, celle-ci peut perturber le repérage des hôtes par les hyménoptères (Costello & Altieri, 1995 ; Hesler & Berg, 2003) et favoriser la prédation de ces parasitoïdes sur les fleurs (Lee *et al.*, 2006) ainsi que l'hyper-parasitisme (Araj *et al.*, 2008). En outre, la présence de fleurs peut également favoriser de manière plus importante les populations de pucerons que celles de leurs parasitoïdes (Araj *et al.*, 2008 ; Lee *et al.*, 2006).

Les modalités d'entretien des bandes enherbées vont être plus ou moins défavorables aux hyménoptères parasitoïdes. Les momies (enveloppe de puceron parasitée qui contient ou a contenu des larves de hyménoptères parasitoïdes) peuvent être détruites lors du broyage

(Jonsson *et al.*, 2012). Dans le cas d'une fauche tardive, la végétation fleurie plus longtemps et peut donc leur être également favorable.
Ainsi, les bandes enherbées favorisent d'autant plus les micro-hyménoptères qu'elles sont nombreuses et proches des cultures où ils peuvent trouver des hôtes pour pondre.

Linéaires de chemins enherbés

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



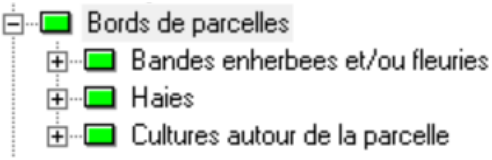
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. moins de 1 km
2. de 1 à 3 km
3. plus de 3 km

Nous avons trouvé très peu d'éléments dans la bibliographie à ce sujet

Bords de parcelles

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

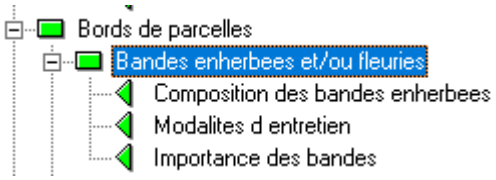
1. **Défavorable**
2. **Peu favorable**
3. **Favorable**
4. **Très favorable**

Nous avons trouvé très peu d'éléments dans la bibliographie à ce sujet. Pour les critères concernant les bords de parcelle, la bibliographie est semblable à celle qui vient d'être énoncée dans les pages précédentes.

Concernant les quelques critères suivants la bibliographie correspond ou est semblable à celle qui vient d'être énoncée dans les pages précédentes.

Bandes enherbées et/ou fleuries (BH)

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



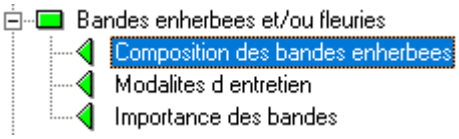
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 **Défavorable**
2 **Peu favorable**
3 **Favorable**
4 **Très favorable**

Bibliographie : voir paragraphes précédents

Composition de la bande enherbée

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



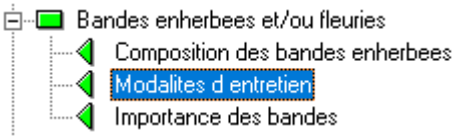
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Pas de bandes enherbées
2 Bandes enherbées composées majoritairement de graminées
3 Bandes avec des graminées et des dicotylédones

Bibliographie : voir paragraphes précédents

Modalité d'entretien

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



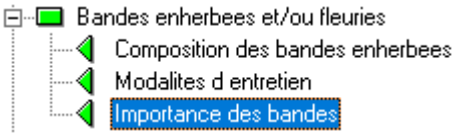
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Labour ou absence de bandes enherbées
2 Broyage précoce (avant floraison)
3 Broyage tardif (après floraison) ou fauche précoce
4 Fauche tardive ou aucune intervention

Bibliographie : voir paragraphes précédents

Importance des bandes

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



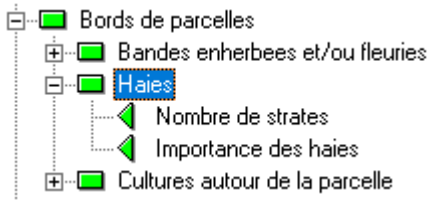
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Aucune bande autour de la parcelle
2 Une à deux bandes autour de la parcelle
3 Plus de deux bandes autour de la parcelle

Bibliographie : voir paragraphes précédents

Haies

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



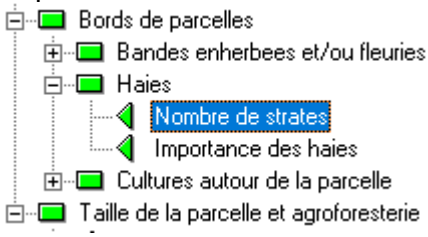
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Défavorable
2 Peu favorable
3 Favorable
4 Très favorable

Bibliographie : voir paragraphes précédents

Nombre de strates

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



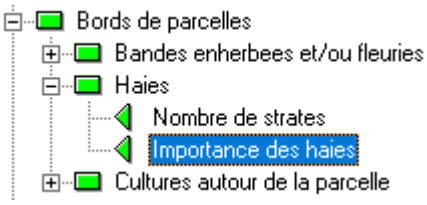
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Pas de haies
2 Haies composées d'une seule strate de ligneux
3 Deux strates de ligneux sans strate herbacée développée ou une strate herbacée
4 Au moins deux strates de ligneux et une strate de ligneux et une strate herbacée développée.

Bibliographie : voir paragraphes précédents

Importance des haies

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



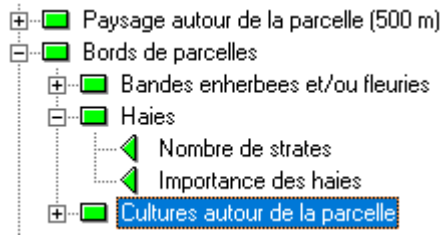
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Aucune haie autour de la parcelle
2 Une à deux haies autour de la parcelle
3 Plus de deux haies autour de la parcelle.

Bibliographie : voir paragraphes précédents

Cultures autour de la parcelle

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Défavorable
2 Peu favorable
3 Favorable

Bibliographie : voir paragraphes précédents

Cultures ayant du pollen entomophile

La place dans DEXi ARENA est la suivante :

Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. **aucune**
2. **une à deux cultures**
3. **plus de deux cultures**

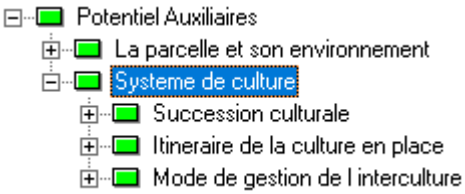
Les cultures dites pollinisation entomophile ont leur pollinisation assurée par les insectes. Dans le contexte des grandes cultures ce sont par exemple : le colza, le tournesol, le lin, les légumineuses (pois, soja, féverole, …). Ces plantes via l'alimentation alternative aux pucerons qu'elles procurent, vont s'avérer être les plus favorables aux syrphes et aux coccinelles.

Par exemple, dans une parcelle de maïs, l'abondance en coccinelles semble affectée par la quantité de pollen présente dans le champ (Elliot *et al.*, 2002). Un verger enherbé favoriserait les coccinelles qui peuvent passer l'hiver au niveau de strates herbacées. D'une manière plus générale, les coccinelles peuvent passer l'hiver dans des touffes de graminées (Bianchi & van der Werf, 2004).

Palynophages, les chrysopes adultes comme *Chrysoperla carnea* peuvent être favorisées en présence de cultures à pollinisation entomophile. En effet, elles se nourrissent de pollen et de nectar. La présence d'un engrais vert de type vesce favorise leur présence (Villenave, 2007). Les chrysopes consomment également de grandes quantités de pollen de maïs bien que cette plante ne soit pas à pollination entomophile.

Système de culture

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. **Très défavorable**
2. **Défavorable**
3. **Peu favorable**
4. **Favorable**
5. **Très favorable**

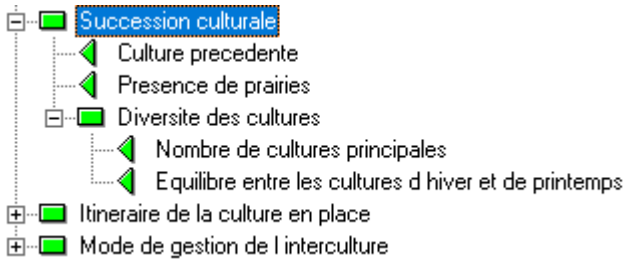
Raymond *et al.* (2014) ainsi que Lechat & Sarthou (2014) suggèrent que la régulation naturelle des pucerons grâce aux syrphes est effective dès l'automne. En effet, Raymond *et al.* (2014) remarquent que plus l'effectif de syrphes aphidiphages passant l'hiver est élevé dans les parcelles plus le nombre de pucerons au printemps reste faible. Les composants de l'itinéraire technique de la culture en place s'avèrent avoir une importance sur le devenir des populations de syrphes. L'impact d'une technique défavorable aurait la possibilité d'être atténué par une gestion de l'interculture plus propice aux syrphes.

Si l'environnement est important pour favoriser l'installation et le maintien des chrysopes autour d'une parcelle, la gestion de la parcelle elle-même est également à prendre en compte. Elle peut être plus ou moins favorable au maintien des larves et des adultes.

Une gestion de la culture adaptée peut favoriser les coccinelles dans une parcelle. Cela peut par exemple passer par une fertilisation modérée ou une utilisation d'insecticides faible. Si les fongicides ne semblent pas avoir d'effet sur les coccinelles, les insecticides et les acaricides diminuent leur taux de survie en particulier aux jeunes stades (Youn *et al.*, 2003). Les herbicides affectent également les coccinelles de manière indirecte, en supprimant des adventices hôtes de proies.

Succession culturale

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



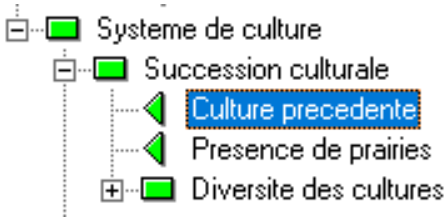
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1.Défavorable
2.Peu favorable
3.Favorable
4. Très favorable

Les deux principaux éléments de la succession culturale ayant un impact sur les syrphes sont la nature du précédent et la proportion de culture de printemps surtout si elles ne sont pas précédées d'une culture intermédiaire.

Culture précédente

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. Maïs
2. Betterave, pomme de terre, orge de prientmps
3. Pois, féverole, tournesol, soja, céréales d'hiver
4. Colza , Luzerne.

Certaines cultures se caractérisent par une importante présence de syrphes en fin de saison. Les auxiliaires présents vont alors passer l'hiver dans l'environnement proche de la parcelle et ils se redéployeront plus vite sur la culture suivante. Le colza semble être une culture attractive en automne (Raymond *et al.*, 2014).

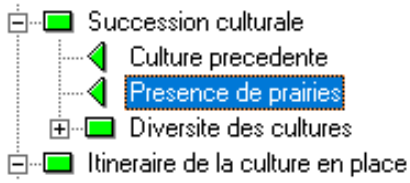
Selon la saison, les coccinelles aphidiphages poursuivent leurs proies dans diverses cultures. On les rencontre majoritairement dans des cultures récoltées les plus tardivement (tournesol, betterave, maïs, sorgho, luzerne) ainsi que dans des zones semi-naturelles. Ainsi, la succession culturale a bien un effet sur le potentiel d'accueil de coccinelles via la nature du précédent sachant que le facteur le plus défavorable est la répétition sur la parcelle de cultures de printemps surtout si elles ne sont pas non précédées d'une culture intermédiaire.

La luzerne peut héberger des hôtes de substitution pour *Aphidius ervi* durant toute la saison de végétation (Langer, 2001 ; Tomanovick *et al.*, 2009) et donc favoriser la présence de cet hyménoptère dans les champs adjacents et la culture suivante sur la parcelle. L'insertion de tournesol dans une succession blé–jachère augmente l'abondance de ces parasitoïdes de pucerons au niveau des lisières blé/tournesol par rapport à une rotation classique (Ahern & Brewer, 2002). Ainsi les cultures les plus favorables à ces hyménoptères sont les cultures pluriannuelles : les prairies, et la luzerne de par leur pérennité, puis viennent les cultures récoltées tardivement comme maïs, tournesol et légumineuses (hors prairies annuelles). Les cultures de céréales et le colza sont dans une situation intermédiaire.

Le fait d'avoir une monoculture ou bien une succession des cultures diversifiées sur une parcelle ne semble pas influencer la diversité en Névroptères (Stelzl & Devetak, 1999). De même, Bokina (2010) ne remarque pas d'effet du précédent sur les densités de chrysopes dans le blé de printemps. Néanmoins, une culture avec un potentiel d'accueil en chrysopes important en fin de saison (céréales à pailles, maïs, colza, tournesol, légumineuses) est *a priori* plus susceptible de fournir des populations en auxiliaires plus élevées l'année suivante.

Présence de prairie

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1. Absence de prairie et de jachère dans la rotation
2. Présence de prairie et/ou de jachère annuelle dans la rotation
3. Présence de prairie temporaire, jachère ou prairie ou luzerne dans la rotation (au moins 3 ans)

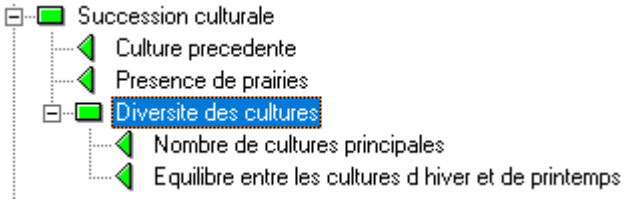
Une prairie sera dite temporaire à partir du moment où la parcelle sera occupée au moins deux années consécutives par un même couvert sans récolte, ni labour. La présence de prairies dans la rotation s'accompagne d'une mise à disposition de nectar et de pollen pour les syrphes dans les parcelles. *E.balteatus* a besoin de fleurs qui lui fournissent du pollen (énergie) afin de passer l'hiver (Arrignon *et al.*, 2007).

Les prairies temporaires et permanentes et les jachères sont des lieux de refuges hivernaux pour les coccinelles.

Les prairies temporaires, non perturbées par de nombreuses opérations culturales sont favorables aux hyménoptères parasitoïdes de pucerons et aux chrysopes. Plus elles seront diversifiées et moins perturbées, leur potentiel d'accueil sera plus élevé.

Diversité des cultures

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

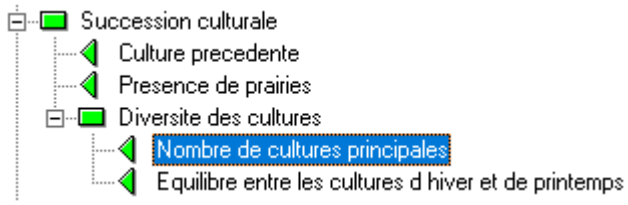
1 Défavorable
2 Peu favorable
3 Favorable
4 Très favorable

Cela correspond au nombre de cultures principales dans la rotation, équilibre entre les cultures d'hiver et de printemps)

La succession culturale influence la présence de parasitoïdes de pucerons sur une parcelle du fait de la nature des précédents de leur diversité et de la présence de certaines cultures favorables aux auxiliaires comme les cultures entomophiles.

Nombre de culture principale

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Trois cultures et moins dans la succession
2 De 4 à 5 cultures dans la succession
3 Plus de 5 cultures dans la succession

Equilibre entre les cultures d'hiver et de printemps

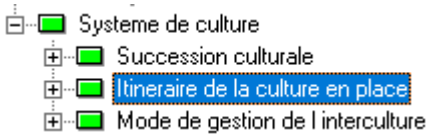
La place dans DEXi ARENA est la suivante :

Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Culture de printemps dominante (plus de 60 %)
2 Culture d'hiver dominante (plus de 60 %)
3 Equilibre entre les cultures d'hiver et de printemps (entre 40 et 60 % de cultures de printemps)

Itinéraire technique de la culture en place

La place dans DEXi ARENA est la suivante :

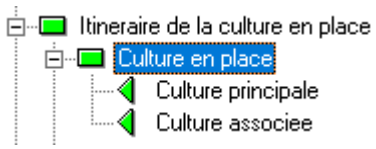


Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Défavorable
2 Peu favorable
3 Favorable
4 Très favorable

Culture en place

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



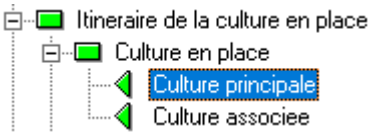
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Défavorable
2 Peu favorable
3 Favorable
4 Très favorable

La culture en place et la mise en place d'une culture associée sont des facteurs qui peuvent nettement améliorer le potentiel d'accueil des auxiliaires dans une parcelle.

Culture principale

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Maïs
2 Betterave, pomme de terre, orge de printemps
3 Pois, féverole, tournesol, soja, céréales d'hiver
4 Colza , Luzerne.

Les syrphes sont présents dans toutes les cultures, néanmoins les cultures d'hiver sont plus attractives pour les syrphes aphidiphages que les cultures de printemps (Reboulet, 1999). Les différentes sensibilités aux pucerons des variétés de blé n'ont pas de conséquences sur le nombre de larves de syrphes présentes (Wanlei *et al.*, 2009).

L'efficacité de prédation des larves de chrysopes sur les pucerons est plus importante au sein des cultures de maïs, céréales, colza, tournesol, et légumineuses. Si les populations ne sont pas trop faibles, les densités de chrysopes sont plus importantes dans un blé ayant pour précédent une jachère et une avoine que dans des cultures de seigle d'hiver, de colza, d'orge ou dans une association orge-mélilot (Bokina, 2010). En outre, les chrysopes sont plus abondantes dans de la luzerne que dans un blé précédé d'une jachère (Bokina, 2010).

Les travaux de (Reboulet, 1999), montrent qu'en grandes cultures, les chrysopes sont aussi efficaces en cultures de maïs, de betteraves, de légumineuses et de pommes de terre, mais un peu moins sur les cultures de colza, de céréales et de tournesol. Les névroptères sont aussi efficaces contre les pucerons en cultures légumières ainsi qu'en vergers où ils trouvent facilement refuges.

Il est reconnu que *Coccinella setempunctata* est particulièrement présente dans les cultures suivantes : légumineuses, céréales, colza, tournesol et betteraves. En revanche, *Calvia quattuordecimguttata* se retrouvent régulièrement en cultures légumières et dans les parcelles de maïs. Le genre Scymnus est très présent en cultures légumières. (Reboulet, 1999). Les coccinelles seraient les principaux auxiliaires régulateurs des populations de pucerons dans le sorgho (Kring *et al.*, 1985 cité par Brewer & Elliot, 2004) et sont régulièrement rencontrées en culture de blé d'hiver (Rice & Wilde, 1988 cité par Brewer & Elliot, 2004 ; Michels *et al.,* 2001 cité par Brewer & Elliot, 2004).

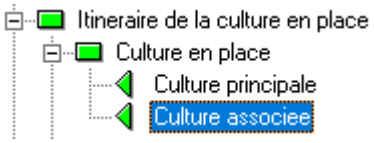
Wanlei *et al.* (2009) ont trouvé plus de coccinelles dans une variété de blé sensible aux pucerons que dans des variétés peu résistantes et très résistantes. Logiquement, c'est sur la variété sensible que le maximum de pucerons a été recensé, l'effet proie doit être déterminant. Les conséquences sur les populations de coccinelles de la sensibilité aux pucerons des variétés de blé et de sorgho sont également évoquées par Brewer & Elliot (2004). Ainsi, les variétés sensibles aux pucerons sont également plus favorables aux populations de coccinelles qui les consomment. La présence d'une culture associée favorise la présence de coccinelles dans des cultures qui pourraient être peu attractives.

Les coccinelles sont efficaces contre les pucerons inféodés à de nombreuses cultures et plus particulièrement sur les cultures de légumineuses, céréales à pailles, colza, tournesol, betterave, maïs, et sorgho

La régulation biologique des populations de pucerons par les hyménoptères parasitoïdes est plus souvent observée en cultures de céréales, de légumineuses, de pommes de terre et de légumes par rapport aux autres cultures. L'activité principale de ces auxiliaires sur céréales a lieu de mai à juillet alors qu'elle dure plus longtemps dans des parcelles de taillis ou de luzerne (Langer, 2001, Reboulet, 1999). Ainsi, la culture en place ainsi que sa date de semis à cause de l'effet sur les proies vont impacter plus ou moins favorablement le potentiel de ces parasitoïdes.

Culture associée

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Pas de culture associée
2 Culture associée présente

La mise en place de cultures associées est très favorable aux syrphes, en particulier lorsqu'il s'agit de culture à pollinisation entomophile. Ces dernières attirent et alimentent les syrphes adultes qui peuvent ensuite aller pondre sur la culture principale. Certains auteurs font état que les larves de syrphes sont plus nombreuses dans des cultures associées au blé et au colza que dans des parcelles en monoculture de blé.

Par ailleurs, une parcelle conduite avec 8 rangs de blé et 4 rangs de colza présente des populations de larves syrphes et de coccinelles significativement plus élevées par rapport à une monoculture de blé (Wanlei *et al.*, 2009). L'association de 2 rangs de fève et d'un rang de phacélie favorise les larves de syrphes et de manière plus importante que la mise en place de bandes de phacélie en bordure ou au centre de la parcelle (Wnuk & Wojciechowicz-Zytko, 2007). En outre, des résultats similaires avec d'autre associations ont été obtenus : betterave-phacélie (Christerson, 1995), pois-moutarde (Wnuk et Wiech, 1996) et chou-trèfle (Wiech, 1993) où les cultures avec association présentaient moins de pucerons et plus de larves de syrphes que des monocultures.

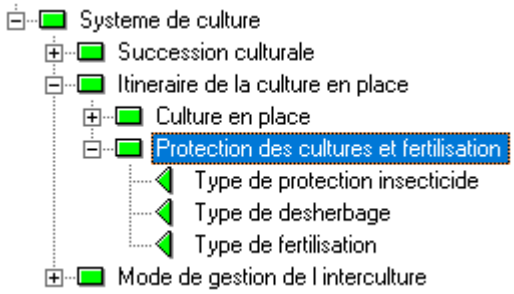
Au sein d'une association de trois cultures Maïs/vesce/Courge musquée, l'abondance en coccinelles du genre Hippodamia spp. est supérieure à celle rencontrée dans une monoculture de maïs (Trujillo-Arriaga & Altieri, 1990). Une meilleure répartition spatiale et temporelle du pollen, du nectar et des proies (alternatives ou non) dans l'association serait responsable de ce phénomène. Cette étude indique également qu'en culture de maïs au Mexique, les premières coccinelles apparaissent 32 jours avant les premières colonies de pucerons. En cas de monocultures, elles ne disposeraient que de peu de ressources alternatives, par contre en cas d'association avec des vesces et/ou des cucurbitacées, le nectar extra-floral présent leur permettrait de se maintenir durant cette période. En présence de cultures associées, les pucerons auraient aussi plus de mal à trouver le maïs et donc à se rassembler dessus. Une association avoine-fève ne favorise pas les coccinelles, en revanche les populations de pucerons vont se concentrer dans l'avoine (Brewer & Elliot, 2004). Ainsi, la présence d'une culture associée riche en nectar et/ou en proies de substitution peut fournir aux coccinelles des aliments alternatifs lorsque les populations de pucerons ne sont pas encore développées.

En cultures légumières, une culture de brocolis en association de moutarde ou de sarrasin permet d'augmenter le taux de parasitisme des pucerons par des hyménoptères parasitoïdes dans les rangs bordant la culture associée et de diminuer la densité de pucerons dans l'ensemble de la culture (Ponti *et al.*, 2007). Par contre, l'association de fève et d'avoine n'a pas eu d'effet similaire, les populations de pucerons se sont concentrées sur l'avoine (Langer, 2001). La mise en place d'un couvert de légumineuses n'a pas permis d'accroître le taux de parasitisme des pucerons dans les travaux de Costello *et al.* (1995). Cela pourrait être dû à une perturbation olfactive des hyménoptères parasitoïdes du fait de la présence d'une diversité de plantes ; ceux-ci ne parviendraient plus à identifier la plante accueillant leurs hôtes (Langer, 2001).

La présence d'une culture associée peut permettre d'augmenter l'efficacité de prédation des larves de chrysopes sur une culture, en particulier si l'on associe une culture favorable à cette prédation à une autre qui l'est moins. Par exemple une association blé-colza accueille plus de chrysopes qu'une monoculture si le linéaire colza n'est pas trop faible, au moins 4 rangs de colza pour 12 de blé (Dabbagh Mohammadi Nassab *et al.* 2013).

Protection des cultures et fertilisation

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



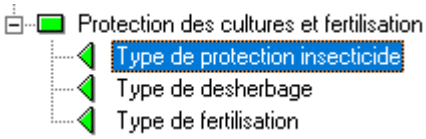
Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Défavorable
2 Peu favorable
3 Favorable
4 Très favorable

La gestion de la culture comprend les pratiques de protection des cultures (utilisation d'insecticides, de fongicides et désherbage) ainsi que la fertilisation. Ces pratiques ont une influence sur les populations de différents auxiliaires. La caractérisation de cette pression phytosanitaire contribue à estimer le potentiel de développement des auxiliaires dans une parcelle donnée. Elle peut se traduire directement du fait de la toxicité des insecticides sur les populations d'auxiliaires mais aussi indirectement via la suppression des ravageurs hôtes ou proies, et de la diversité des ressources trophiques végétales via le désherbage chimique ou mécanique.

Type de protection insecticide

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Deux applications par an ou plus
2 Environ une application par an
3 Pas d'application

L'utilisation régulière d'insecticides peut entraîner une mortalité directe des syrphes ou indirecte en supprimant leurs proies, engendrant ainsi une diminution des populations de syrphes qui s'en nourrissaient (Sol & Sander, 1959 cité par Sommaggio, 1999). Les populations réduites auront moins d'influence sur les populations de pucerons à l'automne. Un risque d'effet cumulatif de réduction de la régulation naturelle pourrait être rencontré l'année suivante.

L'utilisation d'insecticides entraîne des mortalités chez les syrphes, Moens *et al.* (2011) ont testé l'effet de cinq d'entre eux : le pirimicarb cause 100% de mortalité larvaire, le spinosad provoque 60% de mortalité et les survivants ne parviennent pas à pondre, les œufs qui éclosent à la suite d'un traitement au Flonicamid sont deux fois moins nombreux qu'en absence de traitement. Enfin le thiacloprid et le spirotetramat provoquent des mortalités plus faibles et ne semblent pas impacter la fertilité des adultes.

Les insecticides anti-pucerons peuvent affecter directement les coccinelles. Il est donc important de prendre garde à utiliser des produits sélectifs et de ne pas trop traiter si l'on veut maintenir des populations de coccinelles. Dans une étude comparant différents systèmes de cultures, Hasken & Poehling (1995) ont rencontré moins de coccinelles dans les systèmes utilisant des insecticides que dans ceux qui n'en utilisent pas.

Harmonia axyridis semble moins sensible aux pyréthrinoïdes de synthèse et aux organophosphorés que ses proies (Cho *et al.*, 2002). D'après Moura *et al.*, 2006, le pirimicarbe n'affecte pas la prédation des coccinelles chez *Coccinella undecimpunctata*. En revanche, ils citent diverses études ayant montré un effet de la molécule sur la fécondité d'autres espèces (Olzak, 1999 sur *Adalia bippunctata* et Schmuck *et al.*, 1997 sur *Coccinella setempunctata*). Stinner *et al.* (2004) ne remarquent pas d'effet de l'utilisation d'insecticides sur la présence de coccinelles sur le feuillage du maïs.

Les acaricides impactent également les populations de coccinelle *Harmonia axyridis*. Youn *et al.* (2003) ont testé quatre acaricides, l'abamectine, le fenazaquin, le tebufenpyrad et lechlorfenapyr (non autorisé en France). Tous affectent les œufs, et l'abamectine est également toxique envers tous les autres stades de développement de la coccinelle.

L'activité de coccinelles présente deux pics. Le premier en juin-juillet correspond à la période de reproduction (avec présences d'œufs et de larves), puis le second entre septembre et octobre où l'on rencontre essentiellement des adultes (Burgio *et al.*, 2006 ; Iperti, 1999). Les insecticides ainsi que les acaricides affectent particulièrement les jeunes stades de développement *d'Harmonia axyridis* et peuvent également affecter les adultes (Youn *et al.*, 2003). Il est donc déconseillé de ne pas traiter lorsque ces formes sont abondantes.

Bien que certaines espèces parmi le complexe Chrysoperla carnea montrent des formes de résistance aux insecticides (Stelzl & Devetak, 1999 ; Pree *et al.*, 1989), la pulvérisation de ce type de produit reste un facteur critique pour le développement des communautés de Névroptères (Stelzl & Devetak, 1999). Rogers *et al.* (2007) et Rezaei *et al.* (2006) confirment un effet négatif de l'imidacloprid sur la survie des chrysopes. L'utilisation de régulateurs de croissance peut avoir divers effets sur les chrysopes, le diflubenzuron (contre sésamie sur maïs) par exemple inhibera complètement l'éclosion des œufs ; alors que le pyriproxyfen et le tebufenozide n'affecteront ni l'éclosion des œufs, ni la fertilité des femelles (Medina *et al.*, 2002).

L'utilisation régulière d'insecticides peut entraîner une mortalité directe importante des hyménoptères parasitoïdes de pucerons, ainsi qu'une mortalité indirecte en supprimant les populations de ravageurs qui sont leur hôte. Ainsi, les populations de parasitoïdes réduites réguleront plus difficilement les nouvelles arrivées des populations de pucerons.

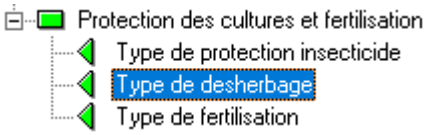
Un traitement aphicide avec une dose de 6.25g/ai/ha de deltamethrin (dose recommandée au champ en 1997) cause 90% de mortalité chez les parasitoïdes de pucerons (et 78% chez

les pucerons). Une dose plus faible (1/20e de la dose précédente) réduit les populations de parasitoïdes de 60% (et celles de pucerons de 40%) (Longley *et al.*, 1997). Gonzales-Zamora *et al.* (2004) testent au laboratoire l'effet de deux matières actives, l'Indoxacarb et le Methomyl (plus autorisé en France), sur *Eretmocerus mundus* Mercet (un parasitoïde d'aleurode). Ils observent dans les deux cas une mortalité des adultes plus élevée avec l'insecticide que dans le témoin.

Langhof *et al.* (2003) précisent que l'effet des insecticides dans les zones de dérives (sous le vent) ainsi que l'effet de ces résidus peuvent être plus importants sur les parasitoïdes de pucerons que sur les pucerons eux-mêmes, d'autant que les pucerons ont la possibilité de recoloniser les parcelles plus rapidement que leurs parasitoïdes. Jonsson *et al.* (2012) identifient également un effet plus important des insecticides sur parasitoïdes que sur pucerons. Desneux *et al.* (2003) remarquent que des femelles *Aphidius ervi* exposées à des résidus de faibles doses de pyréthroïde (lambda-cyhalothrin) sont moins efficaces pour repérer et parasiter leurs hôtes. Néanmoins, cet effet ne dépasse pas 24 heures. L'utilisation d'insecticides sélectifs des hyménoptères parasitoïdes présente donc un avantage pour le contrôle de ces ravageurs.

Type de désherbage

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Chimique uniquement
2 Mécanique et chimique
3 Mécanique uniquement

Les adventices n'ont pas d'effet direct sur la diversité spécifique des syrphes aphidiphages, néanmoins Wnuk & Pobozniak (2004) observent des densités de pucerons plus importantes lorsqu'il n'y a pas de traitement herbicide. L**es adventices dicotylédones** seraient plus influentes que les graminées sur la diversité.

Le désherbage chimique comme mécanique, va affecter négativement les coccinelles. En effet, supprimer les adventices correspond à priver ces auxiliaires de pollen, de nectar et de proies alternatives. L'abondance en coccinelles est affectée par la densité d'adventices présentes sur une parcelle (Elliot *et al.*, 2002). Les adventices : *Daucus carota* et *Amaranthus retroflexus*, ainsi que dans une moindre mesure *Dolichovespulas sylvestris*, *Arctium* spp, *Crepis* spp et *Picris* spp sont les espèces qui apportent le plus de ressources aux coccinelles et surtout à la fin de la saison culturale (Burgio *et al.*, 2006).

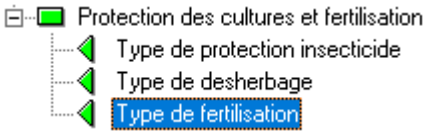
En réduisant les ressources alimentaires, on limite aussi le temps passé par l'auxiliaire dans la parcelle. Corrales & Campos (2004) comparent les populations de chrysopes de trois vergers : conventionnels, intégrés et biologiques. Le système intégré reçoit deux fois moins d'insecticide et le biologique ne reçoit ni insecticide ni herbicide. Ces deux systèmes ont un labour superficiel et non profond. Les taux de mortalité ont été plus élevés dans le système

conventionnel et la fécondité plus élevée dans le système biologique. Il semble que les chrysopes puissent être directement affectées par certains produits chimiques utilisés pour le désherbage. L'expérience conduite en laboratoire par Schneider *et al.* (2009) montre un effet néfaste du glyphosate sur la durée de vie, la fécondité et la nymphose des chrysopes. Cet effet serait probablement moins important en plein champ mais cette étude laisse supposer qu'une exposition continue au glyphosate serait délétère pour les chrysopes. Ainsi, le désherbage peut influencer les chrysopes par la destruction d'adventices apportant des ressources alimentaires et par un éventuel effet direct lié à l'application des produits.

Powell *et al.* (1986) n'observent pas d'hôtes secondaires sur les adventices présentes dans les champs de blé pour les hyménoptères parasitoïdes de pucerons des céréales. Vollhardt *et al.* (2008) précisent que la présence d'hôtes alternatifs n'est pas nécessaire pour les parasitoïdes de pucerons qui passent l'hiver sous forme de pré-pupes dans les momies. Les herbicides ne semblent donc pas avoir d'effet sur ces auxiliaires. Cependant la mise à disposition de pollen liée à la présence d'adventices pourrait leur être favorable.

Type de fertilisation

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Fertilisation minérale
2 Fertilisation minérale et organique
3 Fertilisation organique

Iperti (1999) remarque que les coccinelles sont sensibles à une fertilisation excessive qui peut occasionner une surmortalité des larves de coccinelles par rapport à une fertilisation organique. Une fertilisation minérale occasionnerait 10% de mortalité en plus chez les larves *d'Adalia bipunctata* par rapport à une fertilisation organique (Banfield-Zanin *et al,.* 2012).

Dans un laboratoire Aqueel & Leather (2012) ont étudié l'effet de la dose d'engrais apportée sous la forme de nitrates sur la consommation par la coccinelle *Harmonia axyridis* des pucerons *Rhopalosiphum padi* et *Sitobion avenae*. Ils enregistrent un plus grand nombre de pucerons consommés lorsque la dose apportée est la plus faible. Dans ce cas les pucerons restent plus petits. Cependant la biomasse consommée reste la même pour l'ensemble des modalités. Ainsi, d'après ces auteurs une fertilisation intensive serait néfaste aux populations de coccinelles.

Concernant les syrphes, une fertilisation organique avec du fumier ou avec des résidus est bénéfique, en revanche, le lisier ne semble pas avoir d'effet particulier, pas plus qu'une fertilisation conventionnelle (Sattler *et al.*, 2012). Des engrais minéraux enfouis n'ont pas d'influence sur la présence de syrphes. En revanche, une fertilisation organique avec des résidus de culture (compostés ou non et enfouis ou non) favorise les populations de prédateurs de pucerons, mais aussi les pucerons (Karungi *et al.*, 2010). En outre, de

meilleurs rendements ont été constatés avec les amendements organiques de type résidus de culture. En revanche, Garratt *et al.* (2010) dénombrent plus d'œufs de syrphes dans des parcelles conduites avec une fertilisation conventionnelle ; néanmoins, ils ne trouvent aucun effet sur larves ou pupes.

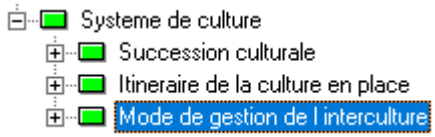
D'après plusieurs études, la fertilisation organique ou minérale ne semble pas avoir d'effet sur les micro-hyménoptères parasitoïdes de pucerons (Costello & Altieri, 1995 ; Garratt *et al.*, 2010 ; Macfadyen *et al.*, 2009). Néanmoins lors de ces deux études, les populations de parasitoïdes étaient faibles. Ponti *et al.* (2007) observent un taux de parasitisme plus important et un nombre inférieur de pucerons lorsque la fertilisation est organique. De même, Hole *et al.* (2005, cité par Macfadyen et al, 2009) remarquent une abondance et une diversité en arthropodes supérieures avec ce type de fertilisation.

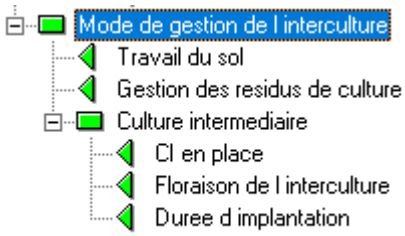
Selon l'étude d'Aqueel *et al.* (2014), les chrysopes consomment la même masse de pucerons quelle que soit la dose d'azote apportée (et pour tous les stades larvaires). Néanmoins les pucerons sont plus volumineux avec un apport azote plus élevé, l'effectif consommé par les auxiliaires diminue donc lorsque l'intensité de la fertilisation augmente. En outre cette étude met en avant un poids, une fécondité des femelles ainsi qu'une durée de vie des mâles et femelles plus importantes avec une dose d'azote plus élevée, de même qu'un développement larvaire et nymphal plus rapide, ce qui ne semble pas être le cas avec les autres auxiliaires précédemment cités. Dabbagh Mohammadi Nassab *et al.* (2013) ne notent pas d'effet lié à la fertilisation sur les larves de *Chrysoperla carnea*.

Lorsque Hasken *et al.* (1995) étudient les ennemis naturels des pucerons dans du blé d'hiver avec différents niveaux de pesticides et fertilisants, ils ne trouvent pas de différence entre les différents systèmes ; cependant, peu de pucerons et d'auxiliaires ont été observés au cours de cette étude

Mode de gestion de l'interculture

La place dans DEXi ARENA est la suivante :





Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

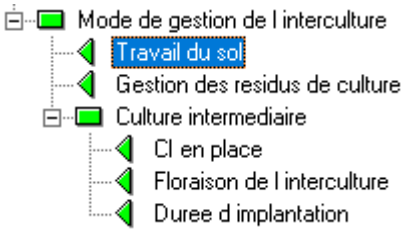
1 Défavorable
2 Peu favorable
3 Favorable
4 Très favorable

L'interculture est une période clef pour favoriser les populations de syrphes, de coccinelles d'hyménoptères parasitoïdes et de chrysopes. En effet, l'accroissement et le maintien des populations contribueront à la régulation biologique lors de l'arrivée des pucerons sur la culture suivante que ce soit en automne ou au printemps.

Les deux facteurs principaux identifiés comme étant les plus favorables aux auxiliaires sont la réduction de l'intensité du travail du sol et l'installation de plantes attractives fournissant une alimentation intermédiaire aux auxiliaires directement, soit en hébergeant des proies ou des hôtes.

Travail du sol

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Labour fréquent (presque tous les ans),
2 Travail du sol superficiel et labour rare
3 Travail superficiel uniquement
4 Semis direct seul

L'étude de Sattler *et al. (2012)* montre qu'un travail du sol réduit engendre indirectement un avantage pour les syrphes. L'augmentation des périodes où la végétation est présente permet aux larves et aux adultes de se maintenir dans les parcelles et ensuite de passer l'hiver à proximité des parcelles. Ce phénomène est particulièrement important en vue de l'arrivée précoce des syrphes au printemps.

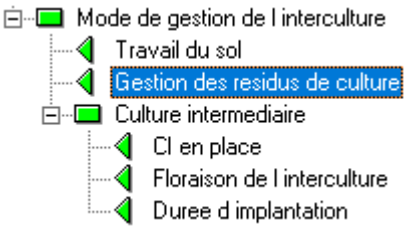
Concernant les coccinelles, Brewer & Elliot (2004) ne relèvent aucun effet de la réduction ou de l'absence de labour. Stinner *et al.* (2004) ne remarquent pas non plus d'effet du labour sur la présence de coccinelles sur le feuillage du maïs.

Dans leur synthèse, Brewer & Elliot (2004) et Bokina (2010) ne relèvent pas d'effet du travail du sol sur les chrysopes. En revanche, le maintien d'un couvert permanent pourrait favoriser ces auxiliaires. Les espèces les plus adaptées aux parcelles cultivées seraient celles qui diapausent dans le sol ou sur les tiges au moment de la récolte (Stelzl & Devetak, 1999). Elles seraient bien favorisées par la présence d'un couvert et/ou la réduction du travail du sol.

Les hyménoptères parasitoïdes de pucerons des céréales pourraient passer l'hiver dans les momies sur les parcelles cultivées (Vollhardt *et al.*, 2008), dans ce cas le labour risquerait de les détruire (Langer, 2001). Il limitera la régulation biologique des populations de pucerons dans la prochaine culture installée. Néanmoins, Dong *et al.* (2013) n'observent pas d'effet du labour sur de faibles populations d'hyménoptères parasitoïdes étudiées en 2010.

Gestion des résidus de culture

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Résidus exportés ou enfouis,
2 Résidus laissés en surface

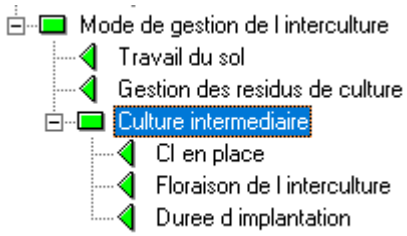
La présence de résidus de culture permet aux syrphes de passer l'hiver dans les parcelles agricoles et de se développer plus tôt dans la saison. Ainsi apporter ou laisser des résidus de cultures favorise les syrphes dans la parcelle qu'ils soient ou non compostés (Karungi *et al.*, 2010).

De même, les débris de culture peuvent servir d'abris aux coccinelles pour passer l'hiver (Bianchi & van der Werf, 2004).

Les hyménoptères parasitoïdes de pucerons des céréales peuvent passer l'hiver dans les momies sur les parcelles cultivées (Vollhardt *et al.*, 2008). En exportant ou en enfouissant les résidus de culture, les parasitoïdes hivernant risquent d'être détruits ou transportés hors de la parcelle lors de l'exportation des résidus. Ainsi l'exportation ou la destruction des résidus réduit le potentiel en micro-hyménoptères parasitoïdes de pucerons d'une parcelle.

Culture intermédiaire

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Défavorable
2 Peu favorable
3 Favorable
4 Très favorable

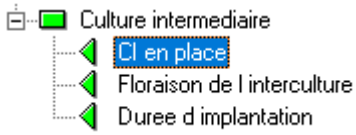
Devant une culture de printemps, si une culture intermédiaire fleurit, elle a le potentiel de fournir du pollen et peut ainsi aider à passer l'automne et l'hiver à des espèces comme *Episyrphus balteatus* dont l'adulte s'alimente de pollen (Arrignon *et al.*, 2007). Les syrphes ainsi favorisés pourront potentiellement pondre à proximité des premières colonies de pucerons installées sur la culture qui suit. Ainsi, des cultures intermédiaires à floraison automnale ou hivernale maintiennent les populations de syrphes pendant l'hiver. Sarthou *et al.* (2005) observent en hiver une corrélation entre l'abondance totale de fleurs dans les champs et l'abondance de syrphes.

Les cultures intermédiaires contribuent au maintien des coccinelles dans les parcelles cultivées jusqu'aux cultures suivantes qu'elles soient d'hiver ou de printemps et elles participent aussi à leur maintien aux alentours de la parcelle du fait de l'augmentation potentielle des populations.

Dans le jabot d'une chrysope en hiver, il est possible de trouver du pollen de plantes à floraison automnale et hivernale (géranium, chrysanthèmes, mercuriales, lierres, ronces) (Villenave, 2007). Par ailleurs, la présence d'une culture intermédiaire fleurie permet aux chrysopes de repérer la parcelle dès la sortie d'hiver et de s'y installer.

Culture intermédiaire en place

La place dans DEXi ARENA est la suivante :

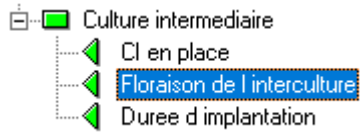


Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Pas de culture intermédiaire
2 Couvert composé d'une seule espèce
3 Mélanges d'espèces

Floraison de l'interculture

La place dans DEXi ARENA est la suivante :

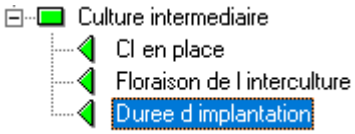


Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Pas de culture intermédiaire
2 Culture intermédiaire sans floraison
3 Culture intermédiaire avec floraison

Culture intermédiaire

La place dans DEXi ARENA est la suivante :



Les sites sont classés selon l'échelle suivante :

1 Pas de culture intermédiaire
2 Culture intermédiaire ne couvrant que partiellement la durée de l'interculture
3 Culture intermédiaire couvrant la majorité de la période d'interculture.

Des effets non pris en compte dans l'arbre :

Effet du climat

La prise en compte du climat ne semblait pas possible dans cet outil d'évaluation multicritère car il est surtout destiné à encourager les modifications de pratiques favorisant les populations d'auxiliaires, et les agriculteurs n'ont pas de prise sur ce phénomène. D'autres part les connaissances sur ces phénomènes existent mais restent encore assez complexes à formaliser et ce facteur nous semblait un peu trop complexe pour être pris en compte dans ce contexte.

Une température supérieure à 25°C occasionne une mortalité chez les syrphes dans les études de Hart *et al.* (1997 cité par Amoros-Jiménez *et al.*, 2012) ; pourtant Amoros-Jiménez *et al.* (2012) ne notent pas d'effet néfaste de la température jusqu'à 30°C. D'autre part, si la

température est inférieure à 14°C, des mortalités sont observées (Hart & Bale, 1997 cité par Arrignon *et al.*, 2007). L'activité des coccinelles (Skirvin *et al.*, 1997) augmente de 16 °C à 35 °C pour décroitre ensuite. Ces auteurs indiquent que les pucerons se développent à partir de 0°C jusqu'à 25 °C puis leur croissance diminue ensuite. Ainsi dans ce contexte, la régulation interviendrait surtout lorsque la température dépasse 16 °C.

La température joue également un rôle sur leur activité. Au-delà de 13°C, leur activité principale sera de se nourrir (Gilbert, 1985 cité par Arrignon *et al.*, 2007). L'effet du climat sur les syrphes est souvent évoqué dans la littérature : Amiri-Jamini & Sadeghi-Namaghi, 2014 ; Hasken & Poehling, 1995 ; Niehoff & Poehling, 1995 ; Raymond *et al.*, 2014.

Dong *et al.* (2010) stipulent que la chaleur favorise les parasitoïdes et le parasitisme, alors que le froid printanier a pour conséquence d'affaiblir les populations au cours de l'année.

Effet « proies »

La complexité des relations entre les proies et les prédateurs ainsi qu'entre les parasitoïdes et leurs hôtes est difficile à prendre en compte dans ce contexte. Néanmoins, cet effet pourrait être envisagé via un couplage à un arbre évaluant le potentiel d'accueil de pucerons d'une parcelle. Les populations de pucerons qui jouent un rôle de proies ou d'hôtes ont un effet déterminant dans les variations interannuelles des populations d'auxiliaires. Différents auteurs évoquent précisément leurs effets sur les populations de coccinelles, de chrysopes, de micro-hyménoptères parasitoïdes de pucerons.

L'effet densité de proies sur les syrphes est souvent évoqué dans la littérature : Hasken & Poehling, 1995 ; Karungi *et al.*, 2010 ; Meyer *et al.*, 2009 ; Niehoff & Poehling, 1995 ; Raymond *et al.*, 2014 ; Wnuk &Pobozniak, 2004. Les pontes de syrphes augmentent avec le nombre de proies, néanmoins le nombre de pucerons augmente plus vite que le nombre d'oeufs (Amiri-Jamini & Sadeghi-Namaghi, 2014). L'espèce de pucerons et leur densité ont une influence sur le niveau de prédation des larves de syrphes. La sélection des proies varie aussi selon les espèces de syrphes (Putra & Yasuda, 2006).

Dans l'étude de Caballero-Lopez *et al.* (2012), les coccinelles et les pucerons sont en effectifs plus élevés à l'intérieur des parcelles par rapport à leurs bordures. Selon les auteurs, cela indique que des populations de coccinelles augmentent bien en présence de proies. De la même manière, l'abondance des coccinelles adultes dans les études de Elliot *et al.*, 2002 ; Skirvin *et al.*, 1997 ainsi que le nombre de proies consommées par le 4ème stade larvaire (chez *Coccinella undecimpunctata* ; Moura *et al.*, 2006) sont affectées par la densité de pucerons présente dans les champs. Plusieurs études montrent que la réponse fonctionnelle décroit au fur et à mesure que la population de proies augmente (Aqueel & Leather, 2012 ; Bianchi & van der Werf, 2004 ; Elliot *et al.*, 2011).

Les effectifs de larves de *Chrysoperla carnea* augmentent en liaison avec la présence des populations de *Sitobion avenae* (Dabbagh Mohammadi Nassab *et al.*, 2013).

Pour les hyménoptères parasitoïdes, l'effet densité hôtes est aussi évoqué par Dong *et al.* (2010), Garratt *et al.* (2010), Lee *et al.* (2006), Roschewitz *et al.* (2005). Néanmoins, dans les études conduites par Jonsson *et al.* (2012), il n'y a pas de relation observée.

Pour mémoire : autres facteurs non pris en compte

Les fongicides ne semblent pas affecter les coccinelles *Harmonia axyridis* (Youn *et al.*, 2003). et les syrphes (Colignon *et al.*, 2003).

Hasken & Poehling (1995) suggèrent qu'une plus faible densité de semis pourrait être à l'origine d'un microclimat plus sec qui serait défavorable aux larves de syrphes. Néanmoins, selon les auteurs, l'effet de ce paramètre reste incertain.

Dans certains cas, un semis précoce va permettre le développement plus précoce des arthropodes, ils seront donc aptes à se reproduire plus tôt et chercheront alors des hôtes pour pondre leurs œufs dès la fin du printemps. Les hyménoptères parasitoïdes de pucerons peuvent se disperser à partir de ray gras, d'orge ou de blé d'hiver semé précocement vers du blé semé plus tardivement. L'étude Vorley & Wratten, 1987 fait état d'une parcelle de blé précoce pour 25 parcelles de blé semées tardivement.

Bibliographie :

Adedipe F. & Park Y.-L., 2010. Visual and olfactory preference of Harmonia axyridis (Coleoptera : Coccinelidae) adults to various companion plants. Journal of Asia-Pacific Entomology 13, 319-323.

Ahern R. G. & Brewer M.J., 2002. Effect of different wheat production systems on the presence of parasitoids (Hymenoptera : Aphelinidae; Braconidae) of the Russian wheat aphid in North American Great Plains. Agriculture, Ecosystem and environment 92, 201-210.

Aqueel M.A. & Leather S.R., 2012. Nitrogen fertiliser affects the functional response and prey consuption of Harmonia axyridis (Coleoptera : Coccinellidae) feeding on cereal aphids. Annals of Applied Biology 160, 6-15.

Aqueel M.A., Collins C.M., Raza A.-B. M., Ahmad S., Tariq M. & Leather S.R., 2014. Effect of plant nutrition on aphid size, prey consumption and life history characteristics of green lacewing. Insect Science 21, 74-82.

Amiri-Jami A. R. &, Sadeghi-Namaghi H., 2014. *Responses of* Episyrphus balteatus *DeGeer (Diptera: Syrphidae) in relation to prey density and predator size*. Journal of Asia-Pacific Entomology **17**, 207–211.

Araj S.-E., Wratten S., Lister A. & Buckley H., 2008. Floral diversity, parasitoids and hyperparasitoids – A laboratory approach. Basic and Applied Ecology 9, 588-597.

Arrignon F., Deconchat M., Sarthou J.-P., Balent G. & Monteil C., 2007. *Modelling the overwintering strategy of a beneficial insect in a heterogeneous landscape using a multi-agent system*. Ecological Modeling **205**, 423–436.

Baggen L.R. & Gurr G.M., 1998. The influence of food on Copidosoma kehleri (Hymenoptera : Encyrtidae), and the use of flowering plants as a habitat management tool to enhance biological control of patato moth, Phthorimaea opculella (Lepidoptera : Gelechiidae).Biological control 11, 9-17.

Banfield-Zanin A.A., Rossiter J.T., Wright D.J., Leather S.R. & Staley J.T., 2012. Predator mortality depends on whether its prey feeds on organic or conventionally fertilized plants. Biological Control 63, 56-61.

Bekina I.G., 2010. Lacewings (Chrysopidae, Neuroptera) in cereal agrocenoses of the forest-steppe of Western Siberia. Zoologicheskii Zhurnal 89 (2), 43-53.

Bianci F.J.J.A. & van der Werf W., 2004. Model evaluation of the function of prey in non-crop habitats for biological control by ladybeetles in agricultural landscapes. Ecological Modelling 171, 177-193

Bianchi F.J.J.A. & WäckersF.L., 2008. Effects of flower attractiveness and nectar availability in field margins on biological control by parasitoids. Biological control 46, 400-408.

Brewer M.J. & Elliot N.C., 2004. *Biological control of cereal aphids in North America and mediating effects of host plant and habitat manipulations*. Annual review of entomology **49**, 219-242.

Bohanec, M., Džeroski,S.; Žnidaršič M., Messéan, A., Scatasta, S., Wesseler, J., 2004. "Multi-attribute modelling of economic and ecological impacts of cropping systems", Informatica (Ljublj.), vol. 28, no. 4, str. 387-392, [COBISS.SI-ID 18754855]

Bohanec, M., Zupan, B., 2004. A function-decomposition method for development of hierarchical multi-attribute decision models. In : Decision Support Systems. 2004. Vol. 36, n° 3, p. 215–233. DOI 10.1016/S0167-9236(02)00148-3.

Bohanec M., 2008 DEXi : Programm for Multi-Attribute Decision Makin. User's Manual Version 3.00, 1-56

Burgio G., Ferrari R., Boriani L., Pozzati M. & Van Lenteren J., 2006. The role of ecological infrastructures on Coccinellidae (Coleoptera) and other predatorsin weedy field margins within northern Italy agroecosystems . Bulletin of Insectology 59 (1), 59-67.

Burgio G. & Sommaggio D., 2007. *Syrphids as landscape bioindicators in Italian agroecosystems*. Agriculture, Ecosystems and Environment **120**, 416–422.

Caballero-López B., Bommarco R., Blanco-Moreno J.M., Sans F.X., Pujade-Villar J., Rundlöf M. & Smith H.G., 2012. Aphids and their natural ennemies are differently affected by habitat features at local and landscape scales. Biological Control 63, 222-229

Campbell A. J., Biesmeijer J. C., Varma V. & Wäckers F. L., 2012. *Realising multiple ecosystem services based on the response of three beneficial insect groups to floral traits and trait diversity*. Basic and Applied Ecology **13**, 363–370.

Chambre d'agriculture du Centre, 2011. Haies. IBIS, intégrer la biodiversité dans les systèmes d'exploitations agricoles 7, 43-52. (Disponible en ligne à l'adresse suivante : http://www.centre.chambagri.fr/cd_ibis/xdocs/pdf/amenagement/Haies.pdf).

Cho J.R., Kim Y.J., Kim H.S. & Yoo J.K., 2002. Some biochemical evidence on the selective insecticide toxicity between the two aphids, Aphis citricola and Myzus malisuctus (Heminoptera : Aphididae), and their predator, Harmonia axyridis (Coleoptera : Coccinellidae). Asia-Pacific Entomology 5 (1), 49-53.

Colignon P., Haubruge É., Gaspar C. & Francis F., 2003. *Effets de la réduction de doses de formulations d'insecticides et de fongicides sur l'insecte auxiliaire non ciblé* Episyrphus balteatus *[Diptera : Syrphidae]*. Phytoprotection **84**, 141-148.

Corrales N. & Campos M., 2004. Population longevity, morality and fecundity of Chrysoperla carnae (Neuroptera : Chrysoopidae) from olive-orchards with different agricultural management systems. Chemosphere 57, 1613-1619.

Costello M.J. & Altieri M.A., 1995. Abundance, growth ate and parasitism of Brevicoryne brassicae and Myzus persicae (Homoptera : Aphididae)on broccoli grown in living mulches. Agriculture, Ecosystems and Environment 52, 187-196.

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Sadok W., Doré T, 2011. MASC 2.0, Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Jeu complet de fiches critères de MASC 2.0. INRA – AgroParisTech – GIS GC HP2E, 133 p.

Dabbagh Mohammadi Nassab A., Amir Mardfar R. & Raei Y., 2013. Effect of wheat-oilseed rape intercropping and fertilizers on the population density of Sitobion avenae and is natural enemies. International Journal of Biosciences 3(5), 43-50.

de Oliveira A.S., Auad M.A., Souza B., das Graças Fonseca M. & Resende T.T., 2012. Population dynamics of Chrysoperla externa (Hagen) (Neuroptera : Chrysopidae)in a silvopastoral system. International Journal or Biodiversity and Conservation 4 (4), 179-182.

Denis A., 2009. Habitats and food preferences concerning syrphidae and chrysopidae auxiliaries. Rapport de stage M1 Agrocampus Ouest.

Desneux N., Pham-Delègue M.-H. & Kaiser L., 2003. Effects of sub-lethal and lethal doses of lambda-cyhalothrin on oviposition experience and host-searching behavior of a parasitic wasp, Aphidius ervi. Pest Management Science 60, 381-389.

Dong Z., Hou R., Ouyang Z. & Zhang R., 2013. Tritrophic interaction influenced by warming and tillage : A field study on winter wheat, aphids and parasitoids. Agriculture, Ecosystems and Environment 181, 144-148.

Dor C. & Maillet-Mezeray J., 2011. *Impact des pratiques et des aménagements sur l'abondance et la des Syrphidae ; Aller plus loin grâce aux analyses polliniques*. Colloque de restitution du programme CASDAR « Les entomophages en grandes cultures : diversité, service rendu et potentialités des habitats », 13 slides.

Elliot N.C., Kieckhefer R.W. & Beck D.A., 2002. Effect of aphids and the surrounding landscape on the abundance of Coccinellidae in cornfields. Biological Control 24, 214-220.

Garratt M. P. D., Wright D. J. & Leather S. R., 2010. *The effects of organic and conventional fertilizers on cereal aphids and their natural enemies*. Agricultural and Forest Entomology **12**, 307–318.

Gillespie M., Wratten S., Sedcole R. & Colfer R., 2011. *Manipulating floral resources dispersion for hoverflies (Diptera: Syrphidae) in a California lettuce agro-ecosystem*. Biological Control **59**, 215–220.

Gandon, J., 2019. Comprendre les régulations naturelles des pucerons en grande culture via la comparaison de suivis aux champs à des évaluations multicritères effectuées avec l'outil d'aide à la décision DEXi. Stage Agro campus Ouest, option Protection des Plantes et Environnement 1-25

Gonzalez-Zamora J.E., Leira D., Bellido M.J. & Avilla C., 2004. Evaluation of the effect of different insecticides on the survival and capacity of Eretmocerus mundus Mercet to control Bemisia tabaci (Gennadius) populations. Crop protection 23, 611-618.

Gosselke, U., Triltsch, H., Rossberg, D. et Freier, B., 2001. GETLAUS01 - The latest version of a model for simulating aphid population dynamics in dependence on antagonists in wheat. In : Ecological Modelling. 2001. Vol. 145, n° 2 3, p. 143–157. DOI 10.1016/S0304-3800(01)00386-6.

Hasken K.-H. & Poehling H.-M.; 1995. *Effects of different intensities of fertilisers and pesticides on aphids and aphid predators in winter wheat*. Agriculture, Ecosystems and Environment **52**, 45-50.

Hesler L.S., Berg R.K., 2003. Tillage impacts cereal-aphid (Homoptera : Aphididae) infestations in spring small grains. Journal of Economic Entomology 96(6), 1792-1797.

Hill, Stuart B. et Macrae, Rod J., 1996. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. In : Journal of Sustainable Agriculture. mai. Vol. 7, n° 1, p. 81 87. DOI 10.1300/J064v07n01_07.

Iperti G., 1999.Biodiversity predaceous coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. Agriculture, Ecosystem and Environment 74, 323-342.

Jonsson M., Buckley H.L., Case B.S., Wratten S.D., Hale R.J. & Didham R.K., 2012. Agricultural intensification drives landscape-context effects on host-parasitoid interactions in agroecosystems. Journal of Applied Ecology 49, 706-714.

Langer V., 2001. The potential of leys and short rotation coppice hedges as reservoirs for parasitoids of cereal aphids in organic agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment 87, 81-92.

Langhof M., Gathmann A., Poehling H.-M. & Meyhöfer R., 2003. Impact of insecticide drift onaphids and their parasitoids : residual toxicity, persistence and recolonisation. Agriculture, Ecosystems and Environment 94, 265-274.

Lançon, J., Reau, R., Cariolle, M., Munier-Jolain, N., Omon, B., Petit, M., Viaux, P., Wery, J., 2008. Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. In : Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer? Reau R. (ed.), Doré T. (ed.). Dijon : Educagri éd., 91-107. (Transversales) ISBN 978-2-84444-685-5

Lechat G. & Sarthou J.-P., 2014. *Pucerons des céréales : l'impact agroécologique des syrphes commence dès l'automne*. Techniques Culturales Simplifiées **76**,12-15. (Disponible en ligne : http://agriculture-de-conservation.com/PUCERONS-DES-CEREALES-L-IMPACT.html)

Leather S.R., Cooke R.C.A., Fellowes M.D.E. & Rombes R., 1999. Distribution and abundance of ladybirds (Coleoptera : Coccinellidae) in non-crop habitats. European Journal of Entomology 96, 23-27.

Lee J.C., Andow D.A., & Heimpel G.E., 2006. Influence of floral resources on sugar feeding and nutrient dynamics of a parasitoid in the field. Ecological Entomology 31, 470-480.

Longley M., Jepson P.C., Izquierdo J. & Sotherton N., 1997. Temporal and spatial changes in aphid parasitoid populations following applications of deltamethrin in winter wheat. Entomomlogia Expeimentatis et Applicata 83, 41-52.

Lucas E., Giroux S., Demougeot S., Duchesne R.-M. & Coderre, 2004. Compatibility of a natural enemy, Cleomegilla maculata lengi (Col., Coccinellidae)and four insecticides used against the Colorado potato beetle (Col., Chrysomelidae). Journal of Applied Entomology 128, 233-239.

Karungi J., Kyamanywa S. & Ekbom B., 2010. *Organic soil fertility amendments and tritrophic relationships on cabbage in Uganda: Experiences from on-station and on-farm trials*. African Journal of Agricultural Research **5** (21), 2862-2867.

Laubertie E. A., Wratten S. D. & Hemptinne J.-L., 2012. *The contribution of potential beneficial insectary plant species to adult hoverfly (Diptera: Syrphidae) fitness*. Biological Control **61**, 1–6.

Leather S.R., Cooke R.C.A., Fellowes M.D.E. & Rombes R., 1999. Distribution and abundance of ladybirds (Coleoptera : Coccinellidae) in non-crop habitats. European Journal of Entomology 96, 23-27.

Limburg D.D. & Rosenheim J.A., 2001. Extrafloral nectar consumption and its influence on survival and development of an omnivorous predator, larval Chrysoperla plorabunda (Neuroptera : Chrysopidae). Environmental Entomology 30 (3), 595-604.

Lucas E., Giroux S., Demougeot S., Duchesne R.-M. & Coderre, 2004. Compatibility of a natural enemy, Cleomegilla maculata lengi (Col., Coccinellidae)and four insecticides used against the Colorado potato beetle (Col., Chrysomelidae). Journal of Applied Entomology 128, 233-239.

Macfadyen S., Gibson R., Raso L., Sint D., Traugott M. & Memmott J., 2009. Parasitoid control of aphids in organic and conventional farming systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 133, 14–18.

MacLeod A., 1999. *Attraction and retention of* Episyrphus balteatus *DeGeer (Diptera: Syrphidae) at an arable field margin with rich and poor floral resource*. Agriculture, Ecosystems and Environment **73**, 237–244.

Medina P., Smagghe G., Budia F., del Estal P., Tirry L. & Viñuela E., 2002. Significance of penetration, excretion and transovarial uptake to toxicity of three insect growth regulators in predatory lacewing adults. Archives of Insect Biochemistry and Physiology 51, 91-101.

Menalled F.D., Marino P. C., Gage S. H. & Landis D. A., 1999. Does agricultural landscape structure affect parasitism and parasitoid diversity? Ecological Applications 9(2), 634–641.

Meyer B., Jauker F. & Steffan-Dewenter I., 2009. *Contrasting resource-dependent responses of hoverfly richness and density to landscape structure*. Basic and Applied Ecology **10**, 178–186.

Meynard, J.M., Dedieu, B.et Bos, B., 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. DOI: 10.1007/978-94-007-4503-2_18 In book: Farming systems research into the 21st century: the new dynamic, Chapter: 18, Publisher: Springer, Editors: Ika Darnhofer, David Gibbon, Benoît Dedieu, pp.405-429

Mignon J., Colignon P., Haubruge E. & Francis F., 2003. Effet des bordures de champs sur les populations de chrysopes [Neuroptera : Chrysopidae] en cultures maraîchères. Phytoprotection 84 (2), 121-128.

Moens, Joachim; De Clercq, Patrick; Tirry, Luc, 2011. *Side effects of pesticides on the larvae of the hoverfly Episyrphus balteatus in the laboratory*. PHYTOPARASITICA 39 (1), 1-9.

Moura R., Garcia P., Cabral S. & Onofre Soares A., 2006. Does pirimicarb affect the voracity of the euriphageous predator, Coccinella undecimpunctata L. (Coleoptera: Coccinellidae)? Biological Control 38, 363-368.

Moyle J. L. & Jepson P. C., 1993. *Short-term risk predictions for* Episyrphus balteatus *(Diptera: Syrphidae) larvae exposedto pyrethroids on winter wheat*. The Science of the Total Environment, 791-797.

Nasreen A., Mustafa G. & Ashfaq M., 2005. Mortality of Chrysoperla carnea (Stephens) (Neuroptera : Chrysopidae) after exposure to some insecticides; laboratory studies. SouthPacific Studies 26 (1), 1-6.

Niehoff B. & Poehling H.-M., 1995. *Population dynamics of aphids and syrphid larvae in winter wheat treated with different rates of pirimicarb*. Agriculture, Ecosystems and Environment **52**, 51-55.

Otero Sancho, P., 2018. Prévoir les régulations naturelles des pucerons par les auxiliaires en grandes cultures. Collectes et analyses de données en vue de l'amélioration d'un outil d'évaluation multicritère DEXi. *Stage Montpellier Supagro, option Protection des Plantes et Environnement 1-54.*

Pree D., Archibald D.E. & Morrison R.K., 1989. Resistance to insecticides in the common green lacewing Chrysoperla carnea (Neuroptera : Chrysopidae) in southern Ontario. Entomological society of America 82 (1), 29-34.

Ponti L., Atieri M.A. & Gutierrez A.P., 2007. Effects of crop diversification levels and fertilization regimes on abundance of Brevicoryne brassicacae (L.)and its parasitization by Diaeretiella rapae (M'Intosh) in broccoli. Agricultural and forest Entomology 9, 209-214.

Pontin D.R., Wade M.R., Kehrli P. & Wratten S.D., 2006. *Attractiveness of single and multiple species flower patches to beneficial insects in agroecosystems*. Annals of Applied Biology **148**, 39-47.

Powell W., Dean the late G. J. and Wilding N., 1986. *The influence of weeds on aphid-specific natural enemies in winter wheat*. Crop Protection **5** (3), 182-189.

Putra N. S. & Yasuda H., 2006. *Effects of prey species and its density on larval performance of two species of hoverfly larvae,* Episyrphus balteatus *de Geer and* Eupeodes corollae *Fabricius (Diptera: Syrphidae)*. Applied Entomology and Zoology **41** (3), 389–397.

Raymond L., Sarthou J.-P., Plantegenest M., Gauffre B., Ladet S. & Vialatte A., 2014. *Immature hoverflies overwinter in cultivated fields and may significantly control aphid populations in autumn*. Agriculture, Ecosystems and Environment **185**, 99–105.

Reboulet J-N., 1999. Les auxiliaires entomophages : reconnaissance, méthodes d'observation, intérêt agronomique–Edition ACTA, 1-63.

Rezaei M., Talebi K., Naveh V.H. & Kavousi A., 2006. Impact of pesticides imidacloprid, propargitte, and pymetrozine on Chrysoperla carnea (Stephens) (Neuroptera : Chrysopidae): IOBC and life table assays. BioControl, 14p.

Ricci, P., Bui, S., Lamine, C., 2011. Repenser la protection des cultures – Innovations et transitions. Quae-Educagri.

Robin, M.H., Colbach, N., Lucas, P., Montfort, F., Cholez, C., Debaeke, P., Aubertot, J.N., 2013. Injury Profile SIMulator, a Qualitative Aggregative Modelling Framework to Predict Injury Profile as a Function of Cropping Practices, and Abiotic and Biotic Environment. II. Proof of Concept: Design of IPSIM-Wheat-Eyespot. In : PLOS ONE. Vol. 8, n° 10, p. 1 13. DOI 10.1371/journal.pone.0075829.

Robinson K.A., Jonsson M., Wratten S.D., Wade M.R. & Buckley H.L., 2008. Implication of floral resources for predation by an omnivorous lacewing. Basic and Applied Entomology 9, 172-181.

Rogers M.A., Krischik V.A. & Martin L.A., 2007. Effect of soil application of imidacloprid on survival of adult green lacewing, Chrysoperla carnea (Neuroptera : Chrysopidae), used for biological control in greenhouse. Biological Control 42, 172-177.

Roschewitz I., Hücker M., Tscharntke T. & Thies C., 2005. The influence of landscape context and farming practices on parasitism of cereal aphids. Agriculture, Ecosystems and Environment 108, 218-227.

Sarthou J.-P., Ouin A., Arrignon F., Barreau G. & Bouyjou B., 2005. *Landscape parameters explain the distribution and abundance of* Episyrphus balteatus *(Diptera: Syrphidae)*. Europe Journal of Entomology **102,** 539–545.

Sattler C., Stachow U. & Berger G., 2012. *Expert knowledge-based assessment of farming practices for different biotic indicators using fuzzy logic*. Journal of Environmental Management **95**, 132-143

Schneider M.I., Sanchez N., Pineda S., Chi H. & Ronco A., 2009. Impact of glyphosate on the development, fertility and demography of Chrysoperla externa (Neuroptera : Chrysoppidae) : ecological approach. Chemosphere 76, 1451-1455.

Sommaggio D., 1999. *Syrphidae: can they be used as environmental bioindicators?* Agriculture, Ecosystems and Environment **74**, 343–356.

Stelzl M. & Devetak D., 1999.Neuroptera in agricultural ecosystems. Agriculture, Ecosystem and Environment 74, 308-321.

Tamis W.L.M., van der PollR.J., de Snoo G.R. & Donner J.H., 2001. First results on the effects of different types of unsprayed grass margins on the biodiversity entomofauna. Proceeding Experimental and Applied Entomology (Amsterdam) 12, 107-112.

Thies C., Roschewitz I. & Tscharntke T., 2005. The landscape context of cereal aphid-parasitoid interactions. Proceedings of the Royal Society B 272, 203-210.

Tomanovic Z., Kavallieratos N.G., Starý P., Stanisavljević L.Z., Ćetković A., Stamenković S., Jovanović S. & Athanassiou C.G., 2009. Regional Tritrophic Relationship Patterns of Five Aphid Parasitoid Species (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) in Agroecosystem-Dominated Landscapes of Southeastern Europe. Journal of Economic Entomology 102 (3), 836-854.

Tscharntke T., Klein A. M., Kruess A., Steffan-Dewenter I. & Thies C., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. Ecology Letters 8, 857–874.

Vandereycken A., Joie E. Francis F., Haubruge E. & F.J. Verheggen, 2013. Occurrence of aphid predator species in both organic and conventional corn and broad bean. Faunistic Entomology 66, 77-87.

Venzon M., Roscado M.C., Euzébio D.E., Souza B. & Schoereder J.H., 2006. Suitability of leguminous cover crop pollens as food source foe the green lacewing Chrysoperla externa (Hagen) (Neuroptera : Chrysopidae). Neotropical Entomology 35 (3) , 371-376.

Vereijken, P.H., 1992. A methodic way to more sustainable farming systems. In : Netherlands Journal of Agricultural Science. 1992. Vol. 40, n° 3, p. 209 224.

Villenave J., 2007. Étude de la bio-écologie des névroptères dans une perspective de lutte biologique par conservation. Relations entre l'environnement des cultures de choux (végétation et structure paysagère) et l'abondance, la distribution et le comportement. Thèse 241p.

Vollhardt I.M.G., Tscharntke T., Wäckers F.L., Bianchi F.J.J.A. & Thies C., 2008. Diversity of cereal aphid parasitoids in simple and complex landscapes. Agriculture, Ecosystems and Environment 126, 289-292.

Vorley V.T. & Wratten S.D., 1987. Migration of parasitoids (Hymenoptera : Braconidae) of cereal aphids (Hemiptera : Aphididae) between grassland, early-sown cereals and late-sown cereals in southern England. Bulletin of entomological research 77 (4), 555-568.

Wäckers F.L., 2004. Assessing the suitability of flowering herbs as parasitoid food sources: flower attractiveness and nectar accessibility. Biological Control 29, 307-314.

Wanlei W., Yong L., Julian C., Xianglong J., Haibo Z. & Guang W., 2009. *Impact of intercropping aphid-resistant wheat cultivars with oilseed rape on wheat aphid (*Sitobion avenae*) and its natural enemies*. Acta Ecologica Sinica **29**, 186–191.

Wnuk A. & Pobozniak M., 2004. *The influence of weeding treatments in red beet crop on species composition of aphidophagous Syrphidae in colonies of* Aphis fabae *Sco*p.. Journal of Plant Protection Research **44** (2), 103-110.

Wnuk A. & Wojciechowicz-Zytko El., 2007. *Effect of intercropping of broad bean (*Vicia faba *L.)with tansy phacélie (*Phacelia tanacetifolia *Benth.) on the occurrence of* Aphis fabae *Scop. and predatory* Syrphidae. Aphid and other Hemipterous Insects **13**, 211-217.

Youn,Y.N., Seo,M.J.,Shin J.G.,, Jang C., and Yu Y.M.(2003) Toxicity of greenhouse pesticides to multicolored Asian lady beetles, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). Biological Control 28, 164–17.DOI : 10.1016/S1049-9644(03)00098-7

Annexe 1

Méthode pour l'analyse du paysage ARENA

Rédaction : Véronique Tosser
Date : 12 octobre 2017

Objectifs

Renseigner les critères du volet « Analyses des cartes google dans un rayon de 500m autour du point de prélèvement », à savoir :

- % bois, forêts et bosquets
- % terres arables
- % prairies permanentes et jachères pérennes
- % surfaces artificialisées
- % surfaces hydrographiques
- % vergers et vignes
- Nombre de mètres linéaires de haies
- Nombre de mètres linéaires de bandes enherbées
- Nombre de mètres linéaires de chemins enherbés

Le renseignement de ces critères doit pouvoir se faire sans y passer trop de temps et sans compétences particulières en SIG.

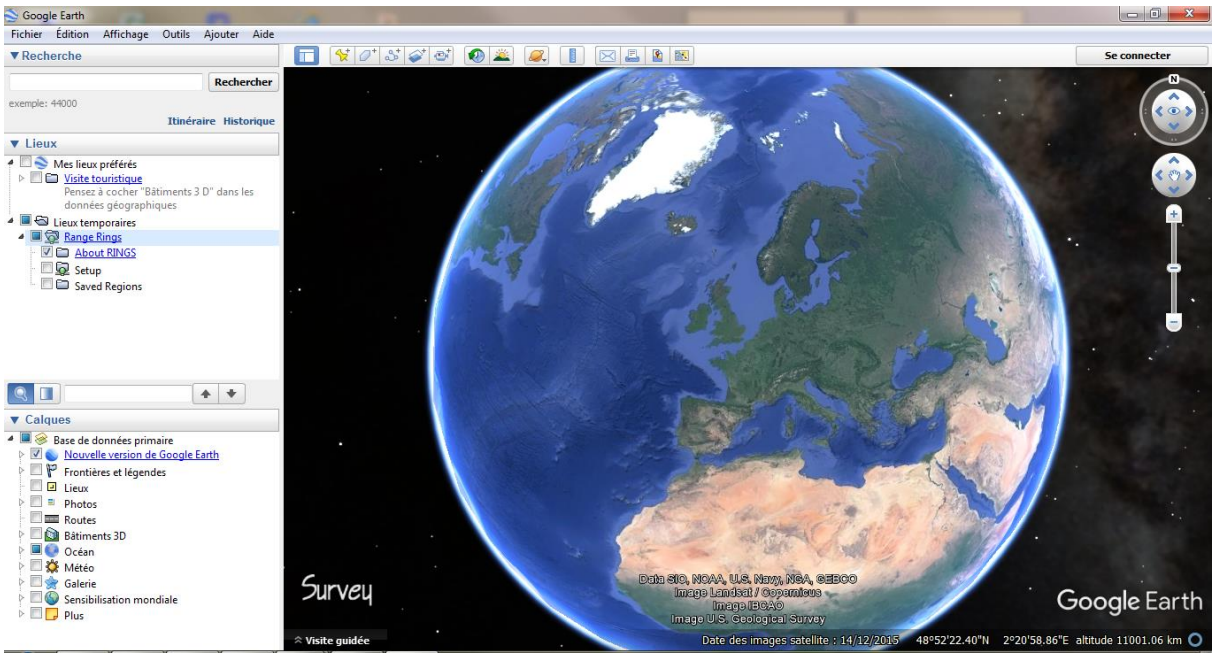
Installations de logiciels

Installer :

- Google Earth Pro (gratuity – ne fonctionnera pas avec Google Earth standard) : http://google-earth-pro.fr.uptodown.com/windows/telecharger
- L'application RINGS : www.metzgerwillard.us/rings/rings.kml

Tracer un cercle de rayon de 500m

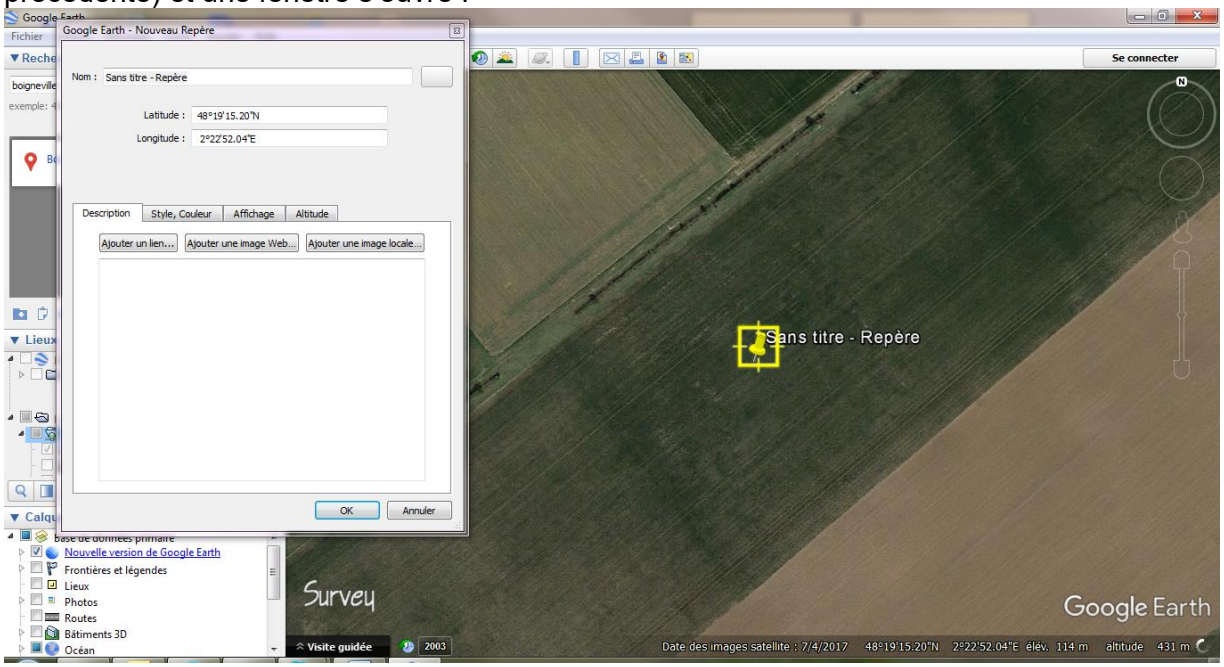
• Ouvrir Google Earth
• Ouvrir le fichier RINGS (double clic)
• L'écran suivant apparaît :



• Rechercher la parcelle autour de laquelle le rayon doit être tracé. Par exemple la parcelle entourée en rouge sur la capture d'écran suivante :

• Double cliquer sur le centre de la parcelle (pour le centrer dans l'image)

• Cliquer sur l'icône repère (entourée en bleu dans la capture d'écran précédente) : un pointeur jaune se positionne au centre de la parcelle (sur l'endroit double cliqué à l'étape précédente) et une fenêtre s'ouvre :

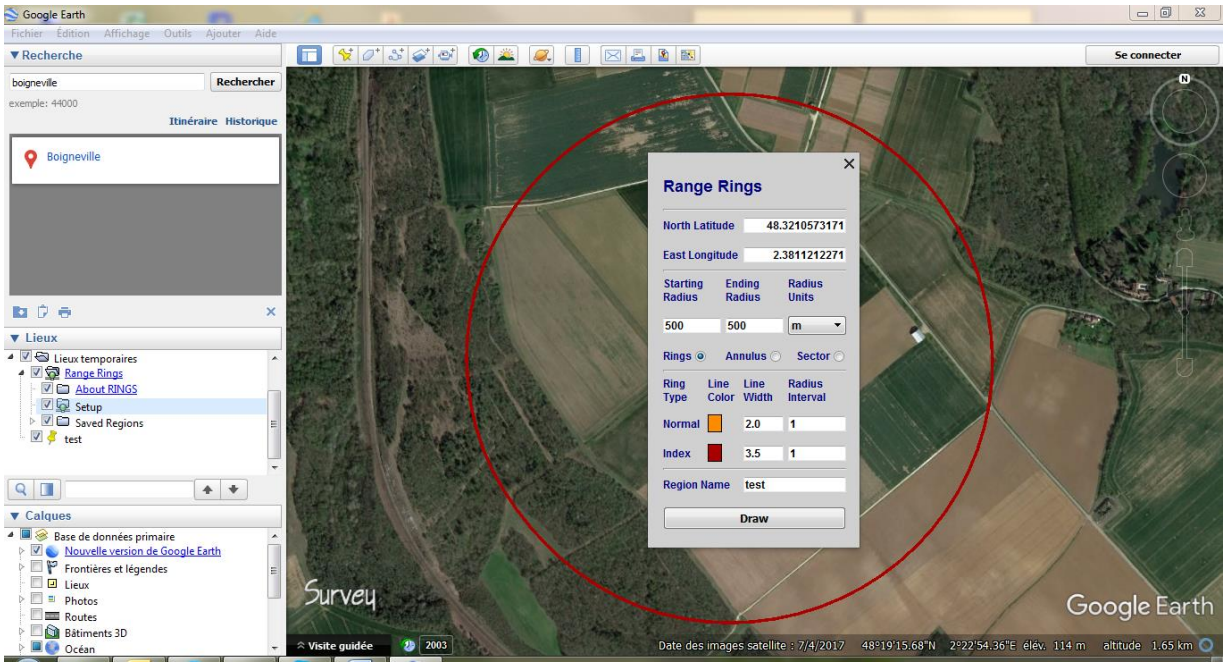


Donner un nom au repère (le code parcelle par exemple) et cliquer sur OK

• Cocher la case « Setup » dans la catégorie « Range Rings » dans le menu de gauche (entouré en vert) dans l'avant dernière capture d'écran

• Une fenêtre s'ouvre :

- Changer l'unité « Radius units » en mètres
- Ecrire « 500 » dans la case « starting radius » et dans la case « ending radius »
- Eventuellement donner un nom (le nom de la parcelle) dans la case « Region Name »
- Cliquer sur Draw

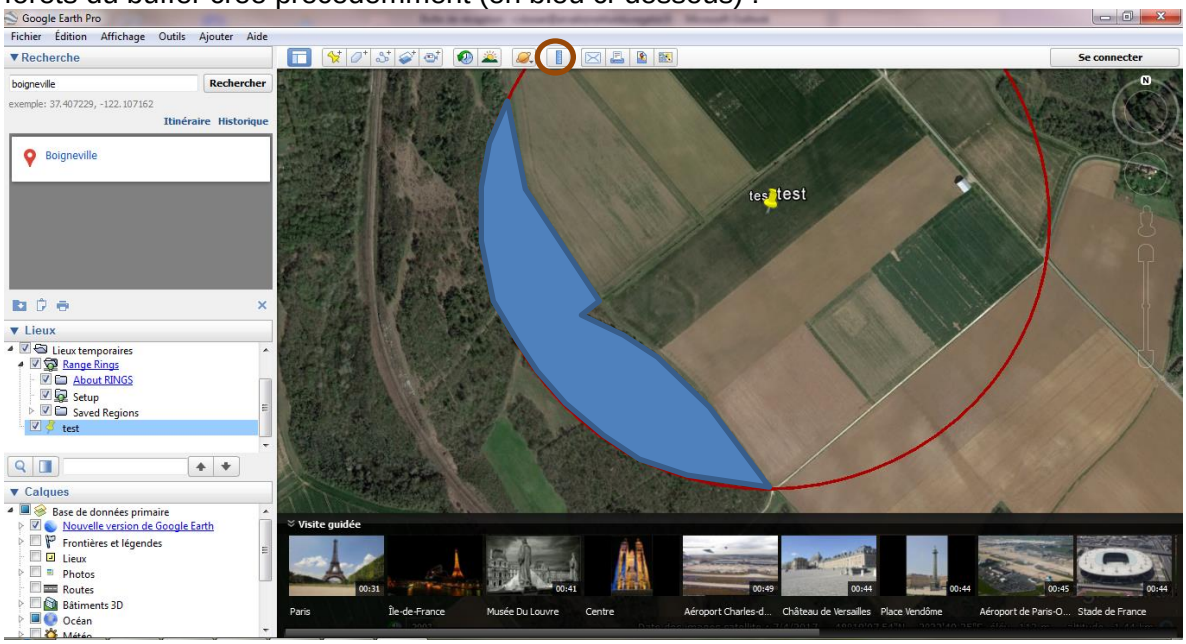


Mesurer des surfaces

Le principe de la méthode proposée est le suivant : établir un ratio entre la surface à mesurer et la surface totale du buffer pour déterminer le pourcentage qu'occupe la zone d'intérêt dans la totalité de la surface.

La surface totale d'un buffer de 500m est de 785 000 m²

• Déterminer la surface d'un polygone : par exemple pour déterminer la surface en bois et forêts du buffer créé précédemment (en bleu ci-dessous) :

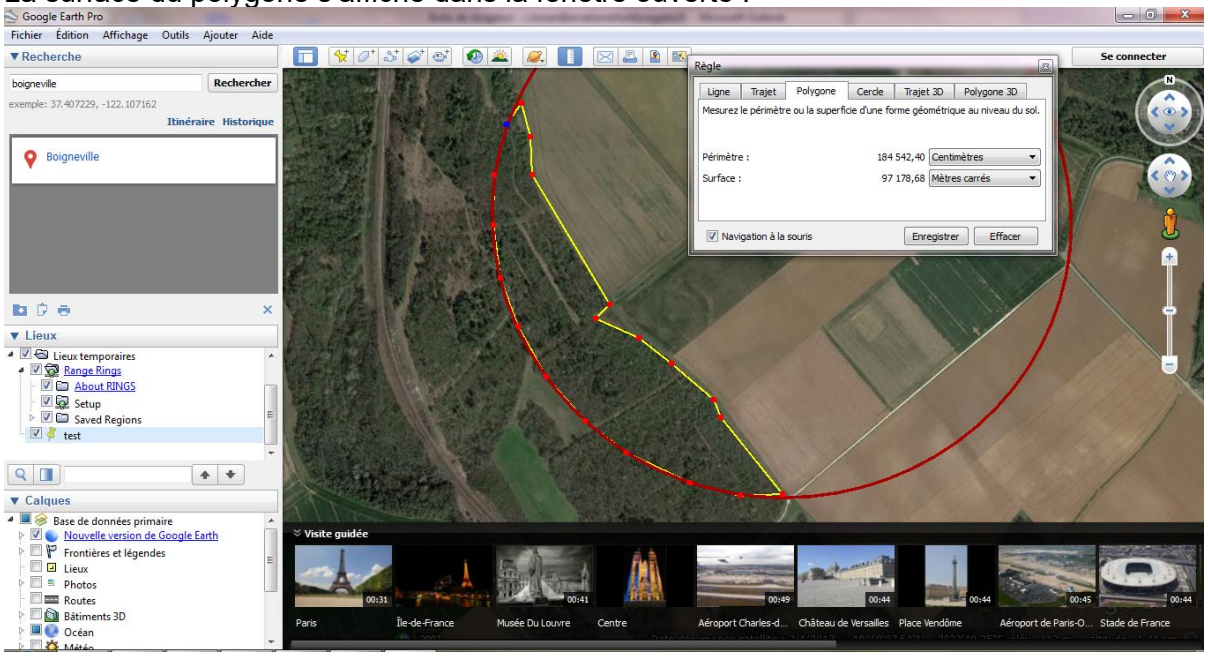


Cliquer sur l'icone « Afficher la règle » (en orange sur la capture d'écran précédente).

Une fenêtre s'ouvre, choisir l'onglet « polygone » et l'unité « mètres carrés » dans le menu déroulant « surface ».

Tracer ensuite le polygone de la surface à mesurer sur la carte – il faut pour cela cliquer sur les différents points de rupture du polygone.
NB : ne pas chercher à être totalement précis ! Nous souhaitons connaître une estimation de la surface occupée.

La surface du polygone s'affiche dans la fenêtre ouverte :



Le polygone mesure ici 91 178 m²

➔ **Les bois, forêts et bosquets représentent donc : 91 178 / 785 000 x 100 = 12.4% du buffer d'un rayon de 500m autour de la parcelle considérée.**

Si plusieurs polygones d'un même type (ex : plusieurs surfaces en bois et forêts) sont présents dans le rayon, répéter l'opération et sommer les surfaces des différents polygones obtenus avant de faire le ratio.

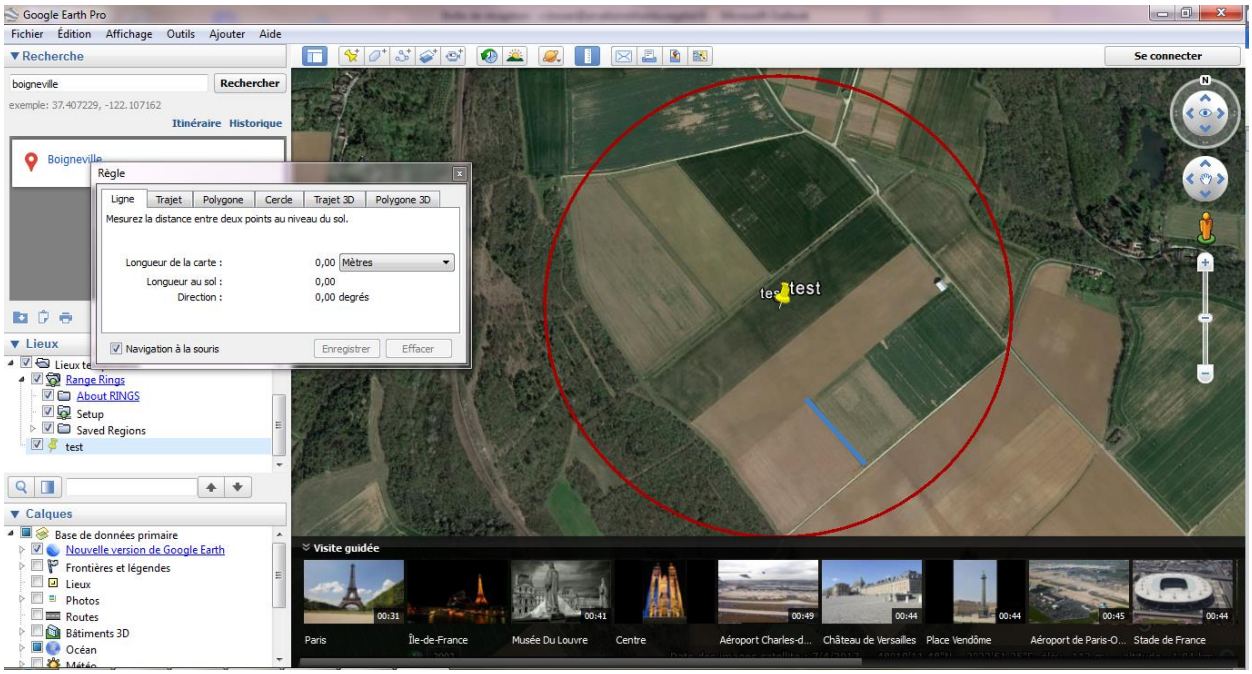
Répéter l'opération pour l'ensemble des critères demandés (bois et forêts, terres arables, prairies permanentes…)

Mesurer des linéaires

• Sur le même cercle que celui tracé précédemment, cliquer sur l'icône « afficher la règle » (en orange sur l'avant dernière capture d'écran)

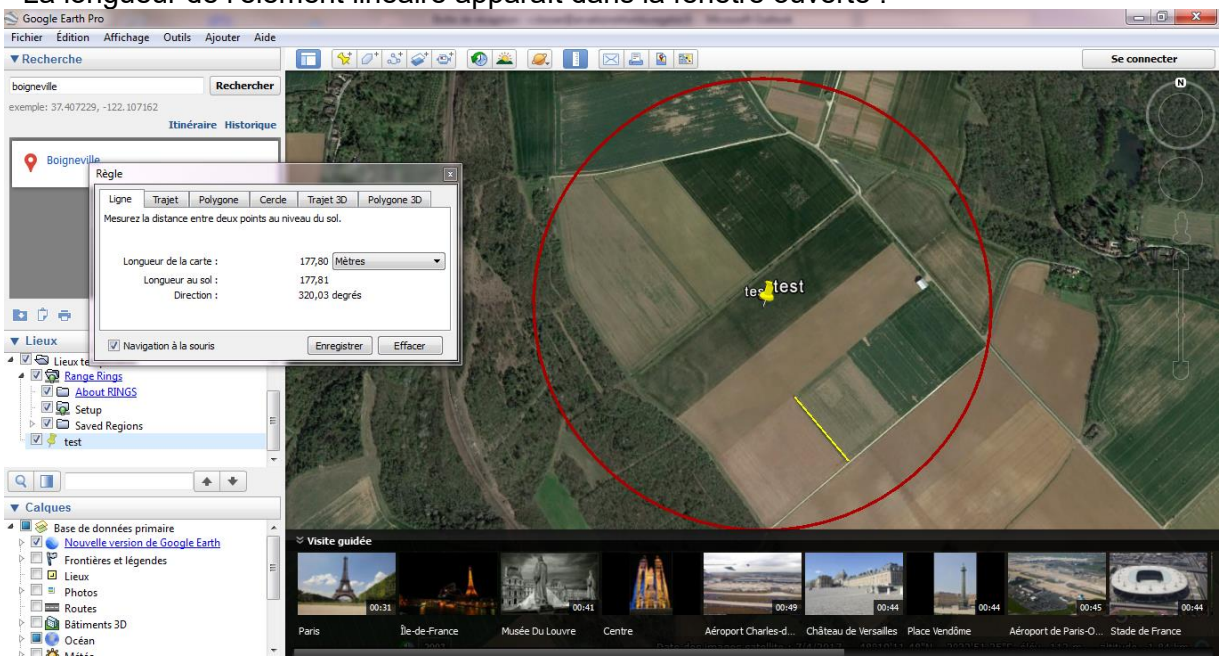
• Choisir l'onglet « ligne » et changer l'unité en « mètres » dans le menu déroulant « longueur de la carte »

•Pour mesurer, par exemple, la longueur de la bande enherbée figurée en bleu dans l'écran suivant :



Il faut cliquer aux deux extrémités de l'élément linéaire à mesurer.

• La longueur de l'élément linéaire apparaît dans la fenêtre ouverte :



➔ **La bande enherbée mesure 177.8 m**

• Répéter l'opération pour l'ensemble des linéaires du même type afin de remplir le critère (ex : l'ensemble des bandes enherbées)

• Répéter l'opération pour tous les types de linéaires (haies, bandes enherbées, chemin herbeux)