

**APPROCHE MULTICRITERE DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS DES PUCERONS
DES GRANDES CULTURES ET DE LEURS AUXILIAIRES**

CHABERT A. *, GANDON J. *, OTERO SANCHO P. *, TOSSER V. **

*ACTA AGRAPOLE 23 rue Jean Baldassini 69 364 LYON Cedex 07

** ARVALIS – Institut du Végétal - Station La Jaillière La Chapelle-Saint-Sauveur 44370 LOIREAUXENCE

RÉSUMÉ

La conservation des auxiliaires naturellement présents est une voie d'amélioration des systèmes de culture en vue de la maîtrise des ravageurs. La multiplication spontanée de ces agents de régulation biologique peut être favorisée par un aménagement judicieux de l'environnement parcellaire et par la mise en œuvre de pratiques agricoles favorables à leur activité. Dans le cadre du projet CasDAR ARENA 2017-2020, à partir des références bibliographiques et des dires d'experts, nous avons réalisé un arbre de décision multicritère à partir du logiciel DEXi afin d'avoir une vision globale des facteurs agissant sur les auxiliaires aériens régulant les populations de pucerons des grandes cultures. Cette publication illustre la démarche entreprise pour obtenir ce DEXi « ARENA », les critères retenus, l'architecture de l'arbre et la comparaison des prévisions obtenues avec les observations de pucerons et d'auxiliaires effectuées dans 132 parcelles du projet. Cette dernière étape permet de discuter la représentativité du modèle et ouvre de nouvelles possibilités d'amélioration.

Mots-clés : pucerons, auxiliaires, grandes cultures, évaluation multicritère.

MULTI-CRITERIA APPROACH TO THE BIOLOGICAL REGULATION OF APHIDS IN ARABLE CROPS

SUMMARY

Conservation of beneficial organisms is a way of improving cropping systems with a view to manage pests. The spontaneous multiplication of these biological regulating agents can be promoted by judicious management of the plot environment, and by the implementation of agricultural practices favorable to their activity. During CasDAR ARENA 2017-2020 project, based on bibliographic references and experts' statements, we have produced a multi-criteria decision tree using DEXi software in order to have a global vision of the factors acting on beneficial arthropods regulating aphid populations in field crops. This publication illustrates the approach taken to obtain this DEXi "ARENA", the criteria chosen, the architecture of the tree and the comparison of the forecasts obtained by DEXi ARENA with the observations of aphids and auxiliaries made in 132 plots of the project. This last step allows us to discuss the representativeness of the model and opens new opportunities for improvement.

Keywords: aphids, beneficial organisms, arable crops, multi-criteria evaluation.

INTRODUCTION

L'évaluation multicritère est destinée à décomposer un problème complexe en plusieurs sous questions plus aisées à résoudre. Cette méthode a été largement utilisée pour évaluer des prototypes de systèmes de culture sur les différentes composantes de la durabilité : économique, sociale et environnementale (Vereijken, 1992 ; Hill, MacRae, 1996 ; Lanson *et al*, 2008 ; Meynard *et*

al, 2012). Cette démarche s'appuie sur le calcul d'un ensemble d'indicateurs permettant de dire si les solutions envisagées vont bien dans le sens des orientations souhaitées.

Dans le cadre du projet CasDAR ARENA « Anticiper les REgulations Naturelles », nous avons inventorié des données expérimentales et bibliographiques sur les relations entre les pucerons des grandes cultures et leurs auxiliaires (hyménoptères parasitoïdes, syrphes, chrysopes et coccinelles), mais aussi sur l'effet sur ces populations des composants du système de culture et de l'environnement proche de la parcelle. Ces connaissances rassemblées ont permis de construire un arbre d'évaluation multicritère « DEXi ARENA » qui a pour objectif d'évaluer le potentiel de présence des auxiliaires de cultures permettant de réguler les populations de pucerons.

MATERIEL ET METHODES

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 (correspondant aux feuilles de l'arbre de décision). Le modèle multicritère se présente en une structure hiérarchique qui décompose la question à traiter (Bohanec, 2000). Ce logiciel a été utilisé récemment 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).

Les étapes de construction d'un arbre DEXi consistent à rassembler et à réorganiser tous ces critères jouant un rôle dans l'évaluation finale. Pour le fonctionnement de l'outil, il est nécessaire de renseigner tous les critères dans le modèle « critères de base ou feuilles de l'arbre » qui sont décrits par 3 ou 4 classes de « défavorable » à « très favorable ». Ensuite, les « critères agrégés ou nœuds internes de l'arbre » sont également décrits par 3 à 4 classes. Leurs valeurs sont déterminées par des fonctions d'utilité qui donnent à chaque critère agrégé un poids à partir des 2 ou 3 critères de base associés. Ce poids est souvent justifié par les données bibliographiques ou des expertises. Pour réaliser l'agrégation, une table de contingence est renseignée, qui détermine la classe de chaque critère agrégé en fonction de la description des critères du niveau inférieur.

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 dire d'experts pour évaluer le potentiel d'accueil de chaque auxiliaire dans les parcelles agricoles. 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 similaires. Ainsi, pour simplifier les évaluations de systèmes, nous avons rassemblé ces outils dans un DEXi ARENA commun qui regroupe les critères (ou attributs) similaires des quatre arbres avec les critères décrivant les systèmes et l'environnement de la parcelle.

Dans le projet ARENA 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 crée par ARVALIS contient les caractéristiques des parcelles et toutes les observations effectuées notamment celles concernant les pucerons et leurs auxiliaires. La saisie des données se fait selon trois modalités qui sont « Gestion des pièges », « Gestion de l'itinéraire technique » et « Saisies des observations ». L'exportation des données est ensuite traitée avec un script R pour qu'elles soient importées dans DEXi afin de caractériser les systèmes observés du point de vue de leur potentiel auxiliaire. Cela permet ainsi d'obtenir une évaluation du « potentiel d'accueil » des auxiliaires pour chaque parcelle sur l'ensemble des critères renseignés et agrégés. De plus, le logiciel permet de faire des graphiques. L'étape suivante du projet a consisté 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 qui ont servi à cette étude.

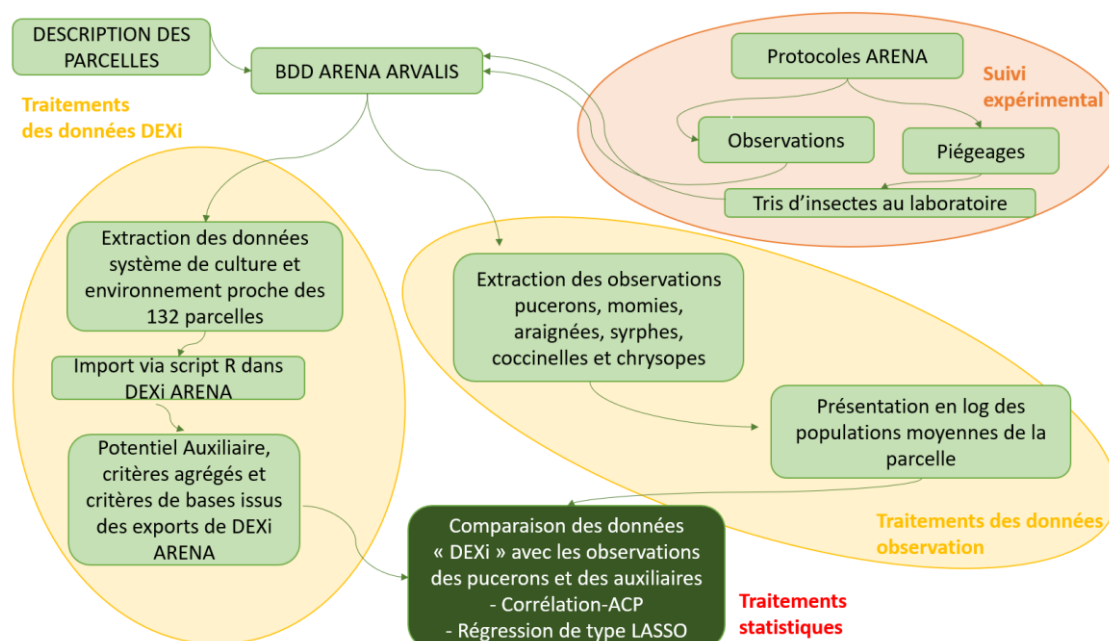


Figure 1 : Procédure de gestion des données pour la comparaison des données de sorties de l’outil DEXi ARENA avec les observations de pucerons et d’auxiliaires du réseau de 132 parcelles. (Data management procedure for comparing the output data from the DEXi ARENA tool with observations of aphids and beneficial organisms from the network of 132 plots).

Ainsi, nous avons eu la possibilité de comparer les résultats issus de cet outil avec des données de l’observation de 132 parcelles où les protocoles d’observation ARENA ont été mis en œuvre et où de nombreux pucerons et auxiliaires des grandes cultures ont pu être recensés. Quelques caractéristiques de ces parcelles sont présentées dans le tableau 1 et 2.

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

Table 1 : Distribution of crops in the studied plots in the network

Type de culture	Effectif	Pourcentage
Maïs	12	9 %
Betteraves, 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

Table 2 : Distribution of observations of aphids and auxiliaries in the 132 selected plots

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, par différentes méthodes statistiques (matrices de corrélations, ACP, régression de type Lasso), les

évaluations de chaque parcelle par DEXi ont été comparées au logarithme des populations moyennes des pucerons ou auxiliaires observés dans les parcelles (tableau 2). Cela concerne les observations réalisées au printemps et au début de l'été. Quelques résultats obtenus seront présentés et commentés dans cette publication. L'amélioration de cette version du DEXi ARENA suite à ces résultats et à leurs enseignements devrait être faite prochainement.

RESULTATS

Structure de l'arbre d'évaluation multicritère

Tableau 3 : Critères de base et classes utilisées dans DEXi ARENA, en rouge défavorables et en vert favorables aux auxiliaires (autres couleurs classement intermédiaires) (Basic criteria and classes used in DEXi ARENA, in unfavorable red and in green favorable to beneficial organisms)

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
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 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
Agroforesterie	Pas d'agroforesterie	Agroforesterie de moins de 5 ans	Agroforesterie de plus de 5 ans
Culture précédente	Maïs	Betteraves, pomme de terre, orge de printemps	Pois, féverole, tournesol, soja, céréales d'hiver
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	Betteraves, pomme de terre, orge de printemps	Pois, féverole, tournesol, soja, céréales d'hiver
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
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

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

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

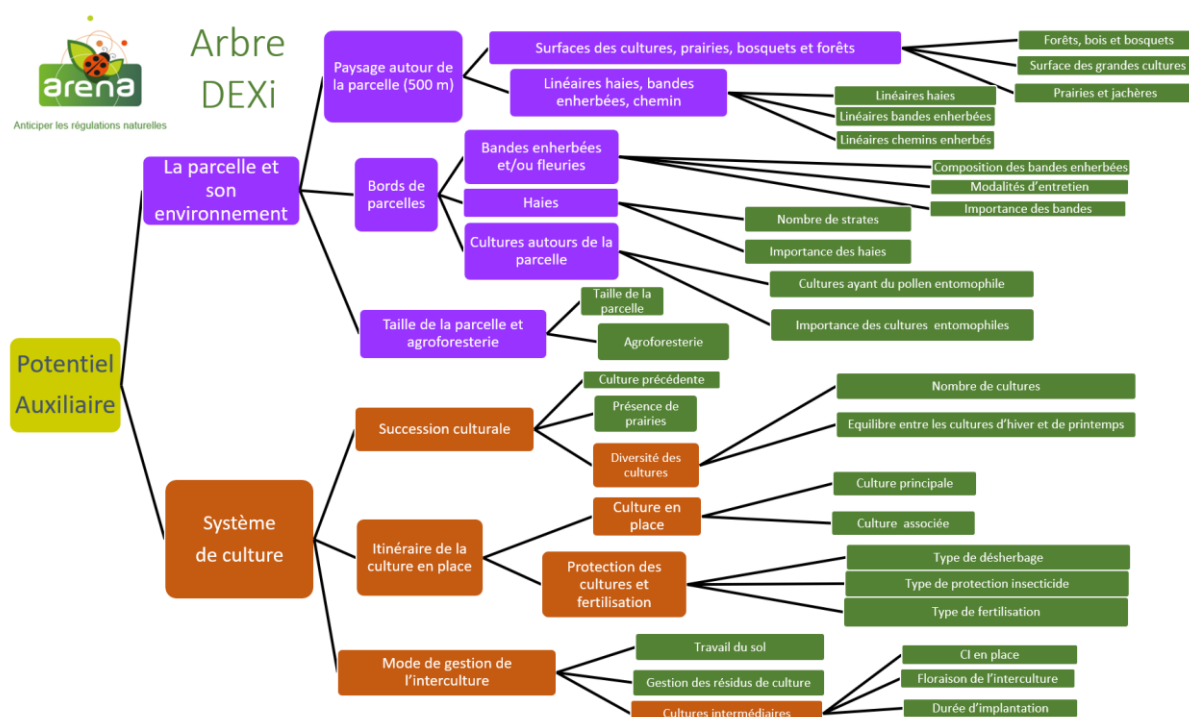


Figure 2 : Structure de l'arbre DEXi Arena concernant les auxiliaires des pucerons des grandes cultures. En vert critères de base ou « feuilles », autres couleurs : critères agrégés. (Structure of the DEXi Arena tree concerning aphid beneficial organisms. In green basic criteria or "leaves", other colors: aggregated criteria).

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.

La figure 3 suivante montre que l'outil est suffisamment 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.

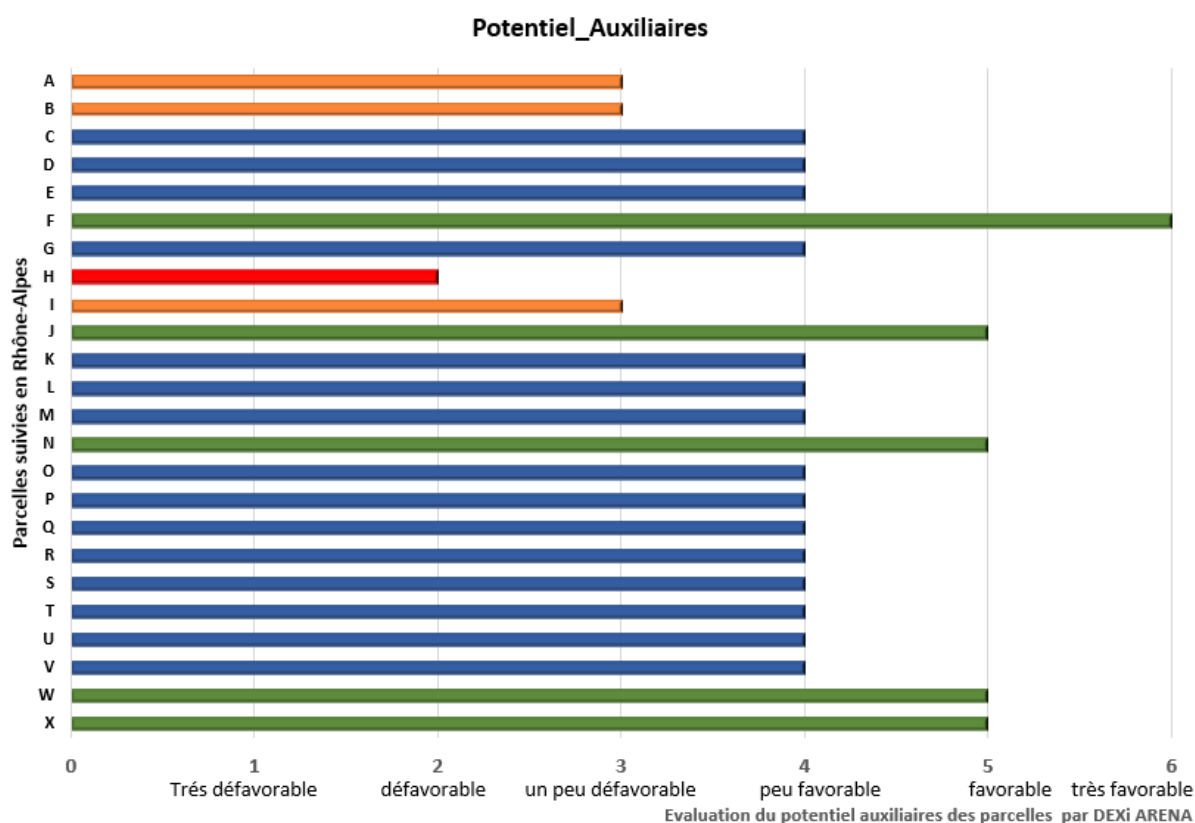


Figure 3 : à titre d'exemple présentation des résultats des évaluations par DEXi ARENA des parcelles suivies en Auvergne Rhône Alpes. As an example, results of the DEXi ARENA evaluations of the plots monitored in Auvergne Rhône Alpes.

Analyses statistiques

Les notations des parcelles fournies par l'arbre DEXi ont été comparées aux données de terrain récoltées au cours du projet ARENA. Pour cela des cartes de corrélations (figure 4) ont été construites à l'aide du logiciel XLSTAT afin d'évaluer l'existence de liens entre les notes attribuées par l'arbre DEXi et différentes variables issues des suivis de terrain.

Les matrices de corrélation ont d'abord été effectuées avec les notations des 3 principaux critères agrégés de l'arbre DEXi, c'est-à-dire le potentiel auxiliaire, la parcelle et son environnement et le système de culture. Ensuite ces notes ont été comparées aux logarithmes de la moyenne des observations de chaque auxiliaire ou pucerons suivis selon le protocole ARENA. Ainsi, on constate que les effectifs de populations de pucerons et d'auxiliaires variaient très souvent dans le même sens.

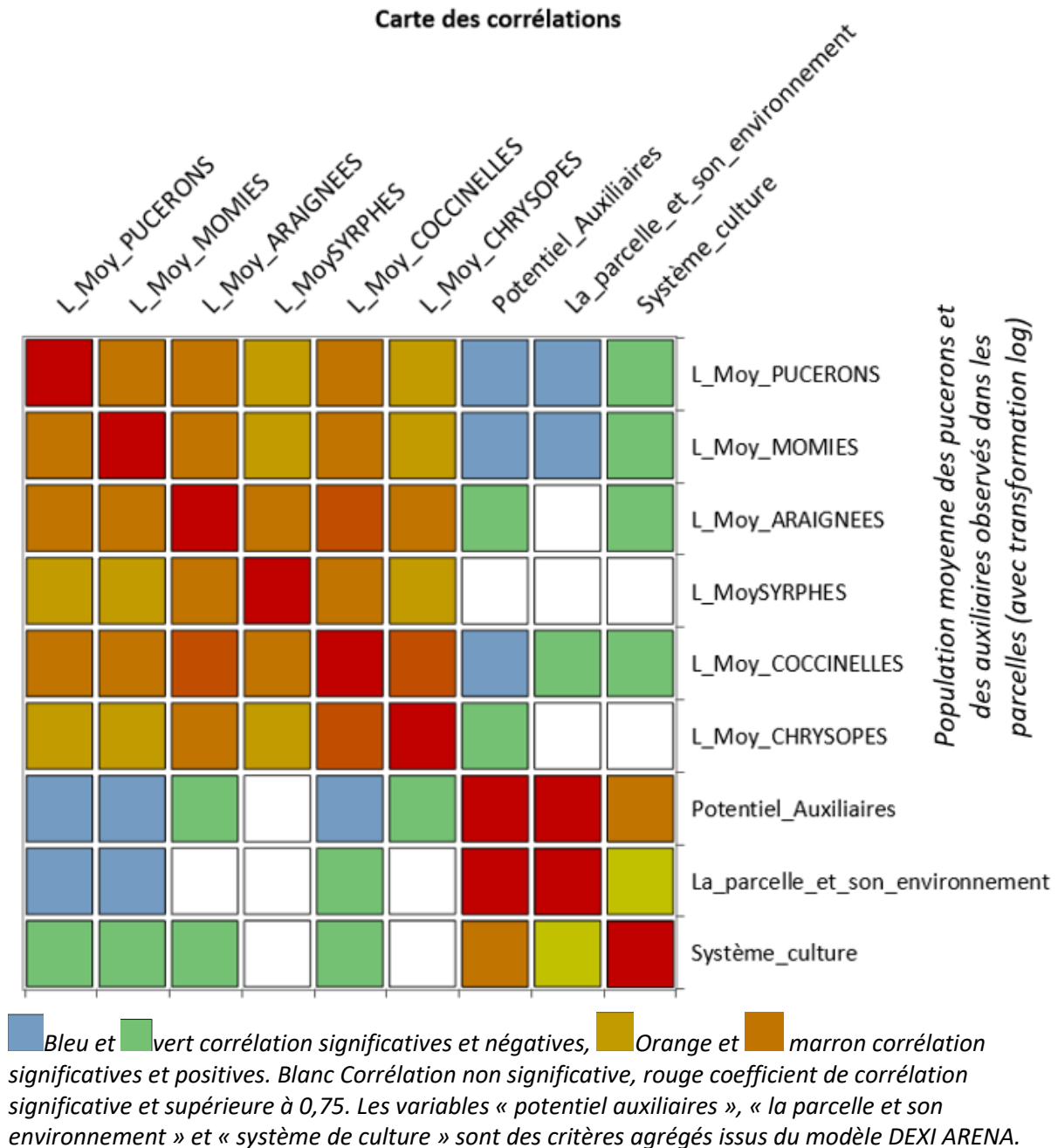


Figure 4 : Carte de corrélation du logarithme de la moyenne des observations des pucerons et de chaque auxiliaire selon le protocole ARENA avec les critères agrégés de DEXi ARENA. (Correlation map of the logarithm of the mean of the observations of aphids and each beneficial organism according to the ARENA protocol with the aggregated criteria of DEXi ARENA)

La figure 4 présente l'une des matrices effectuées à l'aide des observations visuelles. On constate que ce sont plus particulièrement les pucerons qui sont corrélés aux notes DEXi, mais de manière négative. Cela montre bien que les aménagements et les systèmes de culture proposés dans DEXi comme favorables aux agriculteurs sont bien globalement négatifs pour les pucerons. Par contre, les notes « favorables » pour DEXi sont corrélées négativement avec la majorité des auxiliaires. Ce dernier point peut sembler paradoxal dans un premier temps, néanmoins l'examen des autres coefficients indique clairement que leur population est explicitement liée à celles des pucerons. Il y a

une certaine cohérence dans ce constat, les auxiliaires, surtout ceux spécifiques des pucerons sont bien attirés par leurs proies et leur population augmente avec celle-ci.

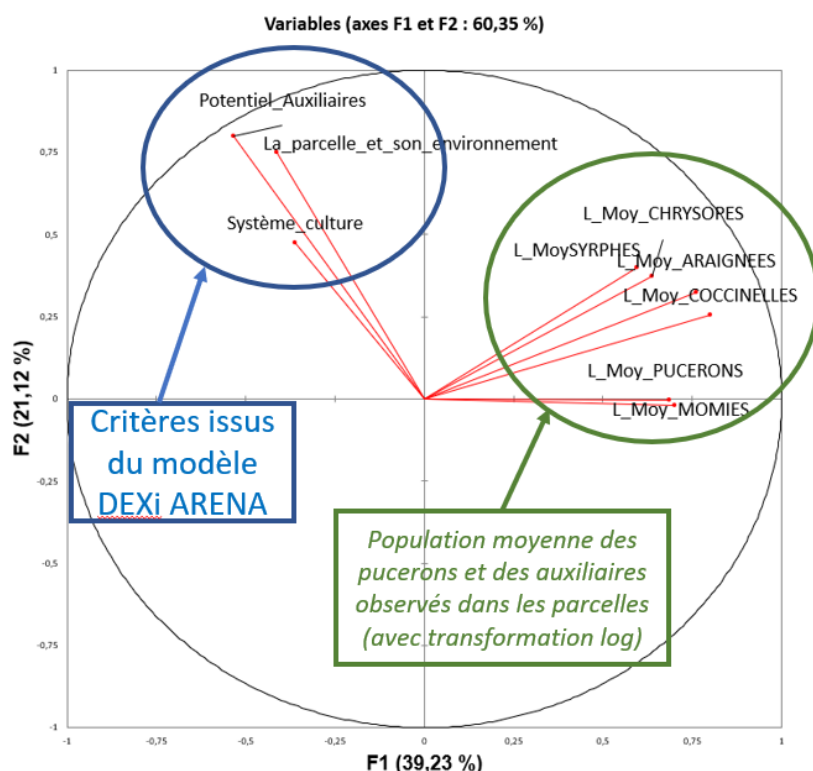


Figure 5 : Analyse en composante principale (ACP) entre le logarithme de moyenne des observations des pucerons et de chaque auxiliaire selon le protocole ARENA avec les critères agrégés de DEXi ARENA.

(Principal component analysis (PCA) between the logarithm of mean observations of aphids and each beneficial organism according to the ARENA protocol with the aggregated criteria of DEXi ARENA).

L'ACP réalisée (figure 5) indique que les effectifs de momies observées sont liés de manière logique aux populations de pucerons et que l'ensemble des autres auxiliaires observés varient dans le même sens que les populations de pucerons. Comme la carte des corrélations, cela nous indique que ce type d'auxiliaires serait d'autant plus présent que les populations de pucerons seraient plus élevées. Ainsi, les critères agrégés de DEXi varient dans un sens logique vis à vis du développement des pucerons, lorsqu'ils évoluent dans le sens favorable aux agriculteurs (augmentation des notes), les populations de pucerons décroissent et vice versa.

En revanche, cela n'est pas le cas des auxiliaires qui ne doivent donc pas être pris en compte directement dans l'interprétation des résultats sans tenir compte des effectifs des populations de pucerons. Les analyses de ce jeu de données montrent donc que l'outil prédit une évolution des populations de pucerons mais pas celle des effectifs des auxiliaires qui semble être, en grande partie, sous la dépendance des populations de pucerons (figure 4).

Régression de type Lasso

A la suite de l'étude des corrélations et l'ACP, c'est dans l'optique de guider de futures améliorations des pondérations de l'arbre que nous avons souhaité identifier de manière plus précise les relations existantes entre les auxiliaires/pucerons et les indicateurs utilisés dans la construction de l'arbre DEXi. Pour cela, nous avons calculé des régressions pénalisées de type Lasso (fonction glmnet de R) ayant comme variable à expliquer le logarithme de la moyenne des individus observés dans chacune des parcelles suivies dans le projet, avec comme variables explicatives les différents critères de bases de l'arbre DEXi, représentés par les notes attribuées lors de la classification des parcelles. Chaque

modèle (pucerons, momies, araignées, chrysopes, syrphes, coccinelles et chrysopes) est composé de variables ayant le plus de poids dans l'évolution positive ou négative des populations

Tableau 4 : Coefficient des modèles issus de régression de type lasso (glmnet sous R.) sur de critères de base ou feuille de l'arbre, (-) Effet significatif négatif, (+) effet significatif positif (Coefficient of models from lasso-type regression (glmnet R fonction.) on basic criteria or tree leaf), (-) Significant negative effect, (+) Significant positive effect.

Variables descriptives	Pucerons	Momies	Araignées	Syrphes	Coccinelles	Chrysopes
Forêts, bois et bosquets		(-)	(+)			
Surface des grandes cultures	(-)					
Prairies et jachères			(+)		(+)	
Linéaires haies	(-)				(-)	
Linéaires bandes enherbées	(+)		(+)	(+)	(-)	
Linéaires chemins enherbés		(-)			(-)	
Composition des bandes enherbées (BH)	(+)					
Modalités d'entretien BH	(-)		(-)			
Importance des bandes			(+)			
Cultures ayant du pollen entomophile	(-)	(-)	(-)	(-)		
Taille de la parcelle		(-)	(-)	(-)	(-)	
Culture précédente		(-)	(-)		(-)	
Culture principale	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Culture associée			(+)		(+)	
Type de désherbage			(-)	(-)	(-)	(-)
CI en place	(-)	(-)	(-)			
RMSE sur l'ensemble de l'analyse	55,69	30,353	19,18	19,52	17,16	12,76

Le tableau 4 indique que sur l'ensemble des variables explicatives utilisées pour construire le modèle DEXi initial, environ la moitié d'entre elles sont significatives à la suite de la sélection réalisée par les régressions Lasso. Les critères de base les plus déterminants sont indiqués dans ce tableau. Par exemple le (-) sur la surface de grande culture et pucerons indique selon les seuils pour ce critère présentés dans le tableau 3 que si la surface de grande culture est basse, il y aurait moins de pucerons. Pour le (-) sur le linéaire de haie et pucerons, l'interprétation serait : plus ces linéaires sont élevés moins il y aurait de pucerons. D'une manière générale, certains sens de variations semblent, *a priori*, logiques, d'autres un peu moins. L'interprétation de ces résultats doit être faite avec prudence pour ne pas écarter trop vite certaines variables descriptives. En effet, le réseau mis en œuvre et les méthodes expérimentales associées ne permettent pas toujours d'obtenir une puissance statistique suffisante pour montrer leurs effets.

CONCLUSION

Ces analyses statistiques et notamment les régressions de type Lasso mettent en valeur les critères ayant une plus grande influence sur les dynamiques des populations étudiées et devrait permettre, à terme, une amélioration des pondérations de l'outil DEXi ARENA. Par la suite, des prédictions pourront être faites et comparées aux nouvelles observations insérées dans la base de données ARENA.

A ce stade de l'étude, l'outil DEXi d'ARENA identifie bien les parcelles qui ont le moins de pucerons mais n'a pas donné d'information directe sur les populations d'auxiliaires. Ces difficultés proviennent 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. A partir de ces données, nous n'avons pas identifié à quel niveau se déroulerait les phénomènes de régulation biologique.

Malgré toutes les 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 par la suite.

Remerciements : nous tenons à remercier l'ensemble des partenaires du projet CASDAR ARENA qui ont collecté un nombre de données considérables et créé une émulation constructive.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bohanec, M., Džeroski, S., Žnidaršič M., Messéan, A., Scatista, 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.
- 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*
- 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.
- 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.
- 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
- 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
- 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*.
- 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.
- 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.