

## La Smart Agriculture au service de la gestion des risques phytosanitaires agricoles

Le Grusse Philippe (1,2), Mghirbi Oussama (1,2), Trabelsi Meriem (1), Mandart Elisabeth (1) Fabre Jacques (1), Nembrot Isabelle (3), Arredondo S. Josué (3), Bromblet Lucas (3), Abarca Fernando (3), Ramarohetra Johanna (3), Gabriac Denis (3), Louvet Samuel (3), Caubel Julie (3), Boulanger Jean Philippe (3)

(1) CIHEAM-IAMM : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, 3191 Route de Mende, 34093 Montpellier cedex 5 – [legrusse@iamm.fr](mailto:legrusse@iamm.fr) ; (2) UMR GRED, BP 64501, 34394 Montpellier cedex 5, France ; (3) EcoClimaSol, Immeuble MIBI, 672 Rue du Mas Verchant, CS 37777, 34967 Montpellier Cedex 02

L'agriculture en France comme dans de nombreux pays du monde se trouve ces dernières années confrontée à plusieurs défis à priori antinomiques. D'un côté, l'augmentation de la population mondiale et l'accès pour une partie de cette population à de meilleurs standards de vie et de consommation qui génère une forte demande en produits alimentaires et entraîne une pression sur la production agricole. De l'autre, l'intensification de l'agriculture et notamment les pratiques monoculturelles induisant des problèmes de dégradation des sols, de pollution environnementale principalement par les nitrates et les pesticides impactant les nappes phréatiques, les cours d'eau et la santé publique. La pression phytosanitaire d'origine agricole au niveau des territoires est le plus souvent le premier facteur de pollution diffuse. Contenir et réduire cette externalité négative provoquée par une agriculture productive mais intensive nécessite la mise en place d'outils d'aide à la décision. Ces outils doivent être spécifiques et intégrés où la gestion des risques de pollution diffuse devient un élément essentiel comme la gestion technique et économique avec une prise en compte des spécificités des caractéristiques du milieu naturel, des enjeux environnementaux et socio-économiques locaux.

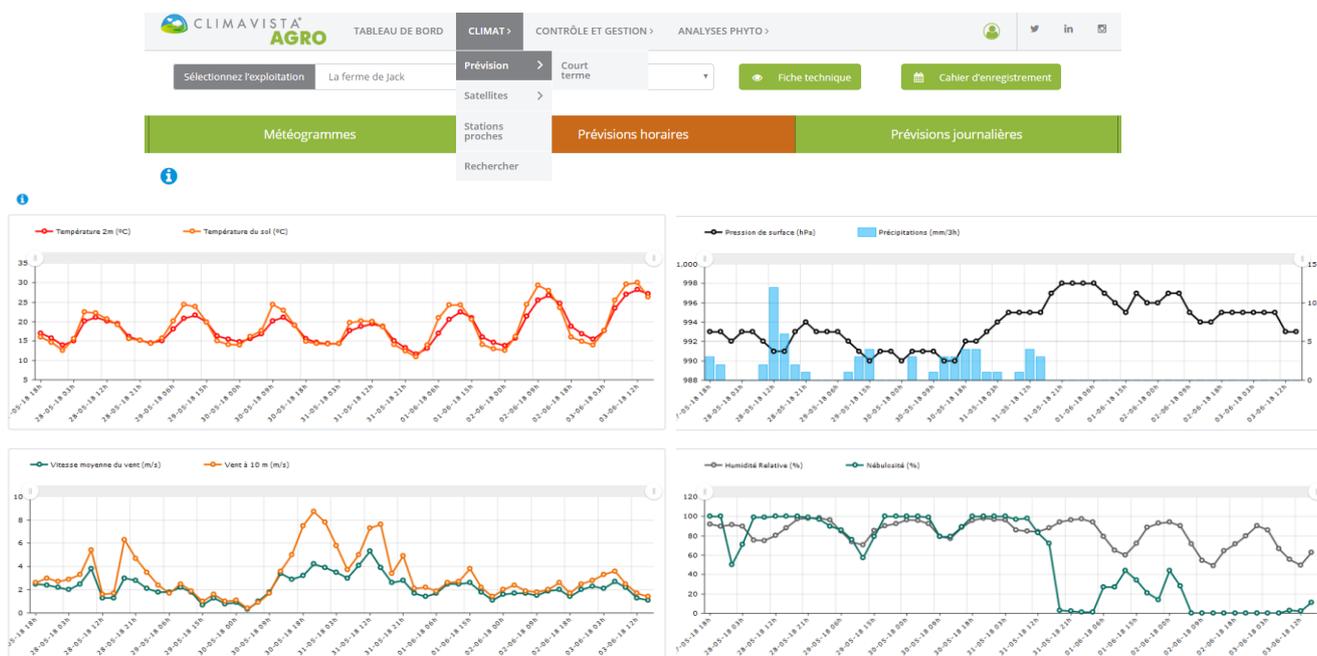
Les différents acteurs du territoire, notamment les agriculteurs, les coopératives agricoles et l'ensemble des acteurs du secteur agricole et de l'agro-alimentaire expriment leur besoin en adéquation à la demande sociale d'outils plus performants en termes de gestion de la production agricole et de la maîtrise des risques liés notamment aux pratiques phytosanitaires. Cette demande sollicite de plus en plus les chercheurs, les scientifiques et les industriels de l'agrofourmure à mobiliser les connaissances et les technologies les plus performantes pour développer des outils d'aide à la décision interactifs et intelligents. L'optimisation des ressources, pour une production durable et à des coûts maîtrisés sont les principes de base de l'agriculture durable et l'agriculture de précision. Cette démarche d'optimisation est aujourd'hui une option scientifiquement et technologiquement réaliste et diffusible à grande échelle dans la majorité des pays de la planète et au plus grand nombre de producteurs. Atteindre ces objectifs requiert une utilisation des plus récentes technologies du web et de Big Data avec la gestion d'un grand nombre de données (météorologique, pédologique, agronomique, risque des bio-agresseurs, économiques, etc.). Afin de répondre à cet objectif, le projet de recherche GesPPEIR<sup>1</sup> a été mis en œuvre pour développer une plateforme web intégrée à partir des plateformes « ClimaVista » (ClimaVista Agro<sup>2</sup>, ClimaVista Wine) interactives et basées sur une gestion intégrée et spatialisée des activités agricoles. Cette plateforme propose un ensemble de services, destinés principalement aux agriculteurs et aux techniciens agricoles, modulaires et complémentaires de gestion opérationnelle et stratégique de la production agricole dans un objectif d'accompagnement d'une transition agro-écologique raisonnée. La finalisation actuelle de cette plateforme interactive et intégrée associe dans sa réalisation des acteurs de la recherche publique, privée et de la profession agricole avec l'intégration de nombreux outils classiques et novateurs notamment dans la gestion des risques de pollution diffuse. Il existe aujourd'hui beaucoup d'outils à disposition du monde agricole tant techniques, économiques et de gestion environnementale, mais jamais interconnectés.

La plateforme de gestion part de la prévision climatique à la parcelle, et connecte le suivi des stades phénologiques, la gestion du stress hydrique, le suivi de pression de bio agresseurs, l'analyse des besoins de

<sup>1</sup> GesPPEIR : Gestion eau, Phytosanitaires, Prévisions et Indicateurs de Risques, projet de recherche élaboré en 2016 en collaboration entre le CIHEAM-IAMM et l'entreprise R&D EcoClimasol et financé par le FEDER et la région Occitanie.

fertilisants, l'analyse et la minimisation des risques de traitement phytosanitaires avec in fine un tableau de bord de la performance agro-écologique de la production permettant de simuler des solutions d'amélioration technique, économique et de durabilité. Pour la première fois une plateforme de gestion agricole intègre des outils de gestion des risques phytosanitaires sur la santé humaine et sur l'environnement avec l'implémentation des modèles EToPhy (Le Grusse *et al.* 2014a), OptiPhy (Mghirbi 2016 ; Mghirbi *et al.* 2017) et d'évaluation et de gestion des performances agro-écologiques des exploitations agricoles (Trabelsi *et al.* 2016 ; Trabelsi 2017). La plateforme ClimaVista est l'intégrateur de l'ensemble des services proposés pour le suivi et l'aide à la décision pour une gestion en temps réel des activités dans l'exploitation agricole (irrigation, fertilisation azotée, traitement phytosanitaires,...). La plateforme est composée de modules, utilisables à la fois de manière indépendante mais surtout organisés pour un enchaînement du traitement des données permettant d'accompagner l'utilisateur dans la chronologie de ses décisions.

A partir de la cartographie de l'exploitation agricole, le premier module permet une personnalisation des prévisions météorologiques à l'échelle des parcelles (Figure 1). Ces prévisions sont établies à partir d'une réception automatisée en temps réel des stations météorologiques locales et des utilisateurs, ainsi qu'un système automatisé statistique de personnalisation du modèle statistique combinant à la fois prévisions météorologiques horaires provenant de modèles atmosphériques dynamiques et les données en temps des stations. La méthode réduit les erreurs de prévision de températures de plus de 30% sur une échéance de 7 jours par rapport aux modèles classiques. Ces prévisions serviront notamment de données de base pour les modèles de simulation des cultures et les modèles de bioagresseurs et de décision d'application de traitements.



**Figure 1.** Interface du module prévision météorologique

Le module suivant à partir d'outils de modélisation et d'imagerie satellite, permet le suivi cultural tout au long du cycle cultural et la production de prévision de rendements (Figure 2). Pour les grandes cultures le modèle de simulation des cultures DSSAT (Jones *et al.* 2003) est implémenté la plateforme ClimaVista, et utilise notamment les modèles CERES-wheat pour le blé et CROPGRO soybean pour le soja.

Les données de suivi cultural et de prévision de rendements sont également produites à partir de l'utilisation d'images satellites et de la télédétection permettant un suivi temporel (graphique) et spatialisé (cartographique) d'indices de végétation à partir des données des satellites Landsat8, et MODIS Terra et Aqua. Selon les données utilisées le suivi peut se faire à différentes résolutions spatio-temporelles : 15m, 30m, 250m pour une fréquence

<sup>2</sup> ClimaVista Agro : <https://agro.climavista.com/fra/>

variant entre 8 et 16 jours. Des travaux récents menés ont démontré la capacité à développer un modèle statistique de prévision des rendements fonction de variables explicatives (indices de végétation, données pédologiques, informations relatives à l'itinéraire technique).



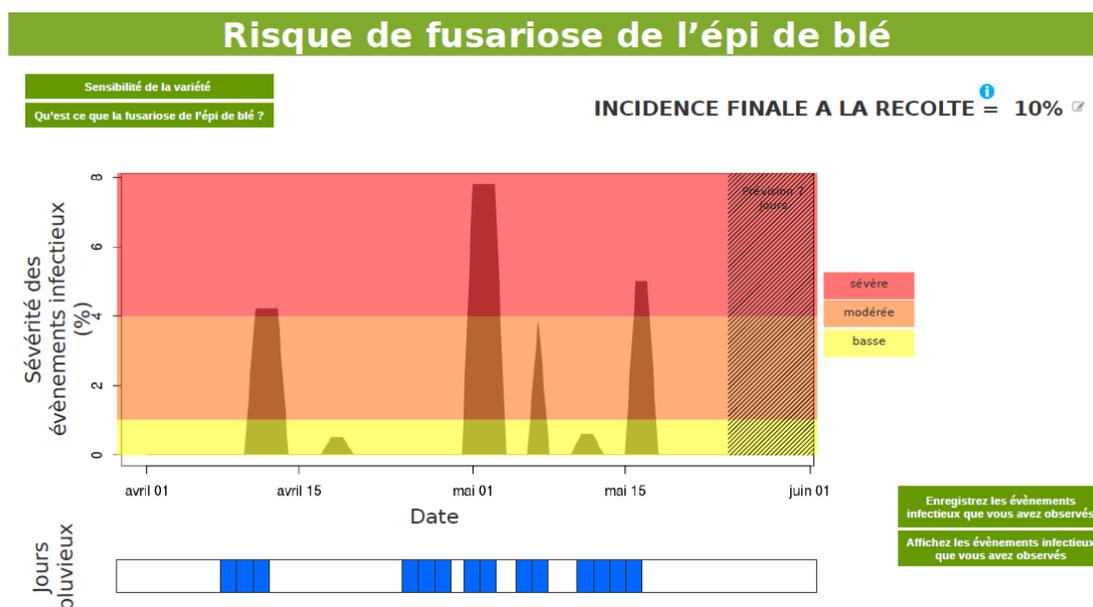
**Figure 2.** Interface du module suivi cultural et prévision de rendements

L'accès à des données historiques (rendements spatialisés produits par les moissonneuses-batteuses et itinéraires techniques) et aux images satellitaires permet de réaliser une classification à l'échelle intra-parcellaire. Cette classification a pour but de mettre en évidence différents environnements homogènes à l'intérieur des parcelles de façon à aider et à orienter les décisions de traitements, de faire de l'appui au conseil en fertilisation azotée et du conseil en irrigation. Les résultats de la classification intra-parcellaire seront visualisables sur la plateforme et modifiables par l'agriculteur ou le conseiller technique en fonction de leur connaissance de terrain.

En ce qui concerne la vigne, un modèle de simulation du cycle phénologique et de l'état hydrique journalier de la vigne a été développé par EcoClimaSol<sup>3</sup>. Dans le cas du suivi des parcelles de vigne, la résolution spatiale des images fournies par les satellites SPOT à 1,5m de résolution avec une fréquence temporelle d'acquisition des images modulée en fonction du stade de développement de la vigne permettra d'assurer un suivi temporel et spatialisé des indices de végétation. Pour obtenir une prévision statistique des rendements, une caractérisation de l'année en cours par rapport aux années précédentes et une classification intra-parcellaire, des données historiques devront être accumulées sur plusieurs années.

Certaines variables de sortie des modèles DSSAT et « vigne » (notamment les stades phénologiques) seront des entrées du modèle de risques de bioagresseurs, constituant le module suivant de la plateforme, traitant des prévisions et des alertes de risques de bioagresseurs (Figure 3). L'objectif est d'évaluer à l'échelle de la parcelle les niveaux de risque et les pertes de rendement associés à différents types de bioagresseurs afin d'alerter l'utilisateur sur la nécessité d'agir de manière anticipée à l'aide d'itinéraires « traitements » optimisés pour réduire l'impact sur la santé et sur l'environnement. Les bioagresseurs actuellement traités sont les principaux champignons phytopathogènes et insectes ravageurs du blé et du soja (rouille brune du blé, septoriose du blé, fusariose de l'épi de blé, rouille du soja, pucerons du blé, chenille des légumineuses). Une application à la vigne concerne le mildiou et l'oïdium. Les données d'entrée des modèles seront principalement des données météorologiques personnalisées à l'échelle des parcelles, les sorties des modèles DSSAT et « Vigne », des données relatives à la prévision de rendement et l'état sanitaire des cultures.

<sup>3</sup> Société EcoClimaSol : <http://www.ecoclimasol.com/fr/>



**Figure 3.** Interface du module contrôle des bioagresseurs (prévisions et alertes de risques)

Le module suivant de gestion des risques phytosanitaires et de génération de propositions de scénarios de traitements s'inscrit donc parfaitement dans la chaîne de pilotage de la production agricole, et bénéficie d'informations en temps réel d'informations importantes sur la prévision climatique, du suivi des stades phénologiques et de modèles de prévision de maladies. Dans ce module, nous utilisons l'outil d'évaluation des risques phytosanitaires EToPhy<sup>4</sup> (Juan *et al.* 2018), ainsi qu'un modèle technico-économique d'optimisation et de simulation des pratiques phytosanitaires qui fait appel aux techniques de programmation linéaire (OptiPhy).

EToPhy dans la plateforme web ClimaVista Agro (Figure 4) permet à l'utilisateur de rentrer directement ses données d'itinéraires techniques et d'évaluer les risques de ses pratiques phytosanitaires en calculant les trois indicateurs à sa disposition (IFT, IRSA<sup>5</sup>, et IRTE<sup>6</sup>, en complément à l'indicateur de pression (IFT), (Le Grusse *et al.* 2014a)). L'IFT reflète l'intensité de l'utilisation des produits phytosanitaires et traduit la pression phytosanitaire exercée sur l'environnement. De façon indirecte, cet indicateur permet également de mesurer la dépendance des agriculteurs par rapport à ces produits. Selon Pingault *et al.* (2009), l'IFT détermine le « nombre de doses homologuées appliquées sur une parcelle pendant une campagne culturale ».

L'IRSA est un indicateur à notation, générique et modulable suivant le cas d'application. L'objectif de cet indicateur est de définir un indice de risque de santé qui représente « le risque potentiel d'une matière active contenue dans une préparation commerciale donnée et selon son utilisation » (Samuel *et al.* 2012). Il évalue les toxicités aiguës et chroniques des produits phytosanitaires en considérant les propriétés physico-chimiques et toxicologiques des matières actives qui entrent dans sa composition, pondérées selon la concentration de ces matières actives et la formulation du produit (poudre, liquide, granulés,...).

Dans un premier temps est calculé un Indice de Risque de Toxicité (IRT) pour chaque matière active en tenant compte de ses propriétés physico-chimiques, des phrases de risque qui lui sont associées (issues des dossiers d'homologation) et de son facteur de persistance (bioaccumulation dans les tissus vivants) (Mandart *et al.* 2010 ; Ayadi 2013 ; Mghirbi *et al.* 2015 ; Mghirbi 2016). En fonction de ces données, une note est attribuée à la toxicité aiguë et à la toxicité chronique pour chaque matière active ; plus cette note est élevée, plus le risque est important. Les données utilisées pour le calcul de cet indice sont issues de la base Footprint (Lewis *et al.* 2016) et des phrases de risques issues des dossiers d'homologation.

<sup>4</sup> EToPhy software (2011), APP deposit no : IDDN.FR.001.060017.000.D.C.2011.000.31500

<sup>5</sup> IRSA : Indicateur de Risque sur la Santé de l'applicateur.

<sup>6</sup> IRTE : Indicateur de Risque de Toxicité sur l'Environnement.

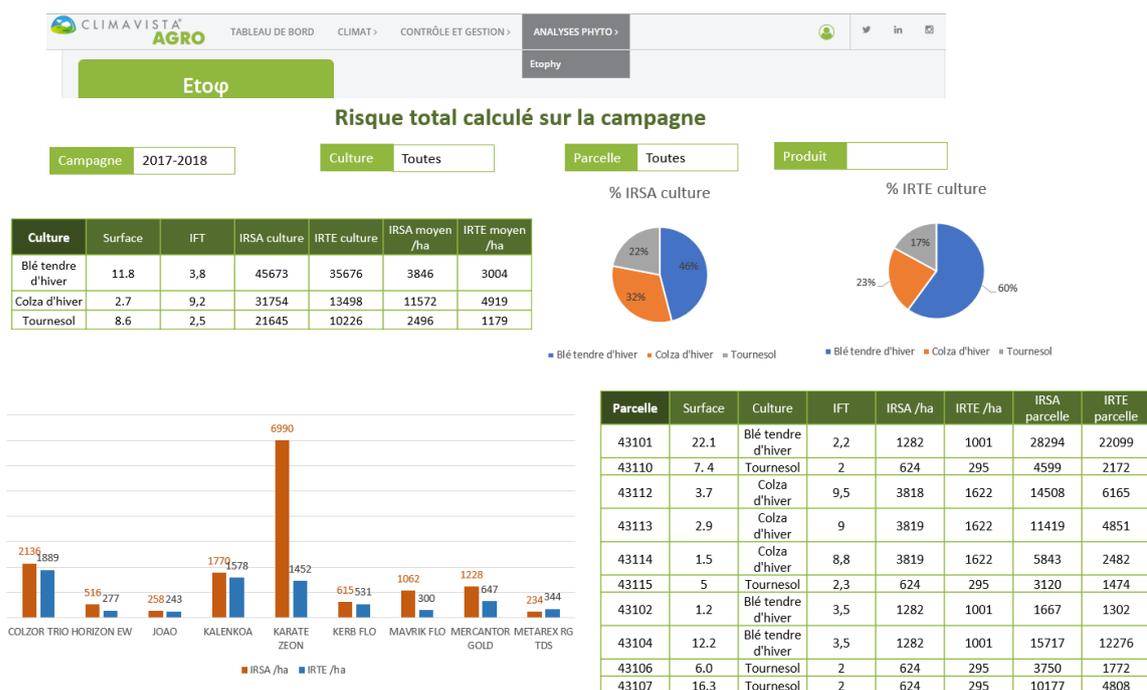


Figure 4. Interface du module d'analyse des pratiques phytosanitaires 'EToPhy'

L'IRT de chaque matière active entrant dans la composition d'un produit phytosanitaire est ensuite pondéré par deux facteurs, afin d'obtenir un IRSA pour chaque matière active (Samuel *et al.* 2012) :

- **Le Facteur de formulation (FPf)** : selon le type de formulation du produit (poudre, liquide, granulés,...), il est considéré comme présentant un risque d'exposition moindre (produit sous forme solide non volatile) ou élevé (produit liquide ou solide volatil)
- **Le Facteur de concentration (FCP)** : La concentration de la matière active dans la préparation commerciale ainsi que la dose appliquée représentent des éléments importants de modulation du niveau de risque d'exposition.

L'IRTE est un indicateur à notation qui est déterminé par la somme de six variables évaluant les impacts éco-toxicologiques sur les organismes vivants non-cibles (les invertébrés terrestres (vers de terre et abeilles domestiques), les oiseaux herbivores (Colin de Virginie, canard colvert), les organismes aquatiques (poissons, daphnies, algues et plantes aquatiques) et les comportements physicochimiques dans le milieu récepteur (mobilité, persistance dans le sol et bioaccumulation). Il attribue à ces variables une note qui représente le niveau de toxicité, à partir d'un ratio toxicité/exposition.

OptiPhy utilise comme Input les bases de données et les indicateurs agroenvironnementaux (IRSA et IRTE) issus du logiciel EToPhy. Celui-ci fournit des scénarios alternatifs de substitution de produits phytosanitaires qui satisfont à :

- Un pourcentage de diminution des indicateurs de risque IRSA et IRTE.
- Une efficacité des traitements équivalente à la situation de départ.
- Une situation économique optimale.

Les facteurs qui sont pris en considération dans le modèle sont :

- la variation de l'efficacité du produit en fonction de la cible et du stade de développement de la culture (en lien avec le 2<sup>ème</sup> module de suivi de stade phénologique);
- l'influence de la période d'application du produit (hiver, été,...) en relation avec le stade de développement de la cible (juvénile, larvaire,... en lien avec le 3<sup>ème</sup> module de contrôle des bioagresseurs)
- la prise en compte de facteurs physiques et biophysiques liés au sol (pédologie, texture du sol, etc.), aux assolements, aux précédents culturaux et aux paysages;

- gestion des priorités de contrainte en fonction des caractéristiques spatialisées des parcelles (en lien avec le module de localisation spatiale des parcelles agricoles) ;
- la prise en compte de facteurs économiques tels que la perte du rendement en fonction de l'intensité de la pression des bio-agresseurs (attaque forte, moyenne ou faible) ou la variation des prix unitaires des produits phytosanitaires.
- la variation de l'échelle d'optimisation des systèmes de production (de la parcelle au bassin versant) ;

Enfin le dernier module de la plateforme est un outil d'aide à la décision, qui a pour objectifs à la fois d'évaluer la performance du processus de transition agroécologique, de proposer des scénarios d'amélioration et de simuler les conséquences des changements possibles (modèle ESSIMAGE).

L'évaluation de la performance se fait sur trois niveaux ou échelles : la parcelle, l'exploitation agricole, et le niveau général ou global regroupant parcelle et exploitation agricole. Le processus de transition agroécologique est un processus dynamique qui se caractérise par différentes relations entre des objectifs, des techniques agricoles, des moyens de mise en œuvre et des impacts, et dans le cadre duquel des changements au niveau de ces relations peuvent intervenir en permanence. Les indicateurs classiques ne peuvent pas répondre à ce processus dynamique qui peut varier selon le type d'itinéraires techniques et des pratiques agricoles choisies. Cet outil est basé sur un ensemble d'indicateurs concernant cinq enjeux : l'environnement, la protection de la culture, la santé, la société et l'économie. Ces indicateurs sont sélectionnés en fonction de leur pertinence, de leur faisabilité et de leur fiabilité. Ils sont de deux origines : i) Des indicateurs inspirés de différents outils d'évaluation des exploitations conventionnelles ; ii) De nouveaux indicateurs spécifiques pour l'agroécologie. Les performances des indicateurs sont exprimées sous forme de pourcentage pour pouvoir comparer les cultures et les exploitations entre elles. Le modèle permet d'établir un diagnostic agroécologique de la situation générale de l'exploitation agricole à l'instant 't' et ensuite une partie dynamique du modèle simule les conséquences (entre autres économiques) des modifications possibles issues des scénarios d'amélioration proposés à partir des résultats obtenus du diagnostic. Les données d'entrées seront d'une part des données enregistrées directement par l'agriculteur (consommation d'énergie) et d'autre part, des données issues de la plateforme sur les pratiques, l'irrigation, la fertilisation et les traitements phytosanitaires. On peut ainsi évaluer des scénarios d'évolution en fonction de changements de pratiques et/ou d'investissements.

L'ensemble de ces services, centrés sur l'exploitation agricole et intégrant dans un même outil les différents niveaux de gestion de celle-ci (parcelle, ensemble de parcelles (ilots), ensemble de l'exploitation comme centre décisionnel) peut s'étendre à la gestion de démarches collectives et territorialisées (bassin versant, commune ou région agricole). Dans le cadre d'une démarche collective et participative sur un territoire, l'intégration des données issues de la plateforme, pourra permettre de mettre en œuvre des actions de gestion collective dans l'espace permettant ainsi de développer une véritable « Intelligence Territoriale » et notamment une gestion intégrée des pratiques phytosanitaires agricoles (Le Grusse *et al.* 2014b).

La plateforme web ClimaVista offre une démarche technologique innovante à la fois dans l'interconnexion des outils de gestion climatique, technique, environnementale, d'évaluation et de gestion des risques Phytosanitaires et de suivi en temps réel de la performance agro-écologique dans un esprit d'accompagnement maîtrisé de cette transition pour construire une agriculture durable.

### Références bibliographiques

**Ayadi H (2013)** Outils de gestion de la pollution phytosanitaire diffuse au niveau d'un territoire : cas d'application zone humide Ramsar de la Merja Zerga au Maroc. Thèse de doctorat en Géographie et Aménagement de l'Espace, spécialité Agronomie: Université Montpellier 3, Montpellier. Thèse soutenue en cotutelle : CEDoc-IAV Hassan II Rabat (Maroc) et Ecole Doctorale ED 60.

**Jones JW, Hoogenboom G, Porter CH, Boote KJ, Batchelor WD, Hunt LA, Wilkens PW, Singh U, Gijsman AJ, Ritchie JT (2003)** The DSSAT cropping system model, *European Journal of Agronomy*, 18: 235-265.

**Juan G, Barataud F, Benoit P, Bouchet L, Carpentier A, Gouy V, Le Henaff G, Voltz M (2018)** Référentiel sur les outils de la recherche pour réduire les pollutions de l'eau par les pesticides. Rapport final, convention INRA-AFB.

**Le Grusse P, Mandart E, Bouaziz A, Le Bars M, Bord J-P, Fabre J (2014a)** Gestion de la toxicité en zone Ramsar (TRam) : rapport final. 68 p. Rapport scientifique du Programme Pesticides : Programme Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des Pesticides. APR Pesticide 2009.

<https://www.programmepesticides.fr/Pages-projets/APR-2009/TRam>

**Le Grusse, Mandart E, Ayadi H, Mghirbi O, Ellefi K, Trabelsi M, Fabre J, Bord J-P (2014b)** Gestion intégrée des pesticides et intelligence territoriale. Papier présenté au 44<sup>ème</sup> congrès du Groupe Français des Pesticides, 26-29 mai 2014, Schoelcher.

**Lewis KA, Tzilivakis J, Warner DJ, Green A (2016)** An international database for pesticide risk assessments and management. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2016/05/18, 22: 1050-1064. <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2015.1133242>

**Mandart E, Le Grusse P, Ayadi H, Fabre J, Attonaty J-M (2010)** Un indicateur de risque de toxicité des pesticides en "Santé Humaine" comme paramètre dans un outil d'aide à la décision en production agricole : application à un territoire du Sud-Ouest de la France. Papier présenté au 40. Congrès du Groupe Français des Pesticides : Pesticides et Environnements Méditerranéens, 26-28/05/2010, Banyuls-sur-Mer (France).

**Mghirbi O, Ellefi K, Le Grusse P, Mandart E, Fabre J, Ayadi H, Bord JP (2015).** Assessing plant protection practices using pressure indicator and toxicity risk indicators: analysis of the relationship between these indicators for improved risk management, application in viticulture. *Environmental Science and Pollution Research*, 22: 8058-8074.

**Mghirbi O (2016)** Résilience des exploitations agricoles face au changement des pratiques phytosanitaires : Conception d'outils de gestion des risques liés aux pesticides – cas du bassin versant de l'étang de l'Or en France. Doctorat en géographie et aménagement. Université Paul Valéry - Montpellier III, France.

**Mghirbi O, Le Grusse P, Fabre J, Mandart E, Bord J-P (2017)** OptiPhy, a technical-economic optimisation model for improving the management of plant protection practices in agriculture: a decision-support tool for controlling the toxicity risks related to pesticides. *Environmental Science and Pollution Research* 24: 6951-6972

**Pingault N, Pleyber É, Champeaux C, Guichard L, Omon B (2009)** Produits phytosanitaires et protection intégrée des cultures : l'indicateur de fréquence de traitement. *Notes et études socio-économiques*, 32 : 61-94.

**Samuel O, Dion S, ST-Laurent L, April MH (2012)** IRPeQ, Indicateur de risque des Pesticides du Québec. 2 ed. Québec: Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation / Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs / Institut national de santé publique du Québec.

**Trabelsi M, Mandart E, Le Grusse P, Bord J-P (2016)** How to measure the agroecological performance of farming in order to assist with the transition process. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 139-156

**Trabelsi M (2017)** Comment mesurer la performance agroécologique d'une exploitation agricole pour l'accompagner dans son processus de transition ? Doctorat en Géographie et Aménagement de l'Espace. Université Paul Valéry Montpellier 3, France.

*Mots-clés : gestion des risques, pratiques agricoles, pollution diffuse, pesticides, agro-écologie, plateforme web*