



Precision Agriculture

Bioagresseurs & Outils Numériques

24/09/2024

Alliance Harvest

Corentin LEROUX
www.aspexit.com

Méthodologie de travail

- **Clarifications du besoin** avec l'équipe @Alliance Harvest
- **Entretiens semi directifs** (45' – 1h15) [voir liste de contacts]
- Lecture de **rapports techniques et scientifiques** (voir Bibliographie en fin de diaporama)
- **Fouille large d'outils numériques** sur plateformes et états de l'art existant (voir Bibliographie en fin de diaporama)

Liste de contacts :

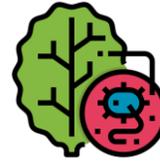
[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1d7jbKLFxluuGga1C7fO5oKDB_UhC6DYsqJznzm_yAAY/edit?usp=drive link](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1d7jbKLFxluuGga1C7fO5oKDB_UhC6DYsqJznzm_yAAY/edit?usp=drive_link)

Besoin exprimé – Périmètre de travail

Protection des plantes



Ravageurs



Maladies

(Champignons, bactéries, virus...)



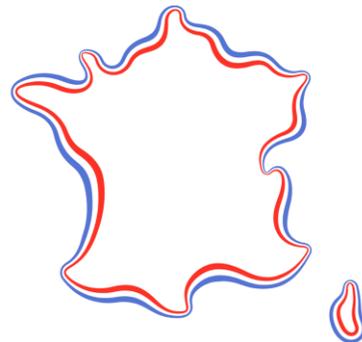
Adventices

Cultures d'intérêt



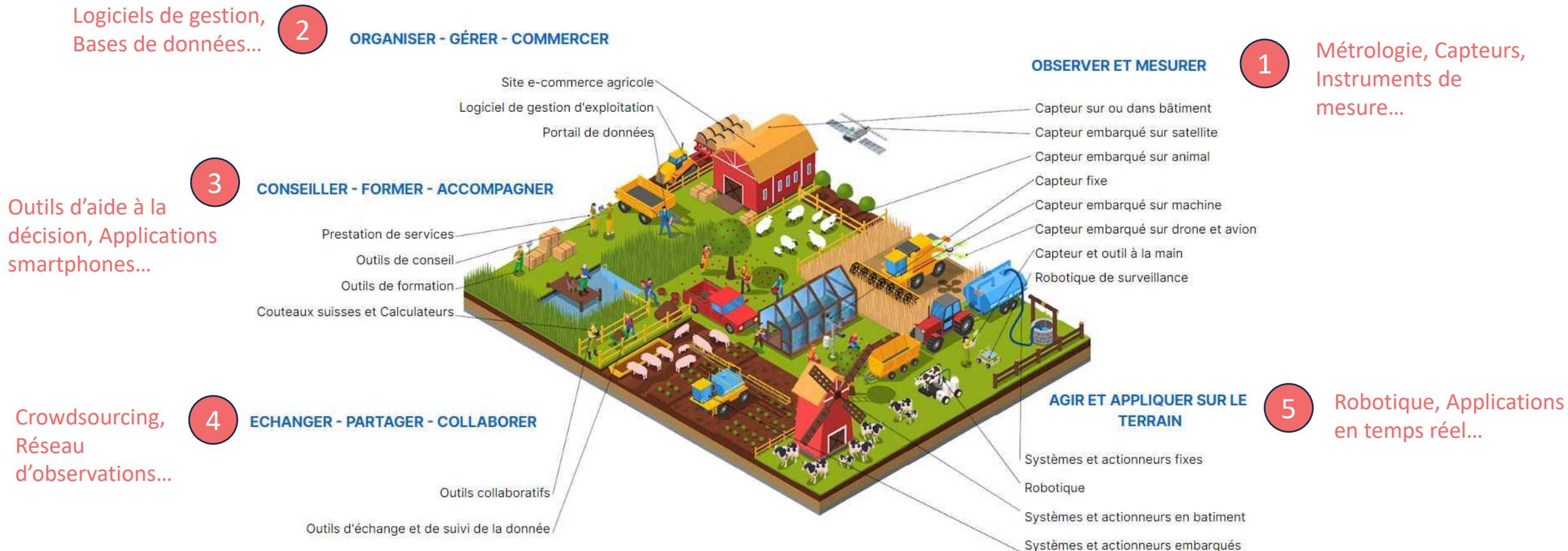
Périmètre large : principalement Grandes Cultures sans s'interdire d'aller voir ailleurs

Géographie



Interviews réalisées avec acteurs en France métropolitaine (mais qui ont pour certains des filiales à l'étranger)

Besoin exprimé – Périmètre de travail



Les outils Agri-Tech sur les plateformes du marché vont souvent au-delà de la France

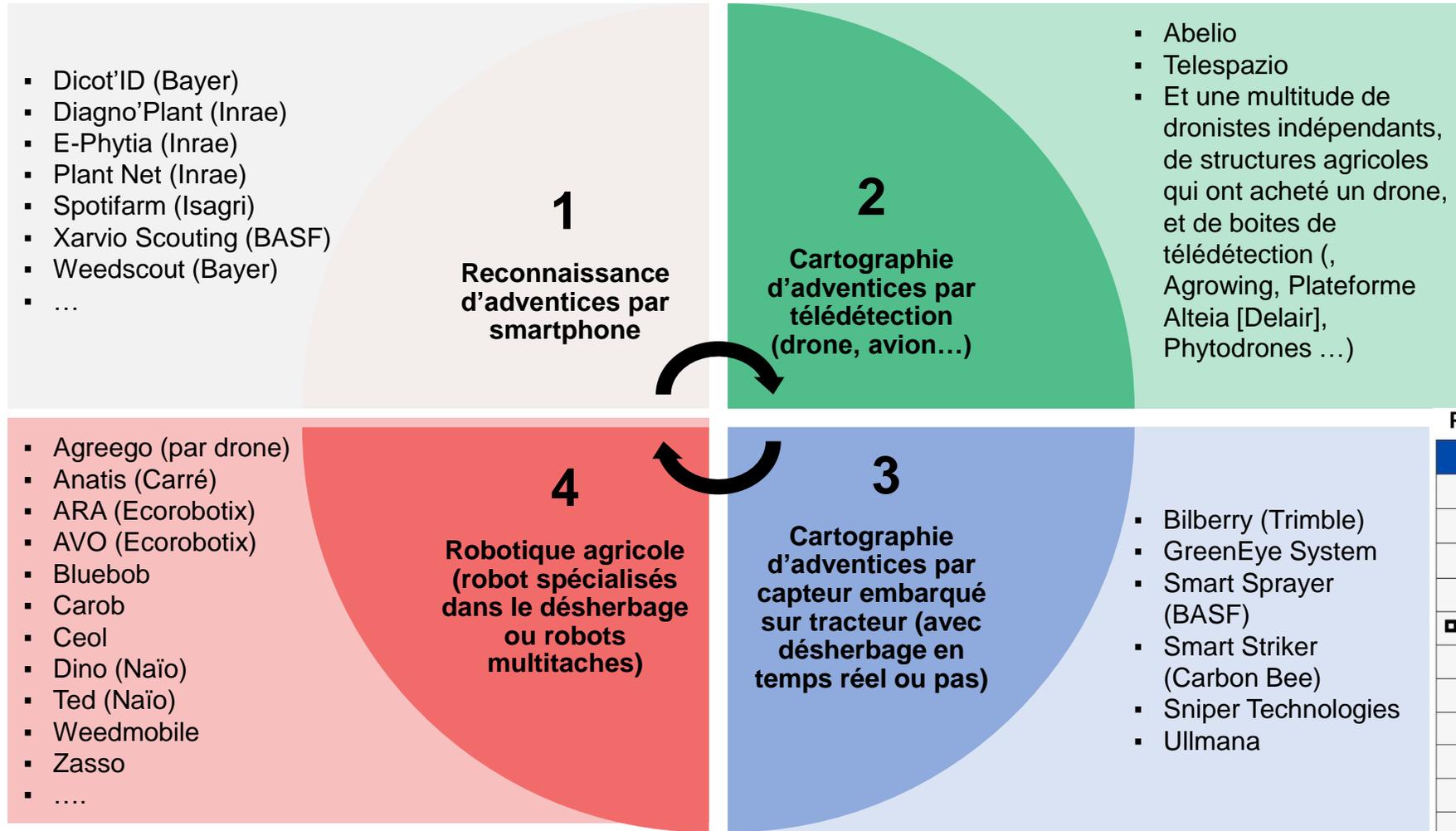
Premiers messages introductifs [1]

- **Mesurer OU Piloter** : Dans quelle mesure les données de suivi de bio-agresseurs (directes ou indirectes) sont actionnables ou pas sur le terrain ? A quel point peut-on les utiliser pour piloter une intervention au champ ? Si c'est juste pour remonter de la donnée, l'intérêt est peut-être limité
- **Inquiétudes** sur le changement climatique : Augmentation des bioagresseurs que l'on ne connaît pas (ex : xilela), déplacement des aires de répartition... Y-a-t-il des prédateurs actuels pour ces bioagresseurs ou même des pratiques agroécologiques pourrait peiner à répondre à ces inquiétudes ?
- **Incertitudes** sur le changement climatique : agriculteurs mis en défaut parce que plein de nouveaux paramètres à considérer (fréquences d'aléas climatiques qui évoluent, maladies qui vont bien plus vite que prévu...). Evolution du rapport au risque et de la prise de risque.
- **Des objectifs divers avec les outils numériques** : Surveiller le territoire (en temps réel ou décalé), conseiller les agriculteurs, Retarder les traitements, Eviter les traitements, Evaluer un risque, initialiser un paramétrage de modèles ou des zones témoins pour agriculteurs, Economiser du temps de tour de plaine

Premiers messages introductifs [2]

- **Des capacités et/ou besoins différents** : Identification, Détection, Prédiction, Anticipation variables par type de bioagresseurs (ex : plutôt intéressant d'avoir de la prédiction que de la détection sur les ravageurs et insectes)
- Des **temporalités différentes** par type de bioagresseurs : quand on détecte la présence d'une maladie, c'est parfois déjà trop tard.
- **Positionnement varié des entreprises** : Entreprises généralistes ou spécifiques à un bio-agresseur. Même pour les généralistes, les types de bioagresseurs sont très différents les uns des autres. Les niveaux d'avancement de chacun sont assez hétérogènes. Certaines entreprises vont de la détection jusqu'à l'action. D'autres sont plus limitées sur le périmètre (ce qui peut rendre plus compliqué l'engagement sur des solutions digitales)
- Potentiel de **développement peut-être plus important sur le désherbage** parce qu'il existe déjà des solutions et pratiques alternatives plutôt issues de la chimie/biochimie (biocontrôle, biosolutions etc..) pour la gestion des maladies et ravageurs. Sur le désherbage, il n'est pas vraiment prévu d'avoir du désherbant bio ou autre.

Panorama général des outils numériques pour la gestion des adventices



Precision Spraying Entities

COMPANY	PRODUCT
JOHN DEERE	See & Spray Ultimate, Premium
CNH INDUSTRIAL	AUGMENTA
AGCO <small>Your Agriculture Company</small>	WeedSeeker bilberry
Greeneye TECHNOLOGY	Greeneye Sprayer
BASF BOSCH	OPE
WEED-IT <small>precision spraying</small>	Quadro
AMAZONE	Amaspot
agrifac	AicPlus
DAT <small>Division by Tsubaki</small>	Ecopatch
DeepAgro	Sprai
SOLINFTEC	Solix
Carbon Bee	Smart Striker X

Does not include drones



Autres catégories d'outils : proposer des rotations optimales pour mieux gérer les adventices (Ecoherbi [Inrae]), Aide au choix des stratégies de luttés Adventices (Decid'Herb)

Panorama général des outils numériques pour la gestion des adventices

1

Reconnaissance d'adventices par smartphone

- Les outils de reconnaissance de plantes sont assez nombreux. Il n'est pas toujours évident de savoir si ces outils sont également capables de reconnaître les adventices (sauf pour les outils qui viennent de firmes phytosanitaires). Également initiatives d'identification type Flore Bonnier des années 80-90 et remises au gout du jour informatique (E-phytia, DiagnoPlant)

2

Cartographie d'adventices par télédétection

- A notre connaissance, seuls Telespazio et Abelio (surtout Telespazio) ont des services opérationnels de détection d'adventices par télédétection. Ce sont souvent des prestations réalisées ponctuellement par des dronistes (sorte de freelancing). Autant il est relativement facile de proposer un nouveau service, autant l'industrialisation à large échelle (temps de traitement, réseau de télépilotes...) est beaucoup plus compliquée. Un autre enjeu pourrait être opérationnel puisque cette détection demande un passage de drone/avion au préalable avant de réaliser un traitement localisé par de l'agro-équipement (il faut que la carte d'adventice soit envoyée à la machine).

3

Cartographie d'adventices par capteur embarqué sur tracteur

- Le numérique apparaît plutôt ici sous la forme de caméras/capteurs embarqués sur machine qui détectent les adventices en temps réel et envoient une commande aux outils de désherbage attelés derrière le tracteur. Ces systèmes de détection restent néanmoins particulièrement chers (parce qu'il faut potentiellement ajouter une caméra tous les 10 mètres d'une rampe de pulvérisation). Ce type d'action ne s'adressera donc pas à tous les types d'agricultures

4

Robotique agricole

- Le sujet du désherbage est particulièrement traité au regard du contexte environnemental de réduction de pesticides. C'est par exemple un des premiers arguments de positionnement des outils robotique (en faisant du désherbage mécanique et pas chimique). Certaines firmes phytosanitaires commencent elles aussi à s'associer à de l'agro-équipement de précision pour pouvoir continuer à homologuer / mettre en vente leurs produits (en arguant qu'elles en apporteront moins avec plus de précision) [exemple de BASF qui s'associe à Amazone et à Bosch pour avoir une chaîne complète tracteur+capteur+modèle]. Les modes d'action sont très variés (chimique, mécanique, laser, électrique...). Pas de pulvérisation par drone possible en France (ou cas très limités)

Note sur la détection fine des adventices

- Plusieurs cas de figure avec un niveau de difficulté variée :
 - Détection « **Green on Brown** » : Être capable de discriminer une adventice sur sol nu
 - Détection « **Green on Green** » : Être capable de discriminer une adventice dans un couvert végétal. C'est sensiblement plus compliqué puisqu'il faut séparer l'aventice de la culture d'intérêt.
 - Différence entre la détection (« je sais qu'il y a une adventice ou pas ») et l'identification des adventices (« je sais quel type d'avertices ou pas »)
- Entraînement des algorithmes de détection
 - **A faire Culture par Culture.** Il semblerait que ça fonctionne bien en maïs, soja, tournesol et colza à inter-rang important. Ca marcherait moins ou pas sur les cultures à inter-rang faibles (travaux en cours). A partir de 6mm d'avertices, on y arrive (stade à peine plus gros que cotylédon). De manière générale, intérêt plus fort sur cultures sarclées
 - **Souvent avec caméra RGB – pas vraiment de multispectral** (*avec résolution d'images pouvant être très fine, quelques mm*). Plus le vol est bas, plus la résolution est fine mais plus le débit d'inspection est long, et donc cher (Difficile par exemple sur les cultures hivernales (ray grass, vulpin)...)
 - **Le plus gros frein, c'est la labellisation des images** avec des adventices dessus (c'est-à-dire trouver les ressources en interne [ou à déléguer en partie au client] pour labelliser et entraîner les algorithmes). Il faut bien sûr que les conditions d'acquisition d'images soient variées.
 - Détection automatisée vs semi-automatisée (*avec seuils par exemples*) et contrôles ultérieurs par un expert (*malherbologue ou autre*)
 - Sur stade précoce, il peut y avoir des faux positifs et/ou des oublis de détection mais c'est assez rare parce que adventices ont toujours le même port (vivent sur leur graine, occupation spatiale similaire). C'est plus compliqué sur pré-récolte ou lorsque des bouts de feuilles dépassent avec une végétation haute.

Note sur la détection fine des adventices

➤ Questions à se poser :

- A partir de **quel stade** l'aventice est elle détectable ? (*à partir du stade cotylédon voire peut-être même avant ?*)
- A **quel débit de chantier** l'action est-elle réalisable ? *Enjeu de faire ça à une vitesse de traitement acceptable (12 à 18km/h) mais est ce nécessairement la bonne façon de penser ?*
- Est-on capable de **différencier les adventices les unes des autres** (chardons, dicotylédones, graminées..) ? *Ce qui impliquerait que l'on aurait des stratégies différenciées (cf introduction Mesurer vs Piloter). Il semblerait y avoir des freins matériels (Injection directe et le temps que le choix du produit que soit fait et que ça arrive à buse, c'est beaucoup trop long, enjeu physique d'acheminement de la bouillie, Alourdissement des rampes si cuves intermédiaires mises en place)*
- Quelle est la **qualité du semis initial** ? *Dans le sens où la détection et l'application seront d'autant plus facilités par un semis régulier*
- ...

Quelques éléments de langage

- ❖ *« La reconnaissance d'images demande beaucoup d'apprentissage que l'on a pas. On avait adapté les algos aux stades plantules. Pour Plantnet, facile de trouver un géranium à fleurs, mais un géranium à 2 feuilles, c'est pas pareil ».*
- ❖ *« On ne travaille qu'avec du RGB parce que le multispectral a besoin d'être paramétré et réponses différentes entre matin et aprem. Pas le smêmes signatures spectral en plein cagnard que le matin. C'est trop compliqué et c'est surtout pas régulier »*
- ❖ *« Sur la vigne, je crois beaucoup à des pratiques agronomiques avec les adventices : tondre, scarifier, couper au bon moment, sélectionner au mieux les adventices. Je ne suis pas sûr que j'irai en vigne et en arbo avec du désherbage sélectif. Je pense que ça ne vaut pas le coup »*
- ❖ *« Pour la grandes cultures, je vois pas d'innovation majeure avec robotique. Peut-être nouveaux modes de destruction d'adventices à venir »*
- ❖ *« Je n'ai pas vu grand-chose de facilement mettable en place sur parcelles et conditions agriculteurs ni de moyens d'acquisition simple en capteurs terriens »*

Adventices – Cultures Cibles

➤ Pour quelles cultures et adventices :

- **Cultures à haute valeur ajoutée** (enjeu économique) ou **Cultures avec les IFT** [Indices de Fréquences de Traitement] les plus élevées (enjeu environnemental). **Possibilité d'avoir des cultures à faible valeur ajoutée** (droit à produire ==> absence d'alcaloïdes dans les récoltes).
- Gestion enherbement (négoce, agroindustriels etc..) pour de l'épuration manuelle, mécanique, chimique ou dans du matériel de récolte (avec récolte différenciée dans le sens où les adventices peuvent se infester le matériel de récolte et être ainsi déplacé entre parcelles)
- Retours de Telespazio (acteur le plus avancé sur le sujet) : *Datura (service le plus important), Ambrosie, Morelle, Cuscutte en luzerne pour infestation carabinée, Liseron, Chardon, Rumex, Chénopodes, Persicante etc... Une vingtaines d'adventices qui sont détectées par drone dans beaucoup de cultures de printemps et aromatiques (maïs popcorn maïs doux, tournesol, sorgho, soja, millet, luzerne, quinoa, sarrasin, artichaud, mélisse, lentille, pois chiche, haricot, petit pois, flageolet, chou, tomates, chanvre, féverolle...).*

Adventices – Cartographie et temps réel

➤ Application temps réel vs Cartographie par télédétection :

- Pré-screening par satellite aide à détecter les parcelles qui ont besoin d'un désherbage particulier. Si la télédétection devient efficace, possibilité de faire visiter les parcelles par des drones autonomes (plus facilement que par tracteur autonome). Capacités par télédétection sur grandes parcelles sur des repousses post-glyphosate (encore temps d'agir quand gros adventices).
- **La majorité des cartes sont plutôt on/off toute adventice confondue.** Coût du droniste à prendre en compte (dans les pays où le coût du travail est moins élevé et les parcelles sont grandes, les services ont plus de chance de se développer).
- Chaines de traitement matures sur certaines adventices. Temps de traitement variable (entre la prise d'image, l'envoi sur un serveur, le traitement, et le renvoi au client) : entre une demi journée et plusieurs jours.
- Questionner les capacités du drone à voler ? (fonction de la vitesse du vent, d'un réseau de droniste coordonné...)

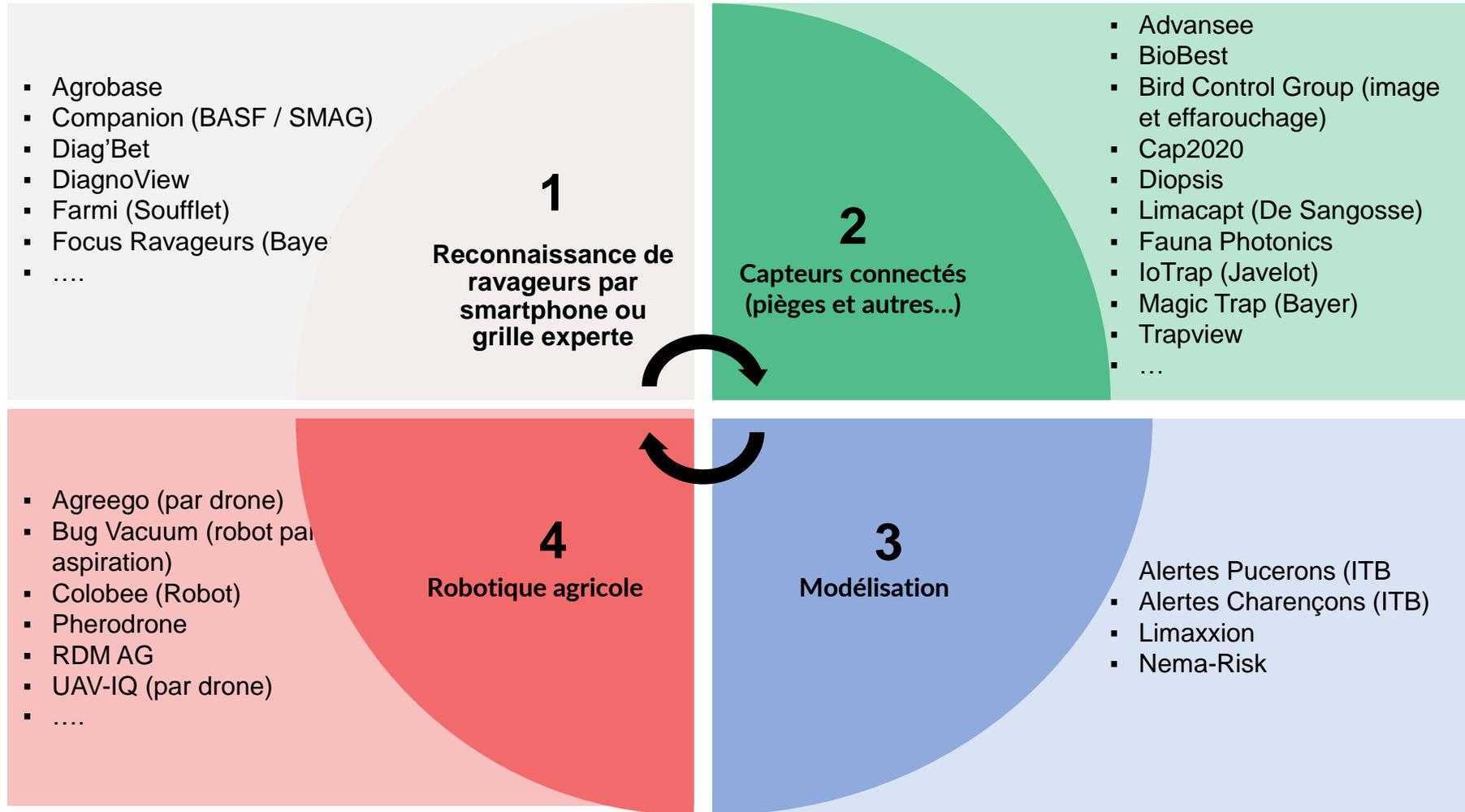
Grands messages Adventices

- N'ayant pas connaissance et suivi précis des adventices, on ne prend pas trop de risque et on aura tendance peut-être à sur-traiter.
- **Autres intérêts des outils numériques pour la gestion des adventices :**
 - Au-delà d'une application différenciée, possibilité de faire du **diagnostic avec des outils de reconnaissance d'adventices**. Quel risque à laisser ou pas des adventices dans le champ ? *Ex : Possibilité de sauver une partie de la parcelle si adventices localisées spatialement*
 - **Collection d'information** : pour du comptage d'adventices (densité d'adventices au champ). Les caméras peuvent être utilisées pour une action de pulvérisation ou pour remonter de l'information
 - **Suivi de la dynamique des adventices** : est ce que les ronds de chardon augmentent ou pas dans le temps (c'est peut-être plus intéressant que leur localisation). Est-ce que je maîtrise les ronds de chardon ? Est-ce que les ronds de chardon repartent plus vite après certaines pratiques ou cultures données ?
 - Permet de mieux **circonscrire les problématiques** et de mieux appréhender la gestion de l'enherbement de manière à **adapter la récolte** (pour une récolte différenciée par exemple) **& la demande de main d'œuvre**. Ca peut être notamment intéressant pour les cultures bio lorsqu'il y a besoin d'une main d'œuvre importante (cultures légumières, sarrasin...)

Quelques infos du marché

- Telespazio : 38k ha en 2023
- Adhérents de Phyteis ne semblent pas trop partager leurs infos. Le métier est surveillé de toute façon par les autorités

Panorama général des outils numériques pour la gestion des ravageurs



Autres catégories d'outils : *Tous les outils de mesures de données agro-climatiques pour suivre un développement potentiel de ravageurs* : Stations Météo Connectées, Sondes..., *Base de données de produit phytosanitaires* (Index Acta [ACTA]), *Tour de plaines collaboratifs / Réseaux de surveillance* (AgriFind [entreprise a fermé], Agricomunity)

Panorama général des outils numériques pour la gestion des ravageurs

1

Reconnaissance de ravageurs par smartphone

- On retrouve ici quelques applications smartphones d'aide à l'identification de ravageurs. L'enjeu de reconnaissance de ces ravageurs est important et il semble intéressant de donner des outils aux professionnels pour les reconnaître

2

Pièges and co

- La grande majorité des pièges sont basés sur de l'analyse d'images. Certaines entreprises sur l'analyse sonore (pas besoin de piégeage).
- Le traitement d'images est plus couteux en terme de piège mais par contre, c'est beaucoup plus fiable au comptage près. Pour les pièges avec analyses de mouvement, ce sont souvent des capteurs à infrarouge avec des pièges à tubes. En fonction de l'ordre de stimulation et du temps de stimulation infrarouge, le comptage est validé ou pas. Permet de détecter correctement les début des vols et la dynamique de vol pour des prises de décision ultérieures
- D'autres types de capteurs testés type capteurs radar pour détecter le vol de pucerons (avant qu'ils ne se posent dans les betteraves)
- On trouve également des robots effaroucheurs sur les grandes cultures (prise d'images pour suivre la présence de pigeons ou d'oiseaux (corbeaux et autres) pour avoir un aperçu d'oiseaux puis effarouchage). On ne va pas jusqu'au type d'espèces mais présence/absence d'animaux.
- Quelques tests de caméras sur piquet avec images régulières ?

3

Modélisation

- De manière générale, on retrouve ici bien moins d'outils de modélisations que sur les maladies. Les propositions présentées sont souvent spécifiques à des cultures ou à des ravageurs particuliers. Les outils peuvent être basés sur de la modélisation associée à une base de données d'observation (comme pour les outils d'Alerte Puceron et Charençons de l'ITB et le réseau BSV). On pourra trouver aussi des grilles de décision calibrées sur le terrain par expérimentation

4

Robotique agricole

- Les robots existants sont plutôt des drones et proposent des services d'épandage de trichogrammes ou autres solutions de biocontrôle. Quelques robots terrestres existent, peut-être plutôt à l'état de recherche, sous la forme de robots aspirateurs (type Bug Vacuum) ou par secouage (Colobee pour les doryphores de pommes de terre)

Quelques éléments de langage

- ❖ « Une fois que t'as prouvé que ça marche, on est en rupture de stocks quasiment. On est au piège près en terme de stock pour nos livraisons.»
- ❖ « Au-delà des modèles tactiques et pièges connectés, on ne voit pas grand-chose sortir en terme d'outils en production qui fonctionnent. Ca se déploie pas beaucoup. C'est souvent spécifique à 1 ou 2 bioagresseurs. Ca marchera quand on aura des outils qui couvrent des champs plus large. La détection de tout type de ravageurs sur tout type de cultures pour déclencher une intervention, on en est loin »
- ❖ « Pour les petits ravageurs (type thrips par exemple), il faut plusieurs années de travail pour arriver à faire de la détection. Pour les papillons, si on a assez d'échantillons, en un an c'est bon. Ca dépend de taille et de méthodes de piégeage. Les couleurs et les formes jouent beaucoup aussi. On part toujours des pièges manuels existants sur le terrain pour lesquels on sait qu'on va suivre la population. »
- ❖ « Un piège est valable là où il est. Quelle distance prendre pour conseiller l'agriculteur ? Quel maillage de piège efficace ? Avec les pièges connectés, tu peux faire du suivi à distance et tu peux mieux suivre ce qui se passe dans les parcelles. «
- ❖ « Les modèles restent assez descriptifs. Parfois, il y a des seuils parce qu'on sait par exemple qu'un seuil de méligètes sur Colza, c'est assez bien décrit dans la littérature »
- ❖ « Pour nos modèles de vols de charençons, on a utilisé la base Vigicultures et là il n'y a que des données d'occurrence, rien d'autre. Pas de biomasse, rendement ou autre disponible. Tu peux moins aller estimer l'impact du rendement des ravageurs. Si tu veux accéder à Vigicultures, il faut faire une demande d'accès »
- ❖ « Historiquement on était sur de la modélisation et maintenant, nos entreprises vont jusqu'à la détection maintenant »
- ❖ « Il faut confronter des moments d'alertes prédictifs et d'aller vérifier sur un échantillonnage que c'est effectivement bien le cas. Le traitement systématique, c'est pas trop le but du jeu. Soit il a piégeage connecté ou tour de plaine pour aller voir sur le terrain ce qui se passe. »
- ❖ « Les outils numériques ne prennent pas en compte l'émergence de nouveaux ravageurs »

Ravageurs – Remarques générales

- **Chaque piège et chaque insecte sont différents.** Tous ont des probabilités différentes de tomber dans les pièges (luminosité, taux d'humidité, vent...). Il faut aller compter.
- **Les travaux sont pour l'instant plus actifs sur les maladies que les ravageurs**
- **Manque de connaissances flagrant sur la biologie et écologie des insectes.**
 - Avec les insecticides, il n'y a pas besoin d'avoir ces connaissances là mais s'il y en a de moins en moins ou qu'on veut les diminuer, il faut avoir une connaissance beaucoup plus fine de la biologie des insectes (où il passe l'hiver dans le sol, taux de survie en fonction des conditions pendant l'hiver, déclencheurs de sa sortie de sol [s'il est dans le sol], tu peux avoir une estimation précise de là et à quel moment il va sortir, comment il survit, à quel rythme il se reproduit (évolution du stock d'année en année ?...)).
 - Les insectes sont traités systématiquement alors qu'ils sont très loins d'être dangereux tout le temps. Si l'on savait prédire à l'avance le moment où il pourrait y avoir des explosions de population, on ne serait pas obligés de traiter systématiquement. La plupart des ravageurs sont rarement problématiques mais on limite le risque en traitant tout le temps.

Ravageurs – cultures cibles

➤ Plus spécifiquement sur les cultures

- *Céréales* : Les demandes sont principalement pour les pucerons. On retrouve des demandes pour le maïs pour la pyrale et la césamie (papillons) qui sont des papillons. Quasiment pas de demandes sur blé (l'impact du ravageur n'est pas suffisant pour justifier un traitement ?). Quelques demandes sur colza avec ravageurs assez spécifiques et qui se piègent de façon particulière.
- *Cultures légumières* : pois, betterave etc... Les ravageurs ne sont pas les mêmes qu'en grandes cultures. On retrouve beaucoup de papillons (lépidoptères) qui viennent pondre sur les cultures et se nourrir des fruits, légumes, feuilles (plutôt noctuelle). Les pucerons sont également présents et sont suivis généralement avec des plaques engluées jaunes pour les attirer par la couleur. Les pucerons ne sont pas tous nocifs (ex : Betterave : puceron vert qui est porteur de la jaunisse. Puceron noir est suceur piqueur mais n'est pas porteur de maladies). C'est d'ailleurs une limite parce que les capacités de détection automatiques s'arrêtent au stade puceron et on ne sait pas distinguer si c'est un puceron vert ou noir (pucerons trop petits). Il faut ensuite passer en laboratoire pour affiner la détection.
- *Arboriculture et viticulture* : Souvent d'autres papillons. En vigne, les tordeuses (eudemys, cochylis, cryptoblabès...). On retrouve également les cicadelles aussi en vigne (cicadelle de la flavescence dorée, cicadelle verte). En arboriculture, des demandes arrivent sur papillons et carpocapse (pomme, prune, tordeuse orientale du pécher).
- *Autres cultures (retours d'entretiens)* : déjà du suivi en Turquie sur coton. CIRAD a travaillé sur des modèles ravageurs sur coton. En France. Echanges sur le riz sur une noctuelle en Camargue (Cap2020). Modèles insectes sur le riz au Japon (BASF)

Ravageurs – Capteurs / Mesures

- **C'est très rare que l'outil (capteur, modèle...) propose l'action.** L'outil propose de **paramétrer des alertes** en cas de pics de population ou de dépassements de seuils. Les outils ne disent pas s'il faut aller traiter ou pas, et n'ont pas nécessairement d'informations sur les modes d'actions à disposition (biocontrôle ou pas). Il faut avoir une connaissance fine des produits d'application, ce que n'ont pas nécessairement les développeurs d'outils.
- Besoin de **systèmes d'alertes partagés** type sur les insectes (type réseaux de piégeage ou autre).
- **Enjeu de savoir estimer correctement la densité de ravageurs dans les champs sans faire trop d'échantillonnage.**
 - Exemple des pièges de type « cuvette jaune » où les **comptages d'insectes ne corréleront pas avec la vraie pression sur les champs**. On pense que les insectes tombent aléatoirement dans la cuvette mais en réalité, ils volent d'autant plus que les conditions sont chaudes et sèche lumineuses. Les pucerons sont par exemple aussi plus attirés par les feuilles de betteraves que par les plaques jaunes de pièges. L'intensité des capteurs montre plutôt l'évolution métabolique des insectes que leur réelle présence. On sait juste que l'insecte est là mais pas toujours en quelle quantité. Des modèles peuvent ensuite aider.

Ravageurs – Modélisation [1]

- **Des modèles existent mais cela semble plus compliqué que pour les maladies.** Les outils actuels s'intéressent plus à l'observation. De manière générale, nous manquons d'observations pour des questions de moyens. Besoin fort d'un niveau correct d'information, d'un bon maillage et de réactivité derrière.
- Tendance générale à avoir de plus en plus d'OAD et volonté de modéliser la dynamique des ravageurs (dans les offres commerciales avec groupes sucriers ou boites phytos comme Syngenta ou Xarvio de BASF).
- Dans la bibliographie, **on trouve quand même des modèles de développement d'insectes ravageurs et certains sociétés vendent leur modèles d'évolution des populations.**
 - Trapview intègre par exemple des modèles qu'ils lient à leurs comptages automatisés de manière à faire des prédictions sur les prochains vols et prochaines populations. Certains clients sont intéressés pour **détecter les premiers vols dans les 2-3 premiers mois** de la saison, pour ensuite **utiliser des modèles pour les 2ème, 3ème génération** (et prédire les pics de vols). Les modèles fonctionnent bien s'ils ont les bonnes dates de lancement. Les pièges peuvent être utilisés pour des **vérifications en cours de saison** (et vérifier que les pièges ne dérivent pas trop). Les pièges permettent de cibler les observations.
- Malgré tout, il semblerait que **l'on arrive à faire de la prédiction sur très peu de bioagresseurs par rapport à ce qui existe en totalité.** Sur les insectes, ça reste notamment assez pauvre (certainement parce qu'avec les traitements de semence qu'on avait sur insectes, ça n'est pas un besoin, cf la diapositives sur le manque de connaissances sur la biologie des insectes).

Ravageurs – Modélisation [2]

- **Modélisation principalement à partir de météo.** Est-ce que des acteurs prennent en compte d'autres paramètres comme le paysage ? (ex : surfaces de colza et de forêts proches des parcelles qui peuvent jouer un rôle dans le cycle de l'insecte au moment des cycles de reproduction ou forêt qui peuvent jouer le rôle d'hibernation pendant l'hiver, Surface et taux d'enherbement et des indices de biomasse entre les cultures.
- Avec les modèles, possibilité de replacer la prédiction dans un contexte comme on prédit en fonction de certains paramètres agro-environnementaux. On peut en effet savoir si le modèle a été entraîné sur des données proches de celles qui ont été mesurées et avoir une idée du niveau de précision.
- Sur l'adoption et/ou l'utilisation sur le terrain. Certains acteurs ne fonctionnent qu'avec des modèles et ne veulent pas de pièges. D'autres se mettent aux pièges pour faire évoluer leurs méthodes de piégeage manuel. D'autres encore commencent à faire du piégeage (et n'en faisaient pas avant) parce qu'il y a des pièges connectés. Certains utilisent les pièges pour surveiller la confusion sexuelle (avec des pièges sentinelles bien localisés) pour s'assurer que les populations ne sont pas trop importantes et que la confusion ne dérive pas. Attention aux seuils au-delà desquels la confusion sexuelle ne marchera pas ?

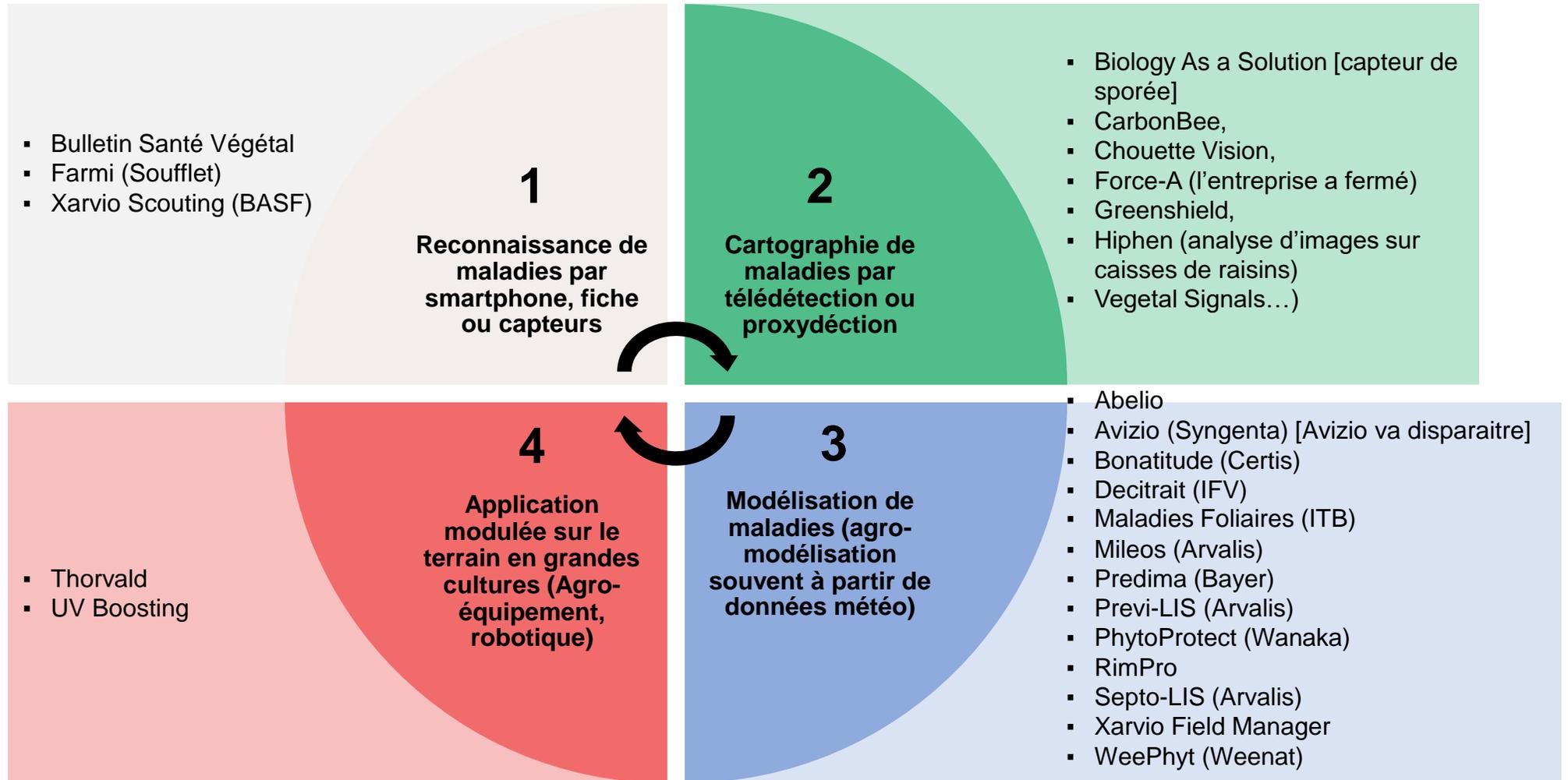
Quelques grands messages ravageurs

- **Détection souvent possible mais comment pilote t-on derrière ?**
 - Le déclenchement du traitement doit être fait au bon moment dans la montée du nombre de ravageurs (ni trop tôt ni trop tard...).
 - A noter également que l'on a souvent qu'un seul type de produits et pas vraiment de stratégie différenciée de traitement (plutôt de la présence vs absence).
 - Le risque relatif à un ravageur est pas simplement à présence ou abondance mais aussi de l'état de la culture. Exemple du concept de « colza robuste ». Le traitement n'est pas au même seuil en fonction de la sensibilité du colza, de la densité d'insectes...
- **Notion de risque importantes.** Certaines entreprises ne peuvent pas se permettre d'avoir des dégâts sur les cultures ou d'avoir des œufs ou d'avoir des insectes qui vont se retrouver à l'usine. **Tous les clients ne gèrent pas le risque de la même façon.** Si on travaille sur du produits frais, de la conserve ou de la transformation, les clients vont être plus ou moins tolérants.

Quelques infos du marché

- Au moins 500 pièges installés par Cap2020 (dont 1/3 en viticulture).
- TrapView est très présent en arbo et viti. La viti
- Alertes pucerons (Terres Inovia ou ITB ?) : 15k consultations annuelles. Quand la jaunisse apparaît dans les champs, on ne peut plus rien faire

Panorama général des outils numériques pour les risques maladies et stades de développement



Autres catégories d'outils : Aide aux réglages de matériel de pulvérisation (buses, réglage des rampes...), Appui au choix des dates de traitement en fonction des conditions météorologiques (Alvie [Hygo]), Appui à l'utilisation de biostimulants/biocontrôle : Synapps [Syndev]

Panorama général des outils numériques pour les risques maladies et stades de développement

N Reconnaissance de maladies

- On trouve relativement peu de services numériques sur le marché. Beaucoup de modèles existent (voir la récente plateforme européenne IPM Decisions) mais les modèles ne sont pas opérationnalisés. Il ne semble pas y avoir beaucoup d'outils de scouting ou d'appui à la reconnaissance sur le terrain

2 Cartographie ou détection de maladies

- Il ne semble pas y avoir vraiment de services opérationnels à grande échelle sur la détection de maladies. On trouve ici quelques outils spécifiques qui ont pu être proposés (ex : les outils de fluorescence de Force-A pour la vigne qui s'est arrêtée depuis, ou les capteurs de sporée d'entreprises comme Biology as a solution). Les autres entreprises proposent plutôt des services sur mesure de cartographie pour des détections de maladies spécifiques (difficile de connaître la capacité de détection de ces outils)

3 Modélisation de maladies

- La majorité des services/outils proposés sont des prévisions maladies (stades de développement, risques...) obtenues à partir de modèles développés par Arvalis (Prévi-LIS [pour la prévision de risque], Stadi-LIS [pour la prévision de stades de développement maladies])
- Les résultats de ces modèles ne sont pas spatialisés à une échelle plus fine que la parcelle. Ce sont « simplement » des prévisions moyennes parcellaires, développées majoritairement à partir de données météorologiques. Ces données météo peuvent être locales (stations météo) ou provenir de fournisseurs plus généraux. Abelio utilise par exemple des données météo de MeteoBlue ou Weather Measures ET laisse aussi la possibilité aux usagers de connecter leurs données de stations météo locales.
- Les outils d'Arvalis (classiquement utilisés) peuvent être utilisés tels quels ou en rajoutant une couche d'interprétations basée sur l'observation ou sur les maladies mal connues.

4 Robotique agricole

- Pas vraiment d'outils spécialisés sur les maladies. On retrouve quelques robots avec une application par UV. Le passage régulier d'agro-équipement ou de robots pourrait être une source de d'acquisition de données agro-environnementales (opportunité pour le développement de robots ?)

Quelques éléments de langage

- ❖ Sur certaines maladies très localisées dans la parcelle (rouille jaune ou autre), on peut imaginer des capteurs embarqués sur le pulvé et dès qu'on détecte une couleur, on peut faire de la pulvé localisée
- ❖ Pour tout ce qui est maladie, on a travaillé dessus bien sûr mais stratégiquement, on ne pousse pas nos solutions parce qu'il y aura certainement un contournement génétique à court et moyen terme. Des variétés tolérantes et résistantes devraient corriger le tir).
- ❖ Pour les maladies virales c'est compliqué, d'autant plus qu'on se rend compte que tout notre matériel végétal est violé
- ❖ Les outils tactiques, plus ça va, plus je me dis que c'est du court terme. Quand on n'aura plus de produits phytos, on en fera plus grand-chose. Ou alors il faudra les adapter au biocontrôle parce que beaucoup de travaux de recherche. Il va falloir revoir toutes nos règles de décision sur les modèles. On a pas encore trop commencé là-dessus. Sur la partie outil stratégique, il y a peu de choses. Avec la réduction des phytos, on se demande comment s'affranchir de produits phytos en combinant des leviers (et voir s'ils dégradent ou non la performance totale). On travaille sur des modèles plus complexes type modèles bayésiens et règles expertes (sortes de simulateurs en combinant des leviers).

Quelques grands messages maladies

- **L'identification des bio-agresseurs ne semble pas être un gros problème dans nos géographies. C'est plutôt la détection algorithmique (plutôt que physique) qui est compliquée.** Quand les pathogènes sont déjà là, c'est souvent déjà trop tard parce que les fongicides ou autres traitements ne sont pas assez bons (en septoriose sur blé, on peut avoir le temps de voir monter la maladie. En mildiou, ça n'est pas possible). Peut-être vaut-il mieux travailler avec des modèles de risques maladies que d'aller détecter les maladies (ou alors avoir des parcelles d'observation ou parcelles sentinelles pour mettre des éléments en exergue).
- **Le niveau de précision des photos est plus compliqué à mettre en place sur maladies.** Pour capter les éléments précoces, il faut être bien au bon moment et dans des bonnes conditions d'acquisition. Le tour de plaine humain va encore rester pendant longtemps en place (Vols de drone régulier imaginables...)
- En maladies, il faudrait que les capteurs soient meilleurs que les modèles mais une fois que les modèles marchent, c'est très scalable et économique (que donnée météo). En général, c'est souvent que 5-6 infos (variétés, type de sol, densité) et ça suffit avec données météo. La donnée réelle est fiable. Avec la multiplication des stations météo connectées, la qualité de la prédiction est d'autant plus fiable
- Quelques exemples sur de la modélisation (retours d'entretiens) : Pas mal de choses sur les grandes cultures, Sclérotinia du colza (pas grand-chose), Septoriose, Maladies de la vigne et arbo plutôt bien modélisées, Soja, modèles rouilles qui marche bien en Amérique du Sud.

Maladies – Capteurs / Mesure [1]

- La détection par capteur n'est pas évidente.
 - Fonctionne mieux par caméra RGB que par multispectral / hyperspectral, surtout que ces caméras coûtent plus cher (et donc pas forcément déployable en service opérationnel) et qu'il n'est pas sûr d'être capable de détecter des symptômes précoces.
 - Exemple sur betterave et cercosporiose avec prise de photos régulières par caméras installées sur piquet connectées de 5 à 8 mégapixels et des tâches de 3-5 mm. Prise de photo régulièrement pour quantifier la cercosporiose de la betterave. Plutôt pour mesurer de la sévérité et réseaux de surveillance. Confusion qui existe avec d'autres maladies malgré tout mais l'objectif c'est surtout de quantifier la sévérité (X% de la surface malade). Besoin de quantifier parce que règles de décision derrière.
 - Pas suffisant pour bien distinguer les maladies (et toujours soucieux de représentativité). Sur la cercosporiose, seuil de traitement entre 1 et 5% de surface touchées donc ça va encore quand on détecte des premières taches visibles. On pourrait s'en servir pour le renouvellement de traitement où la maladie est bien installée.
- Capteurs de spores aux États-Unis et essayent de relier la dynamique de spores avec les conseils de traitement à faire derrière.
 - **Mesure de l'inoculum de mildiou dans l'air. Modélisation du potentiel infectieux, suivi de la germination des œufs.**
 - Évaluer le stock naturel en sortie d'hiver pour agir sur ce stock en faisant du faux semis par la suite pour casser le stock hivernal (parce que les stocks se seront développés sur du faux semis. Il faudrait évaluer les spores sur les bois, feuilles, Reliquants. Par génétique ou autre ?
 - **Évaluation des sporées de champignons pour identifier la première germination** : utilisation de batonnets pour analyse chimique et/ou système d'analyse (mais pas trop numérique ?). Sorte de réactif à mettre au bout du smartphone ?

Maladies – Capteurs / Mesure [2]

- Sur les capteurs pour donner l’alerte sur les maladies : Pour les maladies non désirées, est ce qu'il y a une plus-value à avoir un capteur qui mesure que la maladie n’est pas présente ? Si un modèle maladie explicite un fort risque de présence, y-a-t-il un intérêt à avoir un capteur de mesure en surplus, surtout sachant qu’un risque peut être présent sans être visible.
- Si un risque maladie est connu, on peut imaginer que des interventions soient pré-paramétrées dans des logiciels de gestion parcellaire

Maladies – Intégration des Outils

- **La plupart des OAD céréales travaillent avec Arvalis** avec des modèles issus de travaux de recherche, puis repris et rajout de règles de décisions (ex des outils d'Abelio ou de MesParcelles qui utilisent Prévi-LIS d'Arvalis). Arvalis va mettre plus d'énergie sur les modèles que les outils applicatifs qui seront laissés aux développeurs.
 - La concurrence se fait sur l'ergonomie de l'outil.
 - La création de moteurs de calcul est coûteuse en données (exemple sur le mildiou où il faut connaître les souches de mildiou parce que ça impacte l'agressivité de la souche...), temps et en compétences, et le maintien d'un modèle dans el temps est également lourd. et c'est assez coûteux d'entretenir et de faire évoluer un modèle.
 - Arvalis réfléchirait également à externaliser leurs modèles (pour valoriser des recherches qui ne sont faites qu'en France à d'autres contexte pédoclimatiques et pour valoriser l'investissement initial)
- Utilité des modèles pour identifier les 1ères génération de contamination. Tant qu'un certain seuil n'est pas atteint, les modèles sont confiants. L'intérêt peut être de repérer la 1ère génération pour positionner au mieux les opérations culturales

Maladies - Modélisation

➤ Qu'est ce que l'on peut trouver en sortie de modèles :

- les jours favorables ou défavorables au développement de la maladie,
- la dynamique de maladie (ex : comment les spores splashent etc...) pour prédire la maladie non visible (feuilles contaminées) et émergence des symptômes,
- un calendrier de traitement en sortie,
- une date de franchissement d'un seuil (première fois où la maladie franchit un seuil dans l'année),
- maximum de maladies en fin de campagne
- prédire de semaine à semaine (ex : à partir de la météo des 3 dernières semaines, on tente de prédire ce qui va arriver la semaine d'après)

➤ Limites de la modélisation :

- **Données à dispo qui sont pas toujours complètes** : variété, date de semis, précédent, labour/non labour, sol.
- Parfois **l'information est trop partielle**. Parfois tu sais que ça va être important mais pas assez de données pour l'intégrer proprement
- Entre la construction de modèles et le déploiement sur le terrain, il faut plusieurs années parce **que les acteurs veulent vérifier que ça marche vraiment**. Pour faire des modèles (machine learning notamment), cela demande d'avoir des **données homogènes en qualité**, et parfois sur un pas de temps temporel relativement long. Et il faut ensuite avoir les **compétences** pour traiter tout cela en aval

Quelques grands messages maladies

- Toute une série de modèles a été développés depuis les années 70 jusque dans les années 90 puis les structures qui avaient les données ont arrêté. Les travaux ont ensuite été repris par le BSV et instituts techniques. Ensuite début du BSV et reprise de travaux par les instituts techniques. Certains des modèles des années 80 fonctionnent encore.
- **Questionner le fait que certains modèles n'aient pas bougé depuis les années 80.** Est-ce que les modèles fonctionnent toujours correctement ? Est-ce que l'on a pris la peine de les revoir d'un point de vue scientifique et technique. Parfois, les modèles sont figés parce que ce sont des outils adaptés à des marchés niche. Est-ce que les données sont de toute façon disponibles pour aller vérifier tout ça ?
 - On peut questionner les changements de pratiques et l'évolution climatiques depuis les années 80
 - Certains modèles mécanistes ont quand même parfois une grosse relation statistique cachée
 - C'est parfois également compliqué de revenir dans des sources de données ou des modèles qui ne sont pas bien documentés.
 - Pertes multiples : Perte de compétence par départ à la retraite. Perte de source de données. Perte de code parfois avec que des exécutables disponibles.
 - Changement de variétés aussi avec résistance et qui sont pas forcément reprises en compte dans les modèles.
 - Non prise en compte de la gestion du lessivage des produits et de la durée de rémanence des produits (c'est intégré dans certains modèles de prévisions néanmoins)
 - Relativement peu de travaux (parce que non valorisables scientifiquement) sur des courbes d'évolution de maladies suite à des inoculations de maladies sur la feuille à telle température à temps d'heure

Quelques infos du marché

- OAD Maladies foliaire : 6k consultations : principalement pour la cercosporiose (aussi rouille, oidium et ramulariose). Malgré le fait que chaque région a sa maladie fétiche, c'est la cercosporiose qui est la majoritaire à chaque fois. Le réchauffement climatique fait penser vers la cercosporiose.
- Mileos est poussé par la filière parce que le cahier des charges l'impose
- Beaucoup moins d'adoption que ce qui avait été imaginé sur les OAD : Volonté initiale d'avoir 30% des hectares de céréales couverts tout OAD confondu (Wanaka, Syngenta, BASF...) : plutôt 15-20 % actuellement

Quelques grands messages conclusion

- Sur la notion de prise en compte du **risque et de l'incertitude**, des avis divergents :
 - *« Les agriculteurs et conseillers préfèrent la décision que les éléments qui conduisent à la décision. Avec la contrainte de temps, c'est le niveau d'infos qui leur convient. Il faut qu'ils puissent creuser et comprendre pourquoi mais c'est l'éditeur qui contrôle le risque. C'est pas idéal mais c'est le monde d'aujourd'hui. Sur pleins de sujets, on ne regarde plus la carte pour aller d'un point A à B »*
 - *« La responsabilité est clairement chez l'agriculteur parce qu'on exprime que c'est de l'aide à la décision »*
 - *« Quand tu fais une carte de fertilisation avec Farmstar, tu délègues la décision de la dose parce que tu es incapable de faire ce niveau de décision là. Quand t'es dans l'intra-parcellaire, c'est dur de faire à la main. Personne va retravailler sur la carte de biomasse initiale ... »*
 - *« Quand conditions climatiques trop variables, l'agriculteur a du mal sans modèles »*
- **Le BSV avait initialement l'interdiction de faire de la préconisation. Cela peut néanmoins amener de la confusion** parce que les sorties brutes de modèle ne sont pas toujours très compréhensible. Il est possible d'imaginer des règles qui dépendent du niveau de risque qu'est prêt à prendre l'agriculteur (suivant les acteurs et filières, les philosophies peuvent être différentes) **Pour les phytos, ça peut être pire si rien n'est explicité parce que les agriculteurs auront tendance à vouloir traiter s'ils voient des hausses dans les paramètres de sortie.**
 - *« Si les agris ont la capacité d'objectiver le risque bio-agresseurs (maladies et insectes), ils auront peut-être la possibilité de traiter moins. Mais ça n'est pas ce qu'on voit sur le terrain, les agriculteurs traitent + au contraire (tendance au renforcement du traitement). Les éditeurs du BSV ont une attitude précautionneuse et donne un risque général. Est-ce qu'avec le numérique : avoir de l'information plus précise, réactive et plus adaptée à chaque agriculteur peut les aider à utiliser moins de phytos ? »*

Quelques grands messages conclusion

- Besoin de plus d'agronomie et de compétences
 - Malherbologues, Entomologues, Phytopathologues nécessaires pour recomposer avec la complexité du vivant (combinaison épidémio et détection, etc.)
 - Besoin de passer d'OAD tactiques à des OAD stratégiques qui considèrent l'exploitation dans son ensemble. Modèles à la fois multi-critères mais aussi en capacité de générer plusieurs sorties en même temps.
 - Le tout dans un contexte climatique et réglementaire changeant.

Conclusion – Enjeux Réglementaires [1]

➤ Sur les enjeux réglementaires

- Les **traitements aériens par drone sont encore bloqués**, sauf pour les expérimentations. Les suisse ou autre par contre, c'est cadré et ça existe. Peut aider en récolte d'infos et en intervention précise
- Comment une **autorisation de mise sur le marché** intégrera demain le digital ? Est-ce qu'il y aura des produits autorisés uniquement dans ces cas là ou pas ? Peut-être qu'un traitement en plein ne passe pas les modèles mais que s'il est appliqué seulement sur une bande ou que le traitement ne cible qu'une petite partie de la parcelle parce qu'un capteur l'a bien délimité, ça vaudra le coup.
- En fonction de l'exhubérance du feuillage ou de la hauteur de vigne, le fait de **modéliser des fermetures de buse ou autre réglage machine** peut devenir la condition nécessaire à l'application de tel ou tel produit.
- Il y a encore des **enjeux réglementaires sur l'utilisation autonome des robots** (voir dossier Robotique d'Aspexit)
- On peut imaginer des réflexions de type **cahier des charges secondaires d'industries agro-alimentaires** qui obligerait à utiliser des outils digitaux pour optimiser l'utilisation d'intrants. Les distributeurs et phytos ont besoin d'accompagner les phytos et produits. Au travers d'Ecophyto et autre réglementations, ils ont comme objectifs de mieux utiliser les intrants et justifier les usages
- Certains liens ont établis ou commencent à l'être **entre des outils OAD et les dispositifs CEPP**
- De moins en moins de solutions chimiques de lutte seront disponibles. Une option pourrait être de profiter des technologies pour avoir des **offres combinatoires** et des **produits combinatoires**.

Conclusion – Enjeux Réglementaires [2]

➤ Sur les enjeux réglementaires

- Intérêt des capteurs pour aller vers des **obligations de résultats** et **objectiver ce qui est obtenu sur le terrain**. Il faudrait alors aider les agriculteurs à consolider les jeux de données pour des filières, politiques publiques, ou territoires.
- Autour de la question de la **séparation vente et conseils**, comment les firmes et autres s'organisent avec ces outils numériques ? Attention néanmoins à la possibilité d'un retour en arrière sur cette séparation au vu de la politique actuelle
- L'utilisation d'outils et modèles peut être utiliser pour **garder/homologuer des produits sur le marché** (pour des produits en difficulté, quand besoin de les renouveler ou pas). L'ANSES et DGAL ont des questions sur ces sujets là.

Conclusion – Enjeux Economiques

- Sur les enjeux économiques
 - Développement de **nouveaux modèles d'affaires** pour certaines entreprises : **économie de la fonctionnalité**. Exemple : garantir une efficacité de la feuille saine à tel stade sur le blé. Objectif de garantir l'efficacité avant le rendement
 - Ces nouveaux modèles d'affaires permettent également de repenser l'ensemble du service (logistique, réapprovisionnement, etc).
 - Quid de l'obligation d'appliquer les recommandations ? Pour des futures assurances ?
 - **Organisation des acteurs** : collaborations, approches partenariales → les formats sont variés
 - Ex : Bosch, Amazone, BASF pour mutualiser caméras / agro-équipement / modèles agrométéo
 - Ex : Trimble et Bilberry
 - Ex : John Deere en tant que full-liner
 - Ex : Excel Industries et Exxact Robotics (filiale d'Excel Industries)
 - Ex : Bayer développe son robot de pulvérisation MagicSprayer

Quelques grands messages conclusion

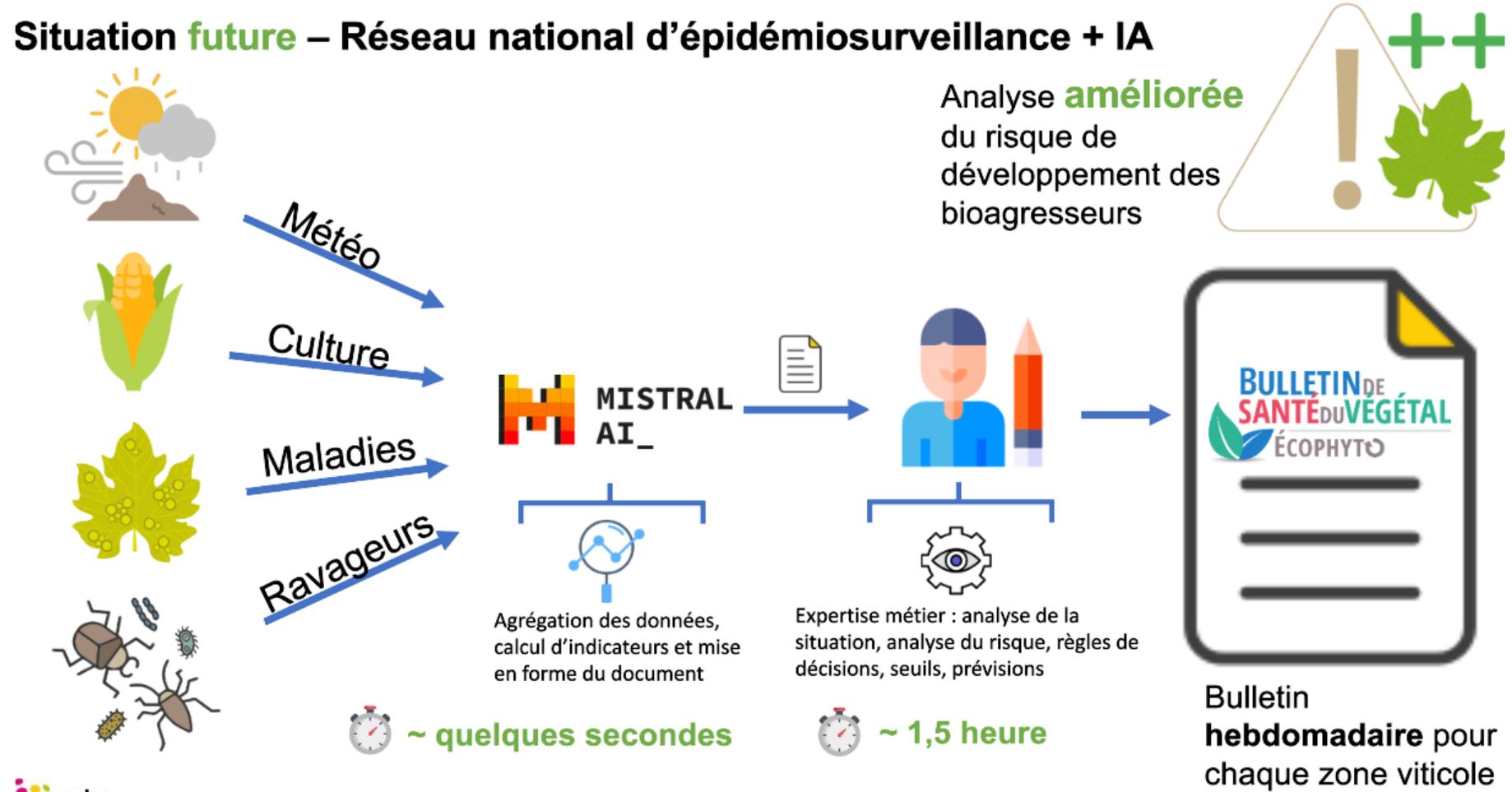
- On peut observer des **décrochages entre les besoins des acteurs agricoles et ce que font les acteurs de la recherche**. Faire des OAD pour piloter des traitements, ça n'intéresse pas tout le monde, et d'autant moins les centres de recherche (surtout si ça n'est pas publiable) qui préfèrent travailler sur les pratiques ou agro-écologie. **Beaucoup de modèles mécanistes ne sont pas opérationnels et sont pas utilisés**, surtout s'ils ont trop de variables d'entrée. L'utilisation commerciale est assez limitée.
 - « Qu'est ce qu'un modèle et comment je l'utilise en tant qu'agri ou en tant que conseiller ? C'est des questions qu'on se pose »
- Des **technologies enchevêtrées** et des études d'adoption à creuser qualitativement
 - Exemple de Mileos : « Besoin initial de données météo proches pour faire tourner les modèles. Ça a poussé le développement de stations météo. Et ça a poussé par la suite le développement d'outils interopérés d'ailleurs. Dans le Nord de la France, c'était surtout un gros développement d'outils numériques mais centré sur la pommes de terres. Tout est arrivé conjointement un peu au même moment »
 - « Parfois, il manque la brique pour faire en sorte que ça marche ».

Quelques grands messages conclusion

- La question du "**derisking**" dans les politiques agricoles semble revenir régulièrement. Les risques initiaux ne sont-ils pas venus par la chimie et pratiques agricoles ? Aller chercher une baisse du risque sur la fragilité de la culture ou la rotation demande de prendre des risques pour l'agriculteur et d'innover en se diversifiant du modèle agricole standardisé. A quel endroit on peut vraiment appliquer cette question de derisking ? **Sortir de la dépendance à un acteur est également une sorte de diminution de risques..**

Vers un BSV automatisé ?

Situation **future** – Réseau national d'épidémiosurveillance + IA



Source : Issu d'une présentation de Mehdi Siné (ACTA)

Les « A venir »

- ❑ Phyteis a demandé une **étude quali/quantitative sur l'adoption digitale sur la protection des plantes** qui arrivera plutôt en automne (côté agriculteur mais aussi volonté de comprendre quel(s) acteur(s) s'emparent du sujet).
- ❑ Phyteis met en place un l'outil **Agri-guide** (<https://www.agriguide.eu/>) qui vise à mettre au point une base de données européenne sur l'ensemble des produits de protection des plantes à disposition des agriculteurs et de tous ceux qui font du digital, en favorisant l'accès à des données de qualité, réglementaires et extra-réglementaires. La France a déjà la **base de données Phytodata** (<https://www.phytodata.com/module/interface/index.php>).
- ❑ **L'observatoire des usages du Numériques en Agriculture** (<https://agrotic.org/observatoire/>) a sorti son étude sur le désherbage : <https://agrotic.org/observatoire/2024/07/02/1088/>
- ❑ Un **programme d'équipement prioritaire de recherche (PEPR)** est en cours sur la constructions de jumeaux numériques à l'échelle d'une ferme. D'autres PEPR peuvent avoir de l'intérêt ici : Biocontrôle, AgroEcologie et Numérique, Grand Défi Robotique
- ❑ Un nouveau **comité de normalisation de l'ISO** autour du digital en agriculture est en cours avec un focus important sur la protection des plantes.

Autres annuaires / état de l'art disponibles

- ❑ Plateforme **Wiki Agri Tech** : <https://www.wiki-agri-tech.com/>
- ❑ **Autres projets européens** et français d'annuaires listés dans la plateforme Wiki Agri Tech : [https://www.wiki-agri-tech.com/42 livre blanc agritech](https://www.wiki-agri-tech.com/42_livre_blan_c_agritech)
- ❑ Portail **Vigicultures** : https://www.vigicultures.fr/w_fix_login.php
- ❑ Un annuaire des adhérents de **Phyteis** : <https://phyteis.fr/actualites/les-solutions-dagronomie-digitale-proposees-par-les-adherents-de-phyteis/>
- ❑ Un état de l'art des **chambres d'agricultures** : https://chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/National/Casdar/Etat_captur_bioagresseurs_reduire_usage_produits_phytosanitaires.pdf
- ❑ **IPM Decisions** (mais pas trop de modèles opérationnels) : <https://www.ipmdecisions.net/>

Références bibliographiques complémentaires

- ❑ Anastasiou et al. (2023). Precision farming technologies for crop protection: A meta-analysis. Smart Agricultural Technology
- ❑ Aspexit (2020). L'agro-équipement, un levier majeur pour répondre aux objectifs d'Ecophyto dans la filière viticole française. https://www.aspexit.com/wp-content/uploads/2020/05/Leroux_2020_AgroEquipement_Viticulture_Ecophyto.pdf
- ❑ El-Ghany et al. (2020). A review: application of remote sensing as a promising strategy for insect pests and diseases management. Environmental Science and Pollution Research
- ❑ Filho et al. (2022). How does the digital transformation of agriculture affect the implementation of Integrated Pest Management? Frontiers in Sustainable Food Systems
- ❑ Lima et al. (2020). Automatic Detection and Monitoring of Insect Pests. MDPI
- ❑ Michels et al., (2020). Understanding the adoption of smartphone apps in crop protection. Precision Agriculture, 21
- ❑ Ministère de l'agriculture et de la souveraineté alimentaire (2023). Réduction de l'emploi des produits phytopharmaceutiques par le développement de l'agriculture de précision. Rapport n° 23048
- ❑ Secrétariat général à la planification écologique (SGPE – 2024). La planification écologique dans l'agriculture. Enjeux liés aux produits phytopharmaceutiques. Juillet 2024.

Corentin LEROUX



cleroux@aspexit.com