

LIVRE BLANC

LA PULVÉRISATION CIBLÉE

Le décryptage de cette
technique et notre retour
d'expérience



GROUPE **CARRÉ**

Propriété de GROUPE CARRE - reproduction interdite

Février 2024

SOMMAIRE

Édito

1. La qualité de pulvérisation : une amélioration continue
2. La pulvérisation ciblée, la reconnaissance des adventices ?
3. La pulvérisation ciblée, comment ça marche ?
4. Les freins et les intérêts de la pulvérisation ciblée
5. Les actions du Groupe Carré et la présentation du projet HERBICIBLE

Conclusion

EDITO

Voilà plusieurs années que les agriculteurs français voient planer l'objectif de réduction des phytosanitaires à l'échelle nationale (plan ECOPHYTO) et européenne (Pacte Vert / règlement SUR). En effet, leur utilisation comporte des risques sur la santé humaine, la qualité de l'eau et la biodiversité. Mais il ne faut pas oublier que notre souveraineté alimentaire dépend de notre capacité à protéger les cultures et les produits phytosanitaires constituent les outils les plus efficaces pour y parvenir.

Dans un contexte où l'arrivée de nouvelles matières actives est bien moins fréquente que leur retrait, la boîte à outils des agriculteurs se réduit inexorablement et certaines filières se retrouvent dans des impasses. Aujourd'hui, la recherche d'alternatives (variétés, agroéquipement, biocontrôle, pratiques agronomiques...) à combiner avec les produits phytosanitaires est un chantier de mobilisation nationale. Avec l'investissement de la Ferme Pilote, le Groupe Carré s'y implique pour tester, analyser et déployer des solutions crédibles pour les agriculteurs.

Nous avons ainsi travaillé sur la technique de la pulvérisation ciblée, qui porte un potentiel significatif pour améliorer à la fois l'efficacité et la réduction des produits phytosanitaires, en particulier sur le volet désherbage. Ce livre blanc, comme les précédents, vous présentera un décryptage de cette technique, un panorama des équipements existants et notre retour d'expérience au travers un projet multipartenaires.

Bonne lecture !

Philippe TOUCHAIS,

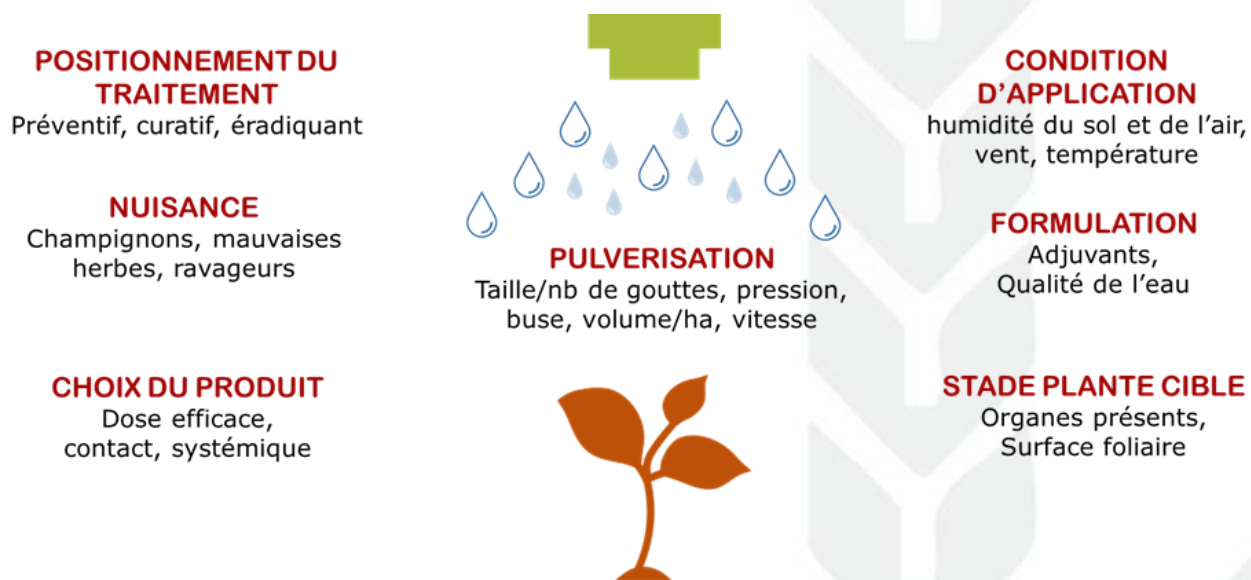
Directeur Innovations – Groupe CARRE

1. LA QUALITÉ DE PULVÉRISATION : UNE AMÉLIORATION CONTINUE

L'amélioration de la qualité de pulvérisation est un enjeu majeur pour tous les agriculteurs afin d'être **efficace** dans l'application des produits de protection des plantes et de **protéger** au mieux **l'environnement et la santé humaine**. Les motivations pour travailler la qualité de pulvérisation pour les agriculteurs sont : l'optimisation des quantités pour **réduire les pertes** et **améliorer l'efficacité** des produits phytosanitaires, la **limitation des impacts environnementaux** et **l'amélioration de l'image de l'agriculture**. Un agriculteur n'a pas intérêt à pulvériser dans de mauvaises conditions. Cela entraîne des risques pour la réussite de sa culture, des surcoûts économiques et des problématiques de voisinage (agriculteurs et riverains).

Depuis toujours, le Groupe CARRE accompagne les agriculteurs dans l'appropriation des principes et techniques de la qualité de pulvérisation. Avec l'appui de partenaires, nous avons formalisé cette approche autour de 7 piliers que vous retrouverez dans le schéma ci-dessous.

Les **7** piliers de la qualité de pulvérisation :



Aujourd'hui, l'agroéquipement a intégré des avancées significatives pour améliorer la qualité de pulvérisation, que les agriculteurs intègrent progressivement dans le renouvellement de leur matériel. Par exemple :

- **Limiter la dérive** pour assurer un dépôt maximal de bouillie sur la cible. L'utilisation de buses à injection d'air permet de réduire la dérive (jusqu'à 75% de réduction) en augmentant la taille des gouttelettes



Buse classique

Buse à injection d'air



- **Utiliser les fonctions de coupures** pour assurer la gestion automatique de l'ouverture et de la fermeture des tronçons du pulvérisateur grâce au GPS. Cette technique permet d'appliquer la bonne dose au bon endroit. La première stratégie, est de prendre en compte les zones déjà traitées et les fourrières pour éviter les manques ou les recouvrements. La seconde stratégie est de maintenir la qualité de pulvérisation et de réaliser de la modulation intra-parcellaire en fonction de certains paramètres.
- **Travailler avec la pulvérisation localisée** pour délimiter les applications sur le rang ou sur l'inter-rang. Cette pratique s'effectue avec des réglages au moment du semis, en lien avec du binage ou à l'aide d'une rampe de pulvérisation localisée.

On notera également les évolutions très importantes dans la précision et les débits de chantier des matériels de désherbage mécanique, notamment les bineuses avec caméra. De même, les développements de robots de désherbage se sont accélérés ces dernières années, avec des entreprises françaises comme Naïo Technologies, SITIA ou CARRE (le constructeur 😊). Ils permettent de gérer une partie des problématiques de l'agriculteur mais ont encore des contraintes à lever sur la rentabilité pour des grandes cultures et l'évolution de la réglementation associée.



Schéma explicatif des 4 types de pulvérisation :

	Pulvérisation de qualité	Pulvérisation localisée	Pulvérisation de précision	Pulvérisation ciblée
Objectif	Optimiser l'application et l'efficacité des phytosanitaires sur l'ensemble de la parcelle	Localiser les applications de produits sur le rang ou l'inter-rang	Appliquer les produits sans recoupement et à dose différenciée si besoin	Cibler les traitements uniquement sur certaines zones
Type de matériel	Tout type de pulvérisateur	Pulvérisateur adapté ou buse spécifique	Pulvérisateur avec coupure de tronçons ou à la buse + GPS + lecture de cartes	Pulvérisateur avec coupure de tronçons ou à la buse + caméras ou drone + GPS + lecture de cartes
Réduction de dose possible	10 à 30%	50 à 70%	30% à 50%	50% à 95%
Illustration				

Attention, il peut y avoir des recouvrements selon le matériel utilisé (non représenté)

LEGENDE :



Pas d'application



Réduction de dose



Dose classique

2. LA PULVÉRISATION CIBLÉE, LA RECONNAISSANCE DES ADVENTICES ?

La pulvérisation ciblée a pour but de positionner les **produits utilisés uniquement sur leur cible grâce à un système de détection automatique**. Le désherbage est le poste de protection des plantes le plus problématique car il y a peu d'alternatives à la chimie de synthèse. C'est pour cela que le **désherbage est l'intervention la plus développée de la pulvérisation ciblée**. Cette technique est utilisée pour d'autres types d'interventions : **l'application des produits phytosanitaires** (herbicides, fongicides et insecticides) et **l'application des engrais**.

Le désherbage ciblé repose sur **3** grandes étapes :

La pulvérisation ciblée, focalisée sur le désherbage, est composée d'un ensemble de technologies qui vont de la détection des adventices à la pulvérisation du produit.

1 ÉTAPE 1 : LA DETECTION DES ADVENTICES

L'identification des adventices est l'étape clé pour effectuer un désherbage ciblé. À ce jour, cette technique permet de repérer principalement les **adventices vivaces** et les **adventices à enjeux sanitaires** (datura, ambroisie, ...).

Des améliorations restent à développer sur la **fiabilisation de la détection**, notamment sur la collecte de données et les capteurs afin de mieux détecter et distinguer les adventices dans les cultures en place et mesurer plus précisément la dose optimale à apporter.

La détection des mauvaises herbes s'effectue grâce à **des drones avec capteurs** ou à **des caméras embarquées sur la rampe de pulvérisation**. La reconnaissance des adventices peut être réalisée sur **sol nu** (détection de vert sur marron) ou sur **sol cultivé** (détection de vert sur vert grâce à une analyse de la forme, de la texture et de la couleur des adventices).



Chardon



Datura

2 ÉTAPE 2 : LE TRAITEMENT DES DONNÉES

Une fois la détection des adventices terminée, les capteurs produisent des données brutes. Ces données sont ensuite **transmises et interprétées par des algorithmes** et **l'intelligence artificielle** afin de générer des **cartes de modulation** intégrant les zones à traiter lisibles par le pulvérisateur.

3 ÉTAPE 3 : LA PULVÉRISATION CIBLÉE

Grâce aux cartes de modulation, l'herbicide est **appliqué uniquement sur les adventices présents** dans la parcelle. La pulvérisation ciblée peut se faire en **temps réel** ou en **différé**.

Pour la pulvérisation en **temps réel**, la **détection et la pulvérisation** s'effectue en **un seul passage**.

Pour la pulvérisation en **différé**, un **premier passage** établit une **carte des adventices** et le **traitement** est effectué lors d'un **second passage**.



*Pour en savoir plus,
cliquez sur l'image pour
regarder la vidéo*

3. LA PULVÉRISATION CIBLÉE, COMMENT ÇA MARCHE ?

Il existe **2** systèmes de détection des adventices : le système de **caméra embarquée pulvérisateur** et le système de **capteur embarqué sur drone**.



1

Le système de capteur embarqué sur le pulvérisateur :

Pour ce système, la **rampe est équipée de capteurs** pour détecter les adventices en temps réel. La détection de l'adventice, sur **sol nu ou cultivé**, déclenche l'ouverture des buses pour traiter.

De nombreux constructeurs se sont lancés sur cette technologie. Plusieurs outils sont donc en train d'arriver progressivement sur le marché, notamment les exemples suivants :

- L'outil « [One Smart Spray](#) » proposé par la société **BASF** en partenariat avec **BOSCH**. Il sera disponible avec le **constructeur Amazone** dans un premier temps.
- L'outil « [I-Spray](#) » proposé par la société **Carbon Bee** en association avec le constructeur **Kuhn**.
- L'application « [See & Spray](#) » de **John Deere** déjà proposée aux États Unis arrive en commercialisation en Europe.
- Le groupe **Exel** a lui travaillé sur la technologie « [Spot Spray Sensor](#) » avec Exxact Robotics. Ils seront commercialisés en France avec **AGRIFAC**
- L'outil « [ARA](#) », développé par l'entreprise **Écorobotix**.



2

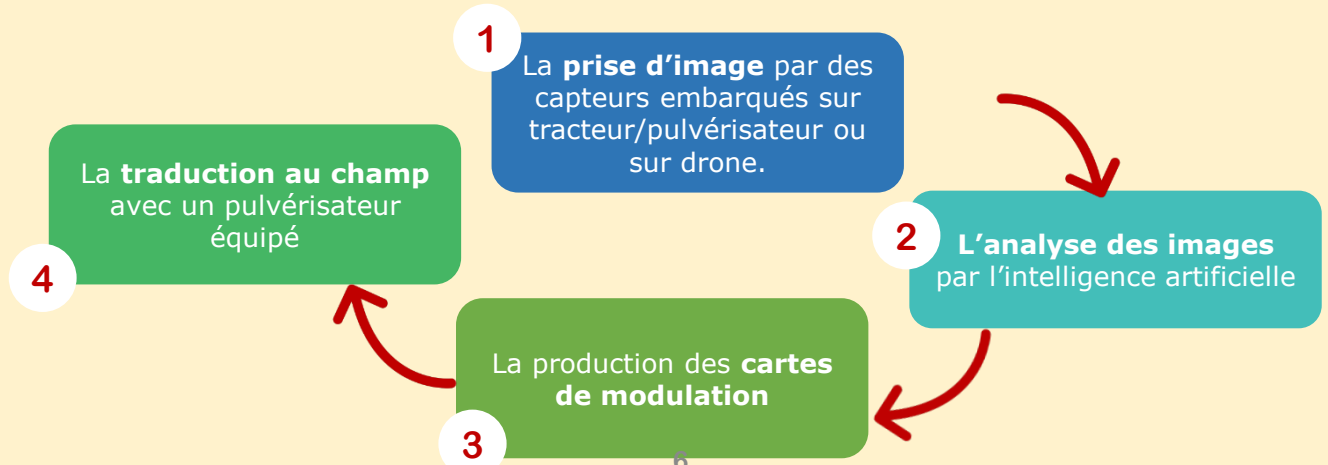
Le système de capteur embarqué sur drone :

Pour ce système, la **prise d'image et la pulvérisation se font en 2 étapes**. Un vol de détection est d'abord réalisé avec un drone pour la prise d'images. Une analyse est ensuite réalisée grâce à des algorithmes pour identifier les adventices. A l'issue de ce traitement d'information, une carte des adventices pour la pulvérisation est générée pour être chargée dans la console du pulvérisateur.

Plusieurs entreprises se sont lancées dans un système de capteur embarqué sur drone et de services de production de cartes de modulation. Par exemple :



Pour résumer, la pulvérisation ciblée fonctionne de la manière suivante :



Les différences entre les systèmes par capteurs embarqués sur tracteur/pulvérisateur et les l'utilisation des images acquises par drone sont les suivantes :

	Par capteurs embarqués sur <u>tracteur</u>	Par capteurs embarqués sur <u>drone</u>
Avantages	• Meilleure résolution de l'image • Possibilité de détecter les adventices à un stade jeune	• Connaissance de l'état de la parcelle et de la surface à traiter en amont (car traitement en différé) • Compatible avec tout type de matériel
Inconvénients	• Nécessité d'avoir plusieurs caméras (sur la rampe) car le champ de vision est restreint • Connaissance de l'état de la parcelle en même temps que le traitement → difficile de savoir le volume de bouillie à l'avance • Investissement coûteux	• Nécessité de réaliser un vol à basse altitude pour la résolution de l'image → augmentation du temps vol/traitement • Dépendant de la météo
Prérequis	Modèle de pulvérisateur spécifique	Pulvérisateur avec système GPS équipé d'une console débloquée pour la modulation
Coût moyen	4000€/tronçon	15€/ha
Conclusion	Les constructeurs orientent plutôt les agriculteurs vers un système embarqué sur tracteur/pulvérisateur pour plus de réactivité mais le système embarqué par drone est déjà disponible et moins coûteux pour les agriculteurs	

Dés herbage de précision par Aline Dupont – Source : Chambre d'agriculture de la Somme

4. LES FREINS ET LES INTÉRÊTS DE LA PULVÉRISATION CIBLÉE

Les freins perçus sur cette nouvelle technologie :

La Chambre d'agriculture des Hauts-de-France a réalisé une enquête auprès des agriculteurs pour **mieux cibler leurs attentes et leurs difficultés** face à l'utilisation des nouvelles technologies. Plusieurs freins ont été identifiés et empêchent les agriculteurs de se tourner vers les nouvelles technologies et plus précisément la pulvérisation ciblée.

Les résultats de l'enquête ont isolé  freins majeurs à l'utilisation des nouvelles technologies :



Le **coût des nouvelles technologies**



Le **manque de compatibilité du matériel** agricole avec les nouvelles technologies. Les agriculteurs ne veulent pas investir dans des systèmes qui ne sont pas compatibles avec leur parc actuel de matériels.



Les **difficultés d'utilisation** et le **manque d'accompagnement** des agriculteurs. La compréhension de ces technologies peut s'avérer compliquée. C'est pour cela qu'il est recommandé de mettre en place des formations spécifiques sur ces sujet pour améliorer la transition des agriculteurs vers cette évolution.



La **réactivité du logiciel** pour obtenir les cartes de préconisation représente une gêne pour l'agriculteur. L'idéal pour les agriculteurs est de réaliser la pulvérisation ciblée en temps réel. Mais, avec le poids et la taille des images, le temps d'analyse par les algorithmes est parfois long et les cartes peuvent mettre du temps à se générer.



Les intérêts et les solutions proposées concernant la pulvérisation ciblée :

Afin de pallier les différents freins évoqués dans la partie précédente, il existe plusieurs solutions et points de vigilances à vérifier :



Pour **optimiser la rentabilité économique** d'un tel investissement, il faut être vigilant sur 3 axes majeurs :

- Le **pourcentage de surface à traiter** en fonction des adventices détectés (plus le pourcentage est faible, plus la réduction des charges herbicides a un impact sur la marge nette).
- Le **mode de propriété** (intervention d'ETA, achat en copropriété, passer par des CUMA) permet d'ajuster les charges mécaniques.
- Le **nombre d'hectare à traiter** par un an avec la pulvérisation ciblée.



Pour éviter l'attente de génération des cartes d'adventices, il est conseillé de privilégier la pulvérisation ciblée en différée. Cette méthode implique la réalisation d'un premier passage à vide pour établir la carte des adventices. Pour éviter les pertes de temps, il est conseillé de coupler le passage vide à d'autres interventions (ex : le travail du sol) ou réutiliser les cartes d'adventices des années précédentes peut s'avérer une solution. De nombreuses adventices se situent généralement dans les mêmes zones d'une année sur l'autre.

De plus, pratiquer la pulvérisation ciblée, possède plusieurs **avantages pour les agriculteurs** par rapport à la pulvérisation en plein. Pour cela nous nous appuyerons sur les premiers retours chiffrés de l'institut Arvalis via la réalisation d'essais et simulation dédiées sur la pulvérisation ciblée (*Caroline DESBOURDES, Benjamin PERRIOT – ARVALIS, 2022*). Grâce à cette étude, Arvalis a observé :



Une **limitation de l'impact environnemental** avec la **réduction des IFT** qui se fait par la diminution de la surface traitée et non par la diminution de la dose comme on peut faire avec des traitements conventionnels. Cela permet des traitements plus efficaces et de limiter la résistance des adventices aux produits. C'est un avantage fondamental qui aide les agriculteurs à se conformer au respect de la réglementation et à bénéficier des aides.



Une **diminution des charges herbicides** qui entraîne une diminution du coût de production. **L'application du produit étant ciblée et modulée, la pulvérisation est optimale, mieux valorisée et moins coûteuse.**



Une **amélioration de la marge brute et nette** (avec les aides).



Pour plus d'informations sur l'étude Arvalis, cliquez sur les images ci-dessous :



5. LES ACTIONS DU GROUPE CARRÉ ET LA PRÉSENTATION DU PROJET HERBICIBLE

Le Groupe Carré a réalisé plusieurs **expérimentations** sur la qualité de pulvérisation et le désherbage. Différentes technologies de pulvérisation pour le désherbage ont été testées telles que : la rampe localisée avec Maréchal, la détection des adventices par drone avec Abelio, le pulvérisateur ARA par Écorobotix,

L'expérimentation la plus importante menée par le Groupe Carré, sur le désherbage ciblé, est le projet « **Herbicide** » porté avec l'association ECO-PHYT' avec l'appui de l'Agence de l'Eau Artois Picardie avec la solution de pulvérisation de haute précision ARA, proposé par la société Écorobotix.



Les objectifs du projet « Herbicide » sont de :



- Confirmer les **performances techniques et environnementales** de l'outil ARA sur 6 cultures : **la betterave, les oignons, les endives, les haricots, les épinards et le colza.**
- Évaluer la **robustesse des modèles économiques** et des **schémas d'organisation** pour un déploiement dans les Hauts-de-France.

L'outil ARA utilisé pour ce projet est un pulvérisateur porté qui permet l'application ultraciblée des herbicides. Cet outil est **attelé à l'arrière du tracteur** avec un système conventionnel qui assure une compatibilité avec tout type de tracteur. La largeur de pulvérisation est de 6 mètres et la rampe est composée de **156 buses**. Le débit de chantier maximal est compris entre **2ha/h et 4ha/h**. C'est un système à double cuves pour effectuer le **mélange de la bouillie dans le champ**. La quantité réelle de bouillie épandue dépend de l'état de salissement de la parcelle.



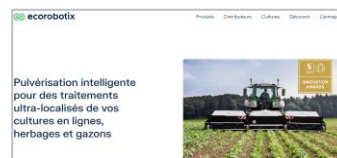
C'est une technologie en trois phases :

- 1 La prise d'image par caméra (6 caméras au total),
- 2 La reconnaissance et différenciation des adventices,
- 3 La pulvérisation ultra-ciblée.





Pour plus d'informations sur la société Ecorobotix et l'outil ARA, cliquez sur les images ci-dessous :



Le projet « Herbicible » comporte 11 parcelles d'essais pilotées par les différents partenaires. Toutes les parcelles d'essais comparent la solution de désherbage ciblée ARA avec une pulvérisation classique (le témoin) et/ou une solution alternative (désherbage mécanique).

Le Groupe Carré pilote 3 essais pour ce projet :



L'essai **betterave** avec une comparaison des **3 modalités** : désherbage ciblée ARA, pulvérisation classique et désherbage mécanique.



L'essai **endive** avec une comparaison de **2 modalités** : désherbage ciblée ARA et pulvérisation classique.



L'essai colza avec une comparaison de 2 modalités seulement : désherbage ciblée ARA et pulvérisation classique.

Les résultats observés pour les différentes cultures vont de **30 à 90% de réduction d'IFT** sur l'ensemble de l'itinéraire désherbage. Dans le détail, pour les 3 essais pilotés par le Groupe CARRE :



Pour les betteraves :

- 55% de réduction d'IFT au T2
- et 85% de réduction d'IFT au T3



Pour les endives :

- 95% de réduction d'IFT au T1
- et 90% de réduction d'IFT au T2



Pour le colza :

- 66% de réduction sur un passage d'automne



L'ensemble des résultats d'efficacité montre qu'il n'y a aucune **différence significative entre les conduites ARA et « pulvérisateur classique »**. Nous n'assistons à aucun échec de désherbage. Nous pouvons conclure que l'utilisation de **l'outil ARA en désherbage est une solution prometteuse et d'avenir pour les agriculteurs**, avec des améliorations restant à développer.

Même si les résultats observés sont prometteurs, quelques points d'améliorations restent à apporter à l'outil ARA. La **détection des adventices reste à améliorer** car il y a parfois : des confusions de détection entre la culture en place et les adventices (si elles se ressemblent trop) et du retard dans leurs détections. L'utilisation de cet outil nécessite beaucoup de passages de roues car il est moins large (6m de large) qu'un pulvérisateur conventionnel. Le débit de chantier réel est différent du débit théorique (1,75ha/h au lieu de 4ha/h annoncé). Le volume de bouillie à mettre dans la cuve est à anticiper, ce qui nécessite un passage à vide pour obtenir une carte de salissement de la parcelle et connaître la quantité de bouillie à prévoir pour traiter.



Pour plus d'informations sur le projet « Herbicible » (partenaires associés), regardez la vidéo ci-dessous :



CONCLUSION

Pour le Groupe Carré, l'utilisation de la pulvérisation ciblée est une solution prometteuse et d'avenir pour les agriculteurs.

POURQUOI ? Parce que cette technique a été testée lors du projet « Herbicible » avec Écorobotix et les résultats des essais ont été très concluants et encourageants. Cette technique comporte deux avantages principaux pour les agriculteurs dont : la diminution des IFT sans influence sur le rendement et les traitements sont plus efficaces avec une résistance des adventices aux produits limitée.

COMMENT ? En s'appuyant sur les nouvelles technologies qui vont de la détection des adventices à la pulvérisation ciblée. Deux systèmes différents s'offrent aux agriculteurs : le système de capteur embarqué sur tracteur et le système de capteur embarqué sur drone.

ET DONC ? Notre équipe de la Ferme Pilote est présente pour vous conseiller et vous accompagner dans cette voie. Elle met également à votre disposition ses références d'essais et son centre de formation.

POUR ALLER + LOIN

Pour en savoir plus, RDV sur www.groupe-carre.fr et suivez-nous sur les réseaux sociaux !

Consultez les sites des partenaires et articles ci-dessous :



ARVALIS :

- <https://www.youtube.com/watch?v=7mG8zqa8i7g> (vidéo explicative sur la pulvérisation ciblée)
- [La technologie de la pulvérisation ciblée testée par ARVALIS](#) (Lien vers la page pulvérisation ciblée d'Arvalis)
- [Analyses multicritères : la pulvérisation ciblée est-elle rentable ? | ARVALIS](#) (Lien vers la page sur la rentabilité de la pulvérisation ciblée)

CHAMBRE D'AGRICULTURE :

- [WEBINAIRE - Désherbage de précision, LA solution pour réduire les IFT !](#) (Webinaire Groupe Carré sur le désherbage de précision)

INRAE ET AGROSUP DIJON :

- https://www.researchgate.net/publication/349833094_Des_technologies_innovantes_pour_optimiser_le_desherbage_de_precision (Lien vers l'article portant sur les technologies innovantes pour optimiser le désherbage de précision)

ÉCOROBOTIX :

- [ARA : le pulvérisateur porté le plus précis du marché - Ecorobotix](#) (Site internet)
- [20230327-Ecorobotix BrochureARA FR NEUTRE WEB.pdf](#) (Site internet)
- [Pulvérisateurs intelligents et ultra précis pour vos cultures – Ecorobotix](#) (Site internet) [Projet HERBICIBLE \(youtube.com\)](#) (Vidéo explicative)

ABELIO :

- [Abelio](#) (Site internet)

BASF :

- [Agriculture intelligente : BASF et AMAZONE présentent la solution UX SmartSprayer en avant-première en France](#) (Lien vers la présentation de l'outil « UX SmartSprayer »)