

AFPP – 23^e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
DIJON – 6, 7 ET 8 DÉCEMBRE 2016

**APPLICATION SMARTPHONE DE TRAITEMENT D'IMAGES EN PROXI-DETECTION POUR DISTINGUER
AUTOMATIQUEMENT LE SALISSEMENT DE L'INTER-RANG ET LE RECOUVREMENT DES CEREALES**

T. VARRAILLON⁽¹⁾, J.-B. PIERRE⁽¹⁾ & F. JUMEL⁽¹⁾

⁽¹⁾ Syngenta Agro, SAS, 1 avenue des prés, France, thierry.varraillon@syngenta.com

RÉSUMÉ

Dans le cadre de l'expérimentation, pour caractériser de nouvelles variétés et mesurer l'efficacité et la sélectivité des produits herbicides de protection des plantes, le recouvrement du rang de la culture et de l'inter-rang sont des mesures clés. Depuis 2013, Syngenta France S.A.S. teste différentes technologies numériques d'imagerie de proxi-détection, afin de mesurer de façon fiable et objective la dynamique de couverture du sol de céréales et/ou de plantes adventices. En 2015, ce travail a été automatisé pour Smartphone et les algorithmes de traitement d'images ont été perfectionnés afin de pouvoir dresser un diagnostic de recouvrement des blés, des orges, des maïs et des plantes adventices en temps réel à la parcelle. Combinée aux informations météorologiques et agronomiques, cette application pourra aider à terme à positionner les applications herbicides au maximum de leur efficacité.

Mots-clés : plantes adventices, proxi-détection, inter-rangs, recouvrement, céréales.

ABSTRACT

SMARTPHONE APPLICATION WITH IMAGERY TECHNOLOGIES FOR AUTOMATED DIGITAL PROXY-DETECTION OF IN-LINE AND INTER-ROW WEED INFESTATION IN CEREALS.

In-line and inter-row plant cover are key indicators in the context of field testing to characterise new varieties and to study the efficacy and selectivity of herbicide plant protection products. Since 2008, Syngenta France S.A.S. has been testing different digital proxy-detection imagery technologies to take reliable and objective measurements of the ground coverage dynamics of cereals and/or weeds. In 2015 this work became automated for Smartphones and image processing algorithms have improved to the point that analyses of a field's wheat, barley or maize overlapping and weed density can be conducted in real time. Combined with climatic and agronomic information, this application will eventually help to position herbicide applications in order to reach maximum efficacy levels.

Keywords: weeds, imaging, detection, inter-row, weed infestation, cereals.

INTRODUCTION

Depuis 2013, des travaux s'appuyant sur la détection numérique des plantes sont réalisés par Syngenta. Nous avons utilisé ces approches pour étudier la dynamique de recouvrement de cultures (VEG) de céréales hybrides en comparaison à des lignées ou encore le « salissement » par des plantes adventices des inter-rangs (WEED) de maïs (Varraillon, 2014).

En utilisant des photographies prises au-dessus de la végétation, il est possible, après de multiples manipulations, d'estimer à l'aide de logiciels de traitement d'images le pourcentage de surface de recouvrement de la végétation (VEG : culture et plantes adventices) et en déduire, sans destruction, des biomasses végétaives et des notes de vigueurs rapides et objectives.

En 2015, nous avons automatisé le fastidieux traitement manuel pour déterminer le pourcentage de recouvrement végétatif sur un appareil mobile (type smartphone) indépendant d'un type de capteur, robuste aux conditions de luminosité des prises de vues (éclairage, angles ...) et ne nécessitant aucune expertise dans le traitement d'image pour l'utilisateur. En effet, l'analyse manuelle nécessitait de multiples ajustements pour lisser les écarts d'éclaircissements entre chacune des images, que notre nouvel outil devait entièrement superviser. De plus, nous avons cherché à automatiser dans cet outil, la détection des rangs de culture (ROWS : nombre de rangs, ROWS_ANGLE : l'orientation des rangs) et du salissement de l'inter-rang (WEED : adventices). La difficulté principale de ce travail étant de ne pas connaître, à priori, l'orientation des rangs de semis, ce qui est pris comme fixe et parallèle à l'axe de prise de vue dans la plupart des publications que nous avons pu consulter (Guerrero *et al*, 2013, Pérez-Ortiz *et al*, 2015). Dans notre application pour smartphone (ASP), la détection doit être entièrement automatisée et les surfaces VEG et WEED estimées dans un délai compatible avec la vitesse de déplacement d'un expérimentateur dans ses parcelles.

MATERIEL ET MÉTHODE

Les travaux présentés s'appuient sur 51 essais (16 orges, 12 blés et 23 maïs) menés en France dans le cadre de l'expérimentation pour l'inscription de nos variétés de blés et orges et l'homologation des produits de désherbage maïs (Tab. I).

Tableau I : Répartition des clichés collectés entre 2013 et 2015. (Split of pictures taken between 2013 and 2015)

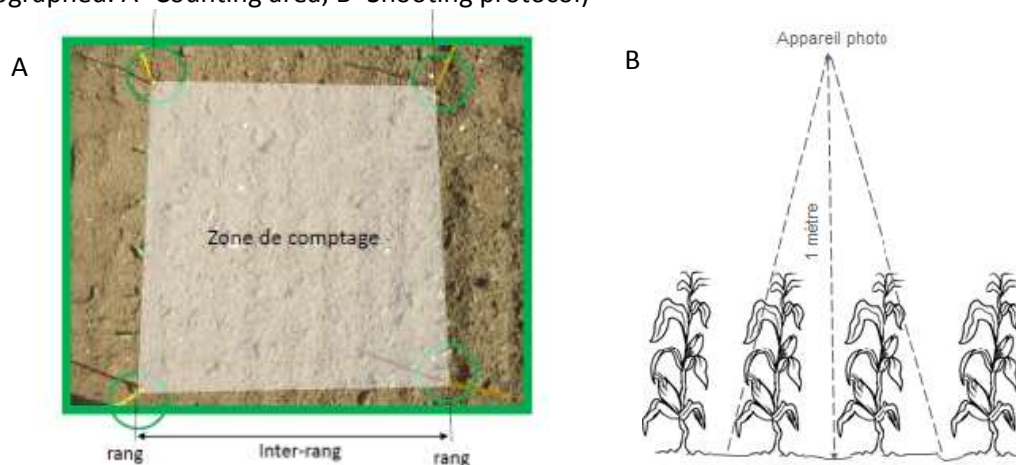
Culture	Année	Nombre de clichés	Total
Orge propre	2013	130	1 140
	2014	903	
	2015	107	
Blé propre	2013	40	1 507
	2014	1 113	
	2015	354	
Maïs propre	2014	351	351
Maïs salissements	2013	24	461
	2014	367	
	2015	70	

Dans ces parcelles suivies entre 2013 et 2015, 3 459 images ont été réalisées. Les photographies sont prises sur des parcelles d'essais de sélection de céréales à pailles (blés et orges) et maïs propres (désherbées) c'est-à-dire ne comportant pas de situations de salissements (enherbées). Seuls les témoins des essais maïs, dont l'objectif principal est l'évaluation de l'efficacité du désherbage, présentent des situations de salissement par des plantes adventices à 90 % de dicotylédones (mercuriale annuelle, morelle noire, renouée-liseron ...) et 10 % de graminées (panic pied-de-coq, sétaires, digitales ...).

Principe de prise de vue :

Dans les parcelles d'essais, des placettes de comptages sont repérées (Fig. 1A). Des photographies de celles-ci ($\approx 0,75 \text{ m}^2$ au sol) sont réalisées à 1 mètre de haut à différents stades de développement des cultures (jusqu'à la montaison pour les céréales à pailles et au stade 7-8 feuilles pour le maïs) et des plantes adventices (Fig. 1B). Différents appareils photographiques numériques sont utilisés avec des résolutions variant de 5 à 20 mégapixels.

Figures 1 : Scènes photographiées : A- Placette de comptage, B- Principe de prise de vue. (Scenes photographed: A- Counting area, B- Shooting protocol)



L'écartement moyen entre rangs de semis pour les céréales à paille est de 17 cm avec en moyenne 5-6 rangs par photo. Pour les maïs, les écartements sont de 75 cm en moyenne représentant chaque fois 2 rangs par photographie.

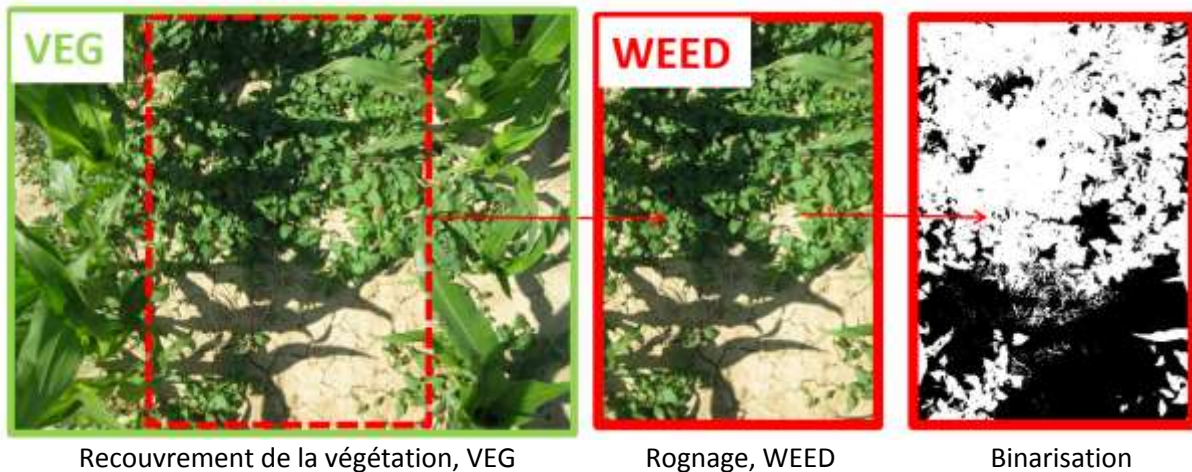
Données agronomiques collectées :

Pour chacune de ces photographies, le lieu, la date de semis, la date de la prise de vue, la largeur de l'inter-rang ainsi que le stade de la culture sont collectés. Nous avons, d'autre part, compté le nombre de rang (ROWS) et mesuré l'orientation (ROWS_ANGLE) pour chacun de ces clichés. Pour les clichés de maïs présentant des salissements, les comptages des flores d'adventices sont réalisés.

Analyse manuelle de référence des images :

Le traitement numérique manuel de référence des images est réalisé avec le logiciel ImageJ® développé par le National Institute of Health, USA (<https://imagej.nih.gov>). Il nous permet d'estimer le pourcentage de surface verte de recouvrement VEG de la scène photographiée. En rognant les photos on peut estimer de la même façon le pourcentage de salissement de l'inter-rang WEED sur les photographies de maïs (Fig. 2).

Figure 2 : Traitement manuel de la surface de salissement par les adventices dans l'inter-rang WEE. (Supervised manual extraction of the green weeds surface of the inter-row WEE)



Analyse automatique des images avec l'application smartphone (ASP) :

La bibliothèque de photographies nous permet de valider une série d'algorithmes autonomes de traitement d'images basés sur la binarisation (surface verte / surface du sol) des images (Fig. 2). Les pixels végétalisés dans la bande spectrale de $\lambda = 500-600$ nm (vert) sont extraits. Cette couche d'information est ensuite analysée par différents processus de convolution (Kunt *et al*, 2000) pour déterminer la structure du rang de culture (axe de semis et largeur de la bande de culture). Ces programmes visent à estimer et visualiser instantanément aux champs les différentes métriques : VEG, WEED, ROWS et ROWS_ANGLE. Ces algorithmes travaillent à partir d'un éclairage naturel, ne nécessitant aucune calibration colorimétrique et peuvent fonctionner quel que soit le type de capteur RGB envisagé. Ces algorithmes ont été portés sur une application smartphone (ASP). Une interface a été spécialement imaginée pour correspondre à nos dispositifs d'expérimentation en lien avec nos systèmes de bases de données d'essais internes.

Cette ASP, permet à nos expérimentateurs de valider les résultats à partir de téléphone Windows-Phone (Fig. 3) et de transférer les résultats sur un serveur. L'ASP propose en moins d'une seconde une représentation visuelle des lignes de semis (traits pleins), de l'espace inter-rang (traits pointillés) et donne en direct dans le champ, une estimation des surfaces de recouvrement de la végétation VEG (Fig. 2A, en vert) et des plantes adventices WEED (Fig. 2B, en rouge) que l'utilisateur peut approuver ou corriger.

Validation des résultats de l'ASP :

La validation consiste pour les résultats de recouvrement VEG et WEED à calculer la corrélation (r^2) et l'erreur absolue moyenne (RMSE : moyenne des différences absolues entre le recouvrement mesuré par l'ASP et sa valeur de référence). Pour analyser la performance de distinction des rangs, nous comptabilisons les cas (succès) ou l'orientation (tolérance de 15°) et le nombre de rangs détectés par l'ASP correspondent à ceux que l'on observe sur les clichés. La bande de culture est délimitée par l'ASP par des lignes pointillées autour de l'axe du rang de la culture en trait plein. La surface de l'inter-rang (entre les pointillés) est estimée comme la zone WEED (en rouge) potentiellement recouverte par les plantes adventices (Fig. 3B).

Ces indicateurs de qualité d'ajustement nous permettent d'évaluer la performance de notre ASP et orienter les pistes d'améliorations futures.

Figures 3 : Résultats de détection des surfaces de recouvrement avec l'ASP : A- Surface végétalisée de céréale à paille VEG, B- Détection de l'inter-rang et des surfaces végétalisées par les plantes adventices dans des maïs. (Results of the detection of the covered/infested areas with the standalone smartphone application (ASP): A- Cereals VEG covered area, B- Detection of inter-rows and of the area covered with weeds WEED in corn)

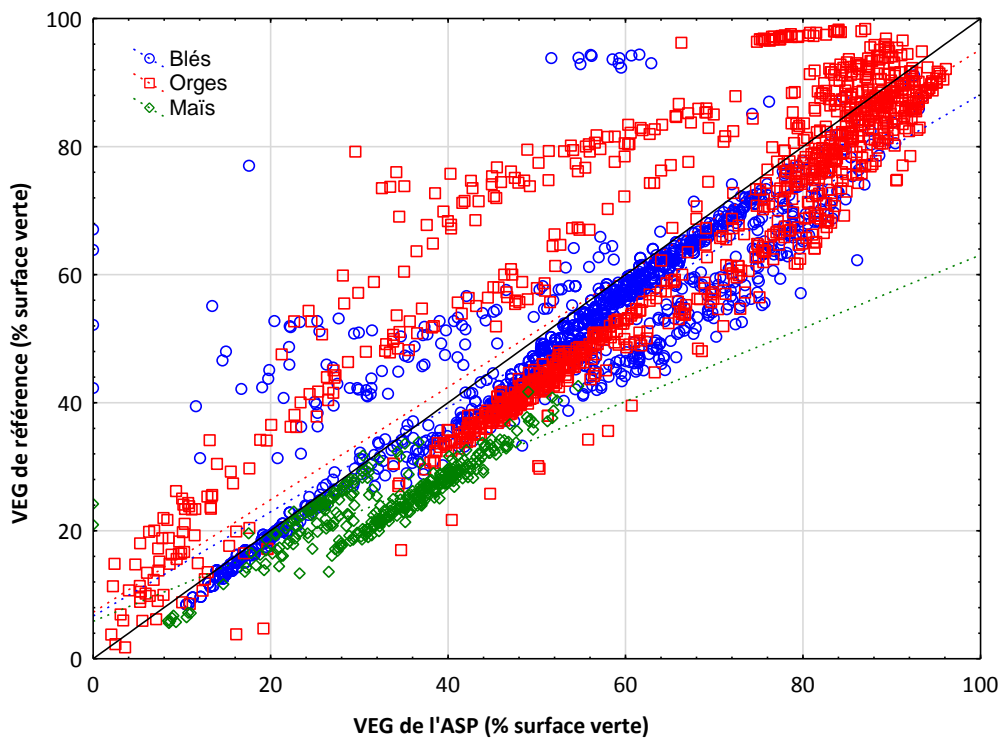


RESULTATS

VEG - Recouvrement du sol par la végétation :

Afin de mesurer la performance de l'ASP sur le recouvrement VEG, nous avons sélectionné les 2 998 clichés sans salissement. Les corrélations en fonction des différentes cultures sont bonnes (Fig. 4). Pour ces 2 998 clichés obtenus entre 2013 et 2015, la corrélation entre les estimations VEG obtenues manuellement et automatiquement (Fig. 4) est de $r^2 = 0,91$ avec une RMSE de 7,2 % d'erreur moyenne (orge : $r^2 = 0,88$, RMSE = 8,9 %, n = 1 140 / blé : $r^2 = 0,90$, RMSE = 5,7 %, n = 1 507, maïs : $r^2 = 0,85$, RMSE = 8,5 %, n = 351).

Figure 4 : Corrélation entre l'estimation du recouvrement VEG de référence et de l'ASP sur 2 998 clichés de blé, d'orge et de maïs. (Correlation between supervised and standalone (ASP) assessment of the percentage of green areas (VEG) for 2,998 pictures in wheat, barley and maize)



ROWS, ROWS_ANGLES – Détection des rangs :

Les résultats de succès de détection des rangs (Tab. II) sont présentés en classifiant les parcelles de céréales à paille et de maïs propres ou avec des salissements en fonction du taux de végétalisation VEG estimée par l'ASP. Les figures 5 présentent, suivant la situation agronomique des parcelles, des images de succès et d'échec les plus fréquemment observées.

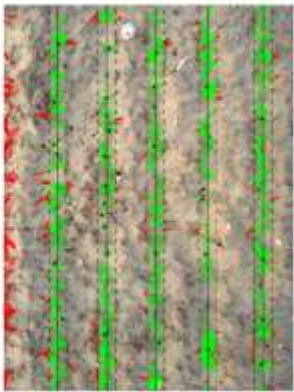
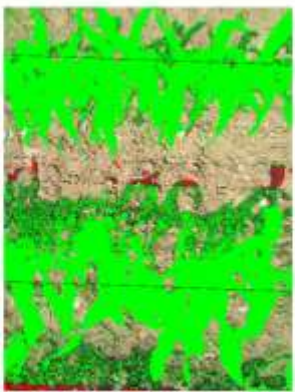
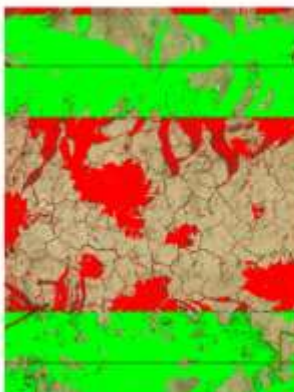



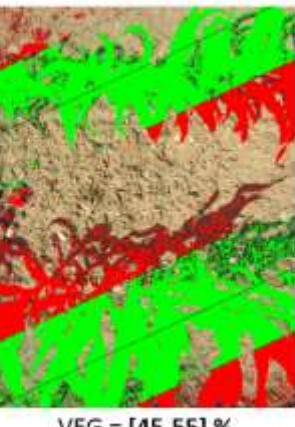

Dans le cas où les parcelles de céréales à pailles sont propres, les résultats (Tab. II) montrent, sur 2 647 clichés, que le succès de détection des rangs décroît en fonction du taux de végétalisation VEG. Le succès des détections passe de 62 % pour un VEG < 5 % (Fig. 5A) à 4 % pour un VEG > 25 %. Lorsque l'on regarde les images (Fig. 5A), on constate qu'à partir du seuil de 25 % (stade tallage) les rangs s'étoffent fortement et que l'analyse d'images ne donne plus de résultats discriminants. Le recouvrement VEG, donne une configuration de végétation dans laquelle plusieurs angles possibles offrent un maximum de corrélations. Ces situations peuvent amener à une estimation incorrecte du nombre de rang ROWS ou de ROWS_ANGLE.

Tableau II : Pourcentage de succès de détection des rangs de blés, orges et maïs suivant le pourcentage de recouvrement VEG et l'état de salissement. (Row detection percentage in wheat, barley and maize according to the percentage green cover VEG and weed infestation)

	Recouvrement VEG (% surface verte)											Total
	< 5	[5-15]	[15-25]	[25-35]	[35-45]	[45-55]	[55-65]	[65-75]	[75-85]	[85-95]	> 95	
Blé ou orge Propre	62 <i>(13)</i>	42 <i>(106)</i>	22 <i>(176)</i>	4 <i>(103)</i>	4 <i>(190)</i>	6 <i>(625)</i>	4 <i>(550)</i>	16 <i>(281)</i>	13 <i>(339)</i>	2 <i>(256)</i>	0 <i>(8)</i>	10 <i>(2 647)</i>
Maïs propre	–	–	90 <i>(49)</i>	83 <i>(138)</i>	81 <i>(139)</i>	92 <i>(25)</i>	–	–	–	–	–	82 <i>(363)</i>
Maïs salissement	36 <i>(53)</i>	14 <i>(113)</i>	14 <i>(111)</i>	28 <i>(54)</i>	55 <i>(38)</i>	53 <i>(17)</i>	33 <i>(15)</i>	60 <i>(10)</i>	56 <i>(16)</i>	53 <i>(15)</i>	26 <i>(19)</i>	28 <i>(461)</i>

() : En italique est figuré le nombre total de clichés par classe (succès + échecs).

Figures 5 : Images de succès et d'échecs de détection des rangs : A- Céréales à pailles propres, B- Maïs propres. C- Maïs avec des salissements. (Row detection success and failure pictures: A- Cereals without weed infestation, B- Maize without weed infestation, C- Maize with weed infestation)

	A	B	C
	Céréales à pailles	Maïs propre	Maïs salissements
Succès	 VEG = [5-15] % Stade 2-3 feuilles	 VEG = [45-55] % Stade 5-6 feuilles	 VEG = [45-55] % / WEED = [15-25] % Stade 4-5 feuilles
Echec	 VEG = [25-35] %  VEG = [45-55] %  VEG = [75-85] % Stade tallage	 VEG = [45-55] % Stade 5-6 feuilles	 VEG = [45-55] % / WEED = [45-55] % Stade 4-5 feuilles

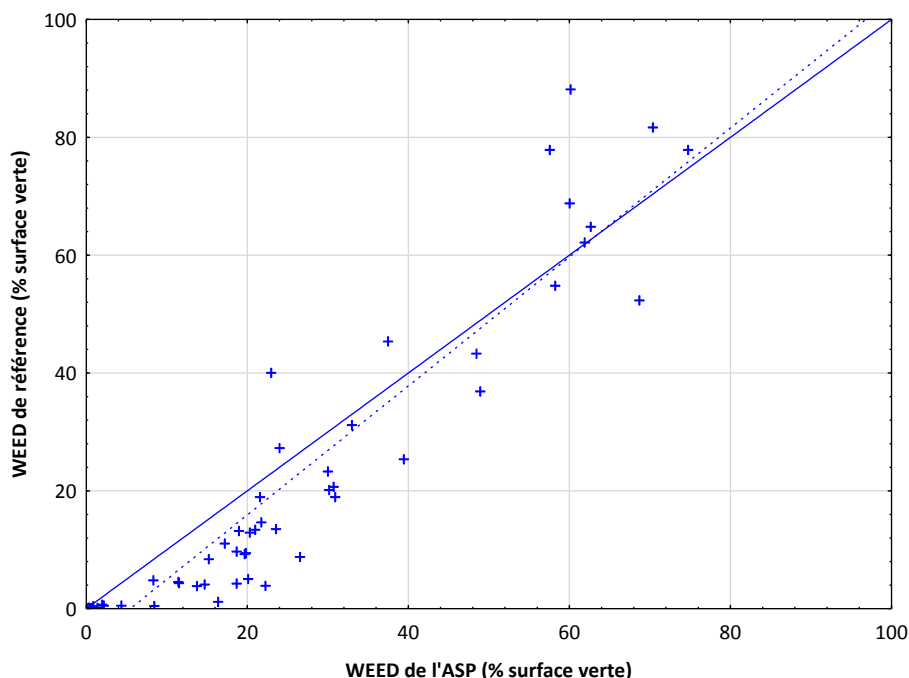
Dans le cas des maïs en situation propre, les résultats de l'ASP sont meilleurs. Ils présentent des taux de satisfaction de 82 % en moyenne sur les 351 clichés (Tab. II). Les stades des maïs varient entre les stades 2-3 feuilles et 7-8 feuilles présentant un taux de VEG entre 15 à 55 %. Les maïs offrent en effet une visualisation du rang plus facile à analyser (Fig. 5B). Ils ne s'étalent pas à la surface du sol en recouvrant l'espace inter-rang comme les céréales à paille et présentent un port plus dressé et structuré. De ce fait, la détection des rangs est plus facile. Les cas d'échec de détection sont principalement dus à des erreurs d'orientation ROWS_ANGLE (Fig. 5B), plus rarement à une mauvaise estimation du nombre de rangs.

Dans le cas des maïs avec des salissements, l'ASP a détecté correctement les rangs dans 28 % des cas en moyenne pour les 461 scènes présentées (Tab. II). Les meilleurs taux de détection (> 50 % de succès), sont obtenus entre 35 et 55 % de recouvrement VEG. Hors de cette fourchette les résultats sont insatisfaisants. Lorsque l'on regarde les clichés présentant à un même taux de VEG (45-55 %) les cas d'échec et de succès, on constate que la détection est souvent mise en défaut lorsque le salissement WEED présente une valeur égale ou supérieure au taux de recouvrement de la végétation VEG (Fig. 5C). Dans ce cas, la dispersion des pixels végétalisés a du mal à faire ressortir un alignement privilégié du rang et met en échec l'ASP.

WEED - Détection des adventices dans l'inter-rangs de maïs :

L'inter-rang n'étant pas correctement détecté nous utilisons pour valider cette métrique les 28 % des cas de succès (129 clichés) de détection des rangs des parcelles de maïs (Tab. II). Sur ces 129 clichés, 28 cas ont présenté des situations où l'ASP a considéré que les maïs recouvraient complètement l'inter-rang. Les 101 situations où l'inter-rang a pu être extrait par l'ASP sont présentées en figure 6.

Figure 6 : Corrélation entre l'estimation du recouvrement WEED de référence et de l'ASP sur 101 clichés de maïs. (Correlation between supervised and standalone (ASP) assessment of the percentage of weed areas (WEED) for 101 pictures in maize)



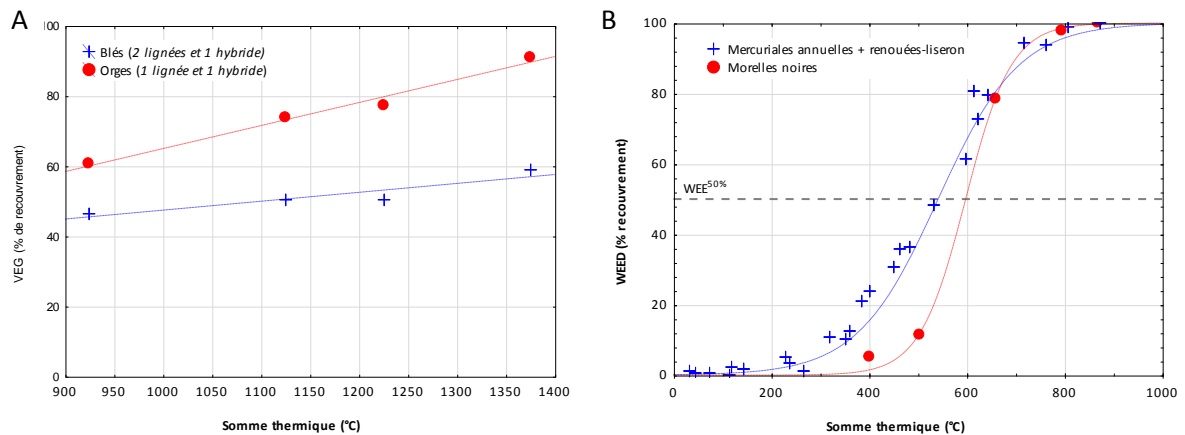
La corrélation obtenue entre l'estimation du salissement WEED par l'ASP et la méthode de référence est bonne ($r^2 = 0,94$) avec une RMSE sur l'estimation de 7,3 % (Fig. 6).

DISCUSSION

Au cours des 3 années d'exploration de ces techniques d'imagerie en proxi-détection, des exemples pratiques d'utilisation ont pu être proposés.

Nous avons, par exemple, utilisé le pourcentage de recouvrement VEG pour comparer, à 4 dates au cours du tallage, des cultures hybrides et des lignées de blés et d'orges (Fig. 7A). Ainsi, nous pouvons mesurer de façon objective, un recouvrement plus rapide pour les orges de l'ordre de 14 % début tallage (≈ 900 °C depuis le semis) à 32 % à fin tallage- début montaison ($\approx 1\ 300$ °C depuis le semis). Ceci confère à l'orge, lors de son implantation, un avantage compétitif vis-à-vis de la lutte contre les plantes adventices.

Figures 7 : Exemples de dynamiques de recouvrement VEG et WEED : A- Entre orges et blés en fonction du cumul thermique depuis le semis, B- De flores dans l'inter-rang des maïs en fonction du cumul thermique depuis la levée des adventices. (Examples of the dynamics VEG and WEED covered areas : A- In wheat and barley according to cumulative temperatures from the date of sowing, B- Plants between the maize rows according to cumulative temperatures since emergence of the weeds)



Un second exemple d'utilisation concerne le conseil du désherbage. A partir de ces travaux nous pouvons élaborer des modèles de dynamique de recouvrement de l'inter-rang de maïs par différentes flores (Fig. 7B). On a pu montrer ainsi que la dynamique WEED est plus rapide avec des salissements avec des mélanges de mercuriales annuelles et de renouées liserons ($WEED^{50\%} \approx 500$ °C) que pour des salissements de morelles noires ($WEED^{50\%} \approx 600$ °C). Ces modèles de dynamique de développement WEED couplés à des informations météorologiques pourraient permettre à terme d'apporter aux utilisateurs des préconisations plus précises de nos herbicides pour garantir l'efficacité et le rendement maximum de la culture.

CONCLUSION

Les résultats obtenus dans ces travaux grâce à la caractérisation détaillée de 3 459 images montrent que l'application est une solution valide pour estimer le pourcentage de recouvrement des cultures de céréales ou de maïs et des populations d'adventices ($r^2 = 0,85-0,94$). Ces mesures obtenues instantanément au champ, constituent un progrès majeur dans notre activité en permettant un constat objectif et non destructif à la parcelle d'une notion de « vigueur végétative » utile à l'agronome. D'autres cultures pourraient bénéficier de cet apport très rapidement pour des usages variés. Le cas des haricots par exemple avec la lutte contre le sclérotinia ou la biomasse à la floraison est un élément majeur pour piloter le risque, ou encore pour adapter les volumes de produits en arboriculture au volume de végétation (TRV) ...

La détection des rangs est satisfaisante lorsque les lignes de semis sont bien dégagées. Dans le cas des céréales cela fonctionne bien jusqu'au stade 2-3 feuilles (62 % de succès) et 7-8 feuilles (50 % à 82 % de succès) pour les maïs où les flores adventices recouvrent moins que la culture elle-même (WEED < VEG).

Lorsque les plantes se touchent (tallage des céréales) ou que le recouvrement des adventices est plus important que la culture, la détection des rangs devient plus complexe. En effet les chances de détecter correctement les lignes de cultures, dépendent de la saturation du recouvrement de la végétation sur le sol, ce qui fausse la détection des rangs. En imposant des contraintes pour l'opérateur sur la prise de vue, on pourrait indiquer le sens des rangs au logiciel, ce qui apportera une forte amélioration de la précision de détection comme ce qui est couramment fait dans d'autres travaux.

La sophistication des techniques « Deep learning » (Sebag, 2016) rendu possible grâce à l'augmentation de la vitesse des calculateurs et à l'accumulation de données qualifiées « big data », pourrait nous aider à mieux discriminer en fin de chaîne les cas ambigus générés par l'algorithme initial. Appliqué à notre base de référence où l'on aurait précisément défini chacune des plantes par espèces et par stades, cela constitue un axe de travail pour le futur.

REMERCIEMENTS

Nous souhaitons remercier particulièrement nos collègues de Syngenta S.A.S France pour leur disponibilité et leur réactivité, pour l'acquisition des clichés photographiques et la mise à disposition de leurs précieuses données d'expérimentation. Un grand merci à Bertrand Moncomble pour la mise en œuvre sur ses vitrines d'essais et la promotion de ces innovations lors des événements « pôles d'agro-compétitivité responsable ».

BIBLIOGRAPHIE

Guerrero J.M., Guijarro M., Montalvo M., Romeo J., Emmi L., Ribeiro A., Pajares G., 2013 - Automatic expert system based on images for accuracy crop row detection in maize fields. *Expert Systems with Applications*, 40, 2, 1, 656–664.

Kunt M., Coray G., Grandlund G., Haton J.P., Ingold R., Kocher M., 2000. Reconnaissance des formes et analyse de scènes. *Presses polytechniques et universitaires romandes*, 306 p.

Pérez-Ortiz M., Peña J.M., Gutiérrez P.A., Torres-Sánchez J., Hervás-Martínez C., López-Granados F., 2015 - A semi-supervised system for weed mapping in sunflower crops using unmanned aerial vehicles and a crop row detection method. *Applied Soft Computing*, 37, 533–544.

Sebag M., 2016 - Deep Learning - Communication orale pour la société Française de statistique, Jan. 21st 2016.

Varraillon T., 2014 - Intérêts et limites d'une méthode de Proxi-détection simple appliquée au domaine de l'expérimentation et du développement d'une industrie d'agro-fourriture. *Atelier Proxi-détection à Angers 2014*, 16 p.