



HAL
open science

Le Challenge ROSE (2018–2021) : évaluation itérative d’approches de recherche parallèles pour le désherbage intra-rang.

Florence Jacquet, G. Avrin, V. Barbosa, Daniel Boffety, Mariette El Khoury,
Loïc Sabarly

► To cite this version:

Florence Jacquet, G. Avrin, V. Barbosa, Daniel Boffety, Mariette El Khoury, et al.. Le Challenge ROSE (2018–2021) : évaluation itérative d’approches de recherche parallèles pour le désherbage intra-rang.. Innovations Agronomiques, 2018, 67, pp.3-15. 10.15454/ALHYE1 . hal-01954724

HAL Id: hal-01954724

<https://hal.science/hal-01954724>

Submitted on 13 Dec 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Le Challenge ROSE (2018 – 2021) : évaluation itérative d’approches de recherche parallèles pour le désherbage intra-rang

Jacquet F.¹, Avrin G.², Barbosa V.², Boffety D.³, El Khoury M.¹, Sabarly L.¹

¹ Agence Nationale de la Recherche (ANR), 50 avenue Daumesnil, F-75012, Paris

² Laboratoire National de Métrologie et d’Essais (LNE), 29 avenue Roger Hennequin, F-78197 Trappes

³ Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l’Environnement et l’Agriculture (Irstea), Domaine des Palaquins, F-03150 Montoldre

Correspondance : loic.sabarly@agencerecherche.fr

Résumé

En 2017, les ministères chargés de l’agriculture et de la transition écologique ont lancé, en partenariat avec le ministère chargé de la recherche et l’Agence Nationale de la Recherche (ANR), un appel à projets «Challenge ROSE». Il s’agit de susciter la mise au point de solutions technologiques innovantes permettant de contribuer à atteindre les objectifs du plan Ecophyto II : réduire l’utilisation des produits phytopharmaceutiques, garantir une meilleure maîtrise de l’ensemble des risques et diminuer la dépendance de l’agriculture à ces produits.

Les projets retenus sont focalisés sur le désherbage de l’intra-rang (espacement entre plants sur une même rangée) en cultures légumières de plein champ et en grandes cultures à fort écartement.

L’ensemble de la chaîne d’intervention est pris en compte (observation et détection des cultures et des mauvaises herbes, interprétation, action de désherbage) grâce à des avancées scientifiques dans plusieurs domaines : les capteurs, la modélisation, la robotique et leur combinaison.

Les équipes participantes disposent d’une parcelle de l’AgroTechnoPôle sur le site de l’Irstea à Montoldre dans l’Allier. Durant quatre ans, ces équipes vont se confronter chaque année à des épreuves réelles de terrain. L’efficacité du désherbage, dans le respect des cultures en place, sera l’objet des campagnes d’évaluation annuelles menées par le LNE et Irstea, avec la participation de VetAgro Sup.

Mots-clés : Stratégie de désherbage, Détection, Données, Evaluation des performances.

Abstract: The ROSE Challenge: Iterative evaluation of parallel research approaches for intra-row weeding

In 2017, the Ministries of agriculture and ecological transition launched, in partnership with the Ministry of Research and the French National Research Agency (ANR), the call for research proposals “ROSE Challenge”. The aim is to encourage the development of innovative technological solutions to help achieve the objectives of the Ecophyto II plan: reducing the use of plant protection products at least by half, ensuring better control of all risks and reducing agriculture’s dependence on chemicals.

The research teams of the selected projects will focus on intra-row weeding (intra row: spacing between plants in the same row) in field vegetable crops and wide-spaced field crops (i.e. maize, sunflower).

The entire chain of action will be taken into account (observation and detection of crops and weeds, interpretation, weeding) thanks to scientific advances in several fields: sensors, modelling, robotics and their combination.

The research teams will have a plot of land belonging to the AgroTechnoPôle at the Irstea site in Montoldre, France. For 4 years, these teams will be confronted with real field events. The effectiveness of weeding, while respecting existing crops, will be the subject of annual evaluation campaigns conducted by the LNE and Irstea, with the participation of VetAgro Sup.

Keywords: Weeding strategies, Detection, Data, Benchmarking

1. Introduction

1.1. Contexte

L'évolution de l'agriculture vers la durabilité passe par la mise en œuvre de nouvelles pratiques et de nouveaux systèmes de cultures à même de limiter les intrants (fertilisants et produits phytopharmaceutiques), tout en répondant de manière adaptée aux contraintes sociales, économiques et environnementales. Depuis une dizaine d'années, des politiques publiques ont été mises en place en ce sens, afin d'aider et d'encourager ce changement.

Le plan Ecophyto lancé en 2009 s'était fixé un objectif ambitieux : réduire de 50% en dix ans les utilisations de pesticides en agriculture. Malgré le résultat positif de certaines actions (engagement des agriculteurs dans les réseaux de ferme et d'expérimentation), l'objectif de réduction n'a pas été atteint et l'augmentation de l'utilisation des pesticides s'est poursuivie, la hausse étant estimée à 20% entre 2009-2010-2011 et 2013-2014-2015 (Ministère de l'agriculture, Ministère de l'environnement 2016). Compte tenu de ce constat, en 2014, à l'occasion de la révision des plans nationaux relatifs à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques compatibles avec le développement durable¹, une nouvelle version du plan a été initiée. Ce nouveau plan, dénommé Ecophyto II, a été mis en place fin 2015 à l'issue d'une mission parlementaire de grande ampleur. Il renforce les actions du précédent plan, notamment les réseaux de fermes et d'expérimentation, les outils de diffusion de l'information et le développement de plans territoriaux. Il fixe aussi plus clairement l'objectif de lever des verrous techniques pour faire émerger des pratiques innovantes de réduction de l'usage des pesticides à l'échelle nationale et d'en faciliter l'adoption par un plus grand nombre d'agriculteurs.

Les actions destinées à soutenir les efforts de recherche et d'innovation tiennent ainsi une place renforcée dans les objectifs du plan. Elles en constituent un des six axes. Le Comité Scientifique d'Orientation Recherche et Innovation (CSO R&I), chargé de définir, piloter et mettre en œuvre l'ensemble de ces actions de soutien à la recherche, s'est doté d'une feuille de route incluant notamment la mise en place d'appels à projets de recherche dédiés (Stratégie Nationale Recherche et Innovation du Plan Ecophyto II, 2017).

C'est dans ce cadre qu'a été lancé le challenge Robotique et Capteurs au service d'Ecophyto (ROSE), en tenant compte notamment de la priorité donnée par le plan Ecophyto II à la réduction des herbicides et à l'importance potentielle accordée aux agroéquipements et à l'agriculture numérique dans ce changement. Le challenge ROSE s'est également inspiré du Plan Agriculture-Innovation 2025 initié en février 2016 par les ministres de l'agriculture, de l'écologie et de l'économie, qui souligne également l'importance des technologies et des outils en lien avec la robotique et l'agriculture numérique dans l'atteinte de l'objectif de réduction des produits phytopharmaceutiques, suivant en cela les propositions des rapporteurs du Plan (Bournigal et al., 2015).

¹ Conformément à la directive européenne 2009/128.

Les « Challenges » sont des instruments de financement de la recherche qui visent à comparer simultanément les performances de plusieurs solutions technologiques et scientifiques vis-à-vis d'une thématique spécifique et d'objectifs définis à l'avance. Ils constituent un outil essentiel à la structuration et à la mobilisation des acteurs industriels et académiques, permettant de lever des verrous scientifiques et d'accélérer les développements et transferts technologiques. En outre, la confrontation entre les solutions proposées contribue à définir les standards de ce que ce secteur d'innovation devrait être en mesure d'appréhender.

L'instrument « Challenge » de l'ANR a été choisi en raison de sa capacité à promouvoir le développement de solutions opérationnelles. (cf. Encadré ci-dessous).

L'instrument de financement Challenge de l'ANR

Chaque Challenge de recherche ANR est un programme de financement, thématiquement ciblé, de consortiums de recherche. Il est initié sur un appel à projets unique et vise à explorer simultanément diverses solutions scientifiques et technologiques sur un même ensemble d'objectifs et dans un périmètre d'approches éligibles clairement défini.

Tout au long d'un Challenge, les travaux des divers consortiums sont comparés sur un ensemble de métriques préalablement définies lors de campagnes d'évaluation qui peuvent donner lieu à une mise en compétition entre les équipes participantes ou se limiter à une caractérisation comparative des travaux des équipes.

Les trois principaux objectifs de l'instrument Challenge sont :

Le ciblage de problématiques scientifiques, technologiques ou sociétales à forts enjeux :

- Les Challenges visent à lever des verrous scientifiques, technologiques, voire méthodologiques, clairement identifiés qui seront des leviers stratégiques pour permettre des avancées majeures dans plusieurs domaines. Des enjeux sociétaux forts peuvent également justifier l'initiation d'un Challenge.
- La mise en œuvre d'un Challenge permet de mobiliser les principaux acteurs scientifiques, et éventuellement leurs homologues industriels, dans un effort structuré et coordonné.
- Il permet également de promouvoir une riche palette d'approches et de potentielles solutions aux verrous identifiés.
- Un programme Challenge est piloté en continu lors de son déroulé : son articulation en cycles, clôturés par les campagnes d'évaluation, permet de continuellement ajuster les ambitions et les orientations au fil des avancées des recherches.

La reproductibilité des expérimentations et l'établissement de standards et de références :

Les différentes campagnes d'évaluation d'un Challenge ANR visent également l'établissement de standards et de références qui permettront la caractérisation des futures recherches sur les mêmes objets, voire sur des thématiques connexes. Ces standards et références sont généralement en accès libre.

La sensibilisation, l'animation et la structuration des communautés de recherche :

La structure spécifique d'un Challenge en cycles et campagnes d'évaluation favorise et facilite le développement et la valorisation des solutions technologiques proposées par les participants. Les challenges sont suivis par les communautés concernées et les résultats des recherches font l'objet de communications au-delà de la sphère scientifique, leur accordant ainsi une visibilité accrue.

Le Challenge ROSE a été construit conjointement par l'ANR et le CSO R&I du plan Ecophyto. Le lancement de l'appel à projets a été décidé en 2017 par les Ministères en charge de la Recherche, de l'Agriculture et de l'Ecologie. Quatre projets ont ainsi été financés et ont initié leurs travaux début 2018.

1.2 Périmètre et objectifs du challenge ROSE

Les herbicides représentent 40% des produits phytopharmaceutiques utilisés en agriculture et sont les principaux pesticides responsables de la contamination des cours d'eau. Certaines solutions alternatives aux herbicides permettant de maîtriser les adventices existent déjà et sont opérationnelles et utilisées. Elles comprennent des solutions agronomiques qui portent sur la reconception des systèmes de cultures (allongement des rotations, introduction de nouvelles espèces ou variétés, seules ou en association, à fort pouvoir couvrant, etc.), l'adaptation des modes de conduite (paillage, gestion de l'interculture), l'introduction de pratiques préventives (faux semis, etc.), et une meilleure gestion de la protection phytosanitaire au sein de l'itinéraire technique par une amélioration des observations et des raisonnements qui guident les interventions.

Les solutions alternatives passent également, et de manière substantielle, par des solutions de désherbage mécanique intégrées à des blocs outils tractés ou à des robots autonomes. Elles font l'objet d'améliorations constantes en bénéficiant des efforts conjoints des instituts techniques et des professionnels agricoles et sont de plus en plus utilisées. Mais ces solutions concernent le plus souvent l'inter-rang (entre deux rangs de cultures), tandis que dans l'intra-rang (espace entre les plants d'un même rang) peu de solutions permettent de se dispenser totalement de produits chimiques. En viticulture, les outils qui permettent de désherber mécaniquement l'intercep se développent. Dans les autres types de productions, un désherbage mécanique dans l'inter-rang est souvent combiné à une pulvérisation d'herbicides de précision sur le rang (pratique mixte appelée désherbinage).

Le challenge ROSE a donc choisi de se concentrer sur le désherbage de l'intra-rang. Cet objectif nécessite des investissements en recherche allant au-delà des financements actuellement en cours dans les programmes plus opérationnels (tels que les appels CASDAR). Deux types de productions ont été ciblés : les cultures légumières de plein champ et les grandes cultures à fort écartement (maïs, tournesol, etc.).

La question posée aux équipes participantes porte sur le développement de solutions mobilisant des systèmes robotisés et/ou d'ensembles de capteurs et permettant de s'abstenir de tout recours aux produits phytopharmaceutiques ou d'en limiter l'utilisation. Il s'agit de travailler sur les trois composantes du désherbage : observation, interprétation/décision et action de désherbage. Les consortiums doivent proposer des approches innovantes pour au moins deux des trois composantes afin de favoriser leur couplage et peuvent proposer une approche plus classique pour l'une d'entre elle.

Ce programme vise à favoriser les collaborations entre disciplines scientifiques qui ne sont pas habituées à travailler ensemble, notamment entre les chercheurs en agronomie et écologie et les chercheurs en sciences numériques et robotiques. Il vise également à favoriser les collaborations avec les nombreux acteurs de la filière tels que les agro-équipementiers, les agriculteurs, les chambres d'agriculture et les organismes professionnels agricoles. Il s'agit également pour l'ANR de disposer d'une première expérience de challenge dans le domaine agronomique, qui soulève des enjeux méthodologiques particuliers (liés notamment à la reproductibilité des expériences s'appuyant sur le vivant et à la mesure d'un résultat intégratif sur le pas de temps d'une saison) par rapport aux précédents challenges déjà menés en robotique par l'ANR.

2. Etat de l'art de l'utilisation des challenges dans le domaine de l'agriculture numérique

2.1 Challenges et campagnes d'évaluation en traitement automatique de l'information

Aux Etats-Unis, le National Institute of Standards and Technology (NIST) et la Defense Advanced Projects Agency (DARPA) ont depuis plus de trente ans recours à des programmes de type Challenge

dans le domaine du traitement de la langue (Martin et al., 2004). Le NIST est notamment l'organisateur de la célèbre conférence TAC (Text Analysis Conference, anciennement Text Retrieval Conference) et a particulièrement contribué à la démocratisation des campagnes d'évaluations comme vecteur de progrès en traitement automatique de l'information. Le National Institute of Informatics japonais organise également depuis le début des années 2000 des campagnes d'évaluation en traitement de la langue. Il orchestre notamment les workshops NTCIR (NII Testbeds and Community for Information access Research) qui visent à promouvoir la recherche dans ce domaine en mettant à disposition de la communauté des corpus de données de test et des infrastructures d'évaluation communes permettant de comparer les performances de différents systèmes.

En Europe, le LNE est l'un des principaux organisateurs de campagnes d'évaluation en traitement de la langue et des images. Ces dernières ont notamment concerné la transcription de la parole avec le projet ETAPE financé par l'ANR (Galibert et al., 2014), la détection d'entités nommées avec le projet QUAERO financé par Bpifrance (Galibert et al., 2010), la traduction avec le projet TRAD financé par la DGA, la reconnaissance d'écriture avec le projet MAURDOR financé par la DGA (Galibert et al., 2014) et la reconnaissance de personnes dans des documents télévisuels, avec le projet REPERE financé par la DGA et l'ANR (Kahn et al., 2012).

Les campagnes d'évaluation se sont progressivement étendues à la recherche d'information sur images, comme dans le cadre de TRECVID (aux Etats-Unis) et d'ImageCLEF (en Europe) (Clough, et al., 2010). Ces conférences visent à encourager la recherche dans le domaine en fournissant de larges corpus de test annotés et des procédures d'évaluation des performances uniformisées, ainsi qu'en constituant un forum où les organisations désirant comparer leurs solutions technologiques peuvent se retrouver.

Pour finir, les campagnes d'évaluation ont été adoptées par la communauté de recherche en robotique. Trois des compétitions les plus populaires sont en parties organisées par le NIST:

- Le DARPA Robotics Challenge, pour les robots d'intervention en environnements hostiles,
- Le DARPA Grand Challenge, pour les véhicules autonomes,
- La RoboCup Soccer League.

Le NIST s'appuie notamment sur son expérience en évaluation de performances en robotique acquise en développant des méthodes de test standards pour les robots d'intervention en milieu hostile (Jacoff et al., 2012).

L'idée qui sous-tend l'ensemble de ces challenges est qu'il est nécessaire, pour comparer de manière rigoureuse et reproductible les performances de différents systèmes, de procéder à des évaluations à partir des mêmes données, dans les mêmes environnements de test et d'effectuer des comparaisons aux mêmes références. Ces références sont établies selon la nature et le périmètre des données à traiter par ces systèmes. En fonction des objectifs technologiques et scientifiques, voire sociétaux, les campagnes d'évaluation d'un challenge peuvent consister en une évaluation globale d'un système, une analyse modulaire des briques technologiques, ou une combinaison des deux, de manière à accompagner le plus efficacement possible les développements en cours. En retour, les avancées technologiques peuvent nécessiter de faire évoluer les sets de références.

Dans le domaine de l'agriculture numérique, les challenges sont de plus en plus répandus et reposent aussi bien sur des analyses modulaires que globales des performances de systèmes robotisés agricoles.

2.2 Evaluations de robots sur parcelles agricoles

Le Field Robot Event (<http://www.fieldrobot.com>) est une compétition annuelle initiée en 2003 et organisée par l'Université Harper Adams au Royaume-Uni. Lors de cette rencontre, les équipes participantes doivent mettre en œuvre des systèmes robotisés autonomes en mesure de réaliser des tâches agricoles définies à l'avance. Plusieurs tâches sont considérées et concernent essentiellement la navigation autonome sur parcelle agricole. Bien qu'une tâche de « désherbage » soit considérée, elle a été grandement simplifiée : elle consiste en la visée par jets d'eau de sphères colorées symbolisant les emplacements des adventices.

Le Challenge agBOT (<http://www.agbot.ag>) se rapproche davantage des conditions réelles de fonctionnement des robots agricoles. Il se déroule aux États-Unis et est financé par des acteurs privés. Généralement, deux compétitions se déroulent chaque année. Elles peuvent aussi bien porter sur l'ensemencement, la détection et l'éradication d'adventices que sur la récolte. Cependant les évaluations reposent davantage sur une appréciation qualitative des caractéristiques des systèmes par un jury d'experts que sur des mesures objectives, précises et répétables des performances.

2.3. Evaluation de la détection de plantes sur bases d'images

Dans l'objectif de réduire l'utilisation d'herbicides, de nombreuses solutions alternatives sont en cours de développement. Elles incluent souvent des dispositifs de détection automatique des plantes qui reposent sur des systèmes de vision artificielle et sur des algorithmes apprenant à partir de base de données d'images annotées. L'évaluation des performances de ces systèmes de détection se fait alors généralement à partir d'une base d'images de test.

ImageCLEF, le forum portant sur l'évaluation des systèmes de recherche d'information sur images, intègre un workshop LifeCLEF incluant lui-même un programme intitulé PlantCLEF (<http://www.imageclef.org/lifeclef/2017/plant>) qui vise à proposer un référentiel commun pour l'évaluation des systèmes d'identification des plantes sur corpus d'images.

La plateforme web Kaggle organise également des compétitions en traitement informatique de l'information. Plusieurs évaluations sur bases d'images sont utiles à l'agriculture numérique avec en particulier une tâche de classification de plantules (<https://www.kaggle.com/c/plant-seedlings-classification>) et une tâche de classification de feuilles (<https://www.kaggle.com/c/leaf-classification/data>).

3. Projets et solutions sélectionnés dans le challenge ROSE

3.1 Partenaires impliqués dans les projets

L'un des objectifs du challenge ROSE est d'inciter à la collaboration entre équipes de recherche et industries à travers la constitution de consortiums de recherche. Chacun des 4 projets sélectionnés (Tableau 1) engage des partenariats entre des partenaires publics, instituts de recherche (CNRS, IRSTEA, INRA, INRIA, CIRAD), universités et établissements d'enseignement supérieur (Université de Limoges, Université de Bordeaux, Montpellier Sup Agro et Bordeaux Sciences Agro), des entreprises privées du secteur agricole (Fermes Larrère, AGRIAL), du secteur de l'agroéquipement (SITIA, CARBON BEE, Elatec, SABI AGRI) et des coopératives, chambres d'agricultures et instituts techniques. Les projets retenus ont mis en place des collaborations interdisciplinaires mobilisant des chercheurs en agronomie, physiologie des plantes, malherbologie, imagerie, traitement de données et robotique.

Tableau 1 : Consortiums des projets sélectionnés pour le challenge ROSE

Titre	Bloc-outil et Imagerie de Précision pour le Binage Intra-rang Précoce	Perception Et binage autonome des cultures en Agriculture Durable	RObotics SEnsorimotor loops to weed AUtonomously	Robot de désherbage localisé par procédé électrique haute tension combiné avec une gestion prédictive par vision hyper-spectrale et post-évaluation par drone.
Acronyme du projet	BIPBIP	PEAD	ROSEAU	WeedElec
Organisme coordinateur	Laboratoire de l'Intégration du Matériau au Système (IMS, UMR5218 CNRS, université de Bordeaux, Bordeaux INP) Equipe MOTIVE	Institut de recherche Xlim (UMR CNRS 7252, multi-sites Limoges, Poitiers, Brive, Angoulême) Equipe REMIX	SITIA (Société d'ingénierie)	UMR Itap Information, Technologies, Analyse environnementale, Procédés agricoles (Irstea, Montpellier SupAgro) Equipes COMIC et PEPS
Partenaires académiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bordeaux Sciences Agro ▪ Bordeaux INP ▪ CNRS ▪ Université de Bordeaux (IMS, Labri équipe Rhoban) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CNRS ▪ Université de Limoges (Xlim) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ INRA (UMR Agroécologie) ▪ IRSEEM 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Irstea ▪ CIRAD (AMAP, UR AIDA) ▪ INRIA (ZENITH, LIRMM) ▪ INRA (UMR EMMAH/UAPV)
Partenaires techniques et économiques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les Fermes Larrère ▪ Elatec ▪ CTIFL 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CARBON BEE ▪ SABI AGRI 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les chambres régionales d'Agriculture de Pays de la Loire et de Bretagne 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AGRIAL

3.2 Solutions technologiques envisagées par les équipes

Les solutions envisagées par les consortiums couvrent la totalité de la chaîne « détection – interprétation/décision – action ». Ces trois fonctions sont interconnectées pour aboutir au résultat final : le désherbage intra-rang.

Selon les équipes, les technologies de départ sur chacune des fonctions n'ont pas toutes le même degré de maturité ; certains développements porteront donc sur l'association et l'optimisation de solutions technologiques préexistantes et d'autres sur la création *de novo* de nouvelles solutions. Les objectifs de développement que toutes les équipes partagent sont :

- L'augmentation de l'efficacité de la détection des plantes d'intérêt et des adventices (taux d'erreur réduit, robustesse améliorée) ;
- L'augmentation de la fiabilité des prises de décisions ;
- L'identification d'une méthode de désherbage s'affranchissant de l'utilisation de produits phytosanitaires tout en gardant le même niveau de performance (destruction d'adventices, respect de la culture et de l'environnement) que les méthodes conventionnelles.

En effet, outre l'atteinte de l'objectif de désherbage intra-rang, un des enjeux supplémentaire sera de développer des plateformes et outils robustes, capables de travailler efficacement en temps réel : réaliser la détection, l'identification et l'action tout en faisant la démonstration d'un débit de chantier satisfaisant sur la parcelle à traiter et d'une efficacité maintenue dans des conditions environnementales et culturales variables : différentes luminosités, types de sol, densités de culture et de stade de croissance.

3.2.1 Solutions technologiques proposées pour la détection et l'identification

Pour un désherbage efficace d'une culture, celui-ci doit idéalement intervenir à un stade précoce de développement, peu de temps après le semis. Cela limite d'autant la période pendant laquelle la culture risque de rentrer en compétition pour les ressources. Cela implique, pour les solutions envisagées, une forte capacité de différenciation entre adventices et plantes d'intérêts au stade plantule, ainsi qu'une solution technique de désherbage de précision.

Les systèmes d'acquisition d'images (module embarqué sur engin agricole, sur robot autonome ou sur drone) couplés à des approches d'apprentissage profond devront permettre aux modules de détection de déterminer la position des plants et de différencier les adventices des plantes d'intérêts. Ces deux informations (position et nature du plant) sont nécessaires pour fournir au bloc outils les informations qui permettront l'élimination ciblée des adventices tout en évitant les cultures. Parmi les solutions proposées par les consortiums, certaines se focalisent davantage sur l'identification des adventices que sur celle des plantes d'intérêt (en utilisant par exemple les informations recueillies lors du semis des cultures pour connaître la position des plantes d'intérêt), d'autres se concentrent sur l'élimination systématique de ce qui n'est pas identifié comme une plante d'intérêt. Certaines équipes développent des systèmes pour la détection des adventices à l'échelle d'une parcelle entière et la cartographie fine des zones qui nécessitent une intervention ou encore l'identification des familles d'adventices et de leurs stades de croissances. Cette richesse des propositions illustre bien l'intérêt d'une confrontation des stratégies retenues pour résoudre une étape du processus global ciblé.

La fonction « Détection » des systèmes d'acquisition intervient également dans la localisation du système de désherbage par rapport à son environnement grâce aux caméras embarquées sur les robots ou drones. Dans certains systèmes, les données récoltées permettront de réaliser une cartographie des zones de cultures envahies par les adventices, de déterminer la position du robot sur la parcelle, de détecter automatiquement les chemins d'accès pour les systèmes autonomes et l'orientation du robot par rapport aux zones à traiter.

3.2.2 Solutions technologiques proposées pour l'interprétation et la décision

Après détection et identification des plantes, les systèmes doivent interpréter ces informations pour décider si une action de désherbage doit être menée ou non. La prise de décision sera basée sur la capacité des systèmes à différencier les adventices et les plantes d'intérêts (décision d'action dès que la différenciation entre les cultures est possible ou dès qu'un stade de croissance considéré comme dommageable est atteint) et pour certains consortiums, il s'agira également de simuler la dynamique de croissance des deux types de plantes pour prévoir le meilleur moment pour désherber.

Dans les solutions envisagées par les consortiums, l'interprétation et la décision interviennent au niveau parcellaire, où l'accumulation des données collectées au champ grâce aux systèmes d'acquisition permettra de suivre l'évolution du développement des cultures et des adventices. Ces informations permettront d'optimiser la modélisation de leurs croissances afin de réaliser des simulations de développement de la flore d'adventice. Ces outils d'aide à la décision permettront d'implémenter des stratégies de désherbage optimisées en déterminant la meilleure fenêtre temporelle pour l'action et en évitant les interventions mécaniques excessives qui pourraient tasser inutilement les sols, ou nuire au rendement et à la qualité de la récolte.

Au niveau des cultures cette tâche intervient au moment où le robot va effectuer la détection/identification et l'interprétation/décision de l'action sur les adventices. Cette fonction doit s'effectuer rapidement et de manière autonome pour assurer un débit de chantier suffisamment important. Sinon, il faut envisager de multiplier les robots pour tenir le rythme souhaité.

3.2.3 Solutions technologiques proposées pour l'intervention

Les projets doivent aboutir à la fin du challenge à des prototypes de systèmes complets capables de réaliser toutes les fonctions depuis la détection jusqu'au désherbage, de façon autonome ou semi-autonome, pour désherber intégralement une parcelle sans avoir recours à l'utilisation d'herbicides. Les systèmes de désherbage devront avoir la capacité de détruire les adventices intégralement ou de les endommager suffisamment pour permettre aux cultures de se développer sans compétition notable et cela par action immédiate ou à retardement. La principale contrainte étant d'avoir des outils suffisamment précis pour ne pas endommager les plantes d'intérêt.

Les projets envisagent des solutions techniques sous diverses formes : bloc-outil adaptable en un ou plusieurs exemplaires sur engin agricole, engin autonome ou nécessitant un conducteur, optimisation de robot déjà commercialisé, etc. Techniquement, l'action de désherbage sera réalisée par des outils de binages conçus ou optimisés dans le cadre du challenge qui pourront être mécaniques (binettes, lames, etc.) ou électrique (tête de destruction haute tension), capables de désherber un ou plusieurs rangs de culture simultanément (Tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristiques techniques des projets sélectionnés

Acronyme du projet	BIPBIP	PEAD	ROSEAU	WeedElec
Système d'acquisition	Capteur RGB	Caméra Visible et hyperspectrale	Capteur RGB et Infra Rouge (IR)	Capteur RGB et caméra hyperspectrale
Vecteur aérien	Non	Non	Oui	Oui
Destruction des adventices	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mécanique (mini-socs, lames) ou thermique (brûleur laser) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mécanique ▪ Binage mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mécanique ▪ Bineuse à doigts 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Electrique ▪ Tête haute tension
Vecteur terrestre	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bloc outil fixé sur tracteur ▪ Bloc outil fixé sur enjambeur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plateforme Sabi Agri ▪ Navigation autonome 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Robot PUMAgri ▪ Navigation autonome 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Robot à bras delta ECOROBOTIX ▪ Navigation autonome

4. L'organisation des évaluations du challenge ROSE

4.1 Préparation des évaluations

Les différentes étapes de l'organisation du challenge ROSE sont présentées Figure 1. Les deux premières colonnes de cette figure concernent la préparation des évaluations. Durant les six premiers mois, une collaboration est menée entre les équipes participantes et les organisateurs (LNE et Irstea) afin d'établir conjointement au mieux les conditions de déroulement des campagnes d'évaluation. Des rencontres équipes-organisateurs sont notamment organisées à cet effet. Elles permettent de préciser un certain nombre d'éléments essentiels au bon déroulement du challenge ROSE. Il s'agit tout d'abord de spécifier clairement les tâches (de détection d'adventice/culture, de prise de décision et d'action de désherbage) sur lesquelles les systèmes vont être évalués. Il convient ensuite de définir les environnements de test, c'est-à-dire, dans le cas du challenge ROSE, les parcelles expérimentales, les cultures et les adventices à mettre en place. Enfin, les différents aspects techniques, organisationnels et de sécurité associés aux interventions sur les parcelles doivent être clarifiés. Un ensemble de métriques autorisant une mesure des performances des systèmes qui soit quantitative, rigoureuse, comparable, répétable et acceptée par tous est ensuite défini. Dans certains cas, il est nécessaire de préciser les formats des données en entrée et sortie des systèmes, ces dernières étant utilisées pour quantifier les performances. L'ensemble de ces éléments constitue à la fois le protocole d'évaluation et le référentiel. Il est retranscrit dans un plan d'évaluation, ce dernier intégrant également un calendrier

établi avec les donneurs d'ordre, les organisateurs et les participants au challenge. Le plan d'évaluation est ensuite distribué à l'ensemble des acteurs qui doivent le valider. Il constitue alors le document de référence pour le déroulement des campagnes d'évaluation, voire au-delà en étant mis à disposition.

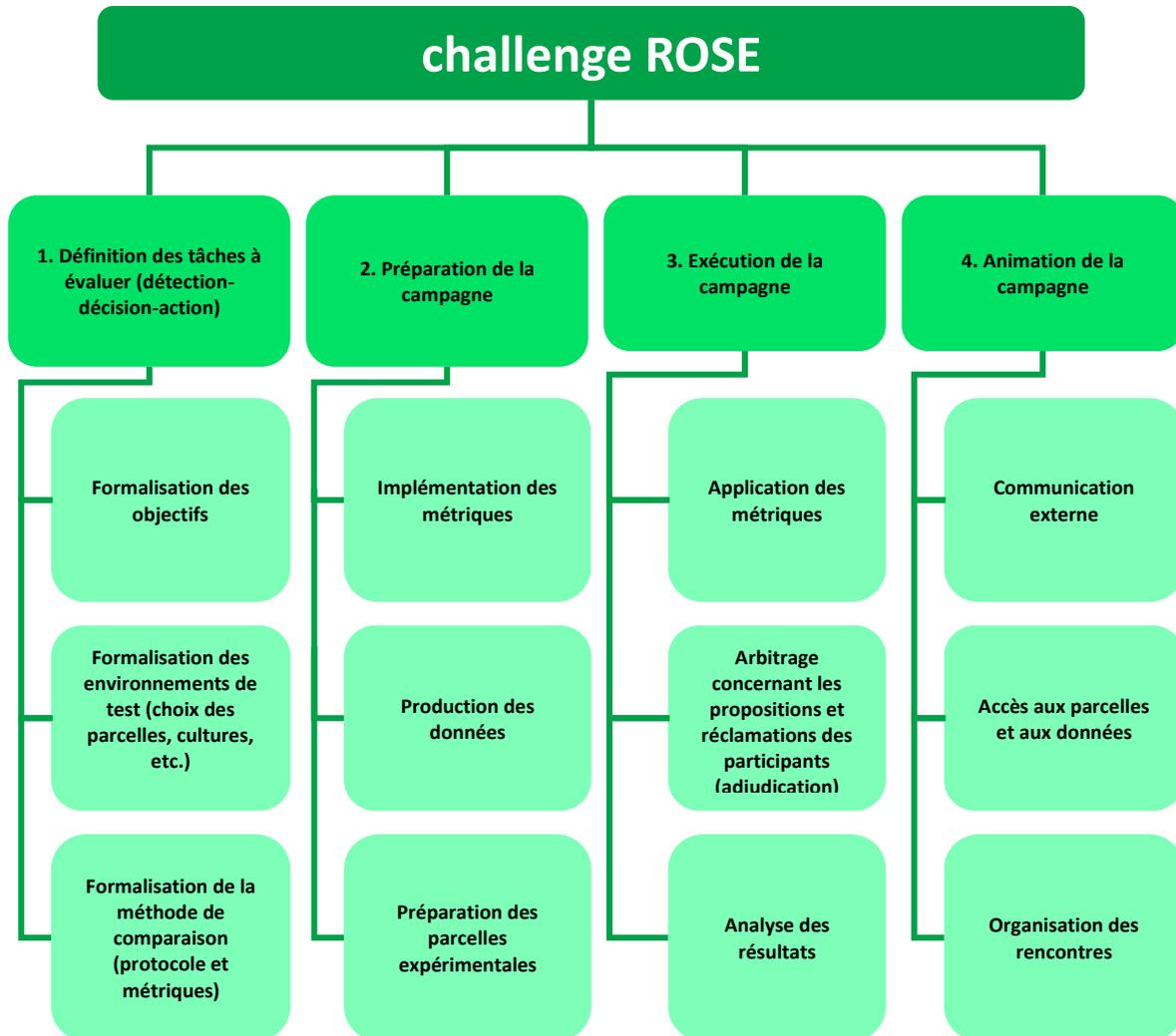


Figure 1 : Etapes de l'organisation du challenge ROSE

Pour chaque tâche du challenge ROSE, une métrique est ainsi définie, qui concerne une évaluation d'une brique spécifique de détection, de prise de décision ou d'action, ou encore une évaluation globale des performances. Cet indicateur permet aux participants de focaliser leurs développements sur des tâches données tout en sachant à l'avance comment ils vont être évalués. Il est donc important que la métrique soit effectivement représentative de la capacité du système à réaliser la tâche, tout en étant la plus simple et intuitive possible, ce qui nécessite un travail de réflexion et de discussion important. En outre, il est nécessaire de limiter le nombre total de métriques pour un challenge donné, de manière à ne pas disperser les efforts de développement sur trop de critères et garder des résultats d'évaluation interprétables.

Une première campagne d'évaluation à blanc, dite de « dry-run », permet de mettre à l'épreuve le protocole d'évaluation et vise à identifier et corriger ses éventuels manques ou anomalies, ainsi qu'à valider les outils de comparaison mis en place par les organisateurs du challenge (parcelles

expérimentales, données terrains, etc.). Elle est constituée de trois rencontres. Lors de la première rencontre de dry-run, les participants prendront connaissance des parcelles d'expérimentation. Ils auront alors la possibilité de proposer des ajouts au plan d'évaluation, en particulier concernant les aménagements des parcelles (infrastructures et mesures de sécurité à mettre en place, etc.). Les deux rencontres de dry-run suivantes viseront à tester le protocole d'évaluation au moyen d'une première intervention des solutions technologiques des différents participants sur les parcelles.

4.2 Les campagnes d'évaluations

Chaque campagne d'évaluation comprend plusieurs activités (colonnes 3 et 4 de la Figure 1). Quatre confrontations, réunissant toutes les équipes sélectionnées, auront lieu au cours des 48 mois du challenge. Les trois confrontations qui suivent le dry-run vont servir à évaluer les performances des solutions proposées. Suite à chaque campagne, l'annonce des résultats des épreuves se fera à l'occasion d'un atelier réunissant l'ensemble des équipes. Les remises des résultats feront également l'objet de communications spécifiques en particulier vers les communautés scientifiques et vers le monde agricole.

Le plan d'évaluation, bien qu'en grande partie établi grâce au dry-run, continuera à faire l'objet d'adaptation tout au long du challenge pour accompagner l'évolution des solutions technologiques proposées par les participants. Cette adaptation concerne en particulier :

- Le niveau de difficulté des épreuves avec, en particulier, des tests de robustesse de plus en plus poussés au fur et à mesure du challenge, concernant :
 - La densité et la répartition des cultures,
 - Les conditions environnementales qui peuvent être dégradées (interventions de nuit, sous la pluie, etc.),
 - Les dates d'intervention qui peuvent être imposées pour les faire correspondre à différents niveaux de croissance des adventices et plantes de rente ;
- La nature des évaluations, certains critères ne devenant pertinents qu'avec la maturation des solutions technologiques :
 - L'acceptabilité des solutions technologiques par les utilisateurs potentiels (exploitants agricoles, professionnels du secteur, etc.), et notamment la sécurité des utilisateurs,
 - Des critères environnementaux tels que l'état du sol (pollution avec carburant ou lubrifiant, érosion, tassement, etc.) après intervention des solutions technologiques,
 - Des critères technico-économiques tels que le degré d'automatisation, la consommation énergétique et le coût financier des techniques et matériels employés.

A la suite de la définition du plan d'évaluation, le LNE et Irstea développeront et mettront en place les outils d'évaluation. Le logiciel d'analyse des résultats développé par le LNE, en plus de fournir une échelle des performances vis-à-vis des métriques définies, permettra de mettre en rapport différentes métriques et d'analyser l'influence de facteurs mesurés pendant les évaluations (luminosité, humidité, température, etc.) sur les performances des systèmes. Une exploration approfondie des résultats, au moyen de graphes et de statistiques générés de manière automatique, sera ainsi rendue possible.

Une partie importante des outils d'évaluation concerne l'« environnement de test » au sens large. Il s'agit à la fois des parcelles agricoles expérimentales et des images d'adventices/plantes d'intérêt annotées qui vont être ensuite utilisées pour évaluer les performances des solutions technologiques. Ces environnements sont essentiels à la bonne réussite du challenge et à l'obtention de résultats d'évaluation exploitables. Irstea met ainsi à disposition du challenge les infrastructures de son site de recherche et d'expérimentation de Montoldre (parcelles expérimentales, métrologies, systèmes d'information, moyens d'accueil, etc.), ainsi que son savoir-faire (mise en œuvre de technologies dans

le domaine des agroéquipements, outils de référence terrain, organisation d'évènements, etc.). De même, l'expertise de VetAgro Sup en agronomie est mise à disposition de l'annotation et de l'interprétation des données terrains. La base d'images de test doit en particulier être de qualité et représentative des conditions réellement rencontrées par les systèmes robotisés intervenant sur parcelle.

5. Conclusion

5.1 Des référentiels pour l'évaluation des robots agricoles

Les campagnes d'évaluation du challenge ROSE seront les premières au niveau mondial à mettre en compétition différents consortiums en incluant à la fois une évaluation sur base d'images et une évaluation en conditions réelles sur parcelle agricole. Ainsi, ce challenge rendra à la fois possible une évaluation modulaire des différentes briques technologiques des solutions mobilisées lors du challenge, une évaluation globale sur l'efficacité du désherbage et de leurs impacts économiques, sociologiques et écologiques.

Les outils développés dans le cadre de ce challenge constitueront donc des référentiels utiles à la caractérisation des futures recherches dans ce domaine. En particulier, les bases de données de test auront, par la richesse de leurs contenus, un fort potentiel de dissémination. La constitution d'un corpus d'images dans le visible, le multispectral et l'hyperspectral alignées constitue en effet une nouveauté qui permettra des évaluations comparatives de différentes technologies de détection d'adventices et de cultures de rente. Ces bases seront particulièrement utiles à la communauté car, dans le cadre de la limitation de l'utilisation des produits phytosanitaires, de nombreux engins robotisés innovants souhaitent inclure des dispositifs de détection automatique des adventices. Ces systèmes reposent sur des algorithmes apprenant à partir de base de données d'images annotées. Si de nombreuses bases d'images d'adventices et de cultures dans le spectre du visible existent, comme la base gratuite PI@ntnet, aucune base ouverte d'images hyperspectrales n'est encore disponible, alors que cette technologie s'avère prometteuse pour l'agriculture numérique (Hadoux et al., 2014 ; Vigneau et al., 2011).

5.2 Des solutions au service des agriculteurs et de l'environnement

L'intégration de technologies encore trop peu répandues dans les systèmes et outils de l'agriculture, comme les caméras infra-rouge ou hyperspectrales et leurs usages dans des systèmes de détection multimodaux, les outils de cartographies dynamiques, les plateformes automatisées combinées à des stratégies de traitement de précision, vont permettre d'établir une avancée importante dans le processus de mise à disposition aux agriculteurs de solutions multiples pour le traitement des adventices sur le rang de culture.

Les recherches effectuées seront également utiles pour d'autres utilisations que celles concernées par le challenge ROSE. Des développements futurs peuvent en effet être imaginés pour d'autres fonctionnalités et tâches réalisables par ces nouveaux outils au service de l'ensemble des professionnels de l'agriculture, dans une démarche de maîtrise des intrants.

Le challenge ROSE constitue donc une première étape significative dans les efforts de financement et d'accompagnement de la recherche sur des objectifs ciblés du plan Ecophyto II, effectués par les Ministères en charge de la Recherche, de l'Agriculture et de l'Ecologie. Il ouvre la voie aux autres initiatives qui sauront s'en inspirer.

Références bibliographiques

Bournigal J.M., Houllier F., Lecouvey P., Pringuet P., 2015. Agriculture Innovation 2025: 30 projets pour une agriculture compétitive et respectueuse de l'environnement. Agriculture Innovation 2025, INRA (2015).

Clough P., Henning M., Sanderson M., 2010. Seven Years of Image Retrieval Evaluation. ImageCLEF, 32, 3–19. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-15181-1>

Galibert O., Kahn J., Oparin I., 2014. The zonemap metric for page segmentation and area classification in scanned documents, Olivier Galibert, Juliette Kahn and Ilya Oparin, LNE, Laboratoire national de métrologie et d'essais National Metrology and Testing Laboratory Trappes, France. International Conference on Image Processing(ICIP), (2), 2594–2598.

Galibert O., Leixa J., Adda G., 2014. The ETAPE speech processing evaluation. Proc of LREC, ELRA, 3995–3999. Retrieved from http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2014/pdf/1027_Paper.pdf

Galibert O., Quintard L., Rosset S., Zweigenbaum P., Nédellec C., Aubin S., Laurent D., 2010. Named and specific entity detection in varied data: The Quæro Named Entity baseline evaluation. Evaluation, 3453–3458.

Hadoux X., Gorretta N., Roger J.M., Bendoula R., Rabatel G., 2014. Comparison of the efficacy of spectral pre-treatments for wheat and weed discrimination in outdoor conditions. Computers and Electronics in Agriculture, 108, 242–249. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.08.010>

Jacoff A., Huang H.M., Virts A., Downs A., Sheh R., 2012. Emergency Response Robot Evaluation Exercise. Proceedings of the Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems, Pages, 145–154.

Kahn J., Galibert O., Quintard L., Carré M., Giraudel A., Joly P., 2012. A presentation of the REPERE challenge. Proceedings - International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing, 102–107. <https://doi.org/10.1109/CBMI.2012.6269851>

Martin A.F., Garofolo J.S., Fiscus J.C., Le A.N., Pallett D.S., Przybocki M.A, Sanders G.A, 2004. NIST Language Technology Evaluation Cookbook. Proceeding in the 4th Intl.Conference on Language Resources and Evaluation, 2011–2014.

Ministère de l'agriculture, de l'agro-alimentaire et de la forêt, Ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer, 2016, Note de suivi 2016 Ecophyto, 12 pages

Ministère de l'agriculture et de l'alimentation, Ministère de la transition écologique et solidaire, 2017, Stratégie nationale Recherche et Innovation du Plan Ecophyto II, 33 p.

Vigneau N., Ecartot M., Rabatel G., Roumet P., 2011. Potential of field hyperspectral imaging as a non destructive method to assess leaf nitrogen content in Wheat. Field Crops Research, 122(1), 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.02.003>

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).