

Présentation du thème

« Analyse et modélisation de l'environnement »

Unité de recherche TSCF, INRAE

Janvier 2025

Les nouvelles technologies et les méthodes associées peuvent permettre d'analyser et de réduire les impacts environnementaux. Les agroéquipements, la robotique et l'informatique jouent un rôle important dans la conception d'outils pour la transition agroécologique.

Dans ce contexte, **une perception, une analyse et une modélisation de l'environnement sont essentielles**. L'objectif du présent cercle est de concevoir et d'expérimenter de nouvelles approches relevant de ces sujets. Il s'agit d'un cercle pluridisciplinaire ayant pour objectif des développements méthodologiques. Un des rôles du cercle est de permettre une interaction entre différentes disciplines des sciences pour l'ingénieur ayant toutes pour objectif la perception, l'analyse et la modélisation de l'environnement. Les recherches développées se font à une échelle relativement locale, allant d'un territoire à la plante.

L'environnement peut être perçu par interactions avec ou sans contacts : mécaniques, électriques, laser, caméra, radar, etc. Les informations peuvent être analysées par des méthodes et des technologies du numérique. Le cercle s'intéresse ainsi à différents sujets interconnectés :

– Les méthodes de reconnaissance de l'environnement par interaction avec contact

Ce sujet porte sur la mesure des déformations, des forces d'interaction et d'autres propriétés physiques. Il s'agit par exemple, pour un robot agricole de déterminer la traversabilité d'un objet grâce des palpeurs mécaniques. Cela permettra de venir mesurer la déformabilité des obstacles et ainsi de différencier un objet non déformable (un mur) d'un objet déformable (des herbes hautes).



Figure 1 : Exemple de robots équipés de pare-chocs sensibles pour la détermination de traversabilité

Un autre exemple de capteur mécanique est un pneu équipé de capteurs, permettant de caractériser les propriétés du sol (compaction, humidité...).



Figure 2 : Pneu-capteur permettant la mesure de la déformation du pneumatique et de l'impédance du sol

– Les méthodes de perception de l'environnement sans contact

Typiquement, les technologies laser, caméra (photogrammétrie, TOF), radar hyperfréquence, multispectrales et hyperspectrales, sont au cœur de nos recherches. Les systèmes développés sont déployés sur des plateformes variées, allant des véhicules terrestres aux drones aériens.

Un exemple est donné ci-dessous avec des images acquises par drone. Un traitement de type photogrammétrique est utilisé pour la construction d'un modèle 3D de l'environnement survolé. Ce modèle permet aux robots terrestres de disposer d'une connaissance à priori de l'environnement sur lequel ils vont évoluer.



Figure 3 : Perception de l'environnement par drone. (a) Vue générale d'un drone en vol. (b) exemple d'une reconstruction 3D de l'environnement par photogrammétrie.

– Les méthodes relevant des technologies du numérique pour le traitement et la modélisation des données de l'environnement

Il s'agit ici de techniques d'intelligence artificielle, du traitement du signal, des statistiques, ainsi que de la modélisation des données de l'environnement. L'intelligence artificielle facilite par exemple la reconnaissance d'obstacles.

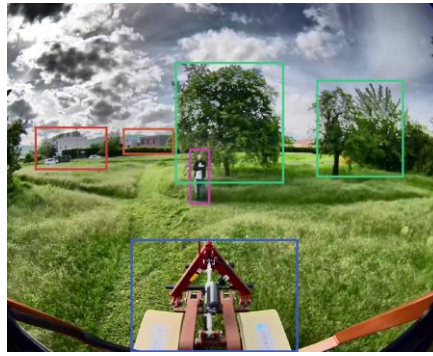


Figure 4 : Reconnaissance d'obstacles par intelligence artificielle

Un autre sujet porte sur les méthodes de modélisation des données géographiques. Différentes méthodes sont développées pour spécifier les données, via par exemple des extensions de formalismes tels qu'UML (Unified Modelling Language). L'exemple ci-dessous donne un exemple de modélisation de données pour représenter l'environnement d'un robot.

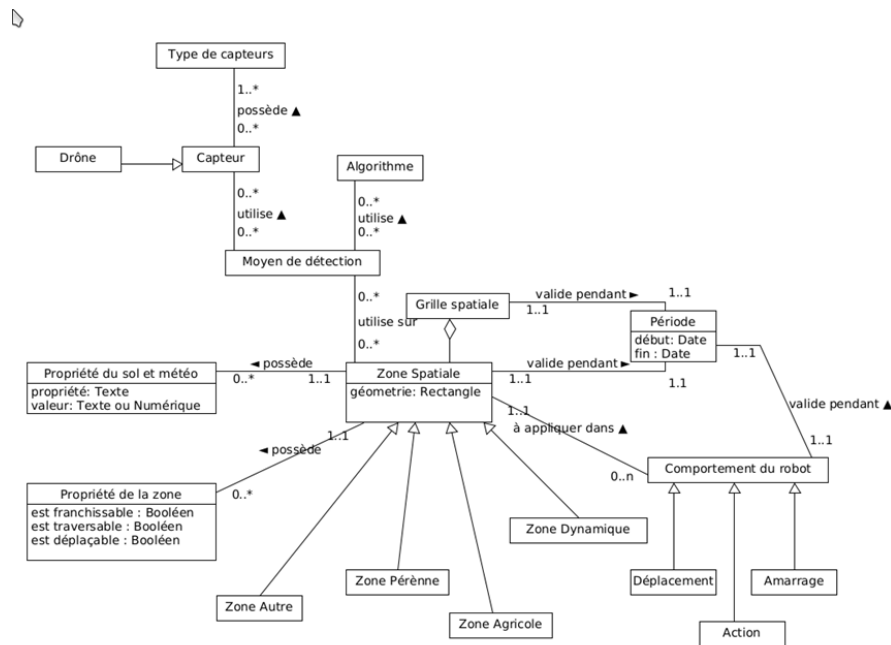


Figure 5 : Modèle de représentation de données géographiques

Il s'agit aussi de mobiliser ces différentes méthodes pour la conception de jumeaux numériques allant modéliser les agroéquipements et leur environnement.

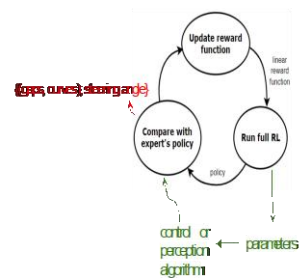
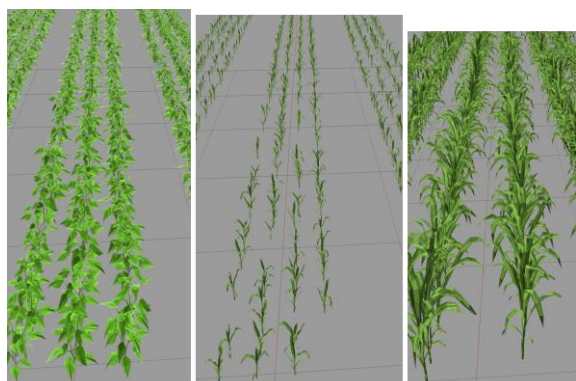
Exemples de projets :

- [Labcom Agrivia](#) : Perception sûre pour la navigation autonome en milieu naturel au service de l'agroécologie
- [Labcom Tiara](#) : Toward Intelligent Adaptable Robots for Agriculture
- Mobiter : Mobilité autonome en milieu tout terrain

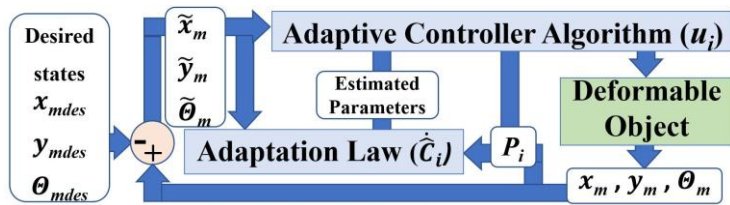
- **BEYOND** : Vers une épidémiologie-surveillance et une prophylaxie fondées sur des observations de proximité et à distance
- **MUSCAA** : Adaptive behavior by multivariate learning and supervision processes for mobile robots
- Orica : Outils robotiques innovants pour la conduite d'itinéraires techniques agroécologiques
- **Recherche Technologique CANNOPHY** : Modélisation expérimentale des dépôts de traitements phytosanitaires en fonction de l'architecture du végétal en viticulture. Applications à l'expression des doses et à la viticulture de précision
- LPA-Ismart : Innovative and Sustainable Methods for Agricultural Robotics and off-road Mobility
- GeoSur : Développement et Certification de systèmes sûrs de positionnement pour les robots autonomes
- **POP-Extend (Métaprogramme INRAE BETTER)** : Population qui mange et métabolisme agri-alimentaire
- **POPCORN (Métaprogramme INRAE BETTER)** : Outil de diagnostic et de modélisation de la population qui mange dans les territoires urbains (*projet terminé*)
- **CPER MMaSyF** : Contrôle de mouvements coordonnés pour un manipulateur bi-bras mobile agile
- Soil-friendBOT : Robot à quatre roues reconfigurable et respectueux du sol
- ADEUS : Analyse comparée par drone aérien/aquatique, satellite et analyse d'eau de la dynamique spatio-temporelle d'eutrophisation des lacs
- Robocats

Quelques autres exemples concrets des travaux du thème :

- Modification des paramètres de perception/commande en robotique



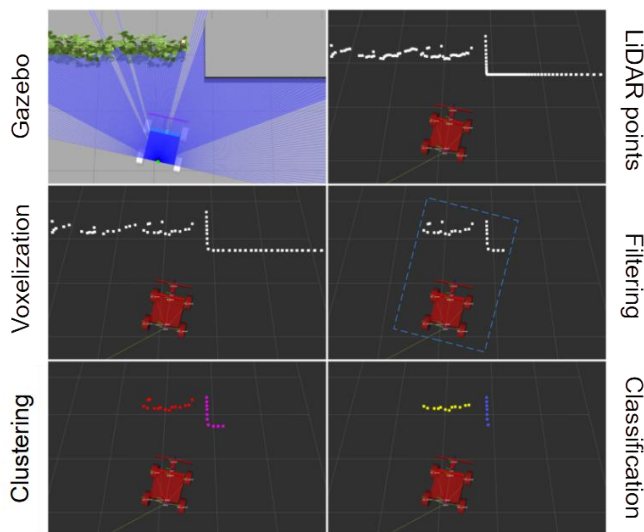
- Modélisation de la déformabilité des objets de l'environnement et adaptation, en robotique



- Palpeur mécanique

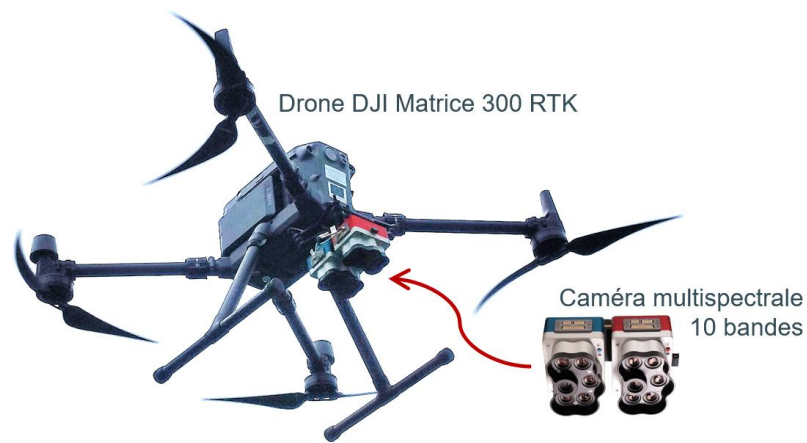


- Classification par LiDAR d'obstacles



- Photogrammètrie drone

Les drones peuvent se déplacer rapidement et sans risque (en volant au-dessus des obstacles), permettant d'obtenir une vue globale et dégagée des zones que l'on souhaite observer. Equipés de capteurs variés (caméra RVB, caméra thermique, lidar, caméra multispectrale ou hyperspectrale), ils permettent une description précise des environnements survolés.

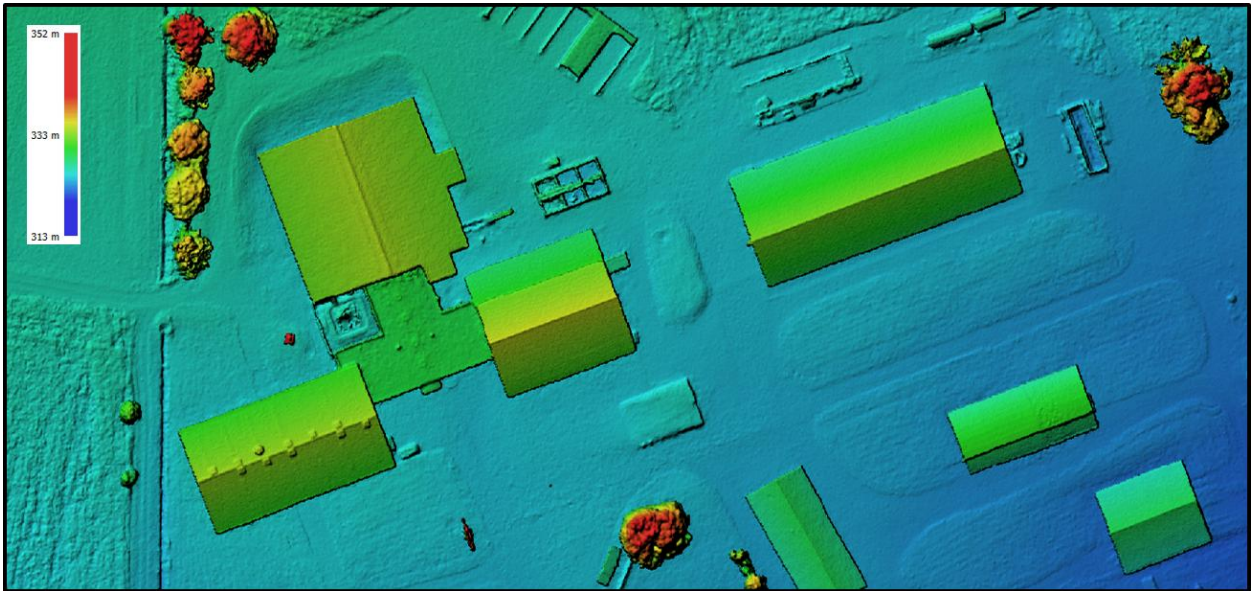


Exemple du drone DJI Matrice 300 RTK en vol. Il embarque ici une caméra multispectrale 10 bandes (Micasense RedEdge-P dual).

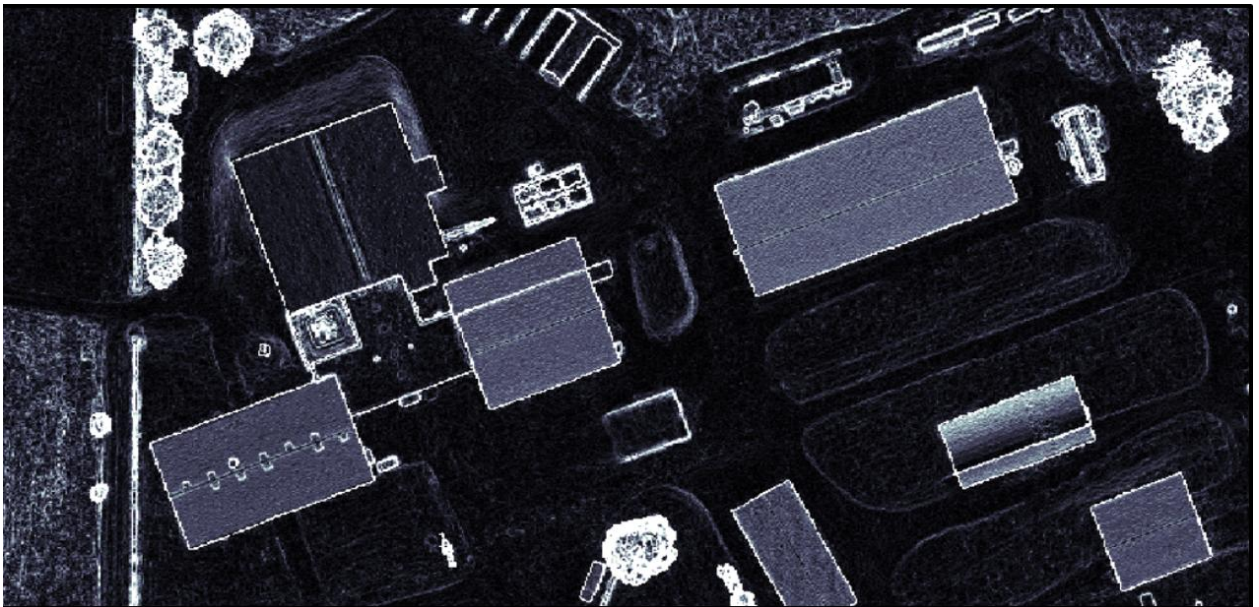
Les drones peuvent être utilisés pour le suivi de paramètres agri-environnementaux, avec par exemple la construction de cartes permettant par exemple un suivi de l'évolution spatiale et/ou temporelle de ces paramètres.

Les drones sont également un outil efficace dans le cadre de l'aide à la navigation sûre des robots terrestres. Ils permettent par exemple de fournir une connaissance à priori la topographie des environnements que vont parcourir les robots terrestres : modélisation 3D du sol, modèle numérique de surface, cartographie des pentes locales, etc. L'utilisation capteur de type multispectral/hyperspectral va également nous permettre d'identifier la nature du terrain (bitume, herbe, terre, eau, etc) afin de faciliter les missions des robots terrestres. Quelques illustrations sont présentées ci-dessous.





Exemple de construction d'un modèle numérique du surface. Site INRAE de Montoldre.



Calcul des pentes locales à partir du modèle numérique du surface. Site INRAE de Montoldre.

- Détection de tumulis par vision

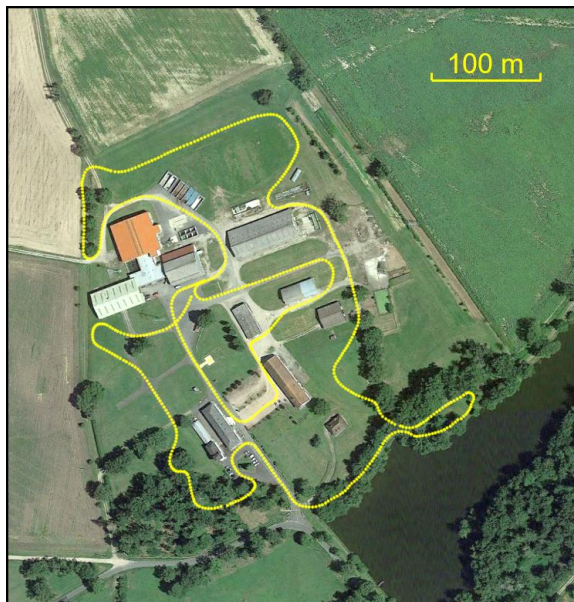


- Cartographie et localisation radar

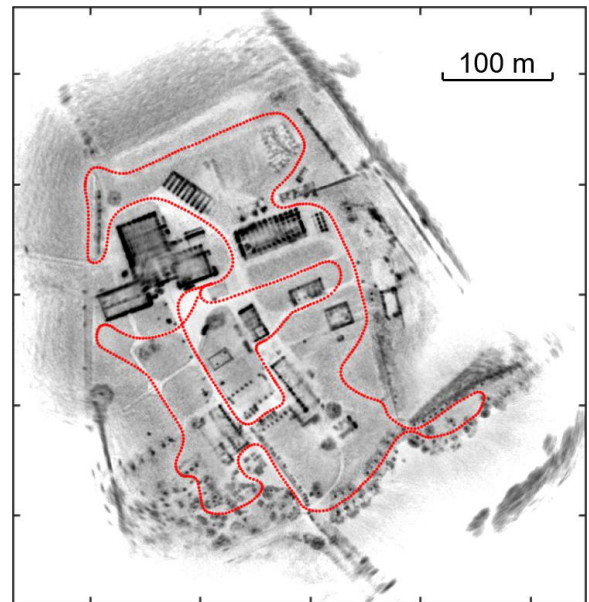
La robotique mobile utilise classiquement des capteurs optiques (vision, laser) pour les opérations de perception de l'environnement. Mais en environnement extérieur naturel, ces capteurs doivent faire face à des contraintes environnementales qui peuvent fortement réduire leur efficacité, voire même les rendre inopérants : pluie, neige, brouillard, poussières, etc. Dans ce contexte, les systèmes hyperfréquences sont intéressants car leur grande longueur d'onde (par rapport aux systèmes optiques) les rend très peu sensibles à ces aléas. C'est dans cette optique que l'UR TSCF a conçu et développé des capteurs utilisant la technologie hyperfréquence.



Exemple de radars panoramiques conçus et développés au sein de l'UR TSCF.



(a)



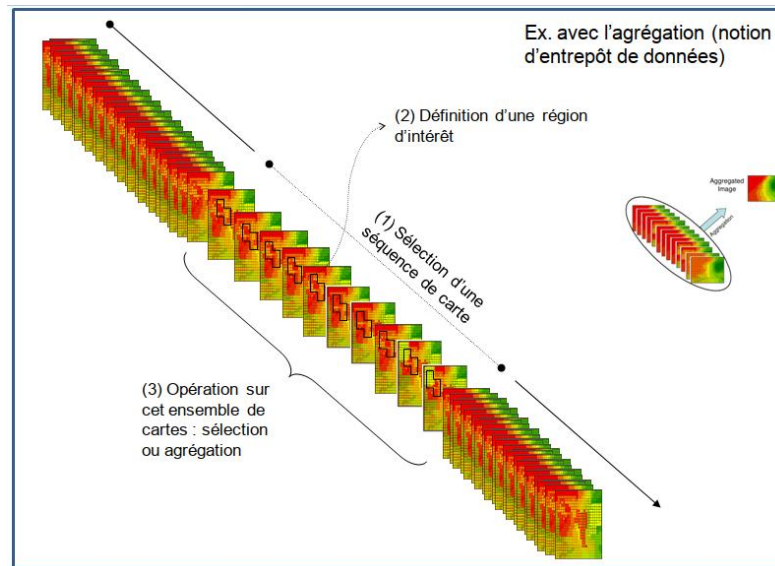
(b)

Exemple de construction d'une carte radar avec radar PELICAN. (a) Vue aérienne (Google Earth) de la zone de test. Les points jaunes indiquent la trajectoire GPS suivie par le radar. (b) Carte radar construite et trajectoire estimée (points rouges).

– IA pour l'imagerie et reconnaissance d'obstacles



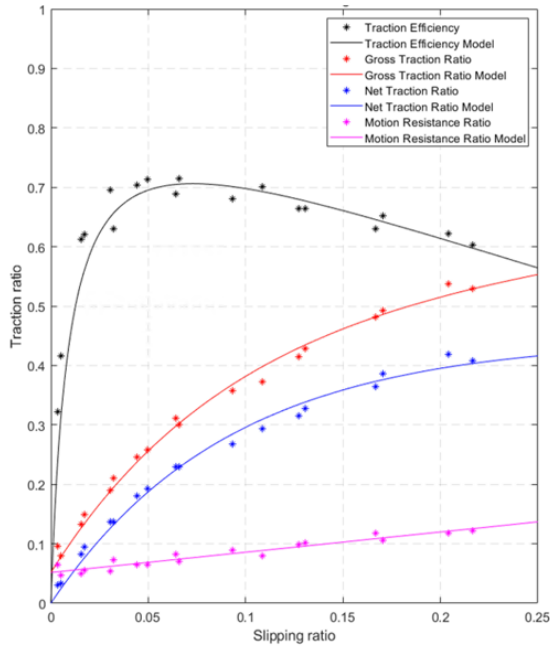
- Agrégation des données géographiques de type raster de données au sein d'entrepôts de données



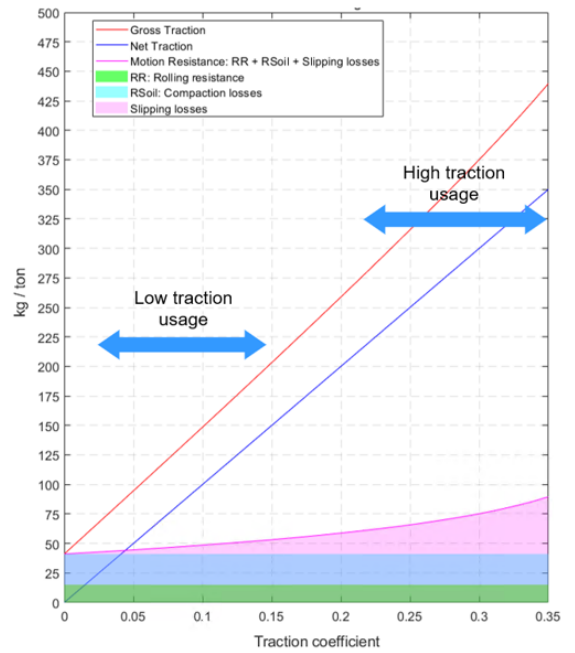
- Modélisations statistiques, analytiques et par éléments finis, pour les interactions pneumatiques-sols

La disponibilité sur le site expérimental de l'AgroTechnoPôle de Montoldre (Allier - 03) de terrains agricoles, de 4 bacs à sols aux taux d'argile progressifs - chacun étant homogène en texture en son sein – et de moyens expérimentaux uniques tels que la Monoroue qui permet d'appliquer à une roue isolée une charge et un couple contrôlés tout en mesurant les autres paramètres fonctionnels, autorise des prises de mesures de qualité sur de multiples pneumatiques de différentes conceptions. Les données issues du balayage des plages fonctionnelles sont ensuite modélisées pour permettre in fine d'isoler les différentes sources de pertes de rendement, d'optimiser les points de fonctionnement, ... Ils fournissent par ailleurs les sources de validations de modèles purement numériques tels qu'utilisés par les logiciels de DEM (Discrete Element Modeling) pour l'optimisation accélérée des pneumatiques agricoles ou pour le fonctionnement de jumeaux numériques multi-modèles.

Mesure de terrain, modélisation puis extrapolations

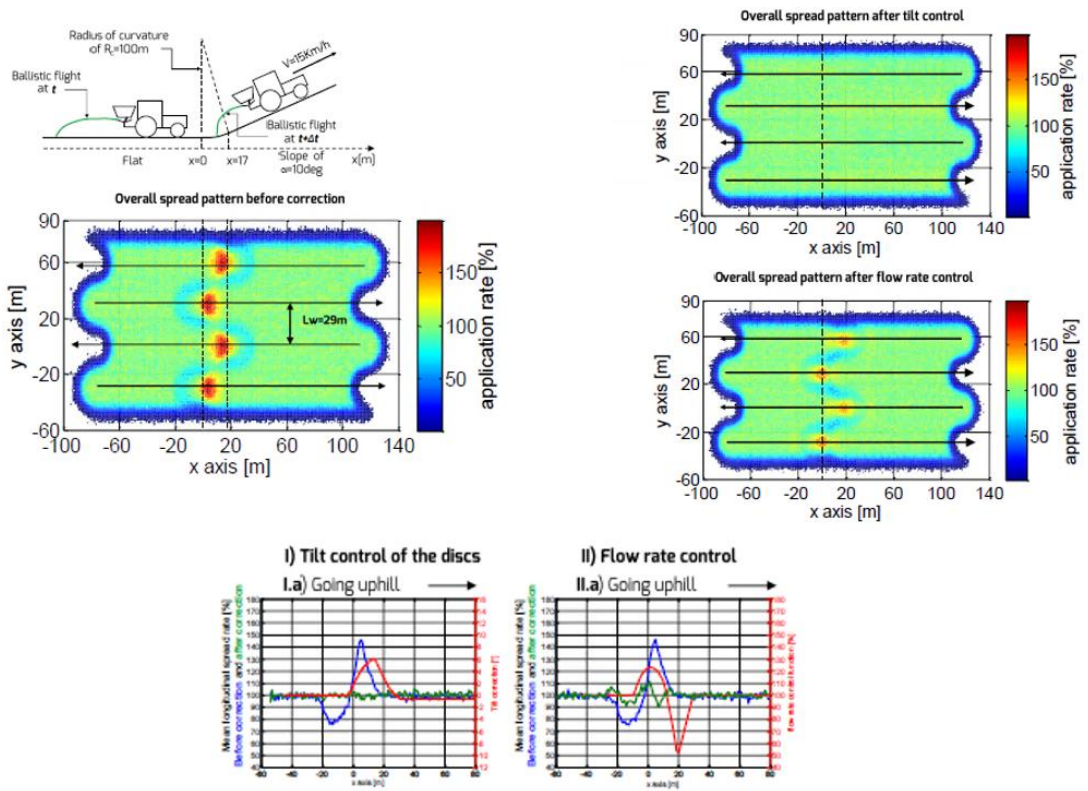


Valorisation des modèles pour isoler les sources de pertes de rendement

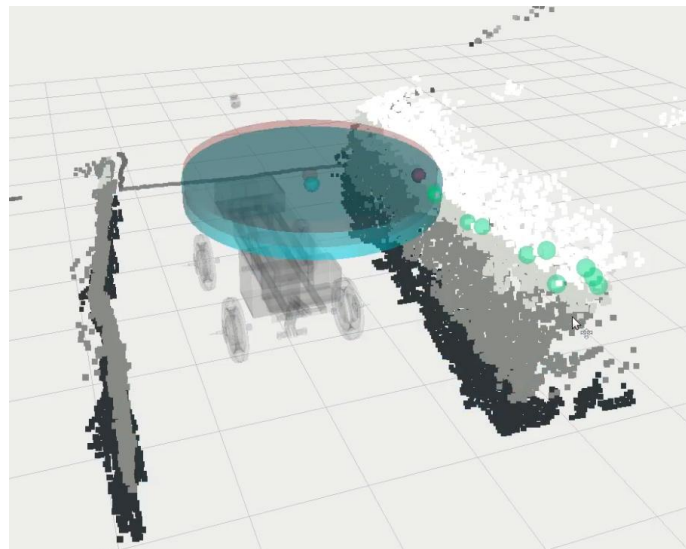


– Traitement de données et statistiques pour l'épandage

Les modèles fonctionnels d'épandage issus de mesures expérimentales au banc CEMIB, éventuellement croisées avec des analyses physiques des dispositifs d'épandage et des produits granulaires, permettent le développement de simulateurs utilisables pour l'optimisation des épandeurs, par exemple en situations spécifiques de reliefs, de vent, ou autres phénomènes perturbateurs. Les modélisations de l'environnement proche de l'épandeur, obtenues sur la base de capteurs tels que lidar, imagerie 3D, ou plus simplement les MNT (Modèles Numériques de Terrain) permettent ensuite par exemple le développement et la mise en œuvre de solutions de rétroaction en vue d'optimiser les répartitions locales de produits fertilisants (illustration ci-dessous avec deux solutions brevetées de rétroaction).



- Détections de structures selon une modalité capteur à des fins d'asservissement visuel



- Analyse et reconnaissance de l'environnement à partir de cartes (segmentation/classification)

