

Systeme de localisation et de transmission de l'information.

I - PRESENTATION DU PROJET

Résumé

Le projet de recherche s'inscrit dans un programme qui consiste à employer la technologie de communication Ultra Wave Band (UWB) pour géolocaliser des individus/objets se déplaçant en groupes/foules avec une précision de ± 20 cm, tant en milieu intérieur qu'en milieu extérieur. Les composants électroniques support de la communication entre objets est d'un coût relativement modique, permettant de géolocaliser un assez grand nombre d'objets/individus. Plus critique, nous souhaitons montrer que ces objets/individus mobiles peuvent eux-mêmes embarquer tant les éléments électroniques qui émettent que ceux qui reçoivent les signaux. Ce système embarqué permettra donc de recueillir les informations de déplacement, d'inter-distances entre objets compris comme les nœuds d'un réseau mobile. Nous pourrions éprouver la robustesse de ce système de géolocalisation sur des robots/individus humains sous contrôle et plus avant sur des moutons en déplacement spontané dans de grands pâturages. Pour cette dernière étape, nous travaillerons avec des collègues de l'INRA en charge du développement d'outils électroniques au service des éleveurs. Nos travaux s'effectueront sur des moutons au Domaine de Langlade, station d'élevage support de travaux menés par des collègues de l'INRA. Les moutons devront être équipés d'émetteurs électronique portés par des harnais avec dans une première phase des récepteurs fixes. Lors de la seconde phase, les émetteurs comme les récepteurs seront embarqués sur des moutons dans de grands parcs. Nous pourrions ainsi connaître la position et les déplacements d'animaux tant en bergerie qu'en milieu ouvert ce qu'aujourd'hui aucune technologie ne permet d'apporter. La technologie UWB pourra bien sûr s'adapter sur d'autres espèces d'animaux domestiques mais possiblement sur des ensembles de véhicules pouvant se positionner mutuellement ou encore des êtres humains se déplaçant individuellement ou en groupe. La technologie UWB ouvre aussi une perspective complémentaire, consistant à transmettre des informations soit sur les individus porteurs des composants électroniques soit sur leur environnement social et environnemental proche. Ce projet qui implique une collaboration entre plusieurs équipes de l'UFT permet d'aborder des questions de recherche tant au niveau biologique que celui de communication sans fil d'objets connectés. Il s'insère résolument dans des questions de développement d'outils électroniques de précisions au service de l'agriculture. En effet, nous concevons que ce système de géolocalisation et de communication soit manufacturable assez rapidement, à un coût assez modique, maîtrisable par un non-spécialiste en électronique/informatique et fournissant si nécessaire en temps réel les informations utiles.

Motivations

Les espèces animales ont la capacité de se déplacer en groupe et de modifier leur habitat immédiat, par la forme d'agrégats de structure variables (Parrish et al 1999), ayant dans certains cas des propriétés de protection comme les conditions adverses (Zitterbart et 2011; Gerum et al 2013) et de conservation de l'énergie qui se révèlent extraordinaires (Ancel et al 1997 ; Portugal et al 2014). Comprendre comment des individus en interagissant avec leurs congénères et leur environnement produisent des structures complexes, dynamiques dans le temps et l'espace, pose de nombreuses questions fondamentales à l'interface Biologie-Physique. De nombreuses espèces domestiques à intérêt agronomique sont des espèces grégaires ou sociales. La préservation ou le développement d'une agriculture durable suppose de valoriser des modes extensives d'exploitation des ressources. Les technologies peuvent accompagner les éleveurs dans la gestion de leurs troupeaux par un suivi en temps réels des localisations d'animaux mais

aussi d'obtention d'informations sur la santé des individus ou sur leur environnement abiotique et biotique (voir le projet e-Pasto/AGRIPIR¹ comme un exemple récent impliquant cette problématique).

Les techniques d'enregistrement vidéos grâce à des caméras à acquisition d'images ultra-rapides, de solutions informatiques d'analyses d'images ont permis de réaliser d'immenses progrès dans la caractérisation des déplacements, et des propriétés des groupes notamment chez les insectes et les poissons. Néanmoins l'acquisition de données dans des groupes de vertébrés, l'espèce humaine y compris, se déplaçant en milieux fermés ou ouverts, dans des milieux anthropisés ou naturels, s'avère encore aujourd'hui limitante car impliquant des solutions onéreuses ou trop imprécises en terme de géolocalisation.

Les travaux sur l'auto-organisation ou comportements collectifs ont montré que des structures et propriété complexes peuvent émerger d'interactions entre individus à une échelle locale. Sur la base d'une propagation spatiale des prises de décisions (suivre un congénère du proche voisinage par ex), la coordination sociale peut être assurée. Nous avons aussi expérimentalement montré que les déplacements des groupes peuvent être manipulés par le contrôle d'un seul individu (Pillot et al 2011; Toulet et al 2015). Cependant de nombreuses questions restent en suspens. Une des questions essentielles non encore résolue dans nos travaux théoriques ou expérimentaux réside dans l'identification du voisinage influençant la prise de décision d'un individu. Quel(s) voisin(s) influence(nt) un congénère et dans quelle mesure le nombre de congénères affectent la probabilité de se conformer aux voisins ? En outre, si un groupe est contaminé par des prises de décision similaires (i.e. un consensus apparaît), on peut alors considérer que les groupes représentent des réseaux. Cependant nous ne connaissons pas ou très mal comment l'information se propage au sein des groupes. Cette propagation semble aussi dépendante de la configuration des groupes, en particulier de la densité intra-groupe, probablement en raison de l'accès à l'information visuelle pour les individus.

Pour répondre à ces questions et donc valider les modèles cherchant à comprendre les mécanismes et représenter les résultats expérimentaux, nous devons lever des verrous technologiques, notamment obtenir la position des individus avec une bonne précision puisque les individus en groupe sont souvent proches les uns des autres (au contact à quelques mètres) et avec une fréquence suffisamment élevée pour obtenir des trajectoires et enregistrer les moments de changements de comportement ou de trajectoire.

Objectifs

Notre projet à l'interface électronique-Informatique-biologie repose (1) sur une préoccupation de recherche fondamentale consistant à comprendre les règles d'interaction à l'origine de la cohésion sociale et des déplacements des groupes, (2) de tester la performance et customiser de nouvelles technologies permettant de localiser des « objets » en mouvement collectif en milieu fermé ou ouvert sur des échelles spatiales assez grandes (3) de préparer les bases expérimentales et technologiques d'un projet visant à comprendre pourquoi les moutons forment des agrégats très compacts lors des fortes chaleurs qui induisent un stress physiologique (ce qui suppose d'acquérir des données physiologiques ou environnementales immédiates grâce à des capteurs embarqués) et (4) de contrôler/orienter des groupes vers des zones minimisant le stress thermique.

¹ <http://www.agripir.com/fr/e-pasto/de-quoi-s-agit-il>

Positionnement

La question de l'utilisation des outils technologiques au service de l'agriculture ou élevage de précision est un sujet de grande actualité. Ce projet qui relève de la géolocalisation de précision s'insère dans cette thématique, en utilisant des technologies permettant de collecter à distance, régulièrement, avec une manipulation peu fréquente, des informations sur des individus ou des groupes. Ces données de géolocalisation pourront être complétées dans un futur proche par des informations individuelles d'ordre comportemental, physiologique ou émotionnelle mais également concerner l'environnement de l'animal (Bocquier et al 2014). Le thème de l'agriculture de précision et agriculture digitale concerne tout particulièrement les collègues chercheur-es et ingénieur-es de l'INRA avec lesquels nous interagissons régulièrement. Nous proposons par cette collaboration entre équipes de recherche de valider des technologies de géolocalisation dans des situations équivalentes de celles d'un éleveur. Dès lors, le développement de la technologie pourra répondre à des préoccupations relevant de l'agriculture régionale, en fournissant un appui à la gestion par une transmission d'information à distance et potentiellement continue. En outre, les travaux de recherche et le développement des outils disponibles pour les futur-es utilisateurs/rices passera par une collaboration avec un-e ou des entreprises de la Région.

Pour permettre un déploiement auprès de partenaires économiques, agricoles en particulier, nous proposons de passer par un projet reposant sur la technologie de l'UWB², projet qui comporte une phase de recherche et développement et plus cruciale, une phase de défi représentée par un système d'émetteurs et de récepteurs de position mobile. Les localisations en extérieur peuvent s'acquérir sur la base de systèmes utilisant un signal radio (entre un émetteur et un récepteur), les systèmes GPS ou ARGOS. Ces derniers permettent une localisation en temps réel simultanée d'émetteurs à très grande distance, mais ils sont dépendants d'une constellation d'au moins 6 satellites. Des systèmes de correction (GPS différentiel) permettent une nette amélioration de la précision mais requiert du matériel assez coûteux. Des accéléromètres et centrale inertielle améliore la précision mais requiert un post-traitement des données complexes (Grewal et al 2001; Haddadi et al 2011; Wilson et al 2013). En outre, le radiopistage est rendu impossible si des écrans naturels ou artificiels s'interposent entre émetteurs et receveurs, a fortiori dans des immeubles.

Les systèmes reposant sur l'UWB ont pris leur essor dans les années 2000 et représentent une classe d'outils puissants pour estimer la position ou la direction dans laquelle se trouvent et se déplacent des objets ou des êtres humains, permettant aussi leur représentation sous forme d'un réseau (Killijian et al 2013). Si les données de localisation pouvant être acquises avec une fréquence assez élevée, il est alors possible d'estimer la position absolue et relative de chaque objet au sein d'un groupe au cours du temps, pour autant que la vitesse de déplacement ne soit pas trop élevée. En outre, les systèmes reposant sur de l'UWB sont assez peu coûteux et faiblement consommateurs d'énergie. Ils possèdent aussi l'avantage déterminant de pouvoir véhiculer des informations autres que celles relevant de l'estimation de la distance. Les systèmes de capteurs sans fil qui reposent fondamentalement sur un émetteur de signal et une unité de mesure, représentent une solution fondamentale (Liu et al 2007). En effet, si un système fixe est envisageable en bergerie, la nécessité de travailler sur des lieux différents dans le cadre d'une approche expérimentale (contrôle de la ressource, des effets environnementaux locaux, des tailles de groupe, passage simultané de différents groupes) et de pastoralisme impose de

² Ultra-Wide-Band wireless communication

mettre au point des systèmes souples de recueil de données, faciles à installer, délocalisables et indépendants d'une alimentation énergétique fixe.

Obtenir la localisation (centrale ou périphérique par ex) et les inter-distances entre animaux en groupe est un objectif important pour la compréhension des mécanismes de la vie en groupe et pouvant être exploré par des outils de l'analyse des réseaux. Ces données sont difficiles à obtenir. Un projet impliquant une localisation d'individus par des radars est actuellement en cours dans le cadre d'une collaboration CRCA-LAAS. Néanmoins, dans l'état actuel de nos connaissances, cette technologie ne peut réaliser le tracking que d'un individu identifié et tombe dans une impasse si les individus sont en foule et ne peuvent eux-mêmes porteurs d'une source d'identification accessible à la lecture radar. La technique RFID³ permet de connaître le voisinage d'un individu dans un groupe, mais non la distribution spatiale des congénères que ne peut être obtenue que par la géolocalisation absolue ou relative des individus. Un système UWB permet d'obtenir de telles informations sur des animaux en groupe. Des travaux de l'équipe CAB en collaboration avec le LAAS ont permis de collecter des données sur des foules de piétons. Pour cela, la solution UBISENSE a été employée. Elle repose sur un système de tags mobiles et d'ancres fixes reliées à un serveur par un réseau de câbles Ethernet. Il ne s'agit pas d'opposer ces diverses solutions ; il faut en connaître leurs avantages et limites et potentiellement combiner des solutions.

Dans la perspective de déployer des systèmes reposant sur la technologie UWB, nous proposons deux objectifs: (1) déployer un **système non filaire** permettant de géolocaliser **en indoor comme en outdoor** des individus au sein de groupes en mouvement et vérifier que la précision décimétrique se confirme sur la base d'un réseau minimal de balises fixes collectant des données envoyées par des tags embarqués; (2) de concevoir un système avec des **ancres et des balises embarquées** recueillant les données des tags avoisinantes permettant ainsi de se libérer d'un réseau de balises fixes et permettant alors la distance exacte des congénères et non seulement leur présence/absence à proche distance.

Le mouton est un bon modèle pour étudier les règles de décision individuelle, le rôle des interactions entre individus sur les décisions collectives et la façon dont les animaux se déplacent dans un milieu naturel. En effet, les possibilités de connaître les informations sur les individus, leur condition d'élevage, de composer des groupes et de travailler en milieu de pâturage contrôlé permettent d'acquérir des données nécessaires sur des comportements individuels et des interactions sociales pour modéliser la dynamique des déplacements. Cependant nous sommes limités technologiquement pour acquérir des données précises, de façon récurrente comme l'impose une analyse statistique, souple puisque les données doivent être obtenues sur plusieurs individus, dans des groupes différents et dans des lieux différents. En outre, recueillir les données en temps réel ou différé dans un temps court, sans une dépense énergétique trop élevée et avec un système mobile d'acquisition de données sont de véritables challenges. L'intégration d'accéléromètres individuels permettraient d'activer le système de géolocalisation uniquement lorsque les sujets sont en déplacement et donc de prévoir des économies énergétiques.

Lors de travaux préliminaires antérieurs, après acquisition de démonstrateurs de la société DECAWAVE, nous avons pu assembler ce matériel électronique et nous approprier les possibles méthodes pour obtenir une mesure de distance par l'UWB. Nous avons vérifié que l'erreur sur la localisation d'objets (tags) par rapport à des récepteurs fixes (tags) se situait

³ Radio Frequency Identification

effectivement entre 0 et 20 cm dans des conditions environnementales simples de lecture. Nous avons aussi implémenté le calcul de trilatération sur les données acquises. Ces premières étapes qui ont fait l'objet de deux stages de M1 d'étudiant-es sont encourageantes et pour être concrétisées par un dispositif efficace de mesures et de transmission de données, innovante par l'implémentation d'un système d'ancres et de tags mobiles requiert un travail soutenu, impliquant des spécialistes du domaine qui encadreront une personne en thèse possédant des connaissances et compétences à l'interface électronique-informatique.

Plan de réalisation

Compte tenu de nos objectifs, nous nous focaliserons sur deux points majeurs du projet soit la customisation d'une solution existante de localisation d'objets indoor, qui peuvent être embarqués sur des moutons (ou sujets humains), éprouver l'aptitude du système de géolocalisation d'individus en foule et donc de ses limites en terme de communication, de précision, de fiabilité, de distance de transmission, de la consommation énergétique, de la possibilité de recueillir en temps réel les données sur un serveur et en second lieu l'analyse des données de géolocalisation et des accéléromètres. Les accéléromètres sont maintenant couramment utilisés pour obtenir des données sur le comportement d'objets ou d'êtres vivants. En éthologie, ils sont très utiles pour recueillir des données qui peuvent informer sur le comportement des individus. Néanmoins, un référencement des données électroniques à partir d'un répertoire recueilli simultanément est obligatoire pour étalonner les données et extraire les comportements à partir du classement fiable des données. Enfin, nous travaillerons de façon exploratoire sur l'intégration d'autres capteurs en rapport avec la physiologie et l'environnement abiotique immédiat dans un système embarqué.

Il convient de noter que ce projet ne peut être conduit sans la possibilité de travailler avec une station d'élevage des moutons (ou d'une autre espèce domestique). L'équipe CAB interagit depuis plusieurs années avec le domaine du Merle située à Salon-de-Provence dans laquelle ce projet pourrait être mené. Cependant, nous souhaitons réaliser ce travail au domaine de Langlade, station sous la responsabilité de l'INRA d'Auzeville, située à proximité de l'université Toulouse III. Nous y avons déjà réalisé des travaux exploratoires sur la géolocalisation de moutons avec une solution UBISENSE en collaboration avec des collègues du LAAS et recueilli des données d'accélérométrie. Le domaine de Langlade offre la possibilité de travailler dans de grands pâturages plats, avec de nombreuses brebis et peut apporter un soutien aux travaux de recherche. Dans la suite, nous exposons les différentes étapes du projet.

1 - Customisation et mise au point d'un système de géolocalisation UWB « classique »

Nous comptons customiser l'intégration des composants électroniques dans un boîtier. Certains boîtiers feront office d'ancres, fixés sur un mat et seront alimentés par le secteur pour la première partie du projet, ou pourront être alimentés par des batteries pour la seconde partie du projet. Les tags et leurs antennes seront aussi protégés dans des boîtiers mobiles puisque portés par des sujets/objets mobiles. Les boîtiers pourront en outre accueillir d'autres capteurs (accéléromètres, centrale inertielle,...). Ce matériel devra être fixé sur un harnais ou un collier quand il sera porté par un animal/être humain.

2 - Mise en œuvre du système de saisie et de recueil des données sur le terrain

La géolocalisation suppose que des ancres soient disposées sur le terrain, en nombre minimum mais suffisant pour localiser des tags (Fig. 1). Nous travaillerons sur des superficies croissantes pour estimer le nombre d'ancres nécessaire pour couvrir ces superficies. Des ancres seront

positionnées à l'extrémité de mats dont la hauteur modifiable permettra de calculer la hauteur minimale optimale.

Dans nos premières étapes, nous envisageons de fixer nos tags sur des objets fixes ou mobiles tel que des robots dont la localisation et la trajectoire seront connues et modifiables. Ces études seront poursuivies par des mesures sur des êtres humains dans des salles ou milieu ouvert ou des moutons en étable / pâturage pour attaquer d'autres questions en rapport avec la vie en groupe telle que la forte densité, l'occultation et le positionnement des ancrs et des antennes pour optimiser la communication par exemple.

3 - Mesures, fiabilité, précision et fréquence d'acquisition (utilisation de système de géolocalisation indépendant)

Nous apprécierons le niveau d'erreur, la fiabilité ou la précision du système en disposant des tags fixes sur le terrain, en position connue. En utilisant plusieurs tags fixes mais à inter-distance variables, (min 0.5m, 1m, etc) nous pourrions apprécier dans quelle mesure le système est capable de localiser chaque tag identifié dans des situations de foules (robots, êtres humains ou moutons côte-à-côte) sans dégradation de l'information des localisations des individus qui peuvent être considérés comme des nœuds d'un réseau spatialement dynamique. Ces mesures seront réalisées sur une configuration comprenant plusieurs tags agrégés. Les distances entre ancrs, entre tags et ancrs tags seront mesurées indépendamment par des télémètres lasers ou par un système de géolocalisation GPS avec correction RTK lorsque cela est nécessaire.

Nous procéderons ensuite à des relevés de données sur des groupes de personnes ou de moutons en situation simple (deux individus, cinq individus, 10 individus, 20 individus) chacun équipé du système géolocalisation et accéléromètre. En effet, les individus eux-mêmes peuvent constituer des barrières biologiques naturelles pouvant dégrader la communication ancrs-tags. Cette communication peut dépendre de la localisation des tags, selon par exemple que le boîtier soit situé sous le cou ou sur le dos de l'animal. Nous filmerons les groupes à partir d'une tour pour connaître leur comportement sur des périodes de 15 min. Nous provoquerons le déplacement de sujets à des vitesses variables pour estimer si le système de géolocalisation est robuste à des vitesses de déplacement « élevées » ou des transitions de régime de vitesse. Cela pourra se faire avec des robots en indoor ou dans des couloirs délimités en pâturage avec des repères disposés en bordure des couloirs pour mesurer la vitesse des moutons par exemple.

4- Mise au point d'un système UWB avec tags et ancrs embarqués

L'objectif dans cette partie est plus ambitieux et constitue un véritable challenge. Il consiste à se libérer du montage d'ancres fixes spatialement. Il s'agit d'embarquer ancrs et tags sur des objets ou individus libres de déplacement et donc moins confinés. Ainsi, il devient possible de géolocaliser des individus (quelques individus dans des grands groupes) sur de grandes surfaces. Pour atteindre cet objectif, nous devons au préalable valider la capacité des ancrs mobiles à fournir des données de qualité équivalente à celles d'ancres fixes. En effet, nous faisons face à plusieurs challenges. Des ancrs positionnées à hauteur de moutons peuvent-elles communiquer avec des tags positionnés à la même hauteur? Ceci sachant que les humains ou les moutons eux-mêmes constituent des barrières, alors que dans le point 2 du projet, les ancrs seront fixées en hauteur sur des mats. Pour valider la qualité des localisations, tant au point 2 qu'au point 4, nous équiperons des tags ou des animaux porteurs de tags ou d'ancres de GPS différentiels. En outre, un tel système requiert d'alimenter les composants électroniques par des batteries très faibles consommatrices d'énergie (ce qui est une qualité des systèmes UWB), potentiellement activables que lorsque la prise de données est pertinente. En particulier, il est inutile de recueillir une information de localisation si les objets sont inertes. A l'instar de ce

que nous devons estimer dans les points précédents, nous devons travailler sur le potentiel d'acquisition de données. Cela implique la distance maximum entre ancrés et tags, la fréquence maximale d'acquisition de mesures sur un même tags, qui dépend du temps de rafraichissement du système. La géolocalisation des tags dépend donc de leur nombre à pister et de la sélection des ancrés les plus favorablement positionnées pour le calcul de la position. Cette liste de sujets à travailler n'est évidemment pas exhaustive.

Perspectives

Ce projet qui implique des partenaires spécialisés en biologie-éthologie et en électronique-informatique des objets connectés-analyse des données se propose de travailler sur la géolocalisation et l'acquisition de données sur des objets mobiles et des animaux domestiques. La question de l'acquisition des données de position et donc de décision de déplacement des objets ou des sujets voisins en groupe est un challenge. La plupart des modèles ou système ne fonctionne que le comportement des plus proches voisins permettant un échange d'information direct, sans obstacle. Hors, des données expérimentales montrent que si les plus proches voisins ont une forte probabilité de s'influencer, ce n'est pas exclusif (Toulet et al 2015). Connaître pour un conducteur ou un véhicule autonome le comportement de véhicules/drones plus distants peut s'avérer crucial ne serait-ce que pour des questions de sécurité. Cette acquisition d'information pourrait aussi permettre de comprendre dans quelle mesure la coordination dépend du nombre et de la distance topologique/métrique des voisins.

Les animaux domestiques sont très rarement utilisés sur des questions traitant des comportements collectifs ou des questions de complexité. Pourtant, ces modèles vertébrés concernés permettent d'aborder des questions biologiques centrales en rapport avec la prise de décision individuelle et collective, les propriétés émergentes, la résolution distribuée de « problèmes » et en rapport avec la biologie évolutive. En outre, les sujets en rapport avec le développement, la santé, les productions animales sont indissociables des contextes sociaux (sevrage, interactions sociales,...), les relations Homme-animal, et les rapports avec l'environnement. La possibilité de travailler dans une station expérimentale de l'INRA avec des moutons (ou d'autres modèles comme chèvres, vaches, lapins, porcs, ...) permet de travailler dans un cadre expérimental rigoureux, en utilisant des animaux ce qui est moins contraignant du point de vue éthique que de travailler avec des êtres humains et permet d'avoir accès à un nombre assez élevé de sujets et des milieux fermés (étables) ou ouverts (pâturages proches, de collines ou de montagne).

En progressant sur la question de la collecte d'information spatiale sur des animaux confinés ou en déplacement autonome dans le cadre du pastoralisme et de la transmission à distance, il est concevable d'imaginer un système de monitoring à distance, de veille durant des périodes nocturnes par exemple ou d'alerte dans le cas d'un comportement « anormal » du troupeau. En fin de ce projet, nous espérons pouvoir associer d'autres capteurs en rapport avec la santé animale (physiologiques) mais aussi environnementale. Ces données pourraient être communiquées à distance via la technologie UWB. Penser ainsi pourrait aussi permettre d'aboutir à équiper des personnes malvoyantes combinant localisation indoor comme outdoor et transmission d'informations pertinentes.

Nous souhaitons dans l'immédiat déposer un projet en rapport avec ce projet de thèse auprès de la Région Occitanie lors du prochain appel d'offre. Sachant le soutien et la valorisation de la petite agriculture et du pastoralisme, nous espérons pouvoir trouver des partenaires européens proches (Espagne, Portugal, etc) concernés par ces sujets. En outre, compte tenu du

réchauffement climatique, la mesure du stress thermique et des réponses des animaux, la recherche de solution permettant d'en réduire les nuisances sont sujets à développer des travaux dans ce domaine au niveau européen notamment.

PRESENTATION DES EQUIPES

Compétences et complémentarité

L'équipe SEPIA au sein de l'**Institut de Recherche en Informatique de Toulouse (IRIT)** dirigée par Jean-Marc Pierson, s'attache à étudier notamment les aspects énergétiques de la dissémination de données dans des réseaux afin de la rendre efficace, notamment dans les foules. L'équipe est aussi responsable de la plate-forme CloudMip et de la plateforme neOCampus de collecte et de gestion des données collectées dans le cadre de neOCampus. Enfin, l'équipe SEPIA a des expériences diverses sur la gestion des données massives (BigData) et l'utilisation de l'apprentissage pour analyser des flux de données massives, participe activement à l'axe Masse de Données et Calcul de l'IRIT. Le rôle de SEPIA sera donc d'accompagner la thèse sur les aspects collecte et analyse des données de capteurs. *Personnes impliquées* : Jean-Marc Pierson (Professeur UPS), François Thiebolt (Ingénieur de Recherche).

Daniela Dragomirescu dirige le département Hyperfréquences et Optique : de l'Electromagnétisme aux Systèmes (HOPES) au **LAAS-CNRS**. HOPES propose des solutions innovantes pour les systèmes embarqués et les systèmes autonomes, permettant à des objets interconnectés de communiquer et d'interagir avec leur environnement, comprenant des systèmes biologiques. D. Dragomirescu s'intéresse aux réseaux de capteurs sans fils, communicant en UWB, très faible consommation, en ajoutant de nouveaux services tel que la localisation ou la sécurité.

Personnes impliquées : Daniela Dragomirescu (Professeure à l'INSA), Alexandru Takacs (Maitre de Conférences UPS), Alexandre Rumeau (Assistant Ingénieur CNRS)

L'équipe Comportement collectif CAB du **Centre de Recherches sur la Cognition Animale** est spécialisée dans l'étude des comportements collectifs. Richard Bon travaille depuis plusieurs années sur les comportements collectifs et déplacements des moutons, à l'interface biologie-physique. Cette équipe possède un équipement important permettant de créer des enclos, de manipuler ces animaux, et une solide expérience pour les travaux expérimentaux sur le terrain, l'acquisition des données sur les déplacements de moutons en petits groupes et l'analyse des données de déplacement en collaborations avec des collègues physiciens. L'équipe a développé des protocoles de contrôle des déplacement collectifs chez le mouton. *Personnes impliquées* : Patrick Arrufat (Assistant Ingénieur), Richard Bon (Maître de Conférences UPS) Gérard Latil (Assistant Ingénieur CNRS).

Au sein du laboratoire **Génétique, Physiologie et Système d'Élevage (GenPhySE)**, l'équipe Informatisme et Automatismes (IA) pilotée par Edmond Ricard développe des applications pour le phénotypage des animaux domestiques. Il intervient au domaine de Langlade en concertation avec Mathias Aletru. *Personnes impliquées* : Mathias Aletru (technicien INRA), Edmond Ricard (Ingénieur de Recherche INRA)

Publications :

- 1-Ginelli F, Peruani F, Pillot MH, Chaté H, Théraulaz G & Bon R 2015. Intermittent collective dynamics emerge from conflicting imperatives in sheep herds. *Proceedings of the National Academy of the United States of America* 112: 12729–12734. <http://dx.doi:10.1073/pnas.1503749112>
- 2- Toulet S, Gautrais J, Bon R & Peruani F 2015. Imitation Combined with a Characteristic Stimulus Duration Results in Robust Collective Decision-Making. *PLoS ONE* 10: e0140188. <http://dx.doi:10.1371/journal.pone.0140188>
- 3-Michelena P, Pillot M-H, Henrion C, Toulet S, Boissy A & Bon R. 2012. Group size elicits specific physiological response in herbivores. *Biol. Lett.* 8, 537–539. <http://dx.doi:10.1098/rsbl.2012.0197>
- 4-Pillot MH, Gautrais J, Arrufat P, Couzin ID, Bon R & Deneubourg JL. 2011. Scalable rules for coherent group motion in a gregarious vertebrate. *PLoS ONE* 6(1): e14487. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0014487>
- 5-Petit O & Bon R. 2010. Decision-making processes: The case of collective movements. *Behavioural Processes* 84: 635-647. <http://dx.doi.org/10.1016/j.beproc.2010.04.009> . Guest Editors of the special section «Collective movements: Decision-making processes within groups».
- 6 - Accettura, N; Alata, E; Berthou, P ; Dragomirescu, D; Monteil, T - Addressing scalable, optimal, and secure communications over LoRa networks: Challenges and research directions; *INTERNET TECHNOLOGY LETTERS*, JUL-AUG 2018 ;
- 7- D. Dragomirescu, A. Takacs - Energy efficient wireless sensors networks; Conférence invitée : International Semiconductor Conference (CAS) 2017
- 8 – B.Benamrocuhe, A. Rumeau, D. Dragomirescu - Ultra-low power IR-UWB transceiver for wireless sensors network, International Semiconductor Conference (CAS) 2017
- 9 - A.TAKACS, S.CHARLOT, P.F.CALMON, D.DRAGOMIRESCU - VHF/UHF Kapton supported antenna for cubesat applications; International Symposium on Antennas and Propagation (IEEE-APS) 2017 du 09 juillet au 14 juillet 2017, San Diego (USA), Juillet 2017

Présentation de la thèse

Programme de travail

Durant le 1^{er} semestre de sa thèse, la personne recrutée devra s'approprier les connaissances théoriques de la technologie de type UWB et maîtriser les compétences mathématiques et trigonométriques impliquées dans la trilatération. Elle devra aussi contribuer à la conception du matériel/customisation (collier, harnais, boîtier contenant l'électronique, mats supportant les ancrés) avec l'appui des collègues techniciens et ingénieurs. En concertation avec ses maîtres de stage, elle concevra concevoir un protocole pour réaliser les travaux de terrain des points et acquérir des données.

Durant le 2^e semestre de l'année 1, le-la doctorante réalisera les travaux de terrain avec l'appui de techniciens et de stagiaires pour le suivi de robots en milieu confiné. L'acquisition des données pourra comporter des données de déplacement fournies par des accéléromètres afin d'activer utilement le recueil des données utiles à la géolocalisation. Cette partie devrait aboutir à la rédaction d'un article de la thèse. Durant le semestre suivant, le travail consistera à activer un protocole permettant de recueillir des données sur des êtres vivants (Homme, animal) en

milieu fermé et apprécier les dispositions favorables à un tracking d'individus plus ou moins agrégés. Ultérieurement, sera engagé un travail sur le suivi d'individus en situation outdoor. Cela consistera au montage des dispositifs de gardiennage, de conduite des animaux. La-le doctorante devra d'abord valider le système avec tags mobiles et ancrés fixes puis avec ancrés et tags mobiles. Pour valider nos mesures de géolocalisation, nous utiliserons en parallèle un système GPS RTK. Les expériences sur le terrain et l'analyse des données seront menées durant le 4^e semestre. Durant ce semestre, la personne recrutée participera à la pause de capteurs physiologiques ou environnementaux. L'analyse des données de géolocalisation dans les conditions du point 4 requiert de bonnes compétences en mathématique pour résoudre la question de la trilatération à partir d'un réseau d'ancres et de tags mobiles, mais aussi d'analyse du signal pour vérifier la robustesse de l'acquisition des données, de choix des ancrés « utiles » en temps réels. Nous estimerons aussi, par les situations limitantes, le nombre d'ancres mobiles nécessaires pour localiser des congénères.

Durant la dernière année de thèse, les données acquises en semestre 4 seront analysées et feront l'objet d'au moins deux articles. Durant cette dernière année, la personne en thèse présentera ses travaux à des congrès internationaux.

Perspectives professionnelles

Durant cette thèse, la personne recrutée sera impliquée dans un contexte de recherche appliquée d'ingénierie et de biologie. Elle/il travaillera au contact de personnes intéressées par des questions concernant des véhicules autonomes, l'acquisition de données dans des réseaux d'objets connectés, l'économie d'énergie dans les réseaux. Les perspectives professionnelles en recherche ou en entreprises sont vastes. La-le doctorant-e sera aussi immergé dans les questions d'agriculture de précision, d'agriculture digitale ce qui autorise la possibilité d'être recrutée ultérieurement comme ingénieur-e de recherche soit en milieu de recherche (INRA, CIRAD, etc) ou en entreprises développant des services industriels tournées vers le monde agricole notamment. Notons aussi, comme souligné dans le projet, que les compétences acquises durant la thèse pourront concerner des personnes souffrant d'un handicap ou possédant des capacités motrices ou sensorielles réduites par le grand âge ou la maladie par exemple.

Action de formation

Tout-e étudiant-e inscrit-e en thèse dans une école doctorale devra acquérir un certain nombre d'ECTS qui peuvent être disciplinaire ou professionnalisant. La participation à des écoles thématiques spécialisées en accord avec les travaux de recherche est aussi concevable. En outre, nous proposons régulièrement à nos étudiant-es en thèse de réaliser des stages dans des équipes étrangères. La participation à 1 ou 2 congrès internationaux constitue aussi des moments déterminants pour de possibles post-doctorats. Notons que la-le candidat pourra candidater à des appels DCE ou assurer des heures d'enseignements en tant que vacataires. Le volume des heures sera établi en accord avec le degré d'exigence des travaux de recherche.

Rapport avec d'autres projets structurants

L'Université Paul Sabatier soutient un projet intitulé néOCampus dans lequel les travaux proposés s'intègrent totalement. Le sujet de thèse s'intègre dans des travaux en cours menés au LAAS comme au CRCA sur la question de la géolocalisation. En outre, nous comptons déposer un projet auprès de la région Occitanie et dans ce cas, en cas de succès, le doctorant sera en

rapport avec une entreprise au moins. Nous comptons aussi travailler avec des collègues étrangers dans le cadre de projets européens.

Budget du projet hors contrat doctoral :

Participation à des congrès sur les trois années de thèse	4 500€
Achat d'un ordinateur	1 000€
Frais équipement/fonctionnement	6 500€

Financement du projet en recette :

Aide demandée à la région	41 100€
Aide demandée à la co-tutelle pour co-financement de thèse	41 100€
Aide au fonctionnement	12 000€