

Impact de la robotisation des machines sur l'activité d'un opérateur

Au cours de la dernière décennie, les robots ont investi les bâtiments d'élevage (robots de traite, d'alimentation...), et depuis peu, ils investissent les champs. L'objectif est d'améliorer les conditions de travail et d'augmenter la productivité au sein de l'exploitation.

Pour être efficaces, ces robots doivent être conçus pour s'adapter aux travaux des hommes.

Dans cette étude expérimentale menée par Irstea, les chercheurs ont montré qu'à partir de l'observation du comportement des opérateurs, il est possible de quantifier un niveau de coopération potentiel d'une personne avec un robot. L'adaptation en temps réel « robot-homme » apparaît dès lors dans le domaine du possible.

L'homme et les robots

Tous domaines confondus, les troubles musculo-squelettiques (TMS) représentent environ 8,4 millions de journées de travail perdues par an. L'un des domaines les plus touchés est le domaine agricole. Ainsi en 2016, d'après l'Observatoire économique et social de la mutualité sociale agricole, les TMS y représentent 93,3 % du total des maladies professionnelles. L'une des solutions envisagées est l'assistance à l'opérateur pour le port de charges lourdes. Elle se présente sous la forme de robots suiveurs capables de suivre l'agriculteur et de se déplacer jusqu'à un point défini tout en évitant les obstacles pouvant se trouver sur son chemin. Ces robots sont par exemple utilisés en viticulture pour assister les porteurs de caisses lors des vendanges (photo ❶).

L'interface homme machine de ce type de robot est basique. Elle se compose de quatre boutons permettant d'activer le déplacement du robot ou de le stopper. Il apparaît dans leur fonctionnement que ces robots souffrent d'un manque de communication et d'adaptation aux besoins de l'opérateur.

Cet article propose de comprendre le comportement de l'homme en le regardant travailler et interagir avec un tel robot, dans la perspective de donner à ce robot les outils pour reconnaître son partenaire et l'aider au mieux en adaptant sa communication.

Un modèle d'activité pour comprendre le couple homme-robot

L'homme et le robot sont deux entités dont le comportement est orienté par leurs buts. On les nomme agents. Ils ont à coopérer pour réaliser certaines tâches. Il existe deux types de modèle de coopération selon les capacités et la possibilité donnée aux agents de planifier les actions à réaliser : le modèle leader-assistant et le modèle partenaires-égaux. Nous proposons d'étudier dans cet article le cas du modèle leader-assistant en considérant l'opérateur comme le leader – et donc le robot comme l'assistant. Le leader a :

- à planifier son activité sur la base de ses connaissances de la tâche, de l'autre agent et de son environnement ;
- à produire un plan d'actions commun (opérateur-robot) ;
- à coordonner ses actions en communiquant avec l'assistant (le robot).

Nous proposons le modèle d'activité du leader présenté sur la figure ❶. Il décrit les activités réalisées par le leader seul ou en coopération avec l'assistant et en cas d'interférence ou non. Une interférence reflète le fait que l'objectif d'un agent particulier a quelque chose à voir avec celui d'un autre agent et que chacun peut faciliter ou perturber l'autre.



❶ Le robot suiveur (Effibot) est capable de suivre une personne en toute autonomie, d'éviter les obstacles et de porter jusqu'à 300 kilos de charge. Il est utilisé ici pendant les vendanges.

Configurer l'assistant pour que sa coopération soit optimale du point de vue du leader est l'objectif de ces travaux. Nous ne considérons donc pas la qualité du travail réalisé mais uniquement les modifications de comportement du leader et son ressenti du fait de sa coopération avec l'assistant. Identifier ces modifications demandent de comparer l'activité du leader avec et sans robot pour une tâche donnée. C'est ce que nous nous proposons de faire dans cet article en répondant aux trois questions suivantes : le leader modifie-t-il sa stratégie d'action lorsqu'il a à coopérer avec un assistant ? Comment le leader coopère-t-il en situation d'interférence ? Sa perception de l'assistant évolue-t-elle suite à ce genre de situation et comment ?

Caractérisation de la stratégie du leader

La méthode la plus simple permettant de caractériser un changement de stratégie du leader est de comparer le plan d'actions mis en œuvre par le leader avec et sans assistant. Trois indicateurs sont proposés dans la littérature dans ce but :

- Gmst (*Gestion of multiple subtask*) permet de caractériser la gestion de plusieurs sous tâches en même temps par le leader ;
- Put (*Percentage of usage time*) représente le pourcentage de temps d'utilisation d'un outil par rapport à la tâche totale ;
- Ut (*Usage of tools*) correspond à la manière dont est utilisé l'outil.

Caractérisation de la coopération avec l'assistant

Nous proposons de caractériser la coopération du leader avec l'assistant sous la forme de l'indicateur Coa (CoOperative Action). Celui-ci est défini comme suit :

- si l'assistant rencontre un problème et que le leader agit sans interaction physique :

$$Coa = \frac{1 - \text{Temps}_{\text{assistant bloqué}}}{\text{Temps}_{\text{dans la zone perturbée}}}$$

- si l'assistant ne rencontre aucun problème :

$$Coa = 0$$

- si l'assistant rencontre un problème et que le leader agit avec une interaction physique :

$$Coa = \frac{\text{Temps}_{\text{assistant bloqué}}}{\text{Temps}_{\text{dans la zone perturbée}}}$$

- si une intervention extérieure est nécessaire :

$$Coa = -1$$

On entend ici par zone perturbée, une zone propice à la création d'interférence. Si Coa vaut 1, cela signifie que le leader a adapté son comportement. S'il est compris entre 0 et 1, le leader a interagi à distance avec l'assistant. S'il vaut 0, cela signifie que le leader n'a pas rencontré de zone perturbée. S'il est compris entre -1 et 0, cela signifie que le leader a physiquement interagi avec l'assistant. Enfin s'il vaut -1, le leader n'a pas réussi à coopérer efficacement pour résoudre une interférence bloquante et a dû demander une aide extérieure.

Caractérisation de la perception de l'assistant par le leader

Dans les cas où l'assistant est un objet technologique, l'acceptabilité et l'acceptation de l'assistant par le leader peuvent être quantifiées en utilisant le test UTAUT2 (acronyme anglais signifiant théorie unifiée de l'acceptation et de l'utilisation de la technologie). Sa mise en œuvre périodiquement permet d'estimer le niveau d'acceptabilité à l'instant *t* mais aussi d'estimer sa variation dans le temps.

Évaluation de la coopération homme-robot dans le cadre d'une tâche de picking

N'ayant pas la possibilité de simuler une tâche agricole ou viticole, une tâche de picking consistant à récupérer une liste de colis stockés dans des rayonnages a été simulée. Si cette dernière appartient au domaine de la logistique, elle présente des caractéristiques similaires à certaines tâches du monde agricole et viticole telle que la collecte des caisses de raisins dans les rangs de vignes lors des vendanges. Cette tâche est généralement réalisée par des opérateurs auxquels sont mis à disposition de simples chariots à roulettes. En remplacement

de ces chariots peut être utilisé un robot suiveur. C'est dans ce contexte applicatif que sera évaluée la coopération homme-robot. Une expérimentation a été réalisée dans ce sens. Elle est détaillée dans les paragraphes qui suivent.

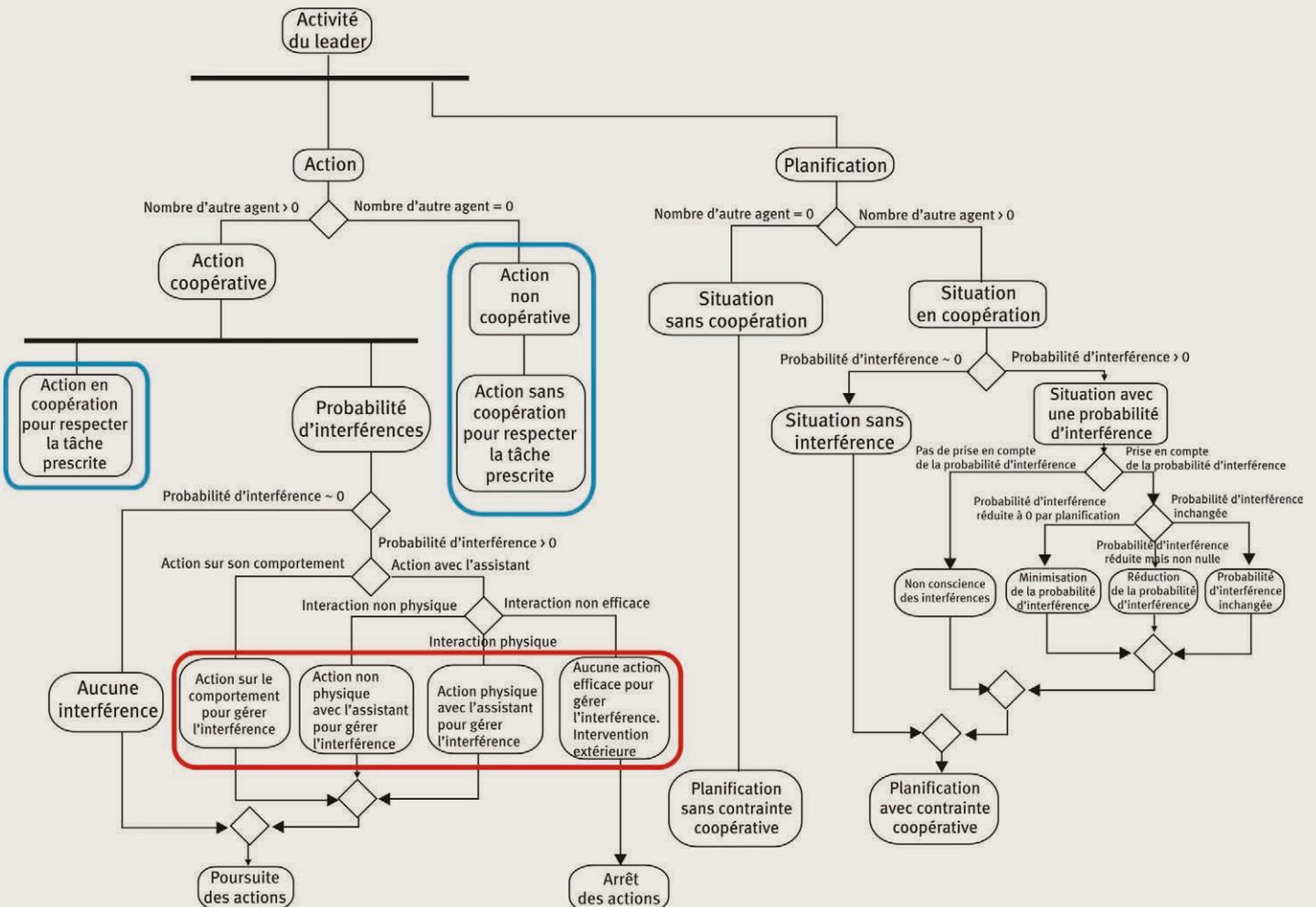
La zone expérimentale

La zone expérimentale (photo 2) est composée de quatre rangs d'étagères, identifiés chacun par une lettre (A à D). Sur chaque rang d'étagères sont stockés six colis. Chaque colis est identifié par la lettre du rang de l'étagère et un numéro correspondant à sa position dans le rang (par exemple le dernier colis du rang B est nommé B6).

Le protocole expérimental

Dans un premier temps, le niveau d'acceptabilité technologique du leader (l'opérateur) est évalué (passation du questionnaire UTAUT2). Il utilise ensuite un chariot à roulettes pour réaliser dix commandes après avoir été briefé sur la tâche à réaliser. Chaque commande est composée de cinq colis tirés aléatoirement parmi les vingt-quatre colis stockés sur les étagères. Le robot suiveur et ses fonctionnalités sont ensuite présentés à l'opérateur. L'expérimentation se poursuit par la réalisation d'une commande de familiarisation (récupérer quatre colis)

1 Modèle d'activité d'un leader dans une situation de coopération avec un assistant.



avec le robot. L'acceptation de l'opérateur est ensuite évaluée ; après quoi, il lui est demandé de réaliser dix commandes de cinq colis avec le robot suiveur sur le même principe qu'avec le chariot. Afin de provoquer des interférences, des zones perturbées, avec des obstacles plus ou moins franchissables par le robot, sont introduites dans la zone de picking lors des commandes 2, 3, 4, 5, 7, 8 et 9. L'expérimentation se termine par une dernière évaluation par l'opérateur de son acceptation du robot suiveur. La zone expérimentale est continuellement filmée.

Le robot

Le robot utilisé est présenté sur la photo ③. Il possède les mêmes capacités que les robots suiveurs proposés dans l'agriculture mais adaptées à la logistique. Il peut se déplacer à une vitesse comprise entre 0,2 et 7 km/h.

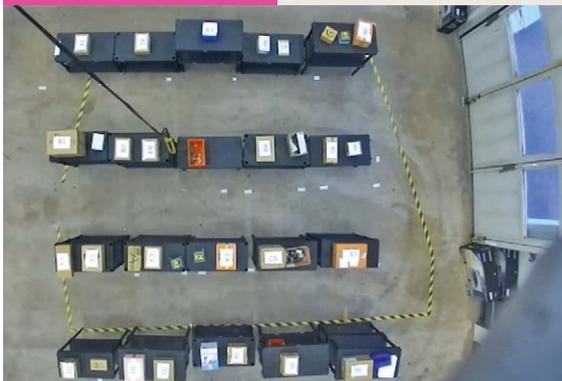
Les sujets

Vingt-trois sujets ont réalisé ces expérimentations. Ce panel était composé de huit femmes et quinze hommes âgés entre vingt-et-un et soixante-deux ans (moyenne : trente-quatre ans, écart-type : quatorze ans), tous salariés et travaillant dans des domaines différents (robotique, administratif, médical, sciences humaines et sociales, informatique...).

Calculs des indicateurs de caractérisation de la stratégie de l'opérateur et de sa coopération avec le robot suiveur

Les indicateurs de caractérisation de la stratégie du leader (Gmst, Put et Ut) précédemment définis ont été adaptés au cas étudié (tableau ①) puis calculés pour les dix commandes réalisées avec le chariot et les dix commandes réalisées avec le robot suiveur à partir des données vidéo enregistrées pendant l'expérimentation. L'indicateur de coopération (Coa) a été calculé pour les dix commandes réalisées avec le robot.

② La zone expérimentale.



© A. Couvent (Irstea)

③ Le robot utilisé.



© A. Couvent (Irstea)

① Indicateur décrivant l'activité.

Indicateur	Signification	Méthode de calcul
Gmst	Gmst est le ratio entre le nombre d'allées empruntées pour ramasser des colis et le nombre d'étagères où les colis de la commande se trouvaient.	$\alpha = \frac{\text{nombre d'allées empruntées}}{\text{nombre d'étagères avec colis à ramasser}}$ $Gmst = \begin{cases} 1 & \text{si } \alpha = 1 \\ 0 & \text{si } \alpha < 1 \end{cases}$
Put	Put correspond au temps « d'interaction rapprochée » avec le chariot ou le robot. Il permet de distinguer les cas où l'opérateur laisse le chariot ou le robot immobile pendant que l'opérateur récupère les colis des cas où l'opérateur traîne le chariot ou se fait suivre par le robot.	$\beta = \frac{\sum \text{Temps de séparation}}{T_{\text{final}} - T_{\text{initial}}}$ $Put = \begin{cases} 1 & \text{si } \beta > 0,15 \\ 0 & \text{si } \beta \leq 0,15 \end{cases}$
Ut	Ut est le ratio de temps passé à pousser le chariot ou le robot sur le temps total de déplacement du chariot ou du robot.	$\mu = \frac{\text{Temps passé à pousser le charriot}}{\text{Temps de déplacement}}$ $Ut = \begin{cases} 1 & \text{si } \mu > 0,5 \\ 0 & \text{si } \mu \leq 0,5 \end{cases}$

► Il est à noter que ces indicateurs sont calculés après avoir constaté que les sujets étaient familiarisés avec la tâche, avec le chariot et avec le robot (le sujet reproduit la même stratégie de ramassage pour deux commandes consécutives).

Résultats

L'analyse des valeurs prises par les indicateurs caractéristiques de la stratégie de l'opérateur (tableau ②) montre que six stratégies différentes ont été mises en œuvre par les vingt-trois sujets lorsqu'ils utilisaient le chariot (stratégies A, B, C, D, E et F) et seulement deux stratégies différentes avec le robot (stratégies E et G). Il est important de préciser que la stratégie G, utilisée par plus de 90 % des sujets avec le robot, n'a pas été utilisée avec le chariot. Les stratégies adoptées par les sujets convergent très majoritairement vers une stratégie unique caractérisée par la valeur nulle des trois indicateurs Gmst, Put et Ut. Ces valeurs correspondent au cas où :

- le sujet optimise son passage dans les rangées (passage dans une rangée permettant de ramasser sur deux rangs d'étagère en même temps) ;
- le sujet tire le chariot et ne le pousse pas ;
- le sujet ne laisse pas le robot en bord de rangée pour aller chercher les colis.

L'élévation du degré d'autonomie de l'assistant a donc induit une modification de la stratégie des leaders. L'intégralité des sujets a changé de stratégie et a choisi une stratégie non utilisée avec le chariot.

L'indicateur permettant la caractérisation de la coopération avec l'assistant (*Coa*) a été calculé pour vingt sujets. Le tableau ③ présente la répartition des sujets selon les

trois niveaux de l'indicateur ; niveaux caractéristiques du type de coopération mis en œuvre par le sujet.

Ainsi, on observe que 45 % des sujets présente une valeur positive du *Coa*. Cela correspond à une coopération basée sur des interactions distantes. Quarante-cinq pour cent des sujets ont choisi une coopération avec des interactions physiques ($Coa < -0,5$). Les dix pour cent restant concernent les cas où il n'y a pas eu nécessité d'interagir pour le leader.

Il n'apparaît donc pas de coopération type leader-assistant. Il n'y a, *a priori*, pas de coopération privilégiée par les leaders puisqu'il y a eu autant de sujets coopérant avec des interactions distantes que de sujets coopérant avec des interactions physiques. Ces résultats montrent cependant que le type de coopération utilisé par le leader est identifiable par l'analyse de son activité ; analyse automatisable à partir de données vidéos.

La perception du robot par le sujet a été évalué à plusieurs reprises durant les expérimentations. L'évolution de l'acceptation du robot a ainsi pu être quantifiée. Une analyse factorielle en correspondance binaire (AFCB) a mis en évidence un lien entre l'indicateur caractérisant la coopération et l'évolution de l'acceptation (i.e. la différence des scores au test Utaut2 obtenus avant et après la réalisation des dix commandes avec le robot).

La figure ② met en évidence que l'acceptation du robot croit pour les sujets ayant coopéré avec une interaction physique (G1) alors qu'elle décroît pour les sujets ayant coopéré avec des interactions distantes (G2).

Les interactions distantes correspondant à un degré plus élevé d'autonomie que les interactions physiques, l'élévation du degré d'autonomie de l'assistant a donc un impact sur la perception du leader. Par conséquent, les

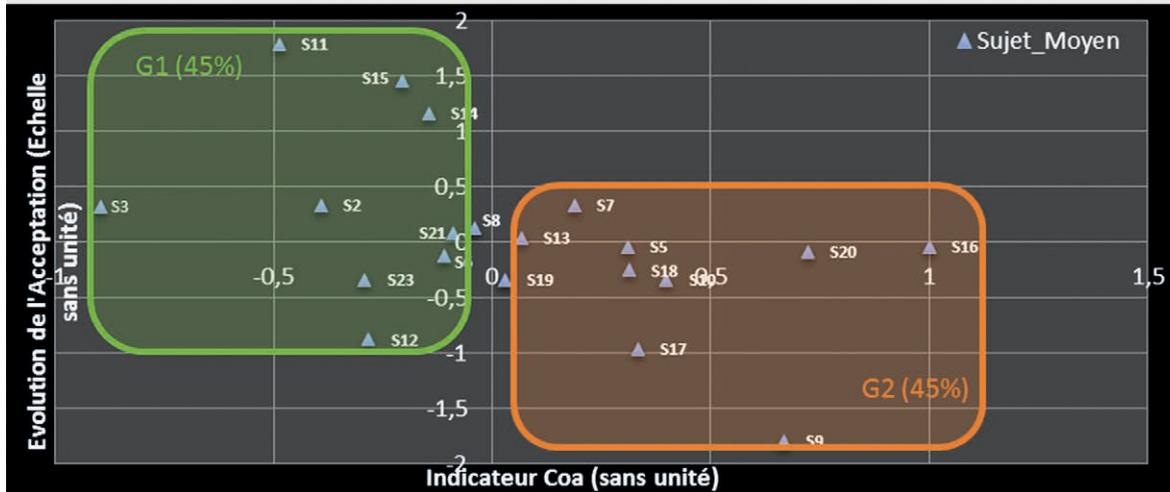
② Stratégie appliquée par les sujets lors de la dernière commande avec le chariot et avec le robot.

Indicateurs caractéristiques de la stratégie adoptée par les sujets			Stratégie	Nombre (pourcentage) de sujets ayant appliqué la stratégie	
Ut	Gmst	Put		Avec le chariot	Avec le robot
1	1	1	A	5 (23 %)	0
1	1	0	B	2 (9 %)	0
1	0	1	C	4 (14 %)	0
1	0	0	D	9 (41 %)	0
0	1	0	E	2 (9 %)	2 (9 %)
0	0	1	F	1 (4 %)	0
0	0	0	G	0	21 (91 %)

③ Répartition de l'indicateur de coopérativité *Coa* sur vingt sujets.

<i>Coa</i>	Nombre (pourcentage) de sujets
Supérieur à 0,05	9 (45 %)
Compris entre - 0,05 et 0,05	2 (10 %)
Inférieur à - 0,05	9 (45 %)

② Nuage de points des sujets en fonction du Coa (abscisse) et de l'évolution de l'acceptation (ordonnée).



leaders utilisant un degré d'autonomie de l'assistant plus élevé auront tendance à voir une acceptation qui décroît en cas d'interférence. Inversement, les leaders utilisant un degré d'autonomie de l'assistant moins élevé auront tendance à voir une acceptation qui croît.

Conclusion

Les travaux de recherche réalisés et résumés dans cet article pointent :

- les changements comportementaux des personnes ayant eu à interagir avec un robot dans le cadre de la réalisation d'une tâche ;
- le fait que ces changements puissent être quantifiés.

Ainsi, bien que les choix de stratégie de ramassage des colis soient similaires avec le chariot et avec le robot, les sujets ont eu tendance à adapter leur stratégie vers celle *a priori* la plus intuitive pour coopérer avec le robot. L'indicateur caractérisant la coopération (Coa) a permis d'identifier la manière dont le leader coopère avec le robot, mais aussi de savoir si cette coopération est efficace ou non. De plus, ces travaux ont montré qu'un lien existe entre le niveau d'acceptation du robot et le type de coopération mis en œuvre par le leader. Ainsi, lorsque la coopération se fait *via* des interactions distantes (autonomie du robot plus élevée), l'acceptation a tendance à diminuer au fil des commandes ; le leader « devient de plus en plus exigeant » avec son assistant. Alors que si la coopération se fait *via* des interactions physiques (autonomie du robot moins élevée), l'acceptation a tendance à augmenter ; l'opérateur « devient moins exigeant ».

Toutefois, ces résultats doivent être nuancés au regard des travaux réalisés ; tout d'abord, vis-à-vis du panel de sujets. Le nombre limité de sujets et leur niveau d'acceptabilité des robots au-dessus de la moyenne ont peut-être exagéré les résultats obtenus. Enfin, la phase de familiarisation n'a peut-être pas été suffisante pour certains sujets. Il n'empêche que ces résultats sont très prometteurs et vont dans le sens de la possibilité par l'observation du comportement des opérateurs de quantifier un niveau

de coopération potentiel d'une personne avec un robot. Cette capacité permettra dans un deuxième temps d'adapter les règles de fonctionnement du robot à ce niveau de coopération potentiel et ainsi adapter le robot à son utilisateur.

Enfin et pour en revenir au contexte de robot suiveur agricole, ces résultats permettent d'envisager une optimisation de la communication opérateur/robot, notamment dans le secteur de la vigne (photo ①). ■

Les auteurs

Adrian COUVENT, Nicolas TRICOT et Christophe DEBAIN

Université Clermont Auvergne, Irstea, UR TSCF, Centre de Clermont-Ferrand, 9 avenue Blaise Pascal CS 20085, F-63178 Aubière, France.

✉ adrian.couvent@irstea.fr

✉ nicolas.tricot@irstea.fr

✉ christophe.debain@irstea.fr

Remerciements

Ces travaux de recherche ont été financés par l'initiative 16-IDEX-0001 du gouvernement français IDE-ISITE (CAP 20-25 avec le soutien du conseil régional Auvergne-Rhône-Alpes et le soutien à l'Union européenne via le programme FEDER). De plus, ce travail a été soutenu par l'Agence nationale de la recherche (ANR) dans le cadre du projet de recherche Baudet-Rob2 (ANR Astrid Maturation, ANR-15-ASMA-0005).