



Compte rendu de l'expérience Spacewalk

Laure THIBERGE, Guillaume TOULLEC, Jonathan NUSSBAUMER, Thomas MATHIEU, Jean FOURÉ

I. Rappel de l'expérience

L'expérience consistait en l'étude de la marche en micropesanteur au moyen du système Spacewalk. Nous avons pour cela construit un sol en acier (matériau ferromagnétique), fixé sur une structure, elle-même en acier, venant s'adapter sur les rails à bord de l'avion.

Le système Spacewalk est une paire de semelles « intelligentes », commandées grâce à des capteurs de pression disposés à l'intérieur de la semelle, et réalisant leur fonction d'adhérence au sol grâce à des électro-aimants. Il faut ici rappeler que le choix d'effecteurs électromagnétiques s'est fait dans un but purement pratique, dans une première version du prototype. Une mise en œuvre réelle nécessiterait l'utilisation d'un système d'aspiration, de ventouse, ou de préhension miniaturisé. Il s'agissait dans cette expérience de valider simplement le concept et la possibilité de marche en apesanteur.

II. Bilan Technique

Préparation à bord de l'A300 ZeroG

Après la mise au point au sol du plancher ferromagnétique, en concertation avec les ingénieurs de Novespace pour les contraintes inhérentes à la sécurité en vol, l'installation à proprement parler à bord de l'avion n'a pas été sans difficulté. Outre l'assemblage des nombreuses pièces, la fixation sur les rails a soulevé un problème important : le couple de serrage des traverses de la structure n'était pas physiquement supporté par les tubes en acier que nous avons choisi d'utiliser. Il a donc fallu bricoler des entretoises permettant à ces traverses de résister à la contrainte normale verticale.

Une fois cette solution mise en place, le montage et la protection du sol s'est faite sans encombre, ainsi que l'installation des caméras.

Protocole expérimental

Le principe de l'expérience consistait pour l'expérimentateur à marcher sur le plancher avec les chaussures Spacewalk. Il était autonome du point de vue énergétique. Seul un câble d'acquisition le reliait à l'ordinateur commandé par un aide expérimentateur, tandis que deux câbles verticaux le reliaient au bâti du sol, lui évitant de décoller de celui-ci de manière trop importante, tout en lui permettant de se déplacer horizontalement.

L'expérience était filmée par 4 caméras :

- deux caméras au niveau du sol, sur les côtés du plancher, filmant le mouvement des jambes l'expérimentateur en début et fin de piste
- une caméra orientée à 45° face à la piste



- une caméra globale perpendiculaire, fixée de l'autre côté de la cabine, permettant une vue globale de l'expérience.

Les 4 caméras étaient équipées de grands angles.

Outre l'acquisition vidéo, nous disposions également d'une acquisition électronique du comportement interne du système (signaux des capteurs et de la commande des effecteurs), qui nous permettait d'enregistrer la combinatoire des différentes séquences de marche

Deux types de mesures étaient donc enregistrés : des données vidéo et les cycles de marche.

Mise en œuvre et résultats

Le protocole expérimental s'est déroulé comme prévu. L'autonomie électrique n'a pas été un souci, et les dispositifs de mesure ont fonctionné correctement.

Les premières paraboles ont été réalisées en statique, afin de vérifier l'adhérence correcte au sol en microgravité parfois légèrement négative. En dehors des paraboles de très grande qualité, le sujet décollait très facilement.

Ce problème est explicable par plusieurs causes :

- un sous dimensionnement des électro-aimants en nombre et en puissance. De ce point de vue, nous avons affaire à un problème technologique, dans la mesure où les électroaimants ont été choisis dans une optique d'optimisation du ratio encombrement/puissance. Pour mettre plus d'effecteur, il aurait fallu choisir une taille plus petite, donc une puissance moindre. Dans la mesure où ces effecteurs ne sont pas définitifs, ce problème n'est pas essentiel.

- la couche de peinture anti-rouille dont ont été recouvertes les plaques du sol a amoindri l'effet d'adhérence. En effet, les électroaimants ne fonctionnent correctement que si l'ensemble de la surface est en contact avec le support ferromagnétique. L'écart au contact causé par la fine couche de protecteur peut donc expliquer également le manque d'adhérence par rapport à ce qui était attendu. Encore une fois, ce problème est d'ordre technologique, donc n'est pas essentiel.

- le choix de fixation des effecteurs dans la semelle a été une erreur. En effet, l'adhérence réalisée par les électroaimants est effective perpendiculairement au support. Autrement dit, elle résiste à une traction verticale. Quand le marcheur se déplace, et sous l'hypothèse d'un fonctionnement permanent des aimants, la simple rotation d'avant en arrière du pied crée un couple sur l'électroaimant, auquel il est peu résistant. Une solution qui aurait pu être adoptée serait l'utilisation de liaison rotule entre l'effecteur et la semelle, plus cohérente avec le fonctionnement en adhérence recherché.

Cette fois-ci, le défaut n'est plus technologique mais conceptuel. Quelque soit le choix de l'effecteur, la fonction recherchée est le maintien vertical. Une liaison rotule est donc bien plus cohérente qu'une liaison encastrement, puisqu'elle libère des degrés de liberté que de toute façon l'effecteur ne peut bloquer. Il nous faut donc modifier la géométrie du système.

Ce premier problème d'adhérence, identifié en statique, existait malheureusement également lorsque le marcheur se déplaçait. Ainsi, seules les paraboles de très grande qualité (oscillation autour de la zéro gravité de très faible amplitude) permettait au marcheur de se déplacer sur le plancher. De plus, étant donné que la résistance à



l'arrachement était très faible, le fonctionnement des capteurs n'a pas pu être efficace. En effet, le concept même de l'utilisation de capteur de pression malgré l'absence de gravité effective était basé sur l'utilisation en traction du pied fixé pour venir plaquer le second pied au sol. La résistance offerte étant trop faible, il n'était pas possible au sujet de tirer sur une jambe pour venir poser le second pied au sol et venir ainsi activer les capteurs de pression, pour ainsi poursuivre le cycle de marche programmé dans le système. Nous n'avons donc pas pu mesurer les cycles de marche pour les comparer avec la chronologie de la locomotion terrestre.

Ainsi, le bilan technique de l'expérience est plutôt décevant : nous n'avons pas pu tester le fonctionnement du système complet car la fonction d'adhérence n'était correctement remplie. Cependant, les pistes d'amélioration citées plus haut permettent de faire évoluer le système assez rapidement, et de répondre ainsi au premier besoin : rester au sol !

III. Bilan Scientifique

Si le bilan technique est assez négatif, l'aspect scientifique du projet est en revanche bien plus positif. En effet, l'objectif principal de l'expérience était de valider la marche en apesanteur. Lors des paraboles à amplitude de microgravité très faible, il a été possible au sujet, au moyen d'une démarche acquise après l'entraînement et l'expérience de plusieurs paraboles, de se déplacer le long du sol sans trop de difficulté. Les effets d'inertie du corps étaient redoutés ; finalement, il demeure assez facile au marcheur de se mouvoir seulement au moyen d'une interaction des pieds avec son environnement. L'amélioration du prototype est donc encouragée par ce résultat : un prototype fonctionnant aussi bien en pratique qu'en théorie peut permettre de marcher en impesanteur.

Réaliser ce projet a été pour le groupe d'étudiants que nous sommes une aventure assez exceptionnelle. Entre cette idée que nous avons eue et l'expérimentation de chaussures pour marcher en apesanteur, le chemin a été long. De l'expérience de pensée à la réalisation pratique des chaussures, nous avons suivi un véritable démarche inventeur, jalonnée de différentes étapes, toutes enrichissantes.

Il a tout d'abord fallu confronter l'idée que l'on se faisait des chaussures à ce que nous pouvions réaliser en pratique. Nous avons appris à adapter notre projet à nos moyens et nos compétences, sans perdre de vue l'objectif initial.

Le travail en équipe a aussi été très enrichissant : nous avons formé des sous-groupe en charge de différentes parties de projet, et qui ont évolué en fonction de son avancement

L'appel aux compétences extérieures a été au cœur de notre travail : Jean-François Clervoy a pu nous éclairer quant aux besoins des astronautes, les chercheurs du LISV nous ont aiguillé vers des solutions techniques pertinentes et suggéré des applications pour la rééducation à la marche de personnes handicapées, tandis que la firme Paraboot nous a soutenu, en nous fournissant des chaussures mais aussi une expertise en matière de semelles.



IV. Bilan Pédagogique

Ce projet a également été, pour nous, l'occasion de nous confronter à la réalité de la mise en œuvre et aux nombreuses contraintes inhérentes aux vols en apesanteur. Les nombreux aspects concernant la sécurité et la solidité de l'expérience ont été sans cesse l'objet de conversations avec Novespace, dans le but de produire une expérience acceptable, compte-tenu des impératifs du vol en apesanteur et des dimensions autorisées. Notre projet a donc évolué sous l'influence de ces contraintes : en un sens, il en a été enrichi puisque notre prototype est désormais opérationnel pour une utilisation professionnelle. Nous avons travaillé sur l'autonomie énergétique, la facilité d'utilisation ainsi que sur la fiabilité du sol (notamment en matière d'écrasement des poutrelles stabilisant le sol, aidés pour cela par un technicien de Novespace) pour proposer une expérience qui réponde aux exigences de Novespace et qui puisse éventuellement être exploitée, de manière crédible, dans une station orbitale.

Le bilan pédagogique est paradoxalement d'avoir été forcés à sortir d'un cadre purement pédagogique. Que de chemin parcouru entre la présentation de l'expérience aux enseignants de l'école et le vol en apesanteur ! Nous nous sommes rendu compte que Novespace attendait beaucoup de nous, notamment en matière d'avancement régulier des travaux et de prise en compte de leurs remarques. L'été 2008 n'a pas été une période facile puisque nous étions tous partis pendant deux mois à l'étranger : nous devons simultanément rendre des comptes à Novespace concernant l'état de notre expérience. A la rentrée 2008, alors que la situation commençait à être tendue par mail, le retour en classe a naturellement permis à l'équipe de continuer le travail qui avait été interrompu avant les vacances. Nous avons bien entendu été capables de faire embarquer l'expérience, au prix de nuits de travail. Mais ce mode de fonctionnement, typiquement étudiant, a pu surprendre Novespace.

Pour conclure ce bilan pédagogique, il me semble que le plus important, au-delà des contraintes inhérentes à cette expérience hors-du-commun, est véritablement le fait que nous avons, durant ces deux semaines à Mérignac, pénétré dans un monde fascinant, qui est celui de la réalité professionnelle. Nous avons été mis en contact avec ce milieu opérationnel et nous avons rencontré des chercheurs, généreux et toujours prêts à expliquer leur manipulation ou à donner un coup de main quand nous sentions que nous touchions nos limites, et des étudiants d'autres écoles, avec lesquels nous avons lié des amitiés. Ces rencontres ont été fascinantes et nous ont permis de toucher du doigt le monde de l'aérospatiale et, finalement, de consolider notre projet professionnel en étant plongés dans un véritable défi concret. Nous remercions vivement le CNES et Novespace pour cet accueil et nous espérons que d'autres groupes enthousiastes puissent continuer cette belle aventure des vols paraboliques étudiants.