

PROJET AU BACCALAURÉAT S-SI

La voix de l'autonomie

ALI SEKAI, BENOÎT CURRI [1]

Commande vocale et géolocalisation sont les points forts de ce projet mêlant sciences industrielles, mathématiques... et finalité sociale, puisque son ambition est d'accroître l'autonomie des personnes atteintes d'un handicap moteur lourd grâce à un système de commande adéquat de leur fauteuil roulant électrique.

Le projet interdisciplinaire constitue un nouvel enseignement dans la réforme du programme de sciences de l'ingénieur de la série S. Ce projet a de nombreuses conséquences, autant d'un point de vue organisationnel (intégration des 70 heures dans l'année, avec un professeur d'une autre discipline, etc.) que pédagogique (travail en équipe, transversalité des apprentissages, etc.). Aussi, pour que le projet puisse être mené correctement, le support sur lequel il s'appuie doit répondre à de nombreuses contraintes :

- Privilégier les ressources et moyens matériels existant dans l'enceinte du lycée, ou, à défaut, faire appel à des moyens mobilisables par mutualisation des équipements.
- Permettre aux élèves de suivre une démarche d'ingénierie précise, qui puisse être anticipée par les professeurs pour pouvoir être évaluée efficacement et équitablement.
- Motiver les élèves et les laisser s'épanouir en visant leurs centres d'intérêt personnels, afin de faciliter le déroulement du projet, mais également et surtout qu'ils puissent devenir acteurs de leurs apprentissages, et ainsi construire leurs savoirs au travers des situations de recherche.
- Permettre aux professeurs de suivre une démarche pédagogique dont les élèves bénéficieront en termes de renforcement des compétences visées, en sciences de l'ingénieur, mais également dans la discipline associée.

À Au lycée Jules-Ferry de Coulommiers en Seine-et-Marne, une équipe pédagogique, constituée de trois professeurs dont deux de sciences de l'ingénieur et un de mathématiques, a mené un projet pluritechnique encadré (PPE) avec trois élèves de terminale S-SI : le pilotage vocal d'un fauteuil roulant à propulsion électrique (FRE) pour handicapé moteur [1]. C'est ce PPE qui servira de base à notre proposition d'un projet interdisciplinaire mettant fortement à contribution les mathématiques. Cette proposition suit les quatre prin-

mots-clés

démarche
pédagogique,
prébac, projet

cipales phases du projet, l'initialisation, la préparation, la réalisation et la clôture [2], et permettra de se placer alternativement du point de vue des élèves (problématiques scientifiques et techniques) et de celui des professeurs (point de vue didactique et pédagogique).

La phase d'initialisation

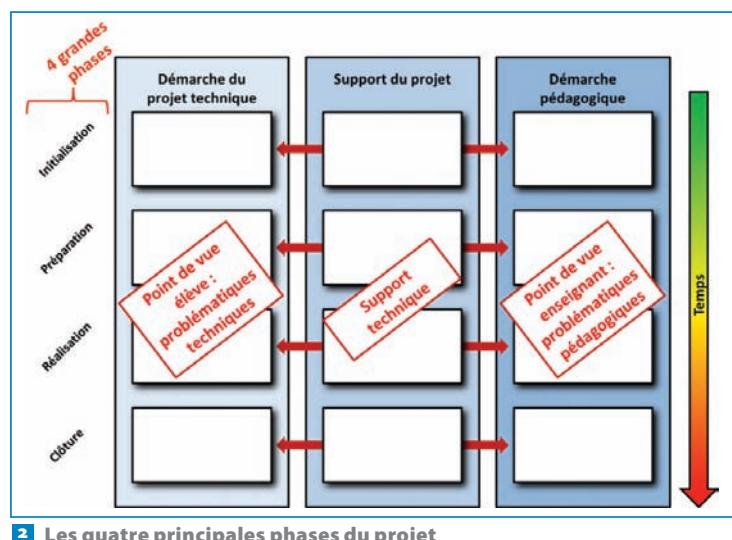
La phase d'initialisation est l'étape d'ouverture permettant de trouver le support sur lequel va s'appuyer tout le projet. Elle se déroule dans le trimestre qui précède la mise en œuvre du projet et n'est pas incluse dans les 70 heures imparties à celui-ci. Dans notre cas, elle dure environ 5 heures.

Du point de vue des enseignants, c'est une étape clé, car elle permet aux élèves de s'ouvrir vers l'extérieur et de sortir de la routine en s'intéressant à des besoins engendrés par des problématiques sociétales.

La recherche d'un thème et l'identification d'un besoin constituent les prémisses du projet. L'équipe de profes-



[1] Un fauteuil roulant à propulsion électrique



[1] Professeurs agrégés de sciences de l'ingénieur en série S au lycée Jules-Ferry de Coulommiers (77), et ingénieurs diplômés de l'École nationale supérieure d'arts et métiers (Ensam).

seurs propose aux élèves, lorsque c'est possible, de se rendre auprès de personnes extérieures (dans les entreprises, associations, communautés, etc.) afin d'identifier de réels besoins. Cette mise en contact directe permet aux élèves de s'impliquer physiquement et de s'immerger entièrement dans le projet, et ce, dès le début.

Pour notre PPE, les trois élèves associés au projet se sont rendus à la maison d'accueil spécialisée Arc en ciel du centre hospitalier René-Arbeltier de Couloommiers. Ils ont pu y constater les réelles difficultés liées aux divers handicaps, et recueillir les points de vue d'ergothérapeutes et du personnel soignant. Ils ont donc choisi de s'investir dans le domaine de l'autonomie des personnes atteintes d'un handicap moteur.

Des recherches plus approfondies leur ont permis de relever quelques chiffres clés pour justifier le choix du projet :

- Environ 25 000 paraplégiques et tétraplégiques étaient recensés en France en 2004.
- Les personnes atteintes de ces handicaps sont généralement très jeunes : près de la moitié ont moins de 25 ans.
- Environ 20 % des personnes atteintes de ces handicaps vivent seules, très souvent en milieu urbain.
- L'accroissement annuel de personnes atteintes de handicap moteur est de 1 500 à 2 000, dont 45 % à handicap lourd nécessitant l'utilisation d'un fauteuil.
- Près de 77 % ont une activité extérieure, et 22 % pensent que les infrastructures sont inadaptées.

Forts de ces constats, les élèves ont pu mener une analyse des systèmes de commande existants pour les FRE : la commande « traditionnelle » par joystick, facile à mettre en œuvre et peu coûteuse, mais inadaptée en cas de paralysie de la main ; les commandes « alternatives » par la bouche (souffle et aspiration), par les mouvements de la tête ou par joystick au menton, contraignantes à utiliser car demandant un certain entraînement ; les commandes en cours de recherche & développement, telles que le contrôle par la pensée ou par les mouvements oculaires.

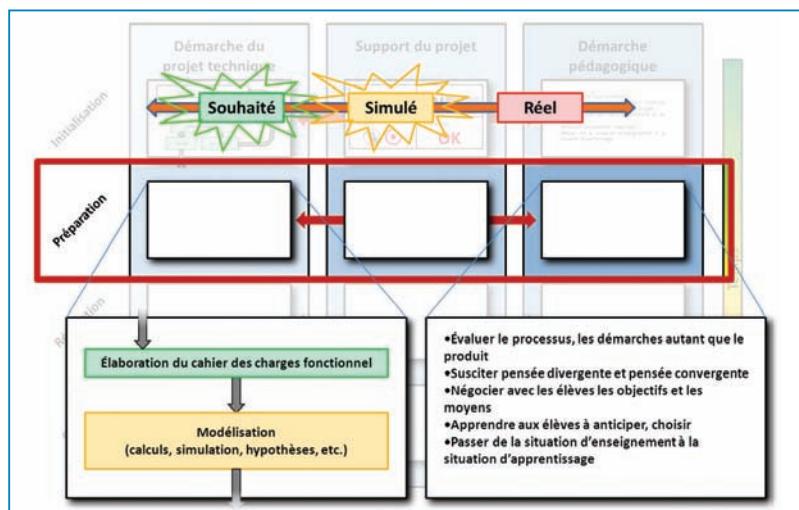
Les élèves ont donc proposé d'implanter sur un FRE existant une commande « par la voix » **3**. Se substituant au joystick nécessitant un effort musculaire, elle permettrait d'évoluer efficacement dans un environnement au quotidien, notamment avec deux types de pilotage : « séquentiel », pour guider le fauteuil oralement par des instructions précises (« avance », « recule », « gauche », « stop », etc.) ; par « géolocalisation », permettant au fauteuil d'évoluer dans un environnement défini (un logement par exemple) en suivant des instructions toujours orales mais globales (« aller dans la cuisine », « aller dans la chambre », etc.).

S'est ensuite suivie une étude de faisabilité, brève mais indispensable à la validation du projet. Il ne s'agissait pas de développer la solution technique, qui était le contenu même du projet, mais plutôt de vérifier rapidement si les problèmes identifiés pouvaient trouver des solutions avec les moyens et les techniques à disposition. Il était *a priori* possible de développer un système de géolocalisation et un système de reconnaissance vocale tout en respectant les normes de sécurité associées aux FRE (ISO 9999), le projet a donc semblé réalisable et a été adopté.

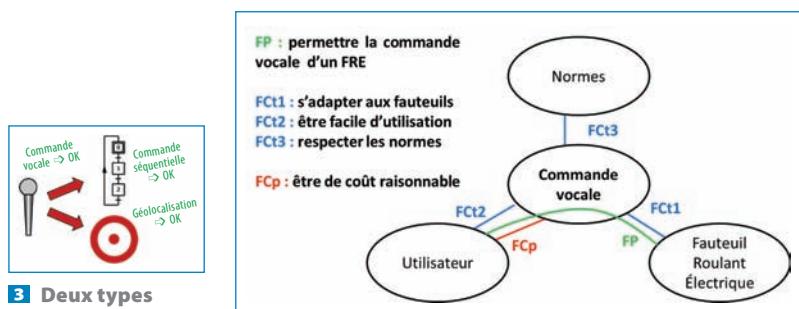
La phase de préparation

Durant cette partie du projet, les élèves doivent élaborer le cahier des charges **4** et modéliser le ou les problèmes auxquels ils sont confrontés. Ils mènent tout d'abord des analyses fonctionnelles externe et interne pour définir les besoins et contraintes techniques liés au fauteuil.

L'étude débute par la réalisation d'un diagramme des interacteurs pour situer le produit dans son environnement, et ainsi définir cinq fonctions de service



4 Les activités de la phase de préparation du projet

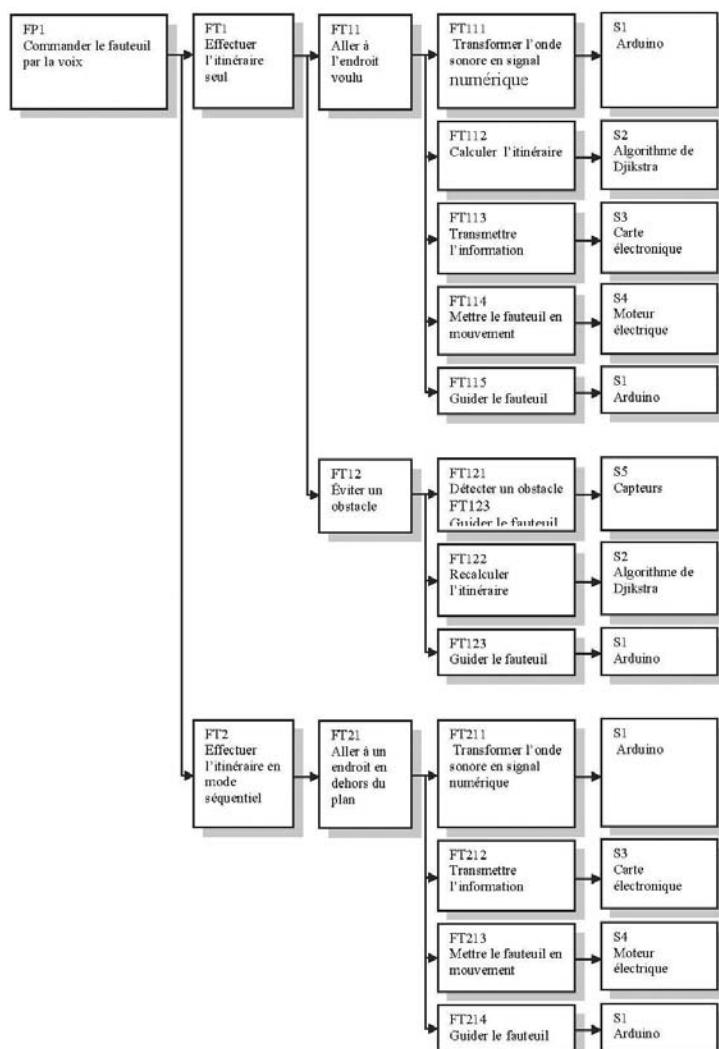


5 Le diagramme des interacteurs du fauteuil

(la fonction principale FP, 3 fonctions contraintes FCt et 1 fonction complémentaire FCp) **5**.

☞ Même si, comme son nom l'indique, la fonction complémentaire « être de coût raisonnable » n'est pas obligatoire, les élèves ont tenu à l'intégrer au projet, étant donné qu'un FRE coûte déjà en moyenne plus de 18 000 € sans option, et que le remboursement n'excède pas 5 200 €.

Ces fonctions de service ayant abouti à des fonctions techniques après l'élaboration d'un diagramme FAST **6**, les trois élèves se sont réparti le travail afin de gagner en autonomie et en efficacité. Ils ont ainsi pu définir six tâches **7** ; la répartition s'est faite de manière que chaque combinaison de binôme aborde deux tâches.



6 Le diagramme FAST de la commande vocale du fauteuil

Cette organisation est plutôt souple, ce qui est un aspect positif dans la démarche de projet. En effet, non seulement elle permet de s'affranchir des contraintes techniques qui peuvent survenir durant la phase de réalisation (délais pour d'éventuelles commandes, rectifications à mener en cours de route, etc.), mais elle oblige également chaque élève à avoir une vision d'ensemble du projet et à s'organiser pour envisager un travail collaboratif.

Le cahier des charges étant défini et le travail réparti, les élèves doivent alors présenter leur avancement lors de la première revue de projet, qui, rappelons-le, est menée par les deux professeurs qui encadrent le projet et compte pour 16 % dans la note de projet.

Les élèves doivent ensuite s'attaquer à la définition des solutions techniques, abordées durant la 3^e phase du projet. Nous en sommes alors à mi-parcours, soit à un volume horaire total de 35 heures.

Le pilotage par géolocalisation nécessite un traitement de l'information de position par balisage et triangulation pour choisir le plus court itinéraire entre une position actuelle du fauteuil et la position ciblée. Cet algorithme de *pathfinding* dit de Dijkstra (du nom du mathématicien et informaticien néerlandais qui l'a inventé en 1959) est très largement utilisé dans un grand nombre de systèmes de navigation par GPS (Mappy, TomTom, ViaMichelin, etc.).

L'algorithme dans sa forme la plus simple considère des nœuds, qui correspondent à des lieux géométriques parfaitement localisés, et des poids associés aux nœuds et liaisons correspondant à la longueur du chemin parcouru. Le but est de déterminer le chemin de poids le plus faible entre la position de départ et celle ciblée. Le principe de fonctionnement de l'algorithme est abordé dans la phase suivante du projet, dite de réalisation.

La phase de réalisation

Cette phase consiste à choisir une solution de manière collégiale et à en évaluer les caractéristiques et performances par rapport au cahier des charges initial **8**. Cette étape nous met face à la difficulté de maîtrise des connaissances et pratiques techniques, qui implique de nécessaires capacités de réinvestissement de solutions techniques identifiées et disponibles, de travail collaboratif et d'anticipation du cheminement à venir.

☞ Les élèves en charge du projet ont préalablement défini six aspects à traiter :

	Interface homme-machine	Algorithme de déplacement	Algorithme « des obstacles »	Radars	Carte électronique	Pilotage
Élève 1		X	X	X	X	
Élève 2	X			X	X	X
Élève 3	X	X	X			X

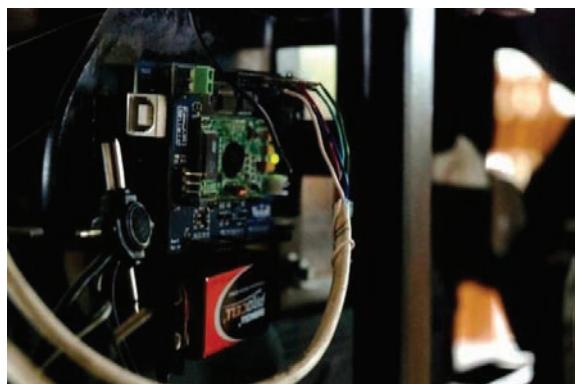
7 La répartition des tâches du projet

La carte électronique de commande
L'interface homme-machine (IHM)
L'interface entre la carte de commande et la motorisation du fauteuil
La détection d'obstacles (dynamiques ou statiques) à la progression du fauteuil
Le pilotage séquentiel
Le pilotage automatique par géolocalisation
Les choix technologiques retenus sont présentés dans le tableau 9.

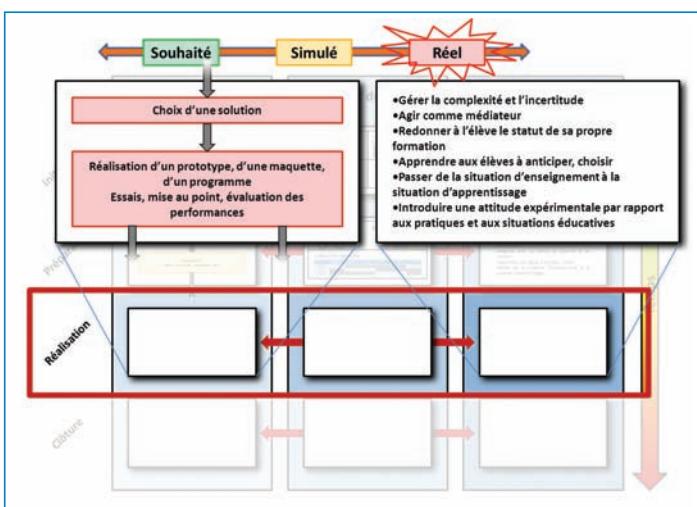
L'interface de puissance utilisée en premier lieu était une carte volumineuse, disponible parmi les consommables du lycée, travaillant par optocouplage et disposant d'une rangée de 8 relais à contacts. Cette carte était associée à une alimentation externe à tension stabilisée branchée sur le secteur. Afin de miniaturiser le système, les élèves ont choisi d'utiliser une nouvelle carte à relais statiques. Ils ont ainsi pu réduire le nombre de relais, passant de 8 à 4, un pour chaque fonction du fauteuil : avancer, reculer, tourner à gauche

et à droite. La nouvelle carte, trois fois plus petite, a été associée à une pile de 9 V 10, également utilisée pour la carte de commande Arduino (lire « Arduino : Une carte pour vos projets », p. 84).

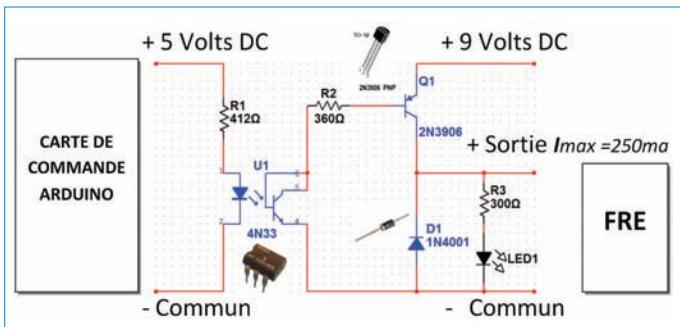
L'interface choisie permet d'isoler galvaniquement les deux circuits afin de les protéger en cas de défaillance 11. Cette interface a été complétée par des dels en sortie pour contrôler visuellement et rapidement, à tout instant, la bonne transmission des ordres de commande à la motorisation.



10 La nouvelle carte à relais statiques associée à une pile de 9 V



8 Les activités de la phase de réalisation



11 L'interface entre la carte électronique et le fauteuil

Aspect traité	Choix retenus	Justifications
Carte électronique	Carte Arduino Uno	Carte peu onéreuse <i>Open source</i> Maintenance facilitée
IHM	Carte EasyVR	Carte peu onéreuse Qualité de la reconnaissance vocale Largement utilisée en robotique
Interface de puissance	Développement d'une carte maison	Alimentation autonome obligatoire Gabarit réduit
Détection d'obstacles	Capteurs de proximité (2 à l'avant + 1 à l'arrière) Mise en arrêt d'urgence	Commande TOR Adaptable facilement à la carte de commande
Pilotage séquentiel	Nombre d'ordres limités	Faciliter la programmation Faciliter l'utilisation Limiter les erreurs de reconnaissance vocale
Pilotage automatique	Suivant l'algorithme de Dijkstra	Largement reconnu et utilisé pour les GPS et calculateurs d'itinéraire sur le Web

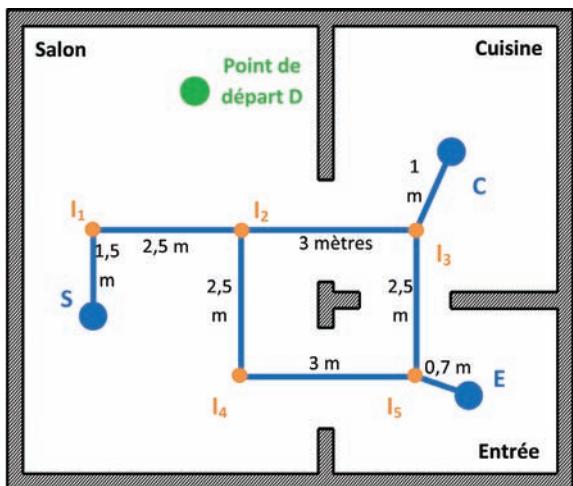
9 Les choix technologiques retenus

Le courant nécessaire pour faire fonctionner ces relais qualifiés de statiques est significativement plus faible que pour des relais mécaniques à contacts. De plus, ces dispositifs sont nettement moins chers que les relais classiques dans de nombreux cas, puisque les optocoupleurs (4N33) coûtent moins de 1 €. La diode D1 en sortie est de type 1N4001 ; diode de roue libre, elle évitera d'éventuelles surtensions au niveau du transistor Q1 générées par des courants inductifs provenant du fauteuil.

Le pilotage séquentiel a nécessité une programmation simple de la carte de commande, notamment pour le dépannage. La fonction « *maintenance mode* » facilite la maintenance du système EasyVR de reconnaissance vocale. Pour accéder à ce mode, il est nécessaire de connecter la carte Arduino à un ordinateur. À l'aide du logiciel Arduino, en utilisant le « *Serial Monitor* », une connexion s'établit vers la carte, qui se met en mode maintenance (entièremment en anglais), permettant notamment de définir les messages d'erreur.

Enfin, l'algorithme de déplacement de Dijkstra a permis aux élèves de développer des compétences mathématiques et d'amorcer des réflexions intéressantes de tous ordres.

Considérons l'exemple concret d'un logement trois pièces 12. À chacune des pièces correspond un « nœud



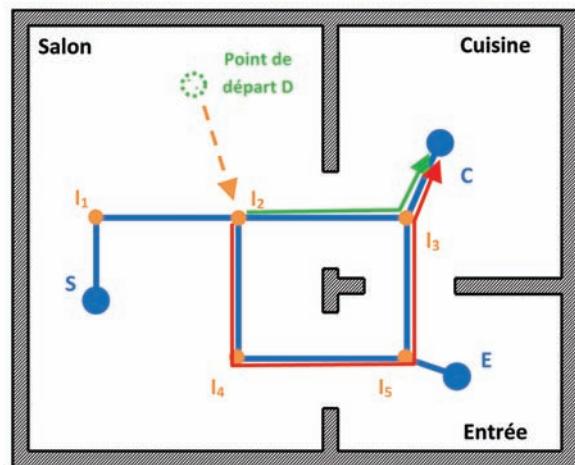
12 L'application de l'algorithme à un logement trois pièces

cible » (en bleu), c'est-à-dire un point de référence que l'utilisateur souhaite atteindre en utilisant le système de pilotage automatique. Un réseau de chemins préétabli (en bleu) entre les nœuds cibles est repéré par des nœuds intermédiaires (en orange). Il est nécessaire de définir ce réseau pour pouvoir circuler correctement dans l'appartement (prise en compte de l'agencement, des encadrements des portes, etc.).

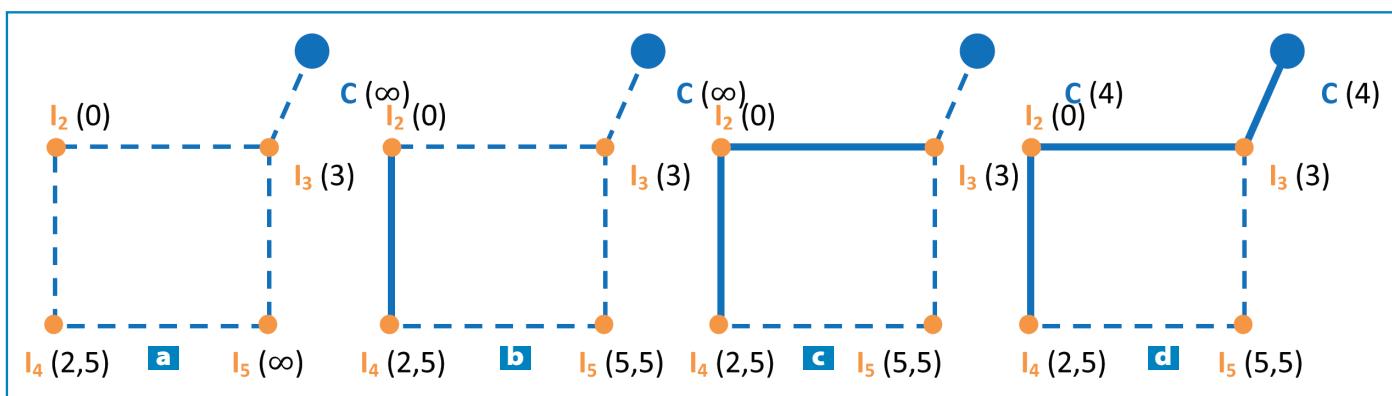
Développons l'exemple où l'utilisateur, en mode automatique, souhaite se rendre d'un point de départ vers la cuisine. Le fauteuil cherche donc à savoir comment aller du point D vers le nœud cible C en prenant le chemin le plus court 13.

La 1^{re} étape consiste à s'inclure dans le réseau préétabli. Pour ce faire, le fauteuil va devoir choisir le nœud cible ou intermédiaire le plus proche situé dans la même pièce. Le fauteuil aura donc le choix entre le nœud cible S et les 3 nœuds intermédiaires I₁, I₂ et I₄. Connaissant les coordonnées cartésiennes de chaque point, le fauteuil choisira de rejoindre le nœud I₂.

La 2^e étape consiste à déterminer le chemin le plus court pour aller du nœud I₂ au nœud C en utilisant l'algorithme de Dijkstra. Deux solutions sont alors possibles (repérées en vert et en rouge sur la figure 13). L'algorithme va procéder comme suit :



13 L'inclusion dans le réseau



14 Les étapes de la détermination du plus court chemin

● Chaque nœud adjacent au nœud de départ I_2 se voit attribuer un poids, correspondant à la distance le séparant de I_2 . Tout nœud non adjacent (c'est-à-dire non relié au nœud de départ par un chemin direct) possède un poids infini **14 a**.

● Le nœud I_4 ayant le poids le plus faible, l'algorithme commence par cette voie. Ce passage mène alors au nœud I_5 ($2,5 + 3 = 5,5$) **14 b**.

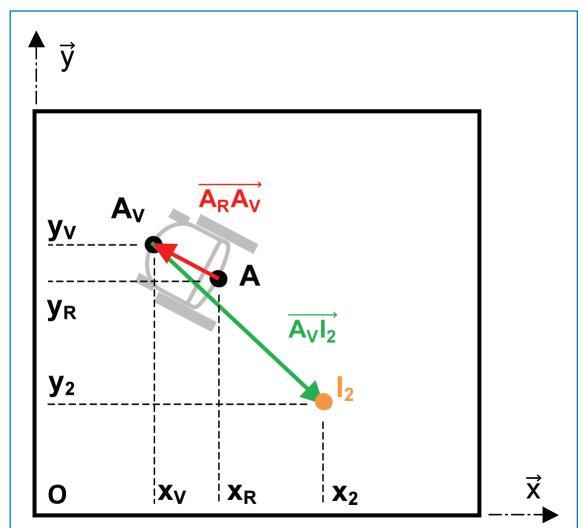
● Dans cette situation le nœud I_3 a le poids le plus faible ($3 < 5,5$), l'algorithme calcule donc cette solution, menant à I_5 (dont le poids ne change pas) **14 c**, puis à C ($3 + 1 = 4$) **14 d**. L'algorithme a alors déterminé le chemin le plus court. Il s'agit de l'itinéraire initialement repéré en vert, passant par le nœud I_3 et mesurant 4 mètres.

La 3^e et dernière étape consiste à faire suivre au fauteuil le chemin qui vient d'être calculé grâce à la géolocalisation. Les élèves ont décidé d'implanter 2 émetteurs sur le fauteuil (1 à l'avant et 1 à l'arrière), car il faut pouvoir repérer non seulement sa position, mais également son orientation **15**.

Là encore, prenons l'exemple où le fauteuil, partant du point de départ D, souhaite se rendre au nœud intermédiaire I_2 (l'exemple reste valable quels que soient les nœuds que l'on souhaite rejoindre). Notons A_v et A_r les émetteurs qui se trouvent respectivement à l'avant et à l'arrière du fauteuil. Il est alors possible, grâce à la géolocalisation, de connaître dans un repère orthonormé (O, \vec{x}, \vec{y}) les coordonnées cartésiennes des 2 émetteurs en plus de celles du nœud I_2 (préalablement enregistré dans le programme) ; ces coordonnées seront notées $A_v(x_v, y_v)$, $A_r(x_r, y_r)$ et $I_2(x_2, y_2)$.

Pour que le fauteuil soit orienté vers le nœud à atteindre, il y a deux conditions à satisfaire :

- Les points A_r , A_v et I_2 doivent être alignés (réglage de la direction du fauteuil).
- Le point A_v doit se situer entre les points A_r et I_2 (réglage du sens du fauteuil).



15 La géolocalisation et l'orientation du fauteuil

Pour ce faire, les vecteurs $\overrightarrow{A_r A_v}$ et $\overrightarrow{A_v I_2}$ doivent être colinéaires et orientés dans le même sens, c'est-à-dire que $\overrightarrow{A_r A_v} = k \cdot \overrightarrow{A_v I_2}$ avec $k \in \mathbb{R}^{+*}$. Nous pouvons donc en déduire le système suivant :

$$\overrightarrow{A_r A_v} = k \cdot \overrightarrow{A_v I_2} \text{ avec } k \in \mathbb{R}^{+*}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} x_v - x_r = k \cdot (x_2 - x_v) \\ y_v - y_r = k \cdot (y_2 - y_v) \\ k > 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow (x_v - x_r) / (x_2 - x_v) = (y_v - y_r) / (y_2 - y_v) > 0$$

Notons que cette dernière relation ne peut s'écrire que si $x_2 - x_v \neq 0$ et $y_2 - y_v \neq 0$. Les cas où l'une de ces inégalités n'est pas vérifiée correspondent aux cas particuliers où le fauteuil est déjà aligné « verticalement » ($x_2 = x_v$) ou « horizontalement » ($y_2 = y_v$) avec le nœud à atteindre. La vérification est alors différente :

- Si $x_2 = x_v$, le fauteuil aura une bonne direction et un bon sens quand

$$\begin{cases} x_2 = x_v = x_r \\ (y_v - y_r) / (y_2 - y_v) > 0 \end{cases}$$

- Si $y_2 = y_v$, le fauteuil aura une bonne direction et un bon sens quand

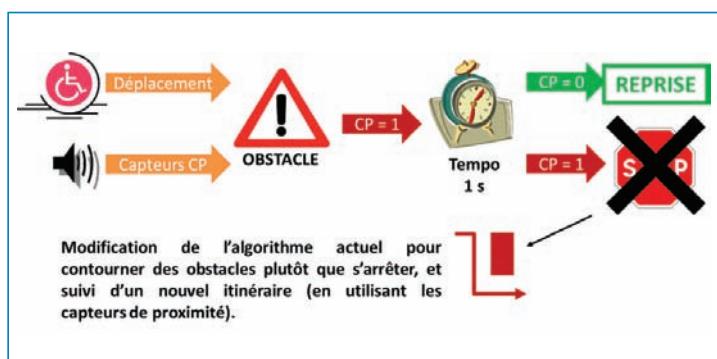
$$\begin{cases} y_2 = y_v = y_r \\ (x_v - x_r) / (x_2 - x_v) > 0 \end{cases}$$

Cet aspect de l'étude, fortement empreint de mathématiques, nécessite la mobilisation du professeur de mathématiques. Il aboutit à l'élaboration d'un premier algorithme, qui nécessite quelques optimisations liées aux contraintes technologiques de la commande par microcontrôleur.

Une fois les solutions mises en œuvre, les élèves se présentent à la seconde revue de projet, qui, rappelons-le, est menée par deux professeurs qui encadrent le projet et compte pour 34 % dans la note de projet. À ce stade, environ 65 heures se sont écoulées.

La phase de clôture

À cette étape, les élèves synthétisent leurs résultats et livrent leurs conclusions par rapport aux problématiques rencontrées. Prises de décisions collégiales et travaux individuels et collectifs apparaissent en un tout indissociable. C'est également la phase durant laquelle les élèves remettent leur travail en question, notamment en reconstruisant les erreurs, mais également en pensant à l'après-projet et aux différentes perspectives d'évolution.



16 La remise en cause des solutions adoptées initialement

Les trois élèves concernés par le projet ont remis en cause les solutions adoptées, par exemple le choix du traitement de la détection d'obstacle **16**. En effet, ils ont initialement programmé la carte pour que le fauteuil se mette automatiquement en arrêt d'urgence en cas de détection d'un obstacle, mais ont finalement imaginé une solution de contournement à l'aide de capteurs de proximité.

Ont également germé d'autres idées aux perspectives d'avenir utilisant la géolocalisation par trigonométrie inversée, méthode développée par la Ouffed Team (équipe ayant participé à la Coupe de France de robotique en 2006 et 2007) permettant d'obtenir des positionnements très précis (de l'ordre du centimètre), et donc adaptés à une utilisation en intérieur, comme spécifié dans le cahier des charges.

Des calculs géométriques, mobilisant des compétences mathématiques, permettent de relier les différents paramètres d'angles et de dimensions de la figure **17**. Les équations (1), (2), (3), (4) et (5) ci-dessous servent à la détermination de la position actuelle du fauteuil par des calculs en temps réels effectués par le microcontrôleur embarqué. Celui-ci renseigne immédiatement l'algorithme de Dijskra, qui peut donc définir l'itinéraire adéquat jusqu'à la position ciblée.

$$x = a \cdot \cos(i) \quad (1)$$

$$y = (OA) - a \cdot \sin(i) \quad (2)$$

$$a = [w / \sin(\alpha)] \cdot \sin(j) \quad (3)$$

$$i = \arccos \left(\sqrt{\frac{\left(\frac{v}{\sin(\beta)} \cdot \cos(r - \beta + \frac{\pi}{2}) + \frac{w}{\sin(\alpha)} \cdot \cos(\alpha - \pi) \right)^2}{\left(\frac{v}{\sin(\beta)} \cdot \cos(r - \beta + \frac{\pi}{2}) + \frac{w}{\sin(\alpha)} \cdot \cos(\alpha - \pi) \right)^2 + \left(\frac{v}{\sin(\beta)} \cdot \sin(r - \beta + \frac{\pi}{2}) + \frac{w}{\sin(\alpha)} \cdot \sin(\alpha - \pi) \right)^2}} \right) \quad (4)$$

$$j = \arccos \left(\sqrt{\frac{\left(\frac{u}{\sin(\theta)} \cdot \cos(s - \theta + \frac{\pi}{2}) + \frac{w}{\sin(\alpha)} \cdot \cos(\alpha - \pi) \right)^2}{\left(\frac{u}{\sin(\theta)} \cdot \cos(s - \theta + \frac{\pi}{2}) + \frac{w}{\sin(\alpha)} \cdot \cos(\alpha - \pi) \right)^2 + \left(\frac{u}{\sin(\theta)} \cdot \sin(s - \theta + \frac{\pi}{2}) + \frac{w}{\sin(\alpha)} \cdot \sin(\alpha - \pi) \right)^2}} \right) \quad (5)$$

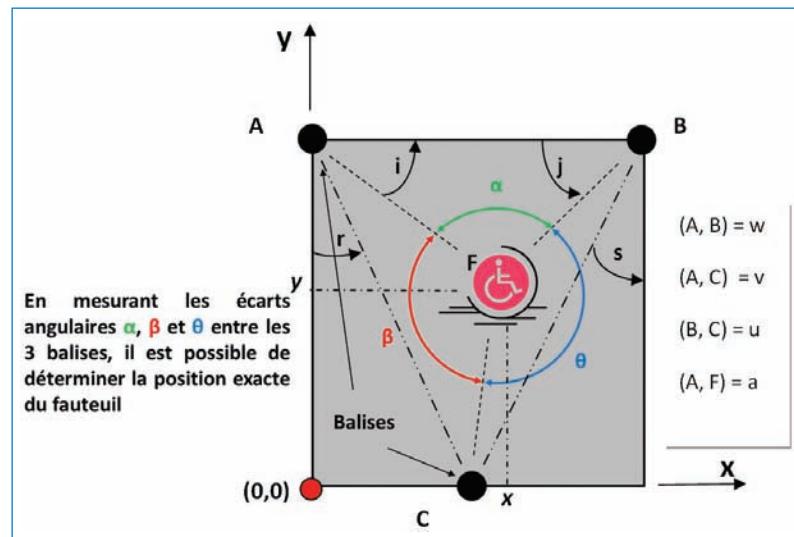
L'aventure se termine par la soutenance finale, comptant pour 50 % dans la note totale, et évaluée par deux professeurs (SI et « non SI ») extérieurs au projet **18**.

Pour conclure

Le projet interdisciplinaire nécessite l'imbrication intime de deux disciplines disposant du même statut. C'est d'ailleurs dans leur articulation que réside la difficulté pour l'équipe de professeurs. Plusieurs problématiques doivent donc être résolues avant le démarrage d'un projet :

- La nature de la discipline à associer
- Le repérage des connaissances et compétences des disciplines
- La complémentarité des interventions
- Les lieux d'intervention et l'emploi du temps des professeurs concernés par le projet

Quant au travail collaboratif des élèves, s'il est un moyen à part entière d'apprentissage, il reste difficile

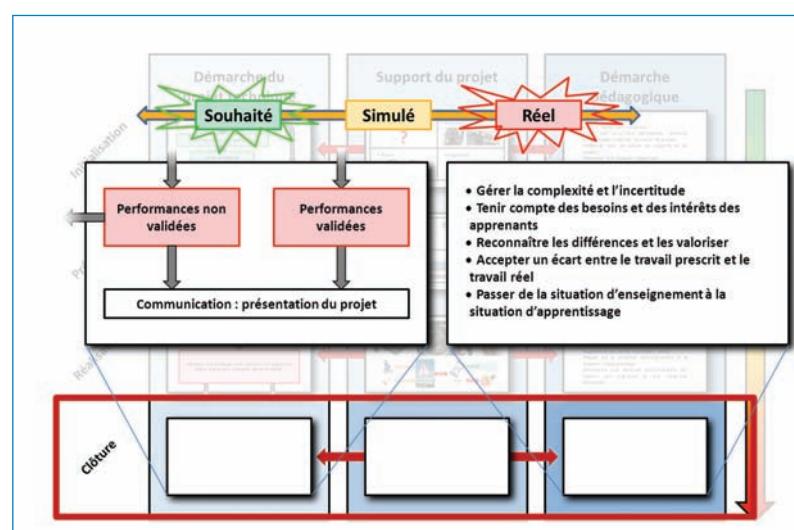


17 Le principe de la géolocalisation par trigonométrie inversée

à mettre en œuvre, car de nombreuses conditions sont nécessaires pour donner à chaque élève la possibilité de s'exprimer et d'obtenir des réponses aux besoins du projet :

- La manifestation réciproque du désir de communiquer
- La clarté du but poursuivi par chaque membre
- La solidarité de tous les membres devant les difficultés
- La mise en circulation de toutes les informations détenues par chaque membre, sans rétention

Pour terminer, quelques conseils : inciter les élèves à préciser leurs intentions et à les justifier en utilisant tous les outils de communication technique, veiller à la qualité de l'expression du problème technique, du dialogue entre élèves sur la recevabilité des hypothèses et la pertinence des tests, ne pas parachuter des activités, observations, expériences ou analyses de documents sous prétexte qu'elles sont en rapport avec le problème. ■



18 Les activités de la soutenance finale