

# Disséquer une araignée technologique

CHRISTOPHE FAURE, ÉDOUARD BURTZ, RÉGIS FROMENT<sup>[1]</sup>

*La plupart des robots qui participent à la Coupe de France de robotique sont mus par un train roulant à deux roues indépendantes motorisées. Mais pour le robot biomimétique que nous vous présentons ici, devenu support technique de formation, les concepteurs se sont inspirés des formes et du mode de déplacement de l'araignée. D'apparence encore très mécanique, il n'en est pas moins agile !*

Pour sa huitième participation à la Coupe de France de robotique 2011, organisée par l'association Planète Sciences (voir en encadré), le club de robotique du lycée Jules-Algoud de Valence (Drôme) a innové. Les étudiants des sections de TS SE (Systèmes électroniques), CPI (Conception de produits industriels) et IPM (Industrialisation des produits mécaniques), dans le cadre d'un travail collaboratif, ont développé un robot hexapode autonome qui se déplace comme le ferait une araignée... à six pattes, qu'ils ont baptisé Mimi, pour Multipode intelligent à mobilité interactive **1**. Le but de ce projet était de fabriquer un robot simple du point de vue de sa structure mécanique et électronique, et facile à commander. Mimi a séduit par son attrait technologique, et il est à présent didactisé et industrialisé par la société DMS pour les enseignements de la technologie en STI2D et en S-SI.

Mimi est un système mécatronique qui se déplace en effectuant des translations et des rotations, piloté principalement à partir d'une tablette 10,1 pouces sous Android **2**. Il est doté de six pattes, chacune composée de trois servomoteurs numériques, ce qui autorise un nombre important de mouvements, et de

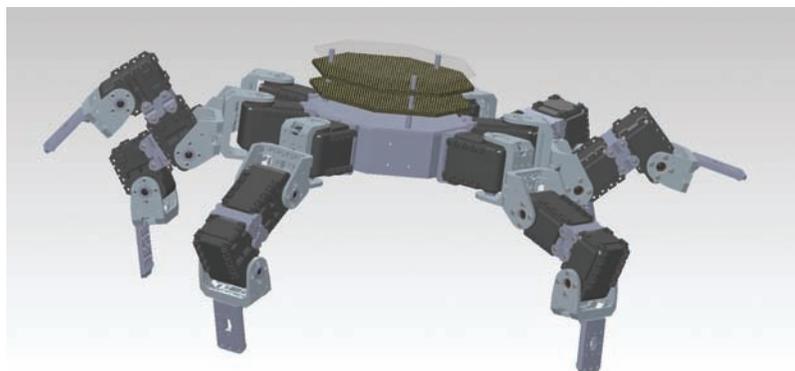
#### mots-clés

équipement didactique, information, liaison, matière & structure, transmission d'information

plusieurs capteurs pour gérer ses déplacements dans l'environnement où il se trouve. Les différentes applications de la tablette, particulièrement soignées, permettent le pilotage du robot, la commande de chaque servomoteur indépendamment ou encore de récupérer des données techniques en provenance du robot. C'est un produit ludique, rapide à mettre en œuvre, sans difficulté technique particulière pour le pilotage. Très robuste, il est étudié pour ne pas risquer de détérioration lors de sa préhension et muni d'un dispositif d'évitement pour prévenir les chocs. Il est livré avec deux accumulateurs lithium-polymère (LiPo) et leur chargeur ainsi qu'une alimentation secteur.

Sa structure permet un accès à tous les éléments mécaniques ou électroniques. Les cartes électroniques de commande ont été développées spécifiquement, et de nombreux points de mesure ont été installés. Il est facile d'ajouter des fonctionnalités au robot en installant d'autres servomoteurs numériques. Pour faciliter la prise et le relevé de mesures, le robot est livré avec un support permettant d'actionner les servomoteurs sans que les pattes ne touchent le sol, et une patte supplémentaire montée sur support **3**. Celle-ci peut être actionnée manuellement, programmée à partir d'un ordinateur ou encore couplée au robot.

Un dossier technique très riche est associé au système. Il comprend un cahier des charges, la description fonctionnelle à la norme SysML **4**, les modèles de comportement sous SinusPhy, la description de toutes les pièces mécaniques utilisées, les schémas structurels des cartes électroniques ainsi que la description détaillée de toutes les trames de communication – autant de ressources pour les différentes activités pédagogiques envisagées.



**1** Le robot en évolution

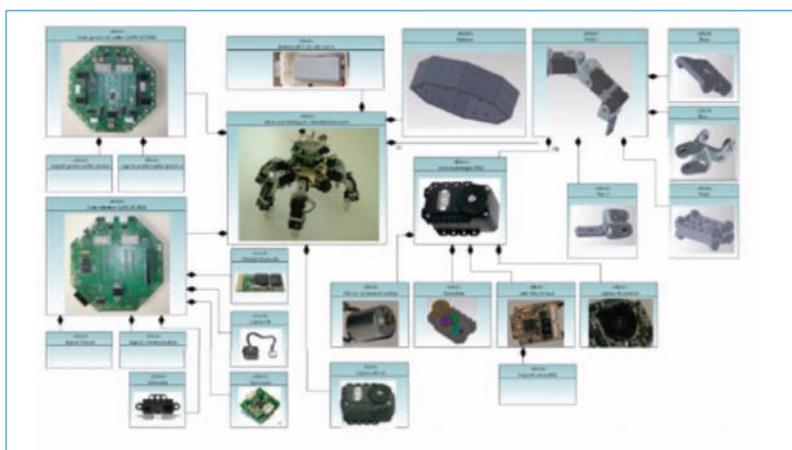
[1] Enseignants de sciences industrielles de l'ingénieur au lycée Jules-Algoud de Valence (26).



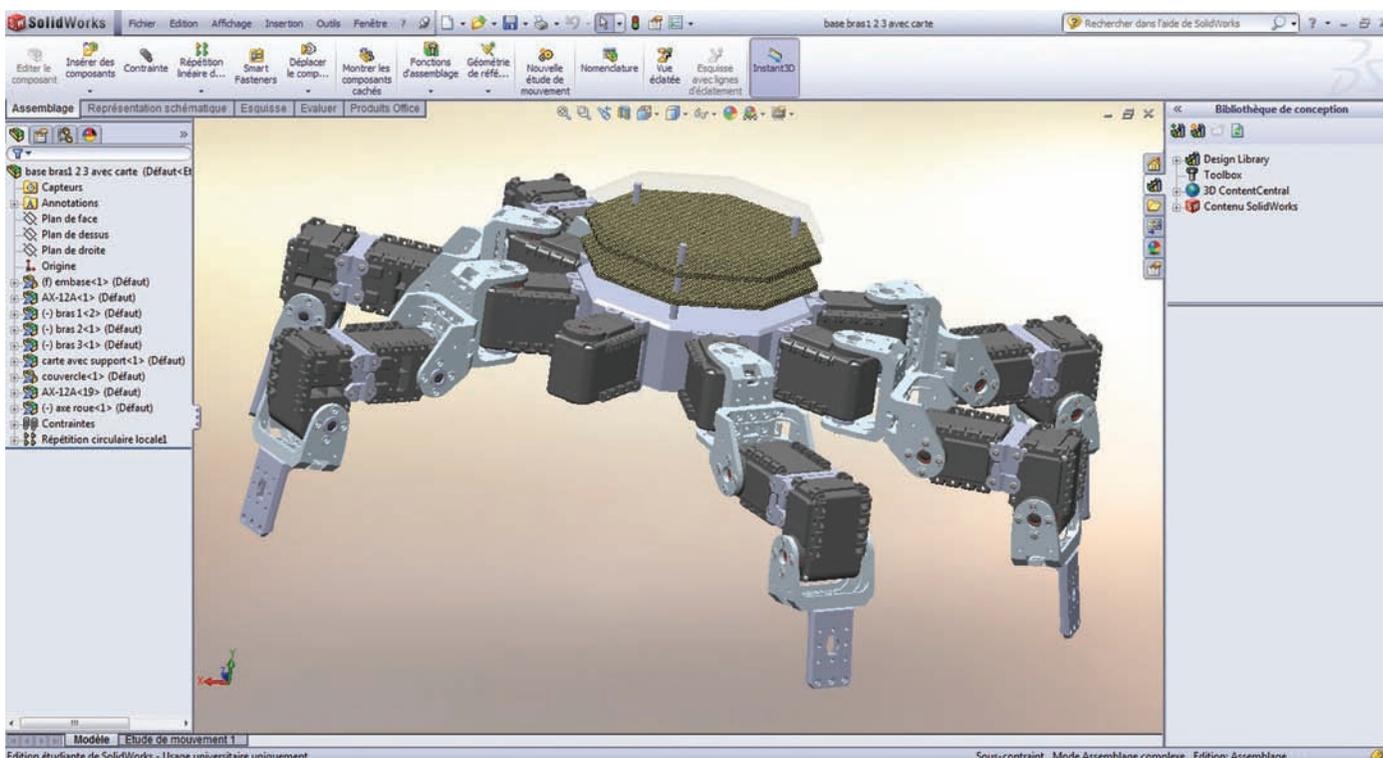
**2** La version industrialisée du robot



3 La patte supplémentaire sur son support



4 Le diagramme SysML de définition de blocs



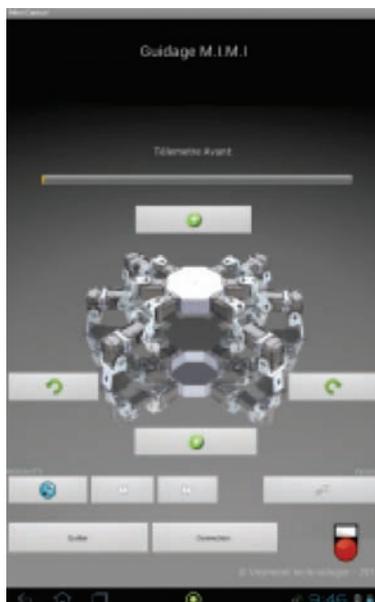
5 La maquette numérique du robot sous SolidWorks

Des modélisations sous SolidWorks sont également données **5** : robot complet, patte, sous-ensembles, toutes pièces. Elles permettent l'analyse et la simulation du fonctionnement de tout ou partie du robot, et celle des servomoteurs une étude dynamique. Enfin, plusieurs simulations sous Meca3D sont disponibles, ainsi que des animations vidéo.

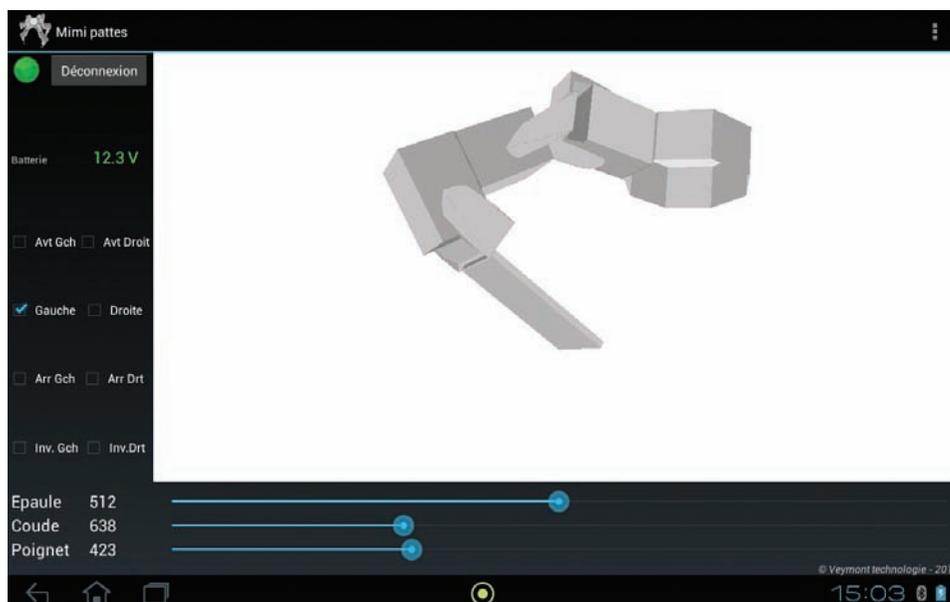
Le développement matériel et la rédaction des documents techniques ou pédagogiques sont assurés par une équipe d'enseignants du lycée Jules-Algoud qui interviennent principalement en STI2D et STS EN. Les différentes applications de la tablette sont créées spécifiquement par la société Veymont Technologie, installée à Chabeuil dans la Drôme ; la distribution du produit complet est assurée par DMS (voir « En ligne »).

#### La technologie du robot

Mimi est un robot insectoïdo-arachnéen constitué de 6 pattes identiques mettant en œuvre des servomoteurs numériques Robotis AX12A. Chaque patte comporte



**6** L'application sur tablette de pilotage du robot



**7** L'application sur tablette de gestion des servomoteurs

3 articulations, et offre ainsi de nombreux degrés de liberté, donc un grand nombre de mouvements possibles. La plupart de ses pièces mécaniques sont des pièces standard. L'embase octogonale qui sert de corps, mécano-soudée, permet de fixer les pattes, d'accueillir la batterie et les cartes électroniques.

Au total, le robot comprend 18 servomoteurs reliés en réseau. Très résistants, ils sont équipés d'un dispositif de désactivation du couple en cas de charge trop importante. Chacun d'eux est déjà en soi un système complet, possédant un identifiant propre sur le réseau, par lequel il reçoit des trames numériques de commande (RS232-TTL *half duplex*) qui permettent de lui indiquer une consigne de position ou de vitesse, de régler des butées électriques, de limiter le couple ou encore bien d'autres commandes. Il peut également être interrogé sur sa position en cours, sa température, son état de fonctionnement...

Le robot embarque différents capteurs : un télémètre infrarouge assure la détection d'un obstacle frontal ; un gyromètre, celle des vitesses angulaires en roulis et en tangage ; des entrées analogiques ou numériques « tout ou rien » sont accessibles ; un capteur intelligent (Robotis AX-S1) permet la détection sonore et infrarouge, la mesure de distance, ainsi que la génération de différentes mélodies ; un récepteur infrarouge, de recevoir les données numériques d'une télécommande, par exemple.

Le système est autonome en énergie. Il fonctionne à l'aide d'une batterie LiPo (12 V, 1 A/h). L'alimentation secteur avec transformateur permet la recharge de la batterie ou l'alimentation directe du robot. La tension de la batterie est affichée sur la tablette, et un point de mesure de la tension est disponible sur l'embase du robot.

Le système de contrôle-commande est architecturé autour de 2 cartes électroniques embarquant 4 microcontrôleurs PIC18F2580. Elles assurent la gestion du mouvement, la mesure et la conversion des grandeurs issues des capteurs ainsi que la communication à distance via une liaison Bluetooth. L'échange de données entre les processeurs est effectué à l'aide d'un bus CAN. Toutes les liaisons numériques ainsi que les sorties des capteurs sont équipées de points de test qui permettent d'effectuer facilement des relevés.

L'ensemble de la programmation a été effectué en langage C. Chacun des logiciels est multitâche en temps réel.

Différentes applications assurent la gestion du robot. La première permet le pilotage, la mise en veille ou encore le contrôle de la tension de batterie **6**. D'autres sont plus spécifiques : gestion de tous les servomoteurs individuellement **7**, simulation ou visualisation d'une trame numérique, visualisation des grandeurs issues des capteurs, mesure de la tension ou du couple d'un moteur, sans connexion matérielle avec le robot.

Ce dernier peut également être piloté avec une télécommande infrarouge. Dans ce cas, seules les commandes de déplacements élémentaires sont disponibles.

Sur le robot, 4 boutons-poussoirs permettent l'entrée rapide dans différents modes de fonctionnement (rotations, avance ou détection de « clap » sonore).

#### Les activités pédagogiques proposées

Ce produit, complémentaire aux systèmes déjà disponibles dans les laboratoires de STI2D ou de S-SI, se prête bien au travail en îlot. Il est particulièrement bien adapté à

l'enseignement transversal en STI2D. En effet, il couvre l'ensemble des centres d'intérêt :

- la compétitivité, la créativité et l'écoconception (bilan environnemental des pièces constitutives) ;
- l'approche fonctionnelle (cahier des charges, diagrammes SysML...) ;
- l'approche comportementale (étude des liaisons mécaniques, réseau numérique de terrain, chaîne d'énergie...) ;
- les structures matérielles et logicielles (étude dynamique, logiciel orienté objet sur la tablette Android...) ;
- les constituants du système (étude des pièces mécaniques, motorisation, codage des trames numériques...).

Plusieurs activités pratiques (AP) sont actuellement rédigées, ou en cours de finalisation, pour chacun de ces centres d'intérêt. Chacune est associée à une fiche pédagogique en décrivant le centre d'intérêt, les objectifs de formation, les compétences visées ainsi que les connaissances abordées. On y retrouve aussi les différentes ressources disponibles, les prérequis, le travail demandé, les résultats attendus et les critères de réussite.

#### ● La compétitivité, la créativité et l'écoconception

AP1 : Évaluer la diminution de l'impact environnemental de Mimi entre le prototype et le système commercialisé ; rechercher les moyens mis en œuvre pour y parvenir. (Niveau 1<sup>re</sup>)

AP2 : Proposer pour l'embase du robot des solutions minimalisant son impact sur l'environnement. (Niveau 1<sup>re</sup>)

#### ● L'approche fonctionnelle

AP3 : Comprendre les modalités de déplacement du robot. Analyser la structure du système et proposer une simulation mécanique. (Niveau 1<sup>re</sup>)

AP4 : Construire la maquette numérique du robot en respectant les règles de construction (contraintes d'assemblage) pour permettre une exploitation des simulations mécaniques. (Niveau T<sup>er</sup>)

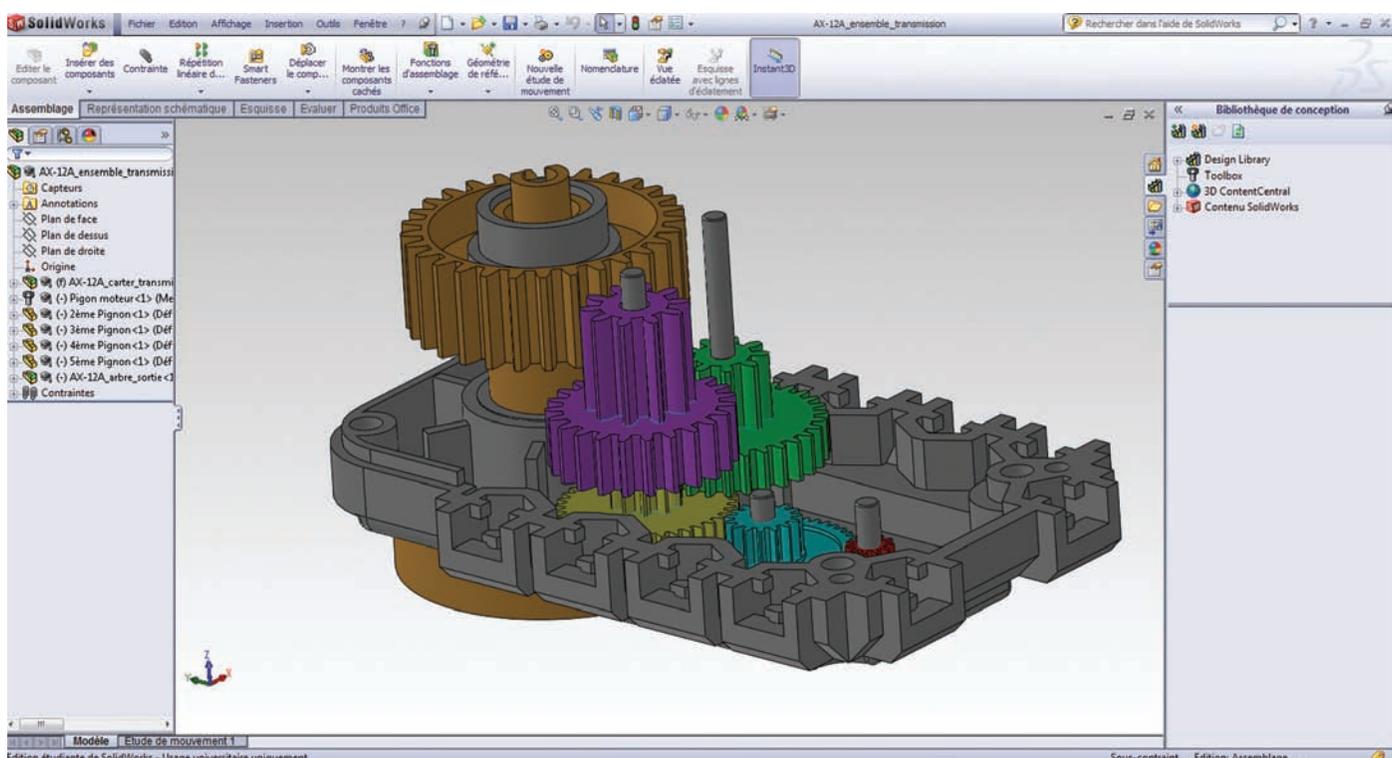
AP5 : Valider les performances énergétiques du robot. (Niveau T<sup>er</sup>)

AP6 : Numériser l'embase du robot en respectant les règles de construction pour pouvoir faire des études sur les différents moyens de fabrication. (Niveau 1<sup>re</sup>)

#### ● L'approche comportementale

AP7 : Justifier l'emploi de matériaux dans un compromis performance / développement durable. (Niveau T<sup>er</sup>)

AP8 : Rechercher la charge maximale pouvant être transportée par le robot des points de vue mécanique et électrique. (Niveau 1<sup>re</sup>)



### 8 L'étude cinématique des servomoteurs

AP9 : Dimensionner l'embase et prédire son comportement sous la charge des pattes pour valider les performances. (Niveau T<sup>le</sup>)

AP10 : Valider conformément au cahier des charges différentes fonctionnalités spécifiées afin d'assurer au client un fonctionnement nominal du produit. (Niveau T<sup>le</sup>)

AP11 : Rechercher la position des pattes avec laquelle le robot a le plus de force pour se soulever. (Niveau T<sup>le</sup>)

AP12 : Modifier l'interface homme-machine du logiciel de guidage de la tablette suite à une demande client (ajout de fonctionnalités).

AP13 : Identifier les solutions techniques pour la communication entre la tablette et les servomoteurs puis les valider conformément aux cahiers des charges. (Niveau T<sup>le</sup>)

AP14 : Identifier les solutions techniques pour la communication entre la tablette et la couronne de leds puis les valider conformément au cahier des charges. (Niveau T<sup>le</sup>)

● Les constituants du système

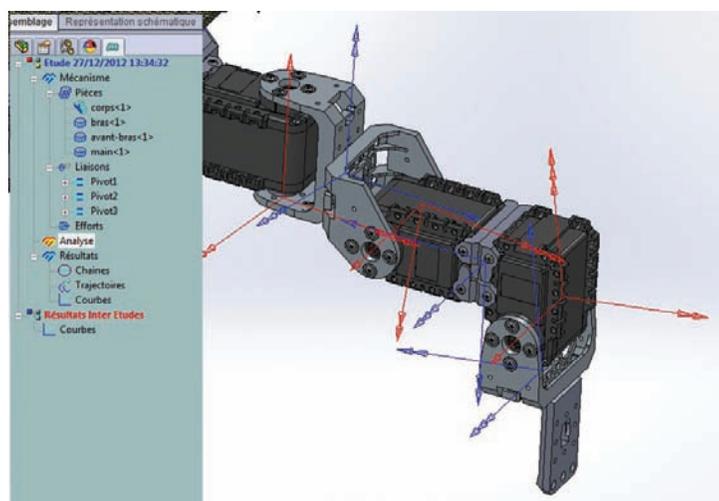
AP15 : Calculer la vitesse de déplacement du bout de la patte en fonction de la vitesse du servomoteur par le calcul et par simulation chiffrée. (Niveau 1<sup>re</sup>) **8**

AP16 : Calculer la trajectoire et la vitesse de déplacement du bout de la patte en fonction de la rotation des 2 servomoteurs par le calcul et par simulation chiffrée. (Niveau T<sup>le</sup>)

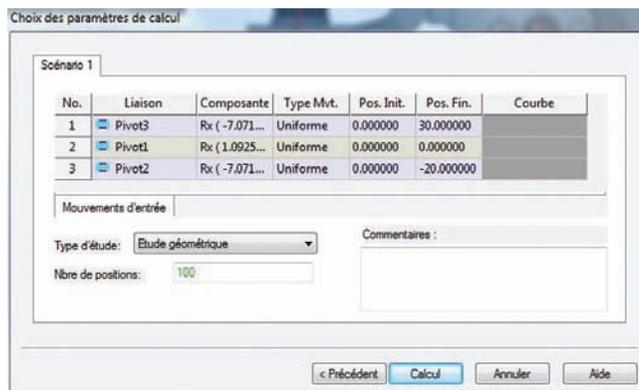
AP17 : Mettre en évidence le rôle des capteurs utilisés par rapport aux spécifications du cahier des charges (détection, mouvement, télécommande) afin de prévoir une démarche de test avant une opération de maintenance. (Niveau 1<sup>re</sup>)

AP18 : Valider l'échange d'information sur le réseau CAN à partir de la définition des interfaces numériques (spécification des trames) afin de prévoir une procédure de test destinée à une opération de maintenance. (Niveau T<sup>le</sup>)

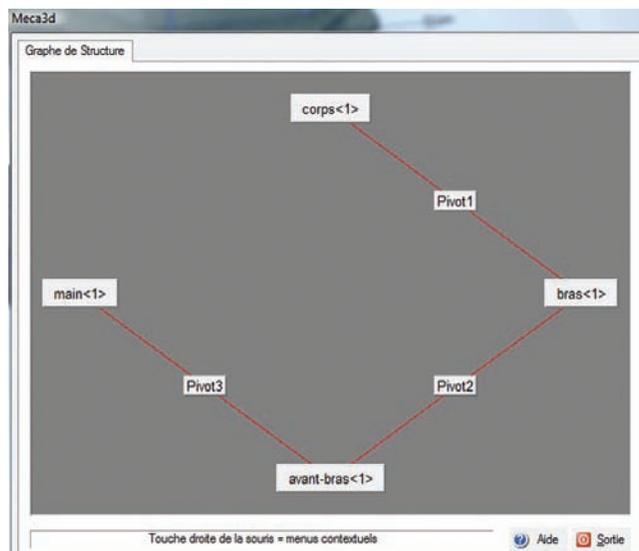
Lors de ces activités pédagogiques autour du robot, volontairement limitées à l'enseignement transversal pour les STI2D, les élèves vont découvrir et apprendre à se servir des différents éléments le constituant. Pour les projets, la société DMS propose un pack Bioloïd didactisé dans lequel on retrouve ces composants, et avec lequel les élèves vont pouvoir créer d'autres systèmes en appliquant ce qu'ils ont étudié en transversal lors des projets de spécialités ITEC et SIN.



9 La simulation numérique d'une patte sous Meca3D



10 Le graphe des liaisons mécaniques d'une patte



11 Le choix des paramètres de simulation sous Meca3D

**AP3 : structure et matière**

Le but de ce TP de 2 heures en classe de 1<sup>re</sup> est d'analyser la technique de déplacement du robot d'un point de vue mécanique. En îlot, les élèves vont, après observation du système en fonctionnement, étudier la cinématique des pattes en s'aidant de simulations sous Meca3D. Un dossier « travail demandé » les guide tout au long de leur activité.

*Centre d'intérêt* : approche fonctionnelle des systèmes

*Compétences visées* :

CO31. Décoder le cahier des charges fonctionnel d'un système.

CO61. Décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentations adaptés.

CO62. Décrire le fonctionnement et/ou l'exploitation d'un système en utilisant l'outil de description le plus pertinent.

CO63. Présenter et argumenter des démarches, des résultats, y compris dans une langue étrangère.

*Problématique* : Comprendre les modes de déplacement du robot. Analyser la cinématique de la structure du système à partir du réel et des simulations mécaniques.

*Poste de travail* : Les élèves disposent du robot en état de marche, du module de la patte seule et d'un ordinateur ; en éléments numériques, du dossier « travail demandé », du dossier technique et du dossier ressource, ainsi que des simulations sous Meca3D à partir des fichiers des modèles numériques structurés du robot et d'une patte. Un dossier réponse est aussi fourni sous format papier pour réaliser les représentations symboliques.

**Le déroulement du TP**

● Après avoir pris connaissance du contenu du TP, les élèves font fonctionner le robot afin d'en étudier les différents modes de déplacement.

→ Déplacements en rotation et translation. Toujours 3 pattes en contact avec le sol et 3 pattes soulevées lors d'un mouvement, puis inversion entre les pattes en contact et les pattes soulevées pour le mouvement suivant. Le robot fonctionne avec un côté gauche et un côté droit dans la gestion des pattes.

● Sur ordinateur et en utilisant le modèle numérique structuré d'une patte, les élèves doivent effectuer la

modélisation et le paramétrage des liaisons mécaniques sous Meca3D pour simuler les déplacements de la patte 9. Ils valident ensuite leurs résultats en les comparant avec les mouvements possibles sur le système réel.

→ 3 liaisons pivots par patte 10.

● Ils transcrivent leurs résultats en une représentation symbolique adaptée : repérage des groupes cinématiques équivalents, symbole des liaisons et réalisation du schéma cinématique.

→ 4 groupes cinématiques équivalents et 3 liaisons pivots (2 d'axe horizontal et 1 d'axe vertical) 11.

● Ils vont maintenant détailler le principe de la marche en recherchant les séquences de mouvements exécutés par le robot Mimi pour avancer ou tourner.

→ Le robot reste sur 3 pattes lors d'un déplacement, 2 d'un côté et 1 de l'autre. La plupart des mouvements sont exécutés sur 3 pattes en même temps. Pour avancer ou tourner d'un pas, il y a 20 mouvements. Pour que le robot avance, les pattes de gauche tournent en sens inverse de celles de droite ; pour qu'il tourne, les pattes vont toutes dans le même sens.

À l'issue de cette activité pratique, l'élève est en mesure de simuler un système à partir d'un modèle numérique et de comparer les résultats avec le modèle réel, de faire la représentation symbolique sous forme de schéma cinématique.

**AP12 : l'information**

Ce TP a été conçu pour être effectué en îlot. Il se décompose en 3 activités de 2 heures sur une problématique identique, chacune en permettant la résolution d'une manière différente. Une synthèse commune est proposée à la fin. Le TP, conçu de manière que le système puisse être partagé pour réaliser les 3 activités, peut faire travailler jusqu'à 6 élèves dans la mesure où l'îlot est composé d'au moins 3 ordinateurs.

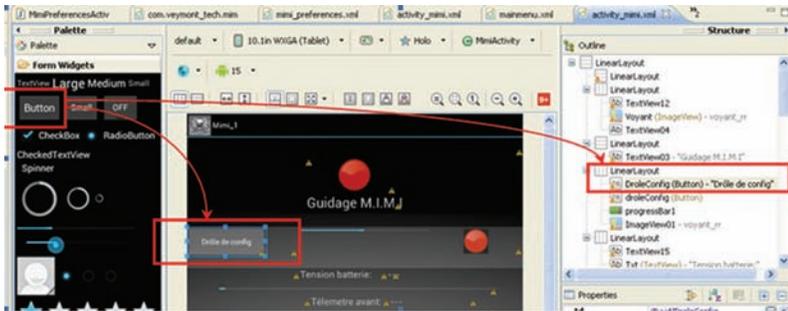
*Centre d'intérêt* : structure matérielle et/ou logicielle

*Compétences visées* :

CO44. Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure, à l'énergie et aux informations (acquisition, traitement et transmission) d'un système.

CO63. Présenter et argumenter des démarches, des résultats, y compris dans une langue étrangère.

*Connaissances associées (extrait du programme d'enseignement transversal)* :



12 La modification de l'interface homme-machine



13 La modification du code source



14 La transmission de la commande sur le bus CAN

Traitement de l'information :

Codage (binaire, hexadécimal, ASCII) et transcodage de l'information, compression, correction

Programmation objet : structures élémentaires de classe, concept d'instanciation

Traitement programmé : structure à base de microcontrôleurs et structures spécialisées (composants analogiques et/ou numériques programmables)

*Problématique du TP* : Modifier l'interface homme-machine (IHM) du logiciel de guidage de la tablette suite à une demande client (ajout de fonctionnalités).

*Poste de travail* : Les élèves disposent du robot en état de marche, d'une tablette Android, d'un PC équipé des logiciels nécessaires au développement d'une application sous Android (*freeware*), du code source de l'application de guidage ; en éléments numériques, du dossier « travail demandé » et du dossier technique.

**Le déroulement du TP**

Ce TP sur la structure logicielle permet d'aborder les connaissances relatives au traitement de l'information, notamment les notions relatives au codage et transcodage de l'information et à la programmation objet.

Les 3 activités ont pour objectif d'ajouter 3 nouvelles fonctionnalités : commande d'un mouvement préprogrammé issu du cahier des charges, visualisation de la vitesse angulaire du robot (tangage) pour éviter son retournement, indication d'un défaut du robot en cas de dysfonctionnement d'un ou plusieurs servomoteurs.

Les élèves disposent du dossier technique (cahier des charges, description des trames de communication), du système en fonctionnement, d'une tablette Android, du code source en Java de l'application de guidage ainsi que du logiciel Eclipse (*freeware*) qui permet la modification, le « debug » et le transfert de l'exécutable sur la tablette.

Des bases très simples de programmation sont demandées pour réaliser ce TP. Un document guide est fourni aux élèves leur indiquant pas à pas les modifications à apporter en s'inspirant très fortement du code existant. Cependant, les notions fondamentales de programmation objet y sont abordées (classe, attribut et instanciation). L'utilisation des objets principaux utilisés sous Android (boutons, bargraphe, voyant) est expliquée et peut donner lieu à la réalisation d'un projet en enseignement de spécialité SIN.

Les 3 activités adoptent sensiblement la même démarche d'analyse et de programmation pour l'élève :

- 1 Préparation : retrouver dans la constitution du système la fonction ou l'information à traiter (séquence de mouvements, signal du capteur gyroscopique, signal d'autocontrôle des servomoteurs) et retrouver dans le dossier technique la trame de communication (interface Bluetooth → tablette) permettant soit l'émission d'une commande soit la réception de l'état des informations.
- 2 Modification du logiciel : analyser le code source, modifier l'IHM et le code source 12 13.
- 3 Tests.

Une activité de synthèse regroupant les trois modifications demandées ainsi que le test sur le système réel est proposé en fin de TP [14](#).

Android étant devenu un standard utilisé sur les tablettes tactiles ainsi que sur les téléphones portables, il nous a paru intéressant de développer une exploitation pédagogique pratique sur ce thème. Les élèves font ainsi facilement le lien entre ce qui leur est demandé et des systèmes qu'ils ont l'habitude d'utiliser fréquemment.

### Conclusion

Simple d'utilisation, complet aux niveaux technique et pédagogique, voilà un système qui se prête bien à l'enseignement en STI2D. Sa conception est adaptée au travail en TP, et sa technologie s'intègre aux autres

systèmes présents dans les établissements, favorisant le travail en îlot. Les activités pédagogiques proposées sont systématiquement testées avec les élèves de STI2D au sein du lycée Jules-Algoud de Valence où enseignent les rédacteurs, et le dossier technique comprend tous les diagrammes SysML et modèles de comportement sous SinusPhy ainsi que toutes les trames de programmation afin que vous puissiez piloter le robot comme bon vous semble.

Nous développons actuellement les activités pédagogiques pour les bacs S-SI et S-ISN. En parallèle, un pack Bioloid est proposé pour la réalisation des projets de STI2D spécialités ITEC et SIN ou de S-SI.

Toutes les évolutions pédagogiques sont téléchargeables sur le site de la société DMS. À chaque mise à jour, un courriel est envoyé aux utilisateurs. ■

### La Coupe de France de robotique

Mimi a vu le jour en 2011 pour la Coupe de France de robotique, compétition organisée par Planète Sciences. Cette année-là, le thème en étaient les échecs. Les robots présents devaient déplacer des pions (de 200 mm de diamètre et de 50 mm de hauteur pour un poids de 300 g) sur un échiquier. Notre équipe s'est honorablement classée 34<sup>e</sup> sur 180 (écoles d'ingénieurs, IUT, lycées, clubs de robotique...).

Le thème de la Coupe change chaque année. Le règlement est toujours dévoilé fin septembre. Les équipes ont une petite année scolaire pour concevoir un robot entièrement autonome le plus performant possible qui respecte le règlement et l'adversaire, la contrainte principale restant son périmètre. La compétition se déroule le week-end de l'Ascension à La Ferté-Bernard dans le cadre du festival Artec. Les matches se passent sur une aire de jeu de 2 m par 3 m où sont disposés les éléments de jeu. Les robots, entièrement autonomes, se rencontrent 2 par 2 pendant 1 min 30. Le vainqueur est celui qui marque le plus de points.

[www.planete-sciences.org/robot/](http://www.planete-sciences.org/robot/)

Mimi danse sur les Black Eyed Peas lors de la Coupe 2011 :

[www.youtube.com/watch?v=kbLGuxEer8](http://www.youtube.com/watch?v=kbLGuxEer8)



### En ligne

La société DMS qui industrialise et commercialise le robot (à voir, « Les premiers pas de Mimi en vidéo ») :

[www.dmseducation.eu](http://www.dmseducation.eu)  
(Bac S SI / Bac STI2D)

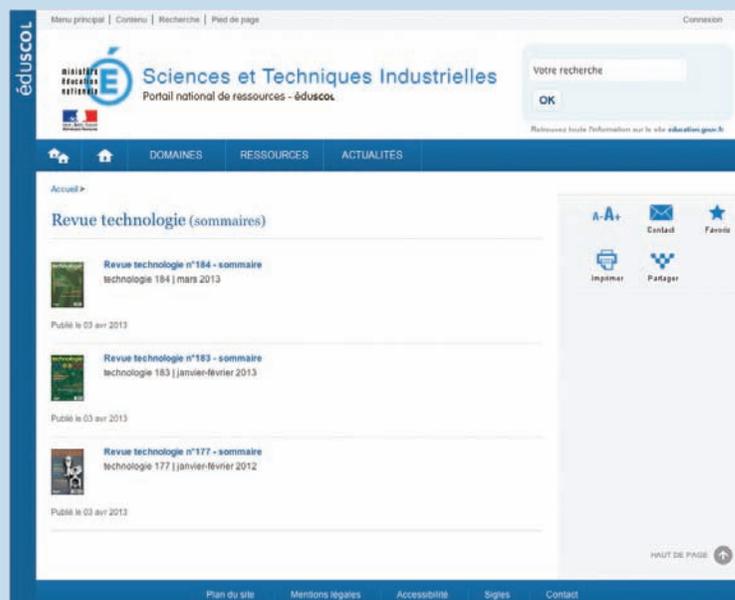
La société Veymont Technologie qui développe les applications pour la tablette :

[www.veymont-tech.com](http://www.veymont-tech.com)

Retrouvez tous les liens sur <http://eduscol.education.fr/sti/revue-technologie>

## technologie

s'affiche sur Éduscol...



*Vous y trouverez :*

- Le sommaire détaillé de chaque nouveau numéro
- Des liens pour chaque article, ceux donnés dans la revue mais pas seulement
- Un lien vers les archives de la revue

*Vous pourrez y télécharger :*

- Des articles d'archives de la revue
- L'éditorial et le Technomag de chaque numéro



... mettez-le dans vos favoris !

<http://eduscol.education.fr/sti/revue-technologie>