



# Robot humanoïde NAO

Système d'étude de la robotique mobile humanoïde

## Descriptif du support technologique

NAO est le **premier robot humanoïde de 58 cm pour 5,5 kg** créé par **SoftBank Robotics** située à Paris (anciennement Aldebaran Robotics). NAO est célèbre dans le monde entier. Formidable outil de programmation, il est devenu une référence dans l'éducation et la recherche avec plus de dix mille exemplaires utilisés dans le monde entier. Il est au cœur de nombreuses recherches préfigurant les applications de la robotique mobile : jeux multimédias, aide à l'apprentissage en milieu ordinaire ou spécialisé, assistance aux personnes handicapées, interventions en milieu extrême, surveillance de lieux...

NAO est un concentré de technologie :

- ✓ 25 degrés de liberté assuré par 25 moteurs coreless associés à 36 capteurs à effet hall qui lui permettent de bouger et de s'adapter au monde qui l'entoure
- ✓ 9 capteurs tactiles avec 1 centrale inertielle (accéléromètre et gyromètre 3 axes), 2 émetteurs associés à 2 récepteurs sonars pour percevoir son environnement et se repérer dans l'espace
- ✓ 4 microphones omnidirectionnels et 2 haut-parleurs pour interagir avec les humains avec de la reconnaissance vocale et dialogue possible en 20 langues
- ✓ 2 caméras 2D 5MP pour reconnaître les formes, les objets et même les personnes
- ✓ 8 capteurs de pression FSR (4 sous chaque pied) pour faciliter son équilibre (en association avec la centrale inertielle)
- ✓ 2 capteurs mécaniques au niveau des pieds pour détecter les chocs
- ✓ 1 mécanisme de préhension par main au niveau des doigts pour saisir des objets
- ✓ 32 Leds (monochrome) et 19 Leds (RVB) pour interagir avec les personnes
- ✓ 1 CPU ATOME 3845, 1,91 GHz avec 2 Mo de cache, 4 Go de RAM DDR3 et 32 Go de mémoire flash pour le stockage de vos applications
- ✓ Modules Wi-Fi, Ethernet et port USB pour la connectivité
- ✓ Batterie Lithium-Ion pour être autonome (de 60 à 90 minutes d'autonomie avec 90 minutes pour la recharge)
- ✓ Système d'exploitation Linux avec une distribution basée sur Gentoo avec la surcouche robotique NAOqi
- ✓ Programmation avec le logiciel Choregraphe (environnement graphique) ou les SDK Python ou C++

NAO est donc le partenaire convivial et motivant pour la formation en robotique et champs associés (informatique, électronique, communication, mathématiques, mécanique...)

Le robot NAO est accompagné de documents d'accompagnement au format numérique avec une navigation type site web avec :

- ✓ Un dossier technique intégrant notice d'utilisation, schémas fonctionnels, modèles 3D SolidWorks, fiches techniques des composants
- ✓ Un dossier pédagogique avec les activités, projets et corrigés pour différents niveaux et filières.

Lycées généraux et technologiques

2<sup>nd</sup> SI/CIT - Bac SI, NSI, STI2D

Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles

IUT - Universités – Ecoles d'ingénieurs

## Thématiques abordées

Mécanique, Electronique,  
Informatique, Communications,  
Sciences de l'ingénieur

En partenariat avec



SoftBank  
Robotics



NAO<sup>6</sup>



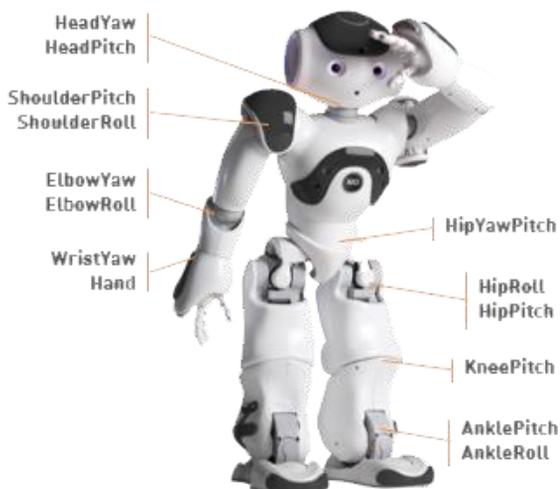
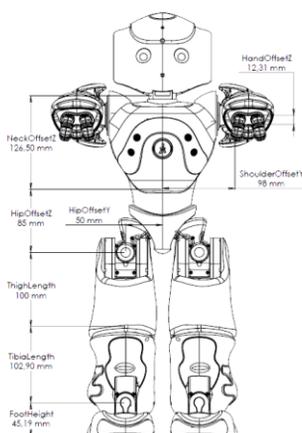
## Points forts

- ✓ Support ludique pour les élèves et vecteur de communication pour l'établissement
- ✓ Plateforme ouverte et entièrement programmable :
  - Avec le logiciel Choregraphe (environnement de programmation graphique pouvant embarquer du Python et du HTML/JavaScript)
  - Avec les SDK (Software Development Kit) en Python et C++
  - Avec la solution Ask NAO Blockly (environnement de programmation graphique préconisé pour l'initiation à la programmation)

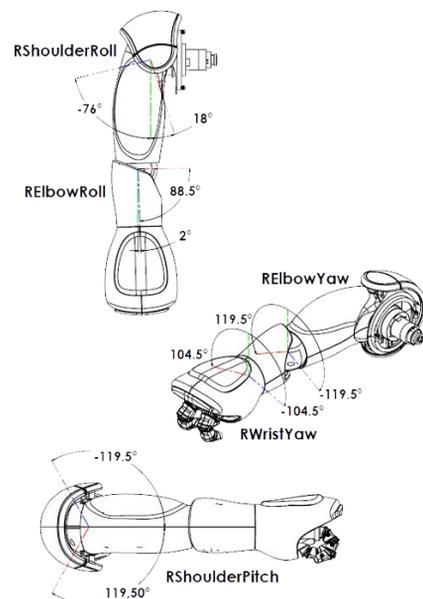


## Architecture matérielle

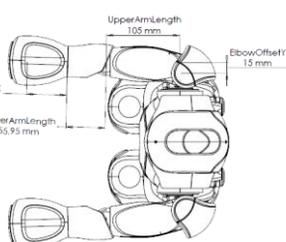
	Solutions techniques & Caractéristiques	NAO <sup>6</sup>
Carte mère	CPU Atom E3845 – 1,91 GHz – Cache 2MB – RAM 8 Go DDR3 – Stockage 32 Go eMMC	X
Tête	3 capteurs tactiles (sur le tête)	X
	4 microphones (plage de fréquence de 100 Hz à 10KHz / sensibilité 250mV/Pa)	X
	2 haut-parleurs (plage de fréquence jusqu'à 20 kHz, puissance 83 dB impédance 4 Ω entrée 2W)	X
	2 caméra CMOS - 5 MP – Autofocus – sortie YUY & RGB – 640x480 30fps ou 2560 x 1920 1fps	X
	2 x 10 Leds bleues pour les oreilles – 16 Leds blanches pour la tête – 2 x 8 Leds RGB pour les yeux	X
	2 moteurs coreless et 2 capteurs à effet hall pour le mouvement de la tête	X
Torse	2 émetteurs et 2 récepteurs à ultrasons – Fréquence 40 KHz – Plage de détection de 0,2 à 0,8 m	X
	1 centrale inertielle avec accéléromètre 3 axes (2g) et gyromètre 3 axes (500°/s)	X
	1 bouton poussoir « Marche/Arrêt » avec 1 Led RGB	X
	1 batterie Lithium-Ion 21,6V 2,9 Ah - Energie 62,5 Wh – Autonomie 60 à 90 min – recharge 90 min	X
Bras & Mains	2 x 5 moteurs coreless et 2 x 5 capteurs à effet hall pour les mouvements des bras et des mains	X
	2 x 1 mécanisme pour le préhension avec les trois doigts ( 2 x 1 moteurs coreless et 2 x 1 capteurs)	X
	2 x 3 capteurs tactiles (sur les mains)	X
Jambes	2 x 3 + 1 moteurs coreless et 2 x 2 x 3 + 2 capteurs à effet hall pour le mouvement des jambes	X
Pieds	2 x 2 moteurs coreless + 2 x 2 x 2 capteurs à effet hall pour le mouvement des pieds	X
	2 x 4 capteurs de pression (FSR) – plage de mesure de 0 à 25 N	X
	2 x 2 capteurs mécaniques (bumpers) pour la détection des chocs	X
Connectivité	Ethernet 1 port RJ45 - 10/100/1000 base T	X
	Wi-Fi - IEEE 802.11 a/b/g/n avec sécurité 64 / 128 bit : WEP, WPA / WPA2.	X
	1 port USB	X
Autre	Dimensions 31 cm x 28 cm – hauteur 58 cm – Poids 5,5 kg	X



Moteurs NAO<sup>6</sup>



Articulations du bras droit NAO<sup>6</sup>



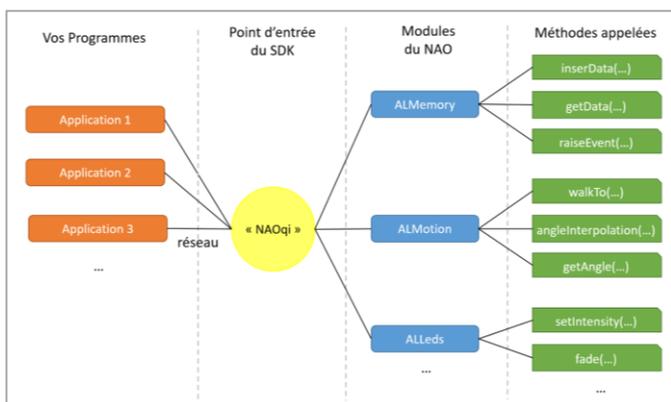
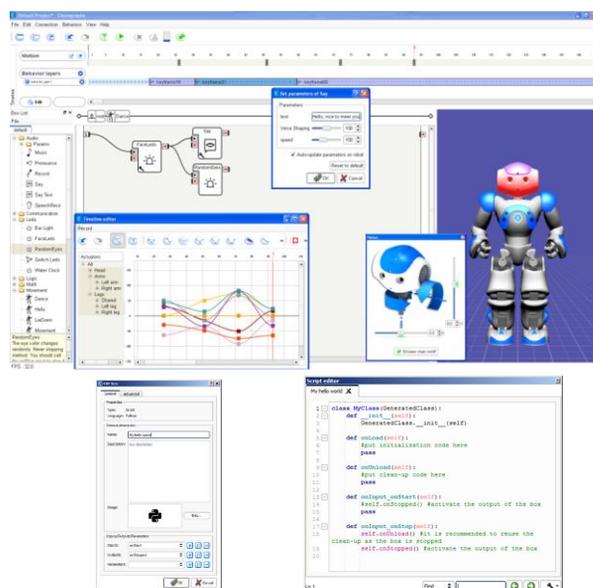
Données cinématiques NAO<sup>6</sup>



## Suites logicielles & Outils

### Programmation graphique avec Choregraphe

- ✓ Choregraphe est le logiciel de programmation graphique de NAO qui permet une programmation **évènementielle, séquentielle et parallèle** basée sur l'utilisation de boîtes comportementales.
- ✓ Choregraphe utilise des **chronogrammes** permettant de mettre en œuvre une logique temporelle.
- ✓ De **nombreuses boîtes préprogrammées sont disponibles**, mais il est aussi possible de les modifier et d'en créer de nouvelles grâce à un **éditeur** ou du script Python. Les possibilités de programmation de NAO sont donc immenses, sans même avoir à rentrer dans la complexité du code.
- ✓ L'interface ergonomique de Choregraphe permet de lancer l'exécution d'un programme en un seul click sur NAO.
- ✓ **Principaux outils**: Boîtes comportementales préprogrammées, « Flow » diagrammes, Editeur de courbes, Chronogrammes, Vue 3D, **Enregistreur de mouvements**, Console de débogage, Editeur de script...
- ✓ **OS supportés**: Windows, Mac, Linux
- ✓ **Langage de programmation**: Python

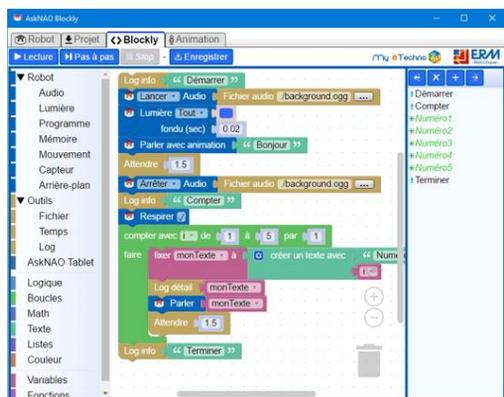
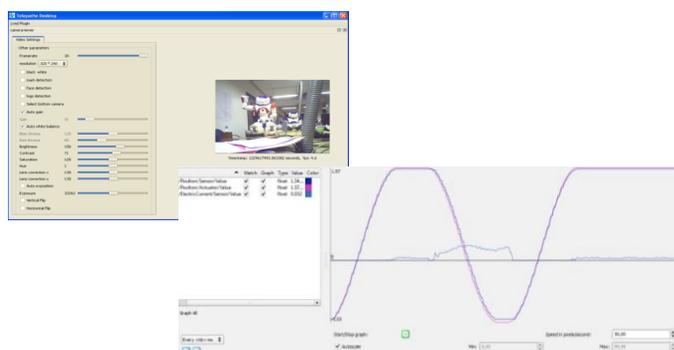


### Programmation avec les SDK

- ✓ Le robot NAO peut être programmé avec différents langages de programmation avec les Software Development Kit (SDK) disponible :
  - Python
  - C++
  - HTML / Javascript
- ✓ Ces SDK permettent de créer **ses propres applications afin de programmer des comportements élaborés**
- ✓ La combinaison du SDK et de NAO est l'outil idéal pour les activités de recherche et développements en robotique
- ✓ API entièrement documentée avec des exemples
- ✓ Disponible pour Windows, Mac, Linux

### Récupération des données capteurs et caméra avec Monitor

- ✓ Monitor permet de récupérer les informations des capteurs de NAO et des caméras.
- ✓ Le Module Mémoire donne accès à toutes les mesures de capteurs, autorisant ainsi des activités d'**étude du comportement des actionneurs**.
- ✓ Avec le Module Caméra, il est possible de recevoir le flux vidéo de la caméra choisie. Ceci permet donc de **tester des algorithmes de vision** sur des séquences vidéo.
- ✓ Inclus dans la suite Choregraphe



### Programmation graphique avec AskNAO Blockly

- ✓ Le robot NAO peut être programmé avec le langage graphique Blockly
- ✓ **Idéal pour l'initiation au codage et au STEM**
- ✓ Permet aux enseignants de créer très facilement du contenu éducatif dans de nombreuses filières (français, mathématiques, ...)
- ✓ Deux versions disponibles :
  - En ligne gratuite : [www.erm-robotique.com/blockly](http://www.erm-robotique.com/blockly)
  - Hors ligne, en licence établissement, avec des fonctionnalités avancées (génération de nouvelles animations, communication avec des tablettes, ...)
- ✓ Compatible avec la solution AskNAO Tablet pour l'utilisation aisée du robot (contrôle des fonctions de base, lancement des applications, ...)



## Exploitations pédagogiques

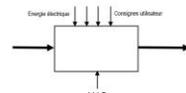
### Exemples d'activités et projets niveau Baccalauréat (SI / STI2D)

- ✓ Activités développées SI :
  - **Analyse fonctionnelle** du robot NAO
  - Caractéristiques techniques de NAO et des **capteurs/actionneurs**
  - Utilisation de Choregraphe : **Programmation, Simulation** et Comportement réel
  - Exploitation du **capteur ultrasonore**
  - Chaîne moteur réducteur coreless et capteur de position à effet hall du bras de NAO
  - **Traitement d'images et identification** (Naomarks)
  - Etude et comparaison des **moys de communication de NAO** (Ethernet, Wifi)
  - Etude des **moys d'optimisation énergétique** utilisés
- ✓ Activités développées STI2D :
  - **Etude cinématique** comparative entre un humain et le robot NAO
  - Etude comparative des amplitudes des mouvements
  - Etude **statique du bras humain** et du bras de NAO
  - Analyse des **conditions d'équilibre statique**
- ✓ Autres activités possibles :
  - **Démarche de choix de quelques matériaux** (coque, engrenages...)
  - Etude des **solutions technologiques et constructives des sous-ensembles Pied et Tibia**
  - **Asservissement en position** des axes du robot NAO
  - **Modélisation et identification du comportement d'un système dynamique**
- ✓ Proposition de projets:
  - **Création de comportements** pour des activités de NAO (ex: NAO surveille une pièce)
  - **Conception d'accessoires pour NAO** (Véhicule motorisé avec communication Bluetooth, Balise de secours...)

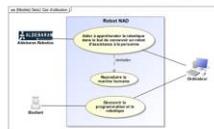
#### EXPRESSION DU BESOIN



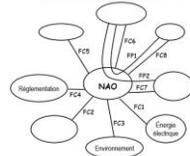
#### DIAGRAMME A-0



#### DIAGRAMME DES CAS D'UTILISATION



#### DIAGRAMME DES INTERACTEURS



Analyse fonctionnelle du Robot NAO

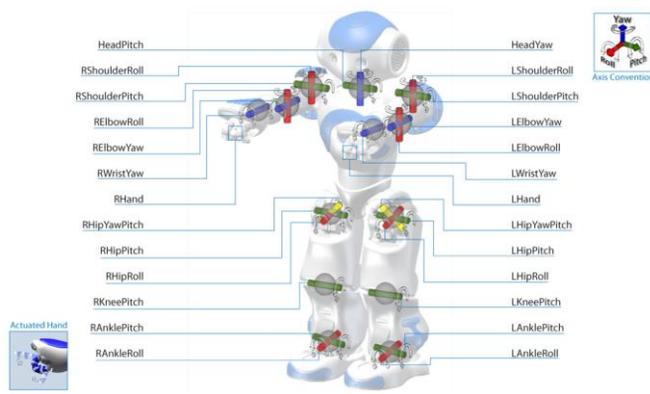
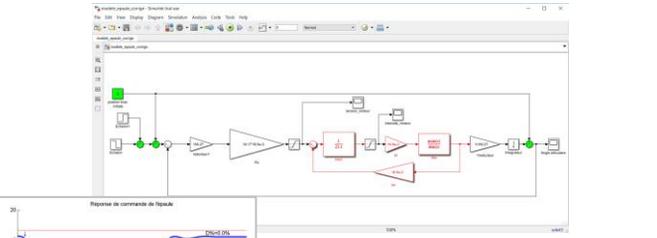
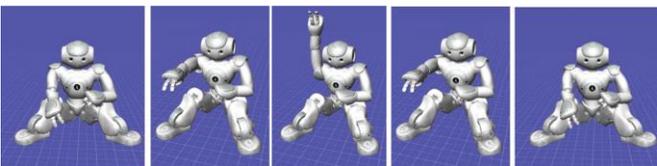


Schéma cinématique du robot NAO



EXPERIMENTATION						
Articulation	Mouvement imposé	% de vitesse	Temps de réponse à 5% (s)	Déplacement (mm)	Vitesse max (mm/s)	Intensité max (A)
Poignet droit	0 à -1.5rad	100%	0.38	0	240 - 300	0.19
		80%	0.42	0	190 - 300	0.20
		50%	0.68	0	120 - 216	0.21
	-1.5 à 0 rad	100%	0.50	0	270 - 330	0.24
		80%	0.61	0	200 - 300	0.26
		50%	0.65	0	130 - 240	0.28
Epaule droite	0 à -1.5rad	100%	0.38	5.8	290 - 500	0.61
		80%	0.56	6	310 - 490	0.71
		50%	0.6	6.7	320 - 570	0.86
	-1.5 à 0 rad	100%	0.34	11	420 - 640	0.80
		80%	0.25	6.9	350 - 580	0.69
		50%	0.41	6.1	210 - 320	0.9

### Exemples d'activités et projets : CPGE

- ✓ Activités développées SII :
  - Analyse fonctionnelle : démarche de conception du robot NAO
  - Analyse des solutions constructives des jambes du robot NAO
  - Cinématique : modélisation et performance d'une chaîne ouverte
  - Asservissement : Commande du poignet et de l'épaule
  - Asservissement : Réponse à un échelon pour le poignet - Inertie et frottement visqueux
  - Asservissement : Optimisation du correcteur PD
  - Séquentiel : Comparaison Grafset-Choregraphe pour la programmation d'une démonstration
  - Statique : Application à la marche statique
  - Hyperstatisme : Etude de l'architecture des jambes du robot NAO
- ✓ Projet :
  - Optimisation d'un saut vertical
- ✓ Colle info :
  - **Modèle géométrique direct** du robot NAO
  - Est-ce que **NAO peut sauter** ?

### Exemples d'activités et projets pour les écoles d'ingénieurs et universités

- ✓ Activités:
  - Prise en main du robot NAO avec Choregraphe
  - Exercices de script Python
  - Automate d'états finis
  - Mouvements
  - Mini-projets « Touche ma tête »
  - Interfacer un module C++ avec Choregraphe, l'exemple du module de Détection de couleur
- ✓ Projets:
  - **Création de comportements** pour des activités de NAO (ex: NAO surveille une pièce)
  - **Conception d'accessoires pour NAO** (Véhicule motorisé, Balise de secours...)
  - **Comportement interactif** entre plusieurs robots
  - **Pilotage du robot** via une tablette (Wi-Fi)

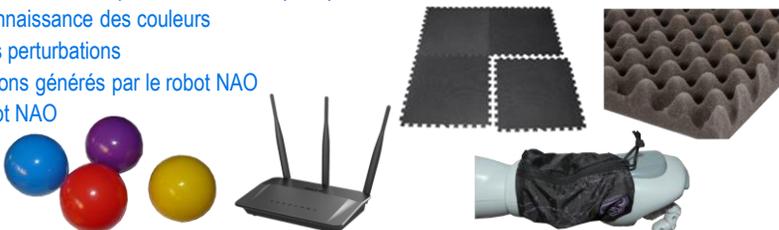


## Compléments

### Accessoires NAO (NA10)

Un kit d'accessoires NAO est disponible pour permettre de faciliter la mise en place des activités pratiques réalisées sur le robot NAO :

- ✓ Balle de différentes couleurs pour le suivi d'objets et la reconnaissance des couleurs
- ✓ Capteur ultra-sons et générateur d'ultra-sons pour créer des perturbations
- ✓ Mousse acoustique pour créer des perturbations des ultra-sons générés par le robot NAO
- ✓ Tapis de sol de fitness pour gêner les déplacements du robot NAO
- ✓ Compteur d'énergie
- ✓ Masse pour le bras du robot
- ✓ Routeur Wi-Fi



### Module d'étude d'asservissement « Pied + Cheville » (NA11)

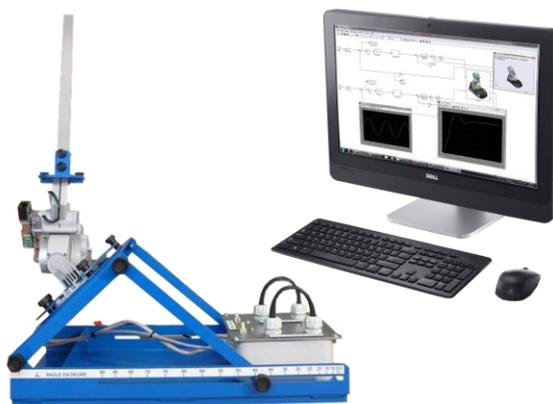
Le « module d'étude d'asservissement Pied + Cheville » est une partie du corps de NAO, réalisée avec les mêmes composants électroniques et mécaniques.

La cheville est montée sur un banc d'essais permettant de réaliser des expérimentations pour comparer le comportement réel et le comportement simulé. Il est fourni un logiciel de pilotage et d'acquisition des données ainsi que les modèles MATLAB Simulink et Sinusphy. Le banc est accompagné d'accessoires pour générer des perturbations.

La cheville est constituée de deux axes motorisés, de quatre capteurs de positions (MRE),

Ce module permet aux enseignants et étudiants d'aborder en profondeur la conception et la commande d'une partie du Robot humanoïde avec des activités pratiques :

- ✓ Contrôles des asservissements
- ✓ Choix d'un correcteur, tests et optimisation
- ✓ Etude et conception des modèles numériques
- ✓ Validation des performances attendues



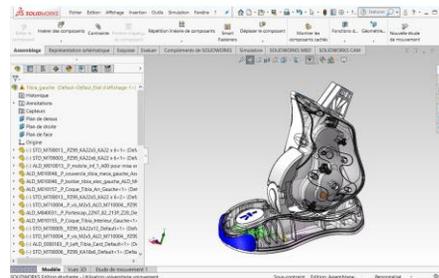
### Module Mécatronique « Pied + Cheville » (NA12)

Le « module Mécatronique Pied + Cheville » est une partie du corps de NAO, réalisée avec les mêmes composants mécaniques ainsi que les moteurs.

Ce sous ensemble du robot permet d'aborder de nombreux domaines liés à la conception et la fabrication des pièces mécaniques :

- ✓ La cinématique
- ✓ Les liaisons mécaniques
- ✓ Les procédés de fabrication
- ✓ Le choix des matériaux
- ✓ Le bilan carbone

Les modèles 3D fournis permettant de reconcevoir certaines pièces, de les réaliser et de les mettre en situation lors de projets élèves.



### Références

**AR//NAOEUUK-B2A-2Y** : Robot humanoïde NAO<sup>6</sup> « For Academics Edition » garanti 2 ans, avec suite logicielle (Choregraphe, Monitor, SDK) en licence site et pack de deux langues (anglais + au choix)

**AR//NAOEUUK-B2A-3Y** : Robot humanoïde NAO<sup>6</sup> « For Academics Edition » garanti 3 ans, avec suite logicielle (Choregraphe, Monitor, SDK) en licence site et pack de deux langues (anglais + au choix)

**NA10** : Kit d'accessoires pour l'accompagnement des activités pédagogiques (Poids, Capteurs ultrasonores, Nuisible ultrasonore, Mousse acoustique, Routeur Wi-Fi, Balles, ...)

**NA11** : Module d'étude d'asservissement Pied + Cheville

**NA12** : Ensemble mécatronique « Pied + Cheville »

**AskNAOtablet** : Environnement applicatif Ask NAO Tablet (contrôle / commande aisée du robot avec plusieurs tablettes) et diverses applications (jeux éducatifs, activités physiques, récompenses) – 1 enseignant et jusqu'à 4 élèves

**AskNAOBlockly** : Environnement de programmation Blockly (type Scratch) pour un robot NAO en licence établissement

**AR//AC-NAHRCASE** : Valise de transport pour le robot NAO

**AR//AC-NAAL** : Langage supplémentaire pour NAO

**AR//AC-NABT** : Batterie supplémentaire pour NAO

**AR//AC-NACH** : Chargeur de batterie Li 2A

Diverses formules de formation (utilisation, programmation / sur site, en nos locaux), nous consulter.