



Mechatronics

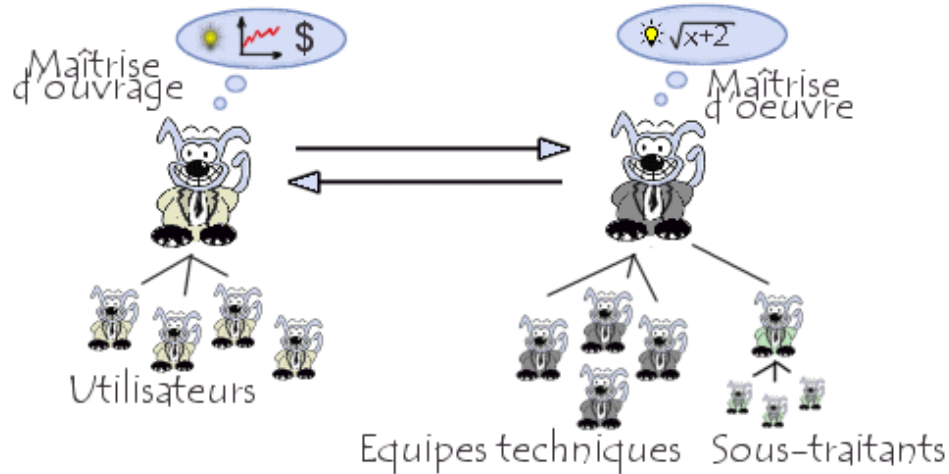
Gestion de projet mécatronique

Guillaume LAURENT

Maîtrise d'ouvrage (MOA) et maîtrise d'œuvre (MOE)

Les quatre étapes d'un projet :

1. Lancement (MOA)
2. Planification (MOE)
3. Réalisation (MOE + équipes + sous-traitants)
4. Recette et clôture (MOA)





Mechatronics

I. Lancement du projet

Lancement du projet



L'objectif du projet est de réaliser un robot mobile pour participer à un tournoi comportant deux épreuves mulympiques : la vitesse et le poids.

Règlement : le robot doit n'avoir que deux roues en contact avec le sol et tenir dans un volume de 30x15x10 cm. Il doit peser 300g au maximum et avoir une autonomie d'au moins 5 min.

A composite image showing a human hand holding a silver and black robotic arm. The background is a blurred industrial factory floor with robotic arms. A blue circuitry pattern is overlaid on the right side of the image.

Mechatronics

II. Planification du projet

Ingénierie mécatronique

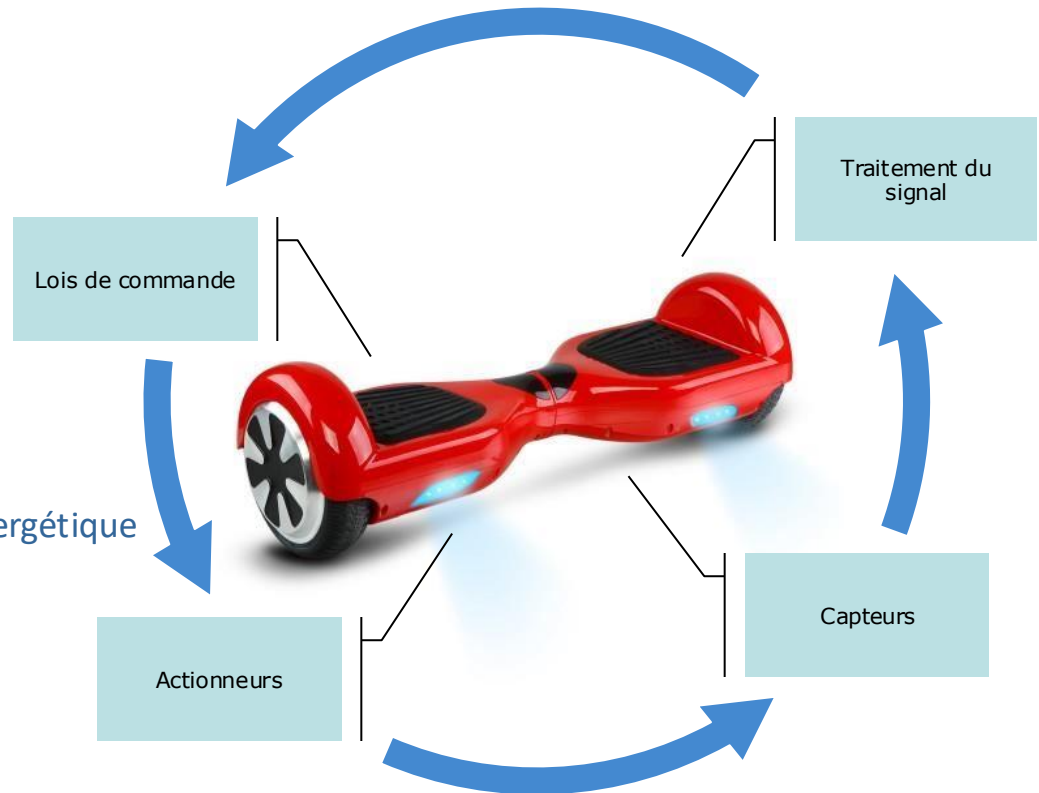
*Synergie de la mécanique, l'électronique, l'automatique et l'informatique dans la conception et la fabrication d'un produit en vue d'en augmenter sa fonctionnalité
(norme NF E01-010)*

Ingénierie pluridisciplinaire

- Mécanique
- Electronique
- Automatique
- Informatique

Objectifs

- Innovation
- Augmentation des fonctionnalités
- Réduction de la consommation énergétique
- Réduction du coût
- Augmentation de la productivité

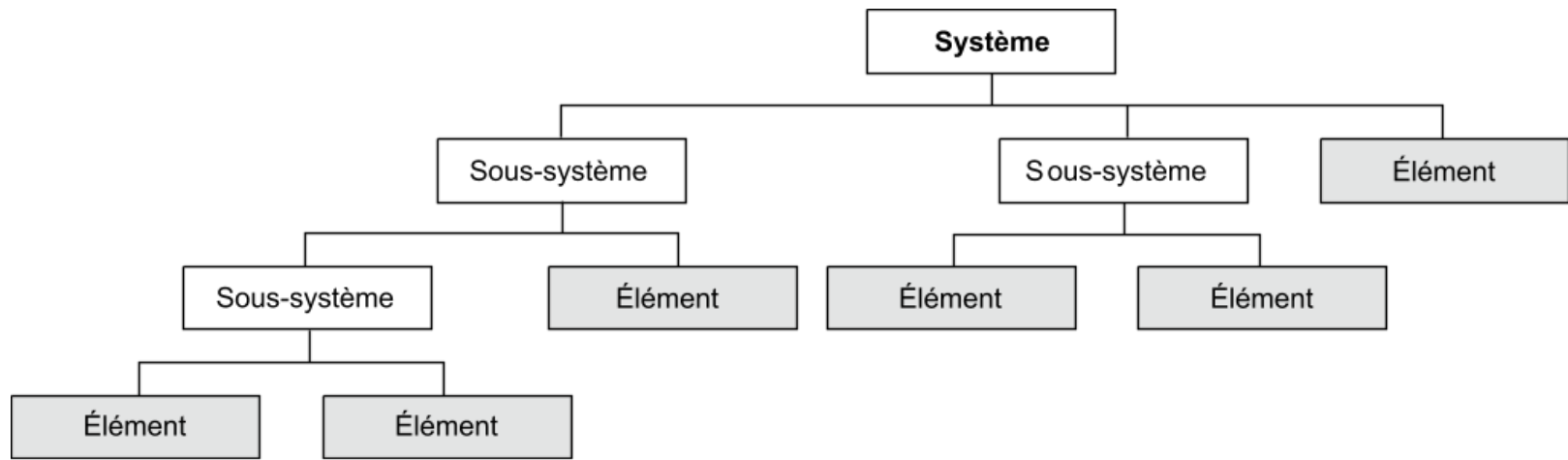


Ingénierie des systèmes

« Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but. » Joel de Rosnay (1975)

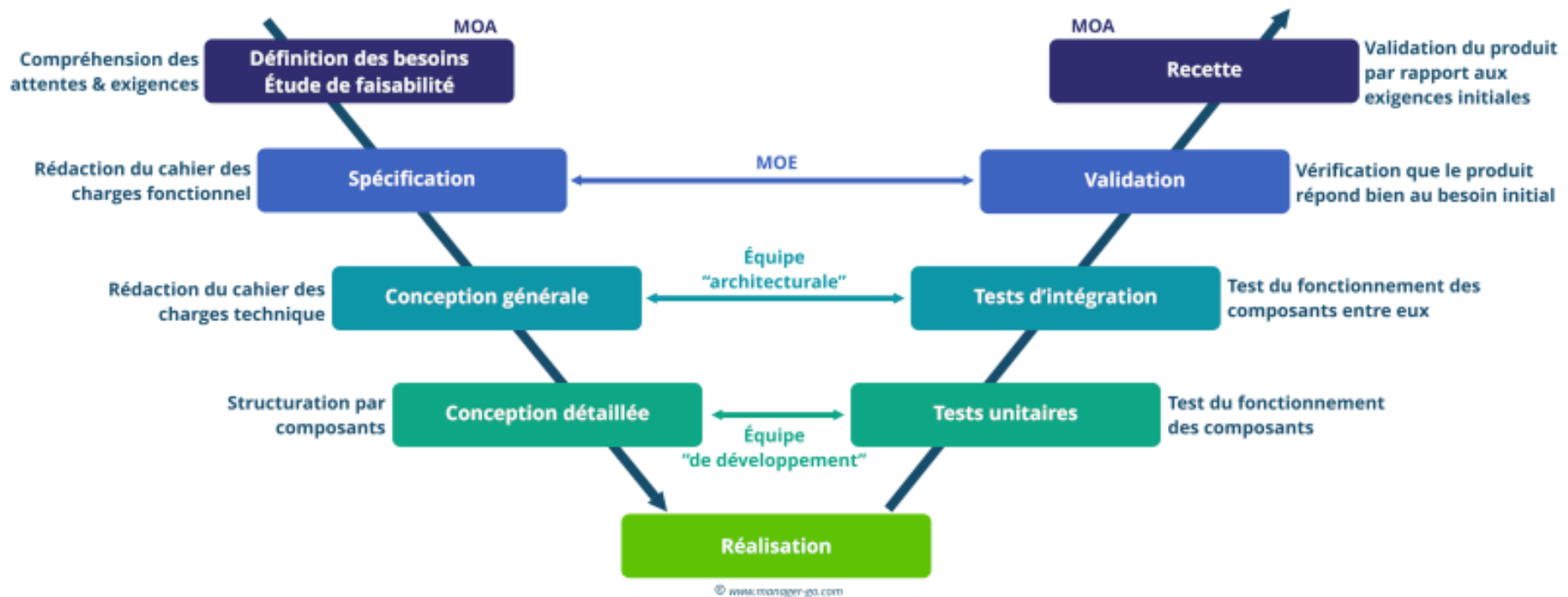
Norme ISO/IEC/IEEE 15288, publiée le 16 mai 2023 : *Ingénierie des systèmes et du logiciel – Processus du cycle de vie du system (Systems and software engineering – System life cycle processes)*

Modèle standard d'organisation des projets => cycle en V

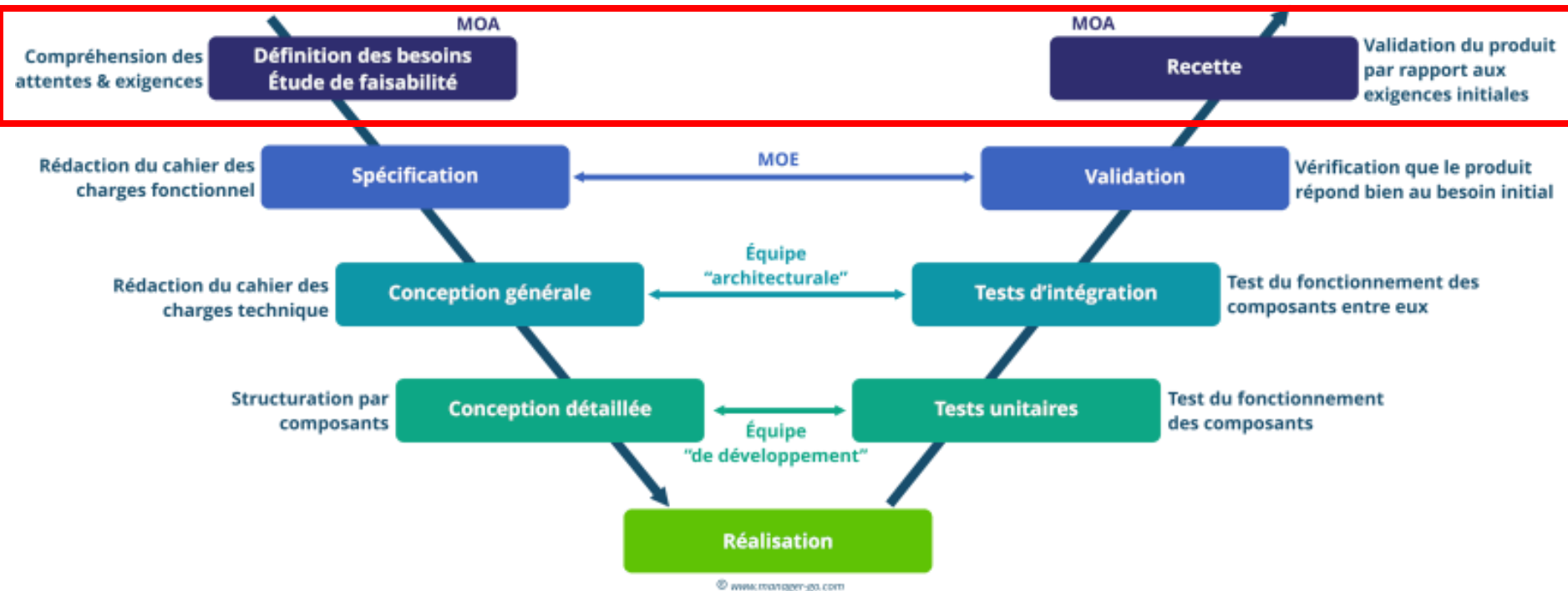


Cycle en V

Projet piloté par les tests !!



Cycle en V



Recette

Définir les critères de réussite du projet

Tests d'acceptation par l'utilisateur ou le marché

Exemple de recette pour le tournoi :

- Participer aux épreuves
- Finir dans le top 3 des 10 étables en lice
- Epater les profs

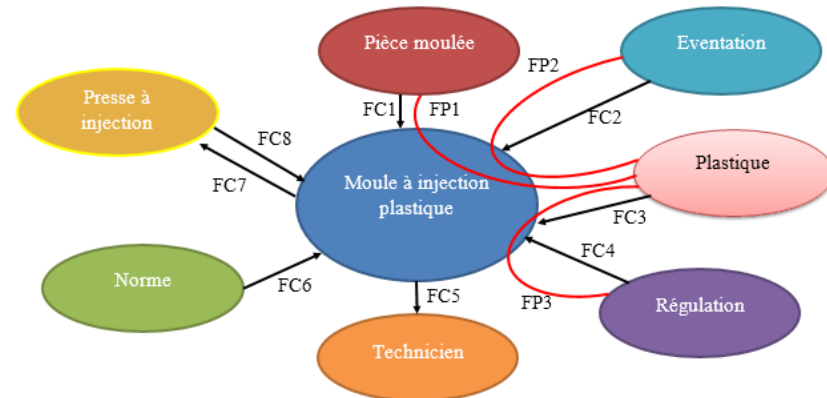
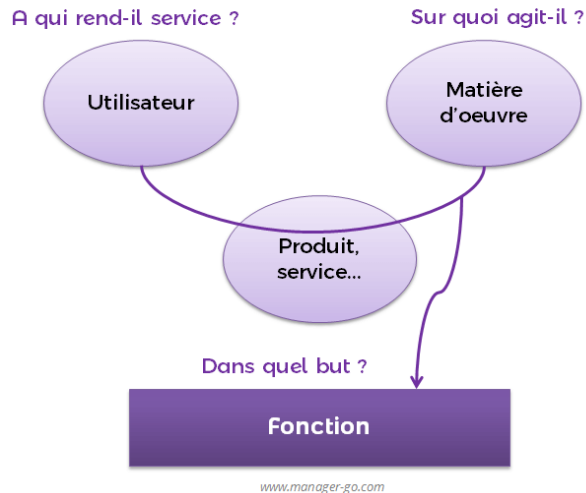
Expression des besoins

Définir les contours du projet pour mener à sa réussite

Outils :

- Bête à corne, diagramme pieuvre (APTE)
- Story mapping (SCRUM)
- Cas d'utilisation (SysML)

Diagramme « Bête à cornes » - méthode APTE

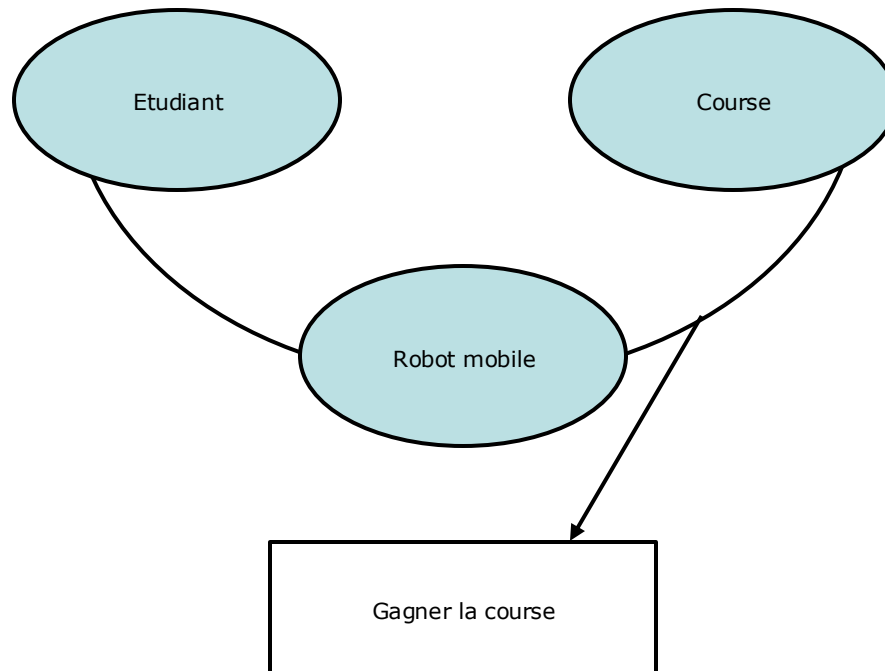


FP1 : Permettre à la pièce d'être moulée avec le plastique	FC1 : Mouler la pièce
FP2 : Optimiser l'évacuation de l'air du moule à injection	FC2 : Evacuer l'air
FP3 : Optimiser la régulation thermique du moule à injection	FC3 : Contenir le plastique
	FC4 : Se raccorder sur le réseau d'eau
	FC5 : Communiquer les informations de fonctionnement au technicien
	FC6 : Respecter les normes (dimensions, sécurité mécanique)
	FC7 : Se fixer à la presse à injection
	FC8 : Actionner les mouvements du moule

Diagramme pieuvre

Expression des besoins

Exemple de bête à corne pour le tournoi



Besoins



Aller le plus vite possible avec un robot mobile en équilibre

Porter le plus lourd possible avec un robot en équilibre

Contraintes



Deux roues en contact avec le sol

Hauteur max 30cm

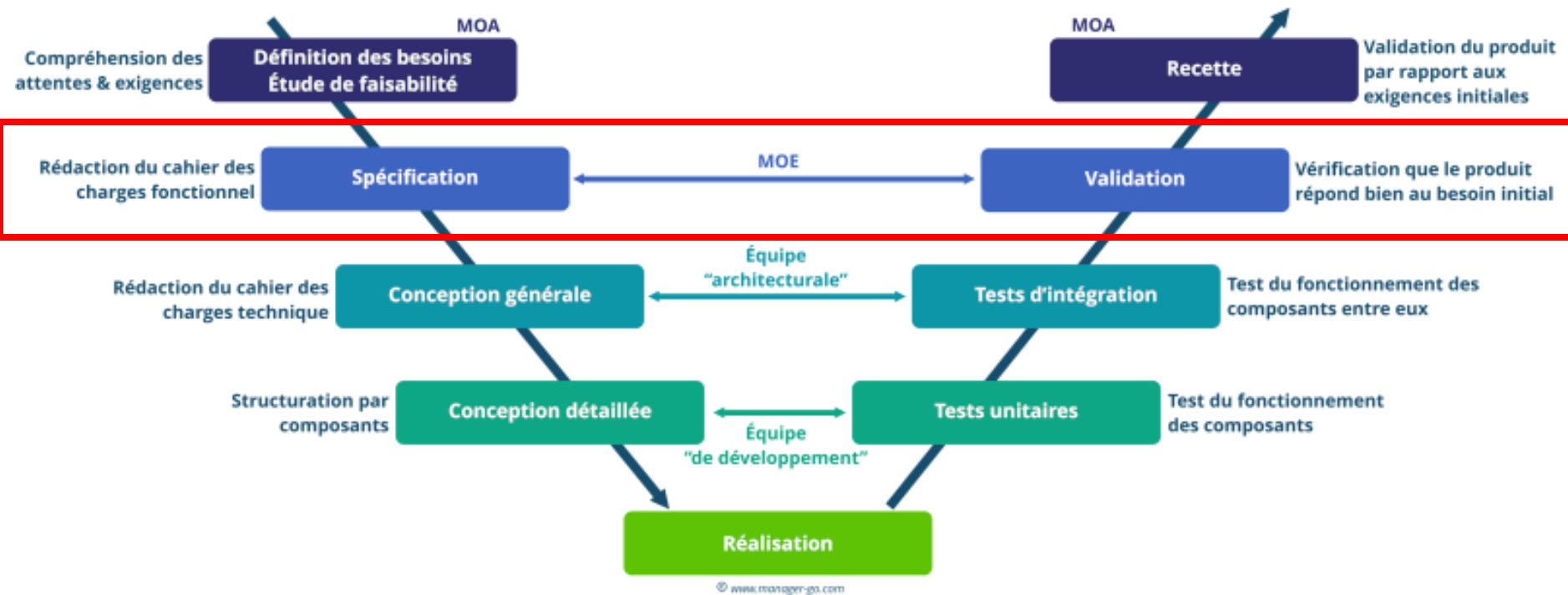
Largeur max 15cm

Longueur max 10cm

Autonomie min 5min

Masse max 300g

Cycle en V



Validation (tests de conformité)

Vérifier la conformité au cahier des charges fonctionnel

Tests contractuels !!!

Exemples des tests de validation pour le tournoi :

- Tenir en équilibre pendant 30 secondes
- Tenir en équilibre pendant 30 secondes avec une charge de 50g
- Parcourir 2 mètres sans tomber
- Parcourir 2 mètres sans tomber en moins de 10 secondes

Spécifications fonctionnelles

Du "pourquoi" au "comment"

Exigences fonctionnelles

Exigences non fonctionnelles (contraintes techniques, qualité, etc)

Outils :

- Cahier des charges
- FAST
- SADT
- SysML

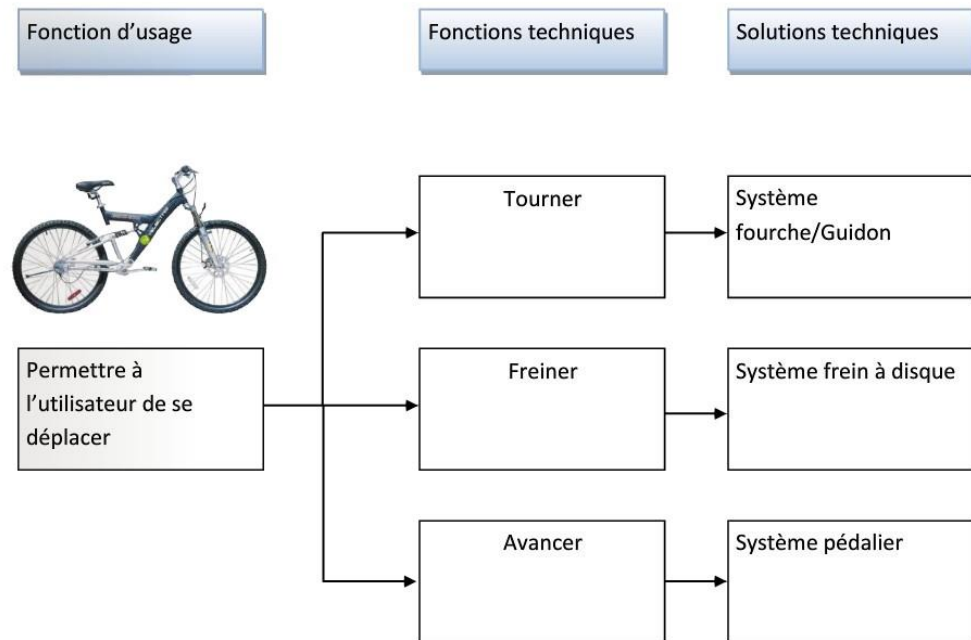
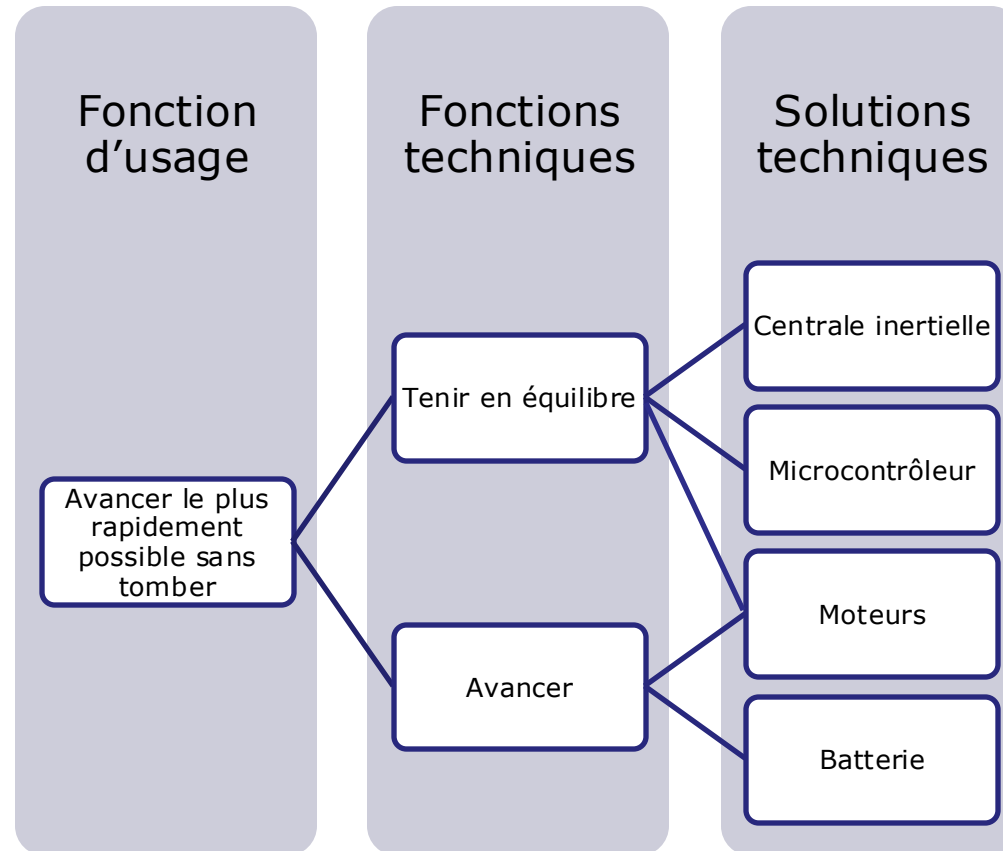


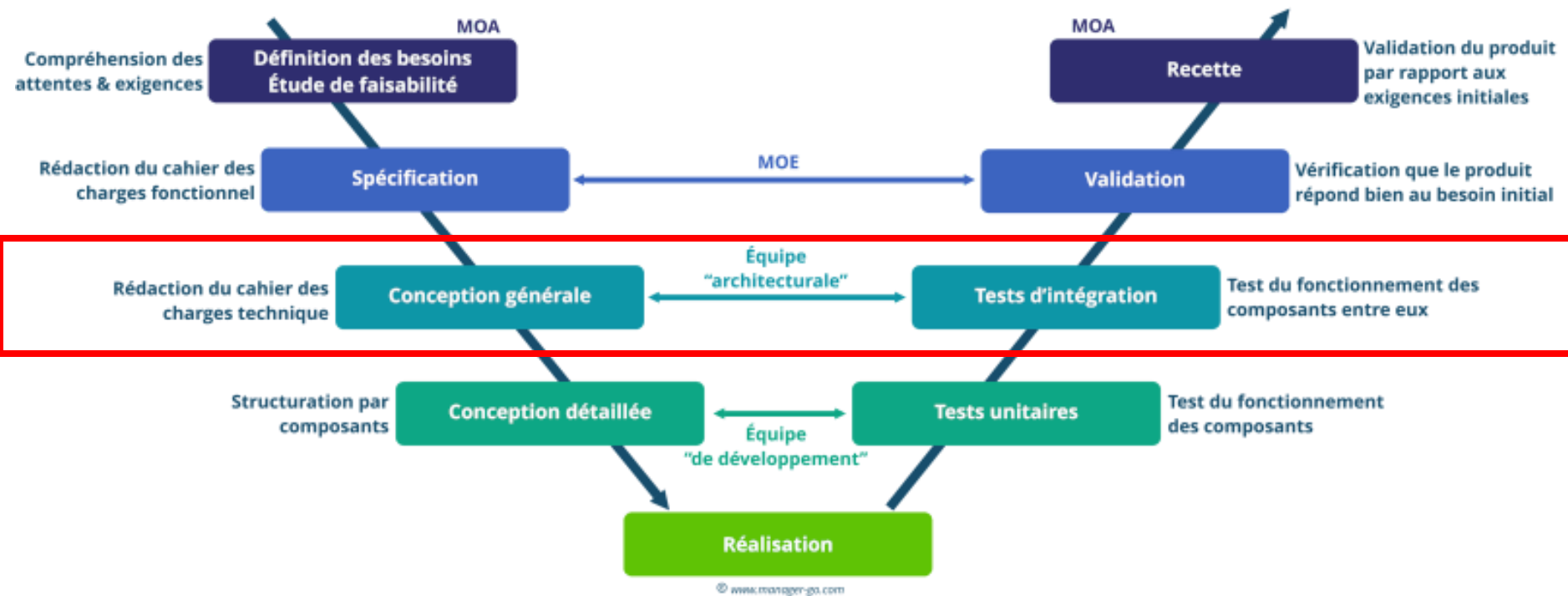
Diagramme FAST

Spécifications fonctionnelles

Exemple de diagramme FAST pour le tournoi



Cycle en V



Tests d'intégration

Vérifier que tout fonctionne ensemble

Exemples de tests d'intégration pour le tournoi :

- Vérifier que les composants mécaniques s'assemblent et fonctionnent toujours une fois assemblés
- Mesurer l'autonomie
- Tenir en équilibre

Conception architecturale

Identifier les sous-systèmes

- Capteurs ?
- Actionneurs ?
- Pièces mécaniques ?
- Lois de commandes ?
- Electronique ?

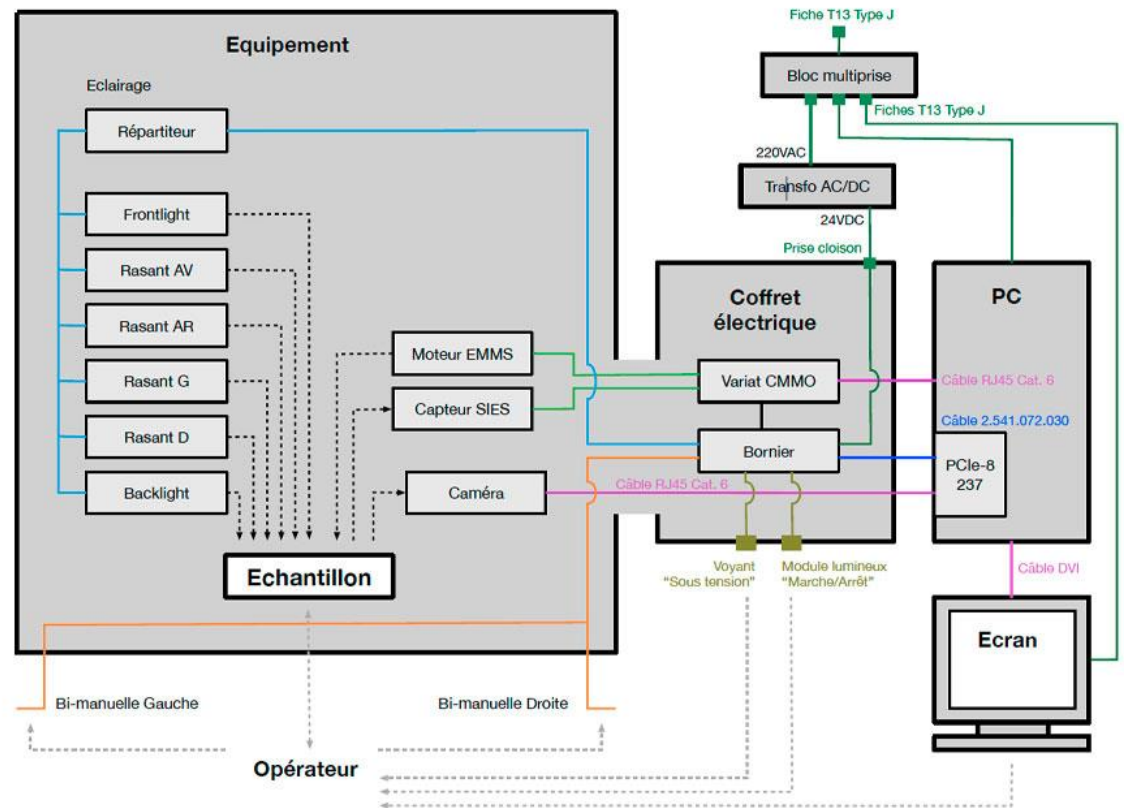
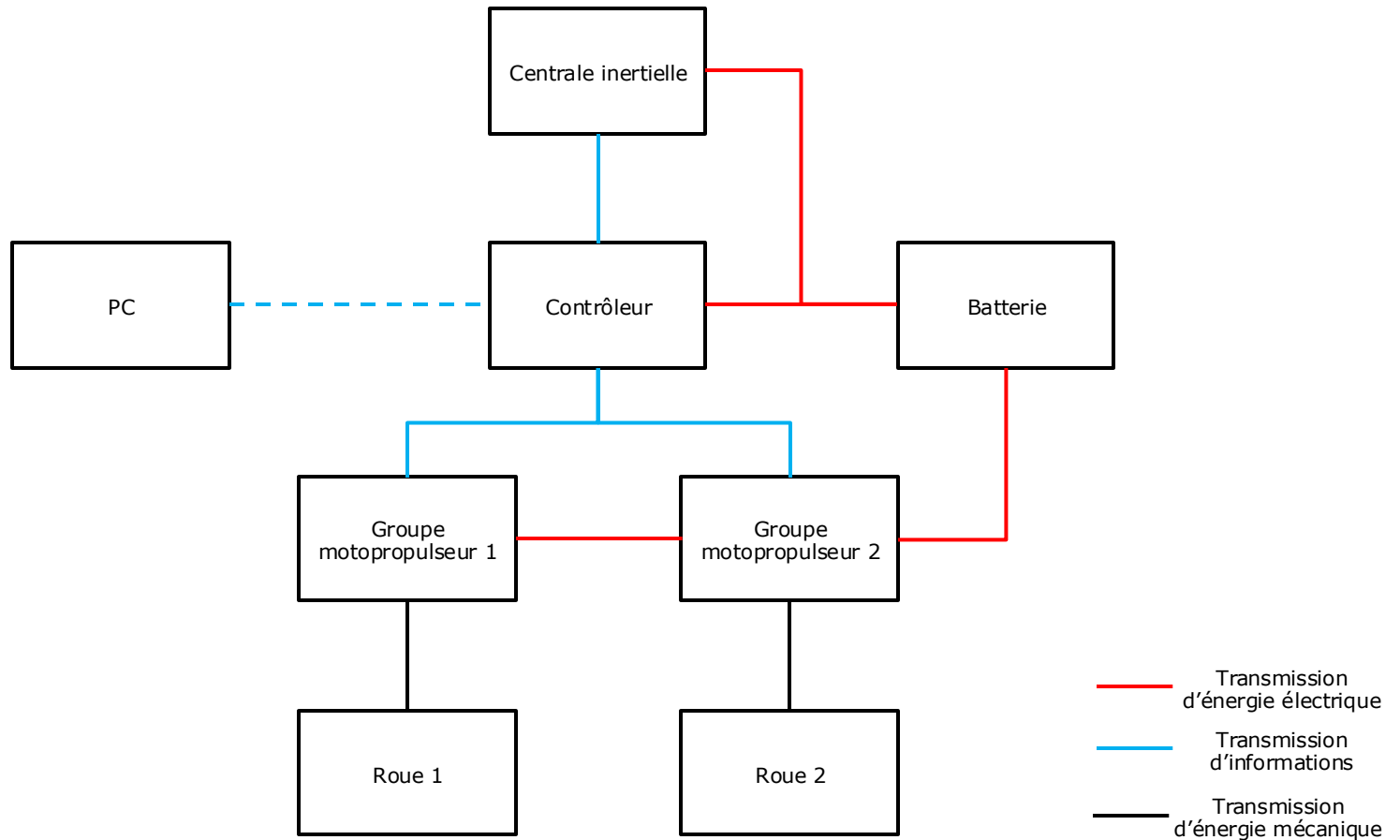


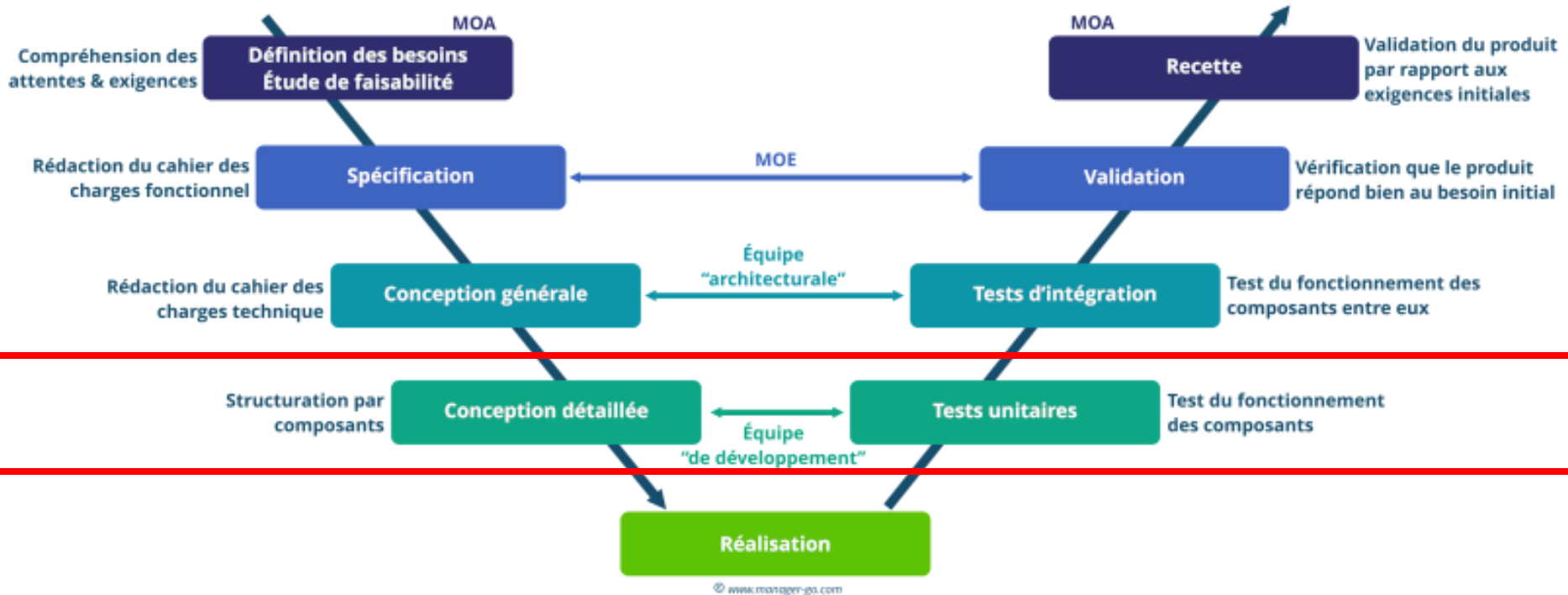
Diagramme architectural

Conception architecturale

Exemple de diagramme architecturale pour le tournoi



Cycle en V



Tests unitaires

Vérifier le fonctionnement de chaque composant

Eviter les régressions (conserver les tests unitaires !!!)

Exemples des tests unitaires pour le tournoi :

- Mesurer l'inclinaison du robot
- Appliquer une vitesse/couple linéaire sur les moteurs
- Mesurer la période d'échantillonnage
- Mesurer le temps de réponse des moteurs
- Etc.

Conception détaillée

Conception/choix des composants

Interne / externe

Exemples pour le tournoi :

- Centrale inertielle
- Contrôleur
- Batterie
- Groupe motopropulseur
- Châssis et connexions électriques

Choix de la centrale inertielle

Fonction : mesurer l'inclinaison du robot

Choix : Joy-IT SEN-MPU6050

Module 6 DoF I2C basé sur un MPU6050 associant un accéléromètre 3 axes et un gyroscope 3 axes.

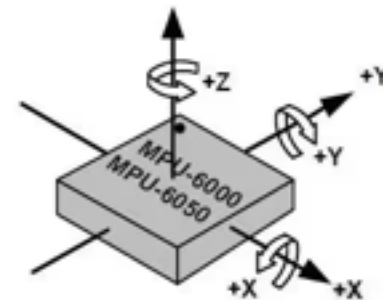
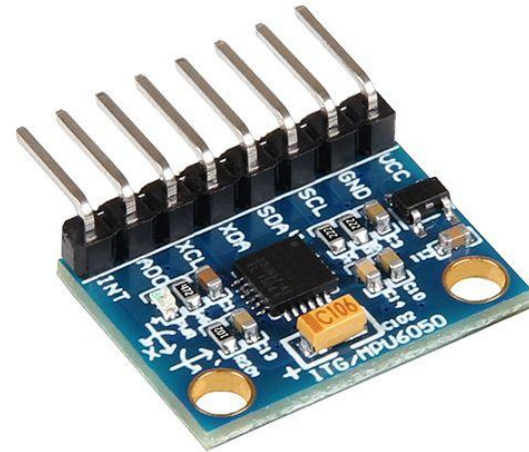
Ce capteur se raccorde sur le bus I2C d'une carte Raspberry Pi ou Arduino, via un jeu de cordons non inclus, (voir BBJ12 pour Raspberry Pi et BBJ21 pour Arduino). Ce capteur peut également être enfilé dans une plaque de montage rapide.

Joy-It met à disposition un guide d'utilisation avec exemples et programmes pour Raspberry Pi et Arduino, voir [guide d'utilisation](#).

Caractéristiques:

- Alimentation: 3,3 à 5 Vcc
- Consommation: 3,9 mA maxi
- Plages de mesure:
 - accéléromètre: $\pm 2\text{ g}$ - $\pm 4\text{ g}$ - $\pm 8\text{ g}$ - $\pm 16\text{ g}$
 - gyroscope: $\pm 250/500/1000/2000\text{ }^\circ/\text{s}$
- Interface I2C
- Température de service: $-40\text{ }^\circ\text{C}$ à $+85\text{ }^\circ\text{C}$
- Dimensions: 25 x 20 x 7 mm

Référence Joy-It: [SEN-MPU6050](#)

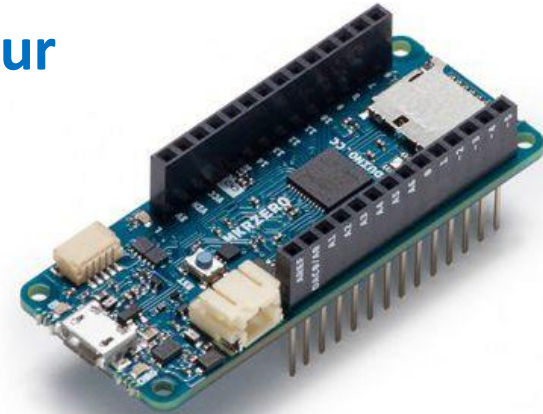


Choix du contrôleur

Fonction 1 : réguler l'inclinaison du robot

Fonction 2 : communiquer avec le PC

Fonction 3 : stocker des données



Choix : Arduino MKR

Présentation et fonctionnalités :

Carte Arduino MKR Zero basée sur un SAMD21 Cortex M0+ 32 bits cadencé à 48 MHz.

La MKR Zero comporte :

- un lecteur microSD (non incluse) pour jouer directement des sons.
- un connecteur JST-PH 2.0 mm pour accu LiPo afin de la rendre autonome.

Programmation et communication :

La carte Arduino MKR Zero se programme via son port micro-USB (cordon USB non inclus) avec le logiciel Arduino disponible en téléchargement sur le site [Arduino.cc](https://www.arduino.cc).

Connectique :

Le module est équipé d'un connecteur JST pour une batterie LiPo et un circuit de charge est intégré au module (recharge via le port USB).

Son implantation le rend compatible avec les plaques de connexions rapides.

Remarques :

Les entrées/sorties fonctionnent sous 3,3 Vcc. L'utilisation de 5 Vcc en entrée endommagerait la carte.

Version d'origine, conçue et assemblée en Italie.

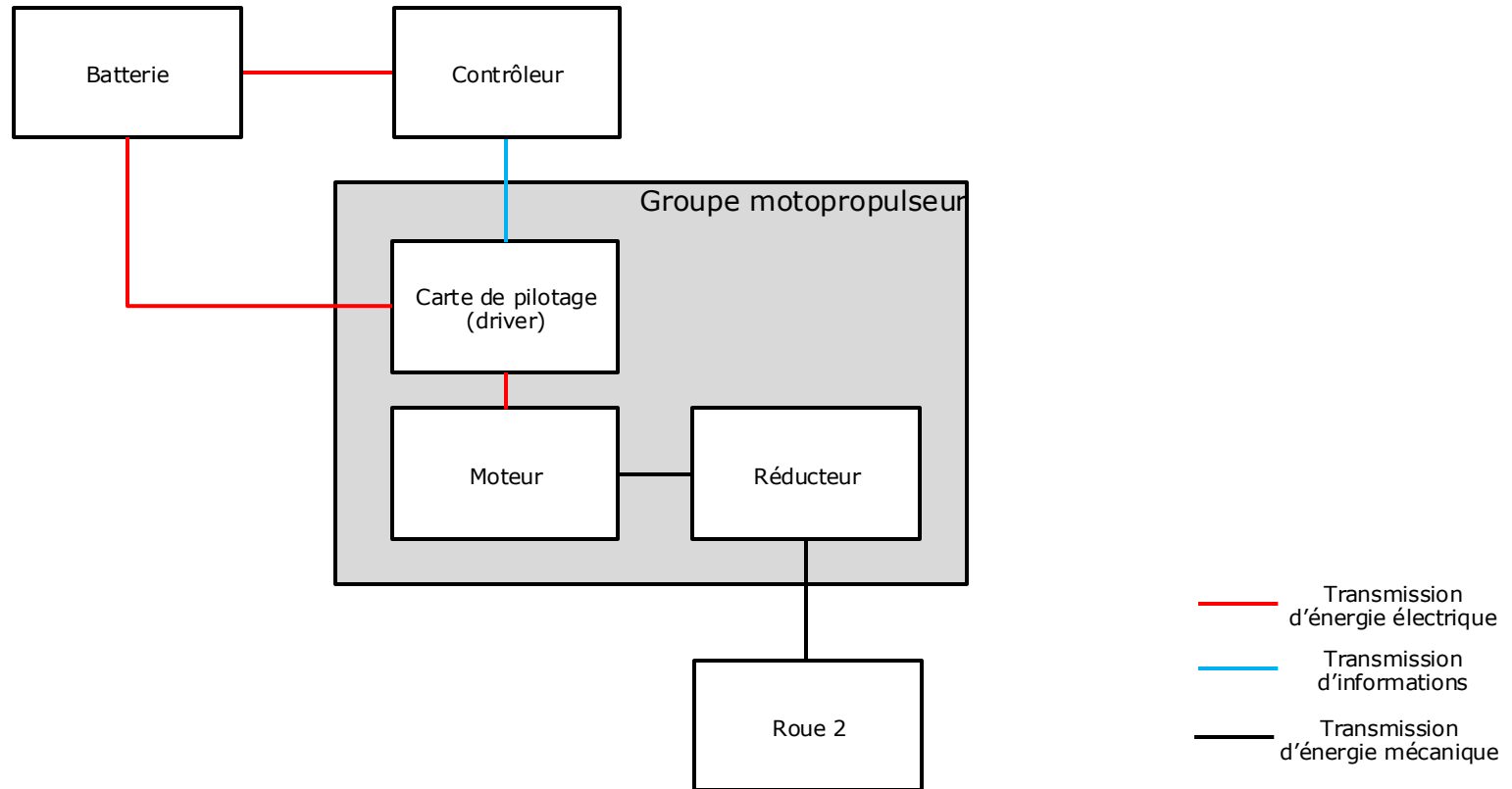
Référence : Arduino MKR Zero [ABX00012](https://www.arduino.cc/en/Reference/MKRZero)

Caractéristiques :

- Alimentation :
 - via port micro-USB (non inclus, voir articles conseillés)
 - via batterie LiPo 3,7 Vcc (non incluse, voir articles conseillés)
 - via broche VIN (5 Vcc)
- Microcontrôleur : SAMD21 Cortex M0+ 32bits à 48 MHz
- Mémoire flash : 256 kB
- Mémoire SRAM: 32 kB
- Mémoire EEPROM : aucune
- Support pour carte microSD (carte non incluse)
- Tension de sortie : 3,3 Vcc
- 22 broches d'E/S digitales dont :
 - 12 PWM
 - 7 entrées analogiques ADC 8, 10 et 12 bits
 - 1 sortie analogique DAC 10 bits
- Intensité par E/S : 7 mA
- Bus série, I2C et SPI
- Gestion des interruptions
- Fiche JST pour batterie LiPo
- Fiche micro-USB
- Dimensions : 62 x 26 x 21 mm

Conception du groupe motopropulseur

Fonction : propulser le robot



Conception du groupe motopropulseur

Fonction : propulser le robot

Choix des composants :

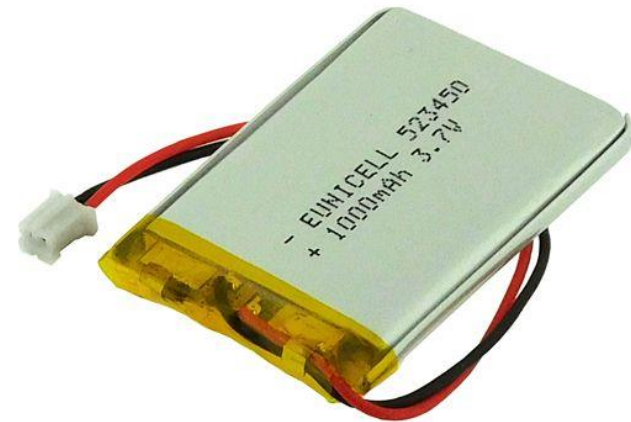
- Moteur à courant continu 6V Polulu HP 989
- Carte de pilotage 2x1,2A pour deux moteurs à courant continu Polulu DRV8835
- Réducteur 50:1 Polulu HP 998
- Paire de supports moteurs Polulu 989
- Paire de roues noires Pololu Ø80 x 10 mm



Choix de la batterie

Fonction : alimenter le robot en énergie électrique

Choix : Batterie LiPo PR523450



Présentation et fonctionnalités :

Accu LiPo 3,7 V 1000 mAh de taille et de poids réduits. Protection contre les surcharges et les courts-circuits.

Chargeurs compatibles disponibles [à cette adresse](#).

Connectique :

Sortie sur connecteur 2 broches JST-PH 2 mm.

Remarques :

Veuillez vérifier la polarité du module sur lequel vous souhaitez connecter cet accu.

Ne recharger cette batterie qu'avec un [chargeur approprié](#) et respecter les précautions d'utilisation (risque d'explosion ou d'inflammation).

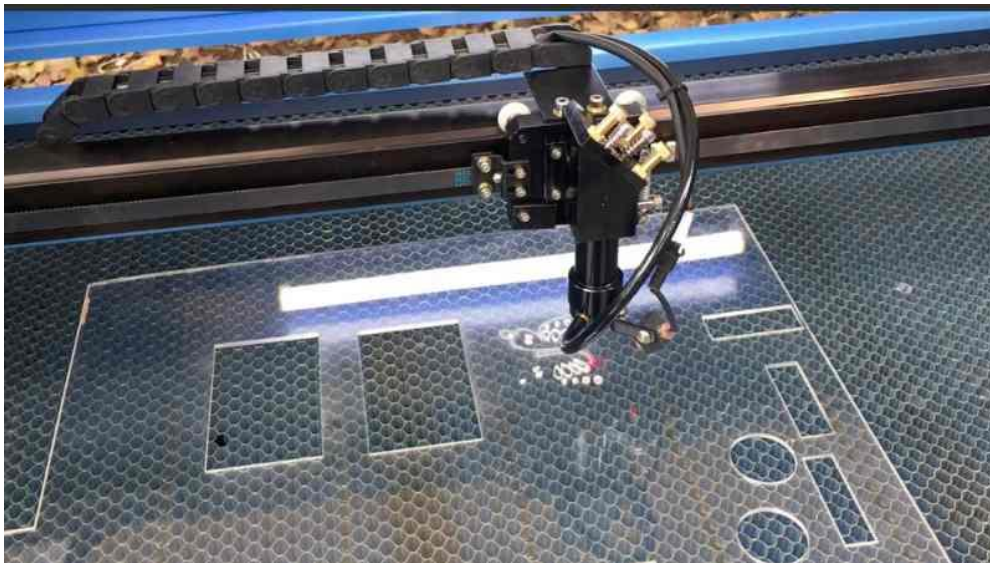
Caractéristiques :

- Tension : 3,7 Vcc
- Intensité : 1000 mAh
- Connecteur : 2 broches JST 2 mm
- Dimensions : 34,5 x 52,5 x 6,2 mm
- Longueur du câble : environ 100 mm
- Poids : 19 g

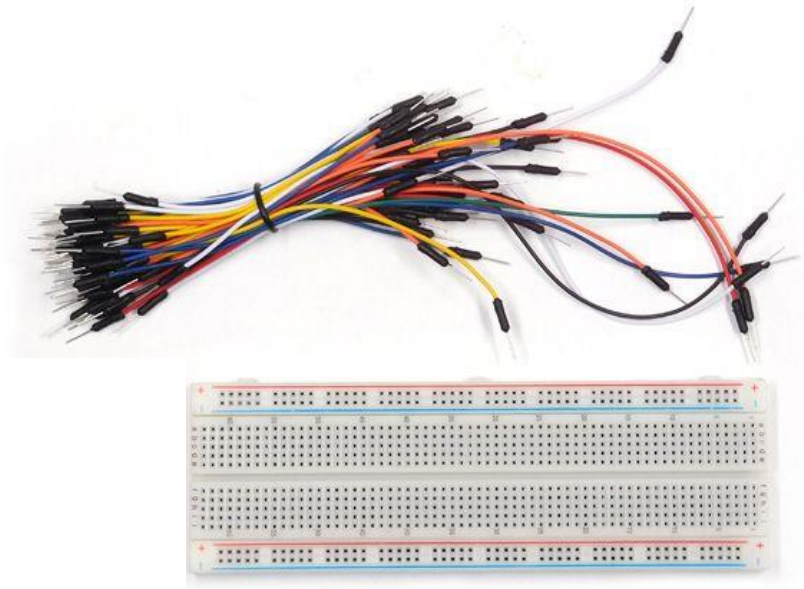
Châssis et connexions électriques

Fonction : maintenir les éléments entre eux

Fonction : permettre les échanges d'énergie et d'information



Découpe laser de plexiglas (PMMA)



Plaque de montage rapide

Budget

Ressources humaines : deux ingénieurs juniors pendant une semaine soit 10 jours-personnes soit 2000 € (avec charges patronales)

Matériel :

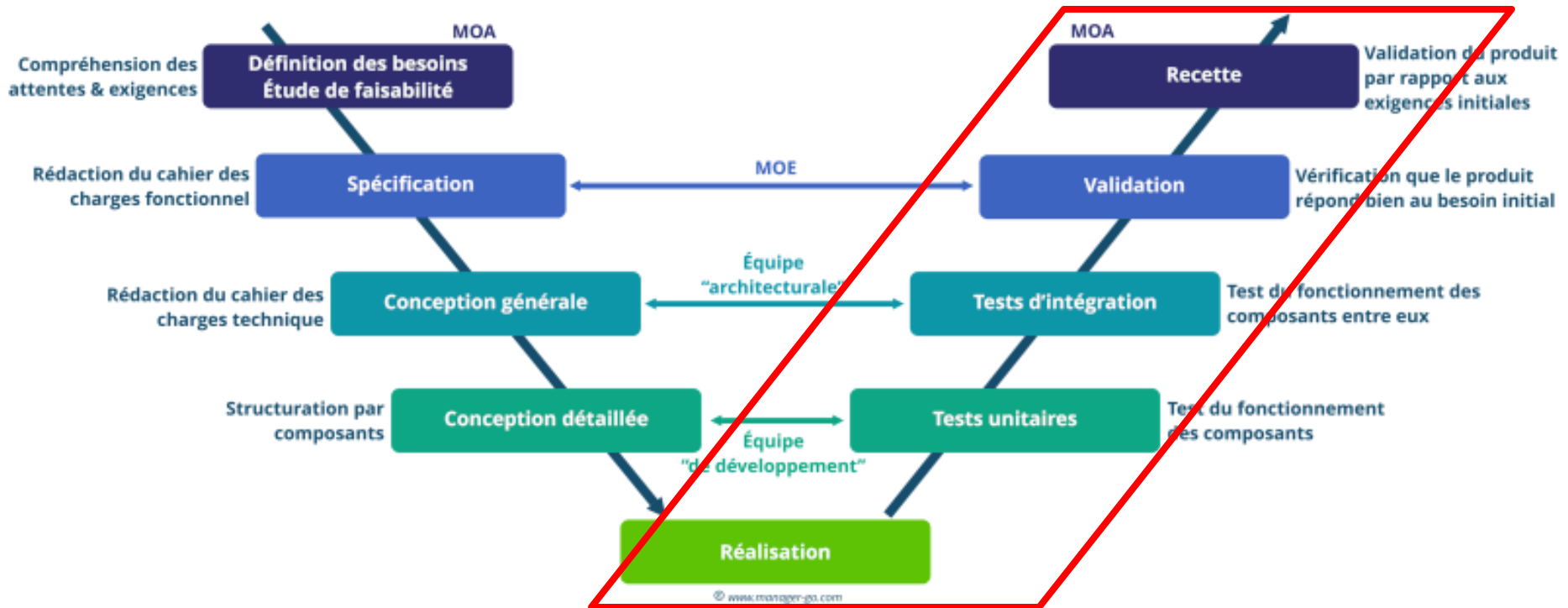
Solutions techniques	Composants	Prix	Nombre	Total	Référence
Microcontrôleur	Arduino MKR Zero	31,60 €	1	31,60 €	https://www.gotronic.fr/art-carte-arduino-mkr-zero-abx00012-27322.htm
	Cable USB C	4,20 €	1	4,20 €	https://www.gotronic.fr/art-cordon-1-m-usb200-38149.htm
Centrale inertielle	Module 6 DoF SEN-MPU6050	2,60 €	1	2,60 €	https://www.gotronic.fr/art-module-6-dof-sen-mpu6050-31492.htm
Moteurs	Moteur CC + reducteur	27,90 €	2	55,80 €	https://www.gotronic.fr/art-motoreducteur-hp-998-22285.htm
	Paire de roues	10,95 €	1	10,95 €	https://www.gotronic.fr/art-paire-de-roues-noires-pololu-80-x-10-mm-22282.htm
	Paire de supports	5,20 €	1	5,20 €	https://www.gotronic.fr/art-paire-de-supports-moteurs-989-22278.htm
	Driver	7,70 €	1	7,70 €	https://www.gotronic.fr/art-commande-de-2-moteurs-cc-drv8835-2x1-2a-21715.htm
Batterie	Batterie LiPo 3,7V 1000mAh	9,90 €	1	9,90 €	https://www.gotronic.fr/art-accu-lipo-3-7-vcc-1000-mah-pr523450-5813.htm
Connexions électriques	Plaque de montage rapide	9,50 €	1	9,50 €	https://www.gotronic.fr/art-kit-plaque-de-montage-sd80a-25864.htm
Chassis	Plaque de plexiglas	- €	1	- €	
			Total	137,45 €	



Mechatronics

Planification du projet

Cycle en V

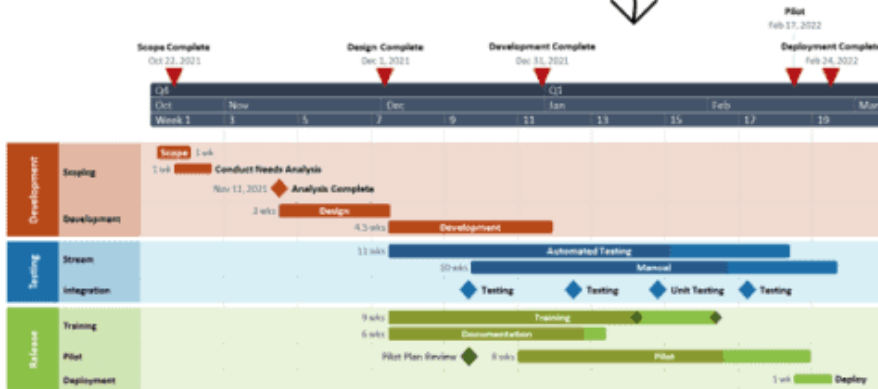


Planification du projet

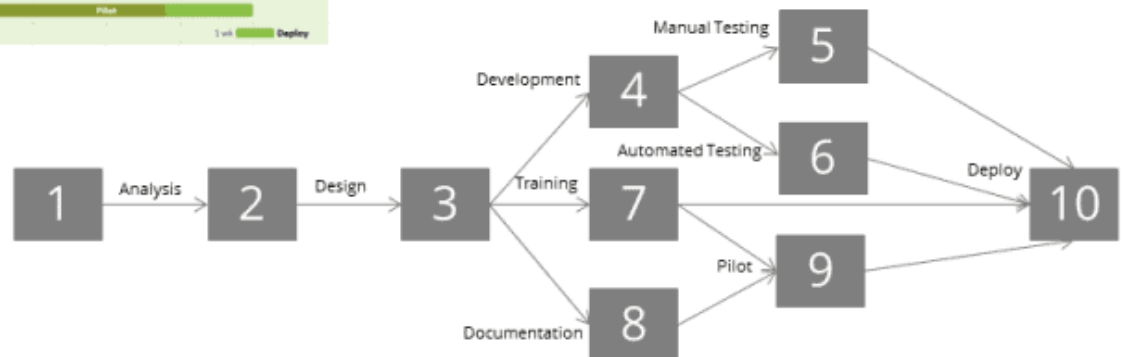
Identifier et organiser les tâches

- Tâches préliminaires, intermédiaires et terminales ?
- Séquence des tâches ?
- Qui va travailler sur quoi ?

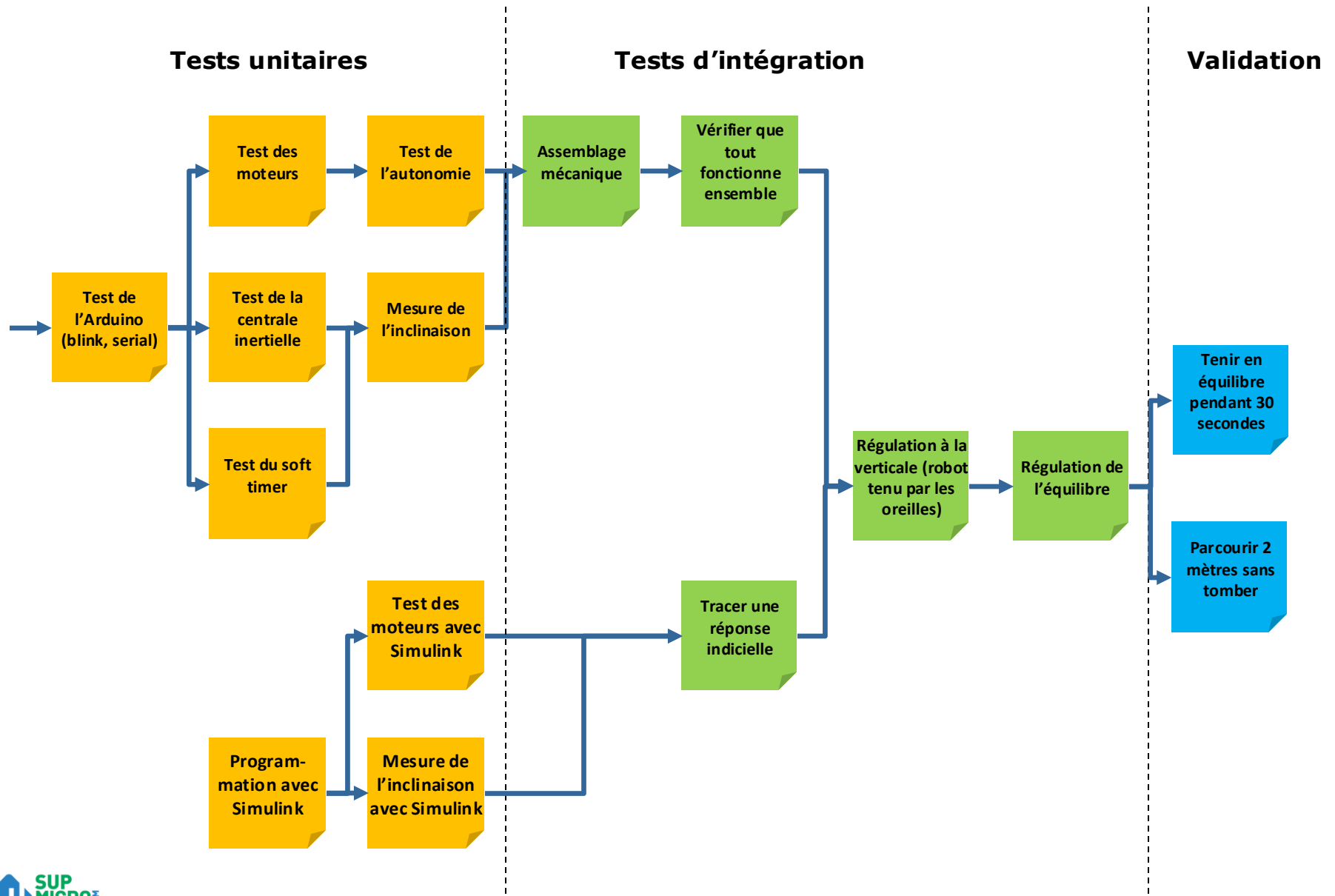
Gantt chart



PERT chart



Planification du tournoi (PERT)





Mechatronics

III. Réalisation du projet

A vous de jouer !



Mechatronics

IV. Recette et clôture

Rendez-vous vendredi à 10h pour compter les bouses !