

Table des matières:

1 Présentation de l'équipe.....	3
2 Niveau système.....	3
2.1 Définition des exigences (LOT P10).....	3
2.1.1 Description générale du système (LOT P11).....	3
2.2 DOSSIER DE CONCEPTION DU SYSTEME (LOT 20).....	17
2.2.1 Description générale du système (LOT P21).....	17
2.2.2 Architectures fonctionnelle et dynamique du système (LOT P22).....	19
2.2.3 Architecture organique du système (LOT 23).....	24
Justification des choix d'implantation:.....	24
Allocation des fonctions sur les organes.....	25
2.2.4 Interfaces du système (LOT 24).....	27
3 Niveau sous-système.....	30
3.1 Dossier de conception du châssis.....	30
3.1.1 Description générale du châssis.....	30
3.1.2 Architecture organique du châssis.....	31
3.1.3 Interface du châssis.....	31
3.1.4 Justification des choix de conception du châssis.....	32
3.2 Dossier de conception du système de déplacement.....	32
3.2.1 Description générale du système de déplacement.....	32
3.2.2 Architecture organique du système de déplacement.....	33
3.2.3 Justification des choix de conception du système de déplacement.....	33
3.3 Dossier de conception du système de récupération du ballon.....	33
3.3.1 Description générale du système de récupération du ballon.....	33
3.3.2 Architecture organique du système de récupération du ballon.....	34
3.3.3 Interface du système de récupération du ballon.....	34
3.3.4 Justification des choix de conception du système de récupération du ballon.....	35
3.4 Dossier de conception du système de maintien du ballon.....	35
3.4.1 Description générale du système de maintien du ballon.....	35
3.4.2 Architecture organique du système de maintien du ballon.....	36
3.4.3 Interface du système de maintien du ballon.....	36
3.4.4 Justification des choix de conception du système de maintien du ballon.....	36
3.5 Dossier de conception du système du bloc capteurs.....	37
3.5.1 Description générale du système du bloc capteurs.....	37
3.5.2 Architecture organique du système du bloc capteurs.....	37
3.5.3 Justification des choix du système du bloc capteurs.....	37
3.6 Dossier de conception du système d'alimentation.....	39
3.6.1 Description générale du système d'alimentation.....	39
3.6.2 Architecture organique du système d'alimentation.....	39
3.6.3 Interface du système d'alimentation.....	39
3.6.4 Justification des choix du système d'alimentation.....	40
3.7 Dossier de conception du système de l'IHM.....	41

3.7.1 Description générale du système de l'IHM.....	41
3.7.2 Interface du système de l'IHM.....	41
3.7.3 Justification des choix de conception du système de l'IHM.....	42
4 Plan d'intégration, vérification et validation (LOT 30).....	42
4.1 Plan d'IVV (LOT 31).....	42
4.1.1 Maintenir et Prendre le ballon.....	43
4.1.2 Lancer le ballon sur la longueur du terrain (130cm) (Exigences F.2 & OP.2).....	46
4.1.3 Se déplacer avec/sans le ballon sur le terrain.....	48
4.1.4 Détecter le ballon.....	50
4.1.5 Détecter défenseurs (cube 3x3 cm rouge).....	52
4.1.6 Eviter les défenseurs.....	54
4.1.7 Aplatir le ballon dans la zone d'en-but.....	56
4.1.8 Scénario "auto-test" : conditions initiales imposées (robot en zone d'engagement, ballon axe 3).....	58
5 Dossier de maintenabilité – Définition de la maintenance (LOT 40).....	60
5.1 Fondements et Objectifs de la Maintenance.....	60
5.2 Stratégie et Types de Maintenance.....	61
5.3 Plan de Maintenance Préventive.....	62
5.4 Analyse des Risques (AMDEC Produit).....	63
4.5. Fiches de Maintenance Préventive.....	63
6 Management du projet (Lot 50).....	65
6.1 Organisation et suivi du projet (LOT 51).....	65
6.2 Management des risques (LOT 52).....	68
7 Configuration (Lot 60).....	70
7.1 Nomenclature de définition du système (Arborescence Produit - PBS).....	70
7.2 Schéma général d'interconnexion électrique.....	70
7.3 Schéma général de communication (Flux de données).....	71
7.4 Instructions d'identification et Traçabilité.....	72

Edition	Nature de l'évolution	Evolution	Date
V1.0	Création		10/10/2025

1 Présentation de l'équipe

L'équipe projet se compose de cinq membres aux compétences complémentaires. Rayan TALAOUBRID, chef de projet, coordonne l'ensemble des travaux : il planifie les différentes étapes, assure le suivi des objectifs et garantit le respect des contraintes de délai et de qualité. Adama THIAM et Apeesh SIVANANTHAM, tous deux ingénieurs en modélisation, sont chargés de l'étude et de la modélisation dynamique du robot, depuis l'établissement des modèles cinématiques et dynamiques jusqu'à leur validation par la simulation. Bryan COULIBALY, ingénieur informatique, est responsable du développement logiciel : architecture du code, implémentation des algorithmes de contrôle et interface entre la partie commande et le système embarqué. Enfin, Clément BALCON, en tant que coordinateur intégration, vérification et validation (IVV) de l'équipe, occupe une fonction polyvalente : il intervient en appui sur la modélisation, les essais, le traitement des données et la rédaction, en apportant une aide transversale aux différents membres pour assurer la cohérence et l'avancement global du projet.

2 Niveau système

2.1 Définition des exigences (LOT P10)

2.1.1 Description générale du système (LOT P11)

Finalité, mission et objectifs du système

Le système est un robot mobile autonome avec une IHM de contrôle et de communication capable de détecter, récupérer et conserver un ballon (ovale en mousse), éviter des défenseurs (4 cubes max) et de marquer des essais (aplatir le ballon dans la zone d'en-but). Le robot peut réussir une transformation ou pénalité (la balle doit être lancée depuis la zone centrale entre les poteaux). Le robot doit rester sur le terrain (plateau, en dehors des lignes).

Contexte organique

Le système RugbAFIS interagit avec un environnement physique normalisé et des acteurs humains. L'environnement d'évolution est un terrain rectangulaire de 130 × 110 cm imprimé sur un plateau rigide de 140 × 120 cm, découpé en zones (engagement 20 cm, centrale 40 cm, « des 22 » 50 cm, en-but 20 cm), axes longitudinaux (5 axes de 22 cm) et poteaux matérialisés sur l'axe 3 ; conditions climatiques d'essai : 15–32 °C, 1000–1030 mb, 40–75 % HR.

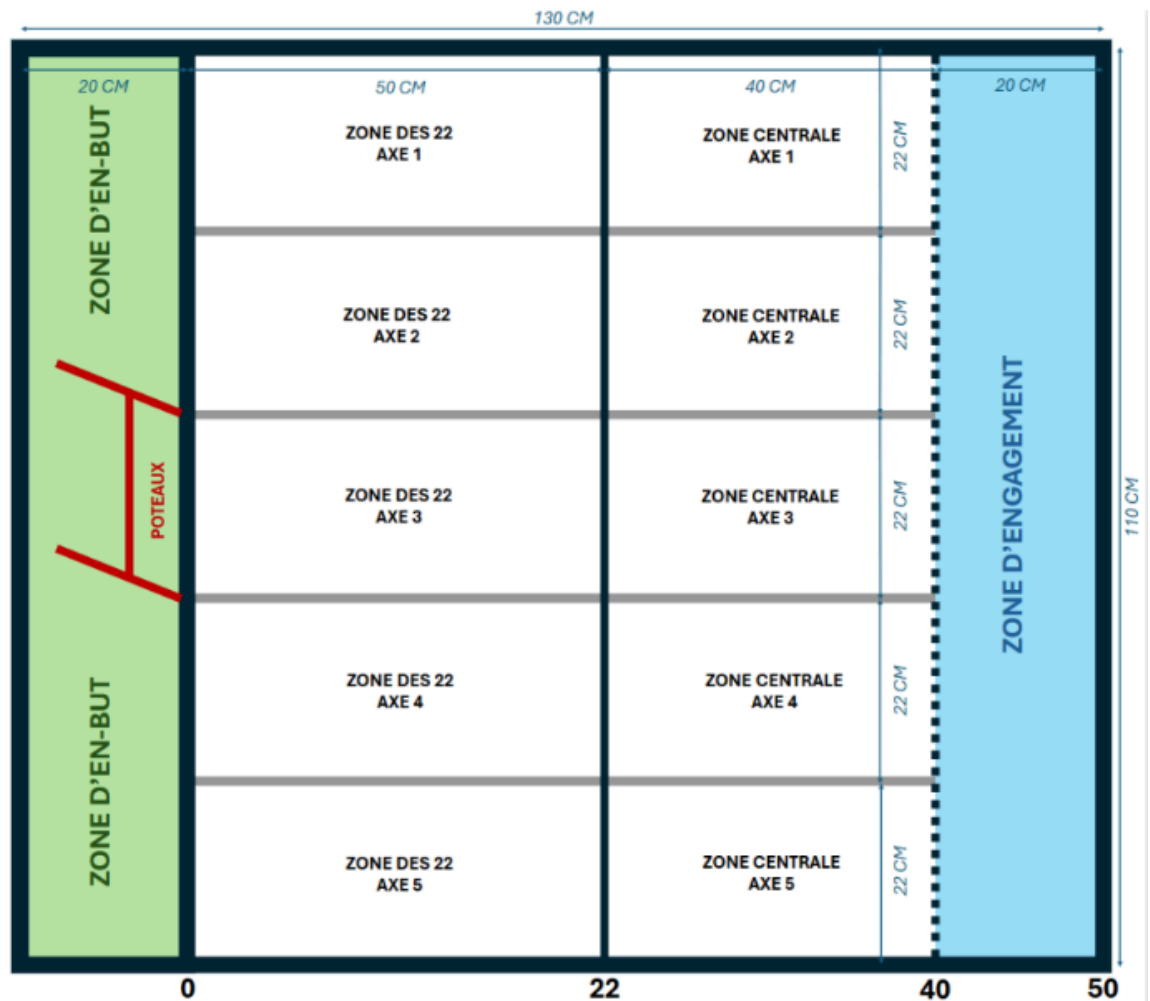


Figure 1: Impression du terrain

Les éléments de jeu comprennent un ballon ovale ($\approx 5\text{--}9\text{ cm} \times 3\text{--}6\text{ cm}$) et jusqu'à quatre défenseurs représentés par des cubes rouges de 3 cm.



Figure 2: Présentation du défenseur et du ballon

Le contexte humain regroupe l'arbitre (positionne les éléments, donne le coup d'envoi, contrôle les règles), l'entraîneur (déclenchement, arrêt d'urgence, reprise, supervision), le soigneur (maintenance après mise en sécurité) et le supporter (réception d'une information quand un essai est marqué). Ces

entités sont externes au système et n'en font pas partie ; elles échangent avec le robot via des interfaces physiques (exemple écran d'un téléphone) et informationnelles définies par le CdC.

Les liens physiques concernent le contact sol/roues et la détection des lignes et couleurs du terrain, la préhension et l'aplatissement/lancer du ballon, l'évitement sans contact des défenseurs, ainsi que l'accès physique au robot en cas d'arrêt d'urgence pour intervention du soigneur.

Acteur	Rôle et Interactions	Type d'interface
L'Entraîneur	Il pilote le robot via une interface de supervision. Il est chargé de lancer l'exécution des scénarios ("auto-test" ou manche), de déclencher l'arrêt d'urgence et la reprise. Il surveille également l'état du système (zone du robot, possession du ballon, essai marqué) .	Interface numérique (Tablette/PC/Smartphone)
Le Soigneur	Il est responsable de la manipulation physique du robot. Il positionne le robot dans la zone d'engagement et intervient pour les opérations de maintenance (après un arrêt d'urgence validé par l'entraîneur) en cas de défaillance technique .	Contact physique direct
Le Supporter	Il joue un rôle passif d'observation. Il reçoit une notification spécifique sur son téléphone portable uniquement lorsque son équipe a marqué un essai.	Interface numérique (Smartphone)
L'Arbitre <i>(Membre du Jury)</i>	Il est garant du respect des règles. Il prépare le terrain avant chaque phase (positionnement du ballon, définition du nombre de défenseurs) . Il signale le coup d'envoi et les fautes nécessitant un arrêt du jeu.	Communication visuelle/verbale

Tableau 1 : Tableau des acteurs et interactions

Contexte fonctionnel

Les fonctions des entités du contexte et leurs flux avec la mission du système sont les suivants:

L'arbitre prépare l'aire de jeu, place le ballon en zone centrale et valide le démarrage/fin de phase ; flux vers le système : événements « **coup d'envoi** » et contraintes de positionnement ; flux issus du système : comportement observable conforme aux règles (fautes, touches, pénalités, transformation).

User case : RugbAFIS : phase Avant Match

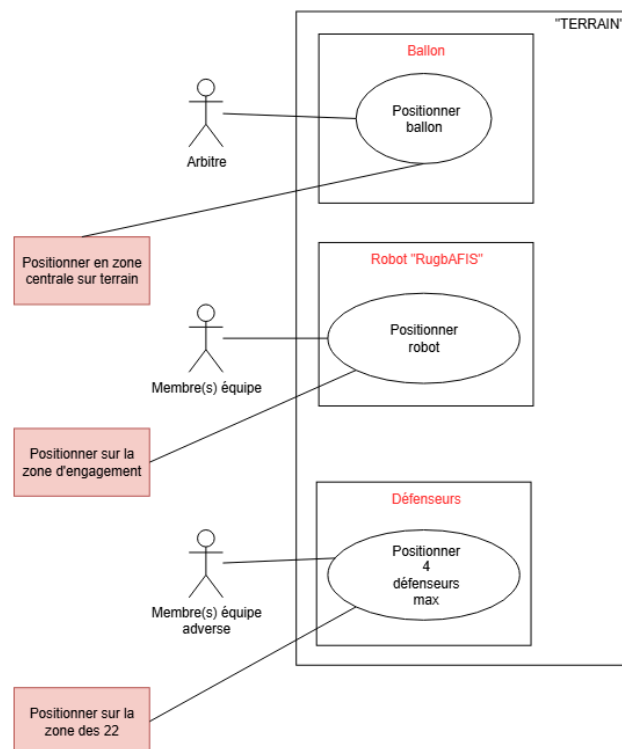


Figure 3 : Diagramme de la phase d'Avant Match

L'entraîneur lance un scénario (**auto-test ou manche**), commande l'arrêt d'urgence et la reprise, et supervise l'exécution ; flux vers le système : commandes Start/Stop/Resume ; flux issus du système : télémétrie minimale indiquant zone courante, état de ramassage du ballon, essai marqué, état d'arrêt d'urgence et sa raison.

User case : RugbyAFIS : phase Auto Test

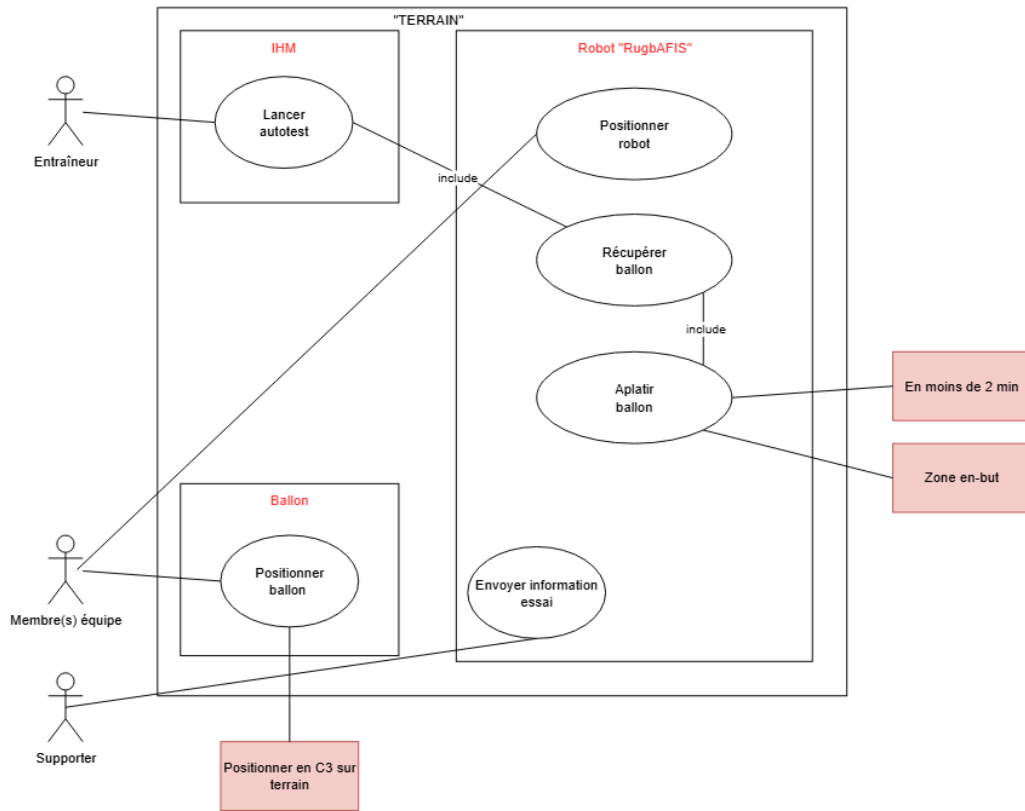


Figure 4: Diagramme de la phase Auto Test

User case : RugbyAFIS : phase Match

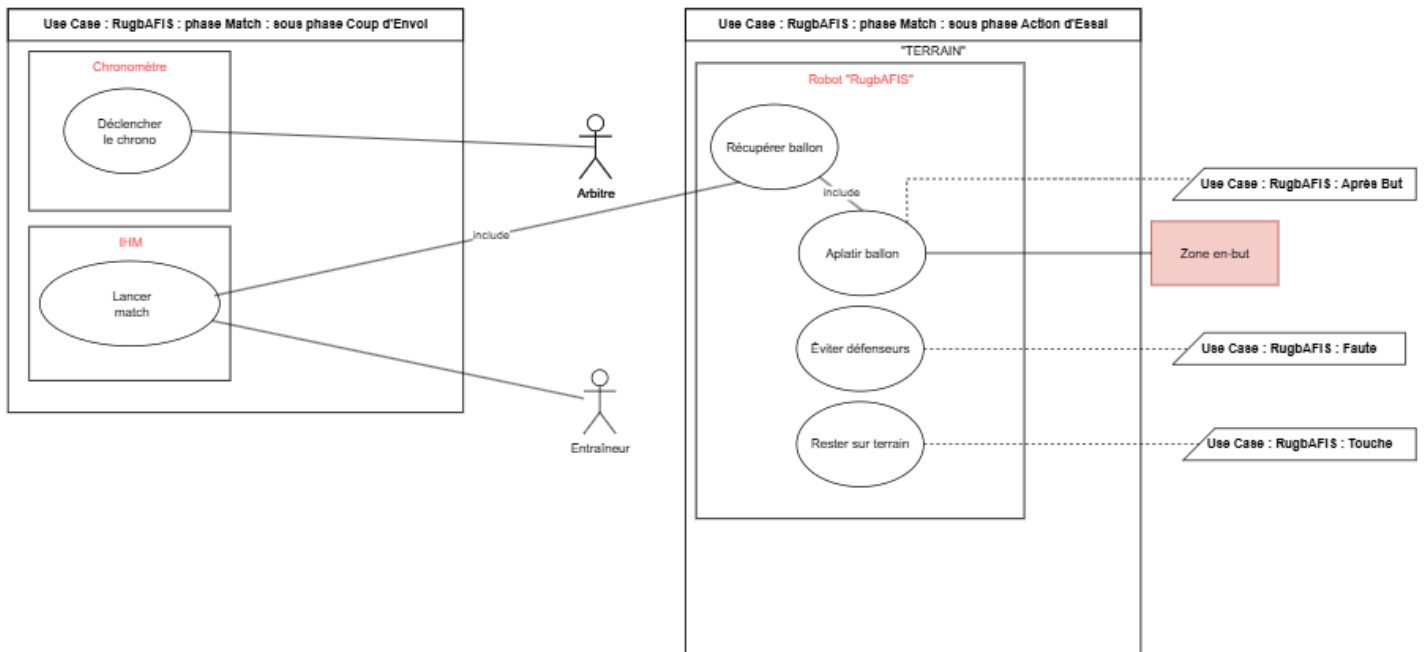


Figure 5 : Diagramme de la phase Match

Le soigneur réalise la maintenance après demande d'arrêt d'urgence ; flux associés : passage en état sûr, remise en service dans des temps cibles selon la défaillance (alimentation < 2 min, mécanique < 5 min).

Le supporter reçoit une notification lorsque son équipe marque un essai ; flux issu du système d'information asynchrone « **essai** ».

Le terrain, le ballon et les défenseurs fournissent les stimuli physiques à percevoir (lignes, couleurs, géométrie, obstacles) ; flux vers le système : mesures capteurs pour localisation/ramassage/évitement ; flux issus du système : actions mécaniques pour se déplacer, saisir, aplatir en en-but et, le cas échéant, lancer entre les poteaux sur l'axe 3 lors d'une transformation.

Enfin, les contraintes d'interface et de sûreté encadrent ces échanges : capacité de détection autonome du ballon et des défenseurs, fourniture d'informations de supervision/contrôle, arrêt d'urgence en moins de 3 s avec reprise uniquement sur commande.

2.1.2 **Référentiel des exigences techniques du système (LOT P12)**

Les exigences sont au cœur de tout projet d'ingénierie système, car elles traduisent les besoins et attentes des utilisateurs en objectifs techniques concrets. Elles constituent le socle fondamental sur lequel repose la conception, le développement et la validation du système. En les définissant avec précision, on s'assure que la solution finale répondra fidèlement à la mission qui lui est confiée.

Exigences fonctionnelles:

Les exigences fonctionnelles spécifient ce que le système doit accomplir pour remplir sa mission. Elles décrivent les tâches essentielles que le système doit accomplir, sans faire référence aux moyens pour les réaliser. Le système doit être capable de réaliser les actions suivantes :

EXIGENCES ET VÉRIFICATIONS		
ID	EXIGENCES (F)	VÉRIFICATION (Vf)
F.1	Doit maintenir le ballon	Vf1 : Test visuel de maintien
F.2	Doit lancer le ballon (130cm)	Vf2 : Visuel et mesurer
F.3	Doit se déplacer avec/sans ballon	Vf3 : Visuel et sur le terrain
F.4	Doit être capable de détecter le ballon	Vf4 : Test réel de détection
F.5	Doit détecter défenseurs (cube 3x3)	Vf5 : Test réel de détection
F.6	Doit prendre le ballon	Vf6 : Test réel de prise
F.7	Doit éviter les défenseurs	Vf7 : Test réel
F.8	Doit calculer ses trajectoires	Vf8 : Test logiciel et physique
F.9	Doit aplatir le ballon (En-but)	Vf9 : Test réel d'aplatissement

Tableau 2 : Tableau d'exigences fonctionnelles

Analyse des Exigences Fonctionnelles

L'analyse structurelle des exigences, formalisée par le diagramme SysML ci-dessous, dépasse la simple énumération pour révéler les interdépendances techniques via un code couleur catégoriel explicite en légende. Nous distinguons ainsi la chaîne de Navigation (en bleu) regroupant le déplacement et l'évitement, la chaîne de Manipulation (en orange) couvrant le cycle offensif, et la couche Perception (en vert) identifiant les prérequis sensoriels. Cette modélisation met immédiatement en évidence l'exigence F.6 "Prendre le ballon", identifiée en rouge comme le nœud critique du système. En effet, en suivant les liens de dérivation, on constate que les objectifs de haut niveau (F.9 et F.2) dépendent hiérarchiquement du maintien (F.1), lui-même conditionné par la réussite de la prise. Si cette fonction critique échoue, l'ensemble de la chaîne de valeur offensive s'effondre, rendant la performance de navigation inutile, ce qui justifie la priorité donnée à la validation de cette mécanique de préhension.

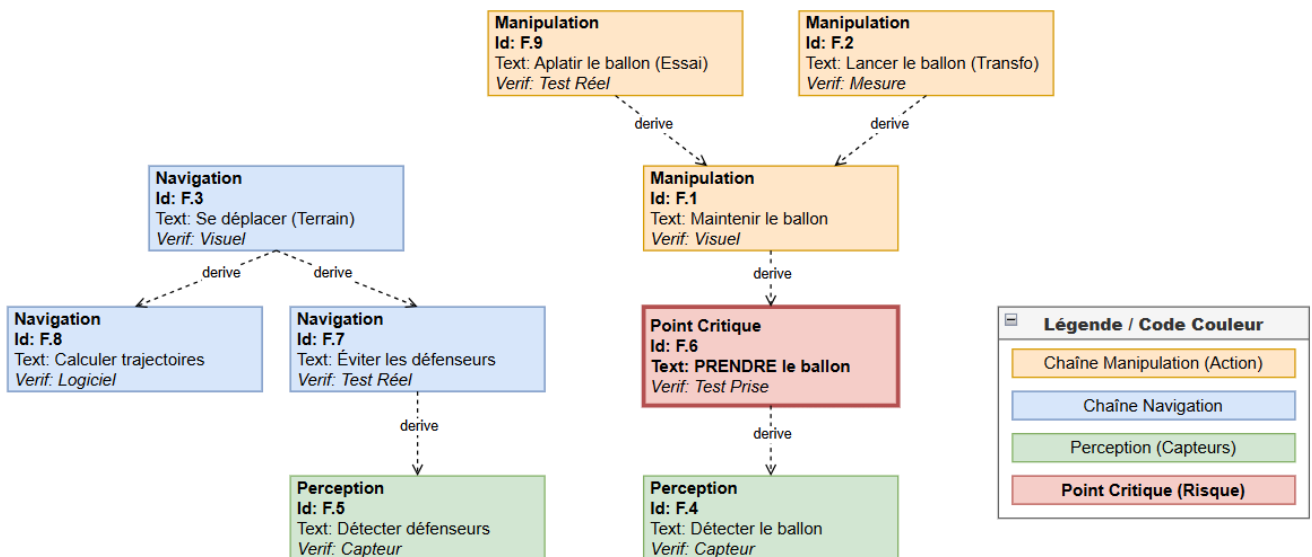


Figure 6 : Diagramme des exigences fonctionnelles de RugbyAfis

Exigences de performance:

Les exigences de performance quantifient les objectifs à atteindre en termes de temps, de précision et de disponibilité pour garantir l'efficacité du système dans ses fonctions critiques. Voici les principales exigences de performance :

EXIGENCES DE PERFORMANCE		
ID	EXIGENCES (P)	VÉRIFICATION (Vp)
P.1	Exécuter l'autotest < 2 min	Vp1 : Mesure chronomètre
P.2	Mesurer un essai complet < 3 min	Vp2 : Chronomètre et sécurité
P.3	Arrêt d'urgence < 3 sec	Vp3 : Chronomètre sur coupure
P.4	Réaliser la transformation < 1 min	Vp4 : Mesure chronomètre

Tableau 3 : Tableau d'exigences de performance

Analyse des Exigences de Performance

L'analyse des contraintes de performance, structurée par le diagramme SysML ci-contre, révèle une gestion rigoureuse des temporalités selon un code couleur explicité en légende. Le cycle de jeu s'organise autour d'une phase Opérationnelle (en bleu), régie par l'exigence P.2 qui impose une enveloppe de 3 minutes incluant la sous-tâche de transformation (P.4), le tout précédé par une phase Pré-Match (en jaune) dédiée à l'autotest (P.1). Cependant, la hiérarchie est dominée par l'exigence de Sécurité (en rouge) liée à l'arrêt d'urgence (P.3), dont la réactivité inférieure à 3 secondes prévaut sur

toutes les autres fonctions pour garantir la protection des personnes. Enfin, une dimension Qualitative (en gris) vient caractériser la cinématique du robot, imposant à l'architecture logicielle de concilier fluidité esthétique, respect strict du chronomètre et priorité absolue aux interruptions de sécurité.

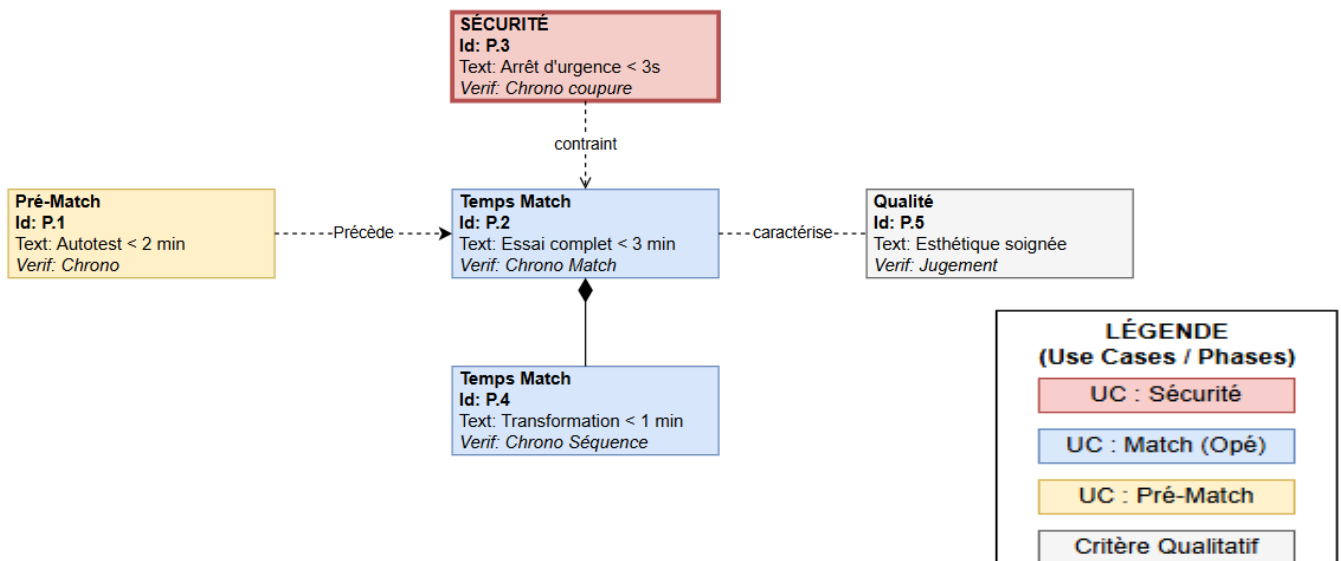


Figure 7 : Diagramme des exigences de performance de Rugbyfais

Exigences d'interfaces (fonctionnelles c'est à dire échanges de matière, d'énergie, d'information, **physiques** c'est à dire connexions):

Les exigences d'interfaces spécifient les connexions et les échanges entre le système et son environnement, qu'il s'agisse de flux de données, d'énergie, ou de communication physique. Ces interfaces sont essentielles pour garantir le bon fonctionnement du système dans son environnement d'opération.

EXIGENCES INTERFACE HOMME-MACHINE (IHM)		
ID	FONCTIONNALITÉ (Ihm)	VÉRIFICATION (Vihm)
Ihm.1	Notifier un essai sur téléphone (Supporter)	Vihm1 : Test de ping vers téléphone
Ihm.2	Permettre sélection scénario de jeu	Vihm2 : Sélection et activation mode
Ihm.3	Arrêt d'urgence via interface	Vihm3 : Test réel d'arrêt
Ihm.4	Permettre reprise sur IHM après arrêt	Vihm4 : Test réel de remise en marche
Ihm.5	Afficher l'état (Zone, Ballon, Essai...)	Vihm5 : Vérification des combinaisons

Tableau 4 : Tableau d'exigences IHM

Analyse des Exigences d'Interface (IHM):

L'analyse structurelle des exigences IHM, illustrée par le diagramme SysML, met en évidence une hiérarchisation stricte basée sur la criticité fonctionnelle et un code couleur explicité en légende. Le socle prioritaire du système est la Sécurité Opérationnelle (en rouge), où les exigences d'Arrêt d'Urgence (Ihm.3) et de Reprise (Ihm.4) garantissent un contrôle maître absolu capable d'interrompre la puissance instantanément. Au-delà de ce socle, l'interface orchestre l'exploitation via le Pilotage tactique (en bleu) permettant la sélection des scénarios (Ihm.2), et la Supervision technique (en vert) assurant la visualisation d'état (Ihm.5) et le diagnostic d'erreurs (Ihm.6). Enfin, une dimension Sociale (en violet) intègre la notification des supporters (Ihm.1), imposant à l'architecture de gérer simultanément des flux techniques critiques et des interactions ludiques.

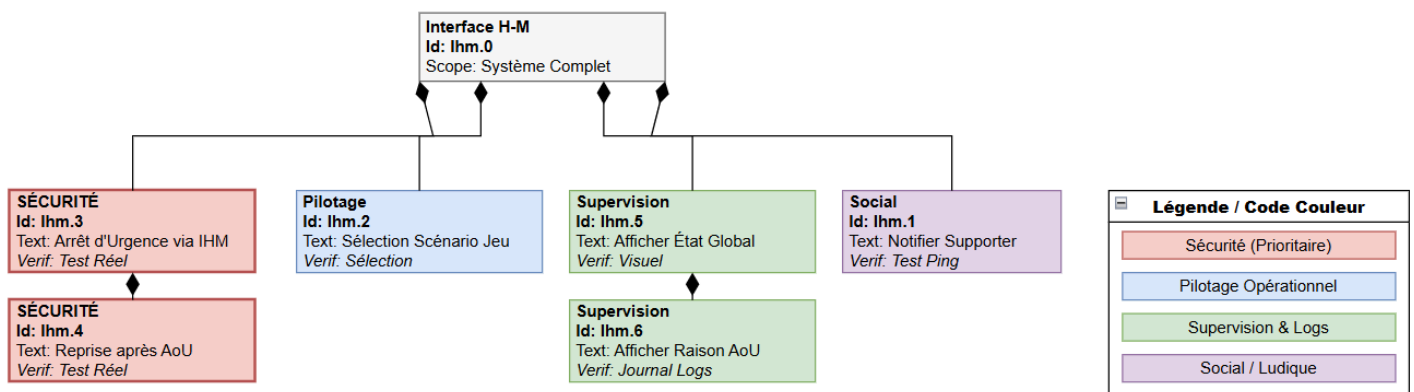


Figure 8 : Diagramme des exigences d'interface de Rugby Afis

Exigences opérationnelles

Les exigences opérationnelles décrivent les conditions de fonctionnement du système dans le cadre de son utilisation quotidienne, en prenant en compte les divers scénarios qui peuvent se produire durant un match :

EXIGENCES OPÉRATIONNELLES (OP)		
ID	FONCTIONNALITÉ (OP)	VÉRIFICATION (Vop)
OP.1	Doit maintenir le ballon	Vop1 : Test visuel de maintien
OP.2	Doit lancer le ballon (130 cm)	Vop2 : Visuel et mesurer
OP.3	Se déplacer avec/sans ballon	Vop3 : Visuel et sur le terrain
OP.4	Détecter le ballon	Vop4 : Test réel de détection
OP.5	Détecter défenseurs (cube 3x3)	Vop5 : Test réel de détection
OP.6	Doit prendre le ballon	Vop6 : Test réel de prise
OP.7	Trajectoire autonome	Vop7 : Test réel de déplacement
OP.8	Fournir infos supervision	Vop8 : Vérif. scénarios et retour
OP.9	Éviter les défenseurs (Max 4)	Vop9 : Test évitement
OP.10	Aplatir le ballon dans l'en-but	Vop10 : Test visuel sur terrain
OP.11	Pénalité/Transformation : Zone 22/Axe	Vop11 : Trajectoire filmée + Contrôle
OP.12	Détection limites/lignes terrain	Vop12 : Test sur gabarits de lignes
OP.13	Auto-test (Zone départ, Axe 3)	Vop13 : Checklist + Chrono < 2 min

Tableau 5 : Tableau d'exigences Opérationnelles

Analyse des Exigences Opérationnelles (Figure ci-dessous)

L'analyse structurelle des exigences opérationnelles, modélisée par le diagramme de dépendance ci-contre, permet de hiérarchiser les tâches selon leur impact stratégique via un code couleur explicité en légende. Bien que le cycle débute obligatoirement par un Pré-requis (en jaune) d'auto-test (OP.13), l'analyse démontre que l'exigence OP.6 "Prendre le ballon" (en rouge) constitue le véritable pivot critique du système. En effet, l'ensemble des Fonctions Support (en vert), incluant la navigation, l'évitement et la détection, ne sont que des moyens convergeant vers cet unique objectif. Cette centralité s'explique par la position de "goulot d'étranglement" de la prise : sans une validation robuste de OP.6, l'accès à la Chaîne de Valeur (en bleu), composée du maintien et du marquage de points, devient physiquement impossible. Par conséquent, la fiabilité de la préhension constitue la priorité absolue de la validation opérationnelle.

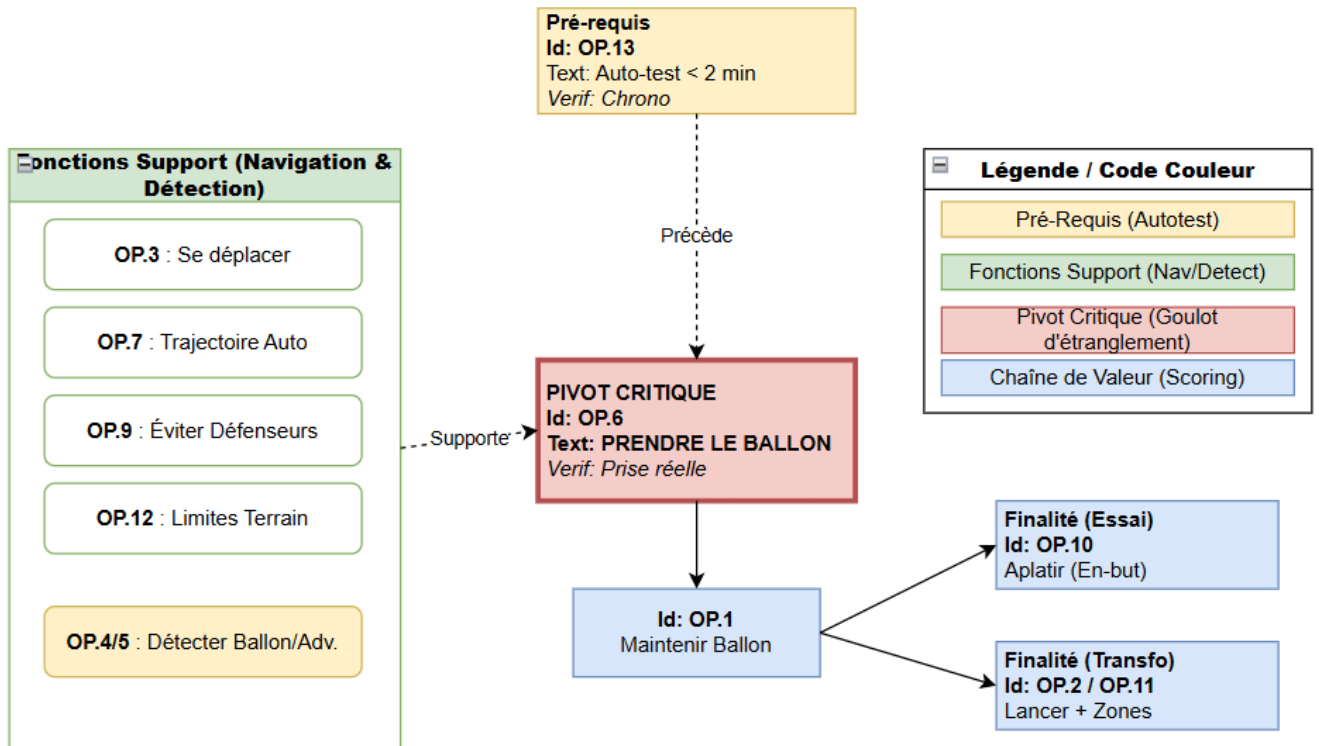


Figure 9 : Diagramme des exigences opérationnelles de RugbyAfis

Exigences d'Ergonomie:

Les exigences d'ergonomie s'assurent que le système est conçu de manière à ce qu'il soit intuitif et facile à utiliser par les opérateurs, avec un accent particulier sur la réduction de la charge cognitive et l'amélioration de l'interaction homme-machine.

- L'interface utilisateur (IHM) doit être simple et claire, avec un affichage en temps réel de l'état du robot et du score.
- Les commandes doivent être accessibles et compréhensibles, permettant à l'entraîneur de lancer, stopper ou ajuster les scénarios de jeu en toute simplicité.
- Le retour d'information (visuel, sonore, tactile) doit être suffisamment rapide pour assurer un suivi efficace du match et du comportement du robot.

EXIGENCES D'ERGONOMIE (Erg)		
ID	FONCTIONNALITÉ (Erg)	VÉRIFICATION (Verg)
Erg.1	Interface simple et claire (État + Score)	Verg1 : Inspection visuelle IHM
Erg.2	Commandes accessibles (Start/Stop...)	Verg2 : Test d'usage (Opérateur)
Erg.3	Feedback temps réel (Visuel/Sonore)	Verg3 : Test perception latence < 200ms

Tableau 6 : Tableau d'exigences d'ergonomie

Analyse des Exigences d'ergonomie (Figure ci-dessous)

L'analyse des exigences d'ergonomie, formalisée par le diagramme SysML ci-contre, démontre que la conception de l'interface ne vise pas uniquement l'esthétique, mais une efficacité opérationnelle mesurable. L'objectif central, identifié en violet (Erg.4), est la réduction de la charge cognitive de l'opérateur en situation de match. Pour atteindre ce but, le système s'appuie sur trois piliers complémentaires (liens de raffinement) : la Clarté de l'Information (en bleu) via un affichage épuré de l'état et du score (Erg.1), la Facilité d'Action (en vert) garantissant l'accessibilité immédiate des commandes critiques (Erg.2), et la Réactivité Sensorielle (en orange) assurant un retour d'information multimodal instantané (Erg.3). Cette approche systémique garantit que l'entraîneur reste focalisé sur la stratégie de jeu plutôt que sur la complexité du pilotage.

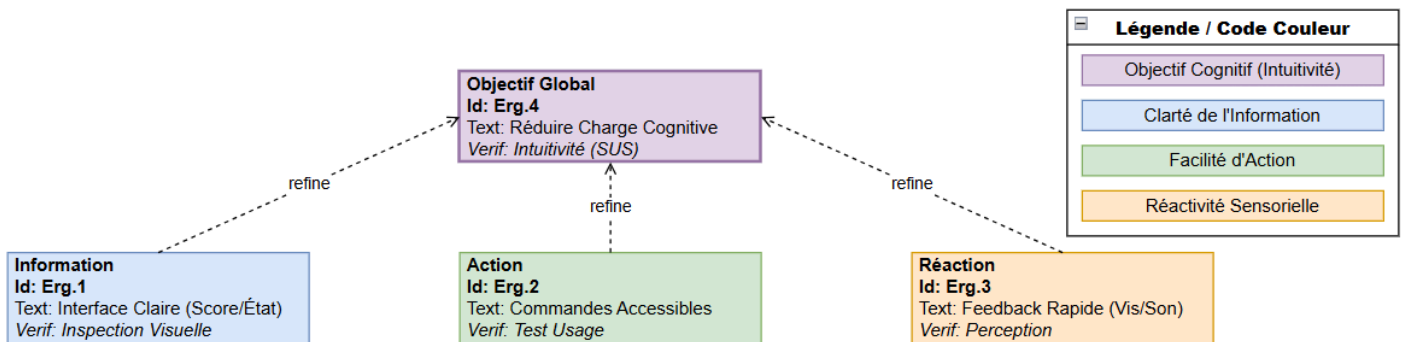


Figure 10 : Diagramme des exigences ergonomiques de Rugby Afis

Contraintes (dimensions physiques, technologies retenues ou imposées, maintenance, règlements, standards)

Les contraintes imposent des limites au système et définissent les conditions strictes à respecter pour garantir la faisabilité et la conformité du projet. Ces contraintes sont liées aux dimensions physiques, aux matériaux, aux technologies, ainsi qu'aux réglementations en vigueur :

- Le robot d'attaque doit être conçu selon les dimensions et les spécifications du kit Ultimate 2.0, sans modification non autorisée des composants.
- Les dimensions du terrain doivent être de 130 cm de long et 110 cm de large, avec des zones définies pour l'engagement et les en-but.
- Le système doit être conçu pour résister à des températures de fonctionnement comprises entre 15°C et 32°C, et à une pression atmosphérique de 1000 à 1030mb.

- Le robot d'attaque doit être conçu pour être facilement démonté et réparé sur site en cas de panne, avec des interventions ne devant pas dépasser les 5 minutes.
- Le système doit être fabriqué avec des matériaux recyclables, en respectant les normes environnementales en matière de gestion des déchets électroniques.

Exigences de validation

Les exigences de validation spécifient comment le système sera testé pour s'assurer qu'il répond aux besoins fonctionnels et aux exigences de performance définies. La validation garantit que le système est conforme aux attentes des utilisateurs et aux spécifications techniques :

- Des tests d'intégration doivent être réalisés pour s'assurer que tous les composants du système fonctionnent ensemble comme prévu, avec un focus particulier sur la précision de la navigation du robot et la fiabilité de l'interface de contrôle.
- Les tests de performance devront démontrer que le robot peut accomplir une mission complète (récupérer le ballon, marquer un essai) en moins de 2 minutes.
- Un protocole de validation des interfaces sera mis en place pour tester la communication entre les capteurs de terrain et le robot, assurant ainsi que les informations sont correctement transmises et traitées.
- Les scénarios de validation doivent inclure des tests en conditions réelles pour valider le comportement du robot dans des situations imprévues, telles que des défaillances matérielles ou des perturbations dans l'environnement du match.

Analyse des Exigences de Validation et Stratégie IVV

L'analyse des exigences de validation (VAL), modélisée ci-contre, définit le cadre méthodologique qui garantit la conformité du système final. Cette structure impose une stratégie de vérification rigoureuse dite "Requirement-Based Testing", dont l'objectif est de prouver factuellement la satisfaction des 13 exigences opérationnelles (OP.1 à OP.13) précédemment définies.

Le diagramme met en évidence une logique de validation progressive (Cycle en V ascendant) structurée par un code couleur :

1. Fiabilisation (VAL.3 en bleu clair) : C'est le socle technique. Il valide les protocoles bas niveau pour garantir que les capteurs et actionneurs communiquent correctement.
2. Intégration (VAL.1 en bleu foncé) : Une fois le socle validé, cette étape vérifie la coopération fonctionnelle entre les sous-systèmes, notamment la synchronisation entre la Navigation et l'Interface.
3. Performance (VAL.2 en vert) : C'est l'objectif final. Elle valide l'aptitude du robot à réussir la mission complète dans l'enveloppe temporelle imposée (< 2 min).

4. Robustesse (VAL.4 en rouge) : Cette exigence transverse impose des tests en conditions réelles (perturbations, pannes) pour valider la résilience du système.

Cette stratégie se décline dans le Plan d'Intégration, Vérification et Validation (Partie 3) sous forme de fiches d'essais standardisées. Chaque fiche définit un Objectif précis, un Protocole reproductible et un Critère d'Acceptation binaire (Pass/Fail), assurant une traçabilité totale entre le besoin client et le résultat technique.

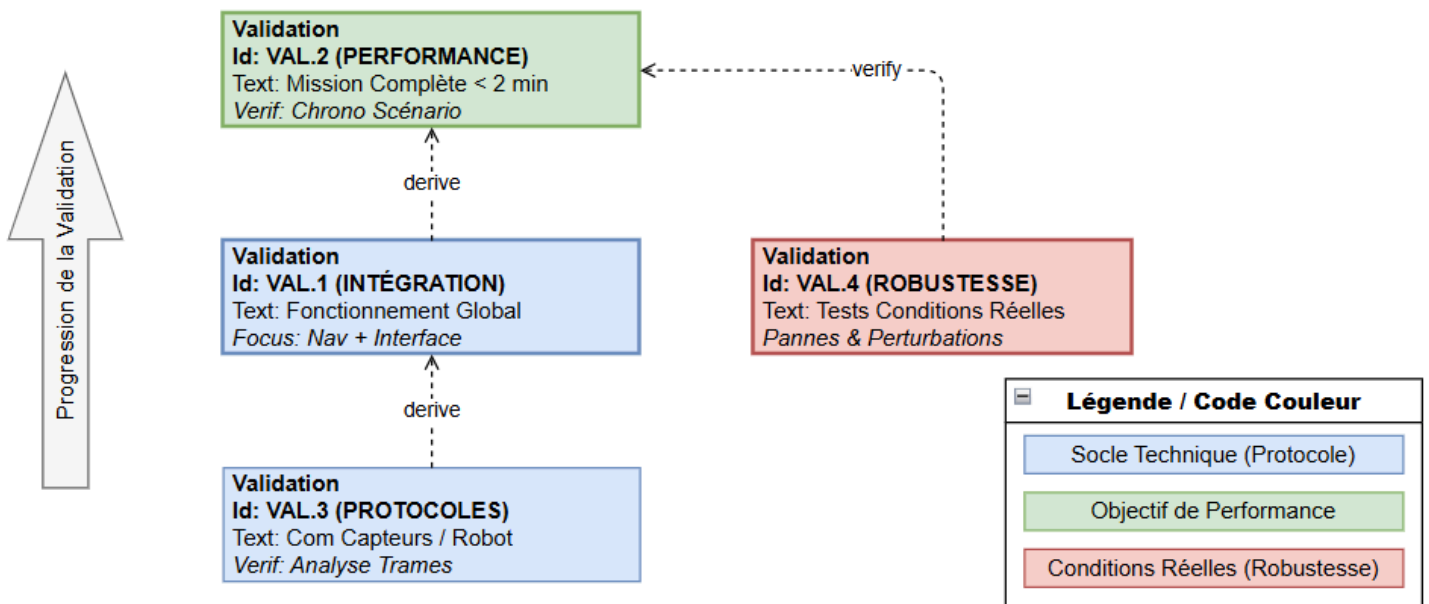


Figure 11 : Stratégie de validation

2.2 DOSSIER DE CONCEPTION DU SYSTEME (LOT 20)

2.2.1 Description générale du système (LOT P21)

Afin de répondre aux exigences du cahier des charges imposant des capacités de déplacement précis, de saisie, d'évitement et de tir sur un terrain normé, notre équipe a mené une étude comparative sur trois architectures potentielles basées sur le kit Ultimate 2.0 avant d'arrêter son choix définitif.

Solutions d'architectures étudiées

- La première architecture envisagée, dite « Chenilles et Pelle Passive », privilégie la stabilité et la traction grâce à deux chenilles triangulaires. Le système de préhension reposait sur une fourche fixe poussant simplement le ballon. Bien que cette solution offrait un franchissement aisé des obstacles, elle a été écartée en raison des frottements importants générés par les chenilles lors des rotations, faussant l'odométrie, et surtout à cause de l'impossibilité de réaliser l'action de "lancer" requise pour la transformation.

- La seconde piste explorée, l'architecture « Tricycle Omni et Rouleaux », misait sur la vitesse avec une configuration à trois roues dont une omnidirectionnelle. La saisie du ballon était assurée par deux rouleaux motorisés par friction (système "intake"). Cette solution a toutefois été jugée trop complexe à mettre en œuvre avec les pièces limitées du kit et présentait un risque élevé de blocage du ballon, tout en rendant la restitution précise pour le tir extrêmement difficile sans mécanisme de frappe additionnel.
- C'est finalement la troisième option, l'architecture « 4 Roues et Pince Active », qui a été retenue. Ce châssis rectangulaire à deux roues motrices et deux roues libres offre le meilleur compromis entre la précision des rotations sur place, nécessaire à la navigation aux instruments, et la capacité de manipulation. L'utilisation d'un bras articulé muni d'une pince motorisée permet non seulement de sécuriser fermement le ballon durant les déplacements rapides, mais aussi d'exploiter l'énergie cinétique du bras pour effectuer le lancer, répondant ainsi au point critique du règlement concernant la transformation.

Description détaillée de la solution retenue

Le système final est un robot d'attaque autonome et téléopéré, conçu à partir des composants du kit Ultimate 2.0 et contrôlé par une carte MegaPi. L'ensemble est piloté via une interface homme-machine sur smartphone utilisant le protocole Bluetooth Low Energy (BLE). Sa mission consiste à évoluer sur le terrain RugbyAFIS pour récupérer le ballon, éviter les défenseurs adverses, puis aplatir ou lancer le ballon selon la phase de jeu, tout en respectant strictement les zones imposées telles que la zone d'engagement bleue, l'en-but vert et les différents axes de navigation.

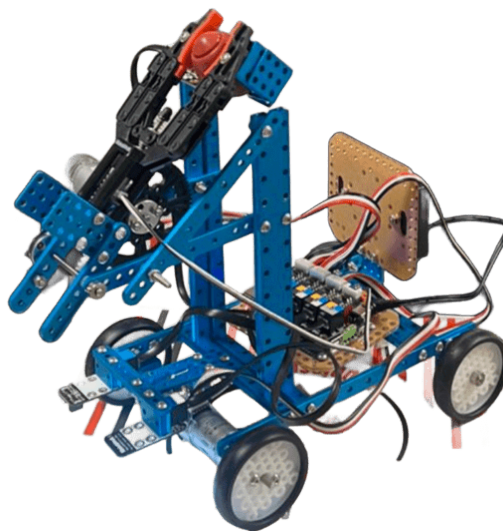


Figure 12 : Solution retenue au 05/12/2025

La fonction de locomotion repose sur une architecture différentielle à quatre roues, pilotée pour assurer des déplacements rectilignes et des rotations précises. Le maintien du cap est garanti par un gyroscope qui auto-stabilise la direction du robot. En complément, un capteur de ligne permet de repérer les marquages au sol, notamment les lignes noires de limites et les lignes grises d'axes. Cette détection est cruciale pour recalibrer la position relative du robot lors du franchissement des axes, assurant une progression fiable depuis la zone d'engagement jusqu'au ballon, puis vers la zone d'en-but.

Concernant la manipulation, le système emploie une pince motorisée montée sur un bras pivotant. Ce mécanisme assure la saisie du ballon au sol et son maintien ferme durant les phases de mouvement, évitant toute perte accidentelle. Les paramètres de vitesse et de couple des servomoteurs ont été ajustés pour garantir une préhension efficace tout en optimisant la consommation énergétique du système embarqué.

La perception de l'environnement est assurée par un télémètre à ultrasons positionné à l'avant, capable de détecter les défenseurs matérialisés par des cubes noirs. La stratégie d'évitement mise en place consiste, après récupération du ballon, à effectuer une rotation stationnaire pour scanner l'environnement, cartographier les obstacles et calculer une trajectoire libre vers l'en-but. Parallèlement, un capteur de couleur permet de valider l'entrée dans les zones clés (vert pour l'en-but, bleu pour l'engagement) et peut assister la détection du ballon en confirmant sa teinte marron.

Une attention particulière a été portée à la fonction de lancement du ballon pour la transformation. Cette action exploite la cinématique du bras articulé à travers une séquence coordonnée en trois temps. D'abord, une phase de pré-libération ouvre partiellement la pince pour réduire la friction tout en guidant le ballon. Ensuite, une phase d'impulsion engage une rotation rapide du bras pour transférer un maximum d'énergie cinétique. Enfin, le relâchement survient par l'arrêt brusque du bras en fin de course, propulsant le ballon par inertie vers l'avant.

L'ensemble est supervisé par une application mobile offrant deux niveaux d'interaction. Un mode « Coach » permet à l'opérateur de gérer les cycles de vie du robot, incluant le lancement des phases de jeu, l'arrêt d'urgence et la reprise. Un second niveau d'interaction permet de notifier les spectateurs en temps réel via l'application, signalant par exemple la validation d'une zone ou le marquage d'un essai, conformément aux rôles définis dans le cahier des charges.

2.2.2 Architectures fonctionnelle et dynamique du système (LOT P22)

Arborescence fonctionnelle statique : IBD

Le diagramme de blocs internes (IBD) ci-dessous modélise l'architecture matérielle du robot RugbAFIS. Il détaille les interfaces physiques et les flux d'échange (données et énergie) entre la carte de contrôle centrale (MegaPi) et les périphériques.

L'architecture est organisée autour de trois sous-systèmes interconnectés :

1. **La Chaîne d'Information (Capteurs & Com)** : Elle regroupe les modules de perception (Ultrason pour les obstacles, Ligne pour le terrain, Couleur pour les zones, Gyroscope pour le cap) et le module Bluetooth (BLE) assurant l'interface avec le smartphone de l'opérateur. Les protocoles utilisés sont standardisés (I²C, UART, Digital).
2. **La Chaîne d'Énergie (Actionneurs)** : Elle comprend la batterie LiPo alimentant la carte, et les drivers moteurs pilotant les quatre actionneurs : deux pour la propulsion différentielle, un pour le bras (pivot) et un pour la pince.
3. **Le Cœur de Traitement** : La carte MegaPi centralise les décisions, traite les algorithmes de navigation et génère les signaux PWM pour le contrôle précis des moteurs.

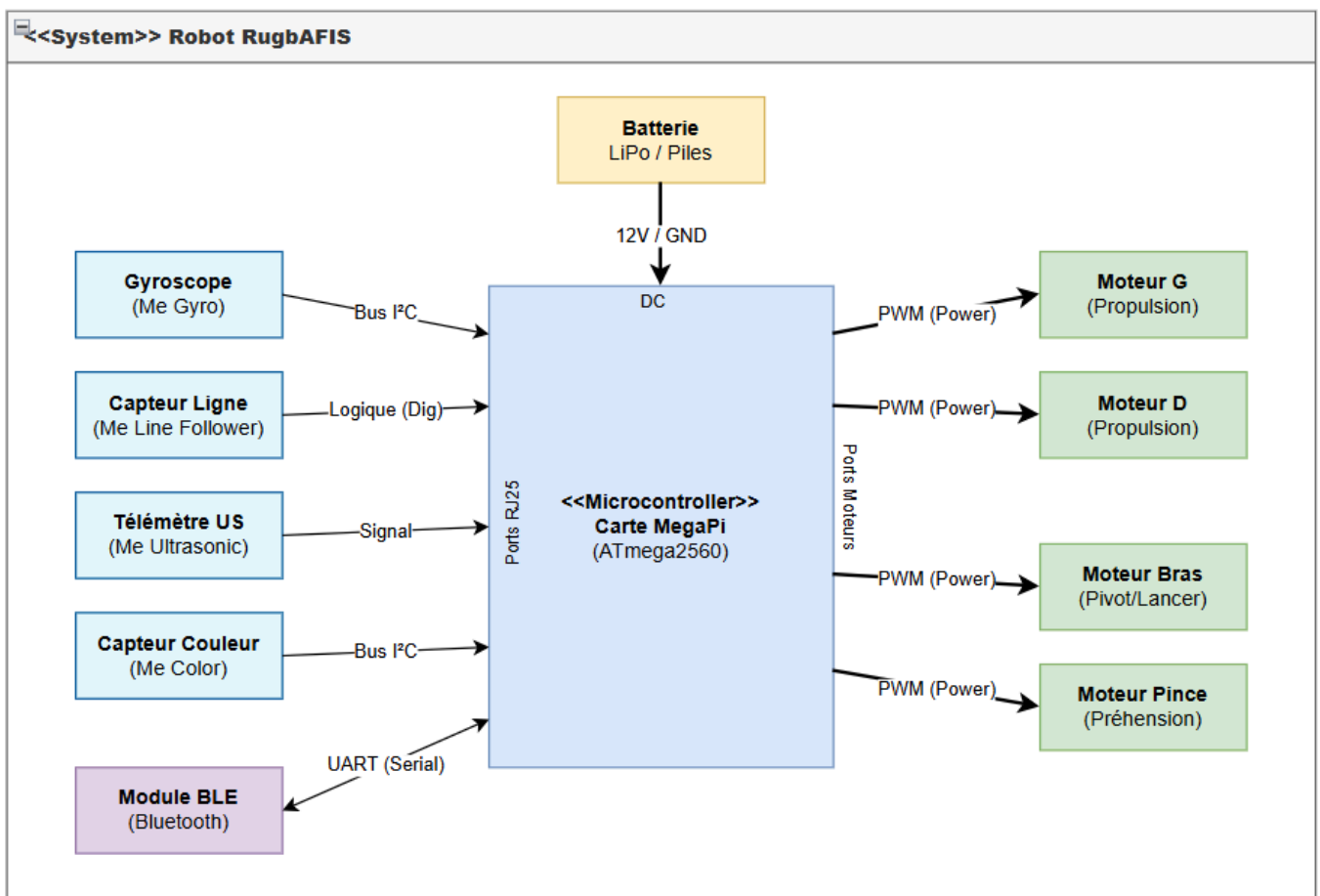


Figure 13 : Diagramme de Blocs Internes (IBD) du robot

Diagramme de flux interne

La dynamique des échanges au sein du système est illustrée par le diagramme des flux internes (Figure 15), qui détaille la chaîne de traitement depuis la perception jusqu'à l'action. Les données brutes issues des capteurs sont transmises à la carte de commande pour alimenter les algorithmes de décision, tels que les boucles d'asservissement de cap, la gestion d'obstacles ou le séquençement des mouvements du bras. En réponse, la carte distribue les ordres de puissance vers les moteurs. Parallèlement à ces flux internes, un canal de communication bidirectionnel est établi via BLE avec l'application mobile : il permet la réception des commandes de haut niveau (Start, Stop) et l'émission de la télémétrie d'état vers l'entraîneur. L'ensemble est soutenu par une distribution d'énergie centralisée depuis le pack batterie vers l'électronique de commande et de puissance.

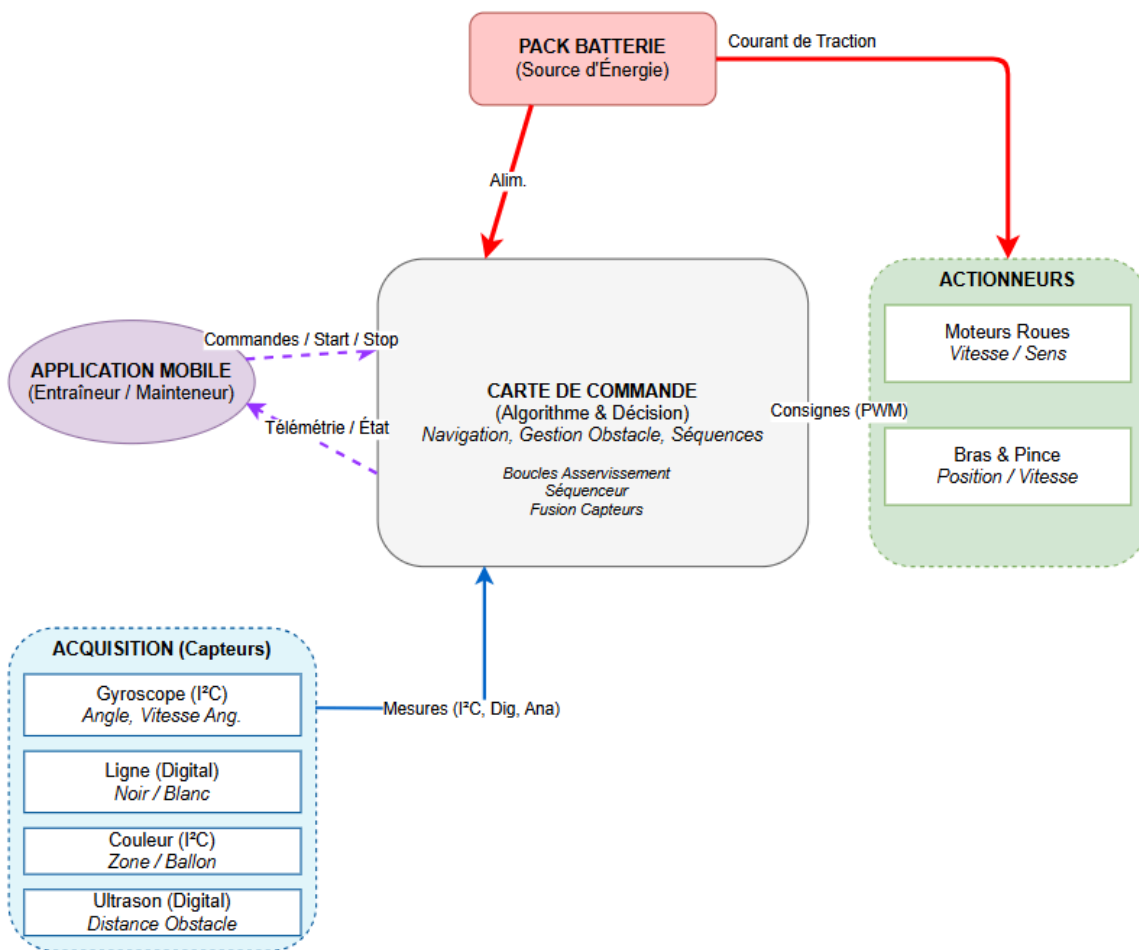


Figure 14 : Diagramme des flux internes

Architecture dynamique et Stratégie algorithmique (scénario “coup d’envoi”)

La dynamique opérationnelle de la phase de coup d’envoi est régie par une machine à états séquentielle qui débute dès le positionnement manuel du robot dans la zone d’engagement, aligné sur l’axe du ballon préalablement déposé par l’arbitre. La séquence s’initialise à la réception de la commande ‘A’ transmise par l’entraîneur via l’interface BLE, déclenchant instantanément la propulsion.

Le robot progresse alors selon un cap rectiligne asservi par le gyroscope, validant sa progression longitudinale par le franchissement de la ligne discontinue de la zone centrale, ce qui constitue un premier point de recalage odométrique. L'objectif prioritaire est l'acquisition du ballon : le capteur de couleur analyse le sol en continu pour confirmer la présence de l'objet et déclencher immédiatement la séquence de préhension, composée de la fermeture de la pince et de la rotation du bras pour sécuriser la charge.

Dans l'éventualité où cette première tentative échouerait, l'algorithme prévoit un mode de rattrapage activé par la détection de la ligne de fond de zone. Le robot interprète ce signal comme un échec de prise, initie une marche arrière pour revenir dans la zone centrale et exécute un scan directionnel à l'aide du télémètre ultrason. Cette manœuvre permet de localiser précisément la cible par triangulation angle-distance et de relancer la procédure d'approche. Une fois la possession du ballon confirmée, le système bascule en stratégie de navigation tactique en se réalignant parallèlement à la longueur du terrain. Une analyse de l'environnement par balayage ultrasonique permet alors de déterminer le chemin optimal : si un intervalle suffisant est détecté entre deux défenseurs, le robot s'engage au centre de ce couloir ; à défaut, il adopte une stratégie de contournement en longeant les lignes latérales via le capteur de ligne jusqu'à trouver une ouverture.

La phase finale de scoring s'enclenche dès la confirmation de l'entrée dans la zone d'en-but, validée par la signature colorimétrique au sol. Selon la configuration du match, le robot exécute soit un aplatissage par simple descente du bras, soit un lancer dynamique complexe. Ce dernier se décompose en une pré-ouverture de la pince pour libérer la friction, suivie d'une impulsion cinétique rapide du bras qui projette le ballon vers l'avant grâce à l'inertie. Tout au long de ces opérations, une boucle de surveillance transverse reste active pour garantir la sécurité : la réception d'une commande d'arrêt d'urgence 'U' ou la détection d'une anomalie critique provoque l'interruption immédiate de la motricité et la mise en sécurité des actionneurs.

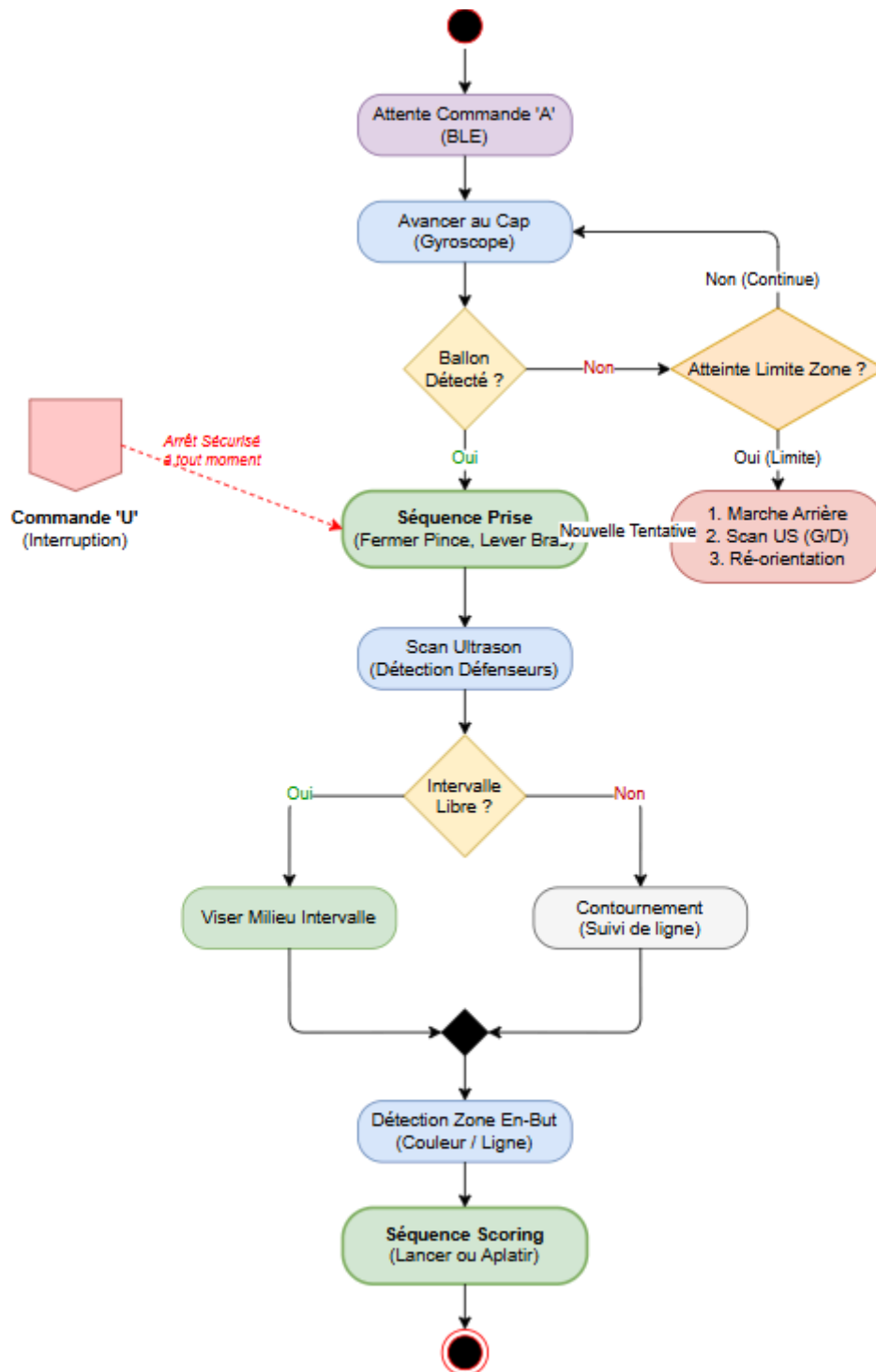


Figure 15 : Diagramme d'activité de la stratégie algorithmique de la phase de "coup d'envoi"

Rôle de l'IHM et Sécurité

Tout au long de ce scénario, l'interface homme-machine sur smartphone assure la supervision en temps réel. L'opérateur reçoit des notifications sur l'avancement de la mission (recherche, possession, essai). Simultanément, une boucle de sécurité prioritaire reste active : la réception de la commande 'U' (Arrêt d'Urgence) ou la détection d'une défaillance critique coupe instantanément la

motricité, garantissant la mise en sécurité immédiate du système.

2.2.3 Architecture organique du système (LOT 23)

Architecture organique de la solution architecturale retenue

L'architecture organique décrit l'agencement physique des composants du robot RugbAFIS. Le système est construit autour d'une ossature modulaire basée sur le kit Ultimate 2.0, organisée pour garantir la rigidité structurelle et la stabilité dynamique. L'implantation a été spécifiquement pensée pour concilier la protection des organes sensibles (capteurs, carte électronique) et la performance mécanique nécessaire aux phases de conquête et de transport du ballon.

Le Diagramme de Définition de Blocs (BDD) ci-dessous formalise la décomposition hiérarchique du système en sous-ensembles fonctionnels majeurs. Cette vue structurale permet d'identifier les constituants élémentaires du robot :

- Sous-système Structure : Châssis, supports et fixations.
- Sous-système Locomotion : Motorisation et liaison au sol (roues).
- Sous-système Manipulation : Bras, pince et leurs actionneurs dédiés.
- Sous-système Perception : Ensemble des capteurs (Ligne, Ultrason, Couleur, Gyroscope).
- Sous-système Commande & Énergie : Carte mère, module de communication et batterie.

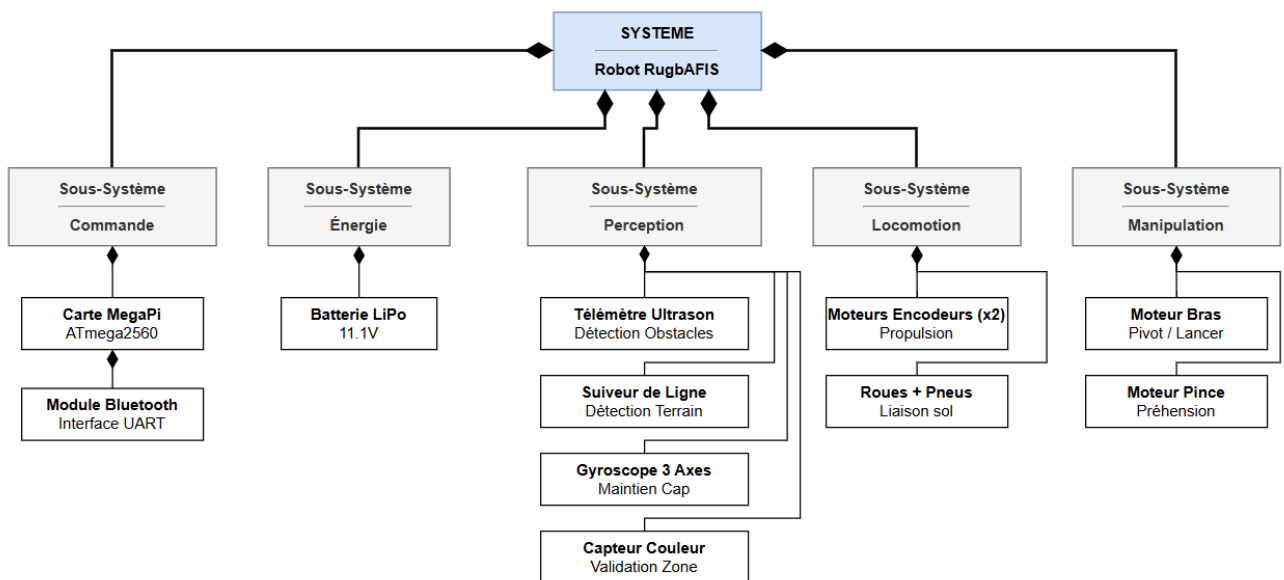


Figure 16 : Diagramme de Définition de Blocs de RugAFis

Justification des choix d'implantation:

- **Répartition des masses et stabilité:** Le choix d'implanter le bloc batterie à l'arrière du châssis répond à une double exigence : dégager le volume avant pour la cinématique de préhension et agir comme contrepoids lors du levage du ballon. Cette configuration a imposé une vérification rigoureuse du centre de gravité (CoG), conduisant à un ajustement de la position des roues motrices pour garantir un appui au sol constant (adhérence) et une direction neutre, y compris lors des phases de freinage ou d'accélération brutale.
- **Intégration et Compatibilité Électromagnétique (CEM):** L'intégration du câblage a fait l'objet d'un routage spécifique. Le cheminement des faisceaux contourne systématiquement les zones cinématiques (pince, bras, axes de roues) pour prévenir tout risque d'arrachement ou d'usure par frottement. De plus, le routage minimise la surface des boucles de courant à proximité des moteurs afin de réduire la sensibilité aux perturbations électromagnétiques, tout en conservant une longueur suffisante (service loop) pour permettre la maintenance aisée des sous-ensembles (remplacement rapide en < 5 min).
- **Optimisation de la Perception:** L'implantation du télémètre ultrason à l'avant, en position basse mais surélevée par rapport au sol, a été validée pour offrir un cône de détection totalement dégagé. Cela garantit l'absence d'échos parasites provenant de la structure même du robot ou du sol, assurant une détection fiable des obstacles (cubes noirs) et du ballon.

Allocation des fonctions sur les organes

Pour satisfaire l'architecture fonctionnelle définie précédemment, chaque fonction technique est allouée à un ou plusieurs constituants matériels. Le tableau ci-dessous présente cette matrice de traçabilité, mettant en évidence les liens entre le besoin fonctionnel et la réponse organique.

Sous-Système	Composant (Organe)	Fonctions (Techniques)	Interface Interne
Commande	Carte MegaPi (ATmega2560)	Traiter les données, Calculer trajectoires, Gérer séquences, Asservir moteurs	Bus Principal

Commande	Module Bluetooth (BLE)	Communiquer avec l'opérateur (IHM), Recevoir ordres, Envoyer télémétrie	Port Série (UART)
Énergie	Batterie LiPo 11.1V	Stocker l'énergie, Fournir courant de traction et de contrôle	Connecteur DC
Locomotion	Moteurs Encodeurs (x2)	Convertir l'énergie électrique. en énergie méca., Propulser, Tourner	Ports Moteurs (PWM)
Locomotion	Roues + Pneus	Transmettre effort au sol, Adhérence	Liaison Pivot
Manipulation	Moteur Bras	Orienter le bras (Lever/Baisser), Lancer le ballon (Impulsion)	Port Moteur
Manipulation	Moteur Pince	Saisir le ballon, Maintenir, Relâcher	Port Moteur
Perception	Capteur Ultrason	Mesurer distance, Détecter obstacles	Port Digital
Perception	Capteur de Ligne	Détecter contraste (Lignes noires/grises), Recalage zone	Port Digital
Perception	Capteur Couleur	Identifier zone (Vert/Bleu), Confirmer Ballon	Bus I ² C

Perception	Gyroscope 3 axes	Mesurer vitesse angulaire, Maintenir (Asservissement)	Bus I ² C
-------------------	------------------	---	----------------------

Tableau 7 : Matrice d'Allocation Fonctionnelle

2.2.4 Interfaces du système (LOT 24)

Définition des interfaces externes au système (interfaces entre le système et les éléments/constituants externes)

L'analyse des interfaces externes permet de délimiter la frontière exacte du système en identifiant les interactions tangibles et informationnelles entre le robot RugbyAFIS et son environnement. Sur le plan physique, l'interface principale se situe au niveau du contact entre les roues et le sol, où s'opère un transfert d'énergie mécanique assurant la propulsion par adhérence. Cette même interface assure une fonction d'entrée informationnelle via les capteurs optiques qui exploitent le contraste du revêtement pour le repérage spatial. Une seconde interface mécanique critique est établie avec le ballon, nécessitant une préhension pilotée par pression pour le transport et un transfert d'énergie cinétique impulsif pour la fonction de lancer. Par ailleurs, le robot entretient une interface immatérielle de détection avec les obstacles environnants (défenseurs) par l'émission et la réception d'ondes ultrasonores, permettant une interaction sans contact physique.

En ce qui concerne les échanges de données, le système déploie une interface radiofréquence externe basée sur le protocole Bluetooth Low Energy (BLE). Cette interface supporte des flux bidirectionnels alloués spécifiquement : en entrée, elle reçoit les commandes de haut niveau (armement, lancement, arrêt d'urgence) émises par le superviseur, et en sortie, elle émet les paquets de télémétrie renseignant sur l'état interne du robot (niveau batterie, phase de jeu en cours). Une interface filaire série (USB) est également disponible, allouée exclusivement aux opérations de maintenance lourde telles que la mise à jour du firmware.

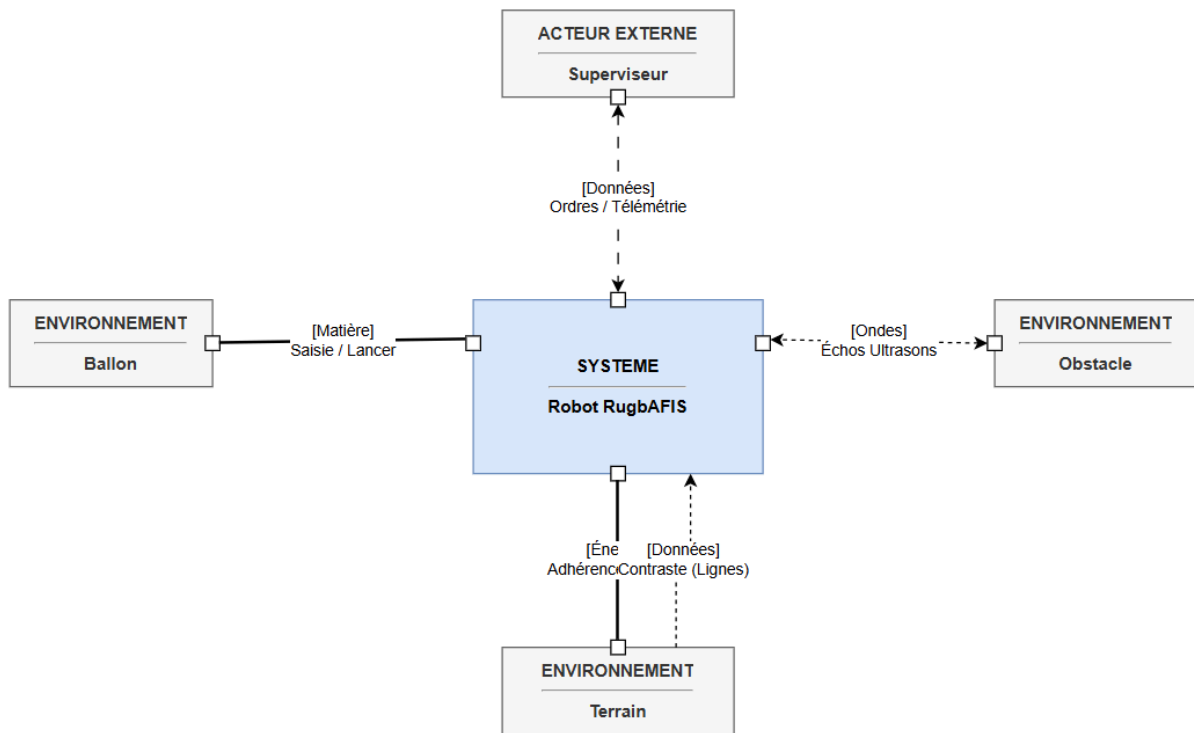


Figure 18 : Diagramme de Contexte et des Interfaces Externes

Méthodologie de conception des interfaces utilisateurs:

Pour répondre à la problématique de la prise en compte des utilisateurs, nous avons adopté une démarche de conception centrée sur l'humain (*User-Centered Design*), focalisée sur l'efficacité opérationnelle sous contrainte temporelle. La clarification du besoin a permis d'identifier deux profils distincts aux attentes divergentes : l'Opérateur de match (rôle combiné Entraîneur/Arbitre) et le Mainteneur technique.

L'environnement d'utilisation de l'Opérateur se caractérise par une forte pression temporelle (match de 2 minutes) et un besoin de réactivité immédiate. En conséquence, les exigences d'utilisation pour ce rôle privilégient la charge cognitive minimale et la sécurité. La conception de l'interface graphique sur smartphone a donc été épurée pour ne présenter que les fonctions critiques (boutons de grande taille pour le Start/Stop, indicateurs d'état colorés vert/rouge), excluant volontairement les données techniques complexes durant le match. Le choix technologique du BLE se justifie ici par sa rapidité d'appairage et sa robustesse face aux interférences, garantissant que la commande d'Arrêt d'Urgence soit transmise avec une latence quasi nulle.

À l'inverse, le rôle du Mainteneur nécessite une visibilité exhaustive sur le système. Son interface dédiée permet l'accès aux journaux d'erreurs et aux valeurs brutes des capteurs pour le diagnostic. La satisfaction de ces exigences contradictoires est assurée par une architecture logicielle

modulaire offrant deux niveaux d'accès. Enfin, l'établissement des manuels utilisateurs suit cette dichotomie : une "Fiche Réflexe" d'une page pour l'Opérateur décrivant les procédures d'urgence et de lancement, et un "Dossier Technique" détaillé pour le Mainteneur couvrant les protocoles de calibrage et de réparation.

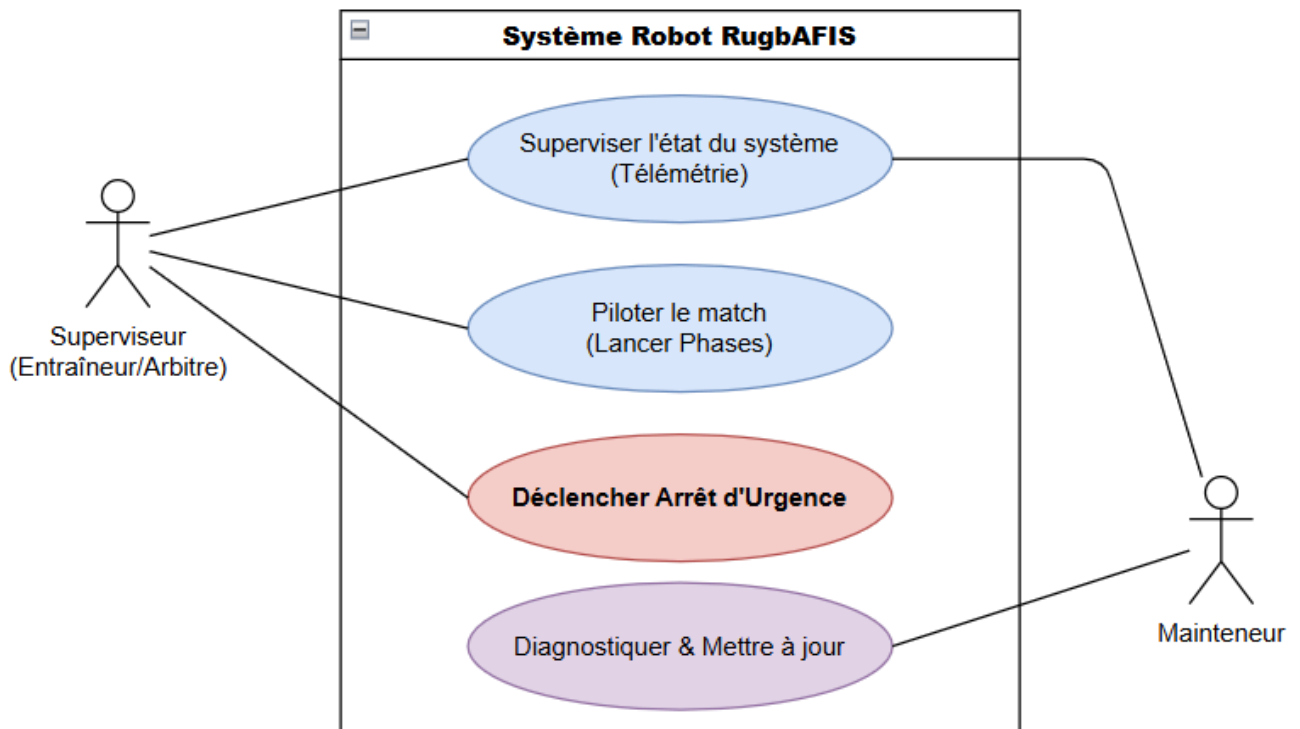


Figure 19 : Diagramme de Cas d'Utilisation (Rôles et Interactions)

Définition des interfaces internes au système (interface entre les sous-systèmes ou éventuellement les constituants de l'architecture retenue du système)

L'architecture interne du système repose sur une organisation rigoureuse des échanges entre les sous-systèmes, matérialisée par l'usage de la connectique standardisée RJ25 et des ports de puissance de la carte MegaPi. L'allocation des flux d'énergie est assurée par le bus de puissance principal qui distribue le courant (11.1V) depuis la batterie vers les ponts en H de la carte mère, puis vers les actionneurs via des signaux modulés en largeur d'impulsion (PWM). Cette modulation constitue l'interface de commande physique permettant au microcontrôleur de piloter précisément la vitesse des roues et la position angulaire du bras.

Parallèlement, les flux d'information internes sont alloués selon la complexité des périphériques. Les capteurs à haute densité d'information, tels que le gyroscope et le détecteur de couleur, sont alloués au bus de communication série I²C, permettant un échange rapide de données numériques structurées.

Les capteurs binaires ou simples, comme le suiveur de ligne, exploitent des interfaces logiques directes (GPIO). Enfin, le module de communication externe est connecté via une interface UART dédiée (Port Série), garantissant l'isolation des flux de communication externe par rapport aux boucles d'asservissement internes. Cette ségrégation des interfaces assure que la saturation d'un bus de données n'impacte pas les fonctions critiques de motricité.

3 Niveau sous-système

Cette section présente la démarche de réflexion ainsi que le processus d'assemblage de nos différents sous-systèmes.

Pour garantir une construction simple, une maintenance facilitée et une bonne interchangeabilité des composants de notre robot, nous avons choisi d'organiser sa conception en sous-systèmes distincts, chacun correspondant à une fonction principale identifiée.

Cette approche permet de développer des sous-systèmes autonomes, ne dépendant pas les uns des autres. Ainsi, un retard sur le montage d'un module n'affecte pas la progression des autres. De plus, cette organisation a simplifié les étapes d'intégration, de vérification et de validation, qui sera détaillé par la suite.

3.1 Dossier de conception du châssis

3.1.1 Description générale du châssis

Le châssis constitue l'architecture mécanique centrale du robot RugbAFIS. Véritable squelette du système, il a pour fonction primaire d'assurer l'intégrité structurelle de l'ensemble en maintenant une cohésion rigide entre les chaînes cinématiques et les organes de commande. Il doit répondre à des exigences : garantir une indéformabilité parfaite pour encaisser les couples dynamiques, minimiser la masse totale pour préserver l'autonomie, le tout dans le respect strict du gabarit imposé par le règlement.

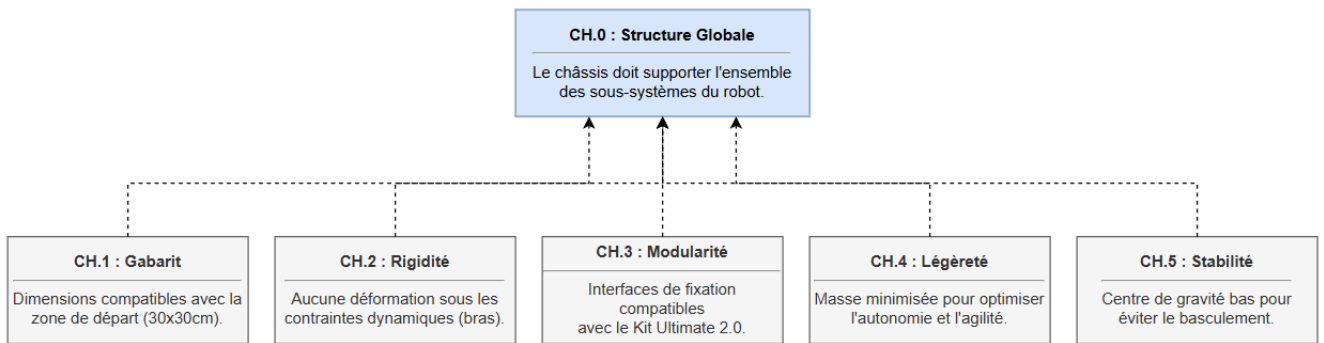


Figure 20 : Diagramme d'exigence du châssis

3.1.2 Architecture organique du châssis

Sur le plan organique, le châssis est assemblé exclusivement à partir de composants standardisés issus du kit Ultimate 2.0. L'ossature repose sur l'assemblage de profilés en aluminium anodisé bleu (poutres à rainures en T) et d'équerres métalliques de renfort. Cette standardisation offre une matrice de points d'ancrage précis, avec des entraxes de 8mm et 16mm, permettant un assemblage par visserie M4 sans usinage complexe.

L'architecture se divise géométriquement en deux zones. La zone avant est constituée de traverses renforcées pour supporter les porte-à-faux créés par le bras manipulateur. La zone arrière est conçue comme une cage structurelle basse, optimisée pour accueillir les éléments lourds (moteurs de propulsion et batterie) afin d'abaisser le centre de gravité.

3.1.3 Interface du châssis

Le châssis agit comme le hub mécanique universel, offrant des interfaces physiques dédiées à chaque sous-système :

- **Interface de Liaison au sol** : Les flancs latéraux supportent les axes des roues motrices et des roues folles, assurant la transmission des efforts de traction.
- **Interface de Manipulation** : Les traverses avant intègrent les supports pivots pour le bras et la pince, encaissant les couples réactifs lors du lancer.
- **Interface Énergétique et Commande** : La plateforme supérieure fixe la carte MegaPi, tandis que le berceau arrière maintient la batterie pour le lestage.
- **Interface de Perception** : Des points de fixation périphériques sont aménagés pour les capteurs (Ultrasons, Ligne), garantissant un champ de vision dégagé.

3.1.4 Justification des choix de conception du châssis

Le châssis a été le premier sous-système conçu, dictant les volumes disponibles. La stratégie consiste à privilégier la sobriété pour minimiser le poids. Une conception épurée a été validée pour sa modularité. Cette flexibilité s'est révélée cruciale lors de l'intégration : face à une non-conformité où les roues dépassent la zone d'engagement, la structure modulaire a permis de translater l'essieu arrière vers l'avant rapidement, résolvant le problème sans refonte globale.

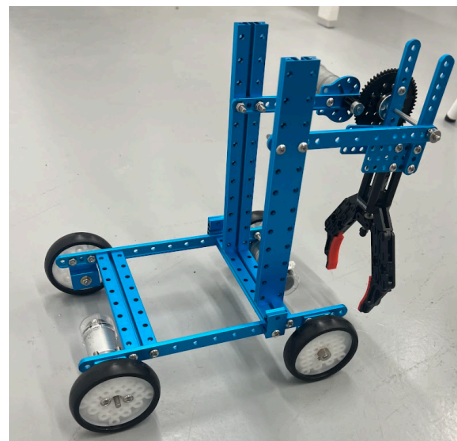


Figure 21 : Système Châssis au 15/11/2025

3.2 Dossier de conception du système de déplacement

3.2.1 Description générale du système de déplacement

Le sous-système de déplacement assure la fonction critique de locomotion du robot RugbAFIS. Sa mission principale est de convertir les consignes de vitesse et de cap, calculées par l'algorithme de navigation, en mouvements physiques réels sur le terrain. Il doit garantir une motricité suffisante sur le revêtement pour exécuter des translations rectilignes précises, des courbes fluides et des rotations stationnaires indispensables aux phases de recherche du ballon et d'évitement. La précision de ce système est vitale, car elle conditionne directement la fiabilité de l'odométrie et donc la capacité du robot à se localiser.

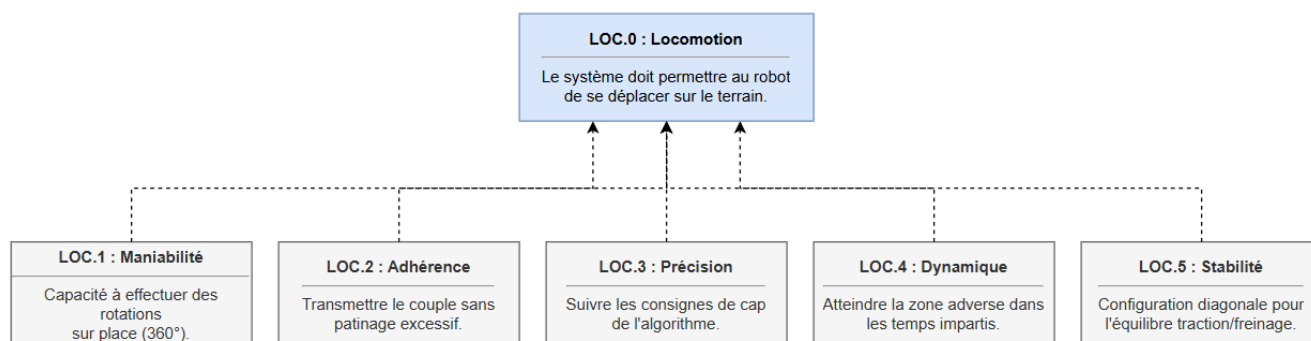


Figure 22 : Diagramme d'exigence du système déplacement

3.2.2 Architecture organique du système de déplacement

D'un point de vue matériel, la solution repose sur l'intégration des composants électromécaniques du kit Ultimate 2.0. La chaîne de puissance est constituée de deux motoréducteurs à courant continu de 25mm de diamètre, développant une vitesse de rotation nominale de 185 tours/minute. Chaque moteur est couplé directement à une roue motrice munie d'un pneu en caoutchouc tendre assurant l'interface de friction avec le sol. L'ensemble est fixé rigidement sur le châssis via des supports en aluminium, positionnés au plus bas pour optimiser le centre de gravité.

3.2.3 Justification des choix de conception du système de déplacement

Le système de déplacement repose sur une architecture différentielle qui permet de diriger le robot en faisant varier la vitesse relative entre les côtés gauche et droit. Pour la mise en œuvre, nous avons validé une configuration topologique spécifique dite « en diagonale » : un moteur pilote la roue avant-gauche tandis que le second pilote la roue arrière-droite (les deux autres roues étant libres).



*Figure 23 : Système Déplacement au
15/11/2025*

Ce choix de répartition croisée des moteurs, par opposition à une traction avant ou arrière classique, offre un compromis optimal pour un châssis à quatre roues n'utilisant que deux actionneurs. Cette diagonale motrice garantit que le robot conserve toujours au moins un point de traction efficace quelque soit le transfert de charge (accélération ou freinage), tout en permettant de pivoter sur place (rayon de braquage nul) sans générer les frottements excessifs ou le "rippage" souvent constatés sur les configurations à chenilles ou à 4 roues motrices fixes.

3.3 Dossier de conception du système de récupération du ballon

3.3.1 Description générale du système de récupération du ballon

Le sous-système de récupération a pour mission critique d'assurer la gestion physique de l'objet de jeu. Il doit répondre au besoin de saisir le ballon situé au sol dans la zone centrale, de le sécuriser durant les phases de déplacement rapide, et enfin de le restituer selon la phase de jeu (aplatir ou lancer). Au-delà de la simple préhension, ce système participe activement à la stratégie de transformation en agissant comme un propulseur cinétique. Il doit également garantir que, lors du transport, le ballon soit maintenu à une hauteur suffisante pour ne pas obstruer le champ de vision des

capteurs de navigation situés sur le châssis.

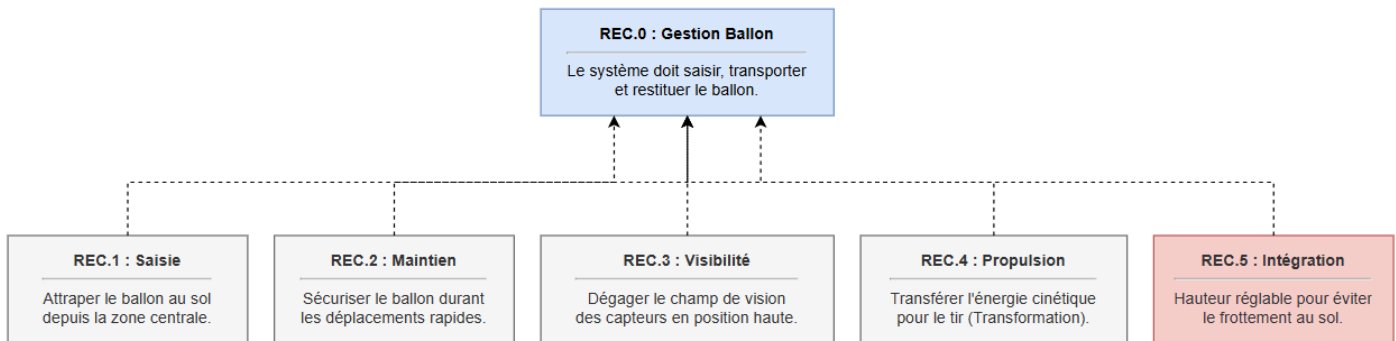


Figure 24 : Diagramme d'exigence de la récupération du ballon

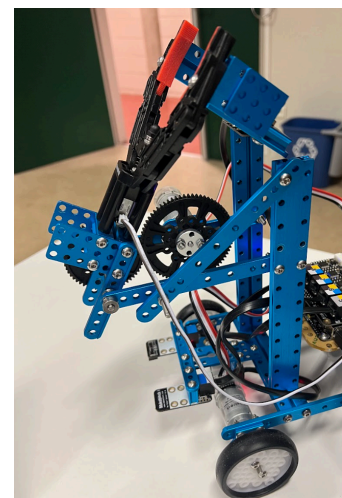
3.3.2 Architecture organique du système de récupération du ballon

L'architecture organique du module repose sur les composants mécaniques du kit Ultimate 2.0, assemblés pour former un bras articulé à un degré de liberté. La structure principale est constituée de tiges et de poutres métalliques assemblées par visserie, formant un levier rigide à l'extrémité duquel est fixée une pince motorisée (effecteur).

La chaîne de puissance assurant la rotation du bras utilise un servomoteur couplé à un système de transmission par engrenages. Nous avons conçu un étage de réduction spécifique composé d'un pignon moteur et d'une grande roue dentée solidaire du bras. Ce rapport de réduction a été calculé pour offrir un compromis mécanique : il permet d'une part de multiplier le couple pour soulever la charge sans difficulté, et d'autre part de conserver une vitesse angulaire suffisante pour générer l'impulsion nécessaire au lancer du ballon.

3.3.3 Interface du système de récupération du ballon

L'interface mécanique principale se situe au niveau de la fixation sur les traverses avant du châssis. Cette liaison pivot est conçue avec des lumières (trous oblongs) ou des points de fixation multiples, rendant la hauteur de l'axe de rotation réglable. Cet ajustement est indispensable pour garantir que la pince, en position basse, puisse saisir le ballon sans frotter le sol, évitant ainsi toute contrainte mécanique parasite sur la propulsion. Sur le plan électrique, les deux actionneurs (moteur de levage et moteur de pince) sont connectés aux ports de puissance de la carte MegaPi, constituant l'interface de commande.



*Figure 25 : Système Récupération
au 05/12/2025*

3.3.4 Justification des choix de conception du système de récupération du ballon

La conception s'est orientée vers une architecture multifonctionnelle pour optimiser le poids et l'encombrement. Le choix d'utiliser le bras de préhension comme système de lancer (plutôt que d'ajouter un mécanisme de frappe dédié type solénoïde ou batteur) permet une simplification drastique du robot. Cette stratégie repose sur l'exploitation de l'inertie : en position haute, le bras accumule de l'énergie potentielle et cinétique qui est transférée au ballon lors d'une rotation rapide, réalisant ainsi la transformation.

De plus, l'intégration d'un système d'engrenages à deux roues dentées répond à une double contrainte. Premièrement, elle fournit le couple nécessaire au maintien ferme du ballon en position haute. Deuxièmement, cette position haute est stratégique : elle dégage totalement le cône de détection des capteurs ultrason et ligne situés en partie basse, permettant au robot de repérer les défenseurs et de calculer ses trajectoires d'évitement sans occlusion visuelle causée par le ballon lui-même.

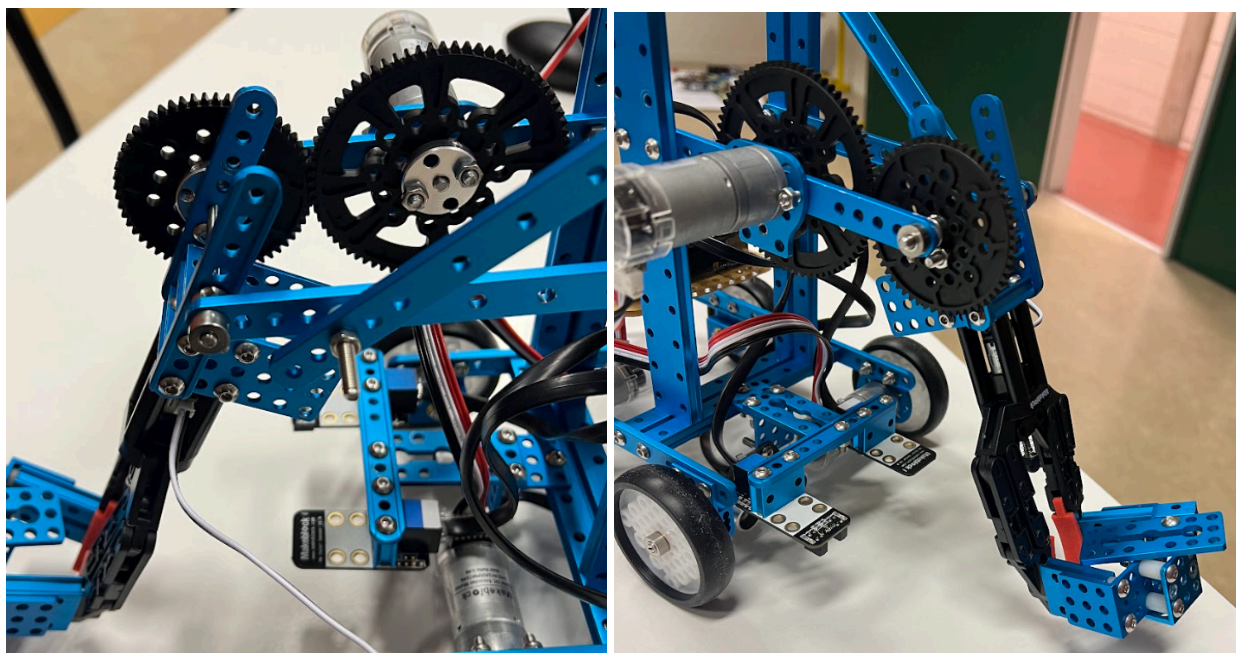


Figure 26 : Système Récupération "engrenage" au 05/12/2025

3.4 Dossier de conception du système de maintien du ballon

3.4.1 Description générale du système de maintien du ballon

Le sous-système de maintien du ballon assure la fonction critique de sécurisation de la

charge utile durant les phases de transit. Sa mission principale est de supprimer les degrés de liberté résiduels du ballon une fois celui-ci saisi par la pince. Ce verrouillage mécanique doit être suffisamment robuste pour résister aux contraintes dynamiques (accélérations, freinages et rotations brusques du robot), garantissant qu'aucune perte de contrôle de l'objet ne survienne durant le match, ce qui entraînerait une pénalité au règlement.

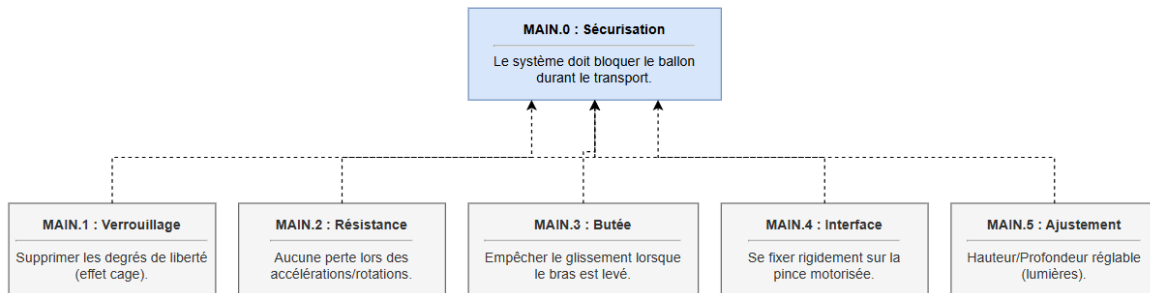


Figure 27 : Diagramme d'exigence du système de maintien du ballon

3.4.2 Architecture organique du système de maintien du ballon

L'architecture organique de ce module est une structure passive ajoutée à l'effecteur, assemblée exclusivement à partir d'éléments structurels du kit Ultimate 2.0. Elle est constituée d'une combinaison géométrique de plaques angulaires (équerres) et de plaques droites en aluminium. L'agencement spécifique de ces pièces forme une "cage" ou un berceau rigide conçu pour épouser la forme du ballon et le contraindre physiquement dans toutes les directions.

3.4.3 Interface du système de maintien du ballon

L'interface mécanique principale se situe directement sur la pince motorisée. Le système de cage y est solidarisé au moyen de vis longues traversantes, utilisant les perçages existants de la pince. La conception exploite les lumières (encoches oblongues) présentes sur les éléments structurels, offrant une interface de réglage en translation verticale. Cela permet d'ajuster finement la hauteur et la profondeur de la cage de préhension pour optimiser le point de contact avec le ballon.

3.4.4 Justification des choix de conception du système de maintien du ballon

La conception initiale reposait uniquement sur des plaques latérales assurant le serrage par friction. Cependant, la stratégie de déplacement impose de relever le bras en position haute maximale durant le transport pour dégager les capteurs. Les essais dynamiques ont révélé une défaillance dans cette configuration : sous l'effet des vibrations et de l'angle, le ballon glissait hors de la pince. Pour corriger ce défaut, une

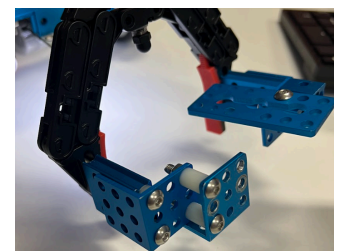


Figure 28 : Système Maintien

itération de conception a intégré une plaque droite transversale supplémentaire. Cette pièce agit comme une butée mécanique définitive, fermant le volume de la "cage" et empêchant tout glissement longitudinal, particulièrement lorsque le bras est relevé.

3.5 Dossier de conception du système du bloc capteurs

3.5.1 Description générale du système du bloc capteurs

Le bloc capteurs constitue l'interface sensorielle du robot, répondant au besoin critique d'acquisition de données. Sa mission est de numériser l'environnement physique pour fournir à l'algorithme de décision les informations nécessaires à la navigation (suivi de ligne, cap) et à l'interaction (détection du ballon, identification de zone, repérage des défenseurs). Ce sous-système a également pour fonction structurelle de supporter la carte électronique centrale et d'optimiser le cheminement des câbles (cable management) pour éviter tout arrachement accidentel ou interférence mécanique.

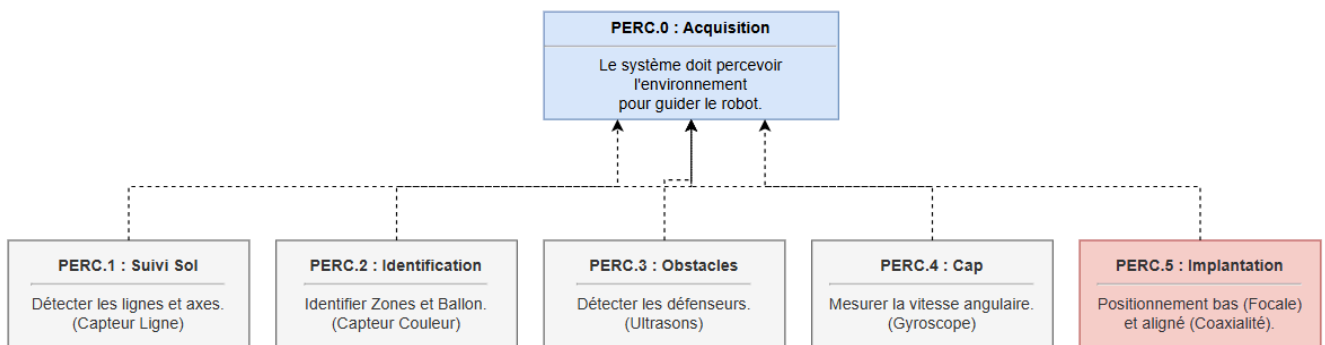


Figure 29 : Diagramme d'exigence du système du bloc des capteurs

3.5.2 Architecture organique du système du bloc capteurs

L'architecture du système de perception repose sur une distribution spatiale rigoureuse des organes de mesure, fixés via des supports du kit Ultimate 2.0. Le suiveur de ligne est implanté en position ventrale sous le châssis, légèrement en retrait de l'axe des roues avant. Le capteur de couleur est monté en façade avant, strictement aligné avec l'axe longitudinal du robot. Le gyroscope est positionné sur la plateforme supérieure, au plus proche du centre de rotation géométrique du châssis. Enfin, le télémètre à ultrasons est fixé à l'avant, orienté horizontalement vers le champ d'action.

3.5.3 Justification des choix du système du bloc capteurs

La disposition des capteurs découle directement des contraintes physiques et optiques validées lors des phases de test. Les capteurs optiques (Ligne et Couleur) ont été placés au ras du sol

pour respecter leurs distances focales très courtes et garantir une lecture fiable des contrastes malgré la lumière ambiante. Cependant, une garde au sol minimale a été conservée pour permettre le franchissement d'obstacles mineurs (hauteur du ballon).

Le positionnement du capteur de couleur répond à une exigence de coaxialité : il est parfaitement centré pour s'aligner avec la pince. Cette configuration permet d'enchaîner la détection et la saisie du ballon par une simple translation rectiligne, sans manœuvre complexe de réalignement.

Le télémètre ultrason a été placé en position basse pour intercepter la géométrie des défenseurs (cubes de faible hauteur). Bien qu'il puisse être légèrement excentré, son champ de vision doit rester totalement dégagé de la structure du robot pour éviter les faux positifs (échos parasites). Enfin, le positionnement central du gyroscope vise à minimiser l'impact des accélérations tangentielles et des vibrations du châssis sur la mesure de la vitesse angulaire, assurant ainsi une meilleure stabilité de cap.

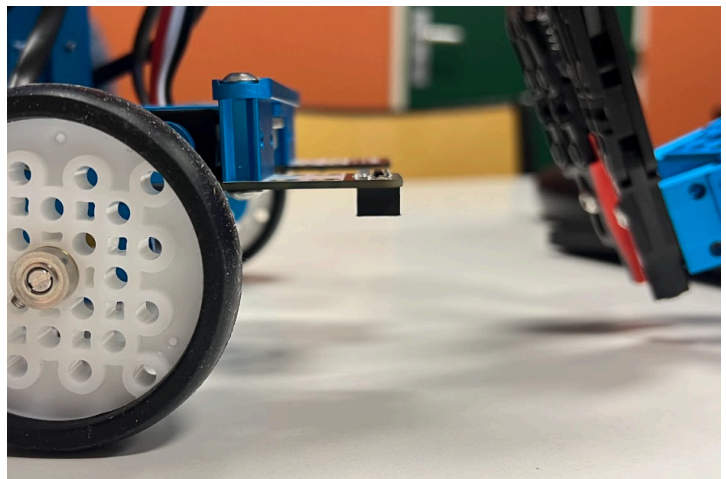
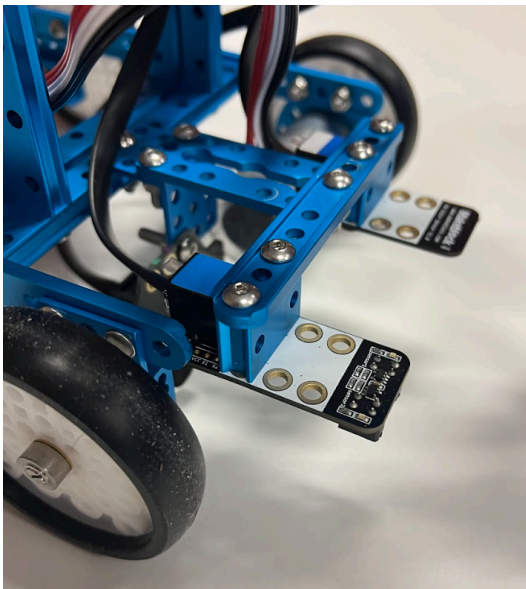


Figure 30 : Système bloc capteurs “capteurs ligne et couleurs” au 28/11/2025

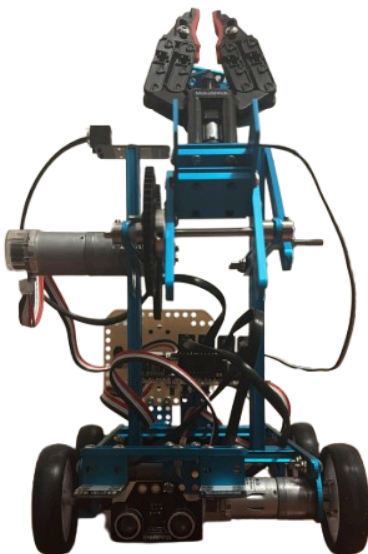


Figure 31 : Système bloc capteurs “capteurs détection” au 05/12/2025

3.6 Dossier de conception du système d'alimentation

3.6.1 Description générale du système d'alimentation

Le bloc d'alimentation assure la fonction vitale de fourniture d'énergie à l'ensemble du robot. Sa mission principale est de délivrer l'électricité nécessaire au fonctionnement de la carte électronique centrale, qui se charge ensuite de la distribuer aux différents actionneurs (moteurs) et capteurs. Il doit garantir une alimentation continue pour permettre au système de fonctionner durant toute la durée de sa mission. De plus, son positionnement physique joue un rôle important dans l'équilibre général du robot.

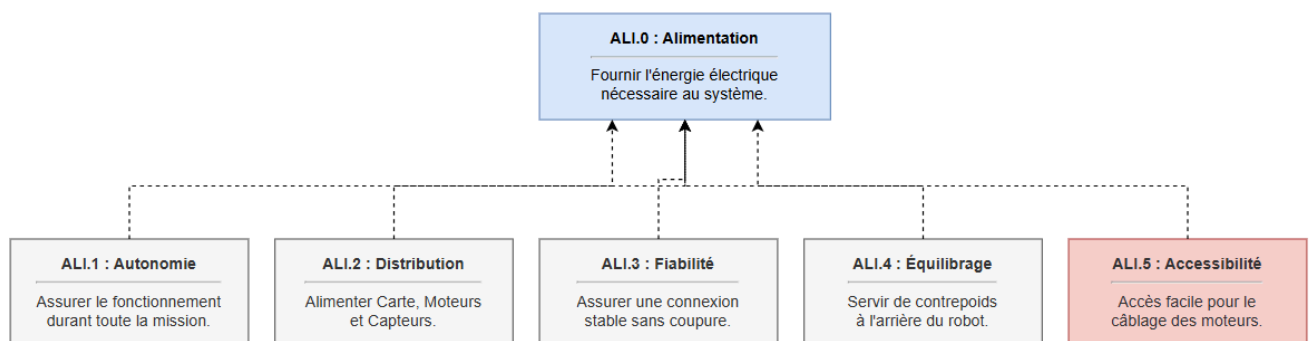


Figure 32 : Diagramme d'exigence du système d'alimentation

3.6.2 Architecture organique du système d'alimentation

Le système de stockage d'énergie est constitué d'un bloc de 6 piles (format standard AA) insérées dans le support fourni avec le kit Ultimate 2.0. Ce montage permet de fournir la tension nécessaire au fonctionnement de la carte MegaPi. Le boîtier est fixé solidement au châssis par des éléments de structure métalliques, tout en restant démontable pour le changement des piles.

3.6.3 Interface du système d'alimentation

L'interface électrique se fait via un câble d'alimentation reliant le bloc piles à la carte électronique située au centre du robot. C'est cette carte qui joue le rôle de distributeur : elle reçoit l'énergie des piles et la redirige vers les moteurs des roues, le moteur du bras, ainsi que tous les capteurs connectés.

Sur le plan mécanique, le bloc d'alimentation est fixé à l'arrière du robot, en position verticale et centré sur l'axe du châssis. Il sert d'interface de lestage pour l'équilibre du robot.

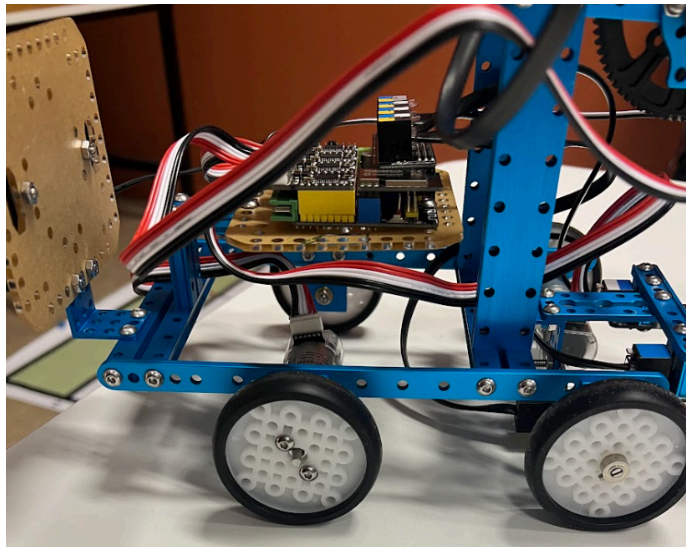


Figure 33 : Système d'alimentation au 05/12/2025

3.6.4 Justification des choix du système d'alimentation

L'architecture du système d'alimentation a été pensée pour répondre à deux besoins : l'alimentation électrique et l'équilibre mécanique. Nous avons fait le choix stratégique de scinder la partie énergie (piles) de la partie commande (carte). Le boîtier de piles a été volontairement déporté à l'arrière du robot. Ce choix permet de libérer de l'espace à l'avant pour le mécanisme de pince, mais surtout d'agir comme un contrepoids. Cela compense le poids du bras à l'avant et empêche le robot de basculer lors de la saisie du ballon.

Concernant la carte électronique, nous avons choisi de la placer en hauteur et au centre. Cette position surélevée facilite grandement le câblage vers les moteurs des roues situés en dessous et offre un accès confortable pour les branchements, ce qui simplifie la maintenance et les vérifications techniques.

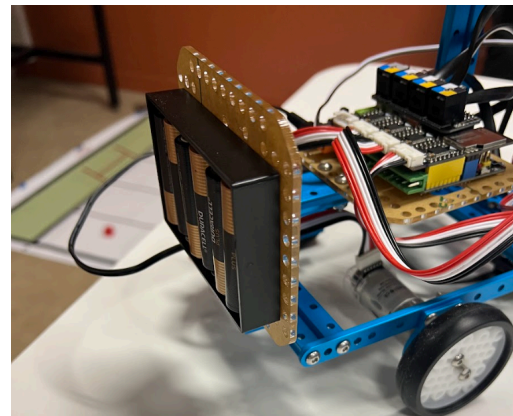
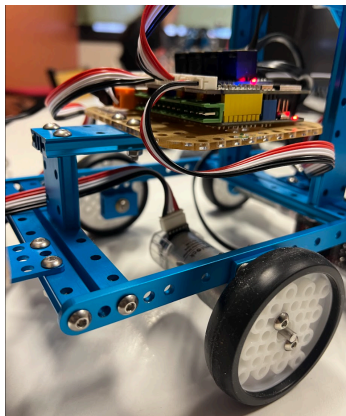


Figure 34 : Agencement du systèmes d'alimentation au 05/12/2025

3.7 Dossier de conception du système de l'IHM

3.7.1 Description générale du système de l'IHM

L'Interface Homme-Machine (IHM) du système repose sur une application mobile utilisant le protocole Bluetooth Low Energy (BLE). Cette application agit comme un terminal de commande permettant à l'utilisateur de piloter et superviser le système à distance.

L'IHM propose une interface de type manette virtuelle, composée de boutons personnalisables. Elle permet l'envoi de commandes vers le système embarqué ainsi que la réception d'informations de retour. Les échanges de données se font sous forme de caractères, de chaînes de caractères ou de messages codés.

Architecture organique du système de l'IHM

L'IHM est structurée autour de trois éléments principaux : l'application mobile, le module de communication Bluetooth Low Energy (BLE) et le système embarqué. L'application mobile constitue l'interface utilisateur et gère les interactions humaines. Le module BLE assure la transmission des données entre l'IHM et le système embarqué. Enfin, le système embarqué interprète les commandes reçues et renvoie les informations d'état vers l'application. Cette architecture simple et modulaire permet une communication fiable, tout en facilitant l'évolution ou l'adaptation future de l'IHM.

3.7.2 Interface du système de l'IHM

L'interface utilisateur prend la forme d'une manette virtuelle composée de boutons configurables. Chaque bouton correspond à une commande spécifique du système (démarrage, arrêt, lancement d'une action, etc.). Les informations de retour sont affichées de manière lisible afin d'informer l'utilisateur de l'état du système. L'ergonomie de l'interface a été conçue pour garantir une utilisation rapide et intuitive, en limitant les risques d'erreur lors des phases critiques de fonctionnement.

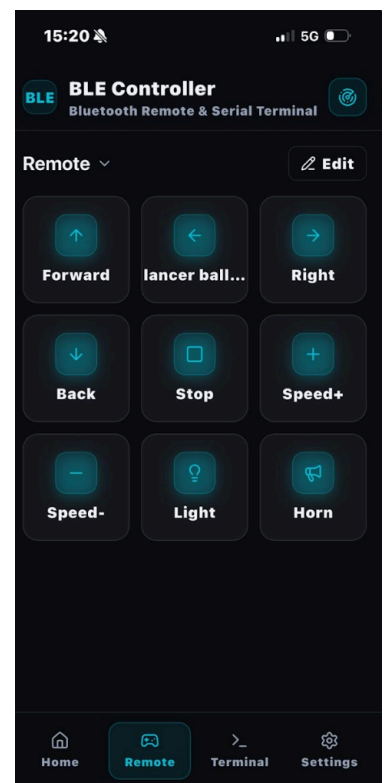
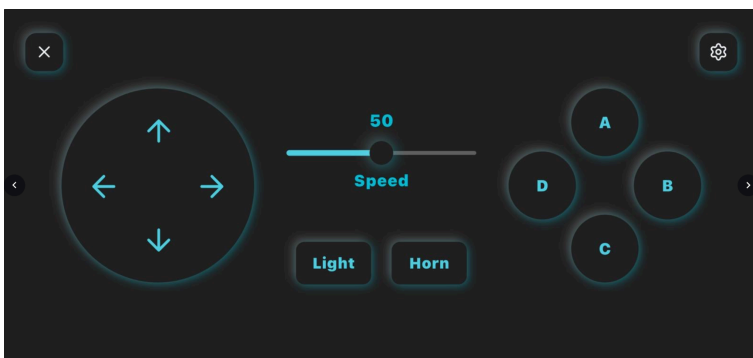


Figure 35 : Manette virtuelle et Application mobile au 19/12/2025

3.7.3 Justification des choix de conception du système de l'IHM

Le choix d'une application mobile utilisant le protocole BLE permet de bénéficier d'une solution sans fil à faible consommation énergétique, largement compatible avec les équipements actuels. L'utilisation d'une interface à boutons simplifie l'interaction utilisateur et réduit la charge cognitive, notamment en situation dynamique.

Cette approche garantit un bon compromis entre simplicité, fiabilité et efficacité, tout en répondant aux exigences de pilotage, de supervision et de sécurité du système

4 Plan d'intégration, vérification et validation (LOT 30)

4.1 Plan d'IVV (LOT 31)

La stratégie de validation du système RugbyAFIS repose sur une approche méthodique de vérification par exigence (*Requirement-Based Testing*). Notre objectif est de démontrer, par des essais quantifiables et reproductibles, que le robot satisfait chacune des 13 exigences opérationnelles (OP.1 à OP.13) définies dans le référentiel.

Pour garantir une couverture complète du cahier des charges, nous avons structuré notre plan de tests selon une logique séquentielle et thématique. Chaque exigence fait l'objet d'un protocole de validation spécifique comprenant :

1. **L'Objectif** : Le rappel de la fonction ou de la performance à valider.
2. **Le Protocole** : La description précise des conditions d'essai et des actions à réaliser.
3. **Le Critère d'Acceptation** : La mesure ou l'observation factuelle qui conditionne la réussite du test (Pass/Fail).

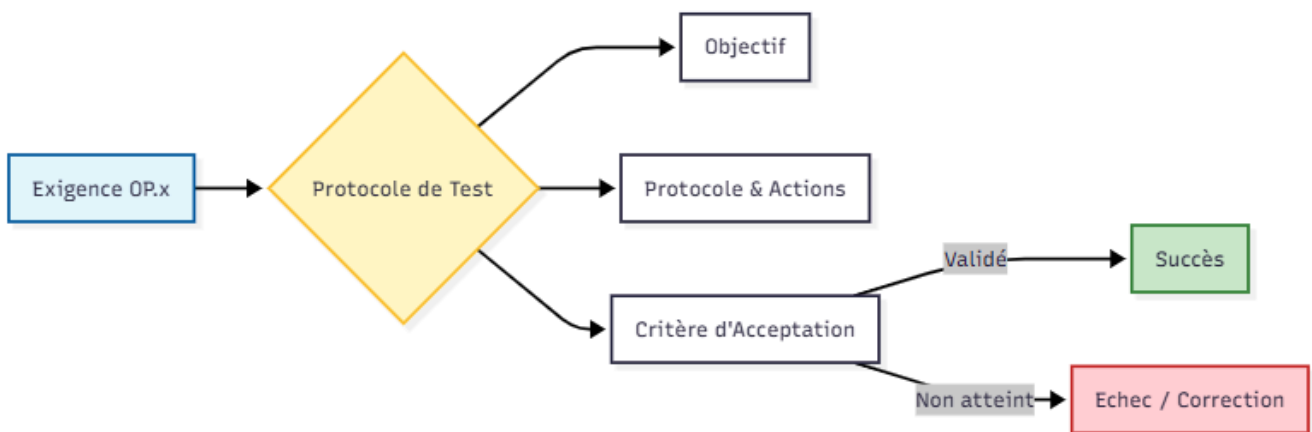


Figure 36 : Structure du protocole de validation

Notre critère d'acceptation est différent selon la criticité de l'exigence. En effet, les exigences définies comme primordiales telles que

4.1.1 Maintenir et Prendre le ballon

Contexte : Initialement, nous avons opté pour la pince standard du kit Ultimate 2.0. Notre hypothèse était que la force de serrage (friction) suffirait à soulever le ballon. L'objectif est de passer d'une fonction de "pincement" (contact latéral) à une fonction de "préhension" (emprisonnement).

Rubrique	Description
Objectif	Valider que le sous-système "Pince + Bras" est capable de saisir le ballon au sol et de le maintenir en position haute indéfiniment, malgré la gravité.
Conditions	Robot statique, ballon officiel (11g), Pince standard (V1).

Protocole	<ol style="list-style-type: none"> 1. Positionner le ballon à l'aplomb de la pince. 2. Actionner l'ouverture de la pince. 3. Descendre le bras jusqu'au contact sol. 4. Fermer la pince (Serrage). 5. Remonter le bras en position de transport. 6. Observer le maintien sur une durée prolongée.
Critère d'Acceptation	Le ballon ne doit pas glisser ou tomber. Taux de réussite attendu : 8 succès sur 10 essais (80%) .

Tableau 8 : Protocole de saisie du ballon

Résultats de la campagne d'essais :

- **Constat (Échec)** : Lors des premiers essais, le taux de réussite était inférieur à 40%. La texture du ballon et celle de la pince en plastique provoquaient un glissement systématique vers le bas lors de la remontée, entraînant la perte de l'objet.



Figure 37 : Premier essai de récupération avec le système Pince au 15/11/2025

- **Tentative de correction n°1** : Ajout d'élastiques sur les mors pour augmenter le coefficient de frottement. *Résultat* : Amélioration insuffisante, le ballon glisse toujours sous son propre poids ou lors des vibrations.

Solution Technique Retenue (Correction) : Face à l'échec de la solution par friction, nous avons modifié la conception pour créer une contrainte mécanique. Nous avons conçu une structure de type "cage" autour de la pince.

- **Principe** : La pince ne sert plus seulement à serrer, mais à fermer une enceinte. Une fois le bras relevé, le ballon repose physiquement sur la structure de la cage, rendant la chute impossible tant que la pince reste fermée.
- **Validation** : Avec cette modification, le taux de réussite est passé à **8/10 (80%)**.

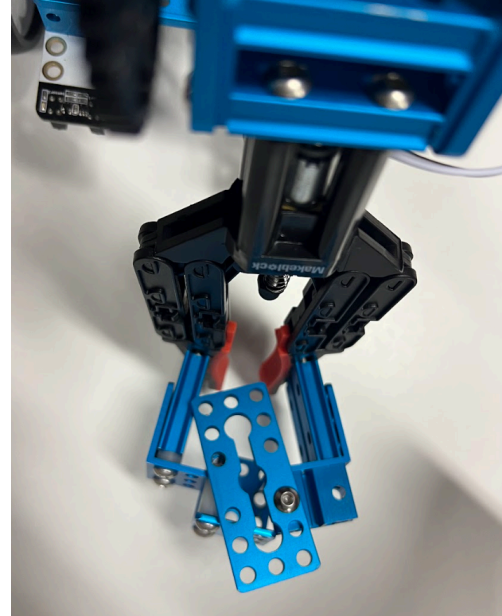
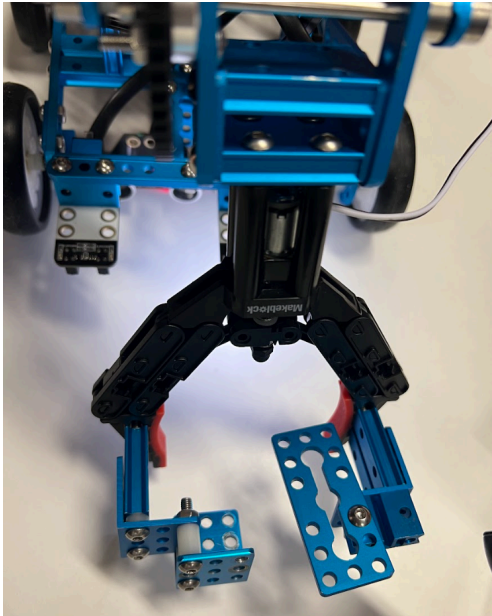


Figure 38 : Évolution du préhenseur : ajout d'une cage de maintien pour sécuriser le ballon.

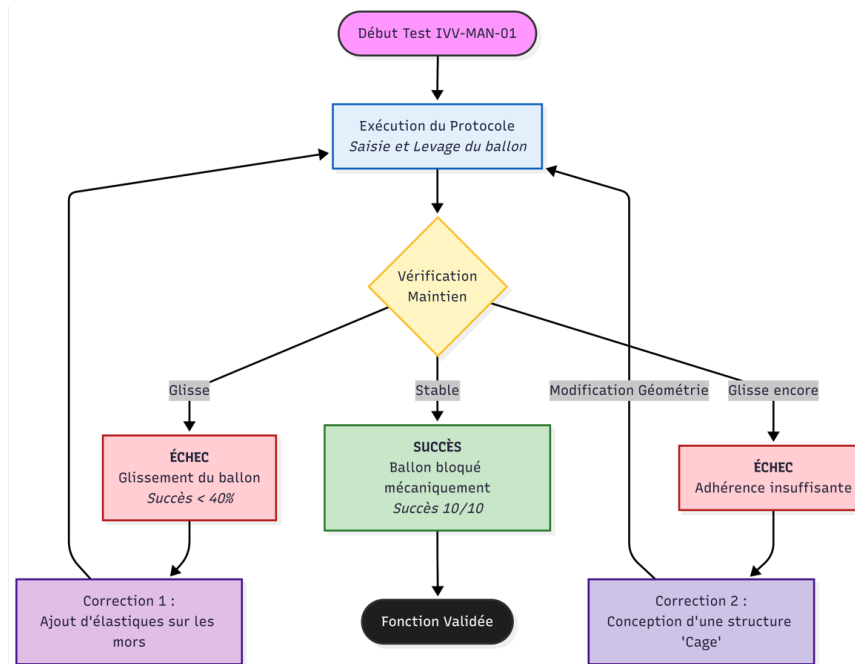


Figure 39 : Cycle d'optimisation de la préhension (Passage de la friction à la cage)

4.1.2 Lancer le ballon sur la longueur du terrain (130cm) (Exigences F.2 & OP.2)

Contexte et Choix Technologique : Pour répondre à l'exigence de projection du ballon sur 130 cm, plusieurs architectures cinématiques ont été évaluées en phase de conception, notamment l'utilisation directe de la pince comme propulseur ou l'ajout d'un bras de frappe dédié. Les essais préliminaires ont conduit à sélectionner la solution du bras rotatif à percussion, qui offre le meilleur compromis entre la puissance cinétique (nécessaire pour la distance) et la simplicité mécanique (intégration dans le gabarit).

Rubrique	Description
Objectif	Valider la capacité du robot à propulser le ballon depuis la zone d'engagement jusqu'aux poteaux (Transformation) avec une trajectoire rectiligne et une portée suffisante.
Conditions	Robot positionné sur la ligne d'engagement, batterie chargée (> 90%), ballon officiel.

Protocole	<p>1. Saisir le ballon avec la pince (Configuration validée IVV-MAN-01).</p> <p>2. Positionner le bras en butée arrière (Amplitude maximale pour l'élan).</p> <p>3. Déclencher le moteur du bras à vitesse maximale (Impulsion de tir).</p> <p>4. Mesurer la distance parcourue et l'écart latéral par rapport à l'axe des poteaux.</p>
Critère d'Acceptation	Le ballon doit franchir la ligne d'en-but (130 cm) en passant entre les poteaux. Taux de réussite cible : 70% minimum .

Tableau 9 : Validation du système de propulsion (Tir)

Analyse des Résultats :

Les essais de qualification ont permis de valider la conformité de la solution :

- **Performance** : Sur une série de 10 tirs, le système a atteint la cible à 7 reprises (70% de réussite).
- **Observations** : Les 3 échecs constatés sont dus à de légères déviations de trajectoire au moment de l'impact (le ballon touche le bord de la pince ou du châssis), ce qui réduit sa portée ou dévie sa course.
- **Conclusion** : Le système répond aux exigences du cahier des charges. La précision pourra être affinée par un ajustement logiciel de la vitesse finale du bras.

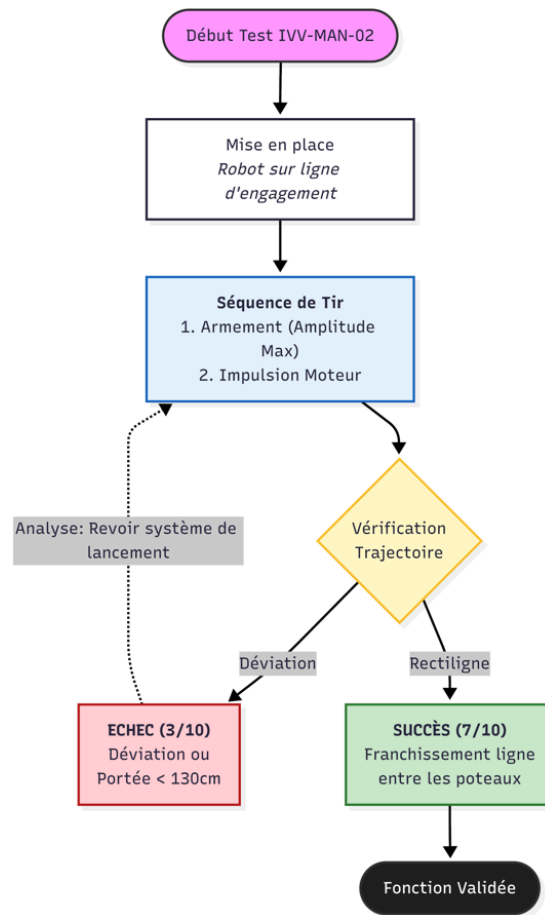


Figure 40 : Séquence de validation du tir (Transformation)

4.1.3 Se déplacer avec/sans le ballon sur le terrain

Pour que notre robot se déplace, nous avons eu le choix avec les roues ou les chenilles dentées. Nous sommes partis sur les roues car il bénéficie d'une largeur nettement plus inférieure que des chenilles qui sont plutôt larges. Ainsi, nous avons créé un châssis relativement simple permettant de fixer les roues. Pour permettre la rotation du robot, nous avons placé les moteurs stratégiquement, c'est-à-dire, un moteur sur la roue avant gauche et l'autre sur la roue arrière droite (l'opposé). Ainsi, en faisant tourner les deux moteurs en même temps dans le sens inverse, on crée un mouvement de rotation.

Rubrique	Description

ID Test	IVV-MAN-03
Objectif	Valider la capacité du robot à suivre une trajectoire rectiligne stable et à effectuer des rotations sur place (pivot) pour s'orienter.
Conditions	<ul style="list-style-type: none"> • Robot posé sur la surface de jeu officielle (tapis/moquette). • Batterie chargée.
Protocole	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mise en station : Poser le robot au sol, à l'arrêt. 2. Test Translation : Actionner les deux moteurs dans le même sens (Vitesse G = Vitesse D). Observer la rectitude. 3. Test Rotation Horaire : Actionner les moteurs en sens inverse (Moteur G "Avance", Moteur D "Reculé"). 4. Test Rotation Anti-horaire : Inverser la commande précédente.
Critères	<p>Succès : Le robot doit avancer sans déviation majeure et pivoter sur son axe vertical sans blocage.</p> <p>Cible : Taux de validité 100%.</p>

Tableau 10 : Protocole de validation des déplacements

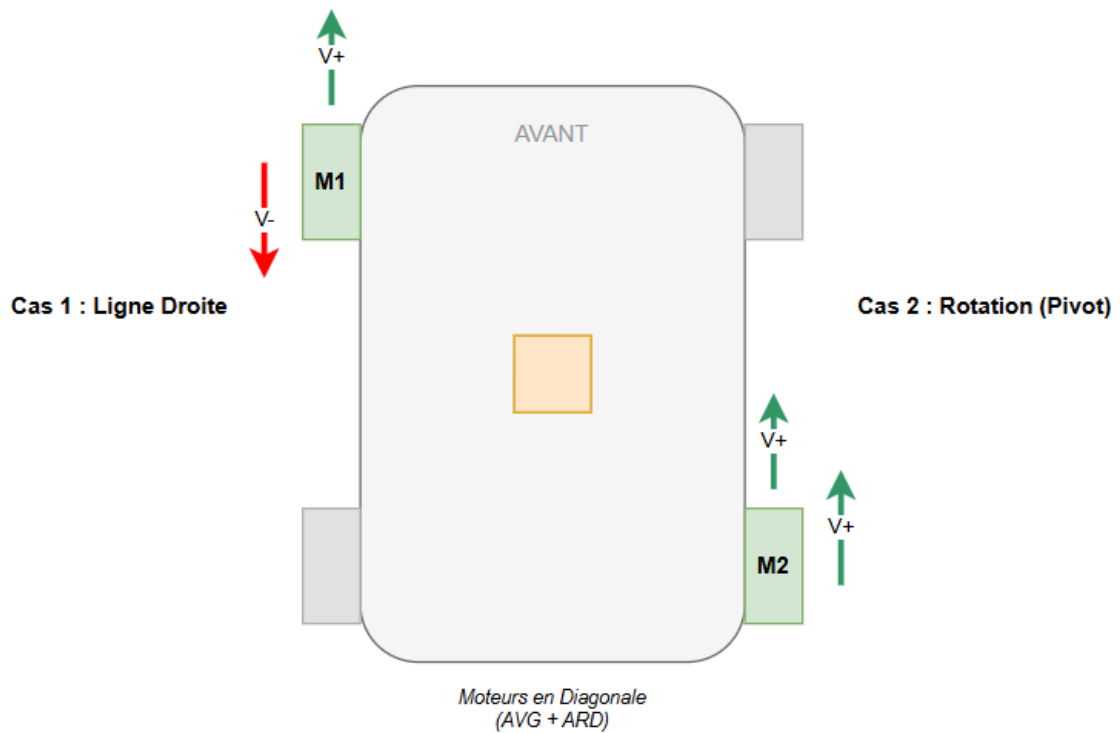


Figure 41 :Schéma explicatif du système de rotation

4.1.4 Détecter le ballon

Contexte et Choix Technologique : Pour assurer la détection du ballon, nous avons réalisé une étude comparative entre les différents capteurs du Kit Ultimate 2.0 (Ultrason vs Couleur). L'analyse a montré que le capteur ultrason, bien que performant pour les obstacles larges (défenseurs), manquait de fiabilité sur la forme ovoïde et la petite taille du ballon. Nous avons donc retenu le capteur de couleur (Me Color Sensor), configuré pour détecter la teinte spécifique du ballon (Marron/Rouge) par contraste avec le sol blanc.

Rubrique	Description
Objectif	Valider la capacité du robot à identifier formellement le ballon et à déclencher l'arrêt immédiat pour permettre la préhension.

Conditions	Capteur monté en position basse (ras du sol) pour optimiser le rapport signal/bruit. Ballon officiel (Marron).
Protocole	<ol style="list-style-type: none"> 1. Placer le ballon à une distance définie (ex: 50 cm) dans l'axe du robot. 2. Lancer la procédure d'approche (Avance constante). 3. Observer la réaction du robot au moment du survol du ballon.
Critère d'Acceptation	Le robot doit s'arrêter net dès que la couleur cible est identifiée, positionnant le ballon à portée de la pince. Taux de réussite cible : 80% minimum .

Tableau 11 : Protocole de validation de l'identification visuelle

Analyse des Résultats :

- **Performance** : Le système a réussi à détecter et à s'arrêter correctement lors de 8 essais sur 10 (80%).
- **Analyse technique** : La détection est basée sur la composante "Rouge" du spectre, qui correspond à la signature colorimétrique du ballon marron.
- **Limitations observées** : Les 2 échecs sont dus à un mauvais alignement initial ("ballon mal positionné"). Le capteur de couleur étant très directif, le ballon doit se trouver précisément dans son cône de vision.
- **Solution** : Cette contrainte sera compensée par l'algorithme de balayage (Recherche) qui alignera le robot avant la phase d'approche finale.

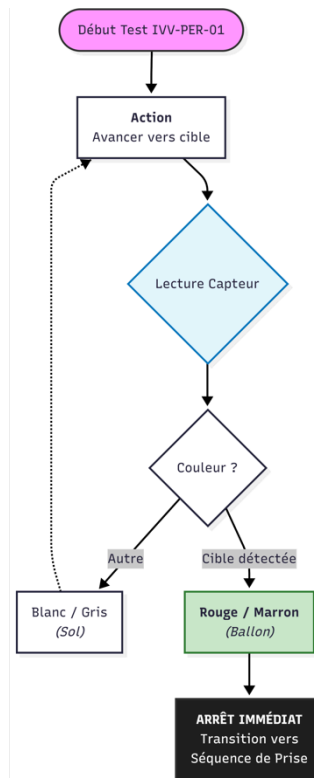


Figure 42 : Séquence de validation de détection du ballon

4.1.5 Détecter défenseurs (cube 3x3 cm rouge)

Pour détecter les défenseurs notre stratégie a été de placer un capteur de détection à l'avant de notre robot. Ce capteur va émettre un signal qui va être renvoyé lorsque celui va rencontrer un obstacle, en l'occurrence les défenseurs dans notre cas. Une fois le signal reçu, le capteur va nous donner la distance séparant le robot et le défenseur. Nous avons fait ce choix car ce capteur permet de détecter à distance, ce qui est le plus adapté pour que notre robot détermine la bonne trajectoire à prendre.

Rubrique	Description
ID Test	IVV-MAN-04
Objectif	Valider la capacité du robot à repérer l'intégralité des obstacles situés dans la zone des "22 mètres" depuis sa position dans la zone

	centrale, via une procédure de scan.
Conditions	<ul style="list-style-type: none"> • Robot positionné aléatoirement en Zone Centrale. • Défenseurs (Cubes 30x30cm) disposés aléatoirement en Zone des 22. • Terrain dégagé de tout autre objet.
Protocole	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mise en situation : Placer le robot et les obstacles selon les conditions aléatoires. 2. Séquence de Scan : Ordonner au robot d'effectuer un balayage rotatif sur 180° (pivot de -90° vers +90° par rapport à l'axe longitudinal). 3. Acquisition : Le robot enregistre les retours d'écho en continu durant la rotation. 4. Analyse : Vérifier que les pics de détection correspondent bien aux positions réelles des défenseurs.
Critères	<p>Succès : Détection de 100% des obstacles présents sur le trajet du scan.</p> <p>Cible : Taux de réussite à 100% sur 10 essais.</p>

Tableau 12 : Protocole de validation du scan de terrain

Principe de Détection par Balayage (Scan Ultrason)

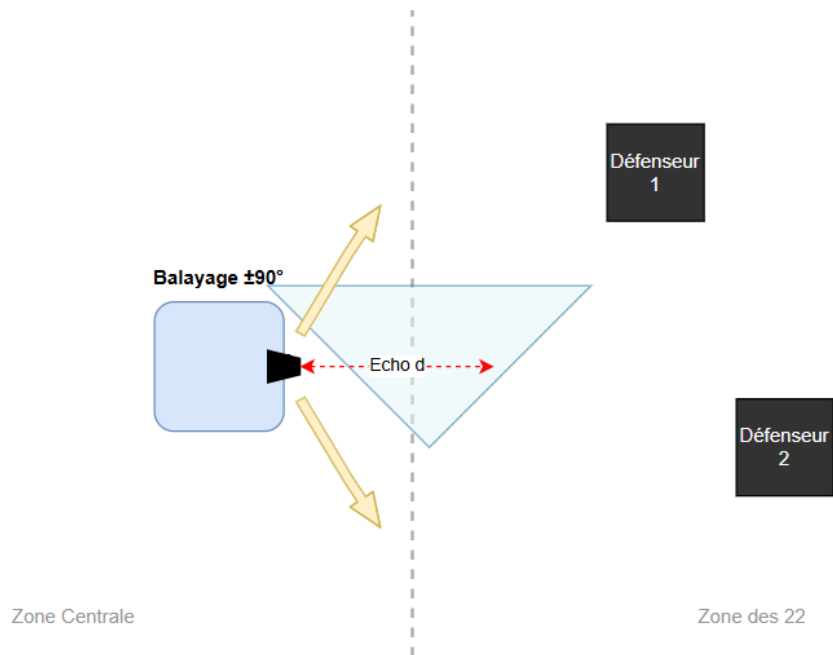


Figure 43 : Principe de détection par balayage

4.1.6 Eviter les défenseurs

Une fois les obstacles détectés par le scan, le robot connaît la distance de chaque défenseur et l'angle auquel il se trouve. Pour savoir s'il peut passer entre deux défenseurs, il ne doit pas seulement regarder l'angle, mais calculer l'écartement réel (en cm) qui les sépare. La stratégie utilise le principe de triangulation (basé sur le théorème d'Al-Kashi). En combinant les deux distances mesurées et l'angle de rotation du robot entre ces deux mesures, le programme détermine mathématiquement la largeur du passage disponible sans avoir besoin de se déplacer.

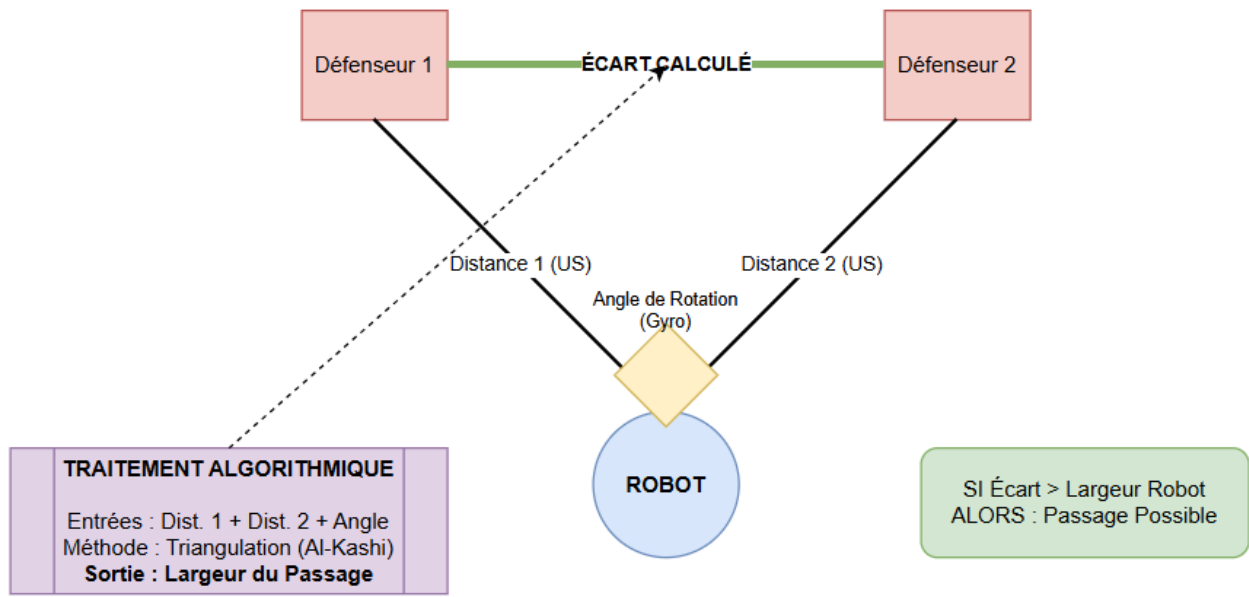


Figure 44 : Théorème d'Al Kashi

Rubrique	Description
ID Test	IVV-MAN-05
Objectif	Valider que le robot est capable de calculer correctement la largeur du passage (l'écart) entre deux obstacles immobiles.
Conditions	<ul style="list-style-type: none"> • Robot à l'arrêt en Zone Centrale. • Deux obstacles placés avec un écart connu (ex: 50 cm). • Capteurs calibrés.

Protocole	<p>1. Scan : Le robot mesure la distance du premier obstacle (Distance A) et note son angle.</p> <p>2. Scan (suite) : Le robot tourne, mesure la distance du second obstacle (Distance B) et note son angle.</p> <p>3. Calcul : Le processeur combine ces trois valeurs (Distance A, Distance B, Angle entre les deux) pour déduire l'écartement.</p> <p>4. Vérification : Lire la valeur calculée par le robot sur l'écran ou la console.</p> <p>5. Comparaison : Vérifier que cette valeur correspond à l'écart réel mesuré au mètre.</p>
Critères	<p>Succès : L'écart calculé est proche de la réalité (ex: le robot trouve 48 cm pour un écart réel de 50 cm).</p> <p>Cible : Validation réussie si l'erreur est inférieure à 10%.</p>
Résultats	En attente.

Tableau 13 : Protocole de validation de la mesure d'écart inter-obstacles

4.1.7 Aplatir le ballon dans la zone d'en-but

Pour valider l'action de jeu "Marquer un essai", le robot doit déposer le ballon au sol dans la zone d'en-but. Une contrainte majeure d'architecture impose que le bras soit maintenu en position haute durant les phases de déplacement. Ce choix est dicté par l'implantation du télémètre ultrason à l'avant : le bras levé dégage le champ de vision du capteur pour la détection des défenseurs. Par conséquent, la séquence d'aplatissement implique une rotation importante du bras vers le bas. Pour garantir que le ballon ne soit pas éjecté par la force centrifuge durant ce mouvement, nous nous appuyons sur la modification "Cage" de la pince (validée en IVV-MAN-01) qui bloque tous les degrés de liberté de l'objet.

Rubrique	Description
ID Test	IVV-MAN-06
Objectif	Valider la cinématique de dépôt : passer de la position de transport (haute) à la position de marquage (basse) et libérer le ballon au contact du sol sans le laisser tomber (lâcher contrôlé).
Conditions	<ul style="list-style-type: none"> • Robot statique (simulant l'arrivée en zone d'en-but). • Pince équipée de la "Cage". • Ballon saisi en position haute.
Protocole	<ol style="list-style-type: none"> 1. Initialisation : Le robot tient le ballon bras levé (Position Transport). 2. Descente : Lancer la commande "Aplatir". Le bras effectue sa rotation vers le sol. 3. Dépôt : Une fois la butée basse atteinte, la pince s'ouvre. 4. Retrait : Le robot recule légèrement ou relève le bras (optionnel).
Critères	<p>Succès : Le ballon reste solidaire de la pince durant toute la descente. Il est posé délicatement (vitesse nulle ou faible à l'impact).</p> <p>Cible : Taux de réussite de 100% (Action critique pour le Scoring et l'Auto-test).</p>

Tableau 14 : Protocole de validation de l'aplatissement du ballon

Résultats : Sur 10 essais réalisés nous avons eu un taux de réussite de 100% ce qui est conforme à nos attentes.

4.1.8 Scénario “auto-test” : conditions initiales imposées (robot en zone d’engagement, ballon axe 3)

Ce scénario constitue un test d'intégration global validant l'enchaînement des fonctions élémentaires validées précédemment (Déplacement, Détection, Préhension, Aplatissement).

Pour réaliser cette séquence, la logique du capteur de couleur a été adaptée sous forme d'une machine à états finis :

- État 1 (Recherche) : Le robot avance jusqu'à la détection de la couleur ROUGE (Signature du ballon) : Arrêt et déclenchement de la séquence de prise.
- État 2 (Transport) : Une fois le ballon sécurisé (pince haute), le robot avance jusqu'à la détection de la couleur VERTE (zone d'en-but) : Arrêt et déclenchement de la séquence d'aplatissement.

Rubrique	Description
ID Test	IVV-MAN-07
Objectif	Valider la capacité du robot à enchaîner, de manière autonome et séquentielle, la récupération du ballon et son marquage dans la zone d'en-but en respectant les contraintes de temps.
Conditions	<ul style="list-style-type: none">• Robot positionné dans la Zone d'Engagement.• Ballon placé sur l'axe longitudinal 3 (alignement direct).• Batterie chargée.

Protocole	<p>1. Initialisation : Placer le robot en zone de départ, pince ouverte.</p> <p>2. Lancement : Exécuter le programme "Auto-Test".</p> <p>3. Séquence : Observer l'arrêt sur le ballon (Rouge), la remontée du bras, le trajet vers l'en-but et l'arrêt sur la zone (Vert).</p> <p>4. Chronométrage : Mesurer le temps total de l'opération.</p>
Critères	<p>Succès : Exécution sans faute de toutes les étapes (Prise + Transport + Dépôt) en moins de 60 secondes.</p> <p>Cible : Taux de réussite de 100% sur 10 essais.</p>

Tableau 15 : Protocole de validation de l'enchaînement autonome (Saisie -> Transport -> Essai)

Résultats : Le robot est parvenu à réaliser la phase d'auto test avec un taux de réussite de 100%.

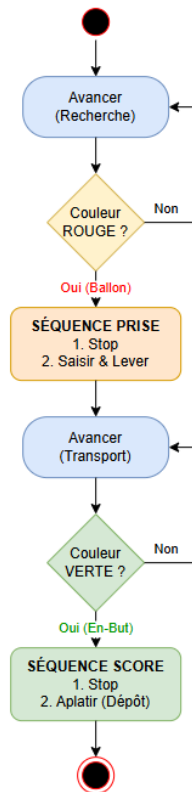


Figure 45 : Phase auto-test

4.2 Synthèse de l'Intégration, vérification et validation (LOT 32)

Suite à son intégration, le système a fait l'objet d'essais exhaustifs. Ces tests, qui comprenaient des vérifications de répétabilité, de résistance mécanique et de compatibilité avec les autres sous-systèmes du robot, ont démontré que le système satisfaisait pleinement les critères fonctionnels établis.

5 Dossier de maintenabilité – Définition de la maintenance (LOT 40)

Ce chapitre a pour objectif de définir la stratégie de maintenance de notre système, en garantissant une efficacité maximale pour les phases de compétition et une bonne maintenabilité pour les opérations de remise en état.

5.1 Fondements et Objectifs de la Maintenance

La gestion de la maintenance est cruciale pour l'efficacité opérationnelle, particulièrement dans le cadre d'un concours chronométré. L'objectif principal est de maximiser le temps de fonctionnement (TBF) du robot.

- **Fiabilité (MTTF/MTBF):** Caractérise le temps moyen entre les défaillances. Il s'agit de s'assurer que le robot fonctionne sans panne le plus longtemps possible.
 - MTTF (Mean Time To First Failure)
 - MTBF (Mean Time Between Failure)
- **Maintenabilité (MTTR):** Caractérise le temps technique nécessaire à la réparation (Mean Time To Repair). L'objectif est de réduire au maximum ce temps.
- **Objectif stratégique:** Dans le contexte de la compétition, l'objectif est de supprimer ou de réduire au maximum le temps d'arrêt (MDT), en se concentrant sur la maintenance préventive pour éviter les arrêts pendant les scénarios.

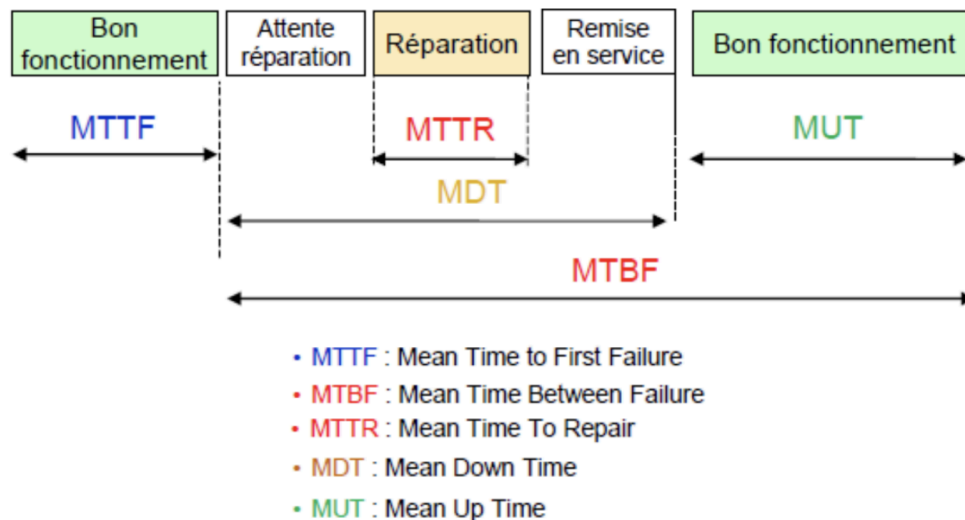


Figure 46 : Objectif de maintenance

5.2 Stratégie et Types de Maintenance

Nous avons fait le choix d'une conception modulaire du robot afin de faciliter la maintenance, l'évolution et la fiabilité globale du système. Ce choix a été renforcé par le fait que nous disposions de plusieurs boîtes de composants Makeblock Ultimate 2.0, ce qui nous a permis de standardiser l'architecture et de préparer à l'avance des modules entièrement interchangeables (motorisation, alimentation, capteurs, contrôle). Chaque fonction principale est intégrée dans un module indépendant, facilement accessible et remplaçable, en s'appuyant sur les pièces mécaniques, moteurs, contrôleurs et connectiques normalisées du kit Makeblock. En cas de panne ou de défaillance pendant la compétition, il n'est donc pas nécessaire de diagnostiquer ou réparer sur place : le module complet est remplacé en quelques minutes, ce qui permet de ne quasiment pas perdre de temps et de sécuriser la continuité de la performance. Cette approche réduit fortement le temps d'immobilisation, simplifie la maintenance préventive grâce à des contrôles module par module, et rend le robot évolutif, car un sous-système peut être amélioré ou remplacé sans remettre en cause l'ensemble de la structure.

La stratégie retenue privilégiera la Maintenance Préventive pour garantir une haute disponibilité du système lors des épreuves.

Type de Maintenance	Description	Application à notre projet
Maintenance Préventive	Réalisée dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance.	Systematique: Opérations basées sur un calendrier ou une fréquence d'utilisation. (Ex: Vérification de la

		batterie) .
Maintenance Corrective	Réalisée après la défaillance d'un composant pour le remettre en état.	Curative (Réparation): Changement d'une pièce. Palliative (Dépannage): Remise en place rapide avant une réparation complète.

Tableau 16 : Définition de la stratégie de maintenance (Préventive et Corrective)

5.3 Plan de Maintenance Préventive

Un plan de maintenance est établi pour détailler les opérations préventives à réaliser ainsi que leur fréquence, afin de limiter les risques de pannes critiques.

Composant/Système	Opération	Périodicité	Niveau de Difficulté	Temps d'Intervention (min)
Électronique	Vérification de la charge de la batterie	2 fois par jour	1	5
	Contrôle des branchements et des câbles	Avant chaque scénario	1	5
	Test de l'étalonnage du capteur de couleur	Avant chaque scénario	2	10

Mécanique	Contrôle de l'axialité et du voilage des roues	Avant chaque scénario	2	5
	Serrage complet du châssis	2 fois par jour	3	20
	Vérification de la butée et de la pince	Avant chaque scénario	1	5

Tableau 17 : Plan de Maintenance Préventive (Opérations et Périodicité)

5.4 Analyse des Risques (AMDEC Produit)

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) est utilisée pour identifier les risques les plus critiques et mettre en place des actions pour limiter les défaillances.

Élément / Fonction	Mode de Défaillance Potentielle	Effet de la Défaillance (sur le match)	Cause Potentielle	G	P	D	C	Actions de Maîtrise (Prévention/Détection)
I. SYSTÈME DE PRÉHENSION (PINCE)								
Maintenir le ballon (Cage Optimisée V2)	Le ballon glisse ou est mal centré.	Tir manqué (pénalité) ou perte du ballon lors du déplacement.	Pince/Cage mal dimensionnée (tolérances) ou actionneur non synchronisé.	4	3	3	36	Action Corrective (ARC) : Vérification du maintien pour le ballon. Action Préventive (ARE) : prévoir une autre cage,
II. SYSTÈME DE LANCEMENT (BRAS)								
Lancer le ballon (Distance / Précision)	Portée de tir trop courte ou imprécise.	Le ballon n'atteint pas la cible (essai / transformation).	Vitesse du moteur de lancement insuffisante (batterie faible) ou angle incorrect.	4	2	2	16	Action de Détection (ADA) : Création d'un banc de test dédié pour le tir (vérification de la vitesse angulaire) en fonction de la tension des batteries.
III. CHÂSSIS & DÉPLACEMENT								
Déplacement/Navigation	Le robot dévie de sa trajectoire ou est ralenti.	Perte de temps critique, collision ou sortie de zone de jeu.	Moteurs mal synchronisés, usure des roues, ou décharge inégale des piles.	3	3	3	27	ARE : Utilisation d'un Gyroscope pour corriger le cap. ADA : Check-list de Maintenance Préventive (tension batterie > 9V).
Évitement d'obstacle	Le robot ne détecte pas un obstacle.	Collision (blocage moteur) ou endommagement d'un sous-système.	Capteur Ultrasons mal positionné ou défaillance du code d'évitement.	3	2	4	24	ADA : Test systématique du capteur ultrasons dans différentes zones du terrain.
IV. SYSTÈME ÉLECTRONIQUE / LOGICIEL								
Détection des lignes/zones	Erreur de lecture du capteur de couleur/ligne.	Confusion entre ligne de jeu et ligne de touche/but.	Étalonnage des capteurs sensible à la lumière ambiante ou poussière.	3	4	3	36	ARE : Mise en place d'une routine d'étalonnage des capteurs de couleur au démarrage (conditionnement à la lumière).
Communication IHM / Robot	Déconnexion entre l'application Android et le robot.	Perte de contrôle pour l'Entraîneur/Supporter.	Portée Bluetooth trop courte ou surcharge du microcontrôleur.	2	3	2	12	ADA : Tester la portée maximale du Bluetooth dans l'arène de jeu.

Figure 47 : AMDEC Produit

4.5. Fiches de Maintenance Préventive

Les fiches de maintenance servent à standardiser les contrôles et dépannages du robot *RugbAFIS* : les fiches préventives évitent les pannes (contrôles rapides, réguliers), et les fiches curatives guident le diagnostic quand un défaut apparaît. Après chaque intervention, la zone Compte rendu permet de garder une traçabilité (anomalie → action → test final), utile pour progresser d'une séance à l'autre et fiabiliser le robot en concours.

Une seule fiche est présentée dans le rapport pour montrer la méthodologie, le reste des fiches sont disponibles en annexe.

Fiche de maintenance préventive	Révision 1
Machine : RugbAFIS	
Composant : Batterie	

Titre :

Outils nécessaire :

Multimètre

Element de rechange potentiels :

Jeu de 6 piles AA 1,5V

Durée de l'opéraiton :

5 min

Opération de maintenance à effectuer

- Mesurer la tension aux bornes du pack (mode tension).
- Vérifier que la tension pack est $\geq 9 \text{ V}$.
- Si $< 9 \text{ V}$: mesurer chaque pile individuellement.
- Remplacer les piles faibles (si une pile $< 1,5 \text{ V}$) ; si plusieurs piles faibles, **remplacer les 6**.
- Vérifier l'absence d'oxydation sur les contacts du porte-piles ; nettoyer si besoin.
- Re-mesurer la tension pack et faire un test "moteurs + capteurs" 10 secondes.

Compte rendu

Anomalies constatées et réparées :

Maintenance supplémentaire à mettre en place (selon l'opérateur) :

Composant et outillages utilisés

6 Management du projet (Lot 50)

6.1 Organisation et suivi du projet (LOT 51)

La gestion de projet forme la première étape du cycle de vie produit.

Dans un premier temps, après une première lecture du cahier des charges par l'équipe, les ressources ont été attribuées selon les expertises des éléments de l'équipe pour assigner les tâches et les développements à chacun afin d'organiser l'avancée de façon optimisée.

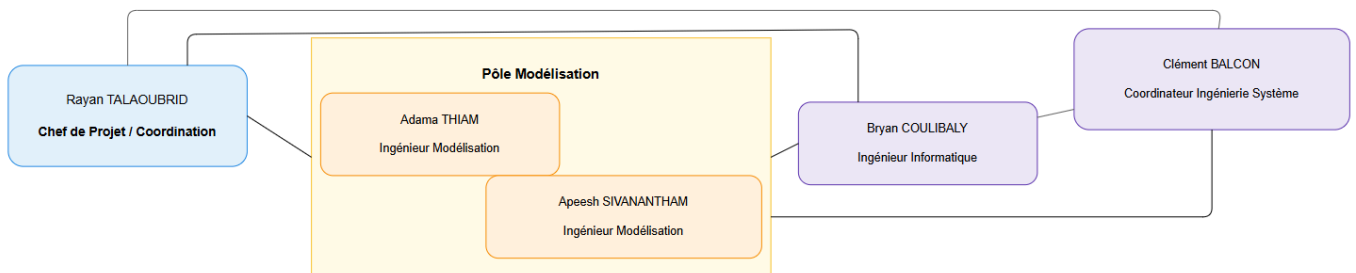


Figure 48 : Répartition des ressources

Chaque membre de l'équipe étant en collaboration directe, tout le monde dispose des accès aux codes, aux diagrammes d'exigences, aux schémas structurels, etc...

L'organigramme produit (PBS), définit les livrables du projet, décompose et structure hiérarchiquement le produit du projet. C'est la structuration principale du projet, car il décrit le livrable qui est l'objectif premier du projet, à savoir le Robot RugbyAFIS et son dossier de développement associé.

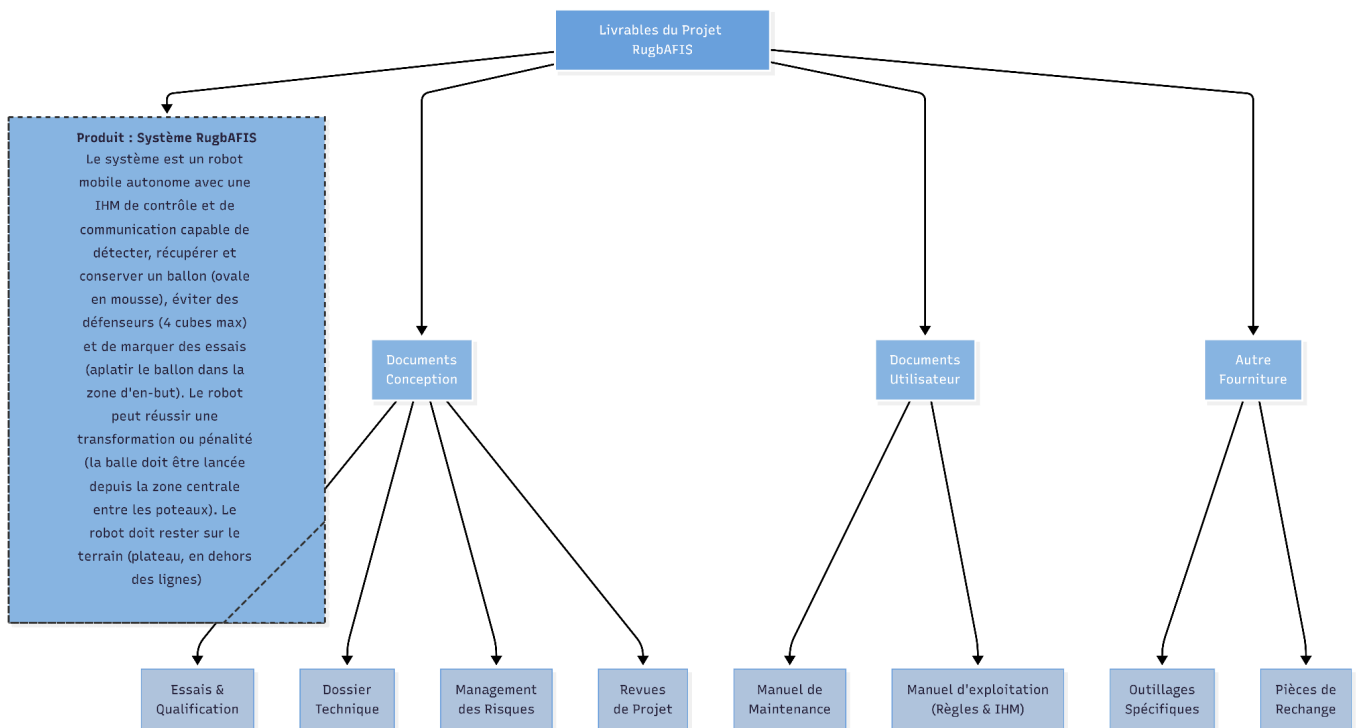


Figure 49 : Organigramme produit (PBS)

Par la suite, pour gérer l'organisation et le suivi du projet, le choix de l'équipe a été de mettre en place un outil de planification Gantt en collaboration simultanée. En effet, avec plus de maturité sur le projet, la définition des exigences au travers des brainstorming et du travail de l'équipe a permis de définir la hiérarchie de ceux-ci afin de passer sur des solutions qui donnent les tâches et réaliser et l'outil

Team Gantt permet alors de créer un espace de gestion collaboratif s'inscrivant pleinement dans la démarche d'ingénierie système. Un drive collaboratif a également été mis en place afin de compléter le dossier de développement et de publier le reste des documents. Le partage des photos et vidéos ont aussi permis de statuer les révisions et les en-cours.

Alors, chaque membre peut se connecter au gantt, créer des tâches, modifier leurs avancés, s'auto-assigner des tâches, créer des jalons, émettre des commentaires, liens, photos, etc... Le calendrier devient un outil de collaboration organisé.

Ainsi, tout d'abord les jalons sont indiqués pour rythmer les tâches.

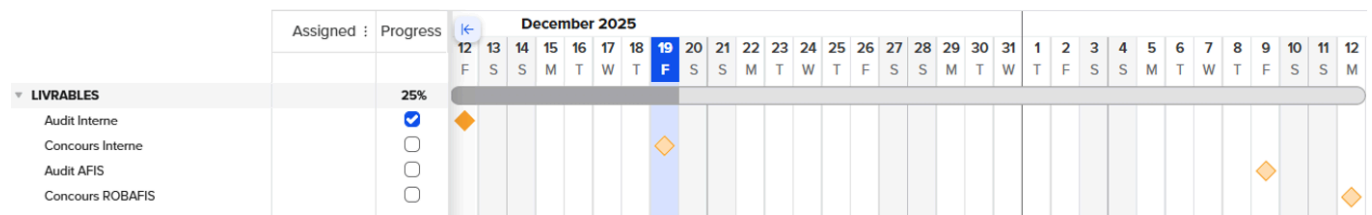


Figure 50 : Livrables (diagramme prévisionnel)

Dans la continuité de l'organigramme produit (PBS) qui définit nos livrables, le diagramme WBS ci-dessous détaille les tâches nécessaires à la réalisation du robot. Il décompose le projet en activités concrètes, allant de la conception des sous-systèmes (mécanique, électronique, logiciel) jusqu'à la validation finale des scénarios de match. Cette structuration permet un pilotage précis de l'avancement via notre diagramme de Gantt.

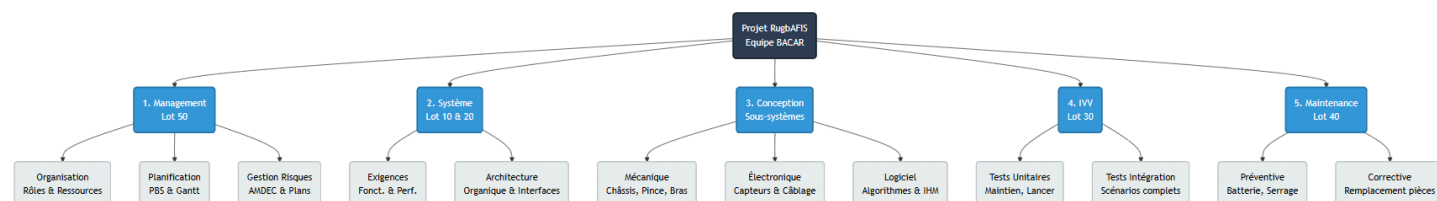


Figure 51 : Diagramme WBS

La stratégie d'ordonnement des tâches suit toujours un cycle en V afin de d'avancer en palier, par intégration progressive de sous-système.

En effet, les tâches sont définies à partir d'une conception architecturale théorique qui est établie à partir du diagramme des exigences qui classe les fonctions selon leurs importances. Pour chaque fonction, chaque membre évolue sur son domaine d'expertise afin d'avancer en parallèle.

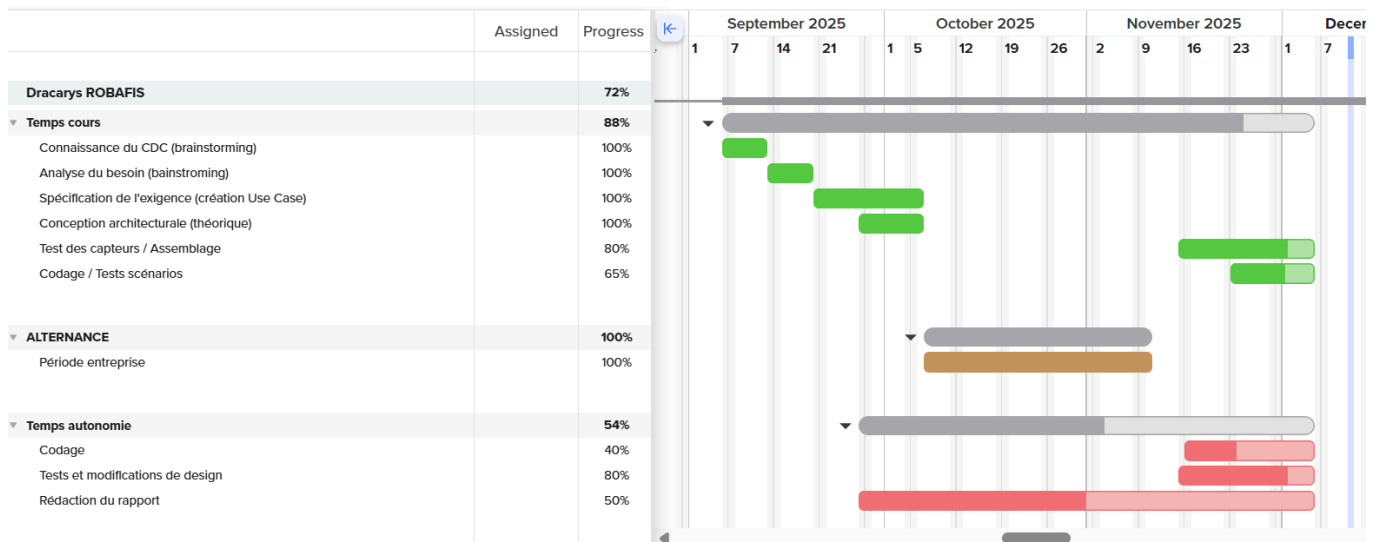


Figure 52 : Diagramme prévisionnel théorique

Finalement, un diagramme de gantt réel permet de comparer le diagramme théorique précédent.

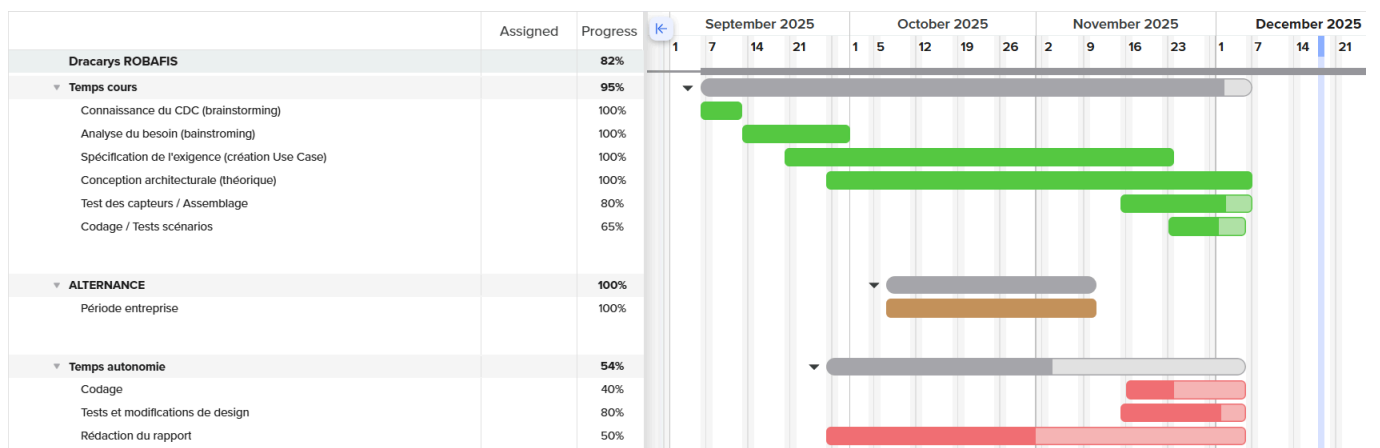


Figure 53 : Diagramme prévisionnel réel

La comparaison entre les deux diagrammes montre la difficulté d'anticipation des besoins analysés une première fois avec le cahier des charges puis qui évolue avec le forum RobAfis avec des précisions comme la position initiale du ballon par exemple. Quelques éléments pris en compte au fur et à mesure du projet complète l'analyse avec la maturité qui conduit à redéfinir certaines solutions aux exigences. D'où l'allongement de la période de travail sur l'analyse, la spécification et la conception architecturale. Notons aussi que la conception architecturale a été étendue en parallèle du codage et des tests car une stratégie par tâtonnement a été choisie lors des IVV (voir partie associée). Ce choix a été permis par la disponibilité du matériel car plusieurs kits et anciens kits à disposition, mais l'équipe est consciente que ce n'est pas toujours le cas dans l'industrie.

6.2 Management des risques (LOT 52)

Note : tous les tableaux sont disponible en annexe;

Afin de supprimer, réduire ou éviter de potentiel risque qui pourrait nuire à la réussite du projet et du produit, des AMDEC Projet & Produit ont été mis en place afin d'identifier les risques les plus critiques et de proposer des plans d'actions de type :

- Action en Réduction des Causes (ARC)
- Action en Réduction des Effets (ARE)
- Action pour Détecter l'Apparition (ADA)

Ces actions pourront être mises en œuvre lors du développement (surveillance des risques) et lors de l'exploitation opérationnelle.

6.2.1 AMDEC Projet

Processus Projet	Mode de Défaillance Potentielle	Effet de la Défaillance (sur le projet)	Cause Potentielle	G	P	D	C	Actions de Maîtrise (Prévention/Détection - ARC/ARE/ADA)
I. ORGANISATION & COMMUNICATION								
1. Interfaces Logiciel/Matériel (Lot 24)	Incompatibilité entre les dimensions (méca) et l'espace (électro) ou les protocoles (info).	Retravail majeur en phase d'intégration ; risque de défaillance pendant les tests.	Spécifications des interfaces non formalisées ou non partagées entre les ingénieurs.	4	3	4	48	ARE : Réunion dédiée à la validation formelle des Interfaces (Lot 24) signée par les responsables Modélisation, Informatique et Toolbox. ARC : Utilisation d'un modèle 3D maître intégrant les contraintes de volume et de câblage.
2. Prise de Décision	Délai ou ambiguïté sur une décision critique (ex : Choix final du système de lancer).	Paralysie de l'avancement d'un sous-système en attente de validation.	Absence de procédure de désaccord ou de prise de décision rapide par le Chef de Projet.	3	2	2	12	ARE : Établissement d'une matrice des responsabilités (RACI) et des circuits de validation. ARE : Chef de projet s'engage à trancher dans les 24h sur les points de blocage.
II. PLANIFICATION & DÉLAIS (LOT 50)								
3. Sous-estimation des tâches	Retard cumulé sur un lot de travail (ex: Programmation des séquences autonomes).	Non-respect du jalon de fin de développement, empiètement sur la phase d'IVV.	Tâche complexe mal découpée dans le WBS (manque de granularité) ou optimisme excessif.	4	3	3	36	ADA : Suivi bi-hebdomadaire du Gantt et comparaison avec le Gantt Théorique (méthode de pilotage par l'avancement). ARE : Attribution d'une « réserve de temps » (buffer) sur les tâches à criticité technique élevée.
4. Dépendance Matériel	Pièce clé (capteur, actionneur) non livrée à temps ou non fonctionnelle.	Arrêt total de l'assemblage et de l'intégration du sous-système concerné.	Gestion des fournisseurs défaillante ou rupture de stock sur des composants spécifiques.	4	2	3	24	ARE : Commande des composants critiques dès le début de la phase de conception. ARC : Identification d'un fournisseur secondaire ou d'une solution de substitution temporaire pour les tests.
III. RESSOURCES & COMPÉTENCES								
5. Perte de Connaissance	Absence prolongée ou départ d'un membre clé (ex: Ingénieur Modélisation).	Difficulté à reprendre et comprendre les choix de conception complexes sans documentation.	Absence de centralisation ou de formalisation des documents techniques intermédiaires.	3	1	3	9	ARE : Exigence de documentation systématique et mise à jour des choix techniques (Dossier de Conception). ARE : Sessions de transfert de connaissances courtes (binôme) entre membres sur les tâches vitales.
6. Compétence Technique Non Atteinte	La solution technique choisie s'avère trop complexe pour l'équipe (ex: Algorithme de vision).	Nécessité de basculer sur une solution simple, mais moins performante que l'objectif (exigence non satisfaite).	Sur-estimation des capacités initiales de l'équipe sur une nouvelle technologie.	3	3	2	18	ADA : Réalisation de Proof of Concept (PoC) rapides sur les technologies nouvelles avant l'intégration. ARC : Plan de formation interne rapide ou appel à l'expertise du référent technique (Alexandre DURUPT).
IV. OUTILS & ENVIRONNEMENT								
7. Défaillance des Outils de Développement	Perte de code source ou de fichiers de modélisation 3D (ex: Fichier de la pince V2).	Perte de travail important et nécessité de repartir d'une ancienne version.	Non-utilisation ou mauvaise configuration du système de gestion de versions (Git, Cloud/Drive partagé).	2	1	1	2	ARE : Utilisation obligatoire d'un outil de versioning (Git) pour le code et d'un Cloud sécurisé pour les fichiers CAO. ADA : Vérification hebdomadaire des sauvegardes.

Figure 54 : AMDEC Projet

Le AMDEC Produit a été présenté dans la partie **maintenance**. Le AMDEC projet permet d'anticiper les défaillances possibles d'un projet et de définir des actions pour en réduire les risques dès la phase de conception.

7 Configuration (Lot 60)

Ce chapitre définit l'état de référence du système robotique RugbAFIS (équipe BACAR). Il fige la nomenclature matérielle, cartographie les interconnexions physiques et logiques, et établit les règles d'identification garantissant la traçabilité du projet.

7.1 Nomenclature de définition du système (Arborescence Produit - PBS)

La définition matérielle du robot RugbAFIS est formalisée par une **Arborescence Produit** (ou *PBS - Product Breakdown Structure*). Cette structure hiérarchique constitue la référence de configuration validée pour les matchs. Elle permet d'identifier de manière unique chaque élément constitutif du système et facilite la gestion des interfaces ainsi que la maintenance.

L'arborescence se déploie sur trois niveaux de granularité :

- **Niveau 0 (Système)** : Représente le robot complet, intégré et fonctionnel (Référence **ROB-SYS-001**).
- **Niveau 1 (Sous-systèmes)** : Identifie les grands blocs fonctionnels (Locomotion, Énergie, Perception, etc.) qui structurent l'architecture organique.
- **Niveau 2 (Composants)** : Liste les constituants élémentaires et les unités remplaçables (LRU), issus majoritairement du standard *Makeblock Ultimate 2.0* (moteurs, profilés, capteurs).

La figure ci-dessous détaille cette décomposition exhaustive :

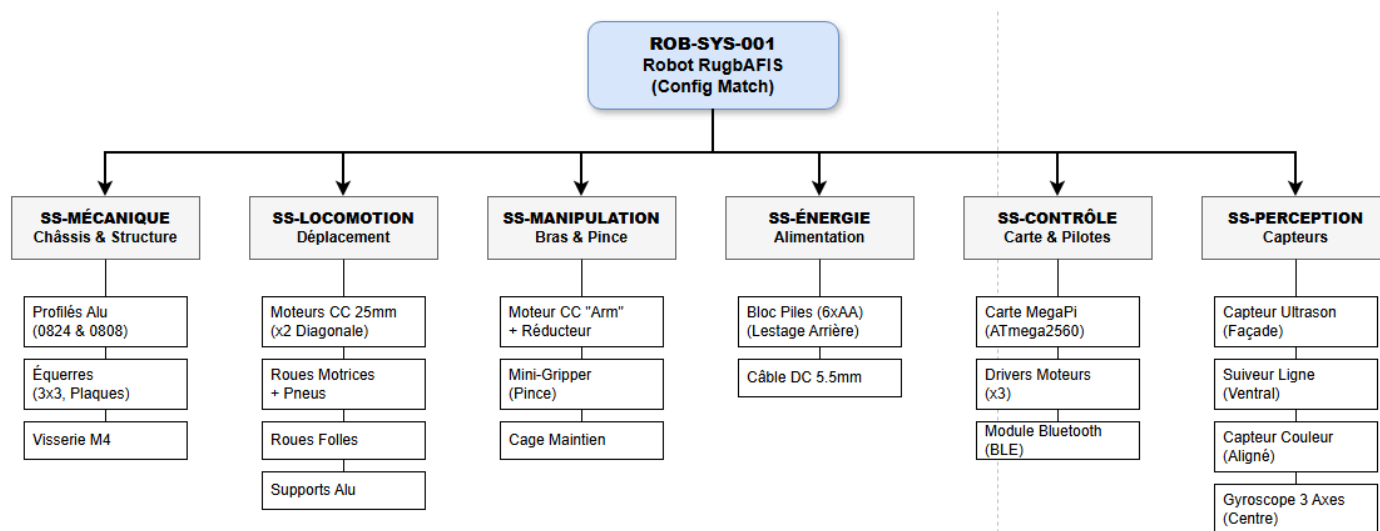


Figure 55 : Nomenclature de définition du système (Arborescence Produit - PBS)

7.2 Schéma général d'interconnexion électrique

L'architecture électrique est centralisée sur la carte MegaPi. Le synoptique de câblage ci-après sépare physiquement le circuit de puissance (Alimentation directe 9V vers les moteurs) du circuit de commande (Régulation 5V vers l'électronique et les capteurs), garantissant la stabilité et la protection des composants sensibles.

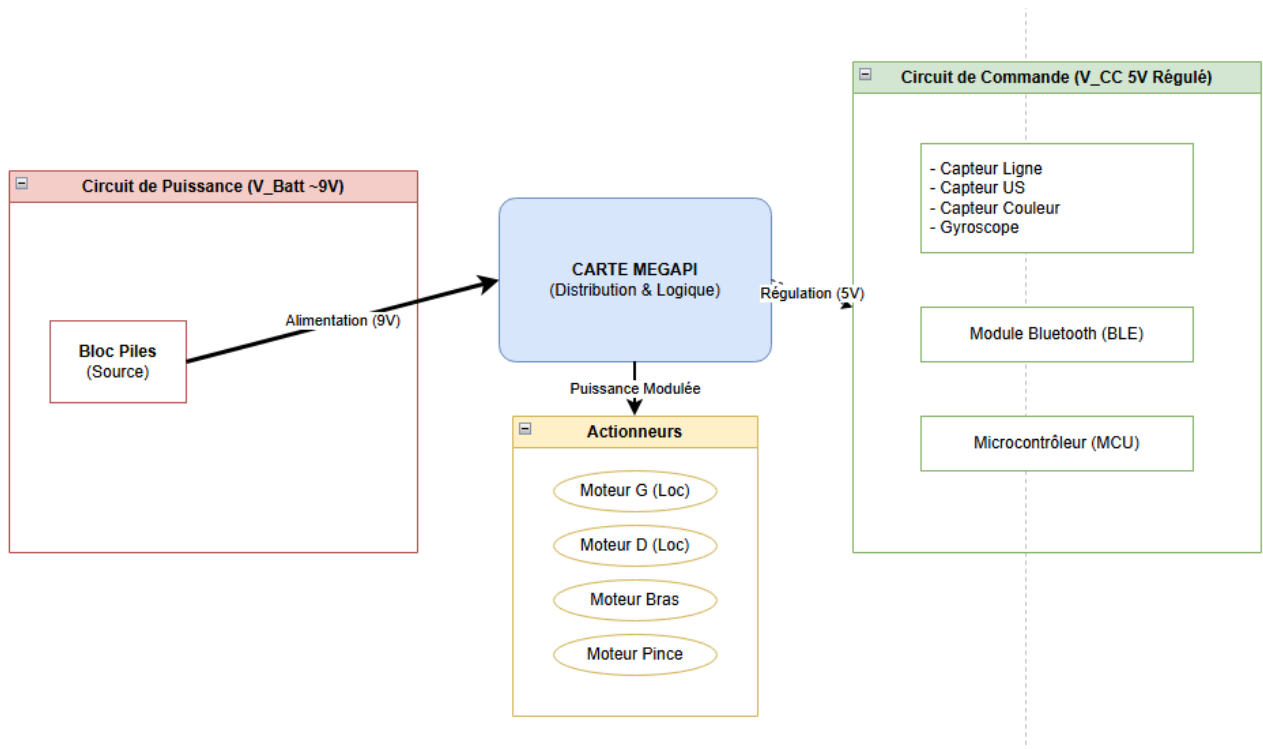


Figure 55 : Schéma général d'interconnexion électrique

7.3 Schéma général de communication (Flux de données)

L'architecture de communication s'organise autour de la carte MegaPi selon trois niveaux d'interaction :

1. **Niveau Supervision (Externe) :** Le lien de commande entre le Smartphone et le robot est assuré par une connexion Bluetooth (BLE). Le module peut être raccordé directement au port matériel UART du microcontrôleur, garantissant une transmission prioritaire et sans latence pour les ordres critiques (Start/Stop).
2. **Niveau Instrumentation (Interne - Bus) :** Les capteurs nécessitant un traitement numérique (Gyroscope, Capteur de couleur) communiquent via le bus I2C. Ce protocole permet d'échanger des données structurées (coordonnées angulaires, valeurs RGB) avec précision.
3. **Niveau Réflexe (Interne - Direct) :** Les actionneurs et les capteurs environnementaux sont pilotés par des signaux bruts. Les moteurs reçoivent une modulation de puissance (PWM) pour la vitesse, tandis que les capteurs de ligne et ultrasons renvoient des états logiques (GPIO) pour une réactivité instantanée.

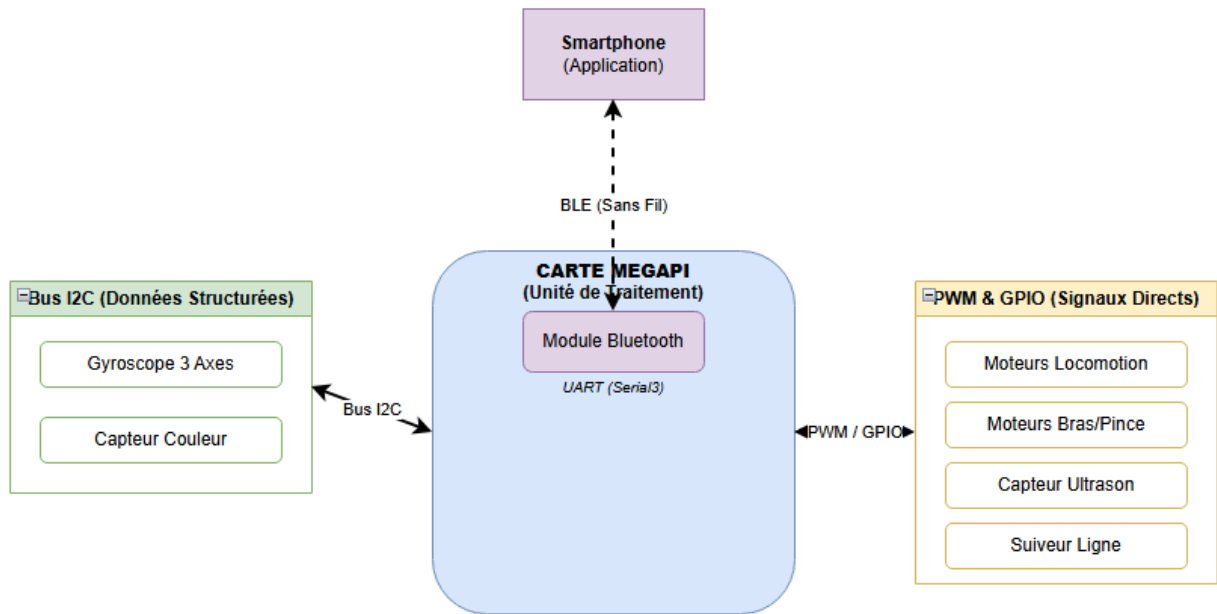


Figure 56 : Architecture de communication et protocoles

7.4 Instructions d'identification et Traçabilité

La maîtrise de la configuration du robot RugbyAFIS repose sur un lien étroit avec le plan de Validation (IVV). Ce processus garantit que chaque modification apportée au système physique est documentée, justifiée par un essai et répercutée dans la nomenclature.

Toute évolution de la configuration découle d'une "Fiche d'Évolution" générée suite aux révisions de solutions d'après les tests d'Intégration, Vérification et Validation (IVV). Ces fiches peuvent être partagées sur le Gantt afin de planifier les tâches suivantes et de conserver une traçabilité organisée pour toute l'équipe.

Le cycle de traçabilité est le suivant :

1. **Exécution d'un protocole IVV** : Test d'une exigence (ex: *Maintenir et Prendre le ballon*).
2. **Constat d'échec (Non-conformité)** : Si le critère d'acceptation n'est pas atteint (ex: glissement du ballon).
3. **Création d'une Fiche d'Évolution** : Description de la modification technique nécessaire.
4. **Mise à jour de la Configuration et publication** : Incrémentation de la version du système.

Exemple d'application (Cas de la Pince) : Suite à l'échec initial du test de maintien (glissement du ballon par simple friction), une évolution a été tracée pour passer de la configuration V1 (Pince

standard) à la configuration V2 (Cage de maintien).

FICHE D'ÉVOLUTION N° : EVO-MAN-01	Date : 09/12/2025
Origine :	Test IVV n°4 "Saisie et Maintien" (Résultat : FAIL)
Problème constaté :	La force de friction de la pince standard (V1) est insuffisante. Le ballon glisse lors des mouvements verticaux (gravité).
Solution technique :	Ajout d'une plaque de butée et d'équerres pour fermer le volume (Transformation en "Cage").
Impact Configuration :	Modification du sous-système <u>SS-MAN</u> . Passage de la version V1.0 à V1.1 .
Validation :	Nouveau test IVV validé (Succès 10/10).

Tableau 18 : Exemple de fiche d'évolution

