

## Dossier De Conception (DDC)

du projet

### Robot Mini-Sumo

#### Responsabilité documentaire

Action	NOM Prénom	Fonction	Date	Signature
Rédigé par	Fahd SALHAM Adam EL FAZAZY Adam HUYLEBROECK Simon RUDMAN–HESSEL HAFFAF Zakaria	Technicien	25/09/2024	
Approuvé par	M.Combaste (IUT GEII Bdx)	Chef de projet	25/09/2024	
Approuvé par	M.Casaux (IUT GEII Bdx)	Client	25/09/2024	

## Suivi des révisions documentaires

Indice	Date	Nature de la révision
1	01/09/2022	Publication préliminaire du DDC document à compléter par le Technicien.
2	03/09/2024	Première publication

## Documents de références

Sigle	Référence	Titre	Rév.	Origine
[CDC]	RMS_CDC	Cahier des charges	1	IUT GEii Bdx

## Table des matières

<b>1. Nature du document</b>	<b>4</b>
<b>2. Conception préliminaire du produit</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Architecture Électronique</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1 Choix des capteurs adversaire</b>	<b>4</b>
<b>2.1.2 Choix des capteurs de sol</b>	<b>8</b>
<b>2.1.2 Choix du capteur infrarouge de départ</b>	<b>10</b>
<b>2.1.3 Choix du pont en H</b>	<b>11</b>
<b>2.1.4 Choix du controller</b>	<b>11</b>
<b>2.1.5 Choix du régulateur de tension</b>	<b>12</b>
<b>Avantages de la Configuration</b>	<b>12</b>
<b>2.1.6 Choix de la batterie</b>	<b>12</b>
<b>2.1.7 Imposition du moteur</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Architecture Informatique</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1 Fonctions d'acquisition</b>	<b>16</b>
<b>Fonction : "adversaireEnFace() "</b>	<b>16</b>
<b>Fonction : "detectionLigne() "</b>	<b>16</b>
<b>Fonction : "attendreDepart() "</b>	<b>18</b>
<b>Fonction : "lireTensionBatterie()"</b>	<b>19</b>
<b>Fonction : "verifierTensionEtCouperAlimentation()"</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2 Fonctions d'action</b>	<b>20</b>
<b>2.2.4 Fonctions de traitement</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Conclusion de la conception préliminaire du produit</b>	<b>21</b>
<b>3. Annexe préliminaire</b>	<b>21</b>
<b>2.4 FAD Capteurs Adversaires</b>	<b>21</b>
<b>2.5 FAD Capteurs de sol</b>	<b>21</b>
<b>4. Conception détaillée du produit</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Conception détaillée du robot mini-sumo</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Conception détaillée de la partie aquisition</b>	<b>21</b>
<b>3.2.1 Capteurs adversaires</b>	<b>21</b>
<b>3.2.1.1 Schéma électrique des capteurs adversaires</b>	<b>21</b>
<b>3.2.1.2 Code informatique des capteurs adversaires</b>	<b>23</b>
<b>3.2.2 Capteurs de sol (si nécessaire)</b>	<b>23</b>
<b>3.2.2.1 Schéma électrique des capteurs de sol</b>	<b>25</b>
<b>3.2.2.2 Code informatique des capteurs de sol</b>	<b>28</b>
<b>3.2.3 Capteurs de télécommande (reprendre le DDF de M. Blanchard)</b>	<b>28</b>
<b>3.2.3.1 Schéma électrique des capteurs de télécommande</b>	<b>28</b>

<b>3.2.3.2 Code informatique des capteurs adversaires</b>	<b>29</b>
<b>3.3 Conception détaillée de la partie action</b>	<b>30</b>
<b>3.3.1 Pont en H</b>	<b>30</b>
<b>3.3.1.1 Schéma électrique du pont en H</b>	<b>30</b>
<b>3.3.1.2 Code informatique du pont en H</b>	<b>31</b>
<b>3.4 Conception détaillée de la partie énergie</b>	<b>31</b>
<b>3.4.1 Pont diviseur de tension</b>	<b>31</b>
<b>3.4.1.1 Schéma électrique du pont diviseur de tension</b>	<b>31</b>
<b>3.4.1.2 Code informatique du pont diviseur de tension</b>	<b>31</b>
<b>3.4.2 régulateur de tension</b>	<b>31</b>
<b>3.4.2.1 Schéma électrique du régulateur de tension</b>	<b>31</b>
<b>3.5 Conception détaillée de la partie traitement</b>	<b>31</b>
<b>3.5.1 Le microcontrôleur ATMEGA328P-PU</b>	<b>31</b>
<b>3.4.1.1 Schéma électrique du microcontrôleur</b>	<b>31</b>
<b>3.3.1.2 Code informatique du microcontrôleur</b>	<b>32</b>
<b>5. Dérisquage des solutions techniques retenues</b>	<b>32</b>
<b>4.1 &lt;Titre de la simulation / prototypage rapide&gt;</b>	<b>32</b>
<b>4.2 &lt;Titre de la simulation / prototypage rapide&gt;</b>	<b>34</b>
<b>4.3 Conclusion de la simulation / prototypage rapide du produit</b>	<b>35</b>
<b>6. Conclusion de la conception du produit</b>	<b>35</b>
<b>7. Matrice de conformité du produit</b>	<b>35</b>

## 1. Nature du document

Ce document est un dossier de conception et a pour but de détailler la conception du produit développé. Il apporte ainsi des preuves de la conformité du produit par rapport à l'ensemble des exigences client. Le paragraphe 3 du [CDC] décrit de façon plus détaillée la nature et le positionnement de ce document dans l'arborescence documentaire du projet.

## 2. Conception préliminaire du produit

Ce chapitre décrit l'architecture fonctionnelle du produit. Il apporte les premiers éléments de preuve de la faisabilité du produit vis-à-vis des exigences client.

### 2.1 Architecture Electronique

**Référence de pré-conception :** CPR01

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_CARTE, EXIG\_COMPORTEMENT

Afin de répondre au cahier des charges, une analyse globale des exigences a conduit à l'architecture fonctionnelle présentée ci-dessous.

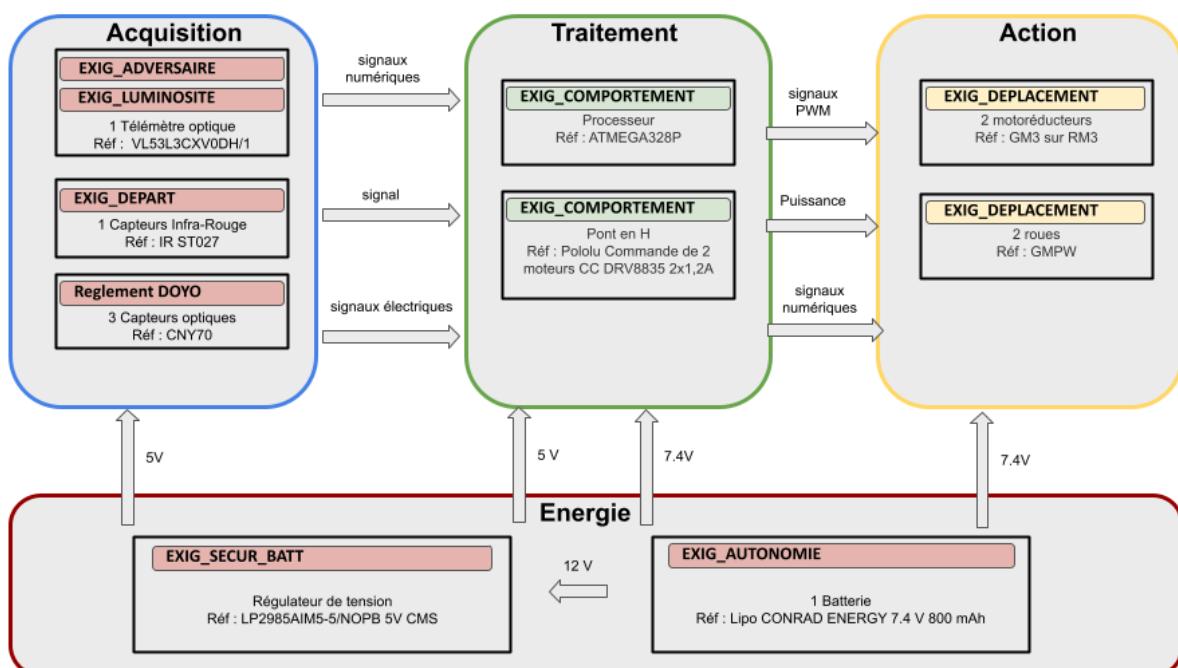


Figure 1 : Architecture électrique

## Bloc Acquisition

Ce bloc est essentiel pour la collecte des données de l'environnement. Il comprend :

- Capteurs : Dispositifs qui mesurent des variables physiques (température, lumière, pression, etc.). Par exemple :
  - Télémètre optique VL53L3CXVODH/1 : Utilisé pour mesurer les distances.
  - Capteurs infrarouges IR ST027 : Déetectent les objets via des signaux infrarouges.
- Signaux numériques et électriques : Les données recueillies par les capteurs sont transformées en signaux numériques ou électriques, qui sont ensuite envoyés au bloc de traitement.
- Références spécifiques : Chaque capteur a un modèle spécifique, comme le CNY70, qui permet des mesures précises.

## Bloc Traitement

Ce bloc illustre le traitement des données collectées :

- Capteurs couplés : Mesurent les données environnementales.
- ATMEGA328P : Microcontrôleur qui traite les données des capteurs.
- Pont en H : Circuit utilisé pour contrôler la direction et la vitesse des moteurs.

## Bloc Action

Il s'agit de la mise en œuvre des actions concrètes basées sur les données traitées :

- Actionneurs : Deux dispositifs qui effectuent des actions physiques.
- GVM/P : Références à des composants spécifiques utilisés pour les actions.

## Bloc Énergie

Ce bloc assure l'alimentation électrique de tous les composants :

- Régulateur de tension : Garantit une alimentation stable pour les différents composants.
- Batterie : Fournit l'énergie nécessaire (par exemple, une batterie LiPo de 7,4 V, 800 mAh).
- Distribution de l'énergie : Gère la répartition de l'énergie avec des tensions de 5V et 12V.

## Résumé

Ce schéma d'architecture divise le système en quatre parties principales : Acquisition, Traitement, Action et Énergie, chacune jouant un rôle crucial dans le fonctionnement du robot mini-sumo.

### 2.1.1 Choix des capteurs adversaire

#### Référence de pré-conception : CPR

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_ADVERSAIRE, EXIG\_LUMINOSITE , EXIG\_COMPORTEMENT

Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	Critères de sélection (exemples) (valeur de 1 à 5)						Total (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)
		Distance min et max de détection	Fidélité d'utilisation du signal de sortie	Compatibilité de la tension avec les sources disponibles	Faible consommation en courant	Faible Prix	Disponibilité		
Capteur de mesure Sharp GP2Y0A41SK0F	1	4 cm	analogique	0.3V - 3.1V	30mA	9.90TTC	oui	19	signal analogique, moins de précision, plus coûteux et nécessite un ADC
		40 cm	1	5	5	3	5		
Capteur de mesure Sharp GP2Y0A021YK	1	10 cm	analogique	0.4V - 3V	30mA	-	non	10	plus disponible
		80 cm	1	5	4	-	0		
Capteur de mesure Sharp GP2Y0A02YK	1	20 cm	analogique	0.4V - 2.7V	33mA	12.80TTC	oui	17	signal analogique, moins de précision, plus coûteux et nécessite un ADC
		150 cm	1	5	4	2	5		
Capteur de mesure VL53L3CXV0DH/1	1	2,5 cm	I2C	3,3V - 5V	20mA	9.58 TTC	oui	26	notre choix
		300 cm	5	5	5	5	5		
IUT de Bordeaux	Référence : SUMO_FAD								
Département GEII	Révision : 1.6 – 19/09/2022								3 / 7

Figure 2 : FAD pour le choix du capteur adversaire ( [2.3 FAD Capteurs Adversaires](#) )

Le projet Robot Sumo utilise une plateforme standard, l'Arduino Uno, qui est dotée d'un convertisseur analogique-numérique, nous permettant de choisir parmi une variété de capteurs analogiques.

Nous avons comparé deux capteurs de distance pertinents pour notre application : le VL53L3CXV0DH/1 (numérique) et le Sharp GP2Y0A41SK0F (analogique).

- Plage de mesure : Le VL53L3CXV0DH/1 a une portée de 25 mm à 3000 mm, tandis que celle du GP2Y0A41SK0F est limitée à 40 à 400 mm. Pour un suivi fiable de l'adversaire, il est crucial d'obtenir des lectures à des distances minimales.

- Compatibilité avec l'ATmega 328p : Le VL53L3CXV0DH/1 a une tension de fonctionnement entre 2,6V et 3,5V qui est compatible avec la plage de 0 à 5V de l'arduino et il capteur utilise les ports SDA et SCL qui sont présent et libre

- Technologie : Le VL53L3CXV0DH/1 utilise la technologie ToF (Time of Flight) pour mesurer le temps de vol d'un faisceau lumineux à 940 nm, tandis que le GP2Y0A41SK0F repose sur une réflexion infrarouge analogique à 0,5 mm.

- Précision et vitesse : Grâce à sa technologie numérique, le VL53L3CXV0DH/1 offre une grande précision et une réponse rapide, tandis que le GP2Y0A41SK0F est moins précis et plus lent.
- Interface : Le VL53L3CXV0DH/1 communique via I2C, ce qui réduit les interférences et assure un contrôle d'erreurs. En revanche, le GP2Y0A41SK0F fournit une sortie analogique, nécessitant un convertisseur ADC (présent sur la carte Arduino). Bien que le choix d'un capteur utilisant des trames I2C impose une charge de travail supplémentaire, les bibliothèques disponibles sur Arduino facilitent son utilisation, rendant cette contrainte négligeable.
- Consommation d'énergie : Le VL53L3CXV0DH/1 consomme moins de 20 mA, comparé à environ 30 mA pour le GP2Y0A41SK0F.
- Prix : Les deux capteurs sont similaires en termes de coût, avec le VL53L3CXV0DH/1 à environ 9,58 € ([SEN0378 DFRobot | Cartes de développement, kits, programmeurs | DigiKey](#)) et le GP2Y0A41SK0F à 9,90 €.

En suivant l'**EXIG\_ADVERSAIRE**, le VL53L3CXV0DH/1 est le capteur de choix sa portée, sa précision et son interface avancée, tandis que le GP2Y0A41SK0F convient mieux à des projets plus simples et économiques nécessitant des mesures à courte distance.

### 2.1.2 Choix des capteurs de sol

Référence de pré-conception : CPR01

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG\_LUMINOSITE, EXIG\_COMPORTEMENT

Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	Critères de sélection (exemples) (valeur de 1 à 5)					Total (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)	
		Distance min et max de détection	Compatibilité de la tension avec les sources disponibles	Respect de la stratégie de combat	Faible Prix	Disponibilité			
0 CNY avant + 0 CNY arrière		valeur sur datasheet							
		score /5							
1 CNY avant + 0 CNY arrière	0	0 à 5mm	1,25 à 1,6V		1,03€	300	15	Pas assez précis	
				5	0	5			
2 CNY avant + 0 CNY arrière	0	0 à 5mm	1,25 à 1,6V		2,06€	300	15	Pas assez précis	
				5	1	4			
0 CNY avant + 1 CNY arrière	0	0 à 5mm	1,25 à 1,6V		1,03€	300	15	Pas assez précis	
				5	0	5			
1 CNY avant + 1 CNY arrière	0	0 à 5mm	1,25 à 1,6V		2,06€	300	16	Pas assez précis	
				5	2	4			
2 CNY avant + 1 CNY arrière	1	0 à 5mm	1,25 à 1,6V		3,09€	300	18	Notre choix	
				5	5	3			
2 CNY avant + 2 CNY arrière	0	0 à 5mm	1,25 à 1,6V		4,12€	300	12	Trop couteux	
				0	5	2			
IUT de Bordeaux	Référence : SUMO_FAD								
Département GEII	Révision : 1.6 – 19/09/2022							4 / 7	

Figure 2 : FAD pour le choix des capteurs de sol ( [2.4 FAD Capteurs de sol](#) )

Pour déterminer la position des capteurs à utiliser sous notre robot, nous avons utilisé le FAD Capteur Ligne afin de déterminer une solution qui est adaptée aux robots sumo. Après avoir étudié plusieurs configurations, nous avons conclu que la plus ergonomique, pratique et économique serait d'utiliser deux capteurs CNY70 à l'avant et un capteur CNY70 à l'arrière, tous compatibles avec le microcontrôleur ATmega 328P.

Cette configuration présente plusieurs avantages :

1. Réduction de la complexité et des coûts : L'utilisation d'un seul capteur à l'arrière simplifie l'installation et réduit le coût total, tout en garantissant des performances de détection adéquates. Cette approche est cruciale pour respecter l'exigence budgétaire du cahier des charges, qui stipule que le coût total des composants ne doit pas dépasser 120 € HT. En intégrant une solution efficace et économique, nous optimisons l'utilisation des ressources financières tout en respectant les délais de développement.
2. Priorité à la détection des adversaires : La présence de deux capteurs à l'avant assure une détection optimale dans la zone de combat, permettant au robot de réagir rapidement et de s'écartier des lignes blanches.
3. Facilité de maintenance et d'évolution : En choisissant cette configuration de capteurs, nous garantissons un accès facile pour les ajustements futurs ou les remplacements. Les capteurs CNY sont connectés au microcontrôleur via des ports numériques, facilitant ainsi leur intégration et leur contrôle. Cela répond aux exigences documentaires qui soulignent l'importance d'une traçabilité claire entre les choix techniques et les spécifications, facilitant ainsi la validation lors des phases de vérification.
4. Compatibilité avec la carte arduino : Le capteur CNY70 émet un signal analogique donc on utilise les ports A0, A1, A2 qui sont des entrées ANALOG IN.

### 2.1.2 Choix du capteur infrarouge de départ

Référence de pré-conception : CP01

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG\_DEPART

Pour respecter le cahier des charges, le robot sumo doit être équipé d'un capteur infrarouge compatible avec la télécommande IRC01 (<https://www.gotronic.fr/irc01.html>). Le capteur sélectionné est l'IR ST027, qui est facilement remplaçable, favorisant ainsi l'apprentissage maintenir.

Comparaison entre le TSOP18338 et l'IR ST027 :

- Type de capteur : Le TSOP18338 est un récepteur infrarouge modulé à 38 kHz, tandis que l'IR ST027 est optimisé pour des télécommandes spécifiques.
- Consommation d'énergie : Les deux capteurs consomment peu d'énergie, ce qui les rend adaptés aux dispositifs portables.
- Applications : Le TSOP18338 est polyvalent pour les systèmes de télécommande, tandis que l'IR ST027 est conçu pour des applications spécifiques.

Le choix de l'IR ST027 est justifié par sa compatibilité directe avec la télécommande IRC01 et sa facilité de remplacement, ce qui en fait une option idéale pour notre projet de robot sumo.

### 2.1.3 Choix du pont en H

**Référence de pré-conception :** CPR<3>

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_DEPLACEMENT, EXIG\_CARTE

Le pont en H a été défini comme utile au projet pour sa capacité à gérer la vitesse des moteurs, et indirectement la direction du robot Sumo.

Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	Compatibilité de la tension avec les sources disponibles	(valeur de 1 à 5)					Total (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)
			Courant max de sortie du pont	Manière de piloter le pont	Faible Prix	Disponibilité			
Pololu Commande de 2 moteurs CC DRV8835 2x1,2A	1	3V and 5V	1.5 A	arduino	4.95	563			
		5 / 5							
Pololu Commande de 2 moteurs CC DRV8833 2x1,2A	1	3 et 5 Vcc	2 A	arduino	11,40€	48			

**Figure 3 : FAD pour le choix du PONT EN H**

Rappel : Le moteur imposé par le cahier des charges est le motoréducteur GM3 avec une tension de 3 à 6 Vcc.

Le choix du "CC DRV8835" se justifie par :

- Contrôle de nos deux moteurs : Le 'CC DRV8835' à une double commande permettant de contrôler les deux moteurs CC sur une plage de 2-11v.
- Les moteurs imposés doivent être alimentés en CC donc le pont en H choisi est de type Vcc.
- Compatible avec les domaines de tension envoyée par le microcontrôleur (5V)

## 2.1.4 Choix du controller

Référence de pré-conception : CPR<4>

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG\_COMPORTEMENT

Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	Critères de sélection (exemples) (valeur de 1 à 5)								Total (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)
		Nombre d'entrées et sorties numériques (I/O)	Nombre d'entrées analogiques	Nombre de sorties PWM	Nombre de sorties analogiques	Courant consommé	Fréquence de calcul	Connaissance du composant	Boîtier composant facile à utiliser/soudier		
ATMEGA328P	1	23 3	9 3	5 3	1.8-5.5 3	200uA 5	20MHz 3	Elevé 5	Moyen 2	3.13 5	60750 Choix définitif
ATSAMD21E16A	1	32 4	16 4	12 4	1.62-3.63 2	48MHz 5	Faible 1	Moyen 2	?	?	1280 Non disponible sur les marchés (GOTRONIC ET FARNEL.COM)
ATMEGA2560	1	86 5	16 4	12 5	4.5-5.5 4	500uA 2	16MHz 3	Moyen 3	Compliqué 1	13€ 1	Prix élevé (13€) + Non disponible sur GOTRONIC
ATTiny25	1	4 1	2 1	2 1	2.7-5.5 3	300uA 4	20Mhz 1	Faible Simple	Simple 5	2.08€ 5	300

Figure 4 : FAD pour le choix du microcontrôleur

Le microcontrôleur ATMEGA328P est imposé par votre Cahier Des Charges et reste compatible avec nos solution techniques proposées.

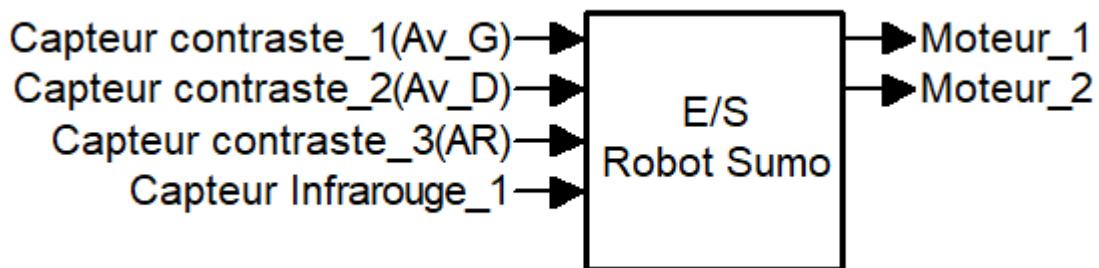


Figure 8 : Resumé des E/S

### 2.1.5 Choix du régulateur de tension

Référence de pré-conception : CPR<5>

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG\_SECUR\_BATT

Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	de sélection (exemples) (valeur de 1 à 5)						Total (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)
		Tension max d'entrée	Tension de sortie	Faible chute de tension sur-tensionnée	Courant de sortie max	Bolteer composant facile à utiliser/soudier	Faible Prix (Hors TVA)		
LP2985AIM5-3.3/NOPB 3.3V CMS	1	16VMax	9V - (-0,3V)	280mV	0,15A	So	0,844 (seul)	740	<a href="https://fr.farnell.com">https://fr.farnell.com</a>
		Score 5/5							
LP2985AIM5-5.0/NOPB 5V CMS	0	16VMax	6,1V - 1,8V	280mV	0,15A	So	Indis	0	Non disponible
		Score 0/5							
MC33269DT-3.3G IC	1	3,3V / 5V / 12V		1V	0,800A	So	0,94 €	17190	<a href="https://www.onsemi.com/">https://www.onsemi.com/</a>
		Score 4/5							
MC33269DT-5.0G IC	1	3,3V / 5V / 12V		1V	0,800A	So	Indis	0	Indisponibilité distributeur Non validation planning
		Score 5/5							
IUT de Bordeaux	Référence : SUMO_FAD								

Figure 5 : FAD pour le choix du régulateur de tension

Le régulateur de tension Réf : LP2985AIM5-5.0/NOPB 5V CMS permet de valider les exigences suivantes :

#### Avantages de la Configuration

- Compatibilité** : Adaptée aux tensions et courants de la batterie (7.4 V,
- Régule en cas de chute de tension** : il permet de réguler à la tension de consigne(5v).
- Coût économique** : Prix compétitif pour le budget du projet.
- Conformité aux Exigences** : Répond aux spécifications techniques nécessaires.

Cette configuration assure ainsi un fonctionnement optimal du système.en fournissant une tension de 5V au autre module

## 2.1.6 Choix de la batterie

Référence de pré-conception : CPR<6>

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG\_AUTONOMIE, EXIG\_BATTERIE

FICHE D'AIDE A LA DECISION (FAD)						
Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	Critères de sélection (exemples) (valeur de 1 à 5)			Total (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)
		Encombrement	Fabriq. Prix (hors TVA)	Disponibilité		
Lipo CONRAD ENERGY 7.4 V 1200 mAh	0	valeur sur datasheet	€21,99	20		
Lipo CONRAD ENERGY 7.4 V 800 mAh	1	4				
Lipo CONRAD ENERGY 7.4 V 450 mAh	0	Valeur sur DDC	€9,99	39		
		5				
IUT de Bordeaux	Référence : SUMO_FAD					
Département GEII	Révision : 1.6 – 19/09/2022					7 / 7

Figure 6 : FAD pour le choix de la batterie

Afin de dimensionner correctement notre batterie, estimation de la consommation du robot en nous basant sur les deux principaux éléments en charge sur le stockage énergétique : les deux moteurs de référence GM3 montés sur RM3.

### 1. Caractéristiques du moteur GM3 sur RM3

Rappel de la datasheet du moteur GM3 à 3V :

- **Courant à vide** : 40 mA
- **Courant de décrochage** : 400 mA
- **Couple** : 3500 g·cm

A noté, que, pour une tension de fonctionnement de 7,4V (entre 6V et 9V), la datasheet ne fournit pas ce courant de décrochage. Nous avons donc calculer pour cette tension :

## 2. Calcul du courant de décrochage pour 7,4V

On sait que la relation entre le couple (C) et le courant (I) est donnée par la formule :

$$C = k \times I$$

où **k** est une constante.

À partir des données fournies à 3V, on calcule **k** :

$$k = \frac{C}{I} = \frac{3500}{400} = 8,75$$

Ensuite, nous utilisons cette constante pour déterminer le courant de décrochage à 7,4V, sachant que le couple pour cette tension est de 4100 g·cm. Le courant de décrochage (**I**) est donc :

$$I = \frac{C}{k} = \frac{4100}{8,75} \approx 468 \text{ mA}$$

## 3. Estimation de la consommation en fonctionnement normal

En fonctionnement normal, nous estimons que chaque moteur consomme environ **200 mA**. Étant donné qu'il y a **deux moteurs**, la consommation totale due aux moteurs est :

$$200 \text{ mA} \times 2 = 400 \text{ mA}$$

## 4. Consommation des autres composants

Nous estimons que les autres composants du robot consomment environ **40 mAh** au total.

## 5. Calcul de la capacité de la batterie nécessaire

La consommation totale du robot est donc :

$$400 \text{ mA} + 40 \text{ mA} = 440 \text{ mA}$$

Si l'on prend en compte une utilisation sur une période d'une heure et demie (1,5 heures), la consommation énergétique est :

$$440 \text{ mA} \times 1,5 = 660 \text{ mAh}$$

En ajoutant une marge de sécurité, nous choisissons une batterie avec une capacité de **800 mAh** pour assurer une bonne autonomie du robot.

---

### 2.1.7 Imposition du moteur

Référence de pré-conception : CPR<6>

Exigences client vérifiées par préconception : EXIG\_AUTONOMIE, EXIG\_ACTION

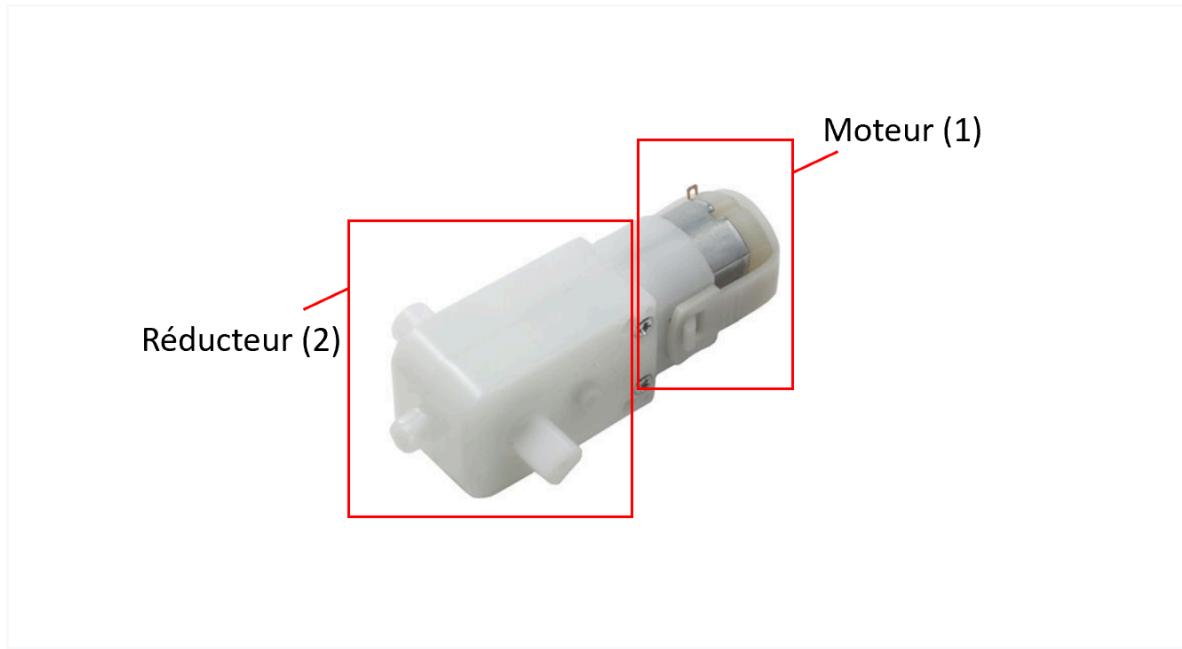


Figure 7 : moteurs GM3

Les moteurs imposés sont des moteurs à courant continu muni d'une plage de fonctionnement de 2-11v (tension défini à 7,4v), couplé avec des réducteurs, permettant de dupliquer leur couple de sortie.

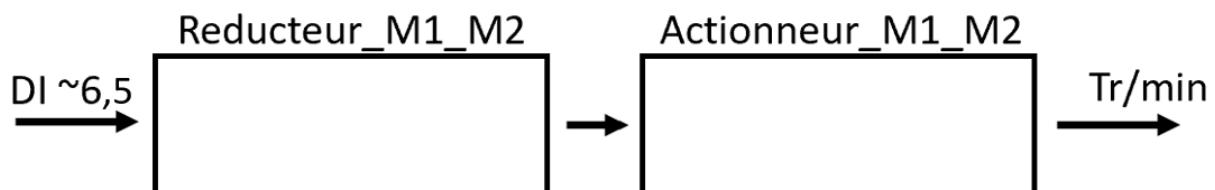


Figure 8 : Schéma bloc actionneur

## 2.2 Architecture Informatique

Référence de pré-conception : CPR<7>

Exigences client vérifiées par préconception :

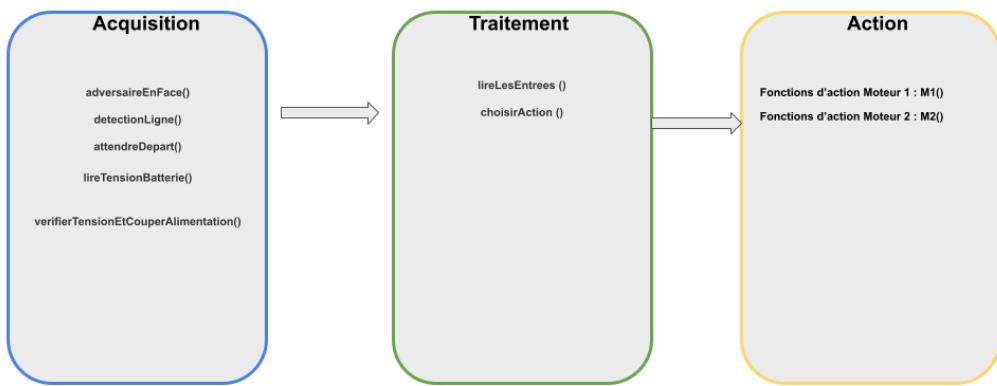


Figure 9 : Schéma de l'architecture informatique du Robot Sumo

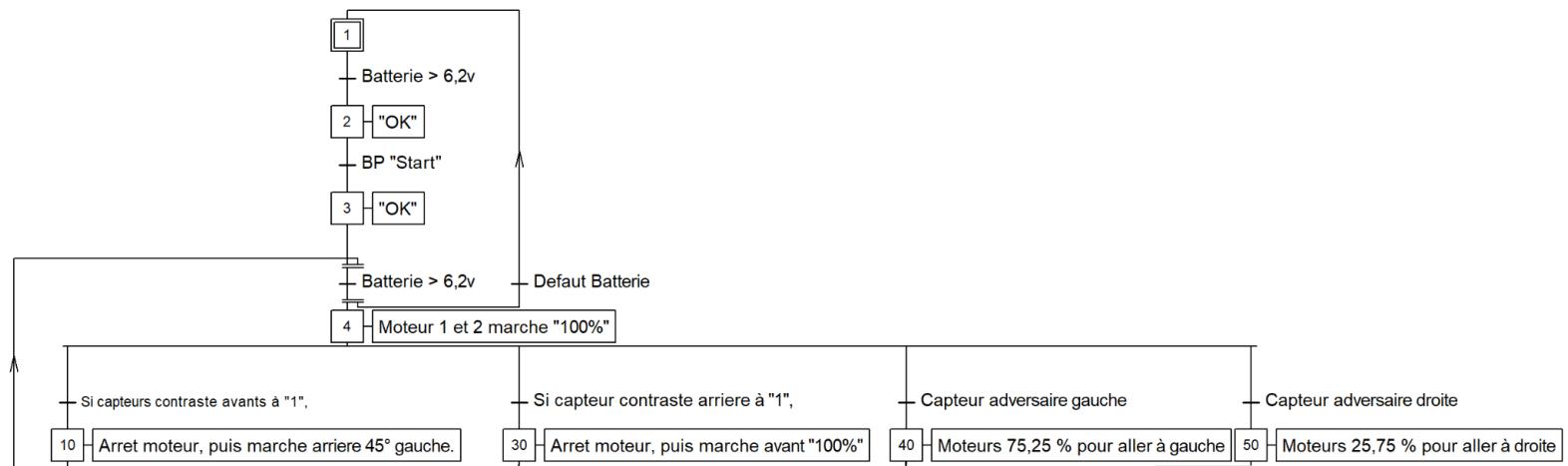


Figure 10 : Grafcet Preliminaire

## 2.2.1 Fonctions d'acquisition

**Référence de pré-conception :** CPR01

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_DEPART, EXIG\_LUMINOSITE, EXIG\_ADVERSAIRE

### 2.2.1.1 Fonction : “adversaireEnFace()”

- Description : Cette fonction utilise des capteurs de distance pour détecter si un adversaire se trouve à une distance de 40 cm ou moins devant le robot. Elle retourne `true` si l'adversaire est détecté dans cette plage.
- Implémentation :
  - Utilisation de capteurs de distance sur le port SDA
  - Chaque capteur a son adresse unique pour la communication I2C
  - Vérification des données des capteurs pour déterminer si la distance mesurée est inférieure ou égale à 40 cm.
  - La valeur reçue est entier représentant la distance entre l'objet et le robot en mm
  - Retour d'une valeur booléenne (`true` ou `false`) en fonction de la détection (detection adversaire ou pas)

### 2.2.1.2 Fonction : “detectionLigne()”

- Description : Cette fonction exploite trois capteurs placés sous le robot pour vérifier si celui-ci se trouve toujours dans l'arène. Les informations collectées sont ensuite transmises à un bloc de traitement pour analyse.
- Implémentation :
  - Initialisation des capteurs analogiques sur les ports A0, A1 et A2
  - Lecture des valeurs avec “AnalogRead” des capteurs sur la plage (0 à 1024)
  - Retour une valeur booléenne (`true` ou `false`) en fonction de la détection
  - Envoi des données collectées à une unité de traitement pour décision ou action

#### 2.2.1.3 Fonction : “ attendreDepart() ”

- Description : Cette fonction attend un signal de départ émis par une télécommande infrarouge. Le robot reste immobile jusqu'à la réception de ce signal, après quoi il commence à fonctionner.
- Implémentation :
  - Utilisation d'une LED infrarouge branchée sur le port 2
  - Attente du signal infrarouge
  - Réception des données avec digitalRead(2) (attente d'une donnée booléenne)
  - Début du programme lorsque cette valeur change à 1

#### 2.2.1.4 Fonction : “ lireTensionBatterie() ”

- Description : Cette fonction a pour but de simuler la lecture de la tension de la batterie. Dans le cadre de tests, elle renvoie une valeur fixe de 6,5 V.
- Implémentation : La fonction peut inclure une instruction pour afficher ou enregistrer la valeur lue, permettant ainsi de suivre la tension simulée pendant les tests. À l'avenir, elle sera modifiée afin d'intégrer une véritable lecture analogique.

#### 2.2.1.5 Fonction : “ verifierTensionEtCouperAlimentation() ”

- Description : Cette fonction évalue la tension actuelle de la batterie et prend des décisions afin de protéger le système. Si la tension mesurée est inférieure à 6,7 V, cela indique que la batterie est presque déchargée, et il est donc obligatoire de couper l'alimentation des moteurs pour éviter des dommages.
- Comportement :
  - Si la tension est inférieure à 6,7 V :
    - Si la broche contrôlant les moteurs est réglée sur HIGH. Cela désactive les moteurs, empêchant ainsi toute action due à une batterie faible.
  - Si la tension est égale ou supérieure à 6,7 V :

Si la tension est inférieure à 6,7 V :

Si la broche contrôlant les moteurs est réglée sur HIGH. Cela désactive les moteurs, empêchant ainsi toute action due à une batterie faible.

Si la tension est égale ou supérieure à 6,7 V :

La broche est mise à LOW, ce qui active les moteurs et permet au robot de fonctionner normalement.

- Implémentation : A l'avenir une fonctionnalité pour enregistrer les données sur les niveaux de tension au cours du temps sera ajoutée, ce qui facilitera l'analyse et l'optimisation de la vérification.
-

## 2.2.1 Fonctions d'action

### 2.2.1.6 Fonctions d'action Moteur 1 : M1()

Cette fonction est destinée à contrôler la sortie PWM 5 du microcontrôleur. Le signal de sortie, dont la fréquence est variable, est capté par le pont en H, qui convertit ce signal en une tension de sortie pour contrôler les moteurs.

### 2.2.1.7 Fonction d'action Moteur 2 : M2()

Cette fonction est destinée à contrôler la sortie PWM 6 du microcontrôleur. Le signal de sortie, dont la fréquence est variable, est capté par le pont en H, qui convertit ce signal en une tension de sortie pour contrôler les moteurs.

#### 2.2.4 Fonctions de traitement

**Référence de pré-conception :** CPR02

**Exigences client vérifiées par préconception :** EXIG\_COMPORTEMENT

##### 2.2.4.1 Fonction : "lireLesEntrées()"

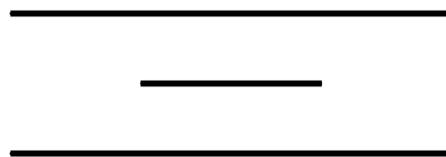
- Description : Cette fonction a pour but de prendre les résultats des fonctions de la partie acquisition pour remplir certaines conditions.
- Implémentation : La fonction peut inclure une instruction pour afficher ou enregistrer la valeur lue, permettant ainsi de s'en servir pour d'autres fonctions.

##### 2.2.4.2 Fonction : "choisirAction()"

- Description : Cette fonction a pour but de choisir l'action voulu du robot en suivant les conditions pré-établies.
- Implémentation : La fonction peut inclure une instruction pour afficher la fonction exécutée.

## 2.3 Conclusion de la conception préliminaire du produit

L'ensemble des exigences ont été validé au sein de notre groupe, nous avons tout mis en oeuvre pour respecter les exigences de votre cahier des charge, et en vous remerciant de la confiance apporter à notre groupe, et qui, je l'espere, continuera dans cette voie positive et de continuer ce projet ensemble, sur ce, en esperant avoir un retour positif de votre part sur le projet, le dialogue reste, evidemment ouvert. Merci.



### 3. Annexe préliminaire

#### 2.4 FAD Capteurs Adversaires

Solution technique proposée	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	Critères de sélection (exemples) (valeur de 1 à 5)					Commentaires (si nécessaire)
		Facilité d'utilisation du signal de sortie	Distance min et max de détection	Compatibilité de la tension avec les sources disponibles	Faible consommation en courant	Faible Prix	
Capteur de mesure Sharp GP2Y0A41SK0F	1	4 cm 40 cm	4 cm 10 cm 80 cm 20 cm 150 cm	analogique 0.3V - 3.1V 0.4V - 3V 1 analogique 0.4V - 2.7V 1 analogique 0.2C 300 cm	5 5 5 4 5 5 4 5 5	30mA 9.901TC 30mA - 30mA - 33mA 12.801TC 30mA 20mA 5.581TC 5.581TC	oui non non non oui oui oui oui oui
Capteur de mesure Sharp GP2Y0A21YK	1						signal analogique, moins de précision, plus coûteux et nécessite un ADC
Capteur de mesure Sharp GP2Y0A2YK	1						plus disponible
Capteur de mesure Sharp Vl53L0XDH1	1						signal analogique, moins de précision, plus coûteux et nécessite un ADC
IUT de Bordeaux	Référence : SUMO_FAD						notre choix
Département GEII	Révision : 1.6 – 19/09/2022						

3 / 7

## 2.5 FAD Capteurs de sol

Critères de sélection (exemples) (valeur de 1 à 5)	Conformité à toutes les exigences (oui : 1 / non : 0)	Valeur sur dashboard	Disponibilité	Faible Prix	Total (produit des valeurs précédentes)	Commentaires (si nécessaire)
Respect de la stratégie de combat	0 CNY avant + 0 CNY arrière	score / 5				
Compatibilité de la tension avec les sources disponibles	1 CNY avant + 0 CNY arrière	0 à 5mm	1,25 à 1,5€	1,03€	300	Pas assez précis
Distance min et max de détection	2 CNY avant + 0 CNY arrière	0 à 5mm	1,25 à 1,5€	2,09€	300	Pas assez précis
	0 CNY avant + 1 CNY arrière	0 à 5mm	1,25 à 1,5€	5	1	5
	1 CNY avant + 1 CNY arrière	0 à 5mm	1,25 à 1,5€	5	0	5
	2 CNY avant + 1 CNY arrière	0 à 5mm	1,25 à 1,5€	2,09€	300	Pas assez précis
	2 CNY avant + 2 CNY arrière	0 à 5mm	1,25 à 1,5€	5	2	4
	2 CNY avant + 2 CNY arrière	0 à 5mm	1,25 à 1,5€	3,04€	300	Notre choix
	2 CNY avant + 2 CNY arrière	0 à 5mm	1,25 à 1,5€	5	3	18
	IUT de Bordeaux					Trop coûteux
	Département GEII					

## 4. Conception détaillée du produit

Ce chapitre détaille la conception du produit développé. Il constitue une preuve de la conformité du produit. Chaque paragraphe de cette étude fait donc clairement référence aux exigences client issues du [CDC].

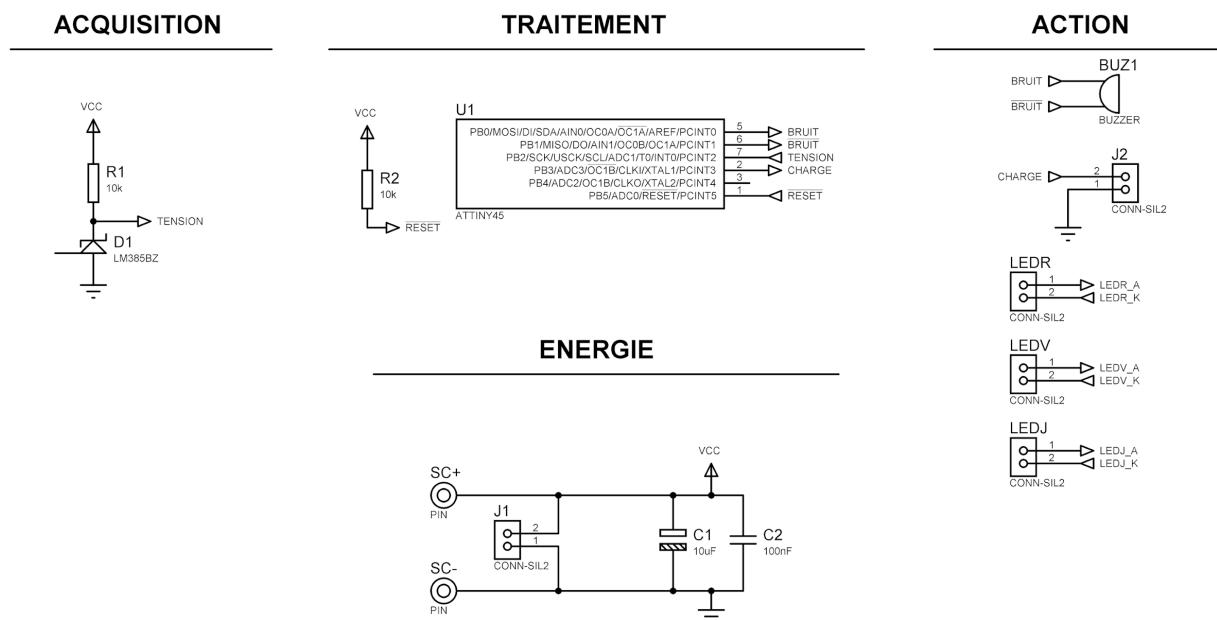
### 3.1 Conception détaillée du robot mini-sumo

Chaque bloc fonctionnel doit faire l'objet d'un chapitre de conception détaillé, présenté comme suit.

**Référence de conception :** CDTxx

**Exigences client vérifiées :** EXIG\_xxx, EXIG\_xxx, EXIG\_xxx...

A la suite de la conception préliminaire, l'activité de conception détaillée a été menée. Le schéma électrique complet de la carte est fourni ci-dessous.



**Figure x : schéma électrique de la carte robot mini-sumo**

## 3.2 Conception détaillée de la partie aquisition

### 3.2.1 Capteurs adversaires

Référence de conception : CDTxx

Exigences client vérifiées : EXIG\_xx, EXIG\_xx...

#### 3.2.1.1 Schéma électrique des capteurs adversaires

Précisez le(s) bloc(s) fonctionnel(s) étudié(s) en lien avec la conception préliminaire, donnez-en le schéma électrique de principe.

En partant des relations générales de l'électricité et d'informations tirées directement de la documentation des composants, déduisez les valeurs théoriques et les caractéristiques de tous les composants du schéma réalisant la fonction étudiée.

Choisissez les valeurs normalisées les mieux adaptées et estimez leur impact sur les caractéristiques du produit.

#### 3.2.1.2 Code informatique des capteurs adversaires

Présenter le code des fonctions associées aux capteurs adversaires.

Expliquer en détail le fonctionnement des fonctions.

### 3.2.2 Capteurs de sol (si nécessaire)

Référence de conception : CDTxx

Exigences client vérifiées : EXIG\_xx, EXIG\_xx...

#### 3.2.2.1 Schéma électrique des capteurs de sol

Précisez le(s) bloc(s) fonctionnel(s) étudié(s) en lien avec la conception préliminaire, donnez-en le schéma électrique de principe.

En partant des relations générales de l'électricité et d'informations tirées directement de la documentation des composants, déduisez les valeurs théoriques et les caractéristiques de tous les composants du schéma réalisant la fonction étudiée.

Choisissez les valeurs normalisées les mieux adaptées et estimez leur impact sur les caractéristiques du produit.

#### 3.2.2.2 Code informatique des capteurs de sol

Présenter le code des fonctions associées aux capteurs adversaires.

Expliquer en détail le fonctionnement des fonctions.

### 3.2.3 Capteurs de télécommande (reprendre le DDF de M. Blanchard)

Référence de conception : CDTxx

Exigences client vérifiées : EXIG\_xx, EXIG\_xx...

#### 3.2.3.1 Schéma électrique des capteurs de télécommande

Précisez le(s) bloc(s) fonctionnel(s) étudié(s) en lien avec la conception préliminaire, donnez-en le schéma électrique de principe.

En partant des relations générales de l'électricité et d'informations tirées directement de la

documentation des composants, déduisez les valeurs théoriques et les caractéristiques de tous les composants du schéma réalisant la fonction étudiée.

Choisissez les valeurs normalisées les mieux adaptées et estimez leur impact sur les caractéristiques du produit.

### 3.2.3.2 Code informatique des capteurs adversaires

```
//Library
#include "IRremote.h"

//Variable
int receiverPin = 2; // Le Capteur de la télécommande est sur l'entrée 8
int flag=0;
int info;
IRrecv irrecv(receiverPin);

void initIR(){
    irrecv.enableIRIn(); // Start the receiver
}

int lireIR(){
int flag = 0;
static long temps =0;
if(lrReceiver.decode()>0){
    if((millis()-temps)>200){
        flag=1;
    }
    temps = millis();
    irrecv.resume();
}
return flag;
}

void setup(){
initIR();
pinMode(5, OUTPUT); // Permet de mettre une LED sur la sortie 5
}

void loop() {
    info = lireIR();
    if(info==1){
        Etat_LED = 1 - Etat_LED;
    }
    digitalWrite(12, Etat_LED);
}
```

Dans ce code d'essai des capteurs infrarouges, nous faisons appel à une fonction setup, loop, et à deux fonctions qui sont : void initIR() et int lireIR(). Nous avons utilisé la bibliothèque IRremote.h. Cette dernière permet d'utiliser différentes fonctions afin de recevoir une donnée de notre télécommande.

Voici les différentes fonctions utilisées :

- initIR() : cette fonction fait appel à une fonction de la bibliothèque IRremote.h qui est irrecv.enableIRIn(). Cette dernière permet d'activer le capteur infrarouge afin d'être prêt à recevoir une donnée de la télécommande.
- Notre fonction lireIR() contient une autre fonction de la bibliothèque IRremote.h : IrReceiver.decode(). Celle-ci a pour but de décrypter les informations envoyées par notre télécommande.
- irrecv.resume() : cette fonction issue également de la bibliothèque IRremote.h permet d'actualiser les valeurs stockées afin d'être prêt à la réception d'une nouvelle donnée.

La LED est éteinte quand l'état de la LED (Etat\_LED) vaut 0.

Dans notre fonction, nous utilisons la fonction millis() afin d'être le plus réactif à l'appui sur la télécommande. En effet, la condition millis()-temps>200 (ici le temps correspond au temps de l'appui précédent, nous remettons à jour le temps avec la valeur millis()), nous permet de faire appel à la fonction irrecv.resume() dès l'appui. Nous n'avons pas besoin d'attendre le relâchement du bouton. A chaque appui, l'état logique de la LED s'inverse.

Pour conclure, ce code permet de vérifier si le récepteur infrarouge et à quel moment il exécute nos lignes de code avec l'allumage de notre LED. La LED remplace l'état des moteurs pour les besoins du test et représente si les moteurs sont en fonctionnement ou en arrêt.

### 3.3 Conception détaillée de la partie action

#### 3.3.1 Pont en H

Référence de conception : CDTxx

Exigences client vérifiées : EXIG\_xx, EXIG\_xx...

##### 3.3.1.1 Schéma électrique du pont en H

Précisez le(s) bloc(s) fonctionnel(s) étudié(s) en lien avec la conception préliminaire, donnez-en le schéma électrique de principe.

En partant des relations générales de l'électricité et d'informations tirées directement de la documentation des composants, déduisez les valeurs théoriques et les caractéristiques de tous les composants du schéma réalisant la fonction étudiée.

Choisissez les valeurs normalisées les mieux adaptées et estimer leur impact sur les

caractéristiques du produit.

#### 3.3.1.2 Code informatique du pont en H

Présenter le code des fonctions associées aux capteurs adversaires.

Expliquer en détail le fonctionnement des fonctions.

### 3.4 Conception détaillée de la partie énergie

#### 3.4.1 Pont diviseur de tension

Référence de conception : CDTxx

Exigences client vérifiées : EXIG\_xx, EXIG\_xx...

##### 3.4.1.1 Schéma électrique du pont diviseur de tension

Précisez le(s) bloc(s) fonctionnel(s) étudié(s) en lien avec la conception préliminaire, donnez-en le schéma électrique de principe.

En partant des relations générales de l'électricité et d'informations tirées directement de la documentation des composants, déduisez les valeurs théoriques et les caractéristiques de tous les composants du schéma réalisant la fonction étudiée.

Choisissez les valeurs normalisées les mieux adaptées et estimez leur impact sur les caractéristiques du produit.

##### 3.4.1.2 Code informatique du pont diviseur de tension

Présenter le code des fonctions associées aux capteurs adversaires.

Expliquer en détail le fonctionnement des fonctions.

#### 3.4.2 régulateur de tension

Référence de conception : CDTxx

Exigences client vérifiées : EXIG\_xx, EXIG\_xx...

##### 3.4.2.1 Schéma électrique du régulateur de tension

Précisez le(s) bloc(s) fonctionnel(s) étudié(s) en lien avec la conception préliminaire, donnez-en le schéma électrique de principe.

En partant des relations générales de l'électricité et d'informations tirées directement de la documentation des composants, déduisez les valeurs théoriques et les caractéristiques de tous les composants du schéma réalisant la fonction étudiée.

Choisissez les valeurs normalisées les mieux adaptées et estimez leur impact sur les caractéristiques du produit.

### 3.5 Conception détaillée de la partie traitement

#### 3.5.1 Le microcontrôleur ATMEGA328P-PU

Référence de conception : CDTxx

Exigences client vérifiées : EXIG\_xx, EXIG\_xx...

IUT Bordeaux Département GEII	Référence : RMS_DDC_EQ43 Révision : 2 – 25/09/2024	32/38
----------------------------------	---	-------

### 3.4.1.1 Schéma électrique du microcontrôleur

Précisez le(s) bloc(s) fonctionnel(s) étudié(s) en lien avec la conception préliminaire, donnez-en le schéma électrique de principe.

En partant des relations générales de l'électricité et d'informations tirées directement de la documentation des composants, déduisez les valeurs théoriques et les caractéristiques de tous les composants du schéma réalisant la fonction étudiée.

Choisissez les valeurs normalisées les mieux adaptées et estimez leur impact sur les caractéristiques du produit.

### 3.3.1.2 Code informatique du microcontrôleur

Présenter le code des fonctions associées aux capteurs adversaires.

Expliquer en détail le fonctionnement des fonctions.

## 5. Dérisquage des solutions techniques retenues

Ce chapitre détaille les activités de dérisquage des solutions techniques retenues : simulation et/ou prototypage rapide. Il constitue une preuve partielle de la conformité du produit. Chaque paragraphe de l'étude fait donc clairement référence aux exigences client issues du [CDC].

Il permet également de confirmer les résultats théoriques effectués aux paragraphes 2 et 3 en vérifiant le fonctionnement à travers des simulations et/ou prototypages rapides. Pour chaque simulation et/ou prototypage rapide est renseigné le protocole de mise en œuvre. Les résultats des simulations et/ou prototypages rapides sont confrontés aux résultats de l'étude théorique.

L'ensemble des fichiers est disponible dans le dossier : renseignez ici le chemin du dossier où sont situés les fichiers de simulation et/ou prototypage rapide du projet.

### 4.1 <Titre de la simulation / prototypage rapide>

Chaque bloc fonctionnel ainsi que l'ensemble du montage doit faire l'objet d'une fiche de simulation / prototypage rapide, présentée comme suit.

**Référence de la simulation :** SIM<numéro>

**Exigences client vérifiées :** Renseignez ici les références des exigences client auxquelles le paragraphe de simulation / prototypage rapide ci-dessous fait référence.

**But de l'essai :** Décrivez brièvement le but de la simulation / prototypage rapide vis-à-vis du cahier des charges.

**Fichiers :** Renseignez ici le nom des fichiers associés à la simulation / prototypage rapide de manière à pouvoir rejouer la simulation / prototypage rapide en cas de besoin au cours et après le développement du produit.

**Procédure de simulation :**

Précisez le déroulé de simulation / prototypage rapide effectué, donnez le schéma de simulation / prototypage rapide correspondant. Précisez la configuration des sources éventuelles, le positionnement des sondes, etc.

**Résultats attendus :**

A partir des exigences client issues du Cahier Des Charges, renseignez les valeurs attendues ci-dessous.

Grandeur	Valeur attendue	Tolérance
Tension du signal S7	3,5 V	+/- 10%

**Résultats obtenus :**

Insérez les graphes, tableaux de valeurs, etc. issus de la simulation / prototypage rapide.

Commentez les résultats en les comparant à ceux de la phase de conception détaillée ainsi qu'aux exigences du cahier des charges.

A partir des simulations / prototypages rapides effectués, complétez ci-dessous les valeurs obtenues.

Grandeur	Valeur mesurée	Conf/Non conf.
Tension du signal S7	3,4 V	Conforme/Non conf.

**Statut de l'essai :** Mentionnez ici la conclusion du test, c'est-à-dire « conforme » ou « non conforme ».

#### Problèmes rencontrés :

Mentionnez ici les problèmes que vous avez rencontrés. Précisez les solutions que vous avez adoptées pour résoudre les problèmes, ou éventuellement les problèmes qui persistent encore lors de la rédaction de ce document. Ce paragraphe n'est pas à négliger, le client y apporte toujours beaucoup d'importance. Il permet de tracer les éventuelles modifications apportées au produit pendant son développement. On peut également informer le client des limitations du produit qui lui est livré. Il sera ainsi conscient des problèmes encore non résolus et ne perdra pas un temps précieux à comprendre pourquoi cela ne fonctionne pas. Ceci est une démarche de transparence entre un fournisseur et un client qui contribuera à la qualité finale du produit et à la satisfaction du client.

#### 4.2 <Titre de la simulation / prototypage rapide>

Chaque bloc fonctionnel ainsi que l'ensemble du montage doit faire l'objet d'une fiche de simulation / prototypage rapide, présentée comme suit.

**Référence de la simulation :** SIM<numéro>

**Exigences client vérifiées :** Renseignez ici les références des exigences client auxquelles le paragraphe de simulation / prototypage rapide ci-dessous fait référence.

**But de l'essai :** Décrivez brièvement le but de la simulation / prototypage rapide vis-à-vis du cahier des charges.

**Fichiers :** Renseignez ici le nom des fichiers associés à la simulation / prototypage rapide de manière à pouvoir rejouer la simulation / prototypage rapide en cas de besoin au cours et après le développement du produit.

#### Procédure de simulation :

Précisez le déroulé de simulation / prototypage rapide effectué, donnez le schéma de simulation / prototypage rapide correspondant. Précisez la configuration des sources éventuelles, le positionnement des sondes, etc.

#### Résultats attendus :

A partir des exigences client issues du Cahier Des Charges, renseignez les valeurs attendues ci-dessous.

Grandeur	Valeur attendue	Tolérance
Tension du signal S7	3,5 V	+/- 10%

Grandeur	Valeur attendue	Tolérance
----------	-----------------	-----------

**Résultats obtenus :**

Insérez les graphes, tableaux de valeurs, etc. issus de la simulation / prototypage rapide.

Commentez les résultats en les comparant à ceux de la phase de conception détaillée ainsi qu'aux exigences du cahier des charges.

A partir des simulations / prototypages rapides effectués, complétez ci-dessous les valeurs obtenues.

Grandeur	Valeur mesurée	Conf/Non conf.
Tension du signal S7	3.4 V	Conforme/Non conf.

**Statut de l'essai :** Mentionnez ici la conclusion du test, c'est-à-dire « conforme » ou « non conforme ».

**Problèmes rencontrés :**

Mentionnez ici les problèmes que vous avez rencontrés. Précisez les solutions que vous avez adoptées pour résoudre les problèmes, ou éventuellement les problèmes qui persistent encore lors de la rédaction de ce document. Ce paragraphe n'est pas à négliger, le client y apporte toujours beaucoup d'importance. Il permet de tracer les éventuelles modifications apportées au produit pendant son développement. On peut également informer le client des limitations du produit qui lui est livré. Il sera ainsi conscient des problèmes encore non résolus et ne perdra pas un temps précieux à comprendre pourquoi cela ne fonctionne pas. Ceci est une démarche de transparence entre un fournisseur et un client qui contribuera à la qualité finale du produit et à la satisfaction du client.

### 4.3 Conclusion de la simulation / prototypage rapide du produit

Concluez sur la simulation / prototypage rapide du produit en insistant sur les non-conformités et les solutions possibles. Le texte ci-dessous est un exemple.

Les simulations / prototypages rapides effectués dans cette partie ont permis de valider les choix et dimensionnement de la phase de conception.

## **6. Conclusion de la conception du produit**

Concluez sur la conception du produit vis-à-vis des exigences client en insistant plus particulièrement sur les non-conformités identifiées, les causes possibles et les solutions envisagées.

## 7. Matrice de conformité du produit

Ce chapitre synthétise par l'intermédiaire d'un tableau la conformité du produit développé par rapport aux exigences issues du Cahier des Charges.

roc