

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou

Faculté Du Génie La Constriction

Département D'électromécanique



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En Vue De L'obtention Du Diplôme De Master Académique

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème :

Conception Et Réalisation D'un Prototype De Véhicule Tout Terrain En Vue De Son Utilisation Pour La Lutte Contre Les Incendies De Forêt

Présenté par :

- Mr HAMIDOUCHE Tarek
- Mr HANTIT Mohamed

Dirige par :

Dr : BELGAID Hocine

Mémoire soutenu publiquement le 30/09/2024 Devant le jury composé de :

Mr. SI AHMED Hamid	Président	MAA	UMMTO
Mr. OUELMOKHTAR Hand	Examineur	MCB	UMMTO
Mr. BELGAID Hocine	Encadreur	MCB	UMMTO

Promotion : 2023/2024

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant, qui nous a donné la force et la sagesse nécessaires pour mener à bien ce mémoire.

Nos sincères remerciements vont à notre promoteur, Dr. BELGAID Hocine, de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Département d'électromécanique, pour ses précieux conseils et son soutien tout au long de ce travail. Son expertise, sa disponibilité et ses encouragements constants ont été d'une grande aide.

Nous adressons également nos remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en assistant à notre soutenance et en évaluant ce travail.

Nous remercions également nos familles et amis pour leur soutien inconditionnel et leur compréhension tout au long de nos études.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance envers tous les enseignants du Département d'électromécanique de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou pour leurs enseignements et leur disponibilité. Leur engagement et leur passion pour l'automatique ont enrichi notre parcours académique et nous ont inspiré à donner le meilleur de nous-mêmes.

DEDICACE

Je dédie ce travail avec gratitude et respect :

- À mes parents et à tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu et accompagné tout au long de mes études,
- À tous mes amis, compagnons de cette aventure académique,
- À nos enseignants qui nous ont guidés et inspirés,
- À tous les chercheurs et inventeurs dont le travail a permis au nôtre d'exister,
- À toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire

HAMIDOUCHE Tarek

DEDICACE

Je dédie ce travail avec gratitude et respect :

- À mes parents, mon petit frère et à tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu et accompagné tout au long de mes études,
- À tous les membres de groupe « EL MICHAAL » du scout,
- À tous les membres de l'association « ASSIREM » Drâa Ben Khedda,
- À tous À tous les surveillants de baignade Sidi Khelifa
- À nos enseignants qui nous ont guidés et inspirés,
- À tous les professeurs qui m'ont enseigné durant mon parcours académique, vivants et morts

HANTIT Mohamed

Résumé

Ce mémoire traite de la problématique de la lutte contre les incendies et de la conception d'un véhicule tout-terrain destiné à cet effet. Il met en lumière l'importance croissante de la lutte contre les feux de forêt, qui représentent un danger majeur pour l'environnement et les populations. Le projet inclut la création d'un prototype fonctionnel de véhicule capable d'opérer dans des environnements difficiles d'accès, équipé d'un système de contrôle à distance et d'un canon à eau. L'objectif est d'améliorer la capacité d'intervention des équipes de secours et de réduire l'impact des incendies.

Abstract

This thesis addresses the development and design of an all-terrain vehicle concept intended for fire fighting. It highlights the growing importance of combating wildfires, which pose a major threat to the environment and populations. The project includes the creation of a functional prototype capable of operating in hard-to-reach environments, equipped with a remote-control system and a water cannon. The goal is to improve the intervention capacity of rescue teams and reduce the impact of fires.

ملخص

يتناول هذا البحث تطوير وتصميم مفهوم مركبة برية مخصصة لمكافحة الحرائق. ويسلط الضوء على الأهمية المتزايدة لمكافحة حرائق الغابات، التي تمثل تهديدًا كبيرًا للبيئة والسكان. يشمل المشروع إنشاء نموذج أولي وظيفي لمركبة قادرة على العمل في بيئات يصعب الوصول إليها، مزودة بنظام تحكم عن بُعد ومدفع ماء. الهدف هو تحسين قدرة فرق الإنقاذ على التدخل وتقليل تأثير الحرائق.

TABLE DES MATIERES

Table Des Matières

Introduction générale.....	18
Chapitre 01 :Problématique de lutter contre les incendies de forêts	21
I. Introduction	21
II. Comment des incendies se produisent	22
III. Les causes des incendies de forêts	24
III-1. Causes inconnues plus de 30 %	24
III-2. Causes humaines	25
IV. Les différents types de feux de forêt	26
IV-1. Les feux de sol	26
IV-2. Les feux de surface	27
IV-3. Les feux de cimes	29
V. Impact sur le milieu naturel et sur la survenance possible d'autres aléas naturels..	29
VI. L'impact sur les personnes	30
VI-1. Santé physique.....	30
VI-2. Santé mentale	31
VII. Conclusion	31
Chapitre 02 : Généralités sur les véhicules tout terrain (VTT) et les robots de lutte contre les incendies	33
I. Introduction	33
II. Généralités sur les véhicules tout terrain (vtt).....	33
II-A. Les types de véhicule tout-terrain.....	33
II-A-1. Camions 4x4.....	33
II-A-2. Motos Tout-Terrain	34
II-A-3. Dune Buggies	35
II-A-4. Buggies.....	36
II-A-5. Camions monstres	36
II-A-6. Véhicule tout-terrain amphibie 8x8	37
II-A-7. Le véhicule utilitaire sport (VUS)	38
II-A-8. Véhicule quatre-quatre	39
II-B. Caractéristiques d'un véhicule tout-terrain	39
II-C. Différents types de transmission de puissance des véhicules tout-terrain.....	40

II-C-1. Traction	40
II-C-2. Modes de transmission	40
II-C-2-a). 2H	40
II-C-2-b). 4H.....	40
II-C-2-c). 4L.....	40
II-D. Différentiels.....	41
II-E. La suspension d'un SUV.....	41
II-F. Essieu rigide.....	42
II-G. Suspension indépendante	42
II-H. Amortisseurs à bouteilles séparées	43
II-I. Butée d'amortisseur	44
II-G. Profondeur de gué	44
II-K. Angles de pente maximaux	45
II-L. Les éléments d'un véhicule tout-terrain	46
II-L-1. Roues tout-terrain	46
II-M. Pneus tout-terrain.....	46
II-M-1. Pneus à tacos	46
II-M-2. Pneus mixtes	46
II-M-3. Pneus asphalte.....	47
II-N. Plaques de protection de soubassement	47
II-O. Ailes et étriers	47
II-P. Les domaines d'utilisation d'un véhicule tout terrain	48
II-P-1. Domaine militaire	48
II-P-2. Domaine de la protection civile.....	49
II-P-3. Domaine agricole	50
II-P-4. Domaine de loisir.....	51
II-P-5. Domain de sport	52
III. Les robots de lutte contre les incendies	52
III-A. Quelques exemples de robots de lutte contre les incendies.....	52
III-A-1. AirCore TAF35.....	52
III-A-2. Colossus.....	53
III-A-3. Robots de Milrem Robotics	54
III-A-4. MVF-5	54
III-A-5. Fire Ox	55

III-A-6. LUF60.....	55
III-A-7. Firemote 4800	56
III-A-8. JMX-LT50	56
III-A-9. SACI.....	57
III-A-10. ArchiBot-M.....	57
III-A-11. MyBOT2000.....	58
III-A-12. FIREROB	58
III-A-13. SmokeBot	58
IV. Conclusion.....	59
Chapitre 03 : Les composants et les pièces utilisent.....	61
I. Introduction	61
II. Moteur électrique DC.....	61
II-1. Principe de fonctionnement d'un moteur électrique DC.....	62
III. Servomoteur.....	63
III-1. Fonctionnement un servomoteur.....	64
III-2. L'utilisation des servomoteurs.....	65
IV. Module LoRa Ra-02.....	65
IV-1. Principe de fonctionnement du module LoRa	66
V. Module L298N.....	67
V-1. Le principe de fonctionnement du L298N	68
V-1-a). Ponts en H.....	68
V-1-b).Contrôle de la direction	69
V-1-c).Contrôle de la vitesse (PWM)	69
VI. La carte arduino.....	70
VI-1. Description de la carte.....	70
VII. Conclusion	73
Chapitre 04 : Outils utilisés pour la réalisation du prototype.....	75
I. Introduction	75
II. SolidWorks	75
II-1. Définition	75
II-2. Fonctionnement	76
II-3. Les pièces.....	77

II-4. Les assemblages	77
II-5. Les mises en plan	78
III. Arduino	79
III-1. Définition	79
III-2. Les fonctionnalités l'Arduino IDE	79
III-3. Programmer sur Arduino	80
III-3-a). Void setup ()	80
III-3-b). Void loop ()	80
IV. Conclusion.....	80
Chapitre 05 : Application & réalisation du prototype.....	82
I. Introduction	82
II. Réalisation de la partie mécanique	82
II-1 La conception sur SolidWorks	82
II-2. Découpeuse laser et pliage.....	85
II-3. L'assemblage	87
II-4. Le réservoir en plastique de 0,495L dans le prototype	89
III. Réalisation de la partie électrique.....	90
III-1. Composant électronique de prototype de véhicule tout-terrain.....	90
III-2. La manette de prototype de véhicule tout-terrain	90
III-3. Les circuits électriques	91
IV. Réalisation de la partie informatique.....	93
IV-1. Programme Arduino	93
IV-2. Le programme effectué sur le logiciel Arduino IDE.....	93
IV-2-a).	93
IV-2-b).	84
IV-3. L'installation des composants électroniques.....	96
V. Conclusion	98
Conclusion générale	100
Biographie	102
Webliographie.....	104

LISTE DES FIGURES

Liste Des Figures

Chapitre	Figure N°	Titre	Page
Chapitre 01	01	a) La première représente le triangle du feu b) La deuxième représente le triangle du comportement du feu	23
	02	a) La première montre plusieurs structures forestières b) Un exemple d'un feu de forte intensité touchant toutes les strates de combustible c) Un feu de faible intensité généré	24
	03	Les causes des incendies de forte en pourcentage	25
	04	Les feux de sol	26
	05	Les feux de surface	28
	06	Les feux de cimes	29
Chapitre 02	07	Camions 4x4	34
	08	Motos tout-terrain	35
	09	Dune buggies	35
	10	Buggies	36
	11	Camion monstre	37
	12	Amphibie 8x8	38
	13	Véhicule utilitaire sport	38
	14	Véhicule quatre-quatre	39
	15	Suspension d'un SUV	42
	16	Profondeur de gué d'un véhicule tout-terrain	45
	17	Angles de pente maximaux	45
	18	Véhicule militaire	48
	19	Véhicule protection civile	49
	20	Véhicule agricole	51

	21	Véhicule tout train pour les domaines sportif	52
	22	Aircore TAF35	53
	23	Colossus	53
	24	Robots de Milrem Robotics	54
	25	Mvf-5	54
	26	Fire ox	55
	27	Luf60	55
	28	Firemote 4800	56
	29	Jmx-lt50	56
	30	Saci	57
	31	Archibot-M	57
	32	Mybot2000	58
	33	Firerob	58
	34	Smokebot	59
Chapitre 03	35	Moteur dc	62
	36	Servomoteur mg996	64
	37	Lora Ra-02	66
	38	L298n	68
	39	Carte arduino uno	70
Chapitre 04	40	L'interface de solidworks	76
	41	L'structure de document de solidworks	76
	42	L'interface de logiciel solidworks	77
	43	Une mise en plan robinet sur solidworks	78
	44	L'interface de logiciel arduino	79

Chapitre 05	45	Pièce 01,02 et 03 en 3D sur solidworks	83
	46	La réalisation des 2 pièces en utilisant la fonction tôlerie sur solidworks	84
	47	Les dimensions de prototype de véhicule tout-terrain	85
	48	Plane d'fx de prototype de véhicule tout-terrain	86
	49	Photo découpeuse laser	87
	50	Prototype de véhicule tout-terrain sur SOLIDWORKS	88
	51	Prototype réel de véhicule tout-terrain	88
	52	Réservoir d'eau 0.495L	89
	53	Le circuit électrique de prototype de véhicule tout-terrain	92
	54	Le circuit électrique de la manette	92
	55	L'installation de composants électronique	97
	56	L'installation de servomoteur sur prototype	97

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre	Tableau N°	Titre	Page
Chapitre 03	01	Représente caractéristique d'un moteur dc	63
	02	Représente caractéristique d'un servomoteur	65
	03	Représente caractéristique du module lora Ra-02	67
	04	Représente caractéristique l298n	69
	05	Description de la carte Arduino	71-72-73
Chapitre 05	06	Les noms des pièces de prototype	88
	07	Les composants électroniques	91
	08	Les composants électroniques des circuits sur fritzing	92
	09	Les composants électroniques sur pièce 01	97

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les incendies de forêts représentent une menace considérable pour l'environnement, les biens et les vies humaines. Ils sont souvent provoqués par des facteurs naturels, tels que la sécheresse ou la foudre, mais également par des actions humaines, qu'elles soient involontaires ou criminelles. La lutte contre les incendies forestiers constitue un défi majeur pour les services de protection civile, en raison de l'ampleur et de la rapidité de propagation des feux, souvent dans des zones difficiles d'accès. Face à ces phénomènes destructeurs, la mise en place de stratégies efficaces et l'utilisation de technologies adaptées sont essentielles pour contenir les incendies et limiter leurs conséquences dévastatrices.

La protection civile, dans le cadre de la lutte contre les incendies, nécessite des moyens humains et matériels à la hauteur des risques encourus. Les pompiers et les équipes de secours doivent disposer de véhicules tout-terrains capables d'accéder à des terrains accidentés, souvent inaccessibles aux engins traditionnels. Cependant, les exigences évoluent avec le temps et les nouvelles générations de véhicules de lutte contre les incendies doivent répondre à des besoins plus spécifiques. Ces engins doivent être robustes, équipés de technologies modernes, et en mesure d'intervenir rapidement tout en minimisant les risques pour les équipes sur le terrain. Ainsi, la conception de nouveaux concepts de véhicules tout-terrain, intégrant des solutions mécaniques et électroniques avancées, devient cruciale pour optimiser les opérations de la protection civile.

Notre produit est une maquette fonctionnelle d'un véhicule tout-terrain de lutte contre les incendies, conçue pour simuler les opérations d'intervention dans des environnements difficiles d'accès. Cette maquette est alimentée par une batterie de 12 volts et équipée de moteurs à courant continu (DC) de 12 volts, assurant la propulsion et la manœuvrabilité sur des terrains variés. Pour le contrôle à distance, elle intègre un module LoRa, permettant de piloter le véhicule via une manette sans fil, offrant une portée de communication étendue. Le cœur du système est une carte Arduino, utilisée pour la gestion des commandes et des fonctions électroniques, tandis que le module L298N est employé pour piloter les moteurs, contrôlant à la fois leur direction et leur vitesse.

Le système d'extinction est également au cœur de notre conception. Nous avons intégré une pompe à eau capable d'aspirer l'eau contenue dans le réservoir de la maquette. Ce système est complété par un tube de sortie, astucieusement positionné sur le palonnier du robot. Cette configuration permet de déplacer le tube facilement, offrant une portée ciblée pour éteindre les flammes efficacement.

Enfin, le robot est équipé d'une chaîne motrice robuste, garantissant une excellente adhérence sur divers types de terrains. Cette conception tout-terrain permet à la maquette de surmonter des obstacles et d'accéder à des zones où les pompiers humains auraient du mal à se rendre.

Plan du mémoire :

- Le premier chapitre abordera les incendies de forêts, en expliquant les causes, les conséquences et les différents défis auxquels font face les équipes de secours.
 - Le deuxième chapitre sera consacré aux véhicules tout-terrains et les robots de lutte contre les incendies, en détaillant leurs caractéristiques, leur importance et les évolutions nécessaires pour répondre aux nouveaux besoins.
 - Le troisième chapitre traitera des différentes composantes électroniques et mécaniques de la maquette du véhicule que nous avons développée, avec une analyse des innovations techniques intégrées.
 - Le quatrième chapitre analysera l'utilisation des logiciels SolidWorks pour la conception du véhicule et Arduino pour la programmation et l'automatisation de certaines fonctions.
- Enfin, le cinquième chapitre se concentrera sur l'application pratique et la réalisation du projet, en exposant les résultats obtenus et les perspectives d'amélioration.

Chapitre 01 :

**PROBLEMATIQUE DE
LUTTER CONTRE LES
INCENDIES DE FORET**

Chapitre 01 : Problématique de lutter contre les incendies de forêts

I. Introduction

Les incendies de forêt (également appelés feux de brousse, feux de broussailles ou feux de forêt) sont de grands incendies incontrôlés et potentiellement destructeurs qui peuvent toucher les zones rurales et urbaines. Ils peuvent se propager rapidement, changer de direction et même "sauter" sur de grandes distances lorsque des braises et des étincelles sont transportées par le vent. Ils sont provoqués par une série de causes naturelles (comme la foudre) ou par la négligence humaine (comme une cigarette jetée). La propagation d'un feu de forêt dépend de la disposition des terrains, du combustible disponible (végétation ou bois mort) et des conditions météorologiques (vent et chaleur). Ils peuvent démarrer en quelques secondes et se transformer en brasiers en quelques minutes.

Les dégâts causés par les incendies aux logements, à l'industrie, aux forêts, aux installations et équipements, aux infrastructures et à l'environnement atteignent des milliards de dollars chaque année. En plus des dommages matériels, les pertes en vies humaines et l'extinction d'espèces végétales et animales menacent également la vie humaine.

Dans notre pays, selon un rapport de la Banque mondiale, élaboré conjointement avec le gouvernement algérien, représenté par la Direction générale des forêts et la Délégation nationale des risques majeurs, intitulé « Note sur les forêts algériennes : gestion durable des forêts pour lutter contre les feux de forêts », environ 20 000 hectares sont consumés par les flammes chaque année en Algérie.

Ces feux de forêt coûtent en moyenne 2,5 milliards de DA pour 35 000 hectares de forêts incendiées. En 2021 et 2022, les dégâts matériels (agriculture et habitations) ont été estimés à respectivement 15,4 milliards DA et 1,5 milliard DA.

Les grands feux de forêt (ceux dépassant 100 hectares) en Algérie ont causé la mort de 103 citoyens en 2021 et de 54 en 2022, année où la wilaya de Tizi-Ouzou a été particulièrement touchée.

Les causes des feux de forêt en Algérie, souvent sujettes à des spéculations, parfois farfelues voire même politiques, sont pourtant difficiles à identifier, bien que la cause anthropique (responsabilité humaine) semble la plus répandue.

« Pour la période 2000-2020, les données officielles disponibles montrent que la part des feux de forêt d'origine inconnue serait de 85 % du total des incendies déclarés. La part des feux intentionnels, difficilement identifiables, est estimée à 6 % », selon le rapport de la Banque mondiale.

S'appuyant sur une étude scientifique réalisée dans un échantillon de wilayas, ce rapport indique que la majorité des départs de feux de forêt résultent essentiellement de causes anthropiques et volontaires : les feux pastoraux pour le renouvellement des pâturages, l'incinération de décharges non contrôlées, les changements d'utilisation des terres et la collecte de miel.

De plus, les feux dus à la négligence sont causés, par ordre d'importance, par les jets de mégots de cigarettes, les travaux agricoles (brûlage après nettoyage, brûlage des chaumes), la reprise d'incendie et les activités forestières dans la forêt.

« Les causes des feux de forêt sont sensiblement invariables dans le temps, car elles sont principalement liées à la culture et aux traditions locales. L'unique cause naturelle des feux de forêt, la foudre, reste très rare et méconnue en Algérie. Elle n'apparaît même pas dans les statistiques, même dans les régions montagneuses, sans doute en raison de la rareté des orages d'été », souligne le rapport de la Banque mondiale.

« En l'absence de statistiques solides sur les causes des feux de forêt, il est difficile pour le secteur de mettre en place des stratégies pertinentes de sensibilisation, de communication et d'intégration des groupes sociaux responsables. Il est donc nécessaire d'affiner la collecte et le traitement des informations : adoption d'une nomenclature standardisée des causes de feux de forêt (EFFIS), formation des personnels de terrain, systématisation de la recherche des causes et des circonstances des incendies, mise en place de cellules interinstitutionnelles dédiées, et d'un outil d'enregistrement dynamique et de partage des données », préconise le rapport.[01,02]

II. Comment des incendies se produisent

Le feu résulte de la combustion de la végétation. Cette réaction chimique est provoquée par une source de chaleur d'origine naturelle ou humaine et nécessite un combustible et d'oxygène. Pour obtenir un feu, la présence de trois éléments est nécessaire : une source de chaleur, un combustible et l'oxygène. Par ailleurs, nous définissons l'incendie de forêt comme la propagation non contrôlée d'un feu sur l'ensemble de la végétation (arbres, broussailles, prairies et terres cultivables). Il est cependant courant d'utiliser indifféremment les termes feu de forêt et incendie de forêt. Le même lien existe entre « neige » et « avalanche » ou entre « Eau » et « inondation » qu'entre « feu » et « incendie de forêt ». Le type de combustible participant à la combustion permet de différencier le type de feu dans le cas des incendies de forêt, urbains ou même agricoles. En revanche, les expressions brûlages dirigés ou contrôlés sont en général utilisées pour désigner le feu qui brûle de manière contrôlée quel que soit le type

de combustible (à savoir la forêt, les pâturages ou un terrain agricole). Une fois le feu allumé, sa propagation sera influencée par trois facteurs : le type de combustible, la météorologie et la topographie.



Figure 01 :

a) La première représente le triangle du feu

b) La deuxième représente le triangle du comportement du feu

Le terme « combustible » désigne le type de végétation et la « charge combustible disponible » représente la quantité totale de biomasse susceptible de participer à la combustion. Cette charge combustible dépend de la répartition dans l'espace des espèces végétales présentes dans les trois strates principales (à savoir les strates herbacée, arbustive et arborée). La teneur en eau du végétal dépend des conditions climatiques et de la capacité des espèces à retenir l'eau (phénomène d'évapotranspiration). Par contre l'inflammabilité et la combustibilité dépend du type d'espèce végétale (composition intrinsèque). Il existe une classification de l'inflammabilité et de la combustibilité pour chaque espèce Méditerranéenne indépendamment des conditions climatiques. Les incendies forestiers les plus violents ont lieu pendant la saison sèche, dans des forêts denses avec une continuité entre toutes les strates qui participent ainsi à la combustion en même temps.



Figure 02 :

- a) La première montre plusieurs structures forestières**
- b) Un exemple d'un feu de forte intensité touchant toutes les strates de combustible**
- c) Un feu de faible intensité généré**

III. Les causes des incendies de forêts

Les services forestiers américains et canadiens ont, les premiers, expérimenté une méthode d'analyse des causes d'incendies de forêt dans les années 1950. Ils ont été suivis en Europe, par le Portugal en 1989, puis par l'Espagne en 1991. Les méthodes de recherche utilisées en Espagne, au Portugal et aux États-Unis ont été adaptées en 2008 au contexte français et mises à disposition des différents acteurs intervenant dans la recherche des causes de départ de feu sous la forme d'un guide de référence. Une étude réalisée par Irstea à partir des données fournies par Prométhée (une base de données sur les incendies de forêts dans les 15 départements méditerranéens français) entre 1996 et 2006, a permis d'établir des statistiques sur les causes de départs de feux :

1. Causes inconnues plus de 30 %

Causes naturelles (la foudre par exemple) : 8 % des causes connues. Cette proportion est beaucoup plus élevée dans d'autres pays où la forêt recouvre un grand territoire, jusqu'à 30 % au Québec, avec de grandes surfaces concernées. [03]

2. Causes humaines

Involontaires liées à des actes d'imprudence (jets de mégots) ou à des accidents (circulation en forêt ou en périphérie, lignes électriques, dépôts d'ordures, brûlage de rémanents...) : plus de 50 % des causes connues ;

Volontaires, comme des actes de pyromanie, de vengeance ou de stratégie politique ou administrative : 39 % des causes connues.

Différentes bases de données répertorient en France et en Europe les données sur les feux déclarés dans les espaces naturels et les forêts, quelle que soit leur surface. "Grâce aux informations collectées sur les feux, les bases de données permettent l'analyse spatio-temporelle du nombre des feux, de la surface brûlée ou des causes de départ de feux. Une meilleure prévention des départs de feu est alors possible". Compte tenu de l'hétérogénéité des données liées aux causes de départ de feux, un travail d'harmonisation a été réalisé 2009, à la demande de l'Union européenne (coordination Irstea et financement JRC). Ces données normalisées sont désormais consultables sur la plateforme EFFIS (European Forest Fire Information System). Au Québec, des données statistiques de feux de forêts classés par cause sont disponibles sur le site de la SOPFEU [03]

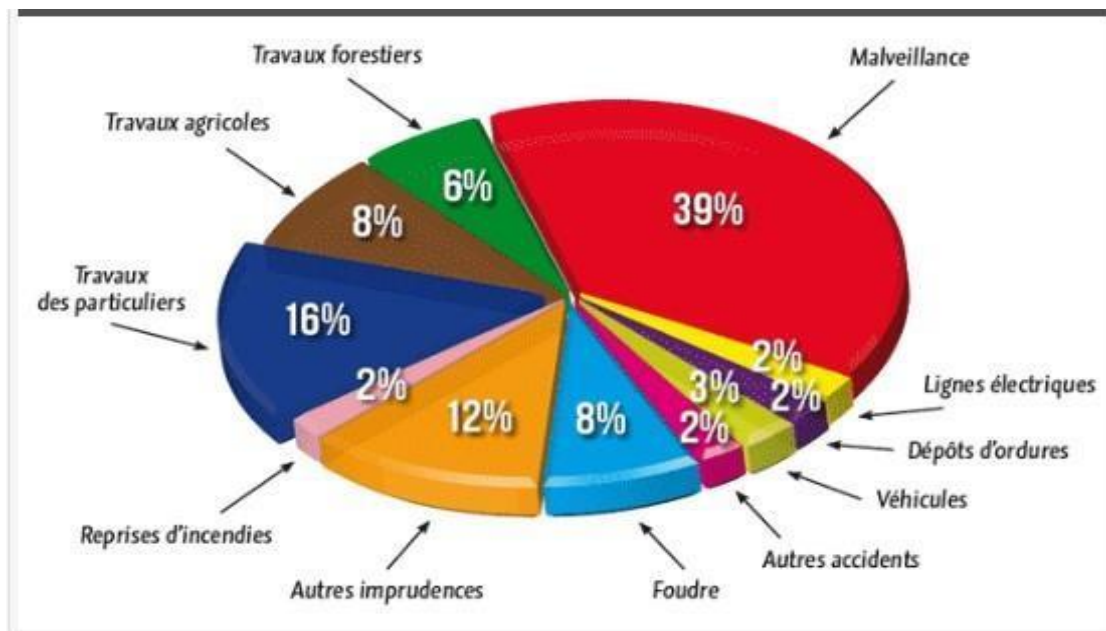


Figure 03 :

Les causes des incendies de forêt en pourcentage

IV. Les différents types de feux de forêt

On distingue trois types de feux de forêts et d'espaces naturels combustibles, qui peuvent se produire simultanément sur une même zone. Ainsi, un feu de surface peut se transformer en feu de cimes et inversement.

1. Les feux de sol

Ces feux concernent la matière organique contenue dans la litière, l'humus ou la tourbe, et leur vitesse de propagation est faible. Bien que peu virulents, ils peuvent être très destructeurs en s'attaquant aux systèmes souterrains des végétaux. Avec l'abandon de certaines pratiques agricoles, de nombreuses zones périphériques des forêts qui pouvaient servir de coupe-feu ont été colonisées par des formations végétales telles que des friches, landes, garrigues et maquis. Cette situation a été aggravée par la diminution des prélèvements en forêt et un mauvais entretien, qui ont conjointement conduit à la présence de bois morts (chablis, etc.) et au développement des sous-bois.

Ces feux couvant produisent beaucoup de fumée en raison de la combustion incomplète, ce qui entraîne des émissions plus importantes de monoxyde de carbone. Parmi les feux de sol, on distingue les feux de tourbe. Ces derniers, qui se propagent dans le sol, sont peu virulents, avec une faible vitesse de propagation mais une grande rémanence. Ils peuvent durer des mois et même résister tout l'hiver sous une couche de neige. [03]



Figure 04 :

Les feux de sol

2. Les feux de surface

Ces feux brûlent les strates basses de la végétation, c'est-à-dire la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les ligneux bas. Ils se propagent généralement par rayonnement et concernent la garrigue ou les landes.

La propagation peut être rapide lorsqu'ils se développent librement et que les conditions de vent ou de relief y sont favorables (feux de pente). La vitesse de propagation est de l'ordre de 0,5 à 1 km/h.

Les principales contraintes de ce type d'incendie sont liées à la proximité d'habitations isolées ou en hameau, de réserves de gaz domestique, de stockages d'hydrocarbures, de bâtiments agricoles, de stockages de fourrage, de bois, de broussailles, de lignes haute tension, de voies SNCF ou de circulation. La présence de badauds peut également compliquer l'accès au sinistre et entraver l'action des secours.

Parmi les feux de surface, on trouve aussi les feux de surfaces agricoles (récoltes sur pied, chaumes).

Les feux de récoltes sur pied se caractérisent par :

- Un front de flammes progressant rapidement, atteignant 3 à 4 mètres de haut ;
- Une atmosphère très enfumée ;
- Une propagation par les escarbilles, avec ou sans vent soutenu ;
- Un flux thermique important, notamment avec les oléagineux ;
- Une relative persistance du feu après le passage du front.

Les feux de chaumes, quant à eux, se caractérisent par :

- Des résidus de récolte minimes, d'une hauteur de quelques centimètres ;
- Une vitesse de propagation du front de flammes généralement faible à modérée (avec des flammes d'une hauteur de 1 mètre maximum) ;
- Un flux thermique modeste ;
- Une persistance du feu relativement courte après le passage du front, en raison de la faible quantité de matière combustible.

Lorsque les pailles ne sont pas broyées en sortie de moissonneuse-batteuse, elles forment des andains très fragiles. Ces matériaux combustibles, mis en tas mais aérés, brûlent avec un effet de type « mèche ».

Il ne faut pas oublier le risque de propagation du sinistre aux engins agricoles, qui peuvent contenir de grandes quantités de carburant et d'huile hydraulique, nécessitant l'utilisation de moyens de production de mousse.

Les moissons se déroulent souvent par temps sec, afin de récolter des céréales avec un taux d'humidité bas, ce qui favorise le développement rapide de feux virulents et leur propagation difficilement contrôlable, augmentée par le vent (risque de phénomènes de type tornade).

D'autres facteurs peuvent aussi aggraver le développement du sinistre :

- La diversité des caractéristiques des feux selon le type de végétation ;
- La planéité de la surface ;
- L'uniformité de la végétation sur de grandes surfaces ;
- Le risque de propagation à des tiers (exploitations agricoles, élevages, éoliennes, etc.)
- La présence ou non d'obstacles au vent ;
- L'état de la récolte (sèche ou verte) ;
- La présence d'engins agricoles. [03]



Figure 05 :

Les feux de surface

3. Les feux de cimes

Les feux de cimes brûlent la partie supérieure des arbres et forment une couronne de feu. Ils libèrent généralement de grandes quantités d'énergie, et leur vitesse de propagation est très élevée. Ils sont d'autant plus intenses et difficiles à contrôler lorsque le vent est fort et la végétation sèche.

Ces feux sont souvent consécutifs à des feux de strates arbustives et arborescentes. Les feux de cimes seuls sont rares [02]



Figure 06 :

Les feux de cimes

V. Impact sur le milieu naturel

Un incendie a des conséquences immédiates telles que la dégradation des paysages, la disparition d'animaux ou de végétaux appartenant parfois à des espèces rares, l'émission de CO₂ ainsi que de poussières (particules fines) et de gaz nocifs (dont des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) cancérigènes) qui polluent l'atmosphère. La survie des communautés végétales et animales dépend de plusieurs facteurs : le type d'incendie, les espèces concernées, leur âge, etc. En général, les couvertures arbustive et arborée se reconstituent assez rapidement, soit par production de rejets, soit par dissémination de graines. Certaines espèces peuvent même être favorisées par le feu, qui facilite par exemple la levée de dormance de certaines graines, comme celles des cistes ou des pins d'Alep. Toutefois, la dynamique végétale, surtout après une série d'incendies successifs, reste encore mal connue.

En outre, les sols s'appauvrissent et nécessitent généralement plusieurs décennies pour retrouver leur richesse biologique. Ils peuvent même disparaître en cas d'incendies répétés, en particulier sur les pentes, sous l'effet du ruissellement et de l'érosion, ce qui provoque ou aggrave de nouveaux risques en aval.

Les risques de chutes de pierres augmentent également, notamment sur les pentes calcaires, en raison de la disparition de la végétation basse (buis, etc.) qui les maintenait en place ou amortissait leur chute. De petits ensembles rocheux peuvent même être déstabilisés sous l'effet de la chaleur ou de la calcination de l'humus. [03]

VI. L'impact sur les personnes

1. Santé physique

Les feux de forêt ont de nombreux impacts sur la santé humaine, tant pour les populations directement touchées que pour les régions environnantes. La fumée émise par ces feux peut se déplacer sur de grandes distances, causant des problèmes respiratoires tels que l'asthme, la bronchite ou des allergies. Elles peuvent également causer l'irritation des yeux et de la gorge.

Les particules fines présentes dans la fumée peuvent également pénétrer dans la circulation sanguine et ainsi augmenter le risque de maladies cardiovasculaires et de problèmes de pression artérielle. De plus, les feux de forêt peuvent contaminer les sources d'eau, ce qui pose un risque pour la consommation d'eau dans les régions où les infrastructures d'assainissement sont absentes ou désuètes.

Certains groupes de la population, tels que les communautés autochtones, les enfants, les personnes atteintes de problèmes de santé chroniques et les personnes âgées, sont plus vulnérables aux effets des feux de forêt sur la santé.

Les coûts sur la santé en lien avec les feux de forêt au Québec ne sont pas disponibles. Toutefois, une analyse canadienne estime que les coûts en santé associés à une exposition à court terme à la fumée des incendies de forêt se situent entre 410 millions et 1,8 milliard de dollars annuellement. Les effets sur la santé à long terme sont quant à eux estimés entre 4,3 et 19 milliards de dollars par an. [04]

2. Santé mentale

Les feux de forêt peuvent avoir des conséquences néfastes sur la santé mentale de certaines communautés, notamment celles qui sont évacuées lors d'incendies. Ces personnes font face à un traumatisme psychologique immédiat et continu, ce qui peut entraîner des cas de dépression et de trouble de stress post-traumatique, en particulier chez les enfants et les adolescents.

Les communautés autochtones, qui sont régulièrement exposées à des évacuations, signalent également un grand stress en raison de la perte de leur structure sociale et de leur délocalisation. Les feux de forêt peuvent également provoquer de la solastalgie, qui correspond à une détresse psychologique liée aux changements dans l'environnement et à une diminution d'appartenance au territoire. [04]

VII. Conclusion

Les incendies de forêt représentent un défi majeur pour l'environnement et les sociétés humaines, avec des impacts dévastateurs sur la biodiversité, les écosystèmes et les communautés locales. Face à l'augmentation de leur fréquence et de leur intensité, due notamment au changement climatique et à l'activité humaine, il est essentiel de développer des solutions efficaces pour prévenir, combattre et limiter leurs dégâts.

L'homme, par son ingéniosité et ses avancées technologiques, propose des solutions innovantes. Les véhicules de terrain, conçus pour accéder à des zones difficiles et transporter des équipes de pompiers avec des équipements spécialisés, sont des outils indispensables dans la lutte contre les feux de forêt. En parallèle, l'utilisation croissante de robots et de drones permet d'intervenir dans des zones dangereuses, réduisant les risques pour les pompiers et augmentant l'efficacité des opérations de lutte.

Ces technologies, alliées à des stratégies de prévention et de gestion des territoires, représentent une nouvelle ère dans la lutte contre les incendies, où la combinaison de l'intelligence humaine et des avancées technologiques offre un espoir pour mieux protéger nos forêts et nos écosystèmes

Chapitre 02 :

**GENERALITES SUR LES
VEHICULES TOUT
TERRAIN (VTT) ET LES
ROBOTS DE LUTTE
CONTRE LES INCENDIES**

Chapitre 02 : Généralités sur les véhicules tout terrain (vtt) et les robots de lutte contre les incendies

I. Introduction

Face à l'intensification des incendies de forêt à travers le monde, il devient impératif de développer des solutions technologiques capables de répondre aux défis posés par ces catastrophes. Les véhicules tout-terrains et les robots de lutte contre les incendies figurent parmi les innovations les plus prometteuses pour améliorer l'efficacité des interventions dans des environnements difficiles d'accès.

Ce chapitre explore l'importance et la complémentarité des véhicules tout-terrain et des robots dans la lutte contre les incendies. Nous aborderons les spécificités de ces technologies, leurs capacités d'adaptation aux terrains accidentés, ainsi que leur rôle crucial dans la protection des forêts et des populations. Le véhicule tout-terrain, grâce à sa robustesse et sa maniabilité, permet d'atteindre des zones inaccessibles aux véhicules conventionnels, tandis que le robot, équipé de systèmes avancés de détection et d'extinction, peut intervenir dans des conditions extrêmes, minimisant les risques pour les équipes humaines. À travers l'étude des prototypes développés dans le cadre de ce projet, nous analyserons les avantages de ces solutions et leur potentiel d'amélioration des opérations de secours

II. Généralités sur les véhicules tout terrain (vtt)

A. Les types de véhicule tout-terrain

1. Camions 4x4

Les camions 4x4 sont des véhicules tout-terrains polyvalents par excellence. Ces camionnettes sont spécialement conçues pour affronter des terrains accidentés et offrir d'excellentes performances dans diverses conditions hors route. L'une des caractéristiques clés qui rend les camions 4x4 idéaux pour le tout-terrain est leur système de suspension performant. Les suspensions de ces camions sont conçues pour absorber les chocs et les bosses, permettant ainsi une conduite plus fluide sur des surfaces inégales.

Lorsqu'il s'agit d'affronter des terrains sablonneux, les camions 4x4 excellent grâce à leur capacité tout-terrain. La combinaison de leur transmission puissante et de leur garde au sol élevée leur permet de traverser facilement les dunes de sable. De plus, le système différentiel

de ces camions garantit que la puissance est répartie uniformément entre les essieux arrière, offrant ainsi une meilleure traction sur les surfaces meubles telles que le sable. [05]



Figure 07 :
Camions 4x4

2. Motos Tout-Terrain

Les motos tout-terrain sont très prisées par les amateurs de sensations fortes pour leur agilité et leur vitesse. Ces véhicules sont spécialement conçus pour naviguer sur des terrains difficiles, ce qui les rend parfaits pour les randonnées en sentier et les compétitions de motocross. Ce qui distingue les motos tout-terrain des autres véhicules de ce type, c'est leur construction légère, qui permet aux conducteurs de manœuvrer facilement sur différents types de terrain.

L'une des caractéristiques clés d'une moto tout terrain est sa garde au sol. Il s'agit de la distance entre le point le plus bas de la moto et le sol. Une garde au sol plus élevée permet d'éviter que la moto ne reste coincée sur des obstacles tels que des rochers ou des racines d'arbres. La suspension est un autre aspect crucial des motos tout-terrain. Elle absorbe les chocs et les vibrations lors de la traversée de terrains accidentés, assurant une conduite fluide tout en réduisant la fatigue du pilote. [05]



Figure 07 :
Motos Tout-Terrain

3. Dune Buggies

Pour expérimenter l'intensité de la conduite tout-terrain sur des surfaces sablonneuses, les buggies des dunes sont le choix idéal en raison de leur maniabilité exceptionnelle et de leurs moteurs puissants. Ces véhicules tout-terrains spécialisés sont conçus pour affronter les conditions difficiles des dunes de sable et d'autres terrains sablonneux. Ils sont équipés de suspensions à long débattement, ce qui leur permet de naviguer sur des surfaces inégales et d'absorber les chocs lors de sauts et de passages sur des bosses.

Grâce à leur construction légère et à leur faible centre de gravité, ces buggies offrent une excellente stabilité dans des environnements difficiles. Leur large voie renforce encore leur stabilité dans les virages, réduisant ainsi le risque de basculement.

En plus de leur utilisation récréative, les buggies des dunes sont également utilisés dans les courses, où ils peuvent atteindre des vitesses impressionnantes à travers les vastes étendues désertiques. Leur polyvalence en fait un choix prisé des passionnés de tout-terrain désireux de conquérir les paysages sablonneux avec aisance. [05]



Figure 08 :
Dune Buggies

4. Buggies

Lorsqu'il s'agit de naviguer sur du sable ou un sol meuble (un sol peu compact, constitué de particules lâches, comme le sable ou le gravier, qui peut être facilement déplacé ou perturbé), les buggies excellent grâce à leur construction légère et leurs moteurs puissants. La combinaison d'un couple élevé et d'une traction efficace permet à ces véhicules de maintenir le contrôle sur des surfaces instables, en faisant des options idéales pour la conduite dans les dunes ou en milieu désertique.

L'un des principaux avantages des buggies est leur capacité à être personnalisés selon les préférences individuelles. Des arceaux de sécurité aux porte-bagages de toit, en passant par les barres lumineuses LED et les systèmes de suspension améliorés, de nombreux accessoires sont disponibles sur le marché pour optimiser à la fois les performances et l'esthétique. [05]



Figure 9 :
Buggies

5. Camions monstres

Les camions monstres offrent une expérience tout-terrain passionnante grâce à leur immense puissance et à leur taille. Ces camions tout-terrains excellent dans la conquête de terrains difficiles grâce à leur garde au sol élevée et à leurs énormes pneus

Améliorant la traction. Ces camions sont généralement équipés de transmission intégrale, offrant un maximum de contrôle. Leur importante capacité de réservoir de carburant permet des aventures prolongées, mais ils peuvent être plus chers en raison de

Leur conception spécialisée. De plus, il est essentiel de souscrire une assurance responsabilité en raison des risques potentiels et des dommages associés à leur taille et à leur puissance. [05]



Figure 10 :
Camion monstre

6. Véhicule tout-terrain amphibie 8x8

Le véhicule tout-terrain amphibie 8x8 est léger, de petite taille mais lourdement chargé, et dispose d'une fonction de direction centrale. Grâce à son excellente capacité de franchissement, il peut traverser rapidement des zones complexes telles que les montagnes, les jungles, les plages, les déserts, les champs de neige et les marécages. Il possède de remarquables capacités de franchissement terrestre et aquatique.

Ce véhicule est capable de fournir une grande capacité de charge et de traction, ce qui le rend particulièrement utile pour des opérations de sauvetage d'urgence, sur les lieux d'incendies, ainsi que pour des missions de patrouille et d'enquête. Lorsqu'il est équipé de chenilles, il améliore la traction sur les terrains meubles ou neigeux. En cas de blocage de la circulation dû à des catastrophes, le véhicule amphibie 8x8 peut circuler dans les rues et ruelles, jouant un rôle crucial dans la protection incendie d'urgence, le secours en cas de catastrophe, et la livraison de matériel.



Figure 11 :
Amphibie 8x8

7. Le véhicule utilitaire sport (VUS)

Le véhicule utilitaire sport (VUS) est un type de véhicule robuste, généralement doté d'un habitacle spacieux, d'une boîte de vitesses manuelle et de quatre roues motrices, conçu pour circuler à la fois sur route et hors route. Ces véhicules sont spécialement adaptés pour la conduite sur des terrains difficiles tels que les sentiers, les plages ou les régions sauvages, offrant une capacité de traction et de manœuvrabilité supérieure. Le terme VUS est souvent utilisé pour désigner cette catégorie de véhicules tout-terrain [05]



Figure 12 :
Véhicule utilitaire sport

8. Véhicule quatre-quatre

Le 4x4 désigne un type de véhicule tout-terrain dont les quatre roues peuvent être motrices et qui est équipé de dispositifs permettant une meilleure progression en terrain difficile, tels que le blocage de différentiel et le différentiel central. Cependant, certains véhicules tout-terrain peuvent avoir six ou huit roues motrices, voire être montés sur des chenilles.



Figure 13 :

Véhicule quatre-quatre

B. Caractéristiques d'un véhicule tout-terrain

Tout d'abord, un véritable véhicule tout-terrain doit être extrêmement solide, car il est destiné à être utilisé sur des terrains accidentés. Il dispose donc d'un châssis séparé sur lequel est montée la caisse du véhicule, contrairement aux SUV qui sont construits sur une caisse autoporteuse (où la caisse et le châssis forment un seul élément). Un véhicule tout-terrain doit également être suffisamment élevé pour franchir des terrains accidentés de manière relativement aisée. En plus de la hauteur de la caisse, il doit avoir de bons angles d'attaque (pour monter les pentes) et de bons angles de sortie (pour éviter de racler le dessous en descente). Il doit aussi être équipé de dispositifs indispensables pour la conduite tout-terrain, tels que le blocage des différentiels (permettant aux roues d'un même axe de tourner simultanément, ce qui est utile lorsqu'une des roues est embourbée) et le rapport de réduction (similaire à une « super première vitesse »), nécessaire pour progresser sur des terrains difficiles nécessitant une grande force de traction.

Enfin, la puissance disponible dès les bas régimes est essentielle. Cela permet de franchir les obstacles avec force mais en douceur, sans avoir à appuyer à fond sur l'accélérateur, ce qui est particulièrement dangereux lorsque l'obstacle est franchi. [05]

C. Différents types de transmission de puissance des véhicules tout-terrain

1. Traction

Tout d'abord, un véhicule tout-terrain doit être équipé de quatre roues motrices. C'est un aspect caractéristique, bien que non exclusif, car certaines voitures l'utilisent sans être de véritables véhicules tout-terrain. Cependant, le fonctionnement des quatre roues motrices sur un SUV est très différent de celui d'autres véhicules, à l'exception de certains modèles. Il s'agit de la transmission 4WD (quatre roues motrices) ou de la traction 4x4 connectable, permettant au conducteur de sélectionner l'utilisation des deux axes ou d'un seul, avec généralement les modes suivants : 2H, 4H et 4L.

2. Modes de transmission

a) 2H

Ce mode signifie que seules les deux roues arrière (2 roues motrices) déplacent le véhicule. Il est recommandé lorsque la traction supplémentaire n'est pas nécessaire, car il consomme moins de carburant. Le "H" signifie "High" (haute vitesse), indiquant que le réducteur n'est pas utilisé.

b) 4H

Ce mode indique que les quatre roues sont motrices. Il est recommandé pour les situations de faible adhérence. Ce mode consomme plus de carburant car il entraîne davantage de composants de la transmission. Si le véhicule 4x4 n'a pas de différentiel central, le mode 4H ne peut pas être utilisé sur les routes normales, car cela endommagerait la transmission.

c) 4L

Ce mode est similaire au 4H, mais avec le réducteur activé. La voiture se déplacera plus lentement mais avec beaucoup plus de couple. Il est donc recommandé pour des situations très difficiles nécessitant une grande force ou un mouvement plus contrôlé des roues. Ce mode peut également être utilisé pour le contrôle de descente, permettant au véhicule de ne pas accélérer de lui-même et réduisant ainsi l'usure des freins. Il est nécessaire d'arrêter complètement le véhicule avant d'activer ce mode.

D. Différentiels

Les différentiels d'un véhicule tout-terrain sont aussi importants que les quatre roues motrices et peuvent devenir décisifs selon les circonstances. Ils permettent aux roues sur le même essieu ou entre deux essieux différents reliés l'un à l'autre de tourner à des vitesses différentes. Les voitures conventionnelles n'ont généralement qu'un seul différentiel placé dans l'axe des roues motrices. Le différentiel est essentiel pour permettre à la roue extérieure dans un virage de parcourir une distance plus grande que la roue intérieure.

Un effet secondaire de cette capacité est que la roue perdant de l'adhérence reçoit tout le couple, laissant la roue avec une bonne traction sans force. Pour pallier cet effet secondaire, les véhicules sportifs sont équipés de différentiels à glissement limité, qui éliminent ce problème dans des situations critiques, comme un virage où la voiture supporte beaucoup de poids à l'extérieur et laisse la roue intérieure avec peu ou pas d'adhérence.

E. La suspension d'un SUV

Les suspensions du véhicule tout-terrain ont des capacités très différentes de celles des voitures de route. On trouve des modèles avec une suspension rigide classique montée sur essieu, comme sur le Jeep Wrangler actuel, à l'avant et à l'arrière. Il existe aussi des modèles à parallélogramme déformable, comme sur le Mercedes Classe G et le Toyota Land Cruiser, à l'avant. L'un des aspects les plus importants est la course de suspension, qui doit être aussi longue que possible. Cela réduit le nombre de situations où une roue est suspendue sans toucher le sol, permettant ainsi de maintenir l'adhérence le plus longtemps possible.



Figure 14 :
Suspension d'un SUV

F. Essieu rigide

Les véhicules tout-terrains purs sont souvent équipés d'essieux rigides. Comme son nom l'indique, un essieu rigide est une structure "compacte" où une seule coque dure abrite tous les composants nécessaires au fonctionnement des deux roues de l'essieu : roulements, différentiels, freins, roues et homocinétique pour la direction (dans le cas de l'essieu avant). Le véhicule est "suspendu" à cet ensemble par le biais des ressorts et des amortisseurs.

Le principal avantage de l'essieu rigide est sa robustesse, rendant cette configuration difficile à casser. De plus, il permet généralement une course de suspension accrue, garantissant une bonne traction face à de grands obstacles. L'essieu rigide maintient également un garde au sol constant, indépendamment de la charge du véhicule ou des irrégularités du terrain. Son principal inconvénient est son poids important, ce qui constitue une partie de la masse non suspendue du véhicule. Cela nécessite plus de travail de la part de la suspension, rendant le véhicule plus maladroit sur la route

G. Suspension indépendante

Dans une suspension indépendante, chaque roue s'articule indépendamment par rapport à la caisse du véhicule, dans un système plus ou moins complexe selon l'architecture choisie. Le

différentiel reste fixe à la carrosserie, ce qui permet une suspension plus agile et légère. Cependant, cette configuration peut offrir un débattement plus limité, en raison des restrictions d'angle des arbres de transmission et des tirants. De plus, la garde au sol peut varier à chaque bosse, rendant plus difficile pour le conducteur de savoir quand le dessous du véhicule risque de heurter le sol.

Concernant les éléments déformables, les ressorts à lames sont aujourd'hui principalement utilisés sur les véhicules utilitaires. Par exemple, certains pick-ups, comme le Mahindra Goa Pik-Up, les utilisent à l'arrière pour supporter des charges plus lourdes. Actuellement, la majorité des SUV sont équipés de ressorts et d'amortisseurs.

Les amortisseurs présentent également diverses variantes : hydrauliques ou hydrauliques à vannes, à gaz, monotubes ou double tubes, réglables en dureté, ou rhéologiques dont le fluide s'épaissit lorsqu'il reçoit de l'électricité. Les caractéristiques essentielles d'un amortisseur sont une bonne résistance à la chaleur et une souplesse accrue par rapport aux modèles routiers.

La résistance à l'échauffement permet aux amortisseurs de remplir leur fonction plus longtemps, même sous des pressions élevées. Un réglage plus doux est essentiel pour absorber les grandes irrégularités rencontrées sur les routes.

H. Amortisseurs à bouteilles séparées

Les véhicules 4×4 peuvent être équipés d'un type d'amortisseur rare sur les véhicules routiers : les amortisseurs à bouteilles séparées. Comme son nom l'indique, cet amortisseur est relié hydrauliquement à une bouteille séparée qui sert de réservoir pour le liquide et le gaz (généralement de l'azote). Ce type d'amortisseur contient beaucoup plus d'huile qu'un amortisseur classique, une grande partie étant stockée dans la bouteille. Cela lui permet de mieux résister à l'échauffement, car il augmente la surface de refroidissement en contact avec l'air.

De plus, la bouteille est divisée en deux compartiments : l'un contenant du gaz et l'autre de l'huile, séparés par un piston. Le gaz ajuste la pression en fonction des chocs subis par le véhicule, offrant ainsi un fonctionnement plus progressif, ce qui est difficile à obtenir avec d'autres types d'amortisseurs dans des conditions aussi extrêmes.

I. Butée d'amortisseur

Les voitures de route sont équipées d'une butée de compression intégrée à l'intérieur des amortisseurs, généralement en caoutchouc. Cette butée protège l'amortisseur lors d'une forte secousse en empêchant que la course n'atteigne ses limites, par exemple en passant sur un ralentisseur. Dans le domaine des 4×4, on utilise aussi des pare-chocs extérieurs pour amortisseurs. Ces dispositifs sont constitués d'un morceau de caoutchouc qui absorbe la compression maximale et d'une bande textile qui protège l'amortisseur en cas d'extension maximale. Ils évitent que le ressort ne sorte de son logement ou que l'amortisseur ne se casse, par exemple après avoir sauté une dune.

J. Profondeur de gué

La profondeur de gué indique jusqu'à quel point un véhicule peut être immergé dans l'eau sans que celle-ci n'entre dans le collecteur d'admission ou n'endommage les composants électriques du moteur. Cela ne signifie pas qu'un véhicule peut rester immergé indéfiniment sans subir de dommages, car il n'est pas conçu pour une immersion prolongée. Cette mesure indique simplement la profondeur maximale d'eau que le véhicule peut traverser en toute sécurité.

Pour augmenter cette capacité, les véhicules sont parfois équipés de prises d'air qui s'étendent au-dessus du toit du SUV. Cela permet de garantir qu'aucune eau ne pénètre dans le moteur. Cependant, d'autres parties du moteur nécessitent également une protection pour éviter tout dommage ou dysfonctionnement



Figure 15 :

Profondeur de gué d'un véhicule tout-terrain

K. Angles de pente maximaux

Les angles de pente maximaux déterminent la capacité d'une voiture à manœuvrer sur des pentes sans basculer. L'angle de pente latérale maximal (ou angle de renversement) correspond à l'inclinaison maximale à laquelle un véhicule peut se pencher latéralement sans se renverser.

Par ailleurs, l'angle de montée maximal représente la pente la plus raide qu'un véhicule peut gravir sans basculer vers l'arrière. Ces deux paramètres sont essentiels pour évaluer la stabilité et la capacité d'un véhicule tout-terrain à affronter des terrains escarpés



Figure 16 :

Angles de pente maximaux

L. Les éléments d'un véhicule tout-terrain

1. Roues tout-terrain

Les roues montées sur le véhicule tout-terrain sont très différentes de celles des voitures de route, même pour les SUV ayant certaines capacités hors route. Elles sont facilement reconnaissables, même de loin, car elles possèdent des sculptures ou des rainures beaucoup plus profondes que celles des pneus conventionnels. De plus, elles ont généralement une plus grande chambre à air, ce qui améliore l'amortissement lors des impacts avec des pierres et d'autres obstacles.

Il y a aussi des caractéristiques moins visibles à l'œil nu. Les pneus tout-terrain sont conçus avec une structure renforcée pour supporter un poids plus élevé et des conditions de travail plus exigeantes. Cette résistance accrue est obtenue grâce à un cadre métallique interne plus solide, ce qui augmente leur indice de charge.

Chaque propriétaire d'un SUV tout-terrain connaît les différents types de pneus disponibles pour son véhicule. Peu importe le type choisi, il est recommandé que les pneus destinés au tout-terrain soient adaptés à des conditions telles que la boue et la neige. Cela est généralement indiqué sur le flanc du pneu par la mention M+S, qui signifie "Mud + Snow" (boue + neige).

M. Pneus tout-terrain

1. Pneus à tacos

Ces pneus sont conçus pour s'accrocher aux irrégularités du sol en creusant, ce qui améliore leur capacité à évacuer la boue. La profondeur des rainures est très grande, avec un minimum de 1,5 à 1,7 cm. Ils possèdent une carcasse très dure pour résister aux chocs. Bien qu'ils soient très efficaces sur des terrains difficiles, ils sont moins adaptés pour l'asphalte. Ils sont souvent identifiés par les abréviations M/T (Mud Terrain ou terrain boueux).

2. Pneus mixtes

Ces pneus ont une carcasse moins renforcée, ce qui les rend un peu plus doux tout en restant plus résistants que les pneus de route. Leurs sillons sont également un peu moins profonds, mais suffisamment pour assurer une bonne adhérence au sol. Ils sont marqués par les abréviations A/T (All Terrain), qui se traduisent par "tout terrain", mais ils sont en réalité conçus pour un usage mixte, environ 50% route et 50% tout-terrain.

3. Pneus asphalte

Malgré leur nom, les pneus asphalte ne sont pas exactement les mêmes que ceux des voitures de route. Leur carcasse est plus douce tout en étant capable de supporter une charge plus élevée que les pneus de voitures normales. Ils portent également le marquage M+S (Mud + Snow), dont nous avons déjà parlé. Ils ne sont pas idéaux pour le tout-terrain, car leurs flancs sont plus souples et leur dessin n'est pas conçu pour une adhérence optimale sur des terrains accidentés. Ils sont donc mieux adaptés à la conduite sur route. Pour des conditions tout-terrain, il est recommandé de les remplacer par des pneus tout-terrains ou mixtes lorsque vous quittez les routes goudronnées.

N. Plaques de protection de soubassement

Les véhicules tout-terrain traversent souvent des zones délicates où ils peuvent subir des impacts importants. C'est pourquoi ils sont généralement équipés de plaques de protection contre les chocs que d'autres véhicules ne pourraient pas supporter sans dommage. Les zones sensibles protégées incluent l'avant, le carter, les barres de direction, la boîte de vitesses, le transfert, les amortisseurs et le réservoir d'essence. Certains protecteurs couvrent plusieurs pièces simultanément, comme la boîte de vitesses et le transfert, ou l'avant et le carter. Il existe aussi des protecteurs complets en plusieurs sections qui recouvrent l'ensemble du carter, la boîte de vitesses et le transfert. Ces plaques varient en épaisseur, généralement de 2,5 mm à plus de 8 mm, et sont fabriquées en aluminium, en acier ou en duralumin.

O. Ailes et étriers

Les derniers équipements que peut avoir un SUV sont les défenses et les étriers. Les défenses sont des barres ajoutées à l'avant pour augmenter la résistance. Si vous souhaitez en installer sur votre véhicule, assurez-vous qu'elles sont homologuées, sinon vous risquez une amende et de ne pas passer le contrôle technique (ITV). Seules les voitures qui avaient ces équipements avant le renforcement de la réglementation peuvent les conserver en remplacement.

Les étriers sont des plateformes allongées qui facilitent la montée et la descente du SUV, particulièrement utiles pour les véhicules très hauts. Ils existent en différentes tailles et certains sont rétractables. Ils ne doivent en aucun cas être utilisés pour se maintenir lors de la circulation

du véhicule. Les étriers protègent également les côtés du véhicule en cas de contact avec le sol lors du franchissement d'obstacles, un phénomène communément appelé "grattage du ventre". Dans certains cas, les étriers permettent également de soulever le véhicule avec un cric Hi-Lift sans abîmer la carrosserie, ce qui est très utile en cas de besoin de dépannage ou de réparation en terrain accidenté. Ces crics spéciaux tout-terrains peuvent soulever le véhicule à plus d'un mètre du sol, donc ils doivent être placés à des endroits appropriés, comme les étriers.

P. Les Domaines d'utilisation d'un véhicule tout terrain

1. Domaine militaire

Les combats se déroulent fréquemment hors des routes carrossables, ce qui a conduit à une rapide mécanisation vers des véhicules tout-terrain, en particulier les célèbres « Jeep », ainsi que les chars d'assaut, véhicules blindés légers et camions. Si les tout-terrains sont toujours présents dans les armées, ils sont devenus très polyvalents avec des aménagements diversifiés. On les retrouve en tant que véhicules de soutien, de combat ou de renseignement. Les chars d'assaut sont ainsi présents comme véhicules tout-terrain de combat depuis le début du XXe siècle. Grâce à leurs chenilles et à leurs faibles porte-à-faux, ils sont capables de se déplacer sur tous types de terrains. Les forces armées irrégulières et les milices utilisent souvent des technivals : des 4x4 modifiés sur lesquels sont montées des armes lourdes. Il existe également divers camions militaires disposant de quatre, six, voire huit roues motrices. [05]



Figure 17 :
Véhicule militaire

2. Domaine de la protection civile

Les administrations ont longtemps été les principaux utilisateurs civils des véhicules tout-terrain. Les pompiers et les services des eaux et forêts sont parmi les premiers à en avoir été équipés, surtout pour leur capacité de charge, de traction et pour l'utilisation de matériels spécifiques comme le treuil.

Les sapeurs-pompiers doivent parfois accéder à des terrains non carrossables ou d'accès difficile dans le cadre de leurs interventions, notamment en ce qui concerne les feux de forêt. Ils ont donc besoin de véhicules tout-terrain lorsque les véhicules standards deviennent inefficaces.

En France, ces véhicules incluent :

- Le véhicule de liaison tout-terrain (VLTT) ou véhicule de liaison hors-route (VLHR), utilisé pour accéder à des zones difficilement accessibles par les véhicules routiers lors de reconnaissances ou de départs de feux.
- Le camion-citerne feux de forêts (CCF) : fourgon d'incendie. Les forestiers-sapeurs, les auxiliaires de protection de la forêt méditerranéenne (APFM de l'Office national des forêts) et les Comités communaux de feux de forêts (CCFF) utilisent également des véhicules tout-terrains. [05]



Figure 18 :

Véhicule de la protection civile

3. Domaine agricole

Les véhicules tout-terrains (VTT) jouent un rôle important dans l'agriculture, fournissant aux agriculteurs une variété d'outils pour diverses tâches. Voici comment les VTT sont utilisés dans ce contexte :

- Ils permettent de transporter efficacement des équipements agricoles tels que des outils et des sacs d'engrais et de pesticides.
- Ils facilitent également le déploiement de la main-d'œuvre agricole sur le terrain pour des activités telles que la plantation, la récolte et l'entretien des cultures.
- Les VTT sont utilisés pour les inspections de routine des cultures et la détection des ravageurs, des maladies et des problèmes d'irrigation.
- Ils aident à évaluer le rendement et à déterminer le besoin de fertilisation et de traitements des cultures.
- Les VTT équipés de pulvérisateurs sont utilisés pour l'application d'herbicides et de pesticides, tandis que d'autres modèles peuvent être équipés d'outils spécialisés pour le labour des champs.
- Ils sont adaptés au déplacement du bétail à travers les pâturages et les ranchs, ainsi qu'au transport du foin, des aliments pour animaux et du matériel d'élevage.
- Les agriculteurs utilisent des véhicules tout-terrains pour inspecter et entretenir les clôtures, les canaux d'irrigation et les routes agricoles, ainsi que pour réparer et entretenir les installations et équipements agricoles.
- Les VTT permettent non seulement de naviguer sur des terrains accidentés, des pentes abruptes et des terrains boueux pour des tâches spécifiques, mais offrent également un accès à des zones reculées des terres agricoles pour la surveillance et la réparation.
- Ils sont particulièrement efficaces dans les vergers et les cultures spécialisées, facilitant le déplacement entre les rangées d'arbres. [05]



Figure 19 :

Véhicule agricole

4. Domaine de loisir

Le tout-terrain de loisir est l'usage du véhicule tout-terrain comme engin de loisirs et de randonnées sur des chemins de terre ou pour le franchissement. En France, tous les véhicules à moteur ne peuvent se déplacer que sur des routes ou des chemins ouverts à la circulation. L'utilisation des tout-terrain est donc interdite en dehors des chemins depuis la loi dite Lalonde (alors ministre de l'Environnement) de 1991.

Son usage peut varier d'une utilisation touristique familiale en empruntant de préférence des chemins de terre, à une utilisation plus axée sur ses capacités de franchissement, notamment sur des terrains privés réservés à cet effet. Ils sont également utilisés pour des voyages à l'étranger dans des endroits peu ou pas accessibles aux véhicules standards, ou pour voyager en dehors des grands axes goudronnés, parfois en totale autonomie sur de longues distances, en faisant appel à des compétences en navigation qui se sont toutefois simplifiées avec l'avènement du GPS et de la cartographie embarquée sur ordinateur. Par sa polyvalence, le tout-terrain est aussi utilisé comme véhicule d'accès à la nature pour divers sports. En France, l'utilisation en tant que véhicule de loisirs sur des chemins non goudronnés peut se faire de manière isolée, dans l'un des nombreux clubs de loi 1901 implantés un peu partout dans l'Hexagone, ou en faisant appel à des professionnels qui organisent des balades, comme le salon annuel de Val-d'Isère, devenu le rendez-vous des passionnés de tout-terrain. [05]

5. Domain de sport

Le rallye Paris-Dakar a popularisé le véhicule tout-terrain en rallye-raid, mais il existe aussi d'autres usages, tels que les raids-aventures basés exclusivement sur des compétences de navigation (Rallye des Gazelles), ou le trial, qui consiste à franchir des zones non revêtues spécialement aménagées en montée, descente, dévers, etc. Il existe également des courses de monster trucks, des véhicules de cinq tonnes disputant des courses sur circuit. [05]



Figure 20 :

Véhicule tout train pour les domaines sportif

II. Les robots de lutte contre les incendies

A. Quelques exemples de robots de lutte contre les incendies

1. AirCore TAF35

Développé en 2017 par les entreprises italiennes EmiControls et allemande Magirus, le robot anti-incendie sur chenilles AirCore TAF35 pèse 3,9 tonnes et fonctionne avec un moteur diesel de 71 ch. Il peut être contrôlé à une distance de 300 m via télécommande, avec une vitesse moyenne de 9 km/h. Contrairement à un simple tuyau d'arrosage, il transforme l'eau en fines gouttelettes pour créer un brouillard grâce à une turbine, avec une capacité de débit allant jusqu'à 4700 L/min. Ce brouillard, projeté sur une distance de 60 m, est particulièrement efficace pour dissiper rapidement la chaleur des incendies, notamment les incendies de forêt. [06]



Figure 21 :
AirCore TAF35

2. Colossus

En 2017, l'entreprise française Shark Robotics a développé le robot anti-incendie Colossus. Ce robot télécommandé, avec une portée de 300 m, est alimenté par un moteur électrique et une batterie de 24 V, lui permettant de fonctionner pendant 5 heures en continu. Colossus peut se déplacer à une vitesse maximale de 4,5 km/h sur des terrains inclinés jusqu'à 40° et franchir des obstacles de 30 cm. Avec son châssis en acier aérospatial soudé à l'aluminium, il pèse 500 kg et peut résister à des températures allant jusqu'à 900 °C. Il est équipé d'un pulvérisateur d'eau et d'une caméra fonctionnant de jour comme de nuit, ainsi que d'un capteur de température. [06]



Figure 23 :
Colossus

3. Robots de Milrem Robotics

En collaboration avec les universités technologiques de Tartu et de Tallinn, la société estonienne Military Milrem Robotics a développé deux robots distincts. L'un est équipé d'un tuyau d'arrosage pour combattre les incendies, tandis que l'autre sert de soutien pour transporter du matériel sur de longues distances. Ces robots hybrides (diesel/électrique) ont une autonomie de 10 à 12 heures et peuvent atteindre une vitesse maximale de 20 km/h. Le système de pulvérisation d'eau/mousse offre un débit de 3000 L/min avec une portée de 62 m. Ils sont également équipés de capteurs chimiques et de caméras thermiques. [06]



Figure 24 :

Robots de Milrem Robotics

4. MVF-5

Le MVF-5, développé par l'entreprise croate DOK-ING, est alimenté par un moteur diesel turbocompressé de 205 kW. Il dispose d'un réservoir d'eau de 2 500 L et d'un réservoir de mousse de 500 L. Son châssis résiste à 400 °C pendant 30 minutes et à 700 °C pendant 15 minutes. Il peut être télécommandé jusqu'à une distance de 1 500 m et est équipé d'une caméra thermique, de huit caméras haute résolution, et de capteurs de gaz et de radiations. Le robot est doté d'un bras préhenseur capable de retirer des obstacles pesant jusqu'à 10 tonnes. [06]



Figure 25 :

MVF-5

5. Fire Ox

Lockheed Martin a développé un véhicule autonome à six roues motrices (6WD) pour la lutte contre les incendies, propulsé par un moteur diesel de 10 ch. Ce robot, doté d'une cellule à mousse de 12 gallons et d'un réservoir en polypropylène de 250 gallons, est équipé de caméras RGB et infrarouges. Il est également contrôlé à distance via télécommande. [06]



Figure 26 :

Fire Ox

6. LUF60

Le LUF60 est un robot à roues équipé d'un jet d'air et d'un jet d'eau, conçu pour résister à des températures allant jusqu'à 4 000 degrés Fahrenheit. Il fonctionne sur des pentes inclinées jusqu'à 20 degrés et dispose d'une buse avec un débit de 800 GPM, capable de pulvériser un mélange air-eau sur une distance de 80m. [06]



Figure 27 :

LUF60

7. Firemote 4800

Ce robot télécommandé et blindé en acier est équipé d'une buse de pulvérisation d'eau à haute pression et de caméras de navigation, ainsi que de caméras thermiques pour surveiller l'environnement. [06]



Figure 28 :
Firemote 4800

8. JMX-LT50

Le JMX-LT50 est un robot télécommandé équipé d'un réservoir d'eau et d'un système de pulvérisation d'eau sous pression. Grâce à sa structure à roues, il peut se déplacer sur différents types de terrains et surmonter les obstacles. [06]



Figure 29 :
JMX-LT50

9. SACI

Le robot SACI, équipé de chenilles trapézoïdales, peut surmonter divers obstacles et dispose d'une buse capable de pulvériser de l'eau ou de la mousse avec un débit de 7 600 L/min. Il est également doté de deux réservoirs de mousse de 25 L chacun et d'une portée de pulvérisation maximale de 60 m. [06]



Figure 30 :

SACI

10. ArchiBot-M

Conçu en Corée, l'ArchiBot-M dispose d'un système de suspension indépendant pour monter des escaliers et fonctionner à haute température, grâce à un système de refroidissement. [06]



Figure 31 :

ArchiBot-M

11. MyBOT2000

Développé en Malaisie en 2006, MyBOT2000 est un robot électrique télécommandé via un ordinateur. Il est doté de capteurs avancés et de systèmes d'imagerie. [06]



Figure 22 :

MyBOT2000

12. FIREROB

Ce robot à chenilles, conçu pour surveiller les scènes d'incendie, est équipé d'un jet d'eau haute pression. [06]



Figure 33 :

FIREROB

13. SmokeBot

Développé en partenariat entre la Suède, l'Angleterre, l'Allemagne et l'Autriche, le SmokeBot est conçu pour intervenir en milieu intérieur, aidant les pompiers dans des environnements à faible visibilité grâce à sa caméra radar et ses capteurs chimiques et thermiques [06]



Figure 34 :
SmokeBot

III. Conclusion

Les véhicules tout-terrains et les robots de lutte contre les incendies représentent une avancée technologique majeure dans la gestion des incendies, en particulier en milieu forestier. Leur capacité à opérer dans des environnements difficiles d'accès, combinée à leur efficacité dans des conditions extrêmes, permet d'améliorer considérablement la rapidité et la sécurité des interventions.

Le véhicule tout-terrain, grâce à sa robustesse et à sa maniabilité, offre une solution pratique pour transporter les équipements et les équipes sur des terrains accidentés. De son côté, le robot, doté de systèmes autonomes ou semi-autonomes, réduit les risques encourus par les secouristes en s'attaquant directement aux foyers d'incendie dans des zones dangereuses ou inaccessibles.

Ces technologies, en constante évolution, sont appelées à jouer un rôle de plus en plus important dans la lutte contre les incendies, en complément des méthodes traditionnelles. Le développement des prototypes présentés dans ce projet illustre le potentiel d'innovation dans ce domaine et ouvre la voie à de nouvelles stratégies pour mieux protéger les populations et l'environnement

Chapitre 03 :

LES COMPOSANTS ET LES PIECES UTILISEES

Chapitre 03 : Les Composants Et Les Pièces utilisées

I. Introduction

L'efficacité des véhicules tout-terrain dans la lutte contre les incendies dépend largement des pièces et composants qui les composent. La conception d'un prototype de véhicule adapté à cette mission exige une sélection minutieuse de technologies et d'éléments mécaniques capables de répondre aux défis spécifiques rencontrés lors des opérations de secours en milieu difficile. Ce chapitre explore les divers composants, allant des systèmes d'alimentation aux dispositifs de communication, en passant par les mécanismes de propulsion et de contrôle.

Nous aborderons d'abord les moteurs et les systèmes de transmission qui assurent la mobilité et la maniabilité du véhicule sur des terrains variés. Ensuite, nous examinerons les modules électroniques, tels que les cartes Arduino et les moteurs servo, qui permettent d'automatiser certaines fonctions essentielles. Enfin, nous analyserons l'importance des systèmes de communication, tels que les modules LoRa, qui garantissent une interaction fluide entre le véhicule et le personnel de secours, en facilitant le partage d'informations en temps réel. En somme, la compréhension des pièces et composants qui constituent notre prototype est crucial pour maximiser son efficacité dans la lutte contre les incendies

II. Moteur électrique DC

Un moteur électrique à courant continu (DC) est un dispositif qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Il utilise un champ magnétique pour générer un couple qui fait tourner l'arbre du moteur. Les moteurs électriques DC sont couramment utilisés dans de nombreuses applications industrielles, automobiles et domestiques en raison de leur fiabilité, de leur efficacité et de leur contrôlabilité.

Le fonctionnement d'un moteur électrique DC repose sur le principe de l'interaction entre le champ magnétique et le courant électrique. Le moteur est composé d'un stator fixe, qui génère un champ magnétique constant, et d'un rotor, qui contient les bobines de fil électrique. Lorsque le courant électrique circule à travers les bobines du rotor, il crée un champ magnétique qui réagit avec le champ magnétique du stator, provoquant ainsi la rotation de l'arbre du moteur.

Les moteurs électriques DC offrent plusieurs avantages par rapport à d'autres types de moteurs. Ils sont compacts, légers et peuvent fonctionner à des vitesses élevées. De plus, ils offrent un couple constant sur une large plage de vitesses, ce qui les rend idéaux pour des applications nécessitant un ajustement fin de la vitesse et du couple. En outre, ils peuvent être alimentés par des sources d'énergie variées, y compris des piles, des batteries et des alimentations électriques.

En conclusion, les moteurs électriques DC sont des dispositifs essentiels dans de nombreuses applications où un contrôle précis de la vitesse et du couple est nécessaire. Leur fonctionnement repose sur l'interaction entre le champ magnétique et le courant électrique, ce qui leur confère une grande polyvalence et une efficacité énergétique élevée. Grâce à leur conception compacte et légère, ils sont largement utilisés dans les industries, les automobiles et les applications domestiques. [07]



Figure 35 :
Moteur dc

1. Principe de fonctionnement d'un moteur électrique DC

Un moteur électrique DC, ou moteur à courant continu, est un type de moteur qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Il est basé sur le principe de l'interaction entre un champ magnétique et un courant électrique pour créer un mouvement de rotation. Les moteurs électriques DC sont largement utilisés dans de nombreuses applications, y compris les véhicules électriques, les machines industrielles et les outils électriques.

Le principe de fonctionnement d'un moteur électrique DC repose sur le phénomène de l'effet Lorentz, qui décrit l'interaction entre un champ magnétique et un courant électrique. Le moteur est composé d'un aimant permanent, appelé stator, et d'une bobine de fil électrique, appelée rotor. Lorsque le courant électrique circule à travers le rotor, il crée un champ magnétique autour de la bobine. Ce champ magnétique interagit avec le champ magnétique fixe du stator, ce qui provoque le mouvement de rotation du rotor.

- Le rotor est relié à l'axe de rotation du moteur et tourne lorsque le courant électrique circule dans la bobine.
- Le stator est composé d'un aimant permanent ou d'enroulements de fil électrique qui génèrent un champ magnétique fixe.

- Le commutateur est utilisé pour inverser la direction du courant électrique dans le rotor afin de maintenir le mouvement de rotation continu.

Le moteur électrique DC utilise l'effet Lorentz pour convertir l'énergie électrique en énergie mécanique. Lorsque le courant électrique est appliqué au rotor, il crée un champ magnétique qui interagit avec le champ magnétique du stator, ce qui génère un couple de rotation. Ce couple de rotation fait tourner le rotor et permet au moteur de fonctionner.

Caractéristiques	
Tension d'alimentation	4,5 à 15 V
Puissance nominale	19.8W
Intensité nominale	2.81A
Courant de blocage	Courant de blocage RE-540/1 à 6 V = 8,24 A courant de blocage RE-540/1 à 1,5 V = 2,41 A
Spécifications mécaniques	
Diamètre de l'axe	3.18mm
Construction de noyau	Noyau en fer
Dimensions	35,8 mm (Ø) x 50 mm
Longueur	50mm
Largeur	35.8mm
Poids	146g

Tableau 01 :

Représente caractéristique d'un moteur dc

III. Servomoteur

Le servomoteur appartient au groupe des moteurs électriques et se distingue par sa grande capacité de régulation et les nombreuses possibilités de commande qui en découlent. Il permet un réglage précis de la position angulaire, de l'accélération et de la vitesse. Pour offrir ces fonctionnalités, l'architecture essentielle du servomoteur comprend, en plus du moteur lui-même, un capteur de position du rotor. Ce capteur, également appelé capteur de position, capteur de rotation ou feedback moteur, enregistre précisément la position de l'arbre moteur à un moment donné.

L'électronique de régulation, appelée servo régulateur et généralement installée à l'extérieur du servomoteur, traite ces informations et ajuste le système en conséquence. Le

servo régulateur compare en temps réel les valeurs prévues et effectue les corrections nécessaires, créant ainsi un circuit de régulation. Ce processus se déroule en continu et vise à minimiser ou compenser les différences potentielles entre la valeur théorique et la valeur réelle. Le rotor maintient sa position définie ; les changements de position n'ont lieu que lorsqu'une charge, une pression ou d'autres conditions sont appliquées.

Le circuit de régulation est généralement intégré au servomoteur comme système de contrôle. Le fonctionnement peut être réglé en fonction du couple, de la vitesse ou de la position. Il est aussi possible de combiner ces variantes grâce à des systèmes de régulation complexes en cascade. [08]



Figure 36 :

Photo d'un servomoteur mg996

1. Fonctionnement un servomoteur

Un servomoteur fonctionne avec une fréquence de répétition et une impulsion minimale et maximale. Grâce à son câble de commande, des impulsions électriques de largeur variable, appelées PWM (modulation de largeur d'impulsion), sont envoyées pour contrôler sa position. En général, les servomoteurs sont conçus pour effectuer une rotation totale de 180°, soit 90° de chaque côté. Toutefois, ils peuvent être modifiés pour effectuer une rotation complète.

La position neutre du servomoteur correspond à une répartition égale de la rotation potentielle dans les deux sens. La largeur de l'impulsion détermine la position de l'arbre. Une impulsion de 1,5 milliseconde déplace l'arbre à 90°, tandis qu'une impulsion plus courte (inférieure à 1,5 ms) le fait tourner dans le sens inverse des aiguilles d'une montre jusqu'à sa position initiale. À l'inverse, une impulsion plus longue (supérieure à 1,5 ms) fera tourner l'arbre dans le sens horaire jusqu'à 180°. [08]

2. L'utilisation des servomoteurs

Les servomoteurs sont indispensables dans des applications nécessitant un positionnement mécanique précis, comme la robotique. Ils sont couramment utilisés dans des domaines tels que l'automatisation industrielle ou la chirurgie robotique.

Avec l'avènement des servomoteurs numériques, des progrès significatifs ont été réalisés en matière de contrôle et d'efficacité. Grâce à l'utilisation de microcontrôleurs dans les systèmes de commande, il est possible d'envoyer davantage d'impulsions de contrôle, augmentant ainsi la précision et les performances. De plus, des lectures plus fréquentes du potentiomètre et des pilotes plus petits et plus efficaces permettent de contrôler une puissance supérieure avec un circuit réduit. Il est également possible de programmer certains paramètres comme la course, la position centrale et la zone neutre, ce qui accroît encore la flexibilité du servomoteur.

Ces caractéristiques rendent le servomoteur indispensable dans le développement de nouvelles technologies industrielles. [07]

Spécifications physique	
Couple (4.8V)	1.8 kg-cm (25.0 oz/in)
Couple (6.0V)	2.2 kg-cm (30.6 oz/in)
Couple (7.4V)	2.6 kg-cm (36.1 oz/in)
Vitesse : 0.15	2.6 kg-cm (36.1 oz/in)
Tension de fonctionnement	4.8 ~ 7.4 Volts cc
Spécifications mécaniques	
Poids	16.0g (0.56 oz)
Type d'engrenage	Cuivre et Alu
Fréquence de travail	1520s / 50hz
Taille	1520s / 50hz

Tableau 02 :

Représente caractéristique d'un servomoteur

IV. Module LoRa Ra-02

Il existe plusieurs types de protocoles de télécommunication, notamment pour les réseaux informatiques et la télécommunication. LoRaWAN (pour *Long Range Wide-area Network*, en français "réseau étendu à longue portée") est l'un d'entre eux. LoRa est la technologie de modulation qui alimente ce protocole.

Créée en 2009 par Cycléo, une entreprise grenobloise rachetée en 2012 par Semtech

Corporation, la technologie LoRa permet de connecter des objets grâce à de petits capteurs peu coûteux, avec une autonomie de batterie pouvant se compter en années.

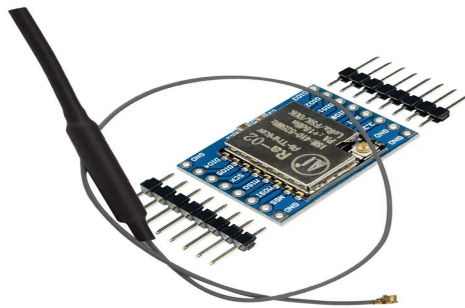


Figure 37 :

Lora ra-02

Ce protocole permet la communication à bas débit entre des objets à faible consommation d'énergie, via des ondes radio. Il utilise l'Internet et la technologie LoRa, reliés par des passerelles, participant ainsi à la troisième révolution du Web : l'Internet des objets (*Internet of Things* ou IoT). Cet IoT est souvent désigné sous le terme de Web 3.0, représentant une nouvelle ère d'inter connectivité entre Internet et divers objets connectés.

En effet, cet environnement IoT crée un espace physique en pleine expansion, où de nouvelles formes de connaissances et d'applications émergentes grâce aux objets connectés. De plus, LoRaWAN est largement utilisé dans les villes intelligentes, l'agriculture ou encore le monitoring industriel, en raison de ses capacités à connecter des dispositifs de manière efficace et économique. [08]

1. Principe de fonctionnement du module LoRa

Le réseau LoRa repose sur l'utilisation d'équipements sans fil à basse consommation pour fonctionner efficacement. Ces équipements permettent d'établir une relation entre les serveurs applicatifs en passant par des passerelles, utilisant ainsi la technique de modulation, plus précisément connue sous le nom de LoRa.

La communication entre les serveurs et les passerelles s'effectue via le protocole IP et un réseau Ethernet ou 3G. Le réseau adopte une topologie appelée « étoile d'étoiles » (star of stars), où les applications gérées par le serveur transitent par plusieurs passerelles interconnectées. Ces

passerelles, à leur tour, sont reliées aux équipements terminaux. Toutefois, ces équipements ne sont pas directement connectés aux passerelles, mais agissent comme des relais, acheminant les données jusqu'au serveur qui gère le réseau. Les équipements envoient des paquets de données, qui sont ensuite retransmis via les passerelles.

De plus, un même message provenant d'un équipement peut être retransmis par plusieurs passerelles, si la couverture radio et le signal le permettent. Ce phénomène, appelé duplication de message, est géré par le serveur hôte. Le dédoublement des paquets permet de localiser l'équipement en comparant les différents temps d'arrivée des paquets dupliqués. Il convient de noter que la passerelle LoRa ne permet pas une communication directe entre deux objets connectés sans passer par un serveur applicatif. [07]

Spécification électrique	Spécification physique
Fréquence de travail 410 ~ 441 MHz	Taille 21*36mm Type d'antenne SMA-K Poids 6,3g Surface 21 * 36 mm
Puissance de transmission 10 ~ 20 dBm	
Sensibilité de réception -146 dBm	
Débit de données d'air 0.3k ~ 19.2kbps	
Distance d'essai 3000 mètre	

Tableau 03 :

Représente caractéristique du module lora Ra-02

V. Module L298N

Le L298N est un contrôleur de moteur bipolaire haute puissance utilisé pour contrôler simultanément la vitesse et la direction de deux moteurs à courant continu (DC). Il permet également de contrôler un moteur à courant continu à vitesse variable via un signal PWM (Modulation de Largeur d'Impulsion). Ce module fonctionne avec une alimentation comprise entre 5V et 35V et peut fournir jusqu'à 2A de courant par canal. Il possède des entrées dédiées pour les commandes de direction et de vitesse, ainsi qu'une broche d'alimentation pour les moteurs. Il est couramment utilisé dans des projets de robotique et de contrôle de moteur, que ce soit pour des amateurs ou des professionnels.

Le L298N est un module extrêmement utile pour le contrôle de robots et d'ensembles mécanisés. Il permet de piloter deux moteurs à courant continu ou un moteur pas-à-pas à 4 fils et 2 phases. Il est conçu pour supporter des tensions élevées et des courants importants, tout en

utilisant une commande logique TTL (basse tension, faible courant, idéale pour un microcontrôleur).

Il peut piloter des charges inductives telles que des relais, des solénoïdes, des moteurs à courant continu, et des moteurs pas-à-pas. Ces moteurs peuvent être contrôlés aussi bien en vitesse (via PWM) qu'en direction. De plus, toutes les sorties de puissance du module sont protégées par des diodes anti-retours. [08]

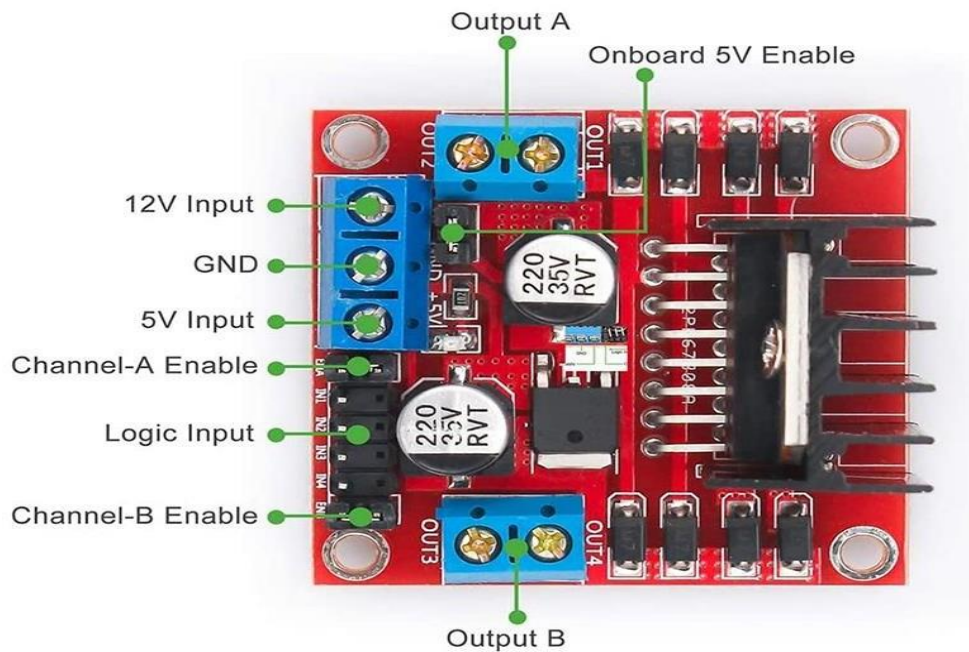


Figure 38 :

L298n

1. Le principe de fonctionnement du L298N

Le L298N est un circuit intégré double pont en H couramment utilisé pour contrôler des moteurs à courant continu (DC). Il permet de commander la direction et la vitesse de deux moteurs DC de manière indépendante, grâce à des signaux provenant d'un microcontrôleur tel qu'un Arduino.

a) Ponts en H

Le L298N dispose de deux ponts en H internes, chacun contrôlant un moteur. Un pont en H est un circuit permettant de connecter une charge (le moteur) à deux sources d'alimentation (la batterie et la terre) de différentes manières. Cela permet de contrôler la direction du courant dans le moteur.

b) Contrôle de la direction

En appliquant des signaux logiques (0 ou 1) aux broches de commande (IN1, IN2, IN3 et IN4), on active les interrupteurs du pont en H dans un état précis. Cela détermine le sens du courant dans le moteur et, par conséquent, sa direction de rotation.

c) Contrôle de la vitesse (PWM)

La vitesse du moteur peut être contrôlée en envoyant un signal PWM (Pulse Width Modulation) aux broches de commande. Le rapport cyclique du signal PWM détermine la proportion du temps pendant lequel le moteur est alimenté, influençant ainsi sa vitesse de rotation [07]

Caractéristiques	Spécifications
<ul style="list-style-type: none">• Léger, petit• Des capacités hors-pair pour contrôle moteur• Diodes de protections• Un dissipateur (pour dissiper la chaleur en cas de forte charge)• Un sélecteur pour sélectionner la source d'alimentation• 4 Sélecteurs pour les résistances pull up• Sortie pour 2 moteurs continu/ 1 moteur pas-à-pas (4 bobines, deux phases)• Indicateur LED pour sens de rotation moteur• Indicateur LED pour alimentation 5V• 4 trous de fixation standard	<ul style="list-style-type: none">• Composant de contrôle en puissance : L298N• Alimentation de la charge : de +6V à +35V• Courant Max (en pointe) : 2A• Tension de commande logique Vss : de +5 à +7V (alimentation interne de +5V)• Courant de commande logique : de 0 à 36mA• Tensions pour contrôle du sens : Low - 0.3V~1.5V, high : 2.3V~Vss• Tensions pour contrôle "Enable » : Low - 0.3V~1.5V, high : 2.3V~Vss• Puissance Max : 25W (Température 75 °C)• Température de fonctionnement : de -25°C à +130°C• Dimensions : 60mm x 54mm• Poids : ~48g

Tableau 04 :

Représente caractéristique L298n

VI. La carte Arduino

La carte Arduino est un outil permettant de construire divers dispositifs électroniques, tels que des systèmes d'automatisation et de robotique, destiné aux utilisateurs non professionnels. Les dispositifs Arduino sont capables de recevoir des signaux provenant de différents capteurs et de contrôler des actionneurs. Arduino peut fonctionner de manière autonome, communiquer avec un ordinateur, ou être contrôlé à distance via Internet ou Bluetooth.

L'Arduino est une petite carte équipée de son propre processeur et de sa propre mémoire, qui interagit étroitement avec son environnement. C'est la principale différence entre ce microprocesseur et les ordinateurs personnels, qui se limitent principalement à la réalité virtuelle. La carte Arduino dispose de nombreuses broches permettant de connecter toutes sortes de composants : capteurs, moteurs, actionneurs et cartes d'extension. [12]

1. Description de la carte

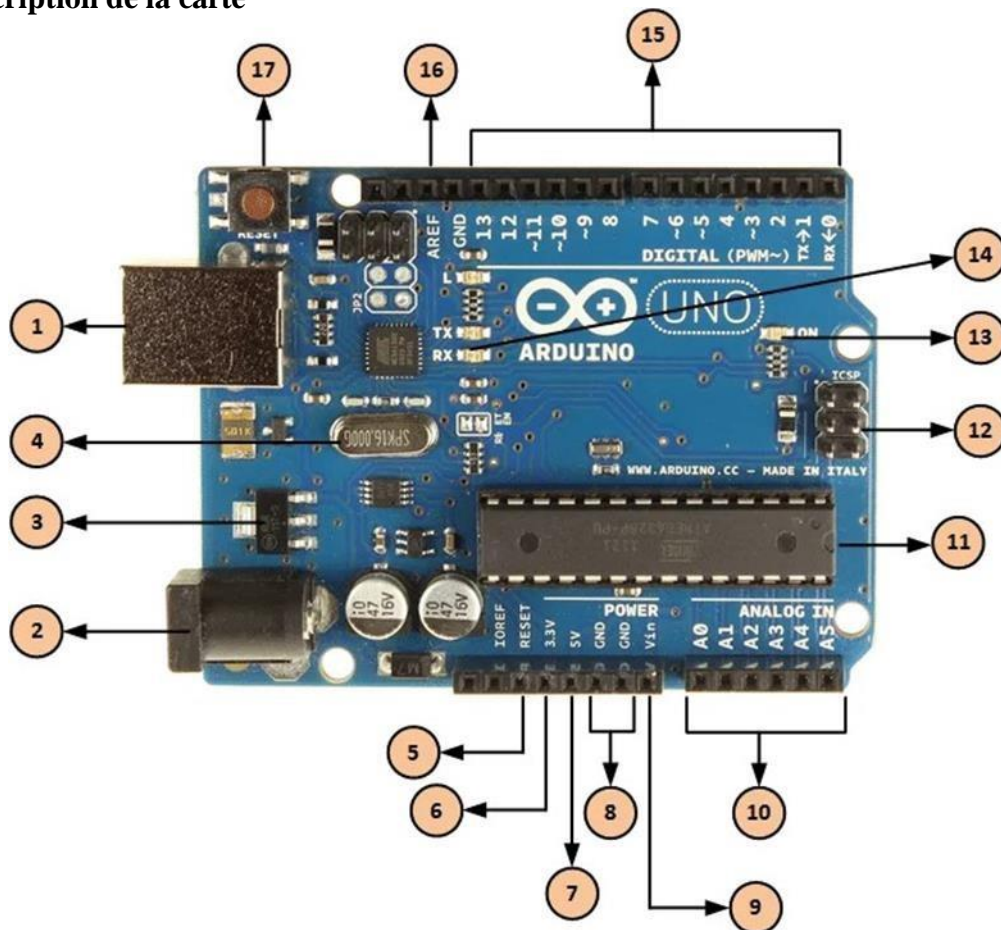


Figure 39 :

Carte Arduino Uno

(1)	<p><u>Alimentation / Programmation par USB :</u> La carte Arduino peut être alimentée avec un câble USB relié à votre ordinateur. Tout ce dont vous avez besoin, c'est de connecter votre carte Arduino à votre ordinateur avec le câble USB type A/B.</p>
(2)	<p><u>Alimentation via connecteur Jack DC Diamètre interne 2.1mm, externe 5.5mm :</u> La carte Arduino peut être directement alimentée par ce connecteur Jack DC. Ce connecteur (2) est relié au régulateur de tension intégré à la carte. L'alimentation via ce connecteur (2) doit être comprise entre 5 et 12 V.</p>
(3)	<p><u>Régulateur de tension :</u> La fonction du régulateur de tension (3) est de contrôler la tension d'alimentation de l'Arduino pour la stabiliser à la bonne tension du microcontrôleur et de chaque élément de la carte. La tension de stabilisation est de 5 Volts sur les cartes UNO.</p>
(4)	<p><u>Oscillateur à quartz :</u> Un oscillateur à quartz est un élément électronique qui a la particularité de posséder un quartz à l'intérieur qui vibre sous l'effet piézoélectrique. Les propriétés électromécaniques du quartz sont telles qu'on arrive à faire vibrer le quartz à une fréquence très précise. Cet élément aide l'Arduino UNO à calculer les données de temps. Sur le dessus du composant, on peut lire 16.000H9H. Cela signifie que la fréquence est de 16, 000,000 Hertz, soit 16 MHz.</p>
(5), (17)	<p><u>Arduino Reset :</u> Vous pouvez redémarrer un Arduino avec un « Reset ». Cela aura pour effet de redémarrer votre programme depuis le début. Vous pouvez redémarrer l'Arduino UNO de deux manières : soit en utilisant le bouton « Reset » (17), soit en connectant un bouton externe sur la broche de la carte Arduino mentionnée « RESET » (5).</p>
(6), (7), (8), (9)	<p><u>Broches (3.3, 5, GND, Vin) :</u> 3.3V (6) – Broche d'alimentation de tension 3.3 Volts 5V (7) – Broche d'alimentation de tension 5 Volts La plupart des composants destinés à fonctionner avec Arduino fonctionnent bien en 3.3 Volts ou 5 Volts. GND (8) (Ground / Masse) – Il y a plusieurs broches de ce type présentes sur la carte Arduino, elles sont toutes communes et peuvent être utilisées comme masse (potentiel 0 Volts) pour vos circuits. Vin (9) – Cette broche permet d'alimenter l'Arduino depuis une source de tension extérieure. Elle est reliée au circuit d'alimentation principale de la carte Arduino.</p>

(10)	<p><u>Broches analogiques :</u> L'Arduino UNO possède 5 broches d'entrées analogiques numérotée de A0 jusqu'à A5. Ces broches permettent de lire un signal analogique d'un capteur comme un capteur d'humidité ou de température. La carte Arduino utilise un convertisseur analogique/numérique (convertisseur CAN) pour permettre la lecture du signal par le microcontrôleur. Un signal sera converti sur 10 bits. La valeur pourra être lue sur une échelle 1024 points</p>
(11)	<p><u>Microcontrôleur principal :</u> Chaque carte Arduino possède son propre microcontrôleur (11). Vous pouvez le considérer comme le cerveau de la carte Arduino. Le microcontrôleur sur l'Arduino est légèrement différent d'une carte à l'autre. Les microcontrôleurs sont généralement de la société ATMEL. Vous devez savoir quel est le microcontrôleur de votre carte avant de charger un nouveau programme depuis l'IDE Arduino. Cette information est disponible directement sur le composant. Pour plus de détails sur la construction et les fonctions du microcontrôleur, vous pouvez vous référer à la fiche technique (data sheet).</p>
(12)	<p><u>Connecteur ICSP :</u> Avant tout, le connecteur ICSP (<i>In-Circuit Serial Programming</i>) est une connectique AVR comprenant les broches MOSI, MISO, SCK, RESET, VCC et GND. Il s'agit d'un connecteur de programmation. Ce connecteur permet entre autre de programmer directement le microcontrôleur sur les couches les plus basses (bootloader, code ASM...). C'est aussi un port appelé port SPI (Serial Peripheral Interface), qui permet de dialoguer avec d'autres composants SPI (écrans, capteurs, etc...). On ne va pas se préoccuper de ce connecteur au début des tutoriels.</p>
(13)	<p><u>Indicateur LED d'alimentation :</u> Ce voyant doit s'allumer lorsque vous branchez votre Arduino sur une source d'alimentation pour indiquer que votre carte est correctement alimentée. Si cette lumière ne s'allume pas, il y a un problème avec votre alimentation, et je ne parle pas de nourriture ici.</p>
(14)	<p><u>LEDs TX et RX :</u> Sur votre carte, vous trouverez deux indicateurs : TX (émission) et RX (réception). Ils apparaissent à deux endroits sur la carte Arduino UNO. Tout d'abord, sur les broches numériques 0 et 1, pour indiquer les broches responsables de la communication série. Deuxièmement, les LEDs TX et RX (13). Le voyant TX clignote à une vitesse variable lors de l'envoi des données série. La vitesse de clignotement dépend de la vitesse de transmission utilisée par la carte. RX clignote pendant le processus de réception. La vitesse de transmission s'exprime en bauds, soit l'équivalent du bits/seconde si le signal est binaire. A</p>

(15)	<p><u>Entrées/Sorties numériques :</u> La carte Arduino UNO possède 14 broches d'Entrées / Sorties numériques (15), dont 6 peuvent fournir une sortie PWM (Pulse Width Modulation). Ces broches peuvent être configurées pour fonctionner comme des broches numériques d'entrée pour lire des valeurs logiques (0 ou 1) ou numériques. Elles peuvent également être utilisées comme des broches de sortie pour piloter différents modules comme des LEDs, des relais, etc. Les broches étiquetées « ~ » peuvent être utilisées pour générer des PWM</p>
(16)	<p><u>Broche AREF :</u> AREF est l'acronyme anglais de « référence analogique ». Cette broche est parfois utilisée pour définir une tension de référence externe (entre 0 et 5 Volts) comme limite supérieure pour les broches d'entrée analogiques.</p>

Tableau 05 :

Description de la carte Arduino

VII. Conclusion

En conclusion, la conception d'un prototype de véhicule tout-terrain pour la lutte contre les incendies repose sur une intégration harmonieuse de divers composants mécaniques et électroniques. Chaque pièce, qu'il s'agisse des moteurs, des systèmes de transmission ou des modules de communication, joue un rôle crucial dans l'efficacité et la performance globale du véhicule.

L'analyse approfondie des différentes technologies et matériaux disponibles a permis d'identifier les solutions les plus adaptées aux exigences spécifiques des opérations de lutte contre les incendies. En choisissant des composants de qualité et en les intégrant de manière cohérente, notre prototype est non seulement capable d'affronter les terrains difficiles, mais aussi de répondre rapidement aux situations d'urgence.

Ainsi, ce chapitre a démontré que la réussite d'un tel projet ne repose pas uniquement sur l'innovation technique, mais également sur une compréhension approfondie des interactions entre les différents systèmes. L'optimisation de chaque élément du véhicule est essentielle pour garantir sa fiabilité et son efficacité sur le terrain, contribuant ainsi à une meilleure protection des vies humaines et de l'environnement face aux feux de forêt.

Chapitre 04 :

**OUTILS UTILISES POUR LA
REALISATION DU PROTOTYPE**

Chapitre 04 : Outils utilisés pour la réalisation du prototype

1. Introduction

Dans le monde actuel de l'ingénierie et de la conception, les outils logiciels jouent un rôle fondamental dans le développement de projets innovants et complexes. Parmi ces outils, SOLIDWORKS et Arduino se distinguent par leur polyvalence et leur complémentarité. SOLIDWORKS, un puissant logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO), est largement utilisé pour la modélisation 3D et la simulation dans divers domaines de l'ingénierie. Arduino, de son côté, est une plateforme open-source qui facilite la création de projets électroniques en permettant le prototypage rapide grâce à des microcontrôleurs programmables. Dans ce chapitre, nous allons examiner en détail ces deux outils. Nous explorerons d'abord leurs caractéristiques, leurs domaines d'application, et enfin, nous verrons comment ils peuvent être combinés pour réaliser des projets complexes, où la modélisation mécanique et l'électronique se rejoignent. Que ce soit pour concevoir un robot, une machine automatisée ou tout autre projet mêlant mécanique et électronique, SOLIDWORKS et Arduino offrent une synergie efficace pour transformer des idées en réalité.

II. SOLIDWORKS

1. Définition

SOLIDWORKS est utilisé par des millions de concepteurs et d'ingénieurs dans des centaines de milliers d'entreprises. C'est l'un des logiciels de conception et d'ingénierie les plus populaires sur le marché. Reconnu pour sa vaste gamme de fonctionnalités et son efficacité, SOLIDWORKS est employé dans de nombreux secteurs et professions à travers le monde.

Le logiciel repose sur la conception paramétrique, ce qui en fait un outil particulièrement efficace pour les concepteurs et ingénieurs. Cela signifie que les utilisateurs peuvent observer comment les modifications apportées à un composant affecteront les éléments voisins, voire l'ensemble de la solution. Par exemple, si la taille d'un composant augmente, cela influencera le joint ou le trou auquel il est attaché. Cette approche permet aux concepteurs de repérer et de corriger rapidement et facilement les éventuels problèmes.

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SOLIDWORKS a été racheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes.

Parmi les grandes organisations utilisant SOLIDWORKS, on peut citer Frankie, Équipement d'emballage MMC, AREVA, Patek Philippe, Mega Bloks, Axiome, ME2C, SACMO, Le Boulch, Robert Renaud, Lorenz Baumer, l'Opéra de Paris, Jtekt, GTT, ainsi que

plusieurs collèges et lycées français [5,11]



Figure 40 :

L'interface de SolidWorks

2. Fonctionnement

SOLIDWORKS est un modéleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère trois types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont interconnectés, de sorte que toute modification à un niveau quelconque se répercute automatiquement sur tous les fichiers concernés. Un dossier complet, contenant tous les éléments relatifs à un même système, constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SOLIDWORKS, notamment des utilitaires spécifiques à certains métiers (tôlerie, bois, BTP...), ainsi que des applications de simulation mécanique ou de création d'images de synthèse à partir des éléments de la maquette virtuelle.

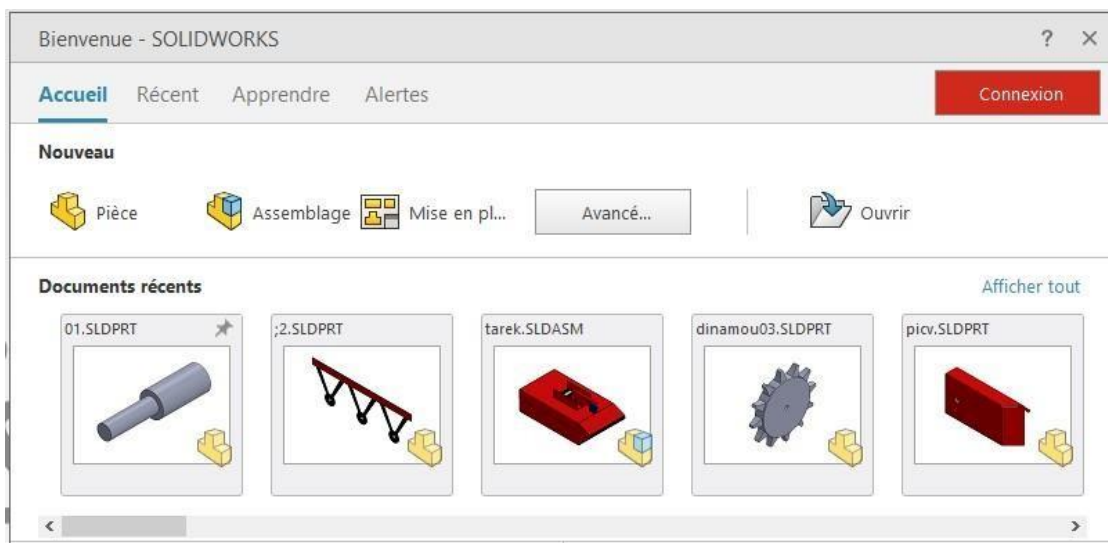


Figure 41 :

L'structure de document de SolidWorks

3. Les pièces

La pièce est un objet 3D monobloc. La manière de modéliser une telle entité dépend de la méthode adoptée par l'utilisateur. Comme de nombreux logiciels conviviaux, SOLIDWORKS permet d'obtenir un même résultat de différentes manières. C'est lors de la modification ou de l'exploitation des fichiers que l'on apprécie la bonne méthode.

Une pièce est constituée d'un ensemble de fonctions volumiques organisées avec des relations d'antériorité, géométriques et booléennes (ajout, retrait...). Cette organisation est visible dans l'arbre de construction, où chaque ligne correspond à une fonction qui peut être renommée selon les préférences de l'utilisateur. [10]

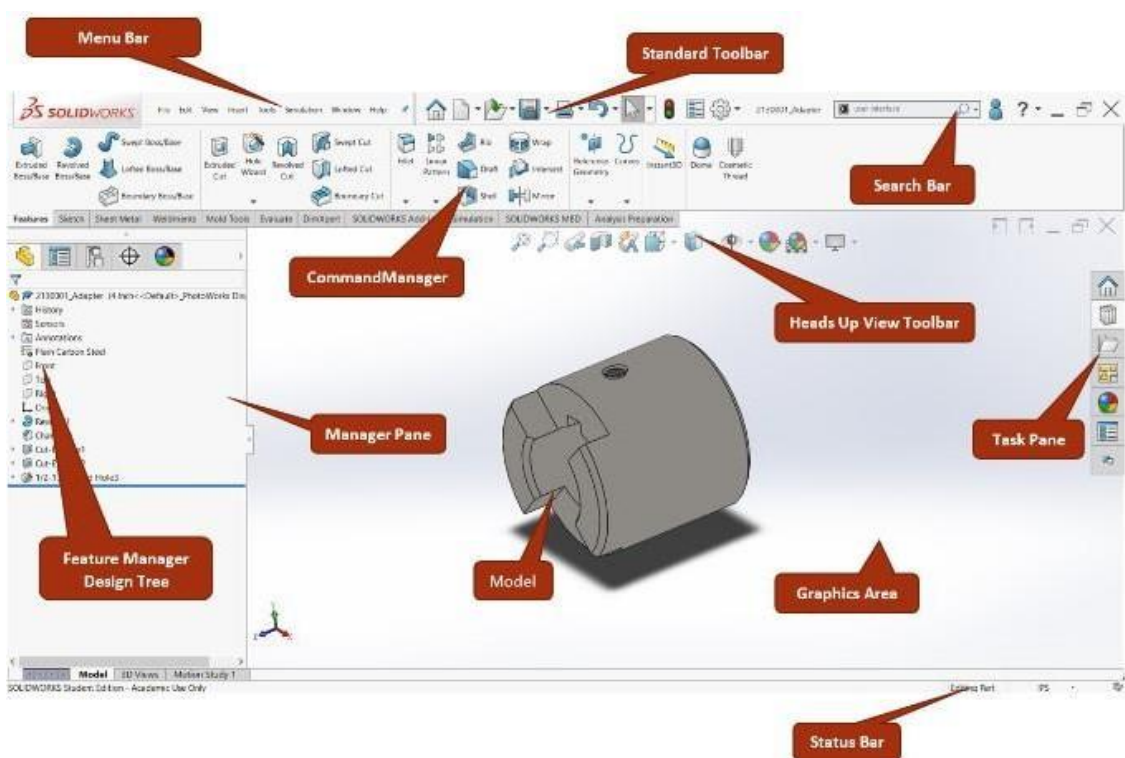


Figure 42 :

L'interface de logiciel SolidWorks

4. Les assemblages :

Les assemblages sont créés en juxtaposant des pièces. La mise en position des pièces est définie par un ensemble de contraintes d'assemblage, associant deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxiale...). Ces contraintes s'apparentent aux liaisons mécaniques entre les pièces. Si le mécanisme monté possède encore des degrés de liberté, il peut être manipulé virtuellement, permettant ainsi de procéder à des ajustements grâce

III. ARDUINO

1. Définition

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java multi-plateforme (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant à la fois d'éditeur de code et de compilateur. Il permet également de transférer le firmware (et le programme) via une liaison série (RS232, Bluetooth ou USB, selon le module).

Le langage de programmation utilisé est une variante allégée du C/C++, adaptée à l'utilisation des cartes Arduino, de leurs entrées/sorties, ainsi qu'aux bibliothèques associées. Toute personne familière avec ces langages peut facilement développer des programmes sur les plateformes Arduino. [12]

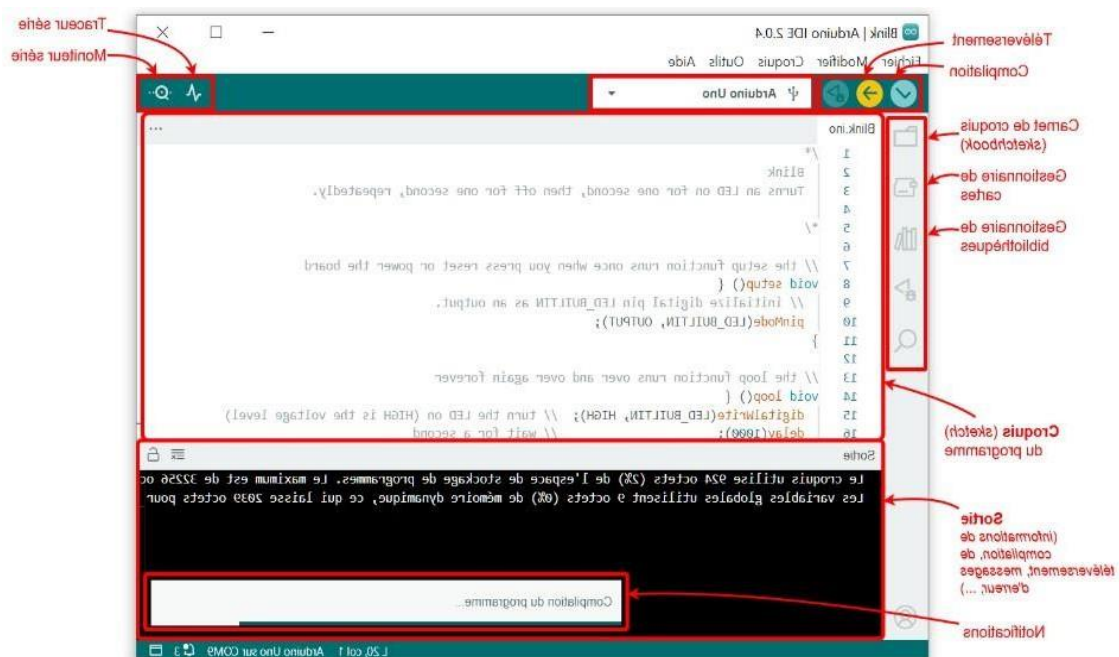


Figure 44 :

L'interface de logiciel arduino

2. Les fonctionnalités l'Arduino IDE

Le logiciel Arduino IDE possède plusieurs fonctionnalités qui vous seront utiles pour programmer.

3. Programmer sur Arduino

Le langage Arduino est dérivé des langages C et C++, mais il a été simplifié. Ces deux langages sont couramment utilisés pour programmer des cartes électroniques, il est donc logique que le langage Arduino en soit inspiré. En ouvrant un nouveau programme, vous verrez deux fonctions : void setup () et void loop (). Voyons comment elles fonctionnent.

a) void setup ()

La fonction void setup () s'exécute une seule fois au début du programme. Elle permet d'assigner une valeur à une variable, d'associer un composant à une broche, et d'initialiser une bibliothèque ou le moniteur série.

b) void loop ()

La fonction void loop () s'exécute en boucle dans votre programme.

C'est dans cette fonction que se déroulent les actions principales de votre programme, comme allumer une LED ou contrôler un moteur. [12]

IV. Conclusion

En conclusion, SOLIDWORKS et Arduino sont deux outils puissants, chacun répondant à des besoins spécifiques dans le domaine de l'ingénierie et de la conception. SOLIDWORKS, avec ses fonctionnalités avancées de modélisation 3D et ses modules de simulation, est un choix incontournable pour les concepteurs et ingénieurs en mécanique cherchant à créer des prototypes numériques précis et complexes. Son interface intuitive et ses capacités de gestion de données le rendent particulièrement efficace pour les équipes de développement.

D'un autre côté, Arduino se distingue par sa simplicité d'utilisation et sa flexibilité dans la création de projets électroniques. Accessible aux débutants comme aux experts, il permet de programmer des microcontrôleurs pour des applications variées, de l'automatisation à la robotique, en passant par l'Internet des objets. Grâce à sa vaste communauté et à ses nombreuses bibliothèques, Arduino offre un environnement idéal pour l'apprentissage et l'innovation.

Ces deux outils, bien que différents dans leur utilisation, se complètent parfaitement lorsqu'il s'agit de concevoir et de prototyper des systèmes électroniques et mécaniques. Ils constituent des alliés incontournables pour quiconque souhaite transformer ses idées en projets concrets et fonctionnels.

Chapitre 05 :

PRESENTATION DU PROTOTYPE

REALISE

Chapitre 05 : Application & réalisation du prototype

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons aborder en détail la conception mécanique et électrique d'un prototype de véhicule tout-terrain. Le développement d'un tel véhicule repose sur une synergie complexe entre les composants mécaniques, qui assurent la robustesse et la mobilité, et les systèmes électriques, qui permettent le contrôle et l'alimentation en énergie. La partie mécanique englobe la structure, le châssis, ainsi que le choix des matériaux pour garantir la durabilité et la capacité à franchir divers types de terrains. Quant à la partie électrique, elle se concentre sur les moteurs, les capteurs, la gestion de l'alimentation et le système de commande, éléments essentiels pour assurer une performance optimale et une interaction fluide entre l'opérateur et le véhicule. L'objectif de ce chapitre est de fournir une vue d'ensemble claire des choix techniques effectués et des défis rencontrés lors de la réalisation de ce prototype, tout en justifiant les solutions adoptées pour répondre aux exigences d'un véhicule tout-terrain performant et fiable.

II. Réalisation de la partie mécanique

La conception mécanique de notre prototype de véhicule tout-terrain a été réalisée en utilisant SolidWorks 2024, un logiciel de modélisation 3D avancé. L'une des fonctionnalités clés que nous avons exploitées est la fonction "Tôlerie", qui nous a permis de concevoir avec précision les différentes pièces en tôle nécessaires à la structure du véhicule. Cette fonctionnalité nous a offert la possibilité de créer des pièces avec des pliages et des découpes adaptés aux contraintes de fabrication. Une fois les modèles finalisés, ils ont été directement utilisés pour la découpe à l'aide d'une machine de découpe laser, garantissant une précision maximale et une fabrication rapide. Ce processus a simplifié l'assemblage des composants mécaniques, tout en assurant que les pièces répondent aux exigences de robustesse et de légèreté, essentielles pour la performance tout-terrain du véhicule.

1. La conception sur SolidWorks

La conception de notre prototype de véhicule tout-terrain a été réalisée à l'aide du logiciel SolidWorks 2024, en utilisant la fonction "Tôlerie" pour modéliser les différentes pièces mécaniques du véhicule. La première pièce, la couverture du véhicule, a été conçue avec des dimensions de 280 mm de longueur, 50 mm de hauteur et 150 mm de largeur. Cette couverture a pour rôle principal de protéger les composants électroniques du véhicule contre les impacts et

les intempéries, garantissant ainsi leur durabilité et leur bon fonctionnement dans des conditions difficiles. La deuxième pièce, le châssis du véhicule, mesure 280 mm de longueur, 30 mm de hauteur et 150 mm de largeur. Elle constitue la base structurelle du prototype, offrant à la fois stabilité et rigidité, tout en supportant le poids et les contraintes dynamiques lors de la conduite sur terrain accidenté. Enfin, la troisième pièce, le support de pignon et de chaîne motrice, a des dimensions de 250 mm de longueur et 70 mm de hauteur. Ce support est essentiel pour maintenir l'alignement et la tension de la chaîne motrice, assurant ainsi une transmission efficace de la puissance aux roues. Grâce à la fonction "Tôlerie" et à la découpe laser, chaque pièce a été fabriquée avec une grande précision, facilitant l'assemblage et optimisant les performances globales du véhicule.

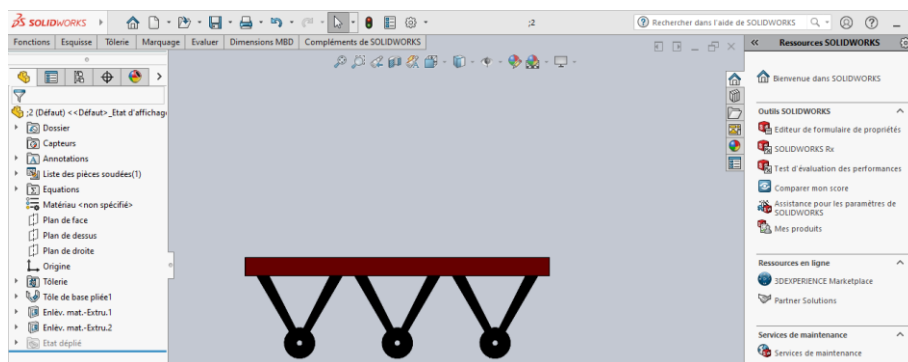
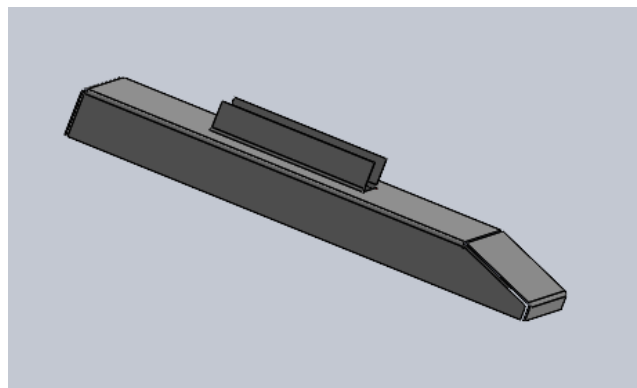
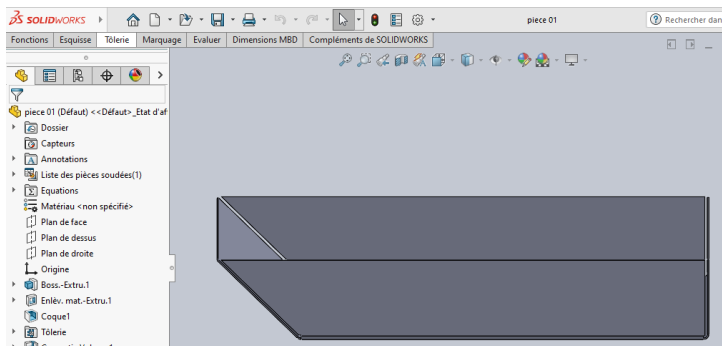


Figure 45 :

Pièce 01,02 et 03 en 3D sur solidWorks

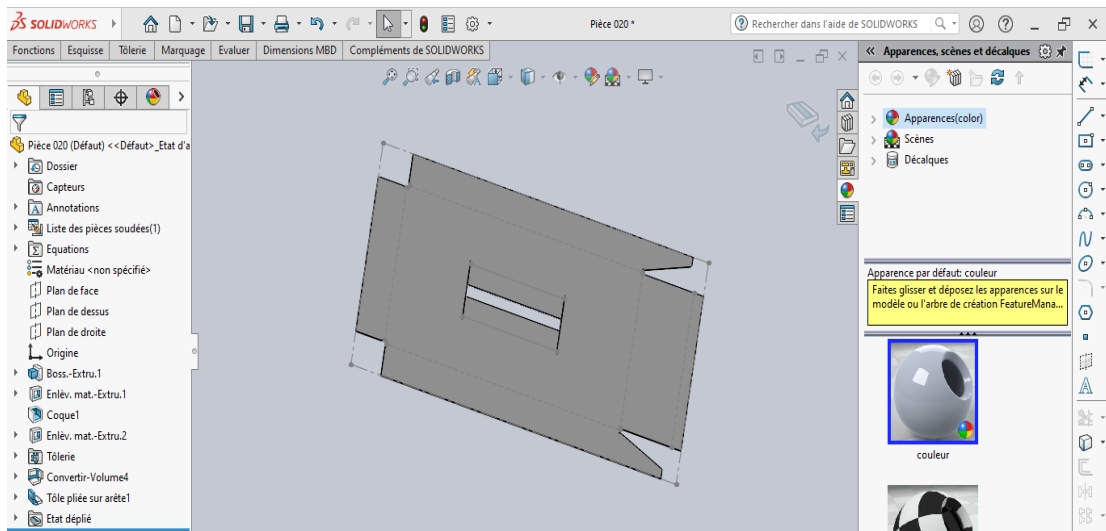
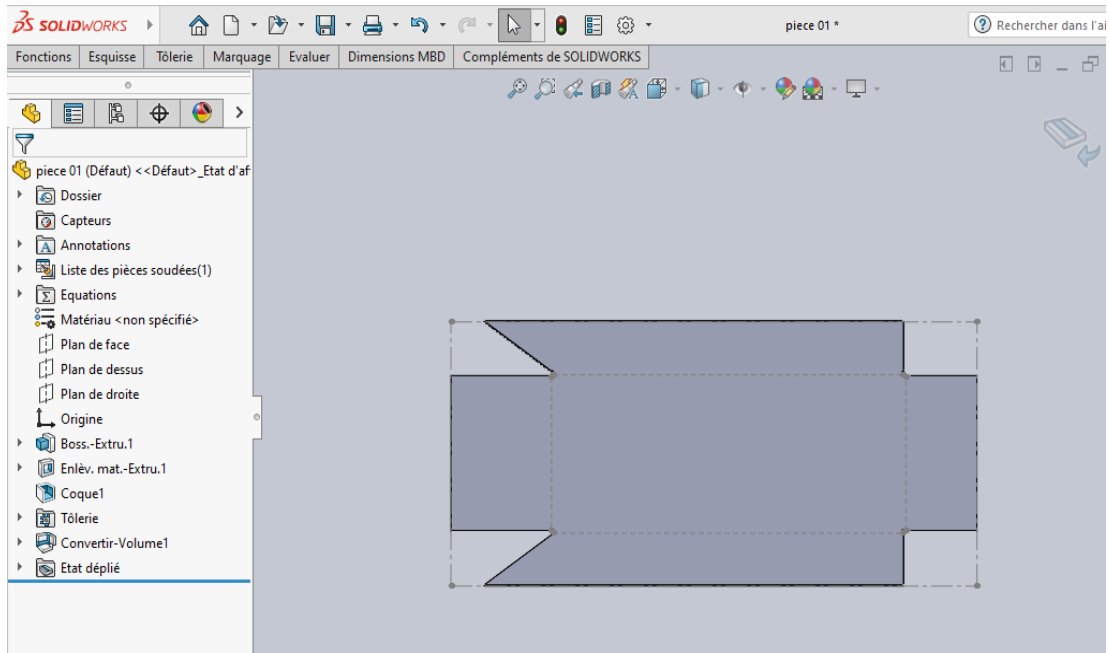


Figure 46 :

La réalisation des 2 pièces en utilisant la fonction tôlerie sur SolidWorks

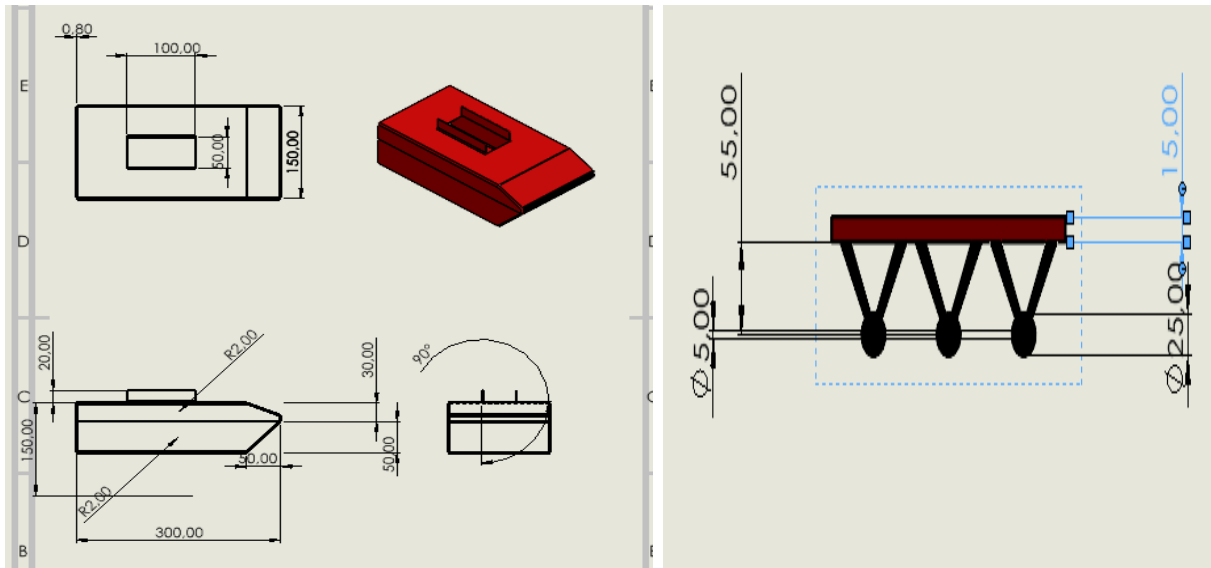


Figure 47 :

Les dimensions de prototype de véhicule tout-terrain

2. Découpeuse laser et pliage

La découpeuse laser est une machine utilisée pour découper ou graver des matériaux à l'aide d'un faisceau laser haute précision. Ce procédé permet d'obtenir des découpes nettes et précises sur divers matériaux, comme le métal, le bois ou le plastique, avec une grande rapidité et un niveau de détail très élevé. Le faisceau laser chauffe et vaporise la matière, créant ainsi des contours nets sans contact physique avec la surface, ce qui réduit l'usure des outils et permet des découpes complexes.

Après avoir finalisé la conception de notre prototype de véhicule tout-terrain dans SolidWorks, en utilisant notamment la fonction "Tôlerie" pour modéliser les pièces en tôle, nous avons exporté le modèle 3D en un fichier au format DXF (Drawing Exchange Format). Ce fichier DXF, spécialement adapté pour les machines de découpe, contient toutes les informations de géométrie nécessaires pour guider la découpe laser. Grâce au logiciel LaserCut, utilisé pour contrôler la machine de découpe laser, nous avons pu charger ce fichier DXF et paramétrer les paramètres de découpe (comme la vitesse et la puissance du faisceau). La découpeuse laser a alors transformé le modèle numérique en un produit physique final, découpé avec précision selon les spécifications établies dans SolidWorks. Cela nous a permis d'obtenir les pièces mécaniques du prototype prêtes à être assemblées.

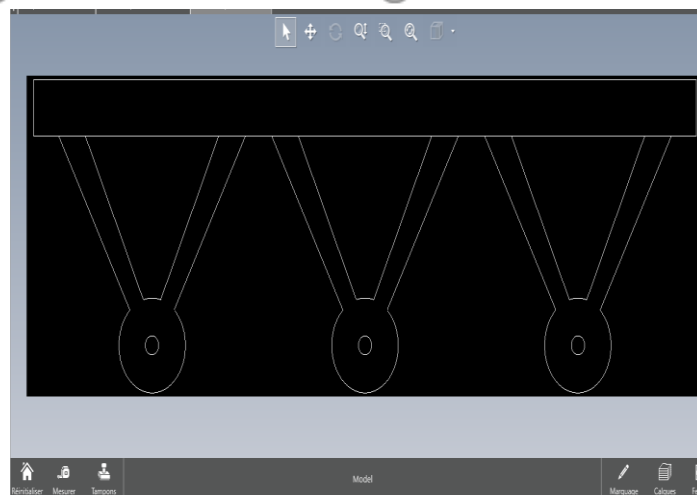
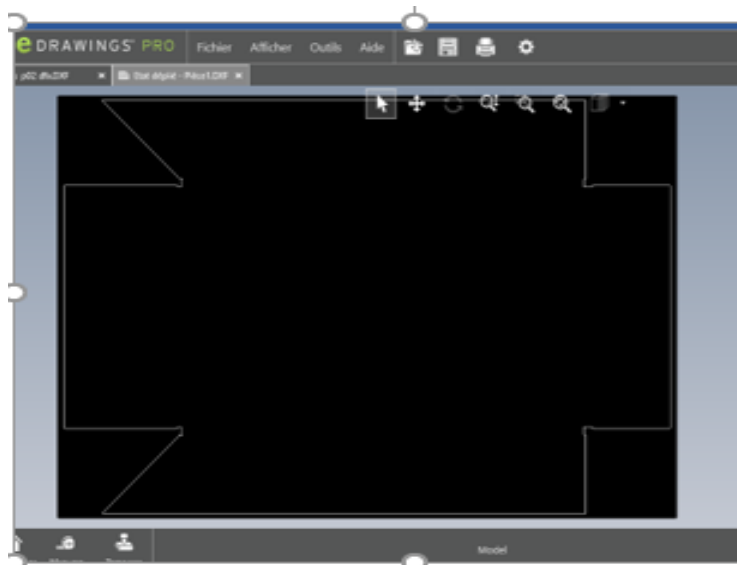
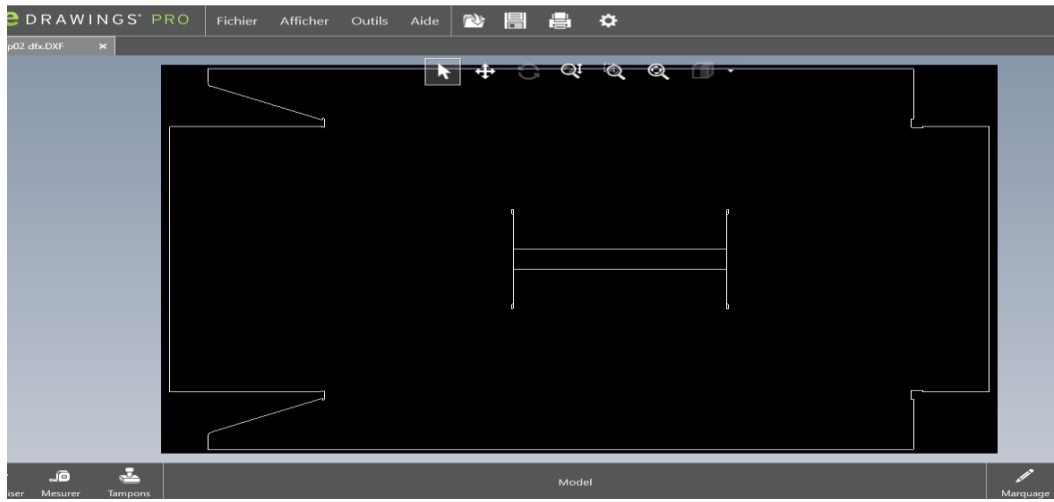


Figure 48 :

Plane dfx de prototype de vehicule tout-terrain



Figure 49 :
Découpeuse laser

3. L'assemblage

L'assemblage de notre prototype de véhicule tout-terrain a été une étape cruciale pour garantir la solidité et la fonctionnalité du produit final. La première pièce, la couverture, a été conçue pour protéger les composants électroniques sensibles du véhicule contre les intempéries, les chocs et la poussière. Lors de l'assemblage, cette couverture a été fixée sur la structure principale avec des points d'attache précis, assurant une protection hermétique tout en permettant un accès facile aux composants internes en cas de maintenance.

La deuxième pièce, le châssis, constitue la base structurelle du véhicule. Elle a été assemblée en premier, servant de support pour l'intégration des autres composants mécaniques et électroniques. Le châssis a été conçu pour offrir rigidité et stabilité, tout en restant suffisamment léger pour ne pas compromettre la mobilité du véhicule sur des terrains accidentés. L'ajustement précis du châssis, réalisé grâce aux découpes laser, a permis un assemblage rapide et sans défauts.

Enfin, la troisième pièce, le support de pignon et de chaîne motrice, a été intégrée au châssis pour assurer la transmission de la puissance aux roues. Ce support a été assemblé avec soin pour garantir un alignement parfait de la chaîne et des pignons, optimisant ainsi le rendement mécanique du système de transmission. L'assemblage de ces trois composants clés a abouti à une structure fonctionnelle, prête à subir des tests de performance sur différents types de terrains.

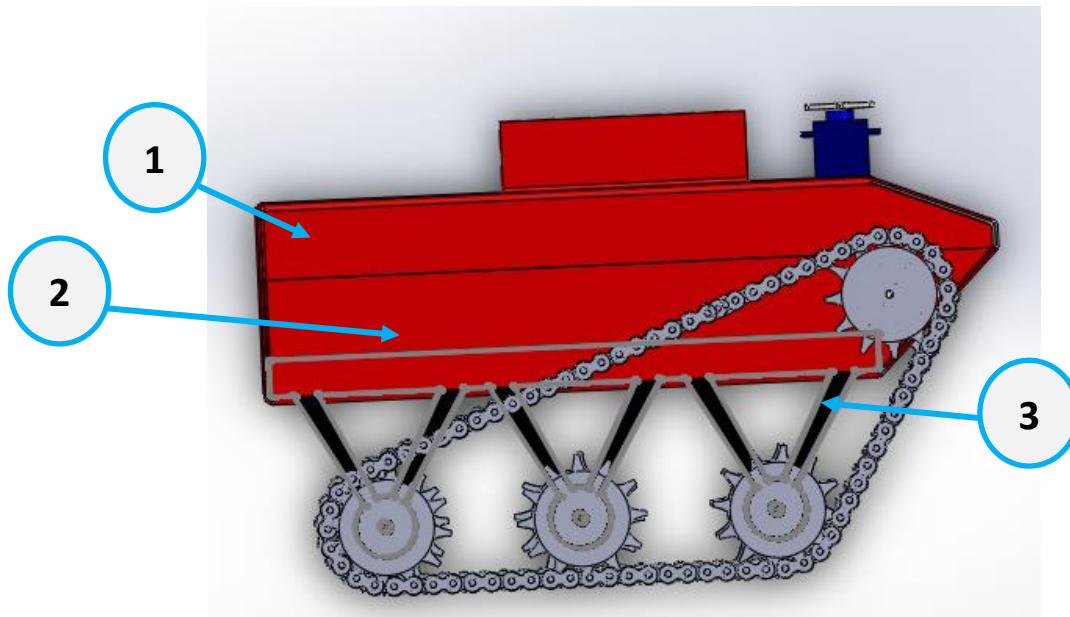


Figure 50 :

Prototype de véhicule tout-terrain sur SOLIDWORKS

1	Carrosserie du véhicule
2	Châssis et bas de caisse du véhicule
3	Support de pignon et de chaine motrice

Tableau 06 :

Les noms des pièces de prototype

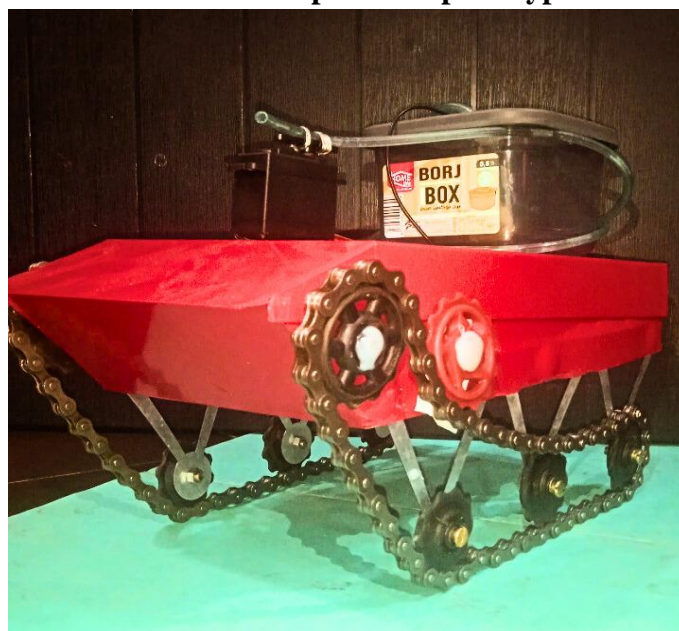


Figure 51 :

Prototype réel de véhicule tout-terrain

4. Le réservoir en plastique de 0,495L dans le prototype

Dans la conception de mon prototype de véhicule tout-terrain pour la lutte contre les incendies, j'ai opté pour un réservoir en plastique d'une capacité de 0,495 litre. Ce choix a été guidé par la nécessité de maintenir un équilibre optimal entre légèreté et efficacité. Le plastique, en tant que matériau, présente plusieurs avantages : il est à la fois résistant à la corrosion et léger, ce qui permet de minimiser la charge sur le véhicule tout en garantissant une durabilité face aux conditions environnementales difficiles.

Bien que sa capacité soit relativement modeste, ce réservoir de 0,495 litre est adapté aux interventions de courte durée ou à des zones de feux localisés, permettant d'agir rapidement pour contenir les flammes avant qu'elles ne se propagent. Sa petite taille offre également une plus grande flexibilité en termes d'intégration au châssis du véhicule, sans compromettre la maniabilité ou la stabilité de ce dernier sur des terrains accidentés.

Le réservoir est connecté à un système de pompage qui assure une utilisation optimale de l'eau disponible, projetant le liquide avec une pression suffisante pour éteindre des petits foyers ou pour agir en complément d'autres moyens d'extinction. Ce choix de réservoir permet également une maintenance facile, avec un remplissage rapide et une manipulation pratique sur le terrain.



Figure 52 :

Réservoir d'eau 0.495L

III. Réalisation de la Partie électrique

La partie électrique de notre prototype de véhicule tout-terrain pour la lutte contre les incendies repose sur une combinaison de composants électroniques essentiels. Nous avons utilisé des moteurs DC, contrôlés par une carte Arduino reliée à un module L298n, pour gérer la propulsion et les mouvements du véhicule. Pour assurer une communication sans fil à longue portée entre le véhicule et la manette de commande, nous avons intégré un module LoRa. Le véhicule est également équipé d'un servo moteur pour contrôler la direction du tuyau d'extinction, et d'une pompe à eau pour alimenter le système d'extinction. La manette est constituée de deux joysticks, également reliés à une carte Arduino, et utilise un autre module LoRa pour transmettre les commandes au véhicule. Le tout est programmé et contrôlé grâce au logiciel Arduino, permettant une gestion fluide et précise de l'ensemble du circuit électrique

1. Composant électronique de prototype de véhicule tout-terrain

Dans la partie électrique de notre prototype de véhicule tout-terrain dédié à la lutte contre les incendies, la commande à distance a été mise en place à l'aide de deux joysticks connectés à une carte Arduino. Ces joysticks permettent de contrôler facilement la direction et la vitesse du véhicule. Pour assurer une communication sans fil fiable entre la manette et le véhicule, nous avons utilisé un module LoRa, qui offre une portée étendue et une transmission stable des commandes, même en milieu difficile ou sur de longues distances. Grâce à ce système, l'opérateur peut diriger le véhicule à distance avec précision, en ajustant les mouvements et les actions du véhicule en temps réel, ce qui est essentiel pour les opérations dans des zones dangereuses ou inaccessibles.

2. La manette de prototype de véhicule tout-terrain

Dans la partie électrique de notre prototype de véhicule tout-terrain dédié à la lutte contre les incendies, la commande à distance a été mise en place à l'aide de deux joysticks connectés à une carte Arduino. Ces joysticks permettent de contrôler facilement la direction et la vitesse du véhicule. Pour assurer une communication sans fil fiable entre la manette et le véhicule, nous avons utilisé un module LoRa, qui offre une portée étendue et une transmission stable des commandes, même en milieu difficile ou sur de longues distances. Grâce à ce système, l'opérateur peut diriger le véhicule à distance avec précision, en ajustant les mouvements et les actions du véhicule en temps réel, ce qui est essentiel pour les opérations dans des zones dangereuses ou inaccessibles.

Composant	Quantité
Moteur dc 12v	2
Servomoteur MG996	1
Arduino uno	2
Module l298n	1
Capteur lora ra-02	2
Joystick	2
Batterie 12v	1
Batterie 9v	1
Pompe eau	1

Tableau 07 :

Les composants électroniques

3. Les circuits électriques

Le circuit électrique de notre prototype de véhicule tout-terrain dédié à la lutte contre les incendies a été conçu pour garantir une performance optimale tout en étant simple à contrôler via une manette. Le cœur du système est alimenté par une batterie de 12 volts, qui fournit l'énergie nécessaire aux deux moteurs DC de 12 volts responsables de la propulsion du véhicule. Ces moteurs sont contrôlés par une carte Arduino reliée à un module L298n, qui permet de gérer la vitesse et la direction en modulant la tension envoyée aux moteurs.

La manette de contrôle, quant à elle, est équipée de deux joysticks reliés à une carte Arduino, qui capte les mouvements du conducteur pour commander le véhicule. Les signaux générés par la manette sont envoyés au véhicule via un module LoRa, un système de communication sans fil à longue portée. Ce module permet une transmission fiable des commandes même à distance, ce qui est crucial lors d'interventions dans des zones dangereuses ou isolées.

En plus du contrôle de mouvement, le circuit inclut une pompe à eau qui permet de puiser l'eau depuis un réservoir intégré au véhicule. L'eau est acheminée à travers un tuyau monté sur un servo moteur, lequel est également contrôlé par la carte Arduino. Ce système permet de diriger le tuyau avec précision et d'orienter le jet d'eau vers les zones en feu. L'intégration de ces composants électriques dans le circuit assure une coordination fluide entre les commandes de la manette et les actions du véhicule, en offrant une maniabilité et une efficacité accrues pour les interventions sur le terrain

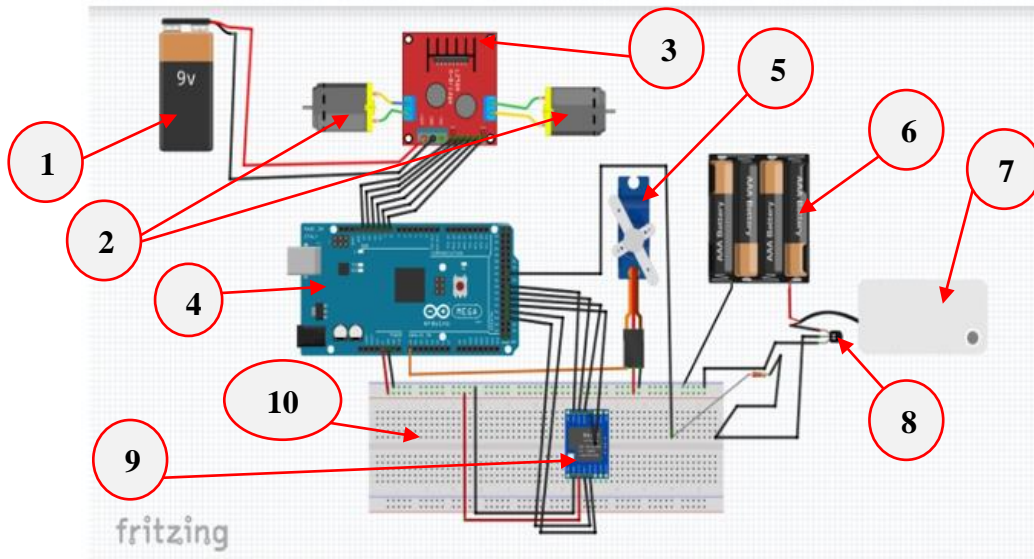


Figure 53 :

Le circuit électrique de prototype de véhicule tout-terrain

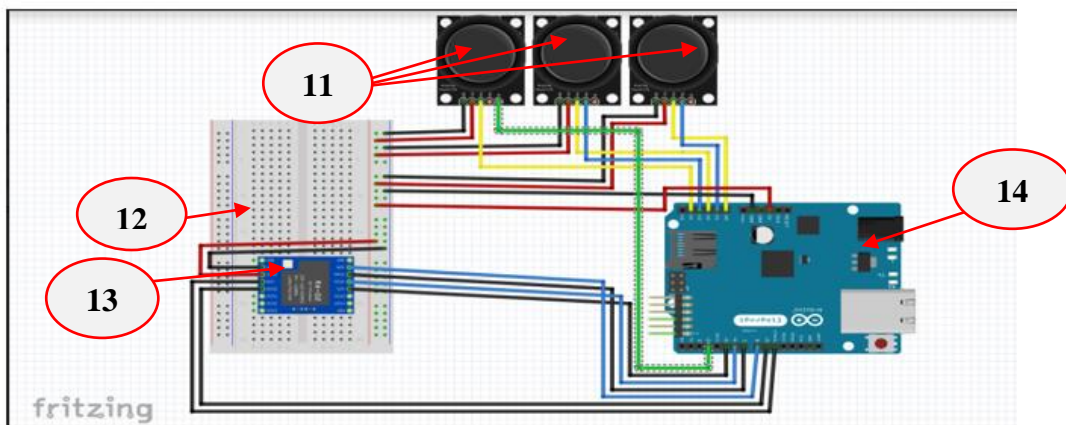


Figure 54 :

Le circuit électrique de la manette

(1)	Batterie 9v	(8)	Transistor NPN
(2)	Moteur dc	(9)	Lora Ra-02(récepteur)
(3)	L298n	(10)	breadboard
(4)	Arduino mega	(11)	Joystick
(5)	Servo moteur Mg996	(12)	Small breadboard
(6)	Batterie 9v	(13)	Lora Ra-02(emeteur)
(7)	Pompe d'eau	(14)	Arduino uno

Tableau 08 :

Les composants électroniques des circuits sur fritzing

IV. Réalisation de la partie informatique

1. Programme Arduino

Le programme qui permet de commander le circuit de notre prototype de véhicule tout-terrain a été développé en utilisant le logiciel Arduino, qui repose sur le langage de programmation C++. Ce programme gère l'ensemble des fonctions du véhicule, y compris le contrôle des moteurs, la direction, et la communication à distance via le module LoRa.

Grâce à Arduino, nous avons pu configurer la carte de contrôle pour interpréter les signaux reçus de la manette sans fil et les traduire en actions spécifiques, telles que le déplacement en avant, en arrière, ou les virages. Le programme utilise également le module L298N pour contrôler la vitesse et la direction des moteurs à courant continu (DC), assurant une réponse fluide et précise aux commandes.

En exploitant la puissance du langage C++, nous avons pu structurer le code pour rendre le système facilement modifiable et évolutif. Chaque composant électronique du circuit est intégré dans le programme via des bibliothèques, ce qui permet une gestion simplifiée des différentes fonctionnalités, comme la gestion de la pompe à eau ou des capteurs. Ce programme assure non seulement la stabilité du système, mais optimise également l'efficacité énergétique, en s'assurant que chaque composant fonctionne de manière coordonnée pour une performance maximale sur le terrain

2. Le programme effectué sur le logiciel Arduino IDE

a) Manette:

```
#include <SPI.h>;
#include <LoRa.h>;
#define NSS_PIN 10
Void setup () {
Serial.begin (9600);
LoRa.begin (915E6);
pinMode (NSS_PIN, OUTPUT);
}
Void loop () {
int joystick1X = analogRead(A0);
int joystick1Y = analogRead(A3);
int joystick2X = analogRead(A1);
int joystick2Y = analogRead(A4);
```

```

int joystick3Y = analogRead(A5);
LoRa.beginPacket();
LoRa.print(joystick1X); LoRa.print(",");
LoRa.print(joystick1Y); LoRa.print(",");
LoRa.print(joystick2X); LoRa.print(",");
LoRa.print(joystick2Y); LoRa.print(",");
LoRa.print(joystick3Y);
LoRa.endPacket();
delay(100);
}

```

b) vehicule:

```

#include <SPI.h>;
#include <LoRa.h>;
#include <Servo.h>;
#define IN1 2
#define IN2 3
#define ENA 4
#define IN3 5
#define IN4 6
#define ENB 7
#define SERVO_PIN 9
#define NSS_PIN 10
Servo myServo;
Void setup () {
Serial.begin(9600);
LoRa.begin(915E6);
myServo.attach(SERVO_PIN);
pinMode(IN1, OUTPUT);
pinMode(IN2, OUTPUT);
pinMode(ENA, OUTPUT);
pinMode(IN3, OUTPUT);
pinMode(IN4, OUTPUT);
pinMode(ENB, OUTPUT);

```

```

}
void loop() {
int packetSize = LoRa.parsePacket();
if (packetSize) {
String data = LoRa.readString();
int comma1 = data.indexOf('#39;,#39;);
int comma2 = data.indexOf('#39;,#39;, comma1 + 1);
int comma3 = data.indexOf('#39;,#39;, comma2 + 1);
int joystick1X = data.substring(0, comma1).toInt();
int joystick1Y = data.substring(comma1 + 1, comma2).toInt();
int joystick2X = data.substring(comma2 + 1, comma3).toInt();
int joystick2Y = data.substring(comma3 + 1).toInt();
if (joystick1X < 400) {
digitalWrite(IN1, HIGH);
digitalWrite(IN2, LOW);
analogWrite(ENA, map(joystick1Y, 0, 400, 0, 255));
} else if (joystick1X > 600) {
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
analogWrite(ENA, map(joystick1Y, 600, 1023, 0, 255));
} else {
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, LOW);
analogWrite(ENA, 0);
}
if (joystick2X < 400) {
digitalWrite(IN3, HIGH);
digitalWrite(IN4, LOW);
analogWrite(ENB, map(joystick2Y, 0, 400, 0, 255));
} else if (joystick2X > 600) {
digitalWrite(IN3, LOW);
digitalWrite(IN4, HIGH);
analogWrite(ENB, map(joystick2Y, 600, 1023, 0, 255));
} else {

```

```
digitalWrite(IN3, LOW);  
digitalWrite(IN4, LOW);  
analogWrite(ENB, 0);  
}  
int servoPosition = map(data.substring(comma3 + 1).toInt(), 0, 1023, 0, 180);  
myServo.write(servoPosition);  
}
```

3. L'installation des composants électroniques

L'installation des composants électroniques sur le châssis de notre véhicule tout-terrain a nécessité une planification rigoureuse pour garantir à la fois la fonctionnalité et la protection des éléments essentiels. Tout d'abord, la carte Arduino et le module L298n ont été fixés à un emplacement central et sécurisé, afin de minimiser les vibrations et les interférences potentielles pendant le déplacement du véhicule sur des terrains accidentés. Cela permet également un accès facile pour le câblage et les éventuelles maintenances.

Les moteurs DC de 12 volts ont été solidement montés à l'avant du châssis, alignés de manière à assurer une propulsion efficace. Le câblage des moteurs vers le module L298n a été acheminé de manière à éviter tout enchevêtrement, en s'assurant qu'il ne gêne pas les mouvements des autres composants.

Le module LoRa, en raison de son importance pour la communication à distance, a été installé dans une zone à l'écart de tout métal ou composant susceptible d'affecter la réception du signal. De plus, nous avons veillé à l'aération adéquate des composants afin d'éviter toute surchauffe pendant les longues opérations.

Pour ce qui est de la pompe à eau, elle a été fixée dans une zone accessible mais protégée, afin de faciliter le raccordement au réservoir d'eau tout en assurant une efficacité de pompage optimale. Enfin, l'ensemble des câbles a été fixé avec des serre-câbles et des gaines isolantes pour garantir la durabilité et la sécurité du système, en veillant à ce que les conditions extérieures, telles que l'humidité ou la chaleur, n'endommagent pas les connexions électriques.

Ainsi, l'intégration harmonieuse des composants électroniques sur le châssis du véhicule permet à l'ensemble du système de fonctionner de manière fiable et efficace, même dans les environnements les plus hostiles.

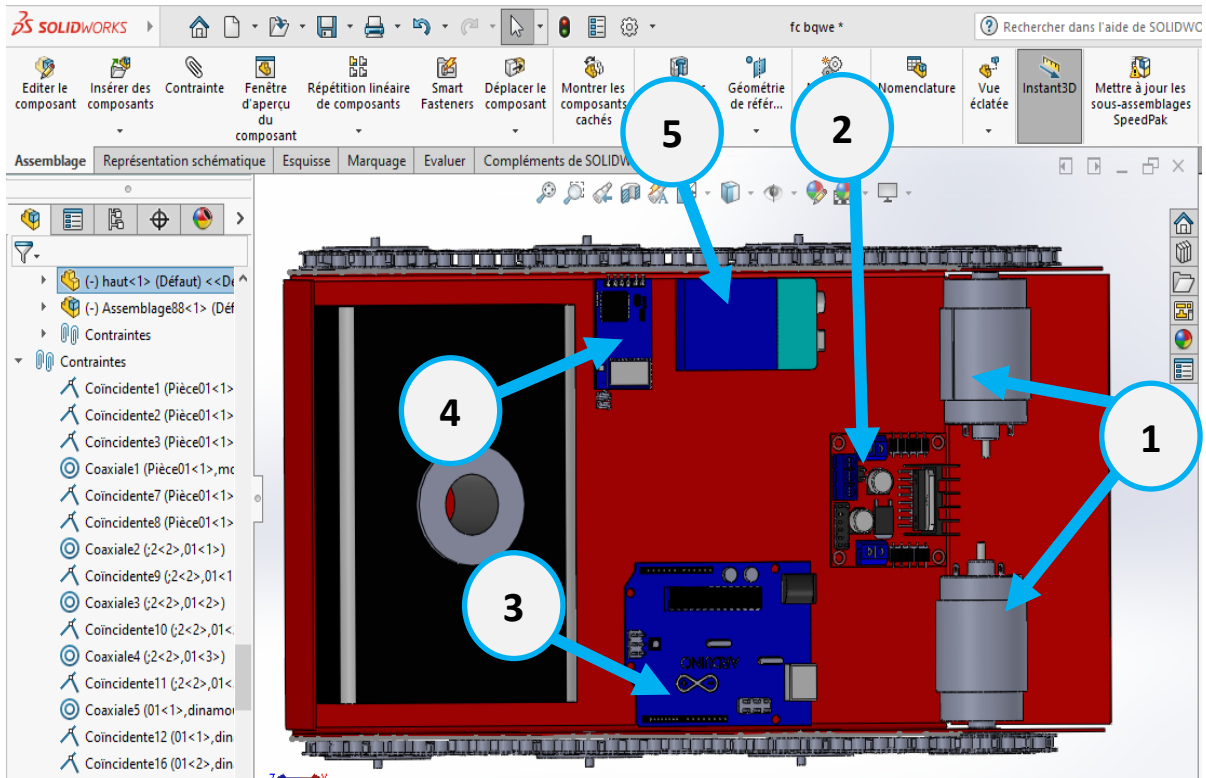


Figure 55 :

L'installation de servomoteur sur prototype

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Moteur dc 12 v	L298n	Arduino uno	Lora Ra-02	Batterie 12 v

Tableau 09 :

Les composants électroniques sur pièce 01

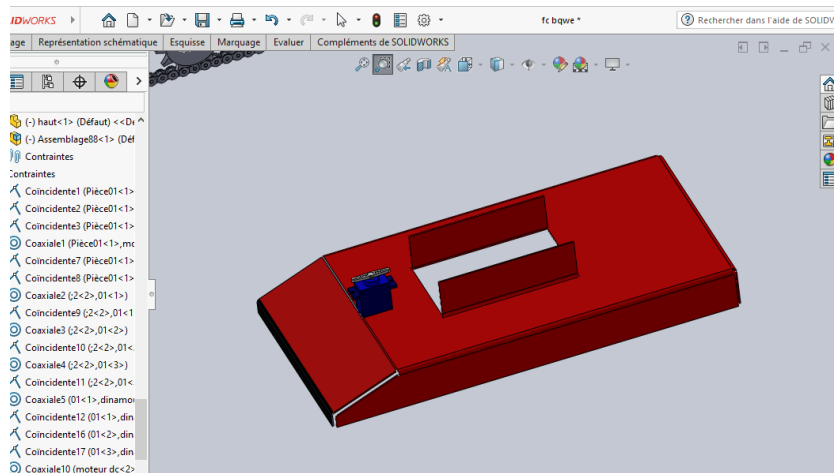


Figure 56 :

L'installation de servomoteur sur prototype

IV. Conclusion

Pour conclure ce chapitre dédié aux parties électriques et mécaniques du prototype de véhicule tout-terrain pour la lutte contre les incendies, nous avons pu démontrer l'intégration réussie de divers composants techniques, tant sur le plan électrique que mécanique. L'alimentation est assurée par une batterie de 12 volts, et les moteurs DC, en synergie avec le module L298n, permettent de propulser et diriger le véhicule avec efficacité. La partie contrôle repose sur l'usage de cartes Arduino et du module LoRa, assurant une communication fiable et à distance, indispensable pour les opérations en terrain hostile.

Sur le plan mécanique, la robustesse du châssis et la modularité des composants permettent au véhicule de faire face à des conditions difficiles, tout en garantissant une maniabilité adéquate grâce à l'ajout du servo moteur et de la pompe à eau pour les interventions spécifiques. Cette combinaison de technologies offre une solution innovante, optimisant les performances et la fiabilité dans un environnement où la rapidité et la précision des interventions sont cruciales.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

En conclusion, la lutte contre les incendies de forêt représente un enjeu crucial pour la protection des écosystèmes et des communautés humaines. Les défis posés par ces incendies, exacerbés par des facteurs environnementaux et humains, nécessitent des réponses rapides et efficaces. L'intégration de la robotique dans ce domaine ouvre de nouvelles perspectives, permettant d'améliorer les méthodes de détection, de surveillance et d'extinction des incendies.

Au fil de notre étude, nous avons exploré les technologies existantes et leurs applications dans la lutte contre les incendies, en mettant en lumière l'importance d'un système de contrôle adapté, de capteurs avancés et de véhicules tout-terrain. Notre projet de robot dédié à cette mission illustre concrètement comment la technologie peut être mise au service de la sécurité publique et de la préservation de l'environnement.

Il est désormais impératif de poursuivre les recherches et les développements dans ce domaine afin de concevoir des solutions toujours plus efficaces et accessibles. En unissant nos efforts entre ingénieurs, chercheurs et responsables politiques, nous pouvons espérer renforcer la résilience face aux incendies et protéger ainsi notre patrimoine naturel et humain. Le futur de la lutte contre les incendies repose sur l'innovation et la collaboration, et il appartient à chacun d'entre nous de contribuer à cette noble cause

BIBLIOGRAPHIE

Biographie

- [1] A. Madoui. Les incendies de forêt en Algérie. Historique, bilan et analyse. Forêt Méditerranéenne, 2002,
- [2] Moez Cherif. Planification de mouvements pour un robot mobile autonome tout-terrain : une approche par utilisation des modèles physiques. Interface homme-machine [cs.HC]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 1
- [3] Plana, E. ; Font, M. ; Serra, M.; Chauvin, S.; Gladiné, J, Les incendies en forêt, guide pour les journalistes et les médias, Centre de Recherche Forestière de Catalogne : Septembre 2016
- [4] Xu Han. Sécurité des véhicules à roues en milieu tout terrain. Automatique / Robotique. Université de Limoges, 2014. Français
- [5] Denis N'Chot. Modélisation, conception et prototypage d'un véhicule tout-terrain capable de se déplacer à haute vitesse en milieu accidenté en toute sécurité. Automatique / Robotique. Université Clermont Auvergne, 2023. Français.
- [6] Alper Kadir Tanyıldızı, Conception, contrôle et stabilisation d'un robot de lutte contre l'incendie transformable à roues avec tourelle d'extinction et de tir de balles, Département d'ingénierie mécatronique, Faculté d'ingénierie, Université Firat, Elazig 23119, Turquie, Publié le 19 avril 2023
- [10] Olivier Beau. Modélisation et optimisation de l'interaction entre véhicules électriques et réseaux d'électricité : apport de la théorie des jeux. Théorie de l'information. Université Paris Saclay ,2015
- [11] Ammar Joukhadar. Simulation dynamique et applications robotiques. Autre Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 1997.
- [12] M. Lagarde. Les plans de protection des forêts contre les incendies. Forêt Méditerranéenne, 2012
- [13] R. Vidal, M. Florent-Roattino. Prévention des incendies de forêts. 2èmes Rencontres de Forêt Méditerranéenne. Valorisation des patrimoines forestiers méditerranéens. Forêt Méditerranéenne, 1984

WEBLIOGRAPHIE

webliographie

[7] webliography <https://www.technia.com/>

[8] webliography <https://www.solidworks.com/>

[9] webliography <https://www.arduino.cc/>