



La Robotique dans l'Exploitation Forestière

Fida Ben Abdallah

8 Février 2021

**Équipe du projet PIF "GT2", Lermab: P-J.MÉAUSOONE,
A.BOUALI, F.BEN ABDALLAH**

Plan

- 1 Introduction
 - Motivation
 - Contexte
 - Objectif
- 2 Préparation Mécanique du Sol
 - Outils
 - Porte Outils
 - Analyse Forestière
- 3 Domaine Connexe à la Forêt
 - Robots Agricoles
 - Accoroutiste
 - Construction BTP
- 4 Robotisation en Forêt
- 5 Conclusions et Perspectives

Machine Téléguidée: Nouvelles Technologies



- Transport du bois : **Rakka 3000**



- Machine d'abatage : **Tree Robot**



- Machine de bûcheronnage semi-automatisée: **Gremo Besten 160RH**

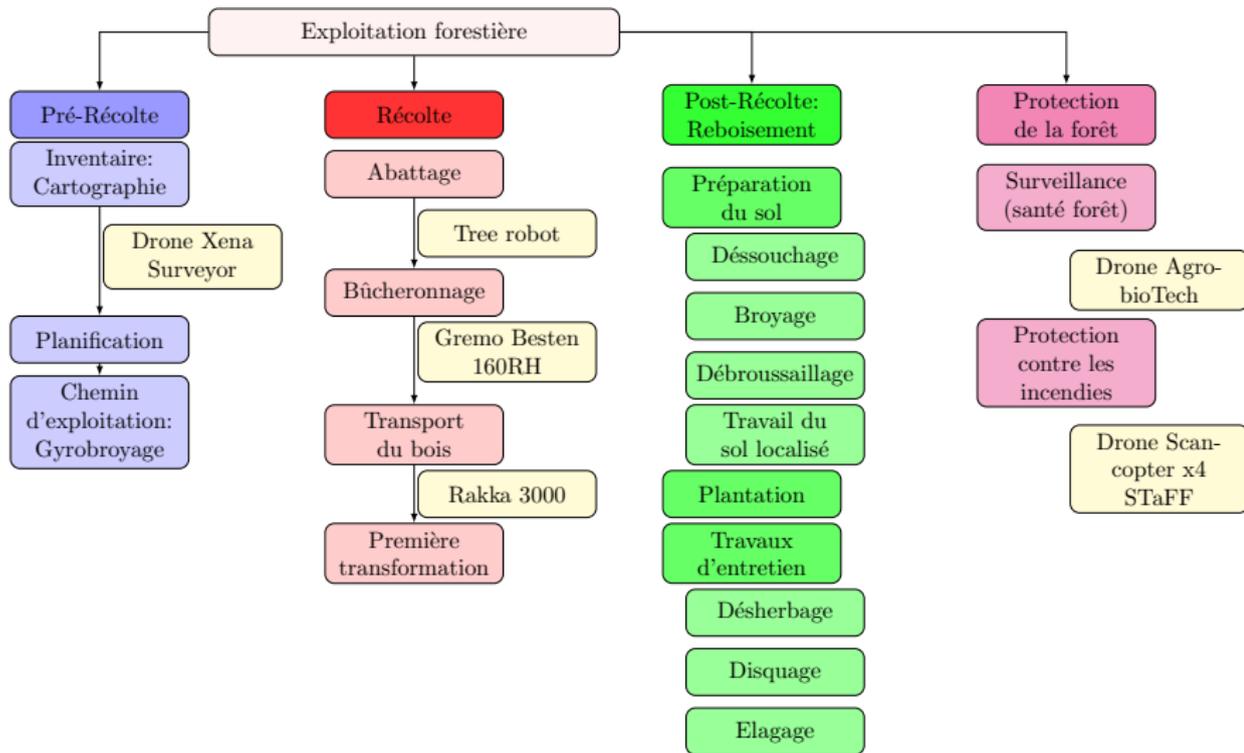


- Surveillance forêt: **Drone Xena Surveyor**(crédit photo YellowScan)

[1]M.CHAKROUN, L. LOUREIRO MORAIS "La robotique dans l'exploitation forestière", FCBA (Janvier 2019) [[lien](#)]

[2]M; CHAKROUN, L. LOUREIRO MORAIS "Les drones dans l'exploitation forestière", FCBA (Mars 2019) [[lien](#)]

Production Forestière: Machine Téléguidée



Constat

Le machinisme forestier a bien évolué en récolte et pré-récolte. En revanche, les avancées technologiques sont très modestes en reboisement.

- (1) **Choix des plants:** bien élevés en pépinière
 - Utiliser de préférence des plançons (tiges sans racines) de 2 ans.
 - Les plants doivent être bien aoûtés (lignification de la pousse terminale), les bourgeons toujours présents et en bon état.
- (2) **Préparation du sol:** bien nettoyer le terrain
 - Le dessouchage n'est pas obligatoire pour la replantation d'une peupleraie (selon les moyens utilisés pour les futurs entretiens)
 - Le broyage des rémanents d'exploitation est préférable. Leur décomposition facilite le retour des éléments minéraux.
- (3) **Plantation:**
 - Les densités préconisées sont 277 plants/ha (6m x 6m) ou 156 plants/ha (8m x 8m) en fonction des potentialités du sol.
 - La plantation doit se faire à 1 m de profondeur minimum
 - La plantation doit se faire de façon privilégiée en (Février-Mars).
- (4) **Entretien:**
 - Désherbage: Limiter la concurrence hydrique des herbacées vis-à-vis des peupliers.
 - Disquage: Aérer le sol et ainsi faciliter la pénétration de l'eau.
 - Epannage localisé: Fertiliser les milieux les moins favorables
 - Taille de formation et élagage : Obtenir du bois de qualité.

Populiculture: Importance d'Entretien

Observation

Des essais sont réalisés par des moyens mécaniques (disques = cover-crop) montre l'importance de l'entretien des peupliers.

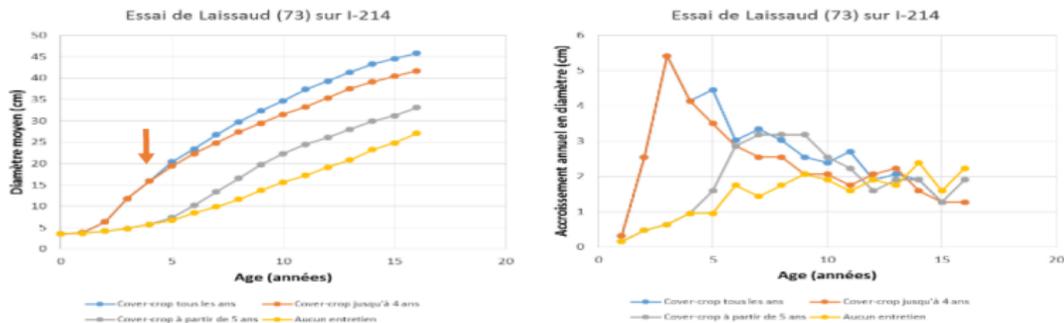


Figure: A. Berthelot "Bonnes pratiques culturales en populiculture", source: Barnéoud C., Bonduelle P., Dubois j M., 1982. Manuel de populiculture. AFOCEL, Paris, 319 p

Objectif du projet PIF

Etudier la faisabilité d'un outil robotisé pour effectuer les travaux de dégagement en plantation (peupleraie)

Plan

- 1 Introduction
- 2 Préparation Mécanique du Sol
 - Outils
 - Porte Outils
 - Analyse Forestière
- 3 Domaine Connexe à la Forêt
- 4 Robotisation en Forêt
- 5 Conclusions et Perspectives

Populiculture: Désherbage des peupliers

Table: Différentes méthodes d'entretien utilisées en populiculture, source "Le guide de populiculture en Québec" [[lien](#)]

Méthode d'entretien	Machinerie et matériel	Type de site	Quand intervenir	Fréquence d'intervention
Travail mécanique du sol	Herse à disques	Sites agricoles cultivés, friches herbacées ou friches arbustives	Dès le début de l'été quand la végétation atteint 15 cm de hauteur	2 à 3 fois par an Durant les 3 ou 4 premières années
	Herse à dents ou rotoculteur	Sites agricoles cultivés et friches herbacées		
	Herse à disques indépendants	Friches arbustives		
	Weed Badger	Sites où l'entretien croisé est impossible		
Paillage	Dérouleuse à pailles, Paillis de plastique noir en bandes	Sites agricoles cultivés et friches herbacées	Avant la mise en terre des plants et Après la préparation de terrain	Une seule intervention
Chimique	Phytocide non sélectif Gicleur portatif ou rampe d'arrosage à proximité du sol	Sites agricoles cultivés, friches herbacées ou friches arbustives (sur propriétés privées, car interdit en forêt publique)	Au début de l'été Quand la végétation atteint 15 cm de hauteur	1 fois par an Durant les 2 ou 3 premières années
Débroussaillage	Débroussailleuse	Sites forestiers	Quand la végétation ligneuse est plus haute que les plants, De juillet à la mi-septembre	Durant la 2 ^e et la 4 ^e saison de croissance si la compétition est plus haute que les plants ...

Site Forestier V.S Site Agricole

Site Agricole



- 1. Post-récolte



- 2. Travail du sol



- 3. Plantation



- 4. Entretien



- Forêt monoculture

Site Forestier



- 1. Post-récolte



- 2. Plantation



- 3. Débroussaillage



- 4. Entretien local



- Forêt naturelle

Déssouchage

- (1) **Sous-Souleur**: extraction de souche



Figure: Rhino-Seka [video]

- (2) **Fraise**: rognage de souche



Figure: H65 135-160 [video]

Broyage

- (1) **Marteaux fixes ou mobile**

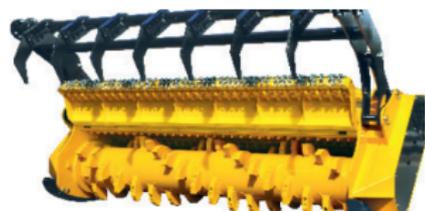


Figure: Xylor 2200/250 T [video]

- (2) **Disque à couteaux**: Broyage des branches



Figure: TP 250 PTO K [video]

Débroussaillage

(1) Rouleau landais



Figure: Débroussailleuse LLBI [video]

(2) Lame forestière



Figure: Brush Wolf Rotary Cutters [video]

Plantation

(1) Tube de plantation



Figure: Canne à planter [video]

(2) Tarrière

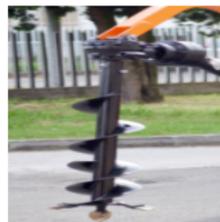


Figure: Tarrière DELEKS [video1] et [video2]

Travaux d'Entretien Mécanique : Décompactage

Décompactage étendu

- (1) Dent de sous-solage et disque tranchant: Culti 3B [video]



- (2) Charrue: Labour [video]



- (3) Disques au cover crop SH-PH: Disquage [video]



Décompactage localisé

- (1) Peigne soudé sur un godet: Régédent [brochure]



- (2) Deux dents + Peigne: BIDENT Maillard [brochure]



- (3) Sous-Soleur + Peigne: Sous-Soleur multifonction [brochure]



Désherbage interligne

- (1) Herse rotatives



Figure: LION 1002 [video]

- (2) Disques indépendants



Figure: Veloce [video]

Désherbage localisé

- (1) Dents + Sous-Soleur: Scarificateur réversible [video]



- (2) Dent rotative: Weed Badger [video]



- (3) Dent courbée + Peigne: Pioche-Herse [brochure]



Mini-pelle / Midi-pelle



Figure: Mini-pelle TB 228 [Fiche technique]

DONNÉES TECHNIQUES	
Puissance	23.8 ch
Poids	2810 kg
Pression statique au sol	0.29 kg/cm ²

Tracteur



Figure: John Deere 5055E [Fiche technique]

DONNÉES TECHNIQUES	
Puissance	49 ch
Poids	2950 kg
Pression statique au sol	1.06 kg/cm ²

Architectures Existantes



Figure: Architecture N°1:
Outil tracté par un tracteur



Figure: Architecture N°2:
Outil monté à une mini-pelle



Figure: Architecture N°3:
Outil monté et tracté

A Retenir: Architectures Existantes

(1) Outil tracté par un tracteur

Avantages

- Travail du sol étendu dans un milieu agricole
- Adapté aux grandes surfaces
- Vitesse de travail performante

Limites et Contraintes

- Dessouchage et broyage indispensable avant le passage du tracteur
- Risque de renversement pour une pente $> 10^\circ$
- Importante pression transmise au sol en statique

(2) Outil monté à une mini-pelle

Avantages [\[lien\]](#)

- Travail du sol localisé
- Gabarit compact, facile de se déplacer en milieu forestier
- Chenilles caoutchouc:
 - Favorise l'adhérence
 - Faible pression au sol en statique

Limites et Contraintes [\[lien\]](#)

- Coût journalier élevé
- Adapter la catégorie de la mini/midi-pelle
- Demande la formation initiale de l'opérateur
- Peu adaptée aux grandes surfaces

Plan

- 1 Introduction
- 2 Préparation Mécanique du Sol
- 3 Domaine Connexe à la Forêt**
 - Robots Agricoles
 - Accoroutiste
 - Construction BTP
- 4 Robotisation en Forêt
- 5 Conclusions et Perspectives

- (1) **Ecorobotix: Avo Robot** est un robot électrique autonome pour le désherbage chimique des légumes: [[video](#)] [[fiche technique](#)]



- (2) **Naio: OZ** est un robot électrique autonome pour le désherbage mécanique interligne [[video](#)] [[fiche technique](#)]



- (3) **Désherbage au Laser : Weedbot** est un concept du robot en cours du développement pour le désherbage au laser: [[video 1](#)] [[video 2](#)]

Dés herbage Mécanique: Légumes à plat et en planche

Naio: Dino est un robot électrique autonome pour le dés herbage mécanique des productions légumières: [video] [fiche technique]



- Navigation entre parcelle
- Dents souples de dés herbage

DONNÉES TECHNIQUES

Traction	4 roues motrices
Navigation	GPS RTK + caméra : précision centimétrique
Dimension	$L = 250cm, l = 150 - 200cm, h = 130cm$
Débit de chantier	Jusqu'à 5 ha dés herbés en 9 heures
Poids	800kg
Vitesse	Jusqu'à 4 km/h
Autonomie	Jusqu'à 8 h

Dés herbage Mécanique: Vignes

Naio: TED est un robot électrique autonome pour le dés herbage mécanique des vignes: [[video](#)] [[fiche technique](#)]



- Navigation entre parcelle

- Dent souple de dés herbage

- Brosse de dés herbage

DONNÉES TECHNIQUES

Traction	4 roues motrices
Navigation	GPS RTK + caméra : précision centimétrique
Dimension	$L = 230cm, l = 150 - 200cm, h = 150 - 200cm$
Débit de chantier	40 ha
Poids	800kg
Vitesse	Jusqu'à 4 km/h
Autonomie	Jusqu'à 8 h

Dés herbage Chimique: Légumes à plat et en planche

Ecorobotix: Weed Cutter est un robot électrique autonome pour le dés herbage chimique des légumes: [video] [fiche technique]



- Navigation entre parcelle

- Injection localisée du phytocide

- Détection des cultures afin de positionner les outils

DONNÉES TECHNIQUES

Traction	4 roues
Navigation	Colour megapixel + camera + GPS RTK + compass
Dimension	$L = 220cm, l = 170cm, h = 130cm$
Débit de chantier	max 3 ha/jour
Poids	130kg
Vitesse	Jusqu'à 0.4 m/s
Outil	Fast Delta - 4000 mouvements par heure

Avantages

- Vitesse de travail performante, plus de rentabilité
- Faible pression transmise au sol en statique (Robot léger)
- Efficace manoeuvre en tournière
- Intervention localisée au pied des plants
- Travail moins pénible: le chef de chantier supervise sa flotte depuis son bureau.

Limites et Contraintes

- Travail exclusivement possible pour des cultures en planches ou des vignes
- Outil est en dessous de la machine
- Outil inadapté pour les friches arbustives
- Risque de renversement sur un terrain en pente

Remarque

Parmi les concepteurs de robots, on distingue deux écoles:

- (1) Robot avec un équipement spécifique (Vitibot, Naio, ...)
- (2) Robot multifonctions: Possible combinaison de différents outils

Travail Mécanique du Sol: Tracteur Autonome

JOHN DEERE: Autonomous Tractor est un tracteur compact autonome pour le travail du sol [video]



- Tracteur compact à deux chenilles en caoutchouc
- Tracteur compact à deux roues
- Disque cover-crop attelé au tracteur

DONNÉES TECHNIQUES [lien]

Puissance	670 ch
Lestage flexible	de 5 à 15 tonnes
Motorisation	Electrique

Avantages

L'engin ci-dessus réunit les avantages du tracteur normal et de la mini-pelle. IL est très puissant, compact et à faible pression au sol en statique.

Robots Coopératifs et Agriculture 4.0: Robot de semis

Fendt: Xaver sont des petits robots utilisés pour semer en monograine en essais de toutes tailles [video 1] [video 2]



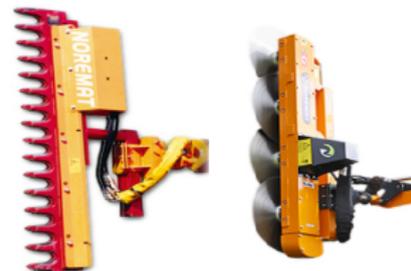
- 2^{eme} génération Xaver avec 3 roues
- 1^{ere} génération Xaver avec 4 roues
- Travail coopératif des robots connectés

Avantages

L'objectif est de trouver une alternative à la tendance continue vers une augmentation de poids de grandes machines individuelles. La pression sur le sol est jusqu'à 80% plus faible qu'avec les systèmes mécaniques actuellement utilisés.

Accoroutiste: Solutions Mécaniques Avancées

Noremat: **MAGISTRA** est un tracteur à nacelle, destinée à des travaux intensifs jusqu'à 1500h par an. [[video](#)][[Fiche technique](#)]



- Entretien des bords de route

- Broyeur

- Lamier d'élagage et sécateur

Avantages

- Equilibre de l'ensemble du tracteur et bonne vision de l'outil utilisé.
- Outils robustes facilement interchangeables.

Construction BTP: Système Embarqué

Built Robotic: développe un kit permettant à l'engin de capter des données via le WiFi, mais aussi d'être guidé à distance grâce à un GPS intégré (le projet est toujours en cours). [video] [lien]



- Chargeur autonome capable de creuser les fondations d'un bâtiment
- Le kit se trouve dans une boîte noire qui est placée au-dessus de l'appareil à automatiser

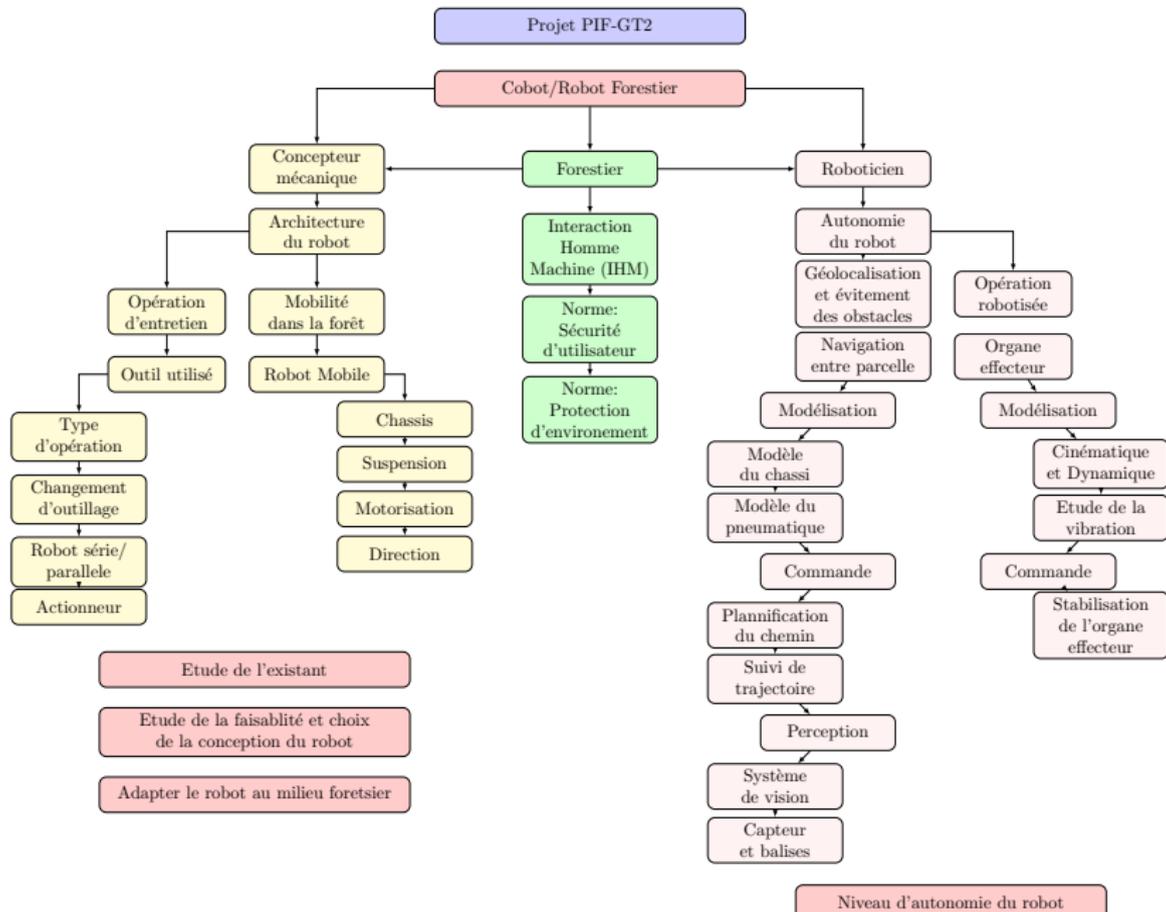
Avantages

- Le kit sera installé sur n'importe quel type d'appareil (tracteur, pelle, ...)
- Le kit Permettrait à un chef de chantier de pouvoir superviser sa flotte depuis son bureau.

Plan

- 1 Introduction
- 2 Préparation Mécanique du Sol
- 3 Domaine Connexe à la Forêt
- 4 Robotisation en Forêt**
- 5 Conclusions et Perspectives

Gestion du projet PIF-GT2



Méthode

- (1) Travail du sol localisé (potets, placeaux, bandes)
- (2) Travail du sol étendu

Matière

- (1) Essence d'arbre : Peuplier
- (2) Texture du sol
- (3) Type de végétation (Friche arbustive et herbacée)

Matériel

- (1) Porte Outil:
 - Mini-pelle
 - Tracteur
- (2) Outil:
 - Décompactage
 - Désherbage
 - ...

Main d'oeuvre

- (1) Interaction Homme Machine
- (2) Législation (sécurité...)
- (3) Niveau d'autonomie du robot

Milieu

- (1) Sites forestiers
- (2) Sites agricoles
- (3) Sites montagneux

Objectif

- Identifier les besoins
- Rédaction du cahier des charges

Pour identifier les besoins du projet PIF-GT2:

- (1) Travail mécanique du sol: travail localisé ou étendu ?
- (2) Mobilité du robot: roues ou chenilles ?
- (3) Type de terrain: l'adhérence et la pente longitudinale ?
- (4) Opération d'entretien à robotiser: désherbage, décompactage,...?
- (5) Niveau d'autonomie: le robot est 100% autonome ?
- (6) Architecture du robot forestier: garder les mécanismes existants en forêt ?
- (7) ...

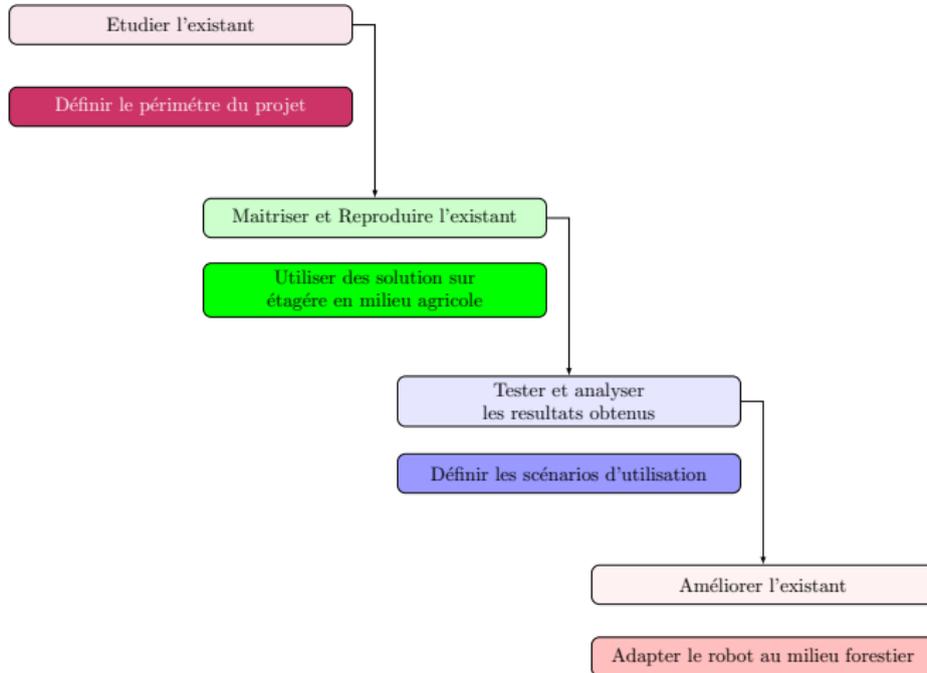
Pour la preuve de concept du projet PIF-GT2 :

- (1) **Proposer des architectures pour le robot forestier**
- (2) **Simulateur robot forestier**
 - Dimensionnement du robot (actionneurs et capteurs)
 - Tester les différents scénarios pour évaluer la performance et définir la limite du système.
 - Sélectionner une architecture d'un robot forestier
- (3) **Réalisation d'un prototype**
 - Concevoir le prototype.
 - Réalisation d'un prototype
 - Développer le système embarqué
- (4) **Valider expérimentalement le fonctionnement**

Plan

- 1 Introduction
- 2 Préparation Mécanique du Sol
- 3 Domaine Connexe à la Forêt
- 4 Robotisation en Forêt
- 5 Conclusions et Perspectives

Conclusions et Perspectives



MERCI DE VOTRE ATTENTION



La Robotique dans l'Exploitation Forestière

Fida Ben Abdallah

8 Février 2021

**Équipe du projet PIF "GT2", Lermab: P-J.MÉAUSOONE,
A.BOUALI, F.BEN ABDALLAH**

Six Niveaux d'Autonomie d'un Véhicule

Figure: Six niveaux d'autonomie d'un véhicule

Niveau	Nom	Contrôle du volant et accélération/décélération	Surveillance de l'environnement de conduite	Reprise de la conduite dynamique si besoin	Capacité du système (situations de conduite)
0	Aucune automatisation	Conducteur	Conducteur	Conducteur	/
1	Assistance à la conduite	Conducteur / syst. d'assistance	Conducteur	Conducteur	Quelques situations
2	Automatisation partielle	Systeme	Conducteur	Conducteur	Quelques situations
Système de conduite automatisé (système) surveille l'environnement de conduite					
3	Automatisation conditionnelle	Systeme	Systeme	Conducteur	Quelques situations
4	Automatisation élevée	Systeme	Systeme	Systeme	Quelques situations
5	Automatisation complète	Systeme	Systeme	Systeme	Toutes les situations

	ACCÉLÉRATION FREINAGE & VOLANT	SURVEILLANCE DE LA ROUTE	CONTRÔLE EN CAS DE PROBLÈME	QUELLES CONDITIONS
Niveau 0				
Niveau 1				Certaines routes
Niveau 2				Certaines routes
Niveau 3				Certaines routes
Niveau 4				Certaines routes
Niveau 5				Toutes les routes

Travaux d'Entretien Mécanique: Elagage

- Lamier d'élagage modulaire



Figure: KIROGN [video]

- Sécateur



Figure: TGR ROLMEX [video]

- Lamier d'élagage



Figure: Advaligno: Patas [video]