



# 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**

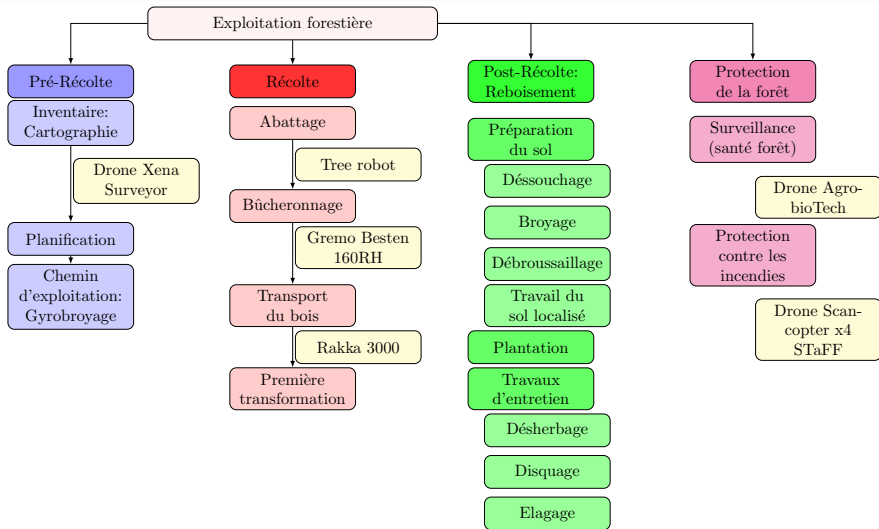


- Surveillance forêt: **Drone Xena Surveyor**(crédit photo YellowScan)

[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.

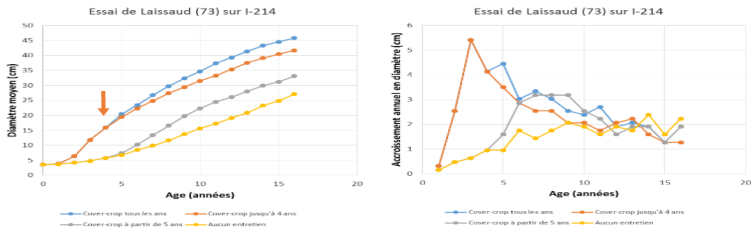


Figure: A. Berthelot "Bonnes pratiques culturales en populiculture", source: Barnéoud C., Bonduelle P., Dubois j M., 1982. Manuel de populiculture. AFOCEL, Paris, 319 p

## 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
<b>Travail mécanique du sol</b>	Herse à disques	<a href="#">Sites agricoles</a> cultivés, <a href="#">friches herbacées</a> ou <a href="#">friches arbustives</a>	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	<a href="#">Sites agricoles</a> cultivés et <a href="#">friches herbacées</a>		
	Herse à disques indépendants	<a href="#">Friches arbustives</a>		
	Weed Badger	Sites où l'entretien croisé est impossible		
<b>Paillage</b>	Dérouleuse à pailles, Paillis de plastique noir en bandes	<a href="#">Sites agricoles</a> cultivés et friches herbacées	Avant la mise en terre des plants et Après la préparation de terrain	Une seule intervention
<b>Chimique</b>	Phytocide non sélectif Gicleur portatif ou rampe d'arrosage à proximité du sol	<a href="#">Sites agricoles</a> cultivés, <a href="#">friches herbacées</a> ou <a href="#">friches arbustives</a> (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
<b>Débroussaillage</b>	Débroussaileuse	<a href="#">Sites forestiers</a>	Quand la végétation ligneuse est plus haute que les plants, De juillet à la mi-septembre	Durant la 2 <sup>e</sup> et la 4 <sup>e</sup> saison de croissance si la compétition est plus haute que les plants ...



# Site Forestier V.S Site Agricole

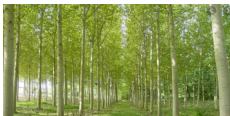
## Site Agricole



- 1. Post-récolte



- 3. Plantation



- Forêt monoculture



- 2. Travail du sol

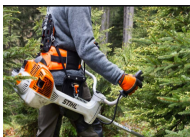


- 4. Entretien

## Site Forestier



- 1. Post-récolte



- 3. Débroussaillage



- Forêt naturelle



- 2. Plantation



- 4. Entretien local

## 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**

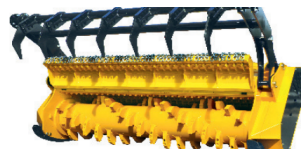


Figure: Xylor 2200/250 T [video]

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



Figure: TP 250 PTO K [video]

## Débroussaillage

(1) Rouleau landais



Figure: Débroussailleur 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) Herses 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 <sup>2</sup>

## Tracteur



Figure: John Deere 5055E [Fiche technique]

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

# 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

# Désherbage Agricole

- (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<sup>eme</sup> génération Xaver avec 3 roues
- 1<sup>ere</sup> 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

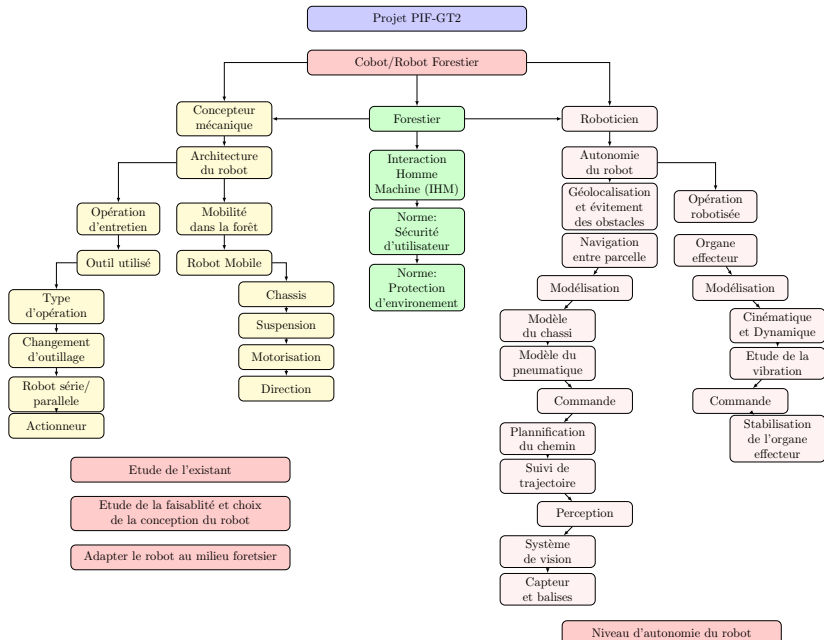
## Avantages

- 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 :

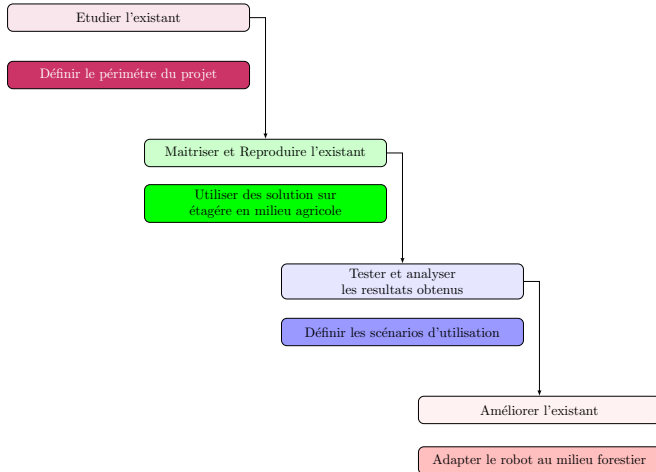
- (1) **Proposer des architectures pour le robot forestier**
- (2) **Simulateur robot forestier**
  - Dimensionnement du robot (actionneurs et capteurs)
  - Tester les différents scénarios pour évaluer la performance et définir la limite du système.
  - Sélectionner une architecture d'un robot forestier
- (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]