



Perception de l'environnement naturel pour des applications d'agriculture de précision

ROS – OpenCV

Bernard BENET

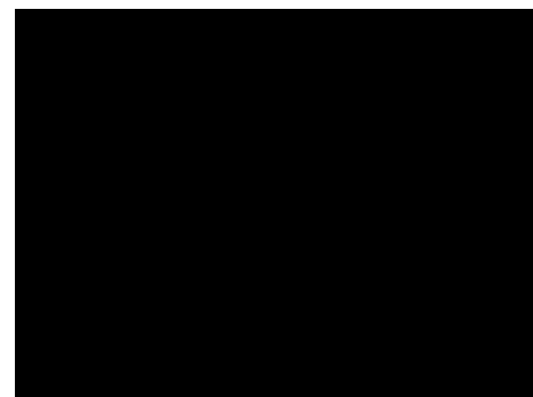
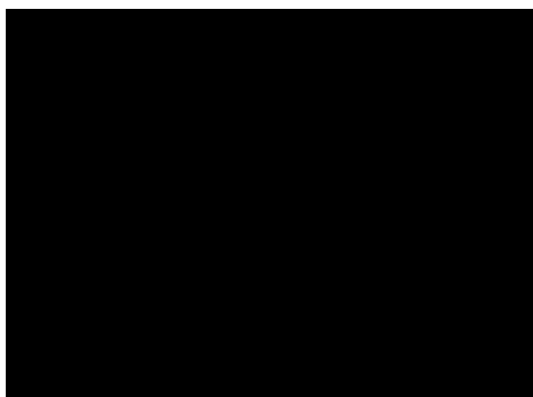
Irstea – Clermont-Fd – TSCF – ROMEA

bernard.benet@irstea.fr

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



www.irstea.fr



LAAS - Toulouse – Journées ROS – 19-20 Juin 2018



OBJECTIFS DE LA PERCEPTION EN MILIEU AGRICOLE

2

- Développer des machines agricoles autonomes, sur lesquelles sont embarqués divers types de capteurs de perception pour réaliser deux types d'opérations dans diverses cultures (maïs, blé, betterave sucrière, tournesol,...):

- **Navigation:**

- Guidage autonome des véhicules (capteur GPS, laser, caméra, centrale inertielle,...) (opérations d'entretien, de désherbage, de récolte,...)

- **Caractérisation:**

- Réalisation de mesures géométriques et colorimétriques à proximité des plantes pour des opérations de phénotypage, d'étude et de comparaison de variétés de cultures,...



Systèmes robotisés pour des applications d'agriculture de précision



Bras manipulateur UR5
sur axe linéaire
(Robotnik)

Robots mobiles agricoles

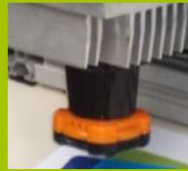
Capteurs de perception relative

Localisation dans l'environnement agricole

Camera



LiDAR 2D (1 layer)



LiDAR (32 layers)



TOF Camera 3D



ROS ET LA ROBOTIQUE AGRICOLE

5

Fort développement de **ROS**, avec une communauté d'utilisateurs de plus en plus forte dans tous les domaines de la robotique



De plus en plus de chercheurs et ingénieurs dans le milieu agricole développent des systèmes automatisés et robotisés sous ROS

Dans le domaine de l'agriculture de précision

- **ROS + modules (OpenCV, Gazebo, Rviz,...)**

- Beaucoup de capteurs de perception (caméras, lasers,...) reconnus dans cet environnement ROS



Développement de robots mobiles capables de percevoir avec précision l'environnement dans lequel ils évoluent





APPLICATIONS DE PERCEPTION POUR DES OPERATIONS EN MILIEU AGRICOLE OU FORESTIER ROS / OpenCV

- Navigation autonome de robot pour des applications de suivi de lignes de cultures (Vision, ou Fusion (Vision/Lidar))
- Traversabilité des robots dans des environnements complexes (Fusion Vision / Lidar 2D OU 3D)
- Sécurité à proximité des machines agricoles
- Applications dans des cultures de betteraves sucrières: suivi de lignes par vision, caractérisation des cultures, perception active)
- Détection d'animaux en forêt

ROS Kinetic, OpenCV, C++ et Python, Ubuntu 16.04



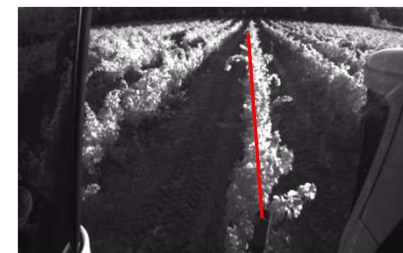


SUIVI DE LIGNES DE CULTURE PAR VISION



Suivi de lignes dans différentes cultures

Différents niveau de végétation, de luminosité dans l'environnement, obstacles (objets solides, herbes, feuilles) devant le véhicule, sol plus ou moins booselé



— Ligne de culture

Méthode de vision artificielle de suivi autonome de lignes de cultures⁹

- Détection des troncs d'arbre dans différentes régions de recherche
- Régression linéaire pour obtenir la ligne des arbres
- Commande référencée vision pour le suivi de lignes



Original image

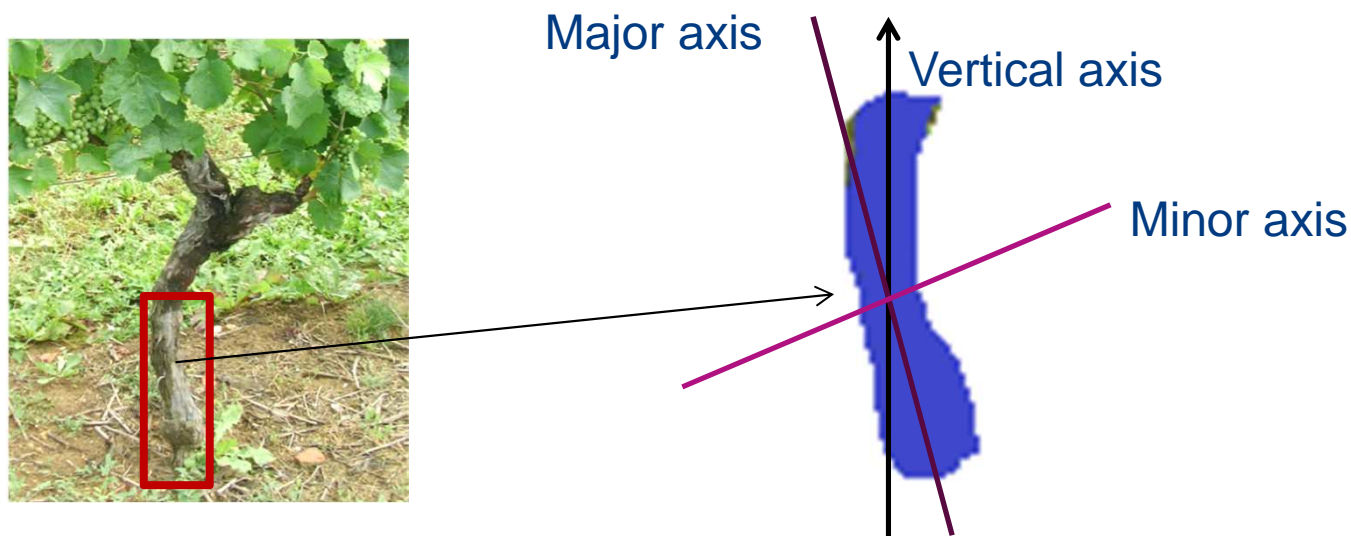


Final image



Developpement: OpenCV

Modèle géométrique pour détecter les pieds de vigne



Paramètres de détection (OpenCV)

- **Area:** Number of Points inside the trunk
- **Elongation :** Major Axis Length / Minor Axis Length
- **Orientation :** Angle between vine trunk (Major axis) and vertical axis
- **Perimeter:** Number of edge Points
- **Compacity:** $\text{Perimeter}^2 / 4\pi \times \text{area}$

Modèle géométrique pour détecter les pieds de vigne



Les caractéristiques géométriques dépendent des régions (premier plan – arrière plan)

0

X

Paramètres pour détecter les troncs d'arbre dans les zones de recherche

Zone de recherche (axe horizontal 0 - X)	Elongation (min)	Orientation (min max)	Area (min)
[0-1280]	3	-30° +30°	1000
[0-800]	2	-25° +25°	500
[0-600]	1,5	-20° +20°	300
[0-400]	1	-15° +15°	200
[0-300]	1	-10° +10°	150



Méthode de vision artificielle (OpenCV)

- **Classification SVM** pour détecter es troncs dans l'espace RGB

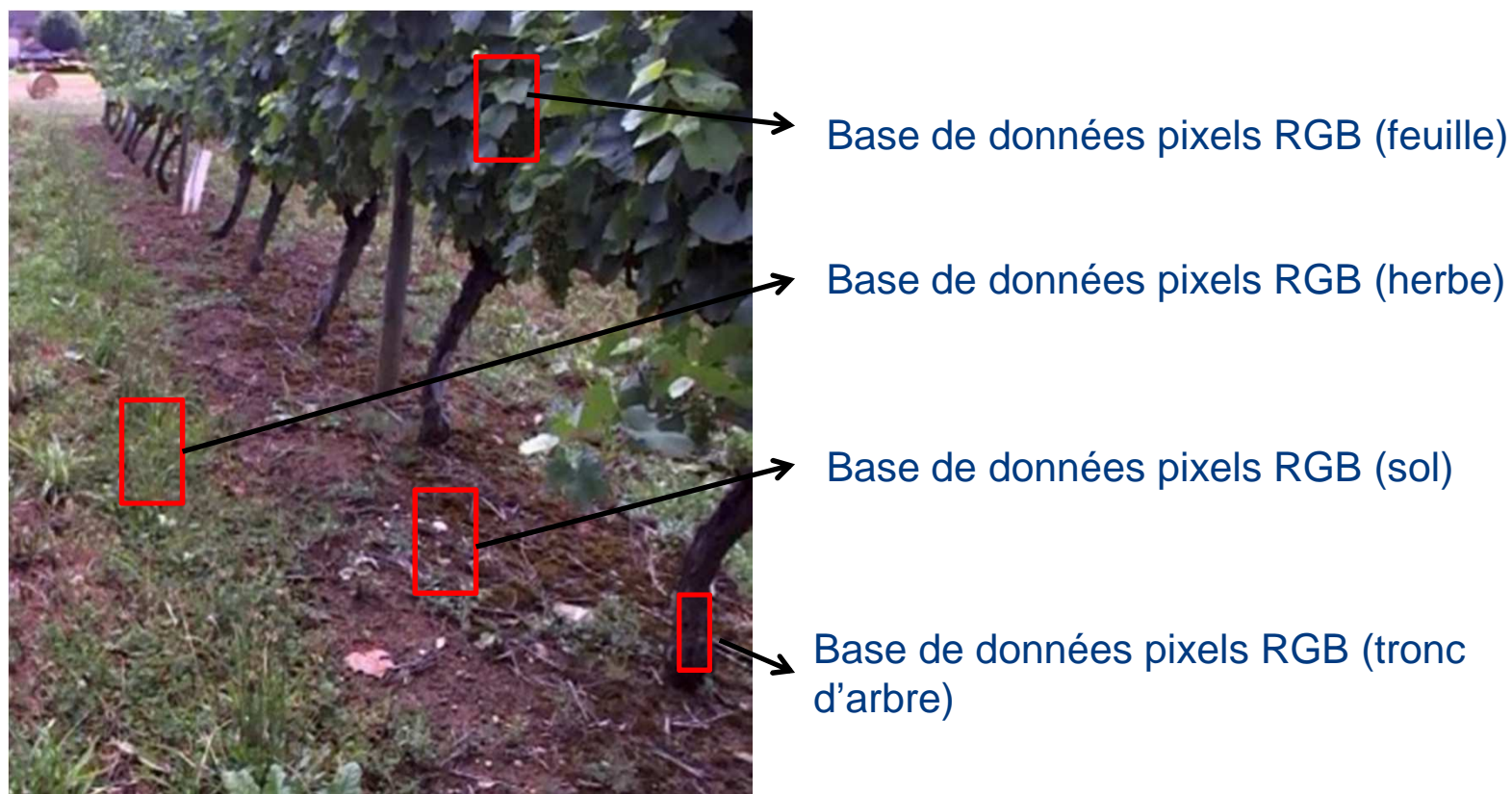
Boucle automatique

- Opérations de **Morphologie mathématique et Labélisation** pour séparer les objets trouvés sur l'image et supprimer le bruit
- Utilisation du **modèle géométrique** des troncs d'arbres pour détecter les arbres
- Recherche des **points les plus bas** des troncs d'arbre
- **Régression linéaire** pour obtenir la ligne



Classification SVM

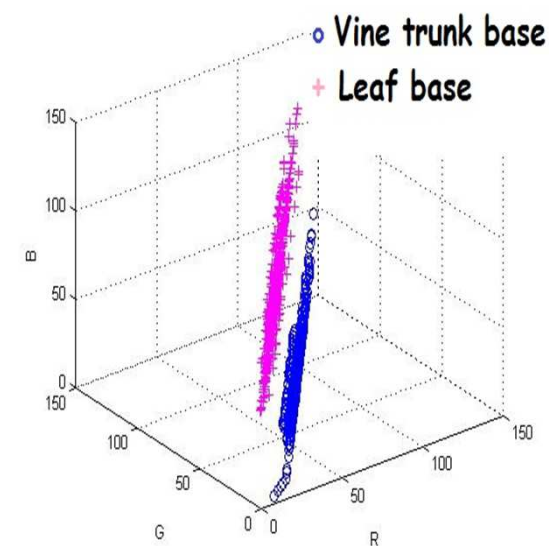
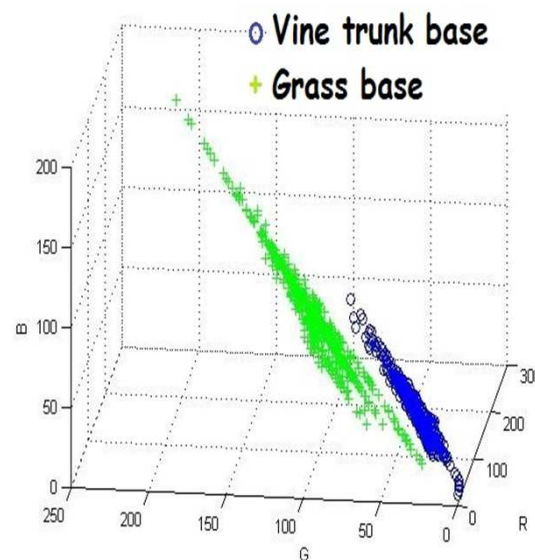
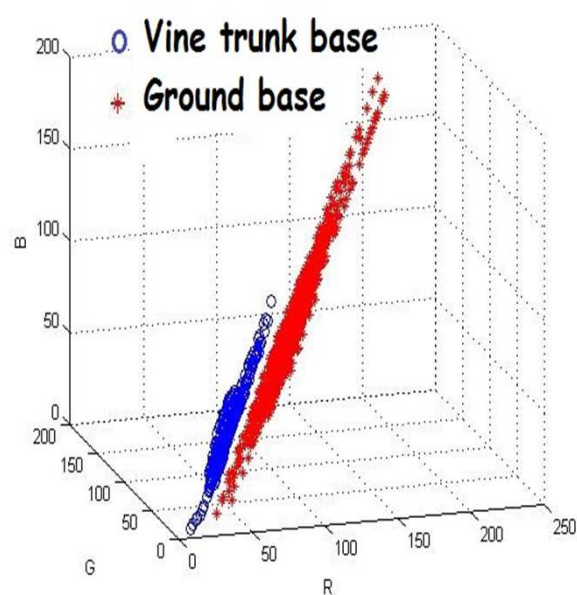
Discrimination entre des classes d'objet en milieu naturel (sol, arbre, feuille, herbe)



Classification SVM

Discrimination entre 4 classes dans l'espace RGB

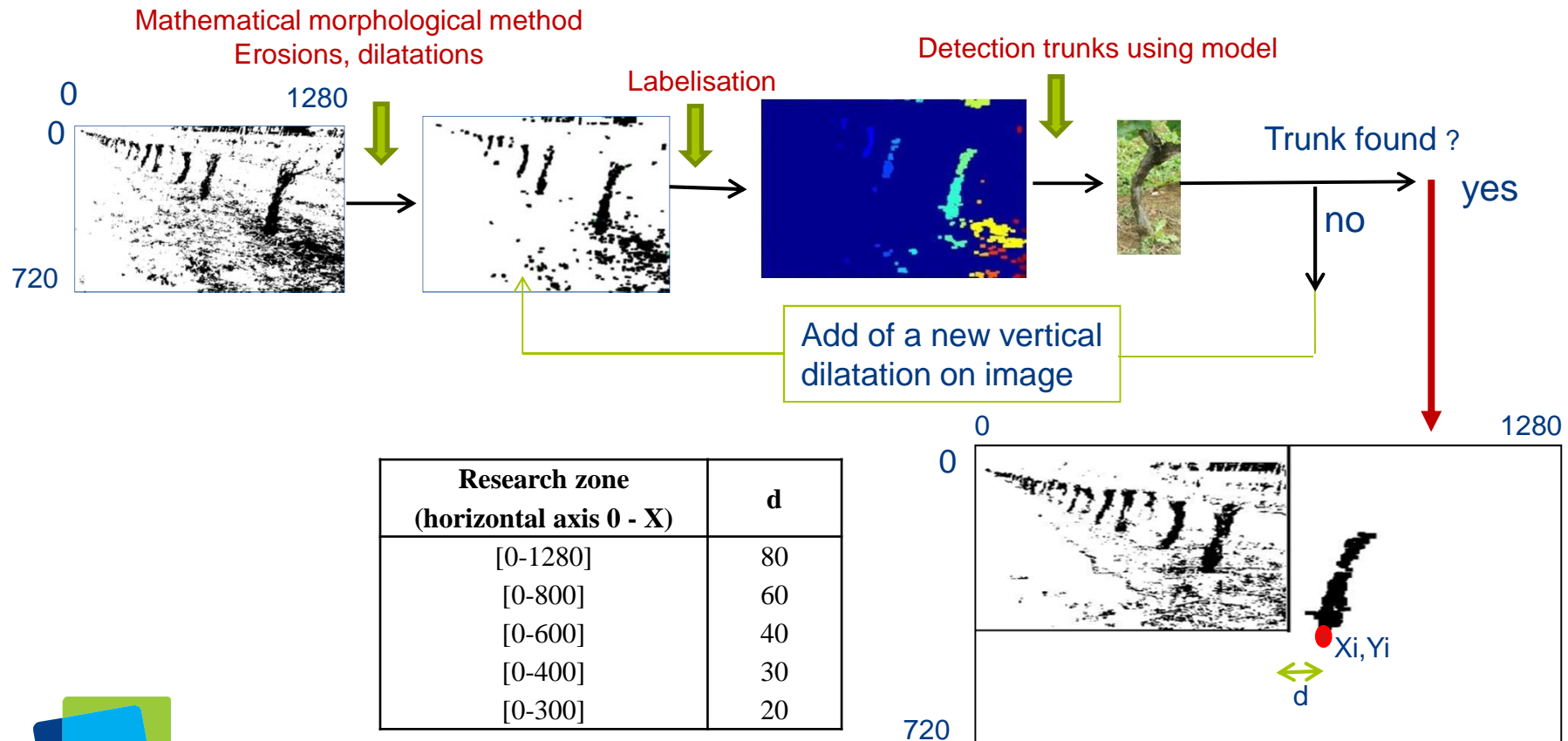
4 classes de pixel : Tronc, Herbe, Feuille, Sol



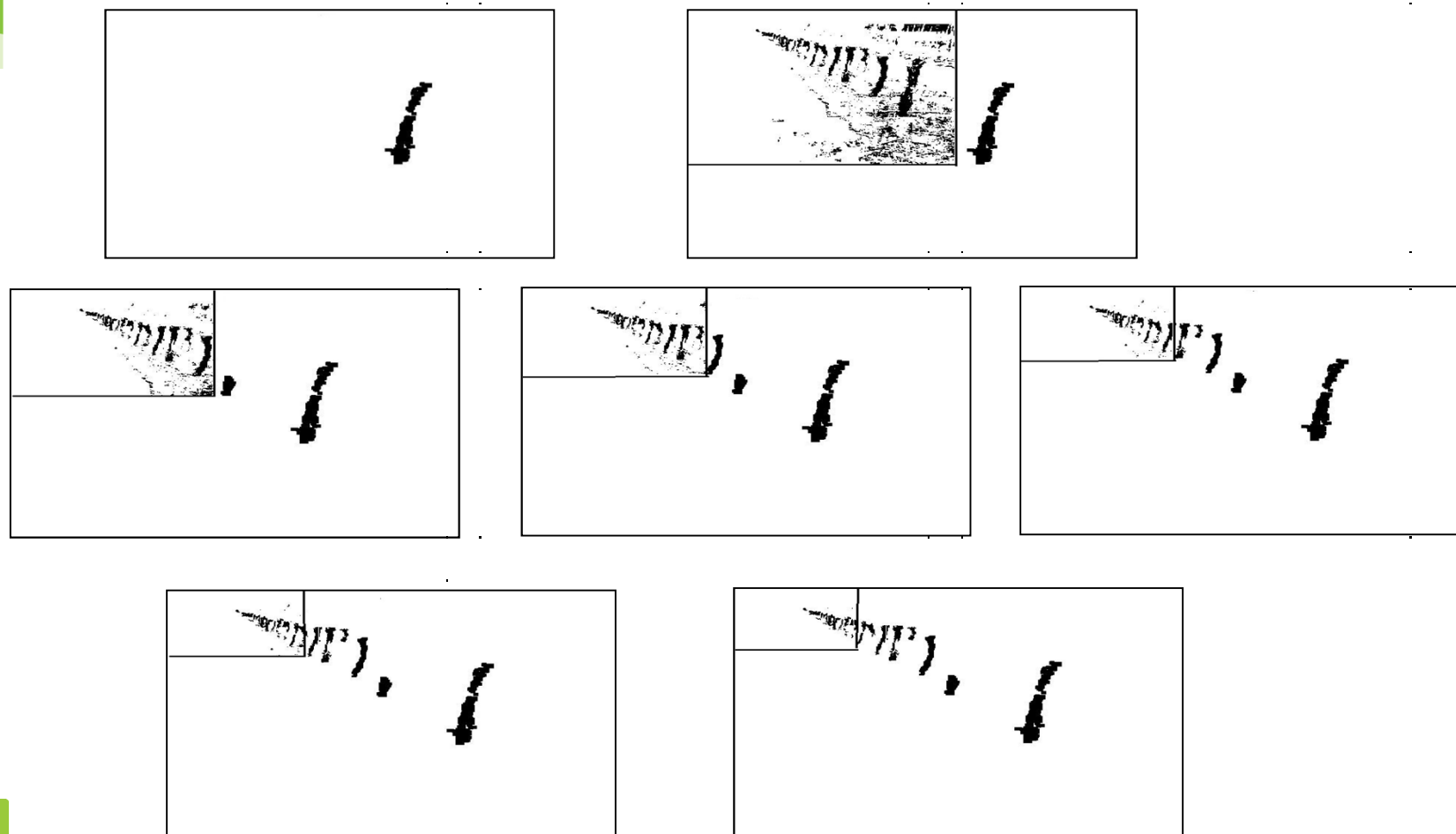
Résultat de classification



Boucle de vision artificielle pour détecter tous les troncs d'arbre



Détection des troncs d'arbre les uns après les autres




Recherche des points bas des troncs d'arbre



Régression linéaire: méthode de Hough



Résultat de suivi autonome de ligne de vigne

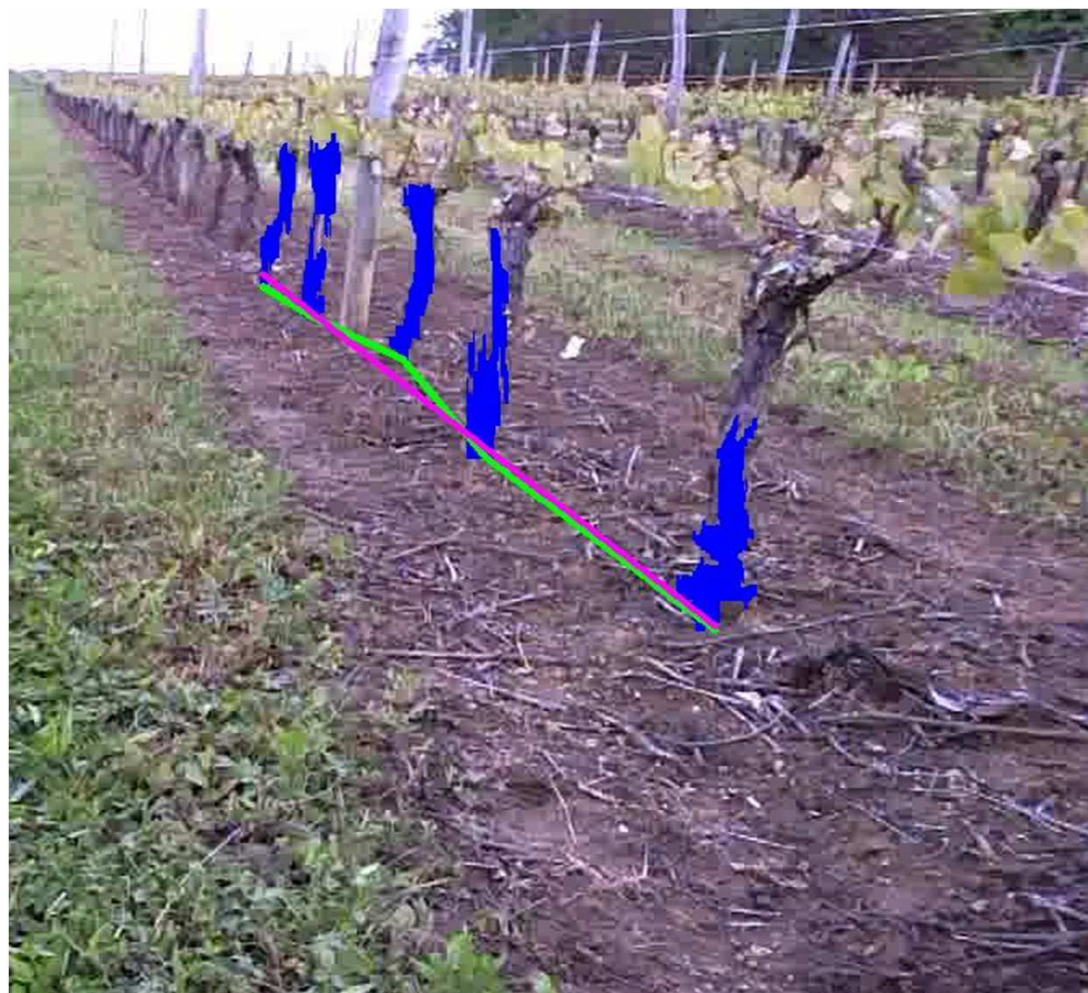
 Ligne entre deux arbres

 Ligne de vigne

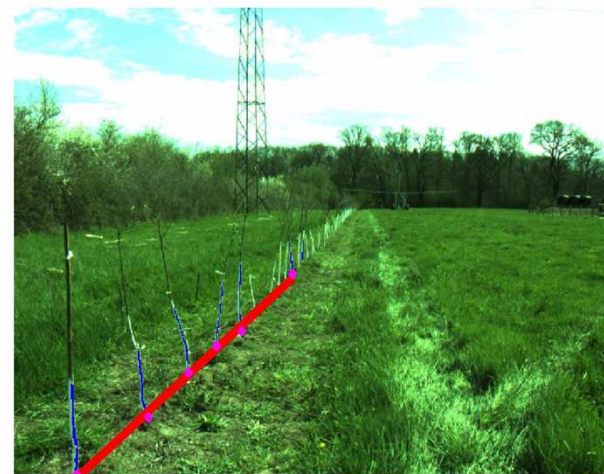
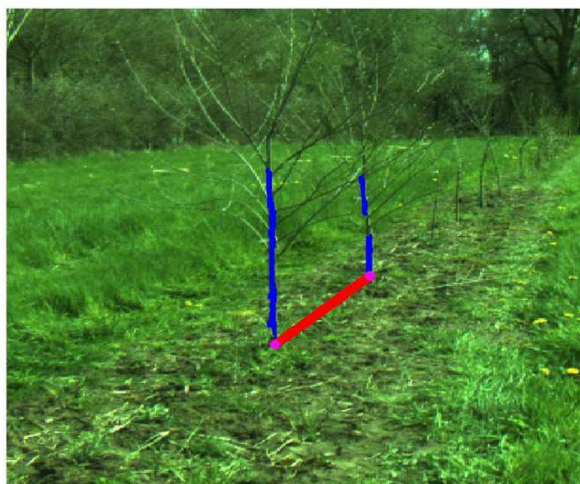


Résultat de suivi autonome de ligne de vigne

-  Ligne entre deux arbres
-  Ligne de vigne



Résultat de suivi autonome de ligne de vigne





SUIVI DE LIGNES DE CULTURE PAR FUSION CAMERA / LIDAR

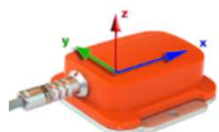




Méthode de fusion Lidar/Caméra pour le suivi autonome de lignes de cultures

- Lidar pour détecter les points de l'environnement
- Camera pour discriminer les points Lidar et identifier les points des arbres qui seront suivi par le robot

Robot mobile avec capteurs pour les opérations de suivi de lignes de culture

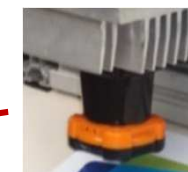
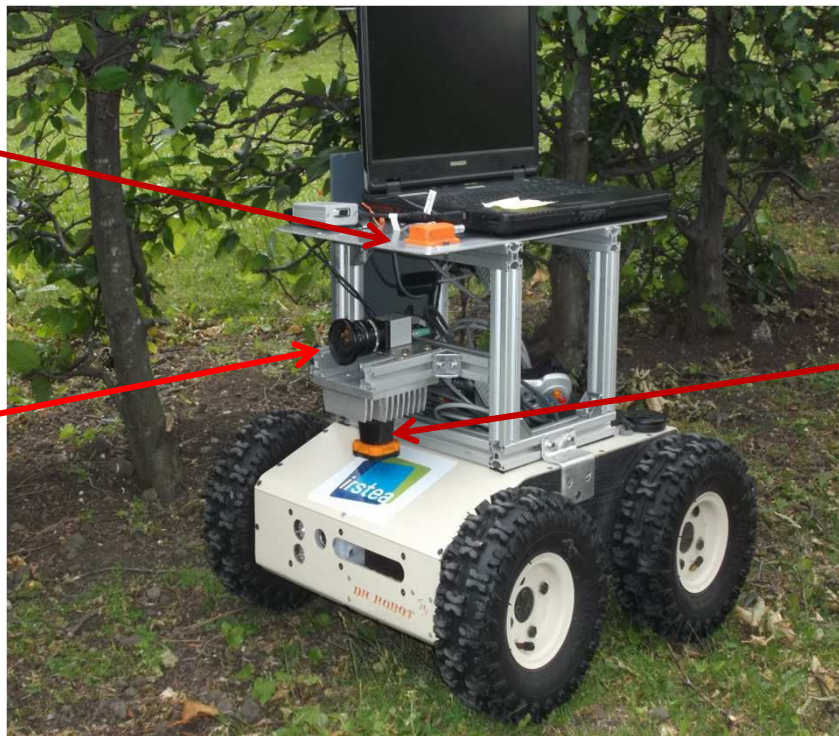


IMU (Xsens)



Giga Ethernet color camera
(Baumer)

- Resolution : 1022 x 1022
- Lens : 6mm
- Format : 1"



LIDAR (Hokuyo)

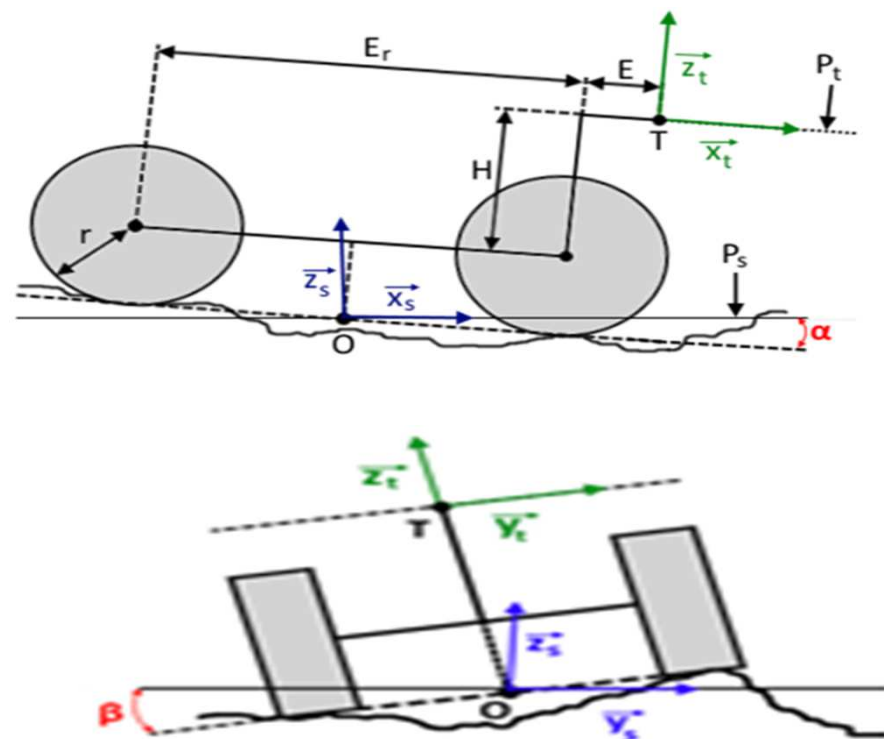
- Angle range : 270°
- Accuracy : 0,5°



Topics ROS: /scan /image_raw /imu_data

LAAS - Toulouse – Journées ROS – 19-20 Juin 2018

Modèle du robot avec les données IMU





(ρ, θ ,
Lidar

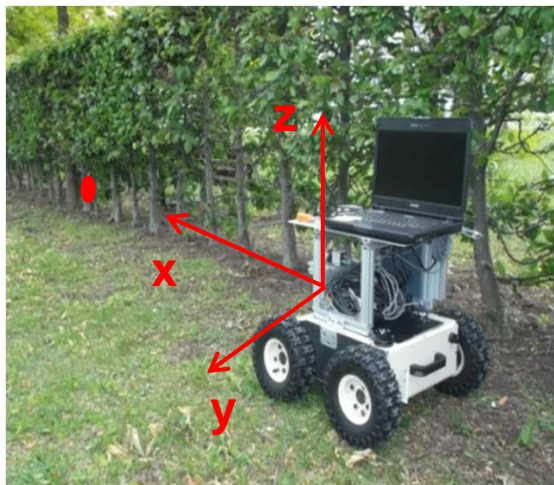
FUSION IMU / LiDAR

(α, β)
IMU



$P_{\text{Lidar Corrected}} (x,y,z)$

Points Lidar



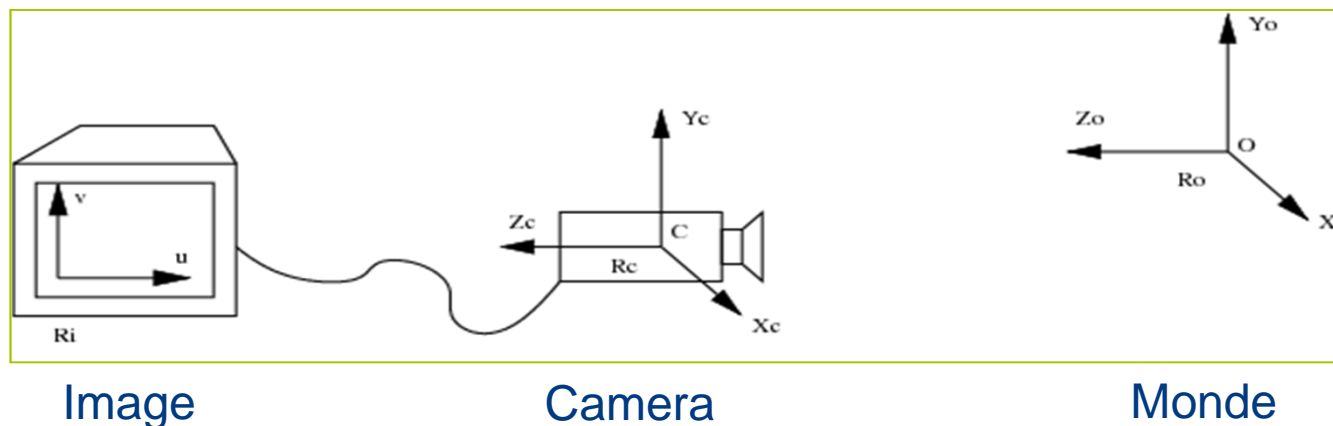
$$x = \rho \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\beta) - (E + 0,5 \cdot E_r) \cdot \cos(\beta) + (r + H) \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta)$$

$$y = \rho \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\alpha) - (r + H) \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta)$$

$$z = \rho \cdot (\sin(\theta) \cdot \sin(\alpha) - \cos(\theta) \cdot \sin(\beta)) - (E + 0,5 \cdot E_r) \cdot \sin(\beta) + (r + H) \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta)$$



Repères image, camera et monde



Color camera model: intrinsic and extrinsic parameters

$$\begin{pmatrix} su \\ sv \\ s \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} k_u & s_{uv} & c_u \\ 0 & k_v & c_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\text{Intrinsics parameters}} \underbrace{\begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}}_{\text{Extrinsics parameters}} \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & \begin{matrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{matrix} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix}$$

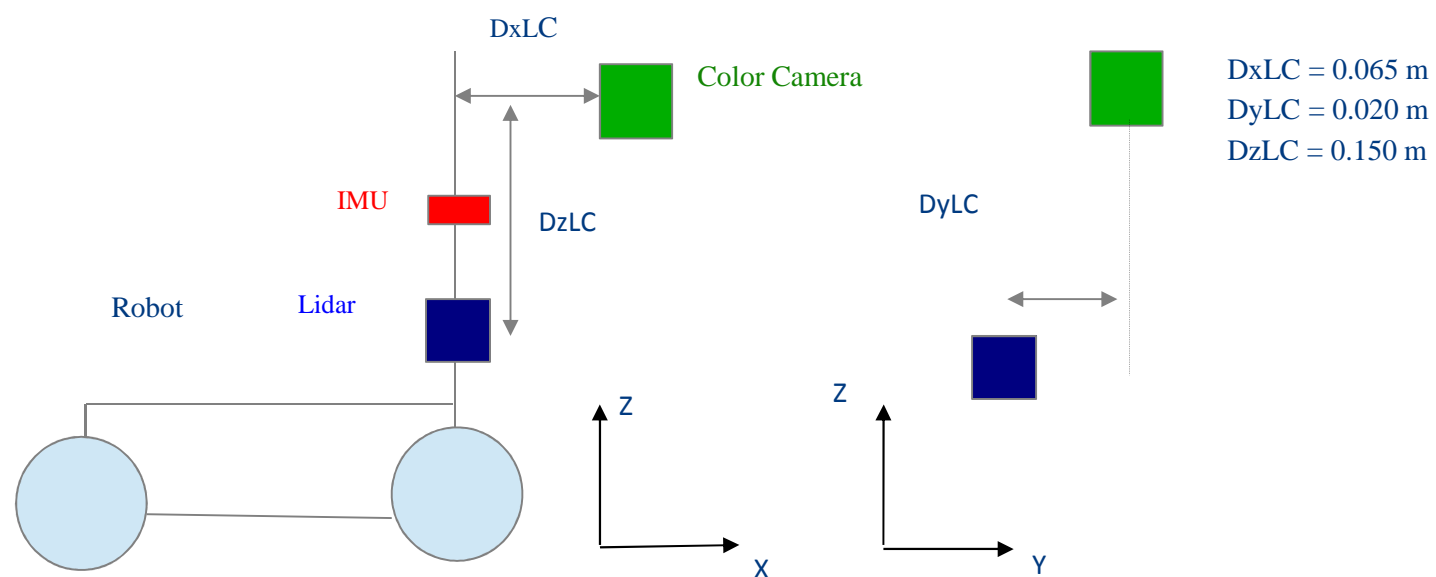


FUSION Camera / Lidar



FUSION Camera / LiDAR

Modèle pour le robot mobile avec capteurs (Camera, LiDAR, IMU)

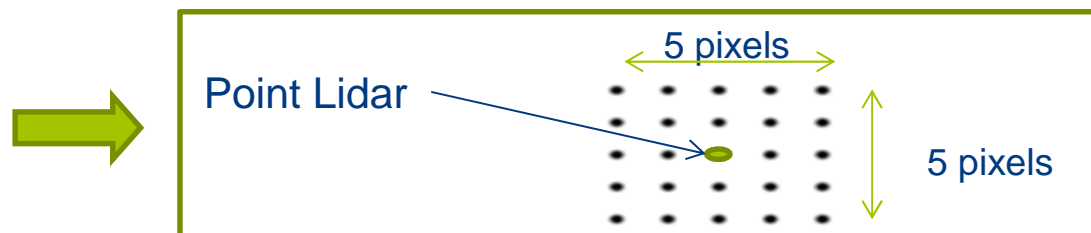


FUSION Camera / Lidar



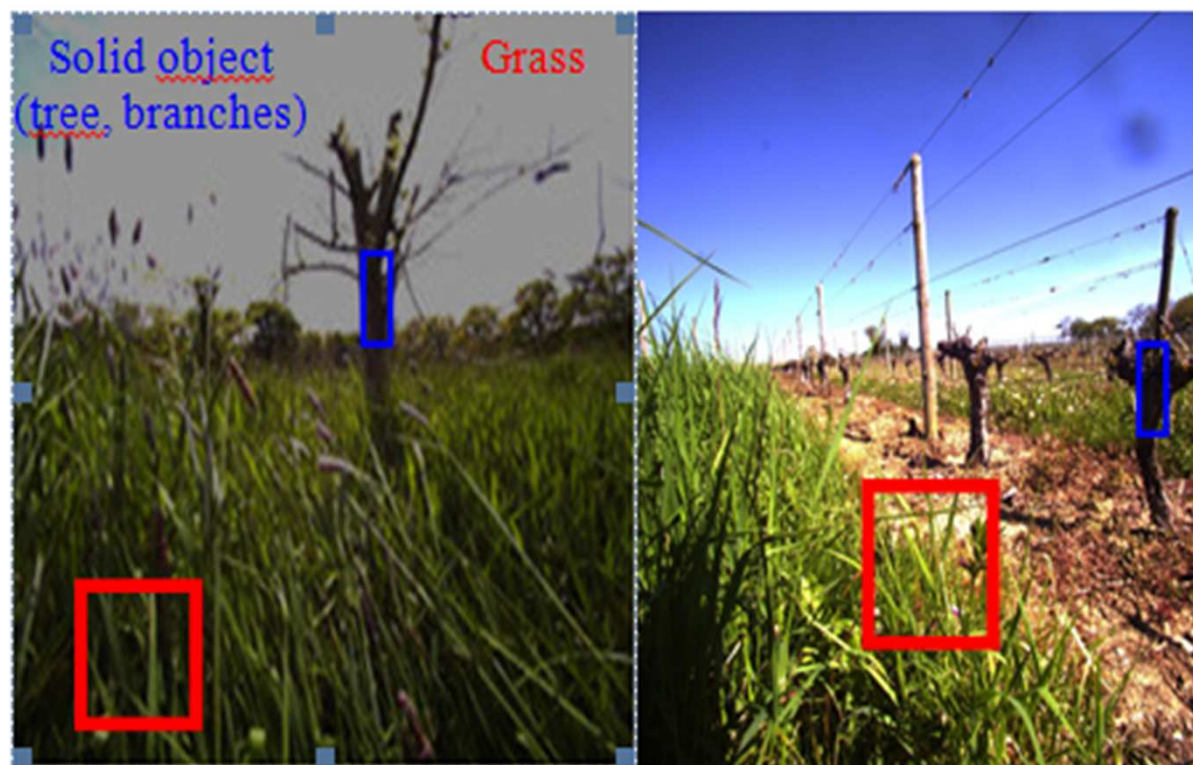
FUSION (Lidar AND COLOR CAMERA)
Points Lidar sur l'image

Pour prendre en compte la différence de résolution entre les deux capteurs, pour chaque point, 25 pixels sur l'image sont traités pour l'opération d'identification



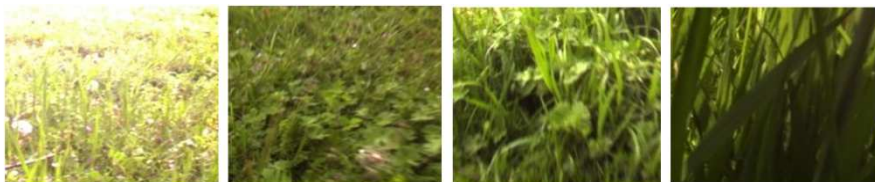
PIXEL CLASSIFICATION

Discrimination entre deux classes (Herbe ou feuille) **et objet solide (arbre)** avec la méthode SVM

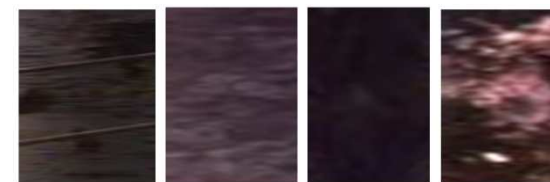


CLASSIFICATION DE PIXEL

Discrimination entre 2 classes (herbe ou feuille) et Culture (arbres)
Images pour les deux classes dans des différentes conditions de lumière

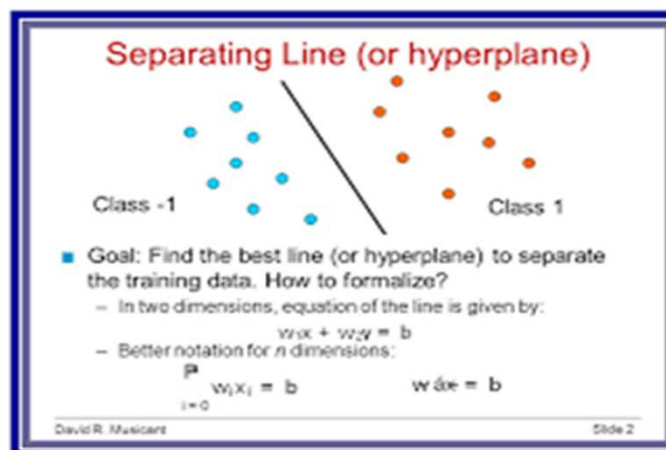


Classe herbe/feuille

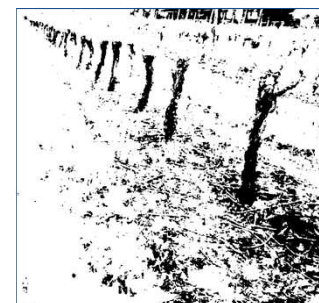


Classe Objet solide (arbre)

SVM Method

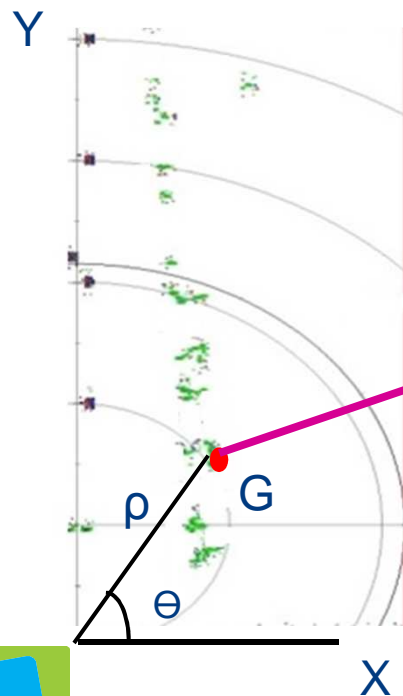


RESULTATS DE CLASSIFICATION



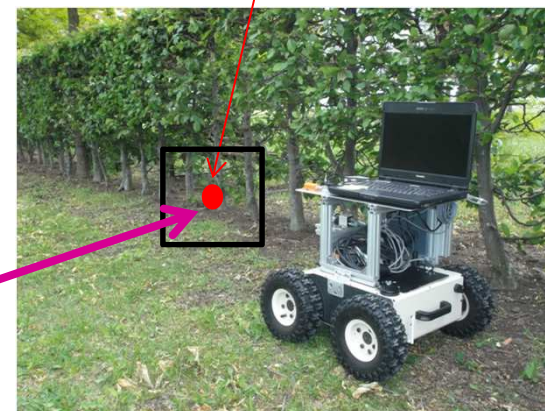
Fusion Lidar et Caméra couleur

Point Lidar $G(\rho, \theta)$



Dans le repère monde
 $G_{\text{Lidar corrigé}}(x, y, z)$ (avec IMU data)

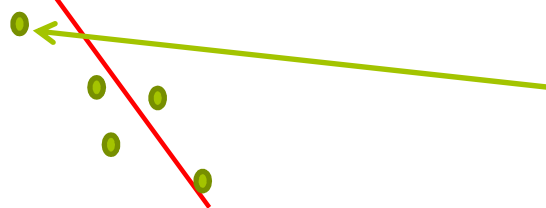
Pixel Image $I(u, v)$



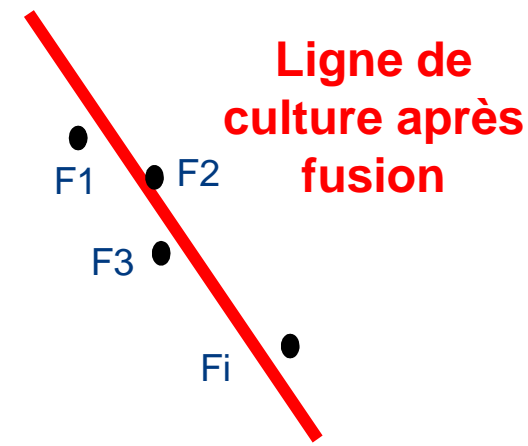
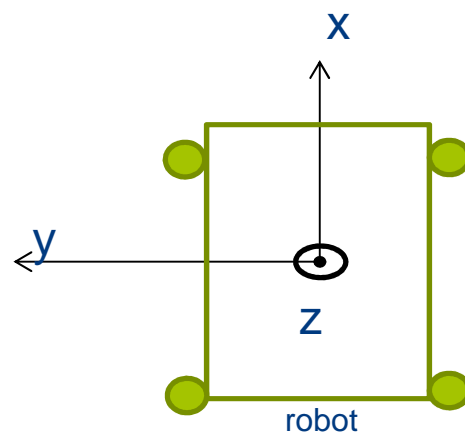
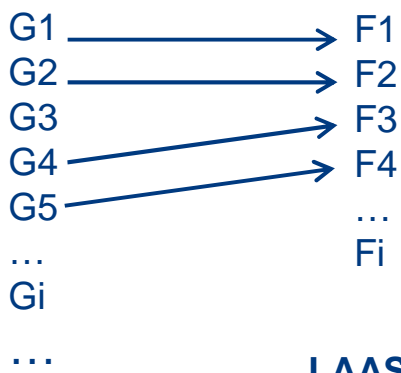
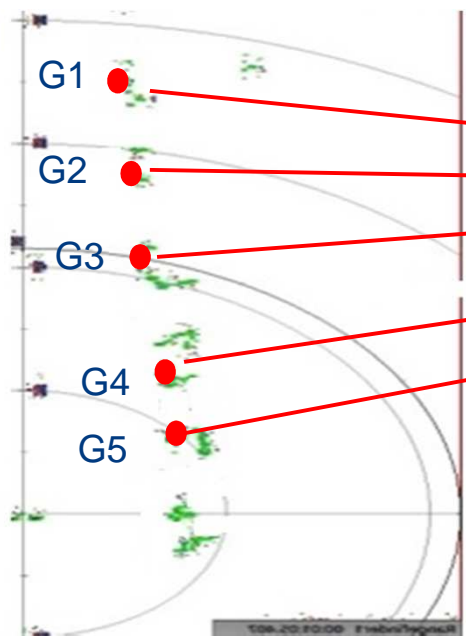
SVM méthode autour du pixel I:
 Couleur moyenne calculée
 (dans une fenêtre 5x5 pixels)

Identification
 Point arbre détecté
 ou
 Non détecté

Ligne de culture



Fusion LiDAR et camera couleur



RESULTAT DE FUSION (Lidar/Camera)



Bruit (Herbe, feuilles et autres objets pas suivi par le véhicule)
Arbre (Points suivi par le véhicule)

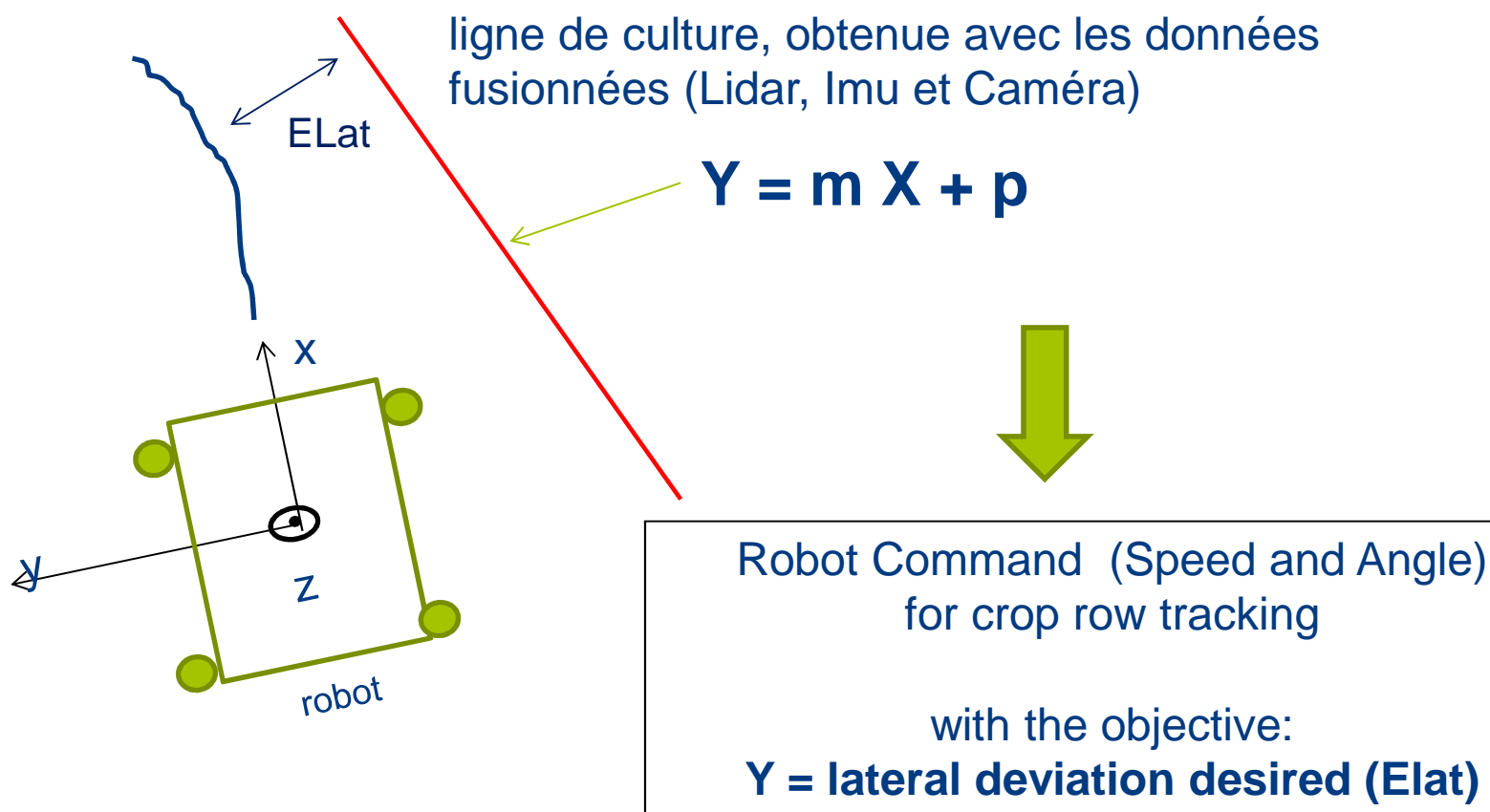
RESULTAT DE FUSION (Lidar/Camera)

Herbe/feuille

Arbre



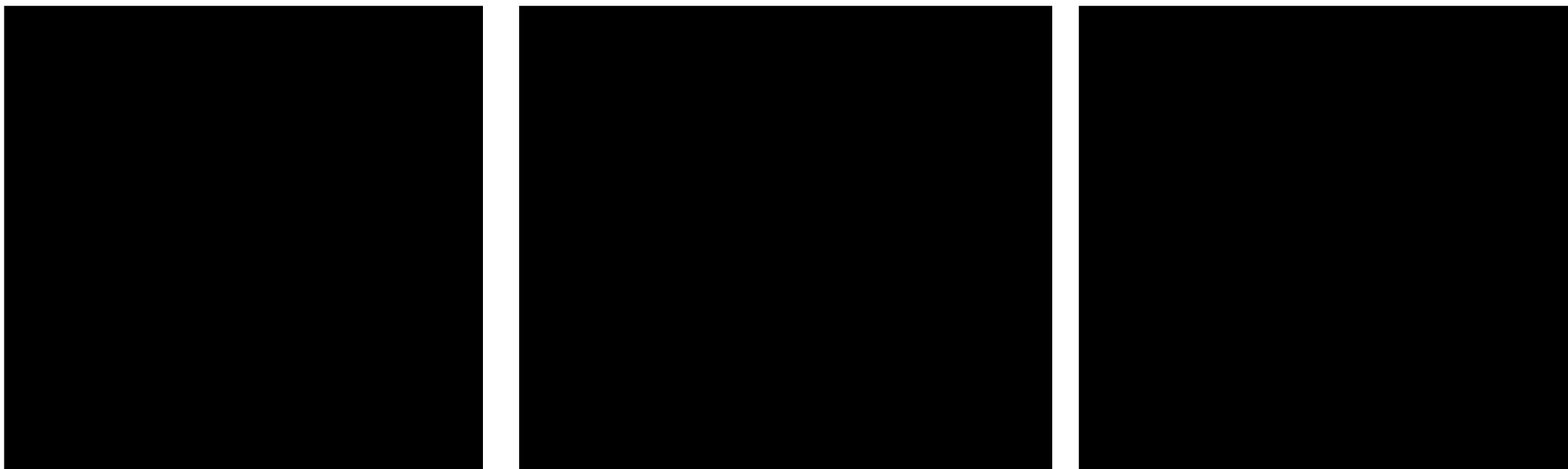
Operation de suivi de ligne





Experimentations résultats de suivi

Vitesse de déplacement: $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, Ecart latéral (1 mètre ou 1.5 mètre)
méthode de Hough pour obtenir la ligne





TRAVERSABILITE DES ROBOTS MOBILES



Traversabilité dans différentes cultures

OBJECTIFS:

Controler un robot autonome dans des conditions difficile de navigation
Présence d'objets de nature diverses (branches d'arbre, herbes, feuilles)
de dimension plus ou moins importante devant le véhicule



Taches agricoles

Semis, entretien, récolte dans des environnements agricole, viticoles ou forestiers



Traversabilité

41

Présence d'objets solides
devant le véhicule



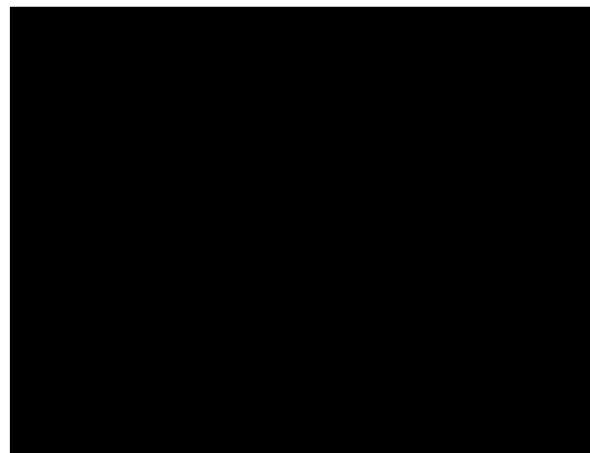
Le véhicule doit éviter l'obstacle
Si l'objet solide (**branches**) est **gros**

Présence d'herbe devant le
véhicule

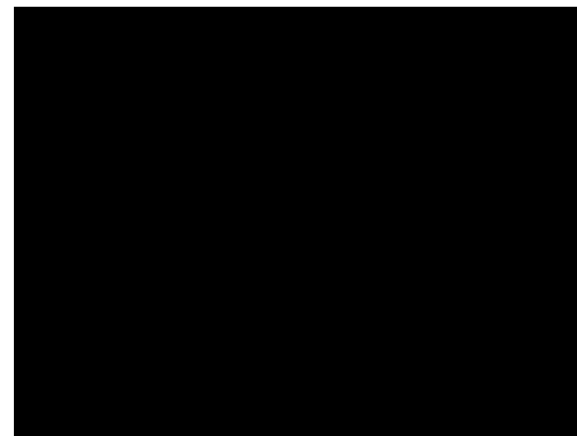


Le véhicule doit traverser l'obstacle à
vitesse réduite (La vitesse est
adaptée à la hauteur de l'herbe)

Sans obstacle



Avec obstacle



Robot mobile avec capteurs pour les opérations de traversabilité

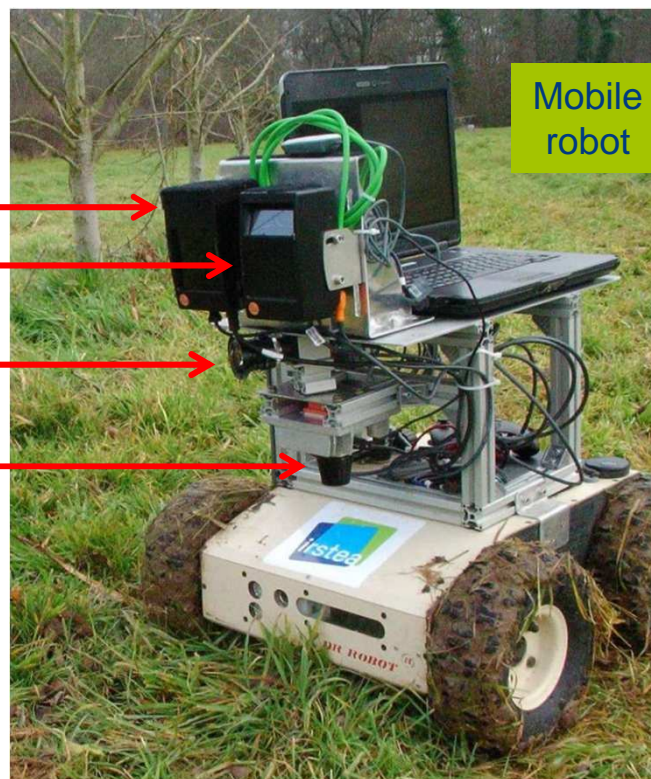
TOF camera

- Lighting device

- Camera

Color camera

Lidar



Topics ROS: /scan /image_raw /03M151



Méthode de fusion pour la détection et l'identification des objets

- Low Resolution :
64 x 16 pixels
- 3D points image:
- Angle range : 70° x 23°
- **Low sensitivity to lighting conditions (indoor and outdoor applications)**



Caméra couleur et caméra TOF
Points 3D
détection et identification

- Giga Ethernet color camera
- Resolution : 1022 x 1022
 - Lens : 6mm
 - Format : 1"

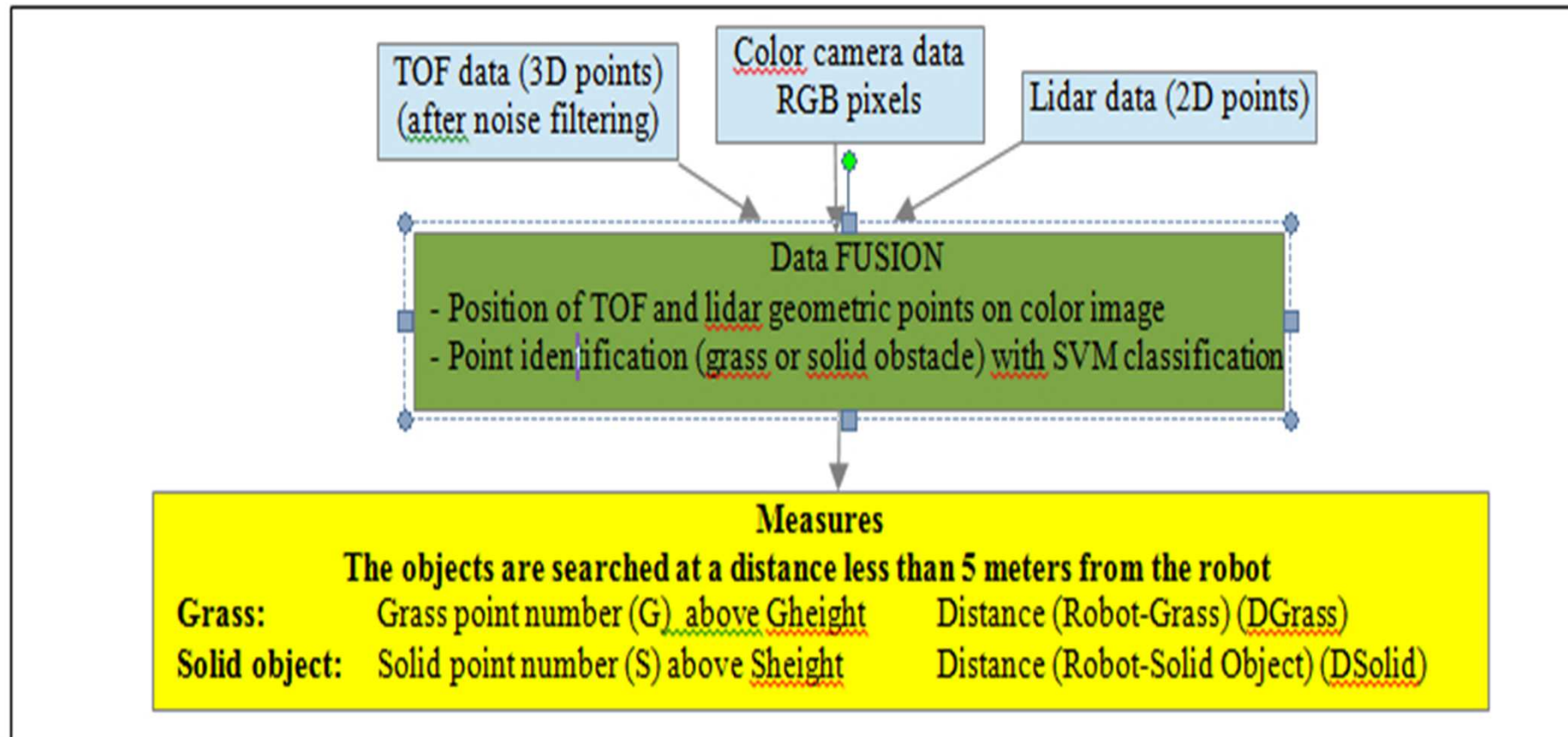


Caméra couleur et Lidar
Points 2D
détection et identification

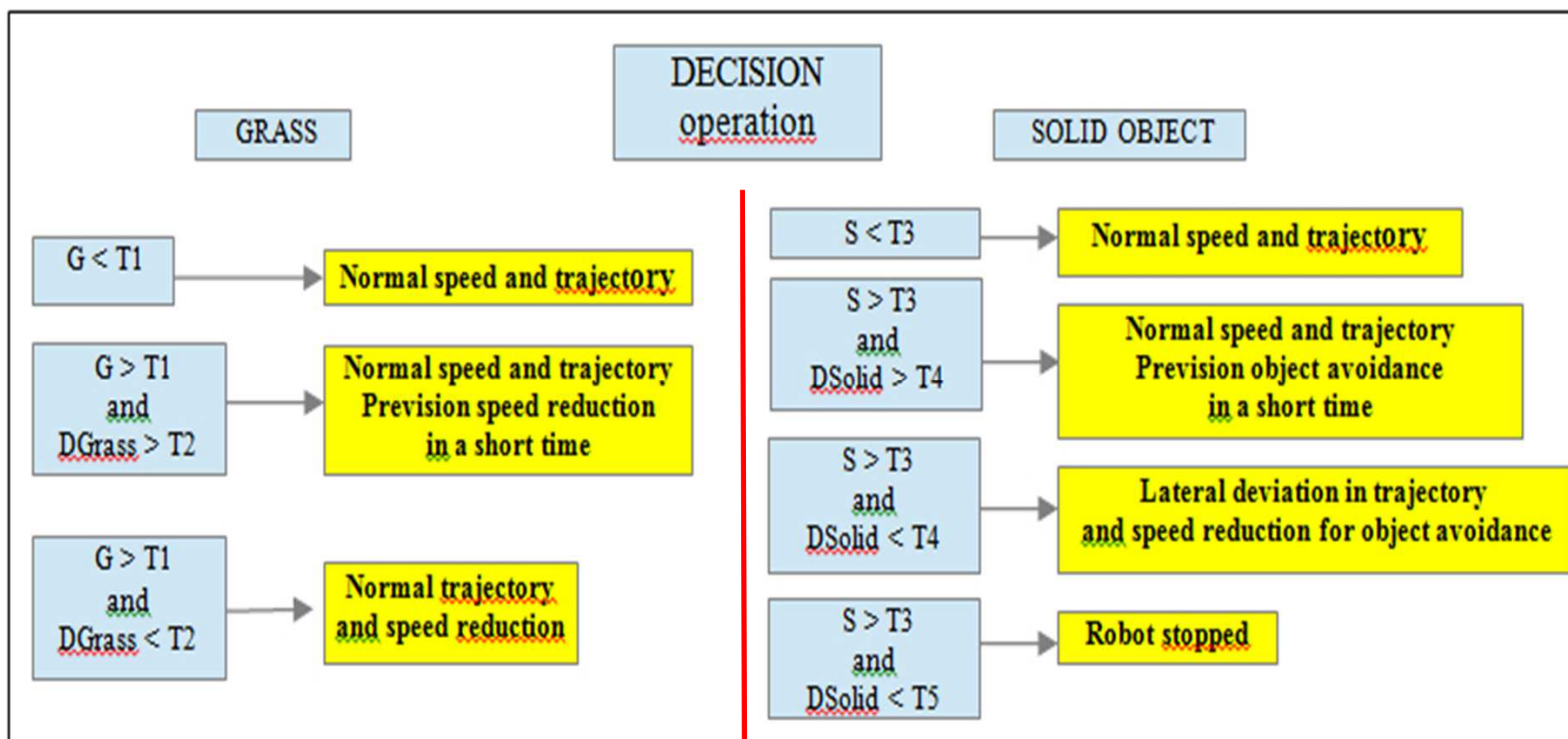
- Angle range :
min = - 45° max = 225°
- Accuracy : 0,5°



Acquisition de données capteurs, fusion et mesures



Décision de TRAVERSABILITE



Threshold values: $T1 = 100$ points $T2 = 3$ m $T3 = 100$ points $T4 = 4$ m $T5 = 1$ m

Fusion de capteurs

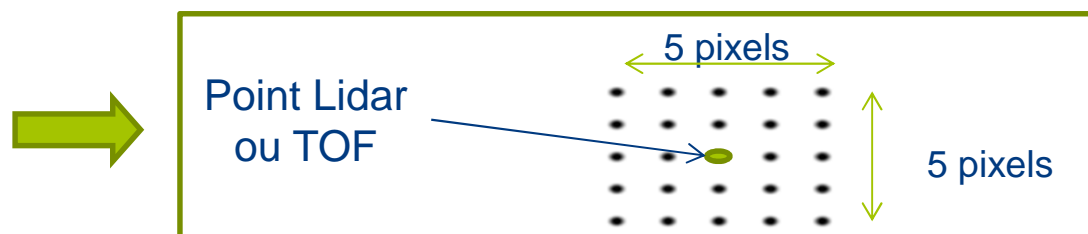


FUSION (Lidar et Caméra couleur)



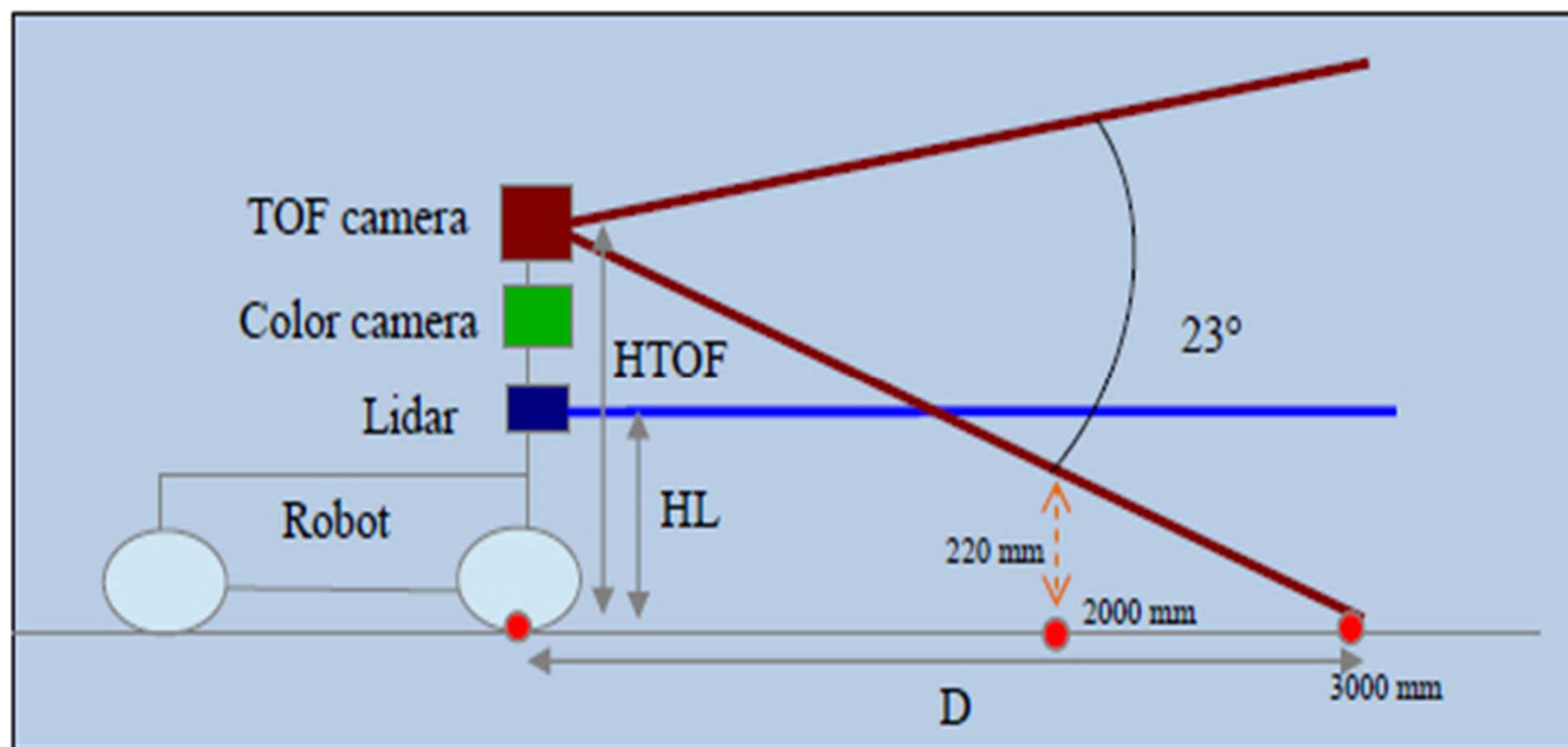
FUSION (Caméra TOF et Caméra couleur)

Pour prendre en compte la différence de résolution entre les deux capteurs, pour chaque point, 25 pixels sur l'image sont traités pour l'opération d'identification



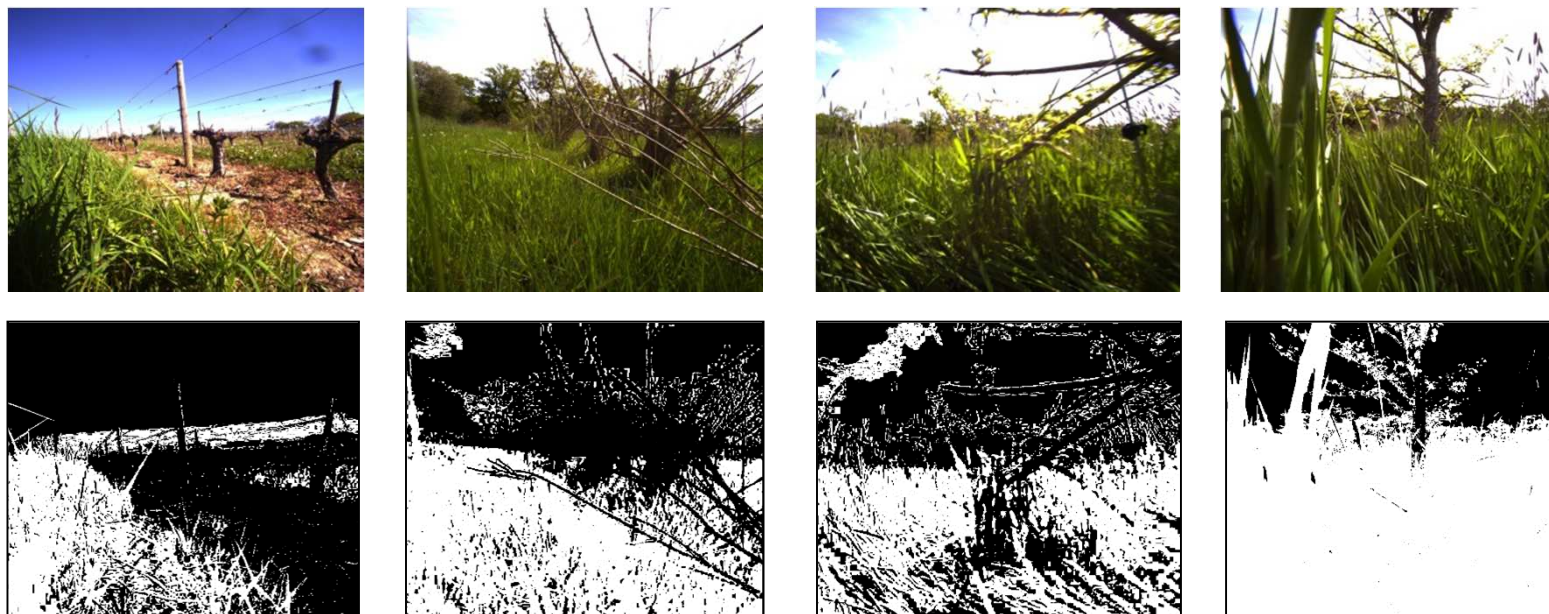
Modèle pour le robot mobile avec capteurs

Informations complémentaires obtenues
avec les deux capteurs TOF et LIDAR



Résultats de classification

Discrimination entre deux classes **herbe/feuille** et objet solide (**arbre/branche**) dans des conditions de lumière variables avec la méthode SVM



EXPERIMENTATION – RESULTATS

Vigne et autres cultures





Résultat de fusion avec Lidar

Décision de traversabilité

Grass points= 150
Distance (Robot-Grass)= 3,216 m
Solid Object points= 0
Traversability Decision: NORMAL SPEED



Grass points= 131
Distance (Robot-Grass)= 1,110 m
Solid Object points= 4
Traversability Decision: REDUCED SPEED





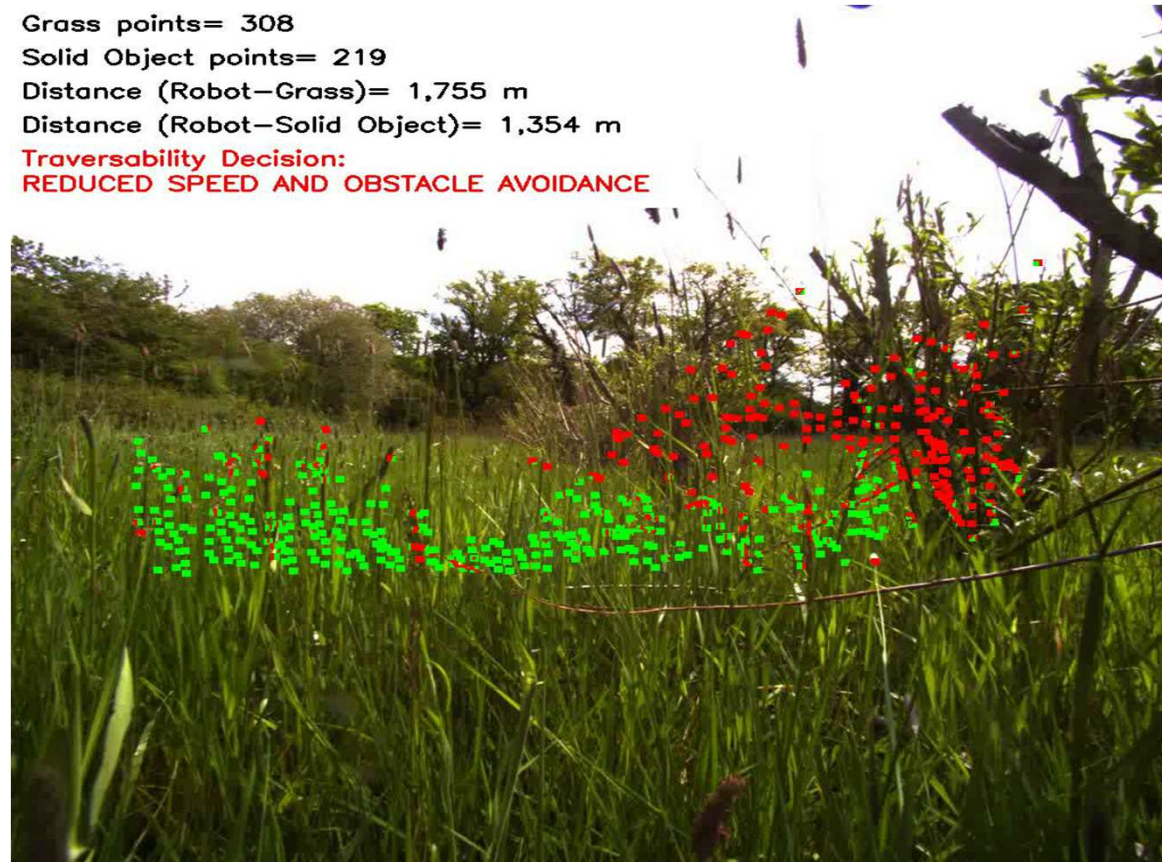
Résultat de fusion avec Caméra TOF⁵¹

Décision de traversabilité

Grass points= 308
Solid Object points= 219
Distance (Robot-Grass)= 1,755 m
Distance (Robot-Solid Object)= 1,354 m

Traversability Decision:
REDUCED SPEED AND OBSTACLE AVOIDANCE

Grass
Solid object



Résultat de fusion Caméra couleur / Caméra TOF

Détection d'objets solides

Solid Object points= 477

Distance (Robot-Object)= 1,166 m

Traversability Decision:
REDUCED SPEED AND OBSTACLE AVOIDANCE





SECURITE A PROXIMITE DES MACHINES AGRICOLES



Résultat de fusion Caméra couleur / Caméra TOF

Détection à proximité du robot mobile

Détection d'un objet (humain)
entre 1 et 2 mètres du véhicule
(statique)

Fusion
Red (R=max)
Green (G= max)
Blue (B= max)





PERCEPTION DANS LES CULTURES DE BETTERAVES SUCRIERE POUR DES OPERATIONS DE PHENOTYPAGE



Perception dans des cultures de betteraves sucrières



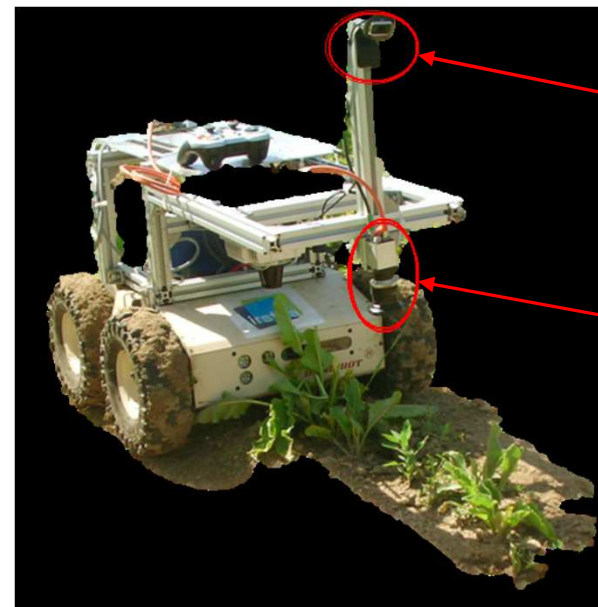
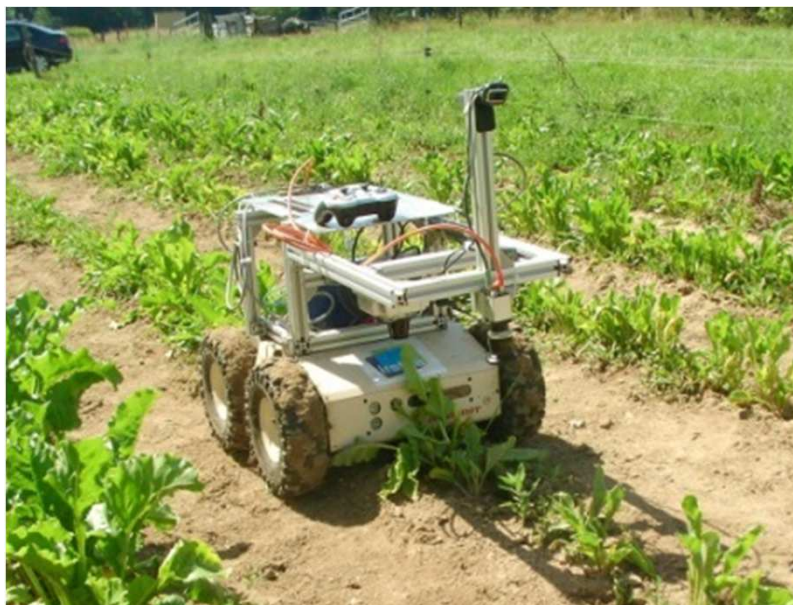
Objectifs:

Phénotypage à différents stades de végétation (*2 feuilles, 4 feuilles, ...*)

- Détection des maladies sur des plants de betterave sucrière
- Etude et comparaison de variétés de graines de betteraves (croissance,...)



Perception dans des cultures de betteraves sucrières



Webcam camera
Resolution: 1280 x 720
Suivi de lignes de culture

GigaEthernet camera
Resolution: 2044 x 2044
mesures géométriques et
colorimétriques,
cartographie 2D

Robot mobile

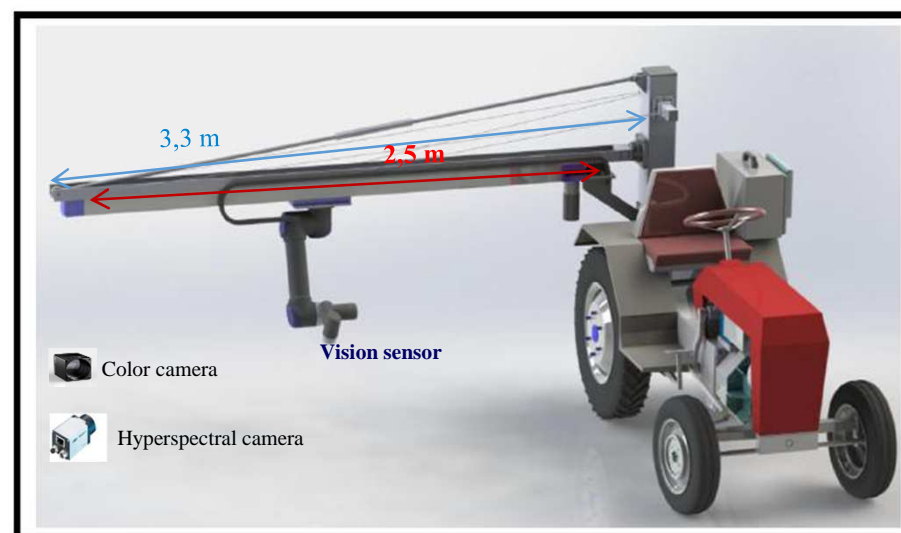
Objectifs: réaliser un suivi des lignes de betteraves et réaliser des mesures géométriques et colorimétriques sur la raie centrale



Topics ROS: `/camera/image_raw` `/webcam/image_raw`

LAAS - Toulouse – Journées ROS – 19-20 Juin 2018

Perception dans des cultures de betteraves sucrières



Axe linéaire + Bras manipulateur UR5 6DDL

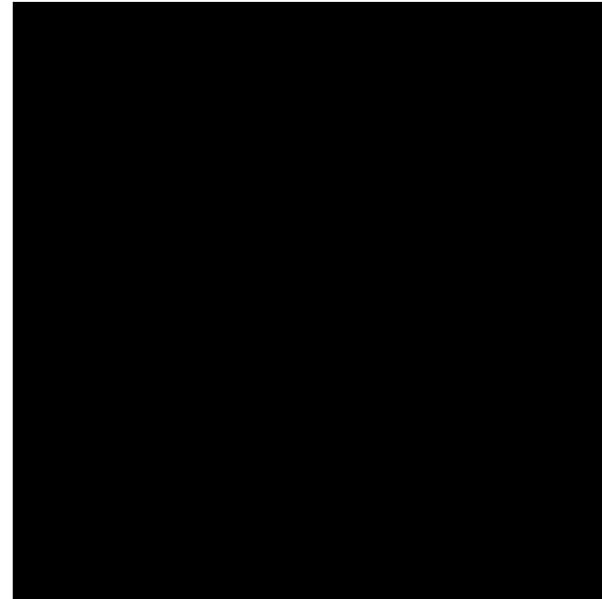
Objectifs: positionner la caméra au dessus des feuilles de betteraves en considérant différentes hauteurs et orientations désirées, pour acquérir des images de grande qualité pour des mesures de phénotypage



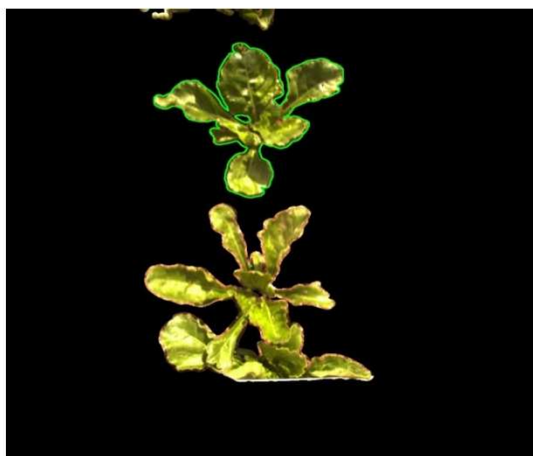
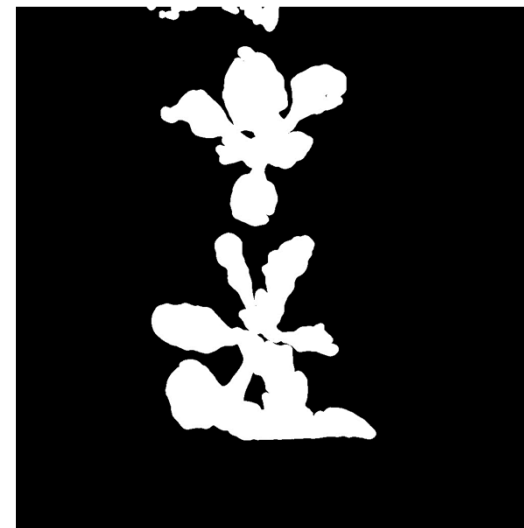
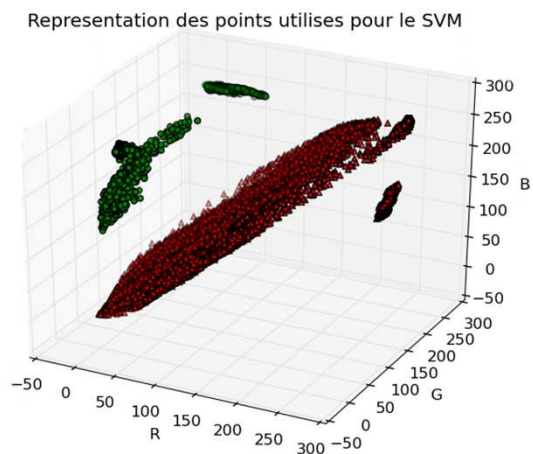


Expérimentations avec robot mobile

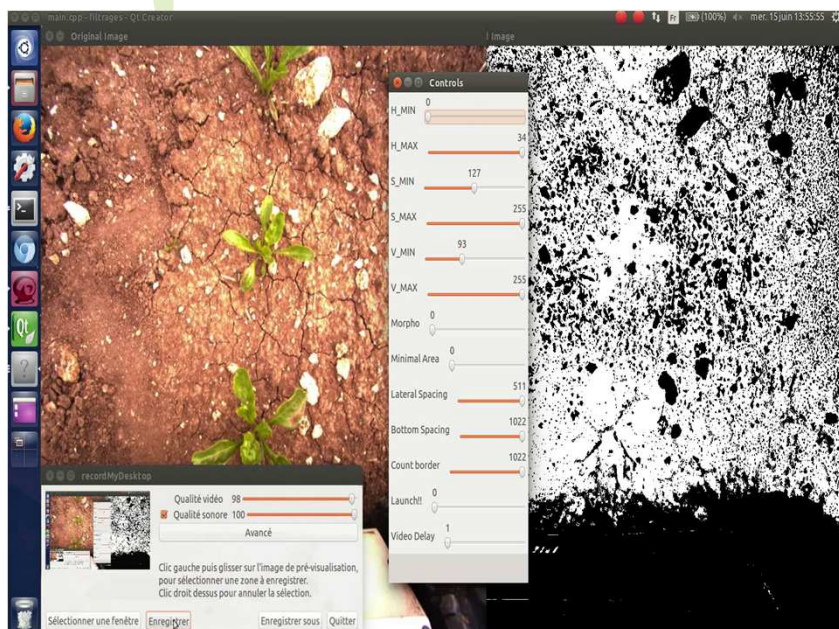
59



Segmentation d'image (classification SVM)

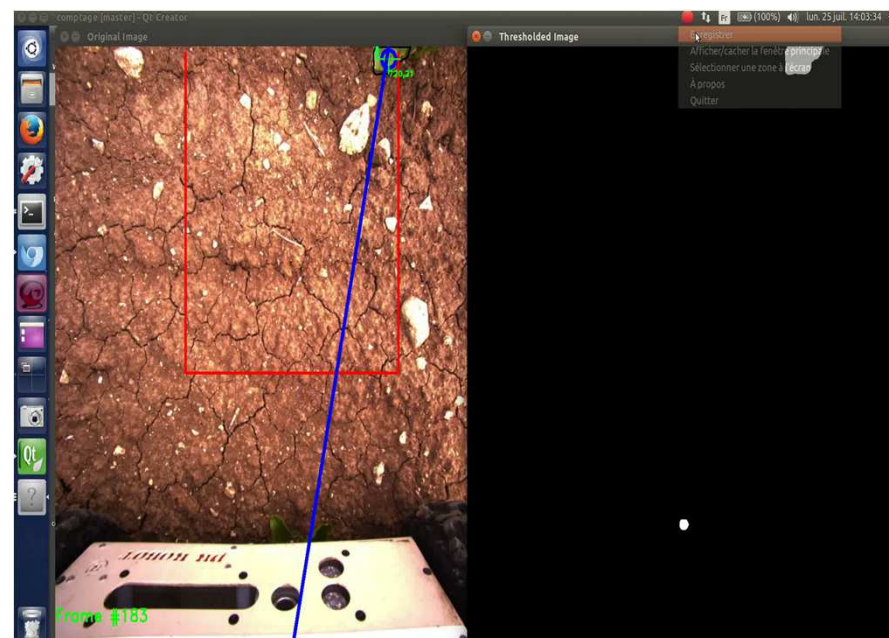


Détection des feuilles de betteraves



Détection des feuilles de betteraves et discrimination (feuille de betteraves, sol, mauvaises herbes)

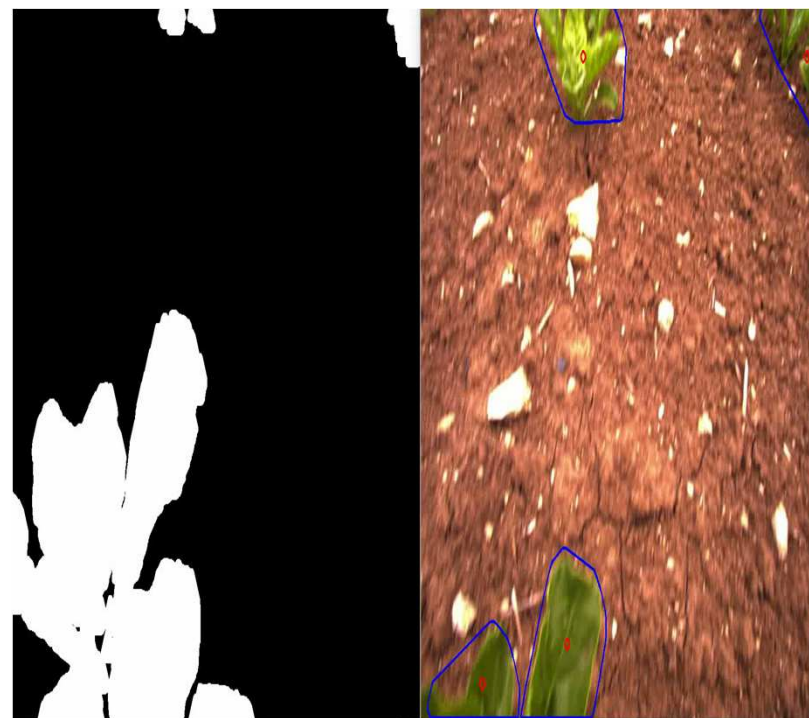
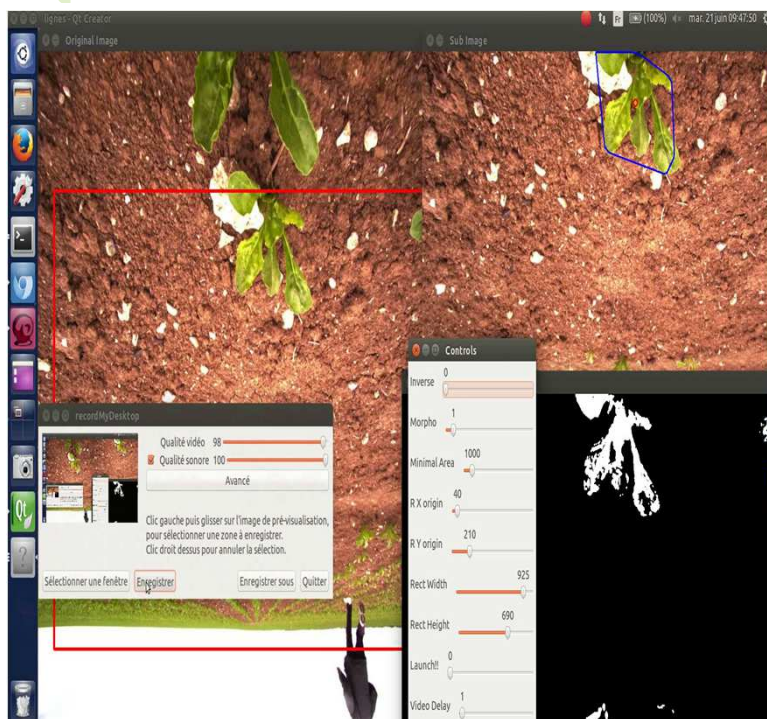
- Réglage des seuils dans l'espace HSV
- Réglage des paramètres de morphologie (érosion, dilatation, labélisation, composants connectés, contours)



Caméra position verticale
Mesures géométriques et colorimétriques



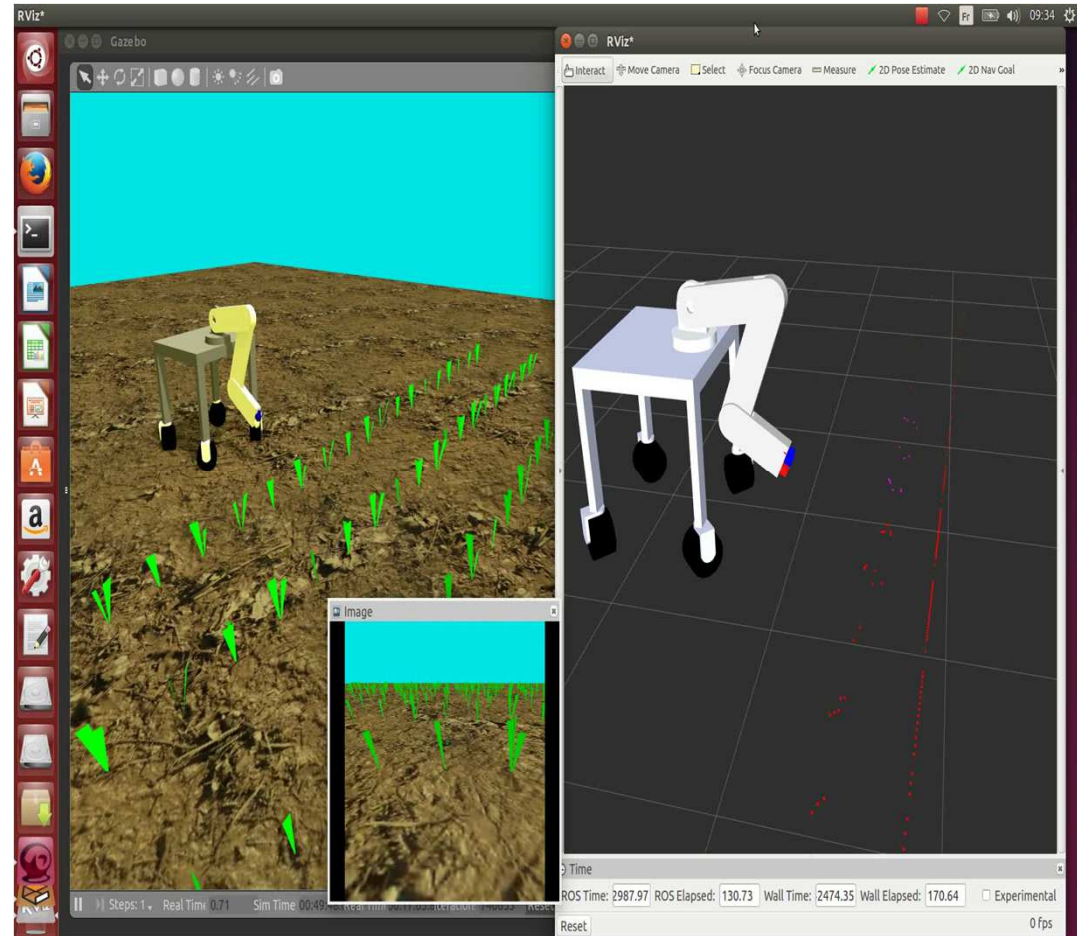
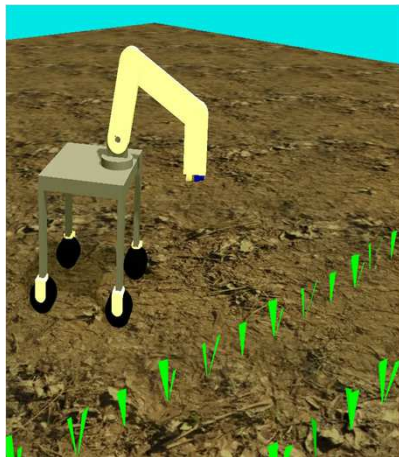
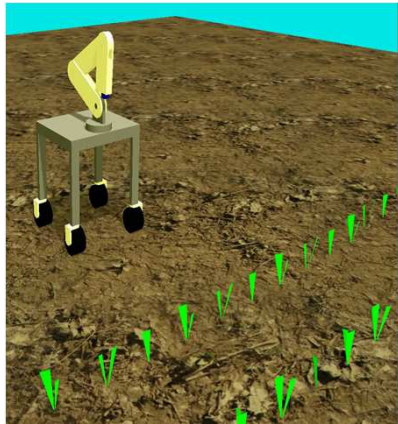
Détection des feuilles de betteraves



Caméra position oblique: Suivi de lignes de betteraves

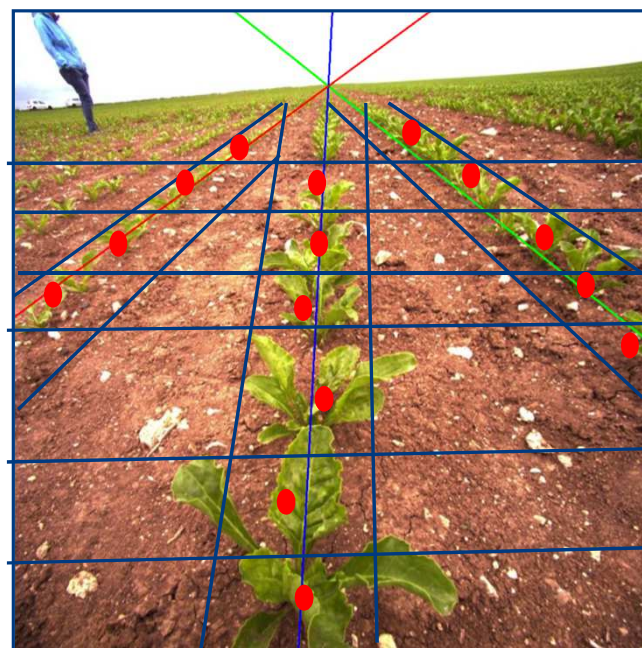
LAAS - Toulouse – Journées ROS – 19-20 Juin 2018

Simulation ROS Gazebo Robot manipulateur (caméra + laser)

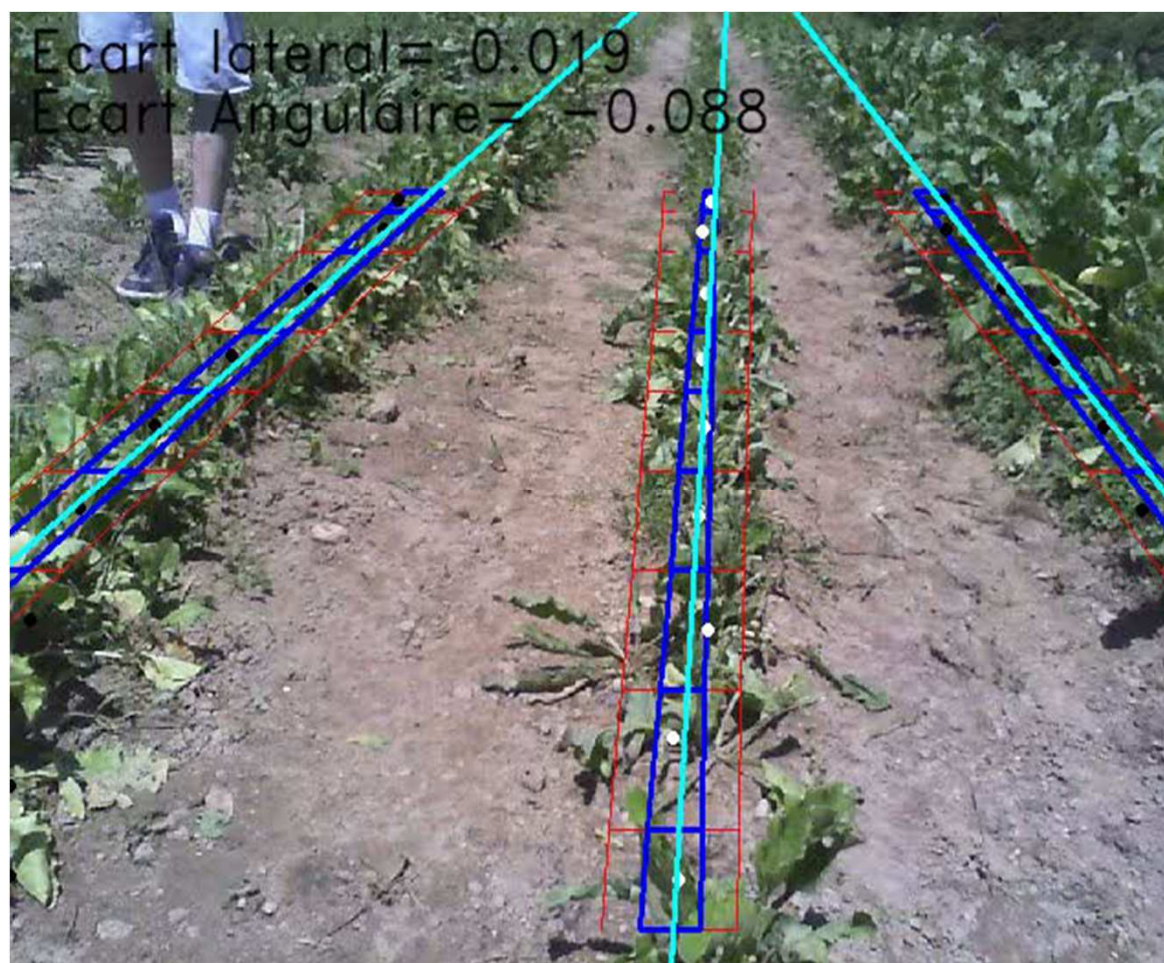


Suivi de lignes de betteraves

- Découpage de l'images en zones horizontales et en trois bandes associées à trois raies
- Après segmentation de l'image, recherche des barycentres dans les différentes trapèzes pour trouver les lignes par régression linéaire
- Un filtrage de Kalman permet de réduire les zones de recherches (largeur des bandes) des raies de Gauche et Droite après avoir trouvé la ligne de la raie centrale
- A partir des informations obtenues sur les trois raies (trois droites), on obtient les données « Ecart Latéral et Ecart Angulaire » pour commander le robot, pour le suivi de lignes.

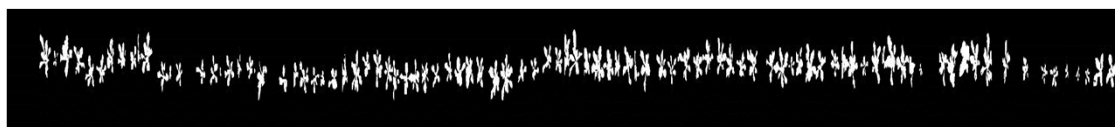
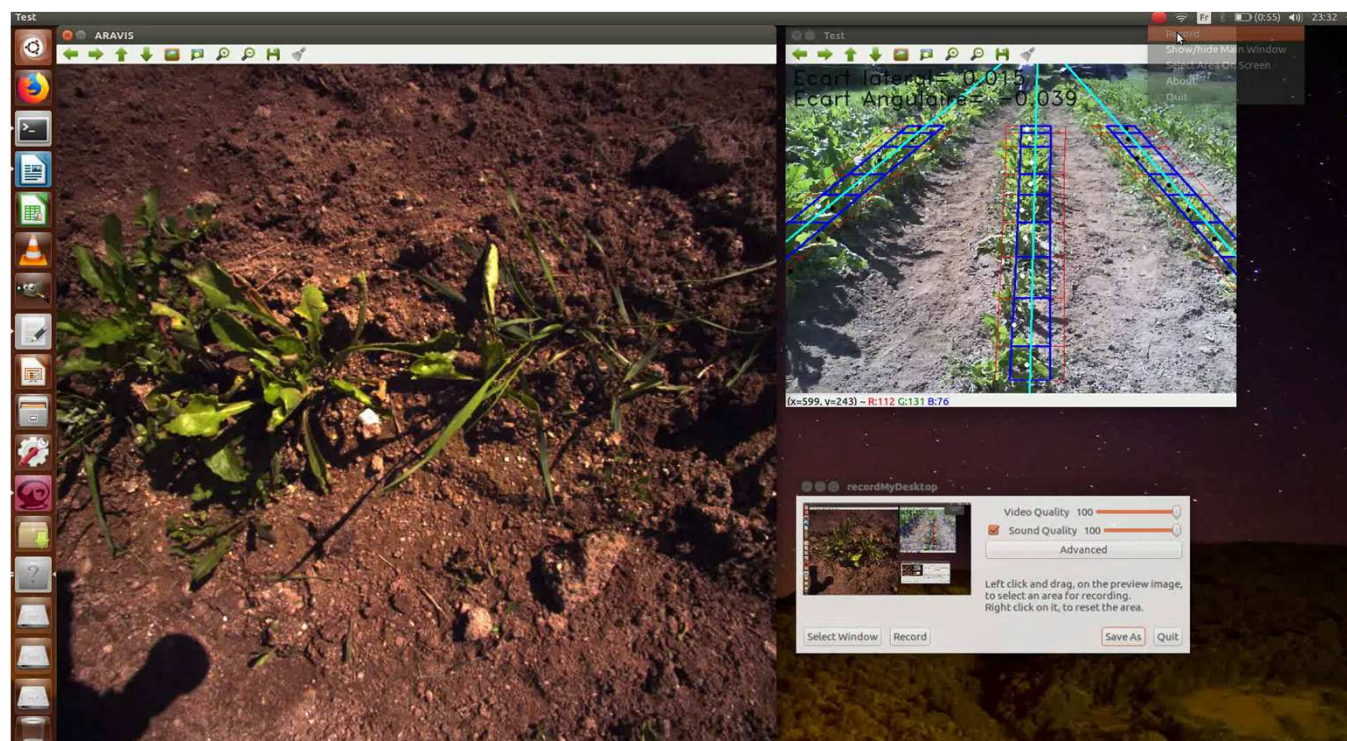


Suivi de lignes de betteraves



Suivi de lignes de betteraves et cartographie de la raie centrale

Utilisation de ROS et OpenCV
 topics ROS
 /camera/image_raw
 /webcam/image_raw
 /odom



Cartographie 2D: mesures géométriques (comptage des plants, surface foliaire, espacement entre les plants)
 mesures colorimétriques (statistiques sur teinte H, niveau de R, G et B)



Perception active du robot de phénotypage (axe linéaire + bras manipulateur)



Perception active: mesures de perception et contrôle/commande du bras UR5

Détection des feuilles de betteraves, mesures (barycentre des feuilles, surface foliaire) et mobilité du bras UR5 pour centrer les feuilles sur l'image et pour qu'elles couvrent une grande surface sur l'image



Détection / Séparation des plants de betteraves (recouvrement total)





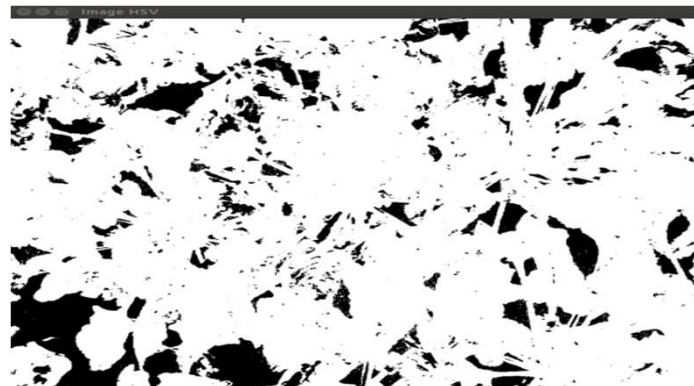
Détection / Séparation des plants de betteraves (recouvrement total)

Algorithme

- Conversion de l'image en HSV
- Filtre sur le H pour extraire le «vert » betterave
- Filtre sur le V pour récupérer les nervures
- Détection de ligne avec la méthode de HoughLine
- Extension des lignes
- Détection des croisements entre les lignes étendues
- Opérations morphologiques pour obtenir les zones avec le plus de croisement
- **-> détection des centres de chaque plante**



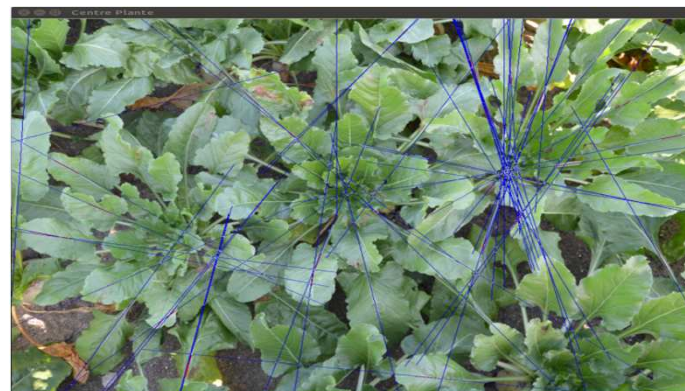
Détection / Séparation des plants de betteraves (recouvrement total)



Filtre dans plan H et Binarisation

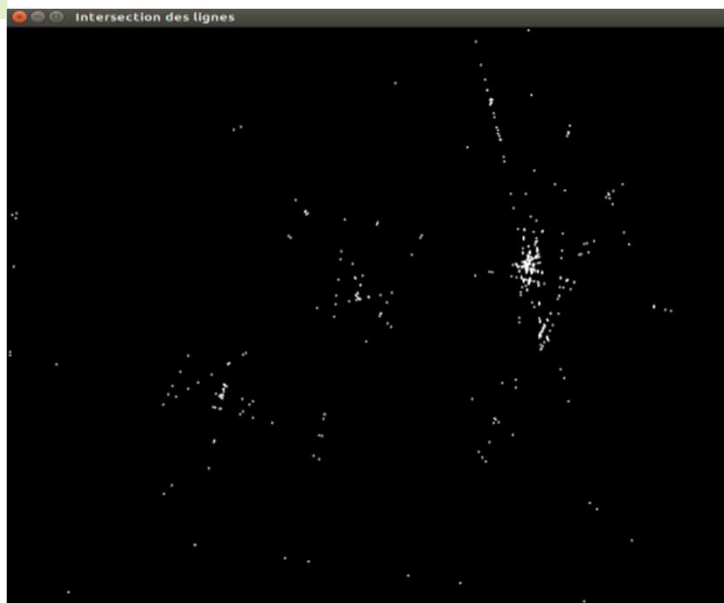


Filtrage dans plan V puis méthode de Hough pour
obtenir les nervures



Extension des lignes obtenues

Détection / Séparation des plants de betteraves (recouvrement total)



Détection des croisements entre lignes étendues



Opérations morphologiques pour obtenir les zones correspondant aux centres des plantes

Détection / Séparation des plants de betteraves (recouvrement total)



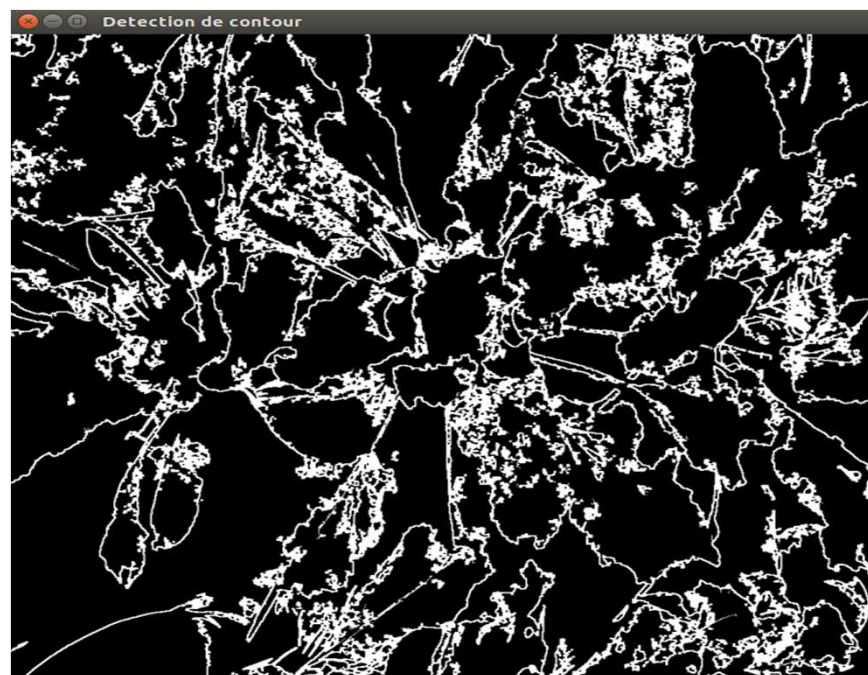


Détection / Séparation des feuilles de betteraves (recouvrement total)

Algorithme

- Conversion de l'image en HSV
- Filtrage dans plan H pour extraire le «vert » betterave
- Détection des contours avec méthode de Sobel
- Filtrage dans H + Sobel: première séparation des feuilles
- Création d'une carte de distance par rapport aux contours (DistanceTransform)
- Seuillage du résultat obtenu : obtention des feuilles
- Algorithme de Watershed pour retrouver les formes des feuilles

Détection / Séparation des feuilles de betteraves (recouvrement total)



Extraction de contour avec filtre de Sobel

Détection / Séparation des feuilles de betteraves (recouvrement total)



Première séparation des feuilles (filtrage dans plan H
+ résultat de Sobel)



Seuillage sur la méthode de DistanceTransform
Obtention des centres des feuilles

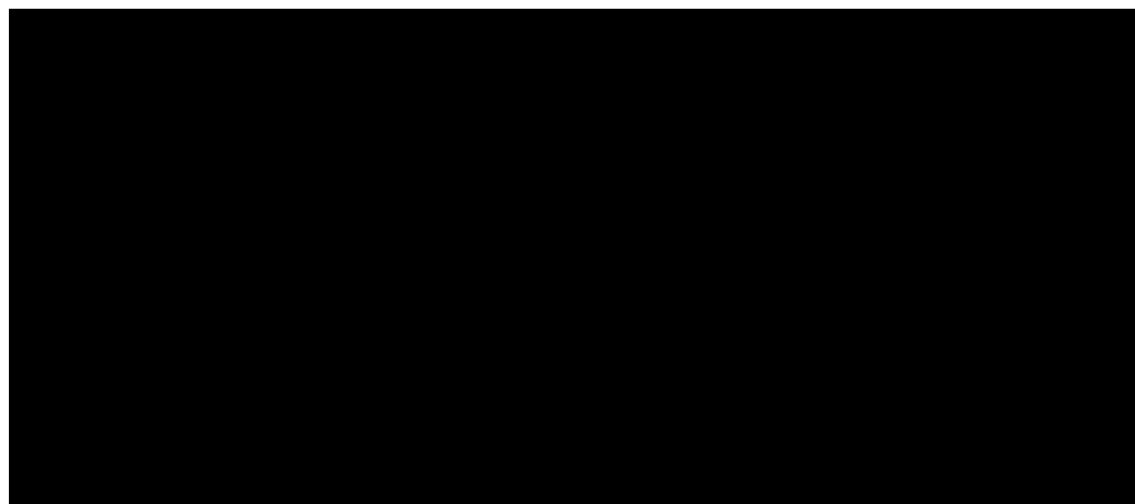
Détection / Séparation des feuilles de betteraves (recouvrement total)



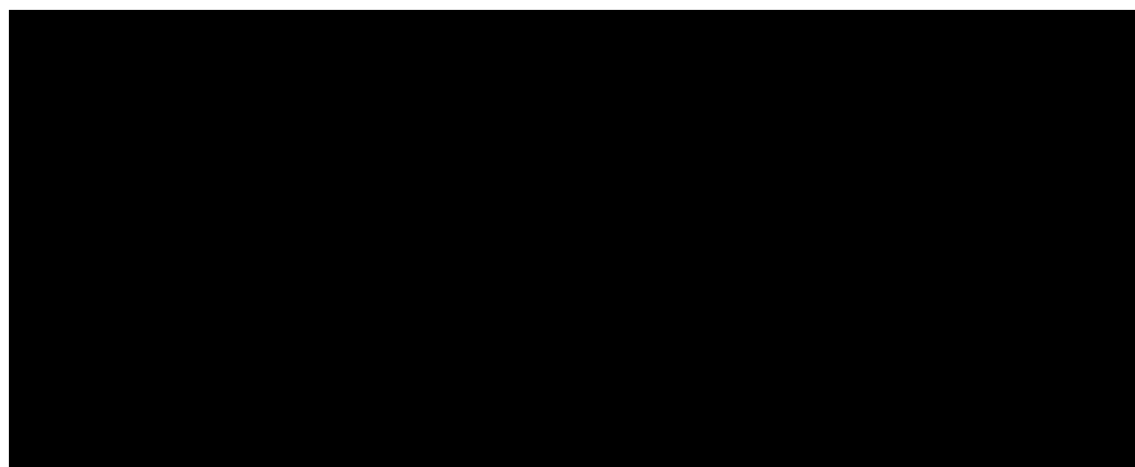
Méthode de Watershed pour obtenir les feuilles

Détection / Séparation des plants et des feuilles de betteraves (recouvrement total)

Séparation des plantes



Séparation des feuilles





DETECTION D'ANIMAUX EN FORET PAR VISION ARTIFICIELLE



Détection d'animaux en forêt par vision artificielle

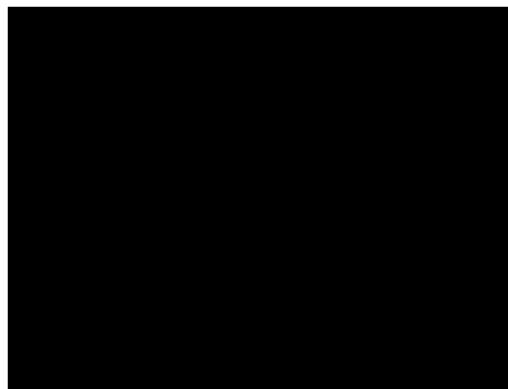
Objectif: développer un logiciel de vision artificielle pour détecter des animaux (cerf, sanglier, pigeon,...) sur des vidéos
Les images contenant des animaux sont conservées.



Fréquence d'acquisition 1 minute
Acquisition en toute saison, en fin de soirée, la nuit (apparition des animaux qui affectent les cultures)



Détection d'animaux en forêt par vision artificielle





Détection d'animaux en forêt par vision artificielle

81



Image m

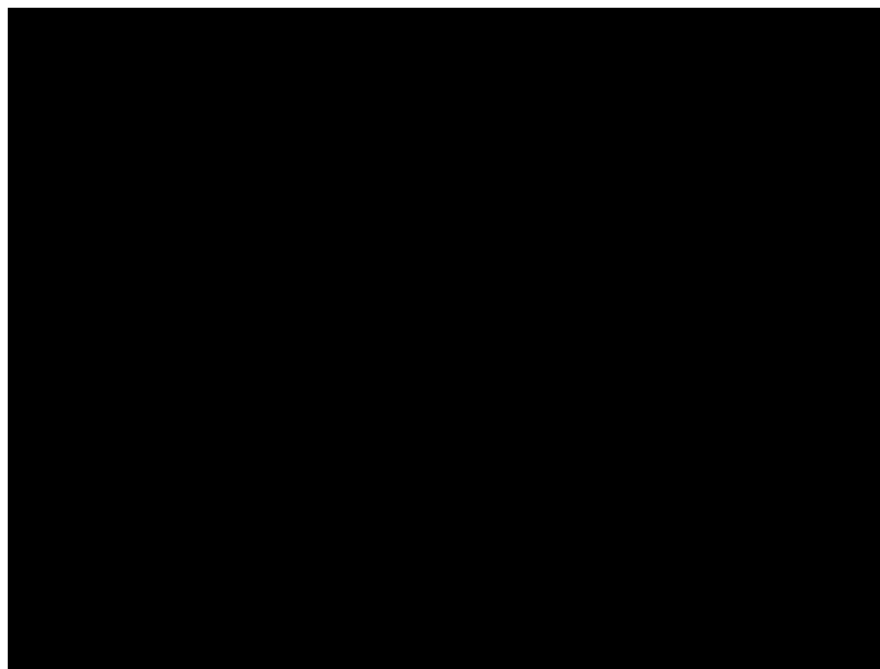


Image m+1

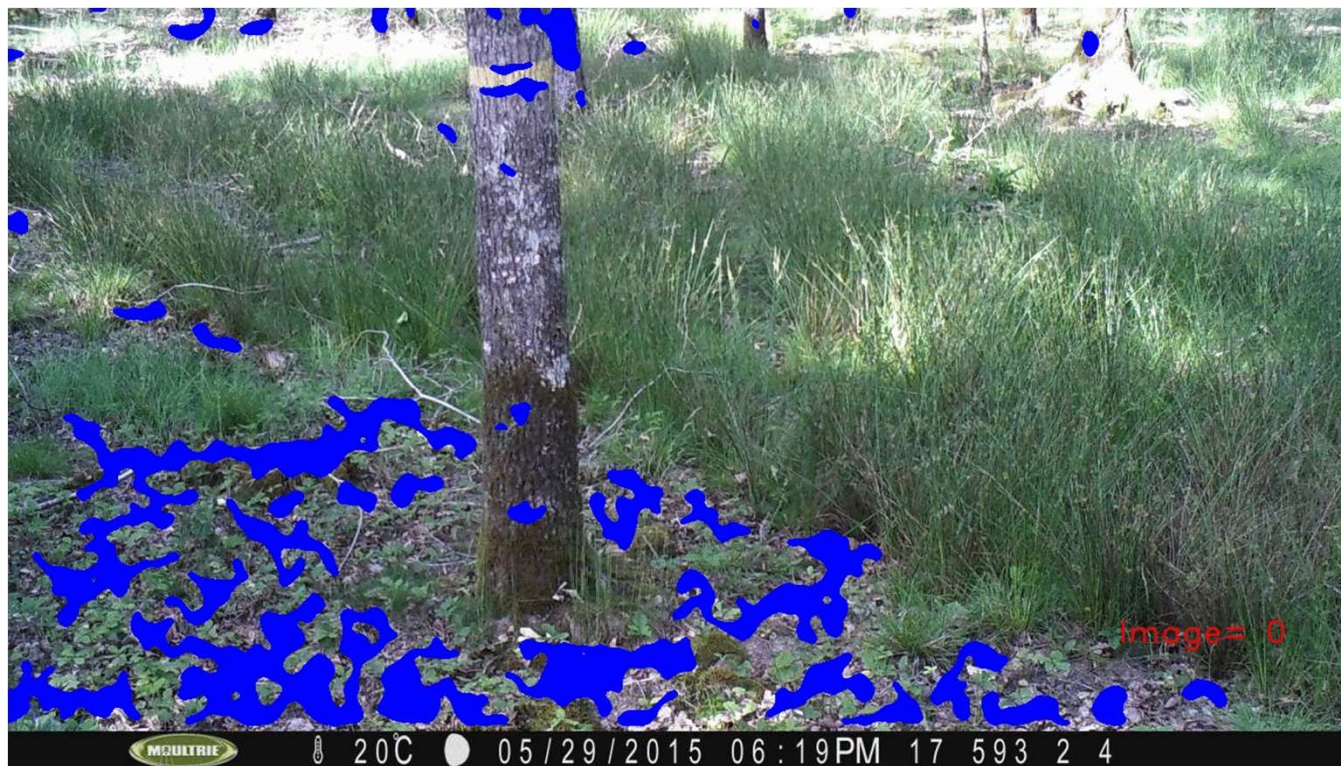
- Split (R,G,B): séparation des plans R, G et B
- ImageDifB = **subtract** (B_{m+1}, B_m) ImageDifG = **subtract** (G_{m+1}, G_m) ImageDifR = **subtract** (R_{m+1}, R_m)
- Morphologie, labélisation, composants connectés, contours sur l'image m+1
- **Critère de détection d'un animal sur l'image m+1**
 $\text{ImageDifB}(i,j) > S1$ et $\text{ImageDifG}(i,j) > S2$ et $\text{ImageDifR}(i,j) > S3$ et $((R > G \text{ et } R > B) \text{ ou } (B > R \text{ et } B > G))$
couleur de l'animal détecté sur l'image m+1



Détection d'animaux en forêt par vision artificielle

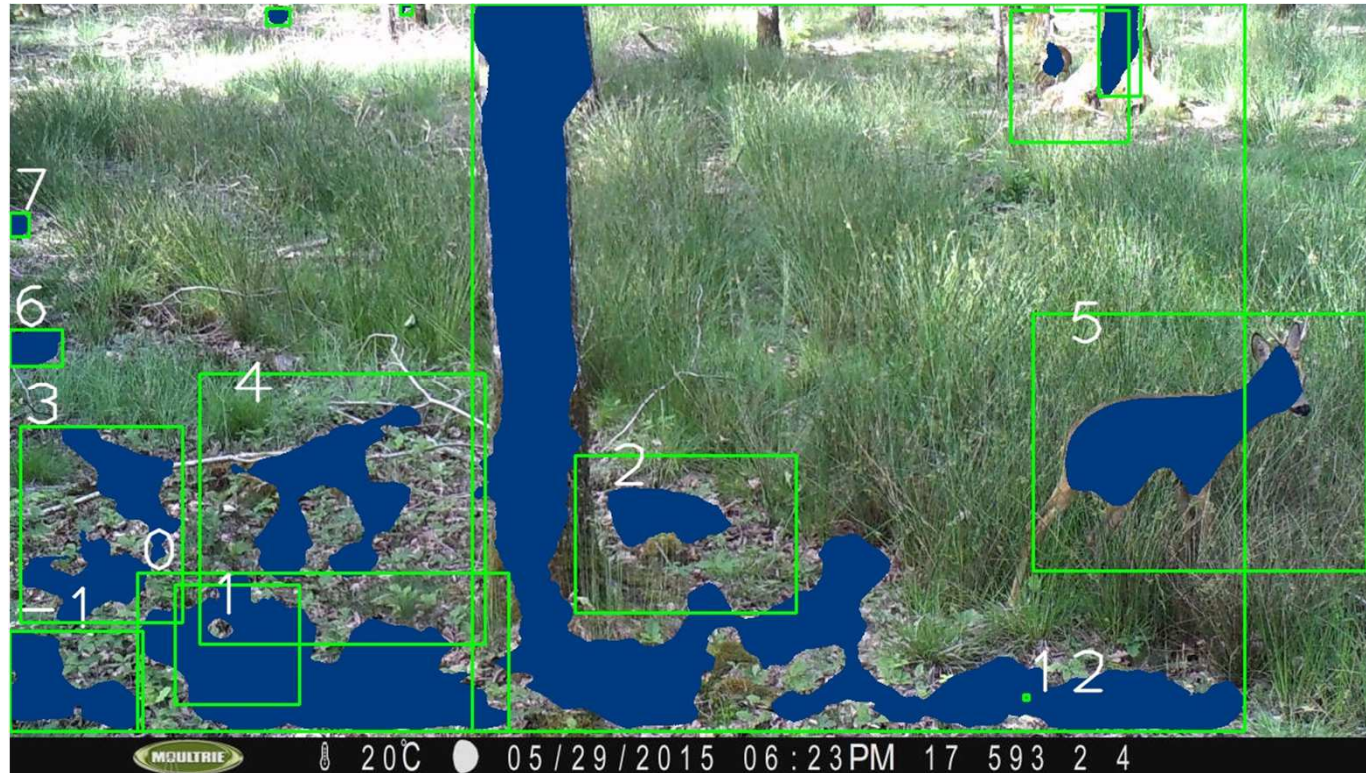


Détection d'animaux en forêt par vision artificielle



Couplage au deep learning (tensor flow)

84



- Extraction des images (crops)
- Envoie des images au logiciel **Deep Learning (Tensor flow)** pour identification des objets





Résultat de Tensor flow



water ouzel, dipper 0.6113115



dhole, Cuon alpinus 0.8049886



grey fox, gray fox, Urocyon
Cinereoargenteus 0.306347



dhole, Cuon alpinus 0.54880184



dhole, Cuon alpinus 0.74216866



Résultat final

Traitement d'image OpenCV + Tensor flow





Conclusions

Pour les applications de Vision artificielle

- J'ai utilisé la toolbox Matlab Image Processing jusqu'en 2010 et développé mes propres algos de traitement d'image en C++

- Depuis 2010, je n'utilise que **OpenCV**

La librairie de fonctions est très complète, les fonctions sont rapides et facilement utilisables en C++ ou Python.

Pour détecter facilement des feuilles de betteraves (ou autres cultures) de forme ovale/ellipse, j'aimerais voir un jour une fonction **HoughEllipse**, dans la librairie OpenCV !

C'est possible ?

MERCI DE VOTRE ATTENTION

