

Apprentissage automatique et imagerie agricole embarquée

Application à la détection des maladies et des organes des végétaux

C. Germain^{1,3}, J.-P. Da Costa^{1,3}, L. Bombrun^{1,3}, M. Donias^{2,3}, B. Keresztes³, L. Lac³, F. Abdelghafour⁴, F. Rançon⁴

¹ Bordeaux Sciences Agro

² Bordeaux INP

³ CNRS, IMS

⁴ INRAE, ITAP

Introduction

Utilisation croissante de l'apprentissage automatique en agronomie.

L'imagerie de proxidtection ou imagerie embarquée n'échappe pas à cette tendance :

- Reconnaissance des plantes
- Détection/reconnaissance des maladies
- Détection/reconnaissance des adventices
- Phénotypage
- Rendement
- Robotisation
-



La France Agricole

Contexte agricole : pourquoi l'imagerie embarquée?

- Résolution spatiale des images
 - Pixels millimétriques ou sub-millimétriques
=> Quand les petits détails sont importants
- Variété des capteurs
 - Peu de contraintes pour l'embarquement
 - Nombreuses technologies possibles
- Profiter du passage des engins agricoles
 - Réduction du coût des campagnes de prise de vue



Contexte agricole : avec quel moyens?

- Capteurs

- Optiques : Caméra RGB, Multispectrales, Hyperspectrales
- Caméras thermiques, Lidar, RGB+D
- Spectromètres
- ...

- Vecteurs

- Engins agricoles (tracteurs, pulvérisateur, moissonneuse...)
- Robots agricoles, (*+ drones à très basse altitude?*)
- Piétons!

- Calculateurs

- Acquisition seulement ou traitement embarqué ?



Contexte agricole : pourquoi c'est si compliqué?

- Conditions de prise de vue
 - Ensoleillement (étalonnage), ombres portées
 - Poussière, humidité, vent
 - Stade phénologique
- Variabilité du vivant
 - Symptômes ou phénotypes très variables
 - Variabilité temporelle (d'une saison à l'autre)
- Complexité des scènes
 - Variété des organes
 - Occultations
 - Arrière plan
 - Enherbement, piquets, palissage...

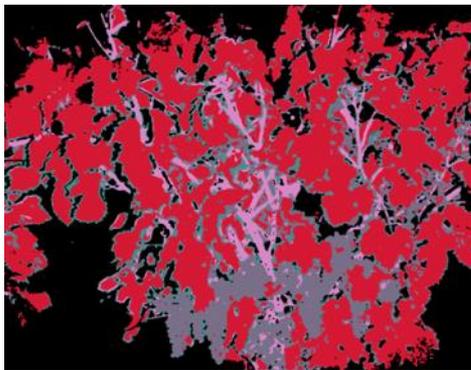


Phénotypage en plein champ

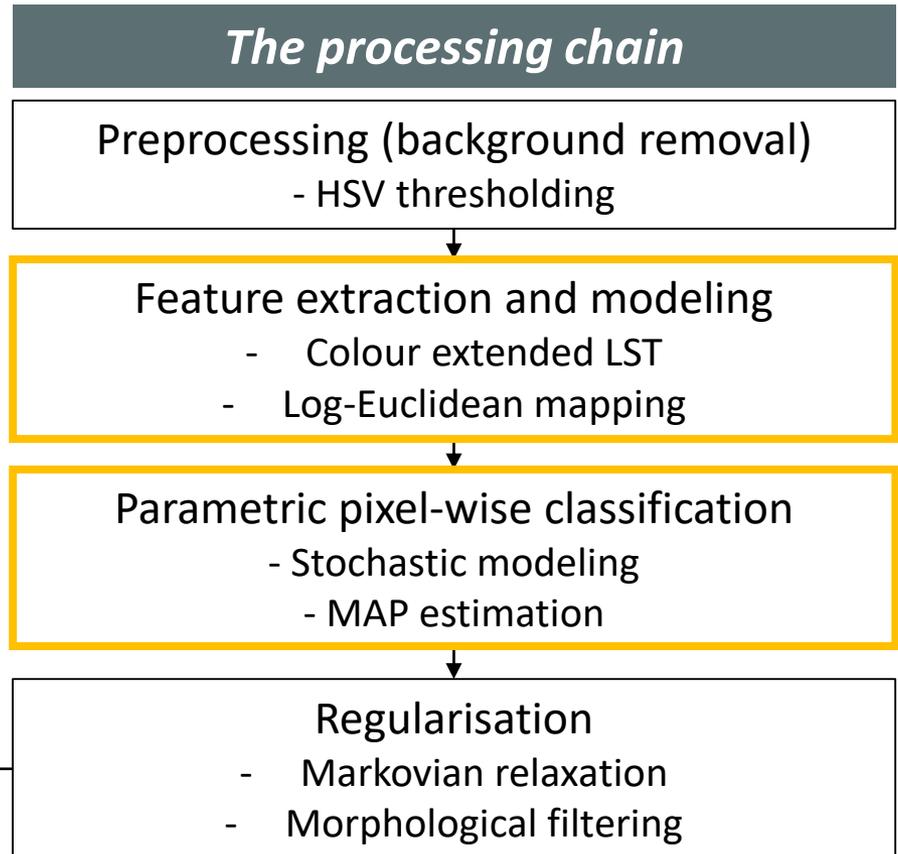
Segmentation d'organes de la vigne par imagerie embarquée



RGB image



Classification map in 4 classes:
[stems] + [buds/flowers/berries]
+ [leaves] + [leaf edges]



Source : F. Abdelghafour et al. "A Bayesian framework for joint structure and colour based pixel-wise classification of grapevine proximal images", Computer and Electronic in Agriculture, Vol. 158, pp. 345-357, Mars 2019.

Phénotypage en plein champ

Segmentation d'organes de la vigne par imagerie embarquée

Pixel-wise classification results

Phenological stages	Precision				Recall			
	leaf	berries	stems	edges	leaf	berries	stems	edges
Flowerhoods falling (BBCH 68)	0.90	0.86	0.89	0.84	0.92	0.87	0.83	0.79
Pea-sized berries (BBCH 75)	0.84	0.82	0.89	0.73	0.82	0.90	0.75	0.81
Berries touching (BBCH 79)	0.95	0.91	0.81	0.86	0.94	0.90	0.85	0.79

Segmentation maps at three phenological stages



Phénotypage en plein champ

Estimation du poids de bois de taille

Image acquisition system

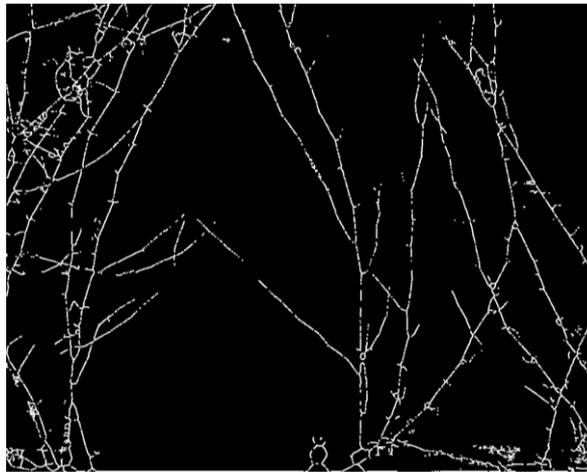
- High resolution camera,
- Two synchronized flashes (to reduce shadows)
- A reflective panel (to over-saturate the background)

Image processing steps

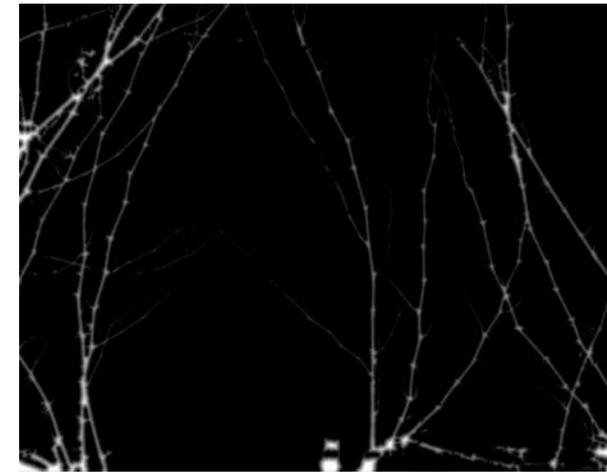
Binarization result



Vine shoot skeletons



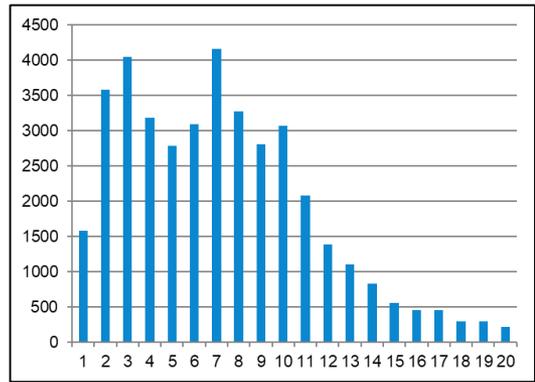
Distance map



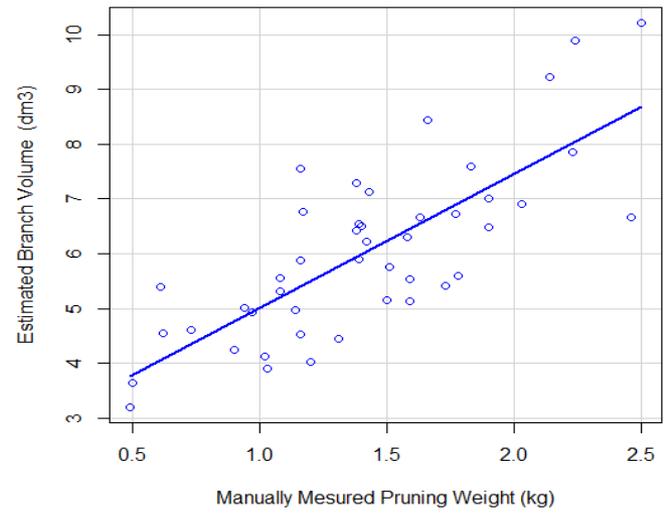
Source : B. Keresztes *et al.* Estimation of vine shoot morphology and volume based on computer vision and image processing. Ageng 2018, Wageningen, Netherlands.

Phénotypage en plein champ

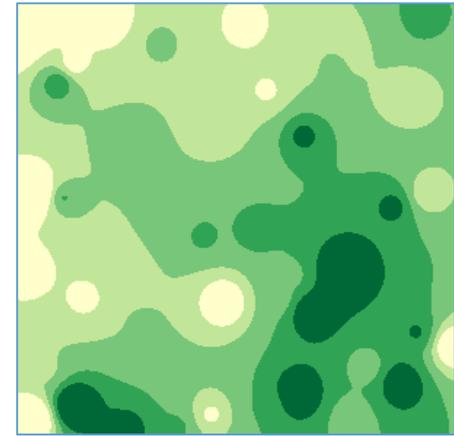
Estimation du poids de bois de taille



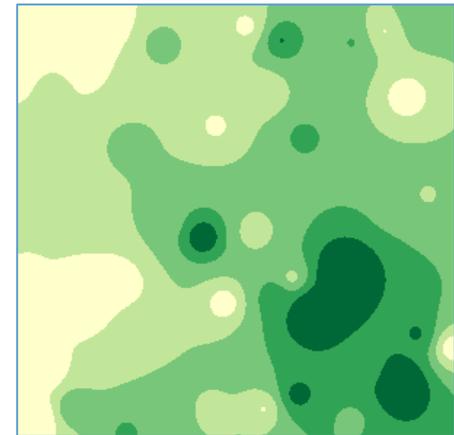
Branch radius histogram (mm)



Correlation with ground truth



Vigor map from manually measured pruning weight



Vigor map from automatic branch volume estimation

Détection des maladies : un problème difficile!

Affectent

feuilles

sarments / bois

baies

Ex: Nécrose bactérienne



Symptômes variés :

- Couleur



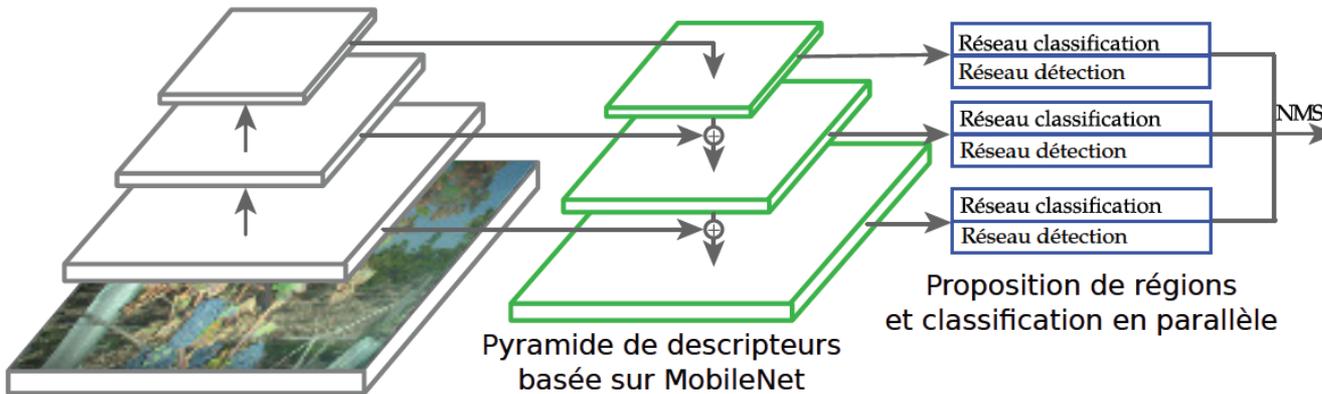
- Forme



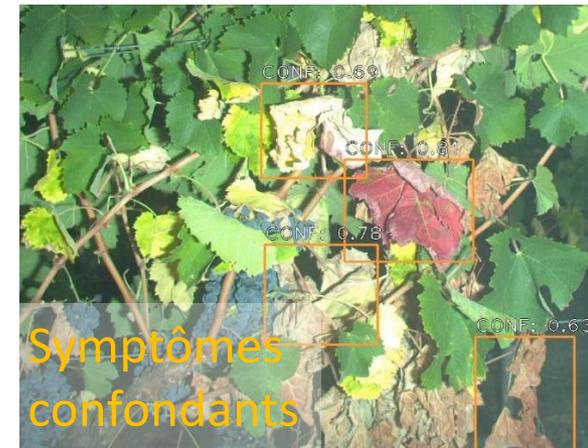
- **Symptômes parfois confondants**

Détection des maladies : Vigne - ESCA

- ESCA de la vigne: motifs géométriques couleur
- Utilisation de réseaux convolutionnels
 - Incorporation du réseau de classification MobileNet entraîné à l'intérieur du réseau de détection RetinaNet.
 - Apprentissage partiel de l'architecture.

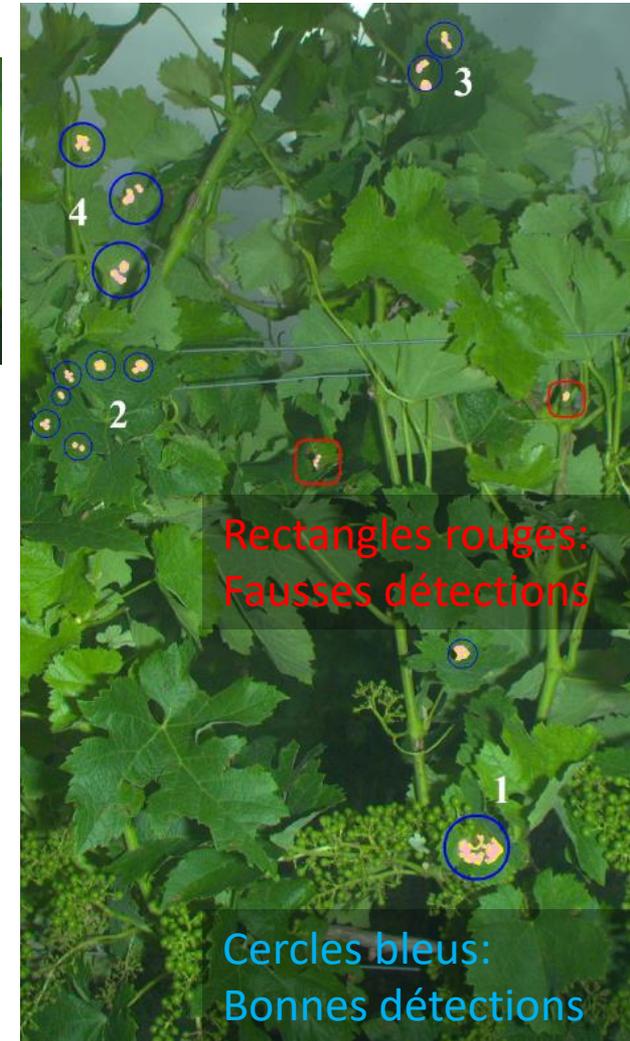
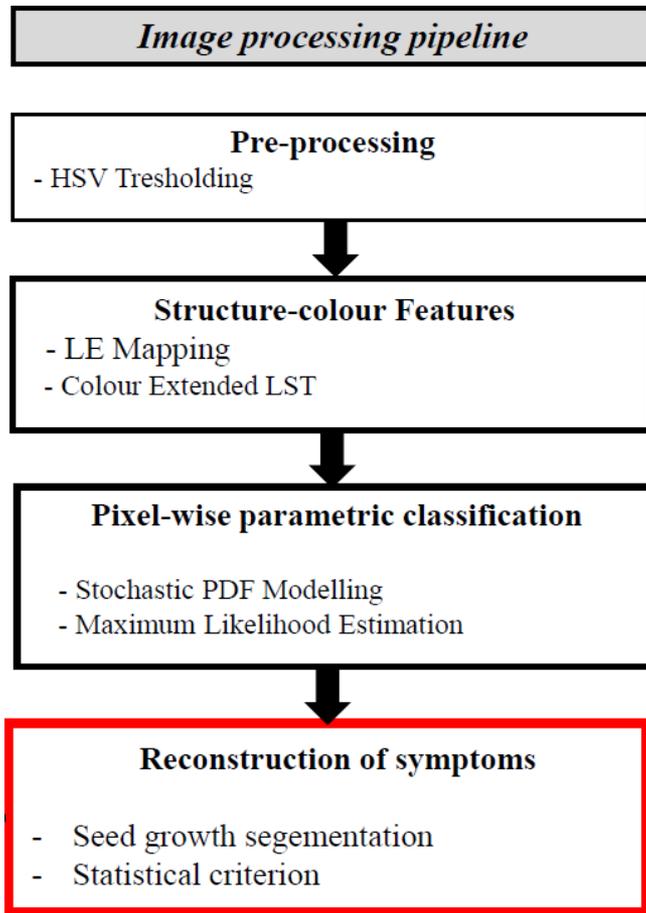


- Apprentissage de l'ESCA ET des symptômes confondants



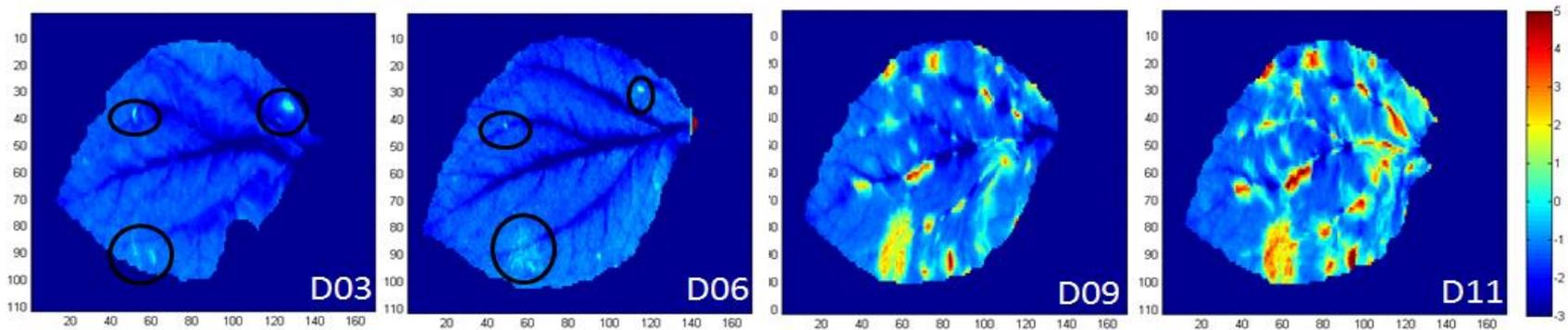
Détection des maladies : Vigne - Mildiou

- Symptômes : taches huileuses de petite taille.
- Annotations difficiles.



Détection des maladies : Pommier - Tavelure

- Enjeux: détection précoce.
 - Détecter les symptômes **avant** qu'ils ne soient visibles => délais de traitement
- Utilisation de l'imagerie hyperspectrale SWIR
- Suivi quotidien du feuillage après inoculation (J+1 à J+11)



- Résultats scientifiquement encourageants!
- En pratique, difficilement applicable hors laboratoire:
 - Coût des caméras
 - Conditions de prise de vue
 - Symptômes confondants



Estimation du rendement: Arboriculture / Vigne

- Détecter les fruits/baies à un stade précoce
 - Analyse d'image
- Inférer le rendement à la récolte
 - Nombre de baies/fruits visibles par plante -> nombre total de baies (occultation!!!)
 - Nombre total de baies/fruit -> poids à la récolte

$$\text{Rendement} = N_b \times L \times \alpha \times P_u$$

N_b : les baies comptées par analyse d'image par mètre de rang de vigne,

L : longueur cumulée des rangs de la parcelle,

α : proportion de baies détectées par rapport aux total des baies présentes,

P_u : poids moyen d'une baie.

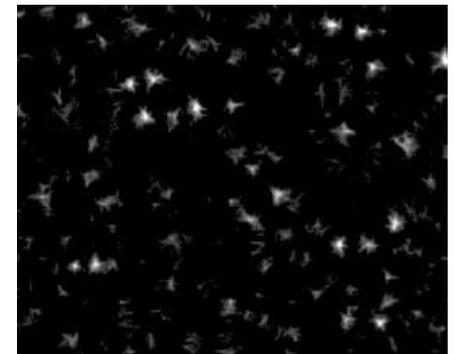
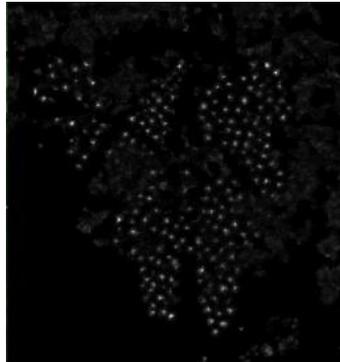
L est connu.

N_b est fourni par le système de vision.

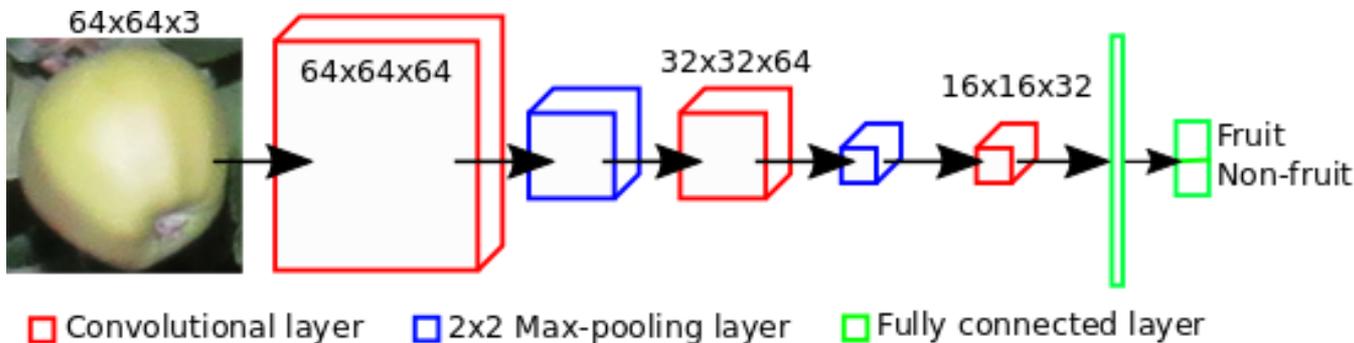
α et P_u doivent être estimés.

Estimation du rendement: Arboriculture / Vigne

- Détecter les fruits/baies
 - Prétraitement = transformée de Hough radiale (fruits/baies sphérique)



- Classification par CNN



Estimation du rendement: Arboriculture / Vigne

- Exemples de résultats
 - Vigne



- Pommiers



Désherbage et robotique

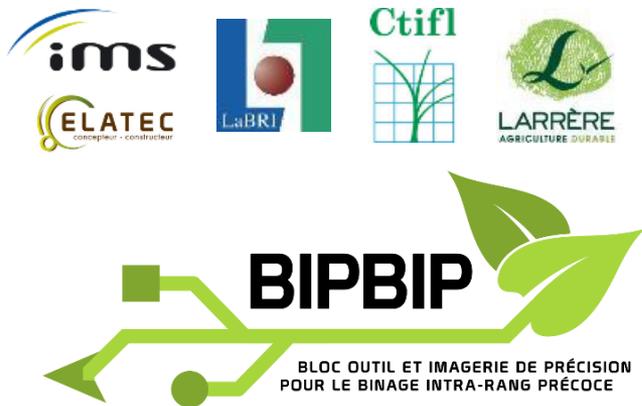
Le projet BIPBIP, en course dans le Challenge ROSE

Le challenge ROSE 2018-2022

- Encourager le développement de solutions innovantes en matière de désherbage intra-rang afin de réduire, voire supprimer, les herbicides.
- Mise en Compétition de 4 projets pendant 4 ans
- Dispositif expérimental commun (INRAE, Montoldre)



Le projet BIPBIP : désherbage mécanique de précision guidé par imagerie



Désherbage et robotique

Localisation temps réel de cultures par imagerie embarquée

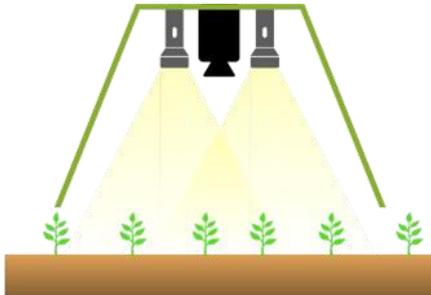
Dispositif embarqué

- Global Shutter Bassler Industrial camera + LED panels
- AI (deep learning)dedicated embedded computer (Nvidia Jetson Xavier)

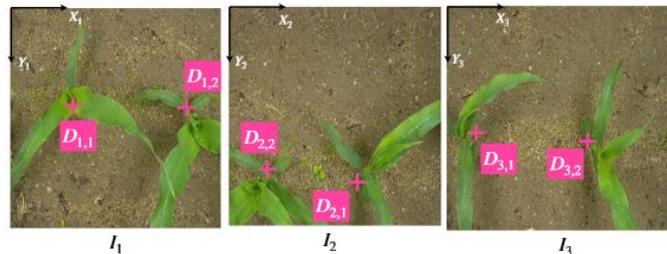
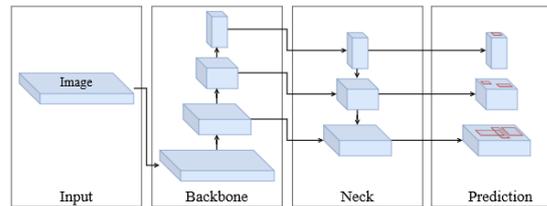


Détection, suivi et localisation des cultures en temps réel

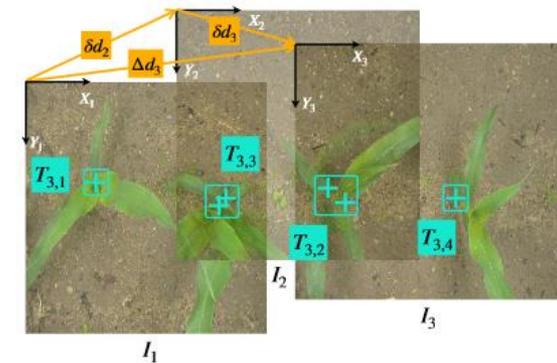
Acquisition
(~ 15 fps)



Détection
(Yolo V4 with CSPDarknet53)



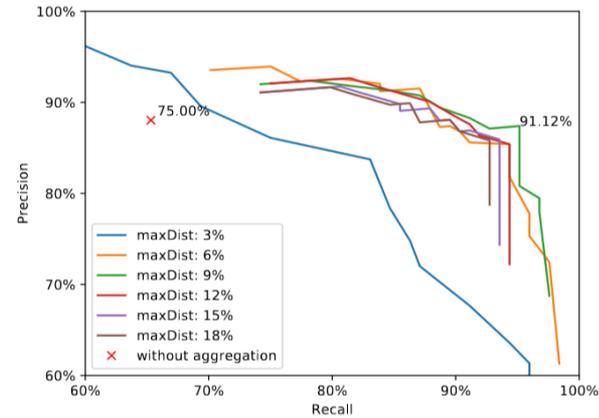
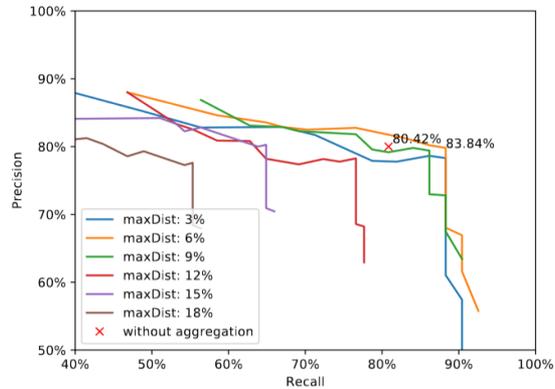
Suivi et agrégation
(flot optique + clustering)



Désherbage et robotique

Localisation temps réel de cultures par imagerie embarquée

Courbes Rappel-Précision et F1-score (84% sur haricot, 91% sur maïs)



Détection individuelles avec ellipses de dispersion



Désherbage et robotique

Le bloc-outil BIPBIP en action



Conclusion

Imagerie de proxidtection très prometteuse en agronomie :

- Nombreux travaux scientifiques publiés et en cours
- Développement de solutions industrielles en cours en France et ailleurs

Machine Learning / Deep Learning de plus en plus présents :

- Le plus souvent supervisées
- Pose le problème de l'annotation et du partage des bases d'apprentissage

Perspectives

- Encore beaucoup de travail sur les maladies!
 - Symptômes discrets, multiples, confondants
- Forte attente de techniques pas ou peu supervisées
- Intégration des capteurs fixes et connectés à bas coût
 - Fusion de données des capteurs fixes => temporellement denses
avec les données des capteurs mobiles => spatialement denses
- Nouveaux circuits et nouvelles architectures matérielles
 - « Cloud » -> « Edge »
- Développement de la robotique agricole
 - Taille
 - Récolte
 - ...