



**HAL**  
open science

## Estimation dynamique du rendement en viticulture de précision par imagerie radar en ondes millimétriques

Dominique Henry, Hervé Aubert, Patrice Galaup, Thierry Véronèse

### ► To cite this version:

Dominique Henry, Hervé Aubert, Patrice Galaup, Thierry Véronèse. Estimation dynamique du rendement en viticulture de précision par imagerie radar en ondes millimétriques. XXIIIème Journées Nationales des Microondes, Jun 2024, Antibes - Juan les Pins, France. . hal-04648017

**HAL Id: hal-04648017**

**<https://hal.science/hal-04648017v1>**

Submitted on 15 Jul 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Estimation dynamique du rendement en viticulture de précision par imagerie radar en ondes millimétriques

Dominique Henry, Hervé Aubert, Patrice Galaup, Thierry Véronèse  
LAAS-CNRS, Toulouse, France – Ovalie-Innovation, Auch, France

## Contexte et objectif

### Objectif initial

- Détecter sans contact les grappes de raisin à une échelle intra-parcellaire et estimer leur masse ou leur volume avec une erreur inférieure à 10% (viticulture de précision)

### Avantage d'une estimation précise du rendement

- (qualité) une estimation précoce permet un éventuel éclaircissage
- (logistique) prévoir à l'avance la quantité de matériels et le nombre de
- (financier) estimer des pertes suites à des intempéries.

### Défis technologiques

- Détection non-destructive
- Détection des grappes de raisin cachées par les feuilles.
- Appréhension du volume total des grappes (pas seulement la détection).

## Le choix du radar micro-onde

### Principe physique

- Exploiter la rétrodiffusion des ondes électromagnétiques par les grappes de raisin
- La rétrodiffusion est basée sur la quantité d'eau présente dans les grappes de raisin
- Proportion d'eau dans une grappe de raisin à maturation : >80%

### Quelle fréquence d'utilisation $f_c$ ?

- Suffisamment élevée pour que la longueur d'onde soit au maximum de l'ordre du diamètre d'un grain de raisin (environ 1,5cm).  $f_c > 20\text{GHz}$
- (FM-CW) Bande de modulation suffisamment large pour une résolution en profondeur minimale.

### Avantages attendus

- Détection des grappes non-destructive parmi le feuillage
- Mesure d'une information volumique

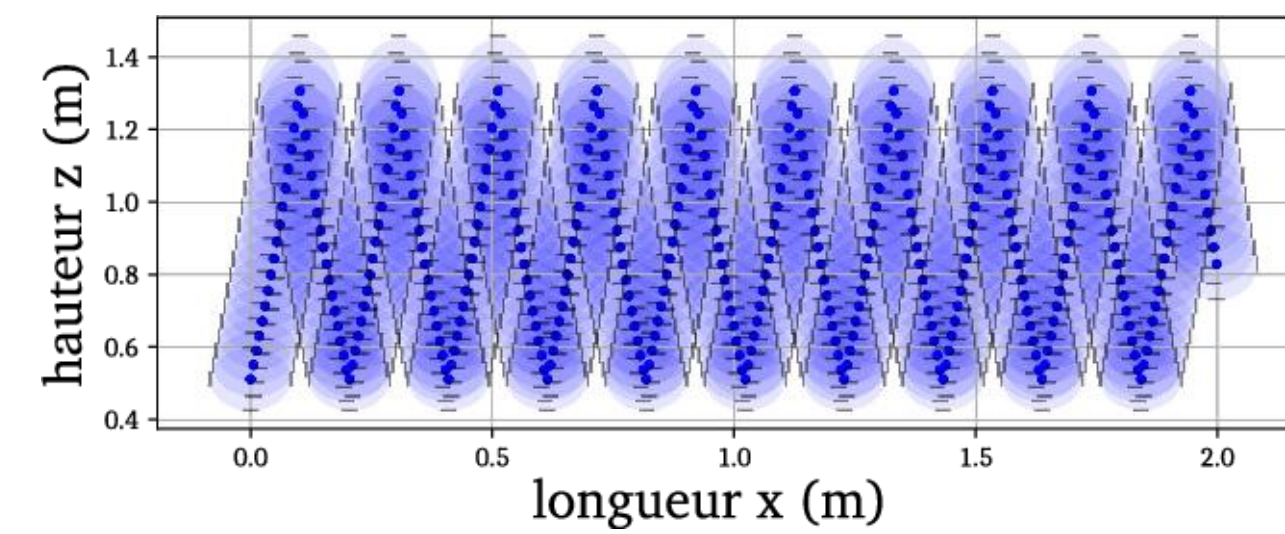
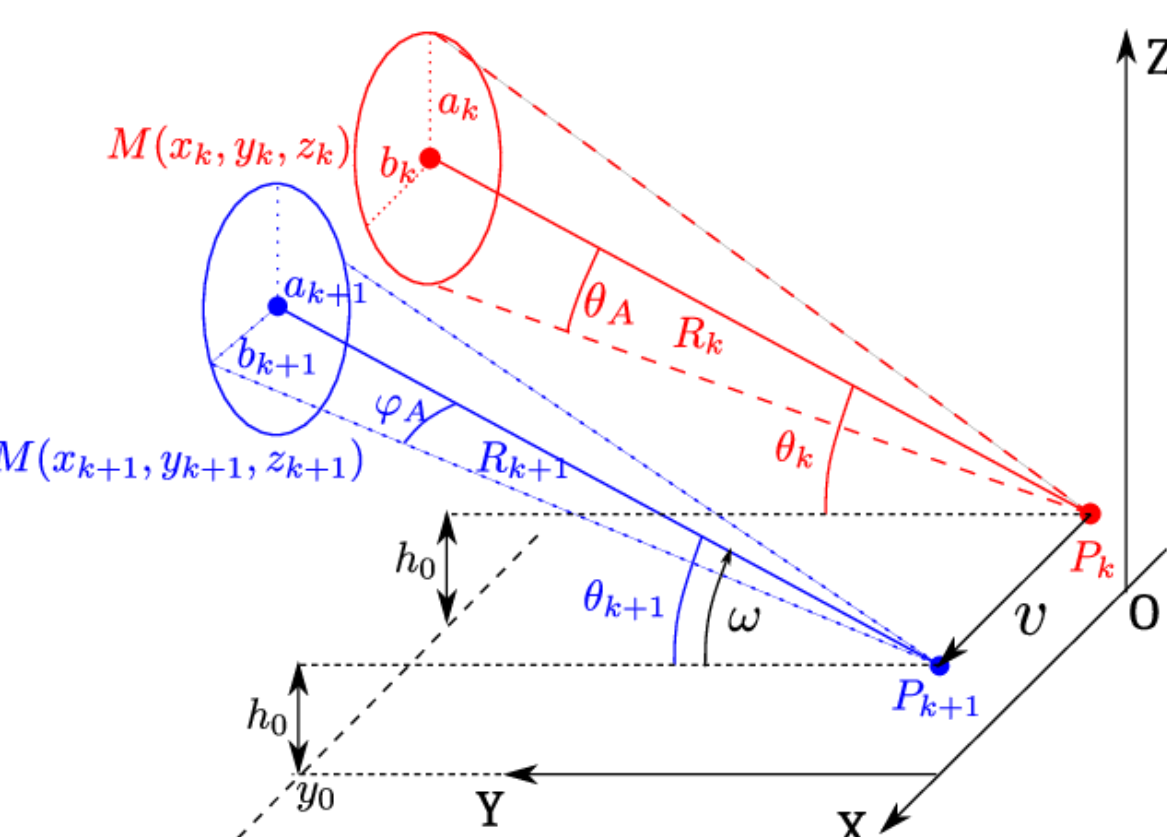
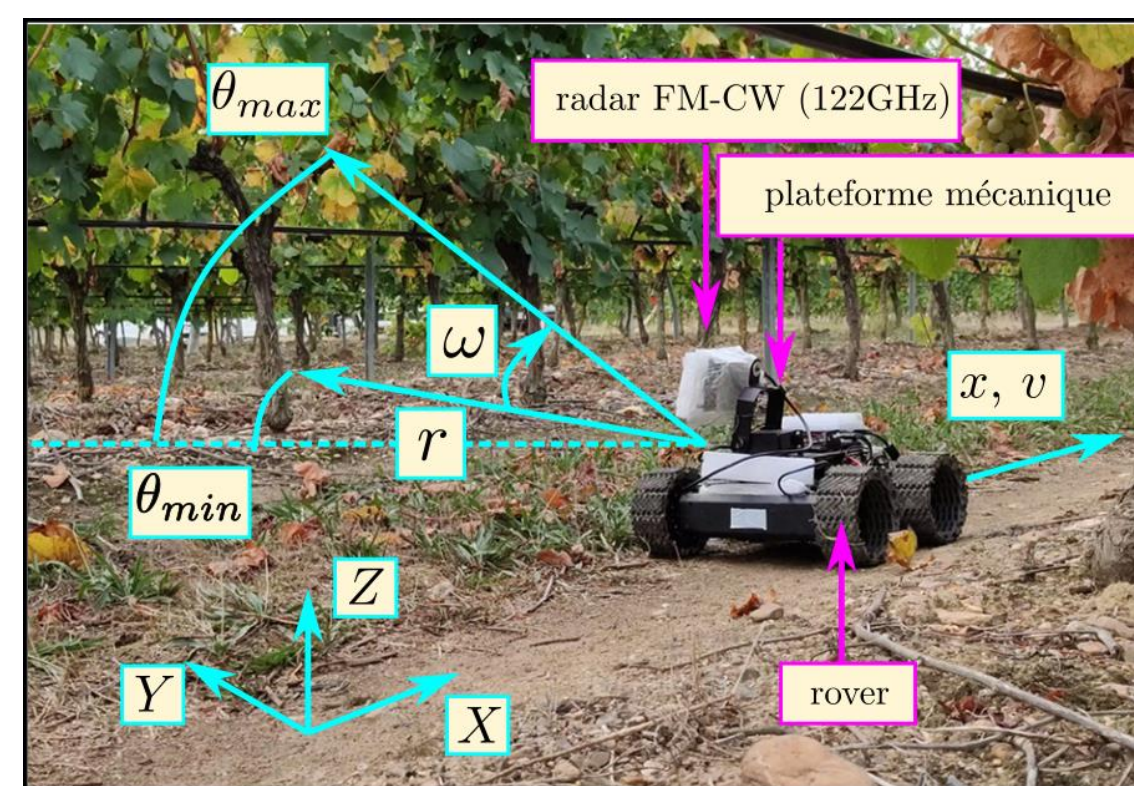
## Système de mesure et méthode de balayage dynamique

### Éléments clés du système de mesure

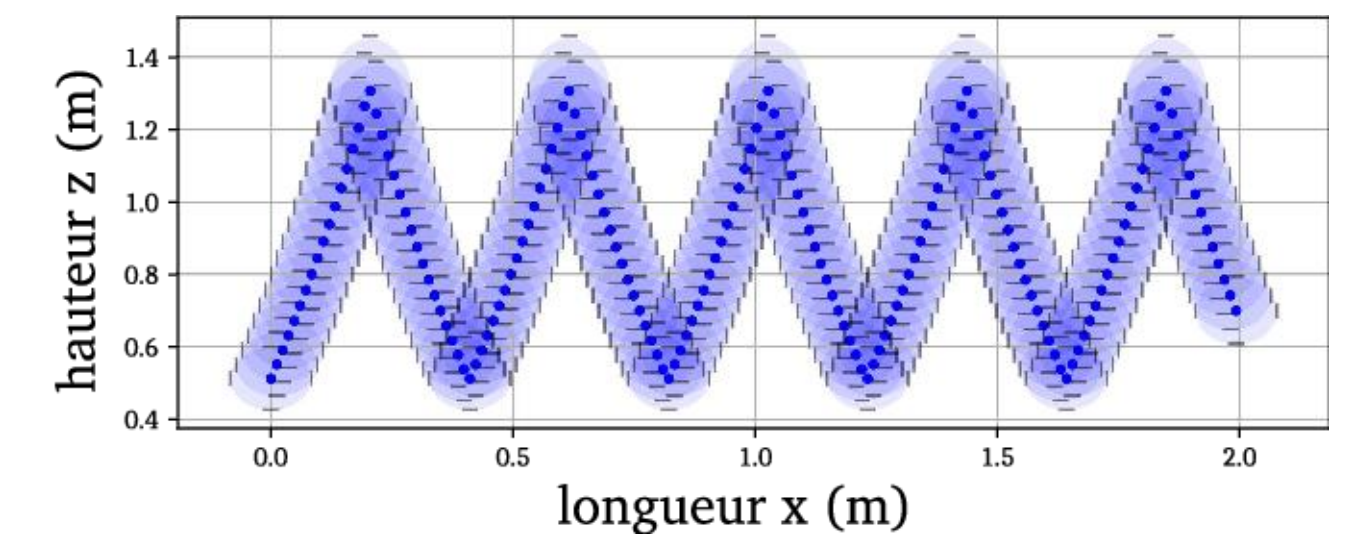
- radar FM-CW 122GHz
- faible angle d'ouverture des antennes
- balayage mécanique périodique en élévation
- Intégration sur un rover (mesure dynamique)

Paramètres	Valeur
Fréquence de base	119,3GHz
Bande de modulation	6,5GHz
Résolution en profondeur	2,3cm
Temps de montée	50µs
Nombre de rampes	4
Temps de répétition	25-30ms
Nombre d'échantillons	256
Portée maximale	2,9m
Puissance émise maximale	5dBm
Résolution du niveau d'écho	1dB
Ouverture angulaire	+/- 4°

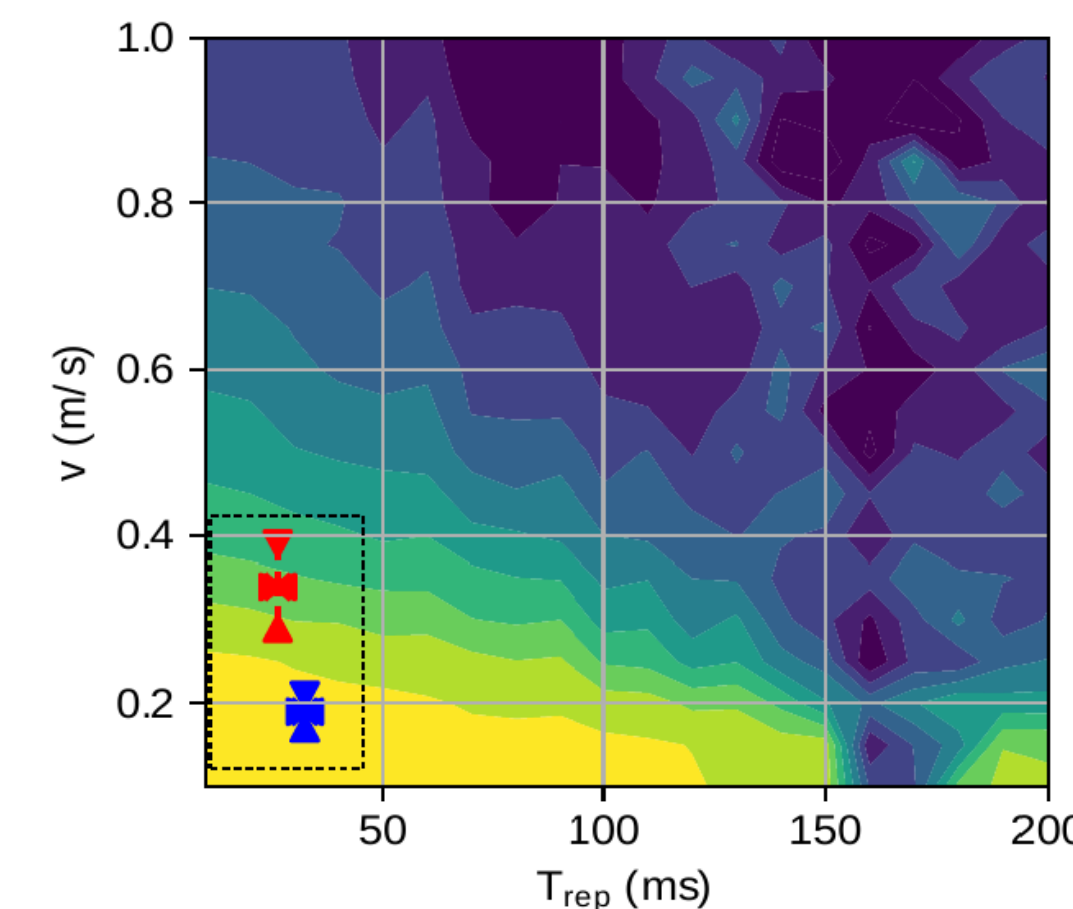
Paramètres du radar FM-CW



Simulation de la surface scannée pour une profondeur de 1,2m et une vitesse de 0,2m/s



Simulation de la surface scannée pour une profondeur de 1,2m et une vitesse de 0,4m/s

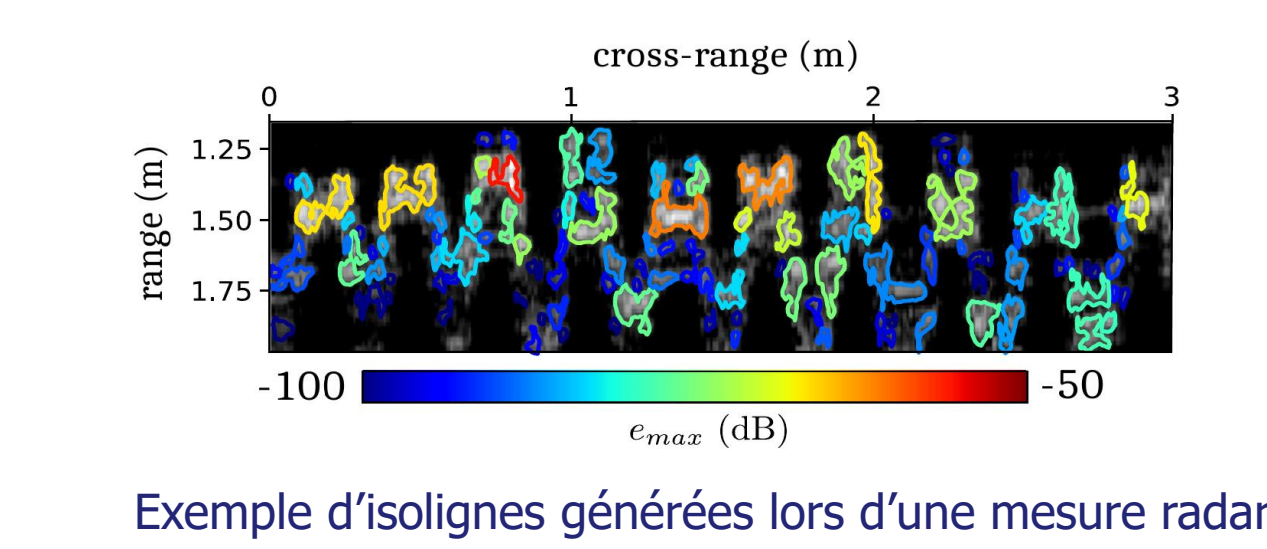


Estimation du pourcentage de volume de grappes scannées en fonction de la vitesse du rover et du temps de répétition du radar.

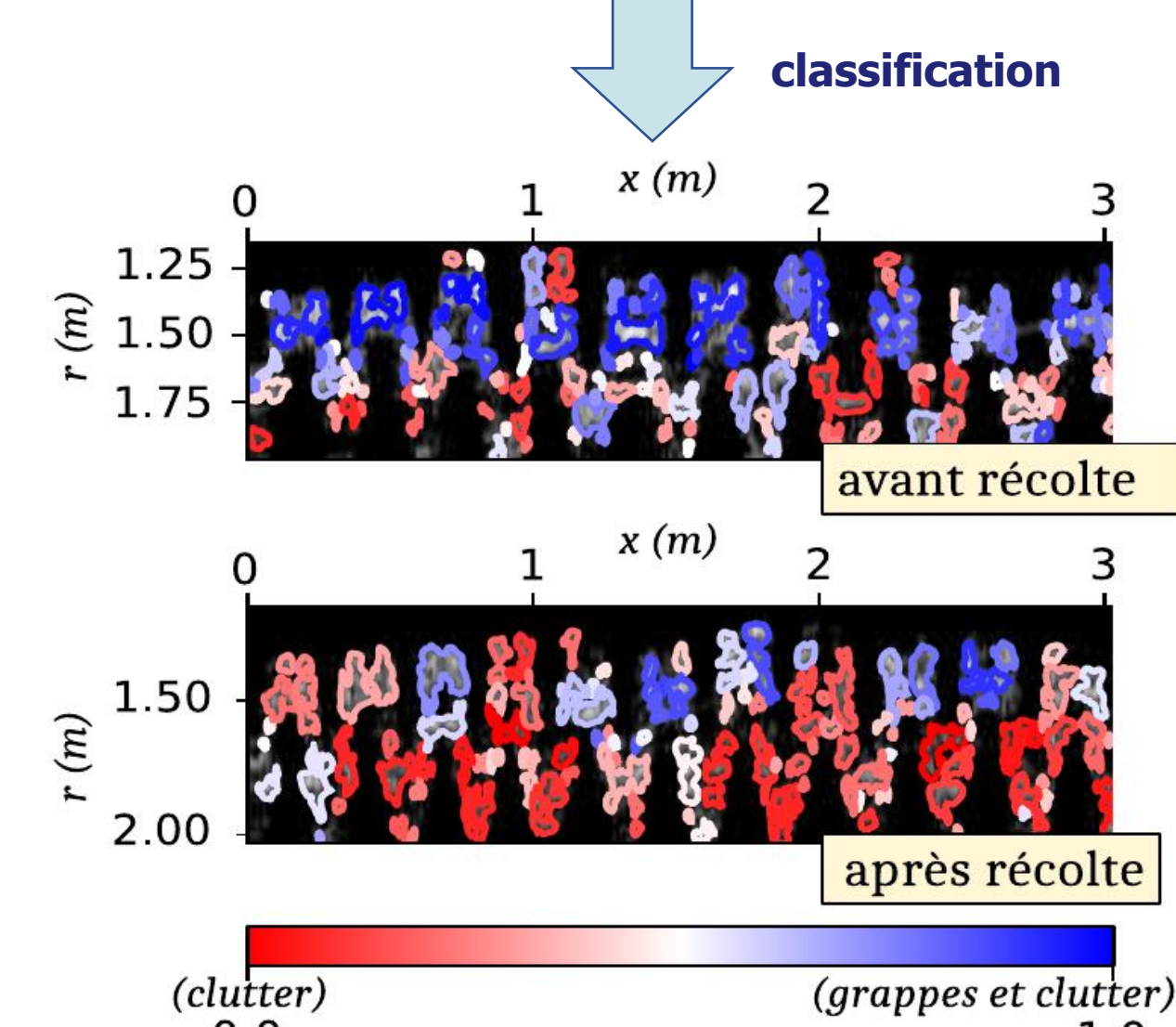
## Algorithme d'estimation du rendement

### Éléments clés de l'algorithme

- Génération d'isolignes de niveau d'écho radar
- Une classification effectuée sur les caractéristiques des isolignes
- Deux classes d'isolignes étudiées : « clutter » et « grappes + clutter »
- Définition d'un estimateur du rendement dépendant : (1) de la probabilité d'appartenance à une classe et (2) de la surface entourée par les isolignes



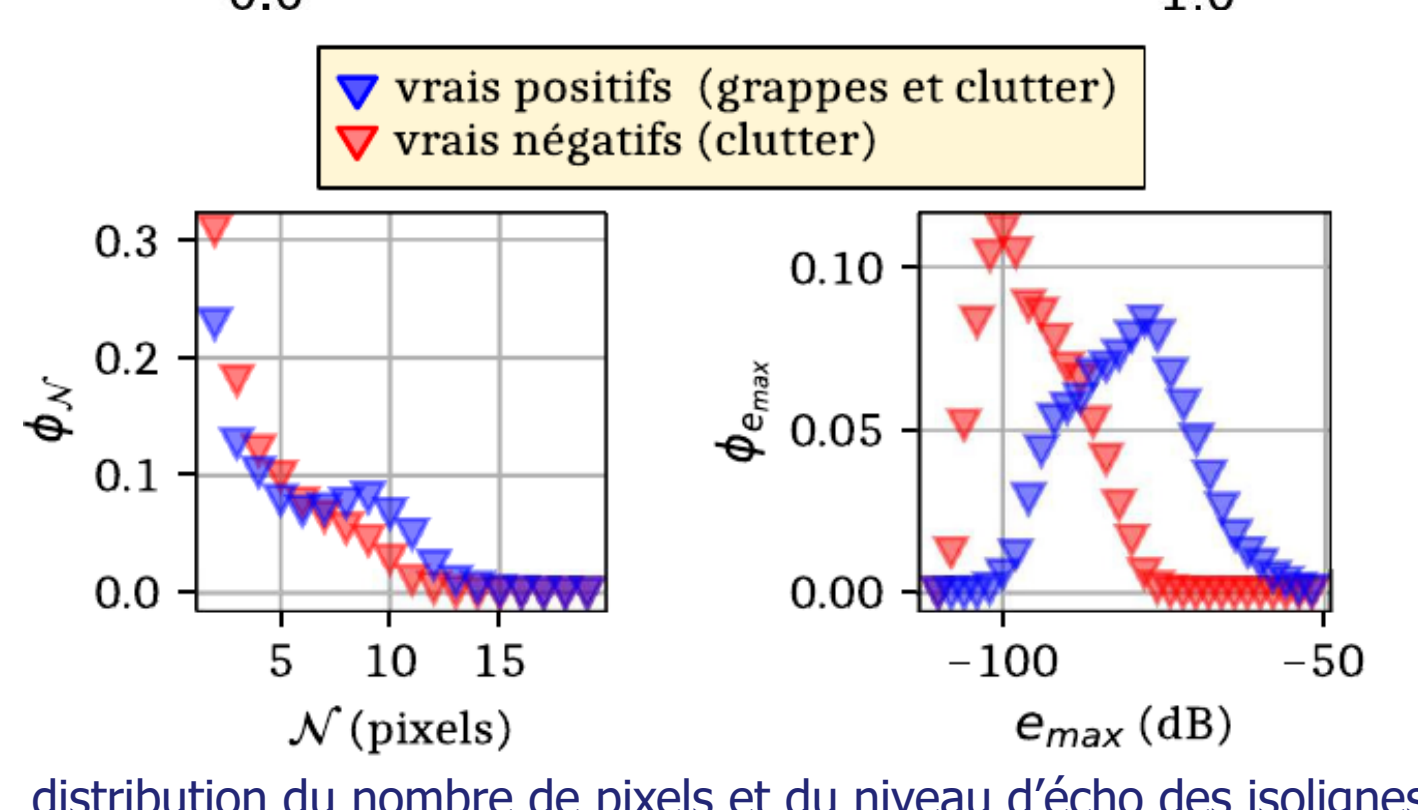
Exemple d'isolignes générées lors d'une mesure radar



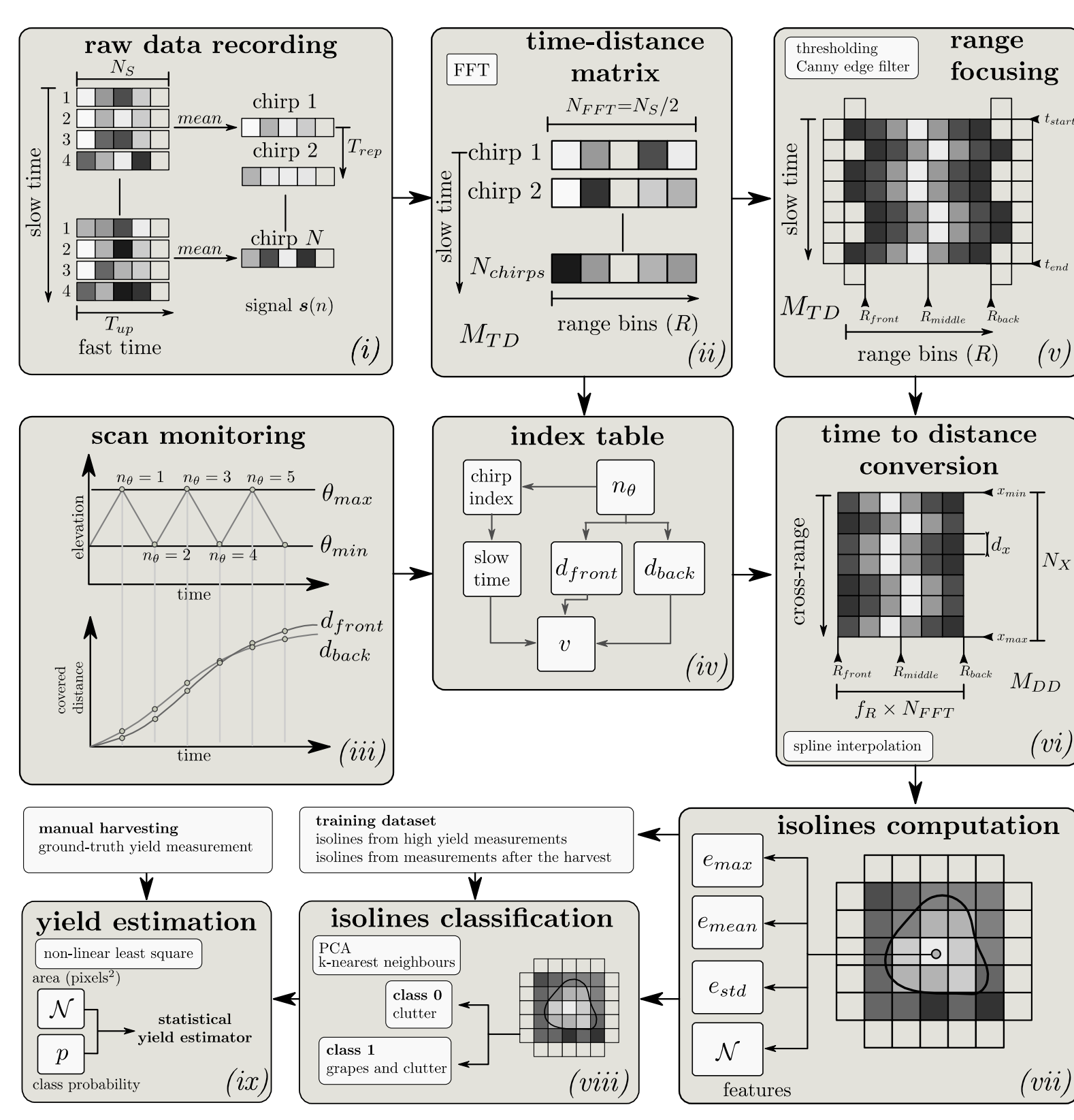
classification

avant récolte

après récolte



distribution du nombre de pixels et du niveau d'écho des isolignes



Fonctionnement de l'algorithme d'estimation du rendement

$$y_{est} = a\xi(\bar{N}) \sum_{m=1}^M (p_m \times \mathcal{N}_m)^b$$

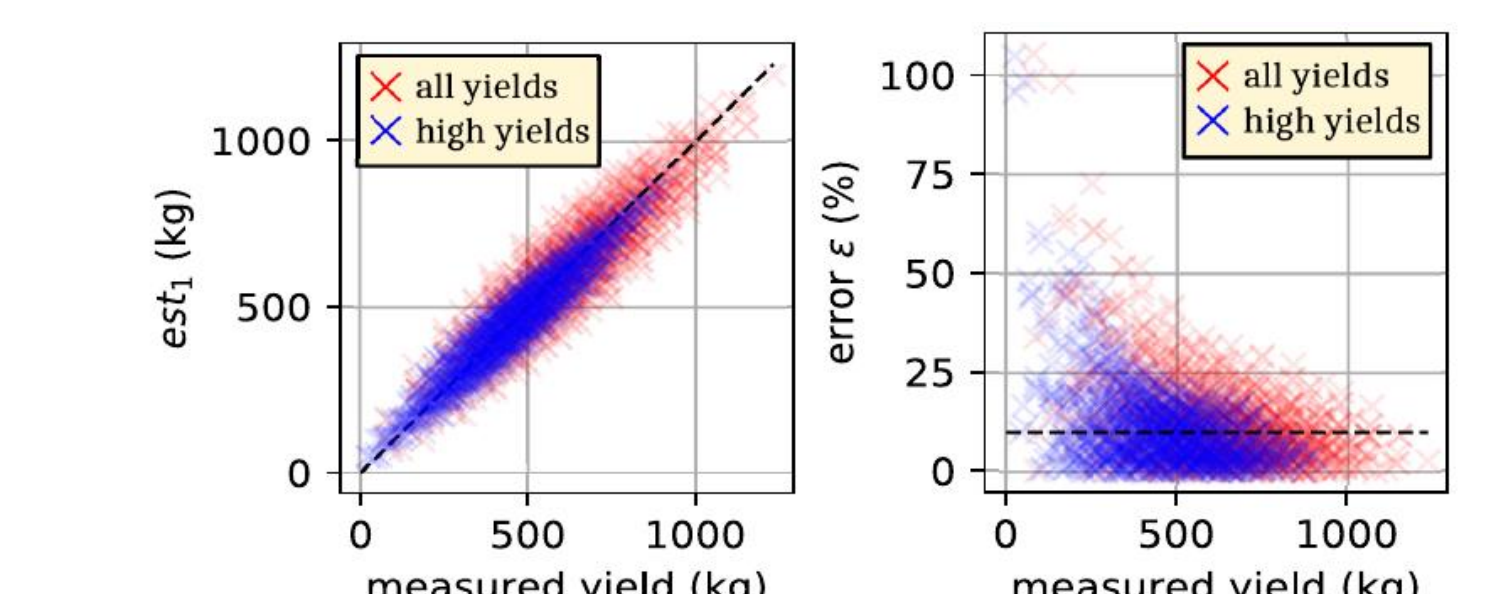
estimateur du rendement

## Résultats

- Campagne de mesure effectuée sur les années 2019 et 2020 à l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV Sud-Ouest, Gaillac)
- 13 rangées de vignes d'une longueur de 50m scannées
- Multiples cépages noirs et blancs
- Plusieurs dates de mesures entre début Juillet et fin Septembre

date	mesuré (kg)	estimé (kg)	$\epsilon$ (%)
30-07-2019	897.8	1013.5	12.9
08-08-2019	897.8	945.0	5.3
22-08-2019	200.7	279.7	39.4
27-08-2019	1469.4	1541.6	4.9
03-09-2019	1469.4	1516.2	3.2
12-09-2019 *	1469.4	1511.9	2.9
23-09-2019	0	1581.2	-
01-07-2020	1232.3	732.0	40.6
08-07-2020	1232.3	1020.8	17.2
13-07-2020	1232.3	1098.1	10.9
22-07-2020	1232.3	1116.7	9.4
17-08-2020 †	1232.3	1241.1	0.7
31-08-2020 † *	1232.3	1283.8	4.2
07-09-2020 † *	1232.3	1240.3	0.6
30-09-2020 †	0	377.9	-

† : la moitié de ces mesures est utilisée comme données d'entraînement pour la classification des échos radar  
\* : données utilisées pour calculer les coefficients de l'estimateur :  $a=4.7 \times 10^{-2}$  kg.pixels<sup>-b</sup>,  $b=9.7 \times 10^{-1}$ ,  $c=1.0$  pixels<sup>-1</sup> and  $d=-4.7$



estimations obtenues pour les hauts rendements et tous les rendements

## Conclusion et perspectives

### Conclusion

- Une estimation par mesure dynamique du rendement viticole par ondes millimétriques est possible avec une erreur inférieure à 10%.
- Les performances de l'estimation dépendent en particulier de la vitesse du vecteur et du temps de répétition du radar
- La précision de l'estimation est meilleure pour des hauts rendements

### Perspectives

- Etudier l'impact du clutter et de la vitesse du rover sur l'estimation
- Analyser l'impact de l'environnement sur l'estimation
- Etudier d'autres types de balayage (électronique, radar MIMO ...)