

## PROJET DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER

**MENTION : EEA PARCOURS SIGNAL, IMAGE ET APPRENTISSAGE  
AUTOMATIQUE (SIA-2)**

**Classification automatique des terrains à partir  
d'images polarimétriques radar Sentinel-1**

Réalisé par :  
Tuteur de stage :  
Encadrant pédagogique :

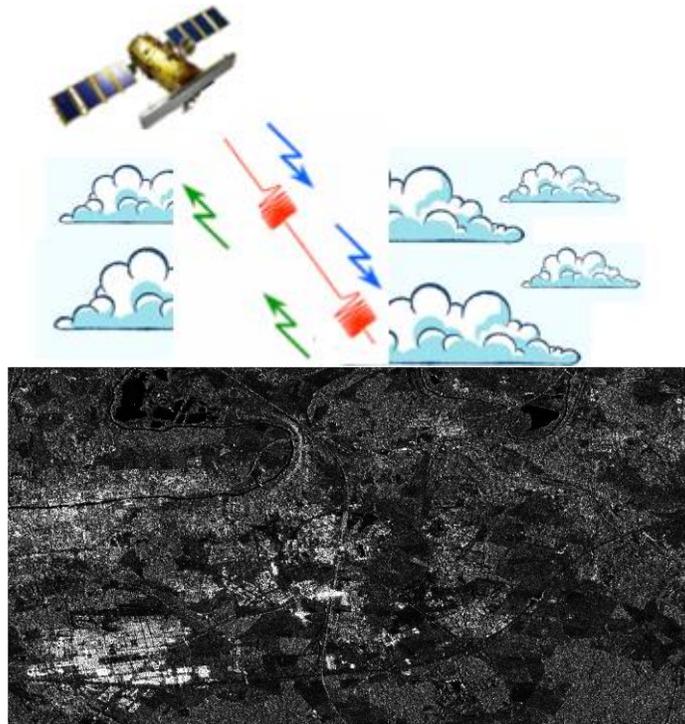
Ahmed Oussama TIRI  
Denis CARBONNE  
Ariane HERBULOT

**2023/2024**

# INTRODUCTION

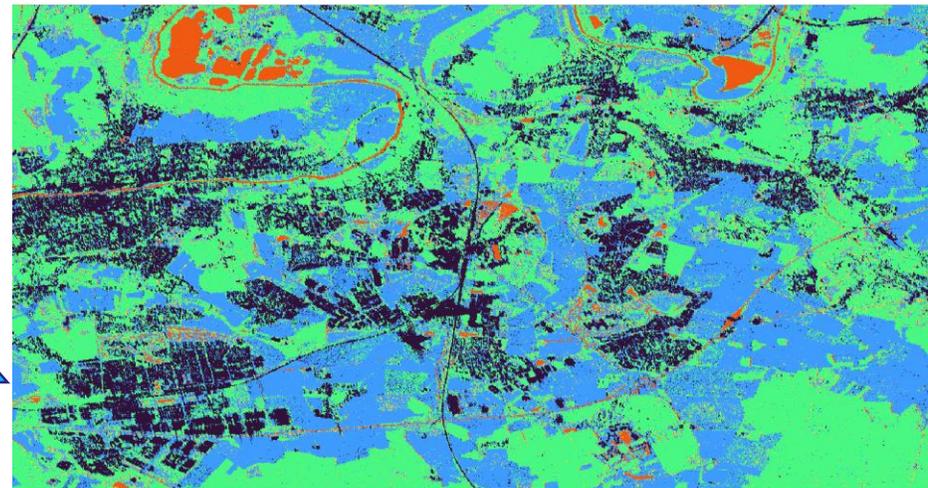
Données radar essentielles pour :

- La surveillance des feux de forêts.
- Le suivi des niveaux marins et hydrologiques.
- L'observation de déformation du sol.



Observation de la terre avec Sentinel-1

L'**objectif** du stage est de **classifier** les **terrains** de façon **automatique**, pour suivre leur **évolution** et leurs **changements** à partir de **séries d'images radar**.



Classification automatique des terrains.

# SOMMAIRE

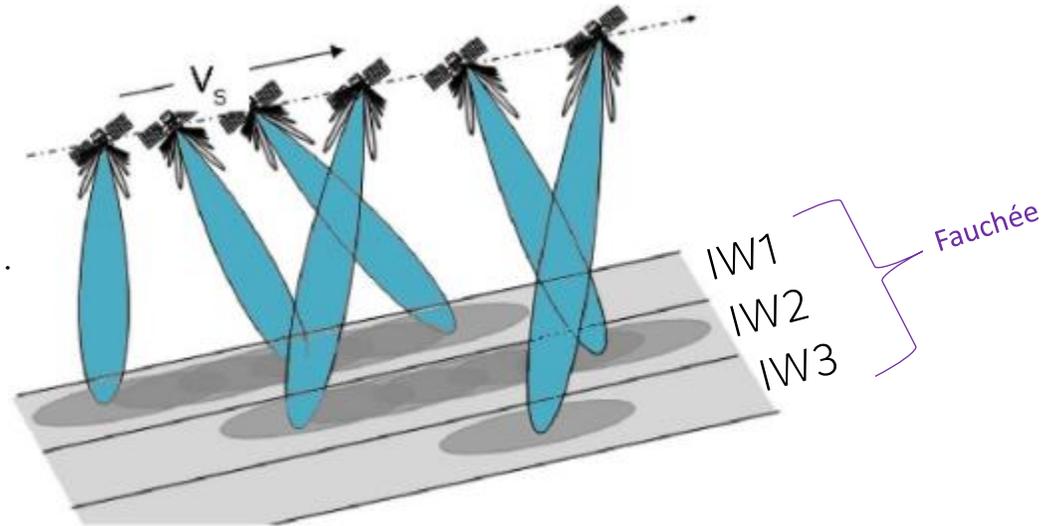
- 01 Instrument radar
- 02 Concepts de polarimétrie radar
- 03 Prétraitements des données
- 04 Classification des terrains
- 05 Résultats expérimentaux
- 06 Conclusion et Perspectives

# Instrument radar

Caractéristiques Sentinel-1:

Satellite de l'ESA avec un instrument Radar à Synthèse d'Ouverture (SAR).

- Altitude du satellite : 693 km.
- Orbite héliosynchrone.
- Revisite : 12 jours.
- Radar bande C : 5.3 GHz et  $\lambda = 5.66\text{cm}$ .
- Fauchée : 250km.
- Résolution Spatiale : 5-20m.
- Incidence entre  $29^\circ$  et  $46^\circ$ .



Acquisition des sous-fauchées.

# SOMMAIRE

01 Instrument radar

02 Concepts de polarimétrie radar

03 Prétraitements des données

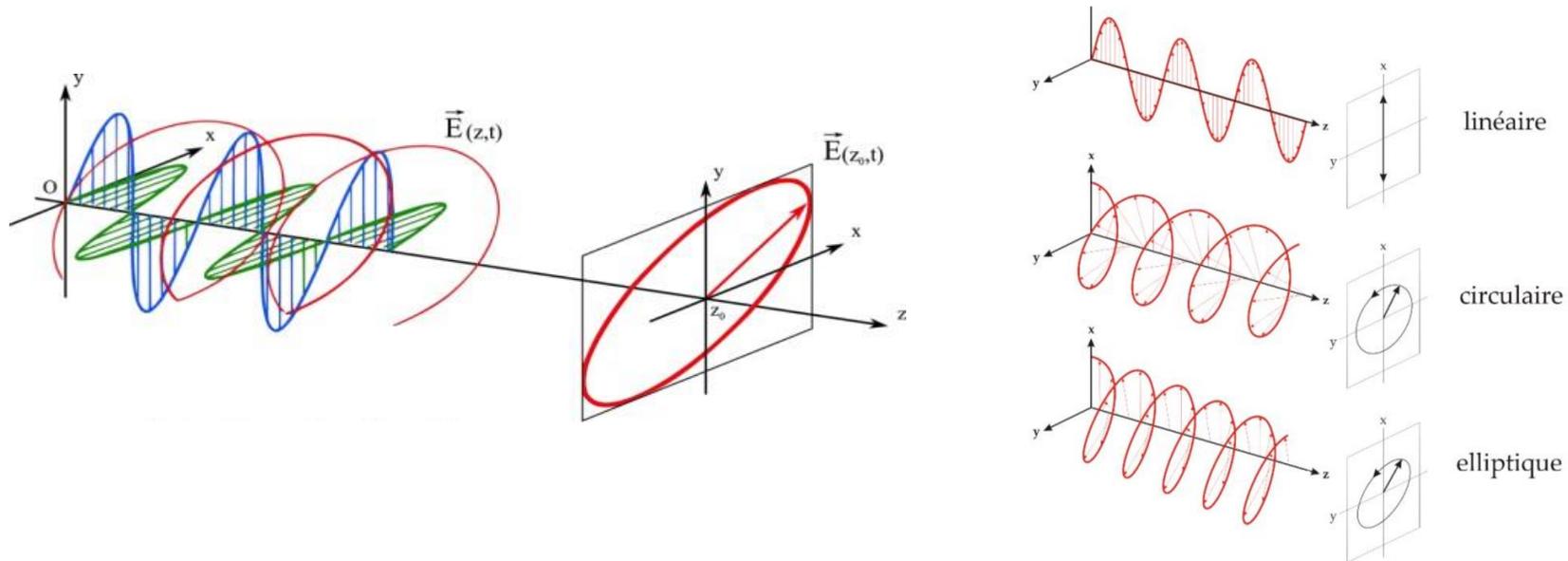
04 Classification des terrains

05 Résultats expérimentaux

06 Conclusion et Perspectives

# Concepts de polarimétrie radar

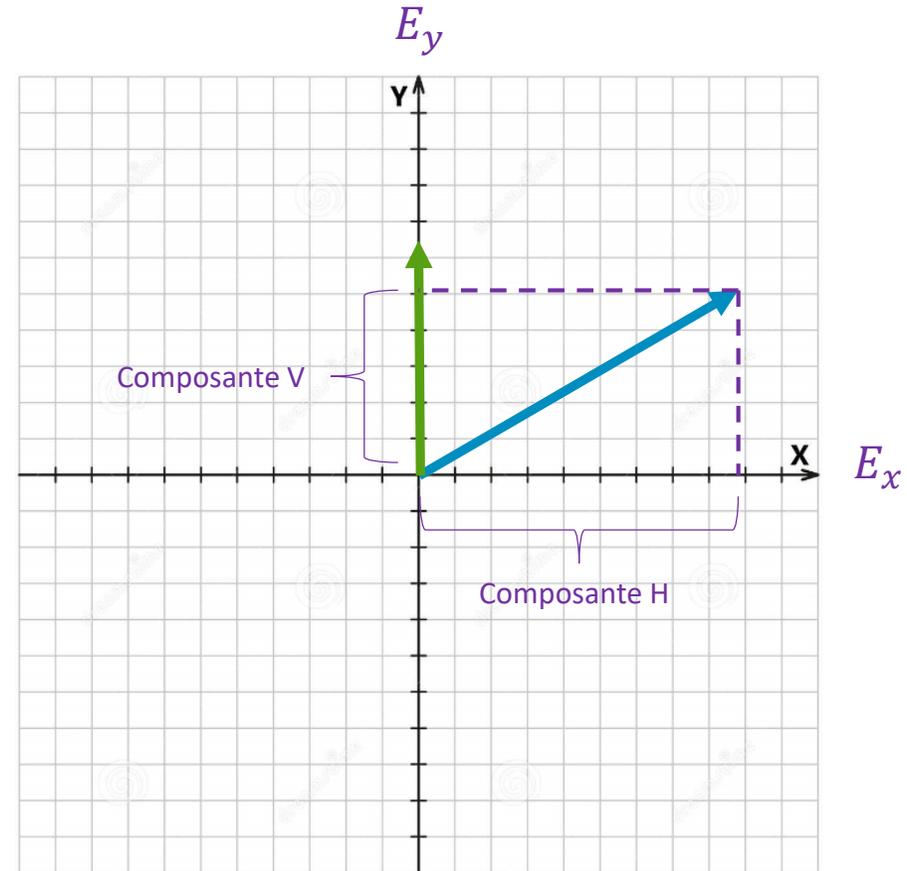
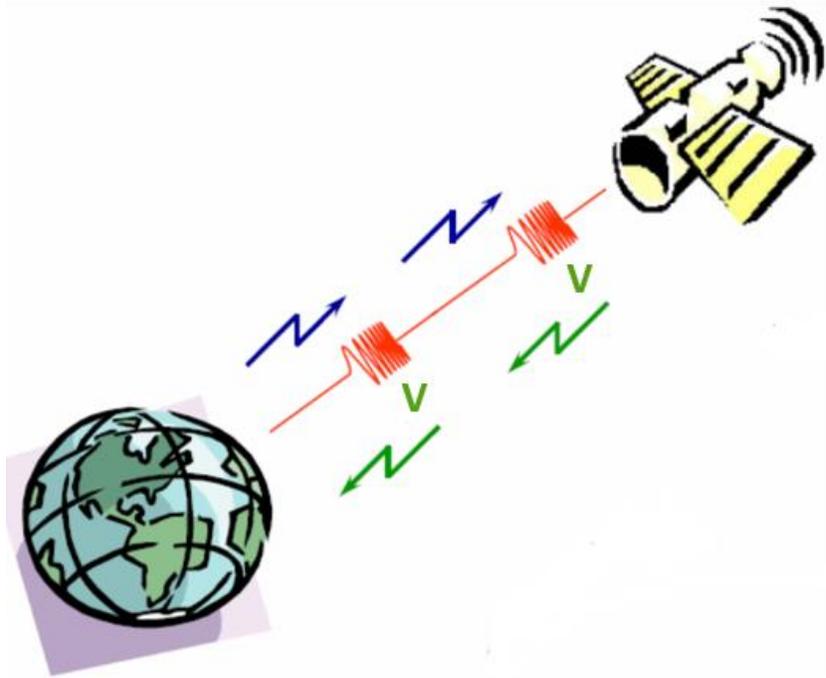
- Polarisation d'une onde : position du vecteur champ électrique  $E$  dans le plan perpendiculaire au sens de propagation.
- Etats de polarisation étudiés : horizontale (H), verticale (V).



# Concepts de polarimétrie radar

Polarisation partielle :

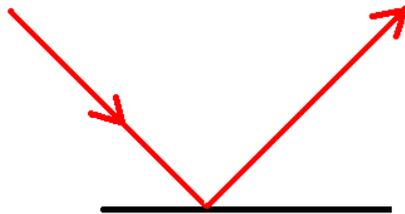
- Émetteur : Polarisation V
- Récepteur : Polarisation V et H



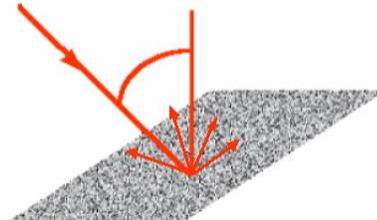
# Concepts de polarimétrie radar

Exemple d'interprétation physique :

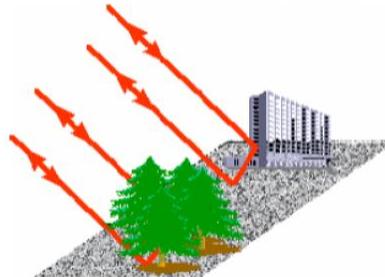
DIFFUSION SPECULAIRE



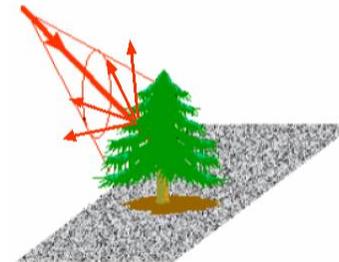
DIFFUSION DE SURFACE



DIFFUSION DOUBLE



DIFFUSION VOLUMIQUE



Type de diffusion	Rétrodiffusion VV	Rétrodiffusion VH	Exemple
Spéculaire	0	0	Lac, eau calme
Surface	+	+	Sol nu
Double	+++	+	Zone urbaine
Volumique	++	+	Forets

# Illustration des images polarimétriques



Google Earth

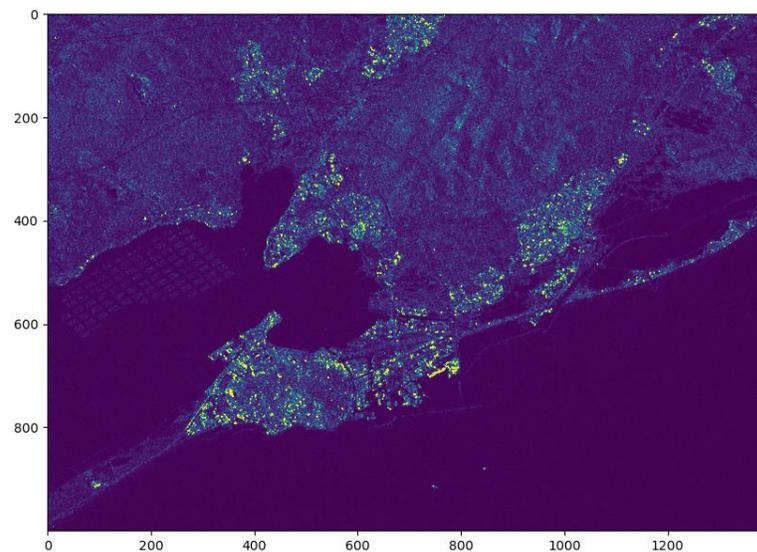


Image VH

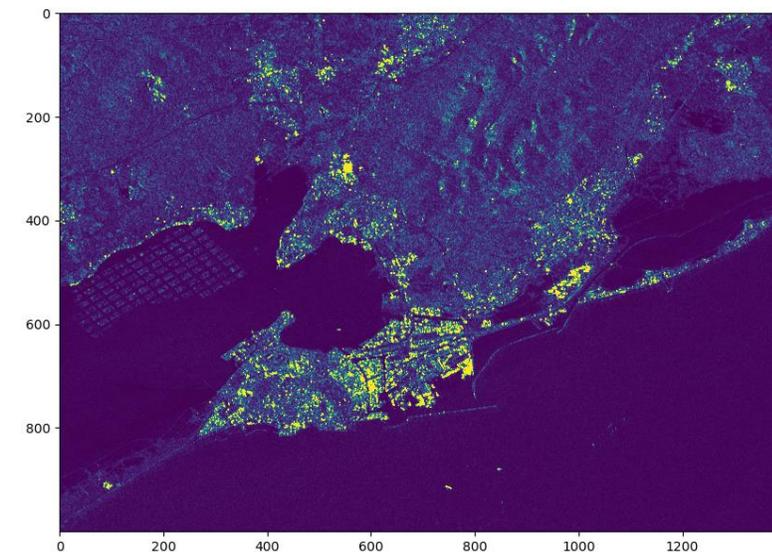


Image VV

# SOMMAIRE

- 01 Instrument radar
- 02 Concepts de polarimétrie radar
- 03 Prétraitements des données
- 04 Classification des terrains
- 05 Résultats expérimentaux
- 06 Conclusion et Perspectives

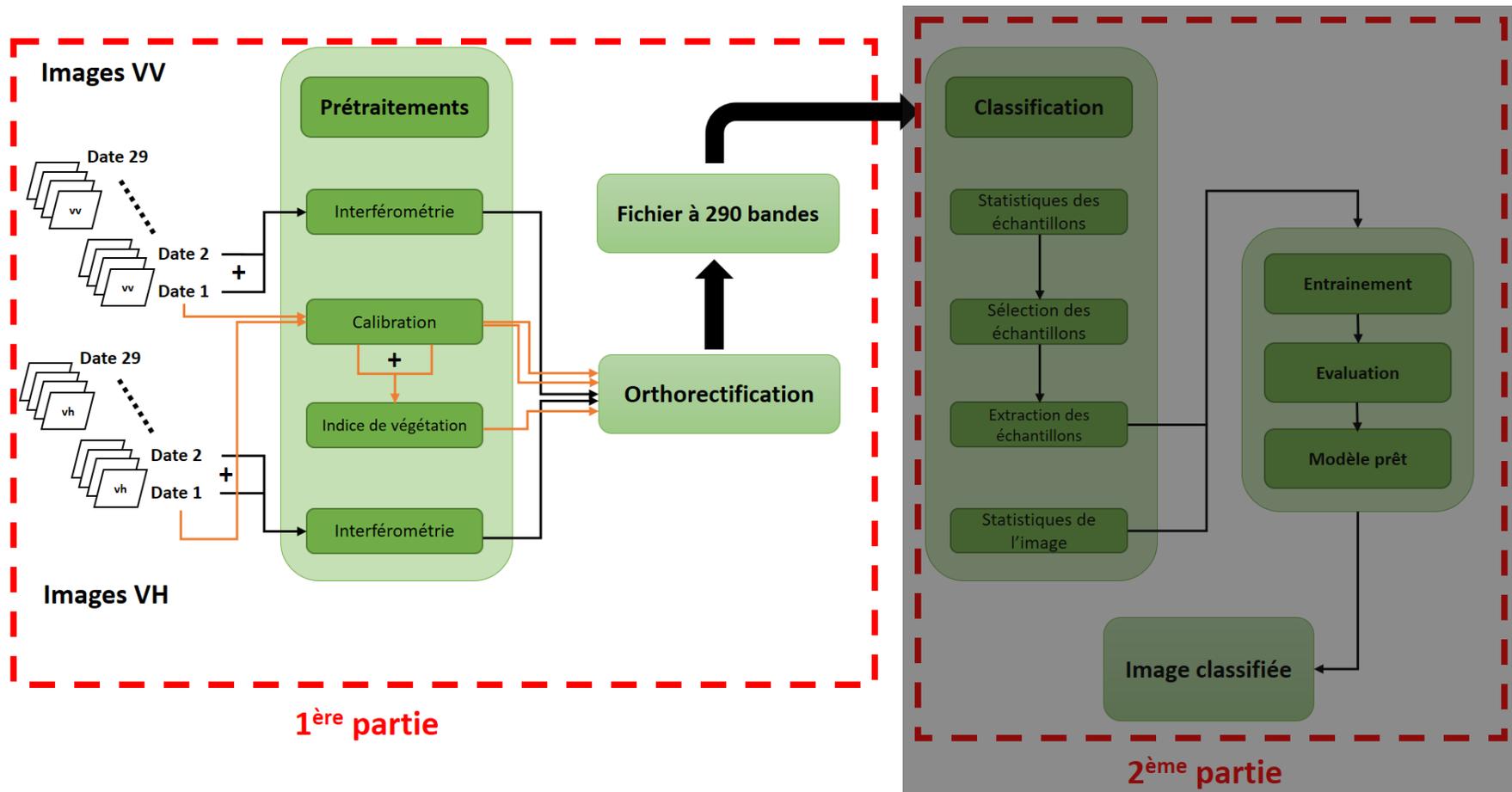
# Rappel des objectifs

On veut utiliser des informations obtenues des images radar de Sentinel-1. L'intérêt des images radar est de pouvoir faire des traitements interférométriques et polarimétriques.

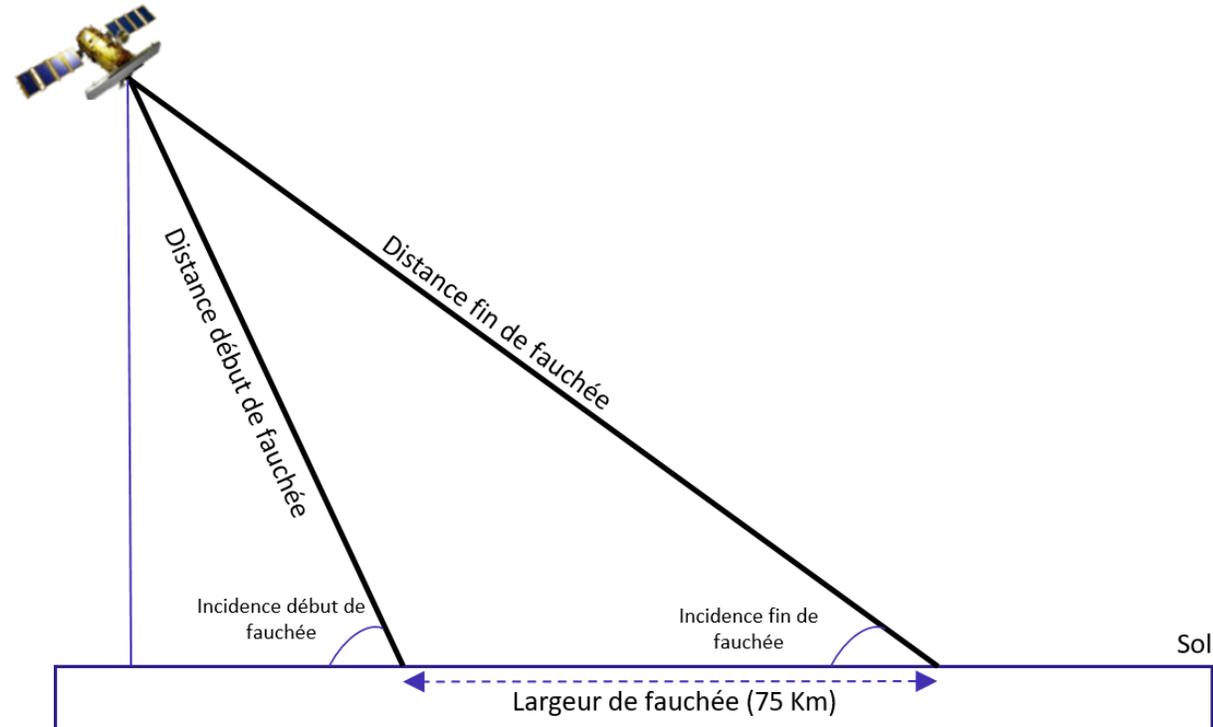
À partir des images radar obtenues sur une année entière et sur différentes zones géographiques, on va créer des modèles d'IA permettant de prédire les différents types de terrains et leur évolution.

1. Calcul des données interférométriques et polarimétriques à partir des images radar.
2. Utilisation de ces données pour l'entraînement et la validation d'un modèle d'IA de prédiction et de classification des terrains.

# Prétraitements des données



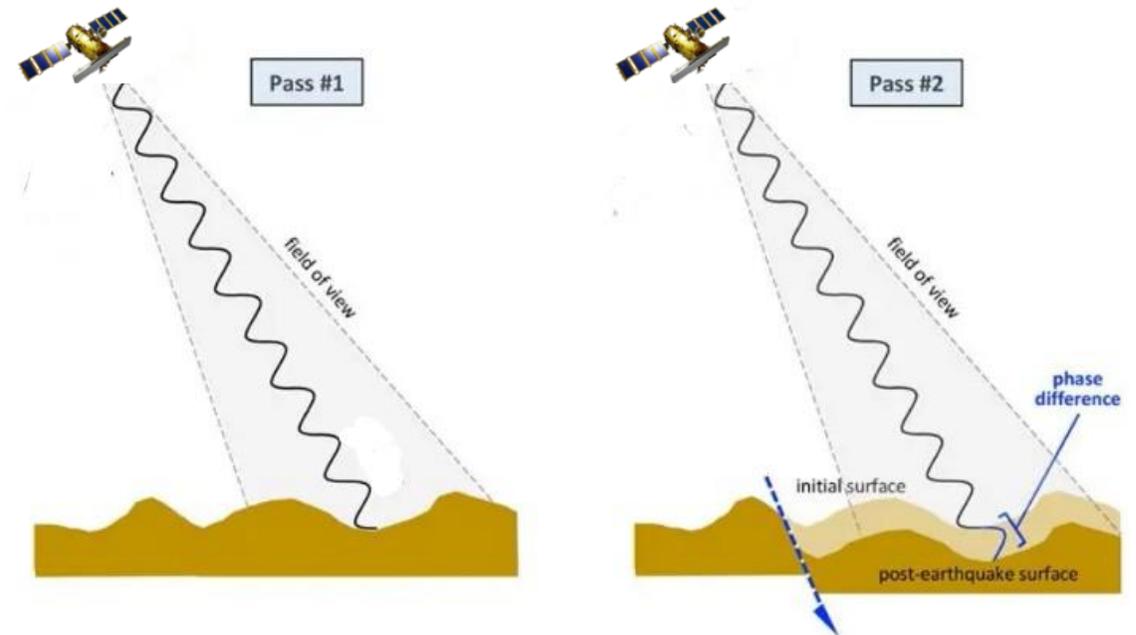
Calibration → Correction radiométrique.



Interférométrie  exploite les différences de phase du signal complexe (Amplitude, Phase mesurée) entre 2 images successives.

Produits finaux :

- **Amplitude** : moyenne en puissance des images initiales.
- **Cohérence** : déterminer la qualité de l'interférogramme et la stabilité de la surface.
- **Différence de Phase** : liée à un déplacement du sol.

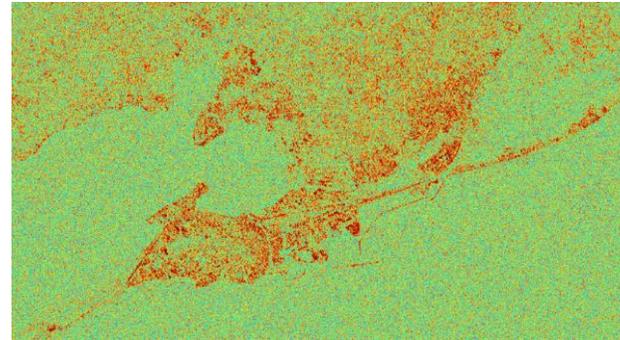


Exemple :  $\Delta\varphi = 180^\circ \Rightarrow \frac{\lambda}{4}$  (Un aller – retour) = **1.4cm** du déplacement.

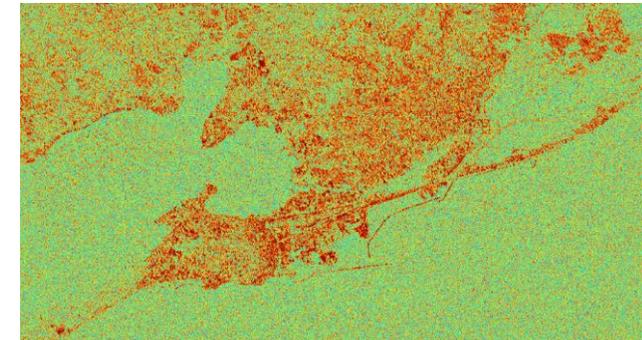
# Résultats de l'interférométrie



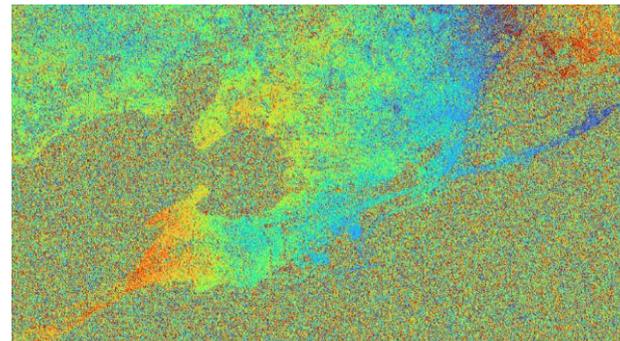
Google Earth



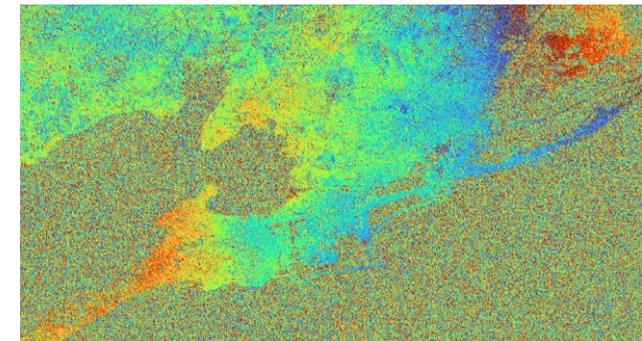
Cohérence VH



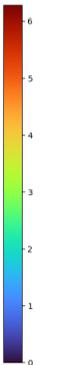
Cohérence VV

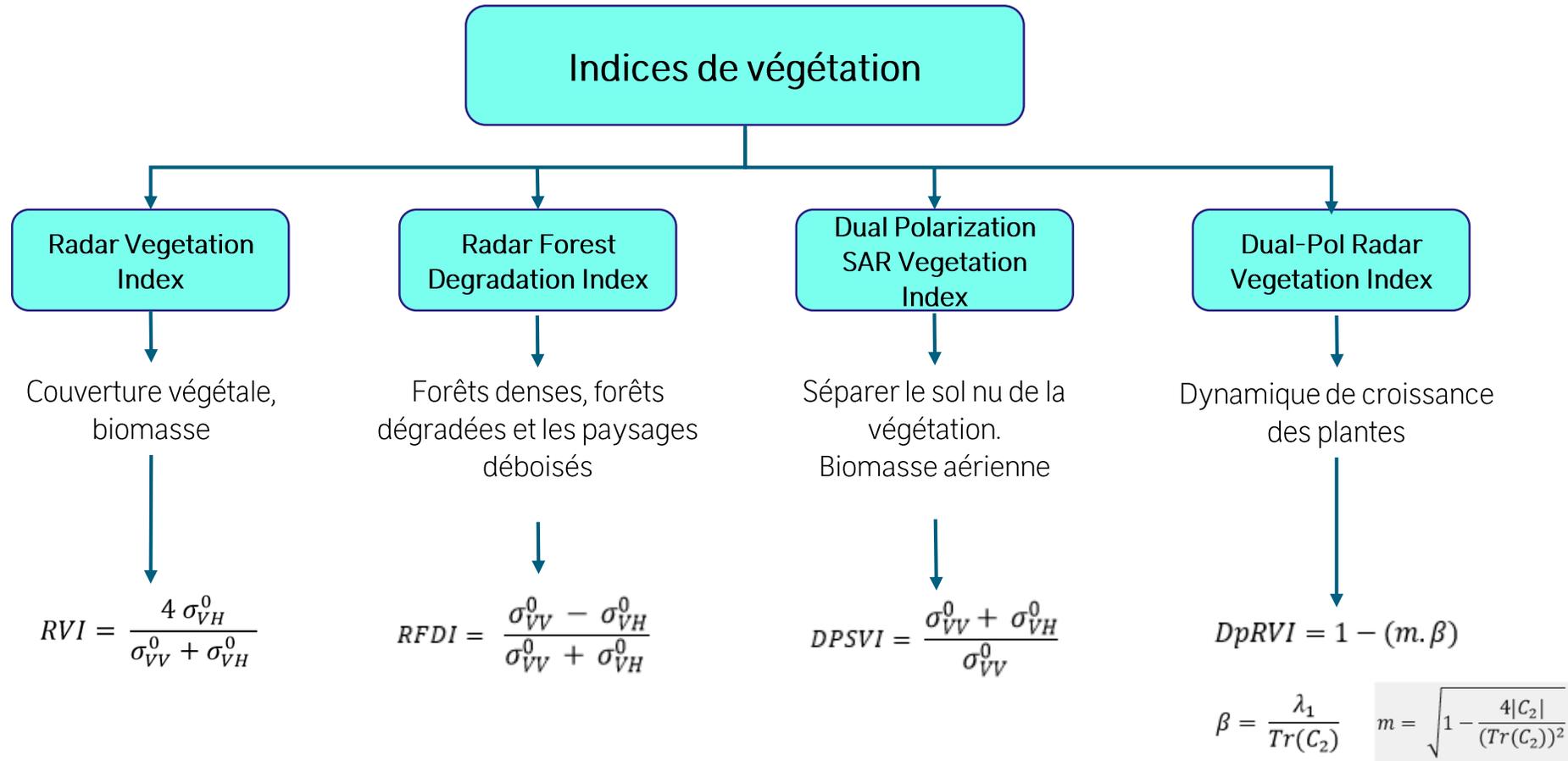


Phase VH



Phase VV

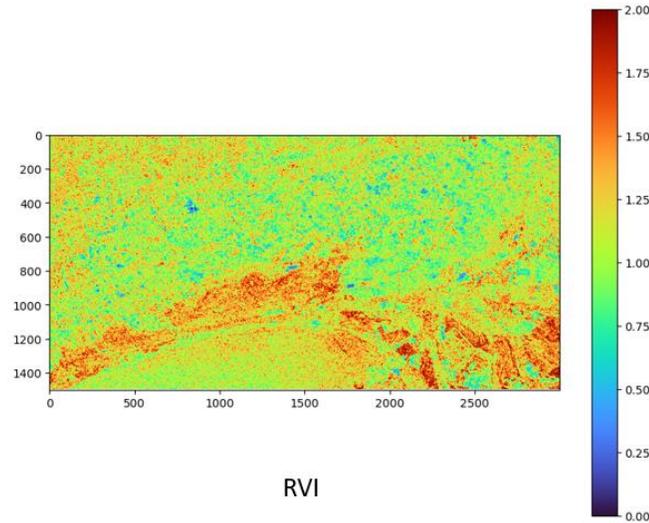




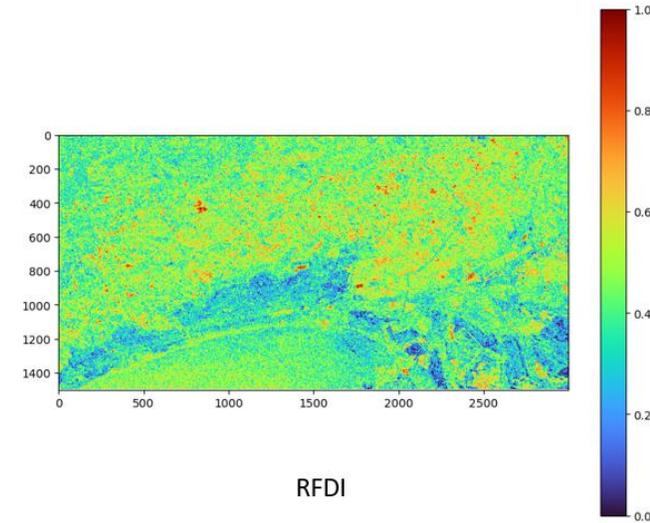
# Résultats des indices de végétation



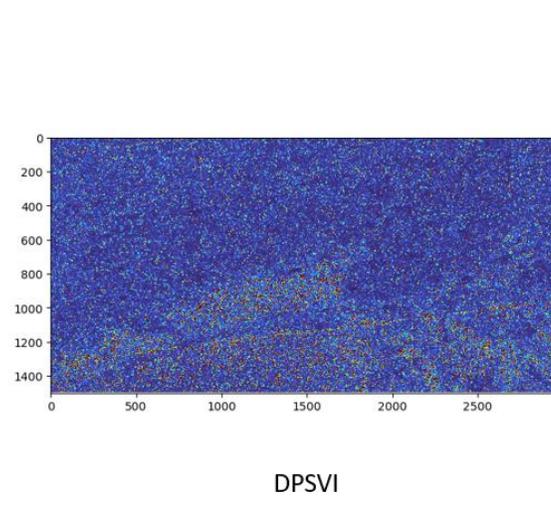
Google Earth



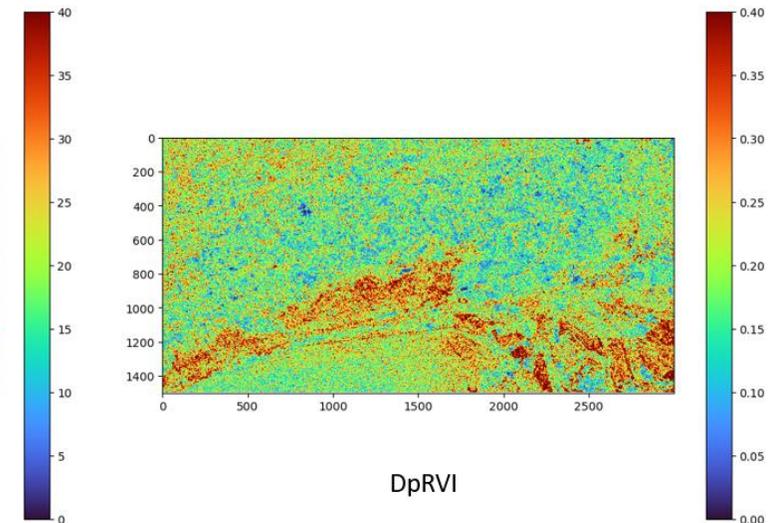
RVI



RFDI



DPSVI

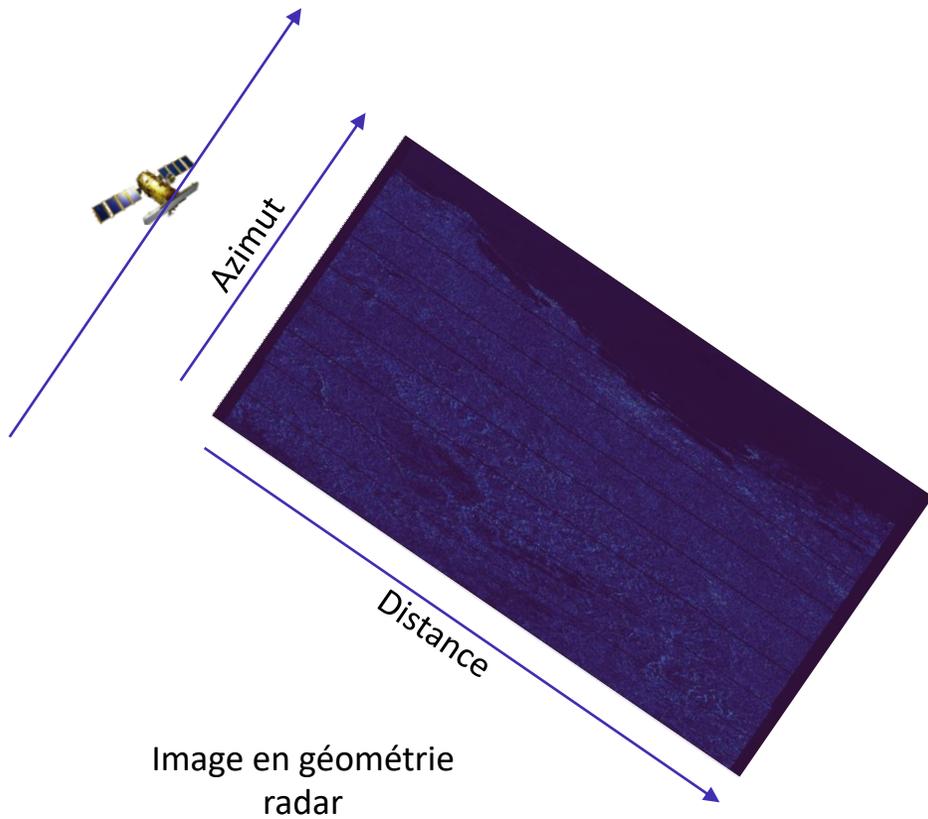


DpRVI

# Ensemble des primitives

<b>Bande</b> \ <b>Date</b>	<b>Date 1</b>	<b>Date 2</b>		<b>Date 28</b>	<b>Date 29</b>
Bande 1	Amplitude calibrée VH	Amplitude calibrée VH	● ● ●	Amplitude calibrée VH	Amplitude calibrée VH
Bande 2	Amplitude calibrée VV	Amplitude calibrée VV		Amplitude calibrée VV	Amplitude calibrée VV
Bande 3	Cohérence VH Inter date 1 et 2	Cohérence VH Inter date 2 et 3		Cohérence VH Inter date 28 et 29	Cohérence VH Inter date 28 et 29
Bande 4	Cohérence VV Inter date 1 et 2	Cohérence VV Inter date 2 et 3		Cohérence VV Inter date 28 et 29	Cohérence VV Inter date 28 et 29
Bande 5	Phase VH Inter date 1 et 2	Phase VH Inter date 2 et 3		Phase VH Inter date 28 et 29	Phase VH Inter date 28 et 29
Bande 6	Phase VV Inter date 1 et 2	Phase VV Inter date 2 et 3		Phase VV Inter date 28 et 29	Phase VV Inter date 28 et 29
Bande 7	RVI	RVI		RVI	RVI
Bande 8	RFDI	RFDI		RFDI	RFDI
Bande 9	DPSVI	DPSVI		DPSVI	DPSVI
Bande 10	DpRVI	DpRVI		DpRVI	DpRVI

L'orthorectification  passage de la géométrie radar à des coordonnées géographiques.



Projection de géométrie radar en coordonnées géographiques

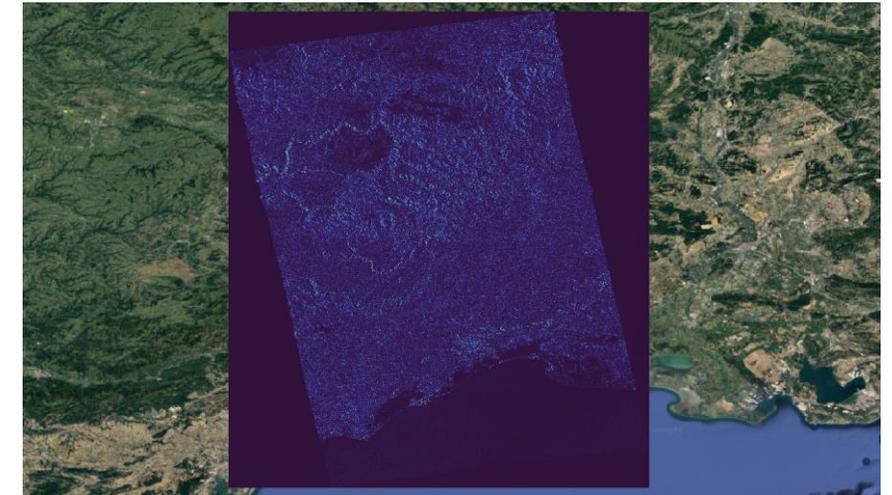
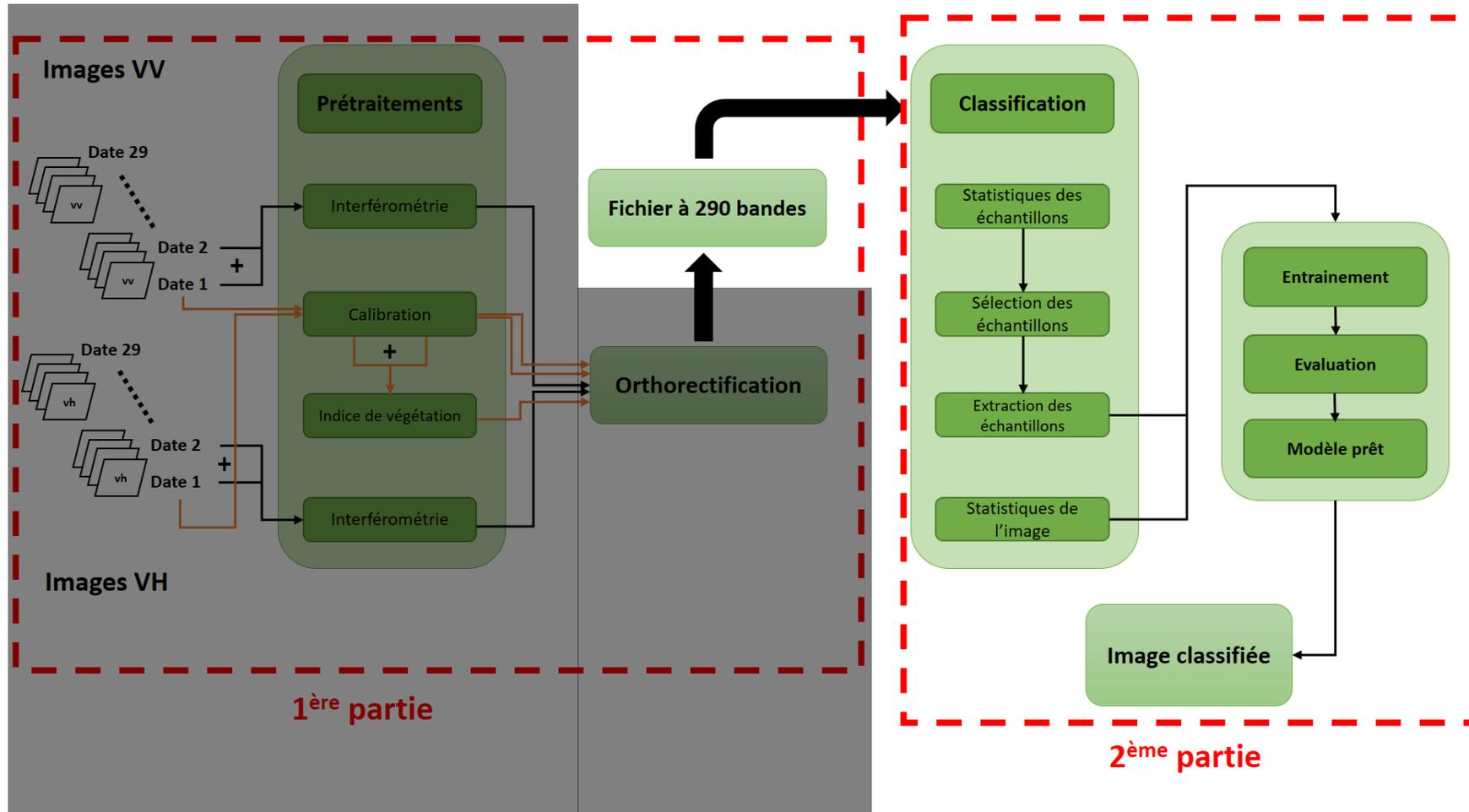


Image en coordonnées géographiques

# SOMMAIRE

- **01** Instrument radar
- **02** Concepts de polarimétrie radar
- **03** Prétraitements des données
- **04** Classification des terrains
- **05** Résultats expérimentaux
- **06** Conclusion et Perspectives

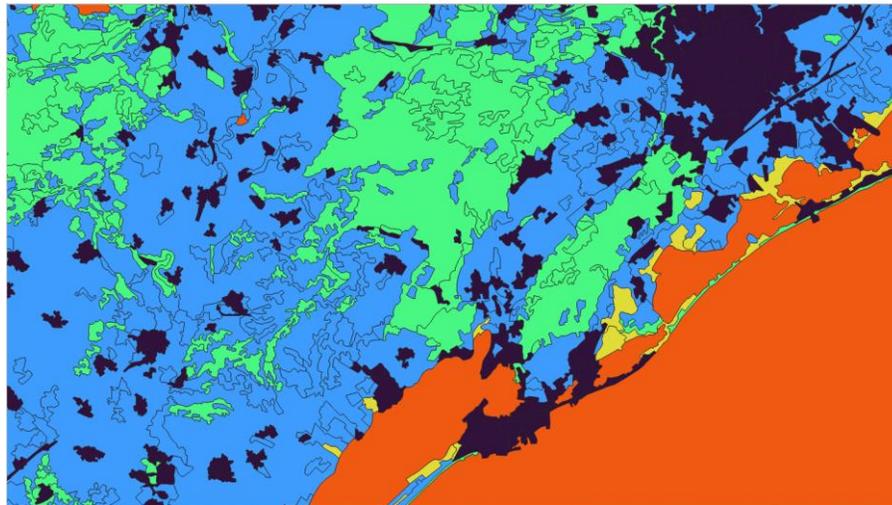
# Classification des terrains



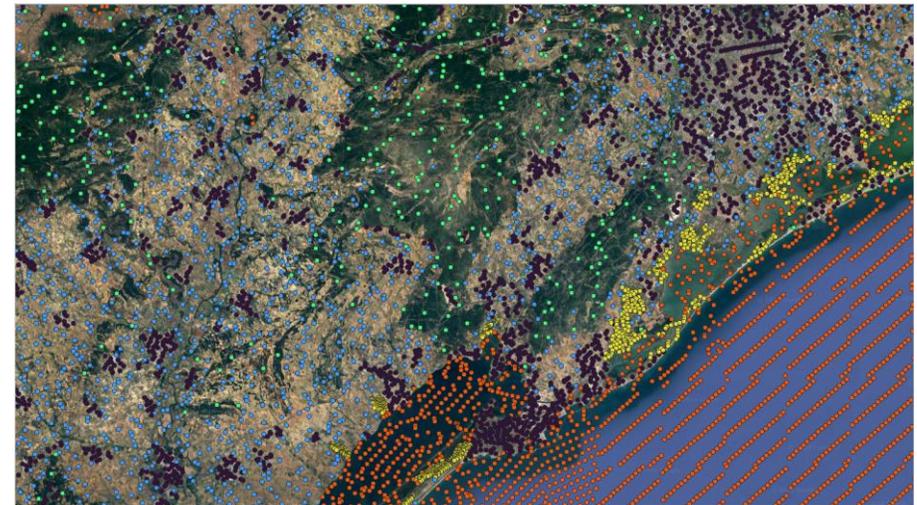
# Classification des terrains

Préparation du jeu de données d'apprentissage :

1. Statistique de polygones.
2. Sélection des échantillons.
3. Extraction des échantillons.
4. Statistique de l'image.



Corine Land Cover



5000 échantillons par classe

# Classification des terrains

Random Forest[1]  un algorithme d'apprentissage automatique qui utilise des arbres de décision.

Avantages :

- Rapidité et efficacité.
- Haute dimensionnalité (290 bandes).

Inconvénients :

- Pas de contexte spatial : Chaque pixel est pris indépendamment des pixels qui l'entoure.

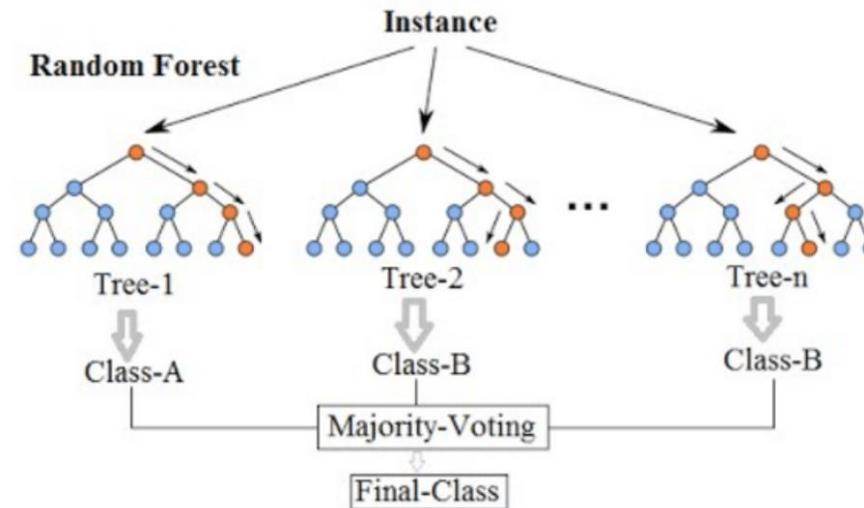


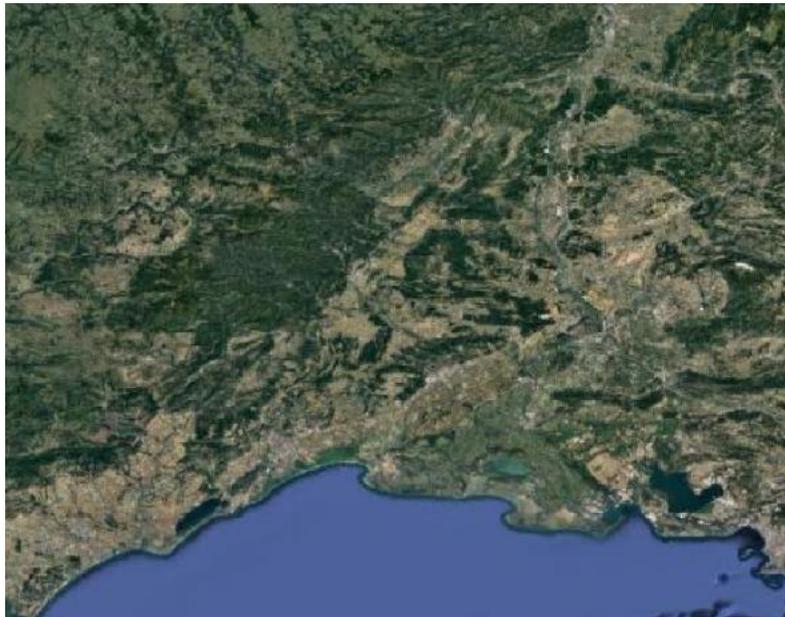
Illustration de l'algorithme Random Forest

# SOMMAIRE

- 01 Instrument radar
- 02 Concepts de polarimétrie radar
- 03 Prétraitements des données
- 04 Classification des terrains
- 05 Résultats expérimentaux
- 06 Conclusion et Perspectives

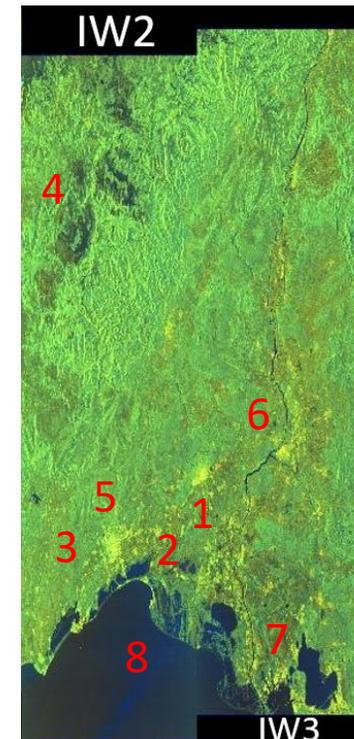
# Choix des zones d'études

Zone étudiée  Sud.



Google Earth (Sud)

1. Zones arides (Crau).
2. Zones marécageuses (Camargue).
3. Zones méditerranéennes ( vignobles)
4. Les forêts (Cévennes, Aveyron, massif central)
5. Zones urbaines (Montpellier, bord de mer)
6. Les fleuves (Rhône)
7. Les étangs et quelques zones industrielles : des raffineries à l'est de la Camargue, vallée du Rhône
8. la mer.

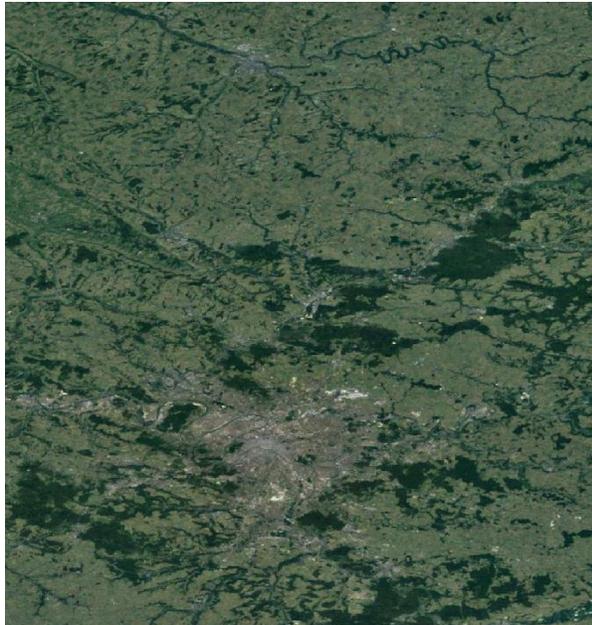


Zone Sud

# Choix des zones d'études

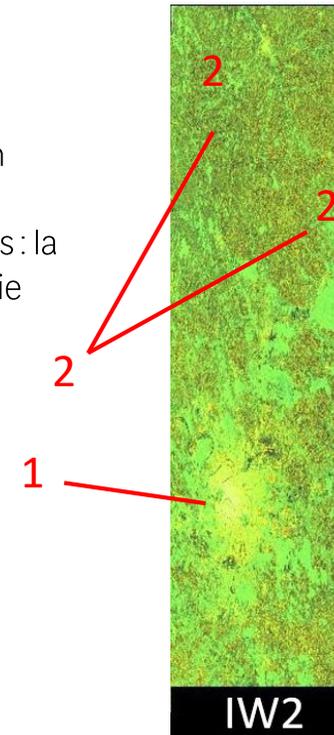
Zone étudiée  Paris.

- Climats différents entre le Sud et Paris



Google Earth (Paris)

1. Couverture Urbaine dense : région parisienne.
2. Forêts et grandes plaines agricoles : la Brie, au nord de Paris et en Picardie

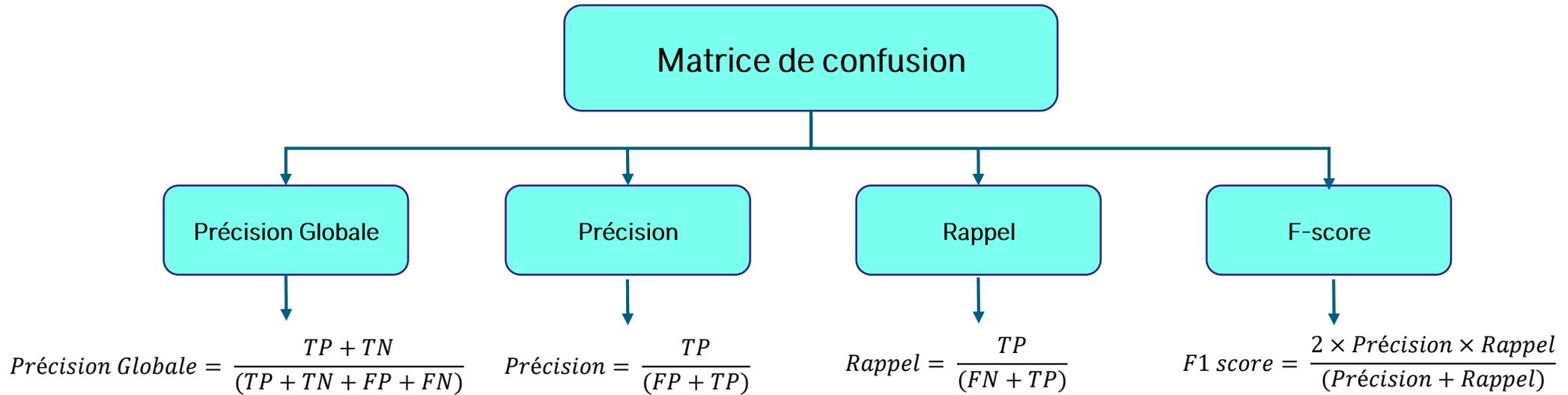


Zone Paris

# Nomenclature : Donnée de référence

Le Corine Land Cover 2018 (CLC 2018)

Code CLC Niveau 1	Descriptions CLC	Code CLC Niveau 2	Descriptions CLC
1	Territoires artificialisés	11	Zones urbanisées
		12	Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication
		13	Mines, décharges et chantiers
		14	Espaces verts artificialisés, non agricoles
2	Territoires agricoles	21	Terres arables
		22	Cultures permanentes
		23	Prairies
		24	Zones agricoles hétérogènes
3	Forêts et milieux semi-naturels	31	Forêts
		32	Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée
		33	Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation
4	Zones humides	41	Zones humides intérieures
		42	Zones humides maritimes
5	Surfaces en eau	51	Eaux continentales
		52	Eaux maritimes



Avec :

TP : True Positive  
FP : False Positive

TN : True Negative  
FN : False Negative

# Tableau des résultats de la classification

ENTRAINEMENT	VALIDATION	Nombre de classes	Précision Globale	F1 score min	F1 score max
SUD IW2 GAUCHE	SUD IW2 DROITE	5 Classes	0.55	0.018 Humide	0.92 Eau
	PARIS IW2 DROITE		0.48	0.003 Humide	0.63 Agricole
	PARIS IW2 COMPLET		0.47	0.002 Humide	0.62 Agricole
	PARIS IW2 GAUCHE		0.46	0.001 Humide	0.61 Agricole
	SUD IW3 COMPLET		0.44	0.05 Humide	0.59 Eau

# Tableau des résultats de la classification

ENTRAINEMENT	VALIDATION	Nombre de classes	Précision Globale	F1 score min	F1 score max
PARIS IW2 GAUCHE	PARIS IW2 DROITE	5 Classes	0.52	0.018 Humide	0.69 Agricole
	SUD IW2 DROITE		0.42	0.057 Humide	0.9 Eau
	SUD IW2 COMPLET		0.35	0.029 Humide	0.85 Eau
	SUD IW3 COMPLET		0.31	0.04 Humide	0.55 Eau
	SUD IW2 GAUCHE		0.29	0.004 Humide	0.75 Eau

# Tableau des résultats de la classification

ENTRAINEMENT	VALIDATION	Nombre de classes	Précision Globale	F1 score min	F1 score max
SUD IW2 ET IW3 GAUCHE + PARIS IW2 GAUCHE	PARIS IW2 DROITE	5 Classes	0.57	0.004 Humide	0.73 Agricole
	SUD IW2 DROITE		0.56	0.024 Humide	0.92 Eau
	SUD IW3 DROITE		0.43	0.006 Humide	0.63 Eau

# Tableau des résultats de la classification

ENTRAINEMENT	VALIDATION	Nombre de classes	Précision Globale	F1 score min	F1 score max
SUD IW2 ET IW3 GAUCHE + PARIS IW2 GAUCHE	PARIS IW2 DROITE	15 Classes	0.46	2.3e-05 agricoles hétérogènes	0.66 Terres arables
	SUD IW2 DROITE		0.38	5.38e-05 agricoles hétérogènes	0.85 Eaux maritimes
	SUD IW3 DROITE		0.23	0.00 humides intérieures	0.42 Forêts

# Classification des images

- Confusion de la piste d'aéroport
- Classe humide : ratée



Image Google Earth.

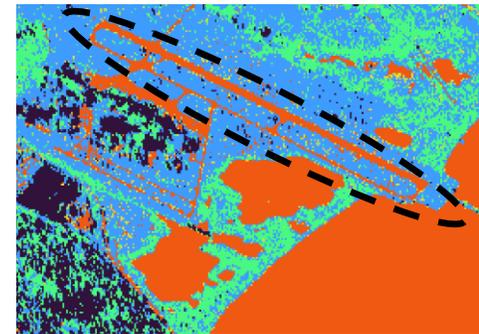


Zone sud IW2 :  
Aéroport de Montpellier

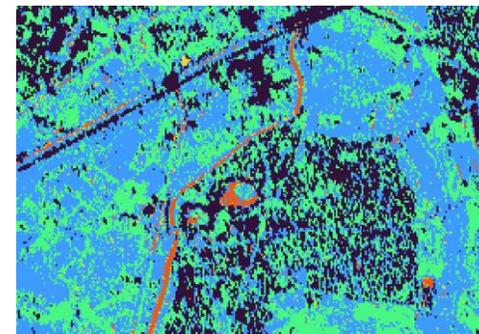
CLC en niveau 1 (5 classes).



Résultat de la classification.



Zone sud IW2 :  
Port Ariane.  
(Banlieue de Montpellier)



# Classification des images

## Types de classes Niveau 2

- 11 Zones urbanisées
- 12 Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication
- 13 Mines, décharges et chantiers
- 14 Espaces verts artificialisés, non agricoles
- 21 Terres arables
- 22 Cultures permanentes
- 23 Prairies
- 24 Zones agricoles hétérogènes
- 31 Forêts
- 32 Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée
- 33 Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation
- 41 Zones humides intérieures
- 42 Zones humides maritimes
- 51 Eaux continentales
- 52 Eaux maritimes
- Autres

 Territoires artificialisés

 Territoires agricoles

 Forêts et milieux semi-naturels

 Zones humides

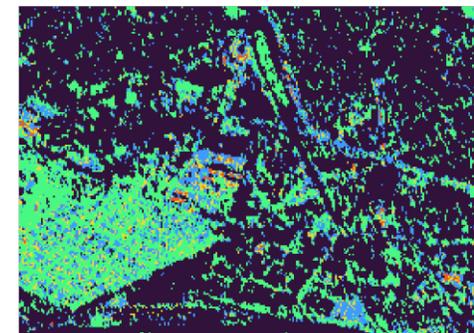
 Surfaces en eau



Zone (Droite) Paris IW2 vers le Cimetière de Pantin (en bas à gauche).



CLC en niveau 1 (5 classes).



Résultat de la classification (Niveau 1)

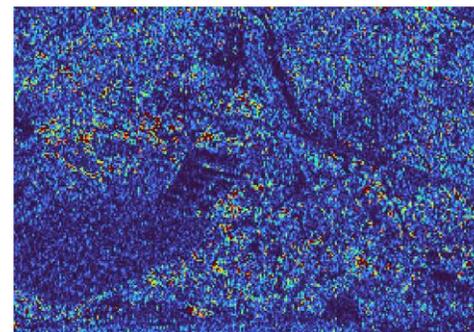
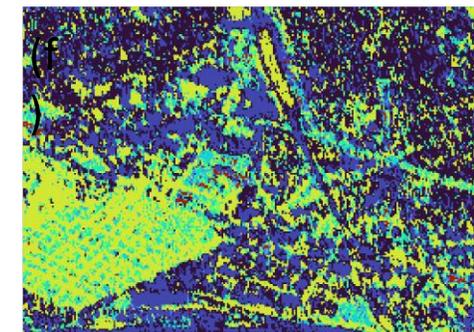


Image radar d'entrée.

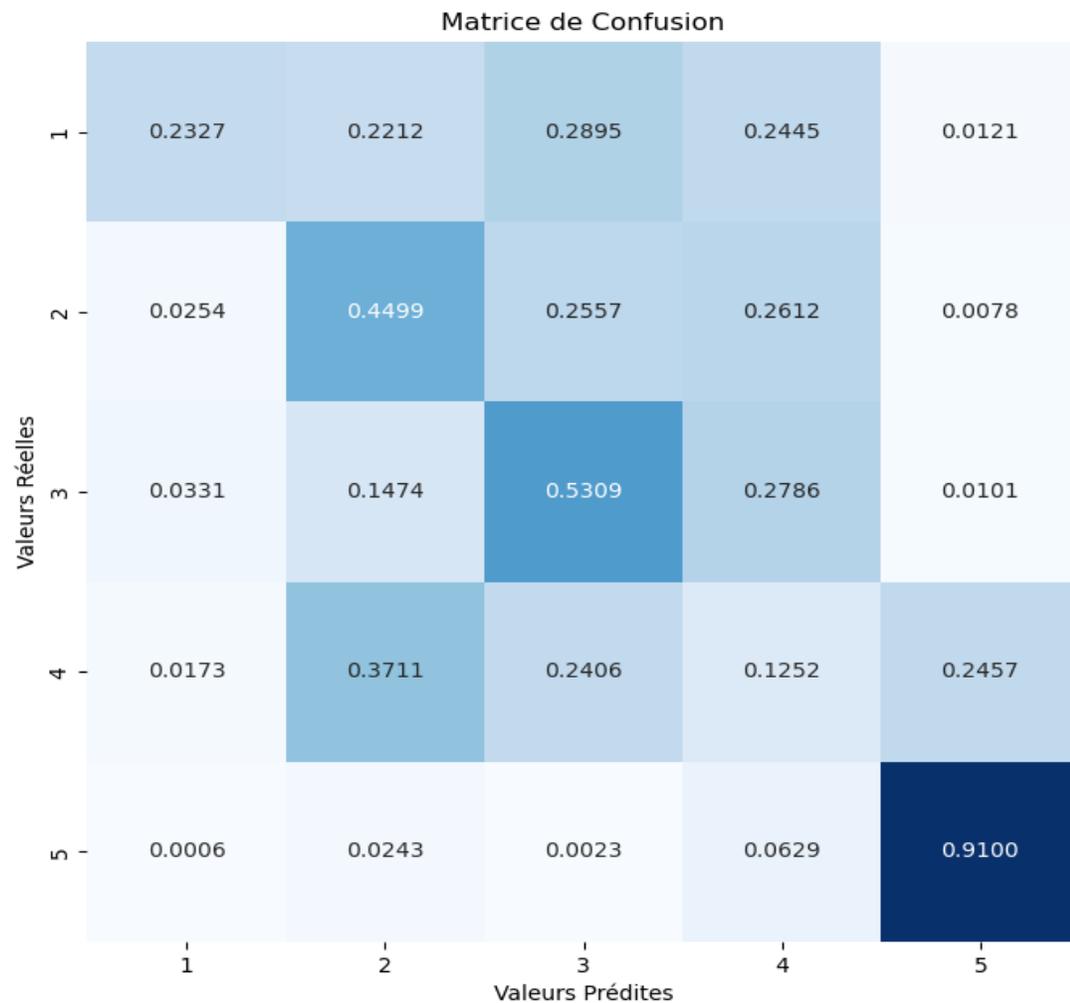


CLC en niveau 2 (15 classes).



Résultat de la classification (Niveau 2)

# Matrice de confusion et Métriques



Exemple de classification de la zone IW2 Sud Droite avec le modèle (entraînement sur les 3 Zones)

	Précision	Rappel	F-score
<b>Territoires artificialisés</b>	0.38	0.23	0.29
<b>Territoires agricoles</b>	0.54	0.45	0.49
<b>Forêts et milieux semi-naturels</b>	0.74	0.53	0.62
<b>Zones humides</b>	0.01	0.13	0.02
<b>Surfaces en eau</b>	0.93	0.91	0.92
<b>Moyenne</b>	0.52	0.45	0.48

# Outils de traitement

Utilisations des outils principaux :

- Python.
- Orfeo ToolBox (OTB).
- QGIS.

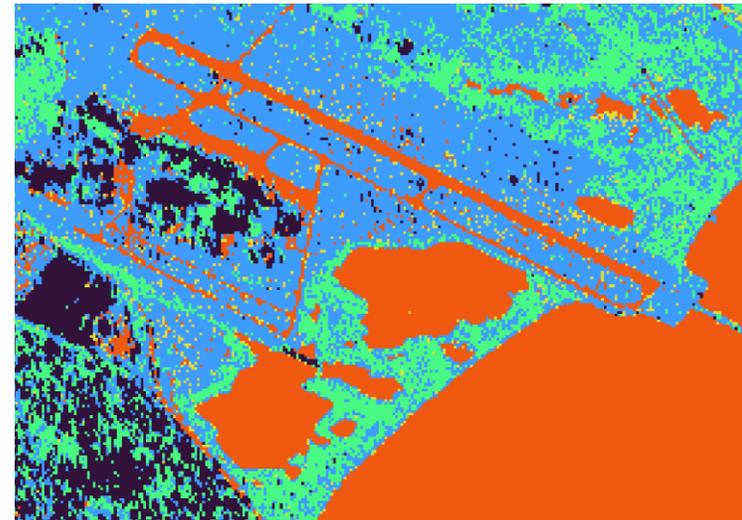


# SOMMAIRE

- 01 Instrument radar
- 02 Concepts de polarimétrie radar
- 03 Prétraitements des données
- 04 Classification des terrains
- 05 Résultats expérimentaux
- 06 Conclusion et Perspectives

# Conclusion et perspectives

- Performance moyenne :
  - Contours géométriques.
  - Bruit.
- Agrandir la base de donnée.
  - Stratification éco-climatique [2].
- Algorithme avec contexte Spatial.
  - Deep Learning CNN.
- Fusion optique Sentinel-2.



Classification des terrains.



# Merci de votre attention