



# Introduction à la télédétection

2023-2024

Marc Lang  
([marc.lang@toulouse-inp.fr](mailto:marc.lang@toulouse-inp.fr))

**TOULOUSE**  
**INP** **Ensat**  
L'AgroToulouse



Une présentation largement inspirée de celle de Mathieu Fauvel :

[http://fauvel.mathieu.free.fr/pdfs/s2\\_ensat.pdf](http://fauvel.mathieu.free.fr/pdfs/s2_ensat.pdf)

# Définition

---

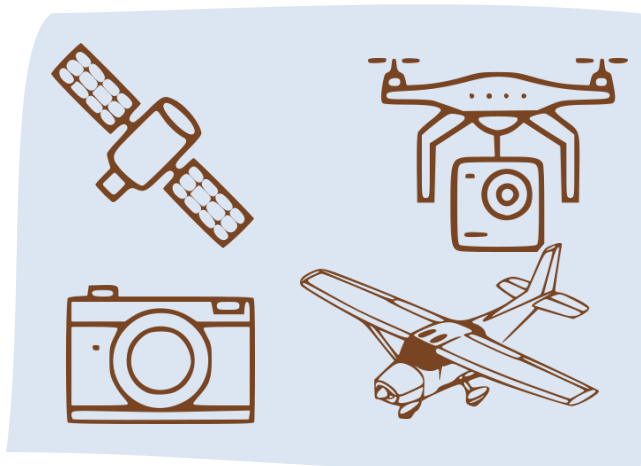
Téledétection aérospatiale :

L'objet de la téledétection est de fournir **des informations** sur les paysages sous la forme de **données images**, en utilisant **le rayonnement électromagnétique** comme véhicule de ces informations.

Elle permet :

- La mise à jour et le suivi des paysages dans des zones bien cartographiées;
- Une première cartographie dans les régions peu ou mal cartographiées.

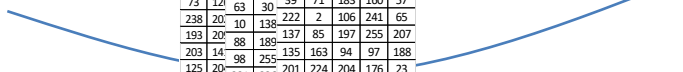
# CAPTEUR



# TRAITEMENTS

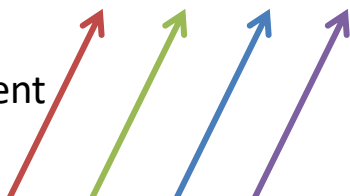
## Données

244	172	164	92	0				
208	14	233	213	223	3	175		
153	17	197	69	39	171	175		
73	12	63	30	222	2	106	241	65
238	20	10	138	137	85	197	255	207
193	20	88	189	135	163	94	97	188
203	14	98	255	201	224	204	176	23
125	20	221	226	201	224	204	176	23
35	37	255	160	220	190	4	68	164
22	15	129	165	144	89	242	166	182
204	22	93	112	153	137	67	72	52
110	23	118	146	152	29	176		
		122	164	203	19	148	104	55
		189	115	177	56	128	5	172
				106	214	238	178	76



## RESULTATS - ANALYSES

Rayonnement



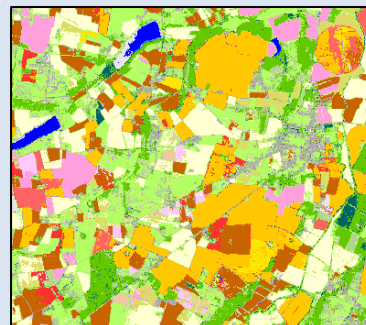
## PROCESSUS – OBJET D'ETUDE



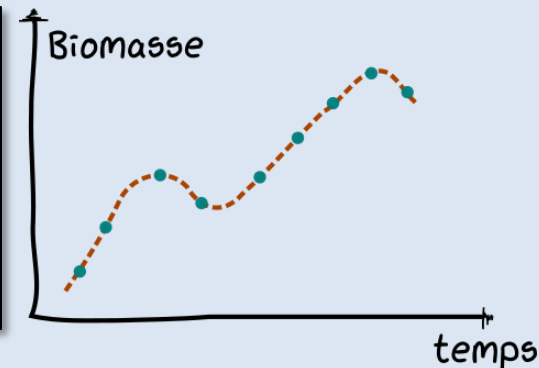
Saisons



Croissance des plantes



Cartes



Mesure variable d'intérêt





# Déroulé du cours

1. Domaines d'application
2. Rayonnement - interaction avec la matière
  1. Onde électromagnétique et signature spectrale
  2. Interaction avec la matière
  3. Processus d'acquisition
3. Image numérique de télédétection
  1. Qu'est ce qu'une image
  2. Compromis des capteurs
  3. Visualisation des images
4. Traitements numériques
  1. Calcul d'indices
  2. Classification
  3. Post-traitements

# Domaines d'application

---

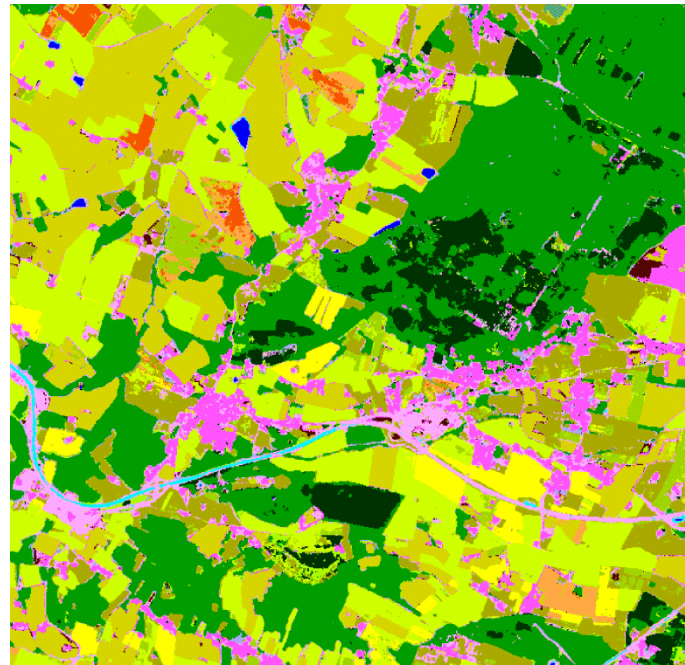
- Agriculture
- Cartographie
- Climatologie
- Écologie (du paysage)
- Foresterie
- Géographie
- Géologie
- Hydrologie
- Météorologie
- Urbanisme
- ...

# Domaines d'application

---

## Agriculture

- Cartographie
  - des types de cultures
  - des pratiques agricoles
- Etude de la santé des cultures
- Contrôle des subventions
- Agriculture de précision
- Assurance



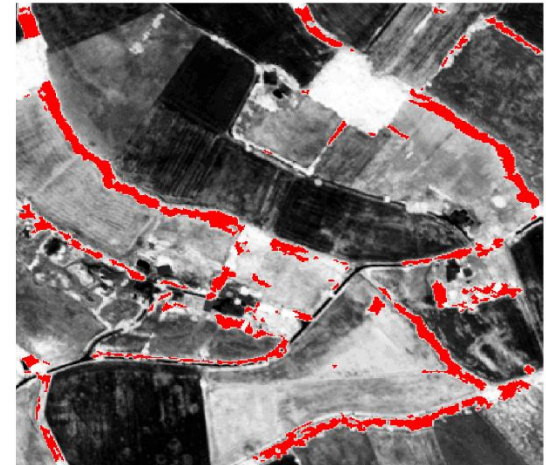
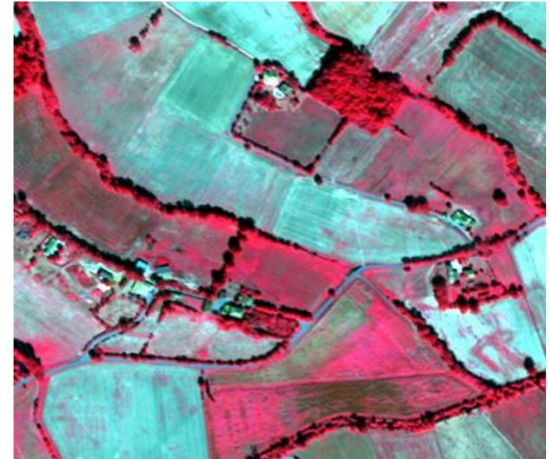
Carte OSO – [osr-cesbio.ups-tls.fr](http://osr-cesbio.ups-tls.fr)

# Domaines d'application

---

## Forestrie

- Discrimination du type de couvert forestier
  - essences
  - peuplement
- Estimation de la biomasse
- Gestion des incendies
- Détection précoce des maladies



Détection du réseau de haies



# Domaines d'application

---

## Suivi de la fonte des glaces

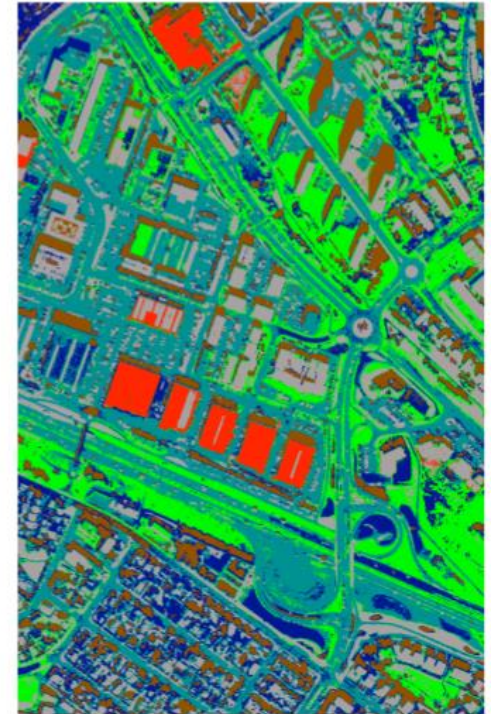


# Domaines d'application

---

## Urbanisme

- Suivi de l'étalement urbain
- Etude du réseau routier
- Etude des espaces verts

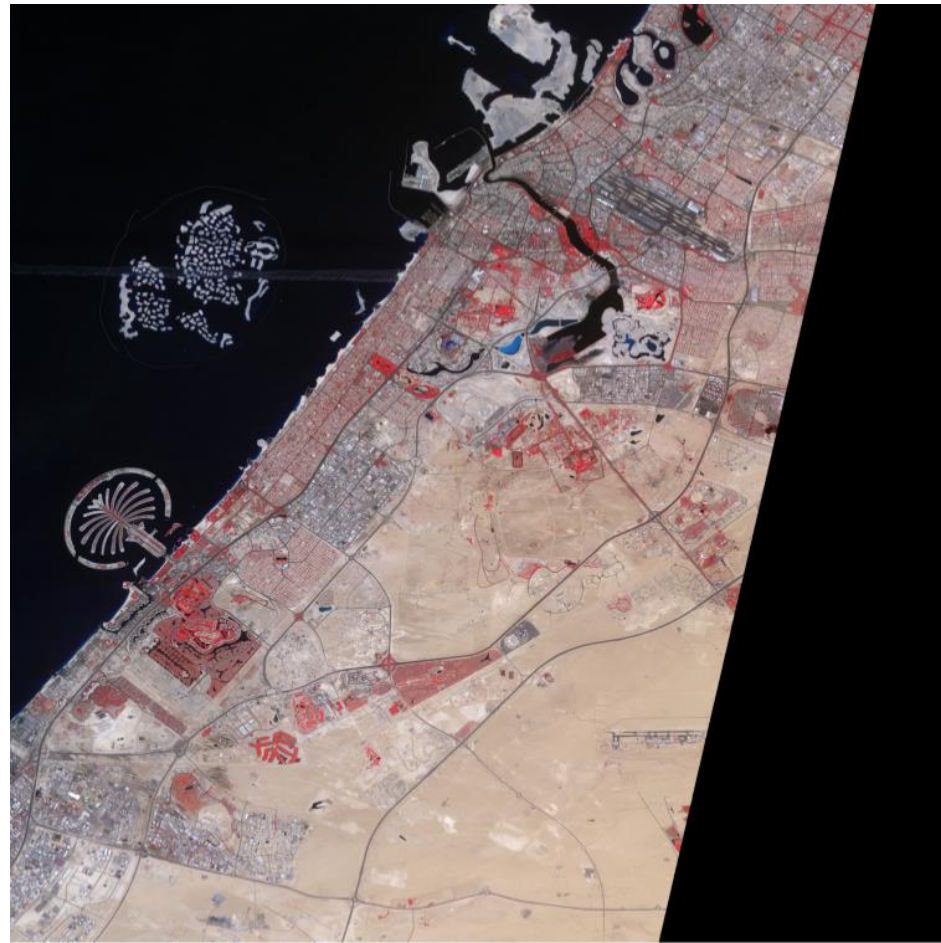


Classification thématique d'une partie du centre ville de Reykjavik, Islande. IKONOS.

# Domaines d'application

---

## Urbanisme



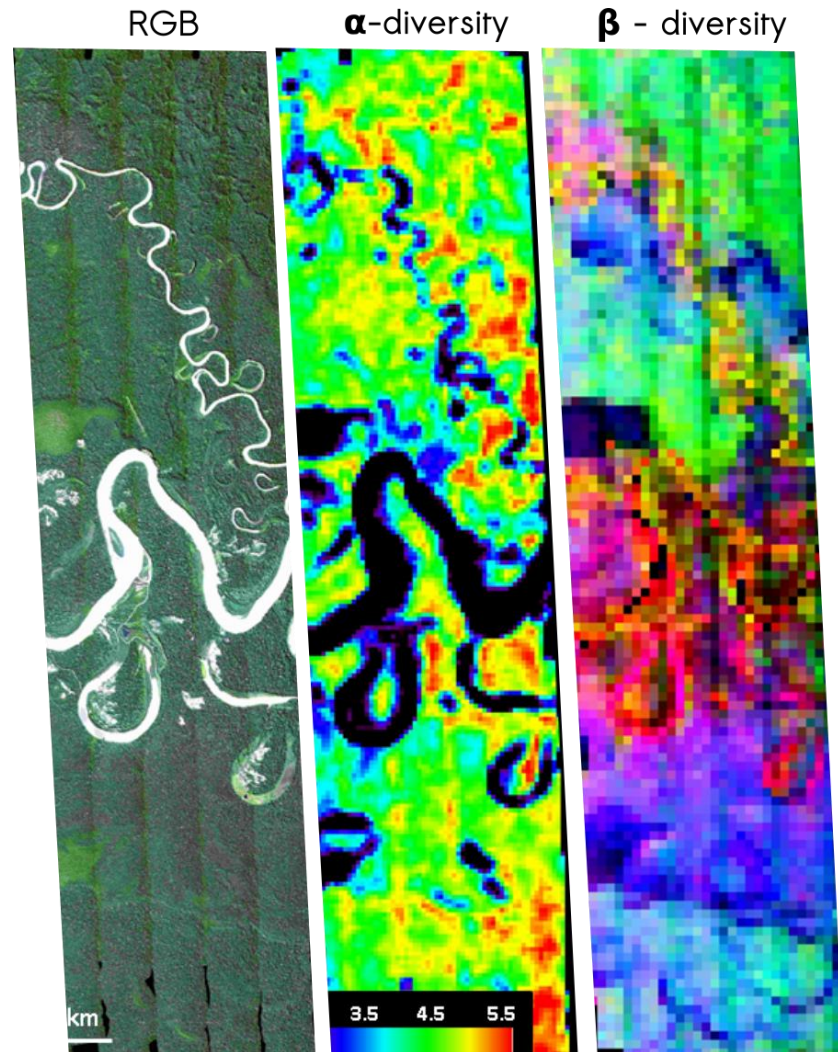


# Domaines d'application

---

## Ecologie

- Cartographie des habitats naturels
- Suivi de l'état de conservation
- Suivi de la biodiversité
- Suivi de la diversité fonctionnelle



Cartographie de la biodiversité tropicale à partir d'images hyperspectrales

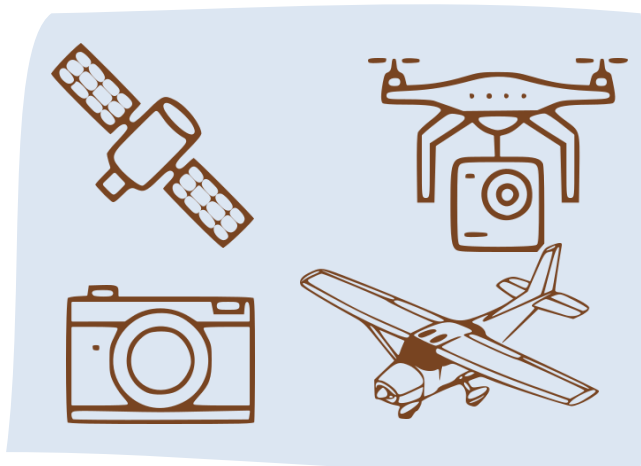




# Déroulé du cours

1. Domaines d'application
2. Rayonnement - interaction avec la matière
  1. Onde électromagnétique et signature spectrale
  2. Interaction avec la matière
  3. Processus d'acquisition
3. Image numérique de télédétection
  1. Qu'est ce qu'une image
  2. Compromis des capteurs
  3. Visualisation des images
4. Traitements numériques
  1. Calcul d'indices
  2. Classification
  3. Post-traitements

# CAPTEUR



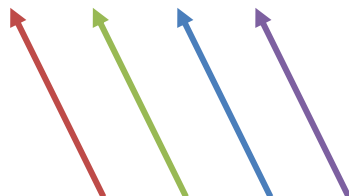
# TRAITEMENTS

## Données

244	172	164	92	0					
208	14	233	213	223	3	175			
153	17	197	69	39	171	175			
73	12	63	30	222	2	106	160	57	
238	20	10	138	137	85	197	255	207	
193	20	88	189	135	163	94	97	188	
203	14	98	255	201	224	204	176	23	
125	20	221	226	201	224	204	176	23	
35	37	255	160	220	190	4	68	164	
22	15	129	165	144	89	242	166	182	
204	22	112	153	137	67	72	52		
110	23	112	118	146	152	29	176		
		122	164	203	19	148	104	55	
		189	115	177	56	128	5	172	
				106	214	238	178	76	



## Rayonnement



## PROCESSUS – OBJET D'ETUDE

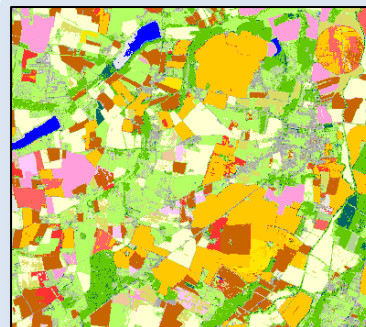


Saisons

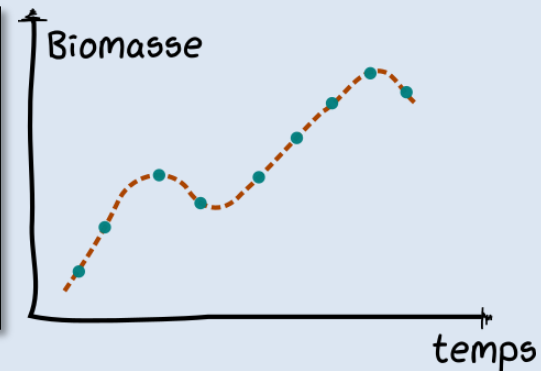


Croissance des plantes

## RESULTATS - ANALYSES

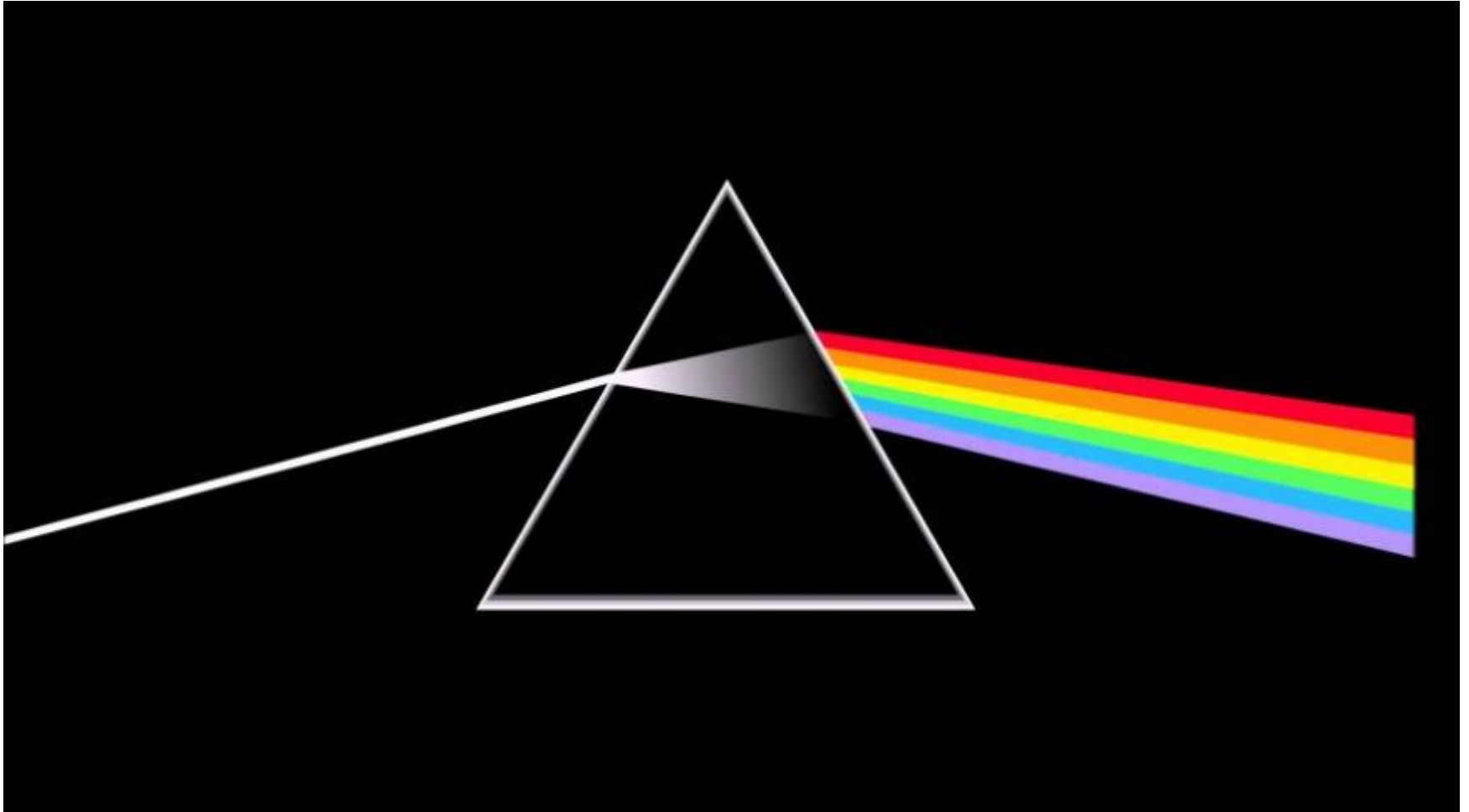


Cartes

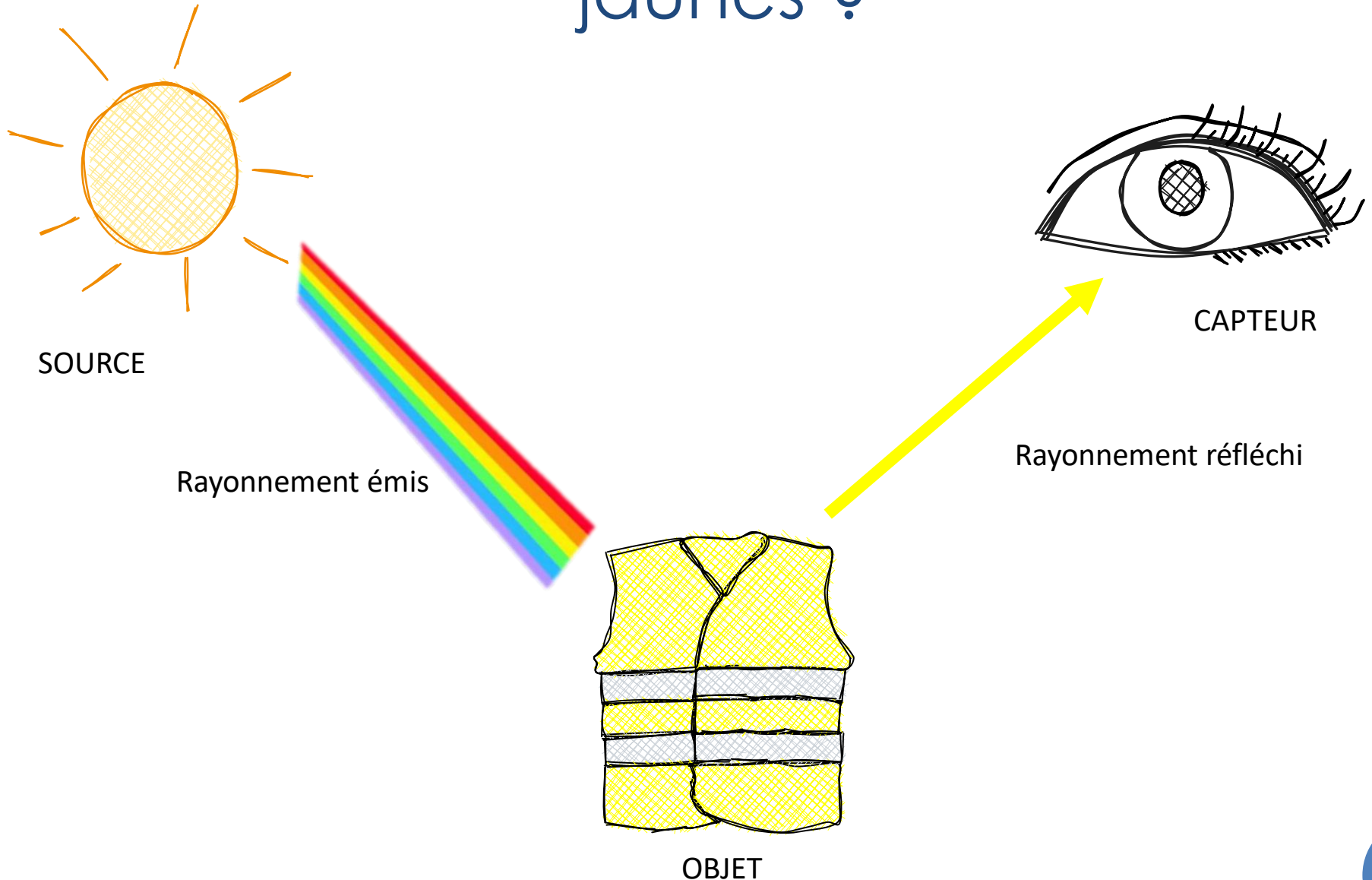


Mesure variable d'intérêt

# Qu'est-ce que la couleur ?



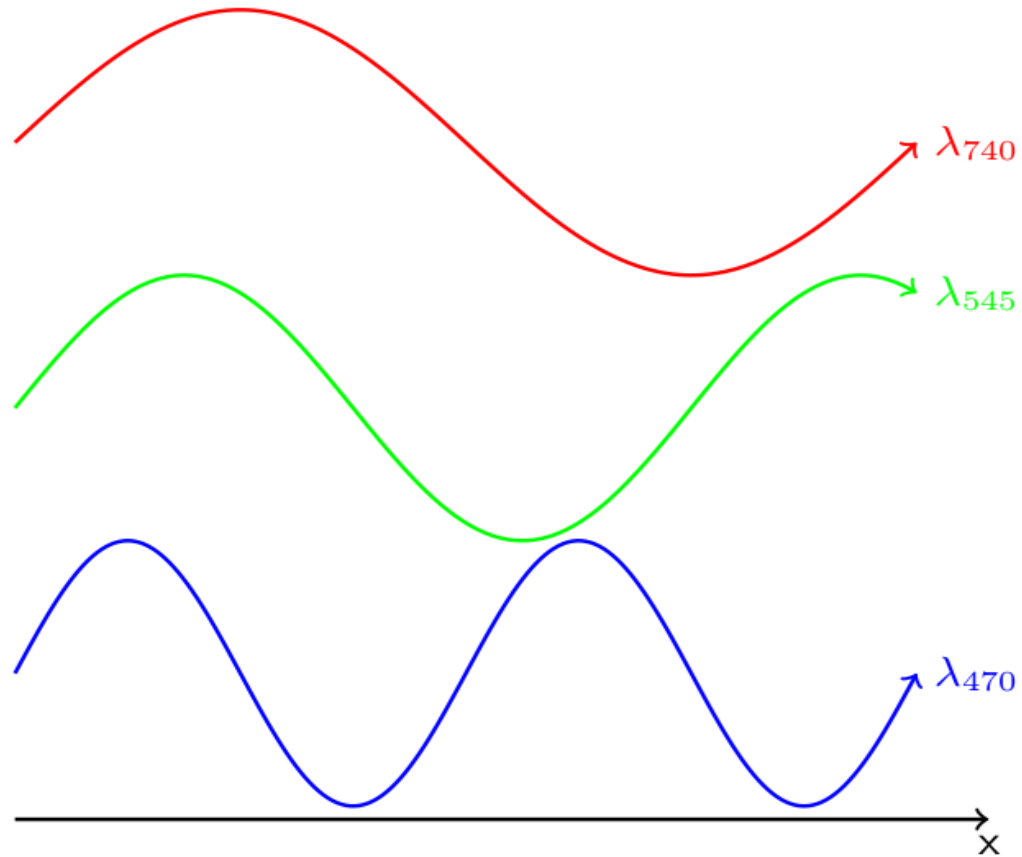
# Pourquoi les gilets jaunes sont jaunes ?





# Des ondes électromagnétiques

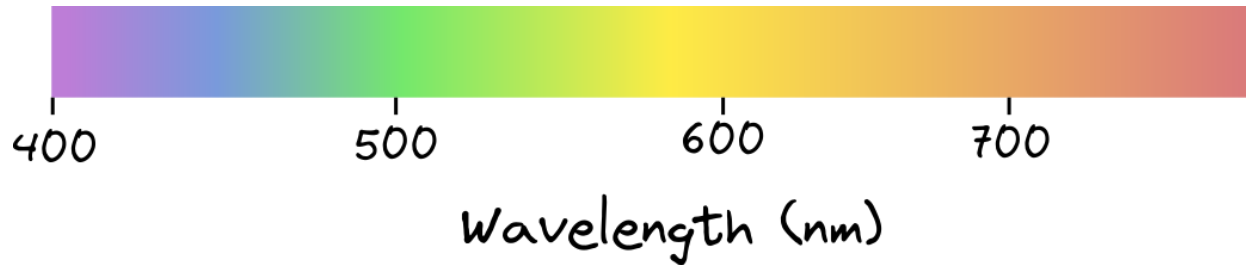
---



# Des ondes électromagnétiques

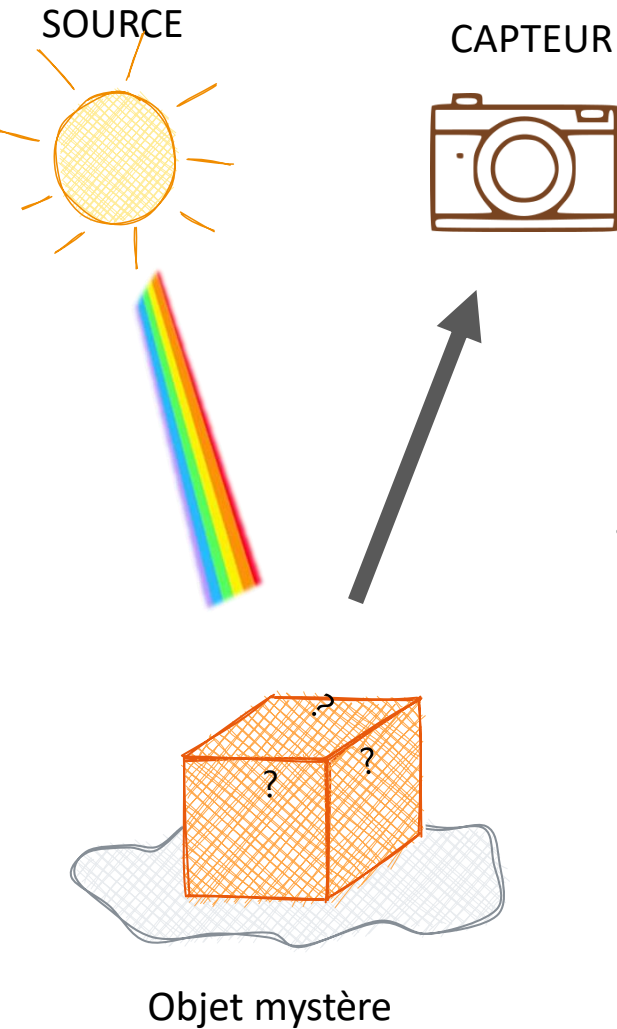
---

- Spectre du visible :

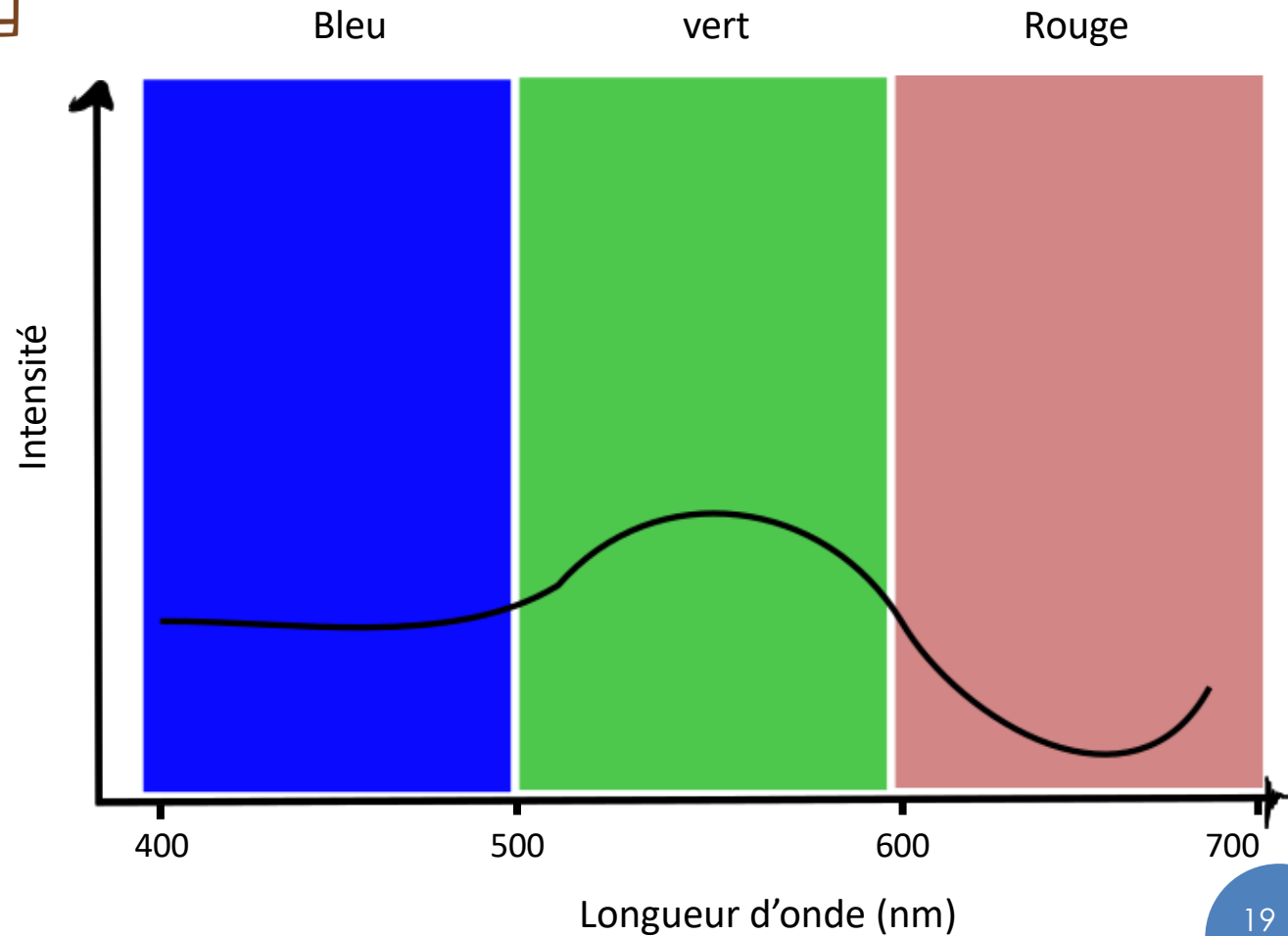


- **Définition** : le spectre électromagnétique représente l'ensemble des longueurs d'ondes

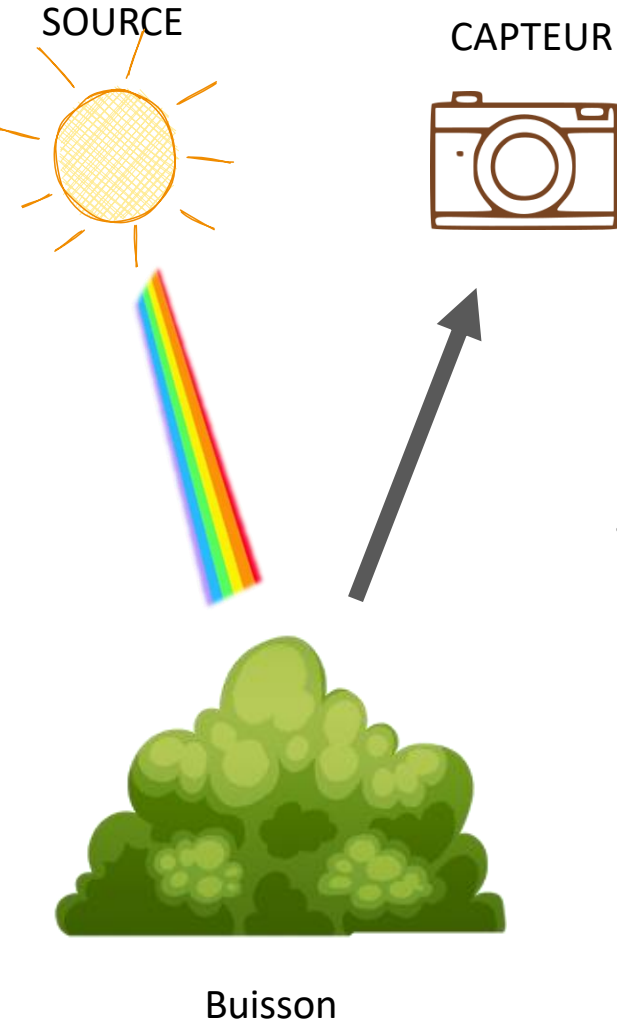
# Signature spectrale



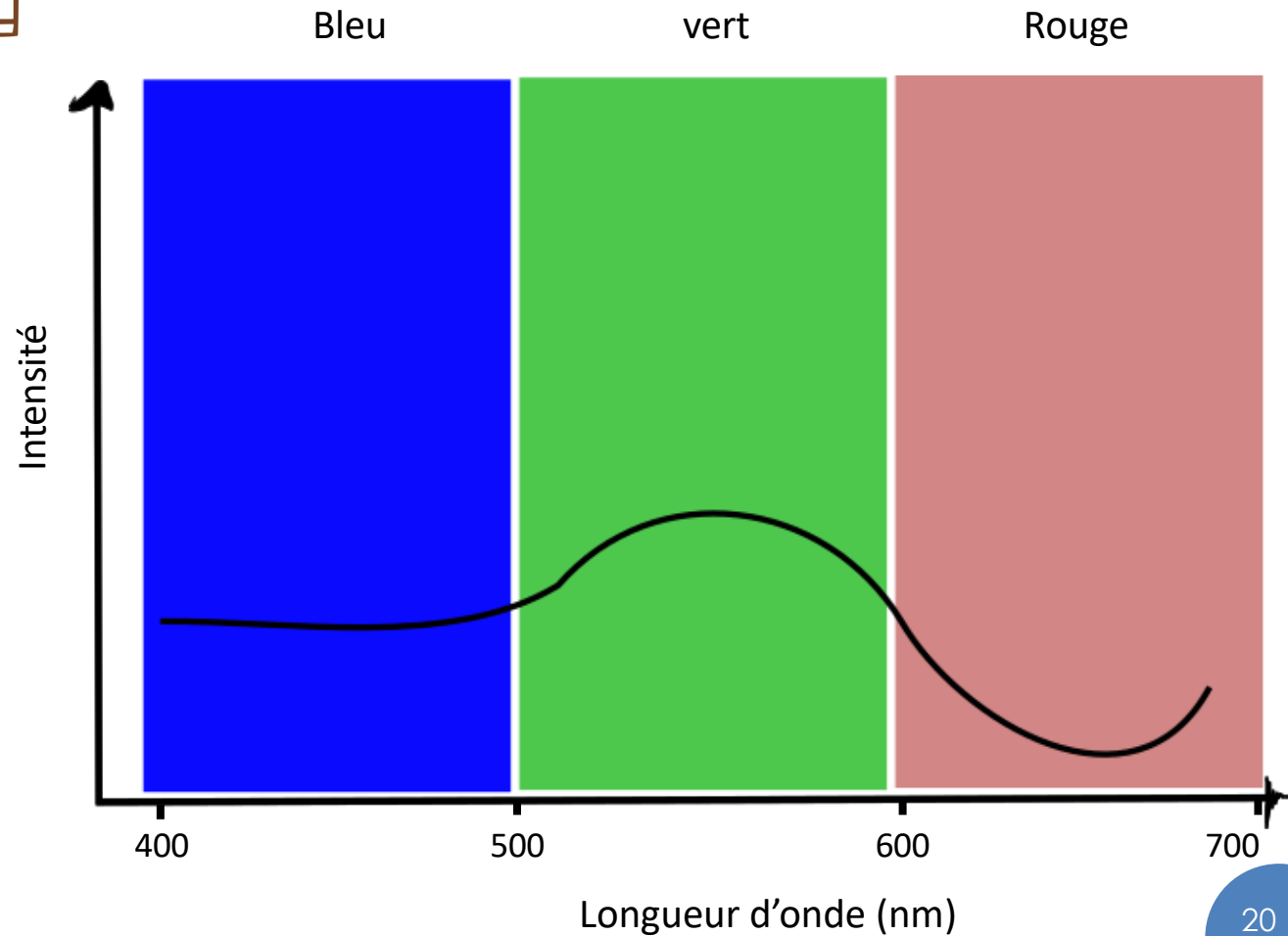
MESURE DU RAYONNEMENT RECU POUR CHAQUE LONGUEUR D'ONDE



# Signature spectrale

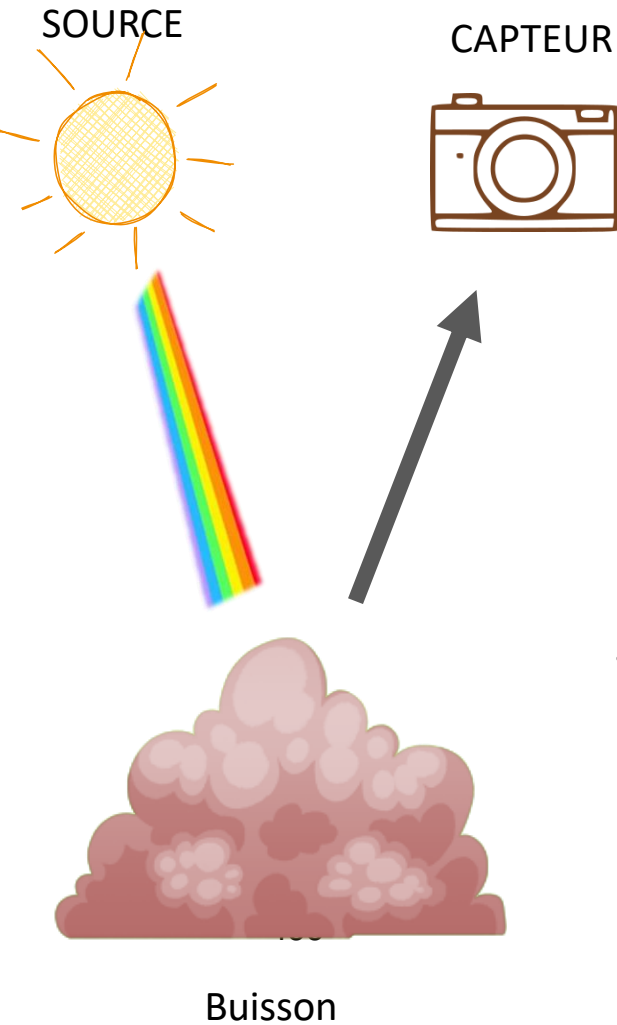


MESURE DU RAYONNEMENT RECU POUR  
CHAQUE LONGUEUR D'ONDE

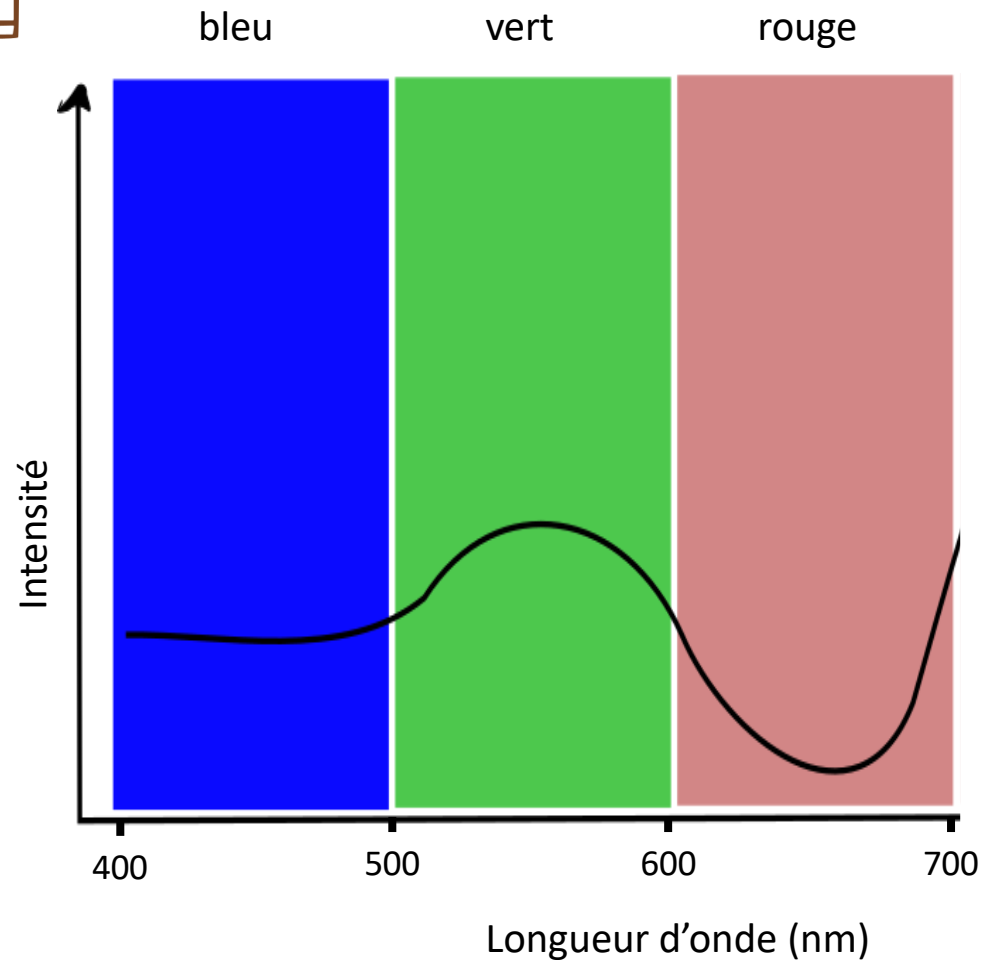




# D'autres couleurs que le visible

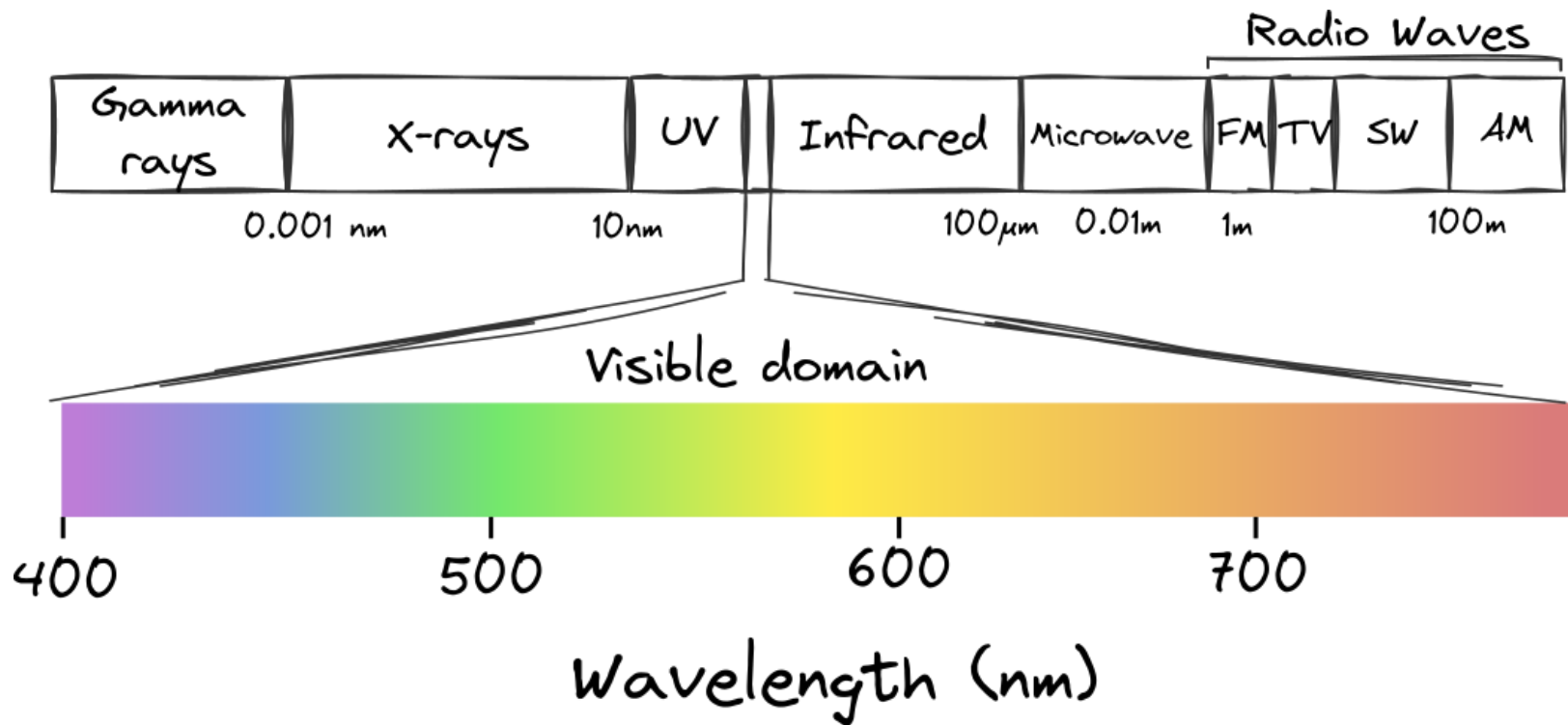


MESURE DU RAYONNEMENT RECU POUR  
CHAQUE LONGUEUR D'ONDE



# Des ondes électromagnétiques

---



# Quelle est la fausse plante ?

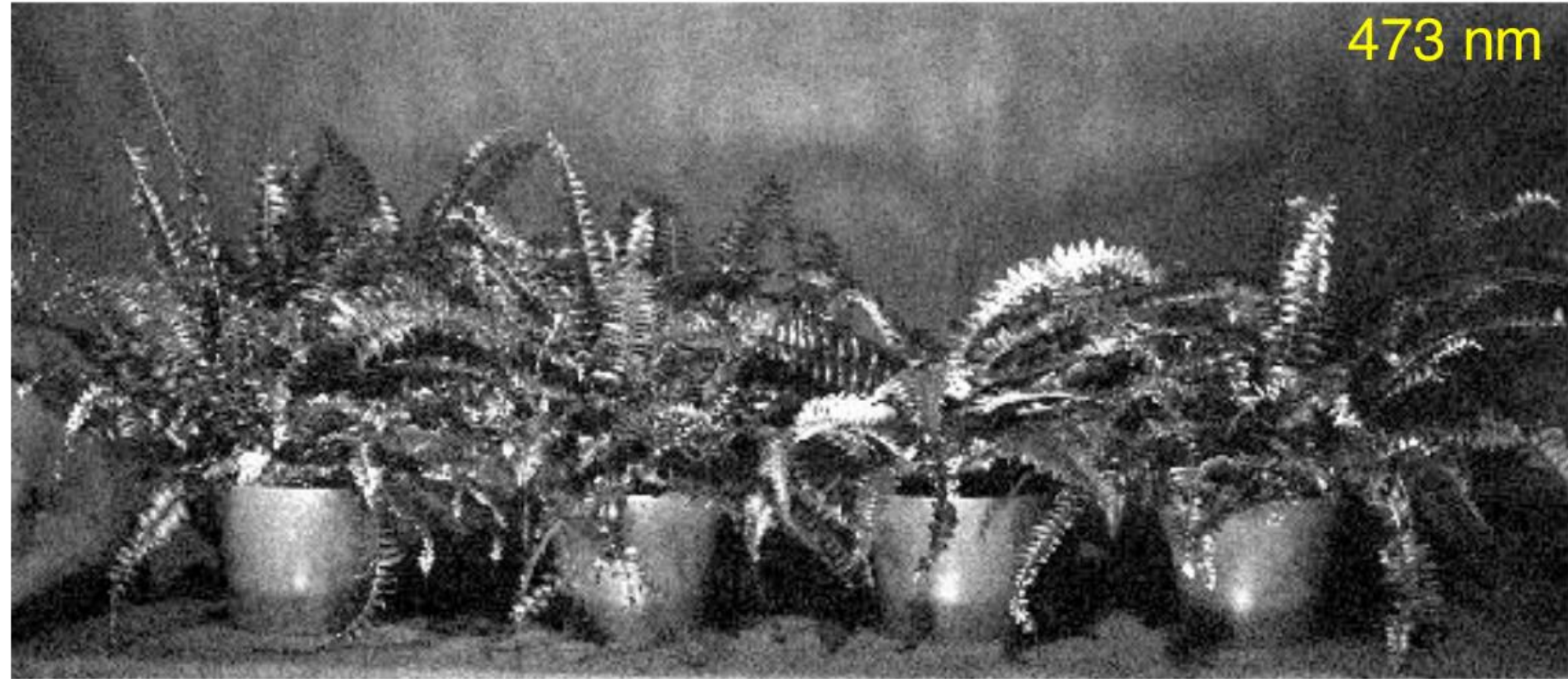
---



# Quelle est la fausse plante ?

---

473 nm



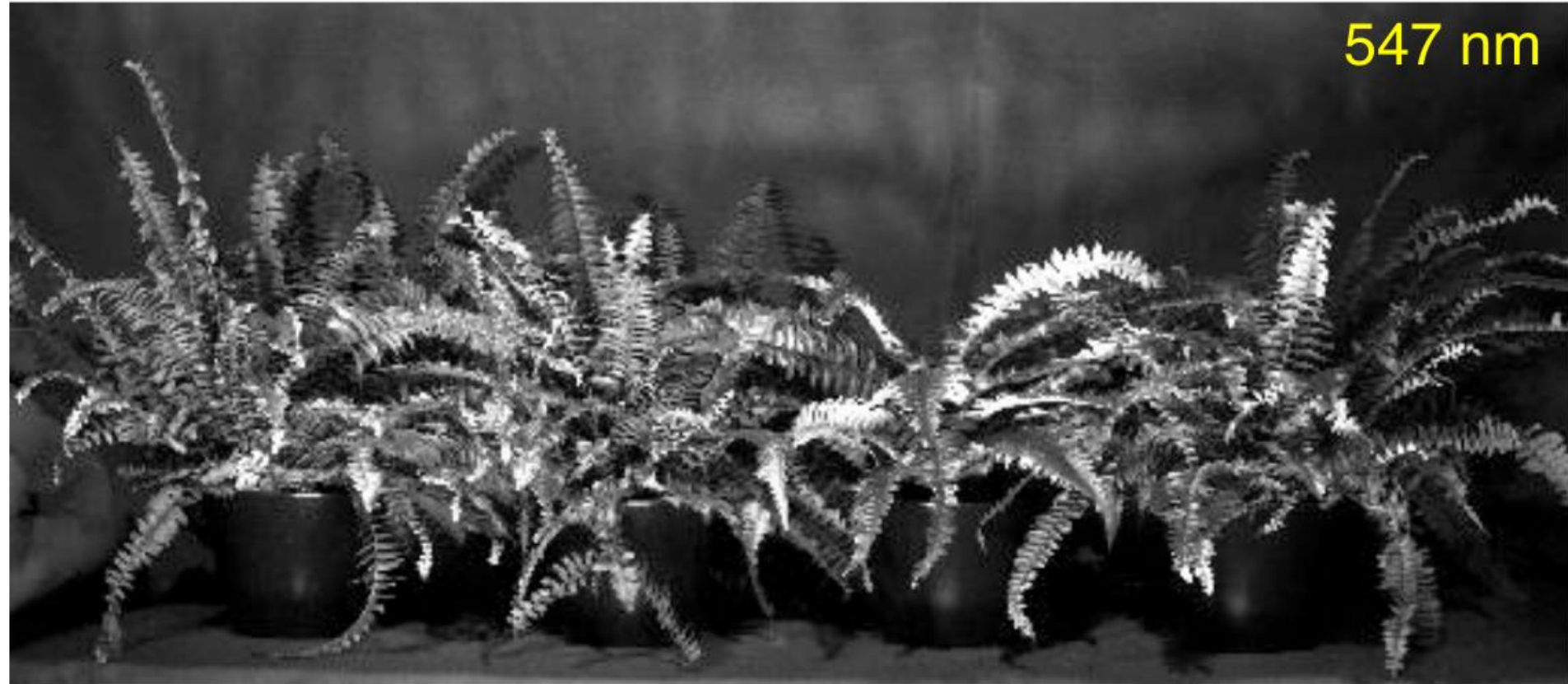
Bande spectrale du bleu



# Quelle est la fausse plante ?

---

547 nm



Bande spectrale du vert



# Quelle est la fausse plante ?

---



Bande spectrale du rouge

# Quelle est la fausse plante ?

---



Bande spectrale de l'infra rouge

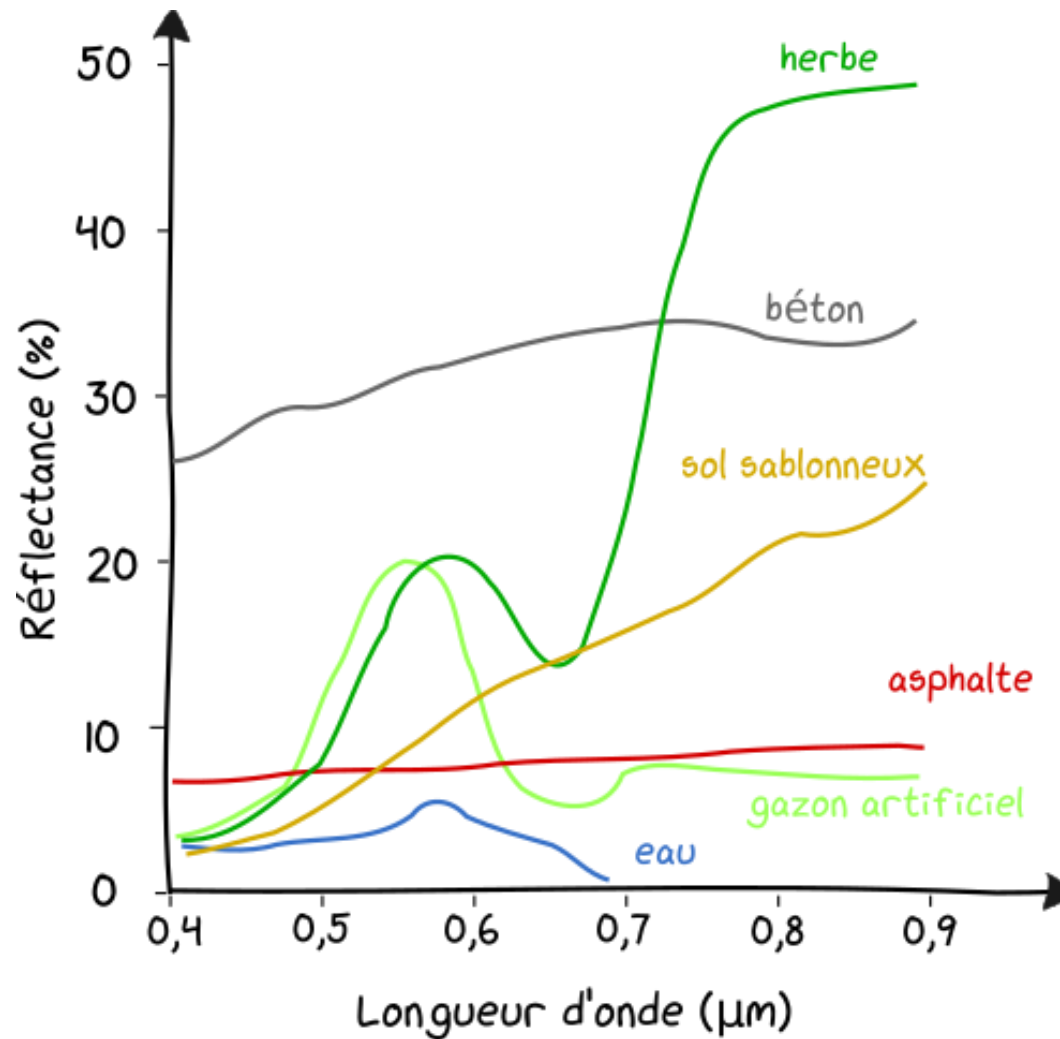


# D'autres couleurs que le visible

---



# Signature spectrale comparée



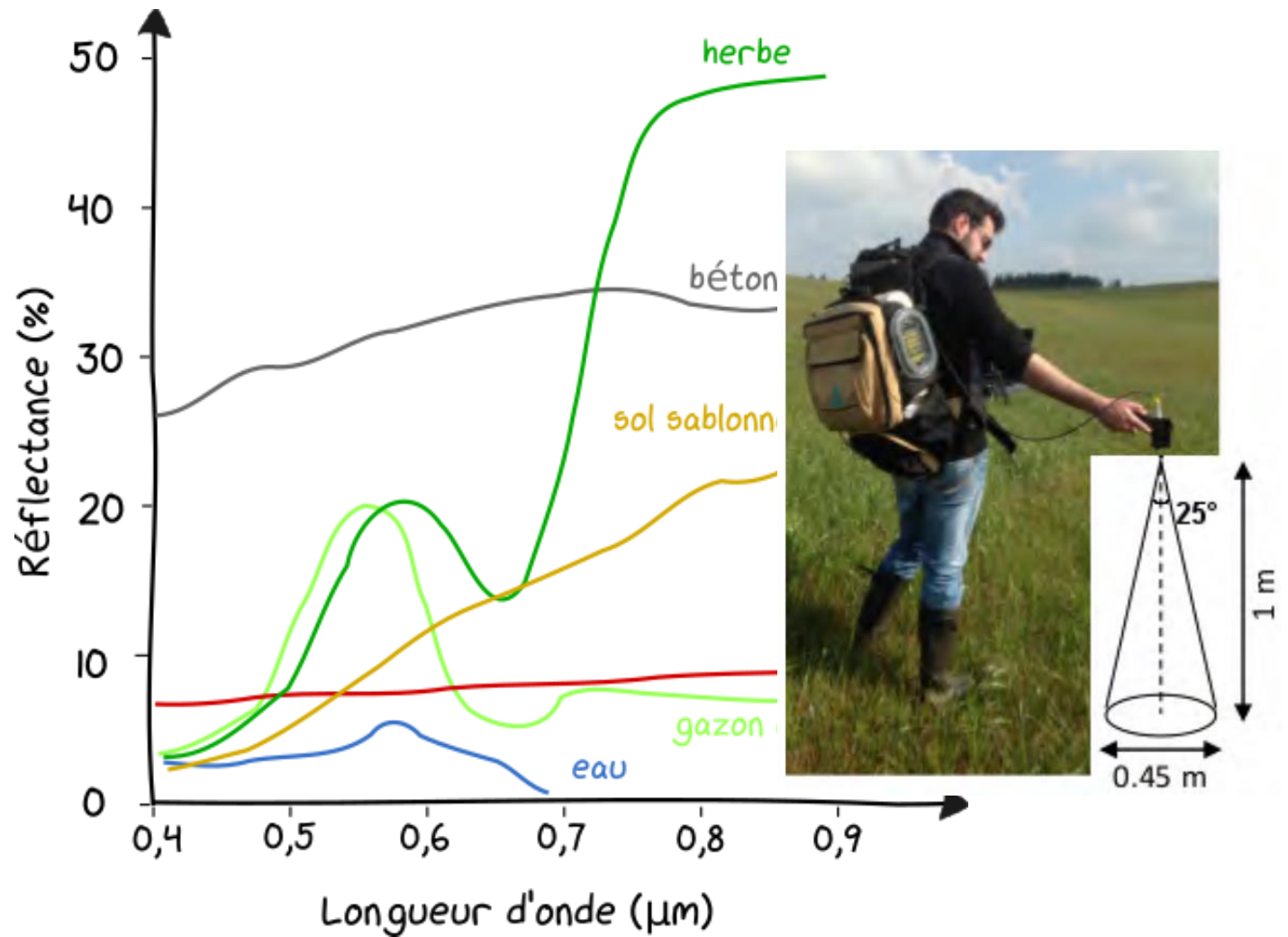


# Déroulé du cours

1. Domaines d'application
2. Rayonnement - interaction avec la matière
  1. Onde électromagnétique et signature spectrale
  2. Interaction avec la matière
  3. Processus d'acquisition
3. Image numérique de télédétection
  1. Qu'est ce qu'une image
  2. Compromis des capteurs
  3. Visualisation des images
4. Traitements numériques
  1. Calcul d'indices
  2. Classification
  3. Post-traitements



# Signature spectrale comparée



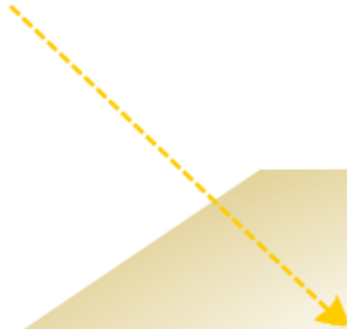
# Grandeurs physiques

---

## ENERGIE OU PUISSANCE

Energie :  $Q$

Energie par unité de temps :  $\Phi$

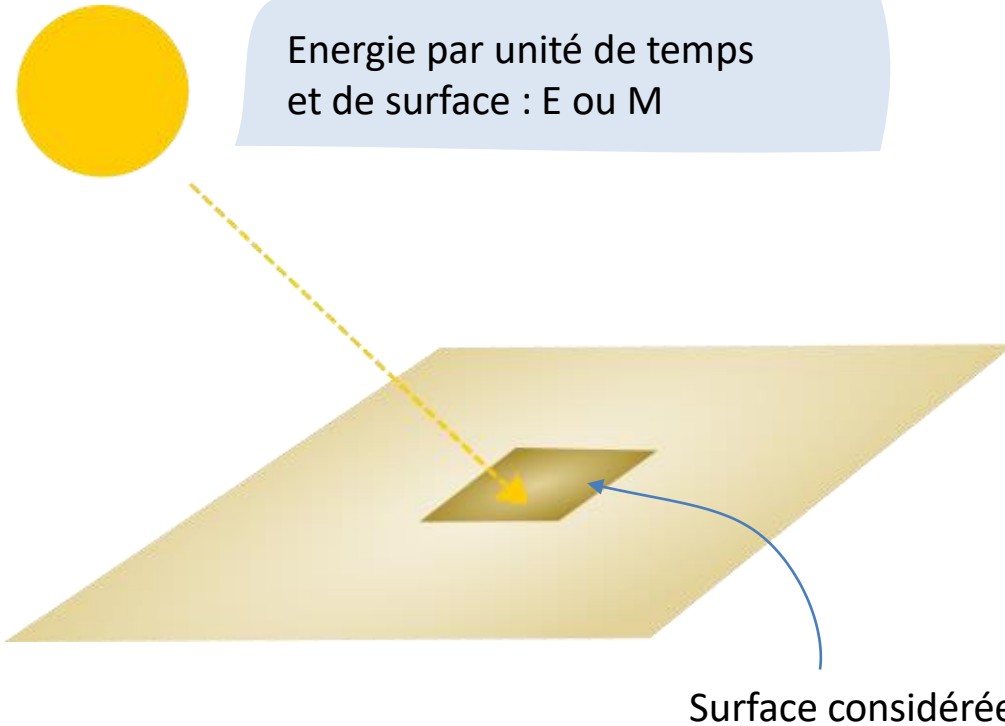


Grandeur	Unité	Symbole
Energie (radiante)	J	$Q$
Puissance (flux)	W	$\Phi$

# Grandeurs physiques

## ECLAIREMENT

Energie par unité de temps  
et de surface : E ou M

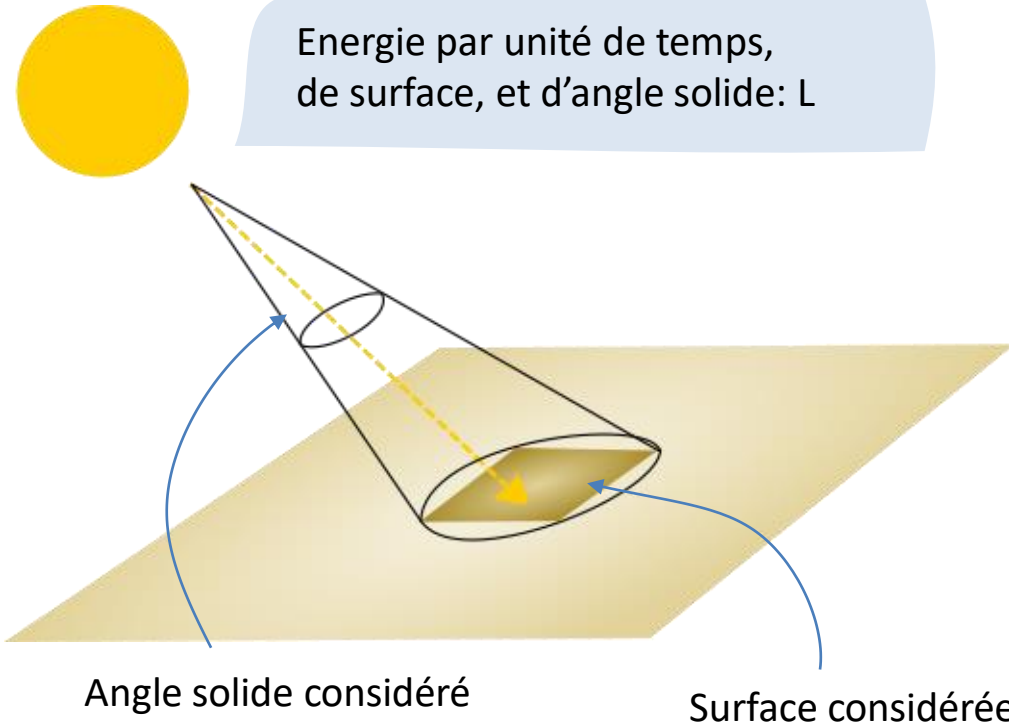


Grandeur	Unité	Symbole
Energie (radiante)	J	Q
Puissance (flux)	W	$\Phi$
Eclairement énergétique	W/m <sup>2</sup>	E
Emittance énergétique	W/m <sup>2</sup>	M

# Grandeurs physiques

## LUMINANCE

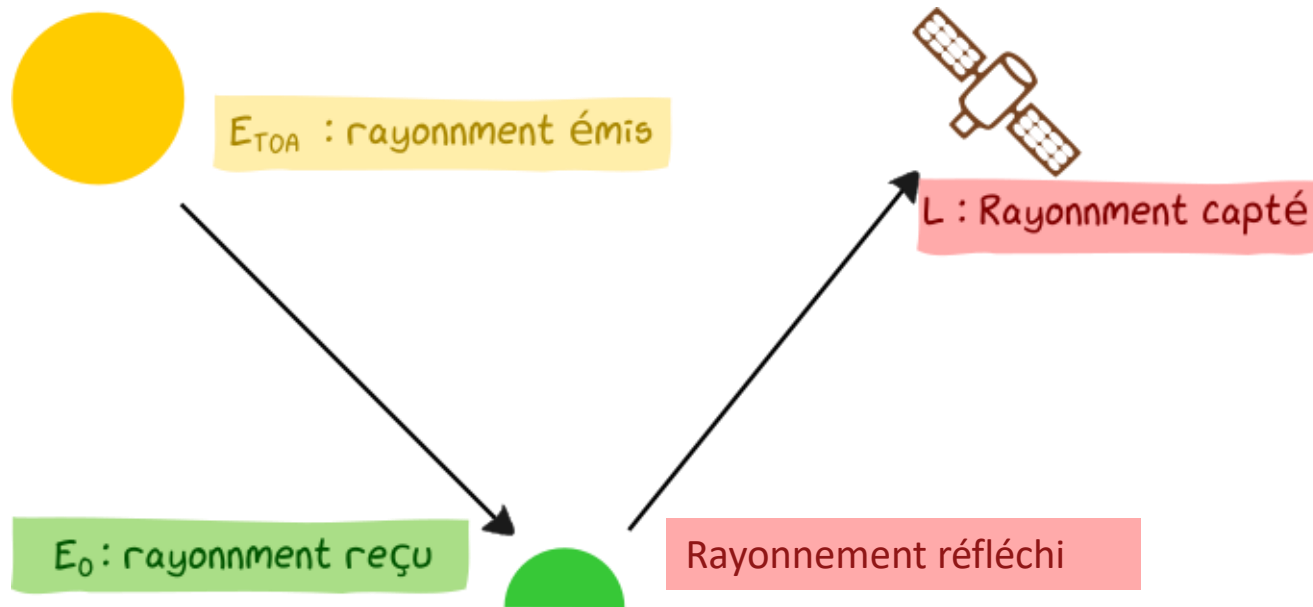
Energie par unité de temps,  
de surface, et d'angle solide: L



Grandeur	Unité	Symbole
Energie (radiante)	J	Q
Puissance (flux)	W	$\Phi$
Eclairement énergétique	W/m <sup>2</sup>	E
Emittance énergétique	W/m <sup>2</sup>	M
Emittance énergétique spectrale	W/m <sup>2</sup> /m	M <sub><math>\lambda</math></sub>
Luminance énergétique	W/sr/m <sup>2</sup>	L
Luminance énergétique spectrale	W/sr/m <sup>2</sup> /m	L <sub><math>\lambda</math></sub>
Intensité énergétique	W/sr	I

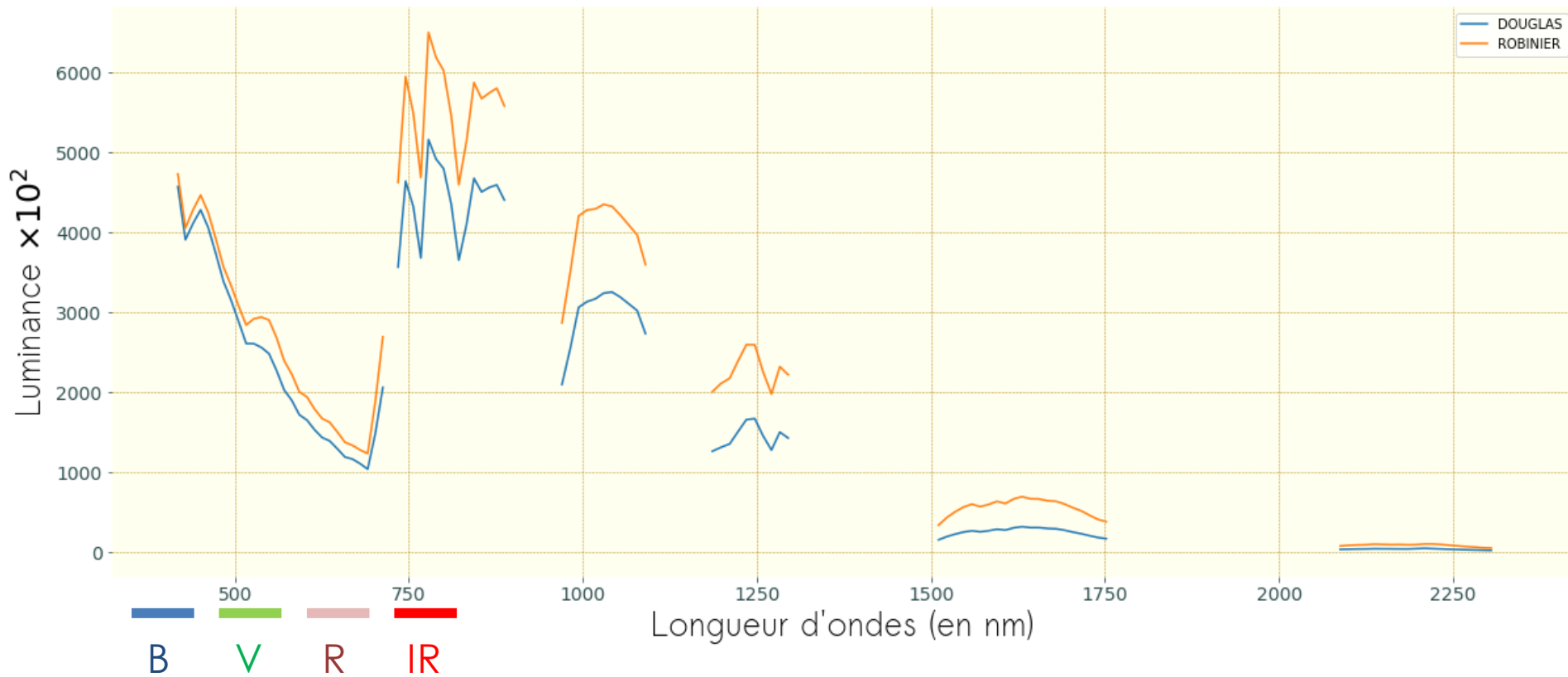
# Processus d'acquisition

---



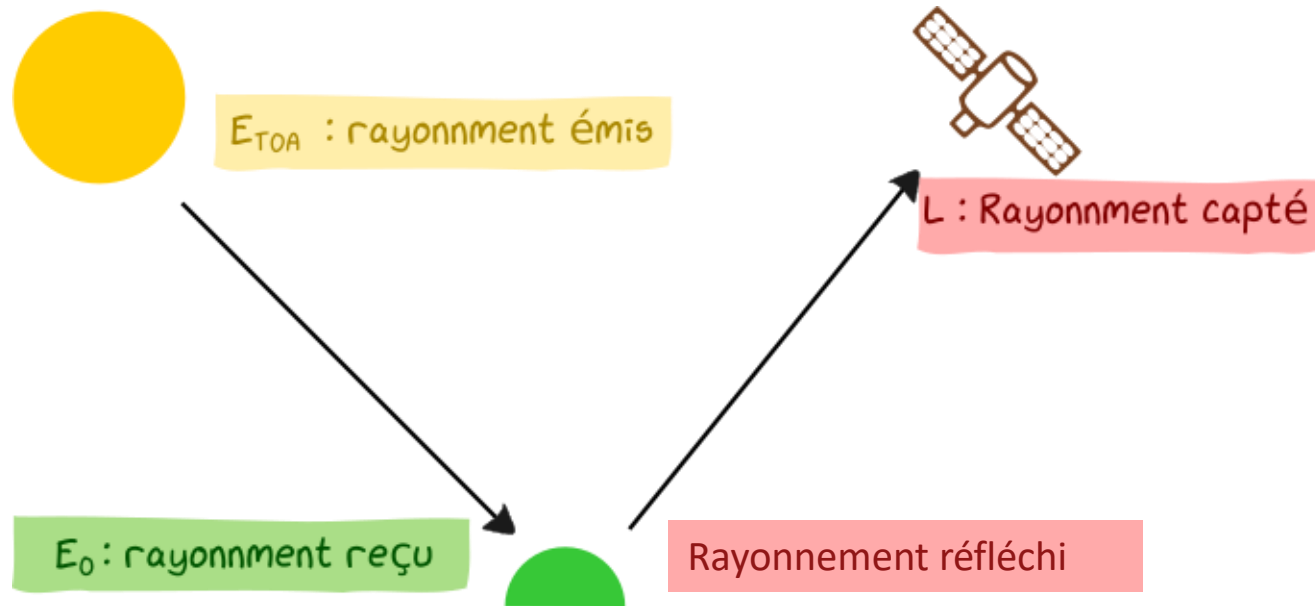


# Exemple de signature spectrale en luminance



# Processus d'acquisition

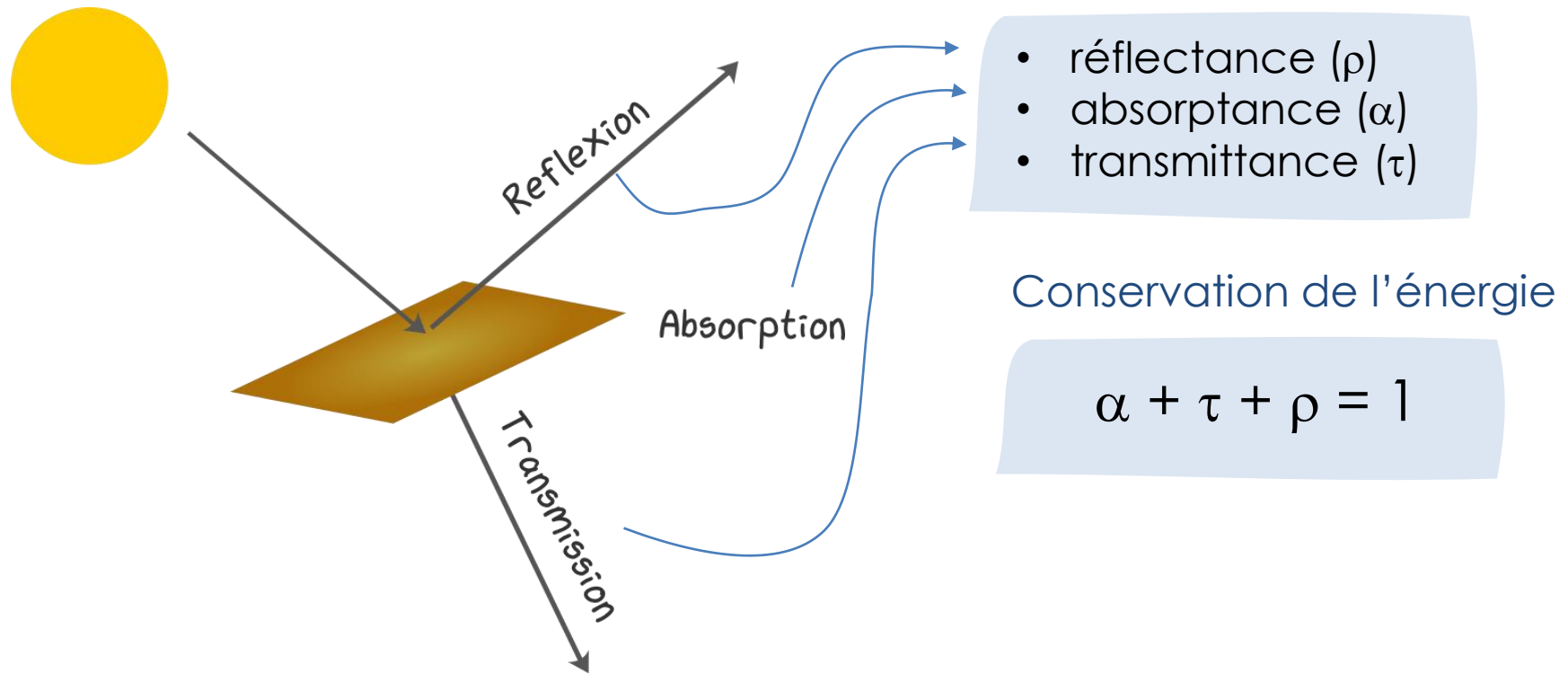
---



**Réflectance** : c'est la mesure de la capacité d'une surface à réfléchir l'énergie incident

$$\rho(\lambda, \text{pos. capteur, pos. soleil}) = \frac{\text{Energie réfléchié}}{\text{Energie reçu}}$$

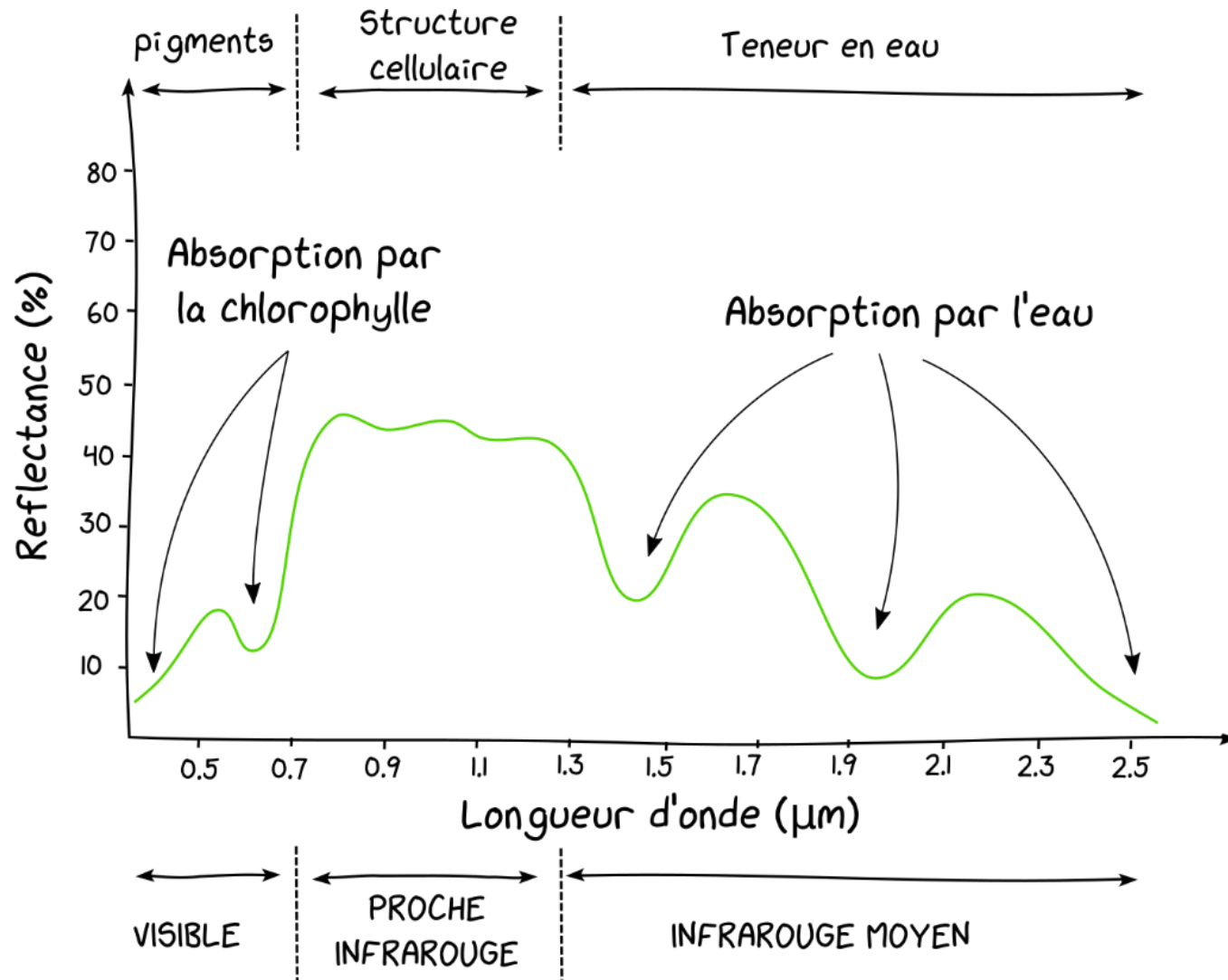
# Interaction rayonnement matière



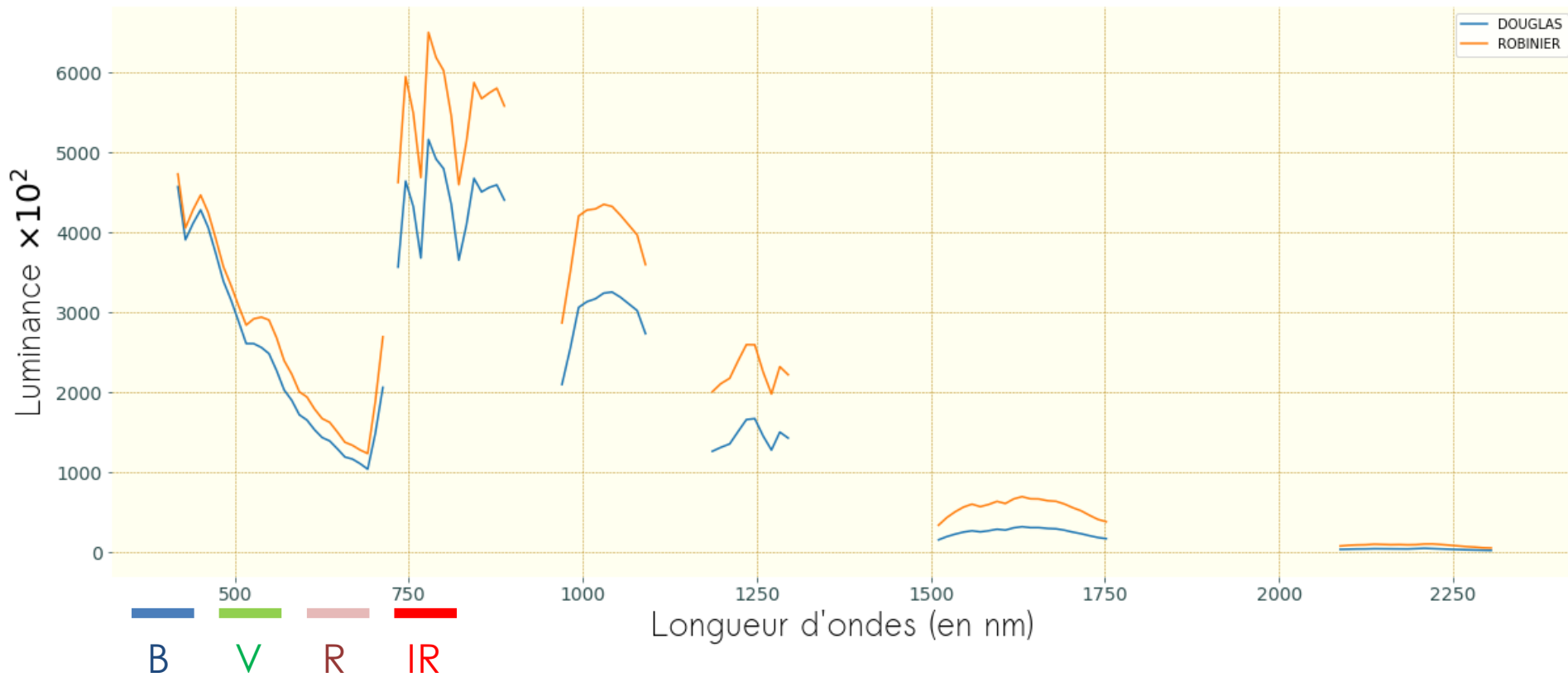
**Réflectance** : c'est la mesure de la capacité d'une surface à réfléchir l'énergie incident

$$\rho(\lambda, \text{pos. capteur, pos. soleil}) = \frac{\text{Energie réfléchie}}{\text{Energie reçu}}$$

# Signature spectrale de la végétation

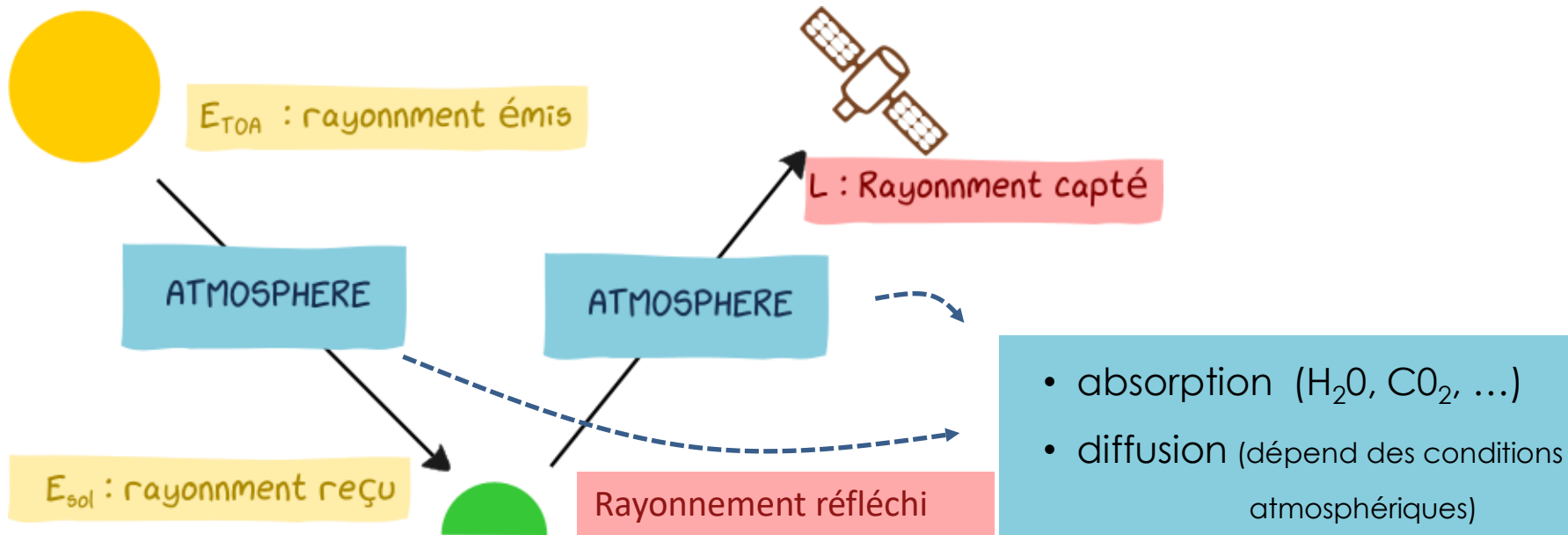


# Exemple de signature spectrale en luminance

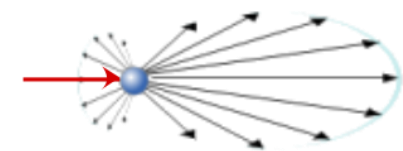
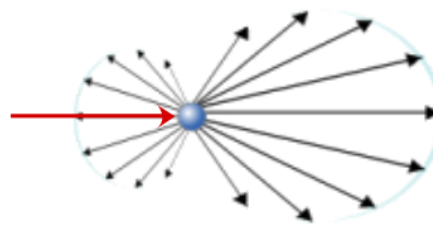
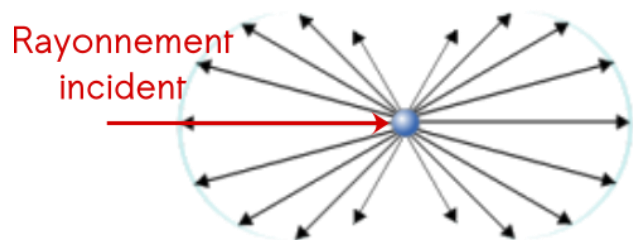




# Processus d'acquisition

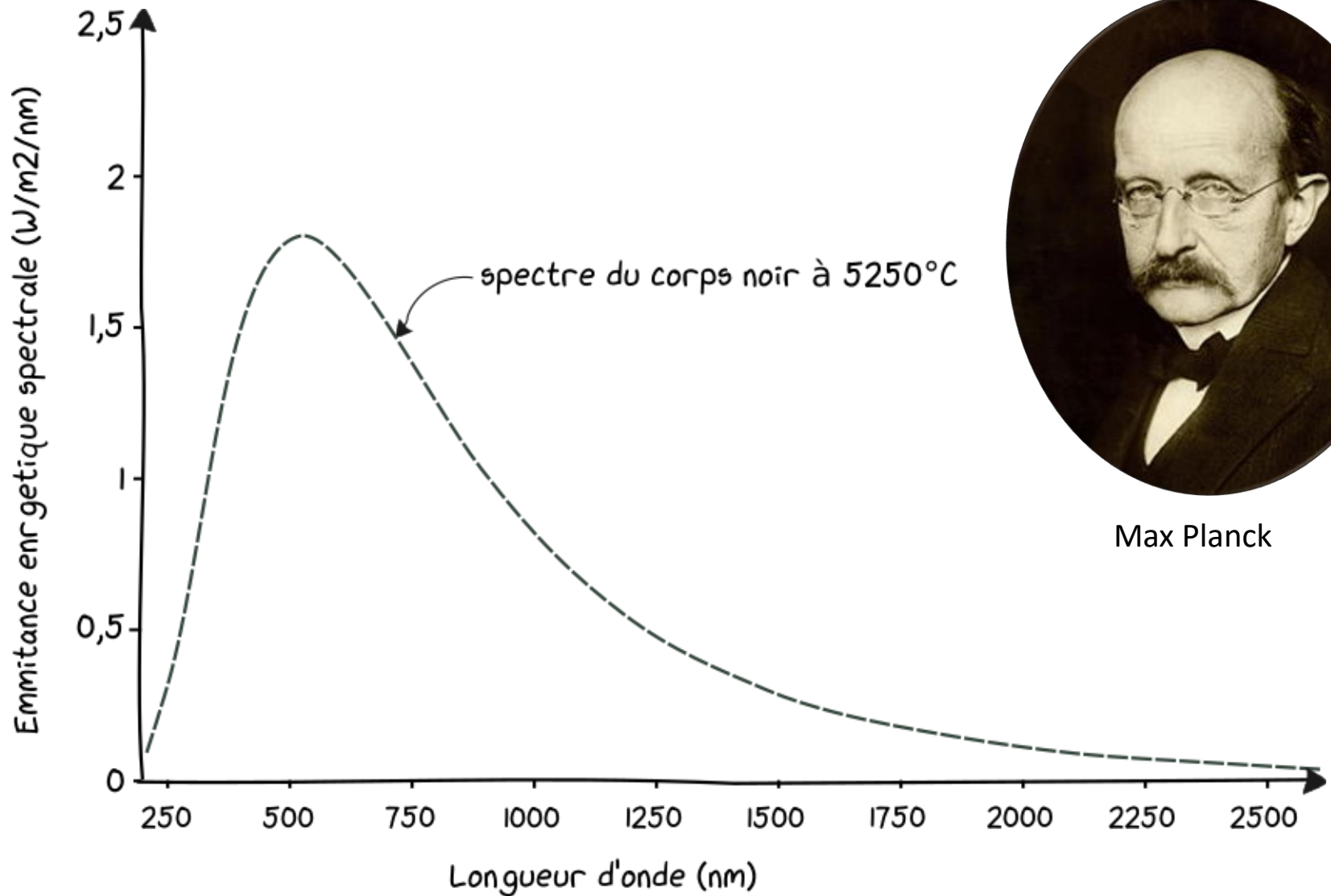


Différents types de diffusion :

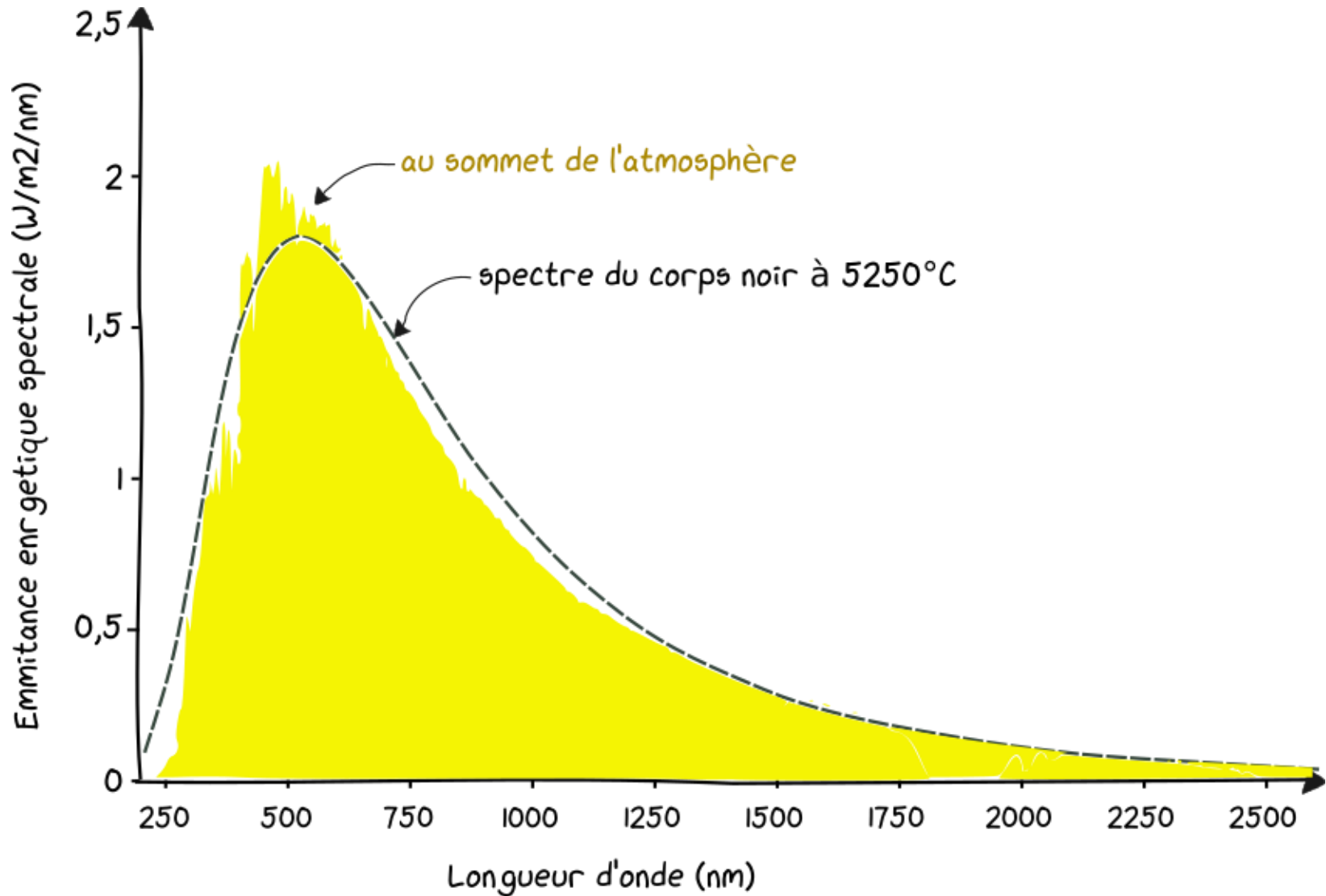


Adapté de (Sharayanan CC-BY-SA)

# Signature rayonnement solaire

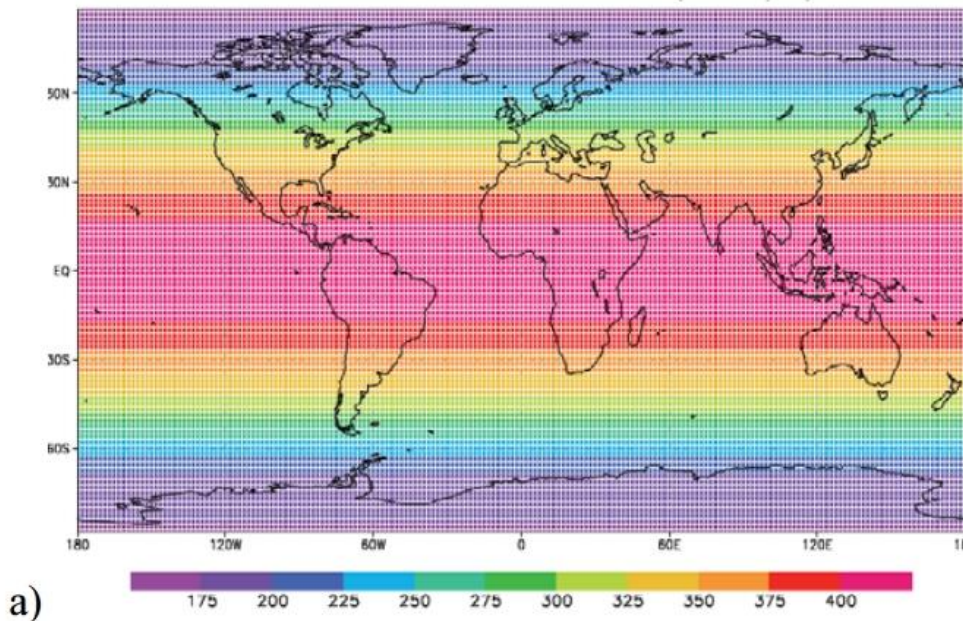


# Signature rayonnement solaire



# Eclairement solaire

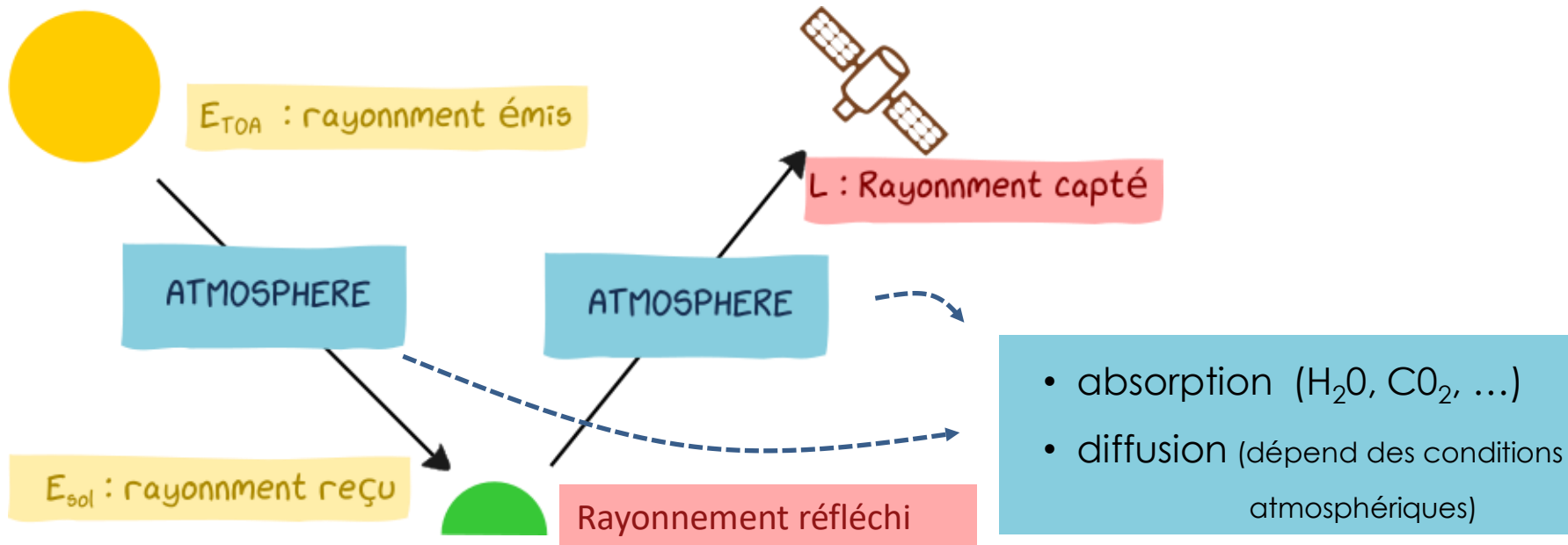
---



*Figure 2: Eclairement solaire moyen ( $W.m^{-2}$ ) sur 1 an. a) TOA. b) BOA.*

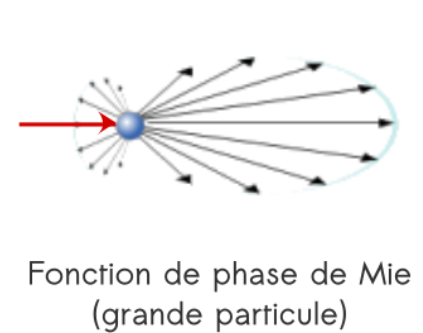
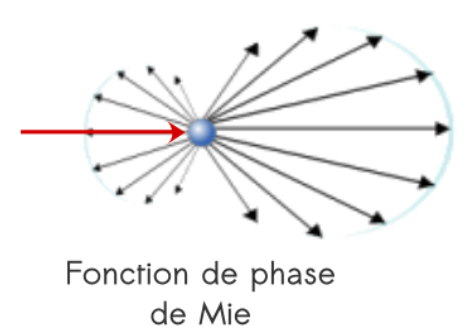
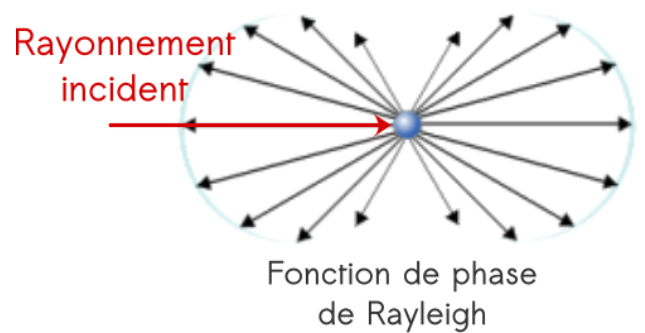
[http://gsite.univ-provence.fr/gsite/Local/geographie/dir/user-232/L2%20-%20GEOC01%20climatologie%20et%20hydrologie/TD\\_N3.pdf](http://gsite.univ-provence.fr/gsite/Local/geographie/dir/user-232/L2%20-%20GEOC01%20climatologie%20et%20hydrologie/TD_N3.pdf)

# Processus d'acquisition



- absorption ( $H_2O, CO_2, \dots$ )
- diffusion (dépend des conditions atmosphériques)

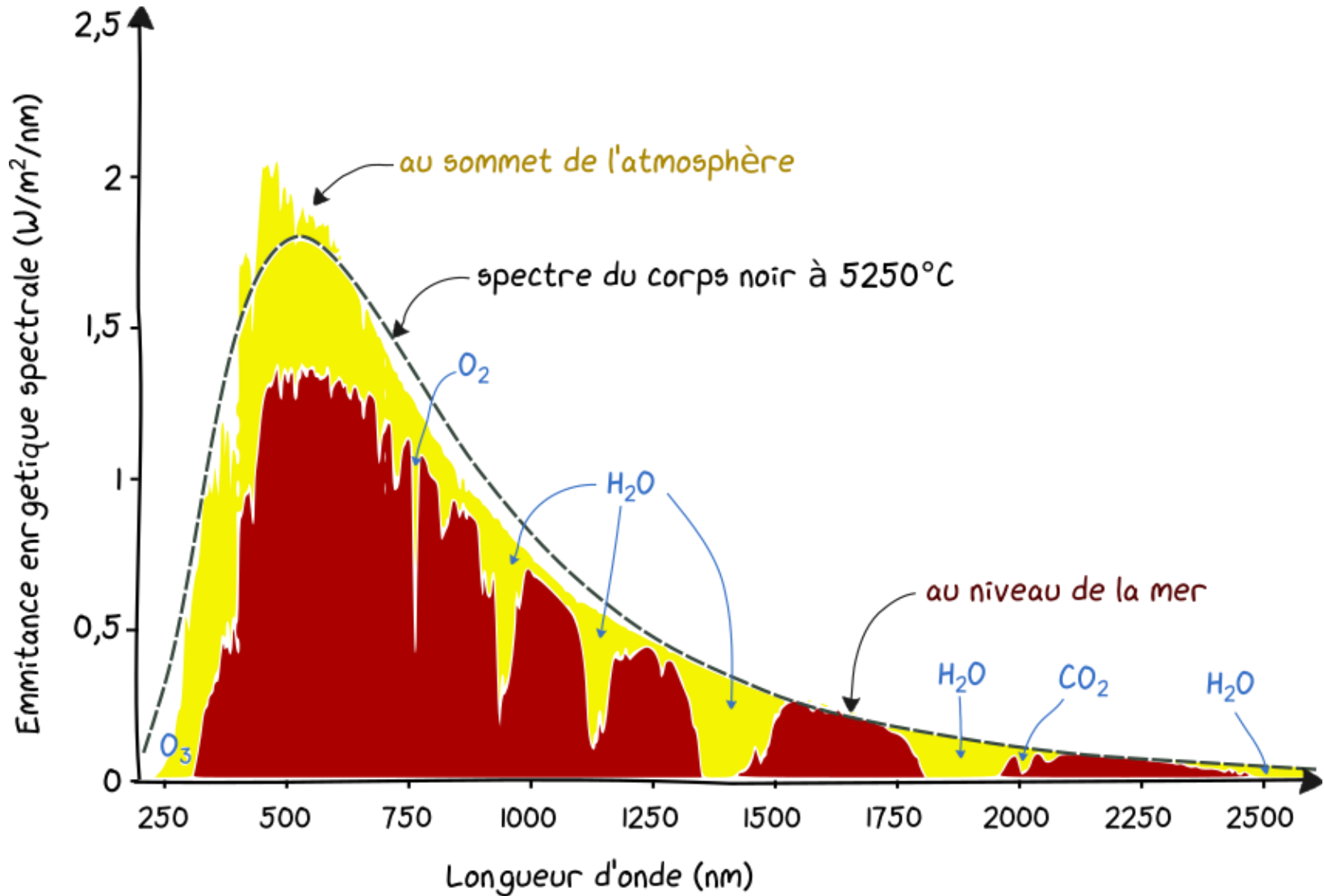
Différents types de diffusion :



Adapté de (Sharayanan CC-BY-SA)



# Signature rayonnement solaire



# Eclairement solaire

---

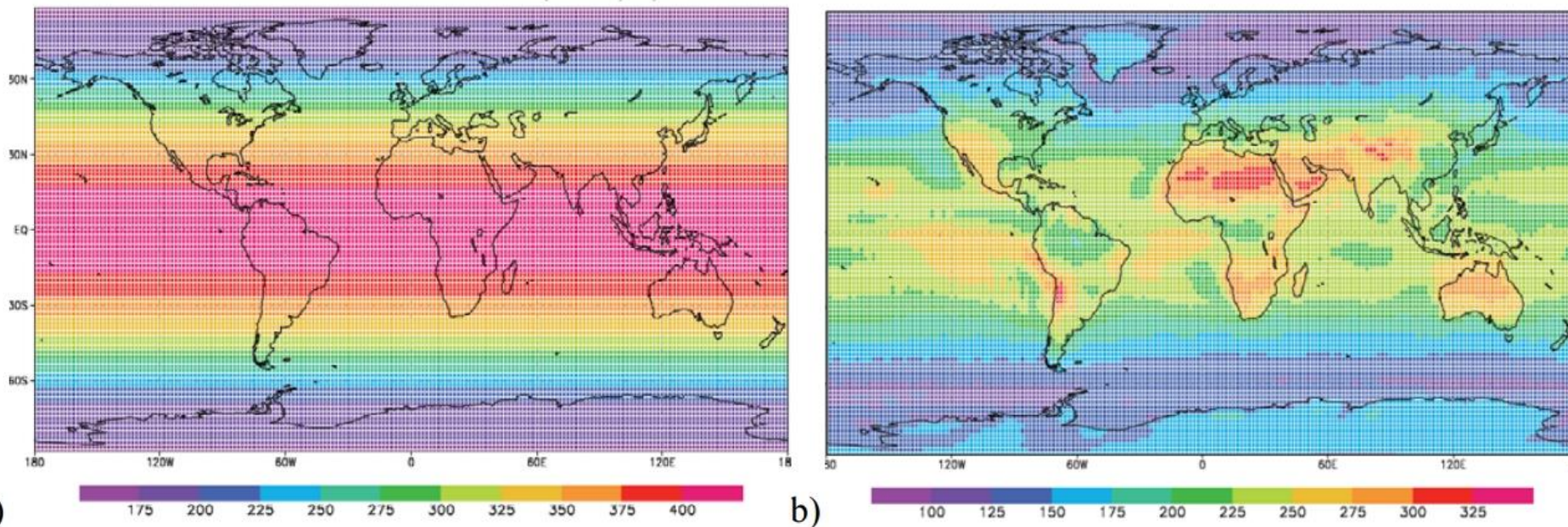
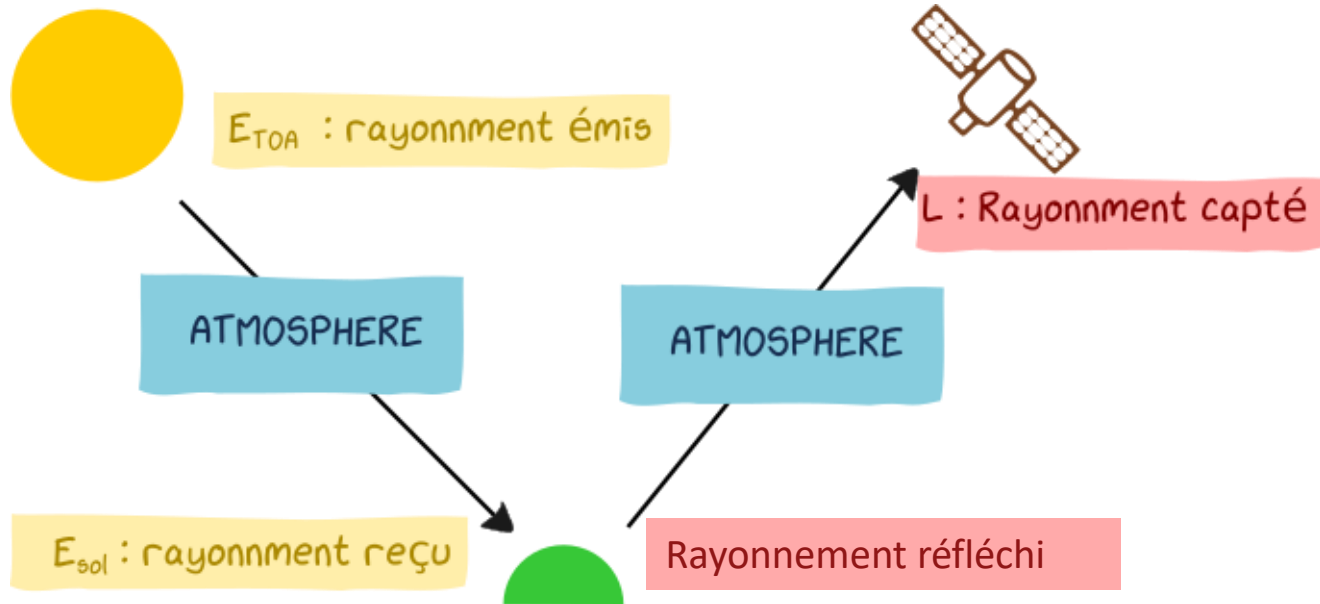


Figure 2: Eclairement solaire moyen ( $W.m^{-2}$ ) sur 1 an. a) TOA. b) BOA.

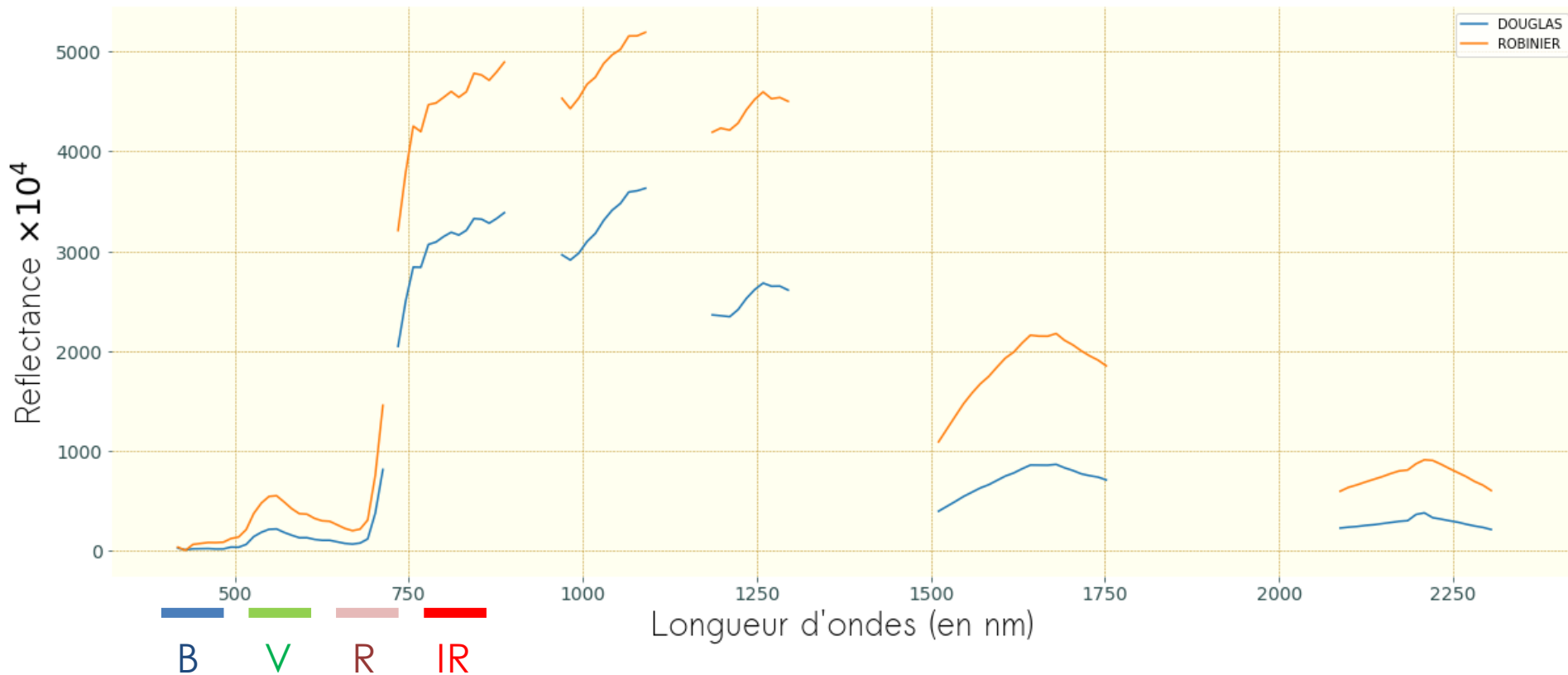
[http://gsite.univ-provence.fr/gsite/Local/geographie/dir/user-232/L2%20-%20GEOC01%20climatologie%20et%20hydrologie/TD\\_N3.pdf](http://gsite.univ-provence.fr/gsite/Local/geographie/dir/user-232/L2%20-%20GEOC01%20climatologie%20et%20hydrologie/TD_N3.pdf)

# Processus d'acquisition

---

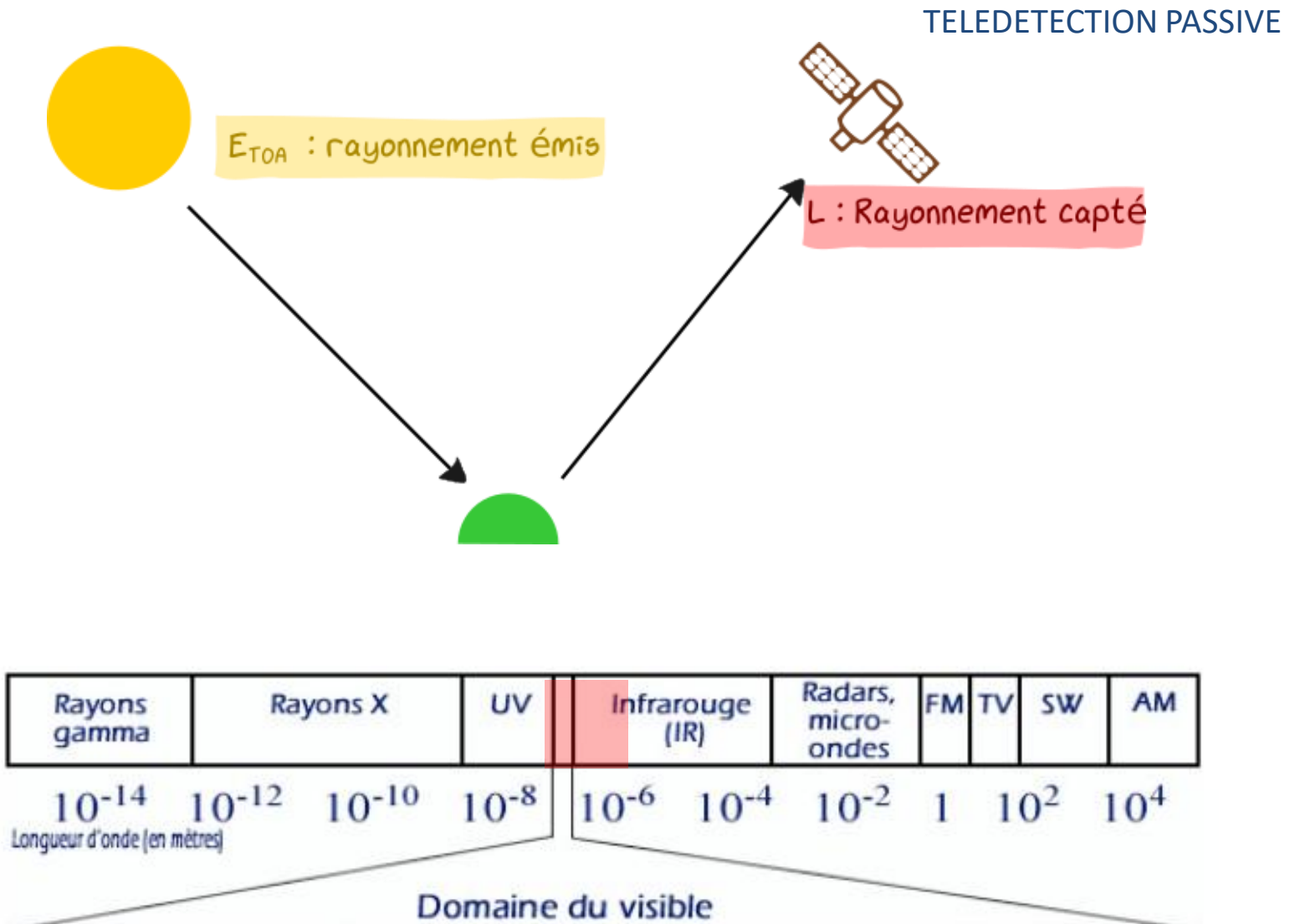


# Exemple de signature spectrale en réflectance



$$\rho(\lambda, \text{pos. capteur, pos. soleil}) = \frac{\text{Energie réfléchiée}}{\text{Energie reçu}}$$

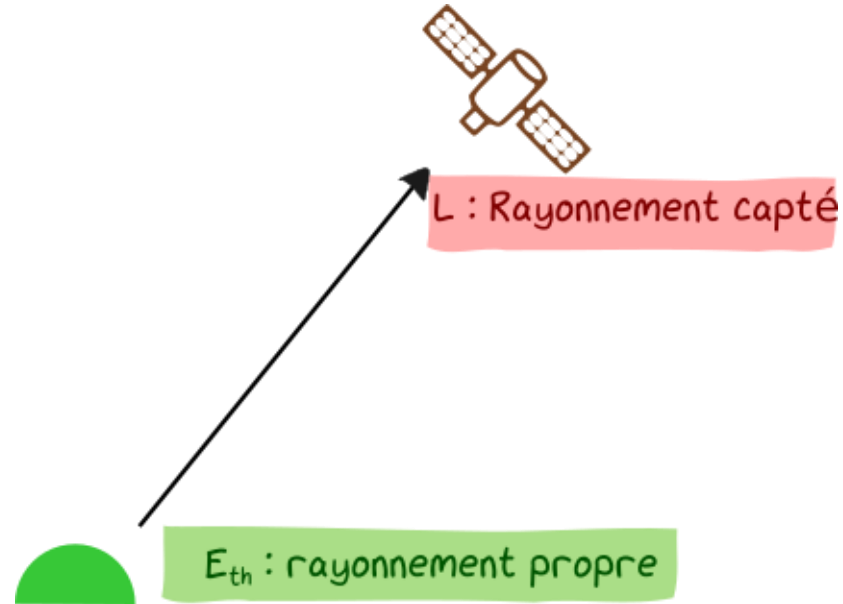
# Processus d'acquisition





# Processus d'acquisition

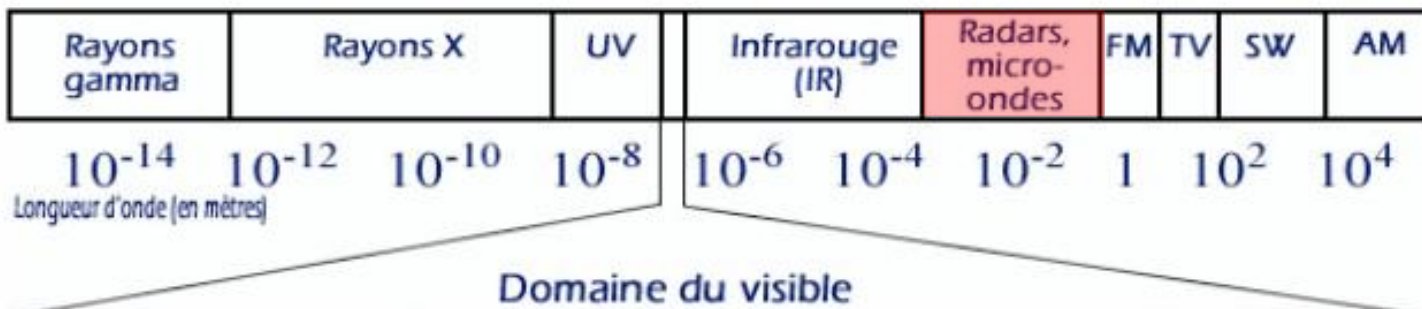
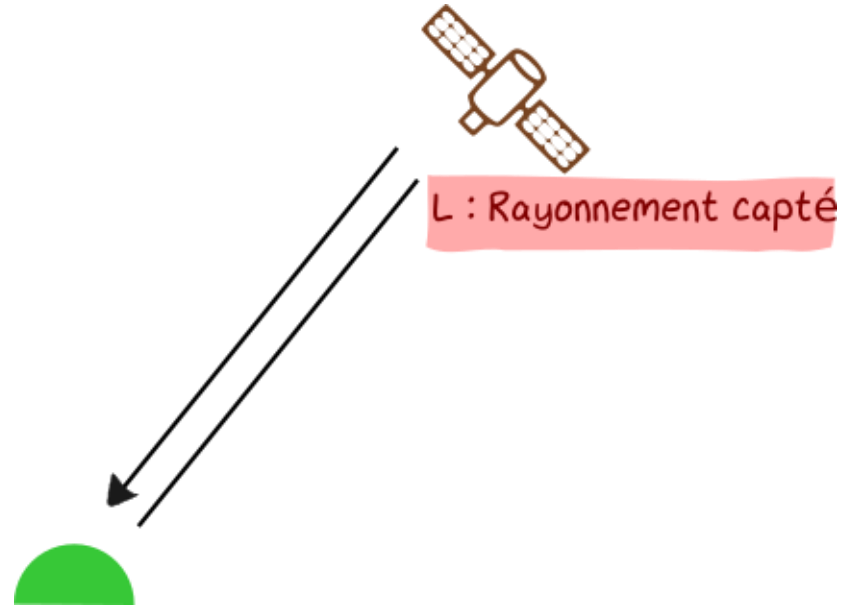
TELEDETECTION PASSIVE



Rayons gamma	Rayons X	UV	Infrarouge (IR)	Radars, micro-ondes	FM	TV	SW	AM	
$10^{-14}$	$10^{-12}$	$10^{-10}$	$10^{-8}$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-2}$	1	$10^2$	$10^4$
Longueur d'onde (en mètres)									
Domaine du visible									

# Processus d'acquisition

TELEDETECTION ACTIVE

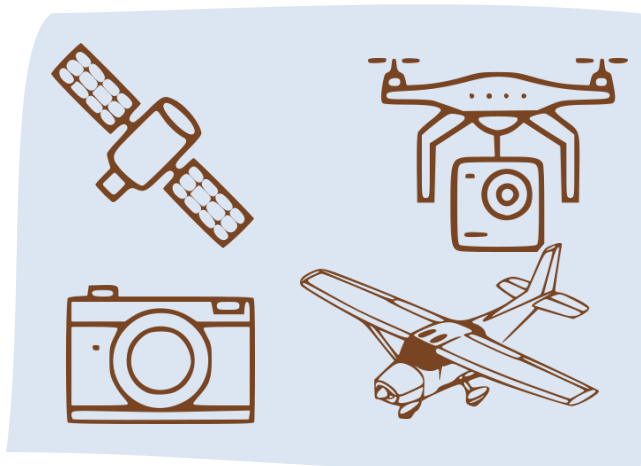




# Déroulé du cours

1. Domaines d'application
2. Rayonnement - interaction avec la matière
  1. Onde électromagnétique et signature spectrale
  2. Interaction avec la matière
  3. Processus d'acquisition
3. Image numérique de télédétection
  1. Qu'est ce qu'une image
  2. Compromis des capteurs
  3. Visualisation des images
4. Traitements numériques
  1. Calcul d'indices
  2. Classification
  3. Post-traitements

# CAPTEUR



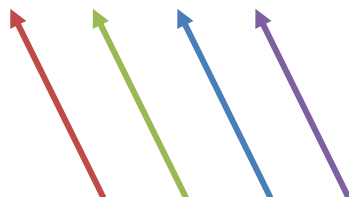
# TRAITEMENTS

## Données

244	172	164	92	0				
208	14	233	213	223	3	175		
153	17	197	69	39	71	173		
73	12	63	30	222	2	106	241	65
238	20	10	138	137	85	197	255	207
193	20	88	189	135	163	94	97	188
203	14	98	255	201	224	204	176	23
125	20	221	226	201	224	204	176	23
35	37	255	160	220	190	4	68	164
22	15	129	165	144	89	242	166	182
204	22	93	112	153	137	67	72	52
110	23	118	146	152	29	176		
		122	164	203	19	148	104	55
		189	115	177	56	128	5	172
				106	214	238	178	76



## Rayonnement



## RESULTATS - ANALYSES

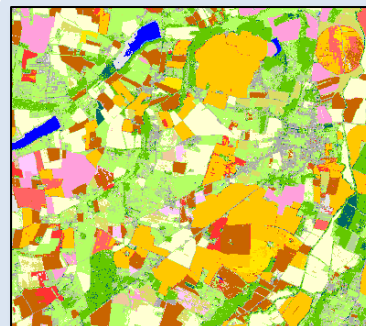
## PROCESSUS – OBJET D’ETUDE



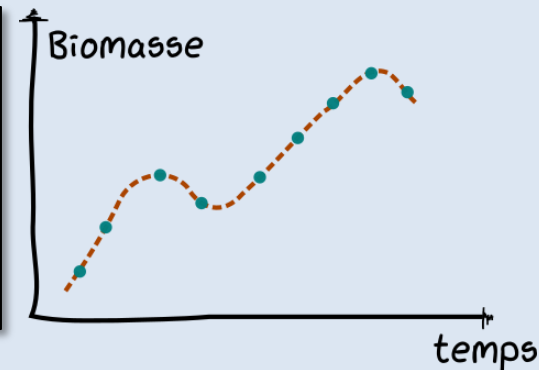
Saisons



Croissance des plantes



Cartes



Mesure variable d'intérêt

# Qu'est qu'une image

---

Une image numérique de télédétection correspond à un échantillonnage spatial, spectral et temporel d'un paysage.

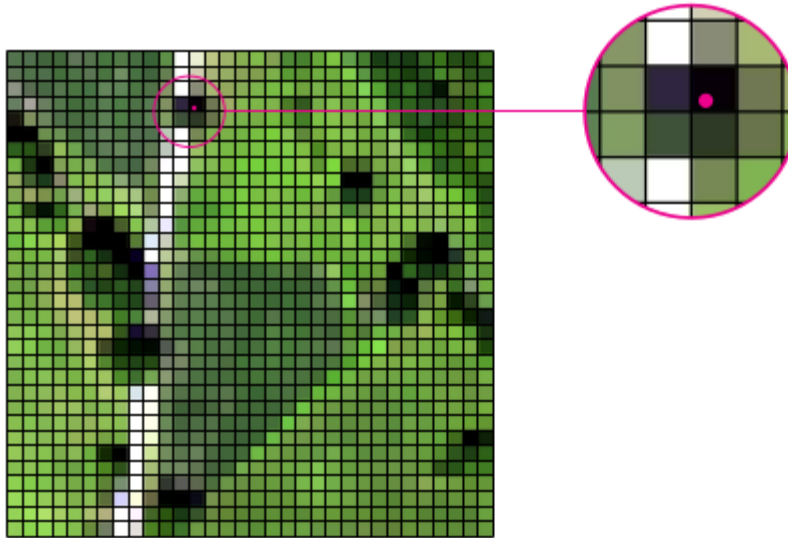




# Qu'est qu'une image

---

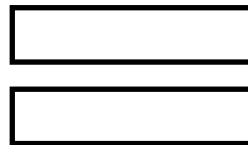
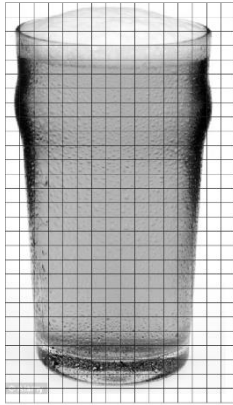
Une image numérique de télédétection correspond à un échantillonnage **spatial**, spectral et temporel d'un paysage.



# Qu'est qu'une image

---

Une matrice dont les éléments sont des pixels (*picture element*) :

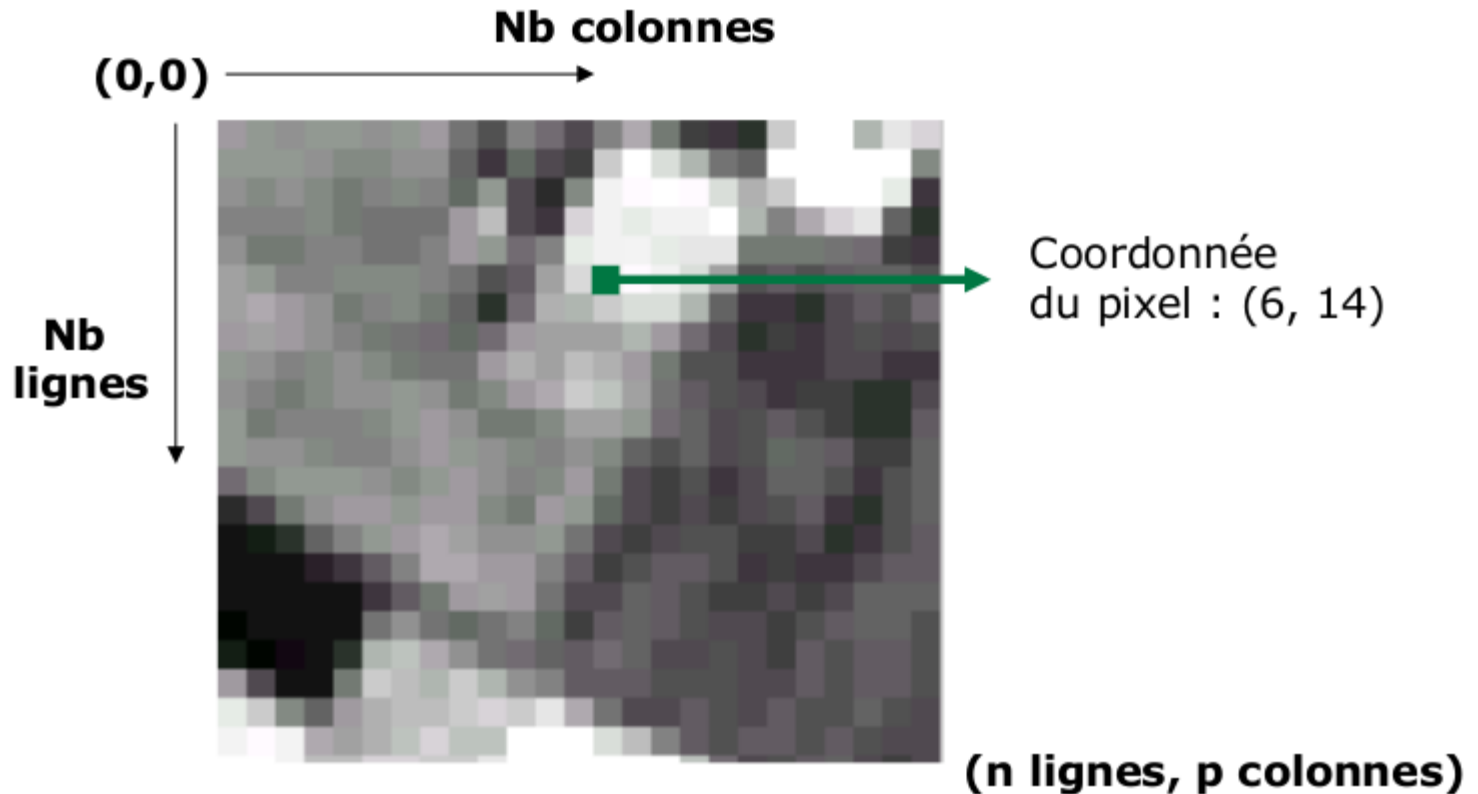


244	172	164	92	0
208	14	90	188	140
153	171	165	148	176
73	126	223	105	117
238	202	67	6	50
193	209	255	39	157
203	141	121	146	94
125	204	51	55	113
35	37	134	206	138
22	155	231	186	238
204	220	111	136	231
110	234	18	105	210

# Qu'est qu'une image

---

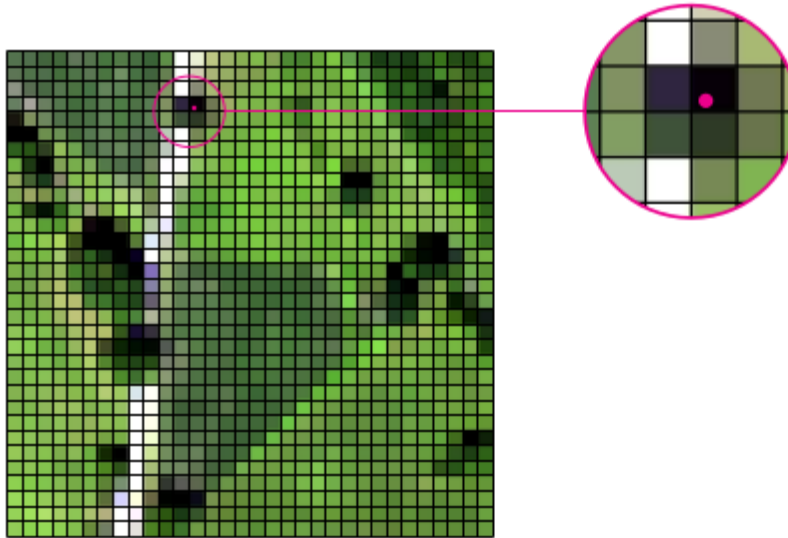
- Origine de l'image : pixel supérieur gauche
- Taille du pixel : liée à la résolution du capteur



# Qu'est qu'une image

---

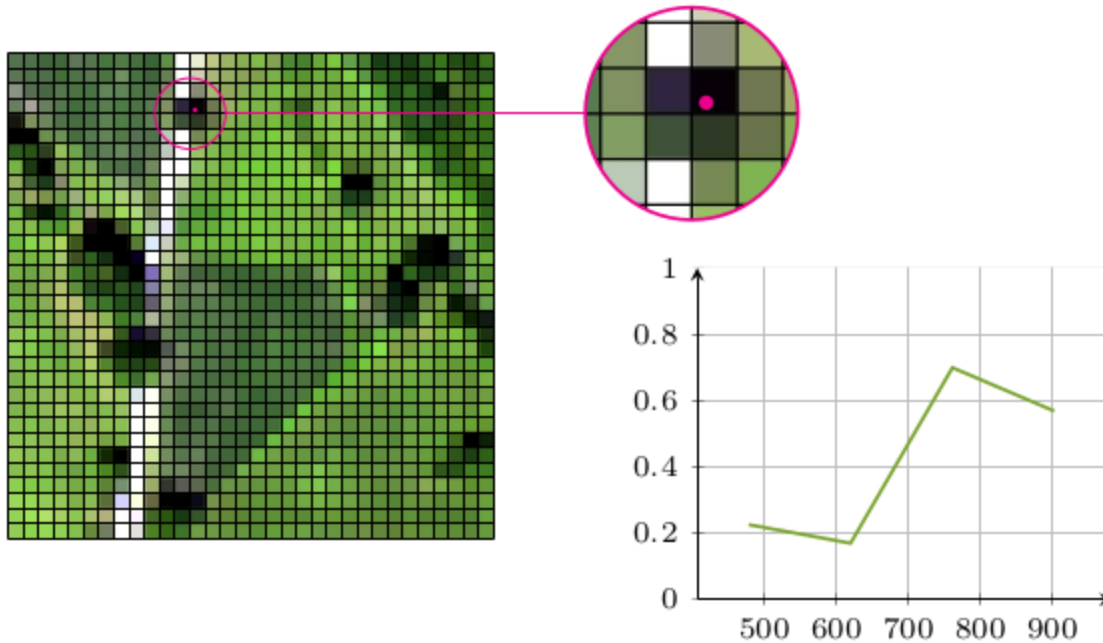
Une image numérique de télédétection correspond à un échantillonnage **spatial**, spectral et temporel d'un paysage.



# Qu'est qu'une image

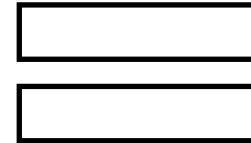
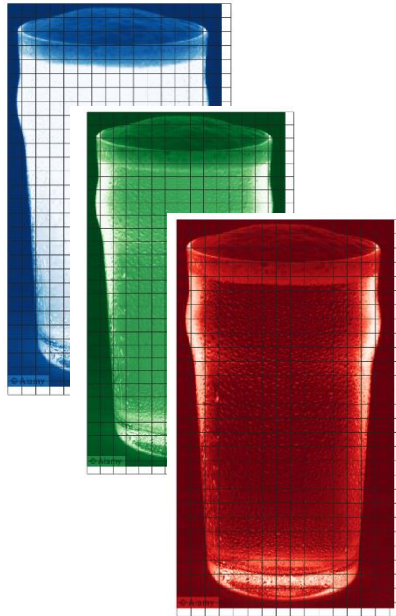
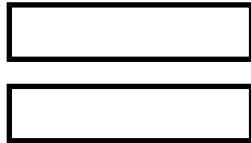
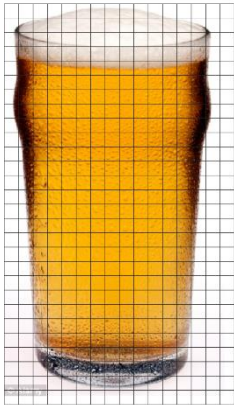
---

Une image numérique de télédétection correspond à un échantillonnage **spatial**, **spectral** et temporel d'un paysage.





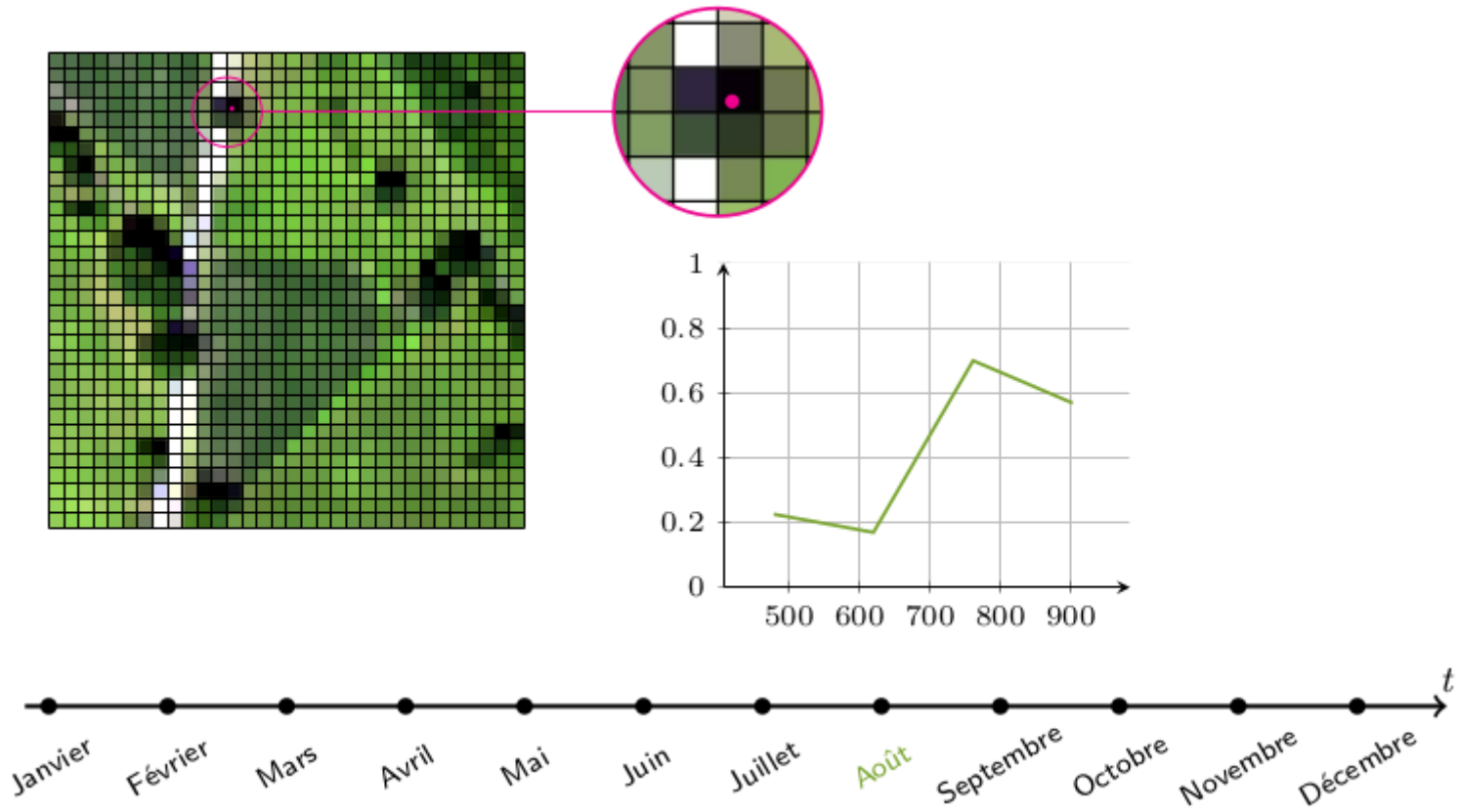
# Qu'est qu'une image



244	172	164	92	0		
208	14	90	188	140		
153	171	165	148	176		
73	126	223	105	117		
238	202	67	6	50		
193	209	255	39	157		
203	141	121	146	94		
125	20	233	213	223	3	175
35	3	197	69	97	12	133
22	15	63	30	180	254	118
204	22	10	138	186	111	52
110	25	88	189	23	149	183
98	255	200	100	77		
221	226	39	71	183	160	57
255	160	222	2	106	241	65
129	165	137	85	197	255	207
93	112	135	163	94	97	188
122	162	201	224	204	176	23
189	115	220	190	4	68	164
144	89	242	166	182		
153	137	67	72	52		
118	146	152	29	176		
203	19	148	104	55		
177	56	128	5	172		
106	214	238	178	76		

# Qu'est qu'une image

Une image numérique de télédétection correspond à un échantillonnage **spatial**, **spectral** et **temporel** d'un paysage.

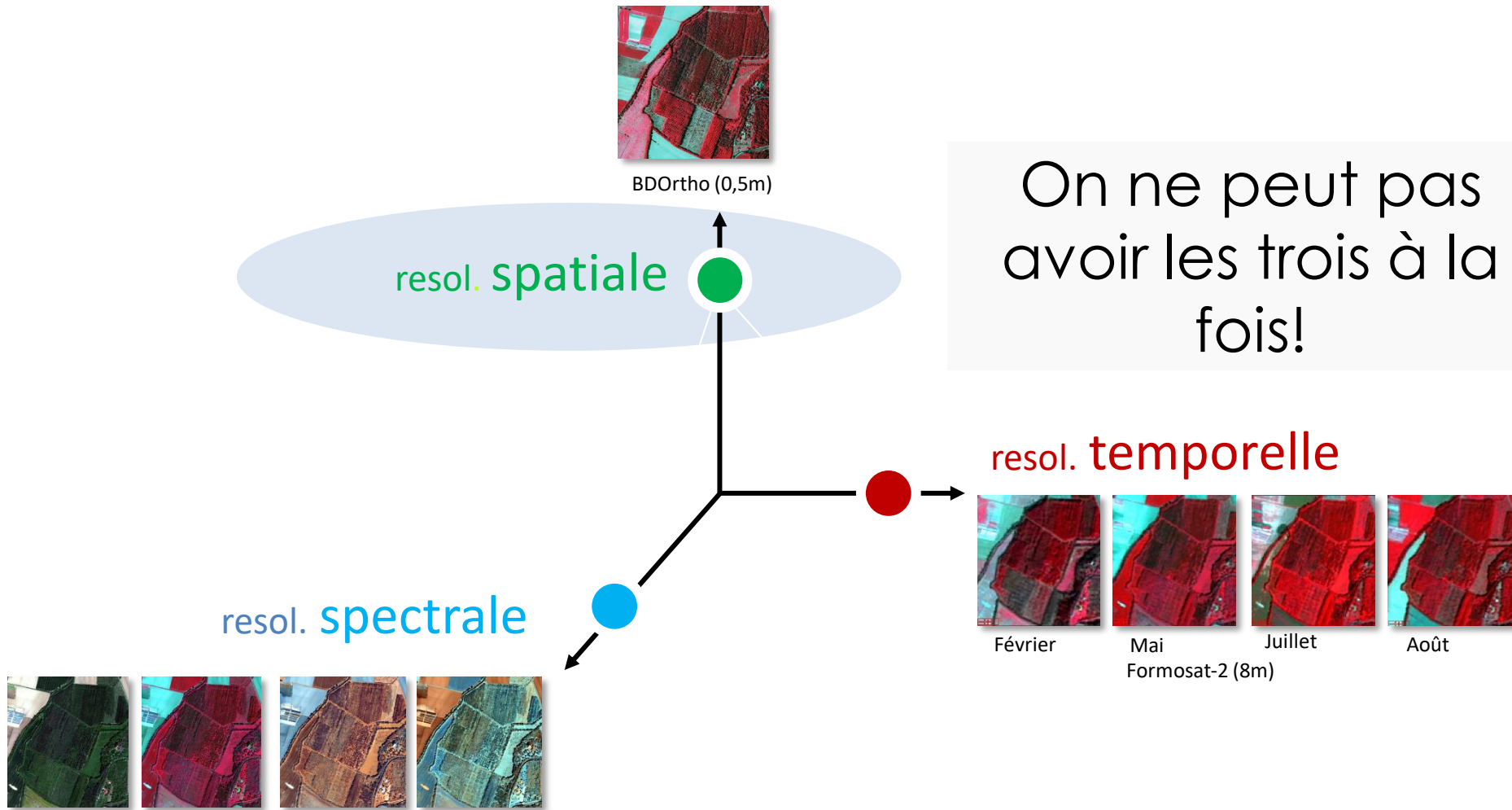




# Déroulé du cours

1. Domaines d'application
2. Rayonnement - interaction avec la matière
  1. Onde électromagnétique et signature spectrale
  2. Interaction avec la matière
  3. Processus d'acquisition
3. Image numérique de télédétection
  1. Qu'est ce qu'une image
  2. **Compromis des capteurs**
  3. Visualisation des images
4. Traitements numériques
  1. Calcul d'indices
  2. Classification
  3. Post-traitements

# Compromis des capteurs



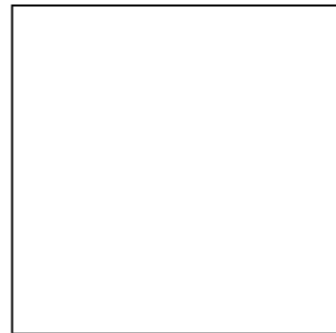
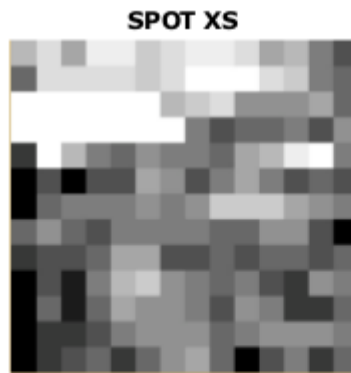
# La résolution spatiale – ce qu'on peut distinguer dans une image



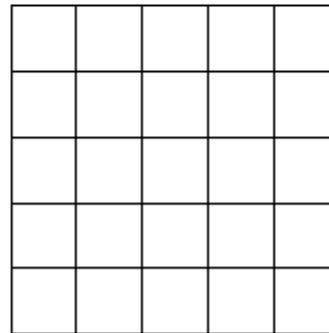
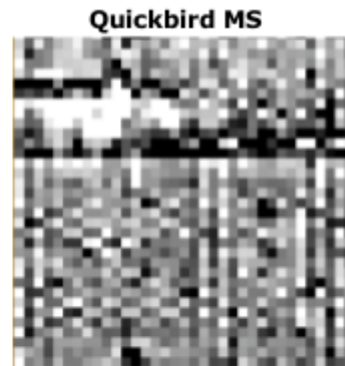
# Résolution spatiale

---

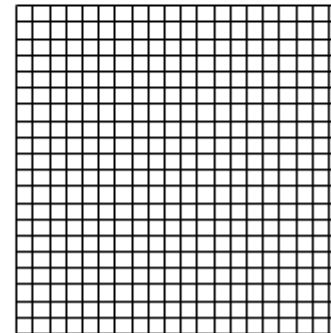
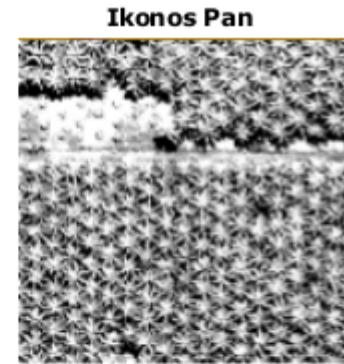
- Aptitude à distinguer deux objets rapprochés
- Taille d'un pixel dans une image



SPOT XS (20m)



Quickbird MS (4m)



Ikonos Pan (1m)



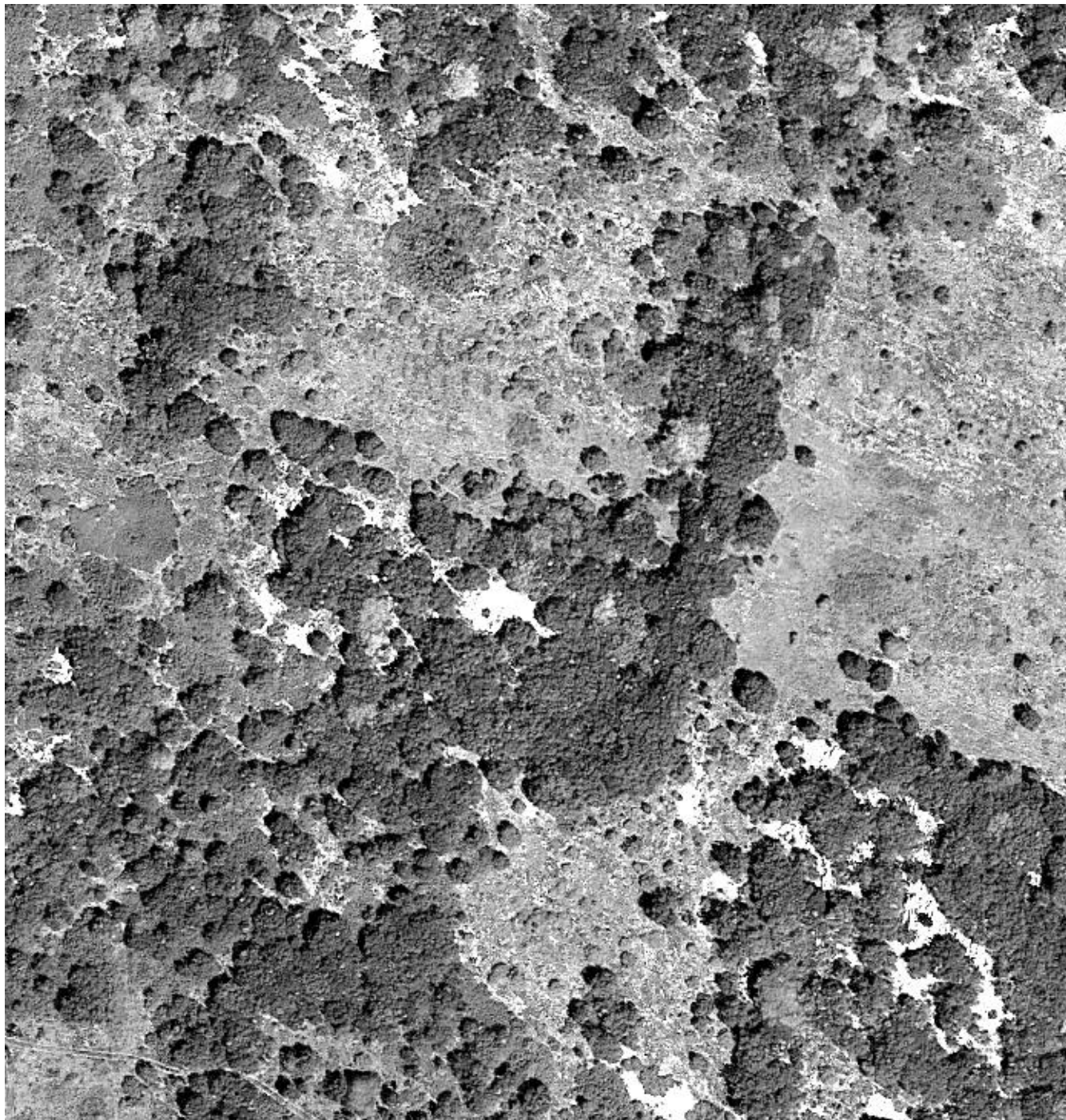


Image  
aérienne sans  
couleur











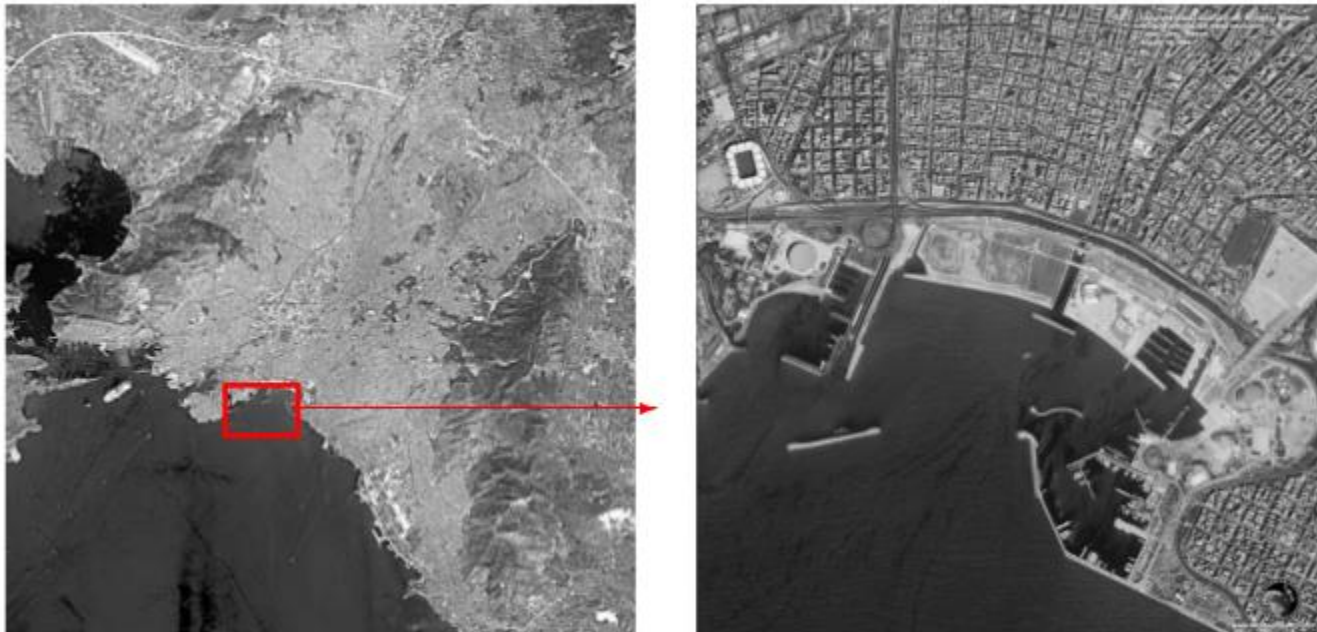
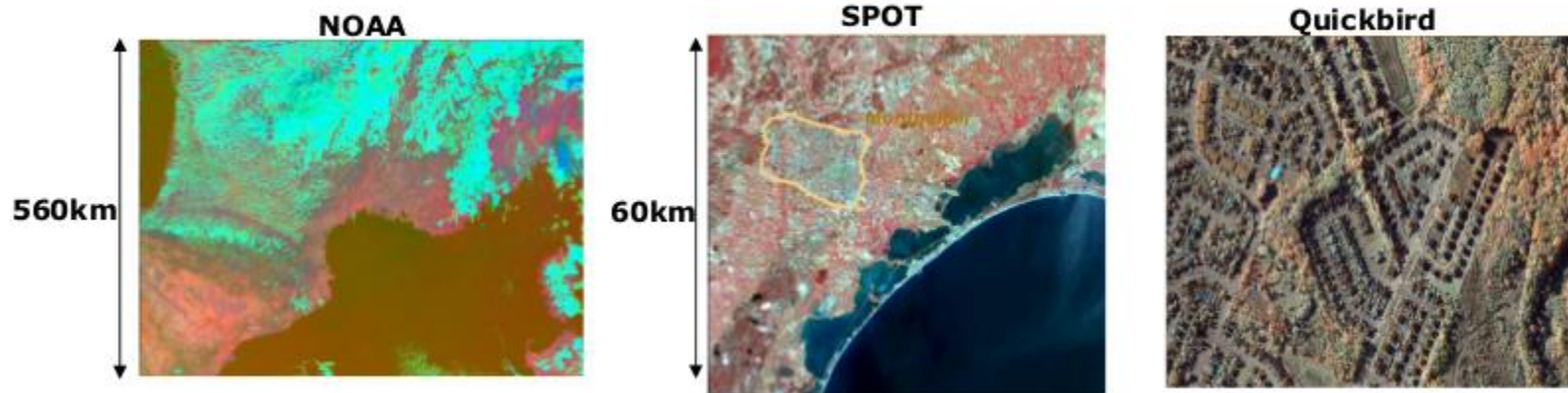




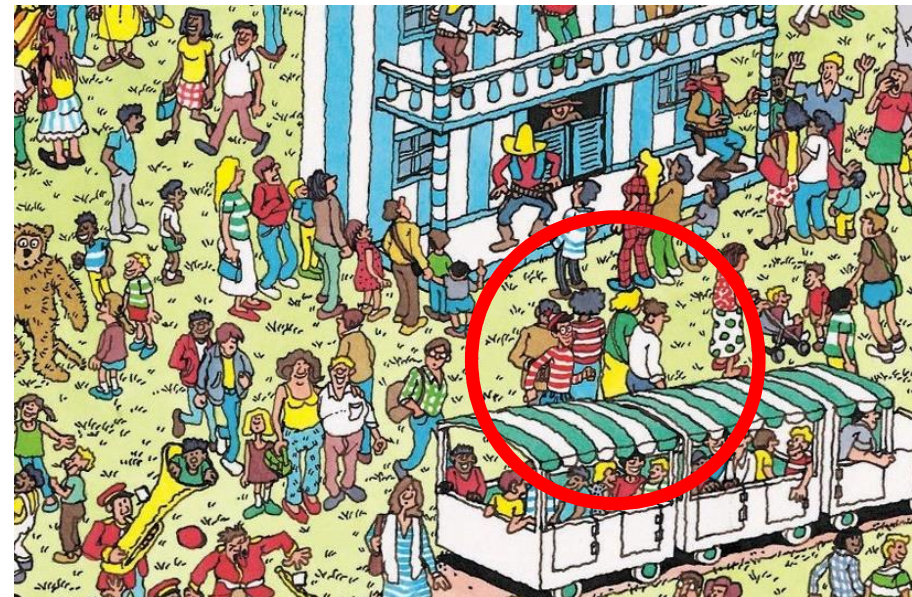
# Étendue spatiale

---

Grandeur de la zone observée

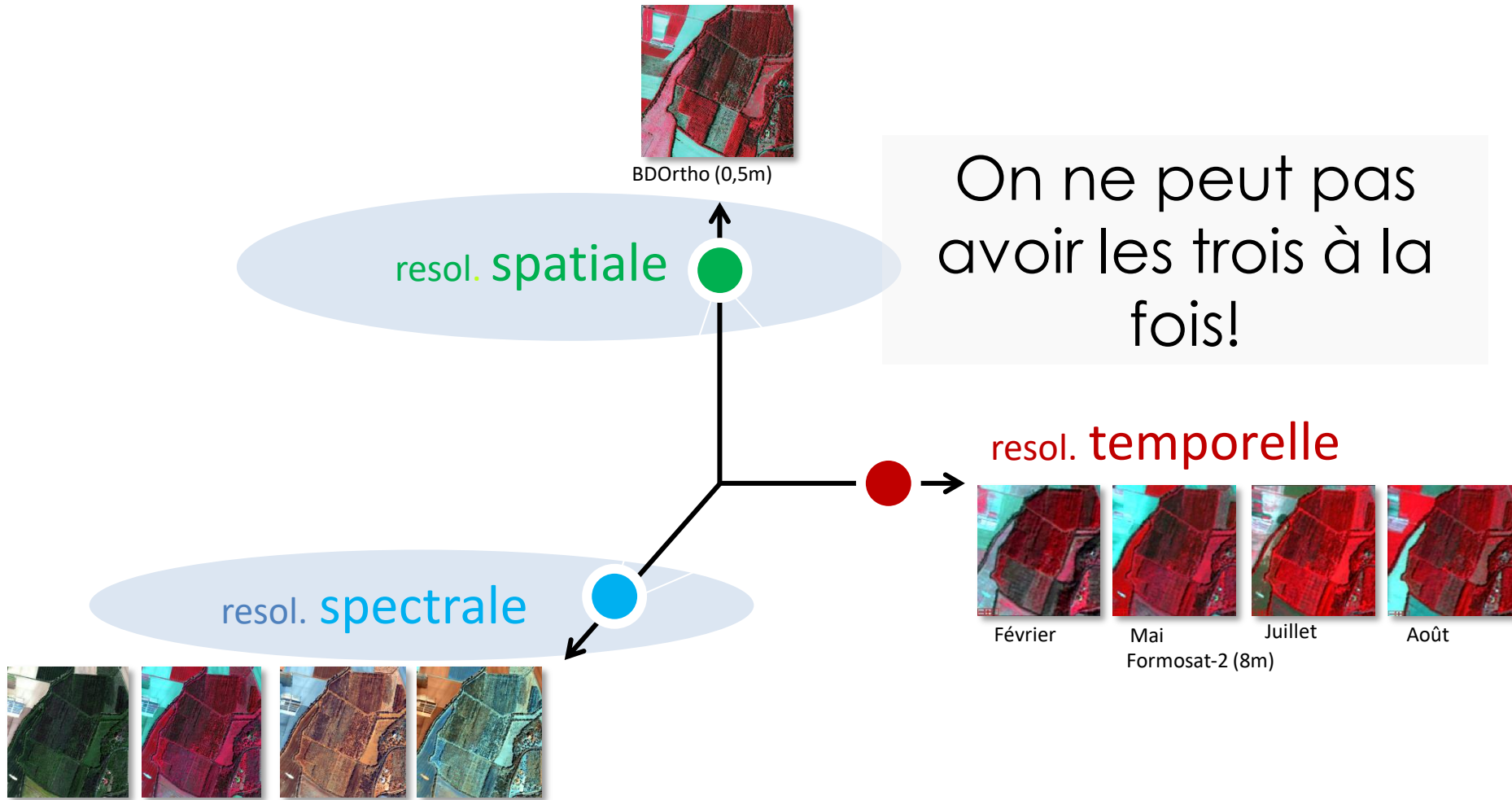


# Compromis spatiale



- Pour un même capteur : plus je suis loin, plus je vois d'éléments, moins je les distingue
- Etendue de l'image VS taille pixel

# Compromis des capteurs





# Résolution spectrale

---

- Plus petite largeur de la bande spectrale enregistrée par la capteur
- Résolution spatiale et spectrale sont liées

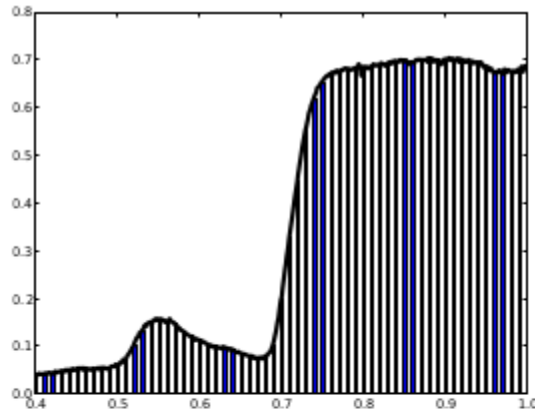
• Image Panchromatique (une bande) : 

• Image Multispectrale (quelques bandes) : 

• Image Hyperspectrale (centaines de bandes) : 

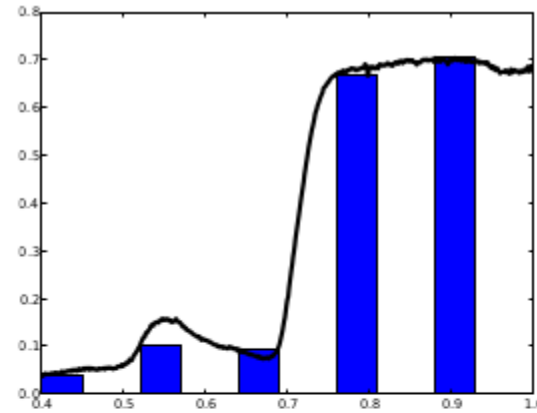
# Résolution spectrale

Hyper-spectral



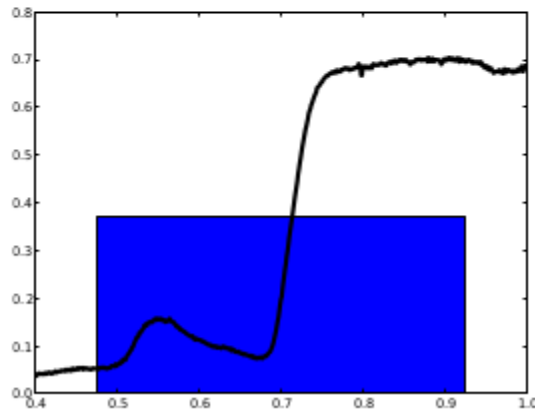
(a)

Multi-spectrale



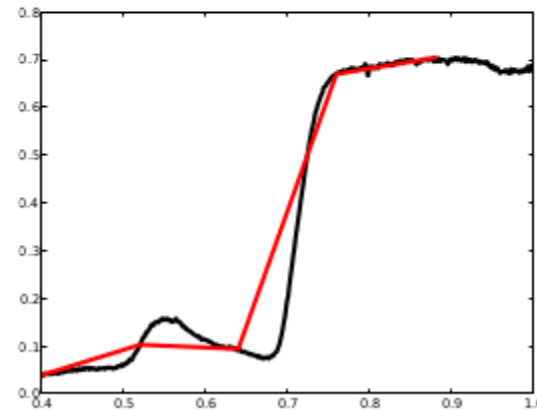
(b)

Panchromatique



(c)

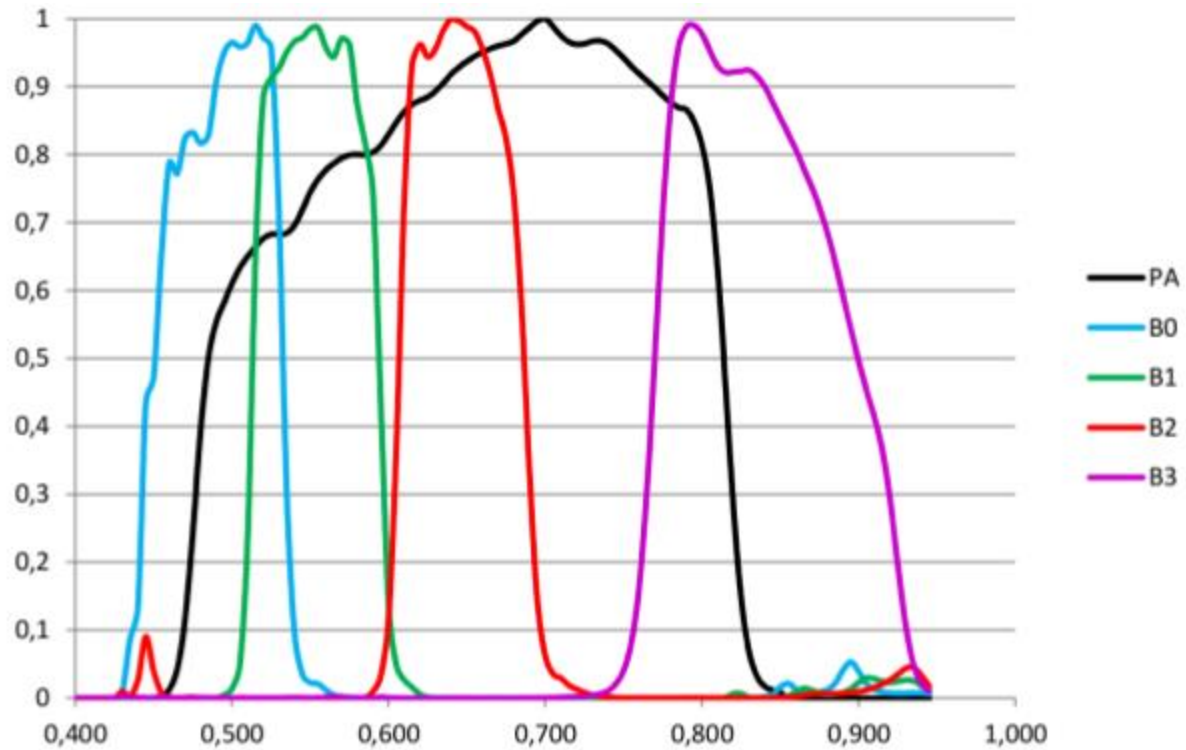
Hyper-spectral  
Vs  
Multi-spectral



(d)

# Résolution spectrale

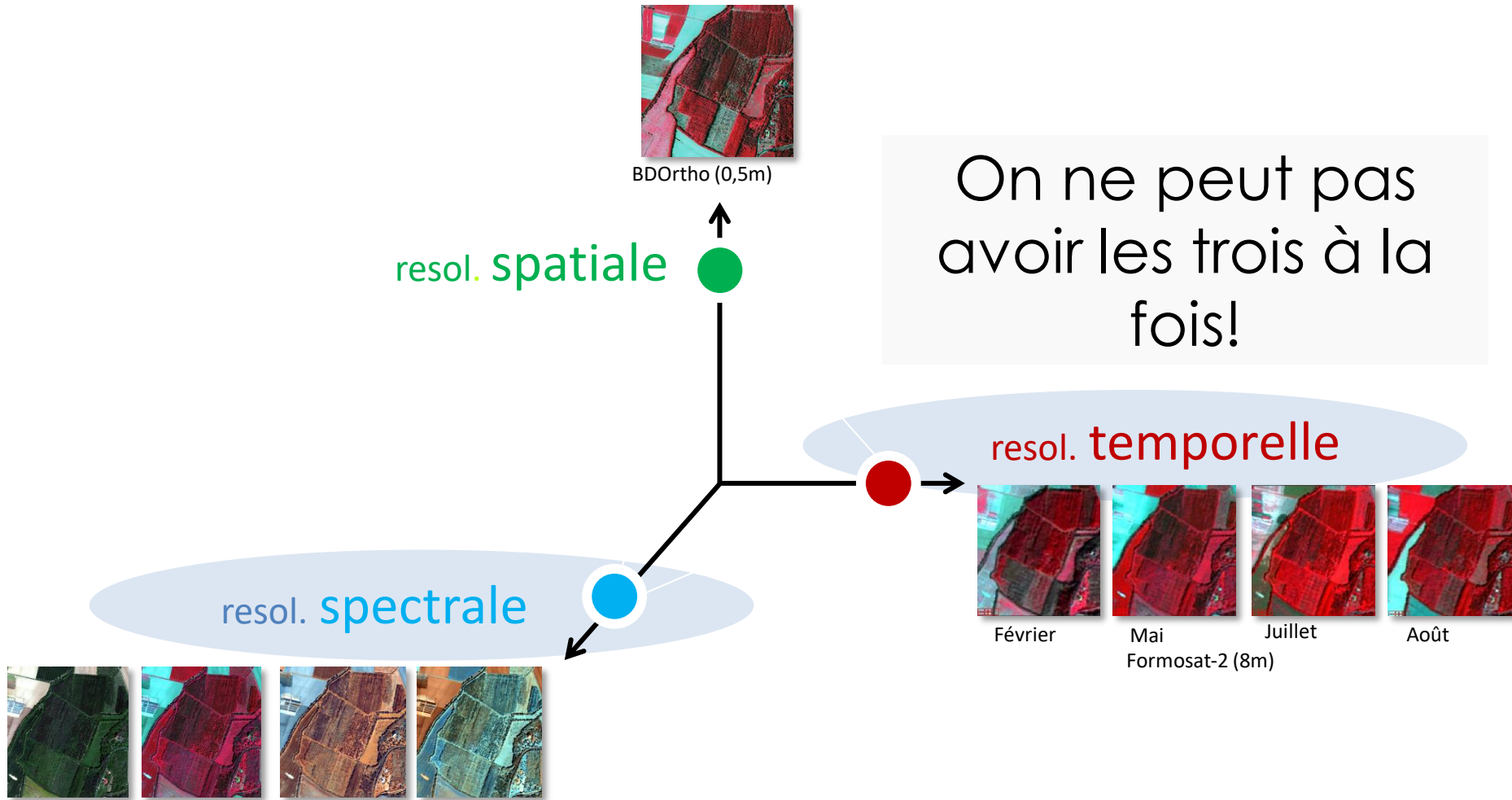
---



Capteurs Pléiades

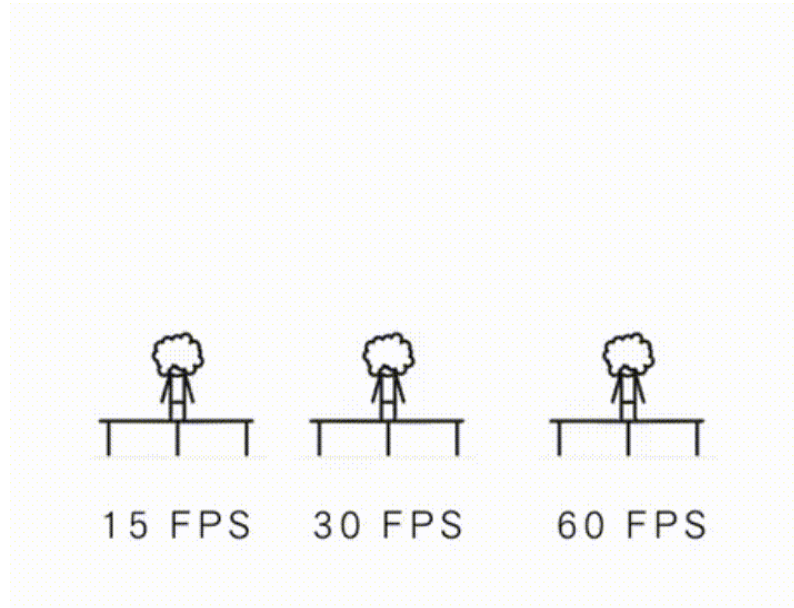


# Compromis des capteurs



# Résolution temporelle

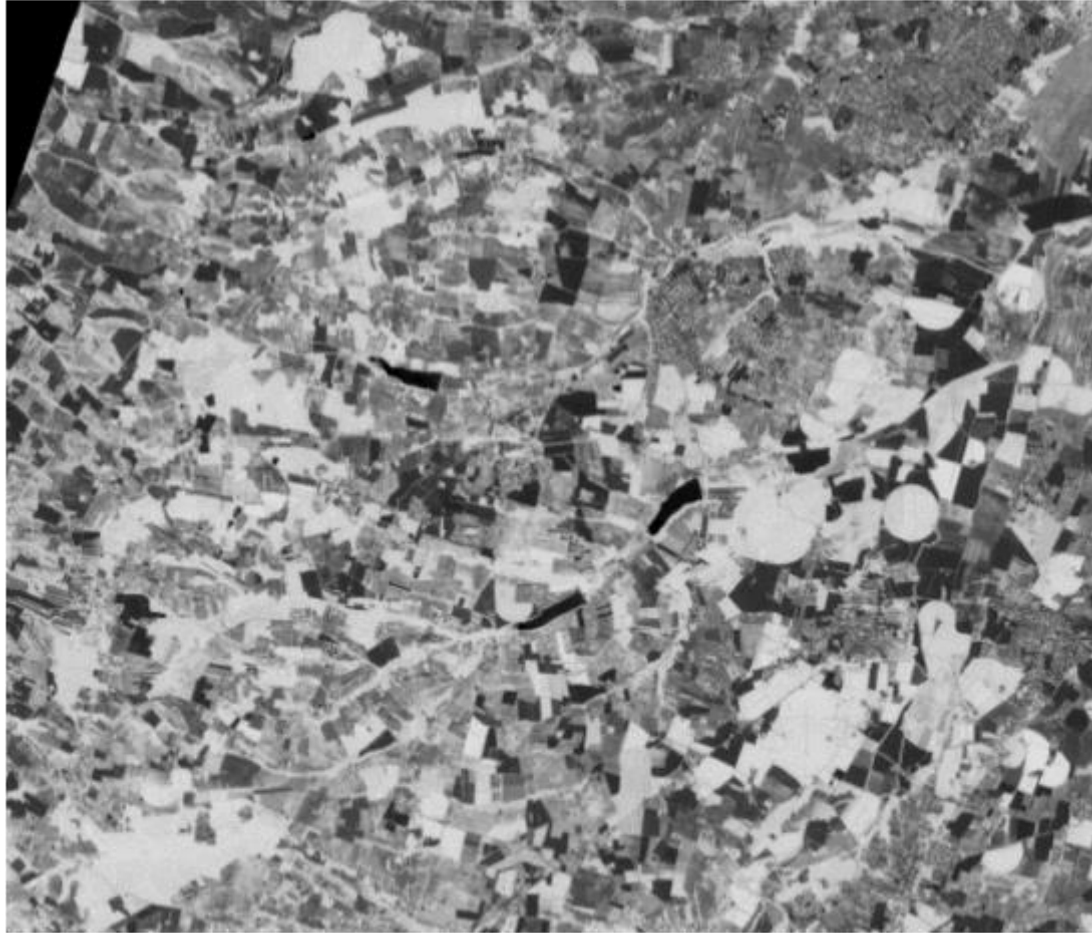
---



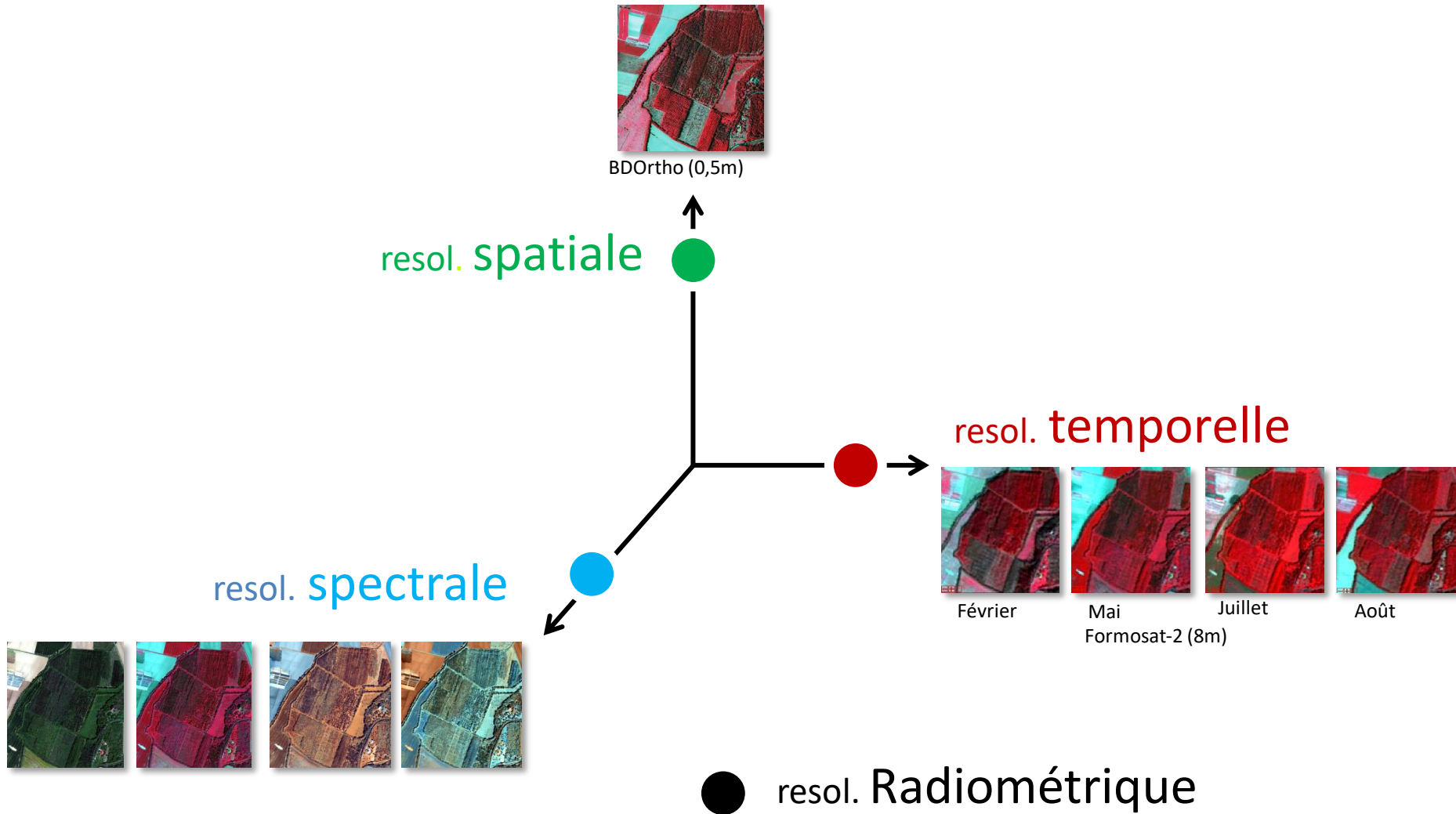
Plus il y a d'images / Unité de temps  
Plus il a d'informations

# Résolution temporelle

---



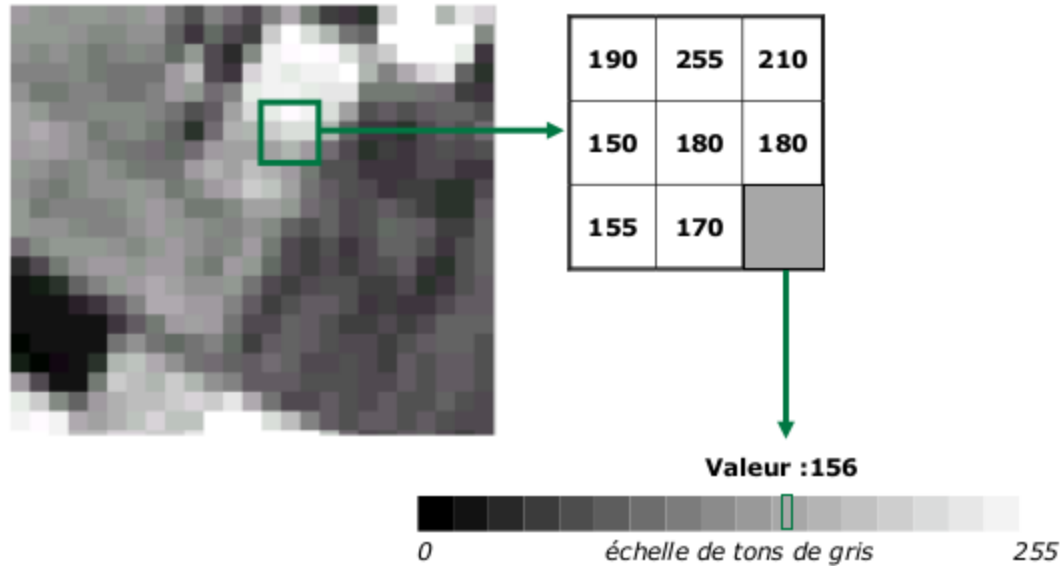
# Et aussi



# Image numérique en niveau de gris

---

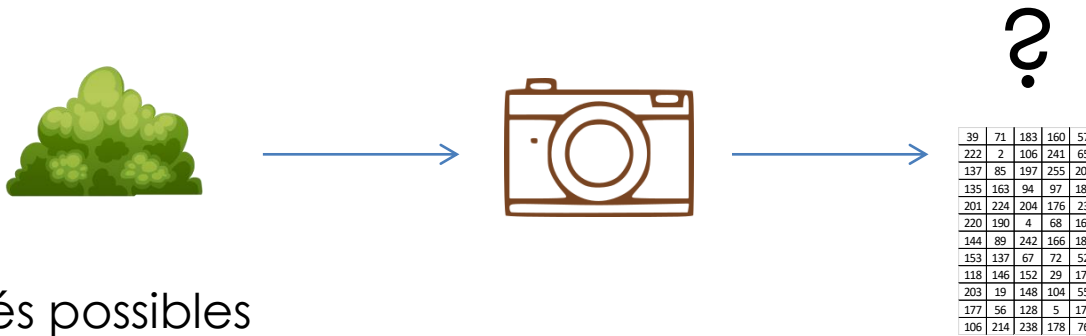
Une image numérique est composée de « pixels » (*picture element*)



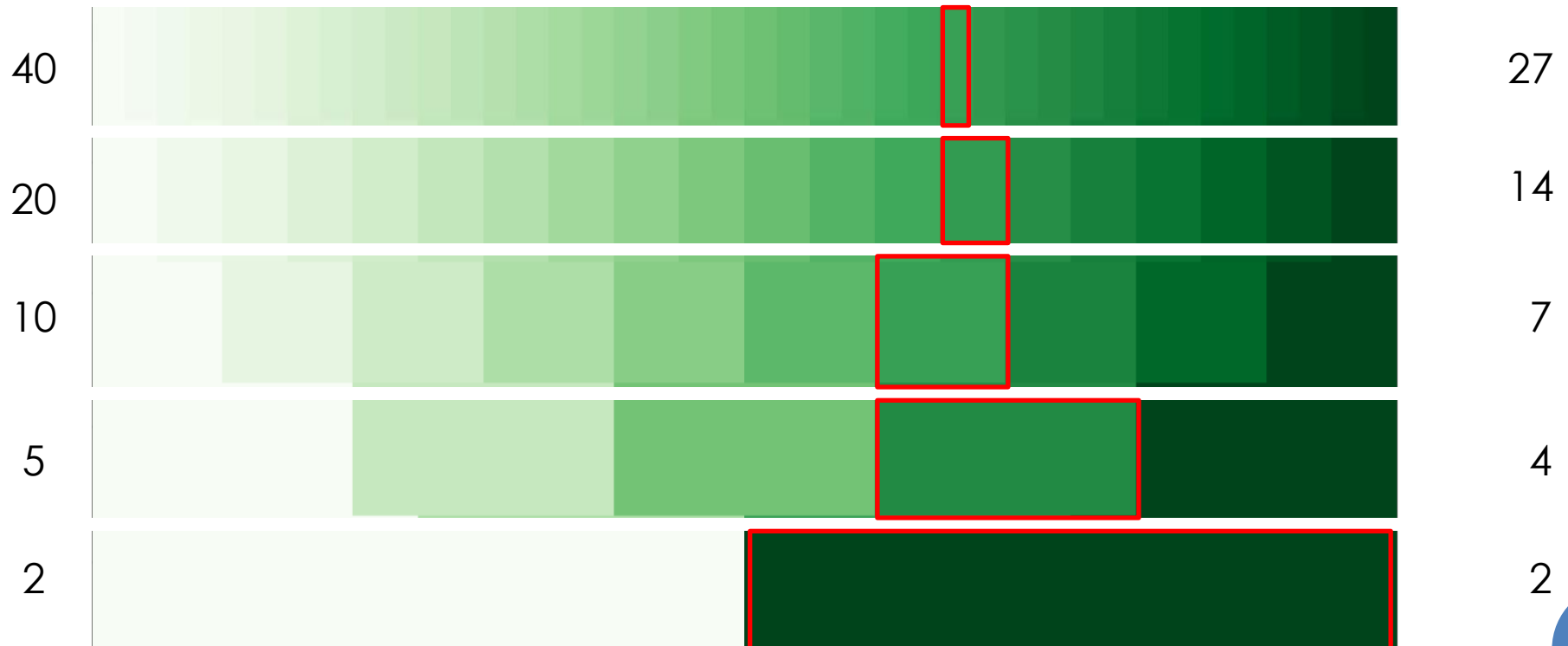
Chaque pixel a, **une valeur (intensité)**, une position et une taille.

# Résolution radiométrique des images

- Plus petite différence d'intensité du signal que le capteur peut enregistrer



Nb d'intensités possibles

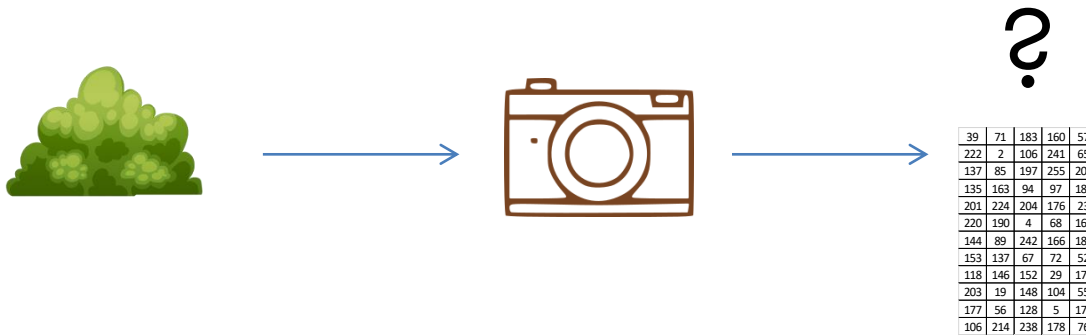




# Résolution radiométrique des images

---

- Plus petite différence d'intensité du signal que le capteur peut enregistrer



- Dépend :
  - du capteur
  - du nombre de bits utilisés pour enregistrer l'intensité de chaque pixel
    - Codage binaire sur 1 octet (8 bits) de la valeur 79 : 01001111

$$79 = 0 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

# Type de données des images

---

**Les entiers** : directement lié au nombre de bits

- 8 bits =  $2^8 = 256$  valeurs
- 16 bits =  $2^{16} = 65536$  valeurs
- 32 bits =  $2^{32} = 4294967296$  valeurs

## Les réels

- 32 bits
  - Plage de valeurs plus grande qu'un entier 32 bits
  - mais précision max de 7 chiffres
- il existe des encodages en 64 bits et 16 bits

## Rappel :

- 8 bits = 1 octet
- 1 ko = 1000 o
- 1 Mo = 1000 ko =  $10^6$  o

**Plus on est précis, plus ça prend de l'espace disque !**



# Type de données des images

---

Type (en python)	Plage de valeurs	Taille d'une image 1000 x 1000
uint8 - int8	0 à 255 ou -127 à 127	~ 1 Mo
uint16 - int16	0 à 65535 ou - 32778 à 32778	~ 2 Mo
uint32 - int32	0 à 4294967295 ou -2147483647 à 2147483647	~ 4 Mo
float32	$1.5 \times 10^{-45}$ à $3.4 \times 10^{38}$ précision de 7 chiffres	~ 4 Mo
float64	$1.5 \times 10^{-345}$ à $3.4 \times 10^{308}$ précision de 15 ou 16 chiffres	~ 8Mo

Attention aux types des données des images, dépend des besoins utilisateurs

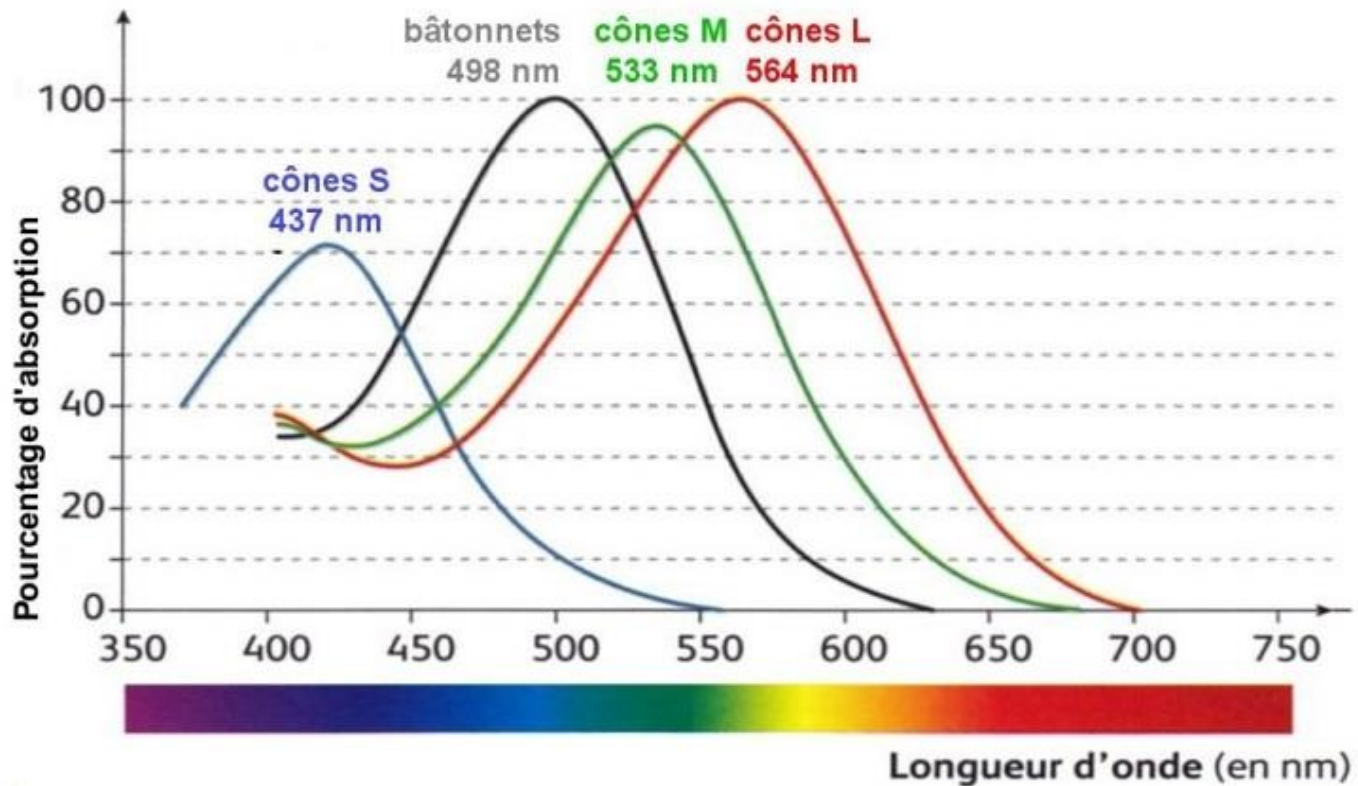


# Déroulé du cours

1. Domaines d'application
2. Rayonnement - interaction avec la matière
  1. Onde électromagnétique et signature spectrale
  2. Interaction avec la matière
  3. Processus d'acquisition
3. Image numérique de télédétection
  1. Qu'est ce qu'une image
  2. Compromis des capteurs
  3. Visualisation des images
4. Traitements numériques
  1. Calcul d'indices
  2. Classification
  3. Post-traitements

# Visualisation d'images numériques

Sensibilité humaine aux longueurs d'onde :





# Colorisation

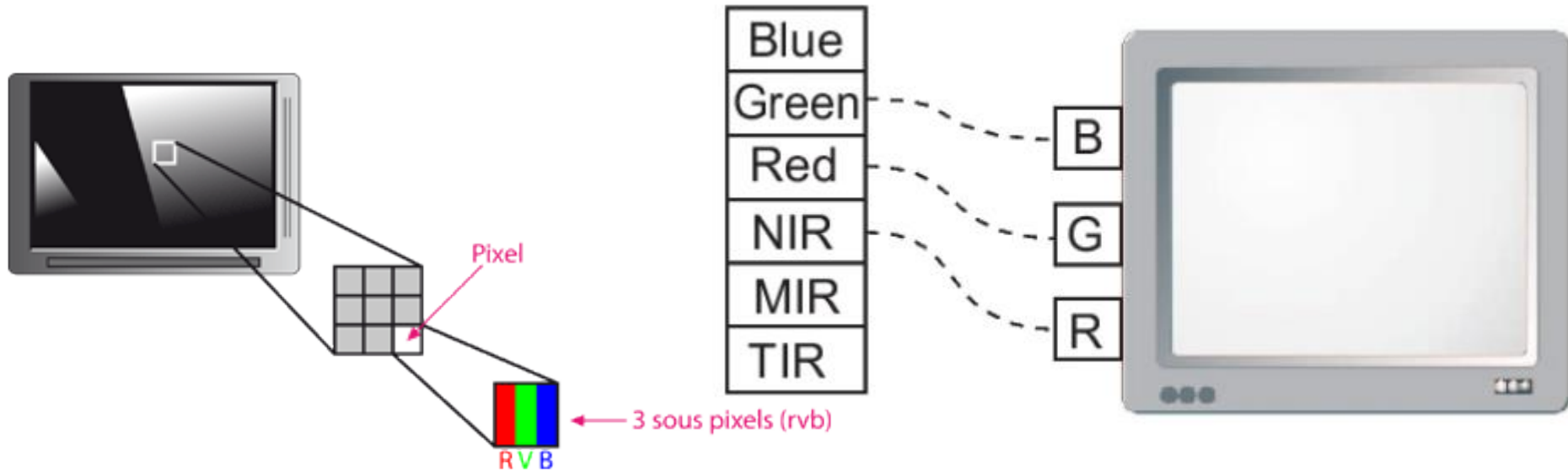
Exemple de colorisation en synthèse additive, pour une image 8 bits :

Synthèse additive



Bleu	Vert	Rouge	Couleur
0	0	0	Black
255	255	255	White
255	0	0	Blue
0	255	0	Green
0	0	255	Red
0	255	255	Yellow
255	255	0	Cyan
255	0	255	Magenta
127	0	0	Dark Blue
25	0	0	Very Dark Blue
0	127	127	Olive Green
127	127	127	Grey
25	25	25	Dark Grey
200	200	200	Light Grey

# Colorisation



- Il faut choisir qu'elles sont les bandes spectrales que l'on veut visualiser.
- En fonction, l'information affichée sera différente.
- Une seule bande : image en niveau de gris.
- Deux colorisation classiques :

Vraies Couleurs	Fausse Couleurs
Bleu Vert Rouge	Vert Rouge Infra-Rouge

# Colorisation

- Visualiser des images multi- ou hyperspectral
- Mettre en évidence de l'information utile.
- Facile en multispectral, mais plus compliqué en hyperpspectral.



0.45-0.52  $\mu\text{m}$

0.52-0.60  $\mu\text{m}$

0.63-0.69  $\mu\text{m}$

0.76-0.90  $\mu\text{m}$





0.45-0.52  $\mu\text{m}$

0.52-0.60  $\mu\text{m}$

0.63-0.69  $\mu\text{m}$

0.76-0.90  $\mu\text{m}$



Affichage d'une image couleur numérique :

- Canal **Bleu** : bleu
- Canal **Vert** : vert
- Canal **Rouge** : rouge
  
- Composition colorée vraies couleurs



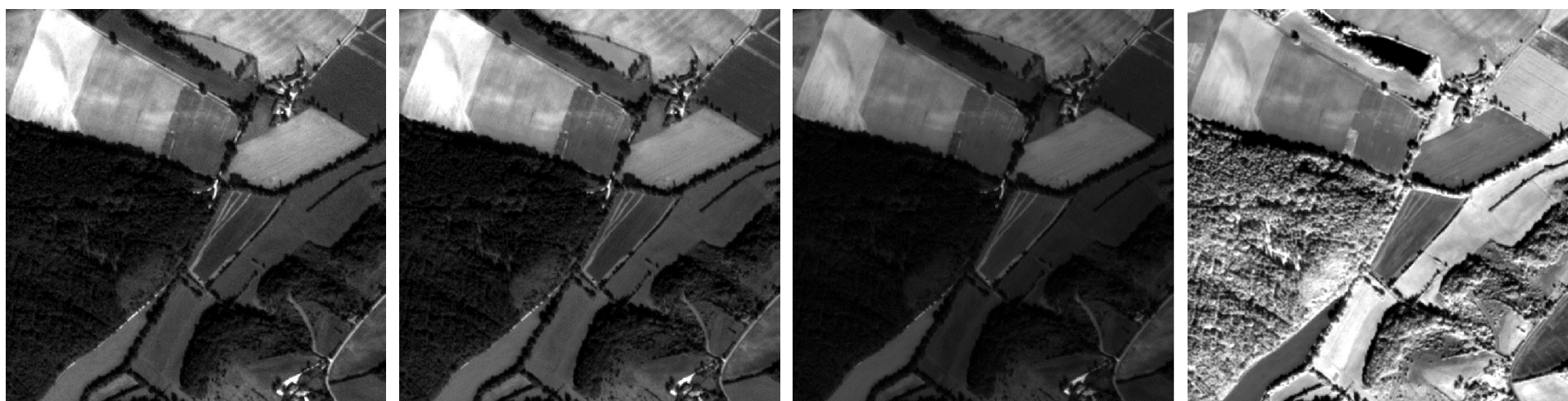


0.45-0.52  $\mu\text{m}$

0.52-0.60  $\mu\text{m}$

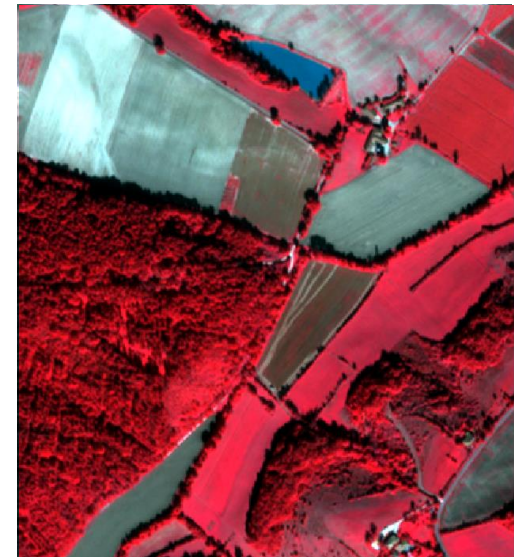
0.63-0.69  $\mu\text{m}$

0.76-0.90  $\mu\text{m}$



Affichage d'une image couleur numérique :

- Canal **Bleu** : vert
- Canal **Vert** : rouge
- Canal **Rouge** : infrarouge
- Composition colorée Infra rouge couleurs (IRC)



# Questions

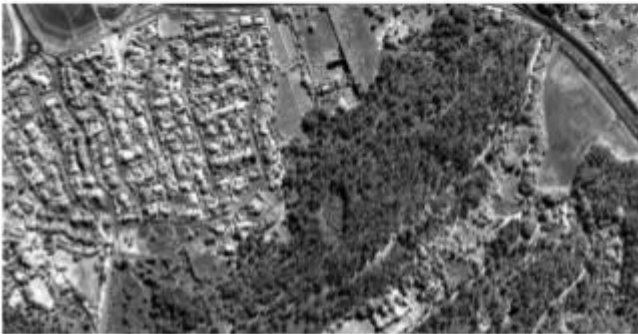
Quel image correspond à la bande spectrale du proche infrarouge :



(a)



(b)



(c)

# Questions

---

- L'image panchromatique de SPOT-6 a une résolution spatiale de 1.5 m, tandis que l'image multispectrale a une résolution spatiale de 6 m. A combien de pixel de l'image panchromatique correspond un pixel de l'image multispectrale ?
- Une image est codée sur 3 bits. Quelle est la valeur maximale que l'on peut retrouver dans l'image ?
- Un capteur est capable d'enregistrer 288 bandes spectrales entre 0.4 $\mu$ m et 0.9 $\mu$ m, chaque bande recouvrant 1.8 nm. Y'a-t-il des chevauchement entre les couvertures des bandes spectrales ?
- A quoi pourrait servir des images de zones urbaines provenant d'un capteur thermique ?

# Questions



Vert



Rouge



Proche IR

# Questions

---



Vert



Rouge



Proche IR

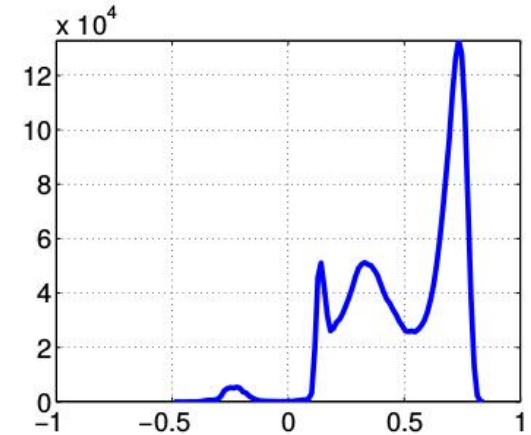
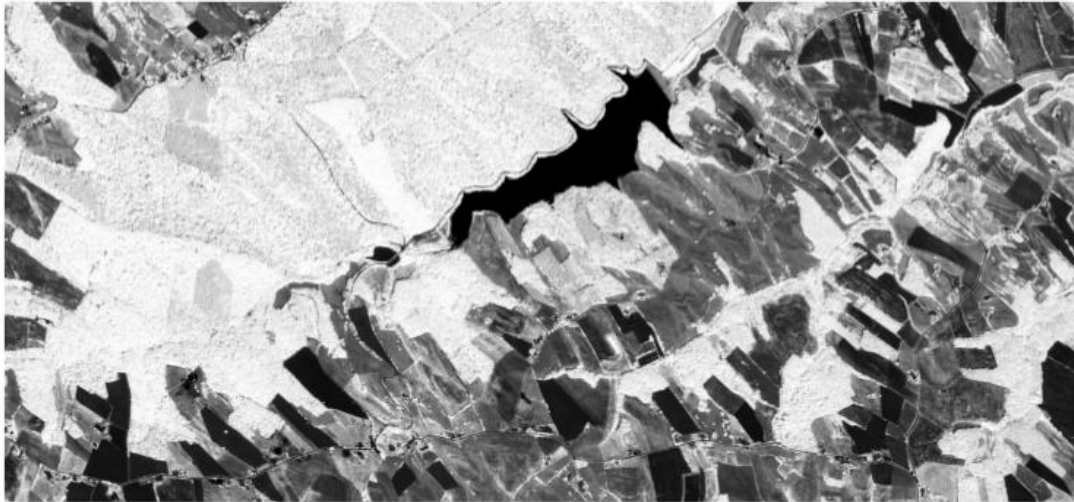




# Statistiques - histogramme

---

Un histogramme représente la fréquence d'apparition des niveaux de gris d'une image/bande spectrale.



# Statistiques - histogramme

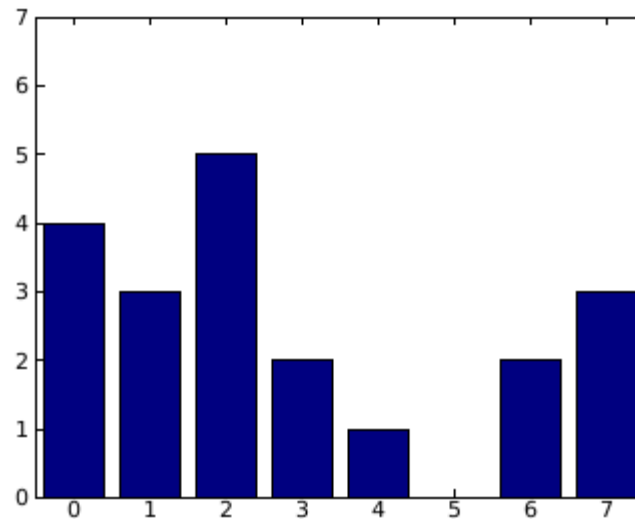
---

1	1	1	3	0
0	0	4	3	0
2	2	2	2	2
6	6	7	7	7

# Statistiques - histogramme

---

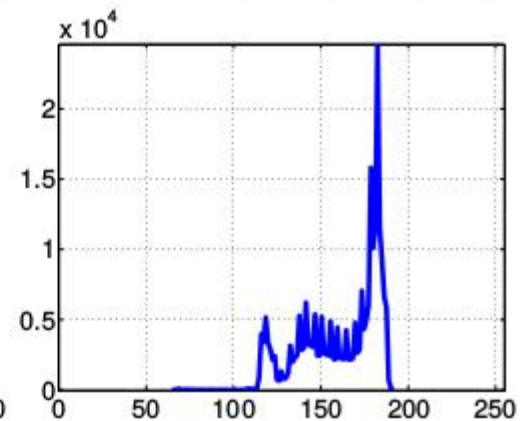
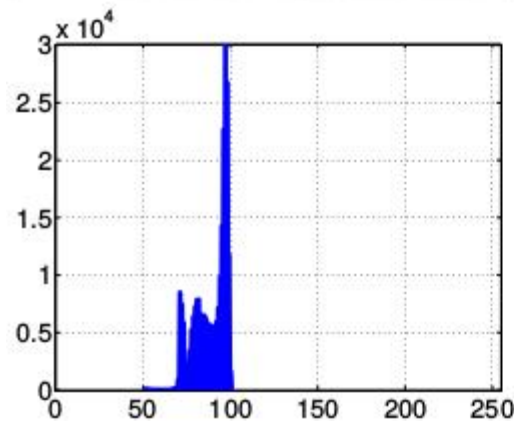
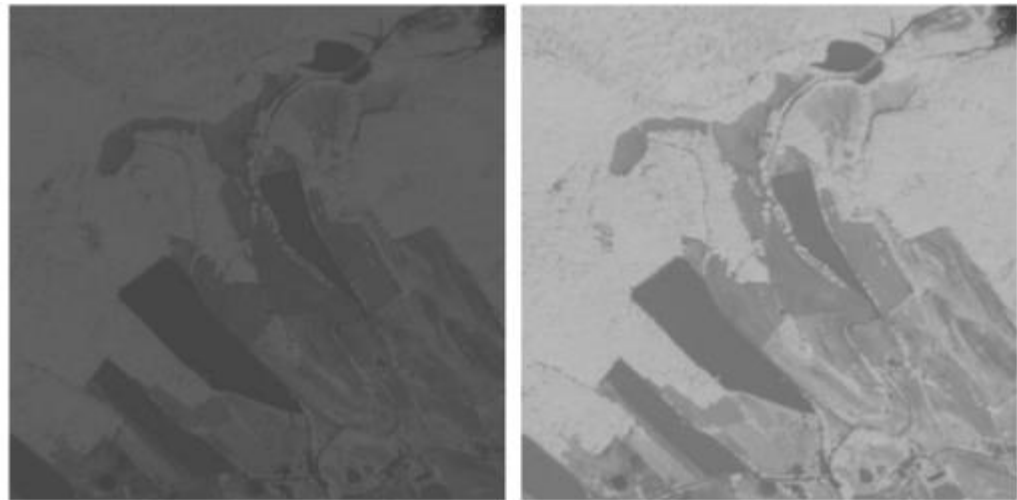
1	1	1	3	0
0	0	4	3	0
2	2	2	2	2
6	6	7	7	7



# Amélioration du contraste

---

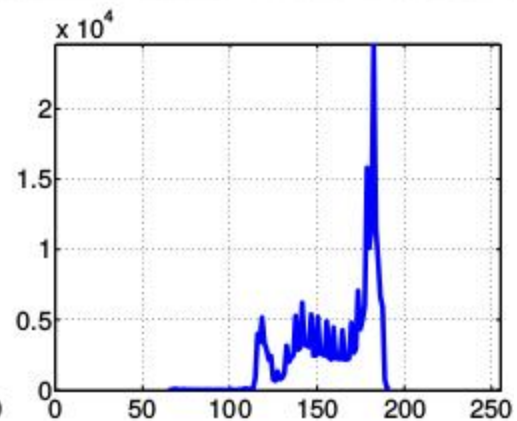
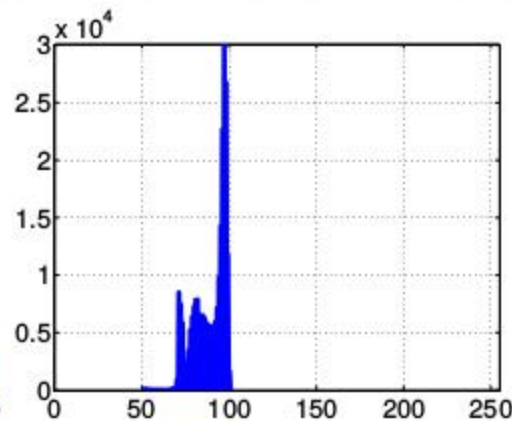
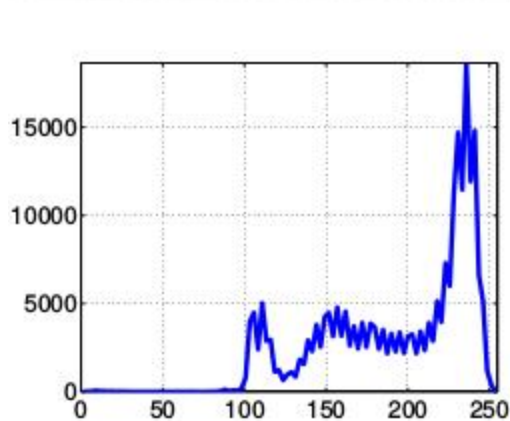
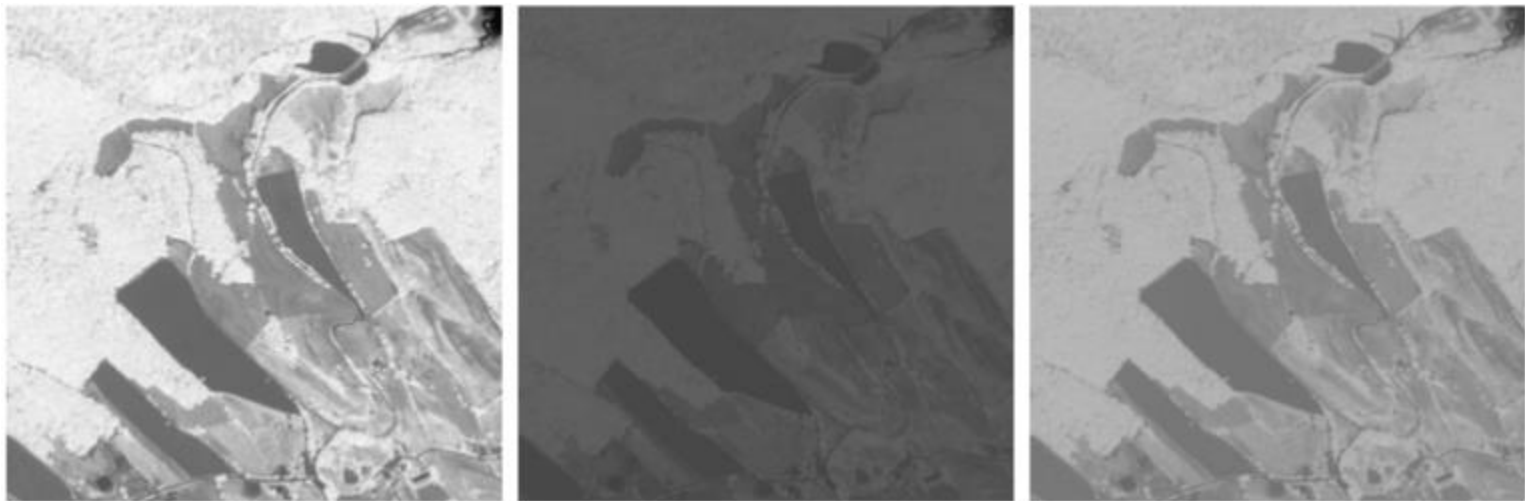
**Contraste d'une image** : différence entre le niveau de gris le plus faible et le niveau de gris le plus fort.



# Amélioration du contraste

---

**Contraste d'une image** : différence entre le niveau de gris le plus faible et le niveau de gris le plus fort.

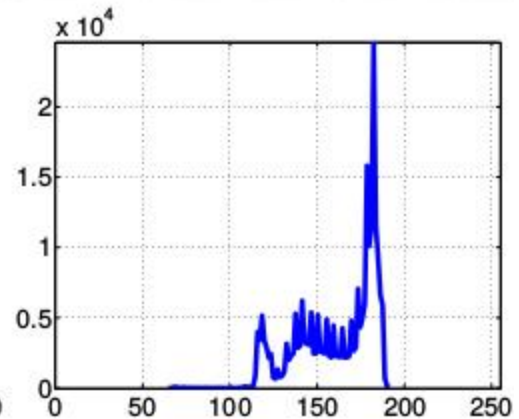
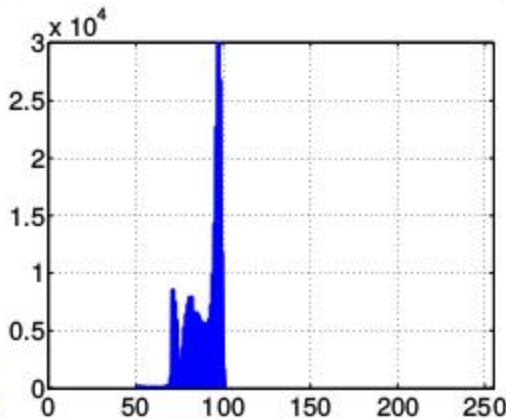
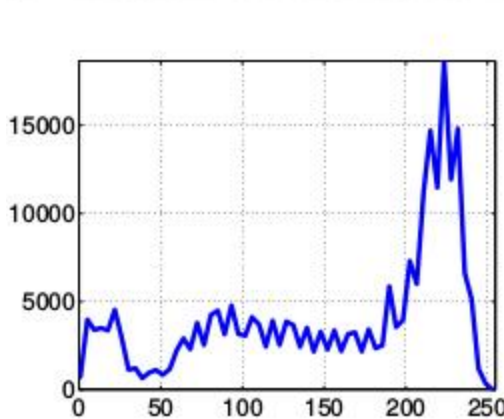
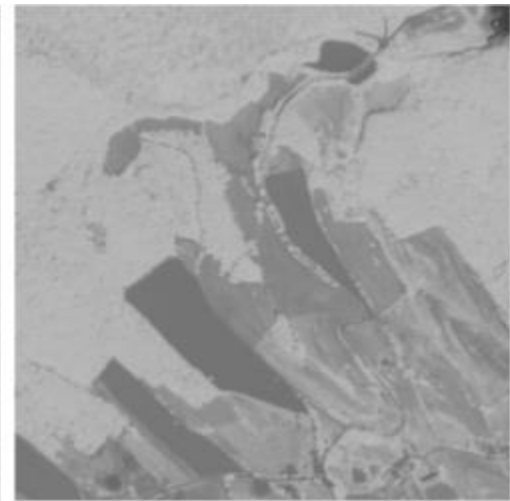
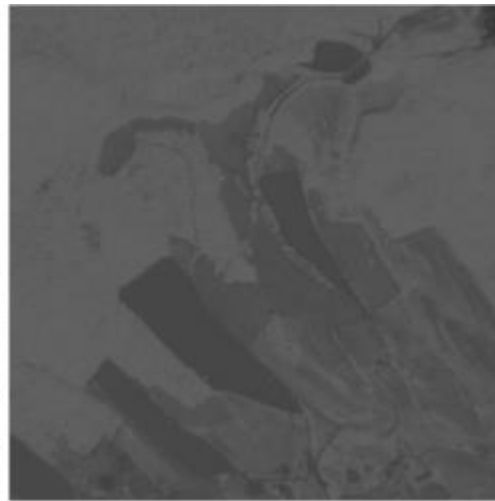
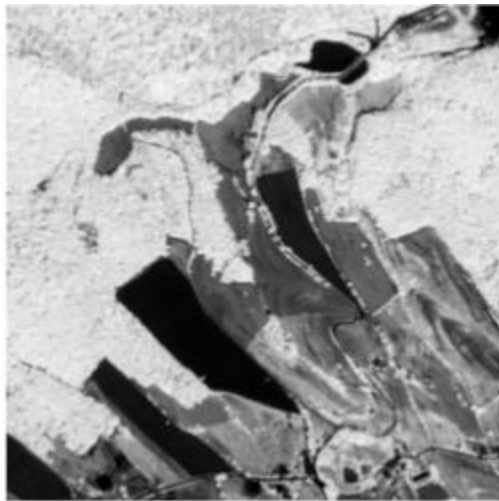




# Amélioration du contraste

---

**Contraste d'une image** : différence entre le niveau de gris le plus faible et le niveau de gris le plus fort.



# Questions

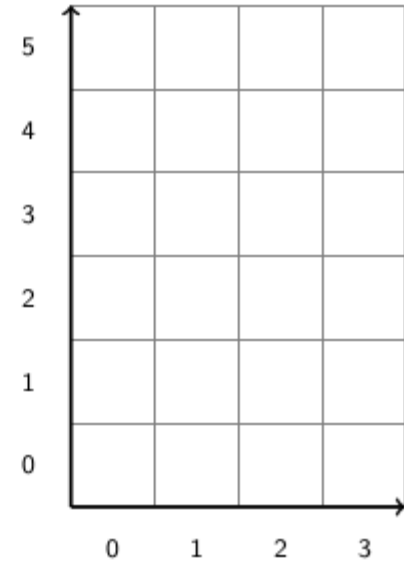
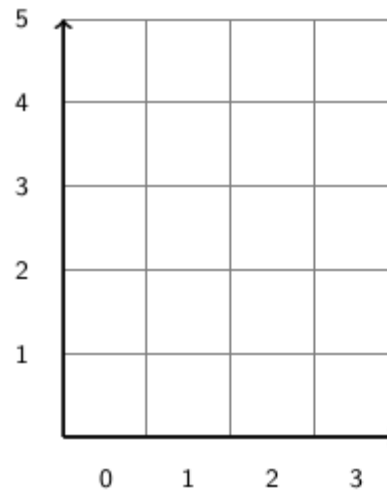
---

0	1	3
1	0	2
1	1	2

$b_1$

5	5	1
5	5	0
5	5	0

$b_2$



1. Calculer l'histogramme de la bande 1.
2. Calculer l'histogramme 2D des bandes 1 et 2.

# Questions

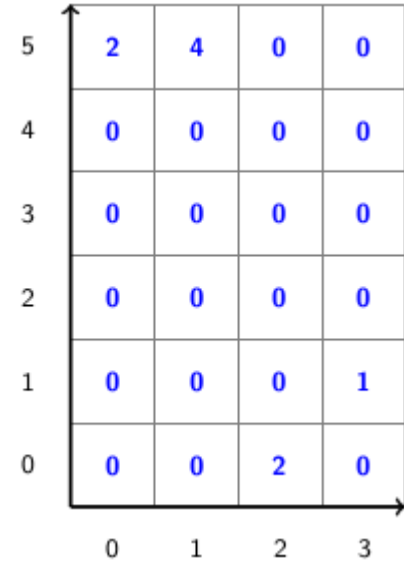
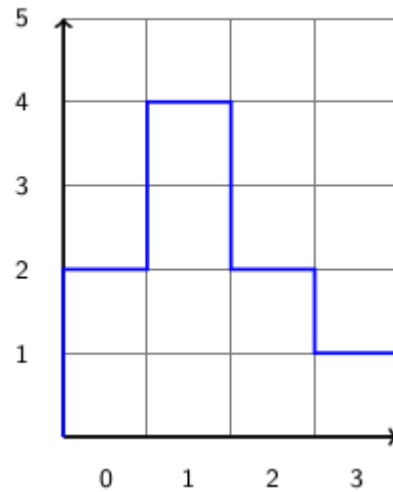
---

0	1	3
1	0	2
1	1	2

$b_1$

5	5	1
5	5	0
5	5	0

$b_2$



1. Calculer l'histogramme de la bande 1.
2. Calculer l'histogramme 2D des bandes 1 et 2.



# Déroulé du cours

1. Domaines d'application
2. Rayonnement - interaction avec la matière
  1. Onde électromagnétique et signature spectrale
  2. Interaction avec la matière
  3. Processus d'acquisition
3. Image numérique de télédétection
  1. Qu'est ce qu'une image
  2. Compromis des capteurs
  3. Visualisation des images
4. **Traitements numériques**
  1. Calcul d'indices
  2. Classification
  3. Post-traitements

# Création de nouveaux canaux

- **Objectif** : Création de nouvelles images pour **mettre en évidence** une **caractéristique** particulière (végétation, eau, stress, teneur en N . . . )
- **Principe** : **Combinaison arithmétique** de bandes spectrales qui s'appuie sur la **connaissance des propriétés optiques** (position des bandes d'absorption...)

Exemple de bandes spectrales spécifiques aux nutriments des fourrages  
(cf. valeur alimentaire)

*N.M. Knox et al / ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 72 (2012) 27–35*

31

**Table 2**

The wavelength absorption features selected for predictive analysis of the forage nutrient concentrations. These wavelength centres have been physically linked (through bond vibrations, excitations) to each of the forage nutrients.

Nutrient	Absorption feature wavelength centres (nm)
Nitrogen <sup>a</sup>	430, 460, 640, 660, 910, 1020, 1510, 1690, 1730, 1940, <sup>d</sup> 1950, <sup>d</sup> 1980, <sup>d</sup> 2060, 2130, 2180, 2240, 2300, 2350 <sup>d</sup>
Phosphorus <sup>b</sup>	970, 990, <sup>d</sup> 1450, <sup>d</sup> 1490, 1530, 1540, 1580, 1780, <sup>d</sup> 1900, <sup>d</sup> 1940, <sup>d</sup> 1950, <sup>d</sup> 1960, <sup>d</sup> 2000, 2080, 2100, 2250, 2270, 2280, 2320
Fibre <sup>c</sup>	1120, 1200, 1420, <sup>d</sup> 1450, <sup>d</sup> 1490, 1540, 1690, 1730, 1736, 1780, <sup>d</sup> 1820, <sup>d</sup> 1924, <sup>d</sup> 1940, <sup>d</sup> 1950, <sup>d</sup> 2100, 2232, 2262, 2270, 2280, 2310, 2320, 2340, <sup>d</sup> 2350, <sup>d</sup> 2380 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Features associated with protein, chlorophyll and nitrogen (Curran, 1989; Fourty et al., 1996).

<sup>b</sup> Features associated with starch and sugar (Curran, 1989; Fourty et al., 1996).

<sup>c</sup> Features associated with cellulose and lignin (Curran, 1989; Fourty et al., 1996; Himmelsbach, 2000).

<sup>d</sup> Features not analysed because they coincide with regions removed because of high signal noise (see Section 2.2.2).



Cr

Une très  
une diversité

## Show Indices for selected Application

### Vegetation Water

Select other Application.

Nr.	Name	Formula	Variables	Comment
1	Crop water stress index	$\frac{C-A}{B-A}$		
2	Disease water stress index	$\frac{802nm+547nm}{1667nm+682nm}$		
3	Disease-Water Stress Index 5	$\frac{800nm-550nm}{1660nm+680nm}$		
4	Leaf Water Content Index	$\frac{\log(1-(NIR-MIDIR))}{-\log(1-(NIR-MIDIR))}$		
5	Normalized Difference 1094/1205 Leaf water VI 2	$\frac{1094nm-1205nm}{1094nm+1205nm}$		
6	Normalized Difference 1094/983 Leaf water VI 1	$\frac{1094nm-983nm}{1094nm+983nm}$		
7	Normalized Difference 850/1650 Normalized Difference Infrared Index	$\frac{850nm-1650nm}{850nm+1650nm}$		
8	Normalized Difference 857/1241 Normalized Difference Water Index	$\frac{857nm-1241nm}{857nm+1241nm}$		
9	Normalized Difference 860/1240 Normalized Difference Water Index	$\frac{860nm-1240nm}{860nm+1240nm}$		
10	Normalized Difference 860/1640	$\frac{860nm-1640nm}{860nm+1640nm}$		
11	Normalized Difference NIR/Red Normalized Difference Vegetation Index, Calibrated NDVI - CDVI	$\frac{NIR-RED}{NIR+RED}$	RED=[670;50;30],NIR=[800;10;10]	
12	Ratio of WI and Normalised Difference 750/660	$\frac{\frac{900nm-970nm}{750nm+705nm}}{\frac{750nm-705nm}{750nm+705nm}}$		
13	Relative Water Content Index	$\frac{FW-DW}{TW-DW}$		
14	Simple Ratio 1058/1148	$\frac{1058nm}{1148nm}$		
15	Simple Ratio 1193/1126 Water content	$\frac{1193nm}{1126nm}$		
16	Simple Ratio 1600/820 Moisture Stress Index	$\frac{1600nm}{820nm}$		
17	Simple Ratio 1660/550 Disease-Water Stress Index 2	$\frac{1660nm}{550nm}$		
18	Simple Ratio 1660/680 Disease-Water Stress Index 3	$\frac{1660nm}{680nm}$		
19	Simple Ratio 550/680 Disease-Water Stress Index 4	$\frac{550nm}{680nm}$		
20	Simple Ratio 800/1660 Disease-Water Stress Index 1	$\frac{800nm}{1660nm}$		
21	Simple Ratio 860/1240	$\frac{860nm}{1240nm}$		
22	Simple Ratio 895/972 Water band index 4	$\frac{895nm}{972nm}$		

# Index Database

A database for remote sensing indices

Start | What is IDB? | How to use? | Create

## Index Database

Today many different vegetation indices exist. It is a useful tool to find indices for a required application.

On this site you find a database of remote sensing indices. Calculating an index and vice versa one can find the required sensor data. Furthermore index and sensor data is enriched with references.

### Query the Database

- Show Indices for selected Sensor
- Show Indices for selected Application
- Show Indices for selected Sensor and Application
- Show Sensors for selected Index
- Show Sensors for selected Application
- Show Bands for selected Sensor
- Show Applications for selected Index
- Show Applications for selected Sensor

### List of available data

- List of available Indices
- List of available Sensors
- List of available Applications
- List of References
- Visualisation of Sensor Bands
- Visualisation of required Index Wavelengths

<https://www.indexdatabase.de/>

# Création de nouveaux canaux

Une **très grande diversité d'indices** spectraux adaptés à une diversité de capteurs, de longueurs d'ondes et d'applications

Calcul possible  
(ou pas !)  
selon le capteur et la  
largeur des bandes

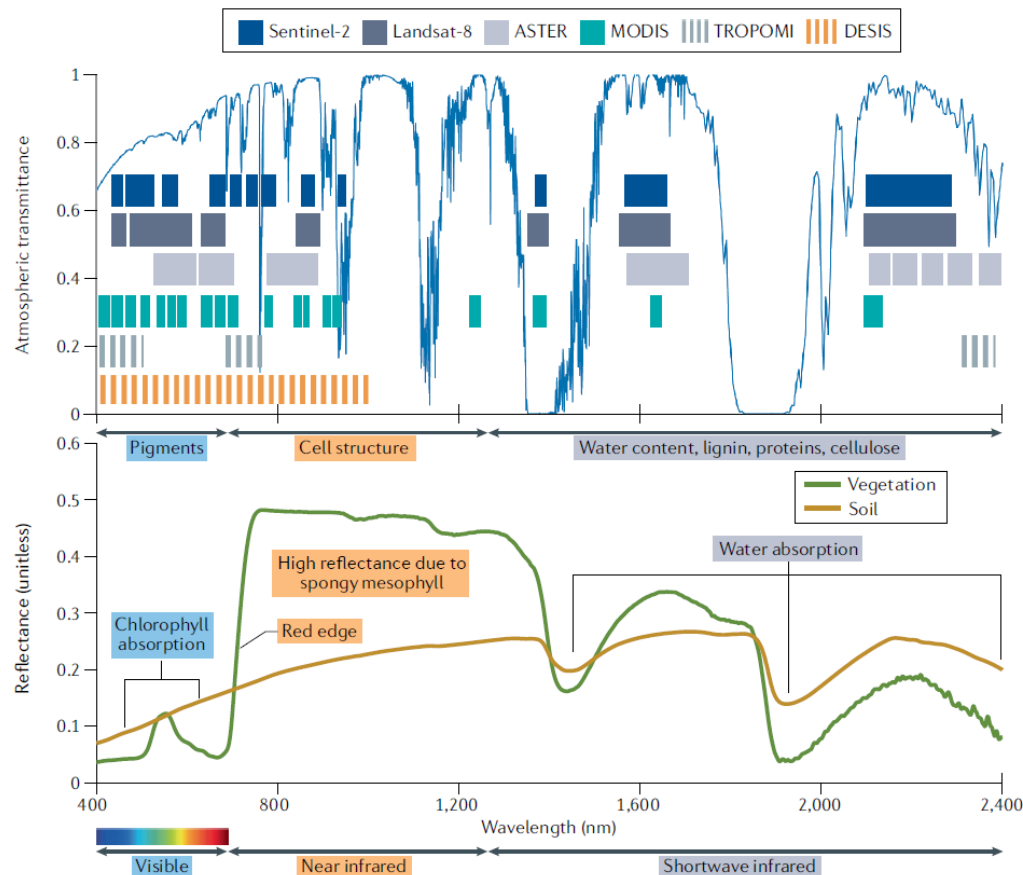


Fig. 2 | **Satellite sensors, the vegetation and the soil spectrum across wavelengths.** Top: the spectral response range in the atmospheric window of a few widely used satellites<sup>109</sup>. The coloured blocks and vertical lines illustrate the spectral band range or bandpass for each satellite sensor. Bottom: reflectance of vegetation and soil. These spectral features of vegetation and soil are the foundation of the rationale of vegetation indices and support the design of various vegetation indices.

Zeng et al. 2022,  
*Nature reviews Earth & Env*

# Indice NDVI

---

## Normalized Difference Vegetation Index

- Indice **le plus utilisé** dans le monde de la télédétection (Rouse et al. 1974 ; Tucker 1979)
- Il met en évidence l'**activité photosynthétique de la végétation** sachant que :
  - dans le spectre de *rayonnement photosynthétiquement actif (PAR)*, la lumière est majoritairement **absorbée** par les pigments (400-700 nm) pour la photosynthèse → **faible réflectance**
  - dans le spectre du *proche infra-rouge*, c'est la structure cellulaire des feuilles qui gouverne (pigments foliaires transparents) → **forte réflectance**

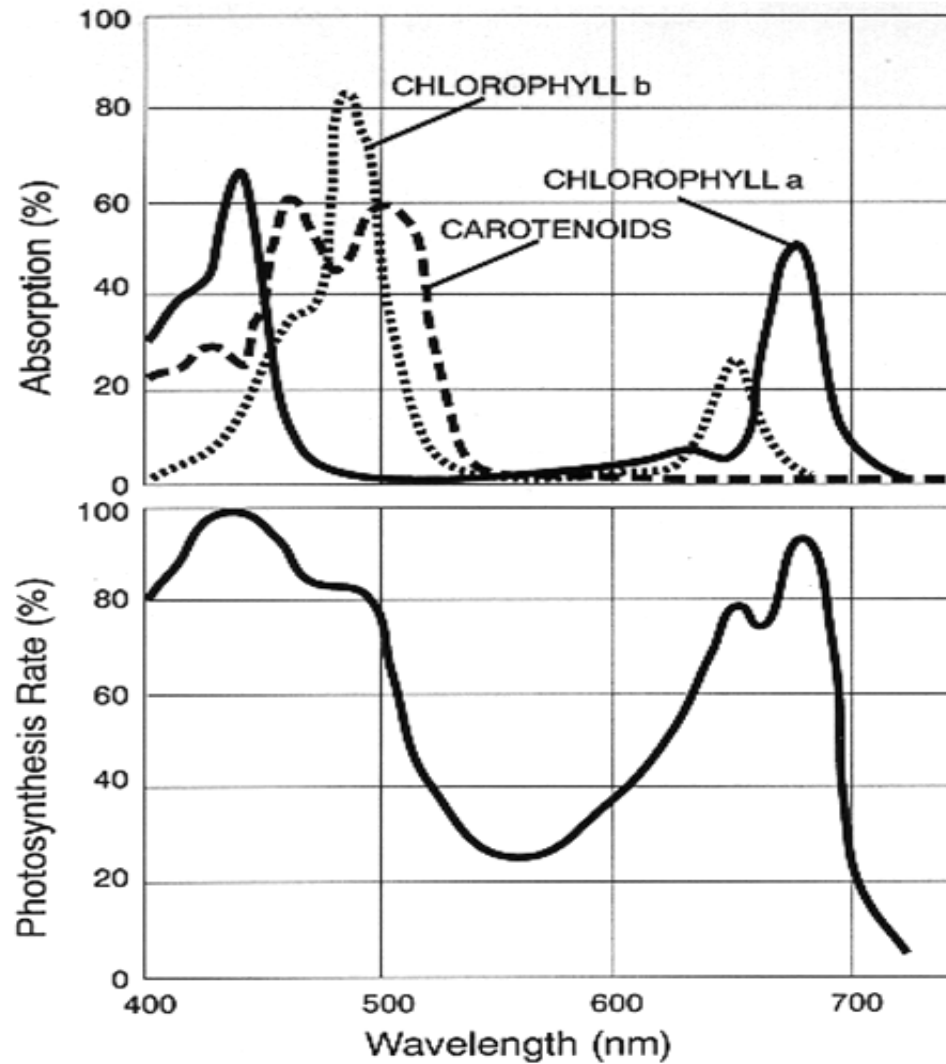
$$\text{NDVI} = \frac{(\text{PIR} - \text{R})}{(\text{PIR} + \text{R})}$$

Si très actif : PIR ↗ et R ↘  
différence élevée donc NDVI élevé

Si peu actif : PIR ↘ et R ↗  
différence faible donc NDVI faible

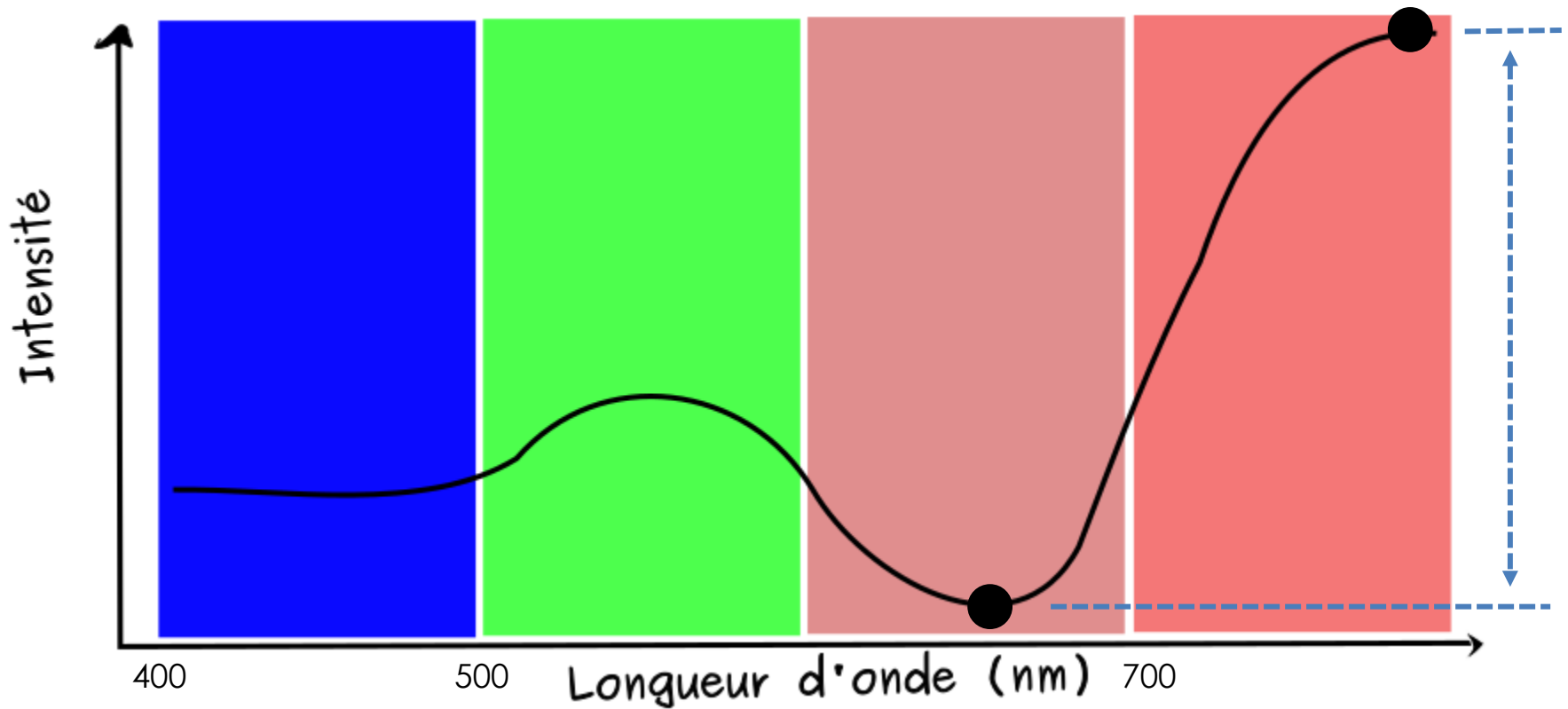
# Indice NDVI

Normalized Difference Vegetation Index



# Indice NDVI

Normalized Difference Vegetation Index



$$\text{NDVI} = \frac{(\text{PIR} - \text{R})}{(\text{PIR} + \text{R})}$$

Varie de -1 à +1

Corrélié avec

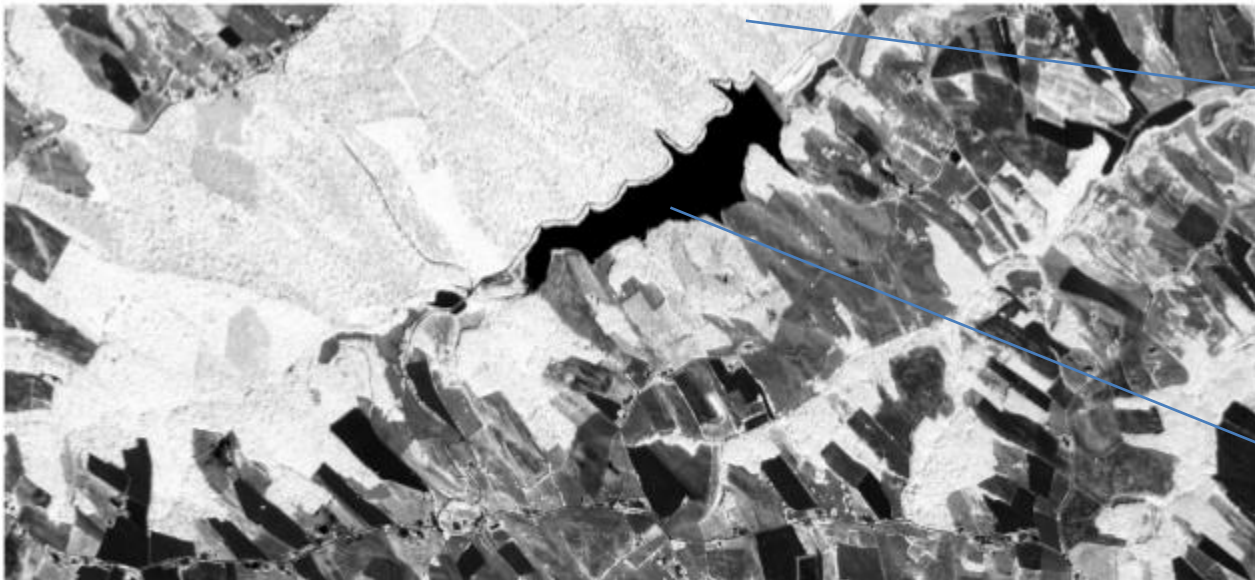
- l'activité photosynthétique
- La biomasse
- La surface foliaire (LAI)
- La fraction du couvert végétal



RGB



NDVI



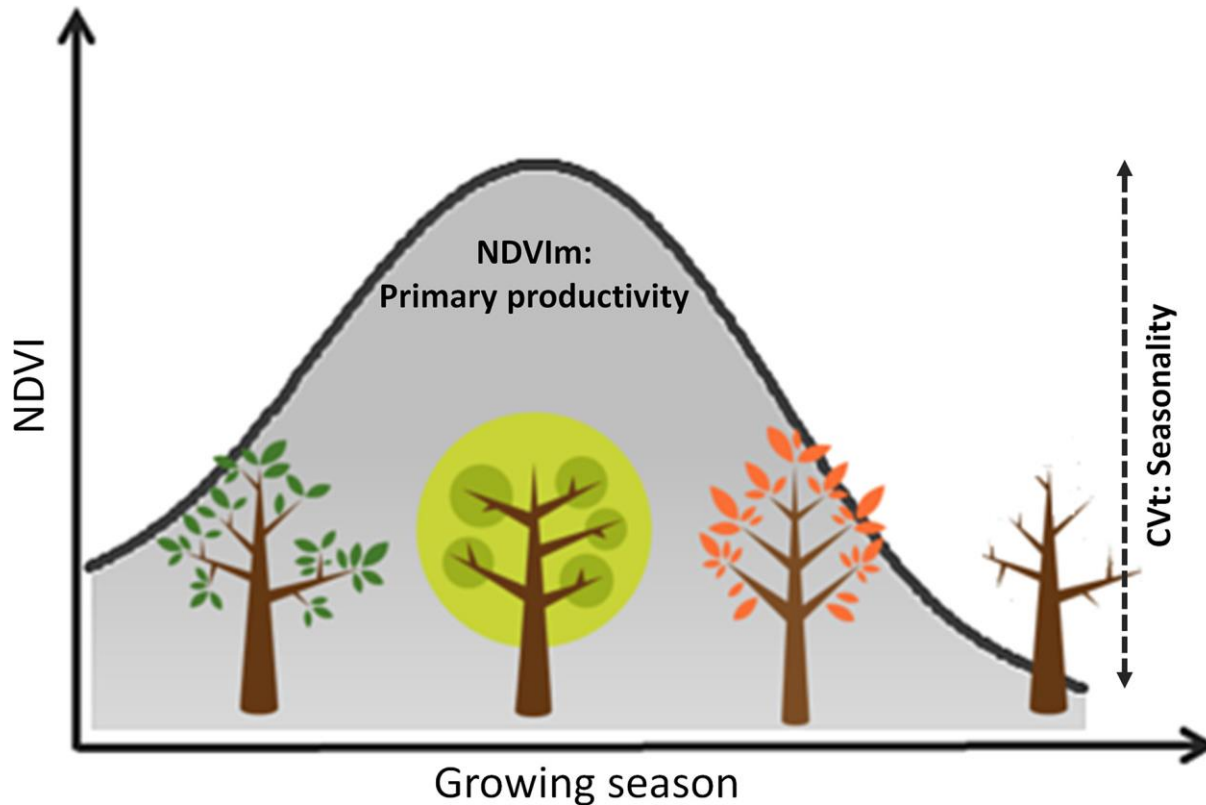
Mise en évidence de la végétation (NDVI > 2)

Et de l'eau ! (NDVI < 0)

# Indice NDVI

Normalized Difference Vegetation Index

Informe aussi sur la saisonnalité  
avec une série temporelle



# Indice NDVI

Normalized Difference Vegetation Index

Informe aussi sur la saisonnalité  
avec une série temporelle

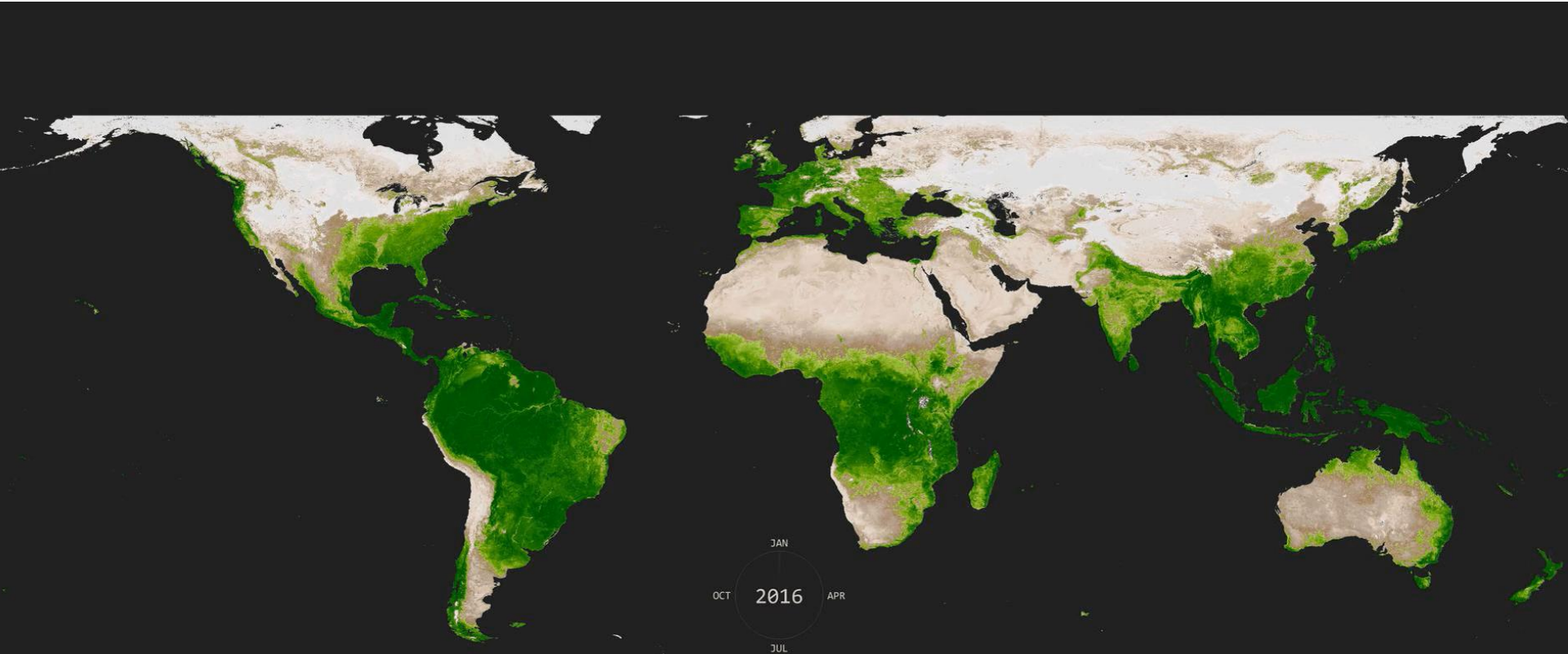


Sentinel-hub



# Indice NDVI

Normalized Difference Vegetation Index



Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)  
Collected by MODIS on NASA's Terra Satellite

Imagery Products: MODIS Science Team  
Data: NASA MODIS Vegetation Indices (MOD13C1)  
Source Code: [www.github.com/aaronpenne](http://www.github.com/aaronpenne)  
GIF: Aaron Penne © 2018

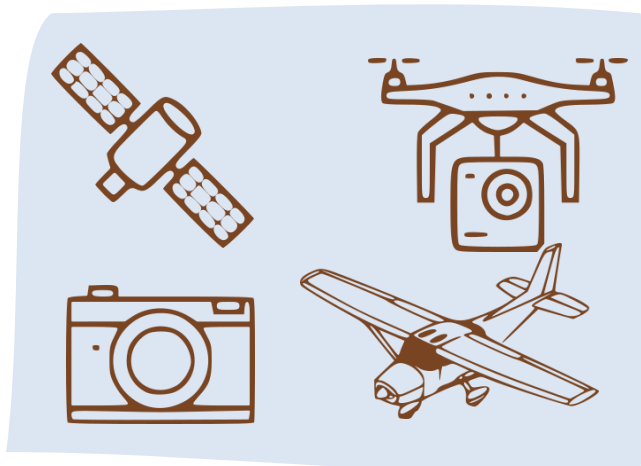




# Déroulé du cours

1. Domaines d'application
2. Rayonnement - interaction avec la matière
  1. Onde électromagnétique et signature spectrale
  2. Interaction avec la matière
  3. Processus d'acquisition
3. Image numérique de télédétection
  1. Qu'est ce qu'une image
  2. Compromis des capteurs
  3. Colorisation des images
4. **Traitements numériques**
  1. Calcul d'indices
  2. Classification
  3. Post-traitements

# CAPTEUR



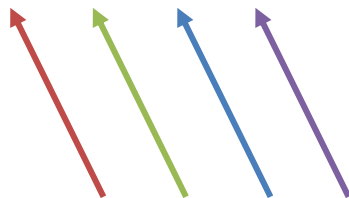
# TRAITEMENTS

## Données

244	172	164	92	0				
208	14	233	213	223	3	175		
153	17	197	69	39	171	175		
73	12	63	30	222	2	106	241	65
238	20	10	138	137	85	197	255	207
193	20	88	189	135	163	94	97	188
203	14	98	255	201	224	204	176	23
125	20	221	226	201	224	204	176	23
35	37	255	160	220	190	4	68	164
22	15	129	165	144	89	242	166	182
204	22	93	112	153	137	67	72	52
110	23	118	146	152	29	176		
		122	164	203	19	148	104	55
		189	115	177	56	128	5	172
				106	214	238	178	76



## Rayonnement



## RESULTATS - ANALYSES

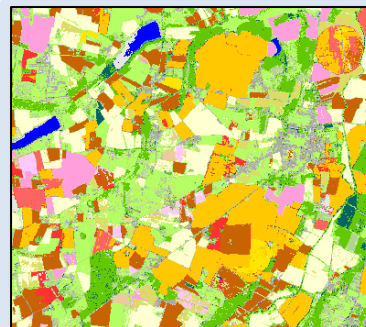
## PROCESSUS – OBJET D’ETUDE



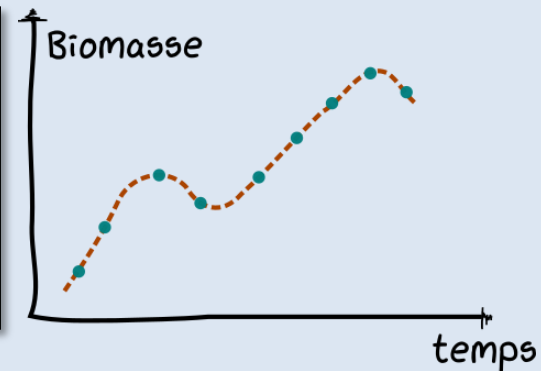
Saisons



Croissance des plantes



Cartes



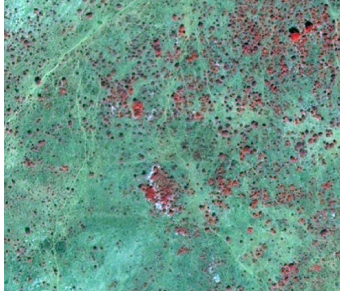
Mesure variable d'intérêt



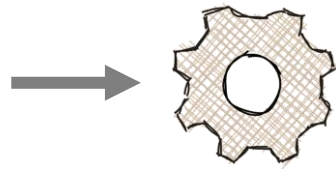
# Principe général de la classification

---

Image



Entraînement d'un modèle  
(SVM, RF, ...)



Règles  
décisions

Application  
du modèle

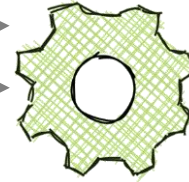
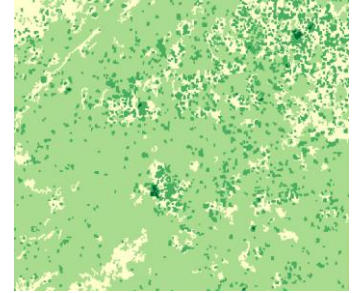


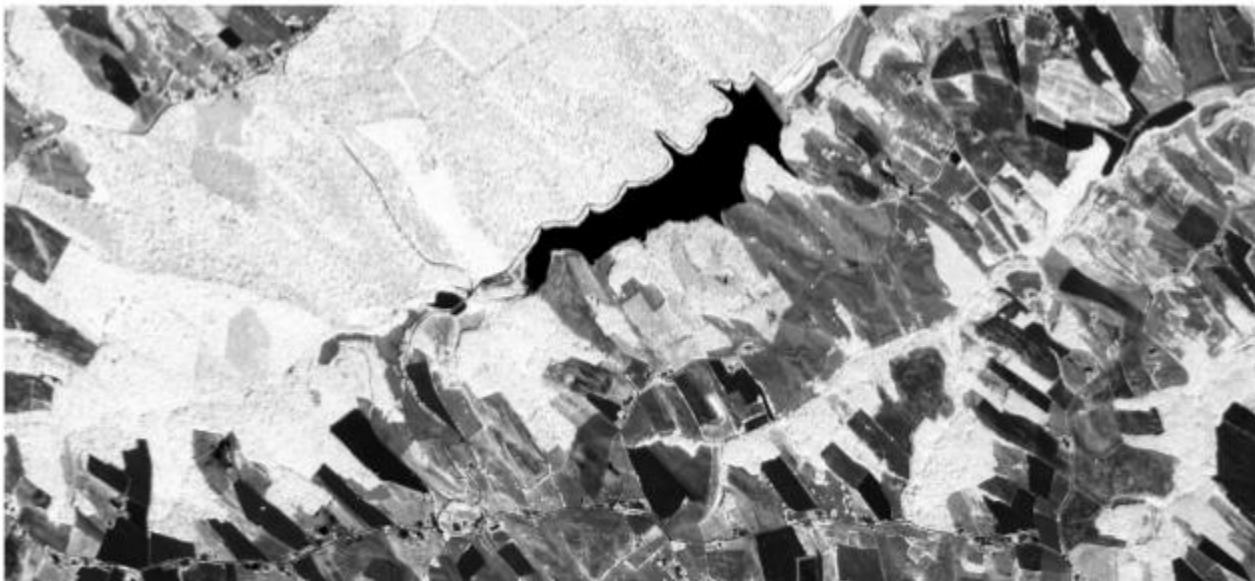
Image classée



RGB



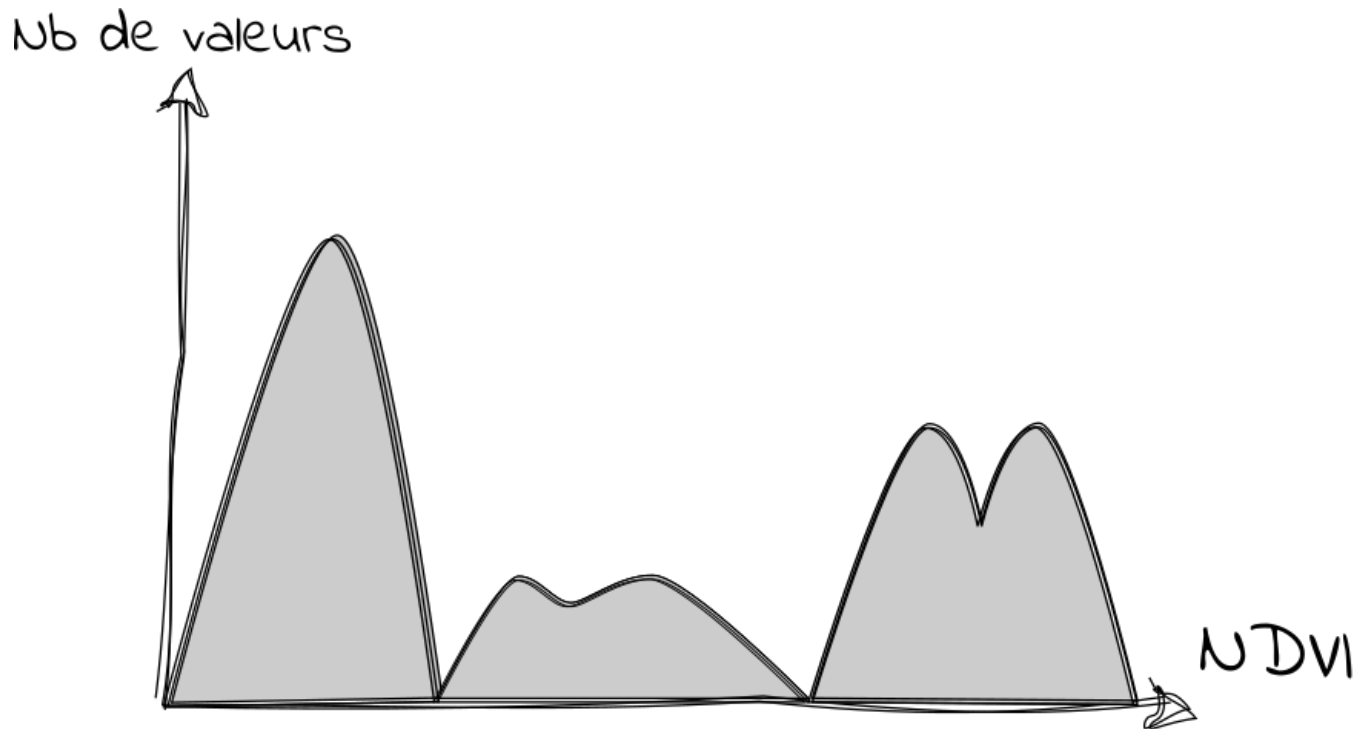
NDVI



# Classification non supervisée et classes spectrales

## Histogramme 1D

---

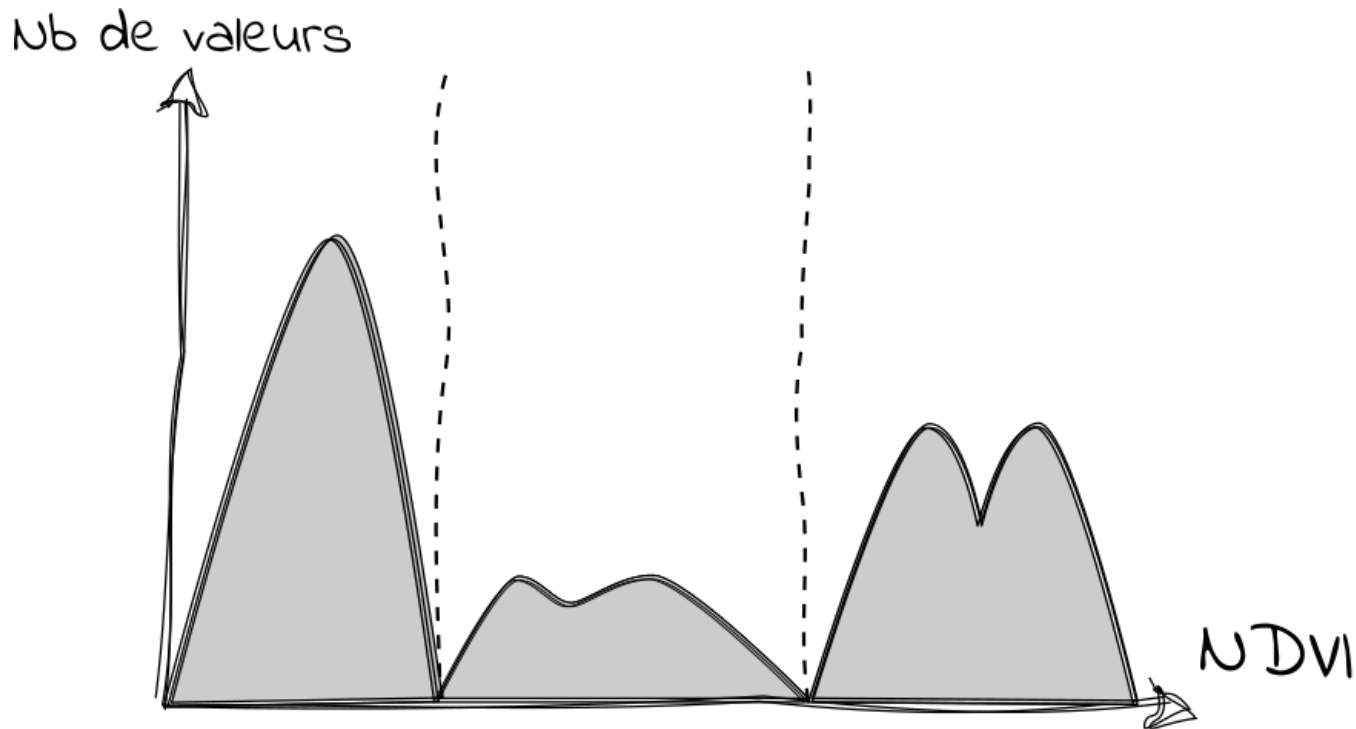


Combien de classes spectrales ?

# Classification non supervisée et classes spectrales

## Histogramme 1D

---

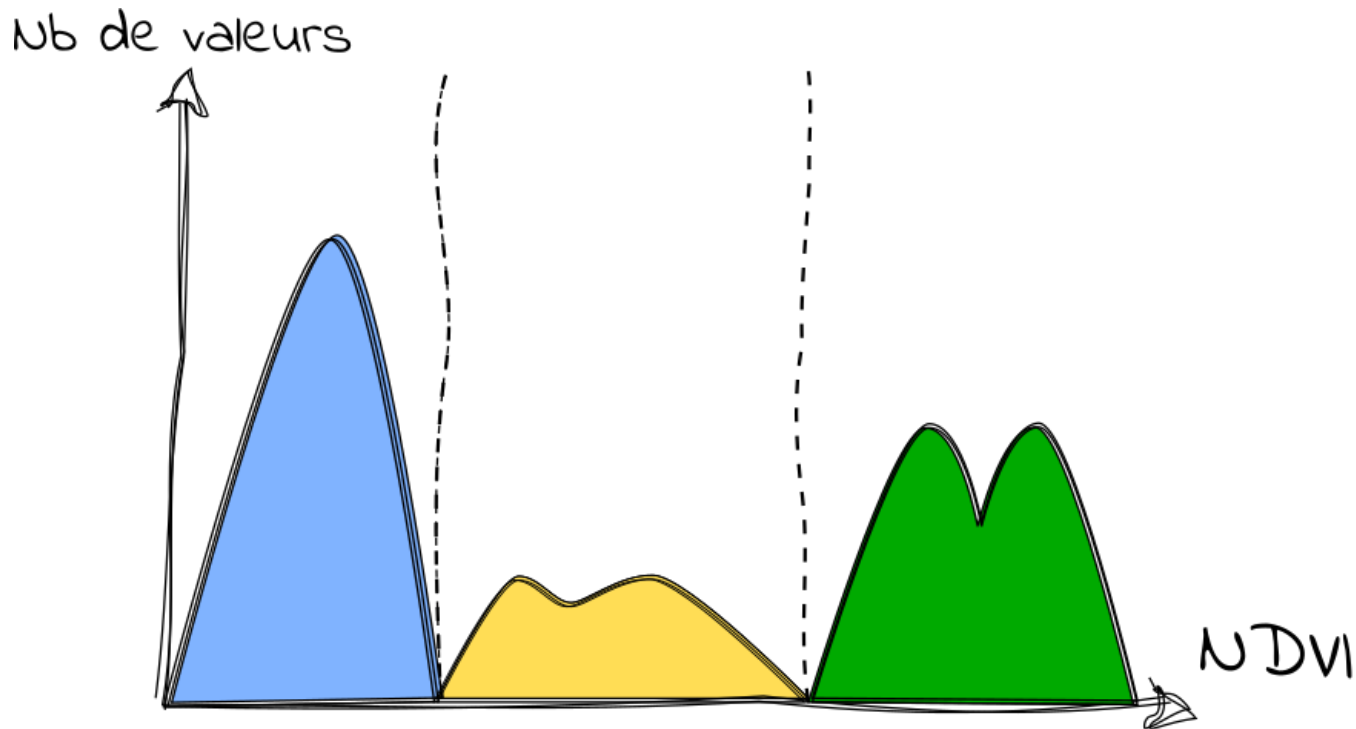


Combien de classes spectrales ?

# Classification non supervisée et classes spectrales

## Histogramme 1D

---



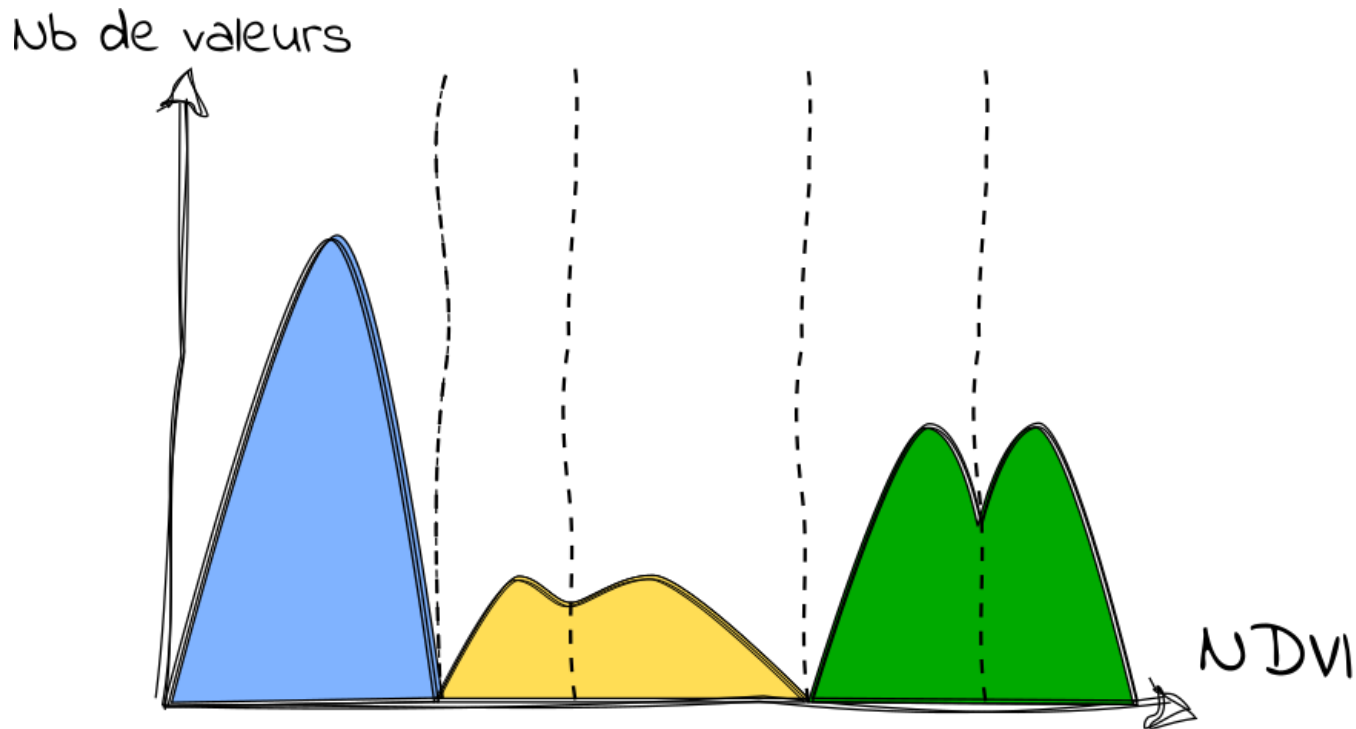
Trois classes spectrales ?



# Classification non supervisée et classes spectrales

## Histogramme 1D

---

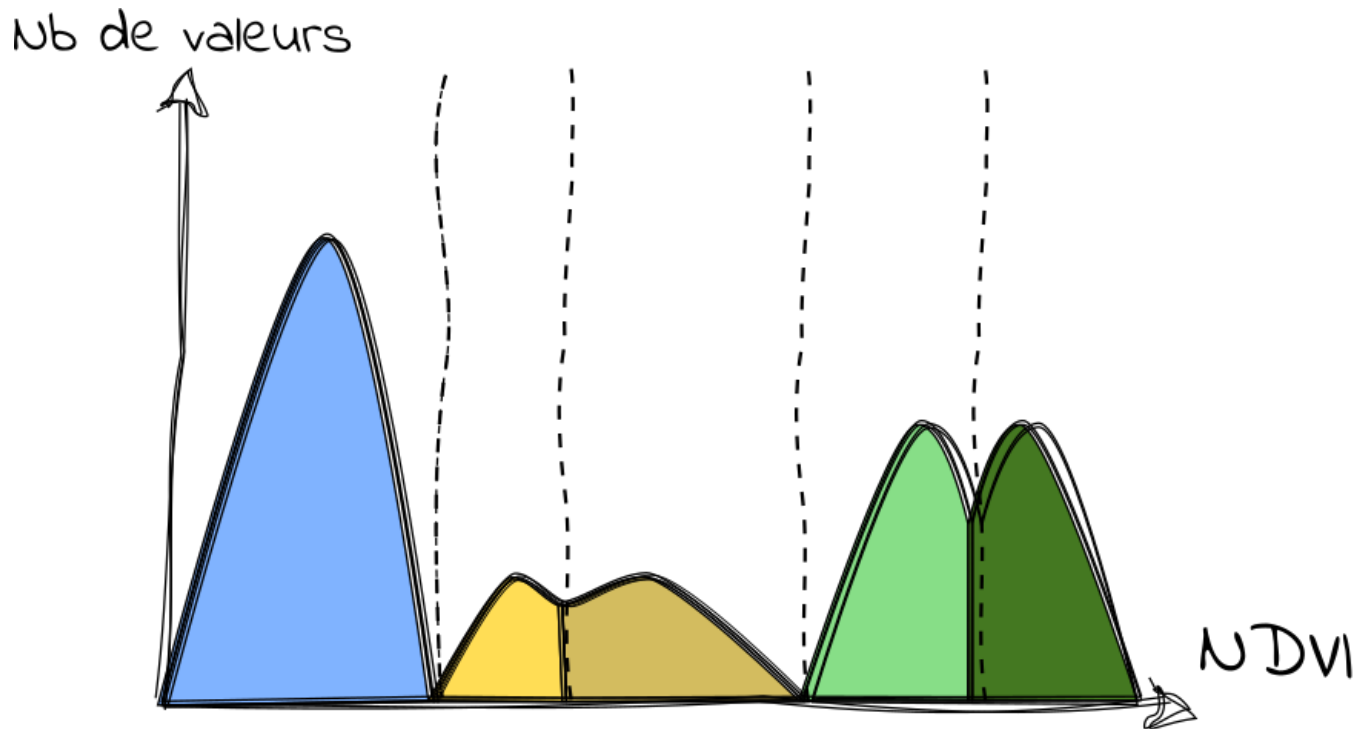


Trois classes spectrales ?

# Classification non supervisée et classes spectrales

## Histogramme 1D

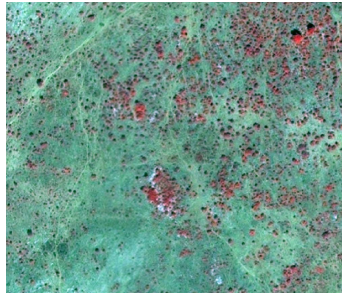
---



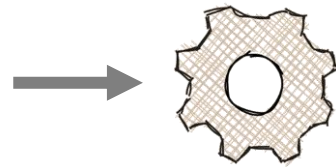
Cinq classes spectrales ?

# Principe général de la classification

Image



Entraînement d'un modèle  
(SVM, RF, ...)



Règles  
décisions

Application  
du modèle

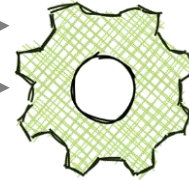
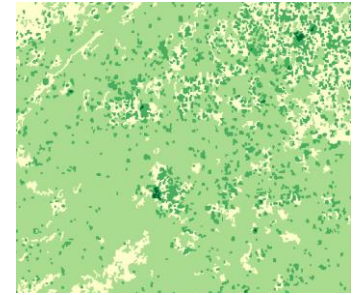


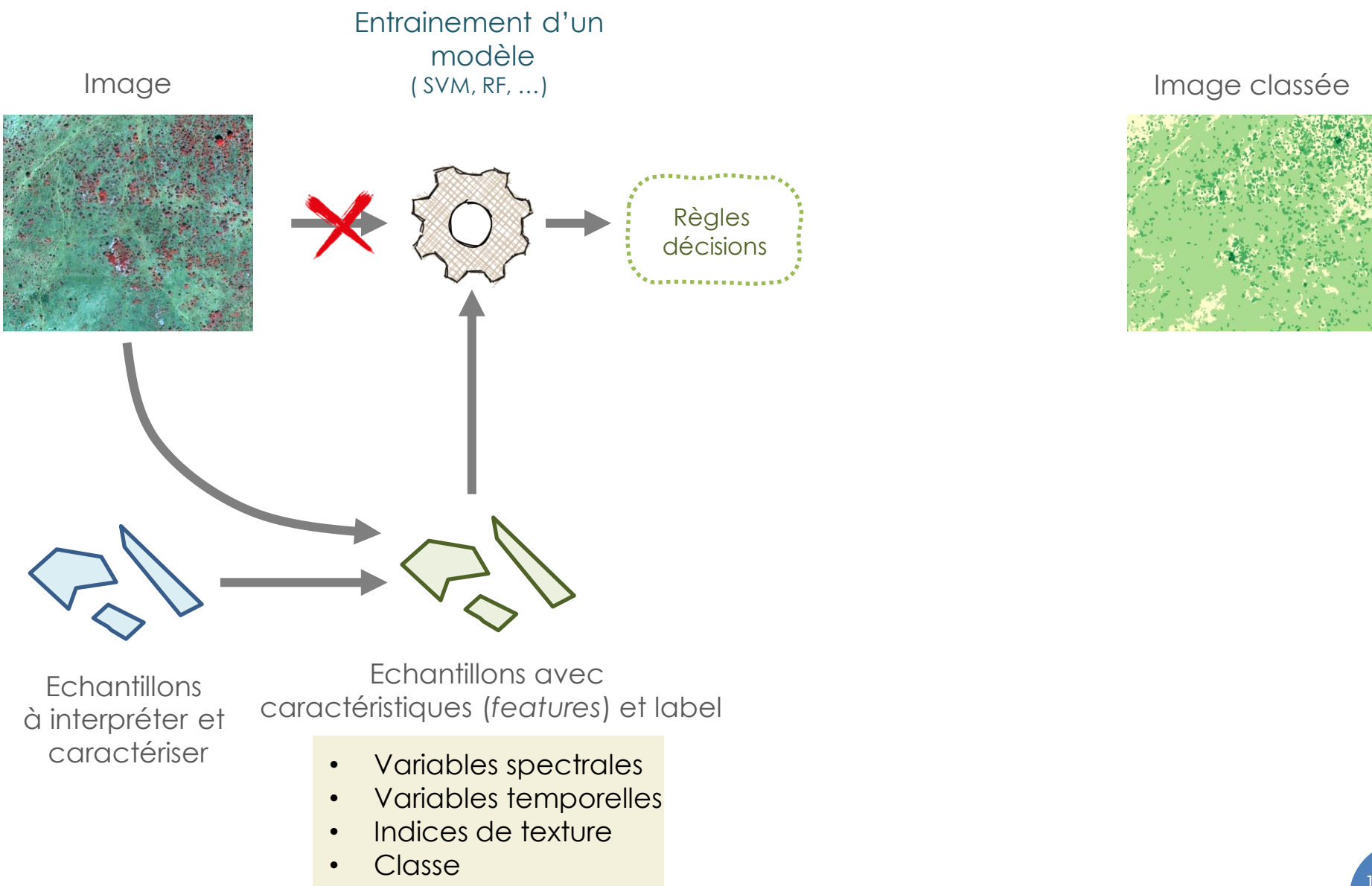
Image classée



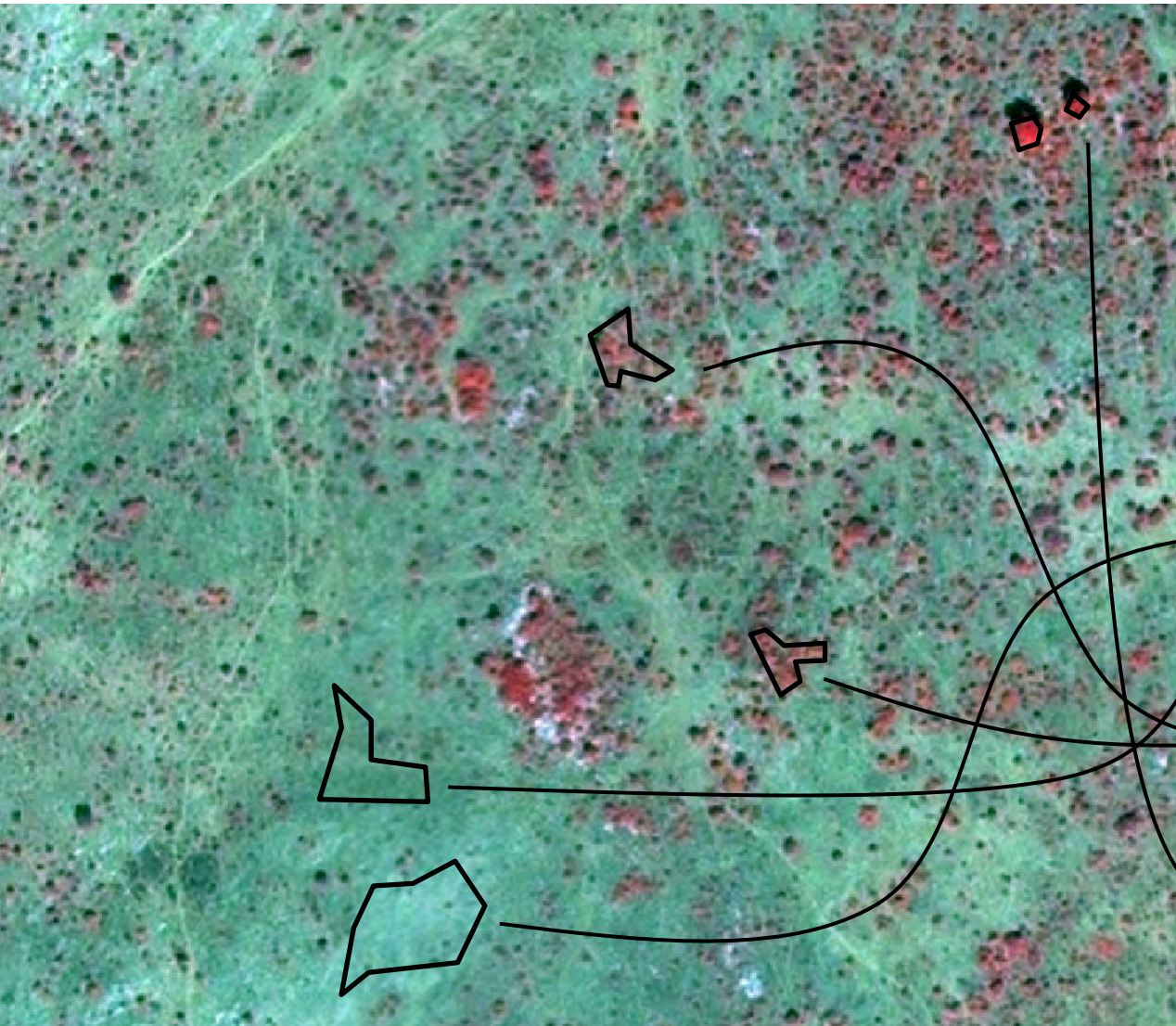
## Non supervisée

- Classes thématiques inconnues *a priori*
- Nb de classe à déterminer
- Règles expertes ou déterminées de manière automatique (clustering), sans données labélisées
- Interprétation des classes *a posteriori*

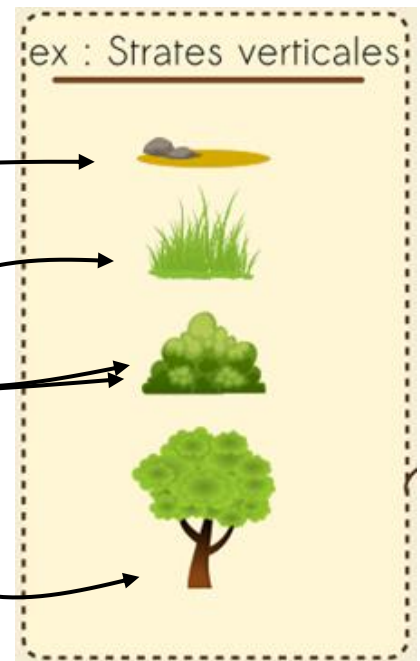
# Principe général de la classification



# Échantillonnage

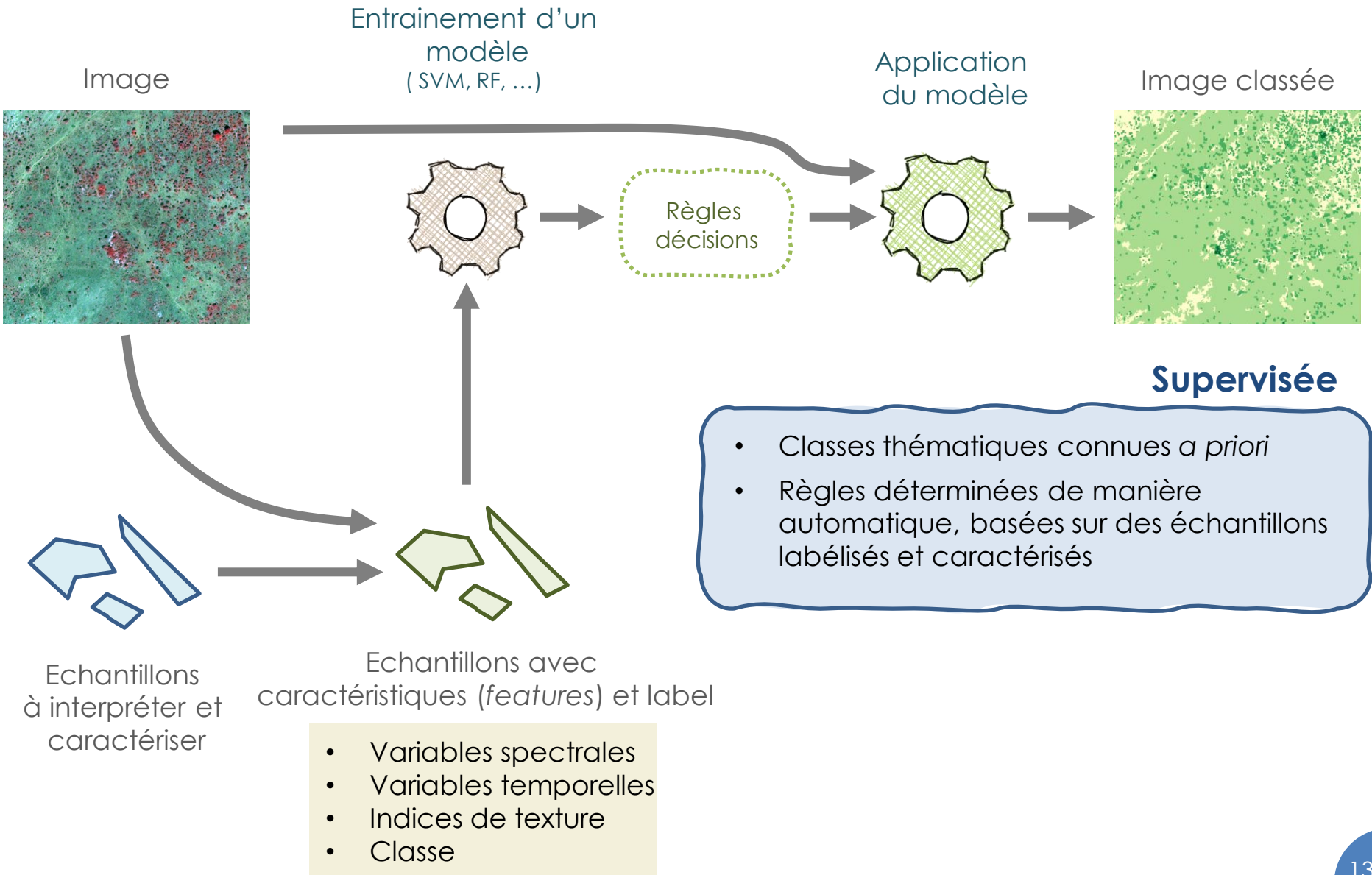


Echantillons





# Principe général de la classification



Entrainement d'un modèle  
(SVM, RF, ...)

Application du modèle

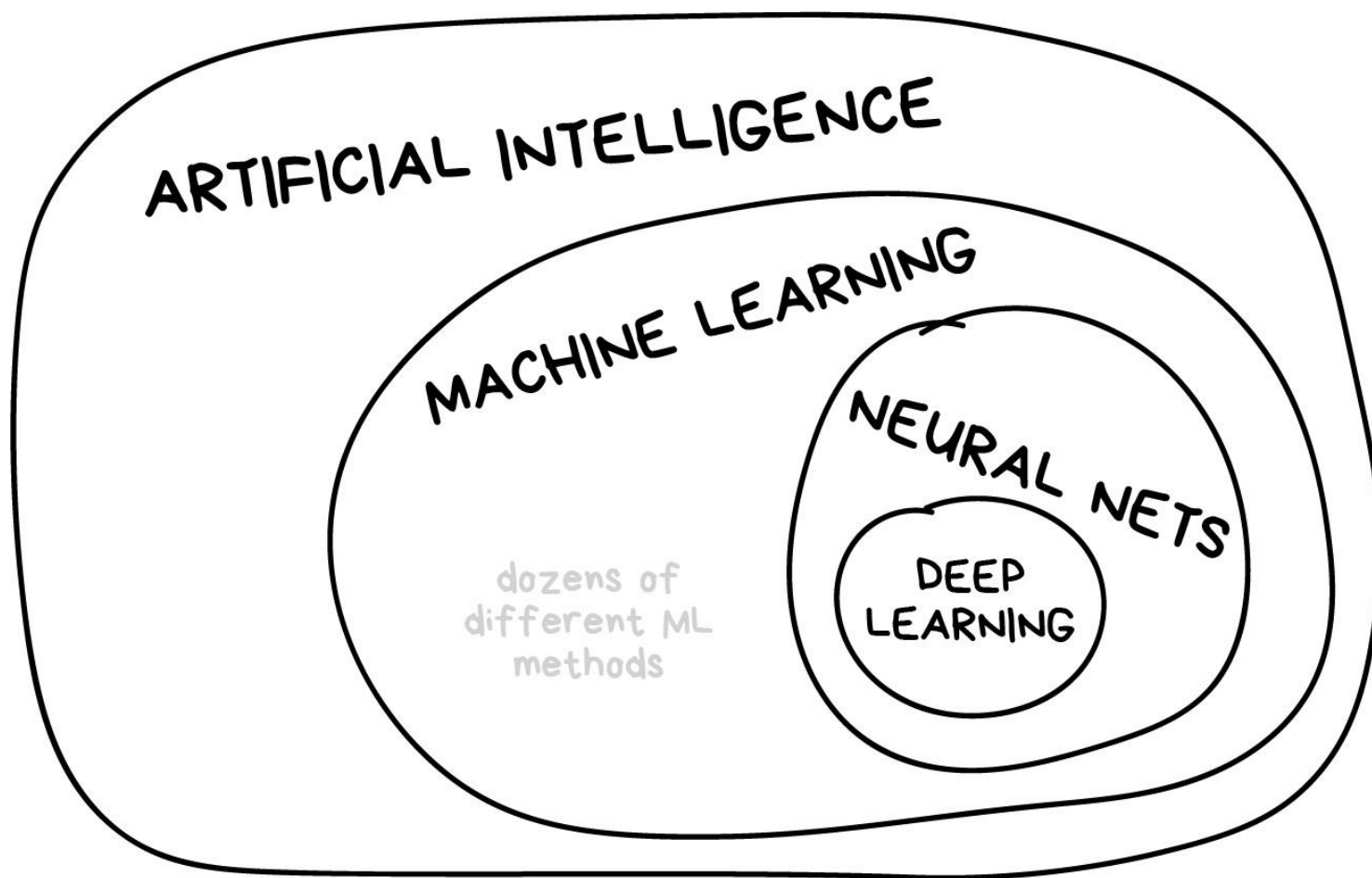
Image classée

Règles décisions

## Supervisée

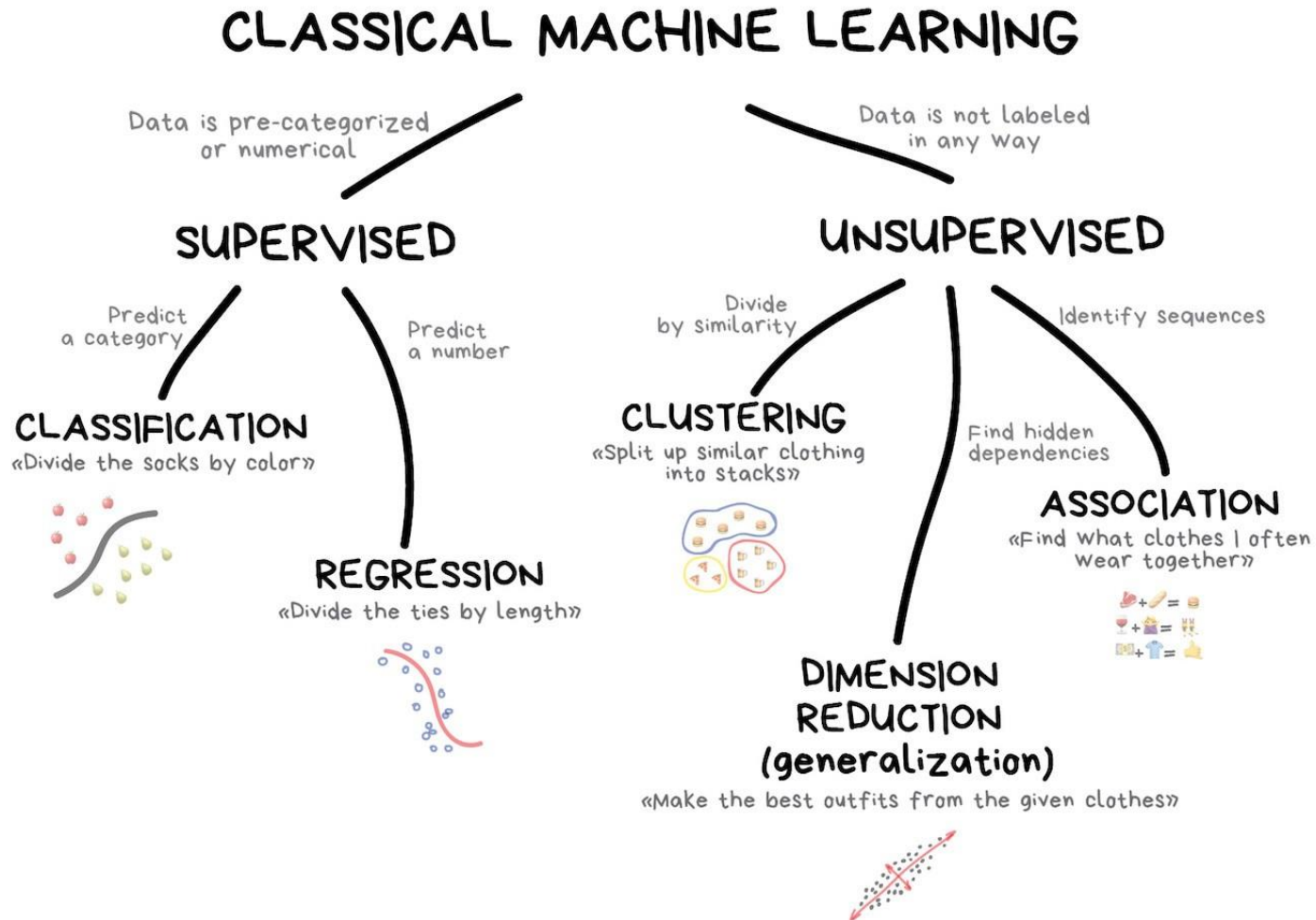
- Classes thématiques connues *a priori*
- Règles déterminées de manière automatique, basées sur des échantillons labélisés et caractérisés

- Variables spectrales
- Variables temporelles
- Indices de texture
- Classe



(Source : noeliagorod)

# Approche supervisée vs non supervisée

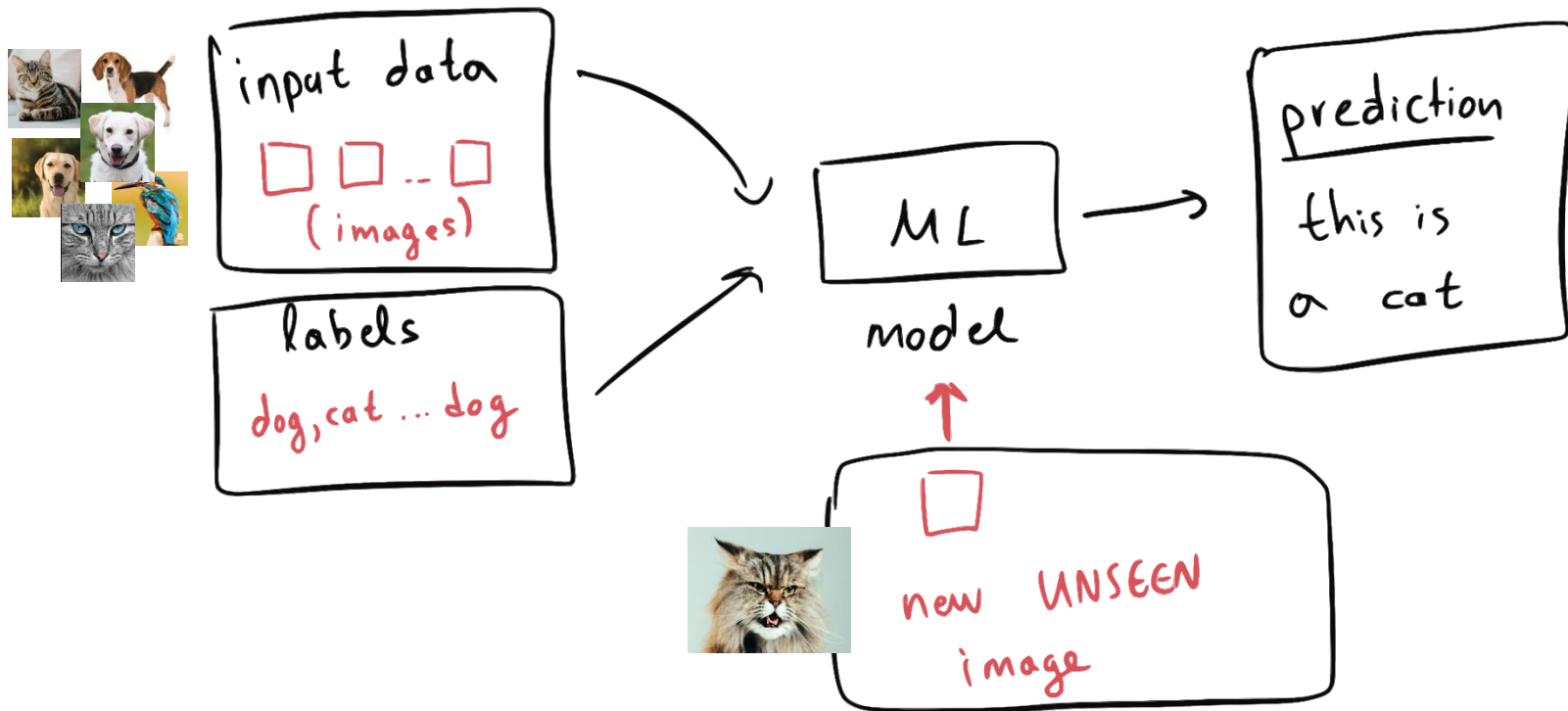


(Source : noeliagorod)

# Approche supervisée vs non supervisée

---

## Supervised learning



S.L.

(Source : noeliagorod)

# Approche supervisée vs non supervisée

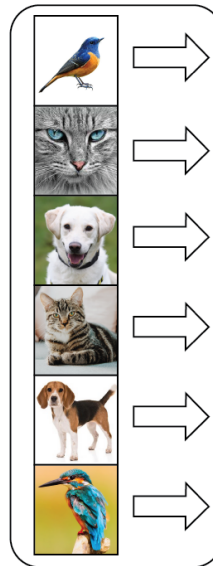
## Supervised learning



input data  
□ □ ... □  
(images)

labels  
dog, cat ... dog

Raw data

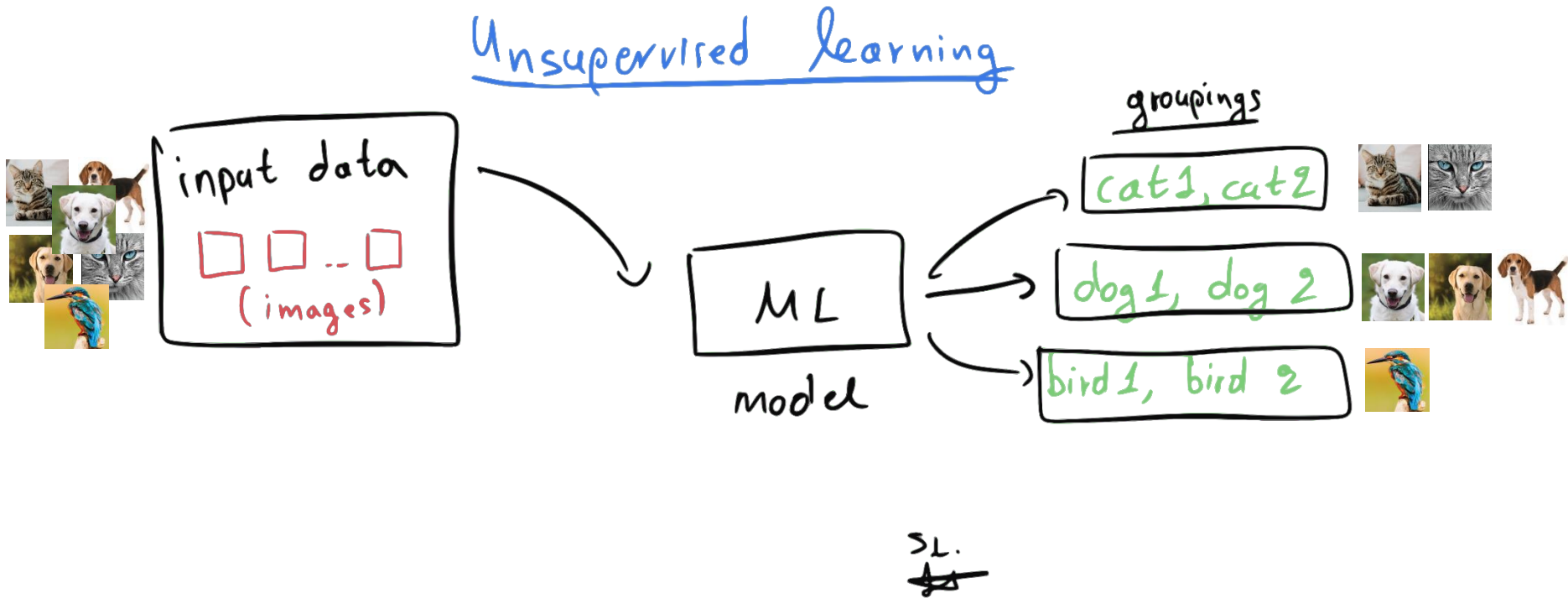


Variables discriminantes	Classe à apprendre
Feature vectors	Labels
(12, 20, 25, 50, ..., 90)	=> Bird
(34, 25, 21, 87, ..., 50)	=> Cat
(42, 18, 16, 76, ..., 65)	=> Dog
(35, 87, 27, 50, ..., 30)	=> Cat
(34, 21, 25, 30, ..., 70)	=> Dog
(32, 20, 20, 70, ..., 23)	=> Bird

(Source : noeliagorod)



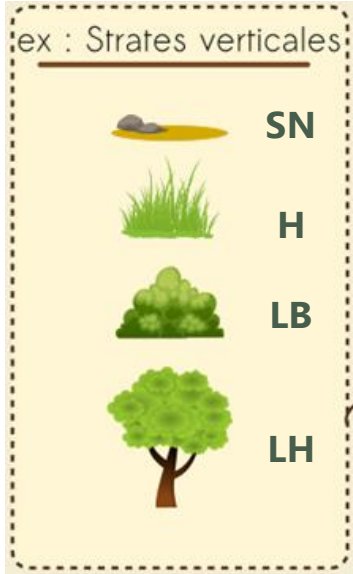
# Approche supervisée vs non supervisée



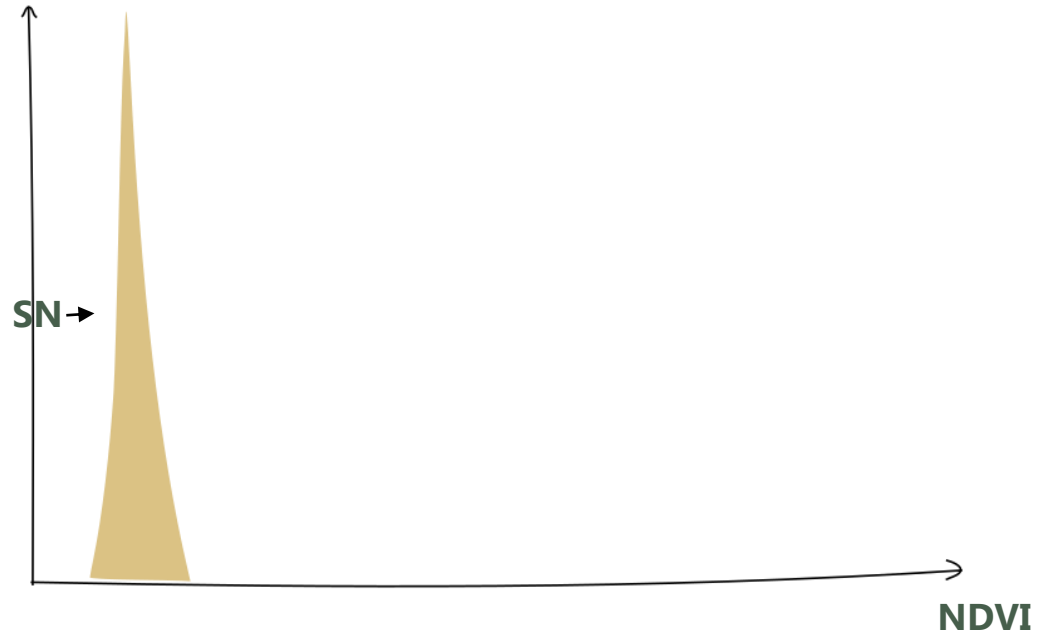
(Source : noeliagorod)

# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

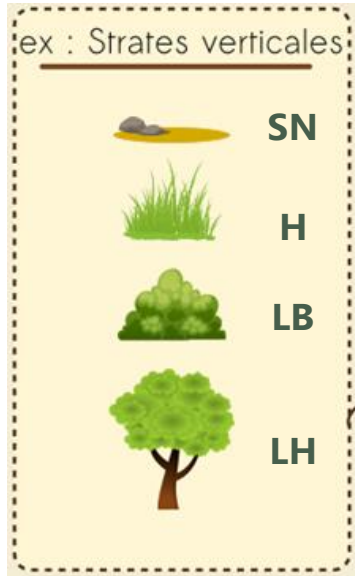
---



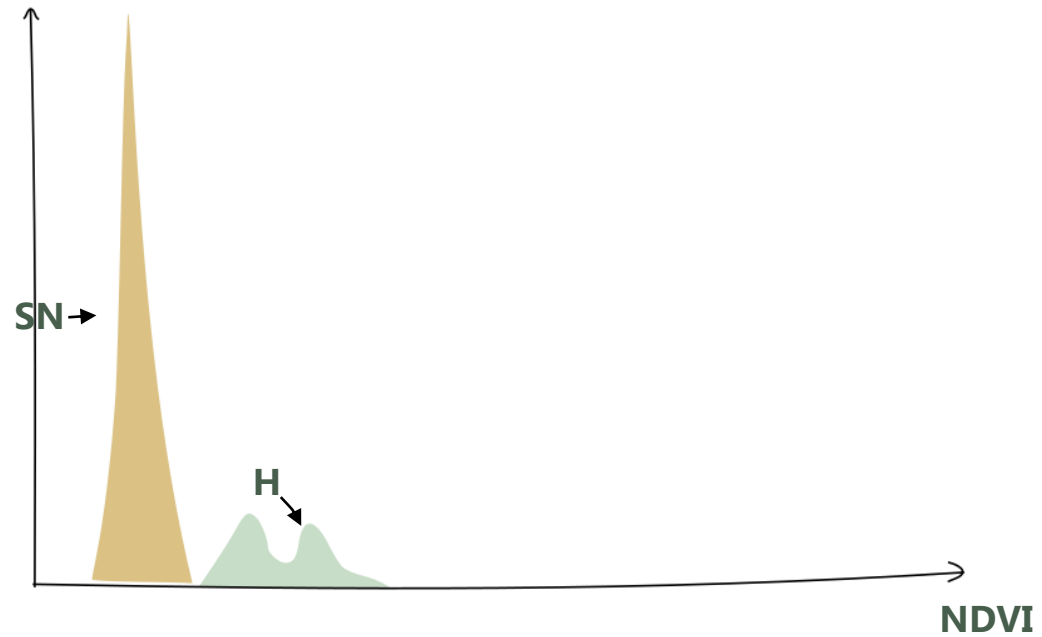
Fréquence



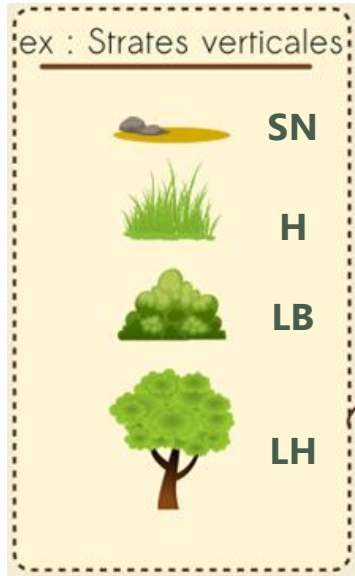
# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes



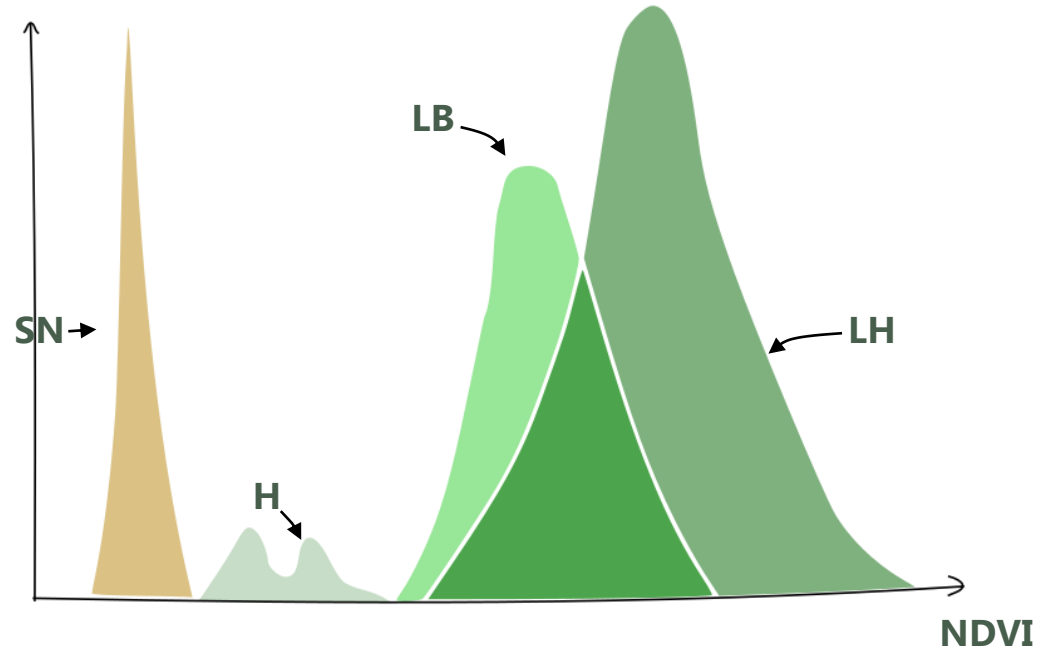
Fréquence



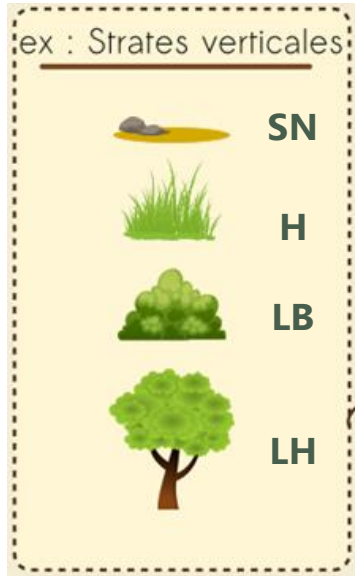
# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes



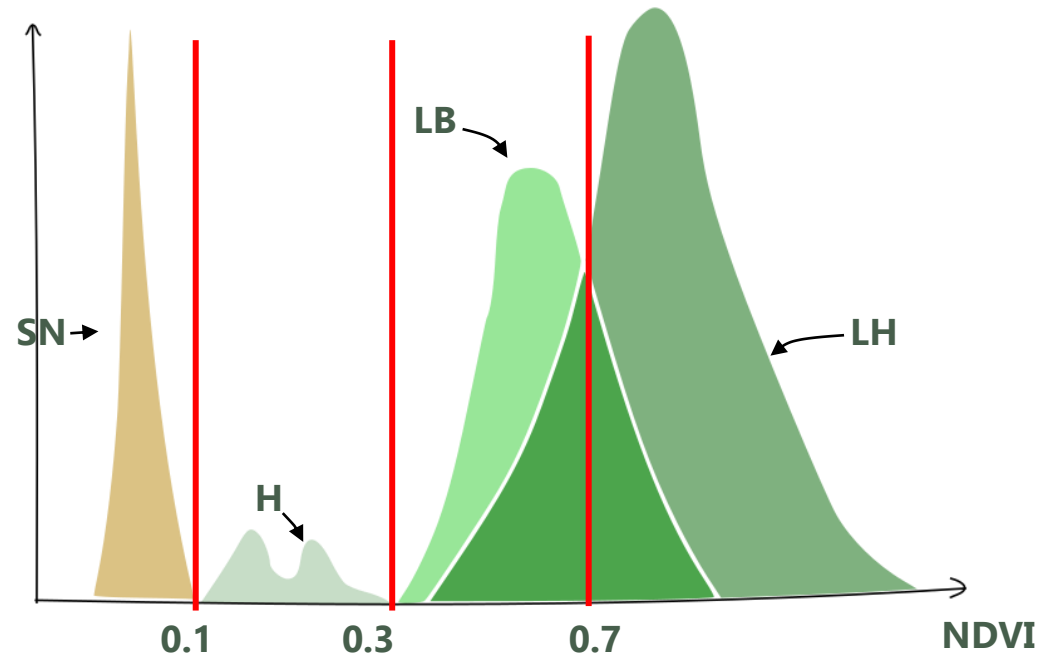
Fréquence



# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

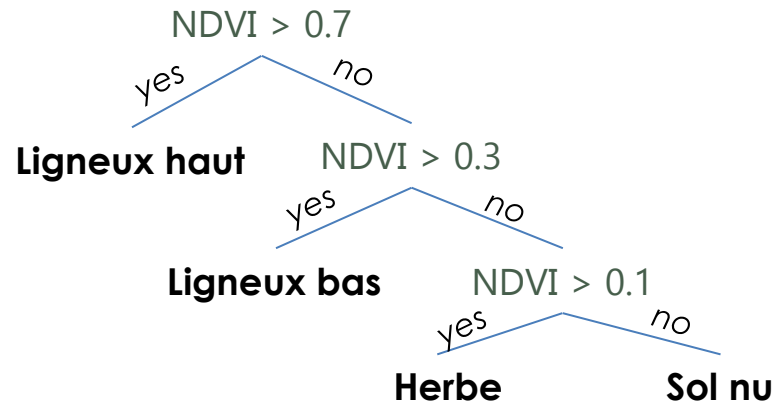


Fréquence



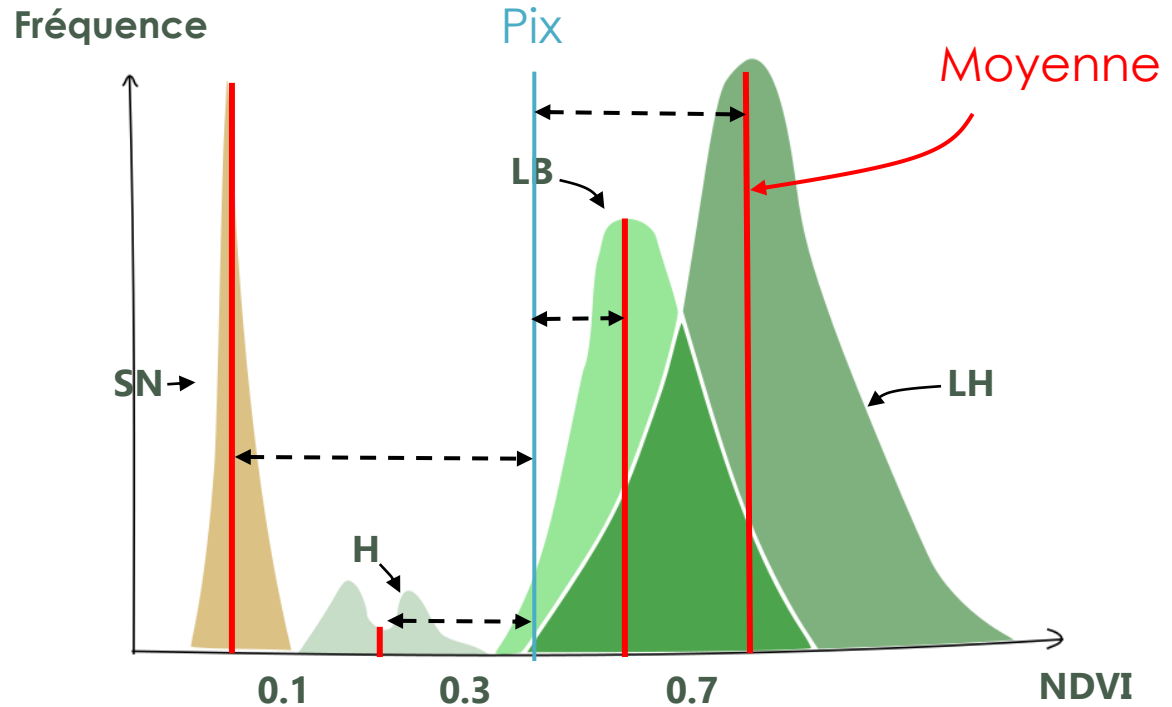
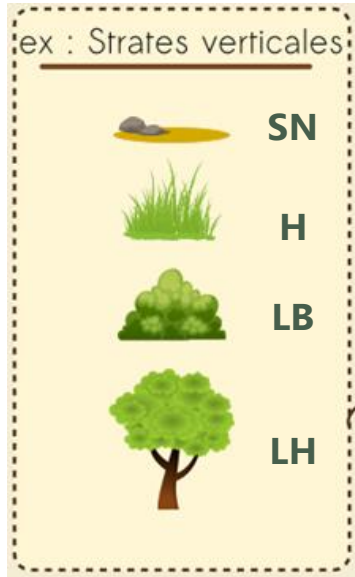
Quelles règles de décision utiliser pour classer ?

## 1) Arbre de décision





# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes



Quelles règles de décision utiliser pour classer ?

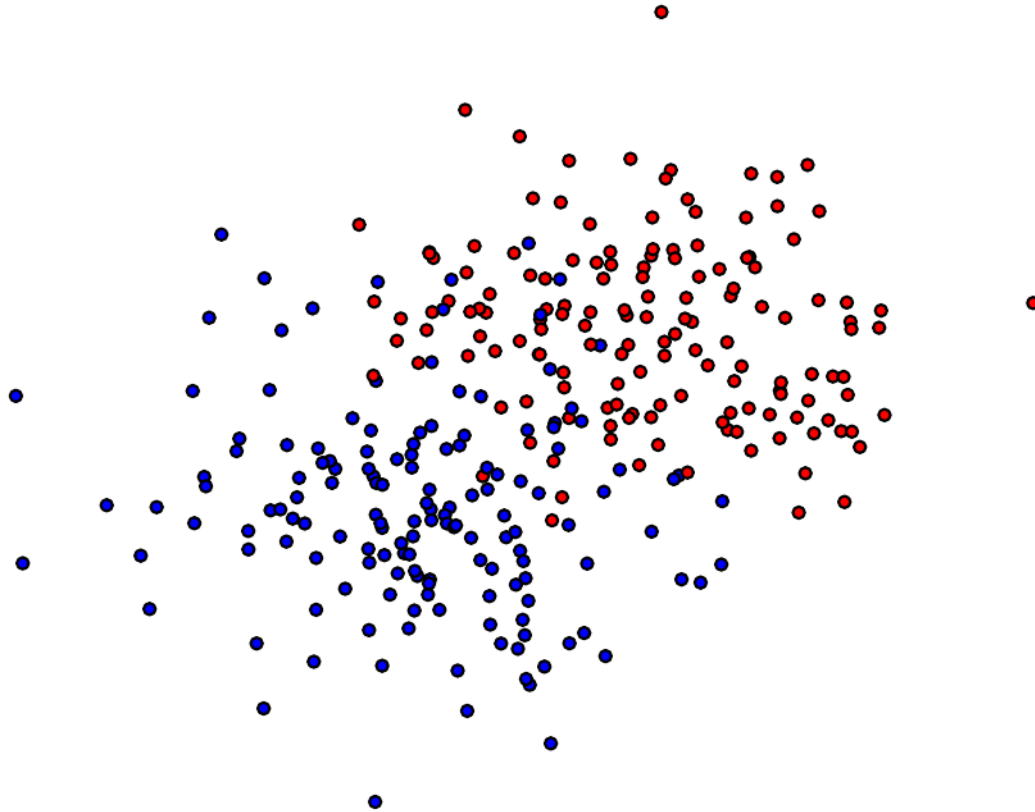
## 2) Distance à la moyenne

	$  \text{NDVI moyen} - \text{Pix}  $	Distance min
	$  \text{NDVI moyen} - \text{Pix}  $	
	$  \text{NDVI moyen} - \text{Pix}  $	
	$  \text{NDVI moyen} - \text{Pix}  $	

# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

---

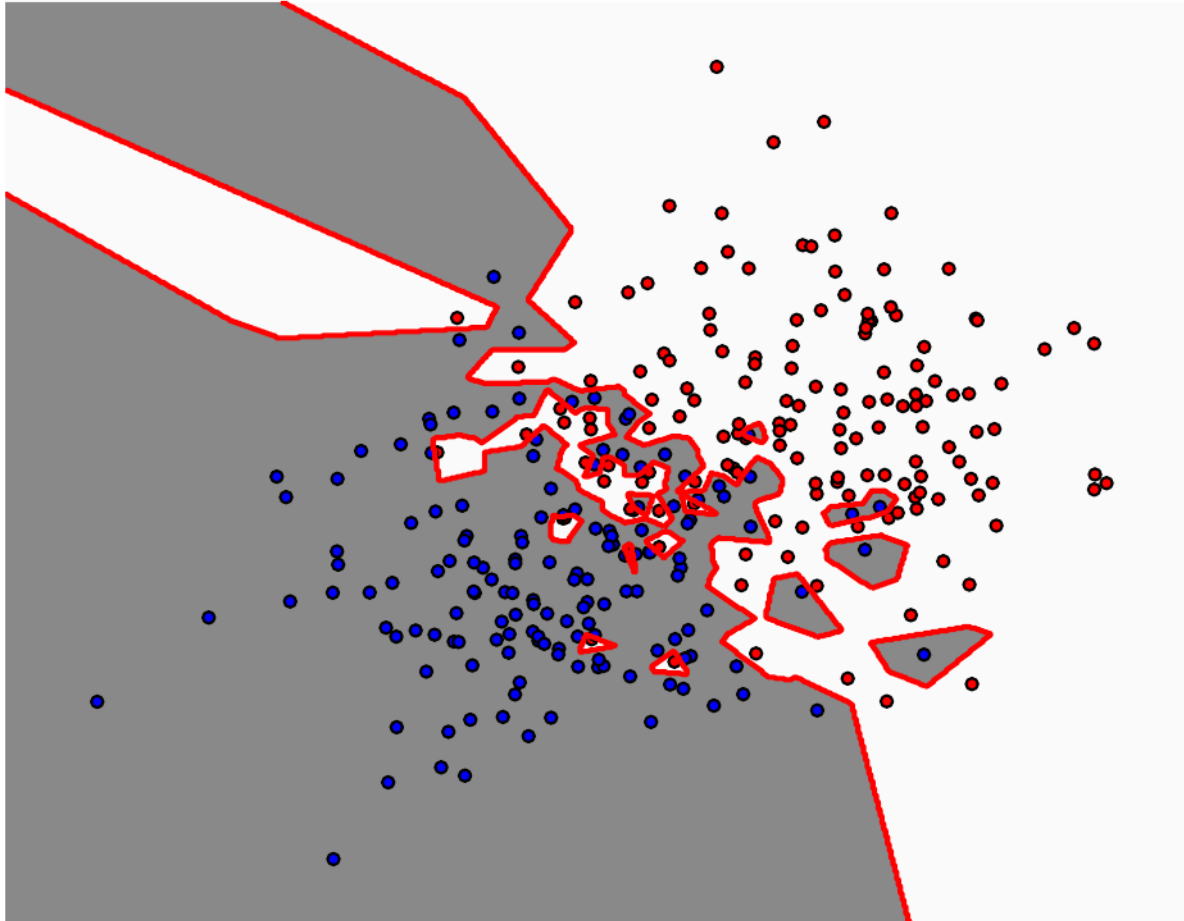
k-NN



# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

---

k-NN

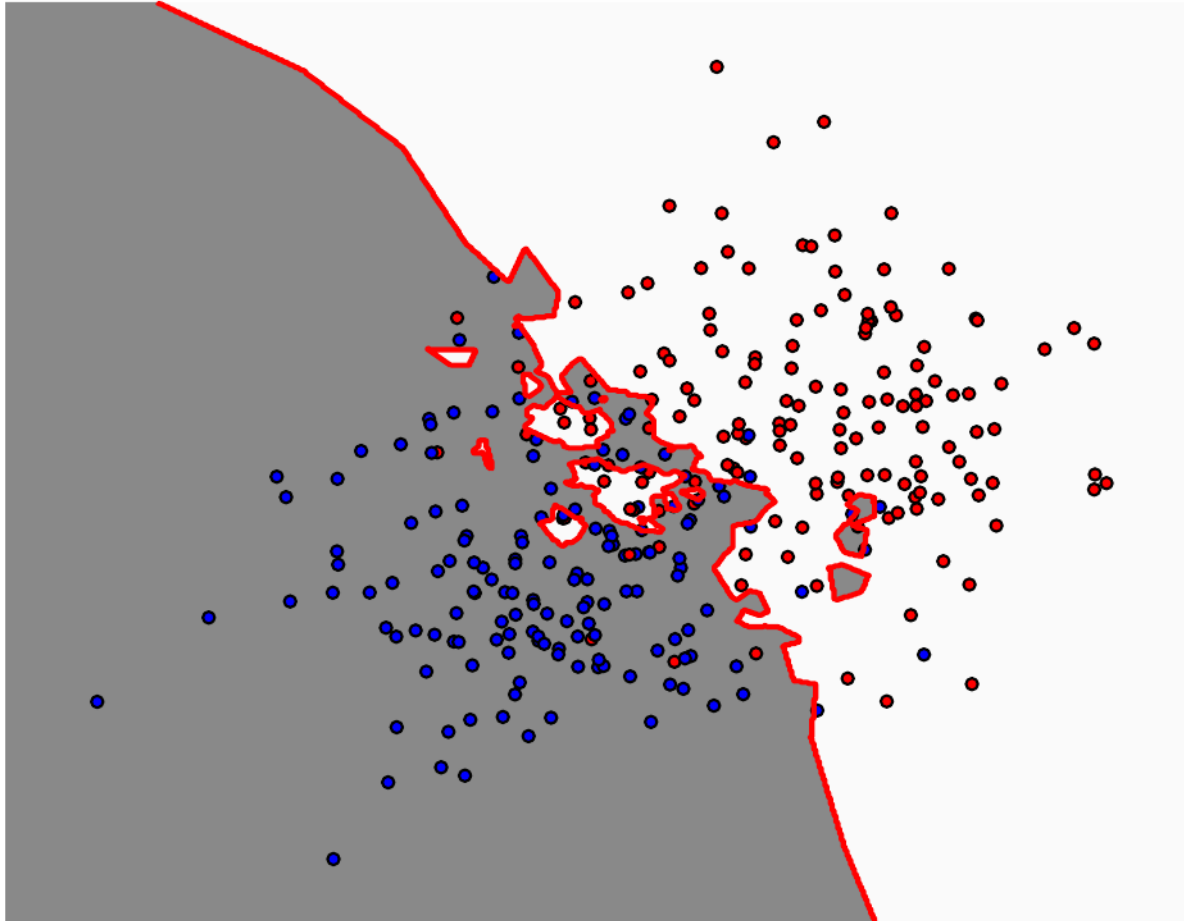


Nombre de voisins : 1

# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

---

k-NN

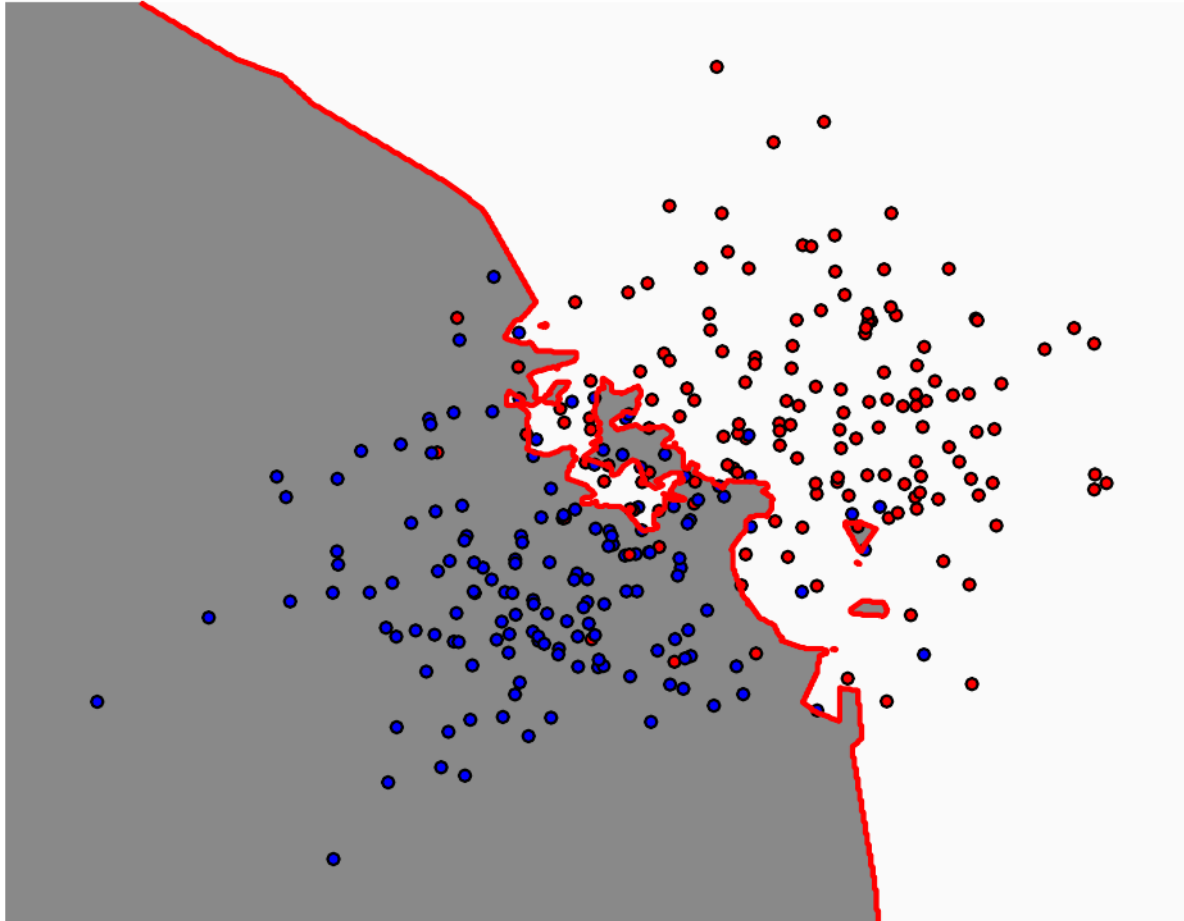


**Nombre de voisins : 3**

# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

---

k-NN

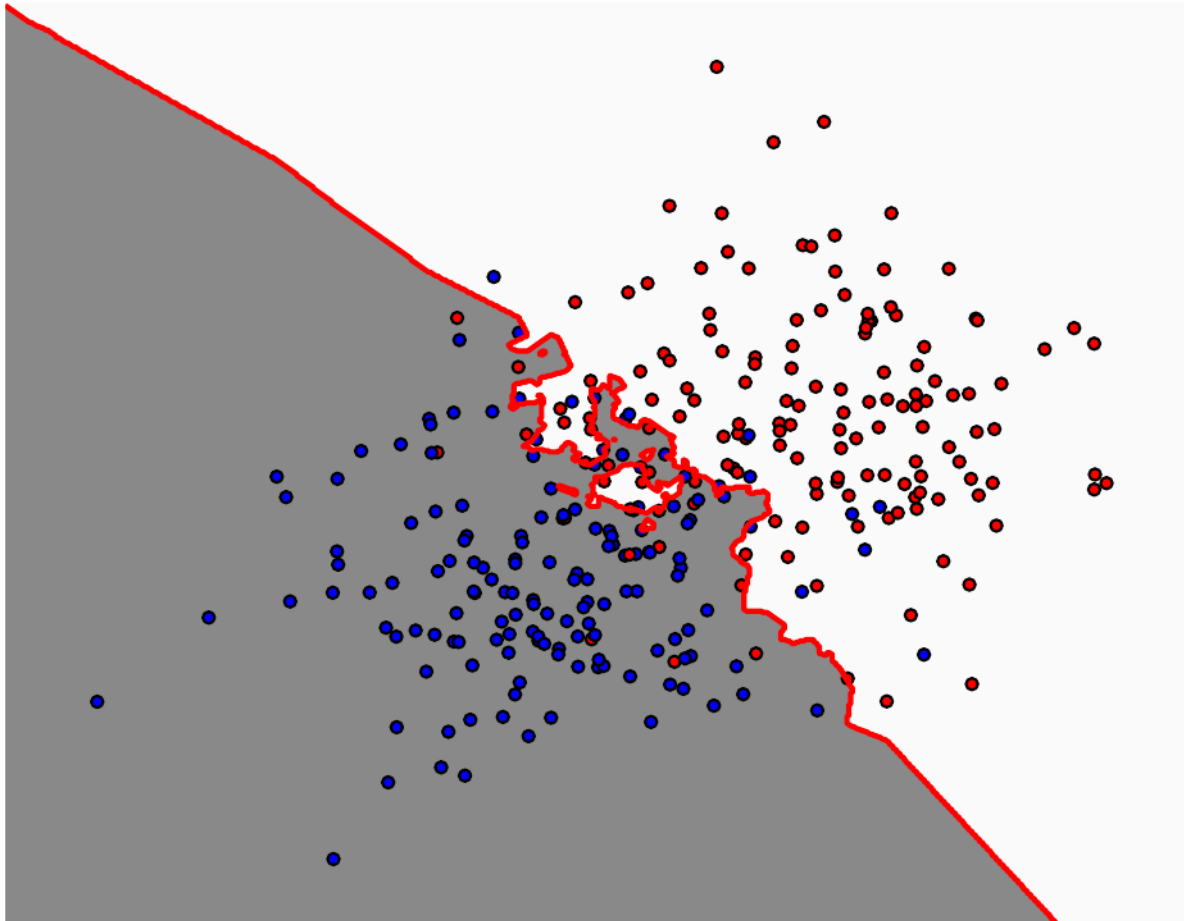


Nombre de voisins : 5

# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

---

k-NN



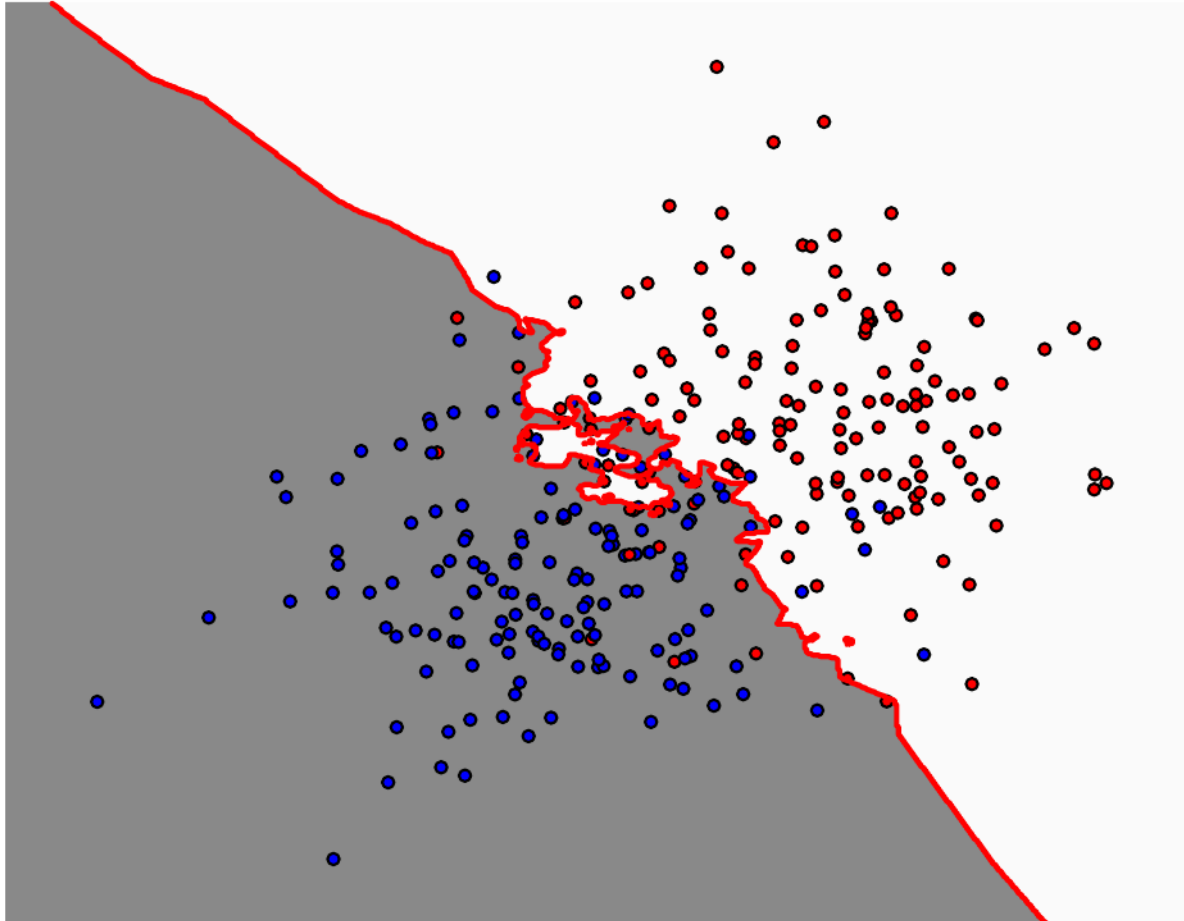
Nombre de voisins : 7



# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

---

k-NN

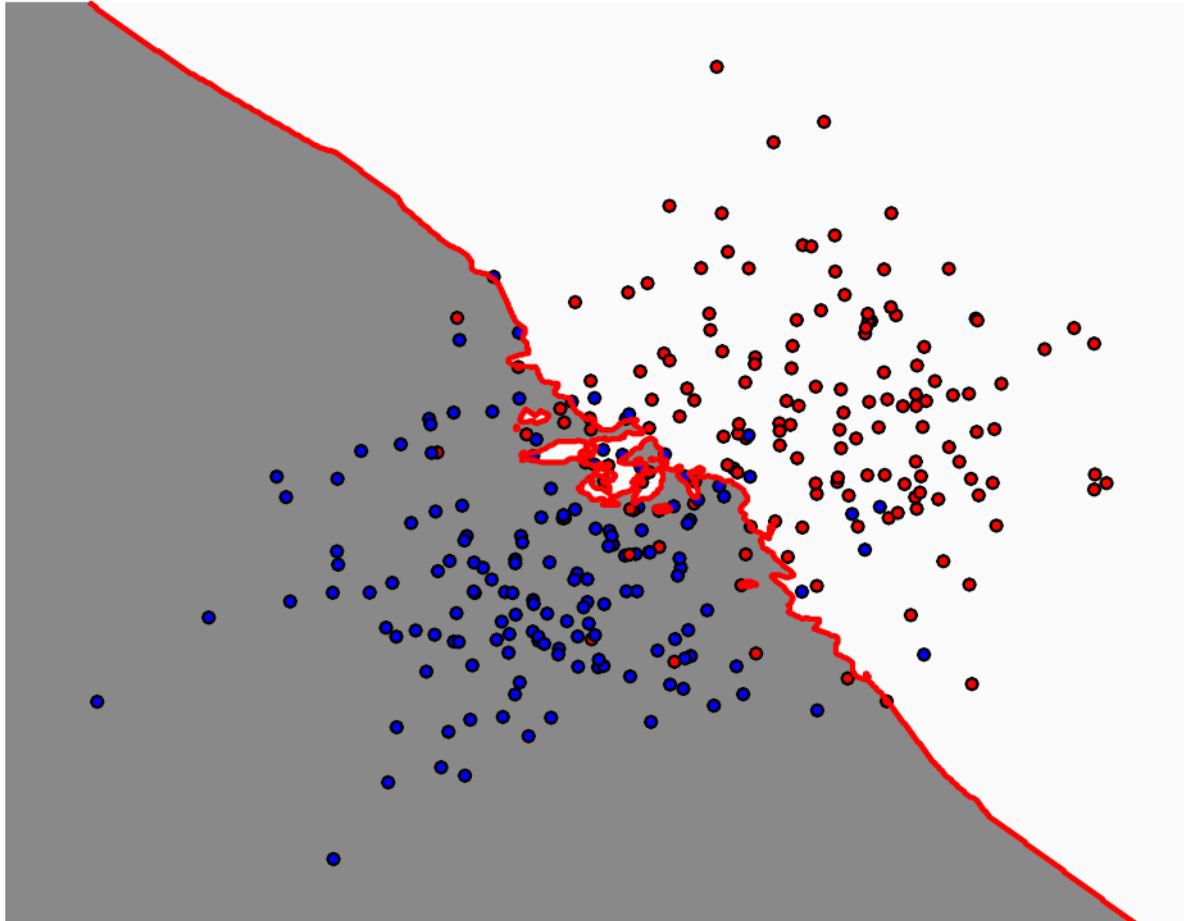


Nombre de voisins : 11

# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

---

k-NN

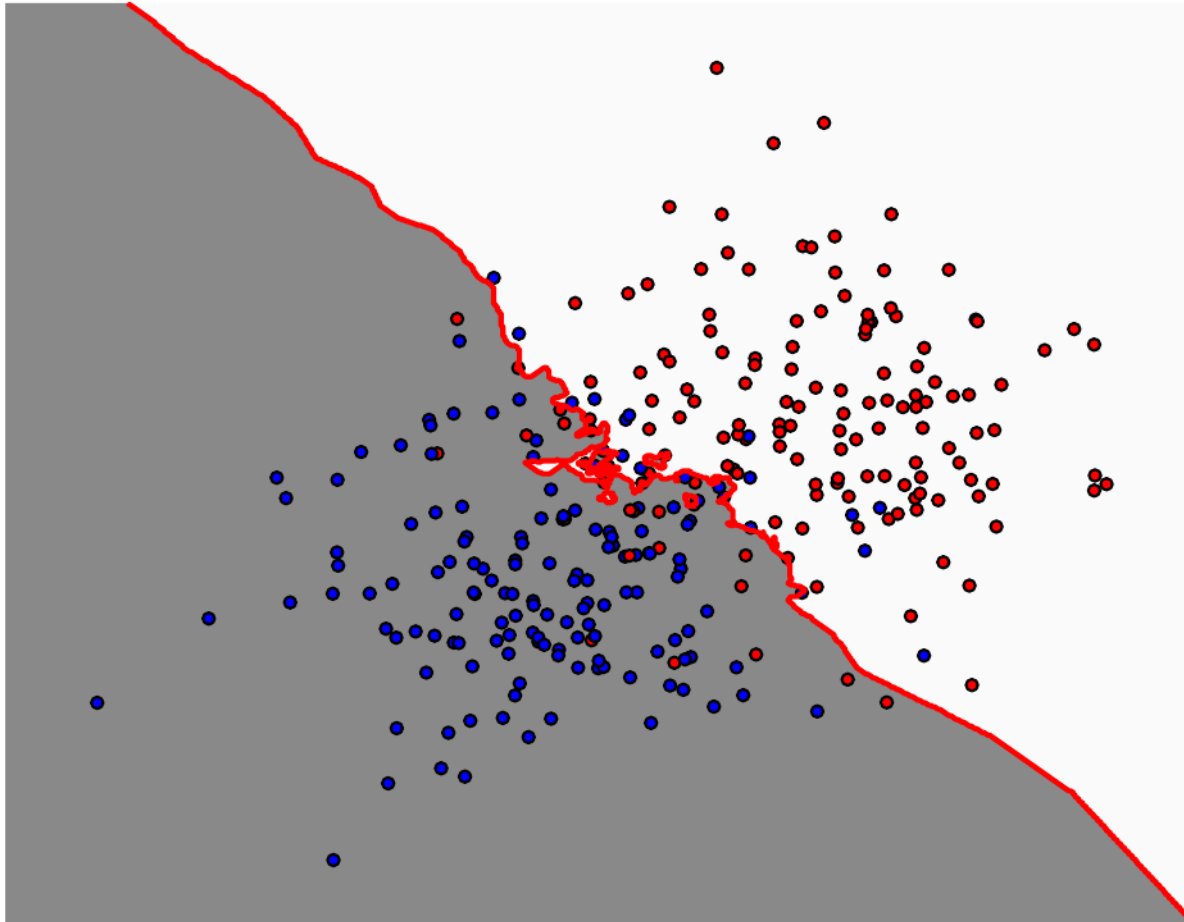


Nombre de voisins : 15

# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

---

k-NN

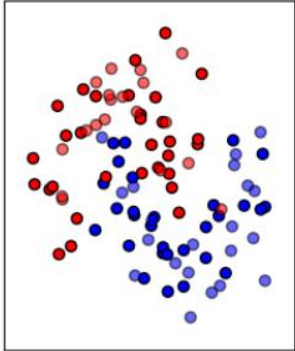


Nombre de voisins : 19

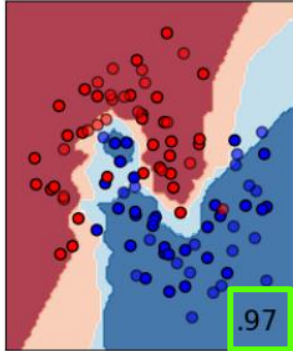
# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes

---

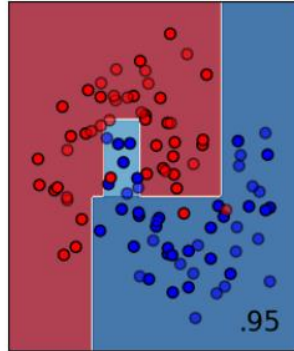
Input data



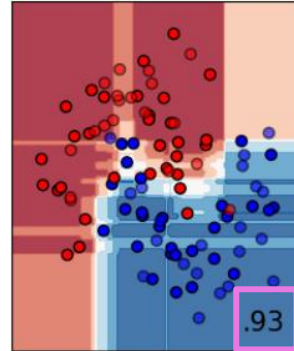
Nearest Neighbors



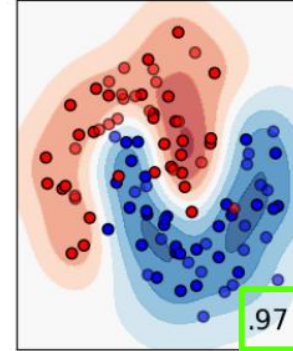
Decision Tree



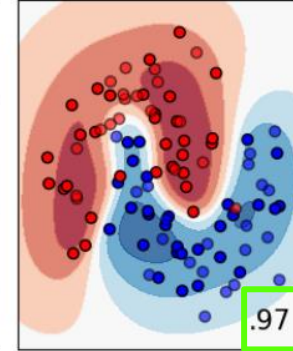
Random Forest



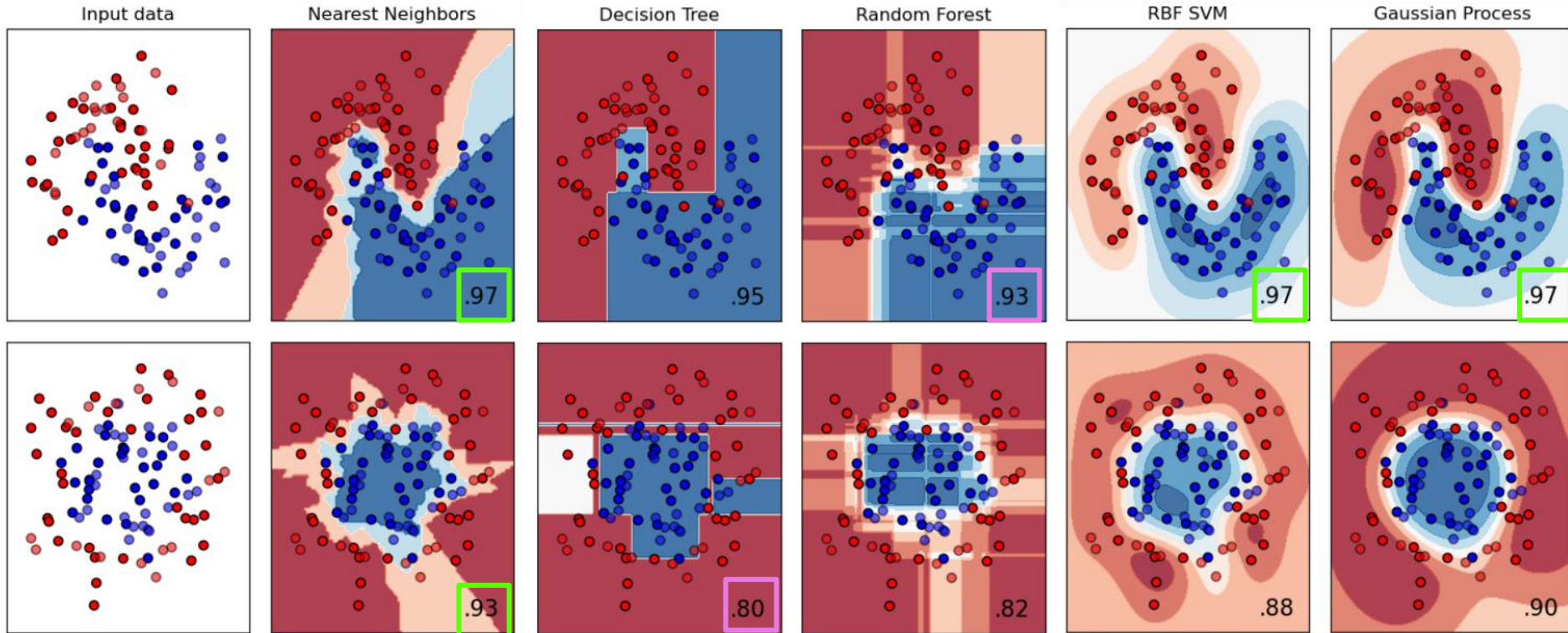
RBF SVM



Gaussian Process

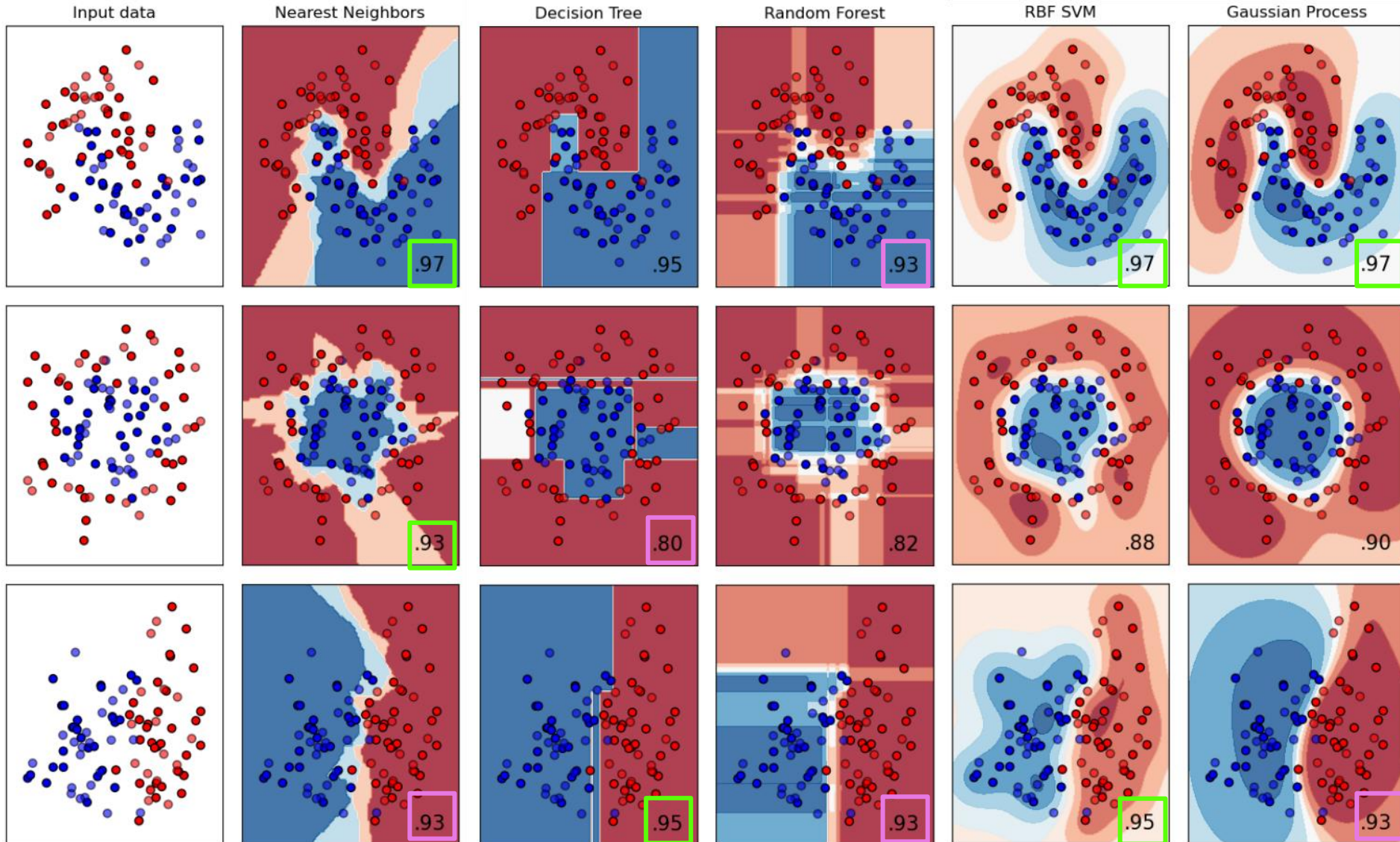


# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes



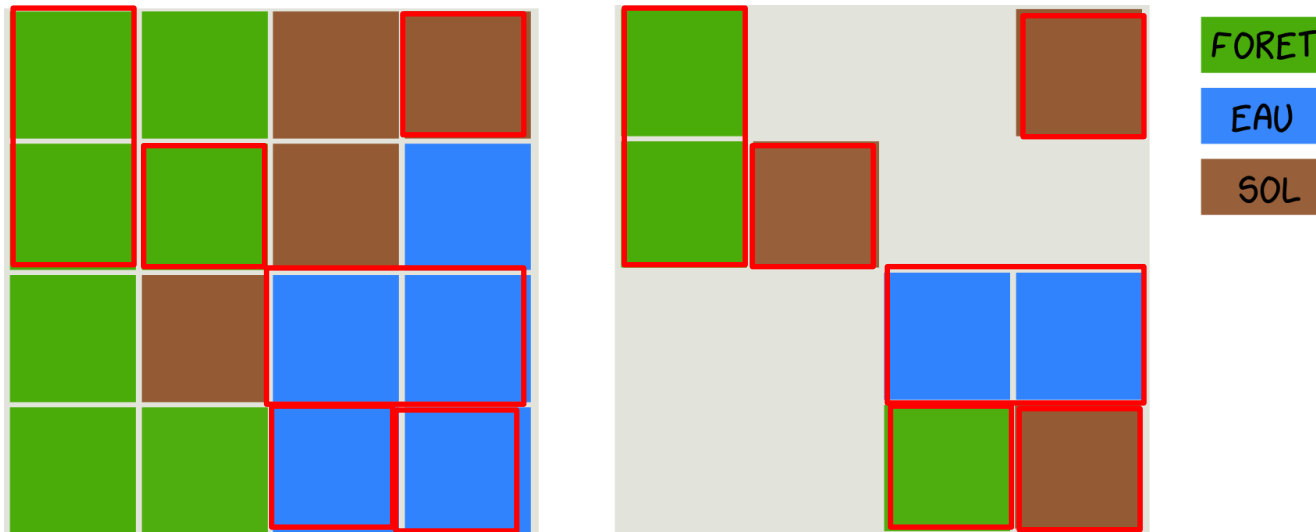


# Approche supervisée : une diversité d'algorithmes





# Estimation de la qualité : matrice de confusion



CLASSIFICATION

REFERENCES

On dispose de 2 pixels de référence Eau comment ont-ils été classés ?

REFERENCE	CLASSIFICATION			Total	Rappel
	Forêt	Eau	Sol		
Forêt	2	1	0	3	0.66
Eau	0	2	0	2	1.00
Sol	1	1	1	3	0.33
Total	3	4	1		
Précision	0.66	0.5	1		

4 pixels ont été classés comme de l'Eau: A quelle classe appartiennent-ils ?

# Estimation de la qualité : matrice de confusion

REFERENCE	CLASSIFICATION			Total	Rappel	Déficit
	Forêt	Eau	Sol			
Forêt	2	1	0	3	0.66	0.33
Eau	0	2	0	2	1.00	0.00
Sol	1	1	1	3	0.33	0.66
Total	3	4	1			
Précision	0.66	0.5	1			
Excédent	0.33	0.50	0.00			

## Indicateurs de qualité par classe

- Rappel = 1 – erreur omission (ou déficit)
- Précision = 1 – erreur commission (excédent)

## Indicateur Globaux

- Accord globale (OA)
- Kappa

$$\begin{aligned}\text{Ici OA} &= (2 + 2 + 1) / (2 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1) \\ \text{ou} &= (2 + 2 + 1) / (3 + 4 + 1) \\ &= 5 / 8 = 0.625\end{aligned}$$