

## La télédétection pour la gestion des prairies et des fourrages

Hervé NICOLAS

Institut Agro - Agrocampus Ouest

UMR SAS Agrocampus Ouest, INRAE

[herve.nicolas@agrocampus-ouest.fr](mailto:herve.nicolas@agrocampus-ouest.fr)

## Sommaire

### **Introduction**

Contexte général de la gestion des prairies

### **Définition de la télédétection**

Domaines optique, thermique et radar  
Capteurs et vecteurs satellites et aériens

### **Méthodes d'analyse**

Dynamiques temporelles  
Complexité des prairies  
Estimation des variables biophysiques d'intérêt  
Les différentes méthodes d'estimation

### **Exemples d'usage de la télédétection**

### **Perspectives**

Modèles économiques  
Nouveaux capteurs  
Nouvelles méthodologies  
Services numériques

### **Conclusion**

# Téledétection et prairies : contexte général

## Les prairies :

- Rôle économique (production de biomasse, de protéines pour les animaux au pâturage et pour les stocks de fourrage)
- Rôle environnemental (qualité de l'eau, de l'air et des sols : régulation des flux d'azote, des polluants et du carbone)
- Évolution à moyen et long terme  
Diminution de la surface des prairies,  
Evolution du climat (fréquence des sécheresses estivales)

→ Amélioration des performances économiques et environnementales

# Téledétection et prairies : gestion

## Les prairies : besoins des éleveurs et des gestionnaires territoriaux

- Identification

  - Types / rôles / place des prairies

- Caractérisation

  - Evaluer le niveau de production de biomasse

    - Variabilité interannuelle

    - Répartition intra-annuelle

- Informations précises et nombreuses

  - A différentes échelles spatiales (*Parcelle → exploitation → territoire*)  
et temporelles (*Hebdomadaire → mensuelle → interannuelle*)

# Téledétection et prairies : gestion

## Les prairies : contraintes

- Grandes surfaces concernées
- Difficulté d'accès aux suivis de terrain et aux mesures directes
- Forte temporalité souvent requise

## Intérêt de la télédétection:

- Informations spatiales et temporelles sur les caractéristiques physiques et biologiques des prairies
- Exhaustivité / Homogénéité / Répétitivité / Sans effet « opérateur »
- Observation / Analyse / Interprétation / Gestion

## Sommaire

### **Introduction**

Contexte général de la gestion des prairies

### **Définition de la télédétection**

Domaines optique, thermique et radar  
Capteurs et vecteurs satellites et aériens

### **Méthodes d'analyse**

Dynamiques temporelles  
Complexité des prairies  
Estimation des variables biophysiques d'intérêt  
Les différentes méthodes d'estimation

### **Exemples d'usage de la télédétection**

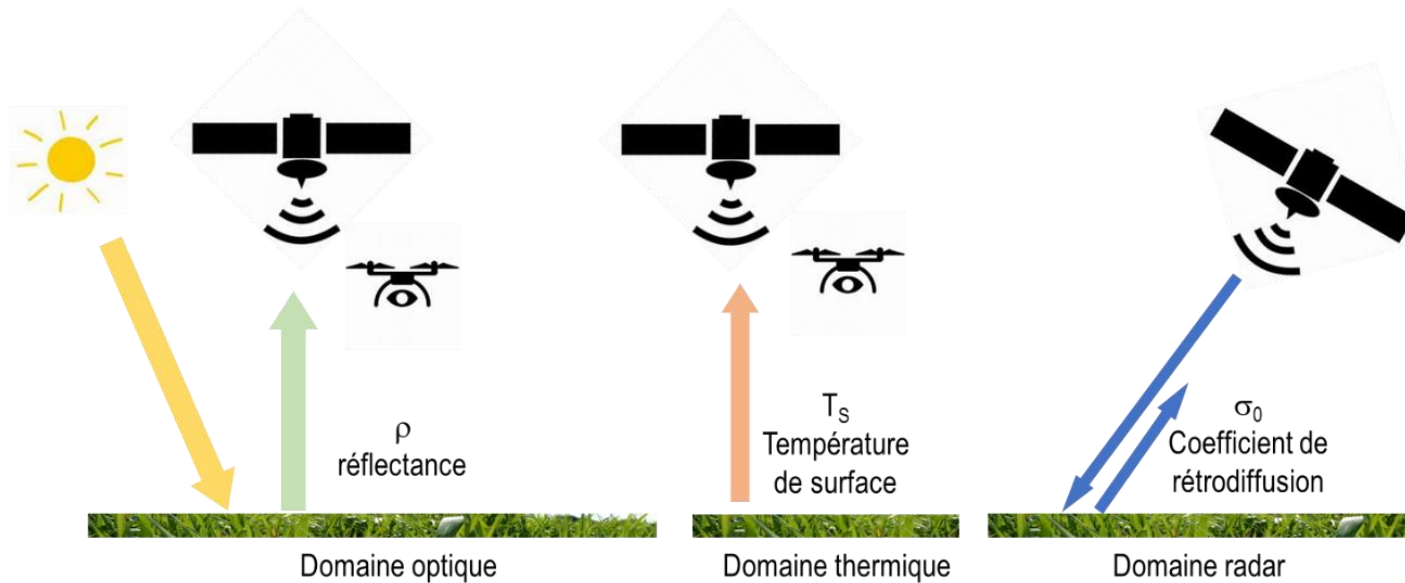
### **Perspectives**

Modèles économiques  
Nouveaux capteurs  
Nouvelles méthodologies  
Services numériques

### **Conclusion**

## Téledétection : principes généraux

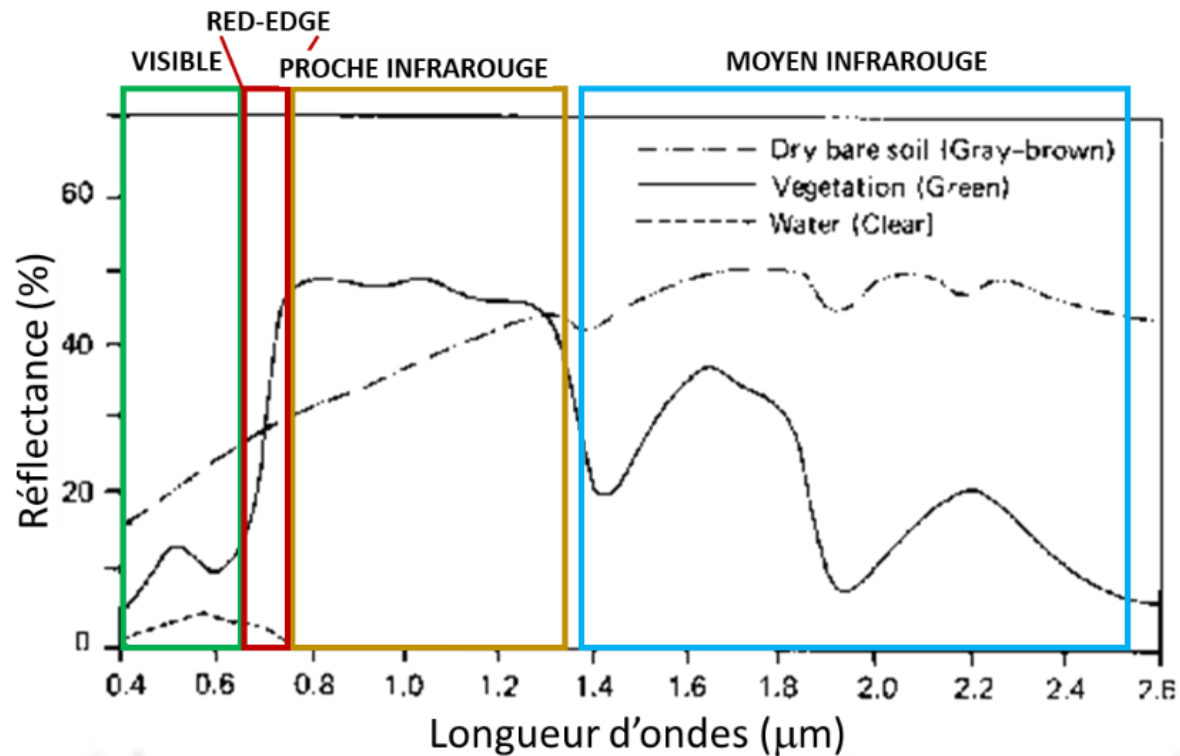
- Mesure d'une onde électromagnétique issue de la surface par réflexion ou par émission
- Trois domaines spectraux: Optique / Thermique / Radar
- Vecteurs satellitaires et aériens (drone, avion)



## Téledétection : Le domaine optique

- Mesure de la réflectance
- Découpé en 4 gammes spectrales :

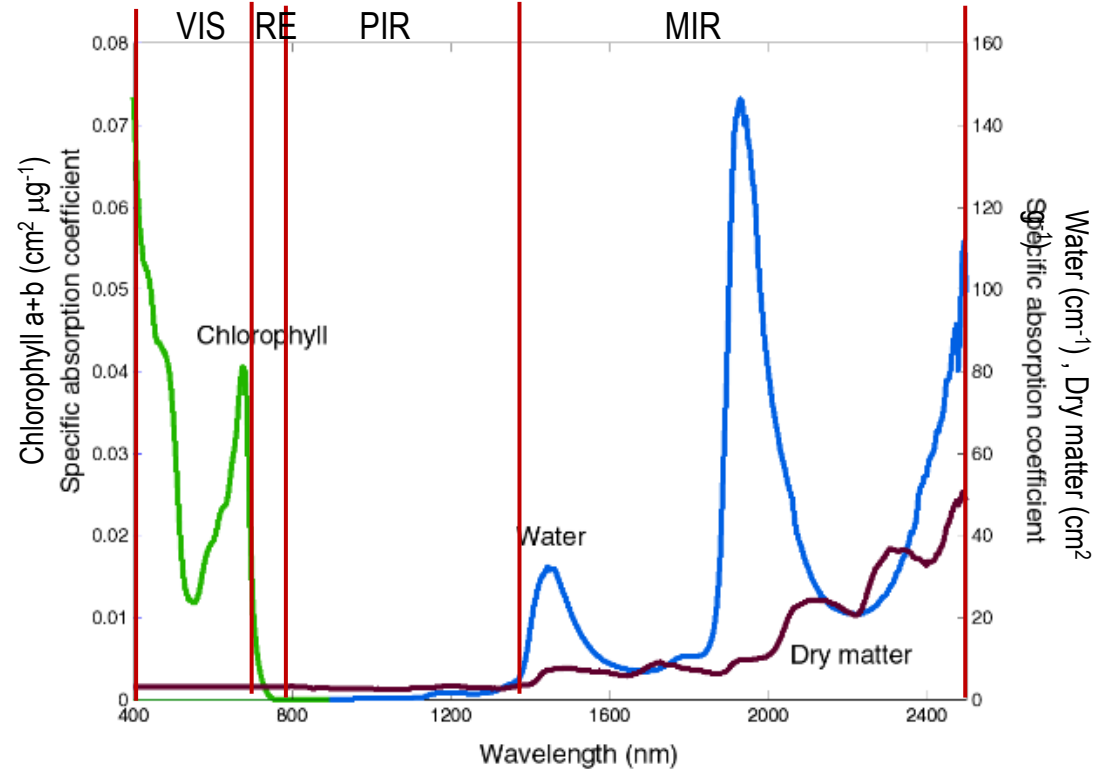
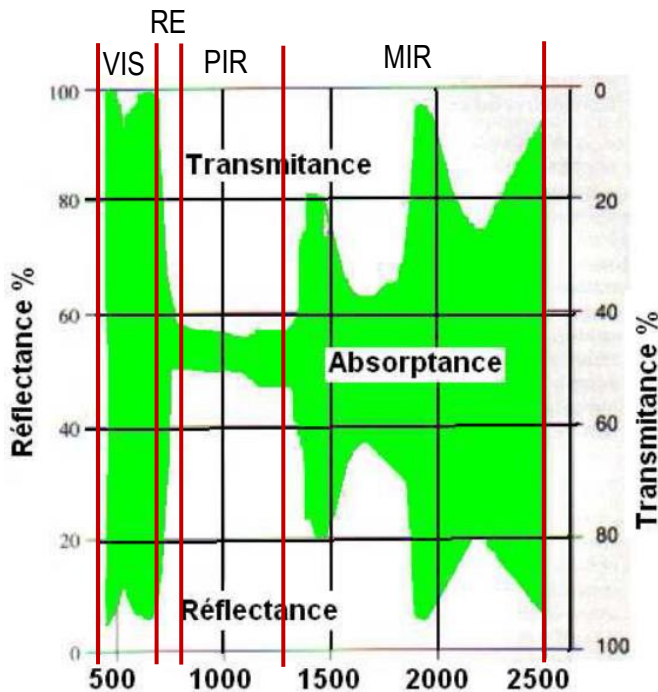
Visible / Red-edge / Proche infrarouge / Moyen infrarouge





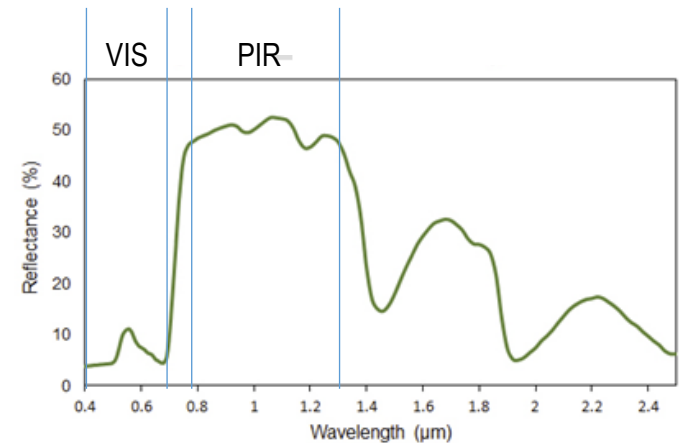
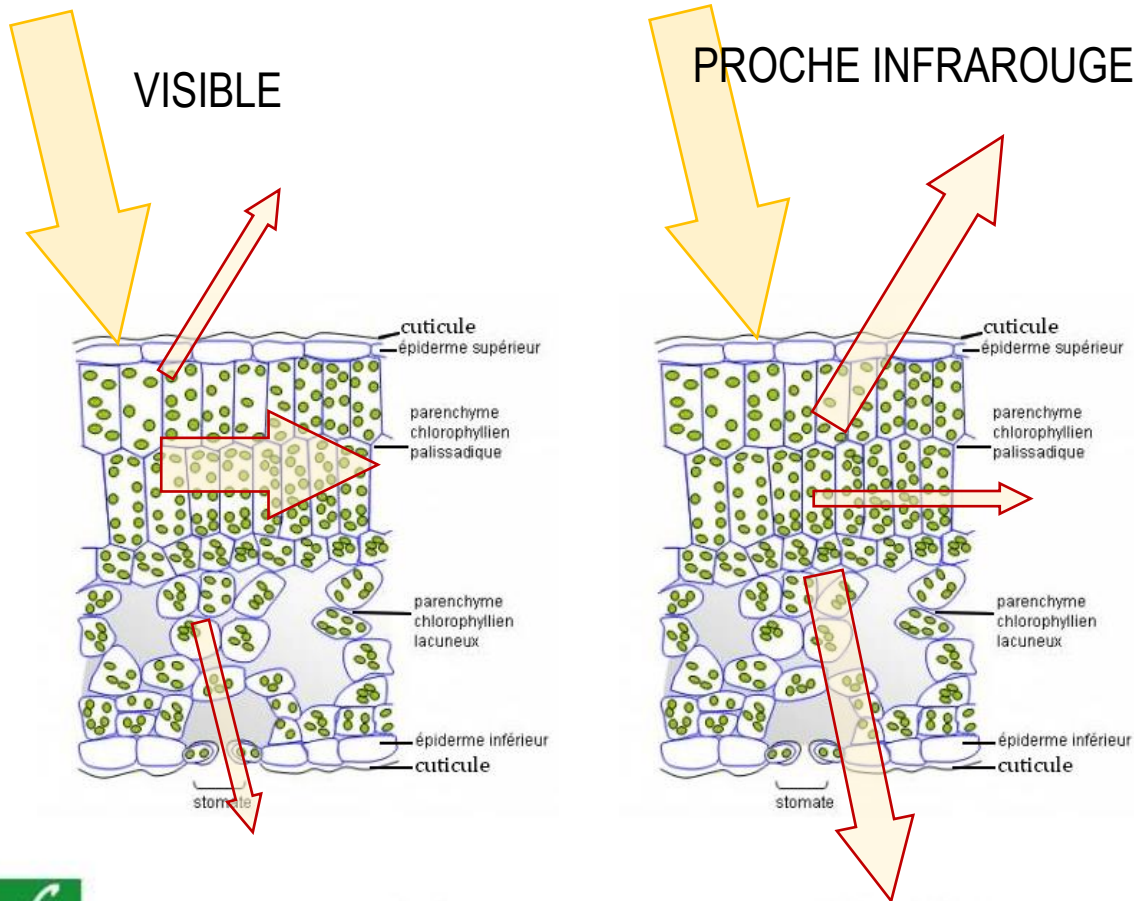
# Téledétection : Le domaine optique

- La végétation



# Téledétection : Le domaine optique

- La végétation



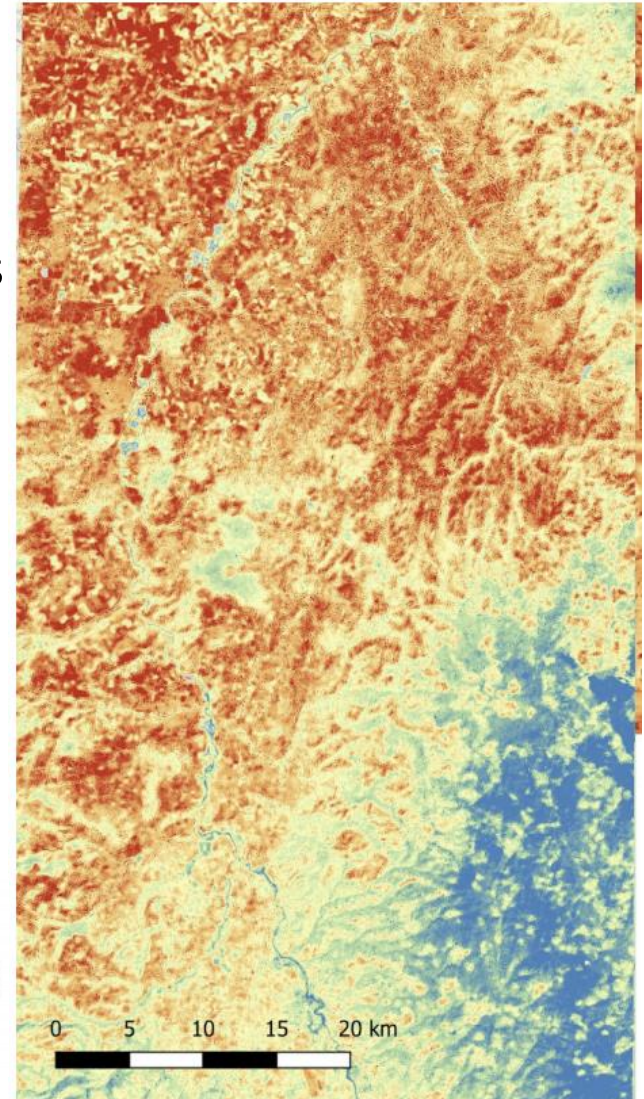
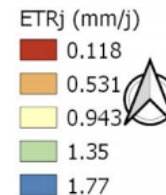
# Téledétection : Le domaine thermique

- Gamme spectrale : 8  $\mu\text{m}$  – 14  $\mu\text{m}$
- La température de surface

Terme d'équilibre du bilan d'énergie  
Complément de données météo spatialisées  
(*ex: AROME*)

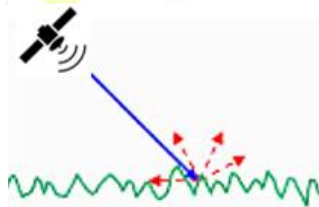
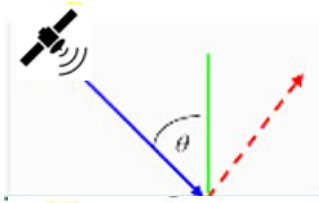
Permet de quantifier :

- le stress hydrique
- l'évapotranspiration

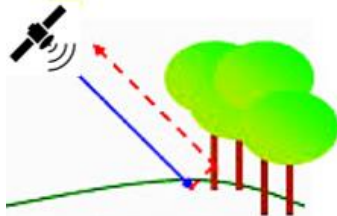


# Téledétection : Le domaine radar

- Les types de réflexion



(b) Réflexion diffuse



(c) Réflexion multiple

- Les bandes spectrales



Austrian pine



X band  
 $\lambda = 3 \text{ cm}$



L band  
 $\lambda = 27 \text{ cm}$



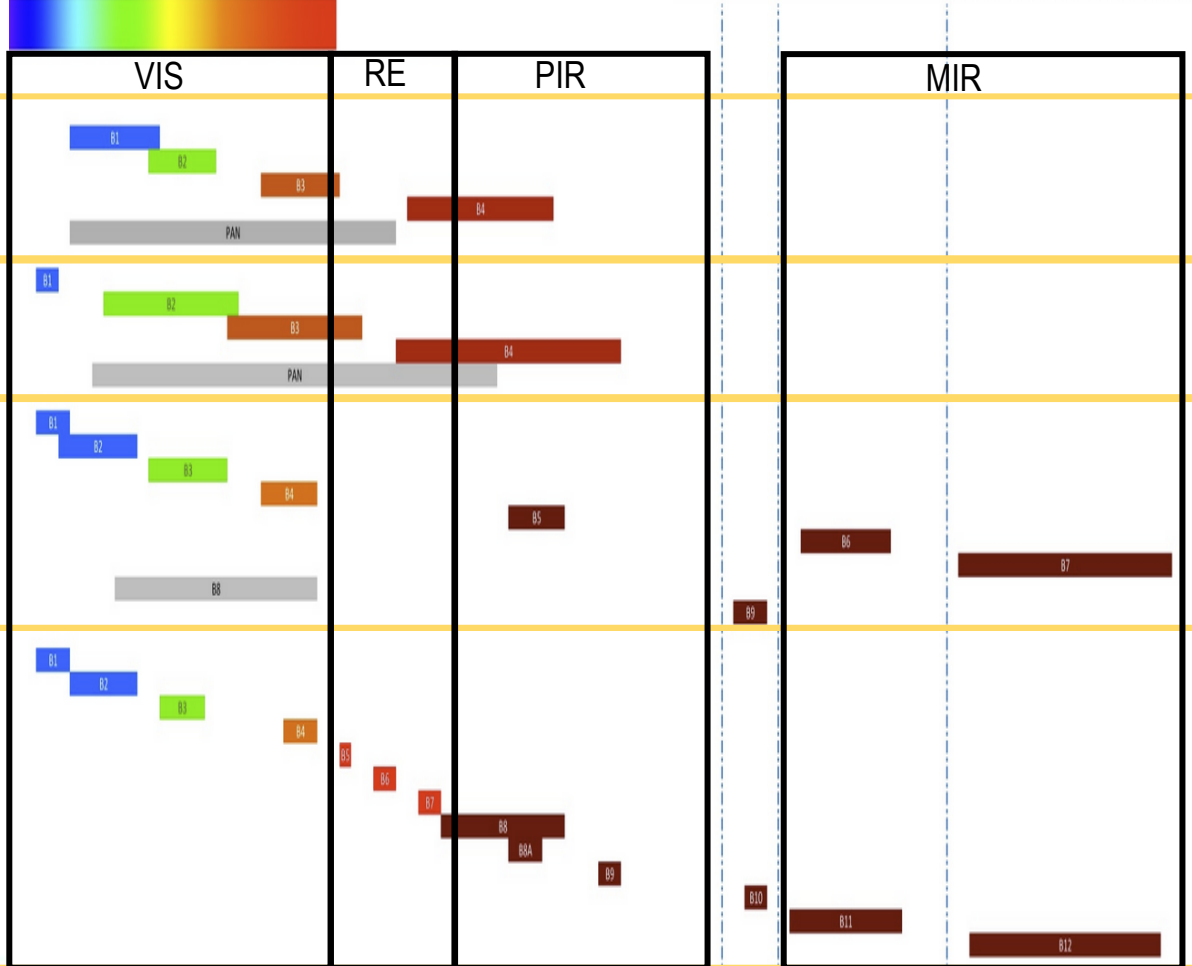
P band  
 $\lambda = 70 \text{ cm}$

- Polarisationes HH VV HV VH
- Indicateurs polarimétriques

- Insensible à l'enneigement
- Sensible à la rugosité, l'humidité, la structure de la végétation

# Téledétection : les capteurs satellitaires

- Dans le domaine optique



	Résolution	Revisite
Spot 6-7	6m	1-3 j
Pléiades 1A-1B	2,8m	2 j
Landsat 8 - OLI	30m	16 j
Sentinel-2 A&B	10-20m	3-5 j

# Téledétection : les capteurs satellitaires

- Dans le domaine thermique




	Résolution	Revisite
Landsat 8 – TIRS	90m	16 j
Sentinel-3	1000m	4 j
MODIS	1000m	1 j
VIRSS	750m	1 j

- Dans le domaine radar

Sentinel-1 A&B	Bande C	23m (*)	3 j (*)
Radarsat constellation	Bande C	1,3m (*)	1 j (*)
ALOS-2	Bande L	1-3m (*)	1 j (*)
SOACOM-1a,b	Bande L	10m (*)	8 j (*)
Cosmo-SkyMed SG	Bande X	1-15m (*)	1 j (*)

(\*) variable selon le mode d'acquisition

# Téledétection : les capteurs aériens

	Résolution	Couverture	Multispectral VIS-PIR	Hyperspectral VIS-PIR-MIR	Thermique	Radar	Lidar
	1cm - 1m	15 ha	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
	1cm - 1m	120 ha	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
	50cm - 1m	~1000 km <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Sommaire

### **Introduction**

Contexte général de la gestion des prairies

### **Définition de la télédétection**

Domaines optique, thermique et radar  
Capteurs et vecteurs satellites et aériens

### **Méthodes d'analyse**

Dynamiques temporelles  
Complexité des prairies  
Estimation des variables biophysiques d'intérêt  
Les différentes méthodes d'estimation

### **Exemples d'usage de la télédétection**

### **Perspectives**

Modèles économiques  
Nouveaux capteurs  
Nouvelles méthodologies  
Services numériques

### **Conclusion**



## Téledétection : Complexité des prairies

- **Dynamiques temporelles variables**

- Pratiques culturales diversifiées: fauche / pâturage

- **Compositions floristiques variables**

- Choix des espèces végétales semées
- Contexte pédoclimatique

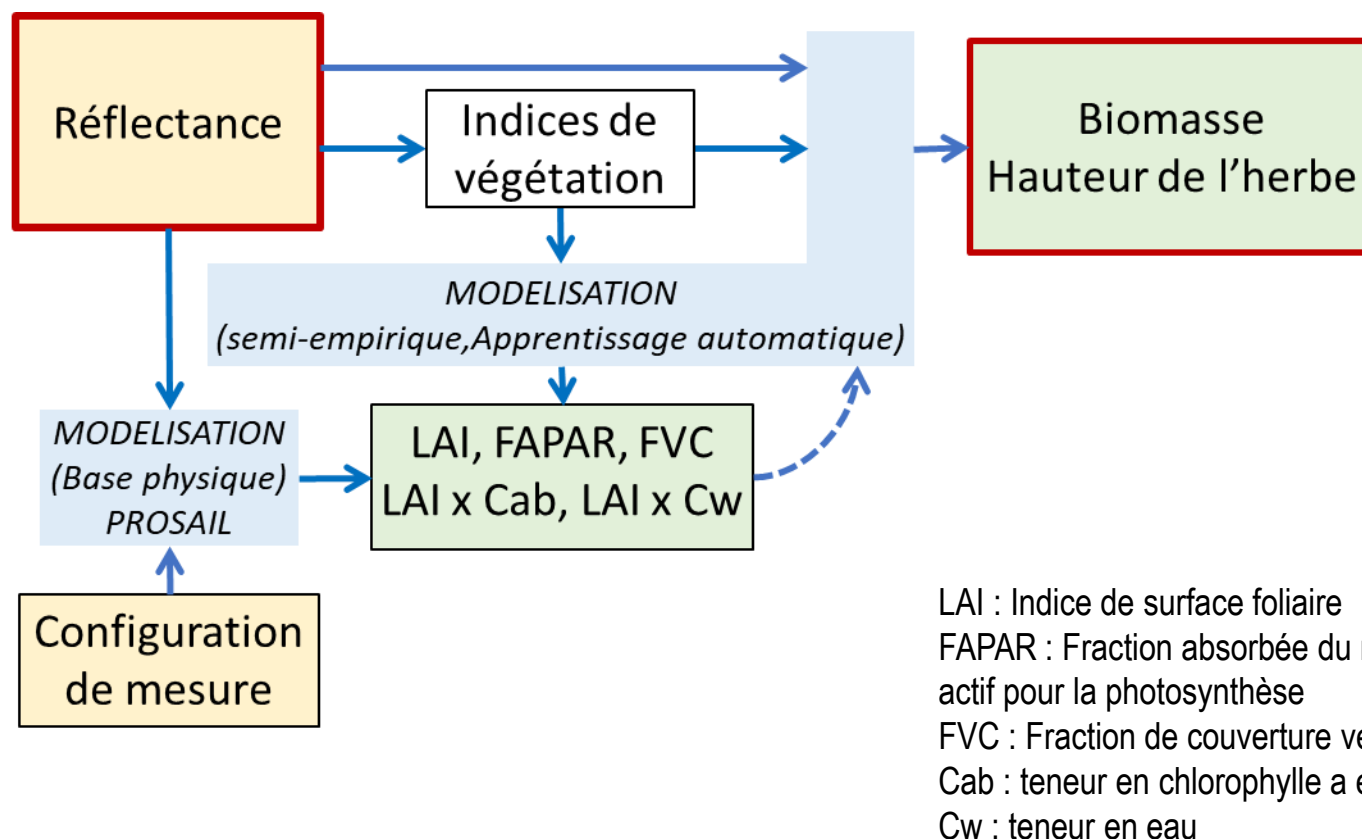
- **Type de prairies**

- Prairies permanentes: ressemées naturellement , non retournées pendant au moins 5 années
- Prairies temporaires : semées, entrent dans le rotations culturales, durée de 5 ans maximum

- **Structure des couverts végétaux**

- Prairie fauchée: plus homogène, hauteur de végétation plus élevée avant la fauche
- Prairies pâturées: plus hétérogènes, moins développées en hauteur, plus dense au niveau du sol

- Estimation de variables biophysiques d'intérêt pour la gestion des prairies  
Données d'entrée = Téledétection du domaine optique

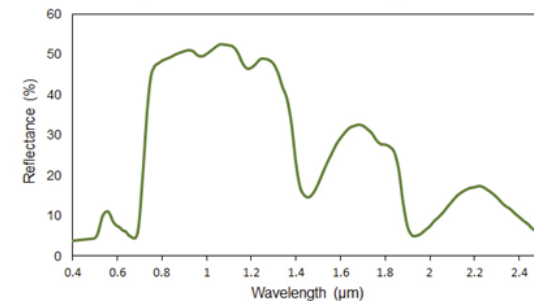
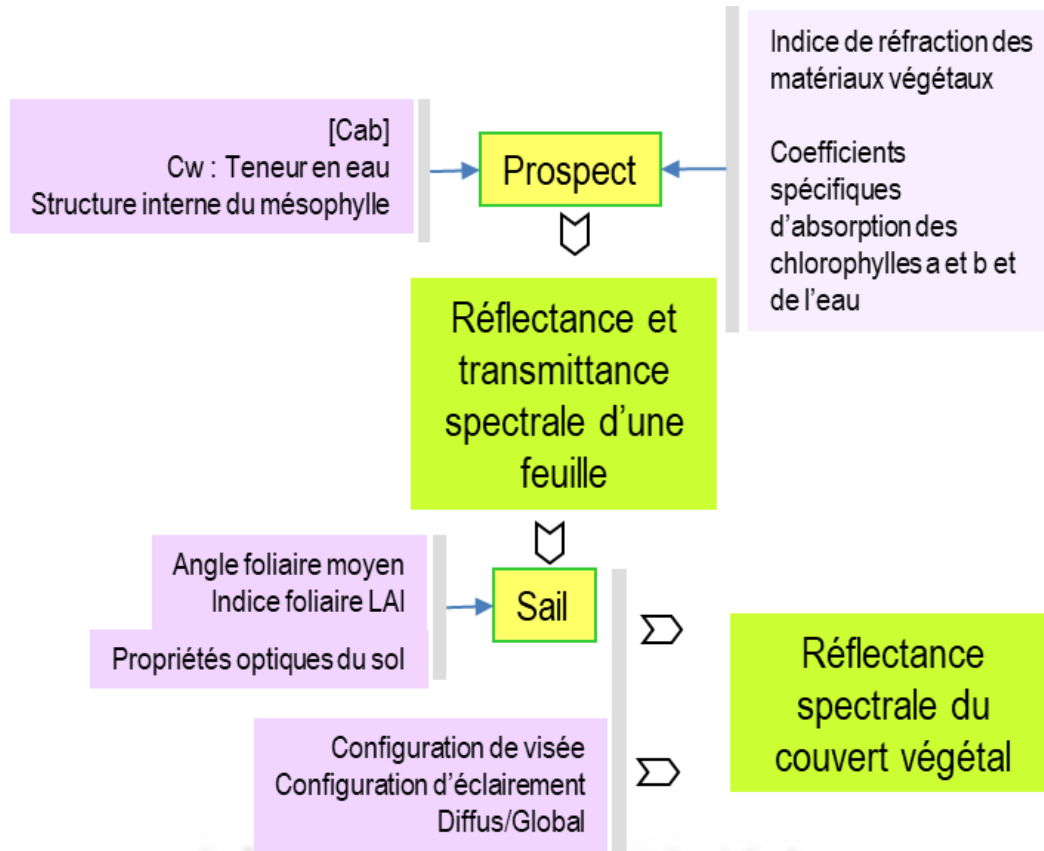


- **Nécessité de disposer d'observations au sol**
  - en nombre suffisant et de grande précision
  - représentatives de
    - la variabilité spatiale et temporelle
    - de la complexité des couverts végétaux
- **Méthodes semi-empiriques**
  - Relations statistiques directes entre les données de télédétection (réflectance, indices de végétation) et les observations au sol
- **Méthodes d'apprentissage automatique**
  - Approches mathématiques et statistiques pour « apprendre » à partir des observations au sol (Cf. Modèle HERDECT)
    - ex: Support Vector Machine (SVM), Random Forest (RF), réseaux de neurones (RN)
- **Méthodes à base physique**

- **Méthodes à base physique** : exemple du modèle PROSPECT-SAIL

Sens direct : caractéristiques biophysiques → Réflectance

Sens inverse : Réflectance → Variables biophysiques

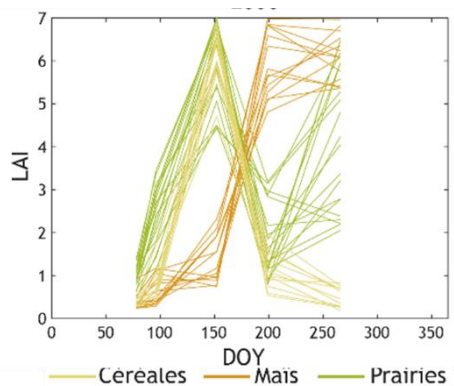


- En fonction de l'objectif d'étude
  - Relation entre résolution spatiale et temporelle

MRS : moyennes résolution spatiale (hectométrique)  
 HRS : haute résolution spatiale (décamétrique)  
 THRS : très haute résolution spatiale (décamétrique et mé)

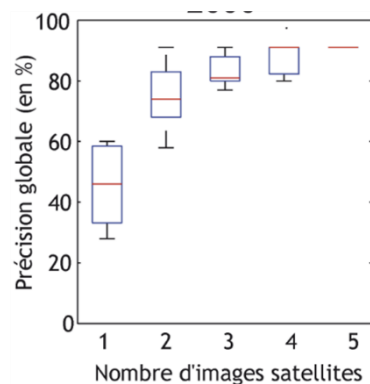
Année			MRS, HRS
Mois	HRS, THRS	HRS	MRS, HRS
Bihebdo	HRS, THRS	HRS	MRS, HRS
hebdo	HRS, THRS		
jour			
	Parcelle	Paysage	Région

- Identification des prairies : précision accrue avec ...

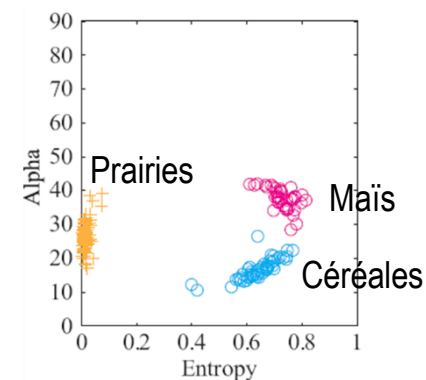


Séries temporelles de variables biophysiques

(Dusseux et al. 2019)



Nombre d'images disponibles



Compléments de la télédétection du domaine radar

(Entropie : représentation du désordre aléatoire)

## Sommaire

### **Introduction**

Contexte général de la gestion des prairies

### **Définition de la télédétection**

Domaines optique, thermique et radar  
Capteurs et vecteurs satellites et aériens

### **Méthodes d'analyse**

Dynamiques temporelles  
Complexité des prairies  
Estimation des variables biophysiques d'intérêt  
Les différentes méthodes d'estimation

### **Exemples d'usage de la télédétection**

### **Perspectives**

Modèles économiques  
Nouveaux capteurs  
Nouvelles méthodologies  
Services numériques

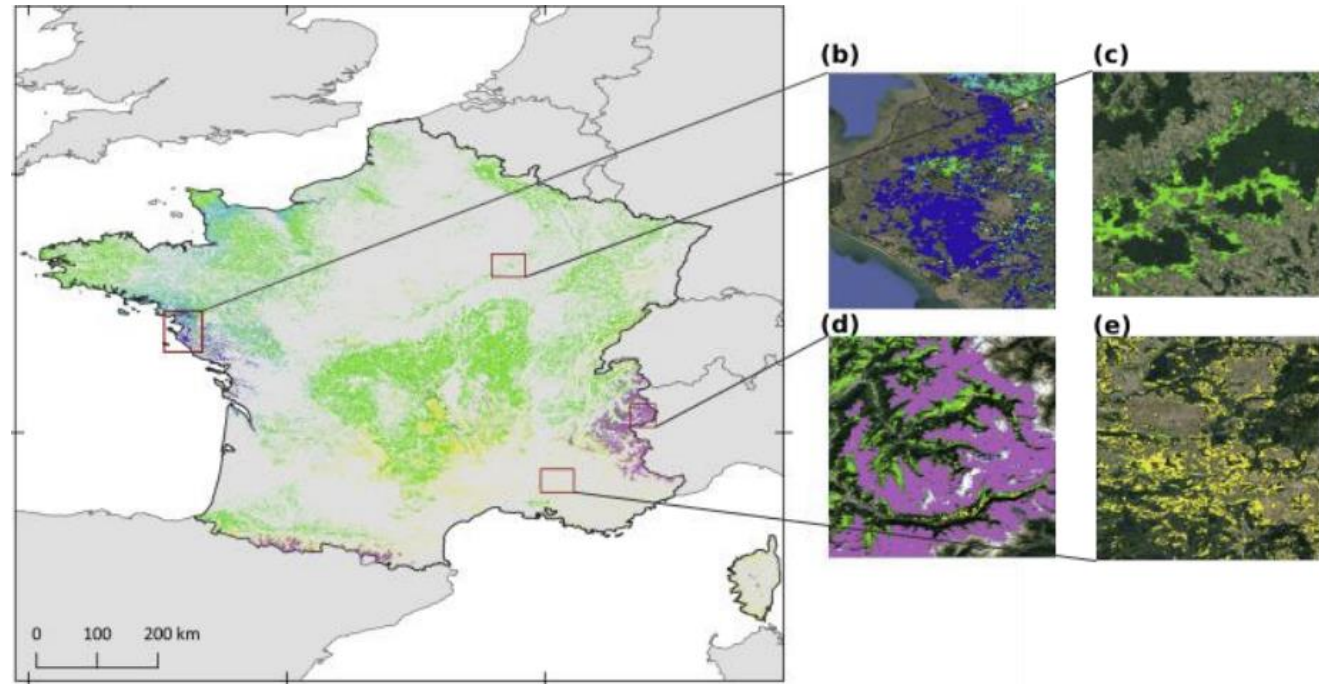
### **Conclusion**

- **Exemple d'analyse à large échelle : écologie**  
**Inventaire des habitats prairiaux**

(Panhelleux, 2020, mémoire de fin d'études, Master TELENVI)

Combinaison de :

- Télédétection à moyenne résolution spatiale
- Variables bioclimatiques
- Variables topographiques
- Variables pédologiques



## Habitats EUNIS niveau 2

### Habitats EUNIS

- A2 : Sédiment intertidal
- E1 : Pelouses sèches
- E2 : Prairies mésiques

- E3 : Prairies humides et prairies humides saisonnières
- E4 : Pelouses alpines et subalpines
- E5 : Ourlets, clairières forestières et peuplements de grandes herbacées non graminoides

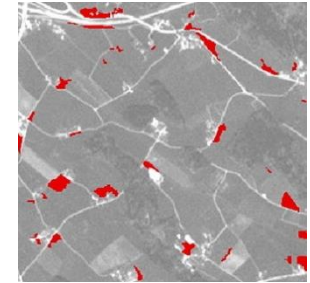
- **Gestion des prairies : pâturage et fauche**

(Méthode d'apprentissage automatique)

(Gomez-Gimenez et al. 2017)



Fréquence de fauche

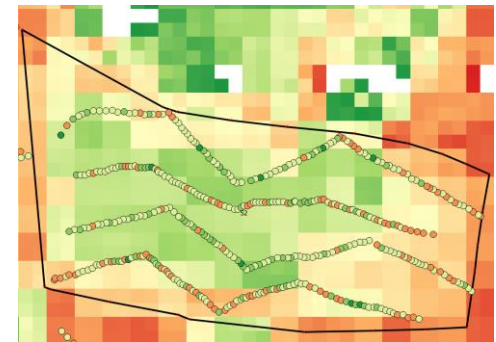


Surfaces pâturées

- **Suivi de la hauteur de l'herbe et de la biomasse**

(Méthode d'apprentissage automatique)

Ex: modèle HERDECT (Cf. Dusseux et al. 2021)



- **Changements climatiques**

Développement d'un indice de production fourragère (IPF)

Evaluation des pertes subies dans une zone géographique

(Domaine assurantiel)

Images de télédétection à moyenne et haute résolution spatiale

FVC + Paramètres climatiques + Phénologie

- **Suivi de sites expérimentaux par drone**

- Estimation de la hauteur de l'herbe

- Estimation de la biomasse



## Sommaire

### **Introduction**

Contexte général de la gestion des prairies

### **Définition de la télédétection**

Domaines optique, thermique et radar  
Capteurs et vecteurs satellites et aériens

### **Méthodes d'analyse**

Dynamiques temporelles  
Complexité des prairies  
Estimation des variables biophysiques d'intérêt  
Les différentes méthodes d'estimation

### **Exemples d'usage de la télédétection**

### **Perspectives**

Modèles économiques  
Nouveaux capteurs  
Nouvelles méthodologies  
Services numériques

### **Conclusion**

## Téledétection : Perspectives

- **Modèles économiques**

- Déplacement de la production d'images vers les services numériques

*Le programme Copernicus (Sentinel-1,2,3 = images nombreuses, gratuites, HRS, facile d'accès) a permis un large développement des applications*

- Accentuation dans les années à venir

- **Nouveaux capteurs**

- Constellation Pléiades Néo (4 satellites) (2021)

(Revisite 1 jour, résolution 30cm, Visible, Red-edge, Proche infrarouge)



- EnMAP (*Environmental Mapping and Analysis Program*) (2021)

(Revisite 4 jours, résolution 30m, hyperspectral)



- TRISHNA (*Thermal infraRed Imaging Satellite for High-resolution Natural resource Assessment*)

(CNES-ISRO) Satellite optique + infrarouge thermique  
(Revisite 3 jours, résolution 60-80m)



- Autres : Satellites privés, Nanosatellites (*fonctionnement en synergie avec les satellites existants*)

# Téledétection : Perspectives

- **Nouvelles méthodologies**

- Accès à des informations de télédétection multiples, nombreuses et complexes
  - Synergie Optique multi/hyperspectral , Radar , Thermique
  - Séries temporelles plus précises aux périodes critiques de la gestion des prairies
- Sciences des données spatiales
  - Données massives, précision accrue
  - Accentuer la compréhension des interactions surface / télédétection
- Nouvelles variables biophysiques d'intérêt : ex: Valeur fourragère, stress hydrique, ....
- Complémentarité avec des données exogènes et d'autres modèles
  - ex: Modèles de croissance (STICS prairie), météorologie, pédologie

## Téledétection : Perspectives

### • Services numériques

#### Données de télédétection

*Directives européennes, nationales*

Plateformes de traitement de l'information

*ESA, THEIA, GeoSud...*

#### Autres données spatiales

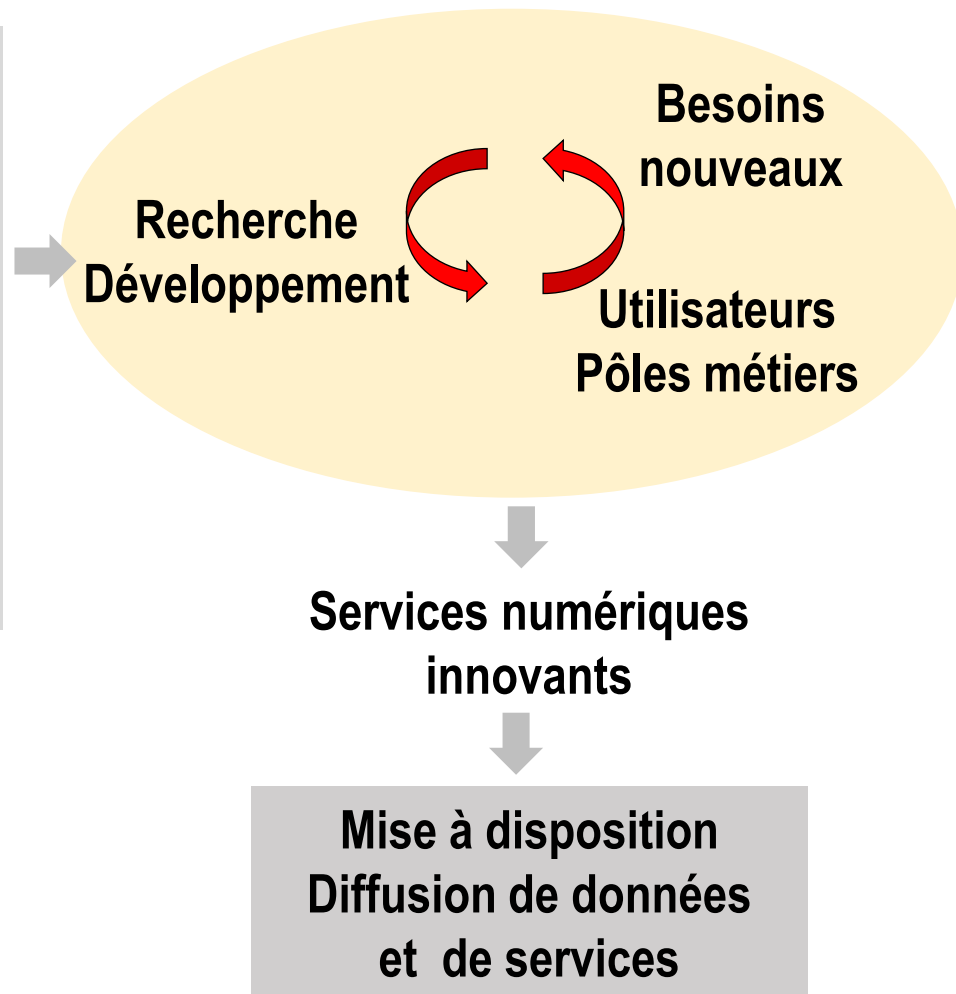
Milieu physique, sols, météorologie,...

*IDG : Infrastructure de données géographiques*

*(GeoBretagne, GeoPaL, GeoNormandie...)*

*INRAe, Institut Agro, Ch.Agriculture,*

*Instituts techniques, Entreprises*



# Téledétection : Perspectives

- Services numériques
  - Réponse précise aux besoins des utilisateurs : co-construction
  - Synergie Recherche / développement / utilisateurs
  - Utilisateurs :
    - Agriculteurs
    - Acteurs économiques (*Conseils, agroéquipements, approvisionnement,...*)
  - Informations facilement accessible, régulière, sous forme d'images et de données directement utilisables, avec une indication de la précision
  - Interactivité
- Importance de la donnée observée *in-situ*
  - Obtention longue et difficile
  - Nécessaire pour le développement de nouveaux algorithmes en synergie avec les nouveaux capteurs/vecteurs
  - Valeur économique et scientifique majeure

## Sommaire

### **Introduction**

Contexte général de la gestion des prairies

### **Définition de la télédétection**

Domaines optique, thermique et radar  
Capteurs et vecteurs satellites et aériens

### **Méthodes d'analyse**

Dynamiques temporelles  
Complexité des prairies  
Estimation des variables biophysiques d'intérêt  
Les différentes méthodes d'estimation

### **Exemples d'usage de la télédétection**

### **Perspectives**

Modèles économiques  
Nouveaux capteurs  
Nouvelles méthodologies  
Services numériques

### **Conclusion**

- Télédétection et transition numérique: enjeux majeurs
- Apports importants dans la gestion de systèmes complexes comme les prairies
- Evolution rapide des technologies de télédétection et de la science des données spatiales
- Synergie nécessaire entre plusieurs disciplines pour une information fiable, robuste et complète  
(Agro/Agri, Ecologie, Météo, Télédétection, Science des données)

Merci de votre attention

**l'institut Agro**  
agriculture • alimentation • environnement

