

# Journées de Printemps 2021 : Fourrages et prairies 2.0

La spectrométrie dans le proche infra-rouge pour évaluer la valeur alimentaire des fourrages

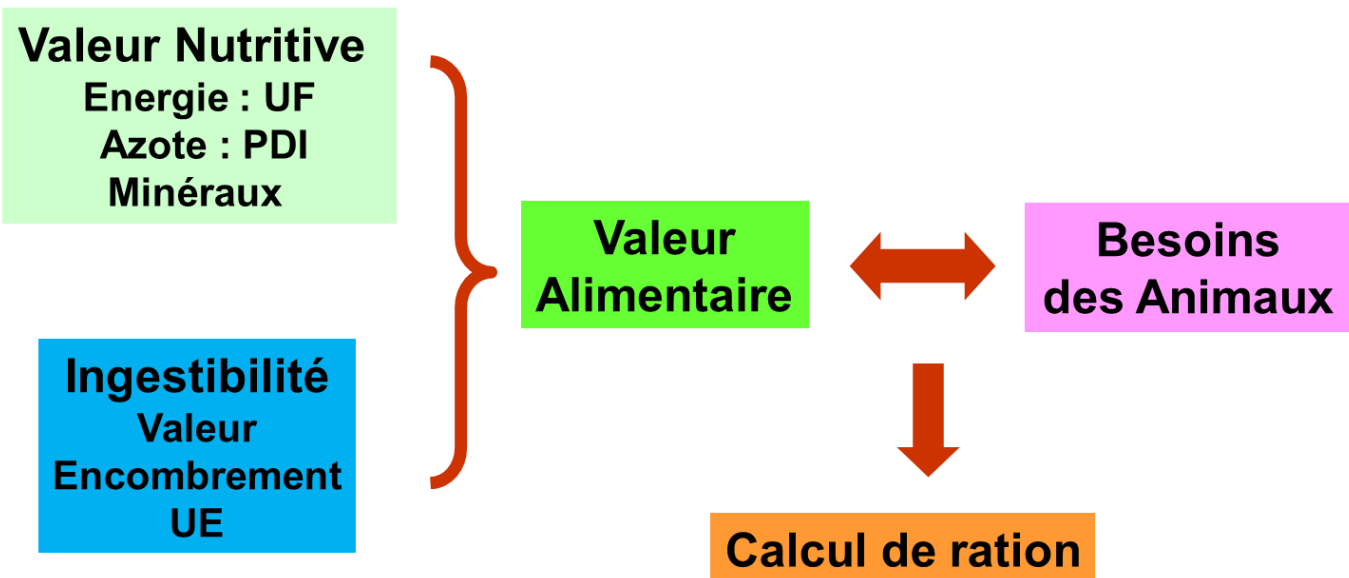
- Barre P., Barotin C. (URP3F)
- Andueza D., Picard. F. (UMRH)
- Caillat H. (FERLUS)
  
- Bonnal L., Julien L., Juanes X., Assouma M.H. (SELMET)
  
- Maudemain S., Fumat N., El Radi H. (ARVALIS Boigneville)
  
- Jost J. (IDELE, Mignaloux Beauvoir)

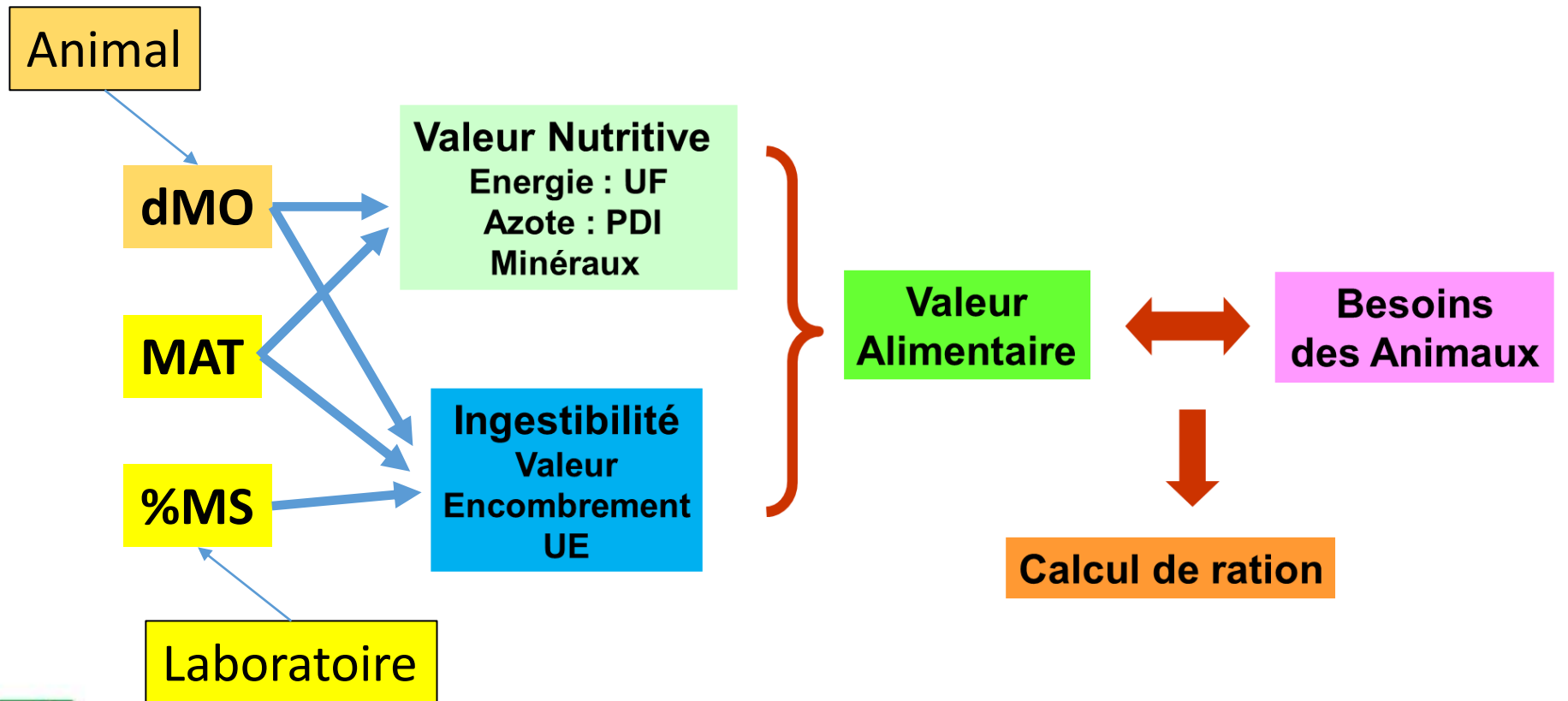


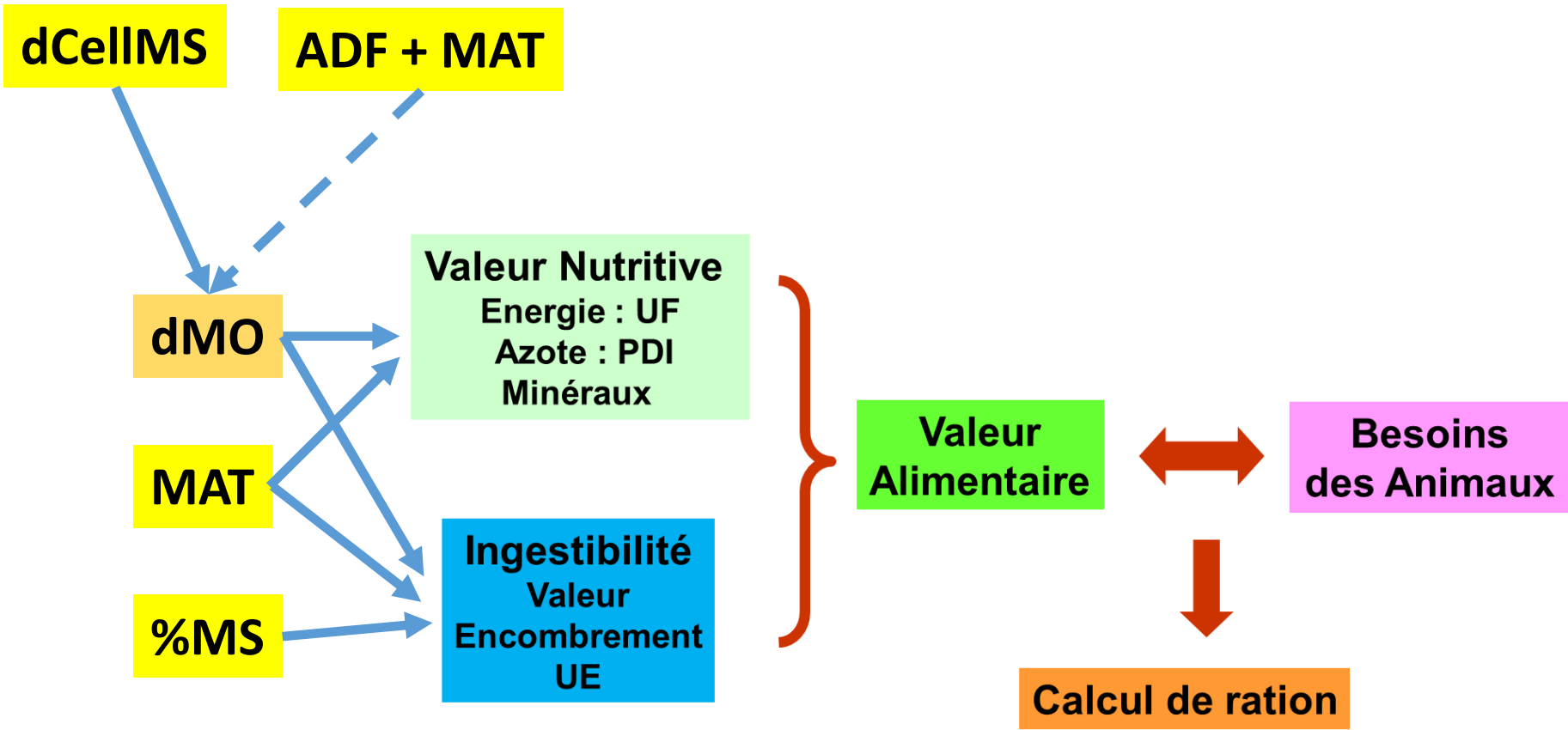
# Durabilité des systèmes d'élevage

- Augmentation de l'autonomie alimentaire des exploitations
- Nécessité de mieux valoriser les fourrages produits sur place
- Connaître la valeur alimentaire de ces fourrages



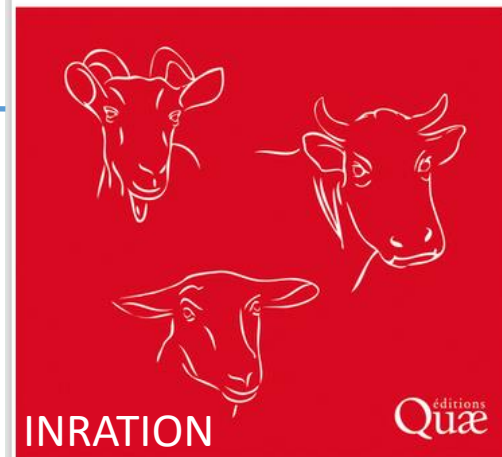






# ALIMENTATION DES RUMINANTS

Apports nutritionnels – Besoins et réponses des animaux  
Rationnement – Tables des valeurs des aliments



<https://www.inration-ruminal.fr/>

Equations dépendent de l'espèce, du stade d'exploitation ...

dCellMS

ADF + MAT

dMO

Valeur Nutritive  
Energie : UF  
Azote : PDI  
Minéraux

MAT

Ingestibilité  
Valeur  
Encombrement  
UE

%MS

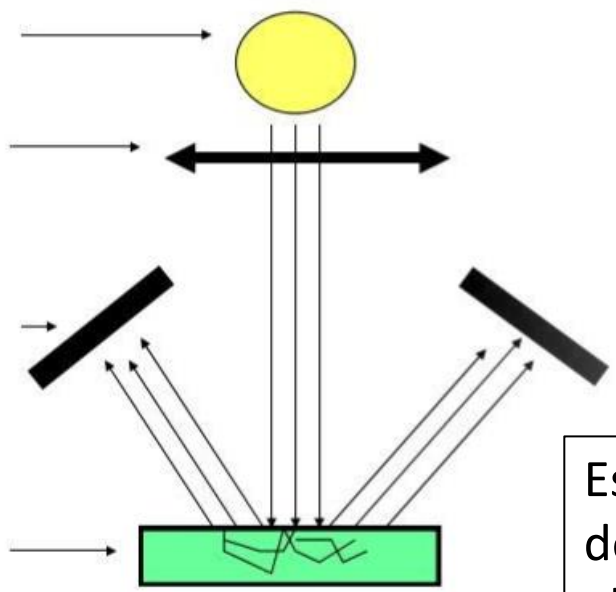
Valeur Alimentaire

Besoins des Animaux

Calcul de ration

# Principe de la spectrométrie dans le proche infrarouge

Source lumineuse connue  
Dispositif de sélection des longueurs d'onde  
Capteurs photosensibles  
Absorbance de l'échantillon  
Echantillon



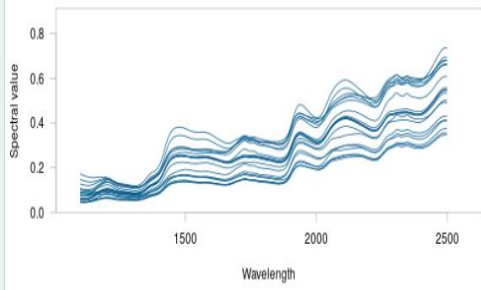
Set d'échantillons proches des échantillons à analyser

Analyses chimiques + Absorbance

Teneur en un constituant = f (Absorbance)

Estimation des teneurs en constituant pour des échantillons inconnus à partir de leur absorbance et de la fonction f

Valider l'estimation sur qq échantillons et mise à jour de l'équation





Teneurs en parois,  
cellulose, lignine  
(Van Soest)



Digestibilité  
cellulase  
(Aufrère)



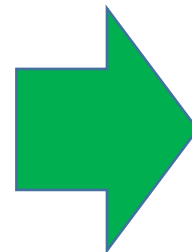
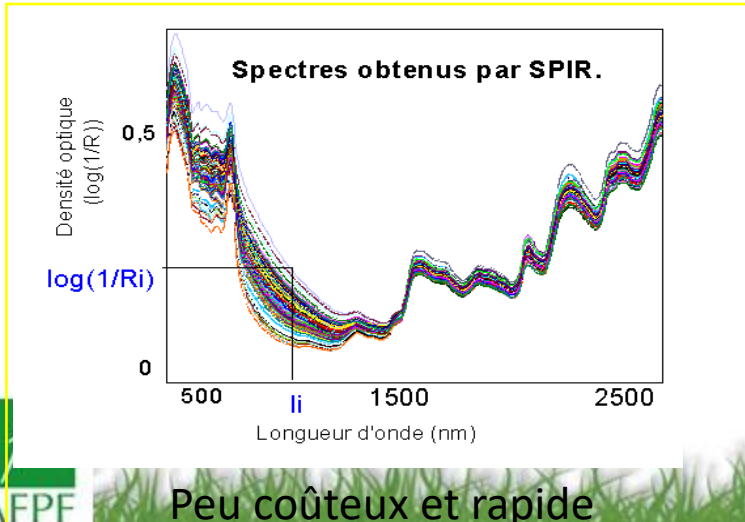
Teneurs en C et N  
(Dumas)



Matières minérales  
(calcination)

## Analyses de référence

+



Equation de prédiction  
des valeurs de référence  
à partir des spectres IR

Utilisation de l'équation sur de très nombreux  
échantillons sans analyse de référence



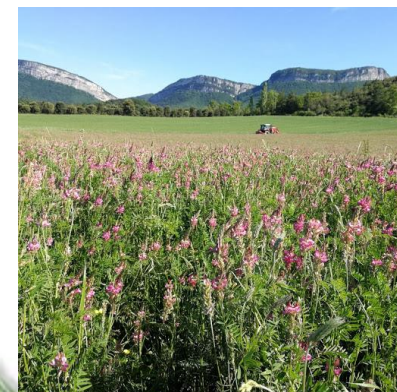
# Nécessité de créer des équations pour les différents types de fourrage

Exemples à l'URP3F:

- Prairies de graminées fourragères récoltées en « vert »
- Prairies de luzerne récoltées en « vert »
- Prairies multi-espèces récoltées en « vert »
- Maïs plante entière

Augmentation de la diversité des fourrages et de leur hétérogénéité

- Récolte sous forme de foin, d'enrubannage ou d'ensilage
- Nouvelles espèces : sainfoin, plantain...
- Mélanges d'espèces : méteils fourragers ou grainiers

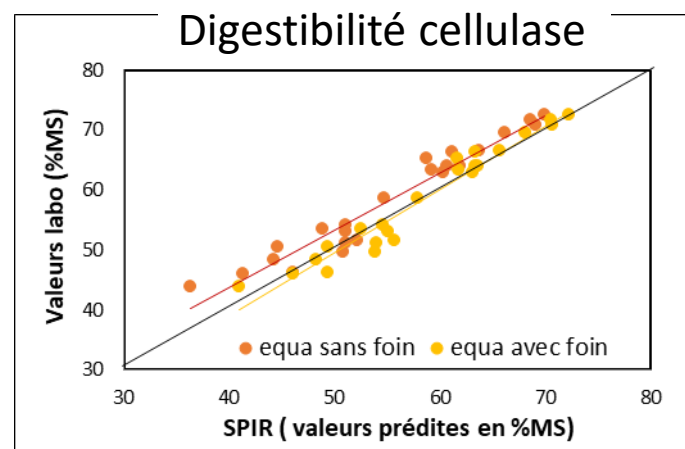
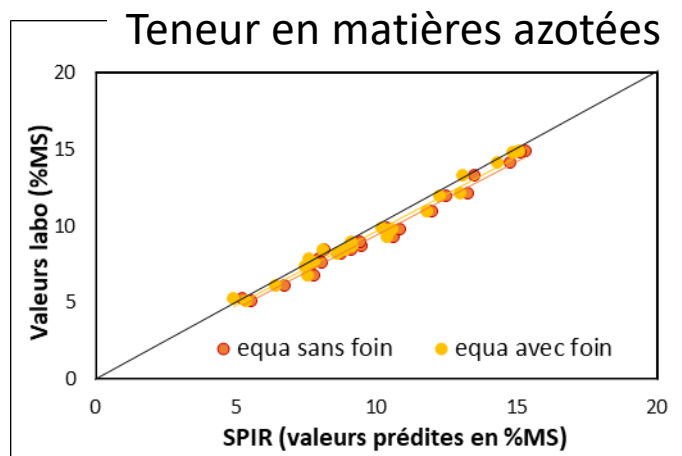


# Création de nouvelles équations à partir de l'existant: exemple des foins

Possibilité d'utiliser l'équation sur fourrage récolté en « vert » (Andueza et al. 2016)

Confirmation sur des prairies multi-espèces variées (Patuchev et Redcap) projet PSDR FLECHE

Mais nécessité d'intégrer quelques échantillons de foin



Cela n'est pas toujours possible : exemple de l'ensilage, des méteils...

Difficile de capter toute la diversité

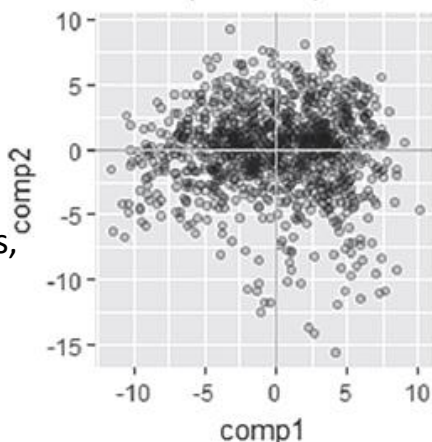
# Stratégie de bases de données très larges

- Mise en commun des bases prairies entre le CIRAD SELMET, l'INRAE UMRH et URP3F

Lesnoff et al. 2019  
Journal of chemometrics

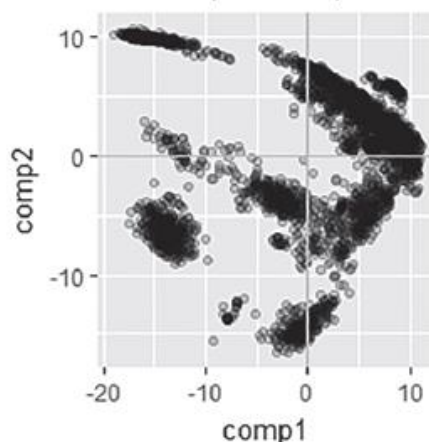
Validation de la transférabilité  
entre labos pour  
la chimie analytique et  
la spectrométrie proche infra rouge

Digestibilité (n=1148)



Graminées,  
légumineuses,  
céréales,  
prairies variées,  
arbres

Protéines (n=4075)



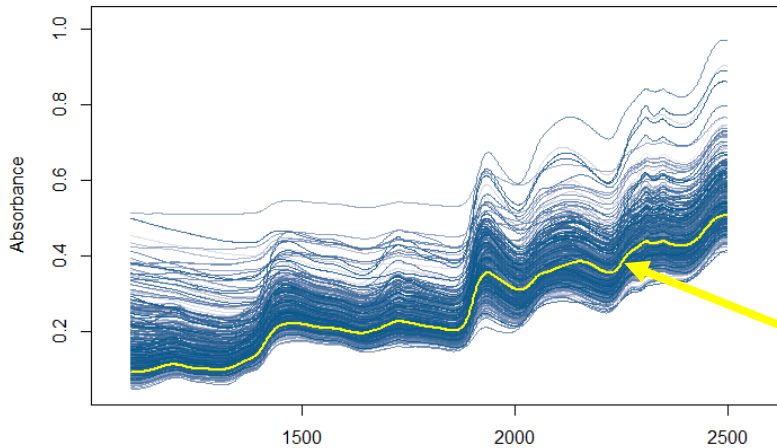
Aliments, colza, maïs, ensilage  
d'herbe, soja, blé, tournesol...

Difficulté de la  
structuration des  
échantillons

# Stratégie d'estimation en « local »

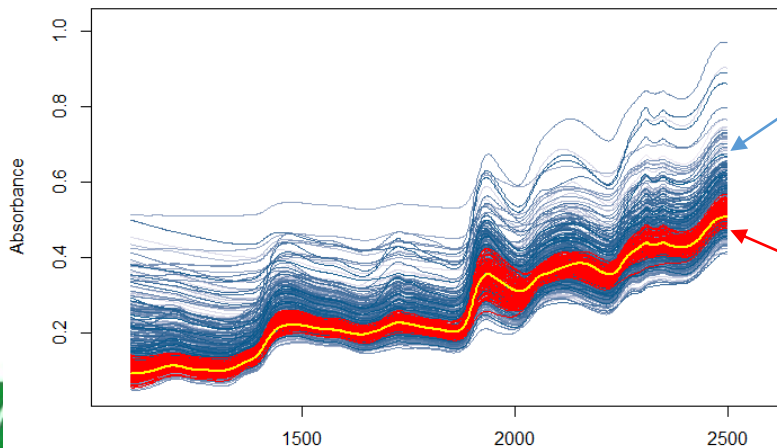
## Méthode: **kNN-Locally Weighted PLS**

Lesnoff et al. 2019  
Journal of chemometrics



$n$  échantillons de l'équation

Un nouvel échantillon à estimer



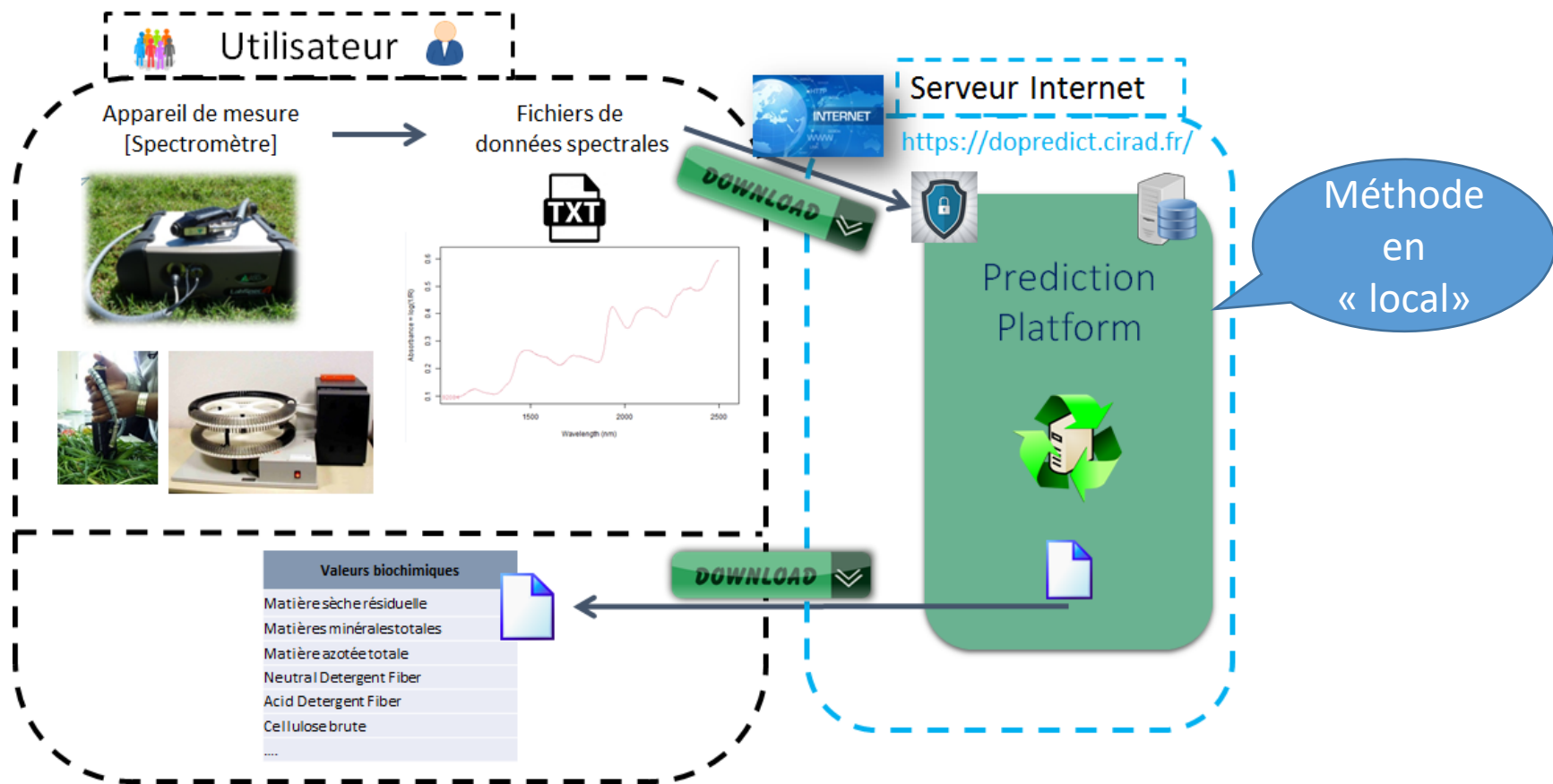
Pas utilisés

**Pre-sélection de  $k$  voisins**

$\longrightarrow$   $poids = f(distance)$

Longueurs d'onde (nm)

# Travailler en réseau à distance : exemple CIRAD SELMET



# Mesures dans les exploitations

- Différents appareils avec des performances et des prix variés



LabSpec ASD  
350-2500 nm  
qq dizaines de milliers d'€



AgriNIR Dinamica  
1100-1800 nm  
qq milliers d'€



SCIO Consumer Physics  
740-1070 nm  
qq centaines d'€

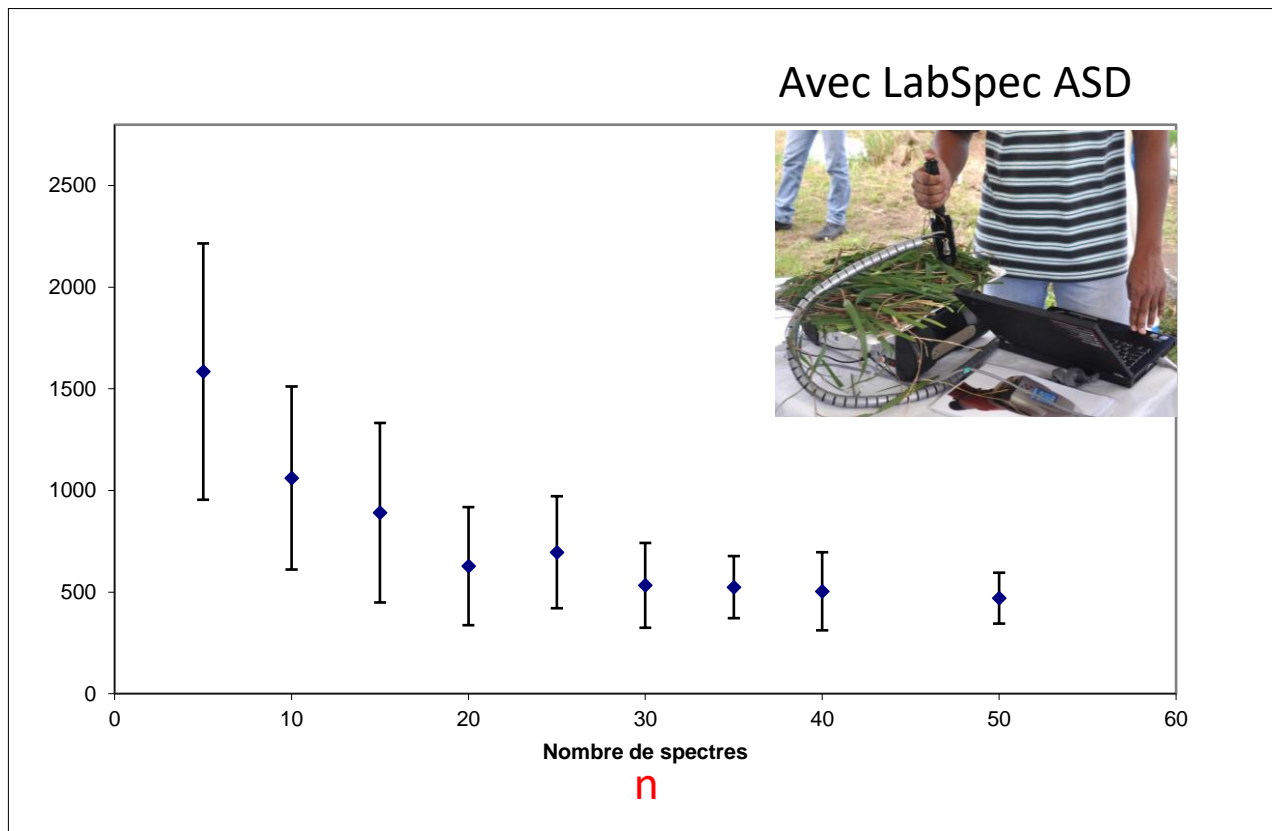


Tellspec  
900-1700 nm  
qq milliers d'€

Nécessité d'avoir des équations adaptées aux échantillons analysés

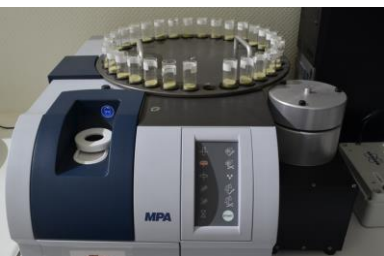
# Prise en compte de l'hétérogénéité des échantillons : matériel non broyé

Ecart moyen entre un spectre « idéal » réalisé à partir de 500 spectres et un spectre réalisé à partir de  $n$  spectres



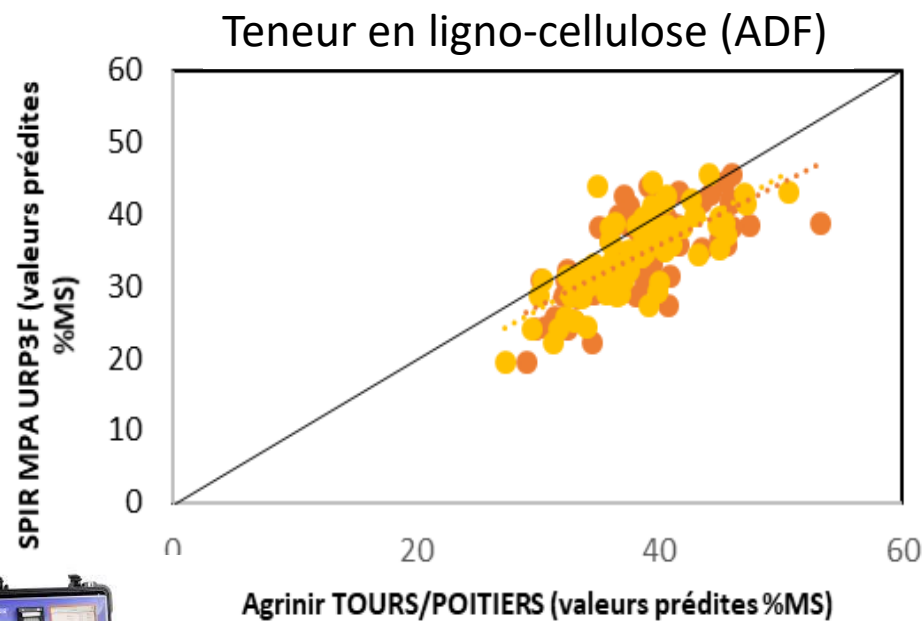
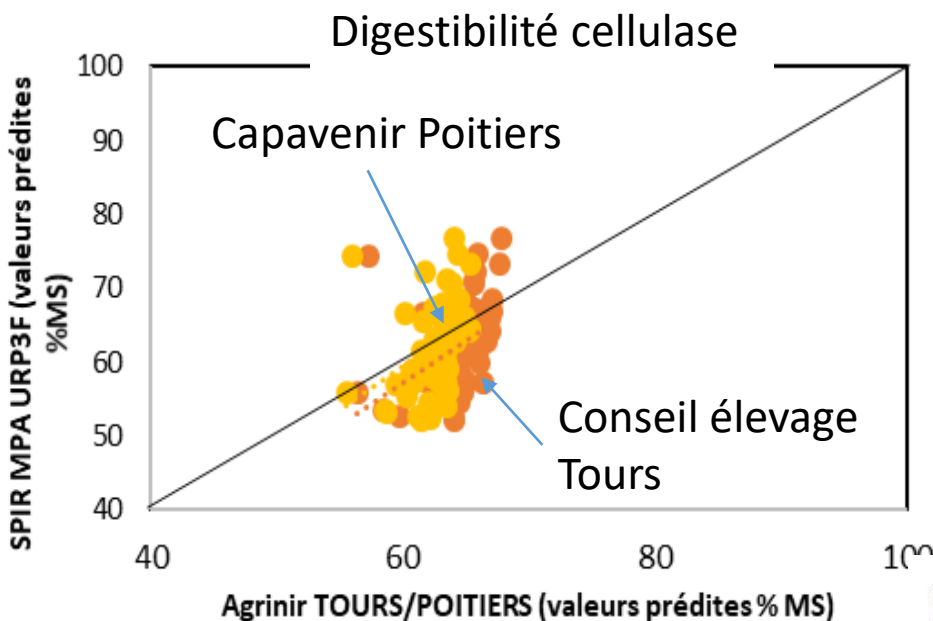
Nécessité de mesurer 30 à 40 spectres par échantillon de fourrage non broyé

# Evaluation de deux appareils AgriNIR : Copavenir Poitiers et Touraine Conseil Elevage à Tours



Broyé

Sur 66 foins de luzerne



Non broyé

JP2021: Prairies et Fourrages 2.0

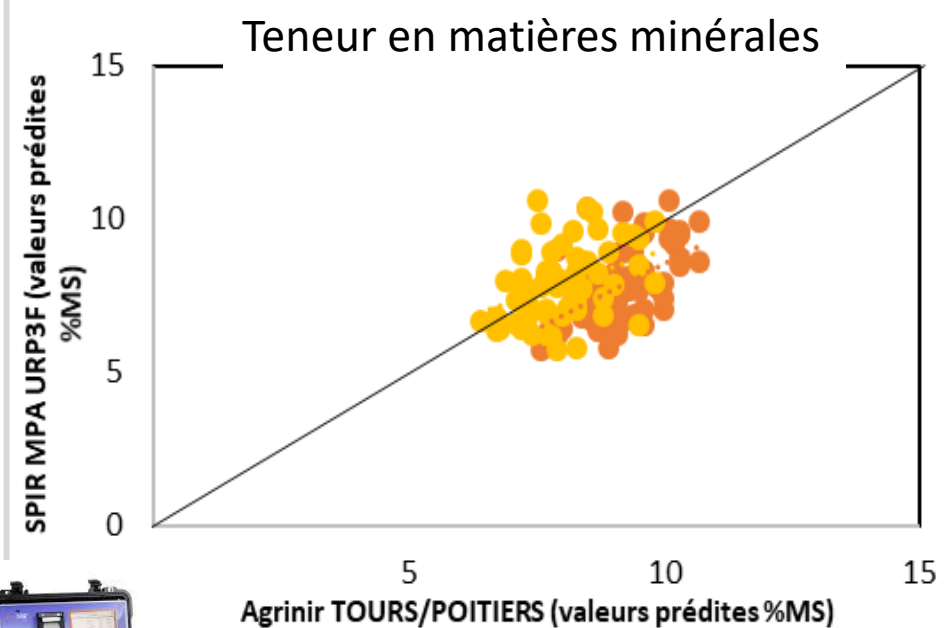
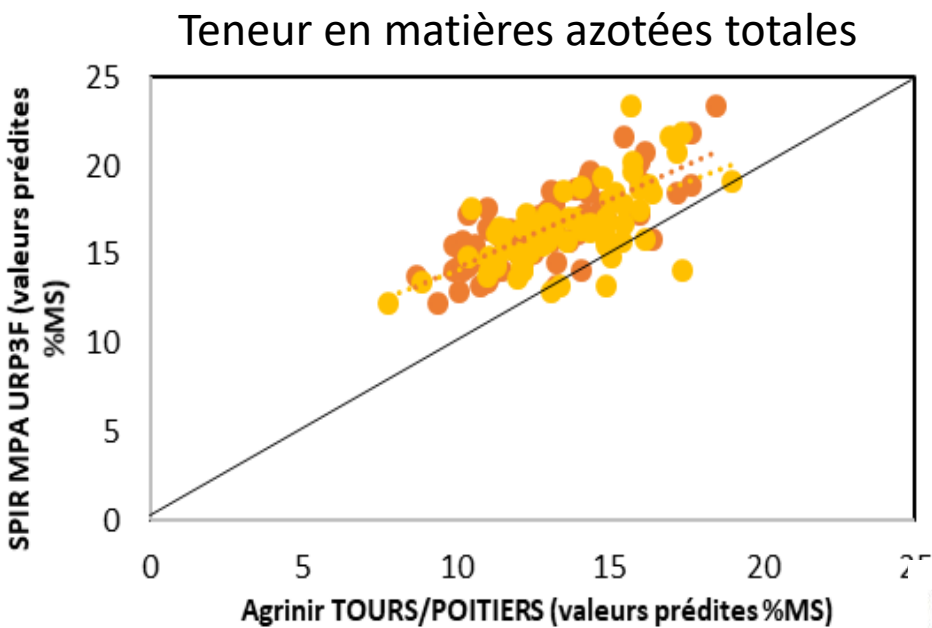


# Evaluation de deux appareils AgriNIR : Copavenir Poitiers et Touraine Conseil Elevage à Tours



Broyé

Sur 66 foins de luzerne

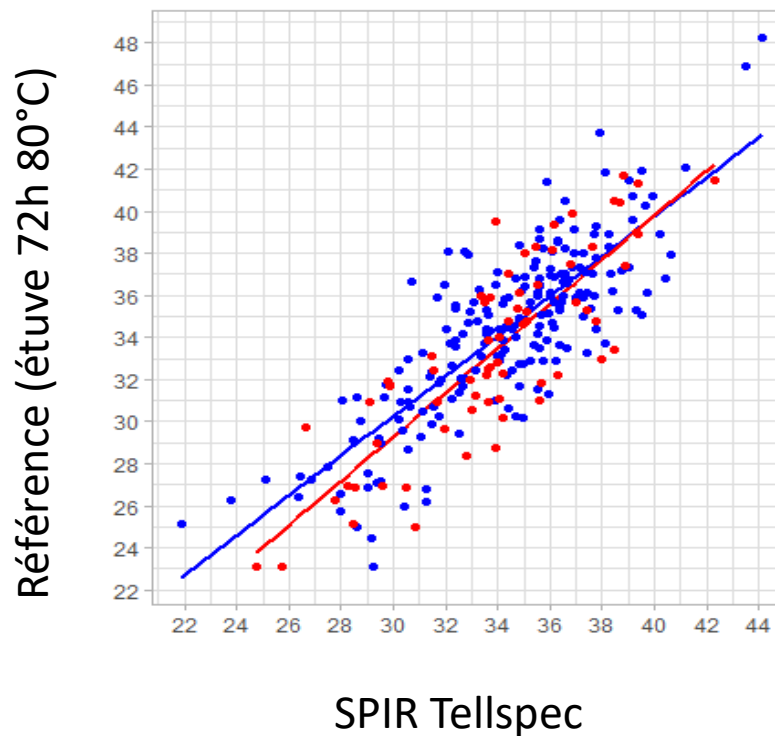
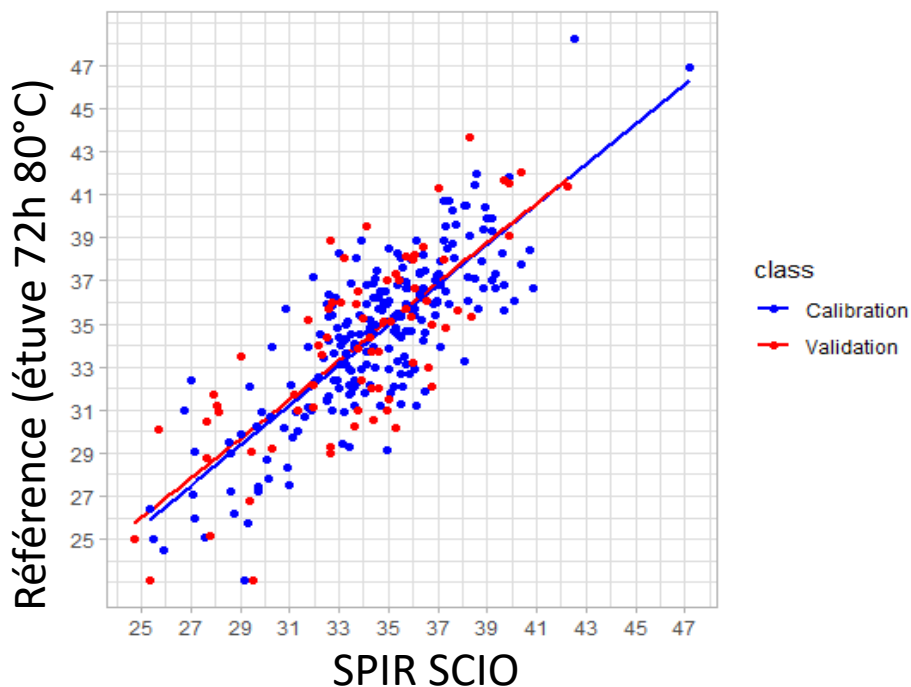


Non broyé

JP2021: Prairies et Fourrages 2.0

# Evaluation de deux appareils très portables: SCIO et Tellspec

Matière sèche de maïs fourrage plante entière



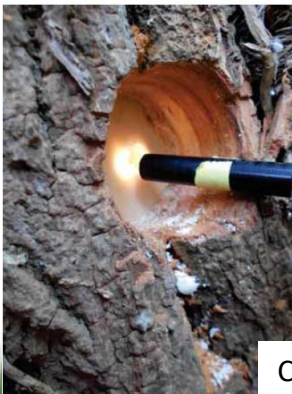
Précision de 5% inférieure à celle de l'exploitant (3%)

# Conclusions

- La SPIR au labo sur matériel séché broyé peut évaluer de manière précise la digestibilité cellulase et la composition chimique de nombreux fourrages **si des équations appropriées sont développées et maintenues** → gain de temps et de coût / chimie analytique
- Le passage à la valeur alimentaire fait appel à **des modèles à partir de données animales** qui doivent être créés et maintenus
- Il est possible de mettre en commun des bases de données puis d'utiliser des équations en « local » **si la transférabilité entre labos pour les analyses chimiques et SPIR a été validée**
- Il existe de nombreux spectromètres plus ou moins portables, plus ou moins cher et plus ou moins performant
  - Il faut ajuster l'appareil au besoin
- Il faut prendre en compte l'hétérogénéité des échantillons non broyés et le fait de travailler sur du matériel contenant de l'eau

# Perspectives

- Développement de nouvelles bases de données pour des fourrages nouveaux : méteils...
- Etudier la possibilité de partager ces bases et de travailler en réseau
- Contribuer à la création de nouveaux appareils très portables et peu onéreux capables de répondre aux attentes des éleveurs pour l'établissement des rations en valorisant au mieux les fourrages produits à la ferme



Charpentier et al. Heliospir 2018



Peuplier noir bords de Loire



Merci pour votre attention !



33



34

