Imagerie hyperspectrale proche infrarouge (NIR-HSI) appliquée à la quantification de la teneur en eau de produits céréaliers

Benoît Jaillais
Philippe Courcoux - Sylvie Chevallier - Alain Le Bail - Eloïse Lancelot

SFPT - GH 2016

Contexte

Pour les consommateurs, la qualité d'un p…s choix.
La casse et la fêle sont des défauts sans i…réciés par
les consommateurs, surtout si un grand n…s.

fêle

?

Défauts de casse et de fêle = teneur et répartition en eau

Objectifs de l'étude

Les principaux objectifs de cette étude consiste en l'évaluation de l'imagerie hyperspectrale proche infrarouge (NIR-HSI) pour quantifier la teneur en eau de biscuits commerciaux et pour cartographier la répartition de l'eau dans les gâteaux.

Les résultats de cette évaluation permettront de déterminer si cette technique peut être implémentée en ligne.

Echantillons

2 marques de biscuits

PB

Huile végétale

SM

Beurre

Composition (100 g)	Petit Brun	Saint-Michel
Lipides	*13 g*	*16g*
Acides gras saturés	*6 g*	*11g*
Glucides	*75 g*	*74g*
Sucres	*25 g*	*25g*
Fibres	*2.9 g*	*2g*
Protéines	*6.9 g*	*7g*
Sel	*0.78 g*	*0.9g*
Sodium	*0.307 g*	*0.300g*

Méthode

10 biscuits de chaque marque ont été conditionnés dans 10 dessiccateurs avec des solutions saturées en sels ayant des activités de l'eau différentes (Aw).

1 biscuit de chaque marque est placé dans un sac plastique dans le laboratoire (hygrométrie comprise entre 0,42-0,5)

N° Dessiccateur et sel	01 LiCl	02 CH	03 MgCl	04 K_2	05 Mg(NO$_2$	06 NaBr	07 CuCl	08 NaCl	09 KCl	10 BaCl
Aw (20°C)	*0.114*	*0.226*	*0.313*	*0.44*	*0.545*	*0.587*	*0.684*	*0.754*	*0.851*	*0.907*

Tous les biscuits ont été pesés avant et après conditionnement.

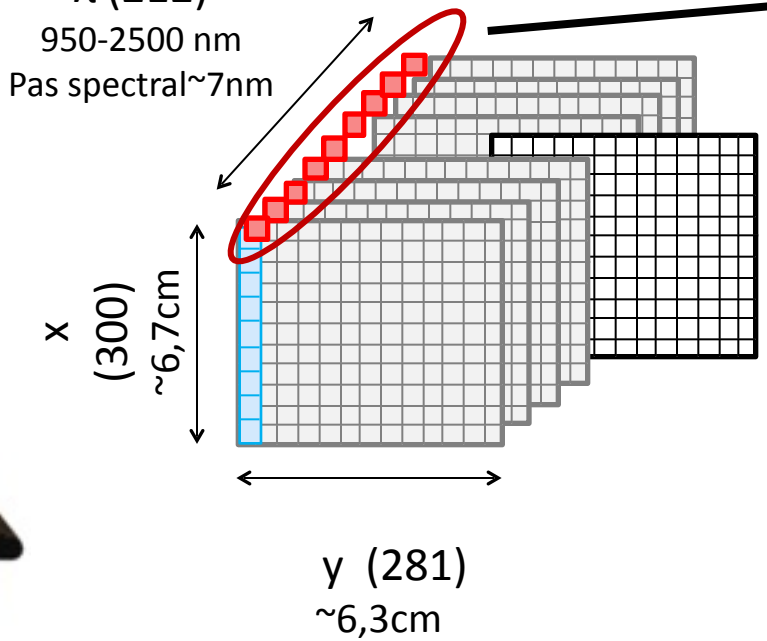
La matière sèche est évaluée par différence de pesée avant et après le conditionnement, et les teneurs en eau sont estimées pour chaque biscuit.

Durée du conditionnement : 1 semaine

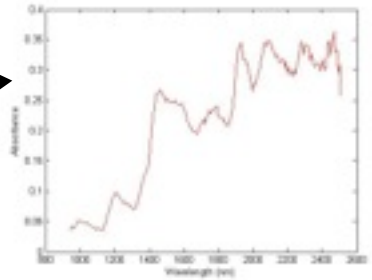
Matériel

Système d'imagerie hyperspectrale NIR :

HyperPro (BurgerMetrics)



Spectre à un point donné xy



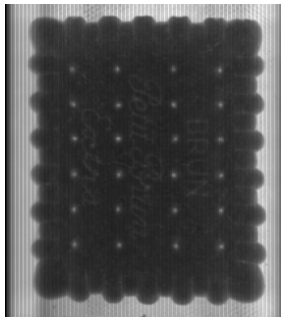


Image obtenue à une longueur d'onde donnée

1min/image

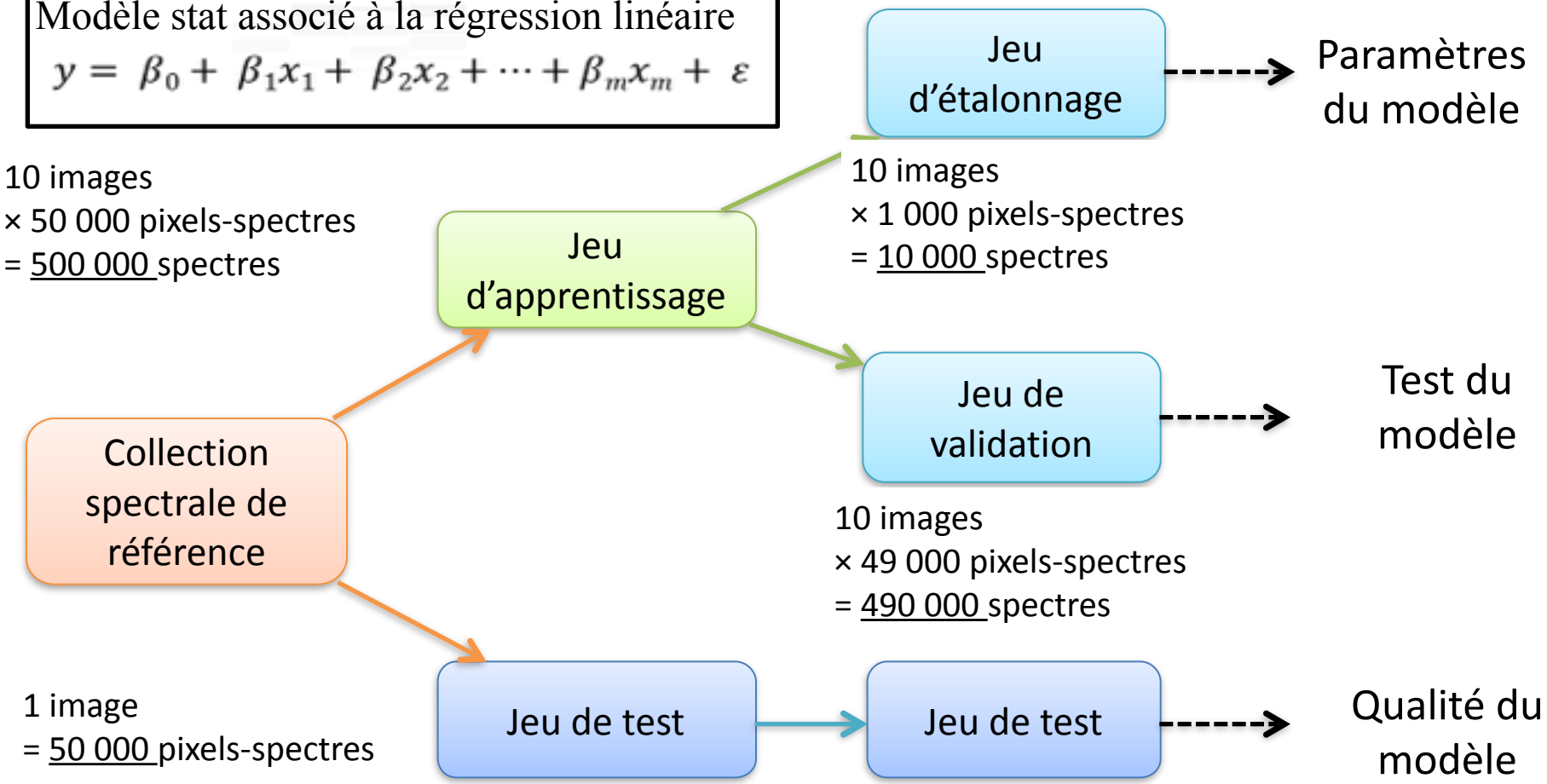
Système d'imagerie " Pushbroom" :

- Acquisition d'une ligne entière (résolution spatiale 225µm)
- Avance du tapis roulant selon la direction "y" ⇒ acquisition d'une nouvelle ligne

Établissement d'un modèle prédictif pour 1 biscuit

Modèle stat associé à la régression linéaire

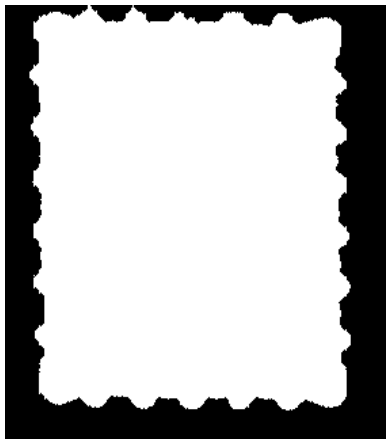
$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_m x_m + \varepsilon$$



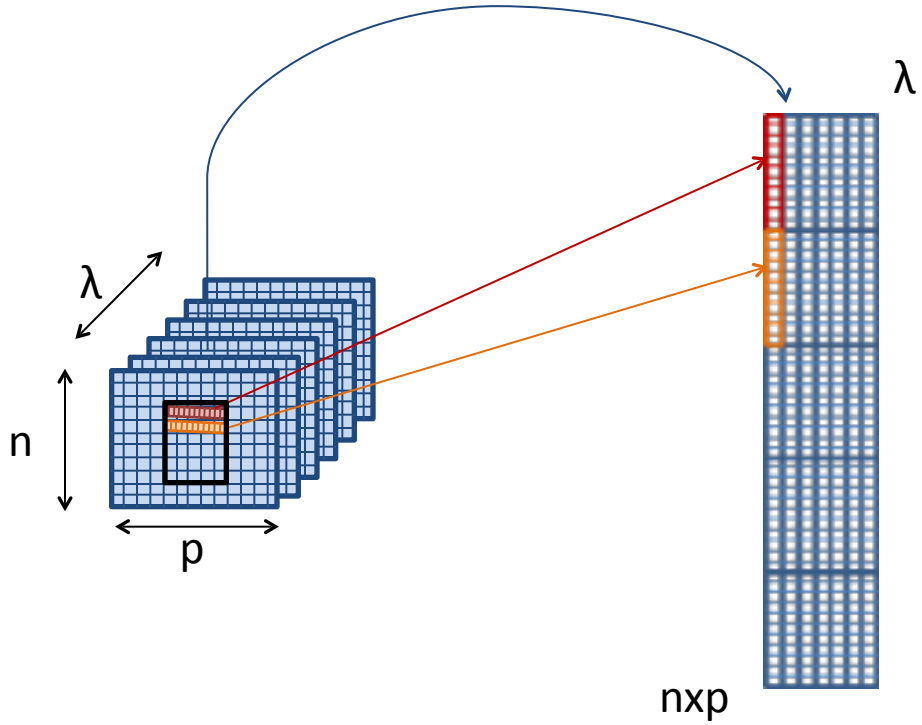
Pré-traitement des données

Sélection de la région d'intérêt ROI :

Segmentation automatique à partir d'une image moyenne de chaque cube de données ⇒ image binaire (valeur d'un pixel égale à 1 dans la ROI et à 0 dans le fond).



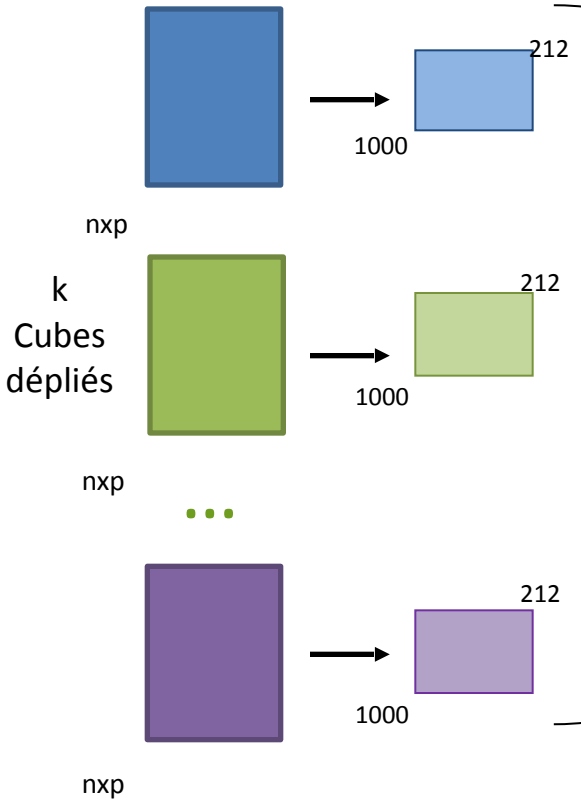
Dépliage de l'hypercube :



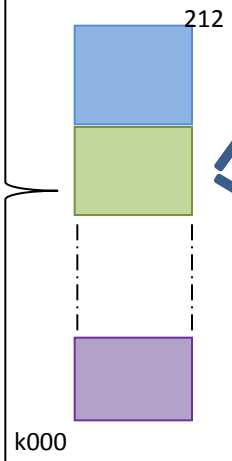
Smoothing+SNV

Traitement des données

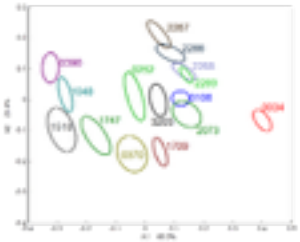
Échantillonnage aléatoire:
1000 pixels de chaque ROI



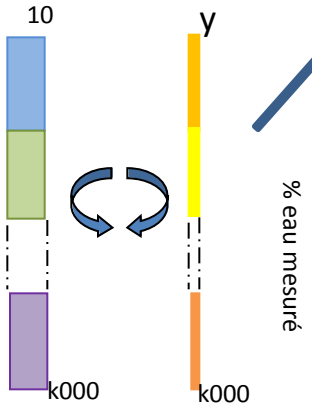
Concaténation



ACP



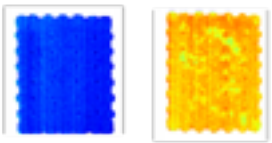
ANOVA



Régression linéaire Multiple

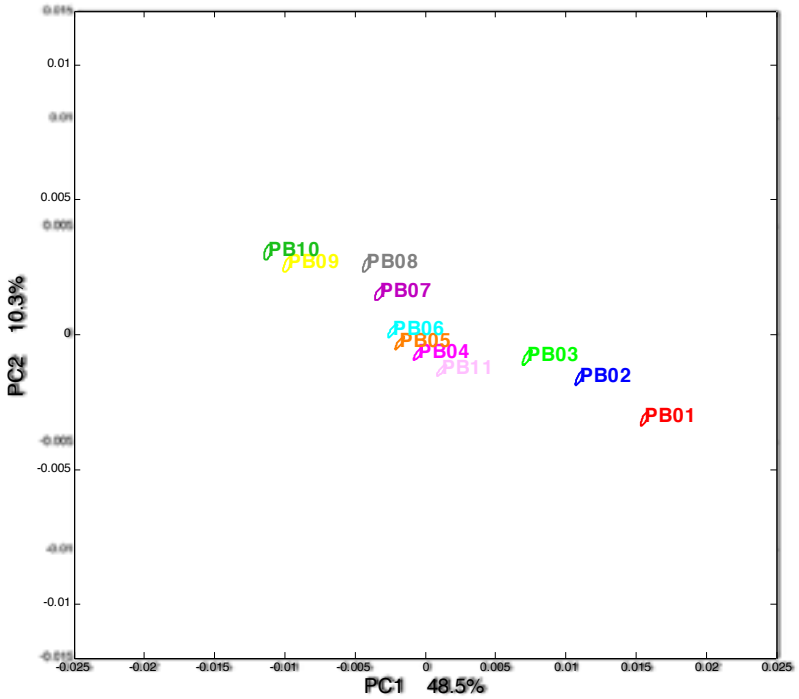
Validation du modèle avec 10 variables

Application du modèle à tous les pixels et construction d' images de prédiction

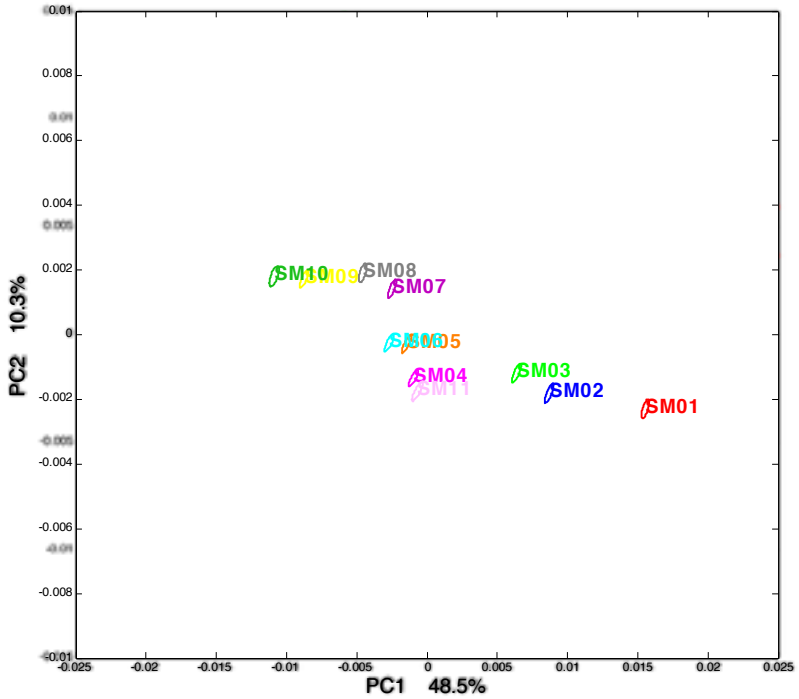


Résultats de l'ACP (1)

Petit Brun

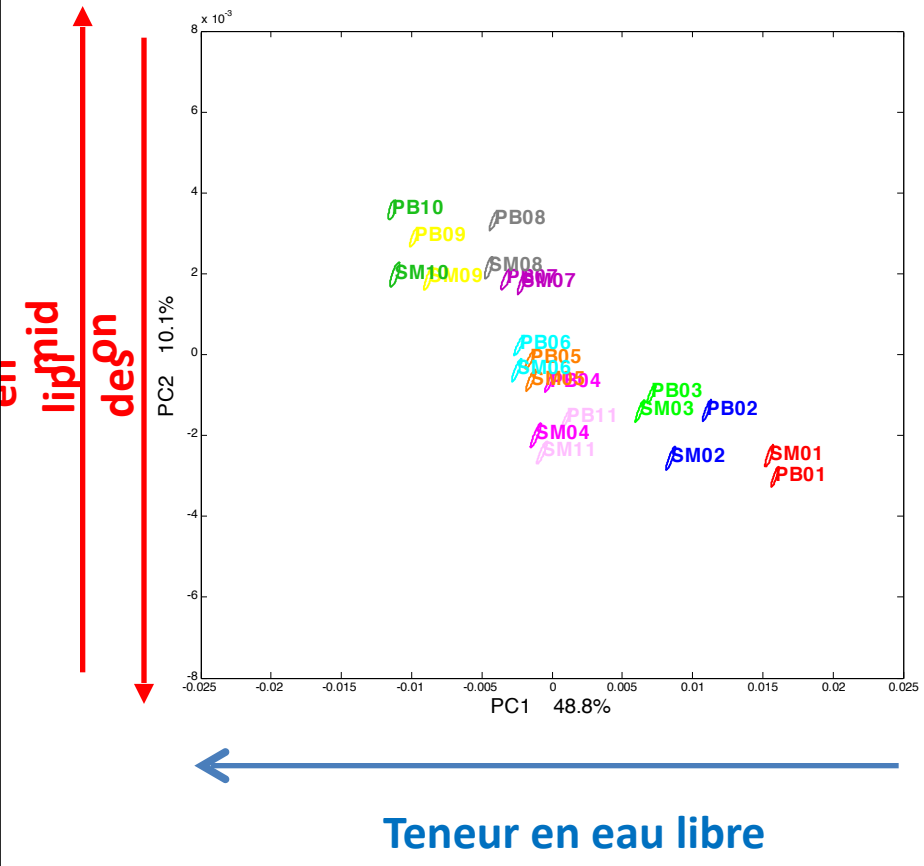


Saint-Michel



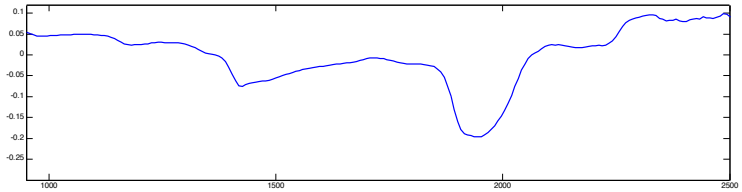
A_W croissante

Résultats de l'ACP (2)



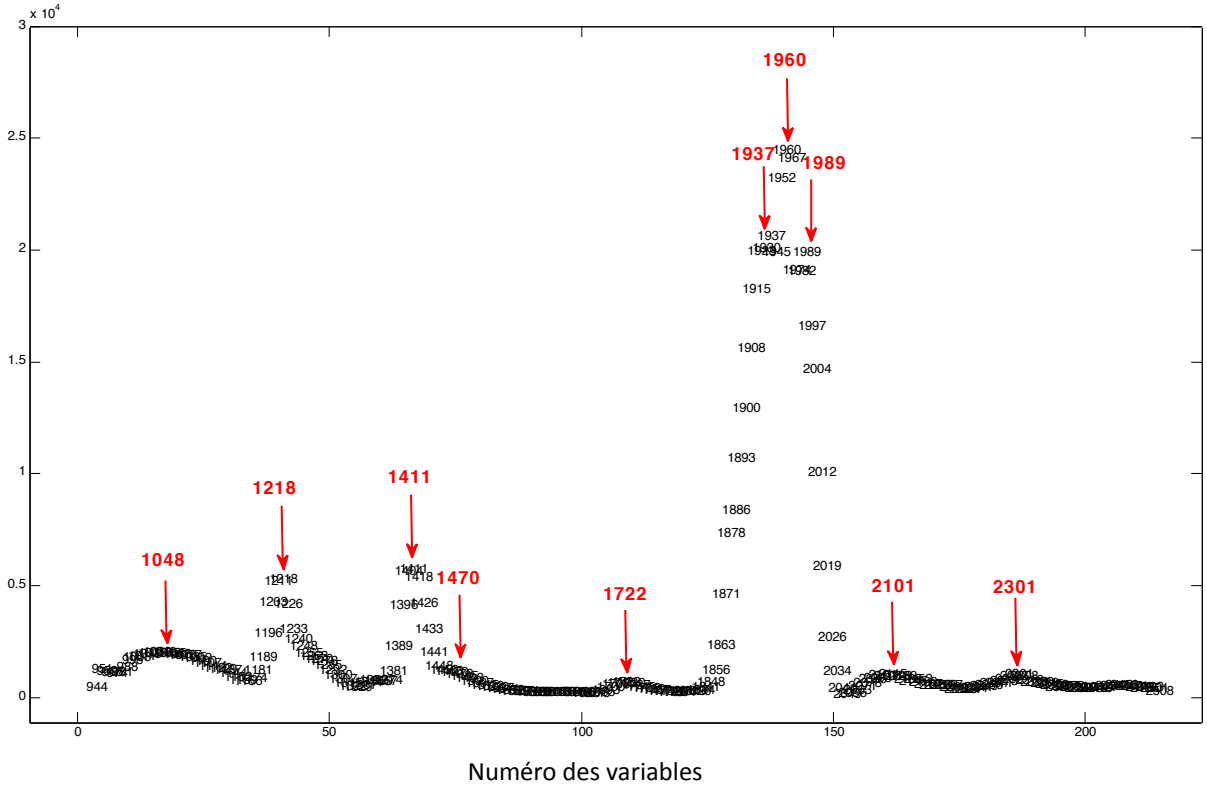
Teneur en eau libre

Loadings



Résultats de l'Anova

10 longueurs d'onde ont été sélectionnées pour établir le modèle de régression



Résultats de la régression

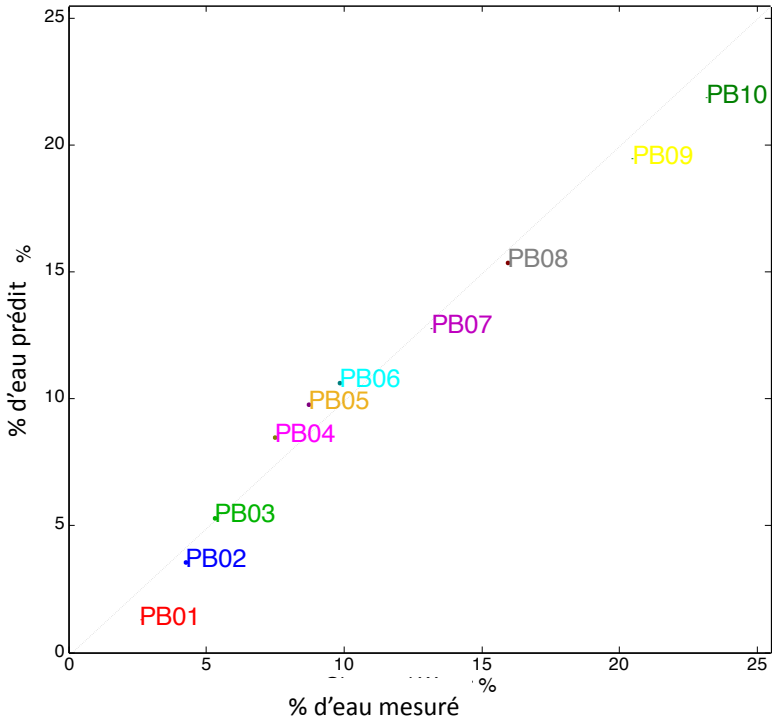
	Petit Brun	Saint-Michel
Modèle de calibration		
R	***0,944***	***0,923***
RMSEC	***0,015***	***0,015***
Modèle de validation		
R	***0,950***	***0,927***
RMSEV	***0,015***	***0,015***

R^2 : coefficient de détermination
RMSEC : Root Mean Square Error of Calibration
RMSEV : Root Mean Square Error of Validation

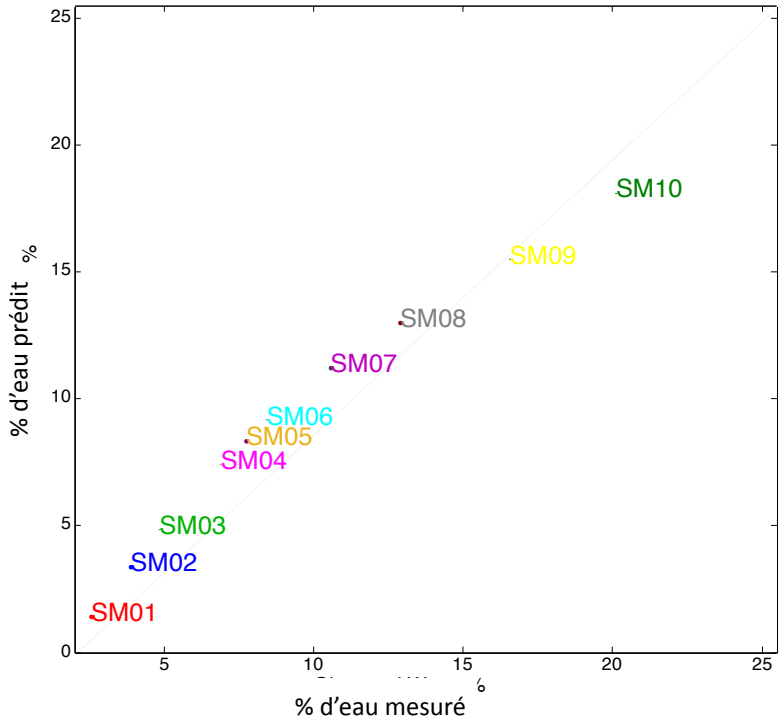
Résultats de la régression (1)

Pourcentage d'eau prédit versus pourcentage d'eau mesuré pour chaque biscuit

Petit Brun

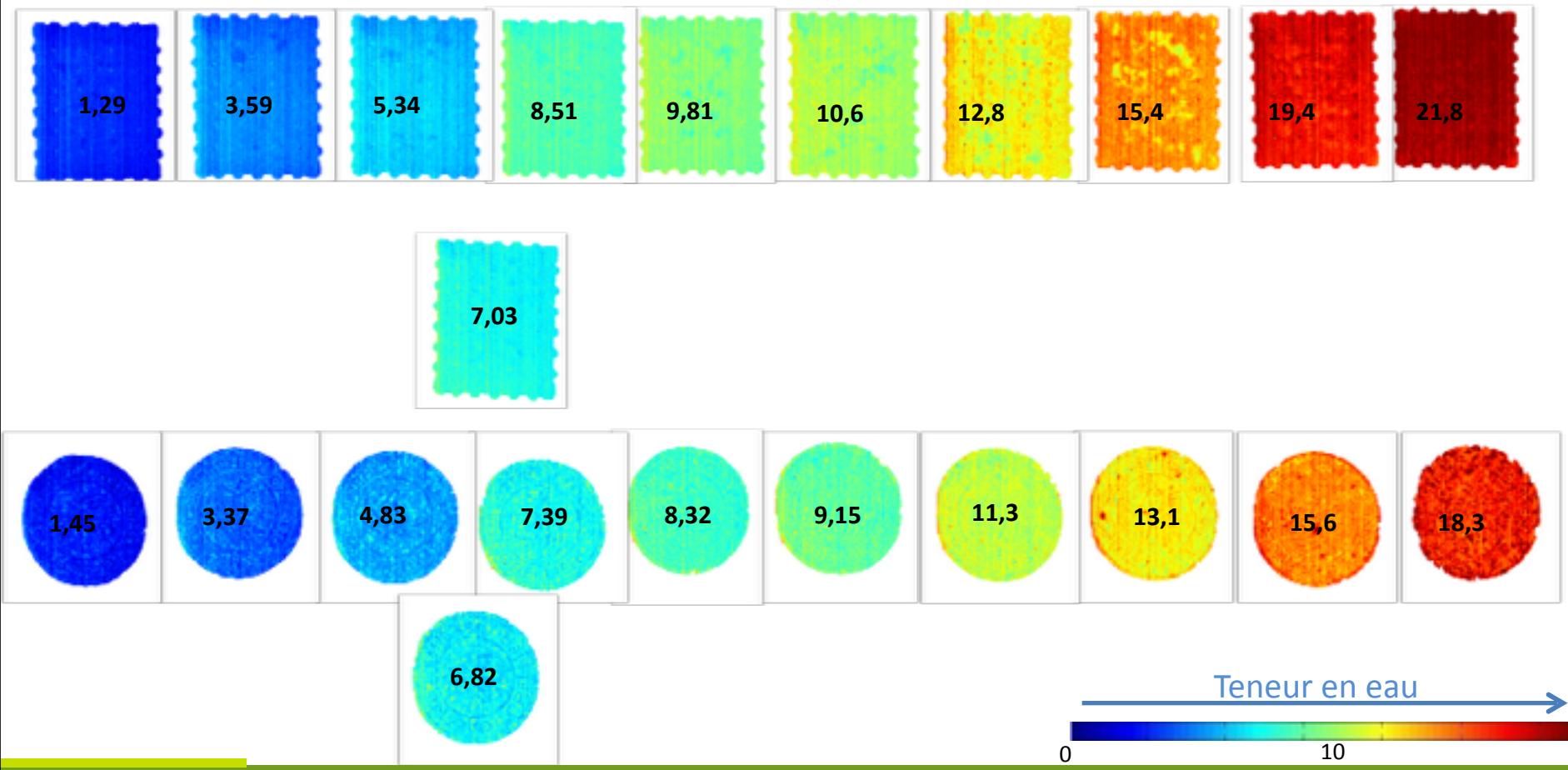


Saint-Michel



Résultats de la régression (2)

Images en fausses couleurs obtenues après application du modèle de prédiction sur les biscuits



Conclusion

- ✓ Deux marques de biscuits “Petit Brun” et “Saint-Michel” ont été analysés par NIR-HSI pour évaluer le potentiel de cette technique pour prédire la teneur en eau de ce type de produit céréalier.
- ✓ Les résultats obtenus par ACP montrent que la teneur en eau des deux marques de biscuits peut être estimée par NIR-HSI.
- ✓ L’analyse de variance (ANOVA) nous a permis d’identifier les 10 variables les plus importantes de la région 950-2500 nm pour estimer la teneur en eau des biscuits.
- ✓ Le modèle de régression avec 10 variables donne des résultats acceptables (R^2>0,92), mais ce serait mieux d’utiliser un modèle par type de biscuit, car ils n’ont pas la même réponse vis-à-vis de l’eau (ex : les biscuits avec moins de matière grasse ont une teneur en eau plus importante).
- ✓ Des hétérogénéités dans les biscuits et des casses sur les bords sont visibles dans les images en fausses couleurs reconstruites, spécialement pour les biscuits placés dans des dessiccateurs avec une Aw importante.
- ✓ NIR-HSI semble une méthode très prometteuse pour prédire la teneur en eau dans des produits céréaliers et pour être implémentér en-ligne à différentes étapes du process.

Perspectives

- ✓ Créer un modèle de régression pour chaque type de biscuit
- ✓ Analyser et comparer les spectres correspondant aux hétérogénéités observées sur les images en fausses couleurs.
- ✓ Accroître la précision du modèle sur une échelle d'activité de l'eau plus resserrée (environ 5%)
- ✓ Faire des mesures à différentes étapes de la production (avant et après cuisson, après refroidissemnt, etc…)

Merci pour votre attention

Ce travail est financé par l'Infrastructure Biologie Santé 'Phenome-FPPN' gérée par l'Agence Nationale de la Recherche et le"Programme d'Investissements d'Avenir" (PIA) (ANR-11-INBS-0012)

Projet BRICE