

A close-up photograph of a wooden spoon holding a thick, smooth, white béchamel sauce. The background is slightly blurred, showing more of the sauce.

➤ UTILISATION DE LA SPECTROSCOPIE PROCHE INFRAROUGE ET LA MCR-ALS POUR LE SUIVI DE LA CUISSON DES SAUCES BÉCHAMEL

Sonia Nieto-Ortega, [Silvia Mas Garcia](#), Angela Melado-Herreros, Giuseppe Foti, Idoia Olabarrieta et Jean-Michel Roger

➤ Contexte



- ❖ Sauce blanche française
- ❖ Préparée à partir d'un mélange de farine et de gras cuit avec du lait ou de la crème.
- ❖ Sauce mère utilisée dans beaucoup de recettes et qui sert de base à d'autres sauces.

➤ Contexte



- ❖ Les outils de contrôle du processus de cuisson suscitent un grand intérêt dans l'industrie.
- ❖ S'assurer que le processus de cuisson est correctement exécuté
- ❖ Apporter des corrections en temps réel si les sauces ne se comportent pas comme prévu

> Contexte

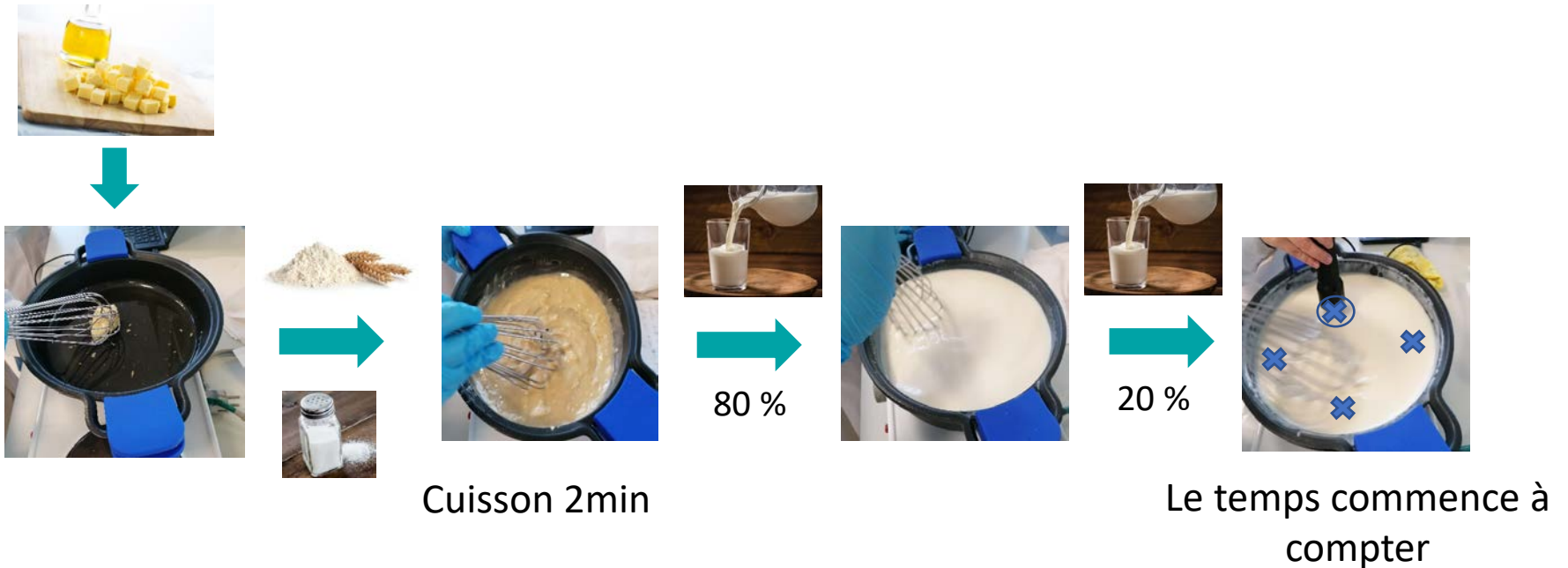


- ❖ Les outils de contrôle du processus de cuisson suscitent un grand intérêt dans l'industrie.
- ❖ S'assurer que le processus de cuisson est correctement exécuté
- ❖ Apporter des corrections en temps réel si les sauces ne se comportent pas comme prévu

OBJECTIVE: montrer le potentiel de la SPIR + MCR-ALS pour étudier le processus de cuisson de la béchamel



➤ Partie Expérimentale



4 Taches sélectionnées au hasard pour la mesure des spectres NIR (en double)



Mesure de la température avec le premier spectre



PIR portatif (MicroNIR OnSite de VIAVI)
Gamme spectrale : 900 à 1650 nm

➤ Partie Expérimentale

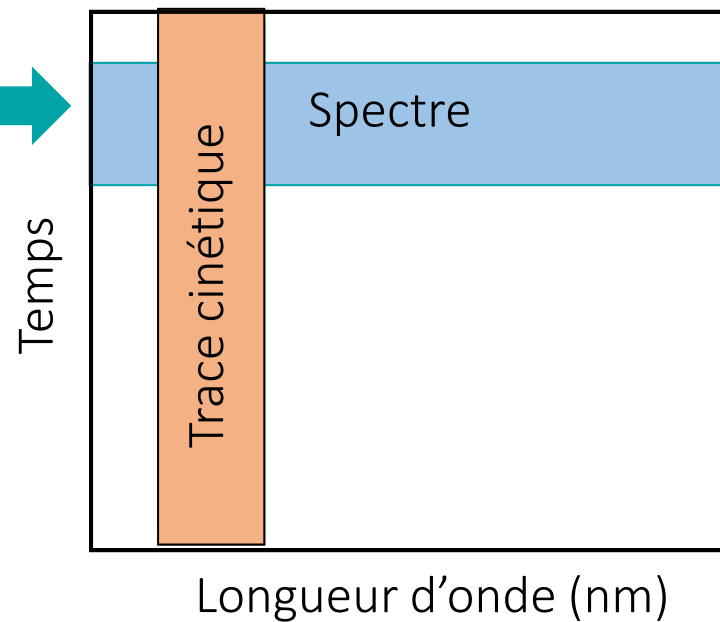
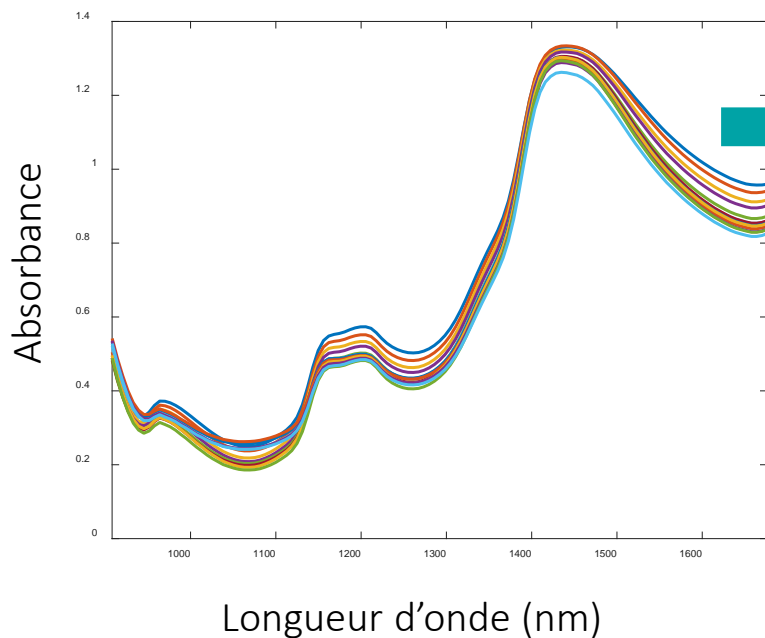
✓ Set de Données

| Measurements (min) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 16 sauces | 6.5 | 7.5 | 8.5 | 9.5 | 10.5 | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 14.5 | 15.5 | 16.5 | | | | |
| 3 sauces | 6.5 | 7.5 | 8.5 | 9.5 | 10.5 | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 14.5 | 15.5 | 16.5 | 17.5 | 18.5 | 19.5 | 20.5 |
| 8 sauces | 8.5 | 10.5 | 12.5 | 14.5 | 16.5 | 18.5 | 20.5 | 22.5 | 24.5 | 26.5 | 28.5 | 30.5 | 32.5 | | |

27 sauces et 4 mesures para sauce par temps

➤ Structure de données

Spectres bruités



➤ Model Bilineal

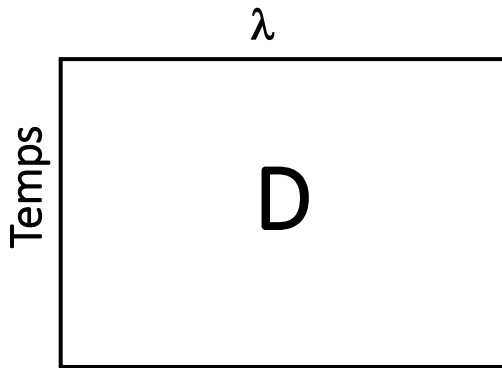
$$D = CS^T + E$$

Données brutes du processus

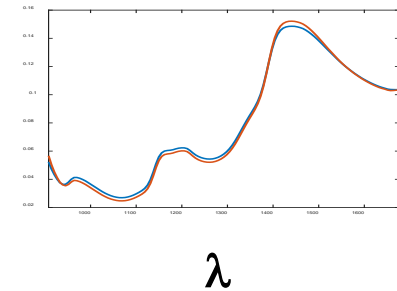
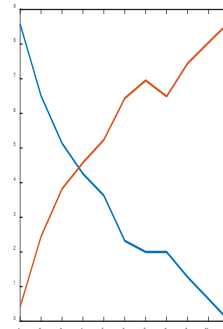
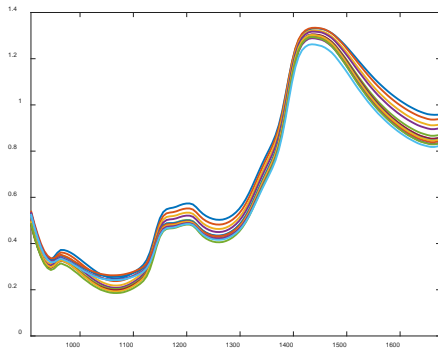
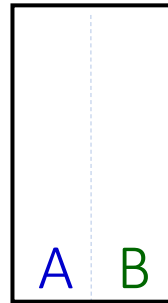
Description de processus

Profils de concentration (C)

Spectres purs (S^T)



=



INRAE

λ

Titre de la présentation

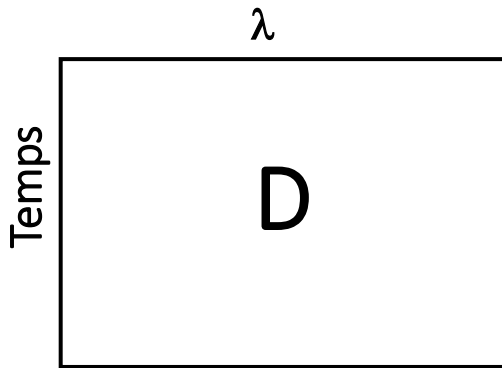
Date / information / nom de l'auteur

➤ Model Bilineal

$$D = CS^T + E$$

Données brutes du processus

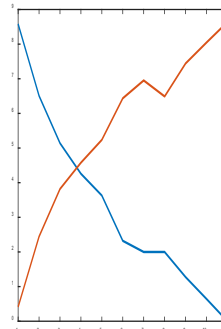
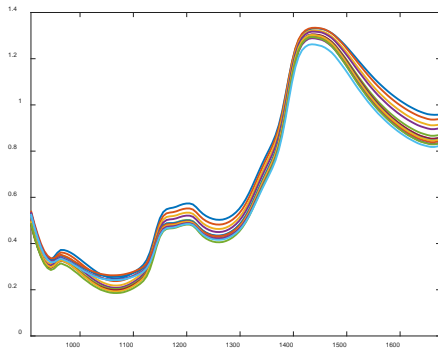
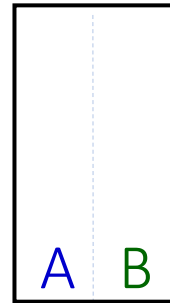
Description de processus



Profils de concentration (C)

Spectres purs (S^T)

=



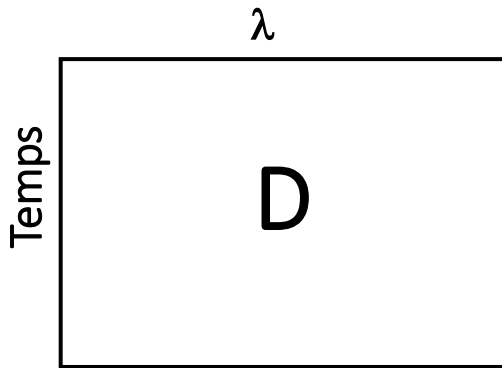
Information sur l'évolution du processus

➤ Model Bilineal

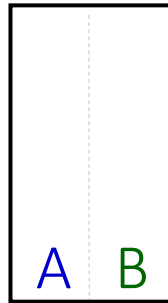
$$D = CS^T + E$$

Données brutes du processus

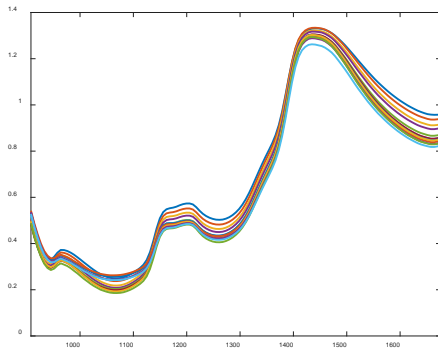
Description de processus



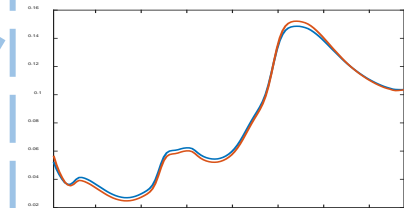
Profils de concentration (C)



Spectres purses (S^T)



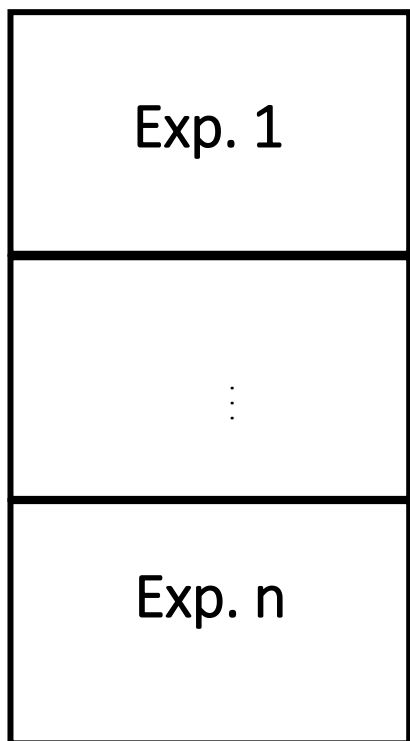
informations structurelles des composantes



➤ Model Bilinear

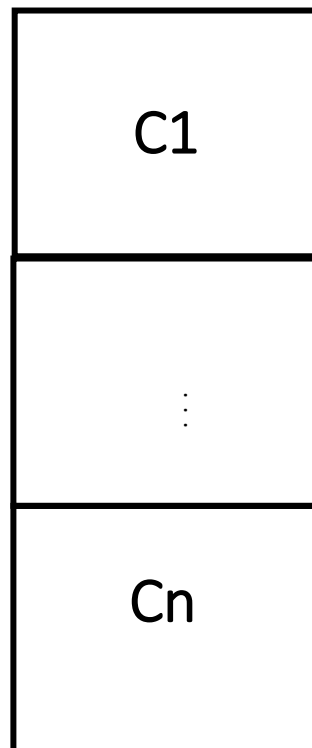
$$D = CS^T + E$$

Multiset:



=

Caug



commun à
toutes les
expériences

➤ MCR-ALS. Etapes

$$D = CS^T + E$$

- Détermination du nombre de composantes de D (*PCA*).
- Construction des estimations initiales (C or S^T) (*EFA, SIMPLISMA, connaissances préalables...*)
- Calcul par moindres carrés itératifs de C et S^T sous contraintes.
- Vérifier si la reproduction des données CS^T es satisfaisante.

Exploration de données

Entrée d'informations externes



➤ MCR-ALS. Contraintes

Définition

Propriété présent systématiquement dans les profils C et S^T

- ✓ Origine chimique
- ✓ Propriété mathématique.

Application

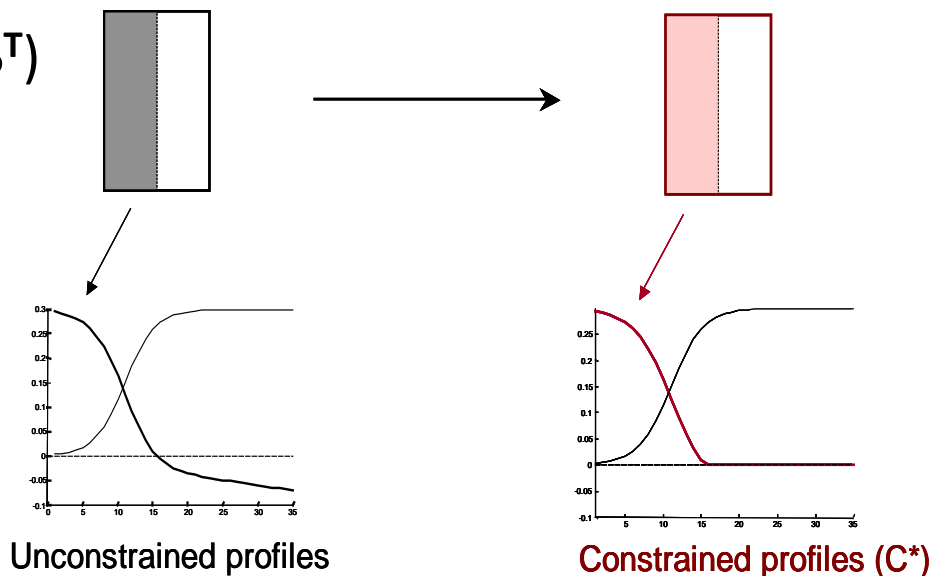
- C et S^T peut être contraint différemment.
- Les profils dans C et S^T peut être contraint différemment.

Contraintes aident à obtenir des profils chimiquement significatives



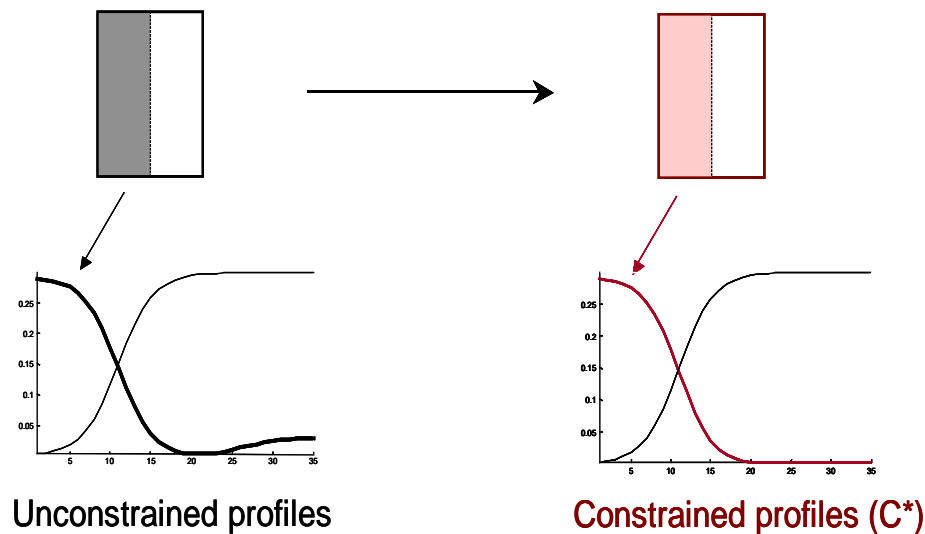
➤ MCR-ALS. Contraintes souples

1. Non-négativité (C, S^T)

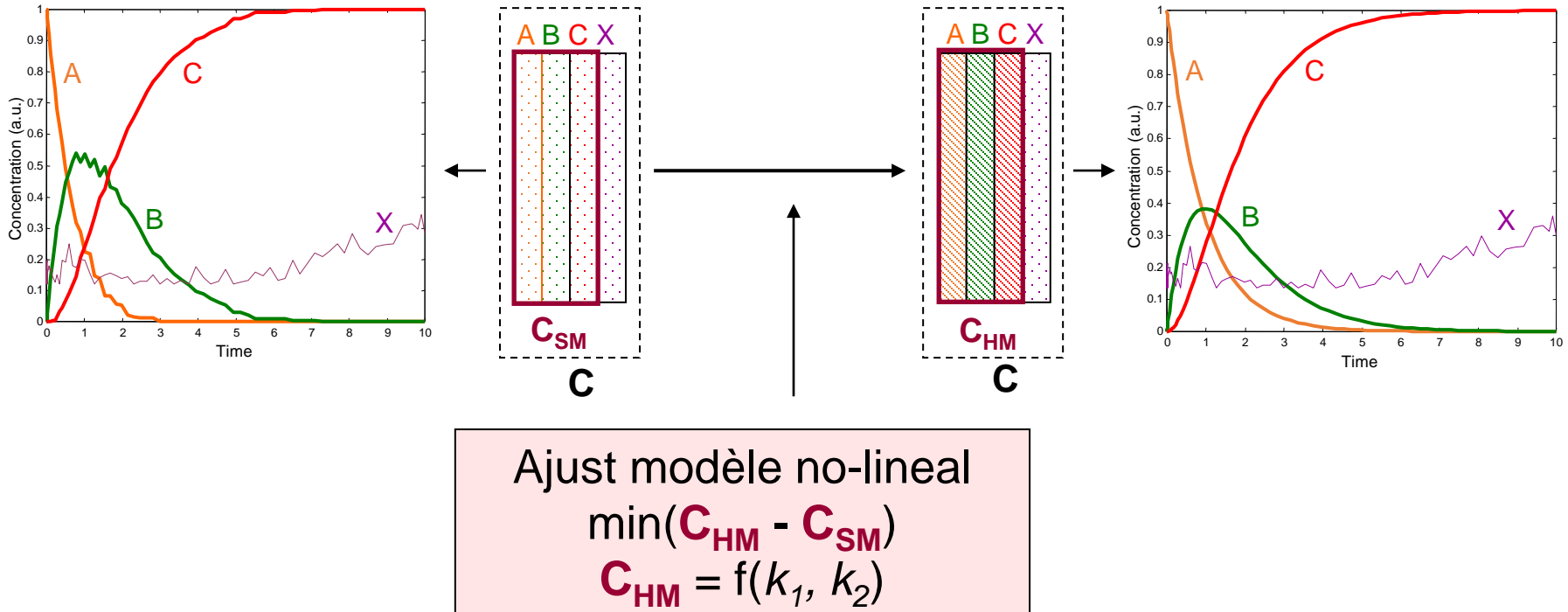


2. Unimodalité (C)

Processus irréversible



➤ MCR-ALS. Contrainte rigide (modèle cinétique)

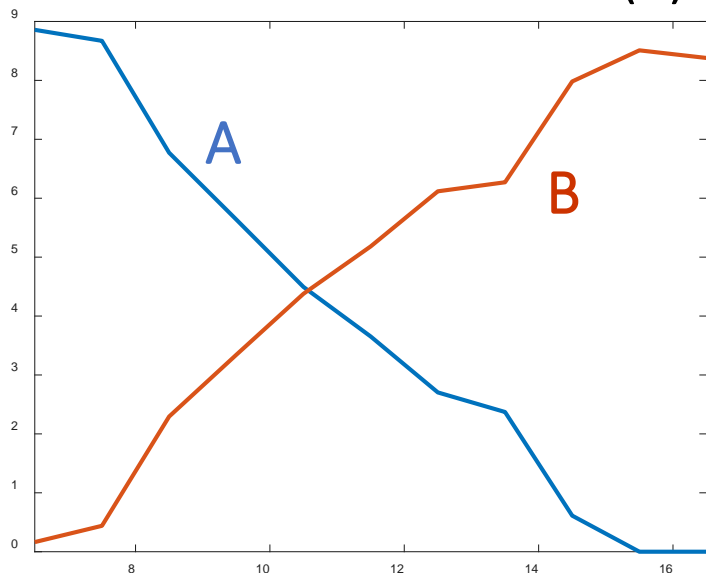


- Tous les profils de concentration ou certains d'entre eux peuvent être contraints.
- Tous les expériences ou certains d'entre elles peuvent être contraintes.

➤ Résultats cas particulier. Béchamel 1

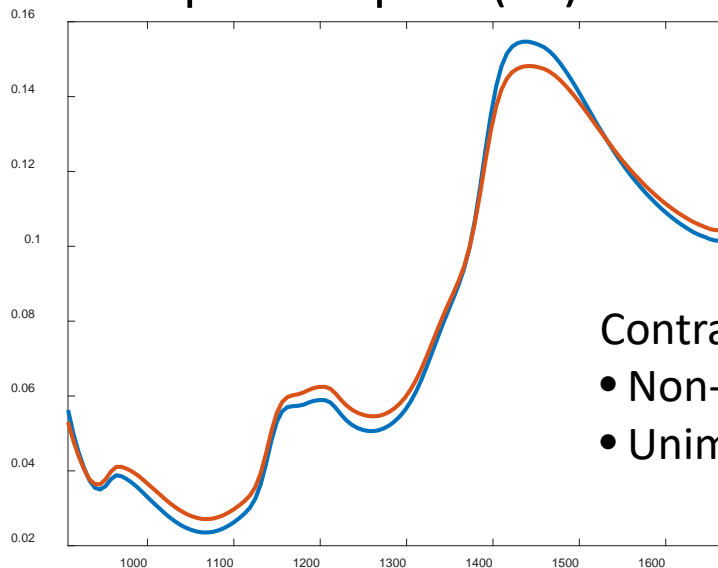
Résultats avec contraintes souples

Profils de concentration (C)



Temps (min)

Spectres purs (S^T)



Longueur d'onde (nm)

Contraintes:

- Non-négativité (C, S^T)
- Unimodalité (C)

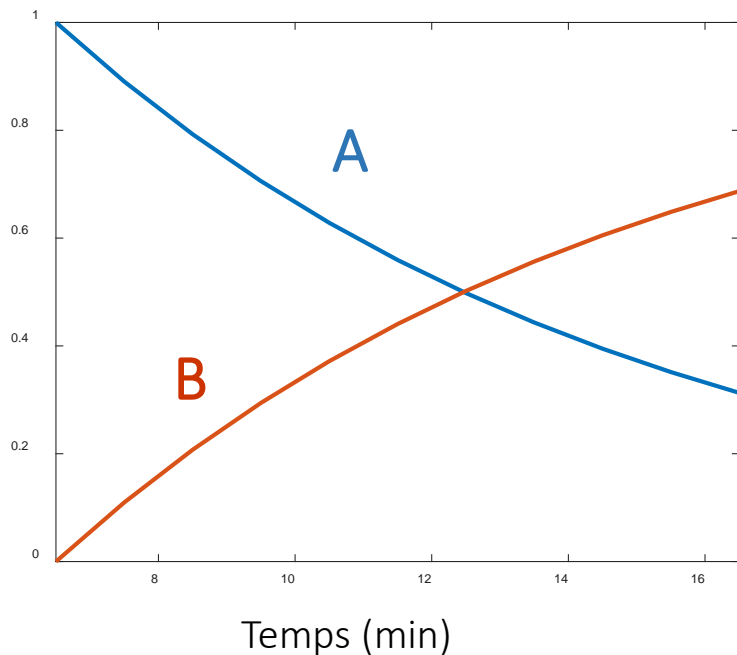
Kinetic model suggested: $A \xrightarrow{k_1} B$

% LOF % = 0.37
% R² = 99.9 %.

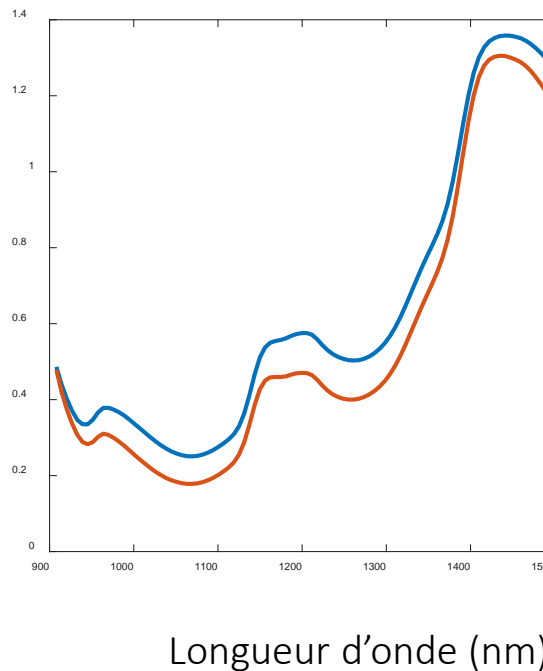
➤ Résultats cas particulier. Béchamel 1

Résultats avec contrainte modèle cinétique

Profils de concentration (C)

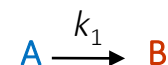


Spectres purs (S^T)



Contraintes:

- Non-négativité (C, S^T)
- Modèle cinétique



$$k_1 = 2,9 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$$

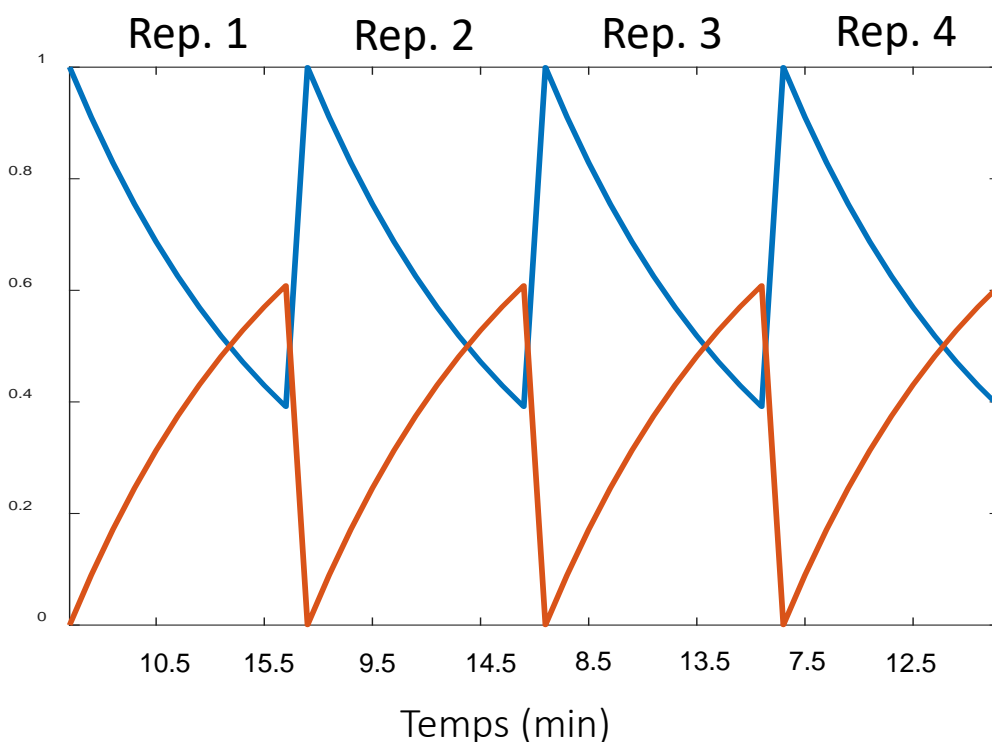
% LOF % = 0.89

% R² = 99.9 %

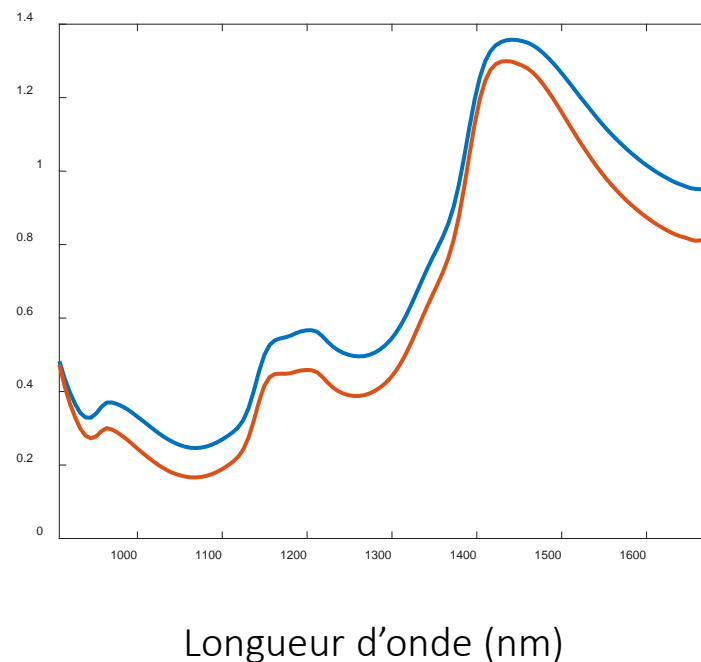
➤ Résultats cas particulier. Béchamel 1

Résultats de l'analyse simultanée des 4 mesures avec contrainte modèle cinétique

Profils de concentration (C_{aug})



Spectres purs (S^T)



$$k_1 = 9.3 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$$

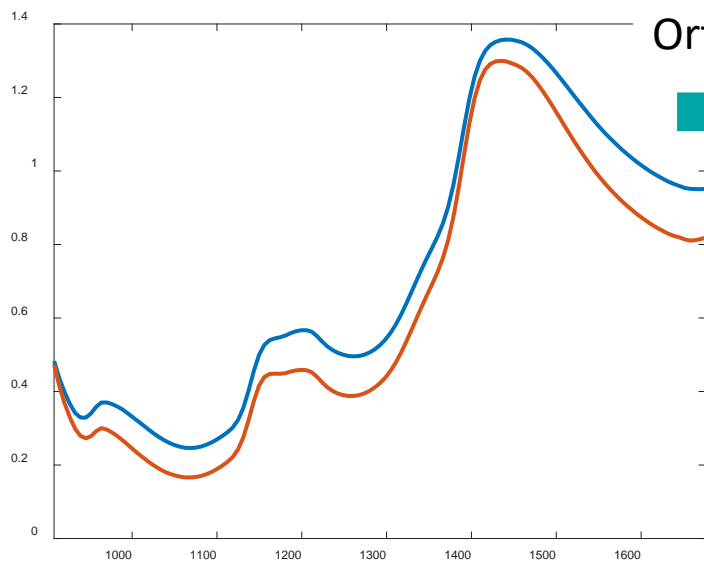
% LOF % = 0.94

% R^2 = 99.9 %.

➤ Résultats cas particulier. Béchamel 1

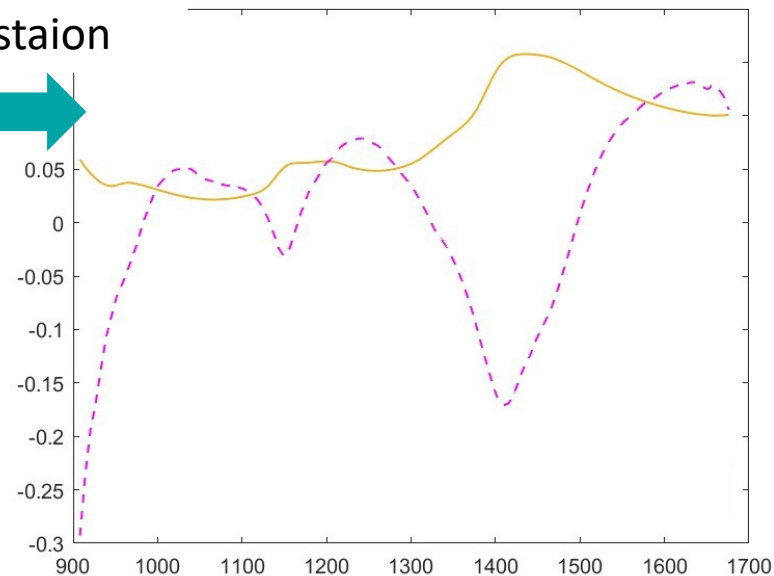
Interprétation des résultats

Spectres purs (S^T)



Longueur d'onde (nm)

Orthogonalisation



Longueur d'onde (nm)

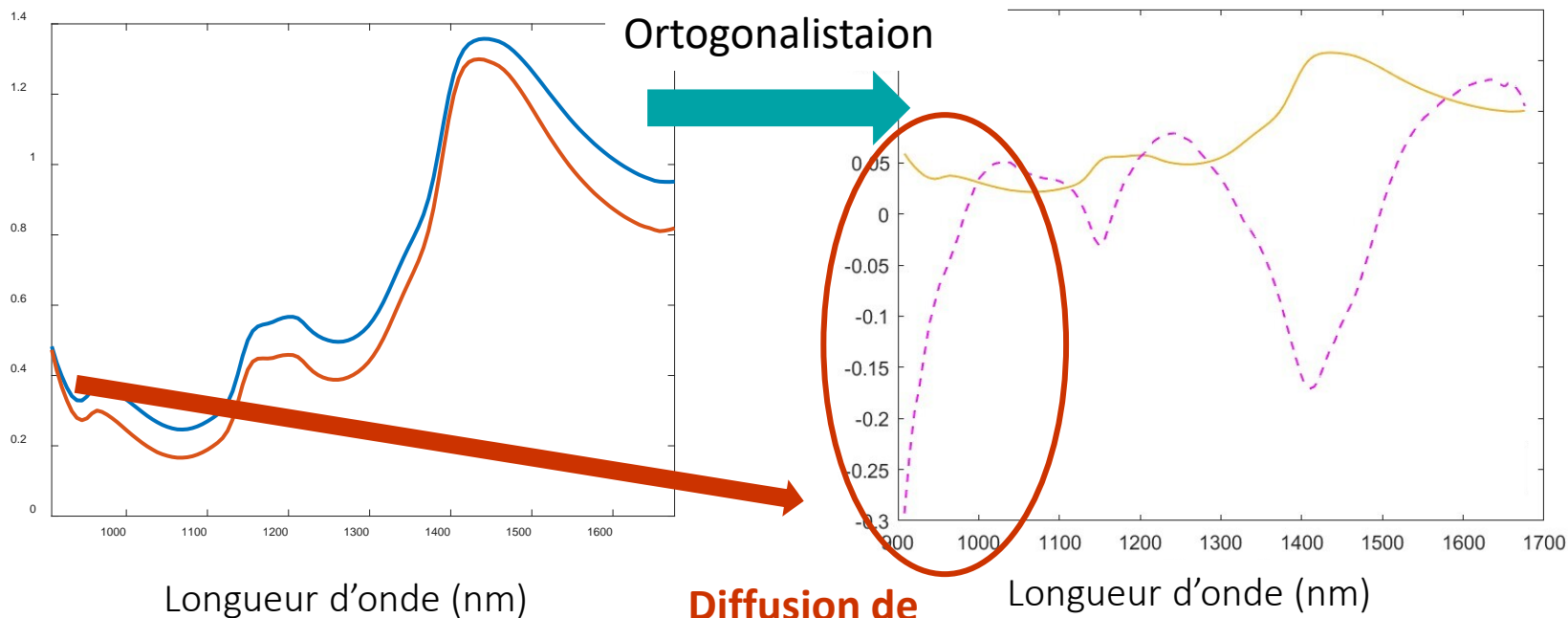
--- différences entre spectres

— part commun entre les spectres

➤ Résultats cas particulier. Béchamel 1

Interprétation des résultats

Spectres purs (S^T)



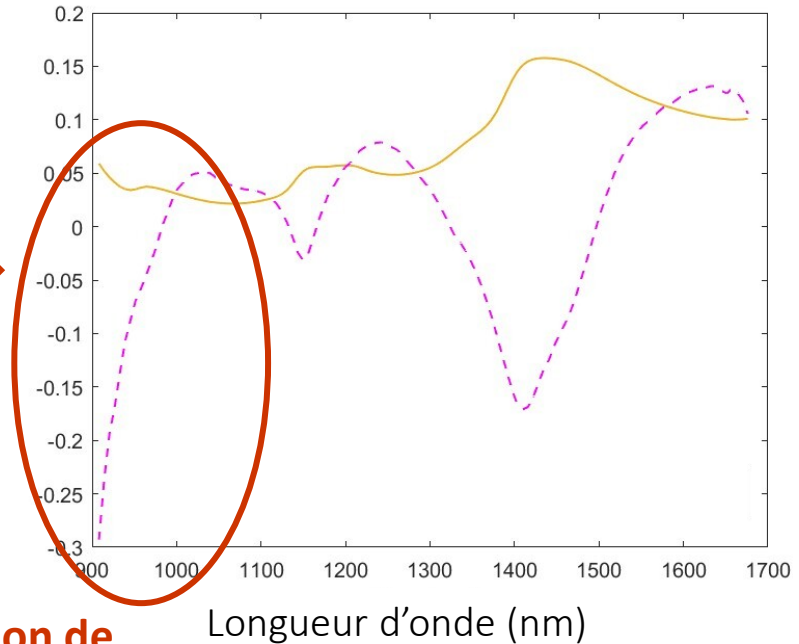
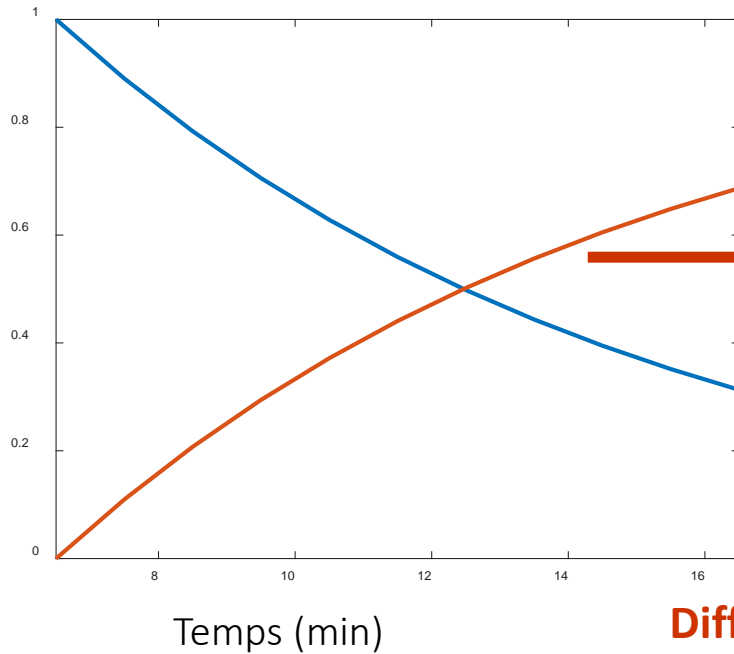
Diffusion de la lumière

--- différences entre spectres
— part commun entre les spectres

➤ Résultats cas particulier. Béchamel 1

Interprétation des résultats

Profils de concentration (C)



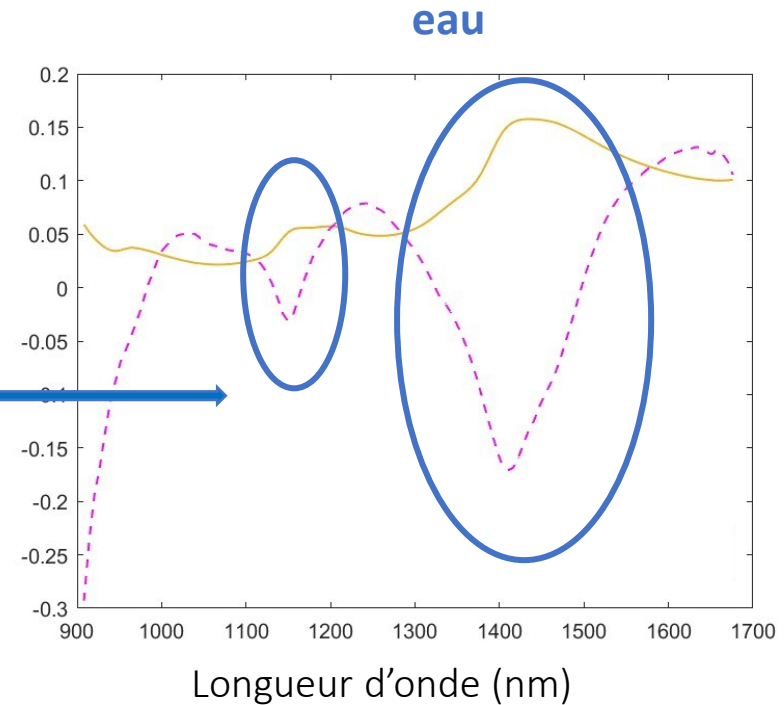
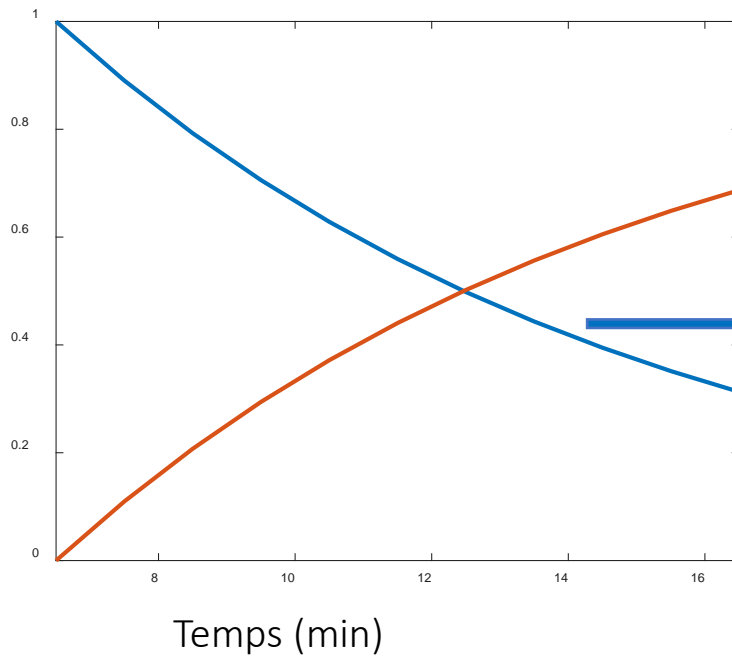
Diffusion de la lumière

--- différences entre spectres
— part commun entre les spectres

➤ Résultats cas particulier. Béchamel 1

Interprétation des résultats

Profils de concentration (C)



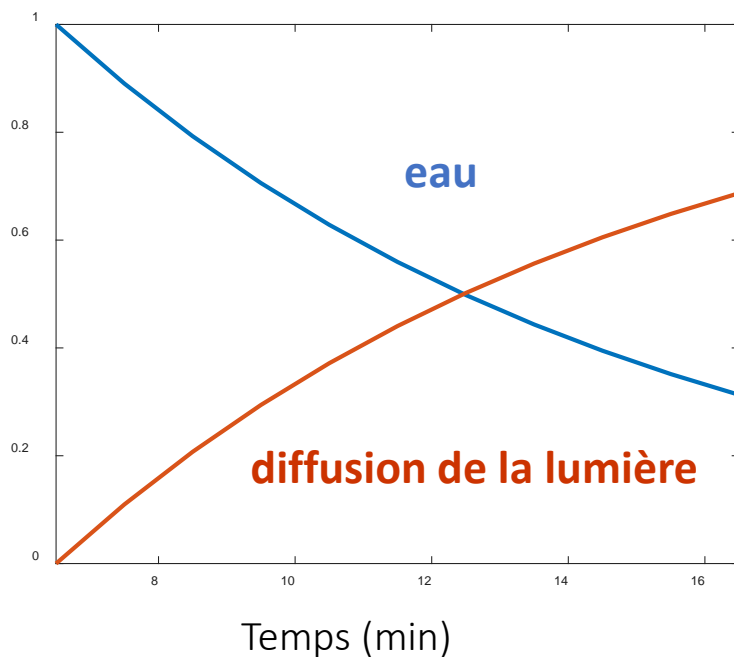
--- différences entre spectres

— part commun entre les spectres

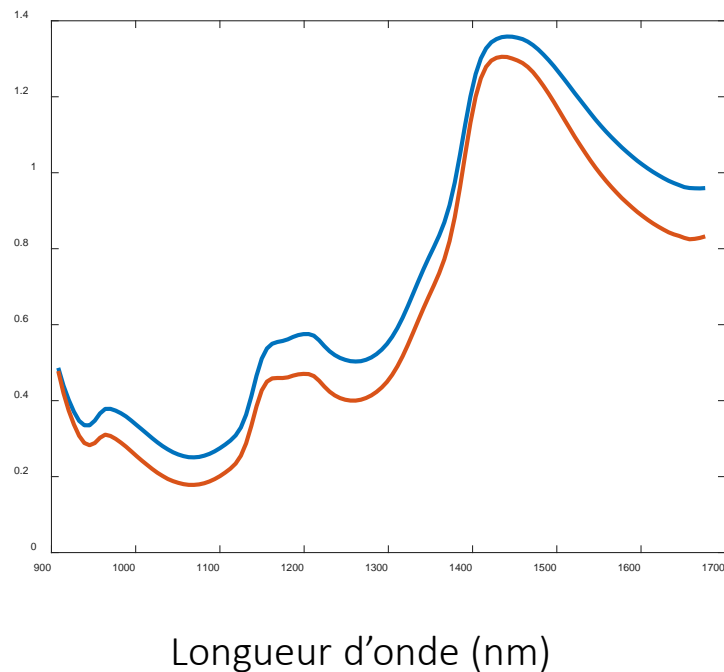
➤ Résultats cas particulier. Béchamel 1

Interpretation des résultats

Profils de concentration (C)

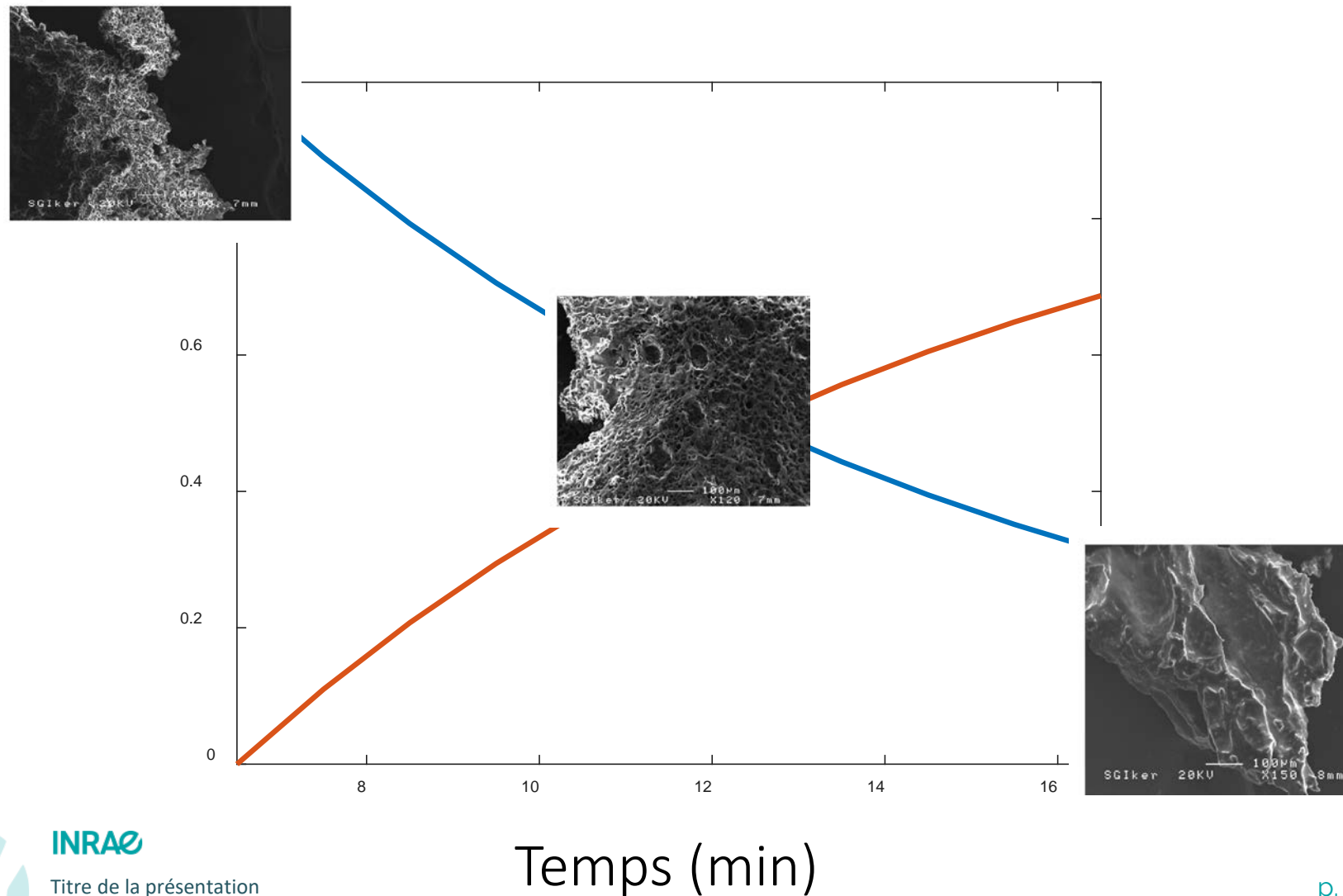


Spectres purs (S^T)



➤ Résultats cas particulier. Béchamel 1

Interpretation des résultats

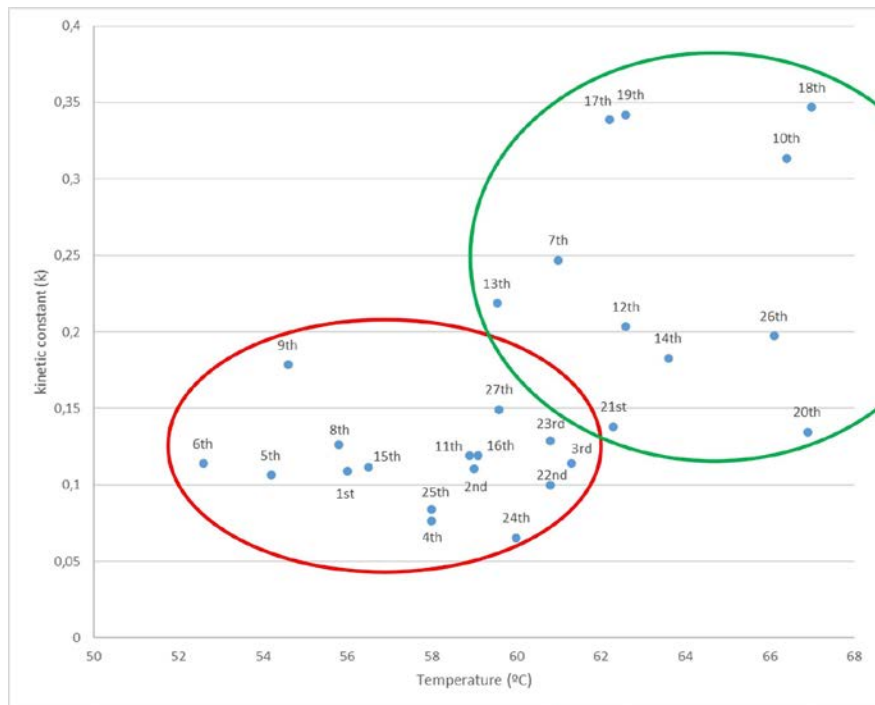


➤ Résultats. Analyse simultanée de toutes les sauces

| | k (min ⁻¹) | | k (min ⁻¹) |
|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1 st Béchamel | 0.11 | 15 th Béchamel | 0.11 |
| 2 nd Béchamel | 0.11 | 16 th Béchamel | 0.13 |
| 3 rd Béchamel | 0.11 | 17 th Béchamel | 0.34 |
| 4 th Béchamel | 0.08 | 18 th Béchamel | 0.35 |
| 5 th Béchamel | 0.11 | 19 th Béchamel | 0.34 |
| 6 th Béchamel | 0.11 | 20 th Béchamel | 0.13 |
| 7 th Béchamel | 0.25 | 21 st Béchamel | 0.14 |
| 8 th Béchamel | 0.13 | 22 nd Béchamel | 0.10 |
| 9 th Béchamel | 0.18 | 23 rd Béchamel | 0.13 |
| 10 th Béchamel | 0.31 | 24 th Béchamel | 0.06 |
| 11 th Béchamel | 0.12 | 25 th Béchamel | 0.08 |
| 12 th Béchamel | 0.20 | 26 th Béchamel | 0.20 |
| 13 th Béchamel | 0.22 | 27 th Béchamel | 0.15 |
| 14 th Béchamel | 0.18 | | |

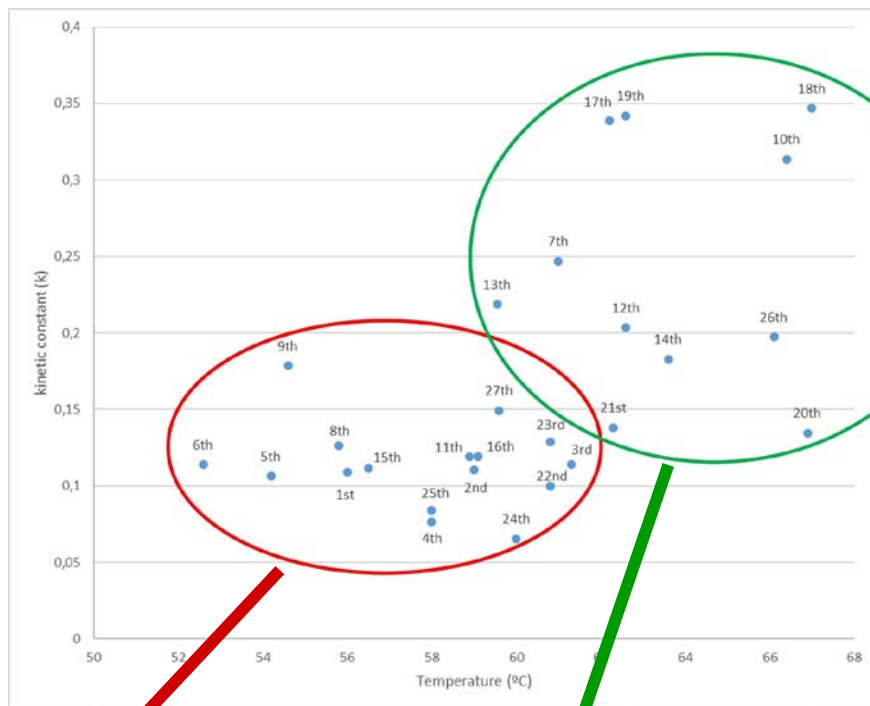
➤ Résultats. Analyse simultanée de toutes les sauces

| | k (min ⁻¹) | | k (min ⁻¹) |
|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1 st Béchamel | 0.11 | 15 th Béchamel | 0.11 |
| 2 nd Béchamel | 0.11 | 16 th Béchamel | 0.13 |
| 3 rd Béchamel | 0.11 | 17 th Béchamel | 0.34 |
| 4 th Béchamel | 0.08 | 18 th Béchamel | 0.35 |
| 5 th Béchamel | 0.11 | 19 th Béchamel | 0.34 |
| 6 th Béchamel | 0.11 | 20 th Béchamel | 0.13 |
| 7 th Béchamel | 0.25 | 21 st Béchamel | 0.14 |
| 8 th Béchamel | 0.13 | 22 nd Béchamel | 0.10 |
| 9 th Béchamel | 0.18 | 23 rd Béchamel | 0.13 |
| 10 th Béchamel | 0.31 | 24 th Béchamel | 0.06 |
| 11 th Béchamel | 0.12 | 25 th Béchamel | 0.08 |
| 12 th Béchamel | 0.20 | 26 th Béchamel | 0.20 |
| 13 th Béchamel | 0.22 | 27 th Béchamel | 0.15 |
| 14 th Béchamel | 0.18 | | |



➤ Résultats. Analyse simultanée de toutes les sauces

| | k (min ⁻¹) | | k (min ⁻¹) |
|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|
| 1 st Béchamel | 0.11 | 15 th Béchamel | 0.11 |
| 2 nd Béchamel | 0.11 | 16 th Béchamel | 0.13 |
| 3 rd Béchamel | 0.11 | 17 th Béchamel | 0.34 |
| 4 th Béchamel | 0.08 | 18 th Béchamel | 0.35 |
| 5 th Béchamel | 0.11 | 19 th Béchamel | 0.34 |
| 6 th Béchamel | 0.11 | 20 th Béchamel | 0.13 |
| 7 th Béchamel | 0.25 | 21 st Béchamel | 0.14 |
| 8 th Béchamel | 0.13 | 22 nd Béchamel | 0.10 |
| 9 th Béchamel | 0.18 | 23 rd Béchamel | 0.13 |
| 10 th Béchamel | 0.31 | 24 th Béchamel | 0.06 |
| 11 th Béchamel | 0.12 | 25 th Béchamel | 0.08 |
| 12 th Béchamel | 0.20 | 26 th Béchamel | 0.20 |
| 13 th Béchamel | 0.22 | 27 th Béchamel | 0.15 |
| 14 th Béchamel | 0.18 | | |



Réaction lente →
température initiale < 62 °C.

Réaction rapide →
température initiale > 62 °C.



➤ Conclusions

- ❖ Nous avons démontré le potentiel de la NIRS + MCR-ALS pour étudier le processus de cuisson de la béchamel.
- ❖ L'évolution des sauces béchamel a pu être décrite avec un modèle cinétique basé sur une réaction du premier ordre ($A \rightarrow B$). La vitesse de la cette réaction est influencée par la température initiale du processus.
- ❖ Ces deux espèces, A et B, impliquées dans le processus sont liées à des changements dans la nature de l'état de l'eau et la diffusion de la lumière, respectivement.
- ❖ Cette étude peut aider aux producteurs industriels de mieux comprendre le processus de fabrication de sauces béchamel.





Multivariate Curve Resolution Applied to Near Infrared Spectroscopic Data Acquired Throughout the Cooking Process to Monitor Evolving Béchamel Sauces

Sonia Nieto-Ortega¹ · Silvia Mas García^{2,3} · Ángela Melado-Herreros¹ · Giuseppe Foti¹ · Idoia Olabarrieta¹ · Jean-Michel Roger^{2,3}



MERCI POUR VOTRE ATTENTION



INRAE

Titre de la présentation

Date / information / nom de l'auteur