

# **Contrôler l'oxydation des formules infantiles : Quel challenge pour l'industrie laitière ?**

**Aliénor Coutouly, Fatma Allouche and Inès Birlouez-Aragon**



# Plan

- La sensibilité des formules infantiles à l'oxydation et à la réaction de Maillard (RM)
- Une forte variabilité du niveau d'oxydation et de RM des formules du commerce
- Quel impact possible chez le nourrisson ?
- Une nouvelle technologie pour un contrôle de la qualité des formules: AMALTHEYS





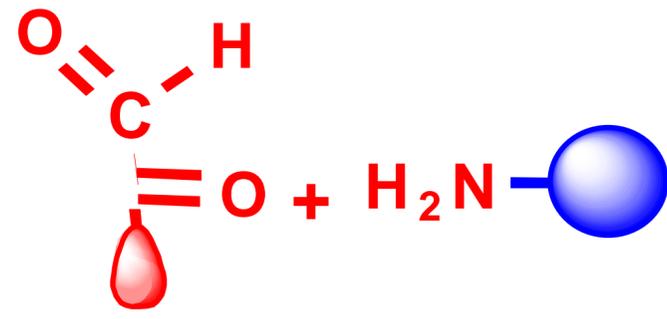
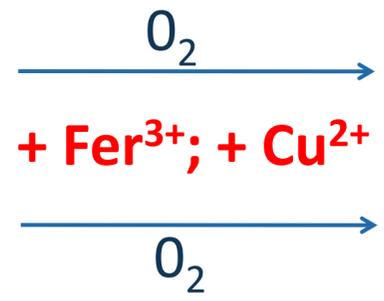
**La sensibilité des formules  
infantiles à l'oxydation et à la  
réaction de Maillard**

# Les réactions d'oxydation dans les formules infantiles



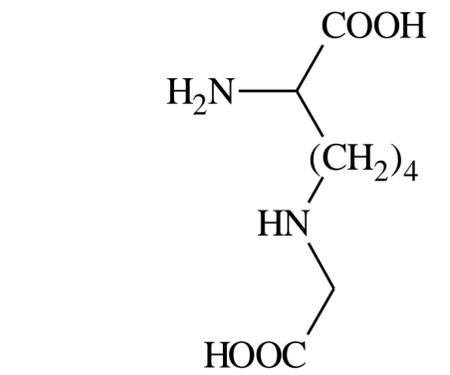
Lait vache  
Protéines sériques  
Huiles végétales  
Vitamines  
Minéraux

Vitamine C  
Lactose  
AGPI (omega3/6)



Composés dicarbonylés très réactifs

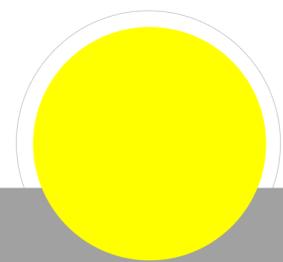
Amines libres ou peptidiques



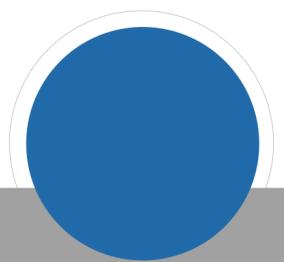
**Carboxyméthyllysine**

Entrée dans la réaction de Maillard  
Produits de glycoxydation

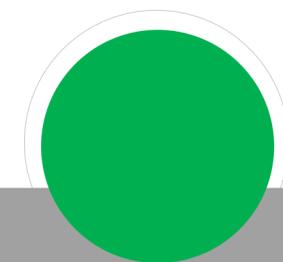
## Facteurs favorisant l'oxydation lors de la production de formules infantiles



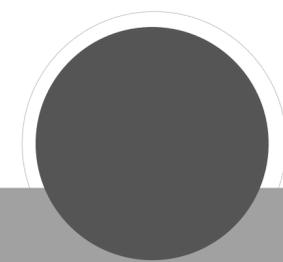
Teneur et activité du Fer/Cu, espèces oxydables



Oxygène dissous



Traitements thermiques

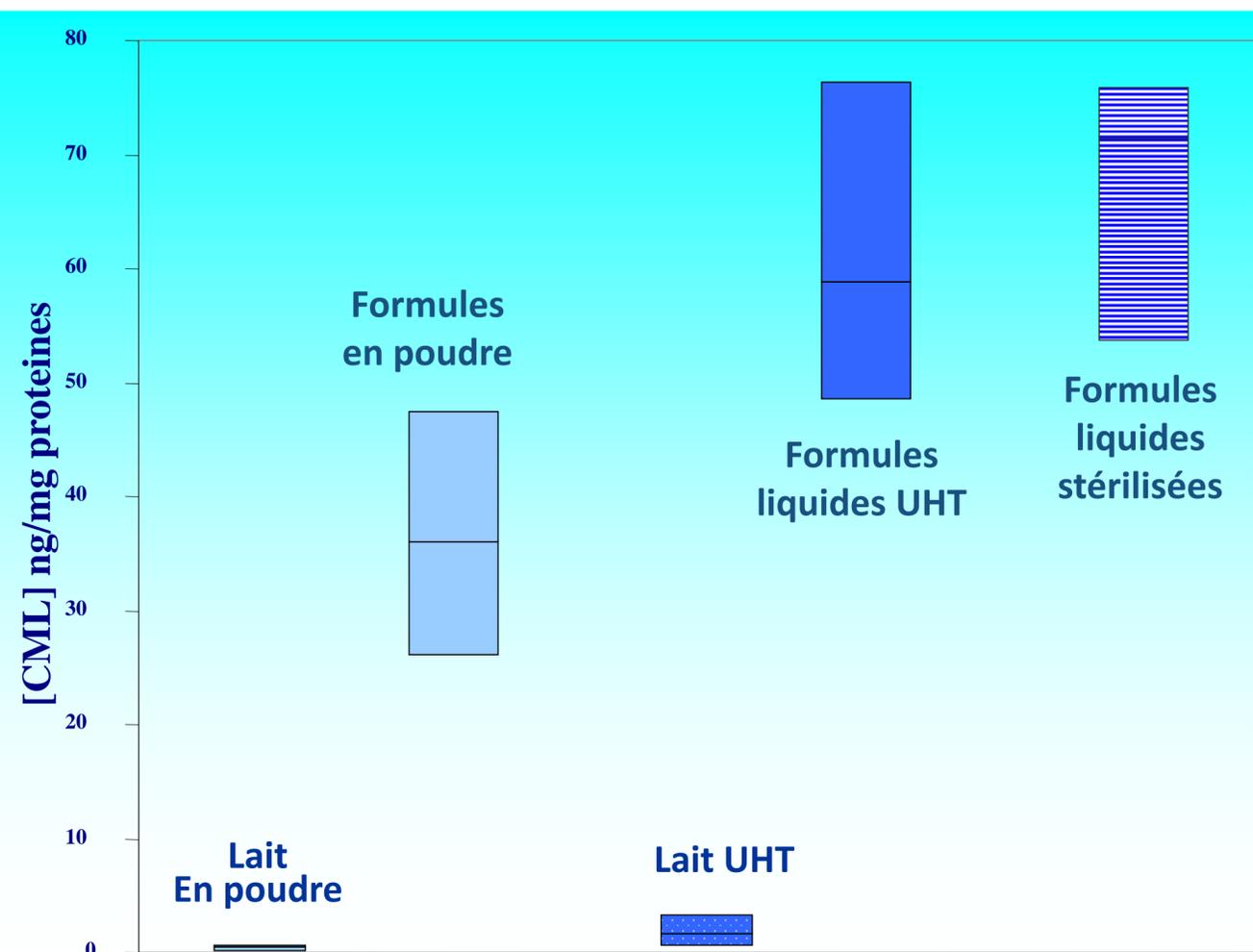


Conservation de la formule

# Formulation et traitement thermique

## Un facteur clé de la glycoxydation

- La formule particulière des laits infantiles favorise considérablement la formation de carboxyméthyllysine (CML), marqueur stable de la glycoxydation.
- Parmi les composants de la formule, la teneur en sucres réducteurs, en AGPI et vitamine C constituent les composés oxydables majeurs qui sous l'action du fer et cuivre génèrent la formation de CML.
- Le couple temps-température utilisé pour la stérilisation ou le séchage des formules constitue l'autre facteur majeur de la réaction de Maillard.





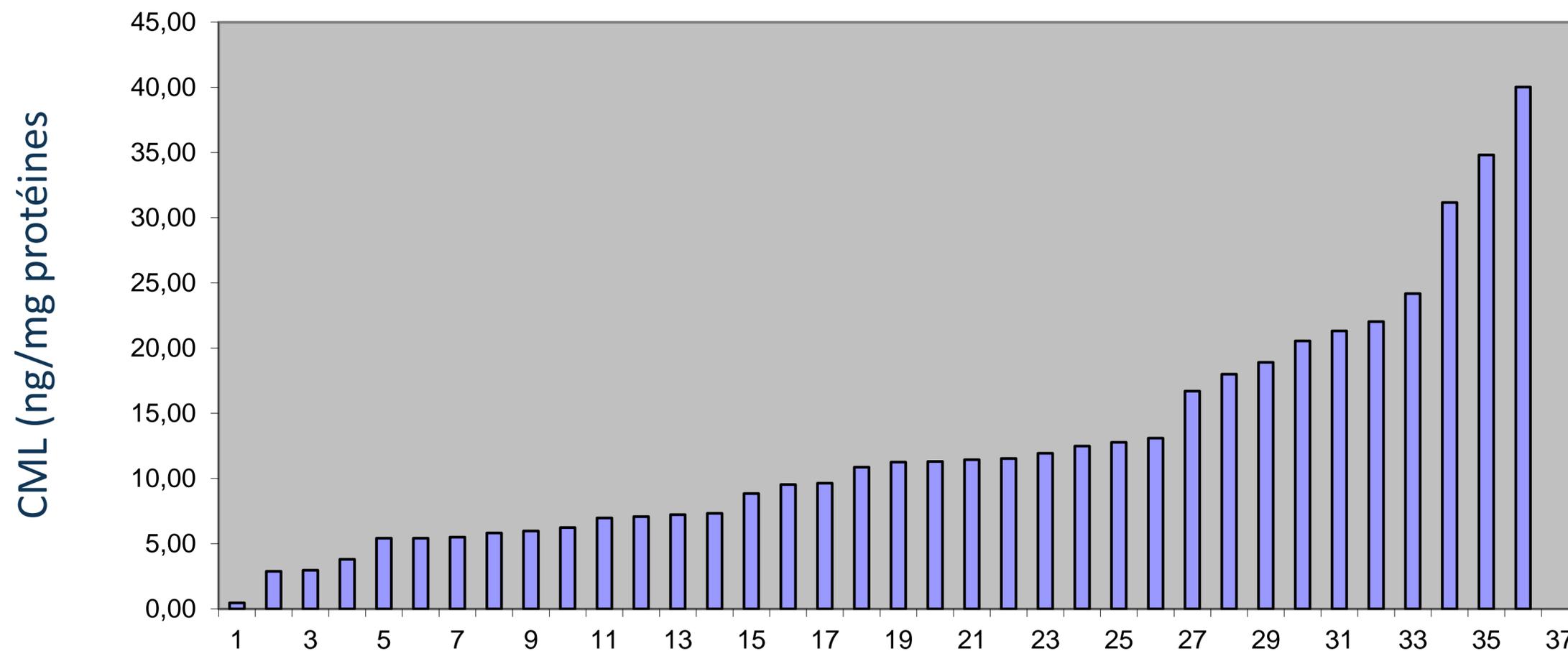
**Une forte variabilité  
du niveau d'oxydation et RM  
des formules du commerce**

# Une variabilité de 1 à 20

de la teneur en CML au sein des formules du commerce

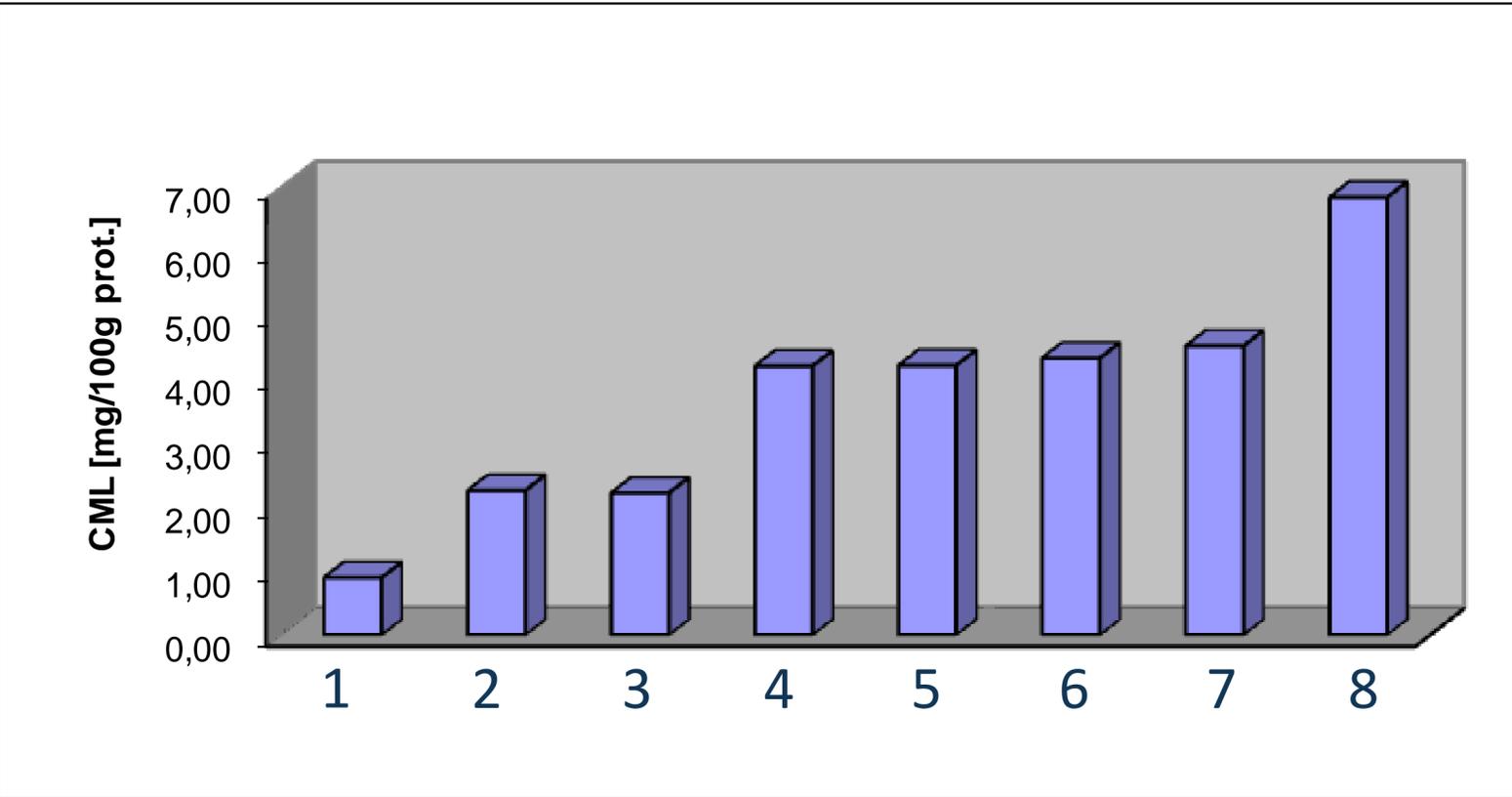
Projet ICARE (FP6)

- Ratio lactose/maltodextrines
- Ratio prot sériques/caséines
- Taux d'hydrolyse des protéines
- Cumul temps-température



# Impact du process de fabrication

Parmi les différentes étapes du process  
3 étapes apparaissent comme majeures  
pour la formation de CML



1

Pasteurisation de la formule partielle

4

Evaporation de la formule

8

Séchage de la formule

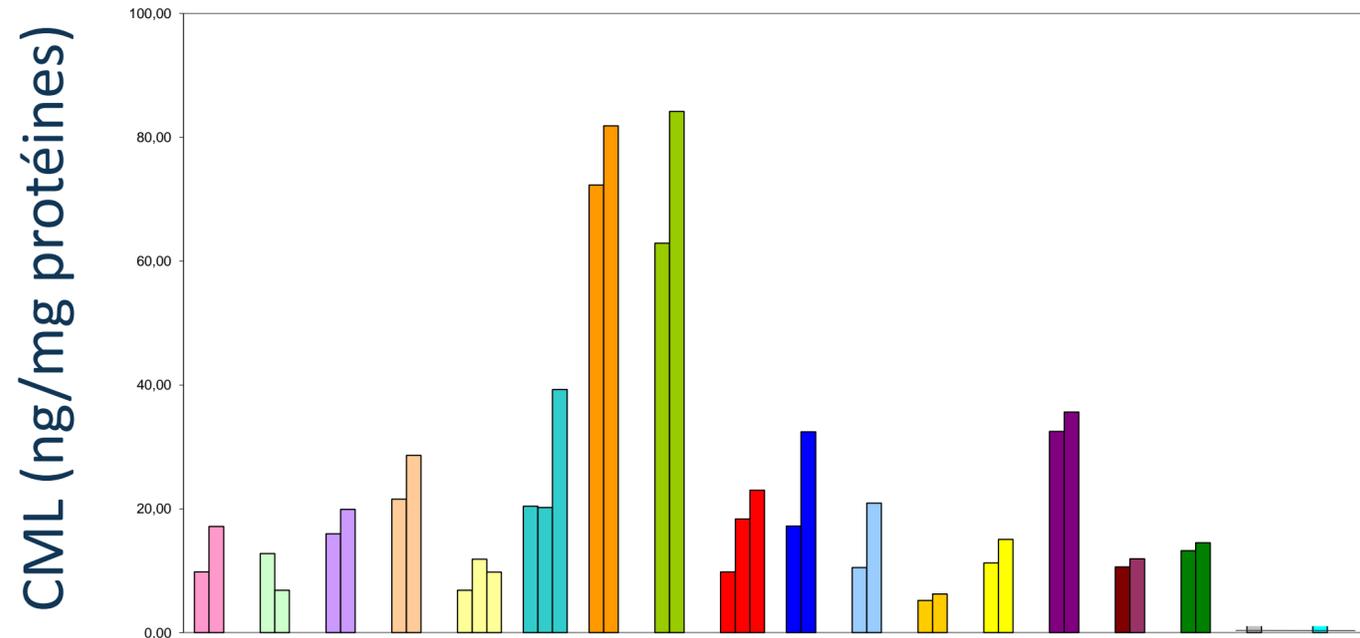
Ces étapes sont caractérisées par l'application  
d'un traitement thermique



# La conservation

## Accélère la glycoxydation

1 à 3 mois de conservation à T ambiante



- Une augmentation de 5 à 50% de la CML est observée au cours du stockage à température ambiante.
- Cette augmentation est indépendante du niveau initial de CML, variable en fonction de la formule.

Impact considérable possible à l'export vers l'Asie:

- temps long de transport
- températures élevées dans les tanks





**Quel impact possible  
chez le nourrisson ?**

# Une étude comparative sur 100 bébés

Suivi sur 2 ans

	Allaitement (n=55)	Biberon (n=47)
Age Gestationnel (semaines)	38.4±2.9	37.5±2.9
Age au début de l'essai (mois)	6.0±1.0	5.7±1.1
Poids à la naissance (kg)	3.4±0.7	2.8±0.6**
Poids au début de l'essai (kg)	7.6±1.0	6.8±0.9**
gain de poids journalier (g)	23.3±4.4	23.1±4.7
Ingestion de CML	Allaitement mg/100g protéines	Biberon mg/100g protéines
	0,5 ± 0,4	20 ± 15

- Comparaison de l'apport de CML entre lait maternel et formules infantiles → **Exposition**
- Comparaison des taux circulants et urinaires de carboxyméthyllysine → **Biodisponibilité**
- Comparaison de quelques marqueurs de stress oxydant → **Impact santé**

Les quantités de CML ingérées par les nourrissons varient entre 0,2 et 1,6 mg/jour pour 1L de formule absorbée:

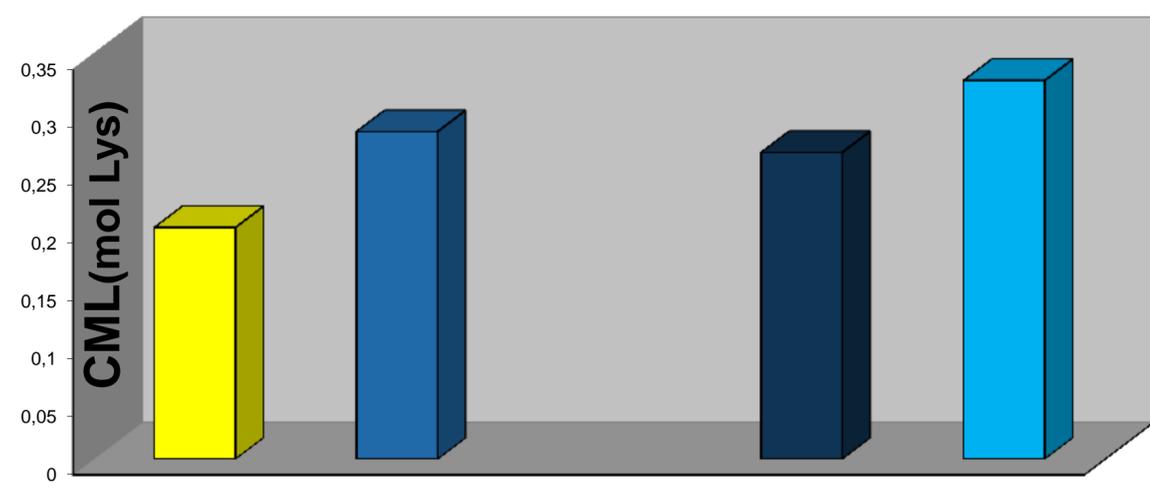
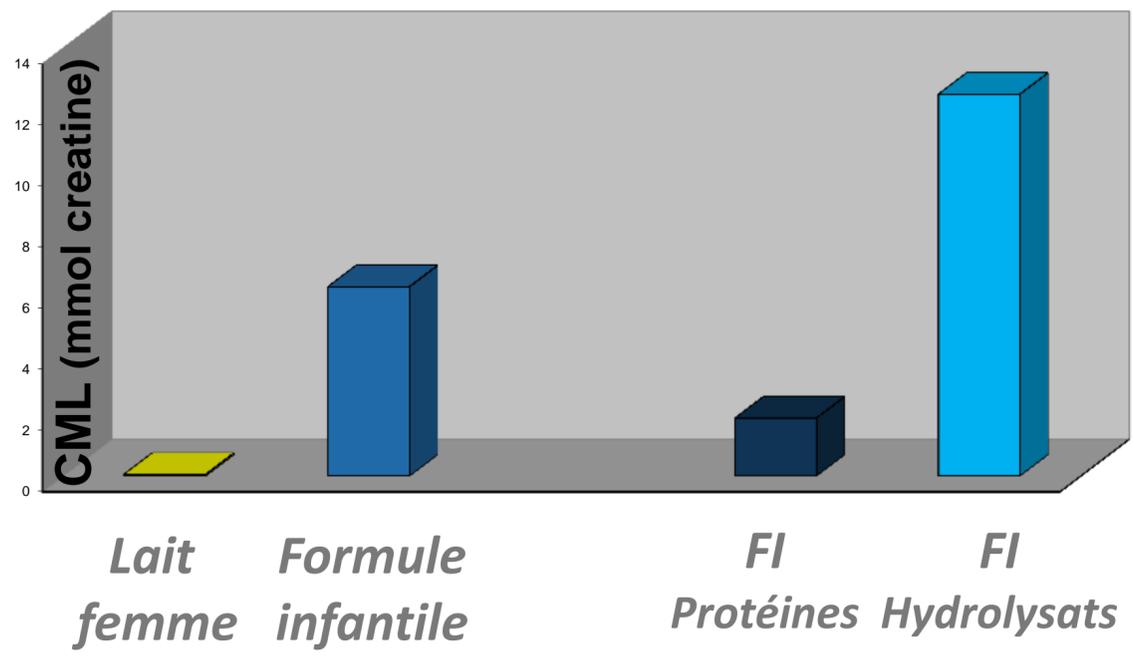
**Deux fois plus dans le cas de formules hydrolysées!**



# Une biodisponibilité de la CML vérifiée

Projet ICARE (FP6)

Excrétion urinaire



Teneurs plasmatiques

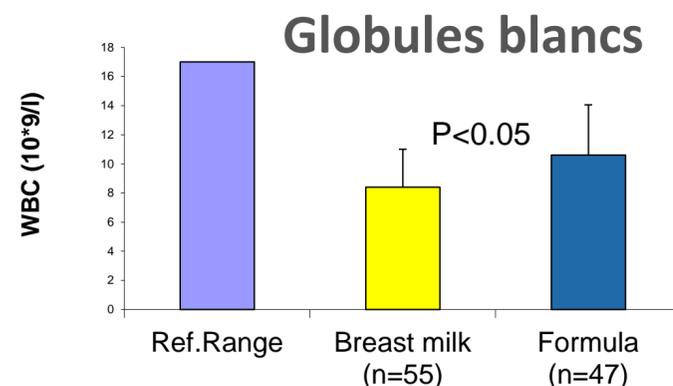
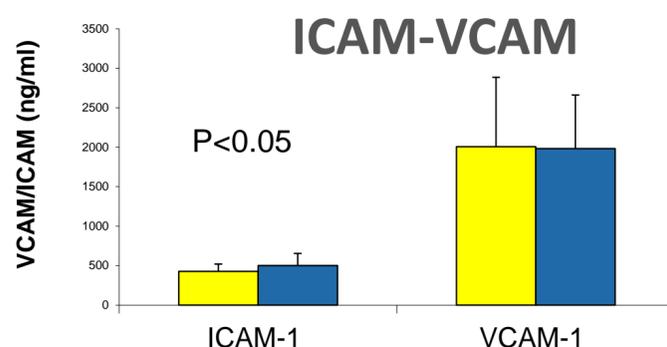
- Une exposition 10 à 50 fois plus importante / lait de femme
- Une excrétion urinaire corrélée à l'ingestion de CML
- Un impact significatif sur les teneurs plasmatiques
- Un impact plus marqué dans le cas d'hydrolysats protéiques



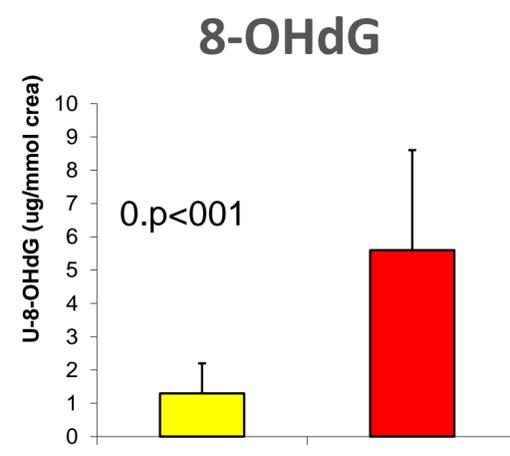
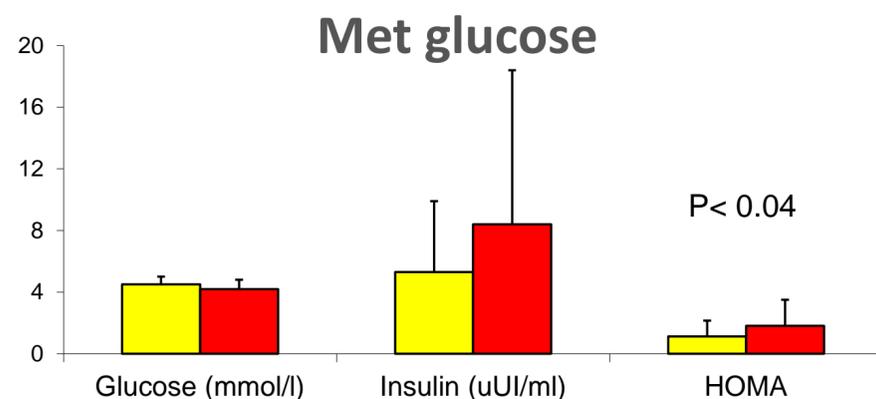
Projet ICARE (FP6)

# Des facteurs de risque en lien avec l'ingestion des FI

## Marqueurs de l'inflammation



## Marqueurs de l'oxydation/Met glucose



● Des différences significatives entre bébés allaités et nourris par FI mais dans le cadre normal

● Une légère augmentation de certains marqueurs d'inflammation confirmant d'autres études

● Des marqueurs d'oxydation plus élevés au niveau urinaire

● Un léger risque de moindre efficacité de l'insuline en accord avec d'autres études.

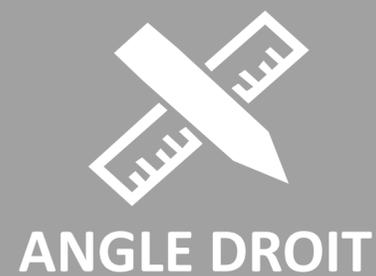
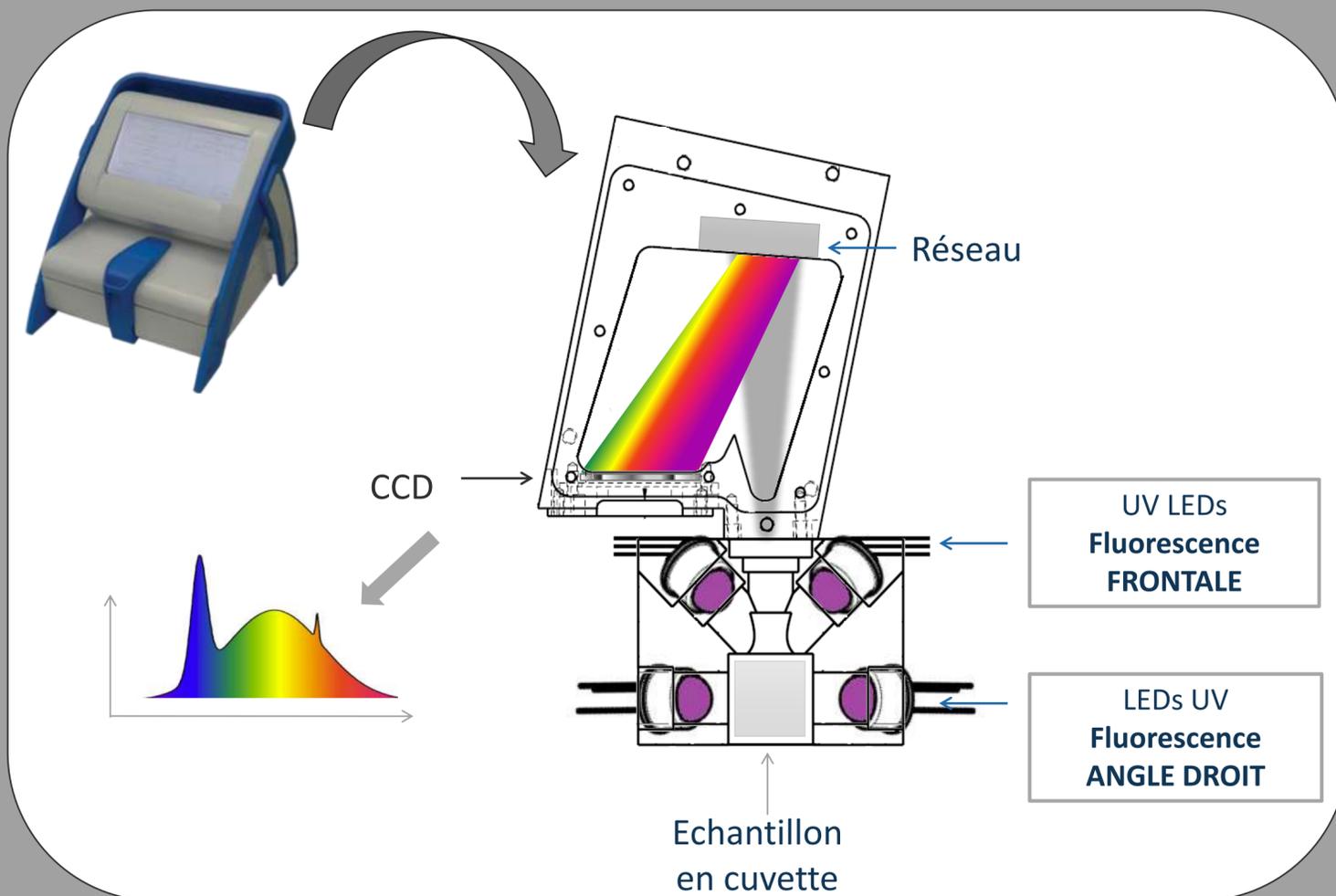




**Une méthode rapide pour  
contrôler la qualité des FI**

# La technologie Amaltheys

## Deux modes de mesure



### ANGLE DROIT

- Préparation d'un surnageant transparent
- Mesure de la dénaturation protéique et de la réaction de Maillard sur les protéines sériques
- Quantification directe



### MODE FRONTAL

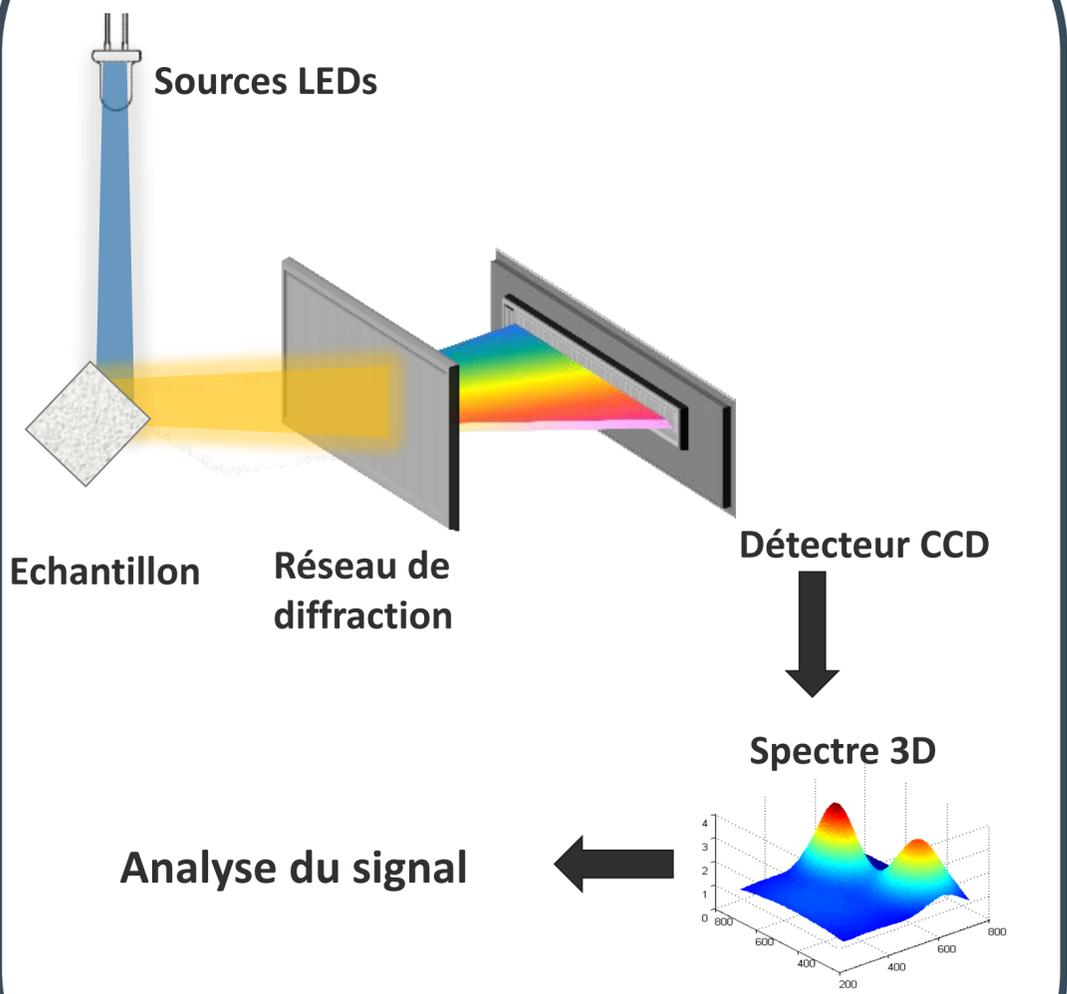
- Mesure non destructive
- Sur liquide, poudres ou encore concentrés ...
- Quantification indirecte



# La technologie Amaltheys

## Fluorescence en mode frontal

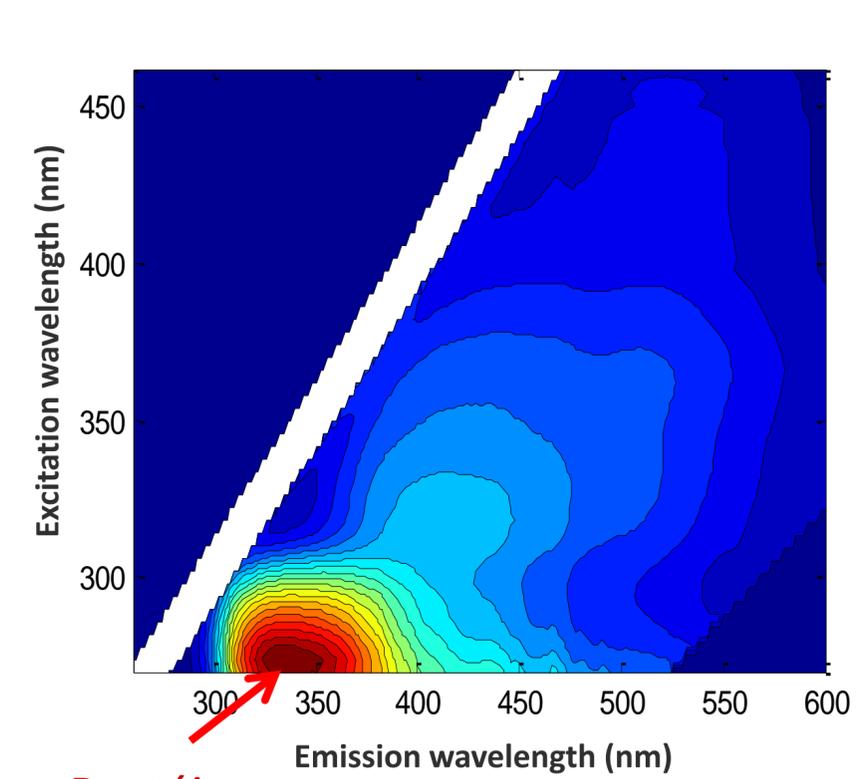
### Fluorescence frontale



- Mesure non destructive et temps réel
- Construction de modèles de calibration

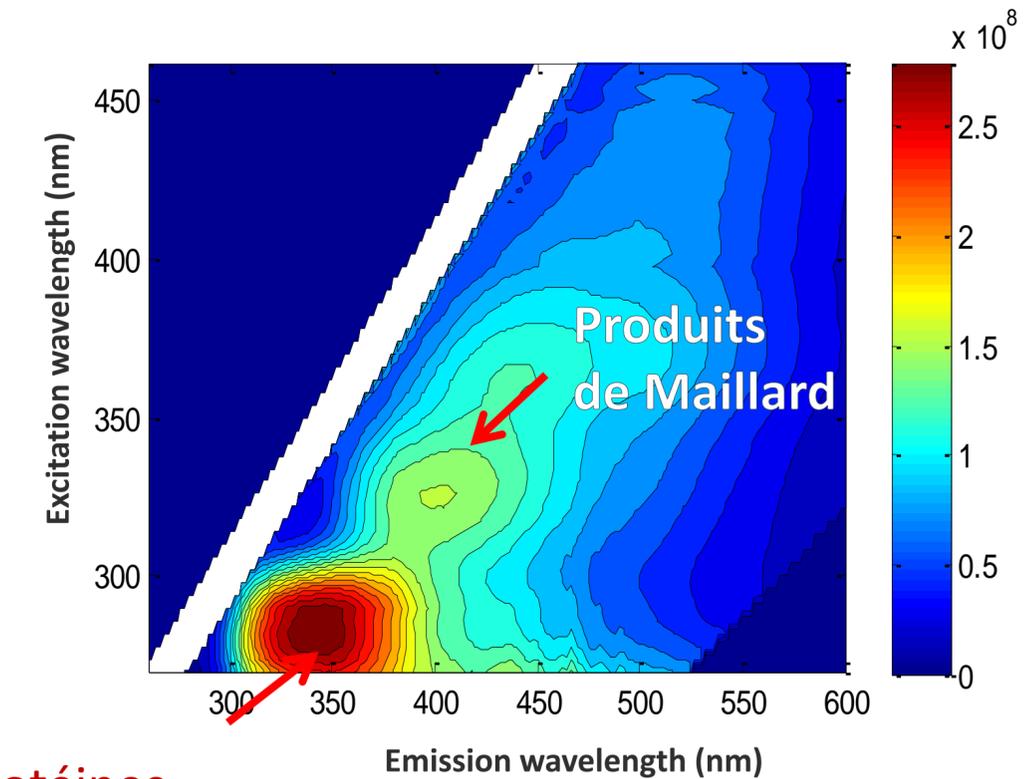
Les modifications physico-chimiques du produit  
Sont visualisées et quantifiées après décomposition du signal

FI de haute qualité



Protéines Natives

FI de qualité moindre

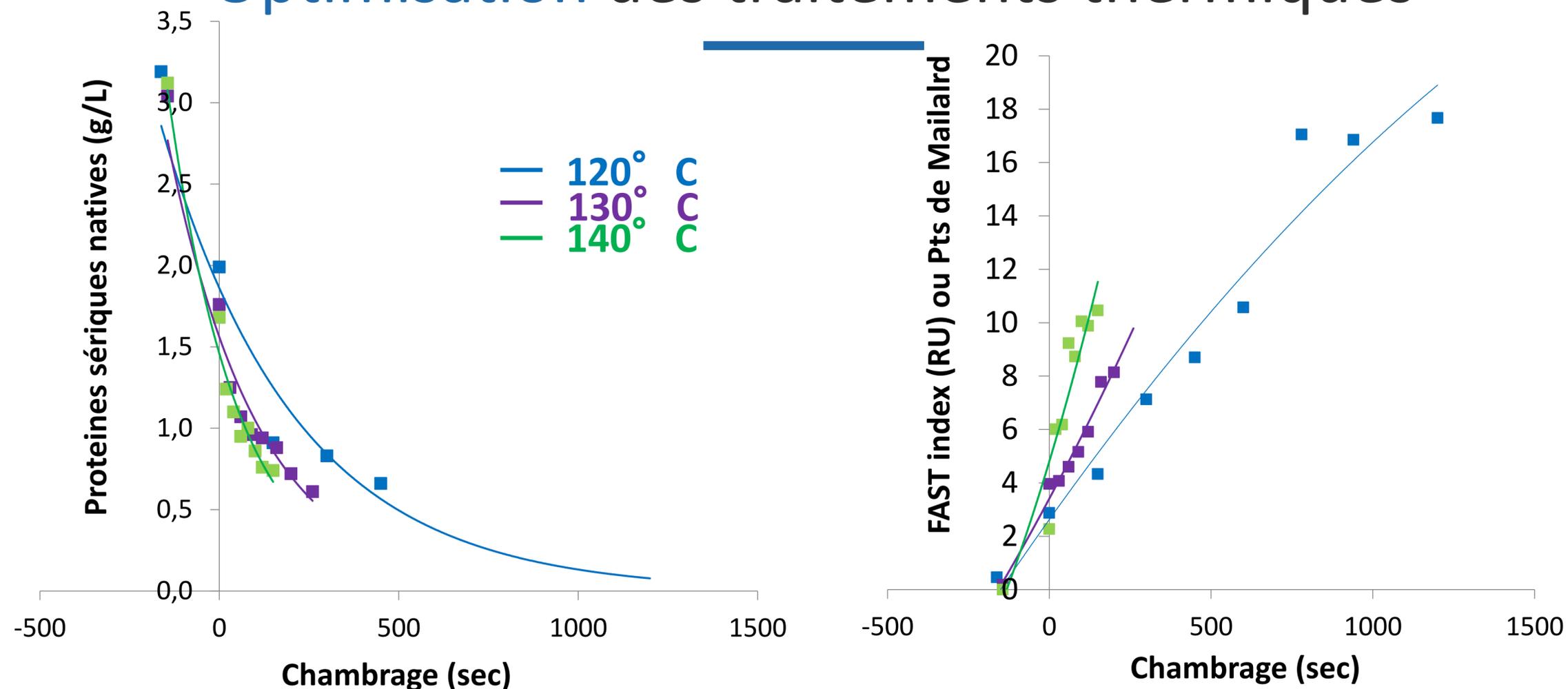


Protéines dénaturées



# Contrôle du process et de la production

## Optimisation des traitements thermiques



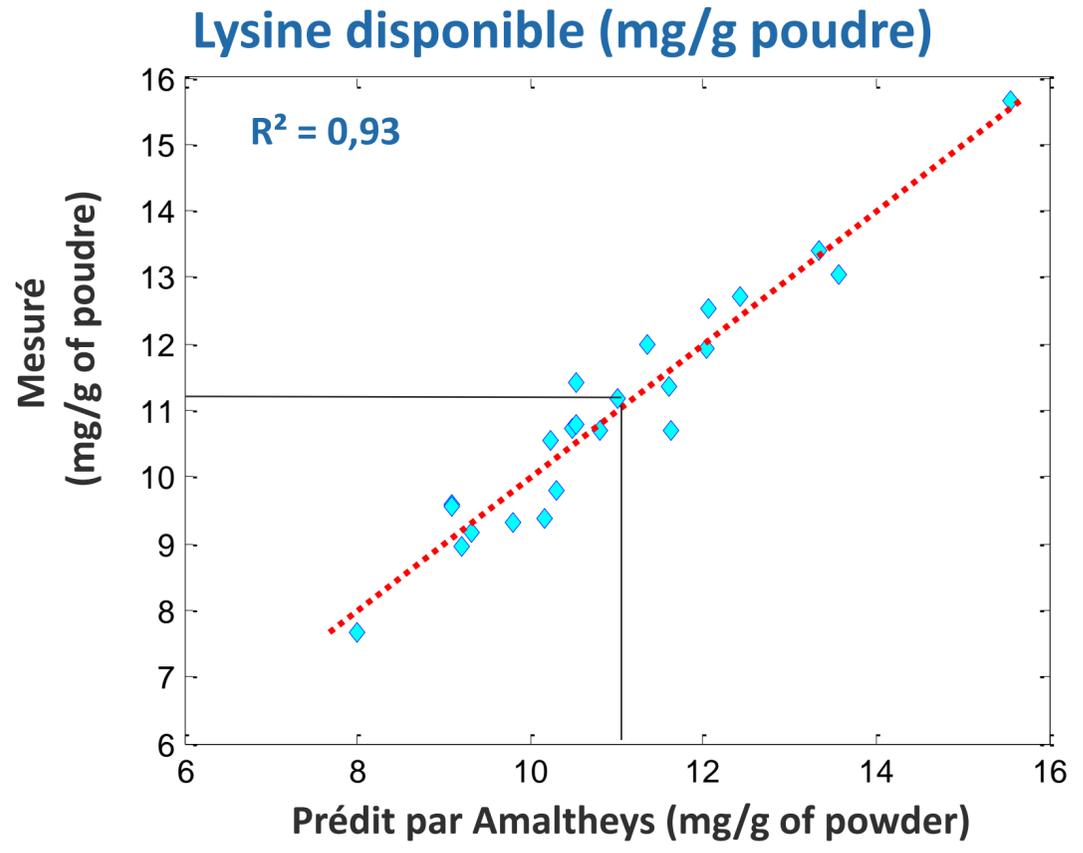
Suivi en 5 min de la dénaturation protéique et de la formation de produits de Maillard tout au long du process

- Identification de l'influence de la formule
- Adaptation du couple temps-température

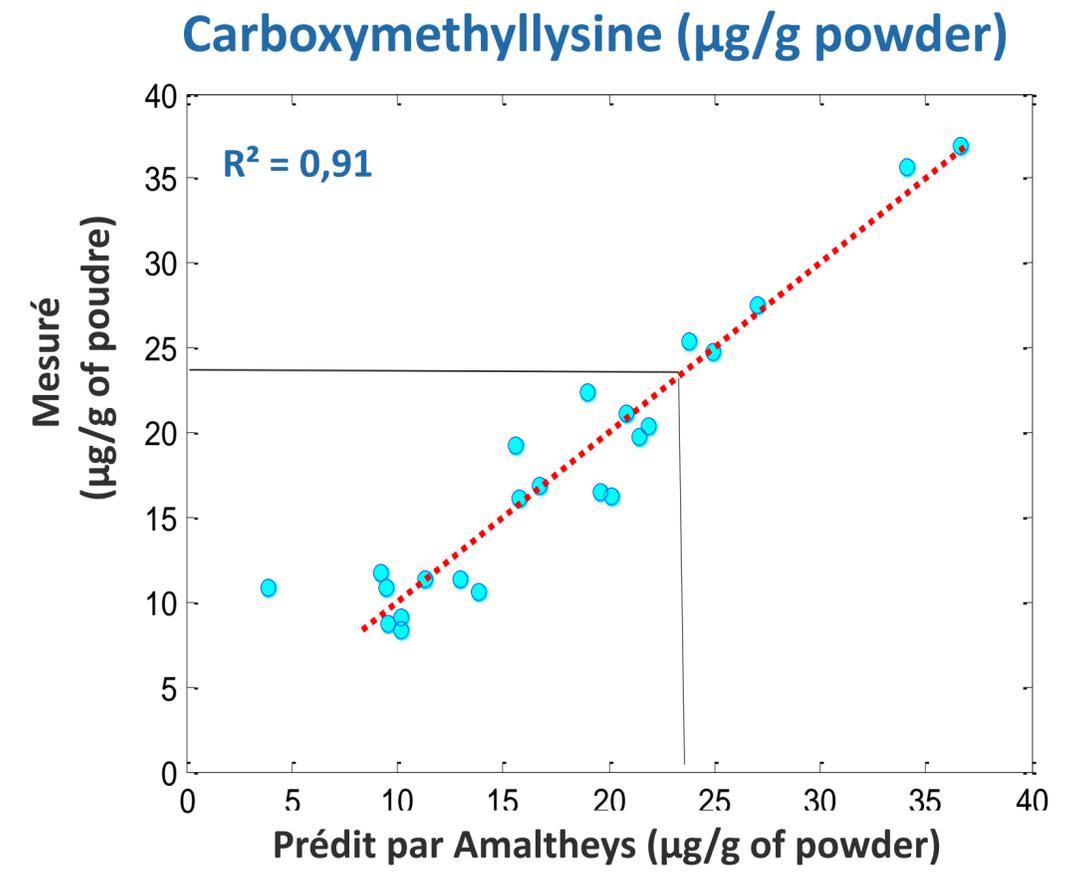
pour une optimisation de la qualité

# Contrôle de la qualité nutritionnelle et santé des FI

## Benchmark sur 25 formules du commerce



Lysine disponible dans les 25 FI du commerce (mg/ g de poudre)			
Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum
10.89	10.72	7.7	15.66

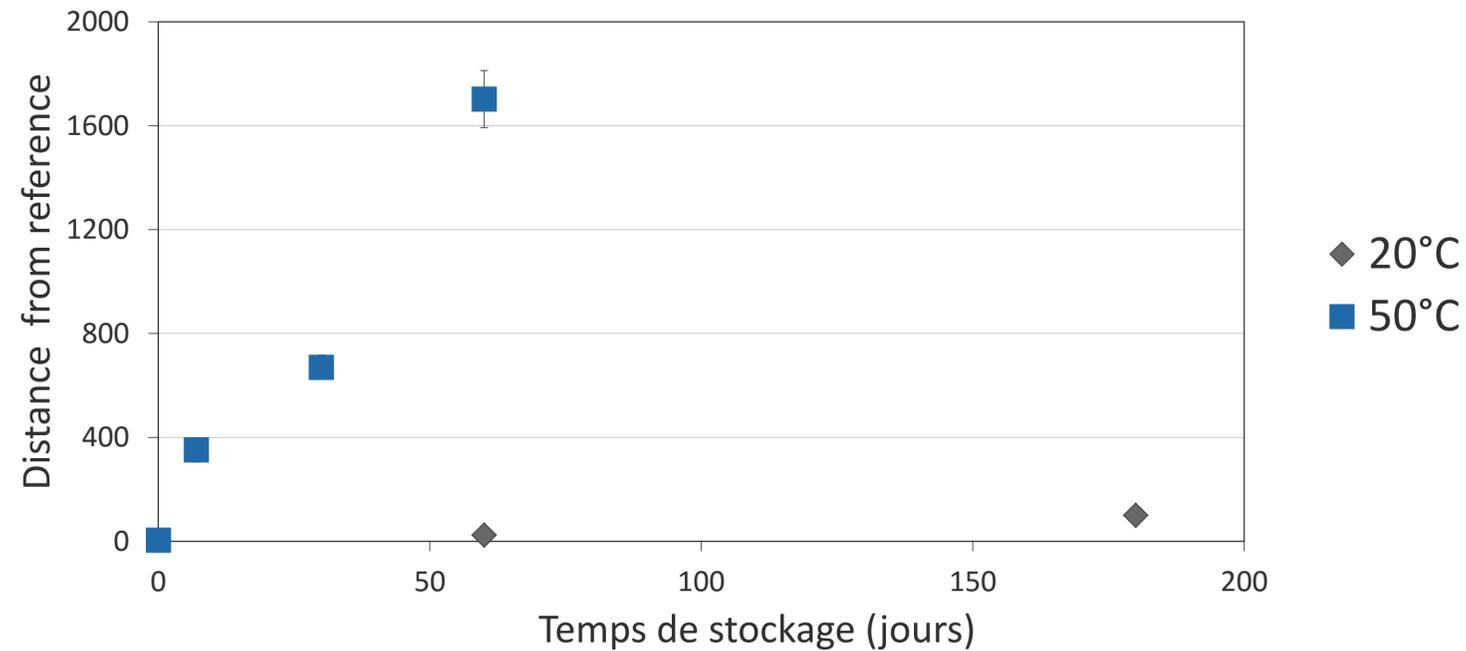


Distribution de CML dans les 25 FI (µg/ g de poudre)			
Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum
16.53	17.90	8.35	36.93

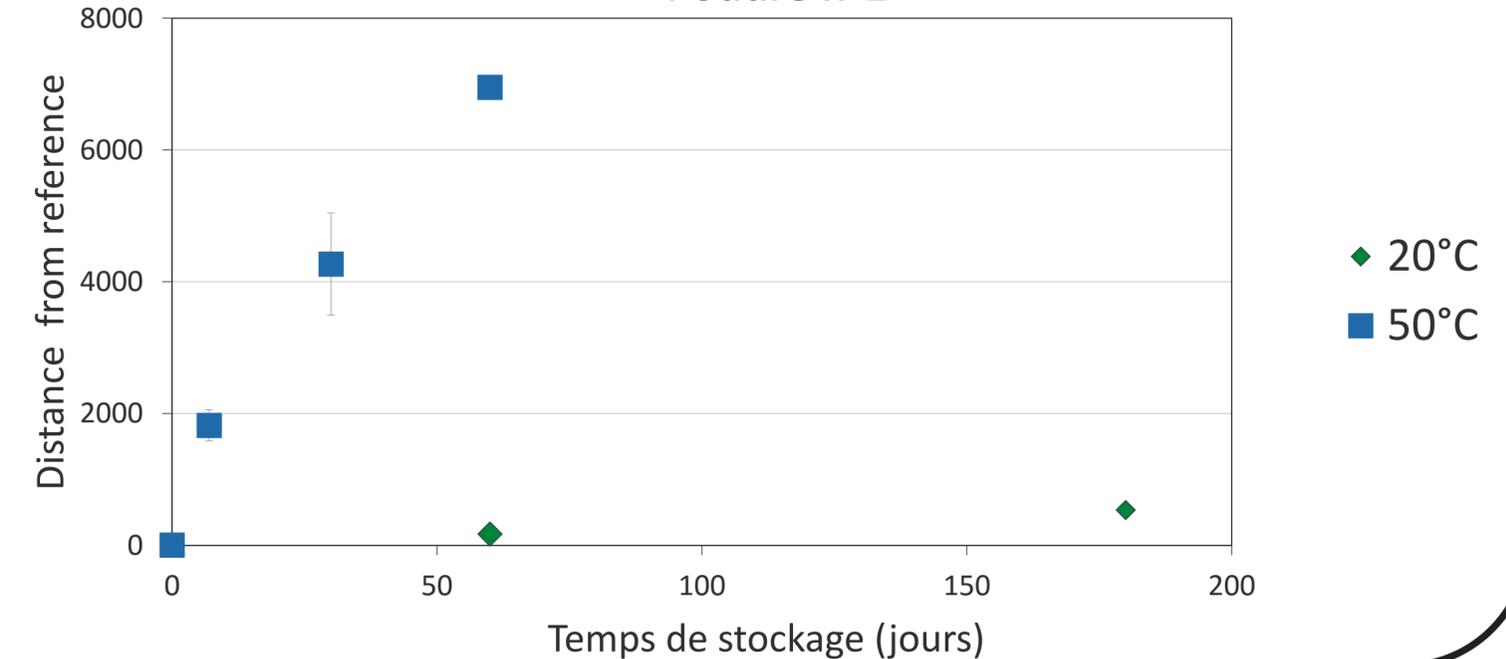


# Suivi du vieillissement des poudres avec Amaltheys

Poudre n°1

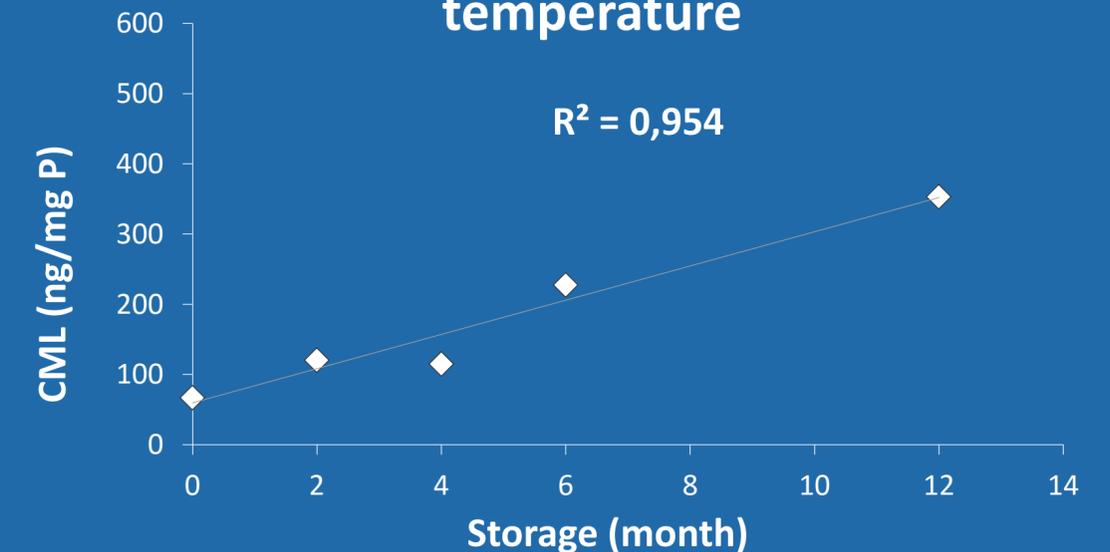


Poudre n°2



- Evolution de la qualité nutritionnelle/santé au cours du stockage.
- Prédiction possible de la qualité future grâce à un vieillissement accéléré et un étalonnage.

Evolution of CML during storage at ambient temperature





**CONCLUSION**

# CONCLUSION

- La fabrication de produits alimentaires s'accompagne inéluctablement de la formation de produits d'oxydation dont les protéines sont la cible ultime
- Les acides aminés modifiés au cours de cette réaction présentent des biodisponibilités variables : la CML est très bien absorbée et excrétée mais peut s'accumuler dans les tissus
- La CML et les composés carbonylés génèrent un stress oxydant in vivo qui est reflété par des marqueurs sanguins et urinaires et augmentent le risque de pathologies (diabète)
- La mise à disposition d'outils rapides et simples permet pour la première fois de quantifier l'impact des process et de la formulation sur la qualité des protéines

