



Equipe Systèmes Photoniques - Institut Foton  
Fonctions Optiques pour les Technologies de l'informatiON

# Applications de la SPIR et HSI à l'étude des produits carnés - Retour d'expériences

Jean-Marc Goujon, Ronan Le Page, Luiz Poffo

HelioSPIR Montpellier - 25 novembre 2021

Unité Mixte de Recherche N° 6082 du CNRS en co-pilotage  
avec le CNRS, l'Université de Rennes 1 et l'Insa-Rennes

- 1) Contexte FOTON – ENSSAT
  - Pôle de compétences : photonique
  - Quelques projet appliqués Agri-Agro
  
- 2) Projets SPIR et HSI appliqués aux produits carnés
  - Objectifs
  - Partenariats
  - Spécificités : élevage – abattage – chaine de transformation...
  
- 3) Ouverture vers le Moyen Infra Rouge
  - Imageur hyperspectral MIR à architecture *staring*
  - Projets en cours
  
- 4) Conclusion

## 1) Contexte FOTON – ENSSAT

- Pôle de compétences : photonique
- Quelques projet appliqués Agri-Agro

## 2) Projets SPIR et HSI appliqués aux produits carnés

- Objectifs
- Partenariats
- Spécificités : élevage – abattage – chaine de transformation...

## 3) Ouverture vers le Moyen Infra Rouge

- Imageur hyperspectral MIR à architecture *staring*
- Projets en cours

## 4) Conclusion

Lannion : terre historique de télécoms  
Pôle Numérique et Photonique

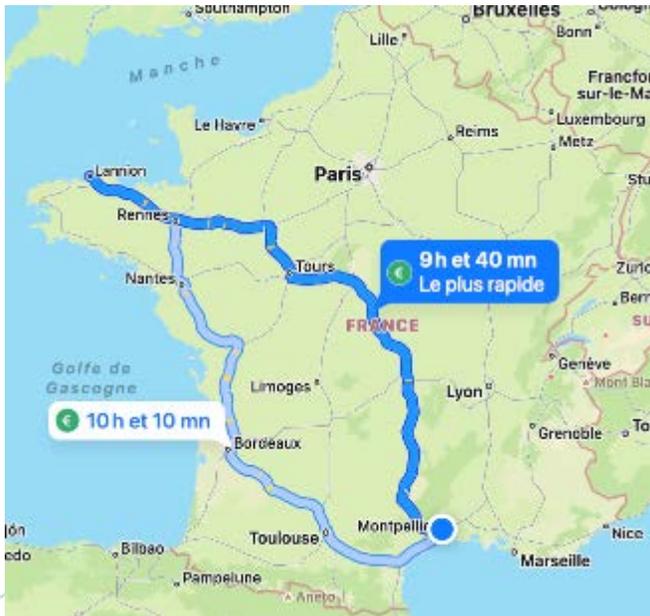
**Pôles de compétitivité :**

- Images et Réseaux
- Valorial

Cluster Photonics Bretagne - Arvalis

## Technopole Lannion :

4000 emplois  
120 entreprises



● Rennes



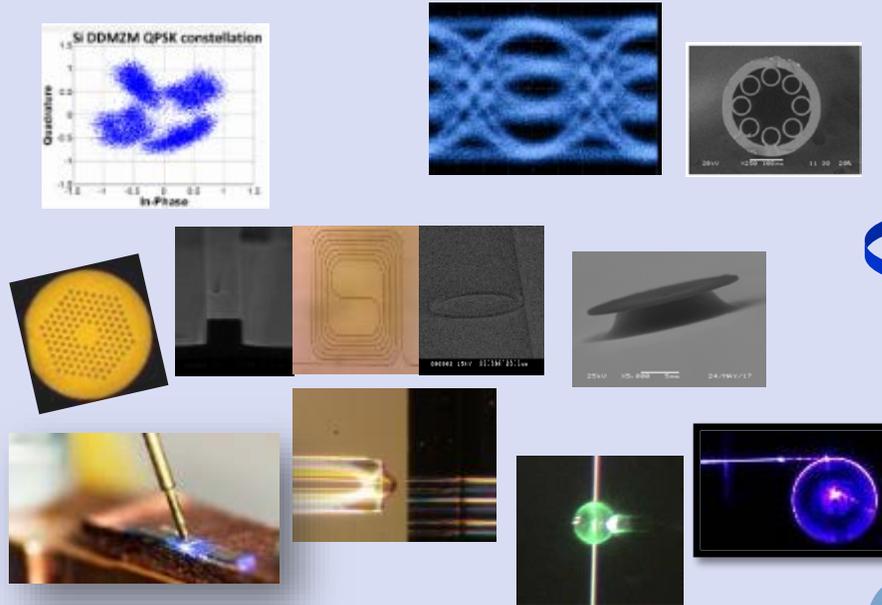
Etudie les **systèmes photoniques** pour les **communications optiques**, les **systèmes de capteurs** et les **architectures lasers**.



**Communications Optiques**  
Fibres, lasers, systèmes

**Optique Guidée et Capteurs**  
Capteurs intégrés, NIR-MIR, HSI, à fibre...

**Physique des Lasers et Applications**  
Lasers microsphériques, solides...



**Plateformes  
Optique et  
télécom**

**Persyst**



**Équipe DOP**  
**Equipe OHM**

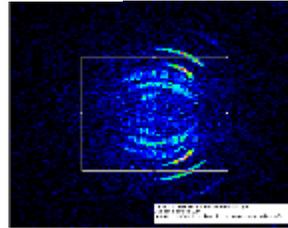
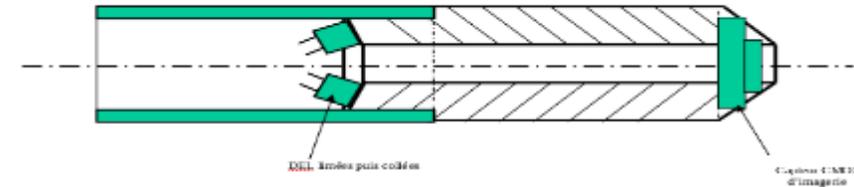
**Plateforme  
NANO RENNES**

Photonique



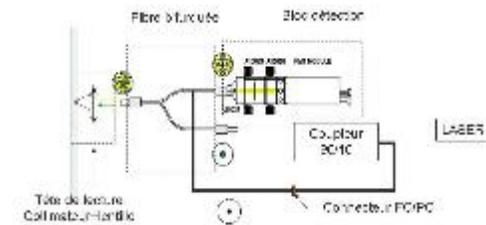
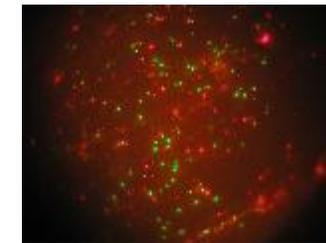
## 2003 : Endoscope numérique porcin :

- Surveillance visuelle et température de la mise bas en élevage
- Partenaire : entreprise Idoine Technologies
- Design opto-mécanique, électronique



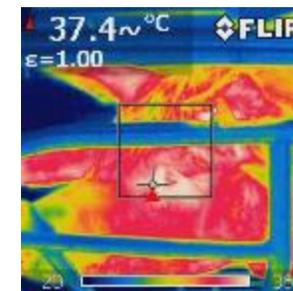
## 2009 : SalmOK - Détection et comptage de salmonelles

- Détection précoce en chaîne d'abattage salmonelles et listeria, µscopie fluorescence
- Partenariat : AFFSA-ANSES, Zoopôle Développement...
- Développement microscope de fluorescence rapide low-cost



## 2015 : Portic - Thermographie Infrarouge :

- Détection des fièvres et chaleurs en élevage porcin
- Partenaire : SocoBati



- 1) Contexte FOTON – ENSSAT
  - Domaines de compétence : photonique
  - Quelques projet appliqués Agri-Agro
  
- 2) **Projets SPIR et HSI appliqués aux produits carnés**
  - Objectifs
  - Partenariats
  - Spécificités : élevage – abattage – chaine de transformation...
  
- 3) Ouverture vers le Moyen Infra Rouge
  - Imageur hyperspectral MIR à architecture *staring*
  - Projets en cours
  
- 4) Conclusion

- 1) **SpectrAG** : quantification des acides gras sur viande de porc à l'abattoir
  - Partenaires : Valorex, IFIP, Laréal, Institut Foton, INRAE, LIMATB, BBC.
  
- 2) **Predict** : Prédiction du défaut de structuration pour le jambon (perte d'évaporation lors de la cuisson)
  - Partenaires : Cooperl, IFIP, Broceliande, Edixia, Institut Foton.
  
- 3) **Specmeat** : Spectroscopie visible proche infrarouge pour la qualité de la viande bovine et bien-être animal
  - Partenaires : Valorex, INRA-IMRH, BBC, IDELE, Institut Foton, Terrena.
  
- 4) **Hyperscan** : Tri des pièces de découpe de porc par scanner à induction magnétique et imageur hyperspectral
  - Partenaires : IFIP, Agrocampus-Ouest, Institut Foton, INRAE-Pegase.



**Contexte** - Qualité de la viande de porc

**Partenaires** : Valorex, IFIP, Laréal, Institut Foton, INRAE, LIMATB, BBC.

**Objectifs** : quantification d'acides gras (notamment omégas 3)

- spectroscopie visible proche infrarouge
- spectroscopie Raman

**Caractérisation**

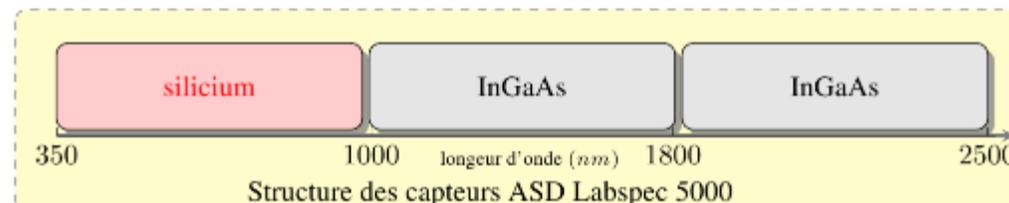
- spectromètres portatifs et de laboratoire. (ASD Labspec retenu en abattoir).
- Caractérisation et design de sondes

**Prélèvement échantillons en abattoir (282 au total)**

- analyses des échantillons par CPG --> taux d'Acides Gras
- mesures spectrales

**Méthode d'apprentissage automatique PLS :**

- C18:3n-3 qualité de prédiction  $r^2 = 0,87$  RMSEC = 0,62



*Labspec et pilotage embarqué*



*i-Raman BWTEK.*

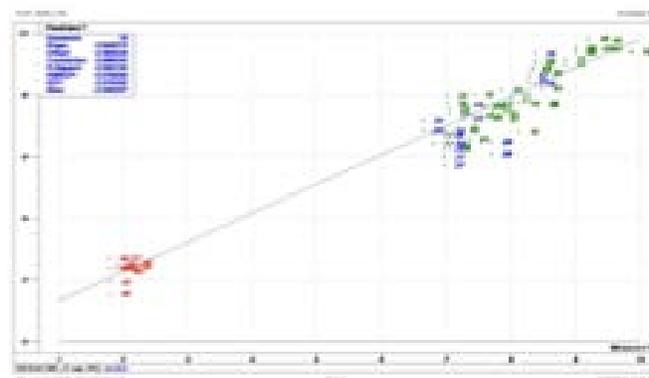
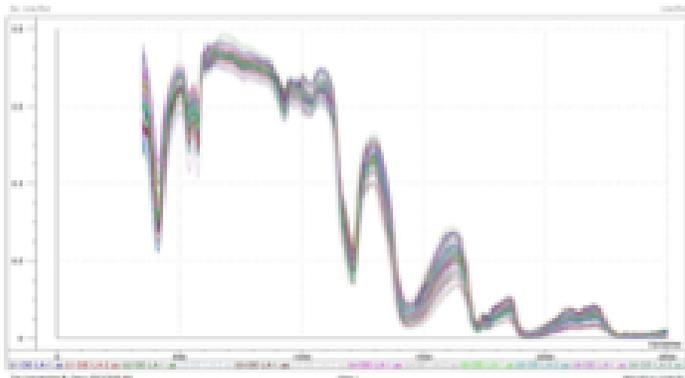


*Raman LabRAM HR Horiba.*

**Tableau 1 – Calibrations développées pour différents acides gras sur la gamme spectrale 800-1830 nm.**

Acides gras (% des acides gras totaux)	Moyenne	Ecart-type	Min-Max	R <sup>2</sup>	RMSEC	RPD
AGS	39,10	2,45	31,85-45,92	0,61	1,50	1,63
C16:0	23,59	1,19	19,50-27,10	0,46	0,87	1,37
AGMI	44,71	3,15	36,40-54,41	0,67	1,80	1,75
C18:1	41,44	2,62	34,15-47,79	0,62	1,60	1,64
AGPI	16,19	3,81	8,65-31,44	0,86	1,40	2,72
AGPI <sub>n</sub> -3	3,18	2,09	0,80-9,26	0,86	0,77	2,71
C18:3 <sub>n</sub> -3	2,45	1,73	0,53-7,55	0,87	0,62	2,79
AGPI <sub>n</sub> -6	12,45	2,25	6,92-21,38	0,54	1,50	1,50
C18:2 <sub>n</sub> -6	11,93	2,24	6,54-20,80	0,57	1,50	1,49

: acides gras saturés ; AGMI : acides gras monoinsaturés ; AGPI : acides gras polyinsaturés.



**La spectroscopie proche infrarouge : un outil fiable et rapide pour déterminer précocement le profil en acides gras de la viande de porc.**

Guillaume Mairesse, Philippe Douzenel, Jacques Mourot, Antoine Vautier, Ronan Le Page, et al.

*9ème Journées Francophones de Nutrition, Dec 2011, Reims, France. pp.S99,*

**La spectroscopie proche infrarouge: outil d'analyse rapide sur carcasse de la teneur en acides gras polyinsaturés n-3 des gras de bardière du porc charcutier.**

Guillaume Mairesse, Philippe Douzenel, Jacques Mourot, Antoine Vautier, Ronan Le Page, et al.

*44èmes Journées de la Recherche Porcine, Feb 2012, Paris, France.*



**Objectif :**

Optimiser le rendement technologique pour la sélection des carcasses qui vont bien réagir au processus de cuisson

**Partenaires :** Cooperl, IFIP, Broceliande, Edixia, Institut Foton.

Mesures en abattoir – découpe jambon - avec spectromètre ASD:

- Site de mesure
- Différents délais post-mortem: 12, 16, 20, 24 et 36 h
- 150 carcasses

**Sondes**

2 sondes commerciales

2 sondes spécifiques (IDIL):

- contact (surface)
- pénétration



classification : PLSDA 78 à 86% de bonne détection avec la sonde de surface quel que soit le délai Post-Mortem

Interface Graphique pour l'opérateur en chaîne de production:

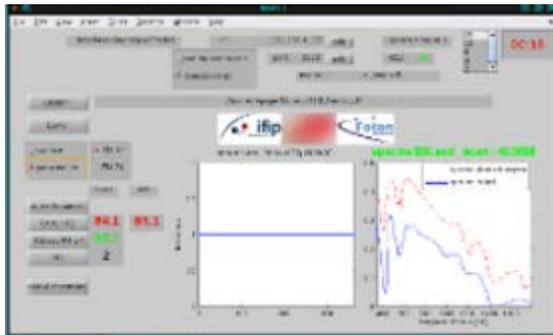


Table 5 Effect of *post mortem* time on the prediction accuracy of the FOP probe.

<i>Post mortem</i> times	12	16	20	24	36
Good classification rate in calibration (%)	80,3	79,8	87,0	80,5	77,9
False classification rate in cross validation (%)	20,7	20,8	21,1	24,8	24,5
Good classification rate in external validation (%)	75,6	78,0	73,2	82,9	73,2
PLS component number	1	1	5	4	1
False negatives rate (%)	40	66,7	54,5	57,1	63,6
False positives rate (%)	60	33,3	45,5	42,9	36,4

## **VISIBLE AND NEAR INFRARED SPECTROSCOPY FOR PSE-LIKE ZONES CLASSIFICATION AT DIFFERENT POST MORTEM TIMES**

T. Lhommeau, A. Vautier, J-M. Goujon and R. Le Page

*61st International Congress of Meat Science and Technology, 23-28th August 2015, Clermont-Ferrand, France*

## **Prédiction du rendement technologique des jambons par spectroscopie optique : mise en place et validation en contexte industriel.**

Ronan Le Page, Jean-Marc Goujon, Luiz Poffo, Antoine Vautier, Thierry Lhommeau.

*14ème Colloque international francophone sur les Méthodes et techniques Optiques pour l'Industrie (CMOI 2015), Nov 2015, Pleumeur-Bodou, France. pp.142-144. (hal-01234352v3)*



**Objectif :** Qualité de la viande bovine

**Partenaires :** Valorex, INRA-IMRH, BBC, IDELE, Institut Foton, Terrena.

**Mesures:**

- en élevage
- en abattoir : 78 carcasses sur 7 tissus
- spectromètre portable (ASD Labspec).

**Prélèvements** de viande en abattoir

- brut
- broyage grossier
- broyage fin sous azote.

Choix du site de mesure

Les résultats PLS sont inférieurs en termes de qualité de prédiction des acides gras que dans le contexte d'utilisation identique chez le porc (raisons non identifiées). ( $R^2_{cv} < 0.55$ )

Les meilleurs résultats sont obtenus pour un broyage fin et homogène de l'échantillon.

$R^2_{cv}$	<b>C0</b>	<b>G0</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>
Total lipids	0.65	0.64	0.61	<b>0.86</b>	<b>0.93</b>
C16:0	0.53	<b>0.68</b>	0.57	<b>0.81</b>	<b>0.90</b>
C18:1 9c	0.60	0.58	0.49	<b>0.80</b>	<b>0.87</b>
SFA	0.59	0.66	0.56	<b>0.82</b>	<b>0.89</b>
MUFA	0.64	0.60	0.53	<b>0.84</b>	<b>0.89</b>
PUFA n-6	0.45	0.37	0.09	0.47	0.43
PUFA n-3	0.22	0.47	0.47	0.26	0.32
PUFA	0.38	0.51	0.34	0.45	0.53



1

Performance of prediction of fatty acid (FA) composition on 7 different cattle tissues grinded in liquid nitrogen

**4 muscles**

- *Rectus abdominis* (RA)
- *Diaphragma* (Di)
- *Longissimus thoracis* (LT)
- *Infraspinatus* (In)

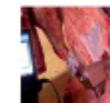


**3 adipose tissues (AT)**

- intercostal subcutaneous adipose tissue (ISAT)
- intermuscular fat of the 5th rib (IMF)
- shoulder subcutaneous adipose tissue (SSAT)

2

Effect of 5 different sample preparation methods on the performance of prediction of the FA composition on RA muscle



On carcass (**G0**)



Without grinding (**G0**)



minced (**G1**)



Knife mill grinding (**G2**)



Grinding in liquid nitrogen (**G3**)

## **Classification par spectroscopie proche infrarouge des gros bovins ou des carcasses suivant le profil en acides gras des viandes.**

Jérôme Normand, Emmanuelle Certenais, Mohammed El Jabri, Guillaume Mairesse, Christophe Falguères, et al.  
*16èmes Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes (16èmes JSMTV)*, Nov 2016, Paris, France. pp.75-76.  
{hal-01603388}

## **Performance de mesure de la composition en acides gras de la bavette de flanchet par spectroscopie proche infrarouge.**

Guillaume Mairesse, Emmanuelle Certenais, Jérôme Normand, Benoît-Pierre Mourot, Agnes Thomas, et al.  
*16èmes Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes (16èmes JSMTV)*, Nov 2016, Paris, France. pp.71-72.  
{hal-01603389}

## **Prédiction du profil en acides gras polyinsaturés n-6 et n-3 a partir des acides gras majeurs dans la viande bovine.**

Benoît-Pierre Mourot, Guillaume Mairesse, Jérôme Normand, Denys Durand, Emmanuelle Certenais, et al.  
*16èmes Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes (16èmes JSMTV)*, Nov 2016, Paris, France. pp.67-68.  
{hal-01603387}

## **Prediction of fatty acid composition of beef using near infrared spectroscopy: tissues and samples preparation effects.**

Benoît-Pierre Mourot, Guillaume Mairesse, Emmanuelle Certenais, Guillaume Chesneau, Denys Durand, et al..  
*61. International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST)*, Aug 2015, Clermont-Ferrand, France. {hal-02741881}



**Objectif** - Qualité de la viande de porc

**Partenaires** : IFIP, Agrocampus-Ouest, Institut Foton, INRAE-Pegase.

**Mesures couplées** :

- Hyperspectral -
- Scanner magnétique Hamspector -
- tomographie RX

80 longes et 100 jambons étudiés

**Dispositif imageur hyperspectral** : combinant 2 caméras pushbroom

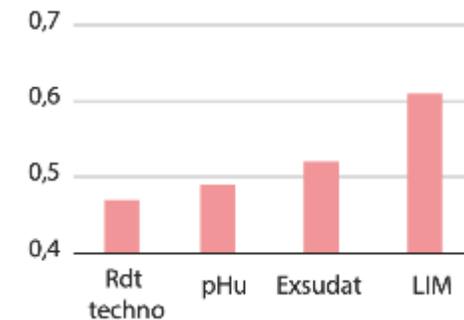
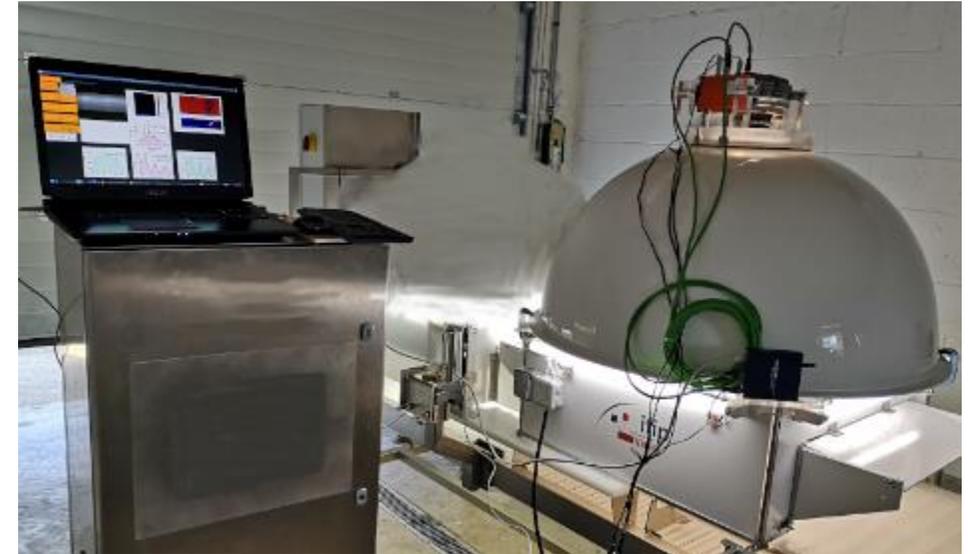
- 400-1000nm - Specim FX 10
- 900-1700nm – Specim FX 17
- Système d'éclairage
  - Couverture et stabilité du spectre
  - Protection des éclairages ambiants
- Système convoyage ligne ~1m/s

Comparaison avec un spectromètre ASD Labspec.

Analyse PLS → Imageur hyperspectral plus prédictif que le seul spectromètre.

Paramètres les mieux prédits :

- PH ultime :  $r^2c=0,8$ ,  $r^2cv=0,69$
- Exsudat (PSE) :  $r^2c=0,66$  et  $R^2cv=0,52$  ).



**R<sup>2</sup> d'estimation de critères de qualité de viande par imageur hyperspectral**

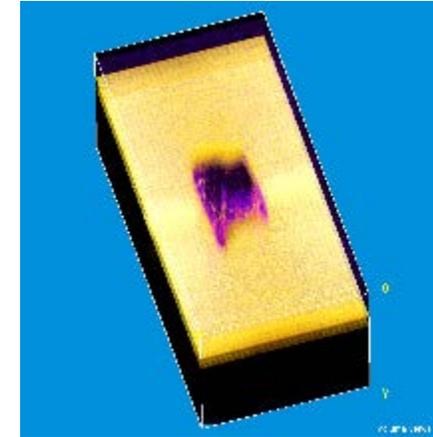
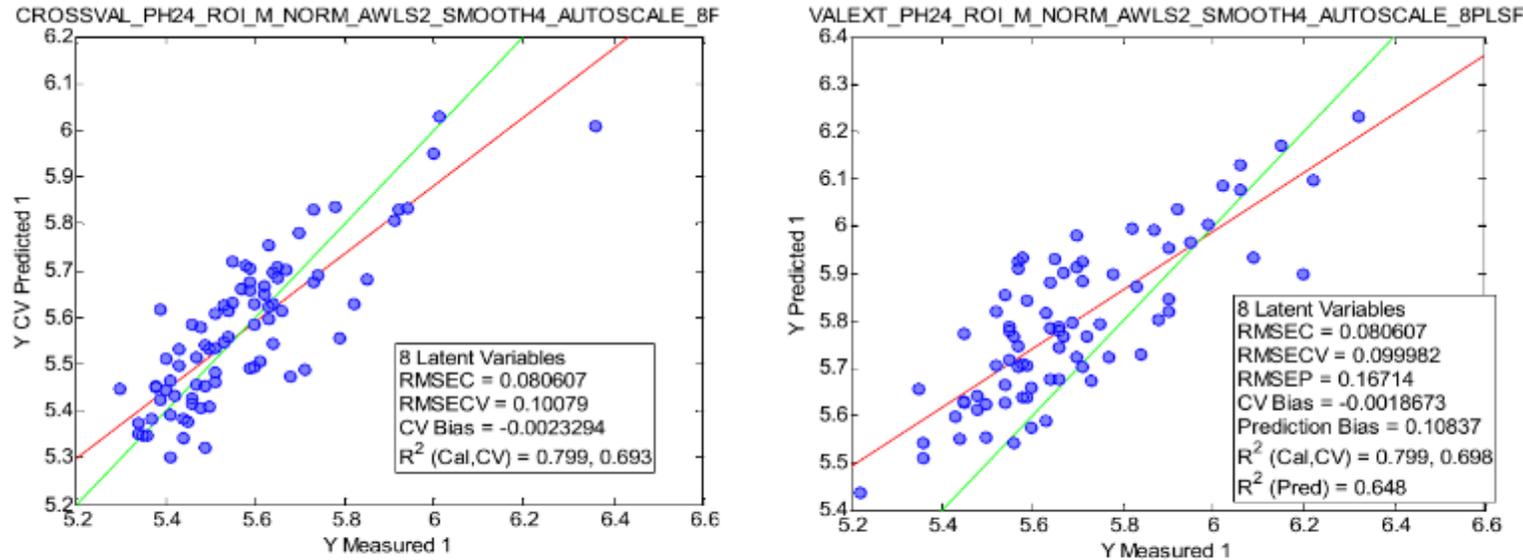


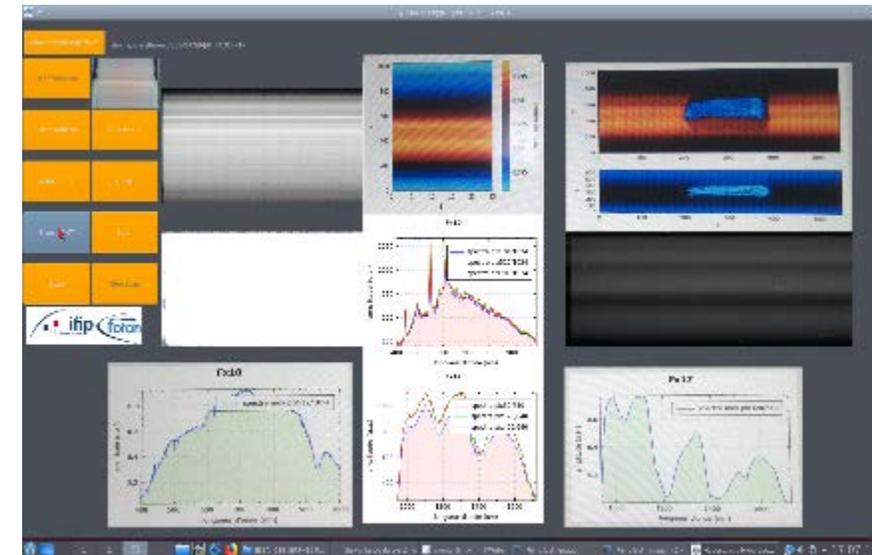
Figure 8 : confrontation des pH ultimes prédits et observés en validation croisée (données 2018, à gauche) et en validation externe (modèle 2018 validé sur données 2019, à droite)

### Hyperspectral Imaging of deboned hams: determination of relevant areas for the prediction of water holding capacity.

Vautier A., Lhommeau T., Le Page R.,  
 In Book of Abstracts 67th International Congress of Meat Science and Technology, August 23-27, 2021, Krakow, Poland

### Design of an hyperspectral imaging system for meat quality assessment,

Ronan Le Page, Antoine Vautier, Luiz Poffo, Gérard Daumas and Jean-Marc Goujon  
 (To be submitted)



## 1) Contexte FOTON – ENSSAT

- Domaines de compétence : photonique
- Quelques projet appliqués Agri-Agro

## 2) Projets SPIR et HSI appliqués aux produits carnés

- Objectifs
- Partenariats
- Spécificités : élevage – abattage – chaine de transformation...

## 3) **Vers le Moyen Infra Rouge**

- Nouveaux spectromètres intégrés InGaAs
- Imageur hyperspectral MIR à architecture *staring* 4 --> 11 $\mu$ m
- Projets en cours : végétal

## 4) Conclusion

## Spectromètres « moins proche » infrarouge

- Technologies
  - MEMS à Transformée de Fourier
  - À Fabry-Perot balayé
  - A conversion de fréquence...
- Limitation :
  - bruit, résolution... capteur InGaAs  $\rightarrow$  2,5 $\mu$ m

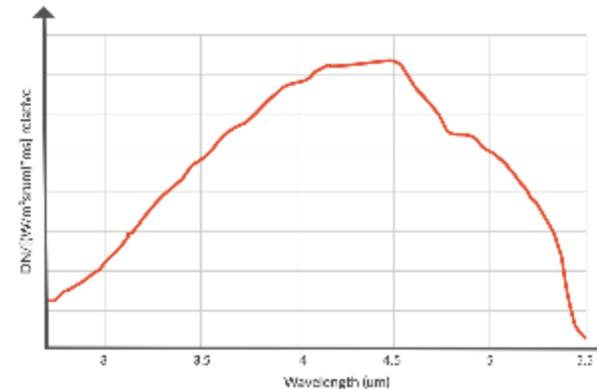
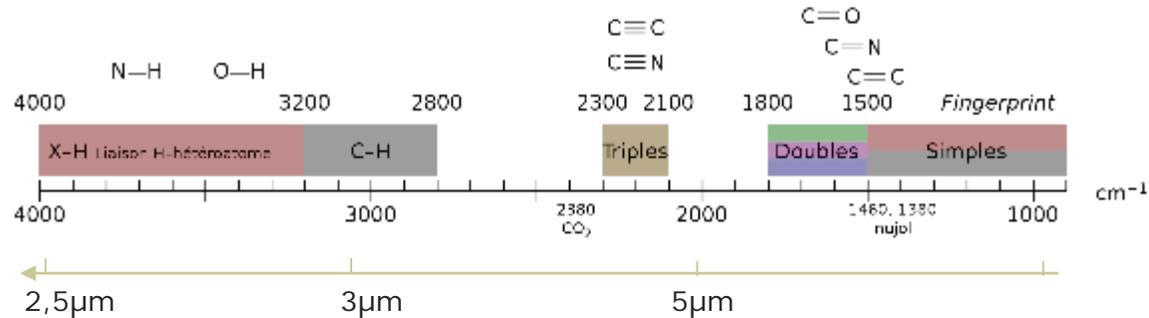


## Projet Allaitement :

- Qualités nutritives du lait maternel
- Partenaires : Europrocess – Valorex – CHU Rennes, Bleu Blanc Cœur ...
- Traitement classique ou réseaux de neurones (Keras - TensorFlow)



**VALOREX**  
Cultivons vos différences

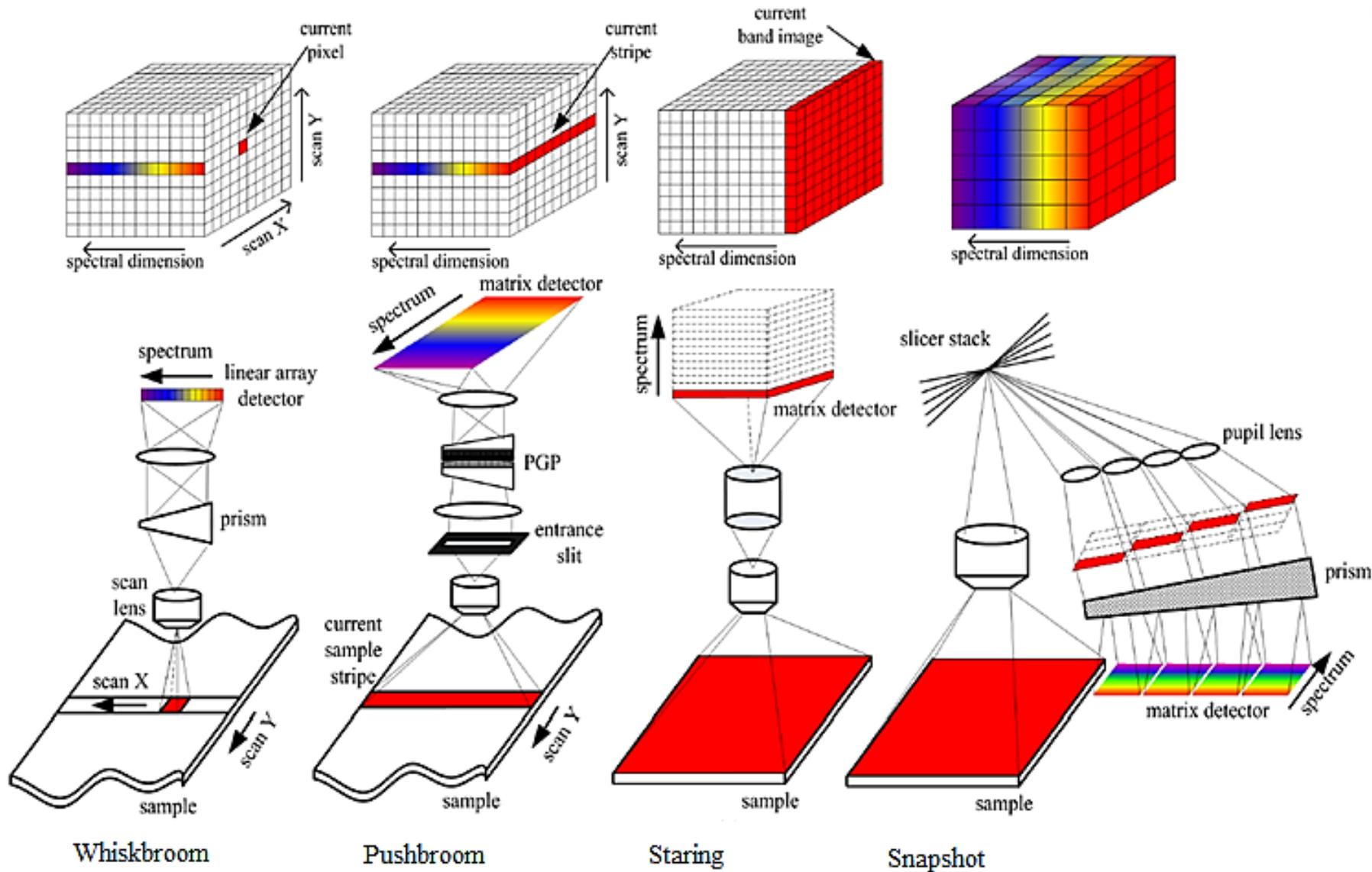


## Pourquoi est-ce difficile ?

- Refroidi au delà de 2,5 $\mu\text{m}$ 
  - Sinon...  $\mu$ -bolomètre ?
- Homogénéité des matrices
  - Etalonnage
- Architecture ?
- Sources d'éclairage ?
- Raies d'absorption
  - CO<sub>2</sub>...

## FEATURES

- Complete spectral camera with compact form factor
- Spectral range of 2.7 - 5.3  $\mu\text{m}$
- High spatial resolution of 640 pixels
- High image speed of 380 Hz
- Temperature stabilized optics
- Built-in image correction
- Unified spectral calibration between units
- GigE Vision standard interface
- Easy mounting to industrial environment

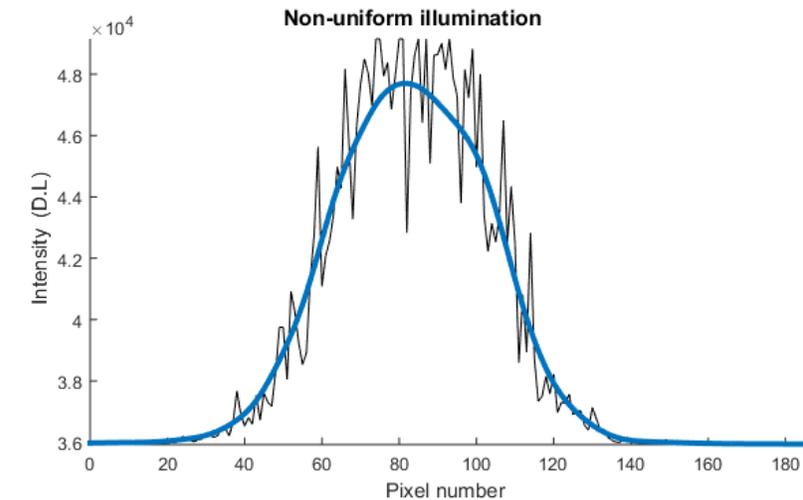
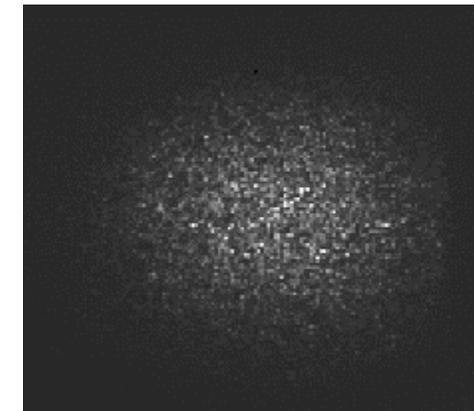
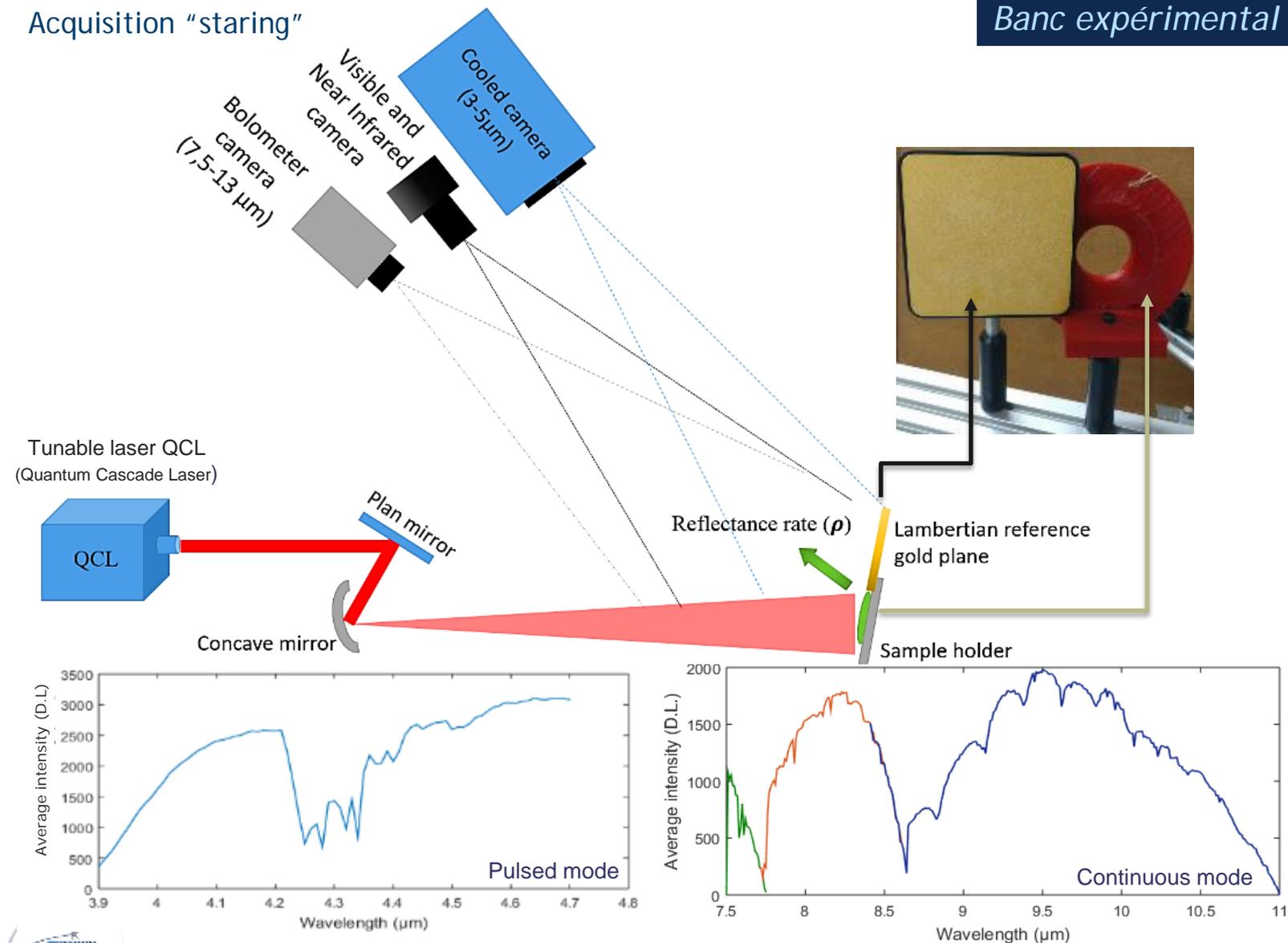


Types d'architectures d'acquisition hyperspectrale (Q. Li et al. 2013)

Acquisition "staring"

Banc expérimental

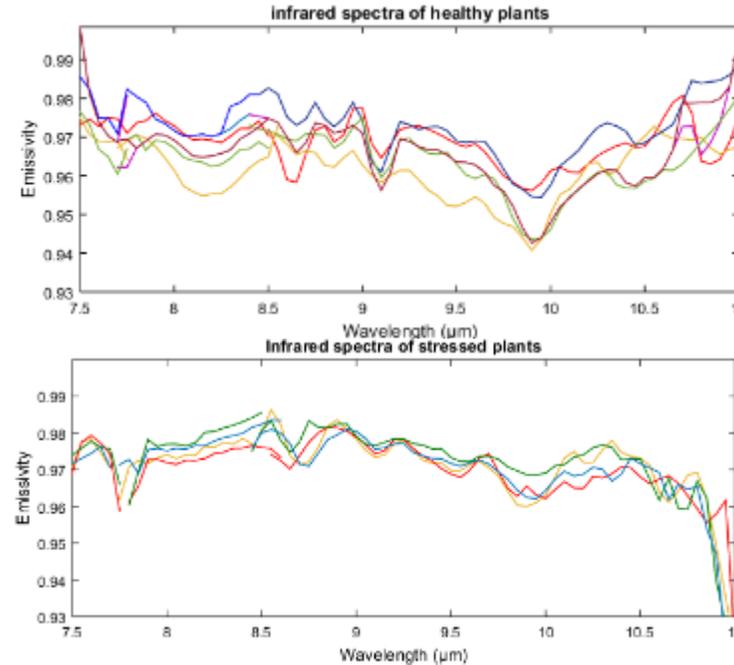
Une limitation : Speckle



## Détermination précoce du stress hydrique des plantes



12 plantes  
1/3 non stressée  
3 feuilles par plante  
9234 images  
≈ 8 heures



Machine Learning

Plantes stressées

Plantes non stressées

Chaimae El Fakir, Maroun Hjeij, Ronan Le Page, Luiz Poffo, Bastien Billiot, Jean-Marc Goujon et al.. Active hyperspectral mid-infrared imaging based on a widely tunable quantum cascade laser for early detection of plant water stress. *Optical Engineering*, SPIE, 2021, 60 (2), pp.023106. [10.1117/1.OE.60.2.023106](https://doi.org/10.1117/1.OE.60.2.023106). [hal-03219536](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03219536)

Une brève annonce... avant les questions !



# Nouveau septembre 2022

Formez vos futur.e.s  
collaborateur.rice.s!

FORMATION D'INGÉNIEUR.E / OUVERTURE SEPT. 2022

## PHOTONIQUE & ÉLECTRONIQUE

Concevoir un système photonique - Intégrer de l'intelligence numérique



**ENSSAT**  
LANNION

UNIVERSITÉ DE  
RENNES I

École affiliée  
IMT

### CONTACT

**François Faijan,**  
chargé de mission

[contact-iape@enssat.fr](mailto:contact-iape@enssat.fr)

+33 (0)2 96 46 92 48

+33 (0)7 61 63 97 30

**itii**  
INSTITUT  
Mines-Télécom

**Cti**  
CONFÉRENCE  
DES GRANDES  
ÉCOLES

**IMT**  
INSTITUT  
Mines-Télécom

**CONFÉRENCE DES  
GRANDES  
ÉCOLES**

## NOUVELLE FORMATION

Projet d'ouverture en septembre 2022

*Instrumentation  
photonique pour  
l'industrie*

*Capteurs  
photoniques embarqués*

*Intégration photonique  
dans les usages du  
quotidien  
(santé, environnement,  
énergie, etc.)*

Ouverture septembre 2022

# Photonique & électronique

*par  
apprentissage*

CONCEPTION ET INTÉGRATION DE SYSTÈMES PHOTONIQUES



Concevoir un système photonique  
Intégrer de l'intelligence numérique



Merci de votre attention – quelques questions ?