

**Session thématique : Sciences et technologies de l'information et de la communication au service du végétal spécialisé**

**Thème : Intérêt des techniques d'imagerie pour les acteurs du végétal : phénotypage, contrôle qualité, étude de l'environnement**



**Les Rencontres du Végétal**

**8<sup>e</sup> édition**

**12-13 JANVIER 2015  
AGROCAMPUS OUEST  
ANGERS, FRANCE**

**RECHERCHE  
EXPÉRIMENTATION  
INNOVATION**

.....  
Fruits  
Légumes  
Ornement  
Plantes aromatiques  
et médicinales  
Semences  
Cidriculture  
Viticulture  
Paysage



**La vision par ordinateur**

**un ACCÉLÉRATEUR**

**pour l'INNOVATION végétale**

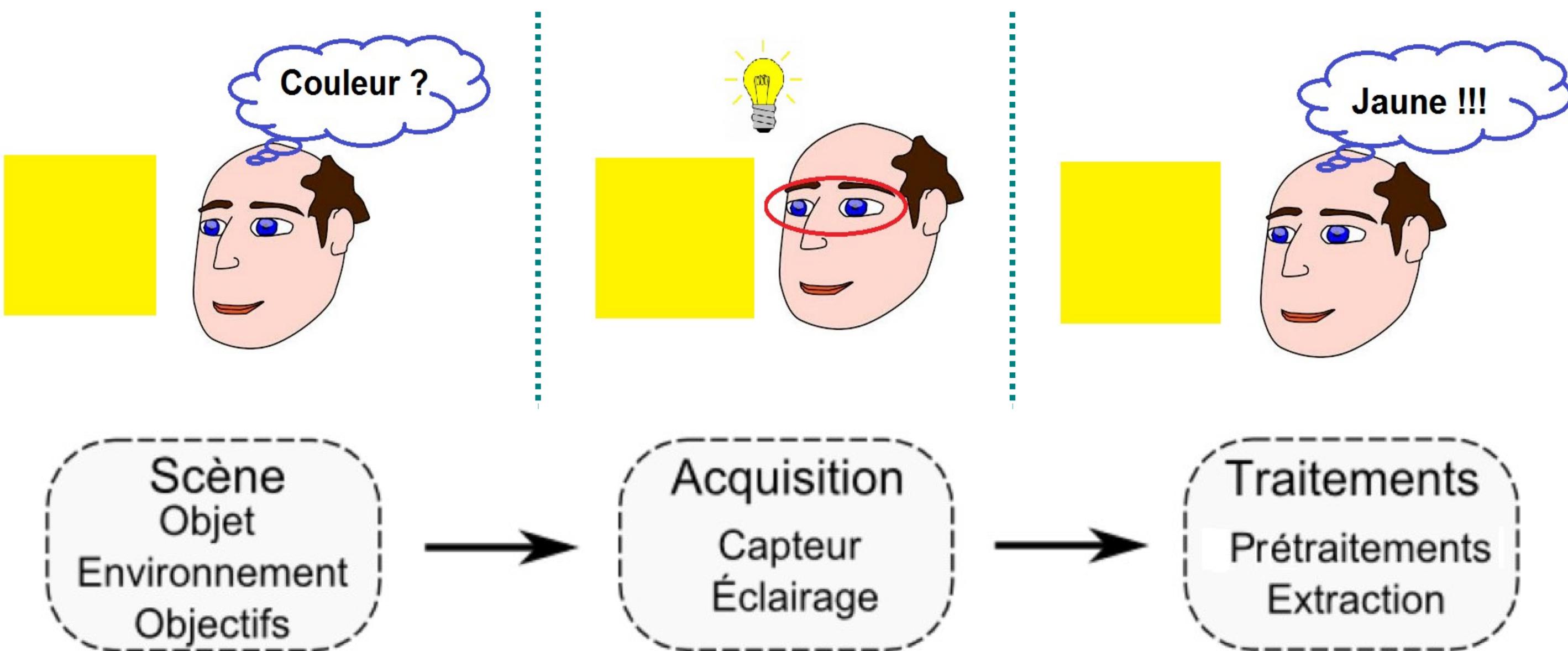
**Yann CHÉNÉ**

**Master en physique de l'imagerie  
Doctorat en traitement des images**

**Bureau de recherche et de développement  
en vision par ordinateur pour l'agriculture**

# La vision par ordinateur

Une science inspirée par le système visuel humain



Acquérir des images d'une scène avec une caméra  
puis traiter ces images pour extraire des informations sur la scène

# La vision par ordinateur pour le végétal

**Le végétal :**

**Variabilité inter-espèces**  
**Variabilité intra-espèce**  
**Variabilité temporelle**



**L'échelle d'observation :**

**Stade de croissance**  
**Organe**  
**Débit**



**L'environnement :**  
**Intérieur ou extérieur**  
**Modulable ou non**



**Les informations à extraire :**

**Architecture**  
**Physiologie**

...

**Hauteur = 40 cm**

**Largeur = 30 cm**

**Nombre de fleurs = 5**

**Couleur des fleurs = Rouge**

**Maladie = Aucune**



**La problématique végétale fixe le cahier des charges**

# La vision par ordinateur pour le végétal

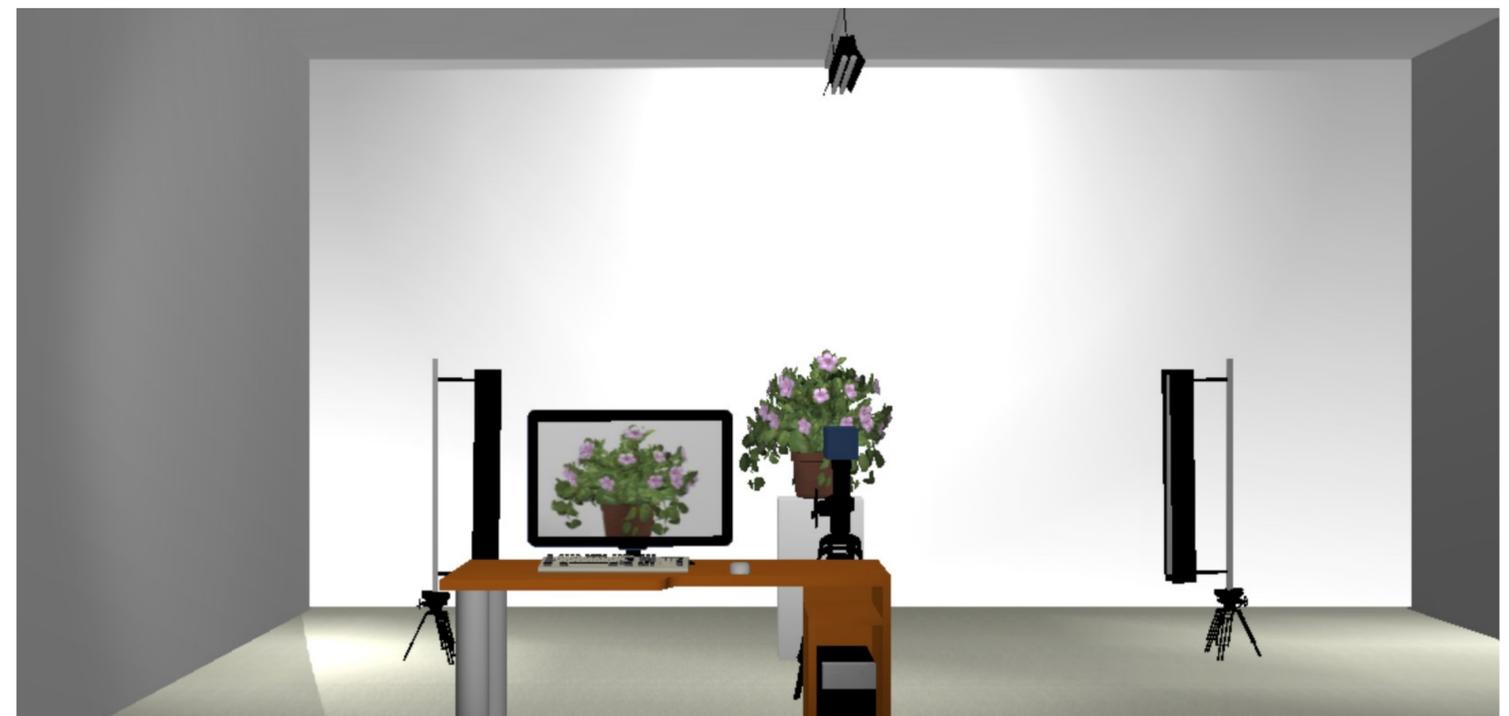
Développement d'un système spécifique pour répondre à la problématique végétale

Illustration par un exemple virtuel :

Plante seule et en pot



Environnement contrôlé = Cabine d'imagerie



Objectif du système de vision par ordinateur :  
Compter le nombre de fleurs de la plante



# La caméra pour remplacer les yeux

Les ondes électromagnétiques = Photons de longueur d'onde  $\lambda$

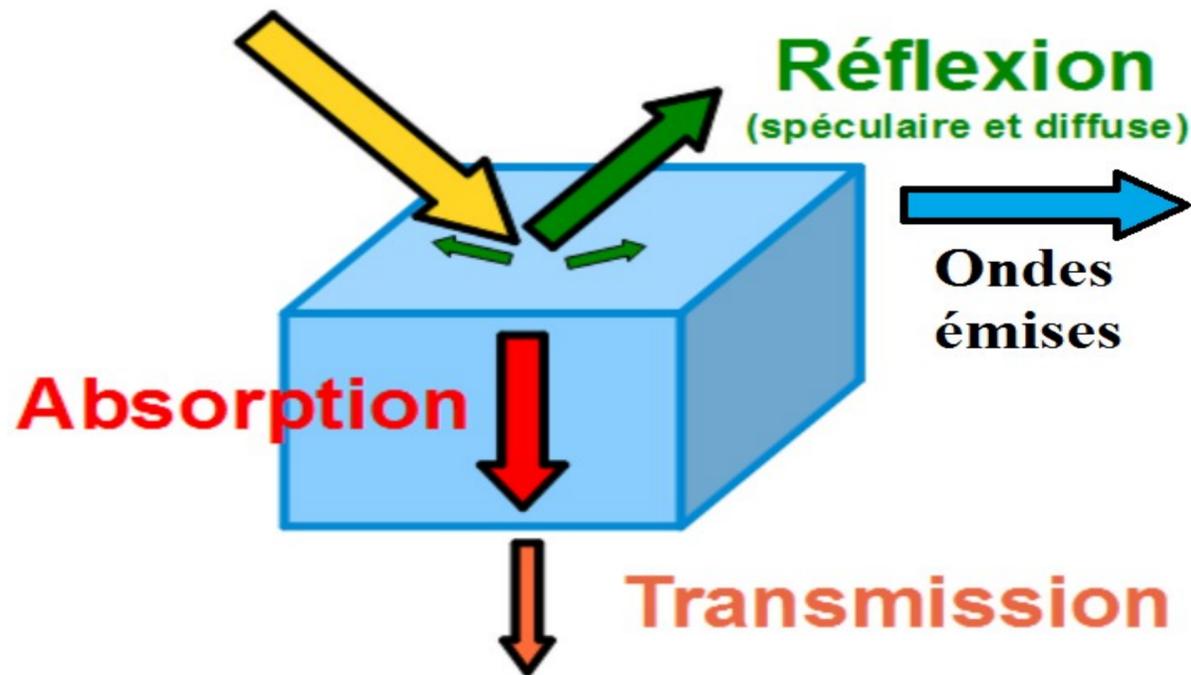


Lumière visible

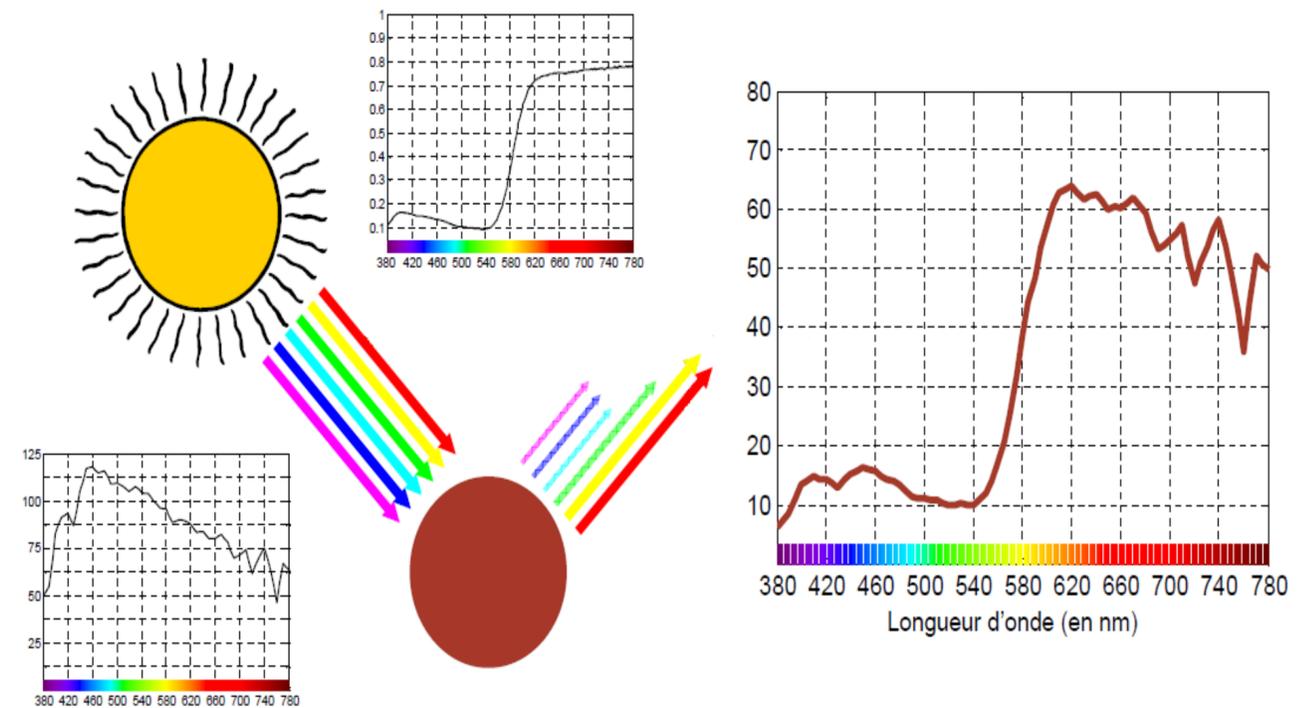
Extrait de Van den Brouck

Interaction entre un objet et des ondes :

Ondes incidentes



Exemple de la vision des couleurs :

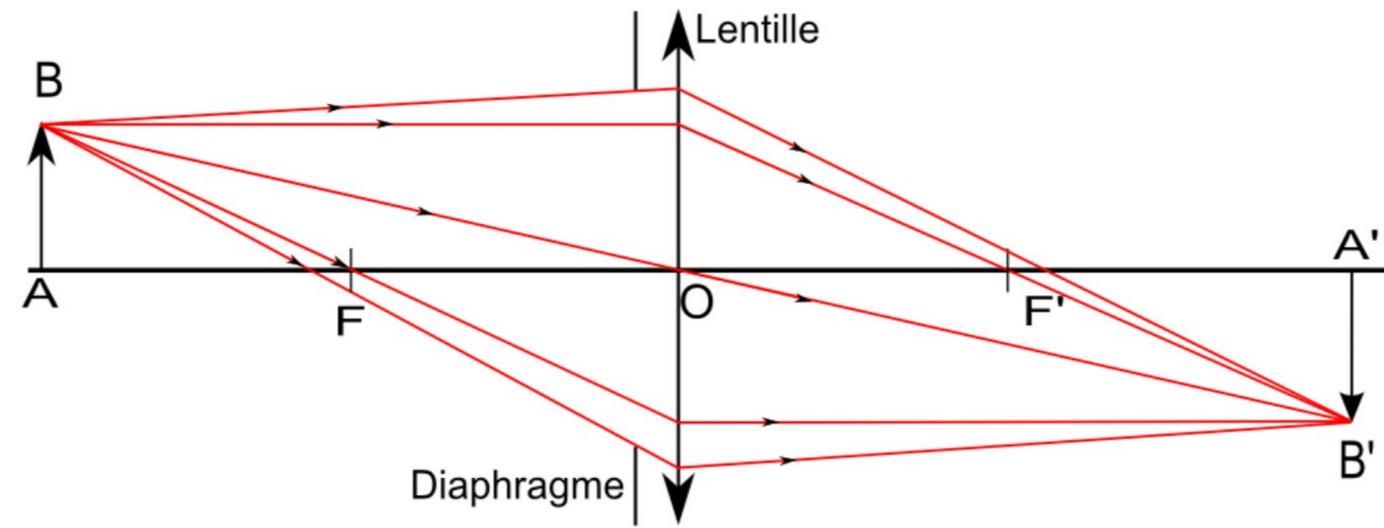
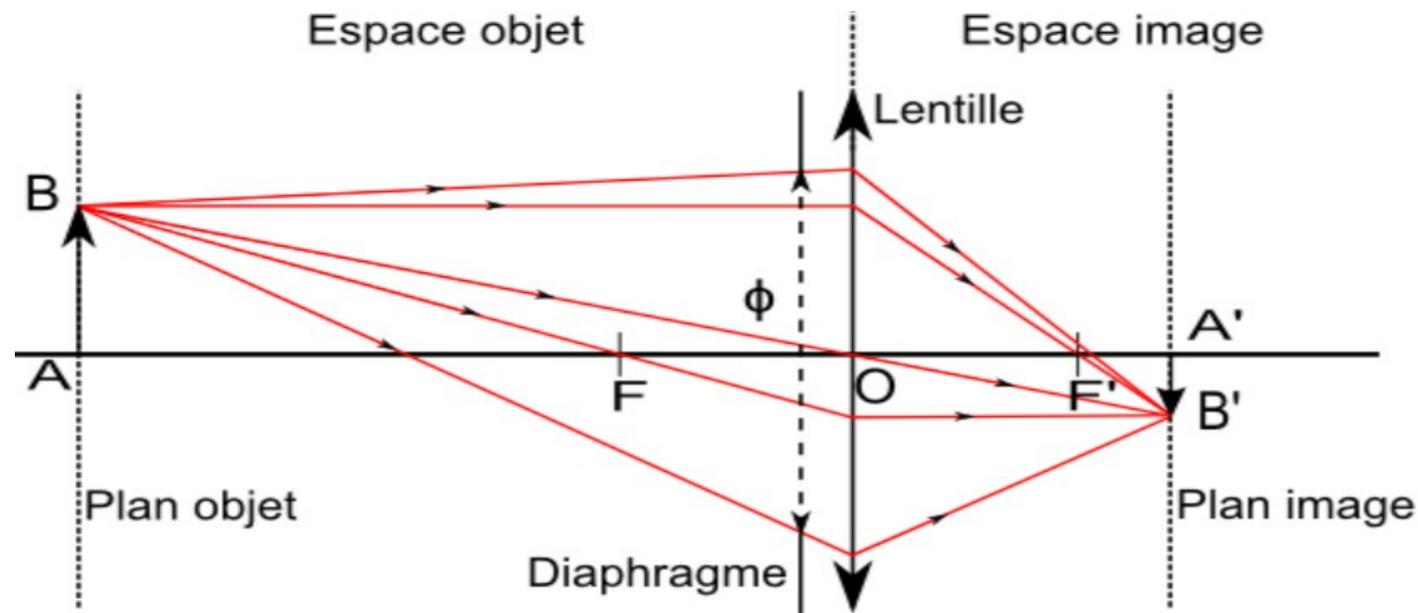


Extrait de Van den Brouck



# La caméra pour remplacer les yeux

Un objectif pour capter les ondes électromagnétiques



De multiples paramètres ajustables :

Spectre de transmission

Distance focale

Nombre d'ouverture

Qualité



# La caméra pour remplacer les yeux

Un détecteur pour compter le nombre de photons

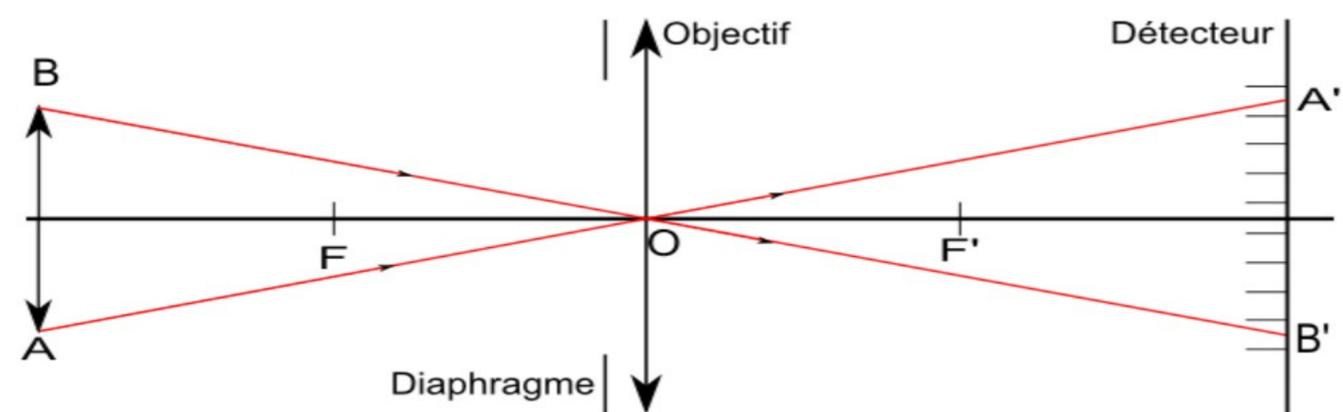
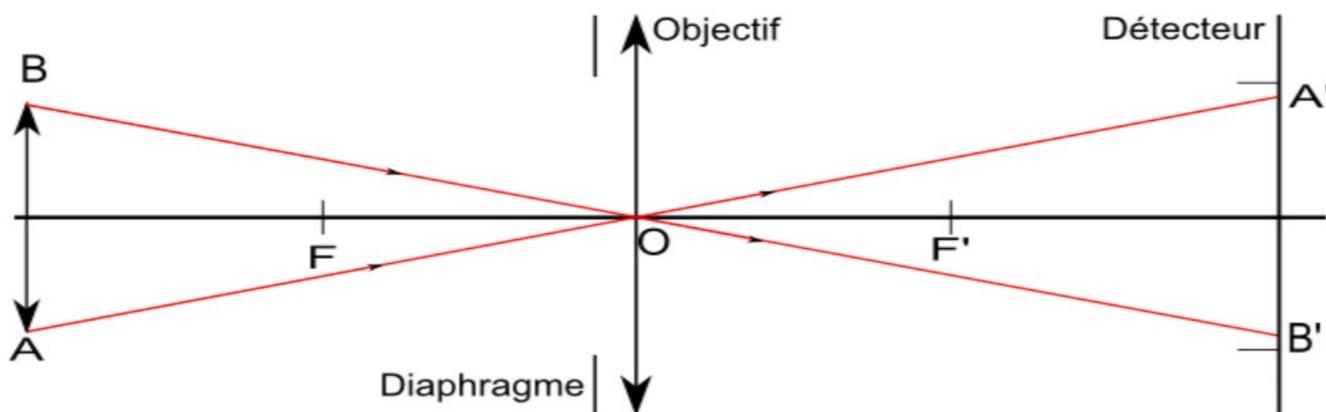
Des cellules qui comptent sur un temps d'intégration



De multiples paramètres ajustables :

Spectre de sensibilité  
Taille des pixels

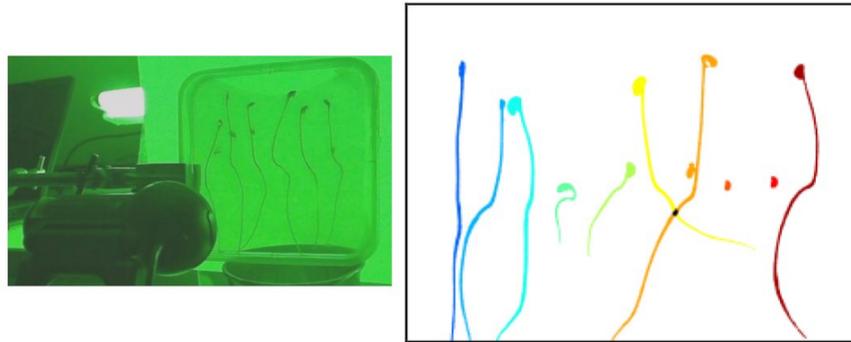
Temps d'intégration  
Nombre de pixels



# De nombreuses caméras existantes répondant à de nombreuses problématiques

## Couleur :

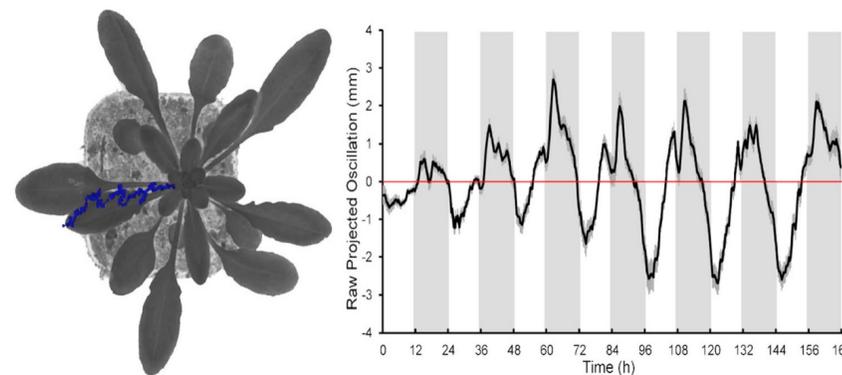
Qualité visuelle, forme, densité des organes, ...



Extrait de Benoît 2014

## Proche infrarouge :

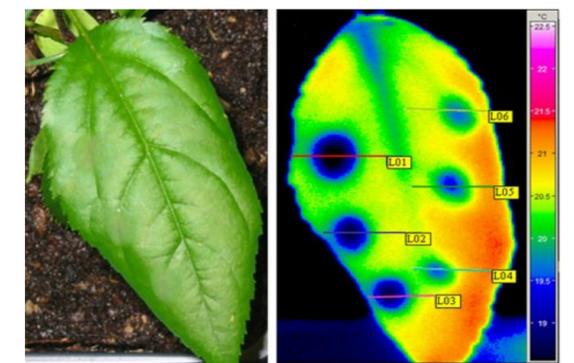
Teneur en eau et en cellulose, analyse nuit, ...



Extrait de Bours 2012

## Infrarouge lointain :

Température, stomates, sénescence, maladies, ...



Extrait de Oerke 2008

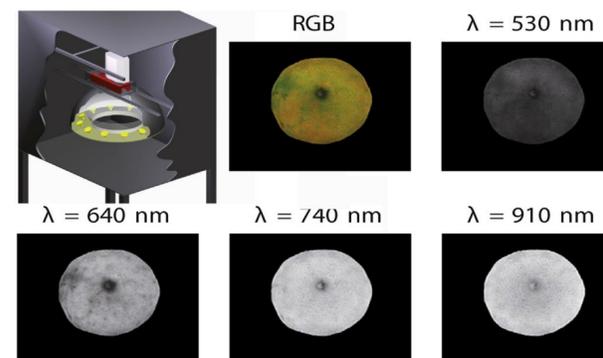
## Fluorescence :

Photosynthèse, CO<sub>2</sub>, pigments, nutriments, ...



Extrait de Ben Gozlen 2010

Multi/Hyperspectrale :  
Précédents+ nouveaux,  
bandes adéquates, ...



Extrait de Gomez Sanchis 2014

Profondeur (3D) :  
Dimensions, forme,  
position, densité ...



Extrait de Rossel 2012

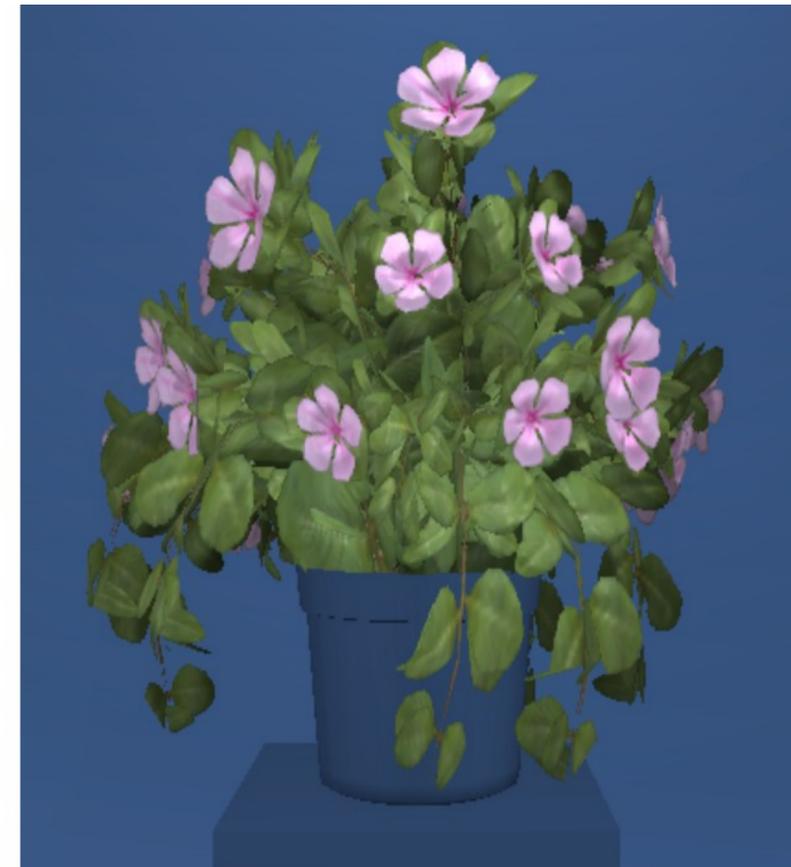
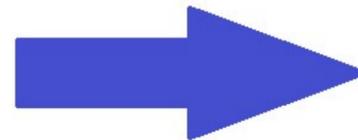


# Choix de la caméra

Fleurs visibles par nos yeux = Caméra couleur

## Optimisation de la scène

Fleurs roses et blanches = Adapter le fond



**Des choix astucieux de l'éclairage et des paramètres de la caméra permettent aussi de faciliter les traitements**



# L'ordinateur pour remplacer le cerveau

Extraire les informations des images

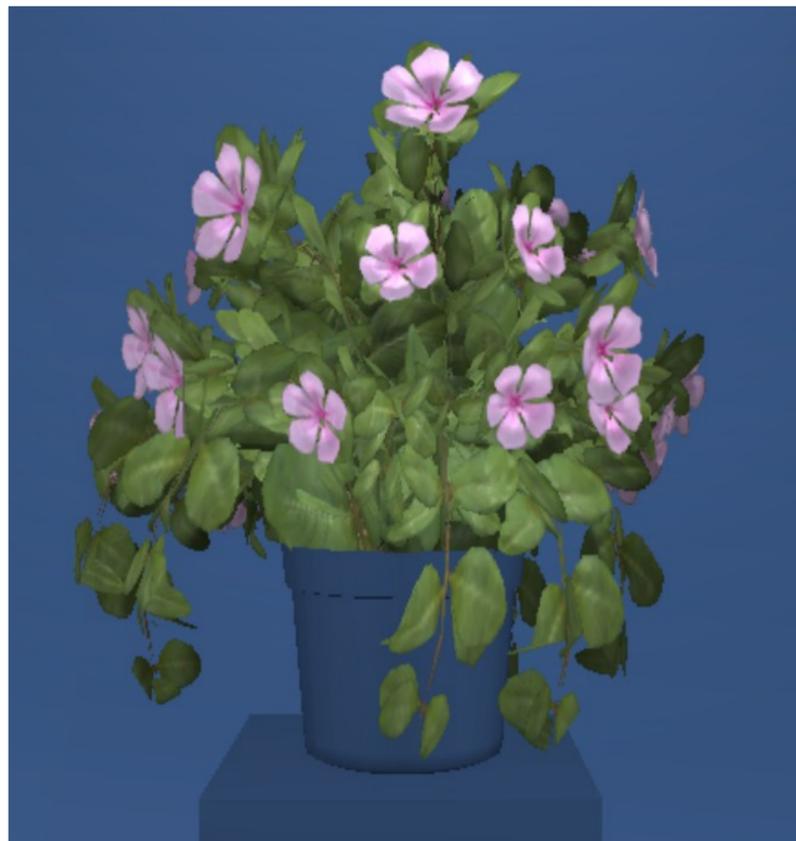
**Objectif : Compter le nombre de fleurs**

**Plante = Volume 3D = Rotation de la plante**

Image de départ :

Traitements bas-niveau :  
Conversion (RVB → HSV)

Traitements moyen-niveau :  
Segmentation

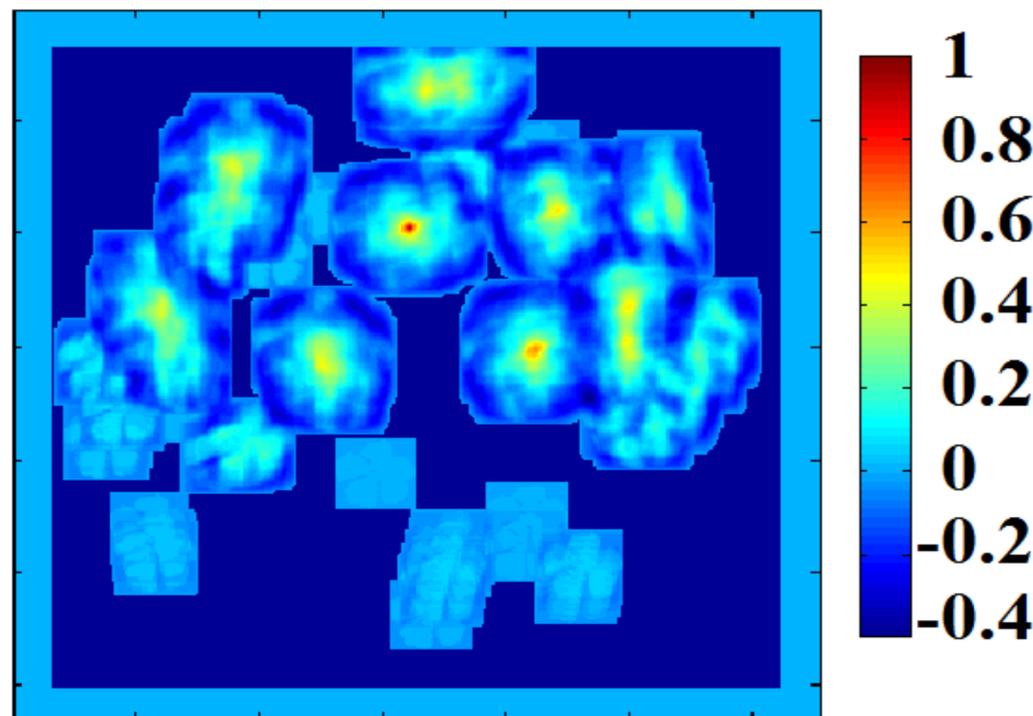


# L'ordinateur pour remplacer le cerveau

Extraire les informations des images

**Objectif : Compter le nombre de fleurs**

Traitements haut-niveau : Corrélation pour détecter les fleurs entières



**Nombre de fleurs = Suivi des fleurs individuelles**

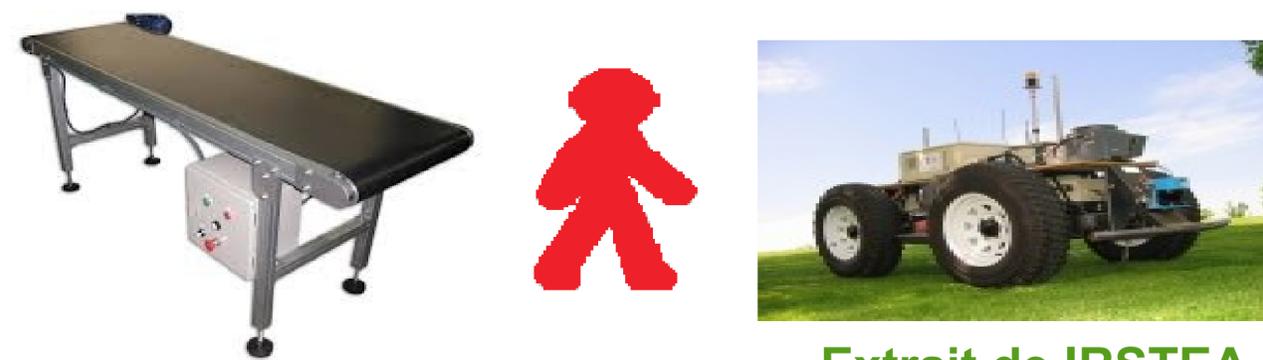
# Mise en œuvre globale du système de vision par ordinateur

Informatique + Électronique + Mécanique + Humain

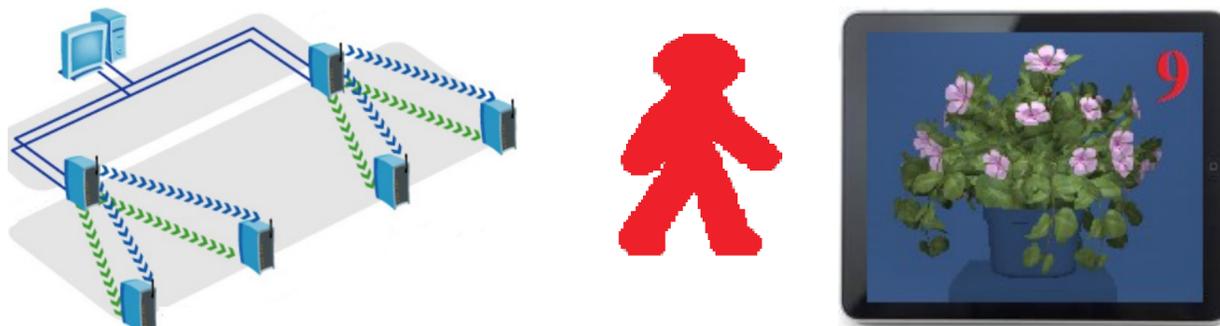
Acquérir des images :



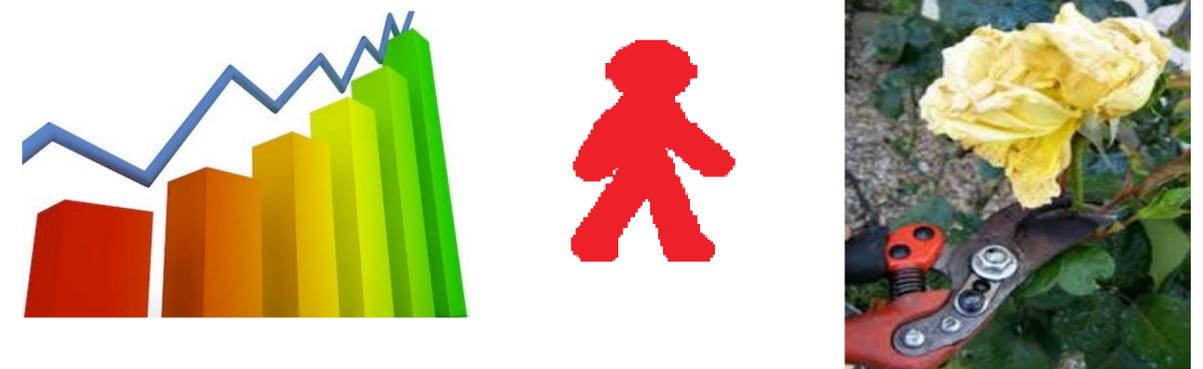
Étudier plusieurs végétaux :



Communiquer les informations :



Exploiter les informations :



## L'humain n'est pas forcément exclu de la boucle

# Utiliser la vision par ordinateur pour le végétal spécialisé

Remplacer les informations visuelles :      Remplacer d'autres systèmes :

Échelle d'observation variable  
Pas de subjectivité inter-notateurs  
Pas de subjectivité intra-notateur

Mesures non-destructives  
Données spatialisées  
Systèmes automatisables

**Gains potentiels multiples :**

**Débit**

**Informations**

**Qualité**

**Temps homme**

**ACCÉLÉRATION de la mise en place  
de vos INNOVATIONS végétales**

# Merci de votre attention



**yann.chene.tni@gmail.com**  
**06 25 51 38 06**

**Bureau de recherche et de développement  
vision par ordinateur pour l'agriculture**

**Conseil**

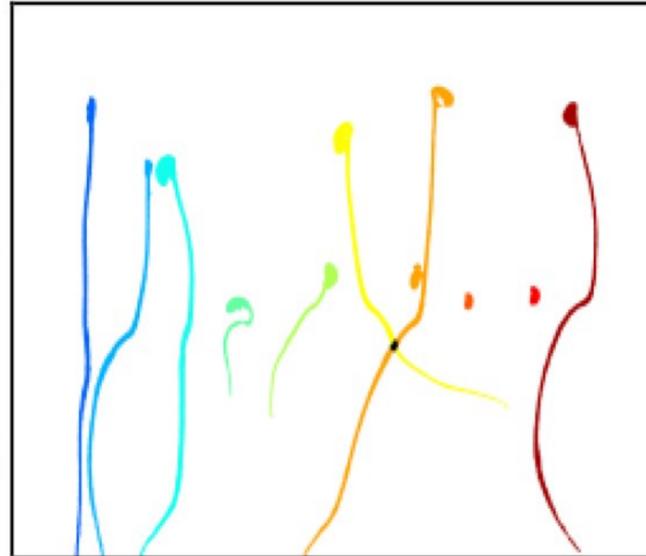
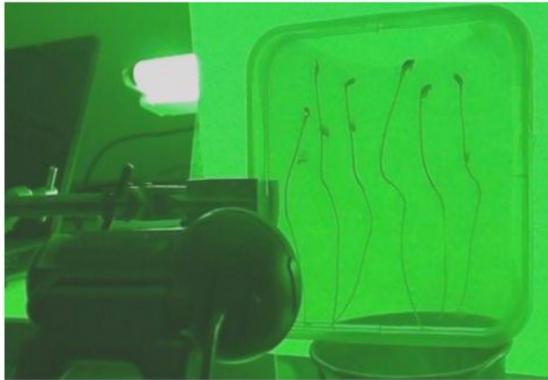
**Étude de faisabilité**

**Développement**

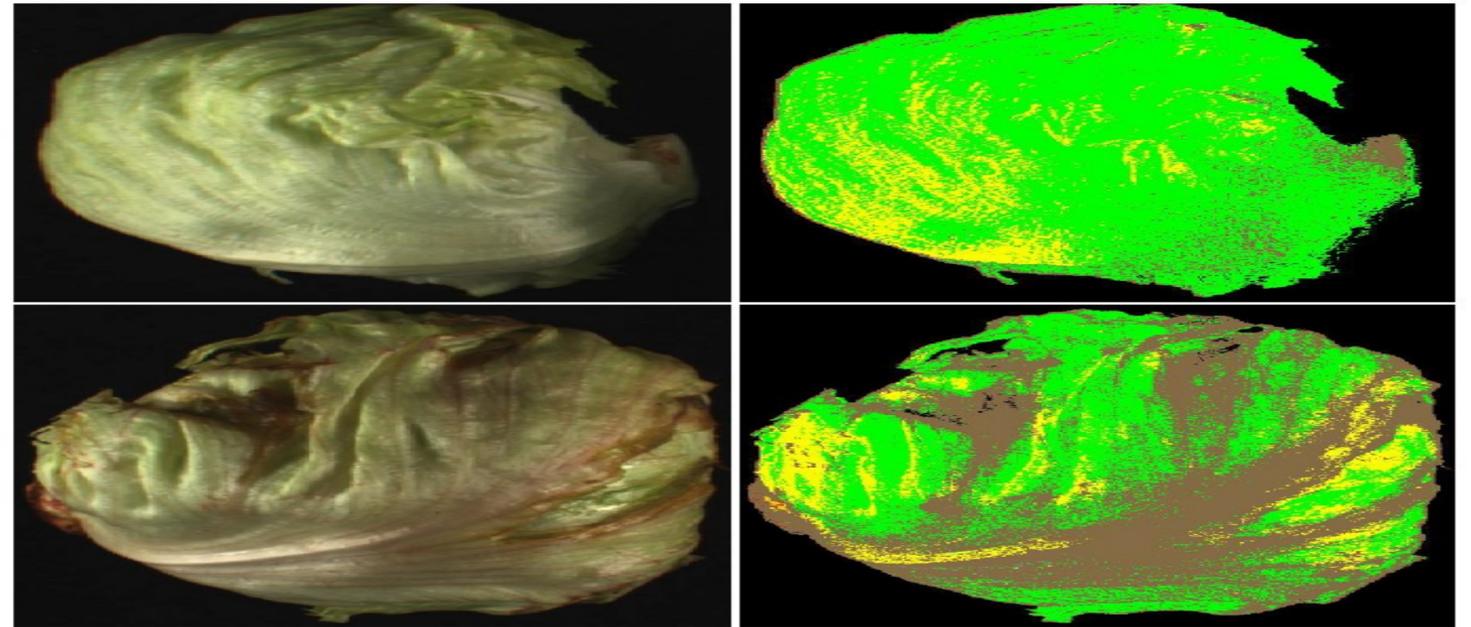
**Formation**

# De nombreuses caméras existantes

## Les caméras couleur



Extrait de Benoît 2014



Extrait de Pace 2014



Extrait de Santagostini 2014

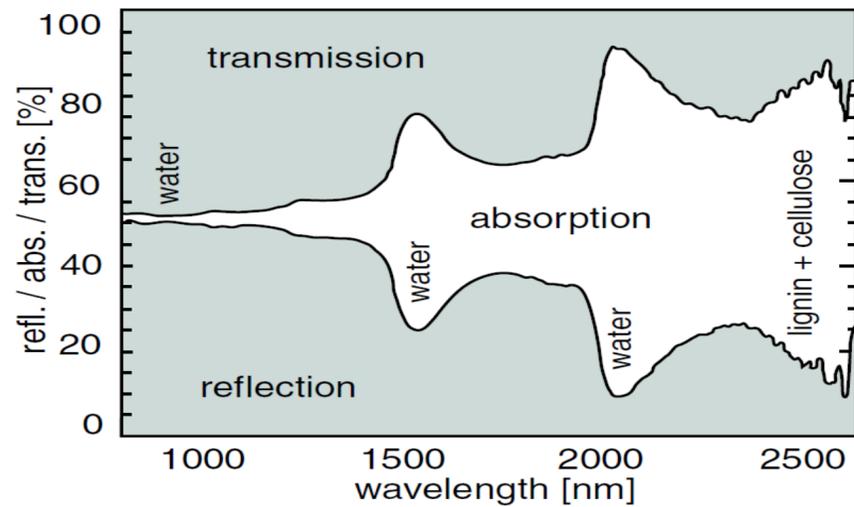
Variation de la réflexion/transmission  
dans 3 bandes visibles (RVB) :

Qualité visuelle  
Sénescence  
Maladies  
Teneur en nutriments  
...

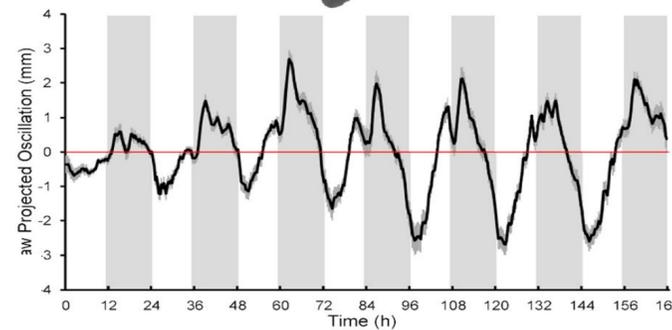
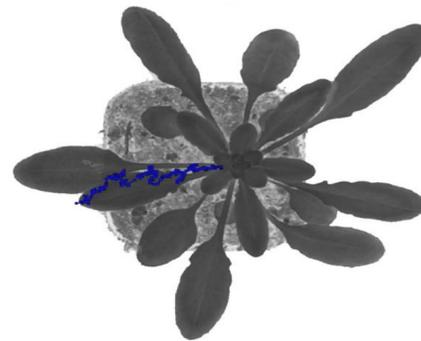
Forme  
Biomasse  
Densité des organes  
...

# De nombreuses caméras existantes

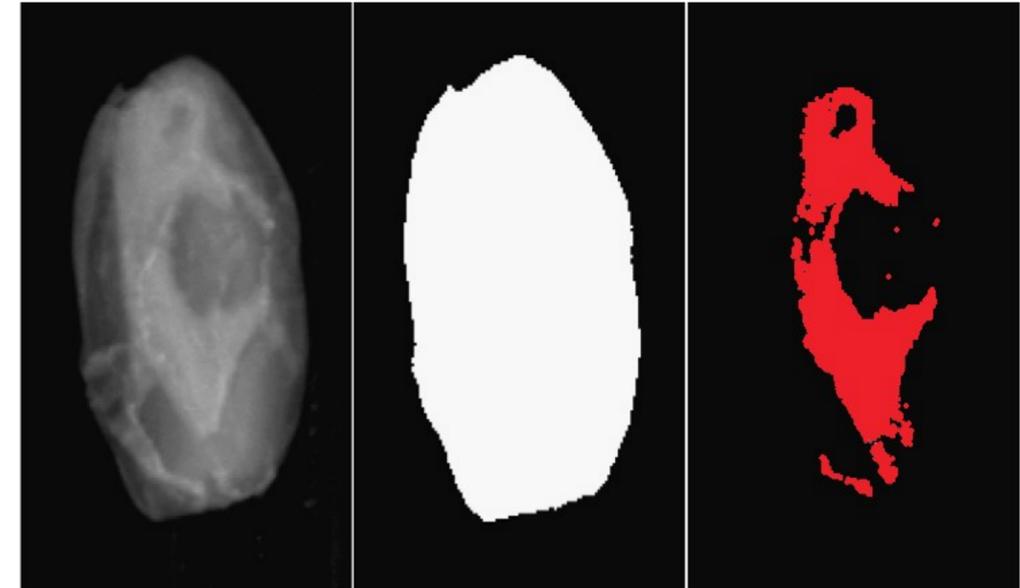
## Les caméras proche infrarouge (NIR, SWIR)



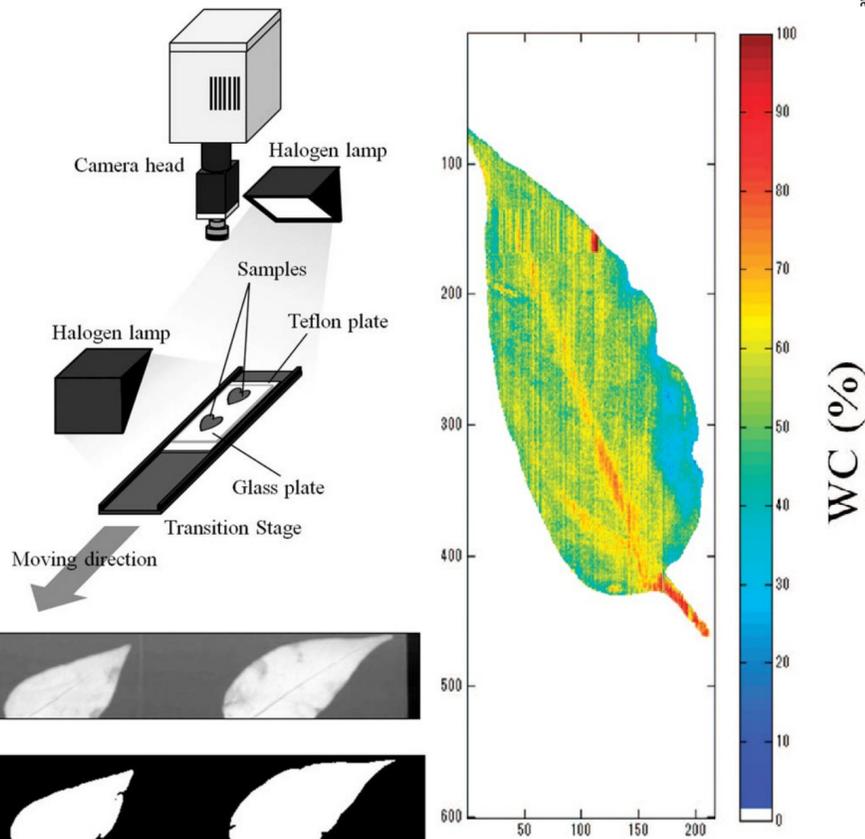
Extrait de Fiorani 2011



Extrait de Bours 2012



Extrait de Lee 2008



Extrait de Higa 2014

**Variation de la réflexion/transmission en proche infrarouge :**

**Teneur en eau  
Teneur en cellulose  
Statut photosynthétique**

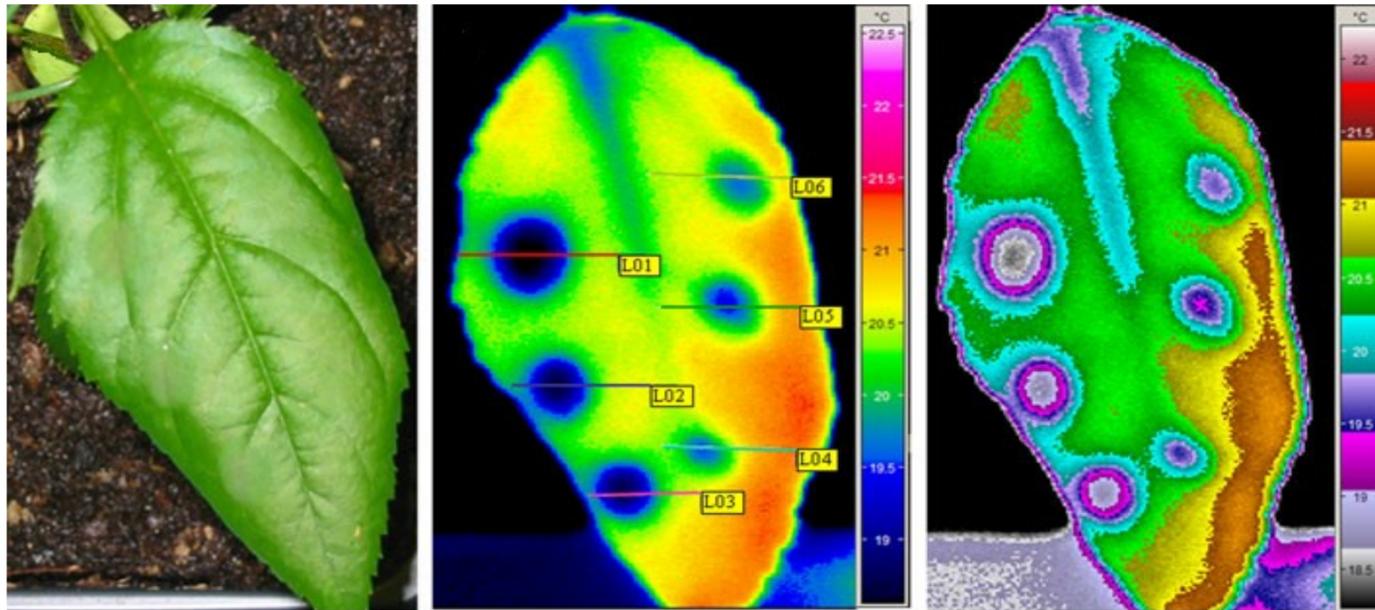
**Détection de défauts  
Détection de maladies**

...

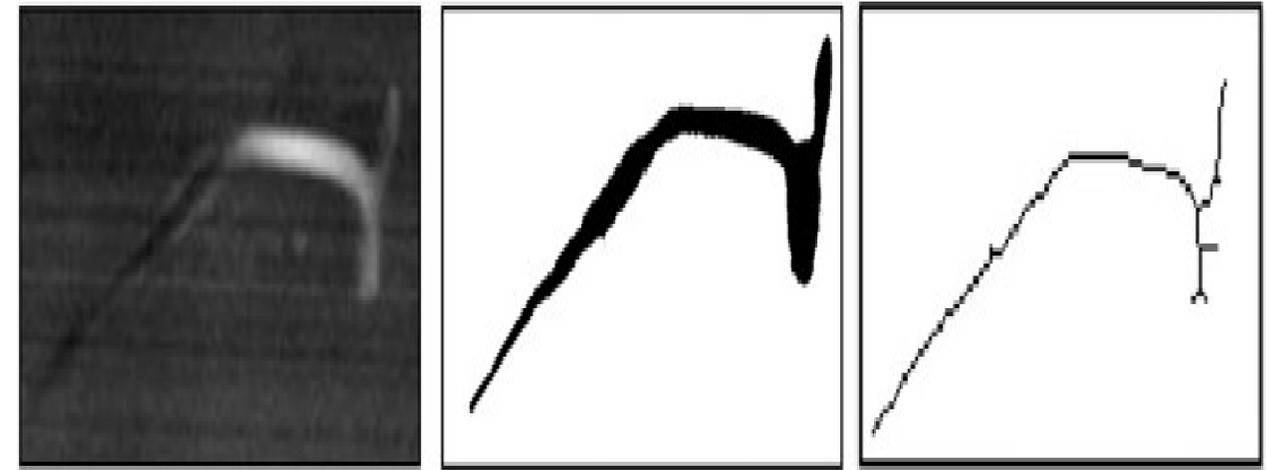
...

# De nombreuses caméras existantes

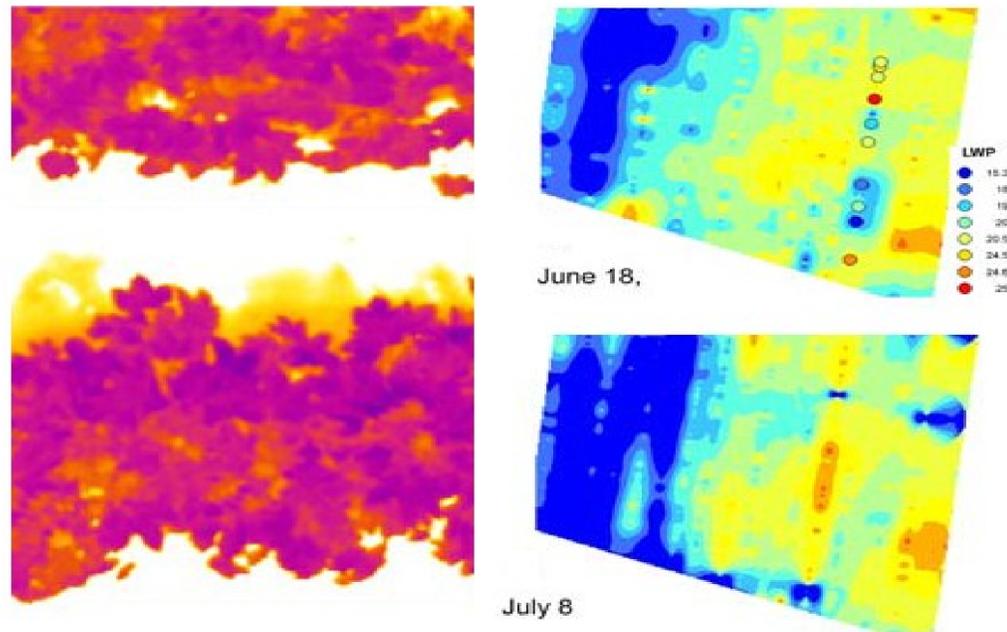
## Les caméras infrarouge lointain (MWIR, LWIR)



Extrait de Oerke 2008



Extrait de Belin 2011



Extrait de Meron 2010

Variation des températures apparentes :

Température  
Comportement stomatal  
Capacité de chaleur

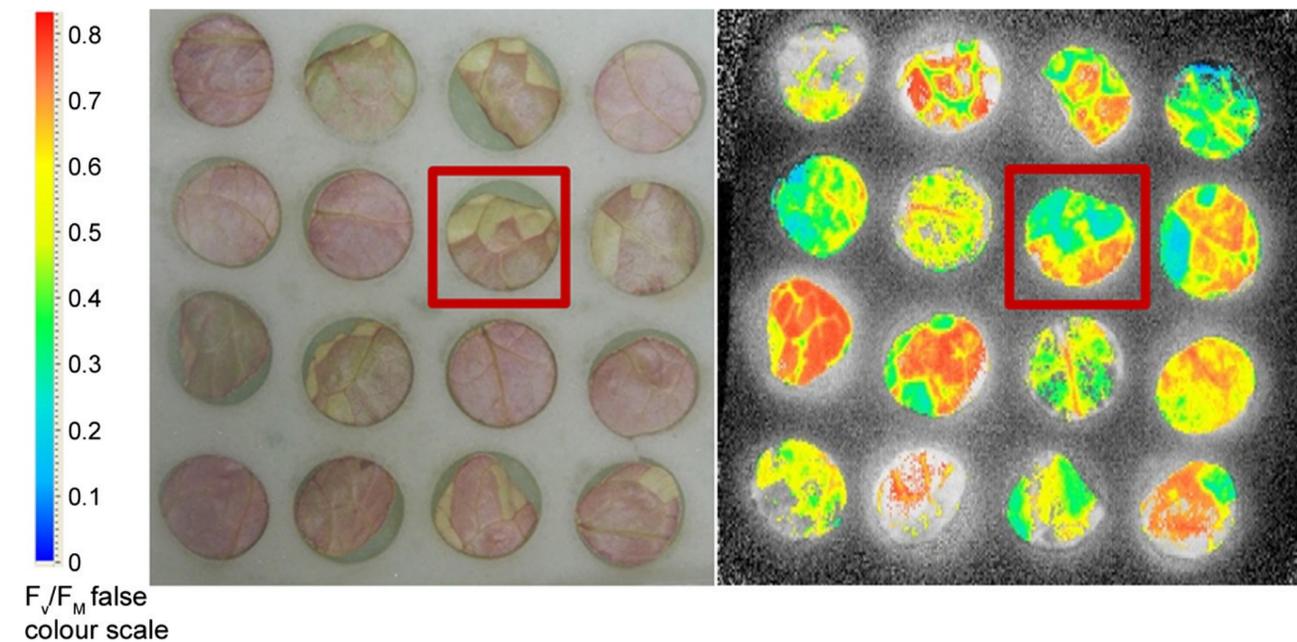
...

Sénescence  
Détection de maladies  
Épaisseur

...

# De nombreuses caméras existantes

## Les caméras de fluorescence (PAM, PEA, ...)

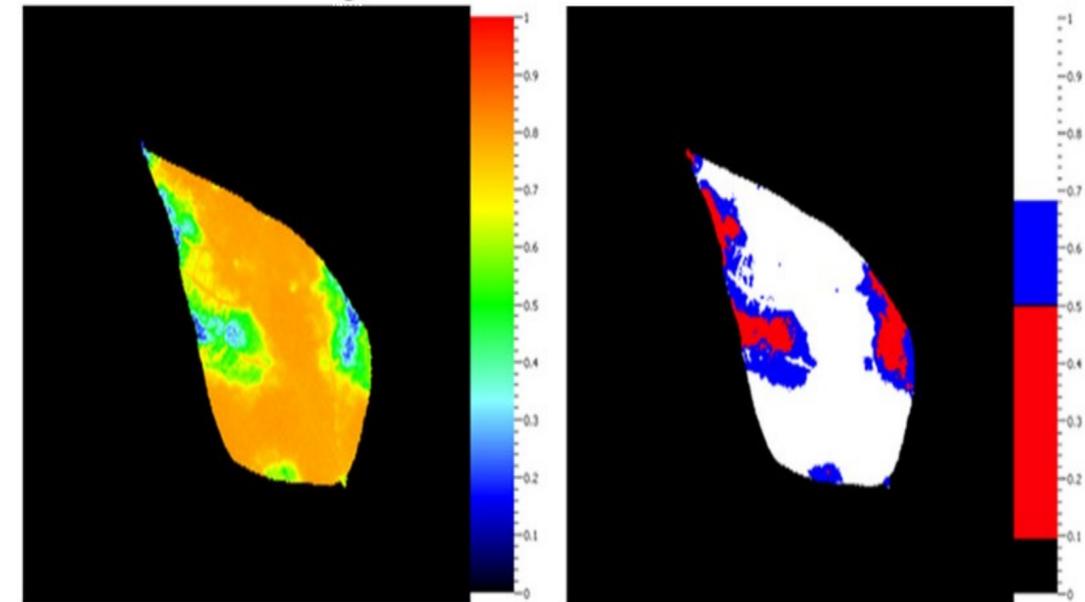


Extrait de Meron 2010

color image



$F_v/F_m$  image



Extrait de Rousseau 2014



Extrait de Ben Gozlen 2010

Variation de l'émission de fluorescence :

Statut photosynthétique  
Assimilation en  $CO_2$   
Teneur en pigments

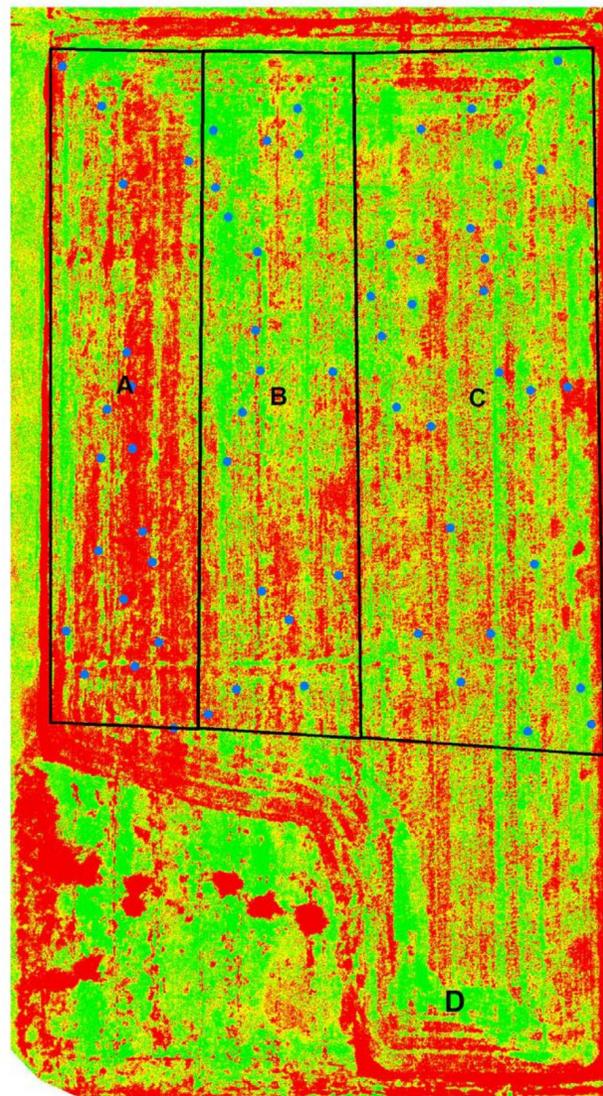
...

Teneur en nutriments  
Détection de maladies

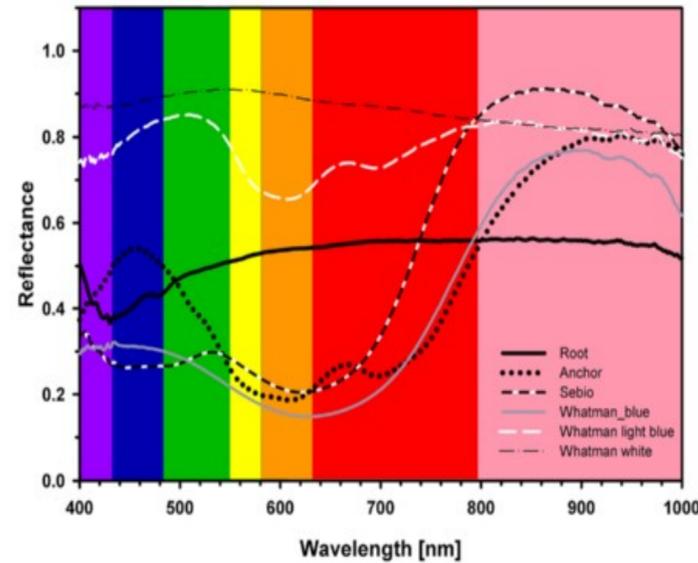
...

# De nombreuses caméras existantes

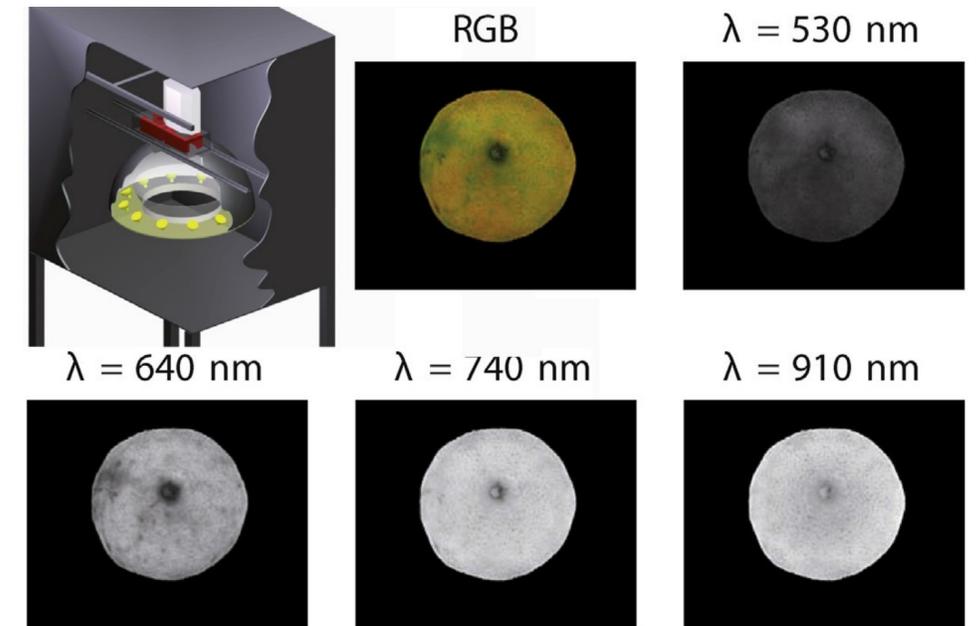
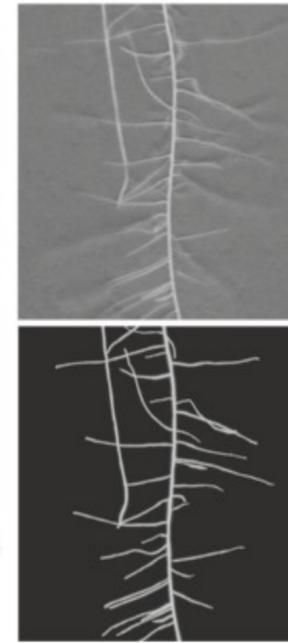
## Les caméras multi/hyperspectrale



Extrait de Zhang 2014



Extrait de Le Marié 2014



Extrait de Gomez Sanchis 2014

**Variation de la réflexion/transmission pour différentes bandes spectrales :**

**Obtenir simultanément différentes propriétés des caméras précédentes**

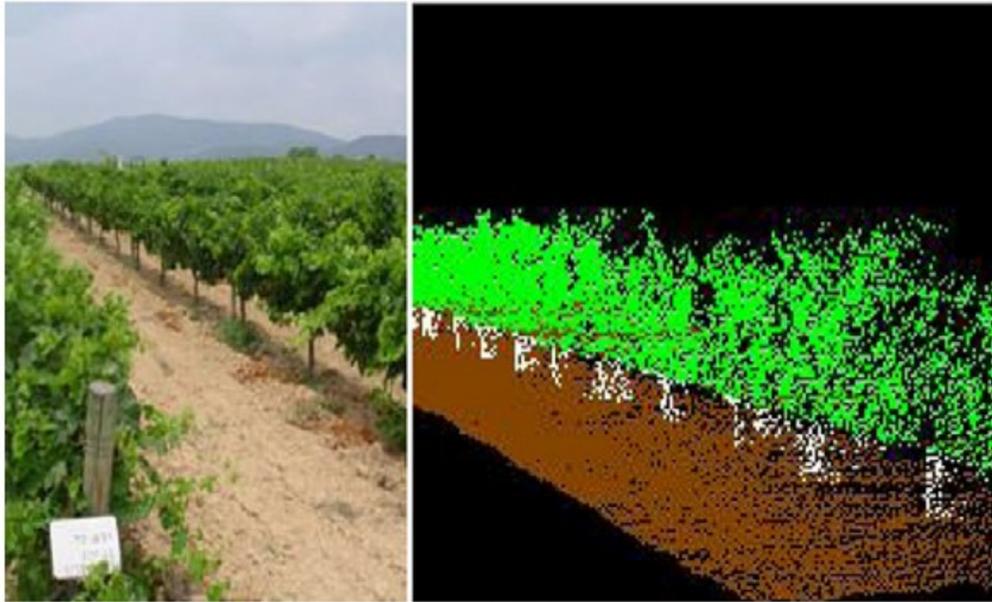
...

**Ratio entre bandes spectrales (nutriments, teneur en eau, ...)  
Détecter des bandes spectrales adéquates**

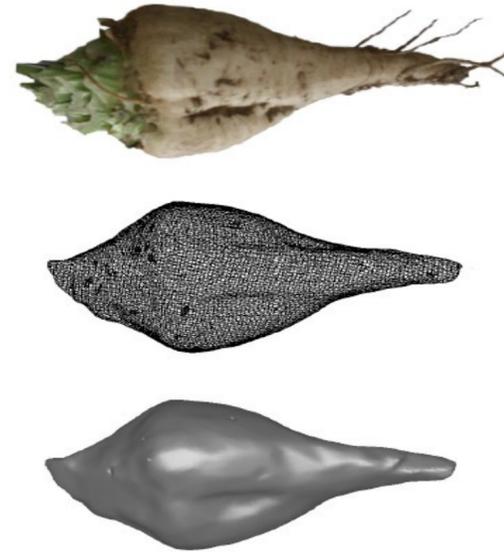
...

# De nombreuses caméras existantes

## Les caméras de profondeur (3D)



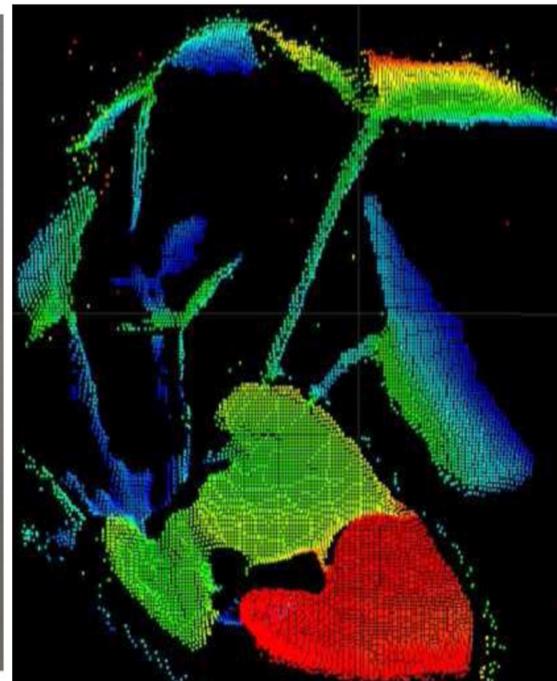
Extrait de Rossel 2012



Extrait de Wirth 2012



Extrait de Jay 2014



Extrait de Alenya 2014

**Variation en fonction de la position dans l'espace :**

Hauteur globale ou organe  
 Largeur globale ou organe  
 Volume global ou organe

...

Forme  
 Densité  
 Position

...