

# Application de l'identification d'objets sur images à l'étude de canopées de peuplements forestiers tropicaux : cas des plantations d'*Eucalyptus* et des mangroves

Jia ZHOU

Direction : Pierre Couteron et Josiane Zerubia  
Encadrement : Christophe Proisy et Xavier Descombes



# Plan de la présentation

## ➤ Introduction

- Enjeux liés aux forêts
- Etude des forêts par télédétection
- Objectifs

## ➤ Données

- Paramètres forestiers
- Images à très haute résolution spatiale (THRS)

## ➤ Processus Ponctuels Marqués

- Principes
- Evaluation de la qualité de la détection

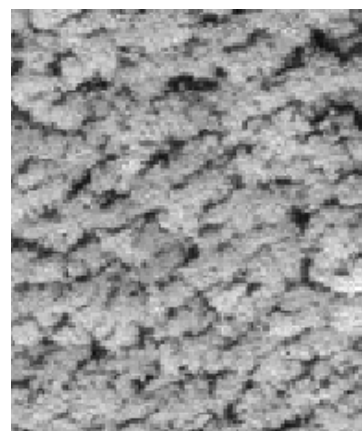
## ➤ Applications

- Forêts naturelles de mangroves
- Plantations d'*Eucalyptus*

## ➤ Conclusions & Perspectives



*Forêt tropicale en Guyane*



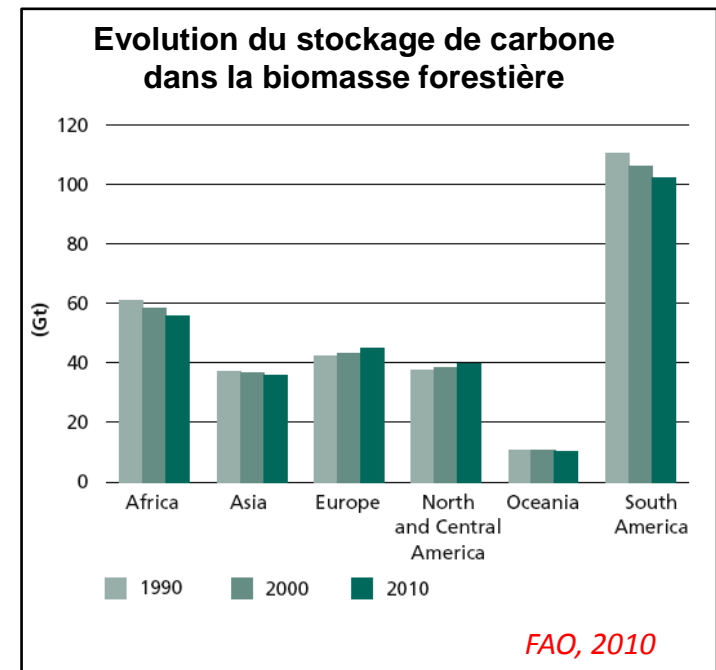
*Image Geoeye de mangrove*



*Forêt de mangrove*

# Enjeux des forêts

- Les forêts jouent un rôle important :
  - régulations hydrologique et climatique
  - protection et reconstitution des sols
  - conservation des espèces animales et végétales
- Le cas des forêts tropicales (dans un contexte de la dégradations et de la déforestations):
  - préservation de la biodiversité
  - rôle important dans le cycle de carbone
  - un milieu beaucoup plus complexe et difficile d'accès, moins bien connu que les forêts tempérées.
- Etudes des forêts par télédétection
  - cartographie des couvertures forestières
  - aide aux inventaires forestiers



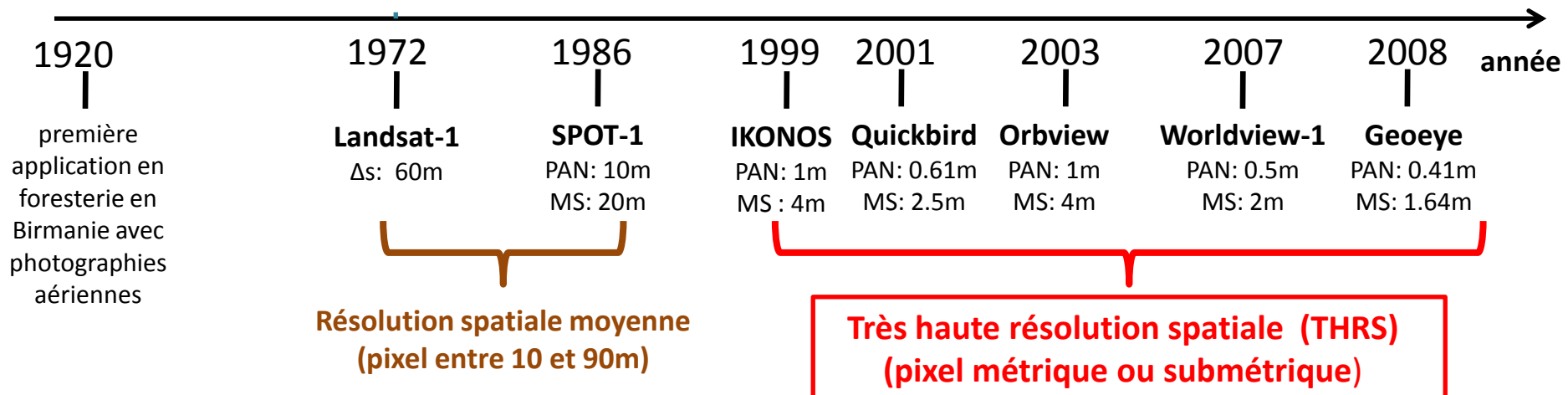
# Observation de la Terre



Photographies aériennes (ex: images **IGN** en France)

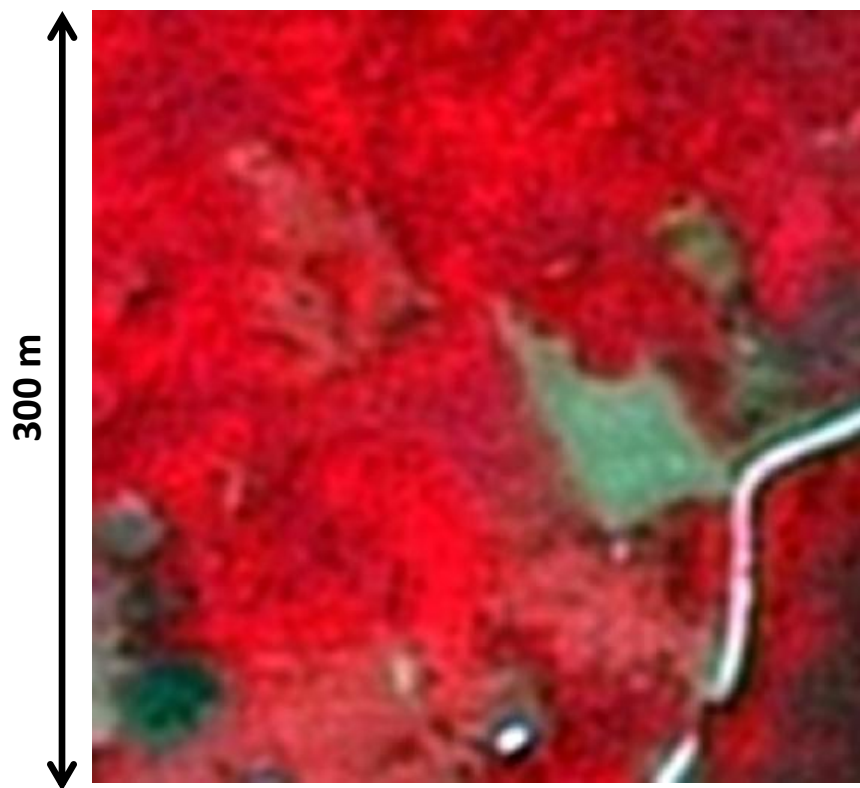


Images satellitales





# Potentiel de la très haute résolution spatiale



un extrait d'image SPOT5  
mode fusion à 2,5m (octobre 2010)

*Proisy et al., 2012*



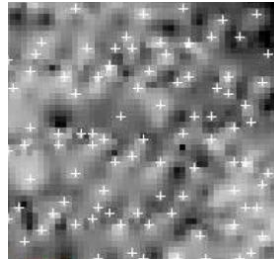
© L'Avion Jaune

un extrait d'une photographie  
aérienne à 20cm (juillet 2010)

# Détection des arbres individuels

➤ Maxima locaux

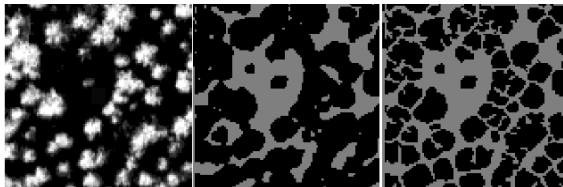
*Blazquez, 1989*



*Popescu, 2002*

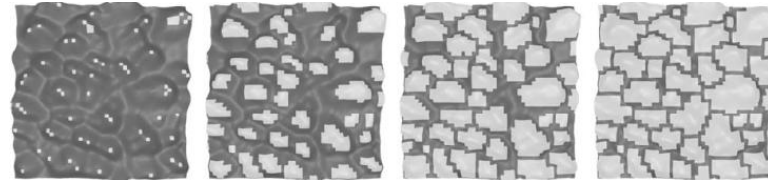
➤ Approche contour

• valley-following



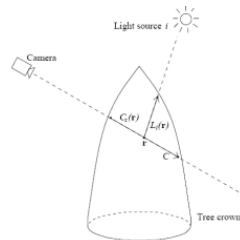
*Gougeon, 1995*

• region-growing



*Culvenor, 2002*

➤ Approche « template »



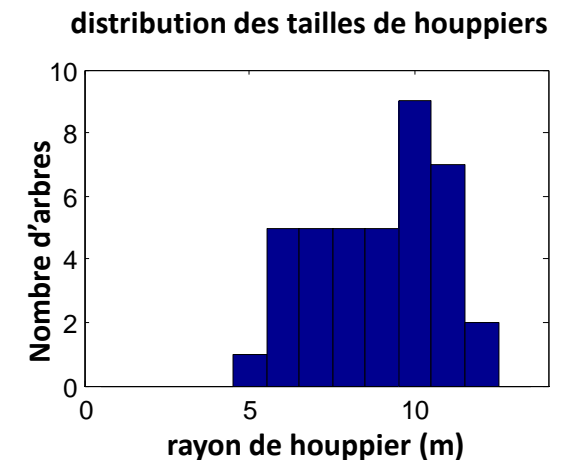
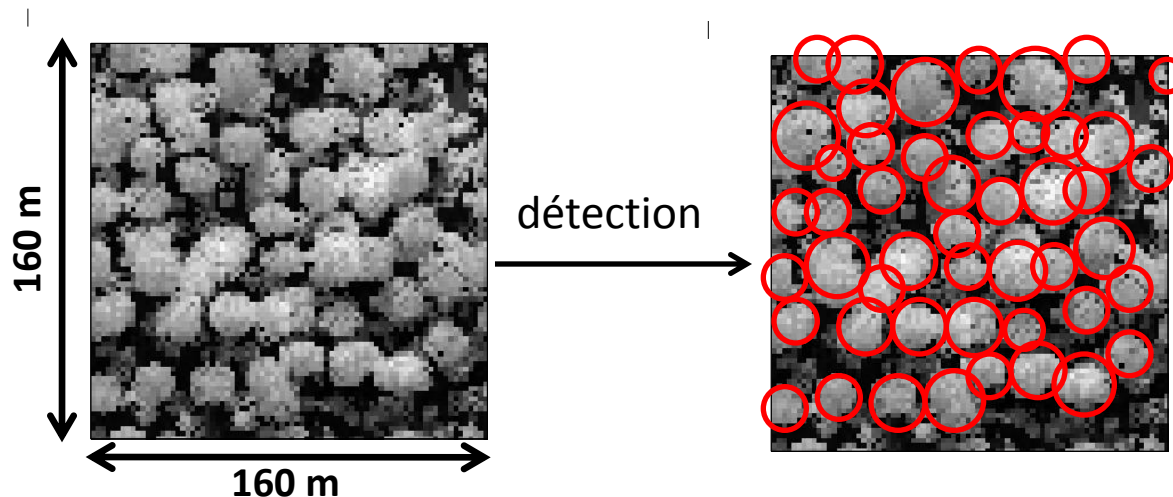
*Larsen, 1997*

➤ Géométrie stochastique : **Processus Ponctuels Marqués**

**PPM**

# Objectifs

- Détection des houppiers sur images THRS
  - évaluer le potentiel de la détection par PPM
- Dédire des informations forestières à partir des détections
  - à l'échelle de l'arbre:
    - ✓ positionnement et taille de houppier
  - à l'échelle du peuplement forestier ( ~ 1ha ) :
    - ✓ la structure: distribution des tailles d'arbres

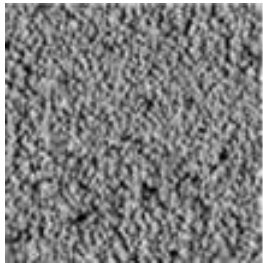




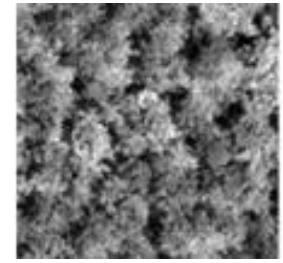
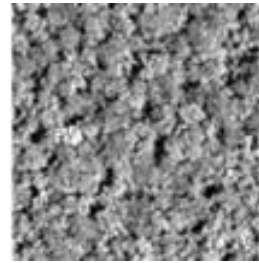
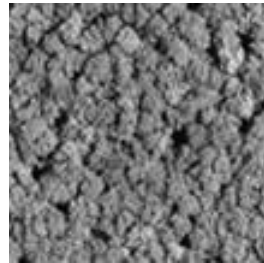
# Forêts naturelles de mangroves

- L'écosystème présente une grande dynamique forestière.
- Un gradient de structures différentes

Images IKONOS



100 m



**Jeune**

**Adulte**

**Mature**

**Sénescent**





# Plantation d'*Eucalyptus*

*Etude réalisée avec l'UMR TETIS et ECO&SOLS*

*G. le Maire et Y. Nouvellon*

- La structure forestière est bien connue:
  - ✓ densité de tiges, modèle de croissance, ...
- Enjeu: suivre la croissance de la plantation
  - ✓ identifier les zones où les arbres poussent mal



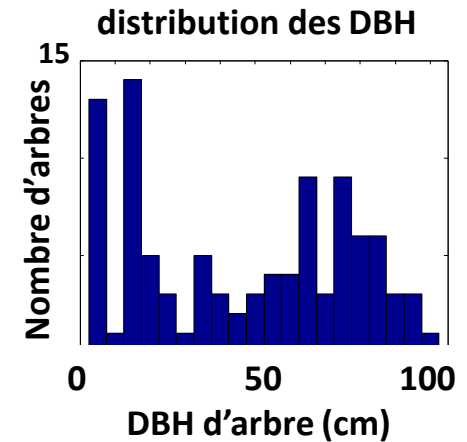
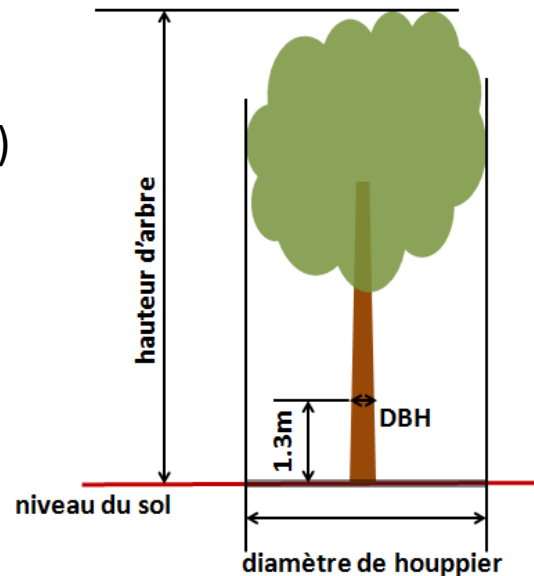
© Y. Nouvellon, CIRAD & USP

© Y. Nouvellon, CIRAD & USP

# Données forestières

## ➤ Paramètre forestiers:

- diamètre de tronc (DBH)
- diamètre de houppier
- hauteur d'arbre
- distribution d'arbres



## ➤ Relation allométrique:

- Les principales caractéristiques géométriques de la forêt sont étroitement corrélées les unes aux autres.

$$Y = Y_0 \times DBH^{\Phi} \quad \text{e.g. West et al. 2009}$$

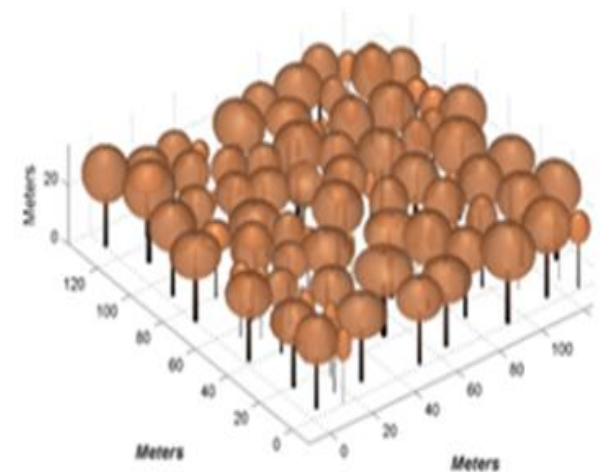
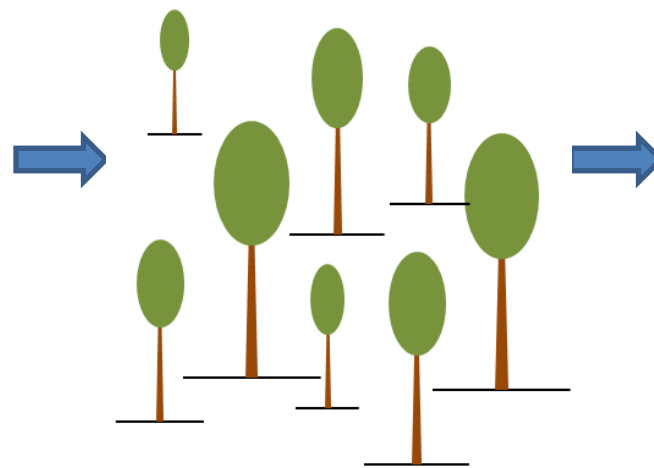
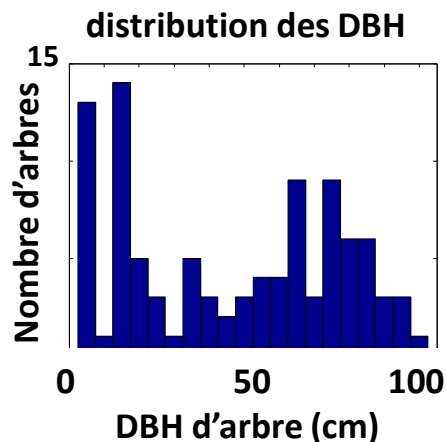
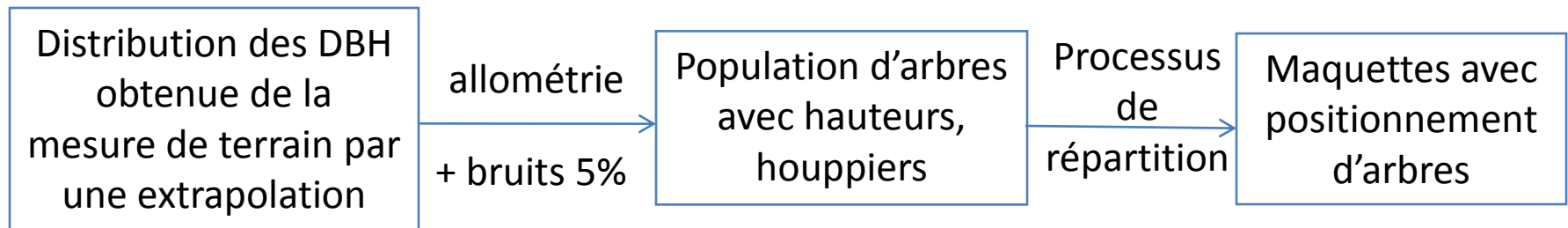
- $Y$  : variable dendrométrique
- $Y_0$  : constante de normalisation
- $\phi$  : exposant allométrique

$$R_{Houppier} \propto DBH^{\frac{2}{3}}$$

# Simulation de la maquette

*Projet TOSCA/CNES « FOTO-METRICS »*

*Proisy et al., 2012*



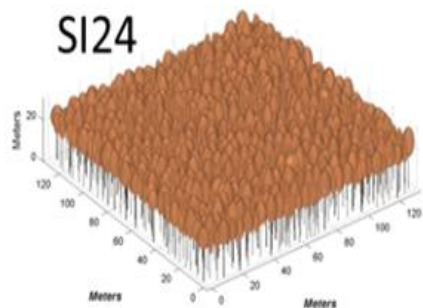


# Maquettes de mangrove

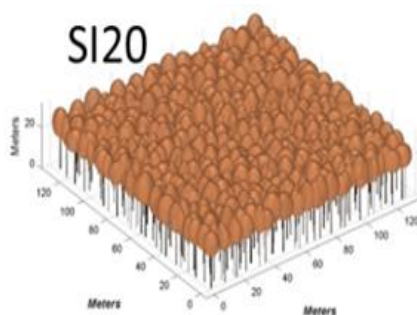
*Projet TOSCA/CNES « FOTO-METRICS »*

*Proisy et al., 2012*

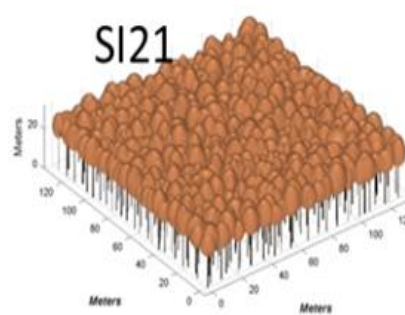
SI24



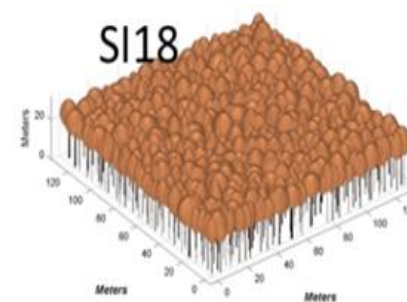
SI20



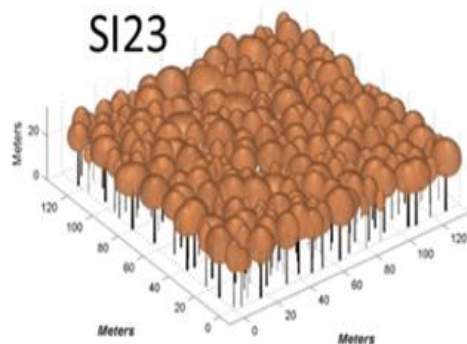
SI21



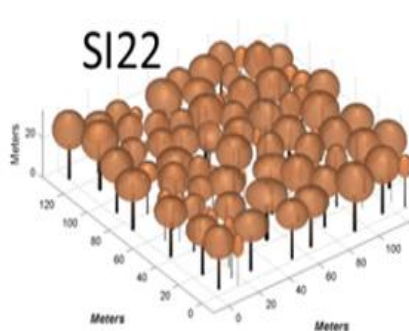
SI18



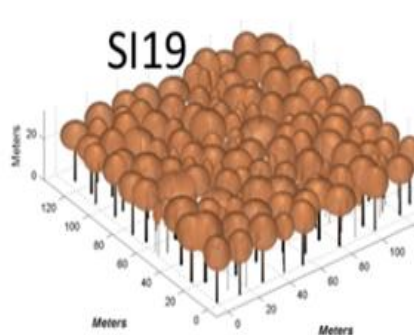
SI23



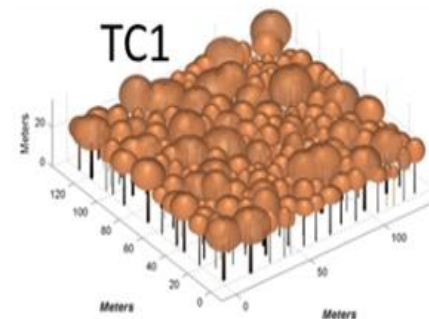
SI22



SI19



TC1

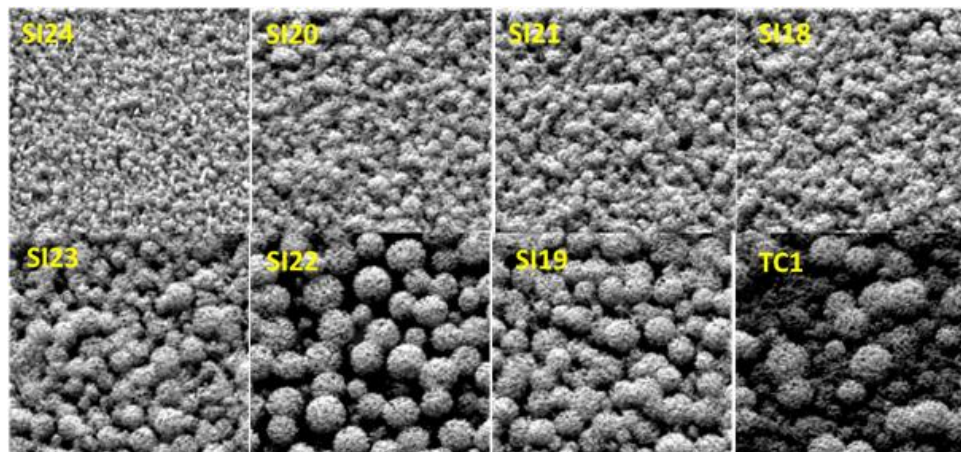


# Données images

➤ Images réelles:

Forêt	Capteur	Date d'acquisition	Résolution spatiale
Plantation d' <i>Eucalyptus</i>	WorldView-2	11 – 05 - 2010	0.5 m
	WorldView-2	01 - 08 - 2010	0.5 m
	WorldView-1	29 – 01 – 2011	0.5 m
mangrove	IKONOS	12 – 10 - 2003	1 m
	LiDAR	10 - 2004	1 m

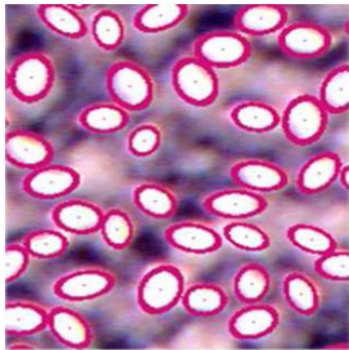
➤ Images de réflectances simulées par DART à partir des maquettes



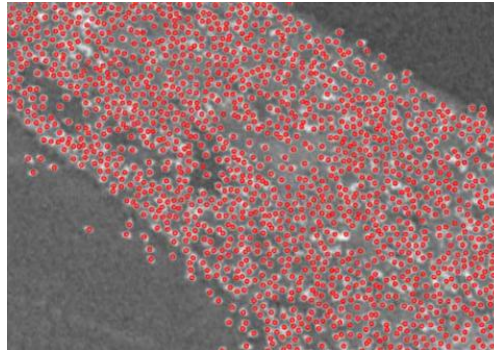
*Projet TOSCA/CNES  
« FOTO-METRICS »*

*Proisy et al., 2012*

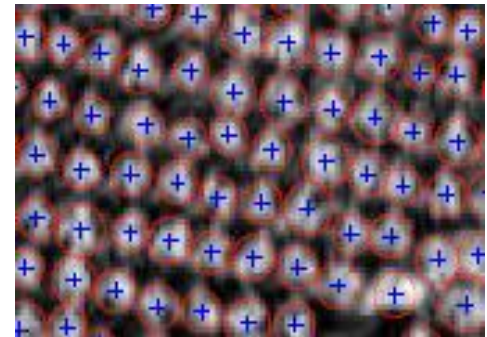
# Méthode de détection par Processus Ponctuels Marqués



*Descamps et al., 2007*



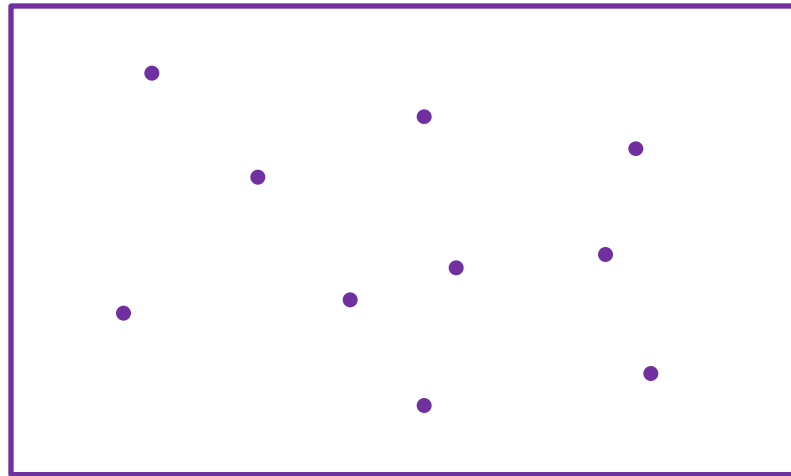
*Descombes et al., 2009*



*Perrin, 2003*



# Processus Ponctuels Marqués



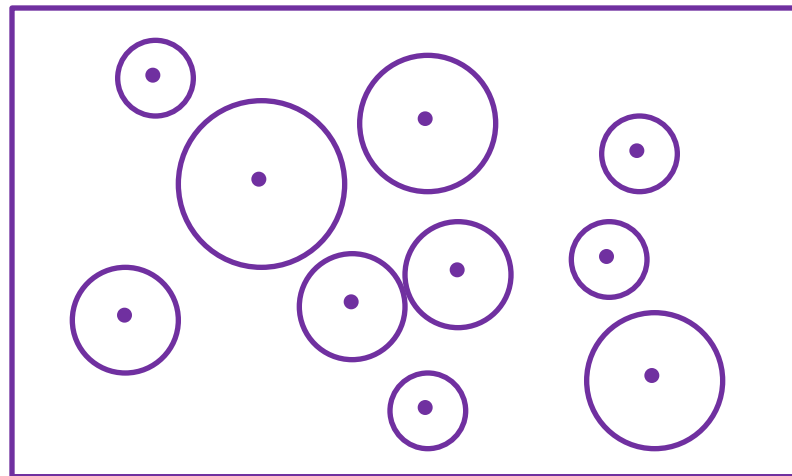
Espace :  $\chi$

→ Configuration

$$\mathbf{x} = \{x_1, \dots, x_n\}, \quad n \in \mathbb{N}$$

*un ensemble dénombrable et  
non ordonné de points de  $\chi$*

# Processus Ponctuels Marqués



**Configuration**

$$\mathbf{x} = \{u_1 = (p_1, m_1), \dots, u_n = (p_n, m_n)\}_{n \in \mathbb{N}}$$

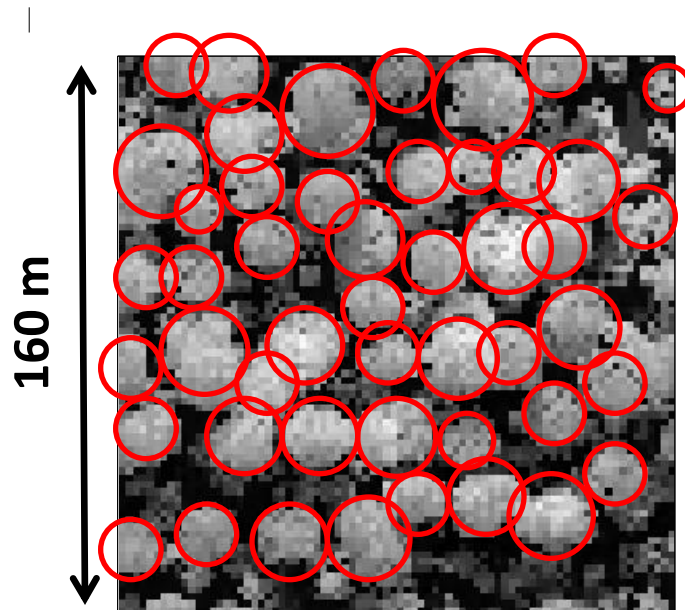
*un ensemble dénombrable et  
non ordonné d'objets de  $\chi$*

**Espace – objet :  $\chi = P \times M$**

➤ **Caractéristiques d'une configuration**

- nombre d'objets :  $n$
- position de chacun dans l'espace  $P$  :  $\{p_1, \dots, p_n\}_{n \in \mathbb{N}}$
- marque de chacun dans l'espace  $M$  :  $\{m_1, \dots, m_n\}_{n \in \mathbb{N}}$

# Modélisation par PPM



© Barbier, 2009

une image simulée par  
DART sur une parcelle  
de forêt naturelle



modélisée par un  
ensemble de disques

- Chaque configuration est caractérisée par une énergie:  $U(\mathbf{x})$

$$U(\mathbf{x}) = U_p(\mathbf{x}) + U_d(\mathbf{x})$$

a priori :

*interactions entre objets*

attache aux données:

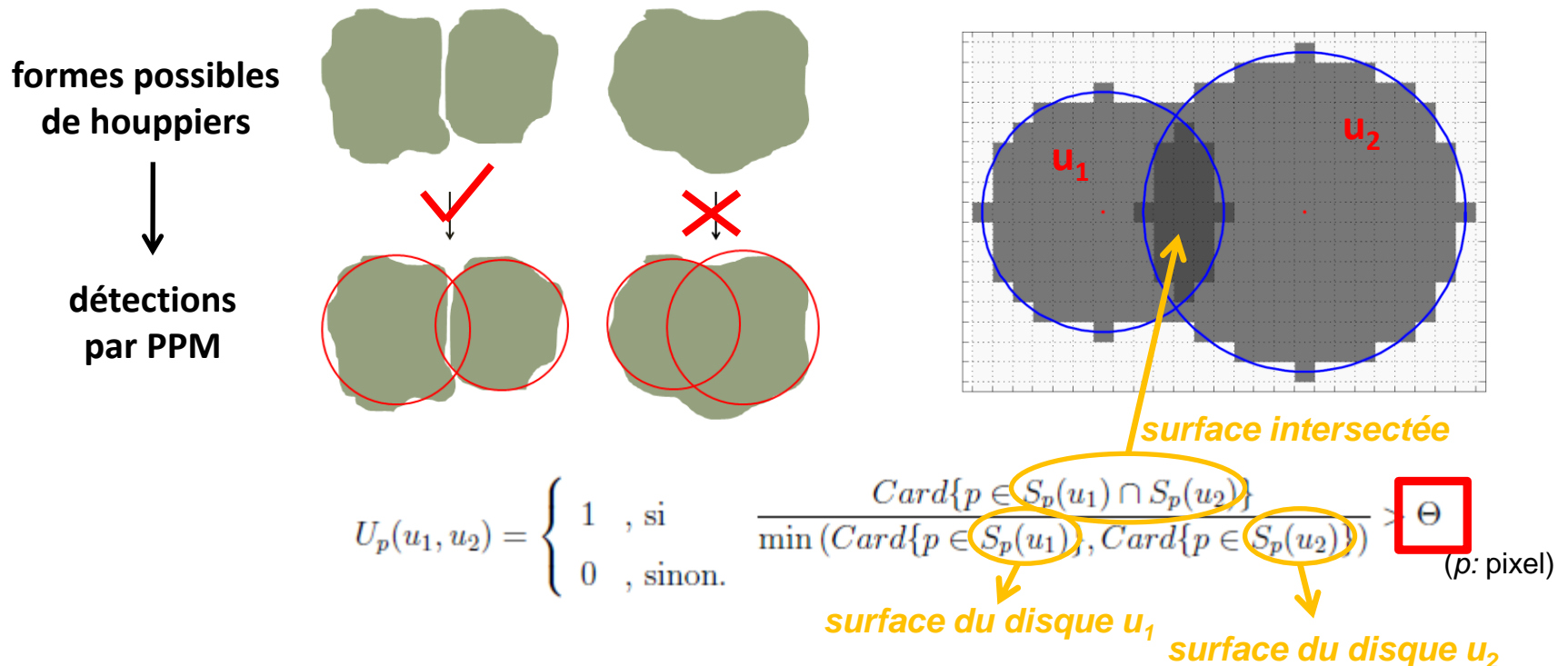
*cohérence avec données d'images*



# Energie a priori : $U_p$

➤ Introduction des connaissances forestières :

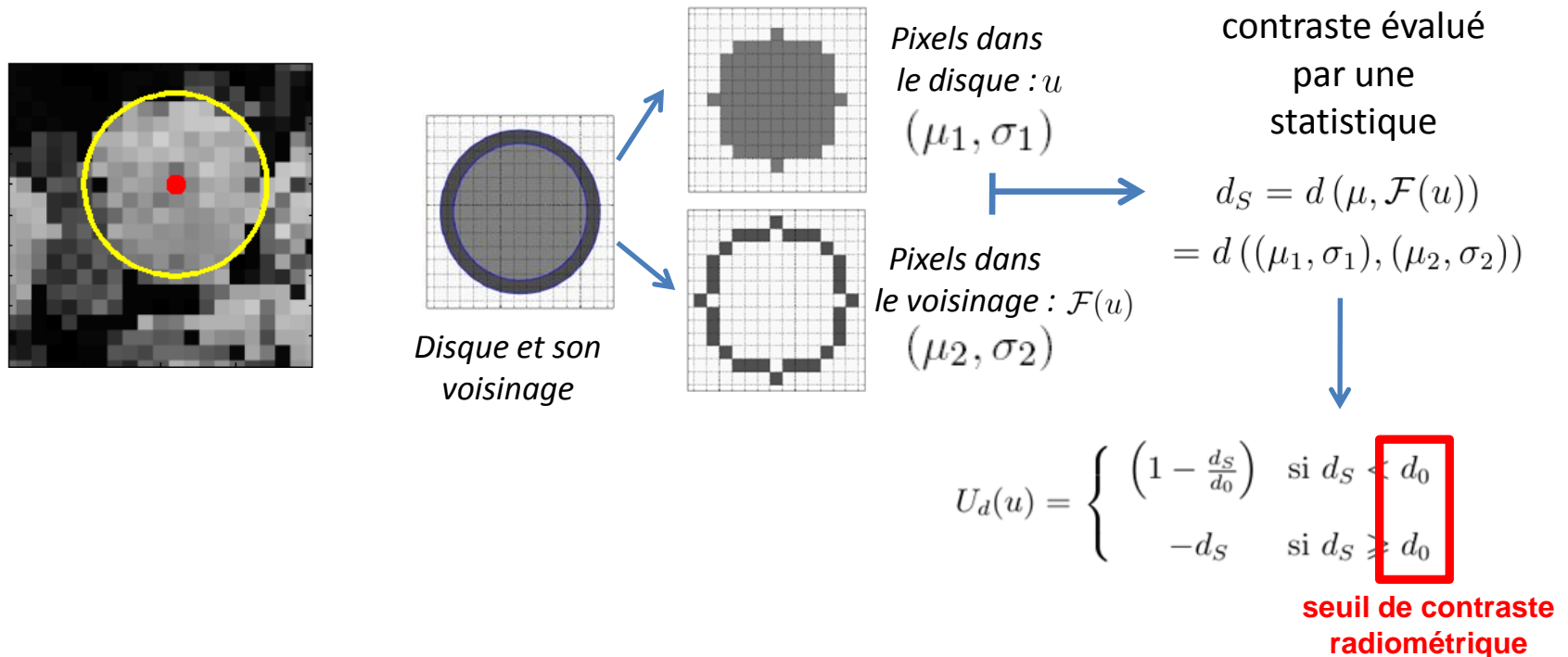
- régler le chevauchement entre houppiers



L' énergie a priori de la configuration  $x$  :  $U_p(x) = \gamma_p \sum_{u_i \in x} \max_{u_j \sim_r u_i} U_p(u_i, u_j)$

# Energie d'attache aux données: ***U<sub>d</sub>***

- Cohérence avec la variance d'intensités dans une image
  - contraste exigé entre un houpier et son voisinage

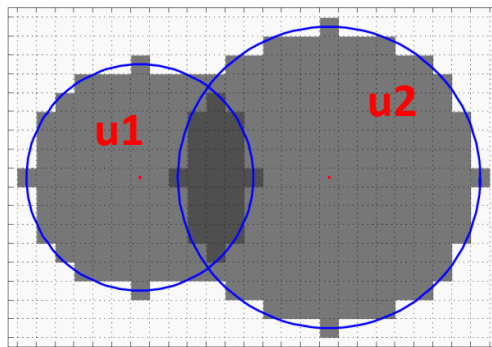


L' énergie d'attache aux données de la configuration  $\mathbf{x}$  :

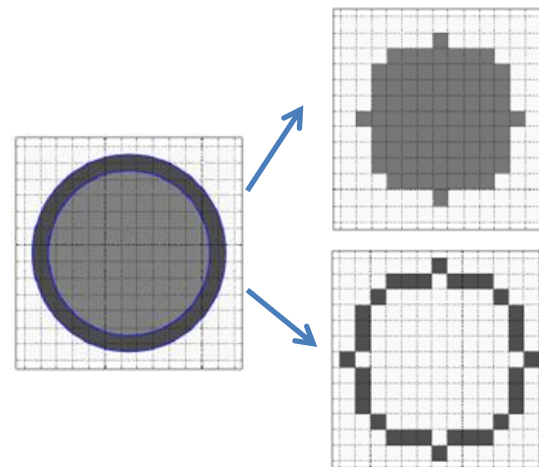
$$U_d(\mathbf{x}) = \gamma_d \sum_{u \in \mathbf{x}} U_d(u)$$

# Principe de détection

**Minimiser l'énergie totale de la configuration  
selon les modèles d'énergies**



Energie a priori

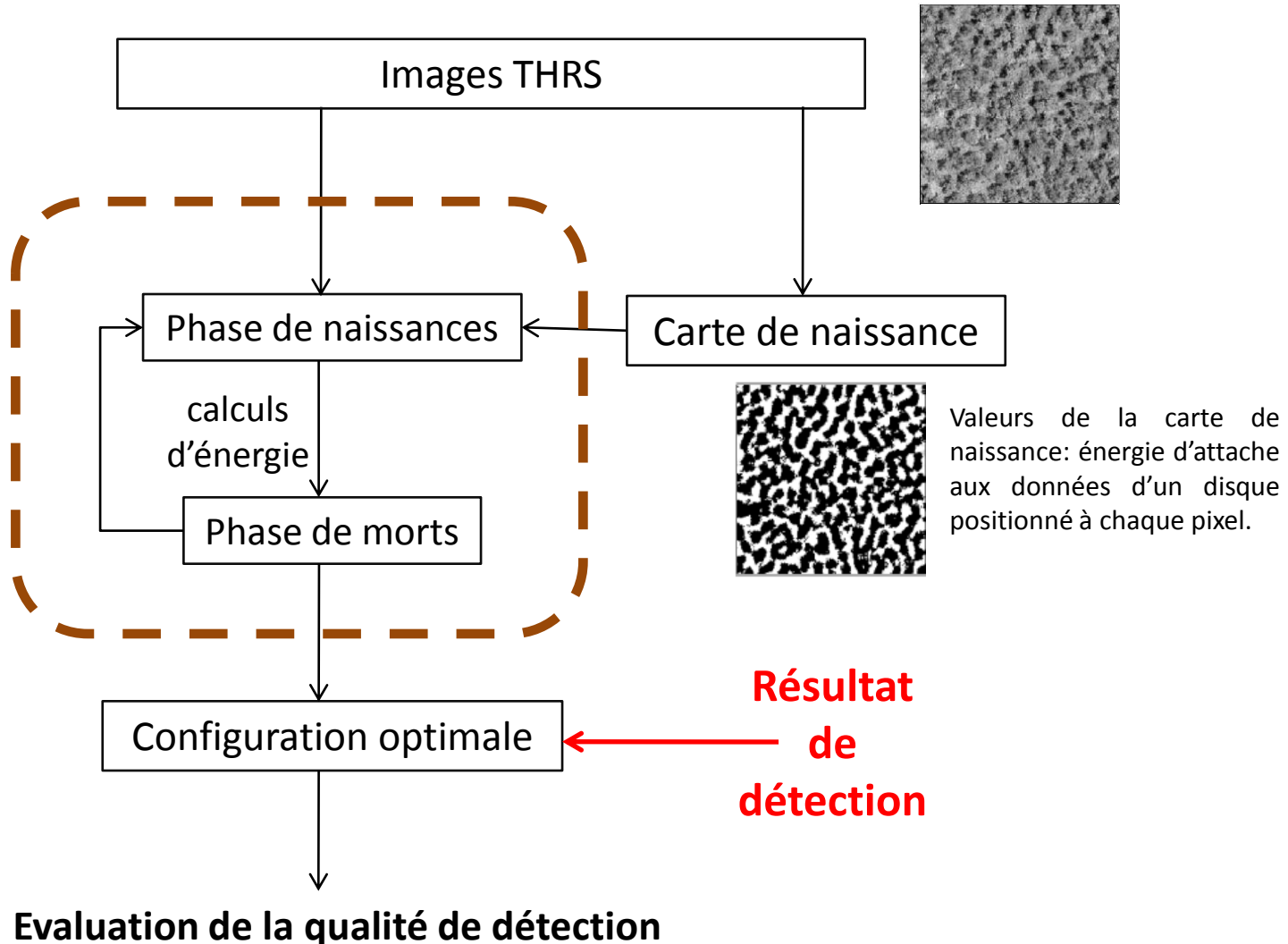


Energie d'attache aux données

➤ Processus d'optimisation:

**Algorithme de naissances et morts multiples**

# Algorithme de naissances et morts multiples





# Qualité de détection

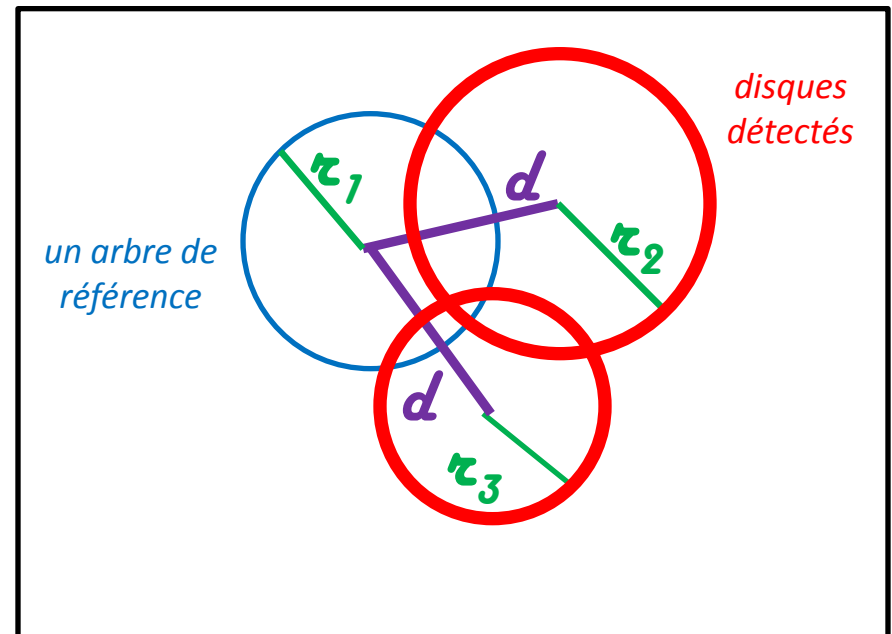
➤ Score global de détection:

$$SD_G = 100 \times \frac{Ns}{Nd + No}$$

- $Nd$  : le nombre total de détections
- $Ns$  : le nombre de bonnes détections
- $No$  : le nombre d'arbres non détectés

➤ Critères de mise en correspondance:

- écart de positionnement
- différence de rayon de houppiers
- autres critères: distance maximale,...



# Paramétrage du modèle

➤ Paramètres de l'algorithme de naissances et morts multiples

- paramètres initiaux du recuit:  $T_0, \delta_0$  *Descombes et al., 2009*
- pas de décroissance:  $a_T, a_\delta$  *J Math Imaging Vis*
- nombre d'itérations:  $Nit$

→ Déterminés par expérience :

- vérification en pratique pour nos applications

➤ Paramètres du modèle de PPM:

- pondération entre les énergies a priori et d'attache aux données:  $\gamma_p, \gamma_d$

*tant que  $\gamma_p > \gamma_d$  : faible influence sur la détection*

- intervalle de rayons de houppiers :  $[r_{min}, r_{max}]$
- recouvrement entre disques:  $\Theta$
- seuil de contraste radiométrique:  $d_0$

→ Déterminés selon l'étude de sensibilité ou connaissances a priori

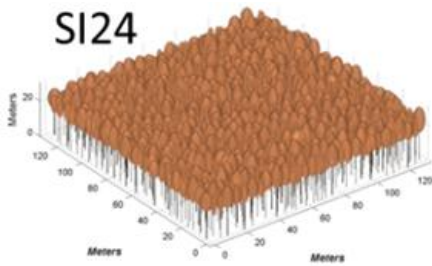
# Applications

## -- Forêts naturelles de mangrove

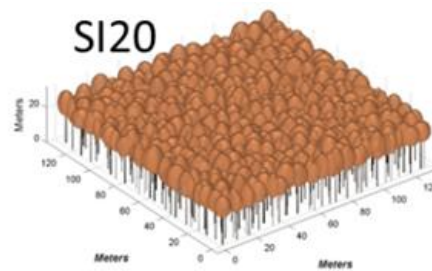


# Maquettes de mangrove

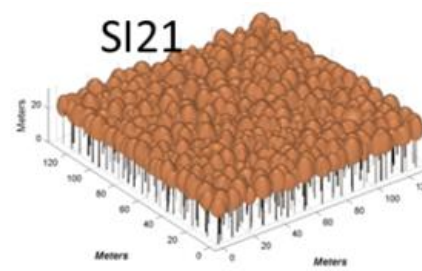
SI24



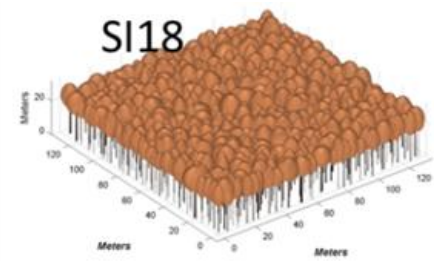
SI20



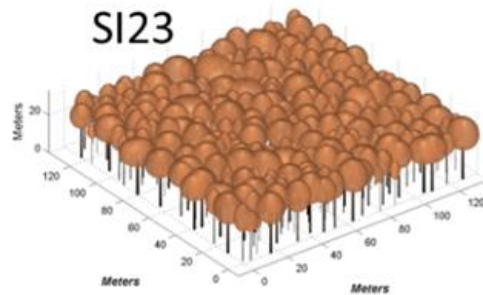
SI21



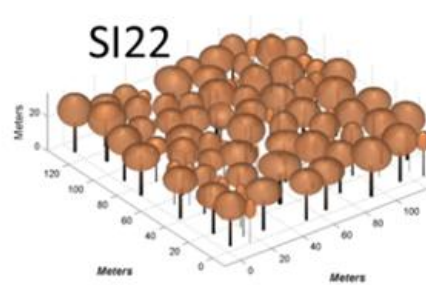
SI18



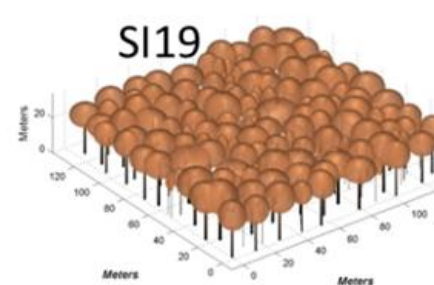
SI23



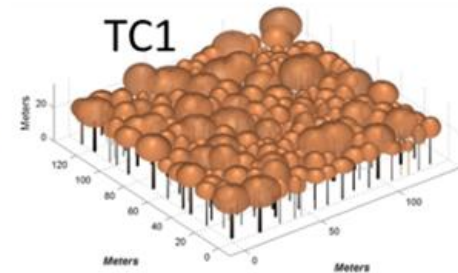
SI22



SI19



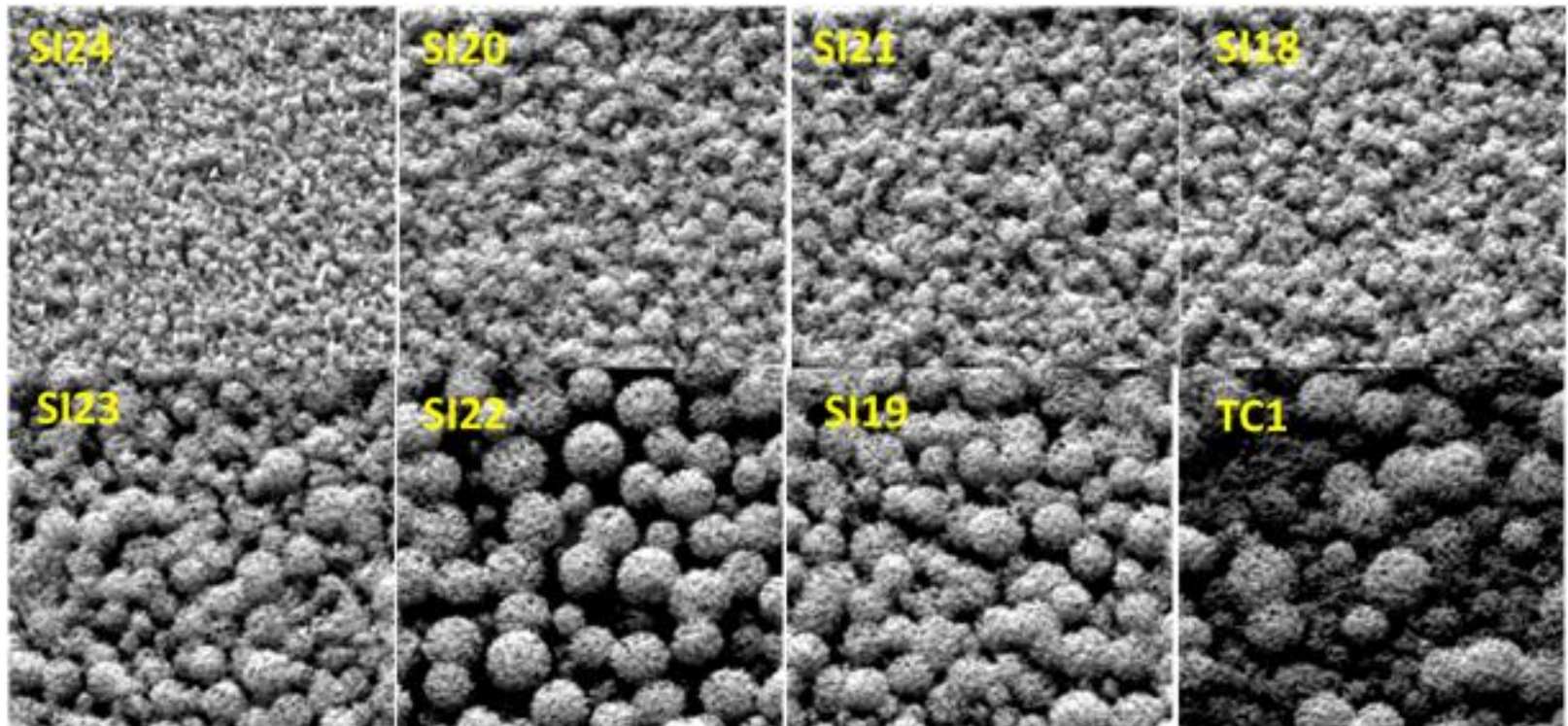
TC1





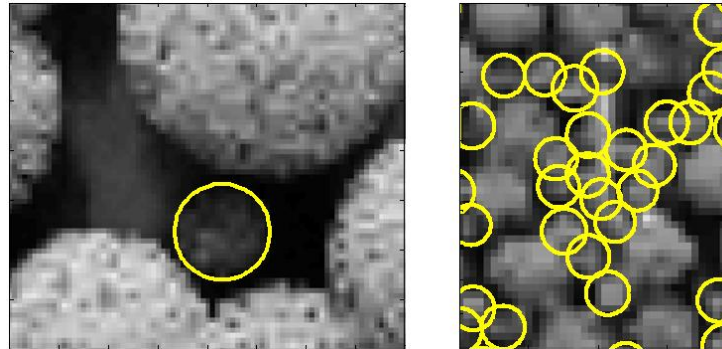
# Maquettes de mangrove

→ Images simulées dans le projet « FOTO – METRICS »



# Arbres de références

- Problème: les arbres ne sont pas tous détectables

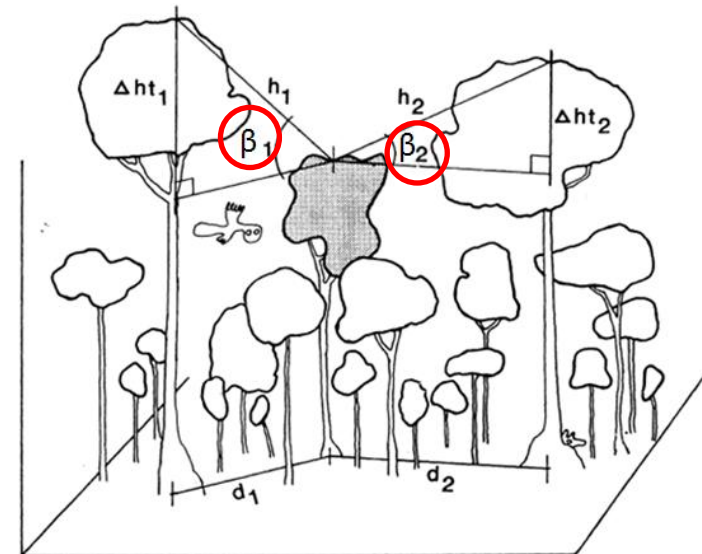


➔ Définition des arbres détectables ?

- Critère de la sélection des arbres de référence

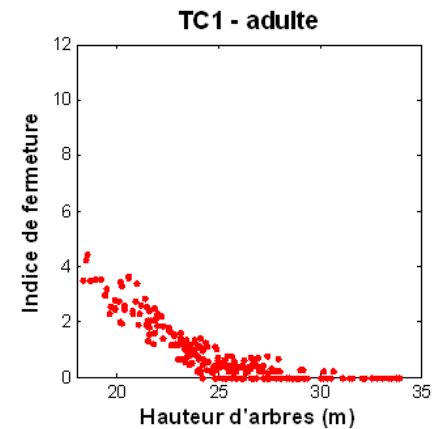
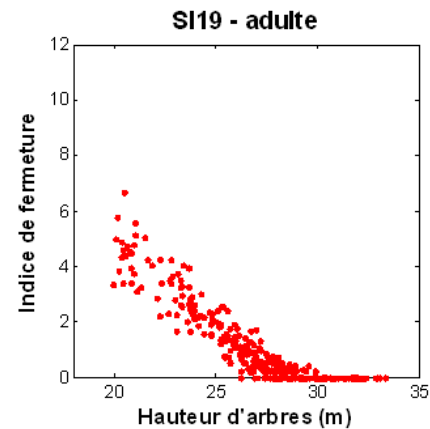
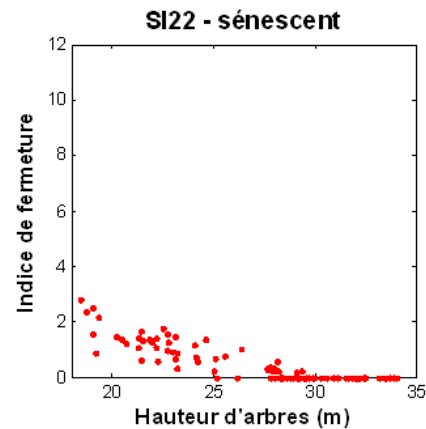
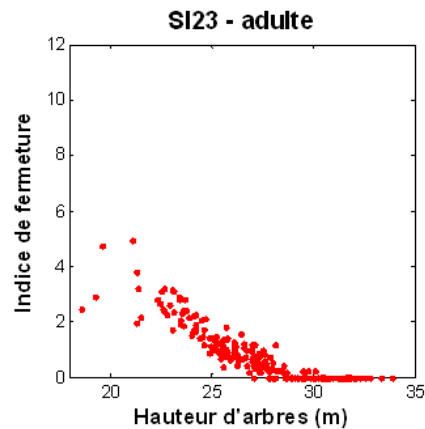
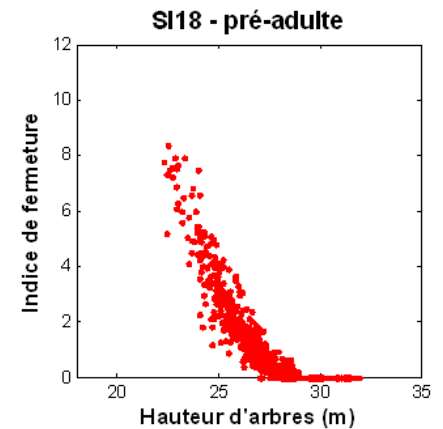
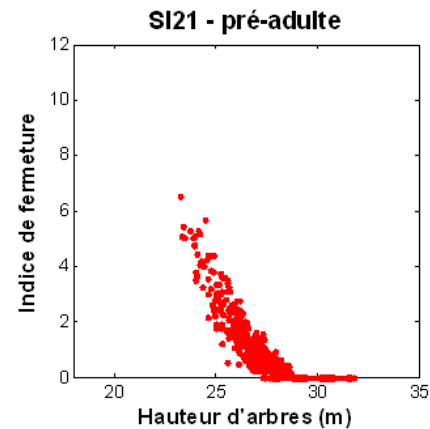
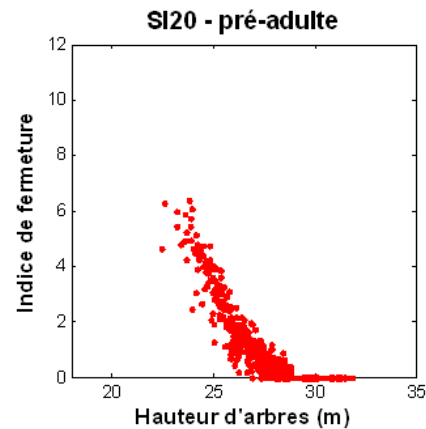
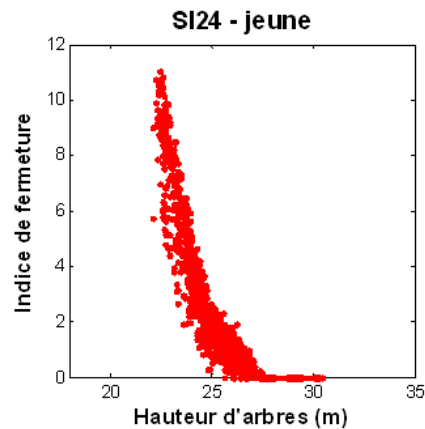
- indice de fermeture:  $g$  – condition d'accès à la lumière pour chaque arbre dans la parcelle

$$g = \sum_{i=1}^n \sin \beta$$



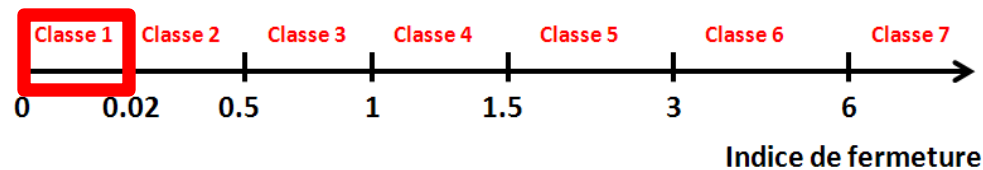
*Lieberman et al., 1995*

# Indice de fermeture

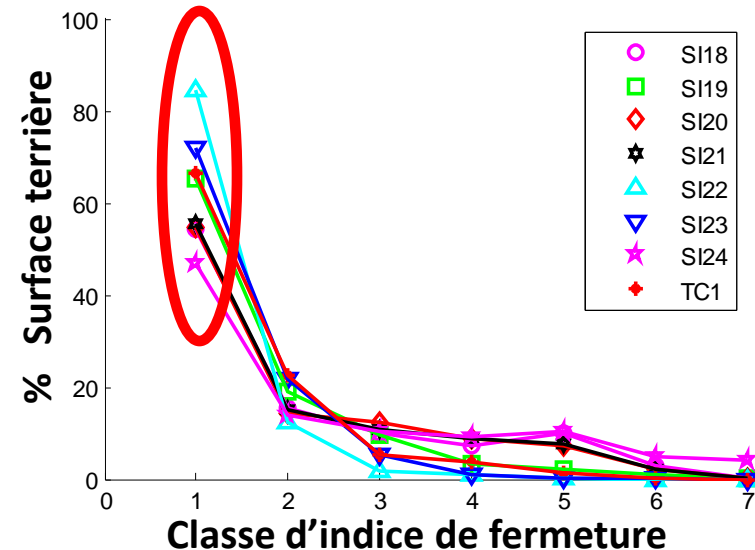
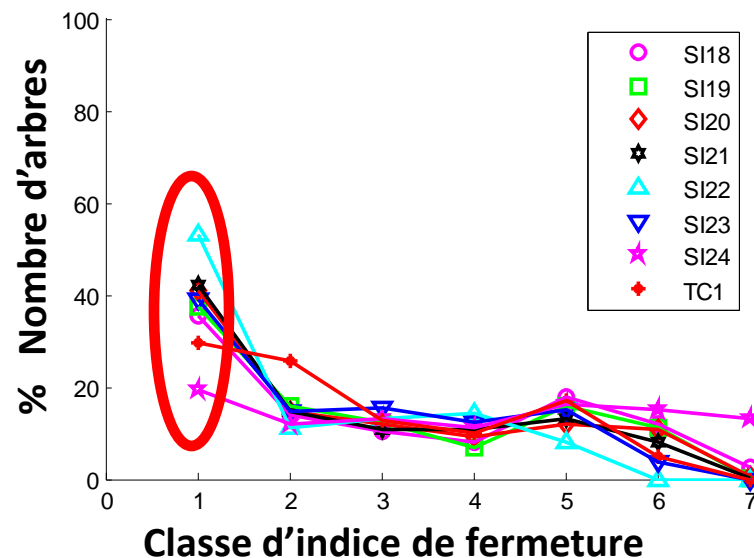


# Classes d'indice de fermeture

## ➤ Définition des classes

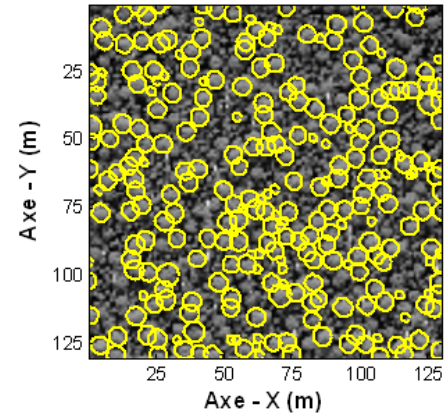
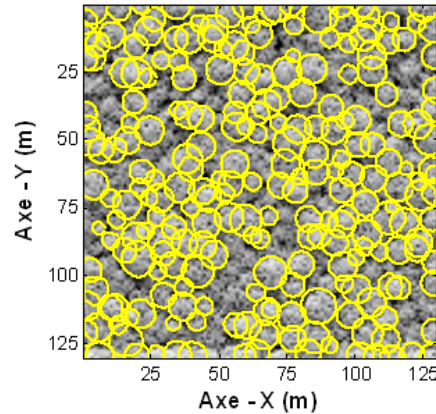
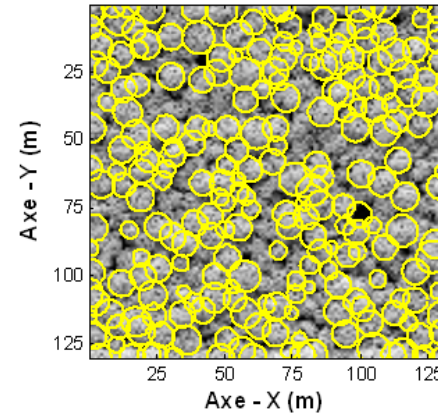
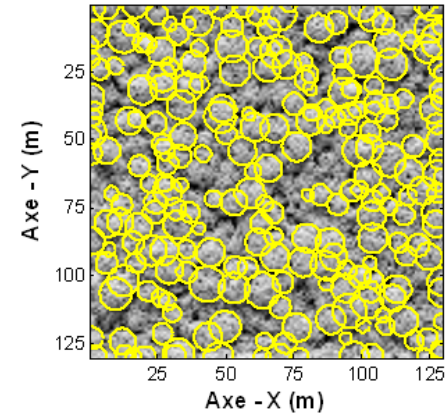
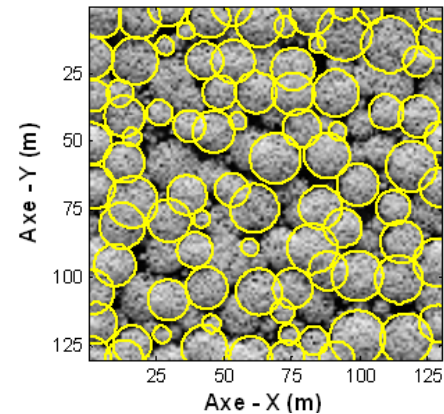
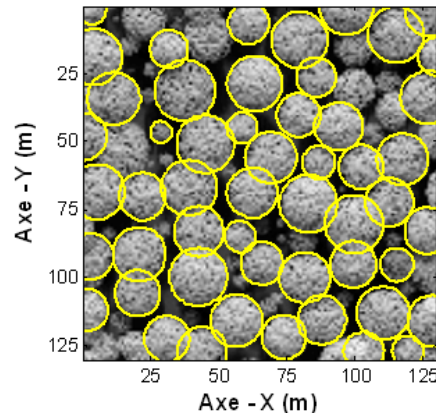
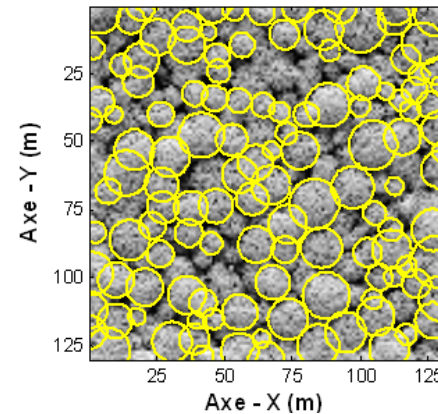
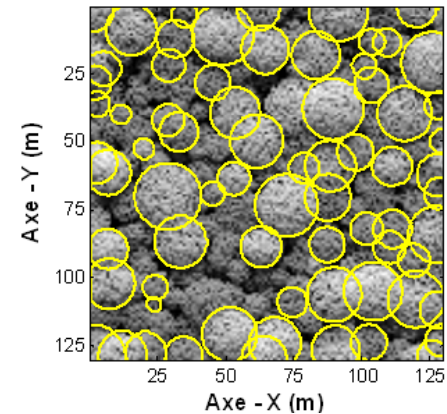


## ➤ Distribution des arbres selon la classe d'indice de fermeture





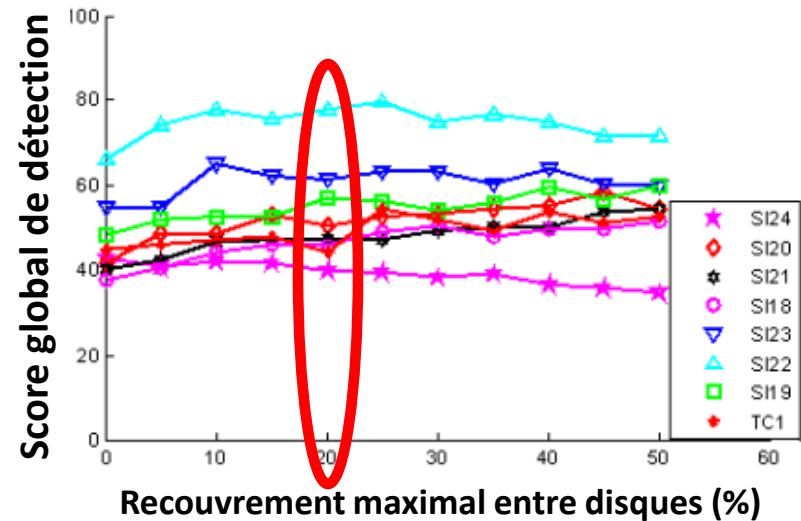
# Visualisation des arbres de référence

**SI24 - jeune****SI20 - pré-adulte****SI21 - pré-adulte****SI18 - pré-adulte****SI23 - adulte****SI22 - sénéscent****SI19 - adulte****TC1 - adulte**

# Sensibilité aux paramètres du modèle

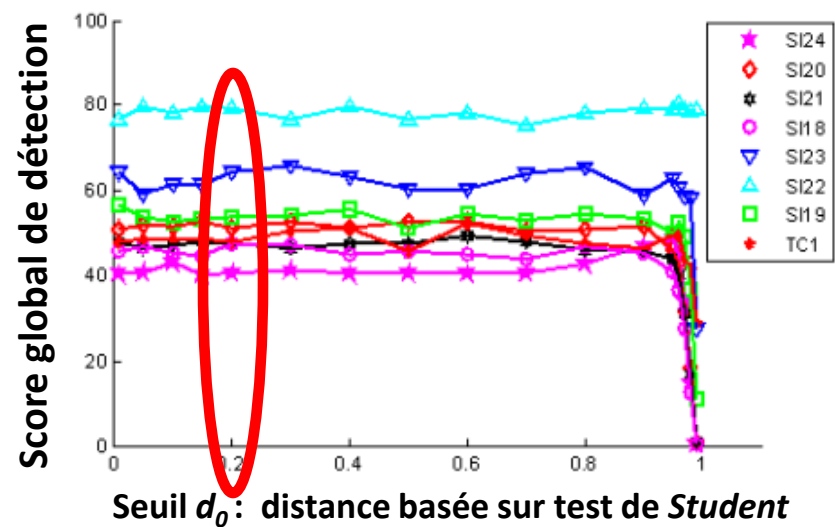
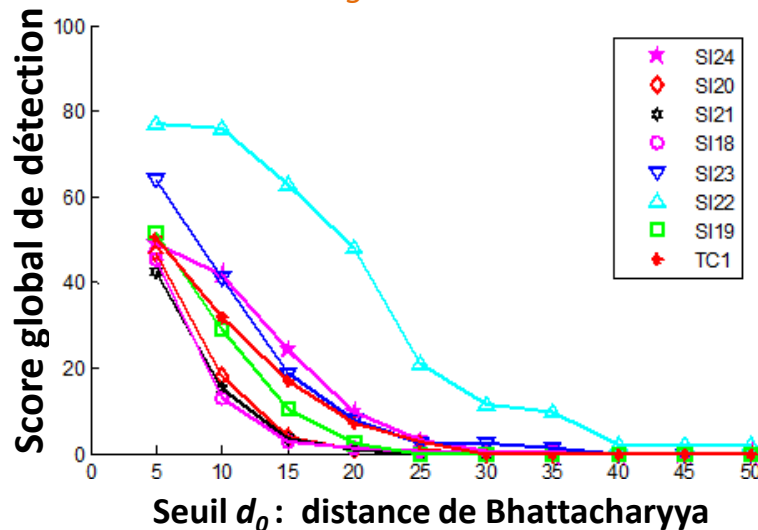
- recouvrement entre disques:  $\Theta$

*modèle d'énergie a priori*



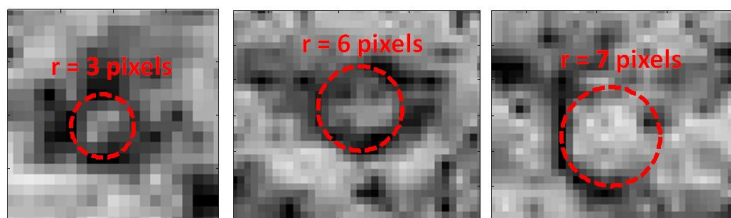
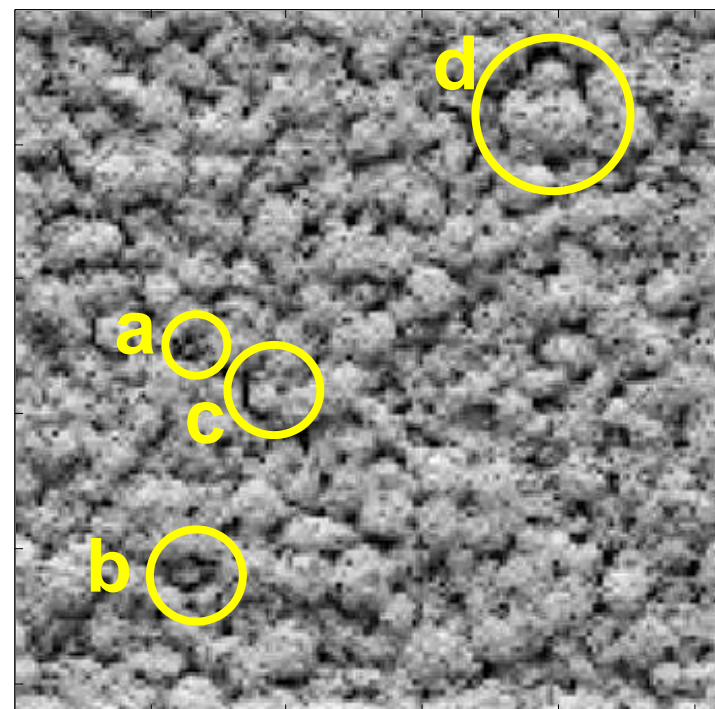
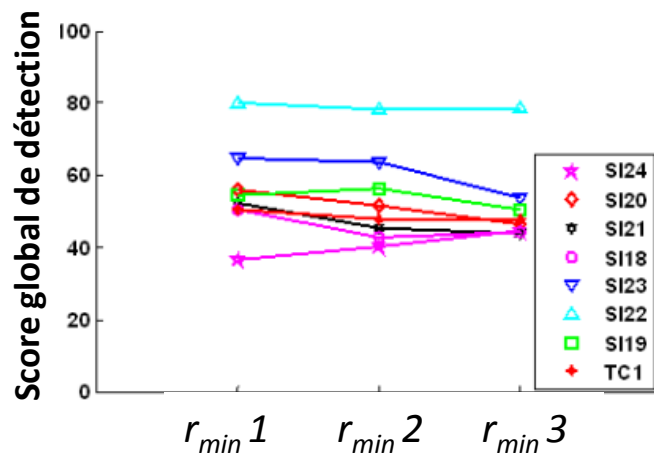
- seuil de contraste radiométrique :  $d_0$

*modèle d'énergie d'attache aux données*

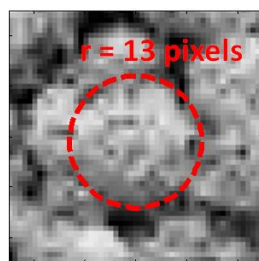


# Sensibilité à l'intervalle $[r_{min}, r_{max}]$ des rayons de houppiers

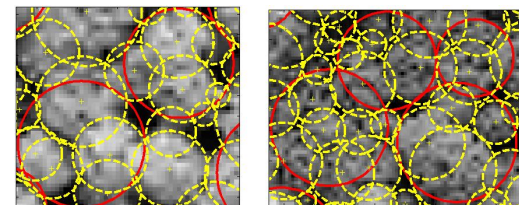
➤  $r_{min}$

a.  $r_{min} 1$ b.  $r_{min} 2$ c.  $r_{min} 3$ 

➤  $r_{max}$

d.  $r_{max}$ 

*Si  $r_{max}$  trop grand:  
détection de plusieurs  
couronnes par un seul disque*



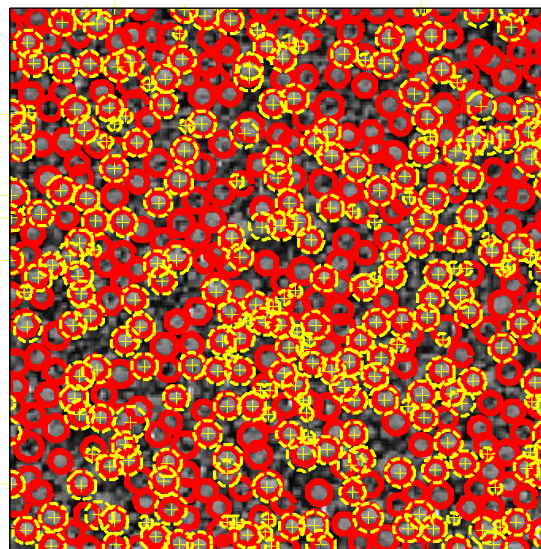
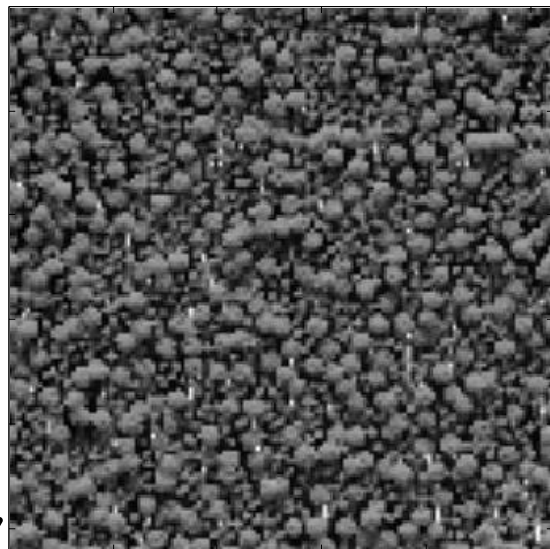


# Résultats de détection

- $\Theta = 20\%$
- $d_0 = 0.2$

SI24 - jeune

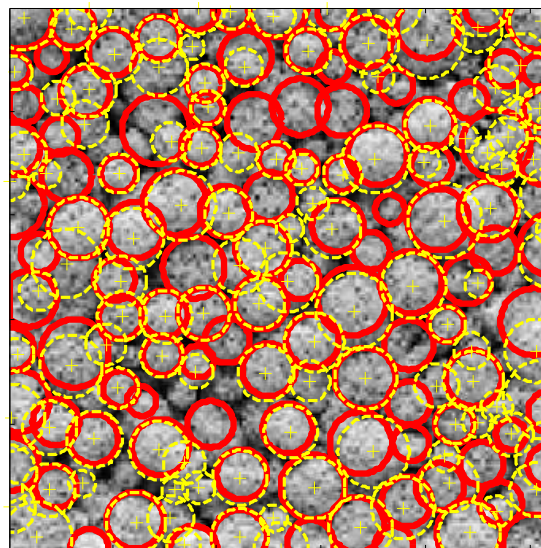
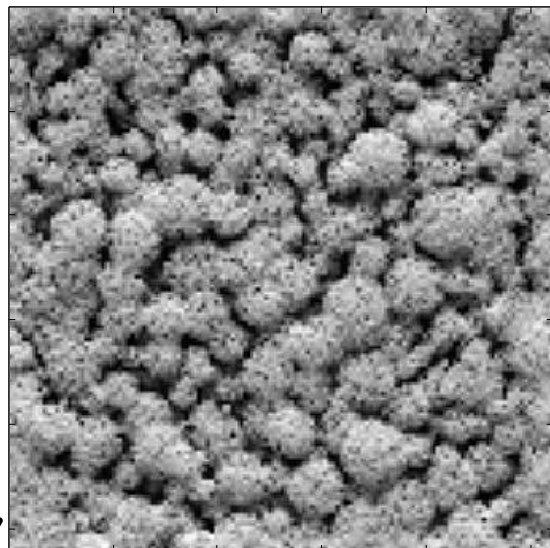
130 m



- $r_{min} = 2.3m$
- $r_{max} = 3.1m$
- arbres détectés : 80%
- score global : 44.0
- fausses alarmes : 50.2
- omissions : 20.1

SI18 – pré-adulte

130 m

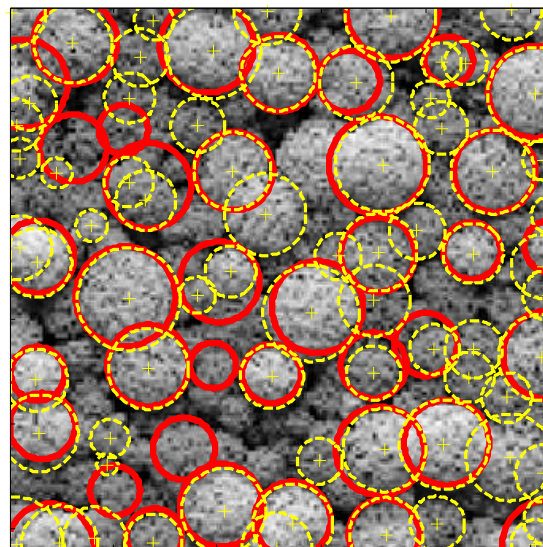
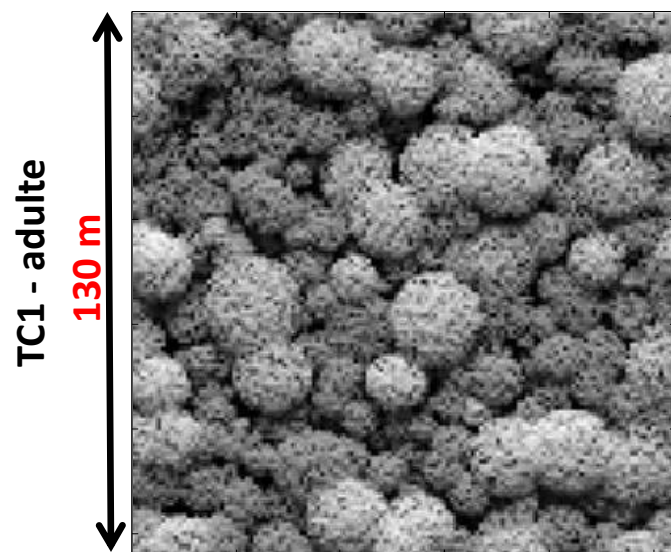


- $r_{min} = 2.7m$
- $r_{max} = 5.4m$
- arbres détectés : 65%
- score global : 53.9
- fausses alarmes : 22.6
- omissions : 35.0

Jaune: référence  
Rouge: détection

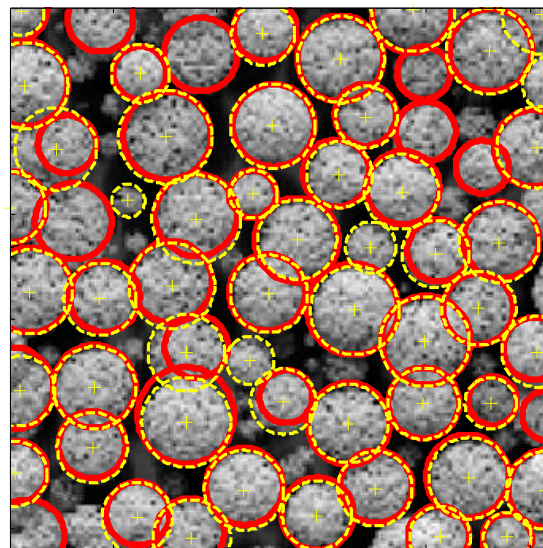
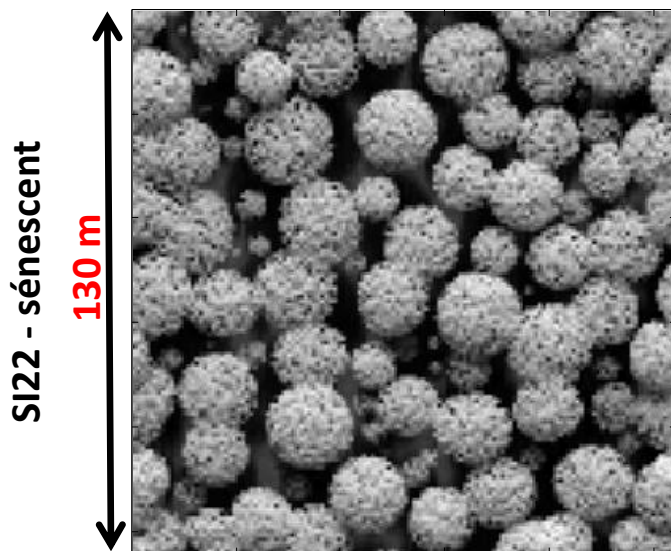


# Résultats de détection



- $\Theta = 20\%$
- $d_0 = 0.2$

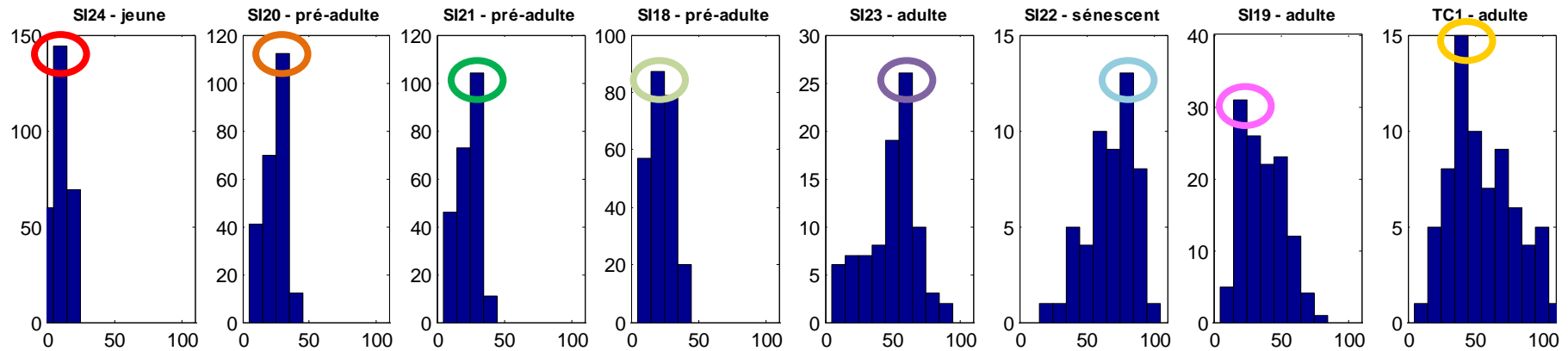
- $r_{min} = 5.0m$
- $r_{max} = 16.1m$
- arbres détectés : 48%
- score global : 44.7
- fausses alarmes : 12.8
- omissions : 52.1



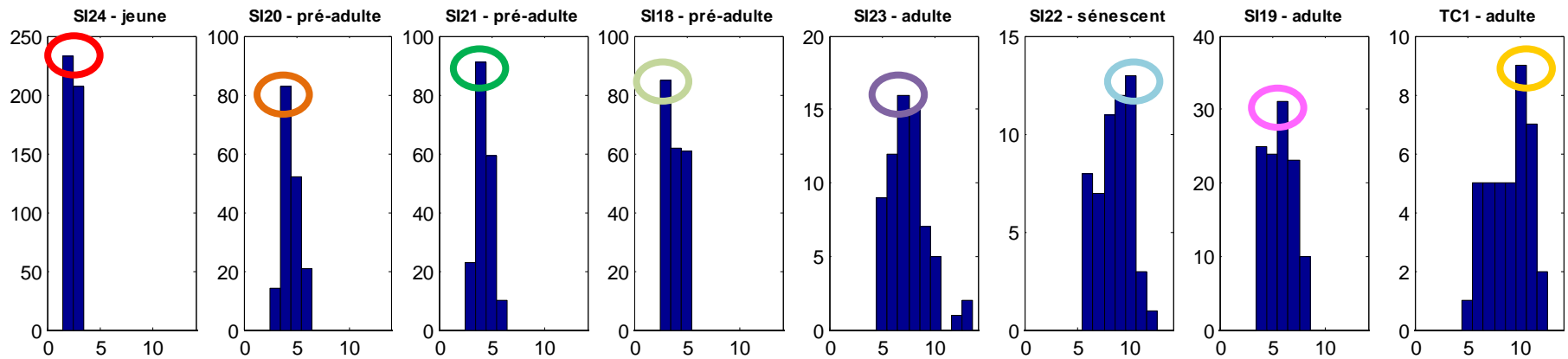
- $r_{min} = 4.7m$
- $r_{max} = 13.2m$
- arbres détectés : 90%
- score global : 78.3
- fausses alarmes : 14.5
- omissions : 9.6

Jaune: référence  
Rouge: détection

# Distributions des rayons des disques



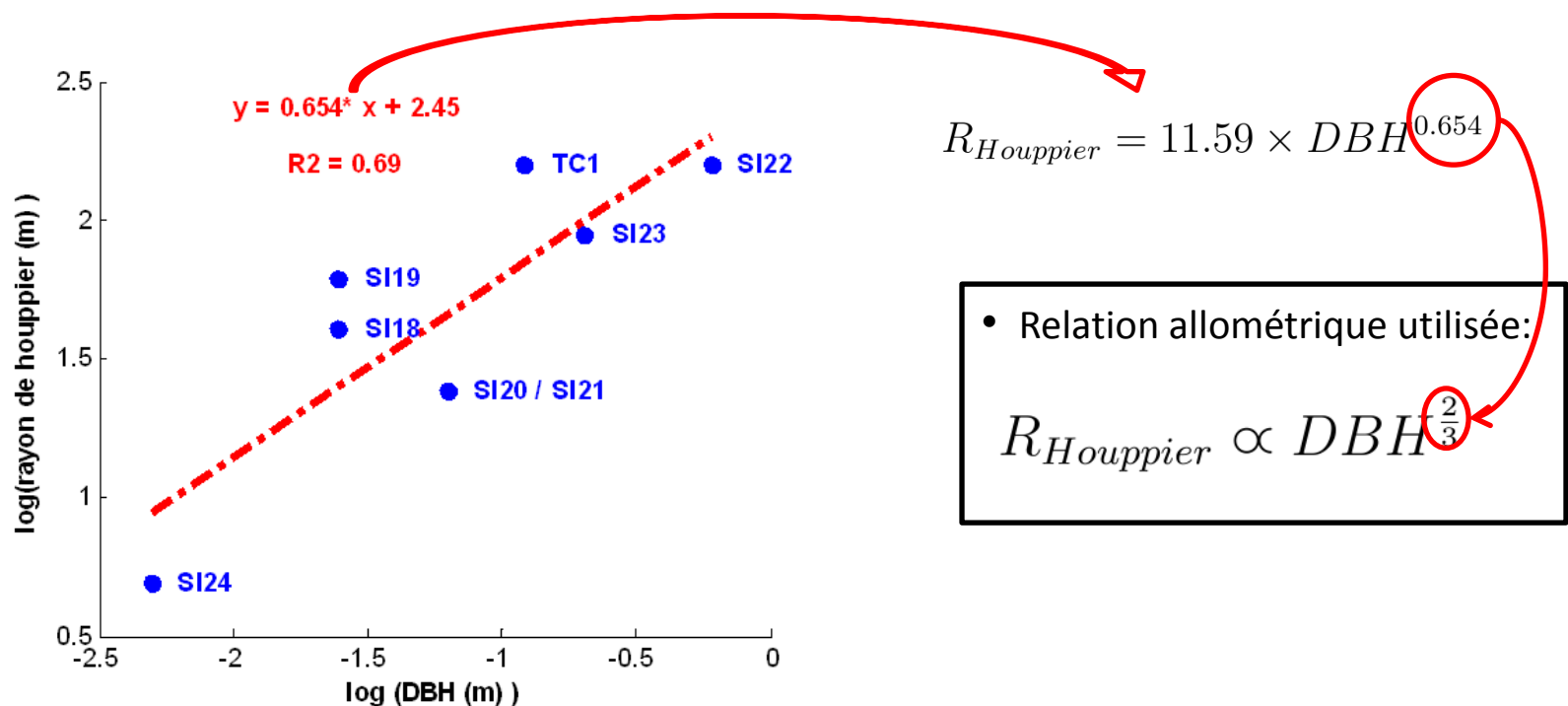
Distribution des DBH (des arbres détectables) des maquettes (cm)



Distribution des rayons des disques détectés (m)

# Cohérence avec l'allométrie

- régression entre les modes (celui dans la distribution des DBH et celui dans la distribution des rayons de disques) de chaque parcelle



# Applications

## -- Plantations d'*Eucalyptus*

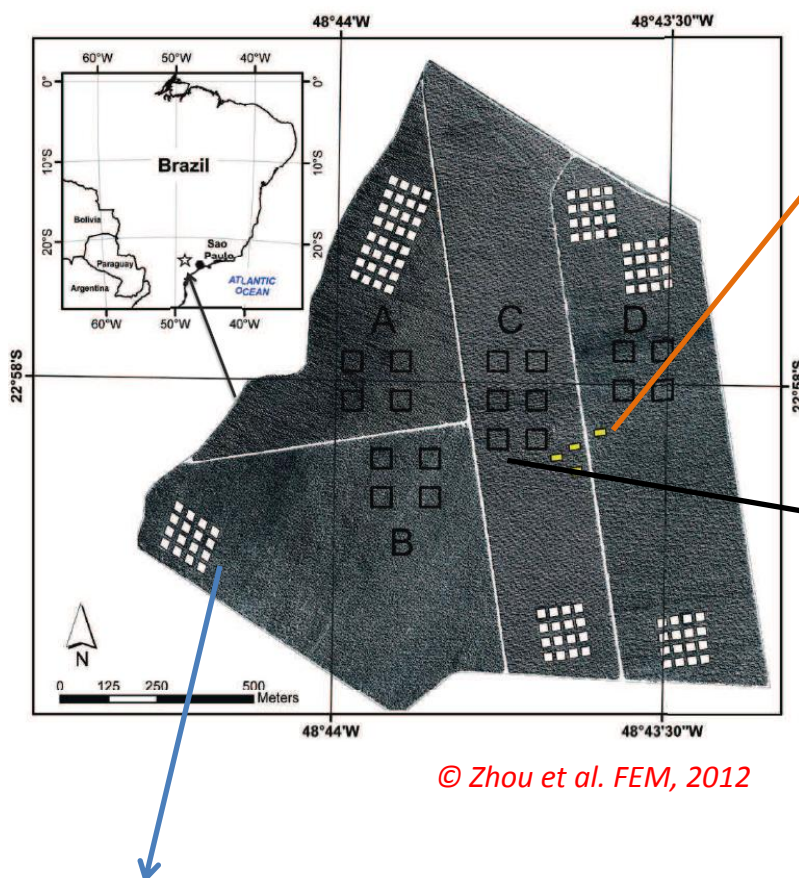




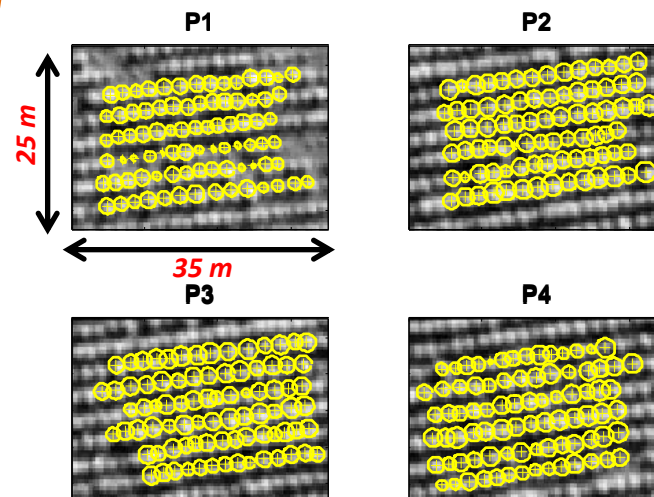
# Plantation d'*Eucalyptus*

*Etude réalisée avec l'UMR TETIS et ECO&SOLS*

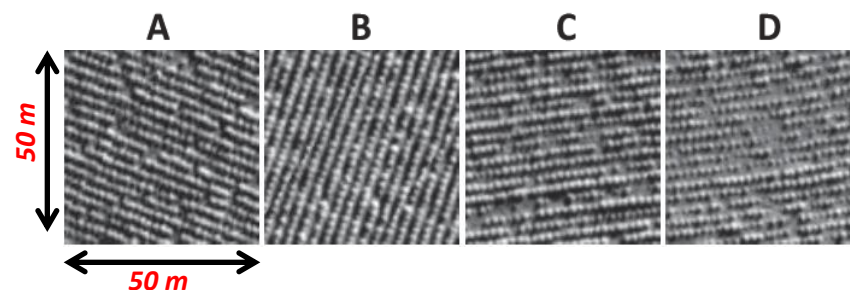
## ➤ Site d'étude



## • 4 placettes d'étude



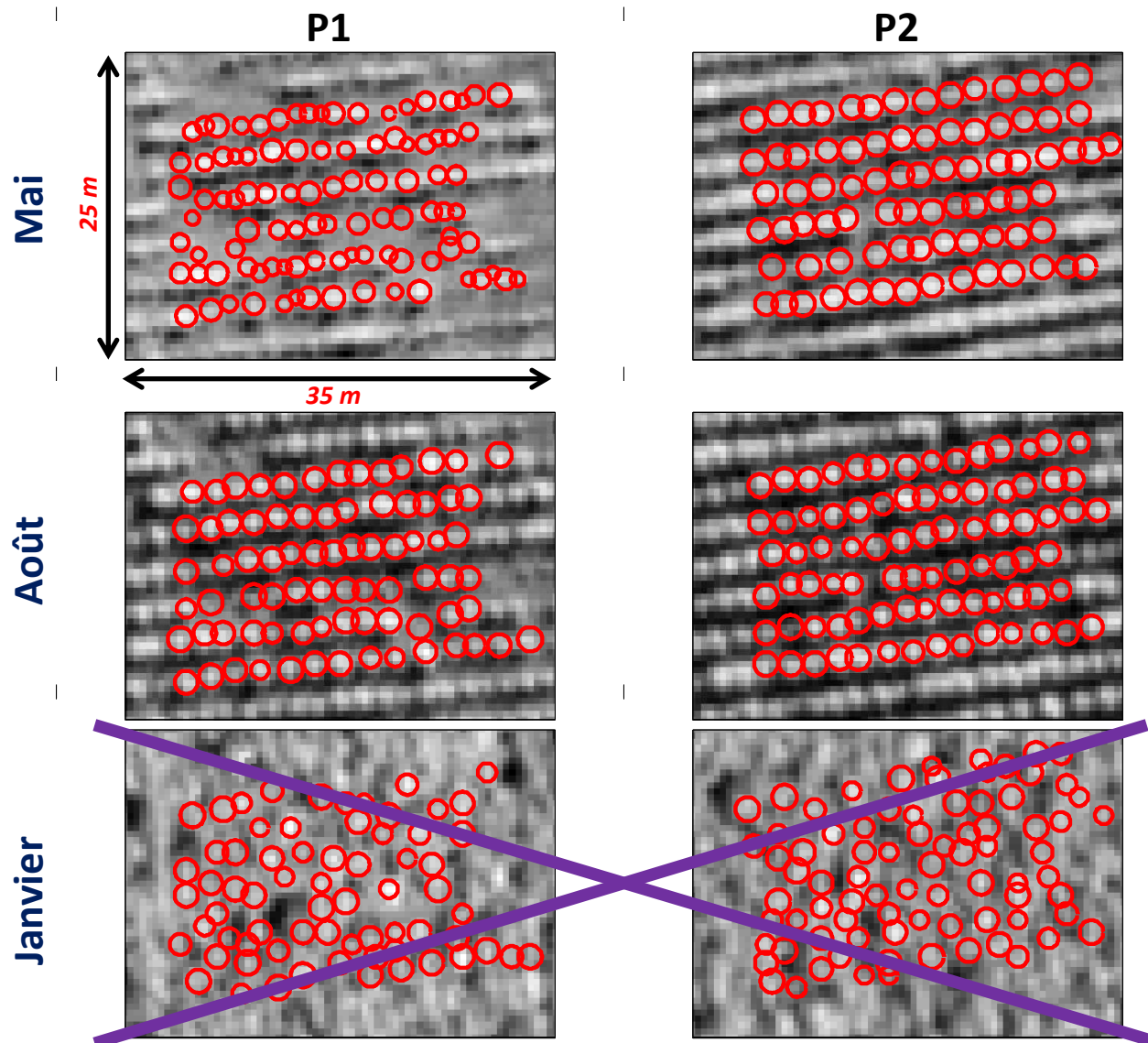
## • 18 plots photo-interprétés



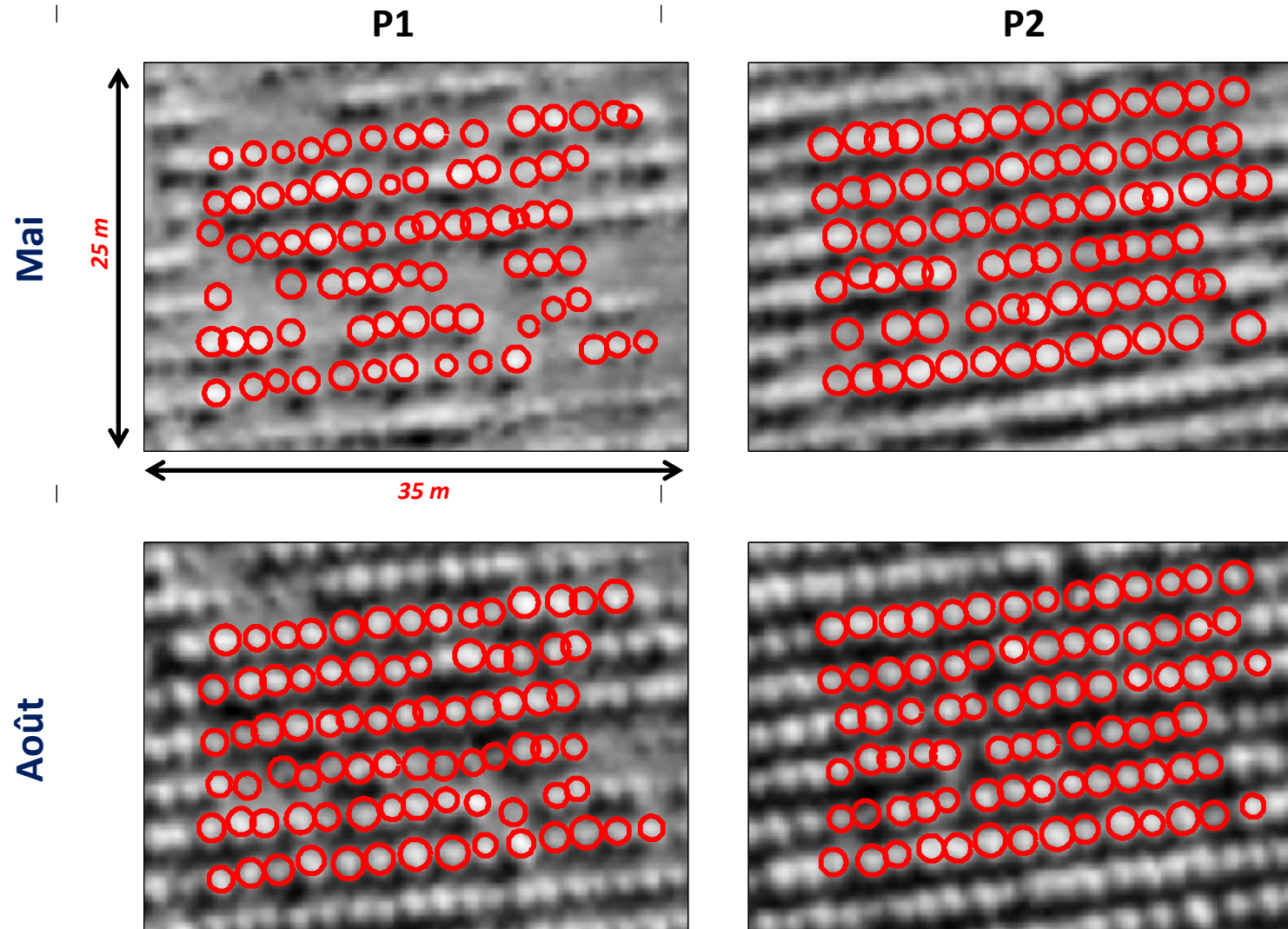
- 112 plots (~ 25\*25m) où la densité d'arbres est connue (~ 100 arbres)



# Détection sur images WorldView (50cm)

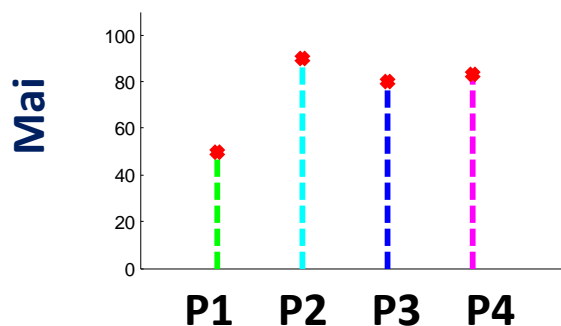


# Images sur-échantillonnées à 10cm

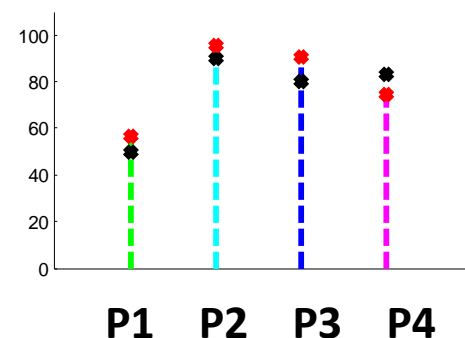


# Scores de détection

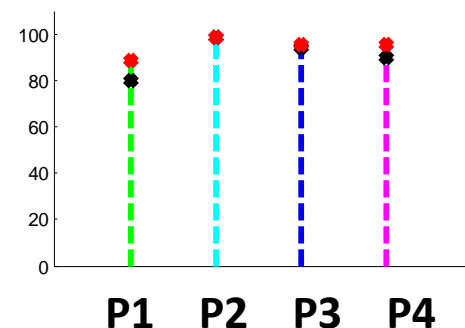
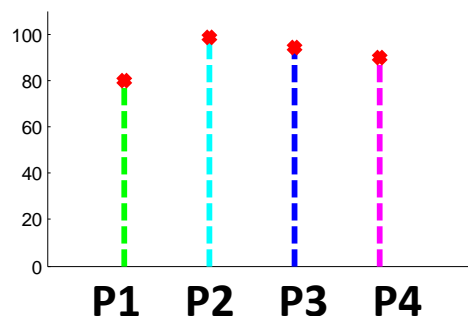
sur images originales (50cm)



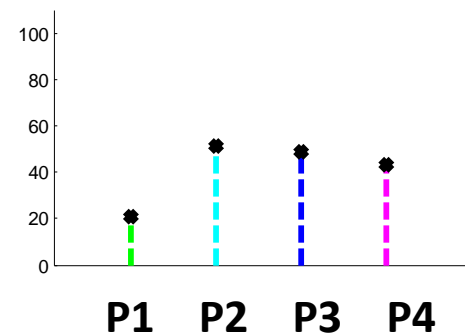
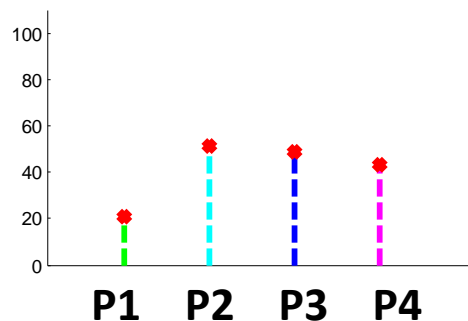
sur images sur-échantillonnées (10cm)



**Août**



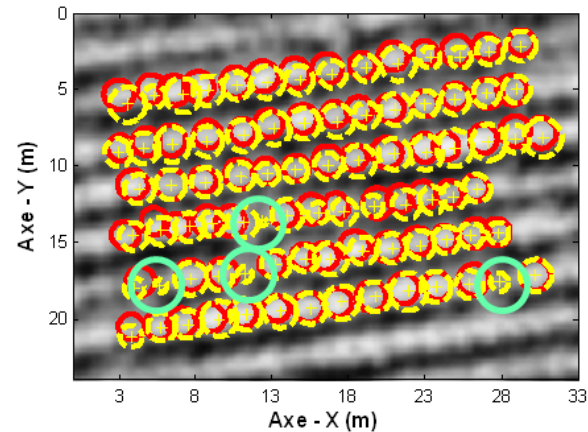
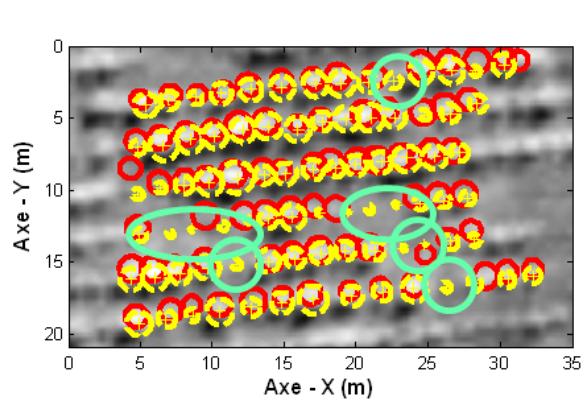
**Janvier**



# Problèmes de détection

## ➤ Exemples: omissions

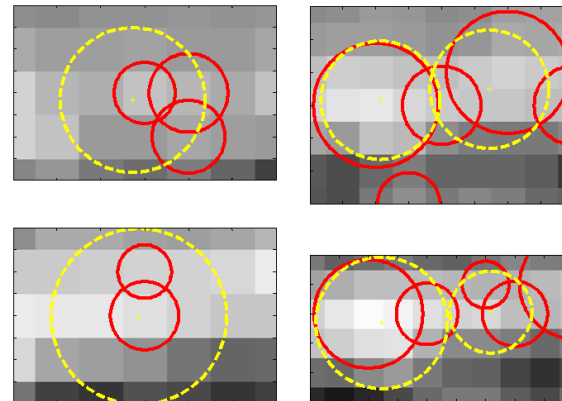
- houppiers trop petits pour être détectés
- => cohérente avec l'objectif de travail



- jaune: référence
- rouge: détection

## ➤ Exemples: fausses détections

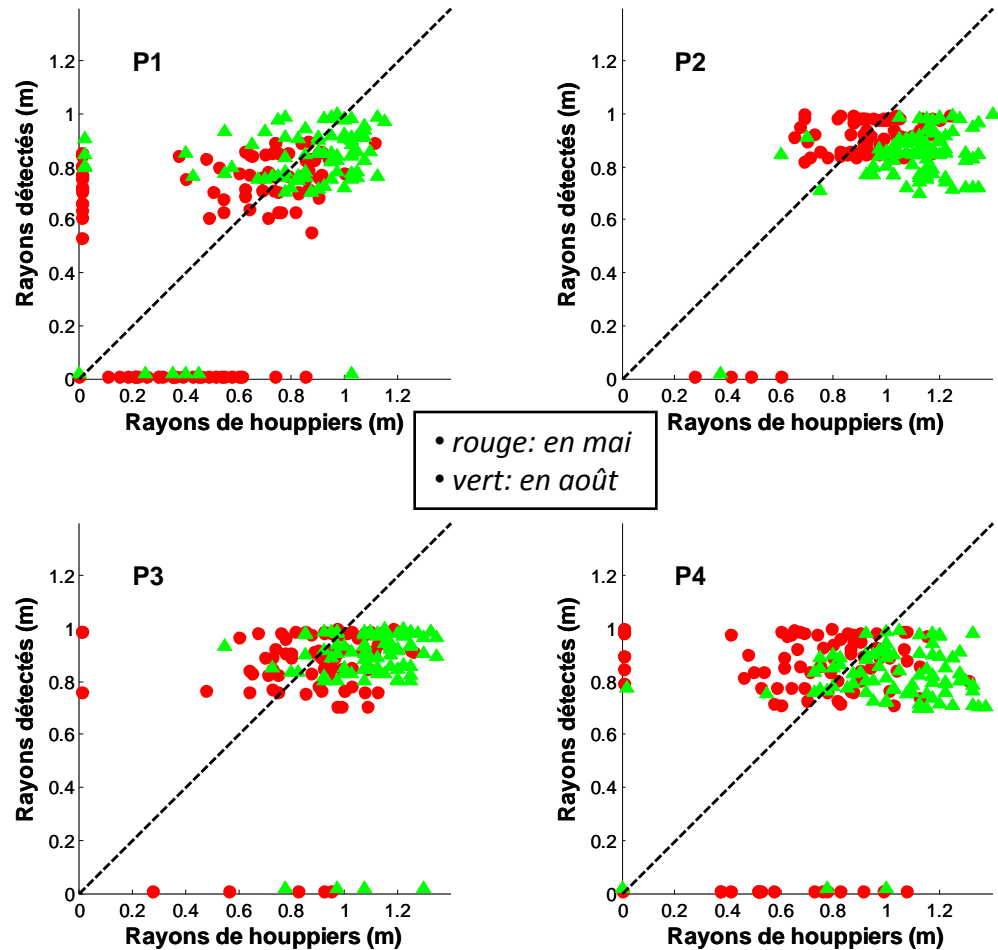
- si  $r_{min}$  très petit
- => réduire l'intervalle de rayon



# Estimation du rayon des houppiers

➤ Les tailles de houppiers sont sous-estimées en août.

=> Limités par  $r_{max}$





# Détection sur grande surface

*Zhou et al. FEM, 2012*

- Validation de la détection sur 18 plots de 50\*50m

## Résultats de détection sur 4 plots

- Etude du paramétrage

- recouvrement entre disques:

$$\theta = 0.1$$

- seuil de contraste radiométrique:

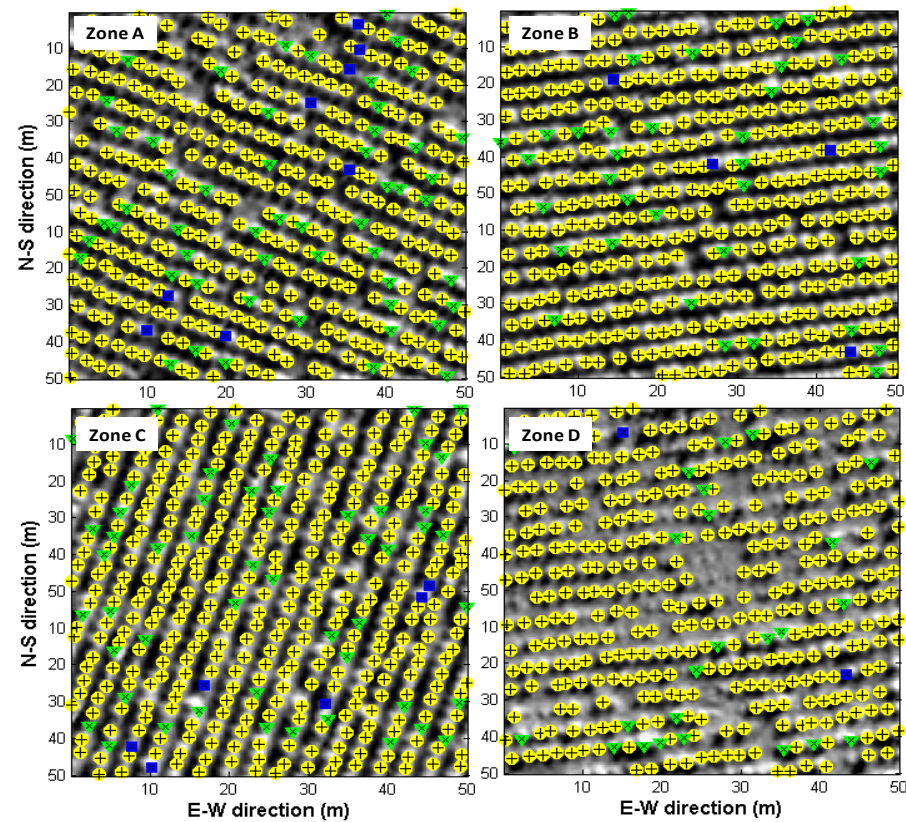
$$d_0 = 0.1$$

- l'intervalle de rayon:

$$r_{min} = 0.7 \text{ m}, r_{max} = 1.1 \text{ m}$$

- La détection est meilleure sur l'image d'août (les  $SD_G$  sont  $> 80$  en général).

- La direction des rangées d'arbres influence peu les résultats de détection.

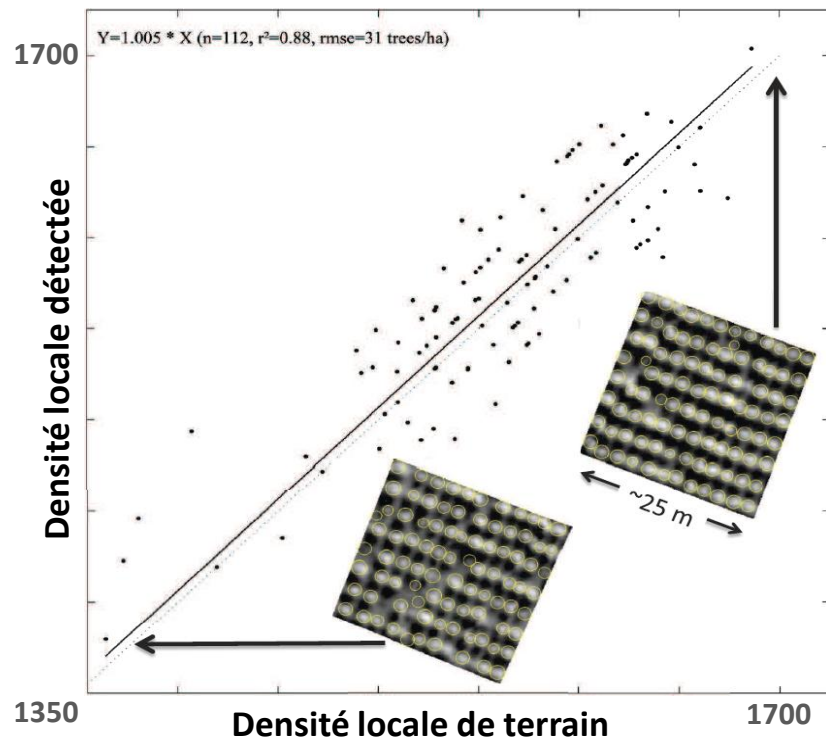


- jaune: arbres bien détectés
- bleu: fausses détections
- vert: arbres non détectés

# Estimation de la densité locale

- Validation sur 112 plots de dimension  $\sim 25 \times 25 \text{ m}$

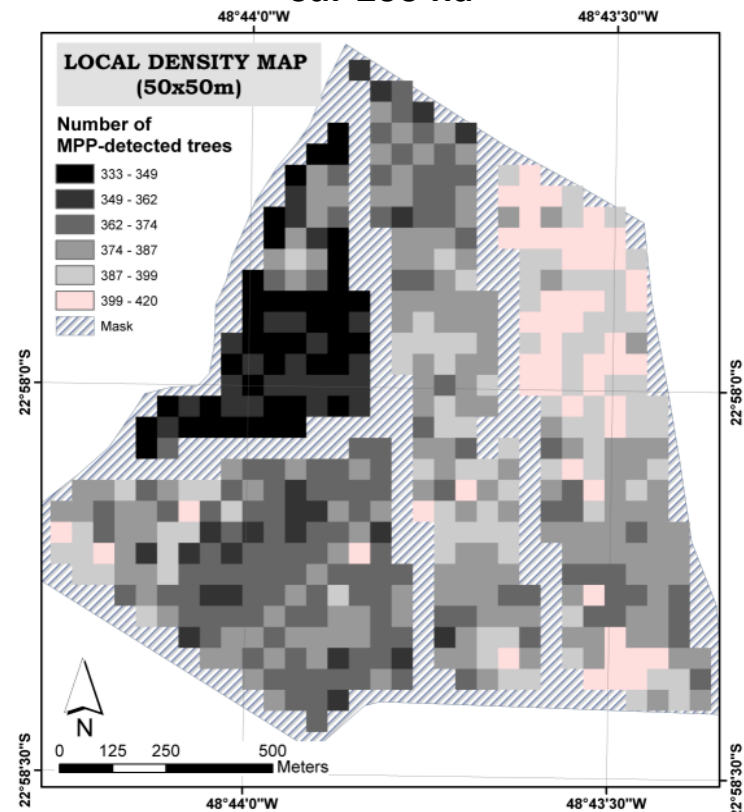
1360 – 1700 arbres/ha



*Zhou et al. FEM, 2012*

➔ La densité détectée reflète bien la vérité de terrain.

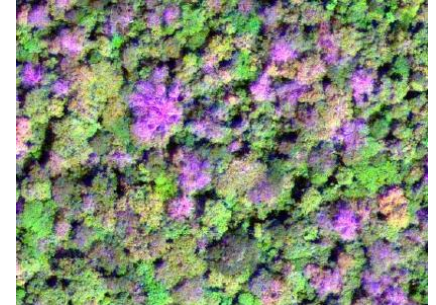
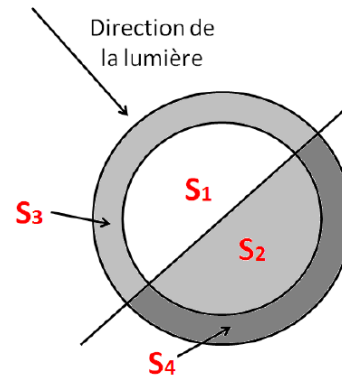
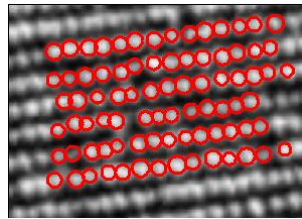
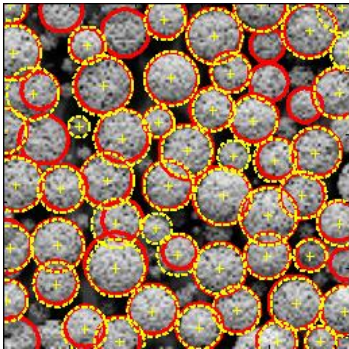
Carte de densité locale  
sur 200 ha



*Zhou et al. FEM, 2012*

➤ Conclusion : on peut cartographier les zones à faible survie (objectif principal).

# Conclusions & Perspectives



# Bilan

➤ Résultats assez satisfaisants dans les cas des deux types de forêts étudiés

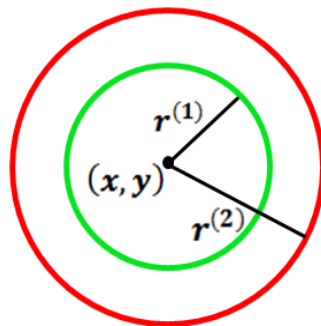
❖ Forêts naturelles de mangrove:

- la structure forestière détectée cohérente avec les données introduites dans les maquettes

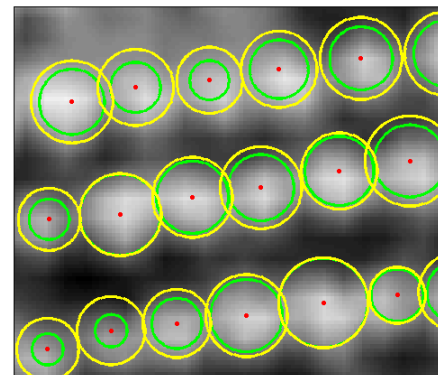
❖ Plantation d'*Eucalyptus*:

- capable d'extraire des houppiers de taille de quelques pixels
- possibilité de détection de la croissance des houppiers individuels (multi-temporelle)

*Zhou et al. ACPR, 2011*



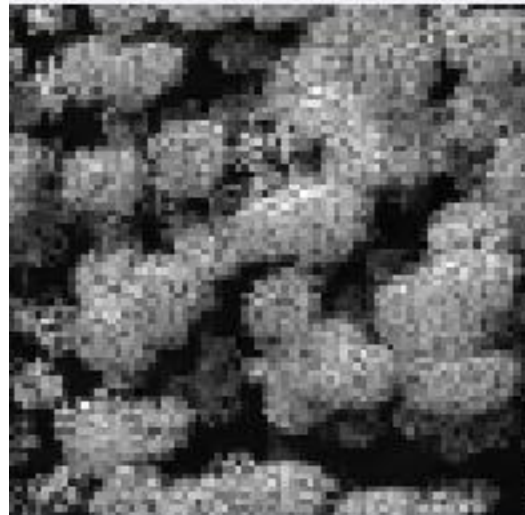
Modélisation d'un arbre sur deux images simultanément



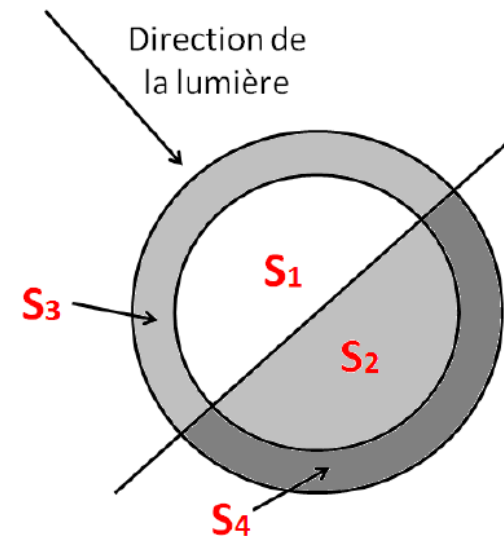
Détection multi-temporelle

# Prise en compte des paramètres d'acquisition

- Etude de la sensibilité aux conditions d'acquisition d'image
  - angles d'acquisition du capteur et angle solaire
  - effet d'ombre sur images optiques



© Barbier, 2009



Modèle d'attache aux données tenant compte de l'effet d'ombre:  
découpage d'un disque et son voisinage  
selon la direction de la lumière

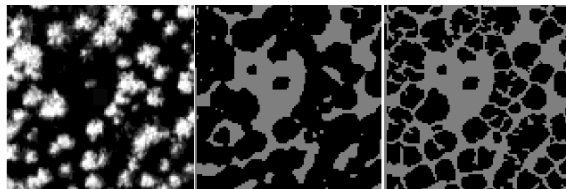


# Comparaison avec d'autres méthodes

➤ Nombreux méthodes de détection :

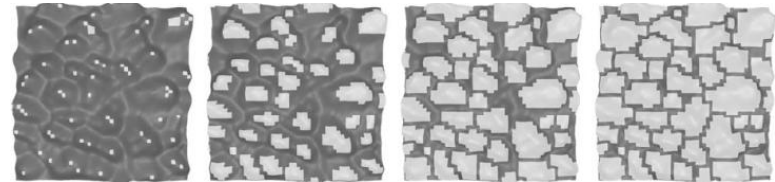
- region growing, valley-following, template-matching, ...

• valley-following



*Gougeon, 1995*

• region-growing



*Culvenor, 2002*

➤ Données d'images et d'inventaires forestiers pour la comparaison

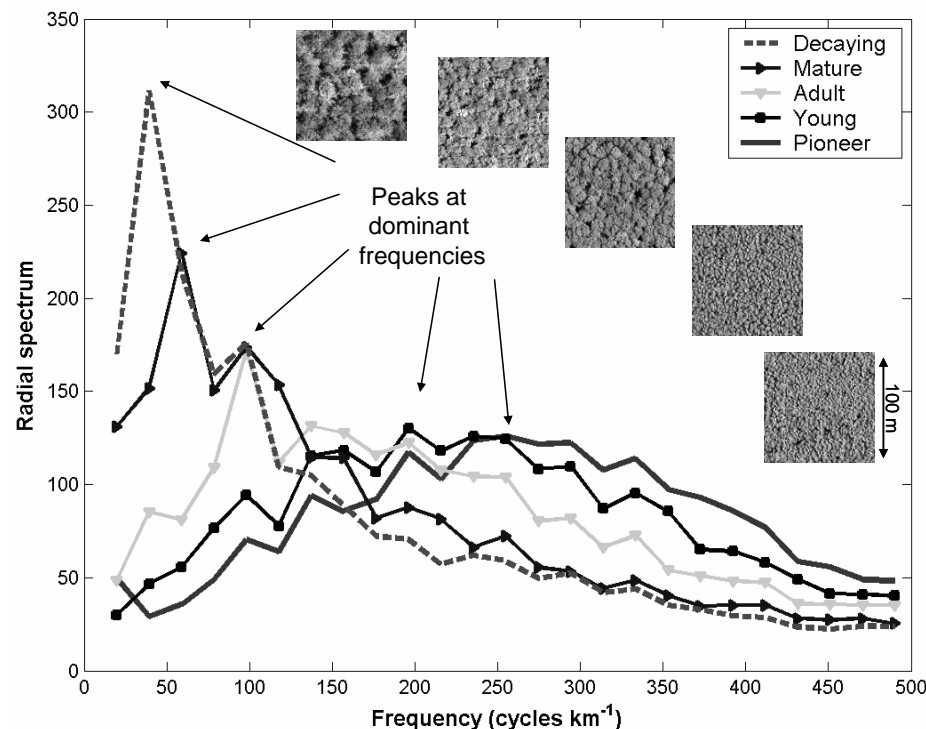
- avec images réelles de forêts

→ difficulté: manque des inventaires précis de terrain

enjeu d'utiliser les images simulées à partir des maquettes forestières

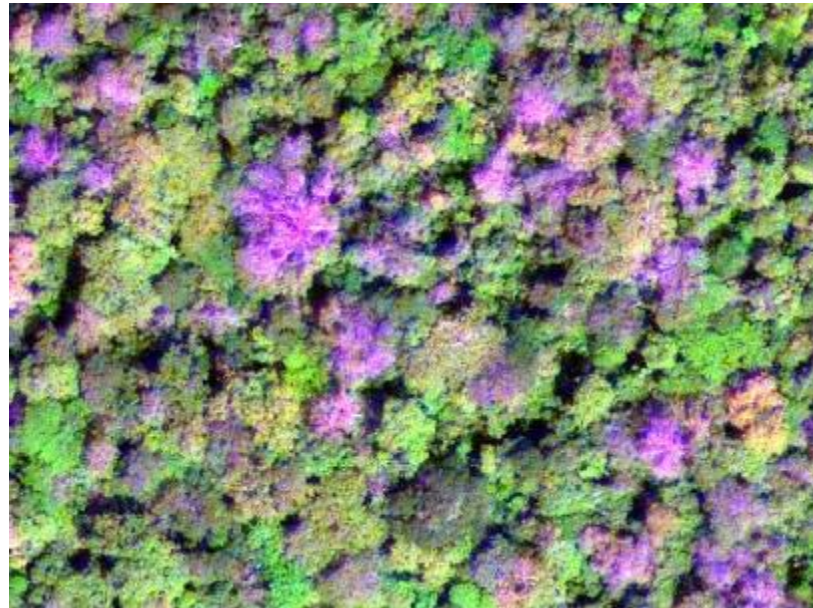
# Utilisation des analyses texturales

- Réglage de paramétrage de la méthode de PPM
  - paramètres importants à déterminer:  $\theta$ ,  $[r_{min}, r_{max}]$
- Apport des analyses texturales pour guider le paramétrage
  - spectres FOTO (« FOurier-based Textural Ordination ») pour calibrer l'intervalle des rayons de houppiers:  $[r_{min}, r_{max}]$  *Proisy et al., 2007, 2012*



# Fusion de données

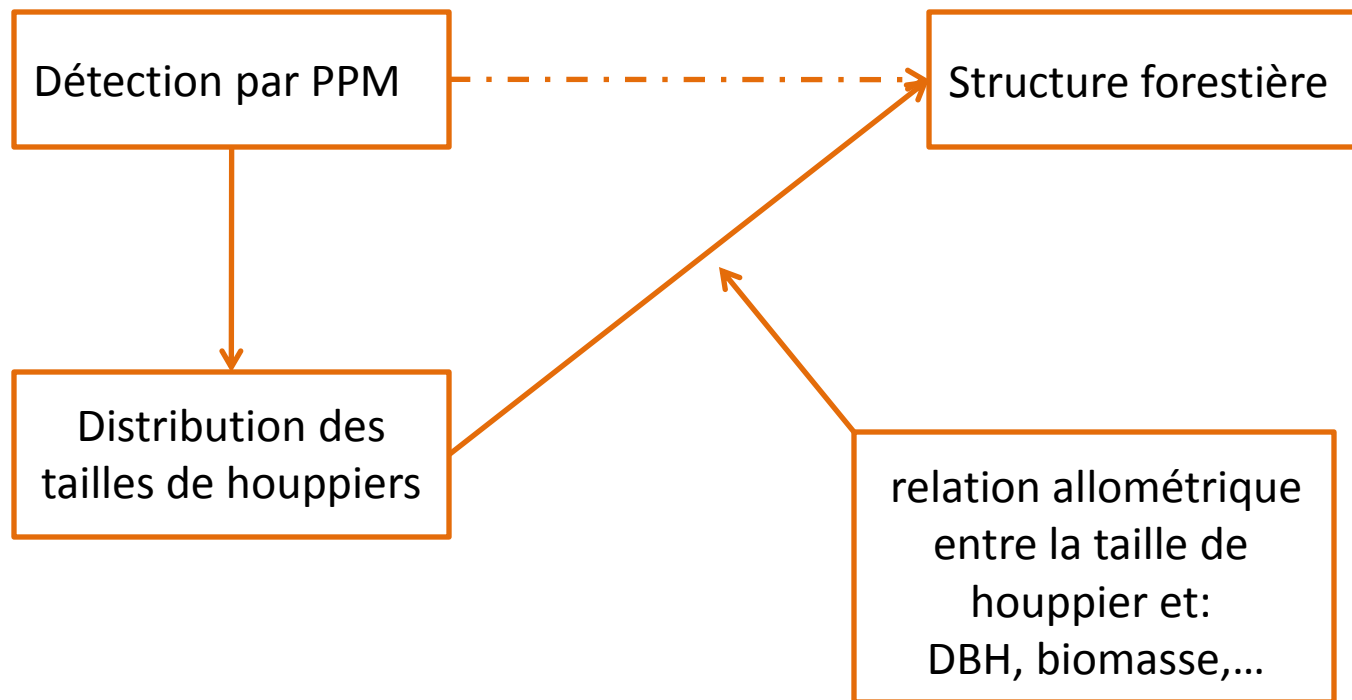
- Combiner les données de différentes sources dans la détection
  - introduire une distance multidimensionnelle dans le modèle d'énergie d'attache aux données
  - applications : données multi-temporelles, multi-spectrales, optiques + LiDAR, etc.



Un extrait d'une composition colorée d'une image multi-spectrale  
Geoeye sur une forêt tropicale de Centrafrique

# Application écologique

- Contribution de la détection par PPM à l'aspect écologique







### Article:

- [Zhou et al., Mapping local density of young Eucalyptus plantations by individual tree detection in high spatial resolution satellite images, Forest Ecology and Management, 2012](#)

### Conférences internationales:

- [Zhou et al., Tree crown detection in high resolution optical and LiDAR images of tropical forest, SPIE 2010](#)
- [Zhou et al. Tree crown detection in high resolution optical images during the early growth stages of Eucalyptus plantations in Brazil, ACPR 2011](#)
- [le Maire et al., Very high resolution satellite images for parameterization of tree-scale forest process-based model, IGARSS 2012](#)

MERCI  
WEBCI