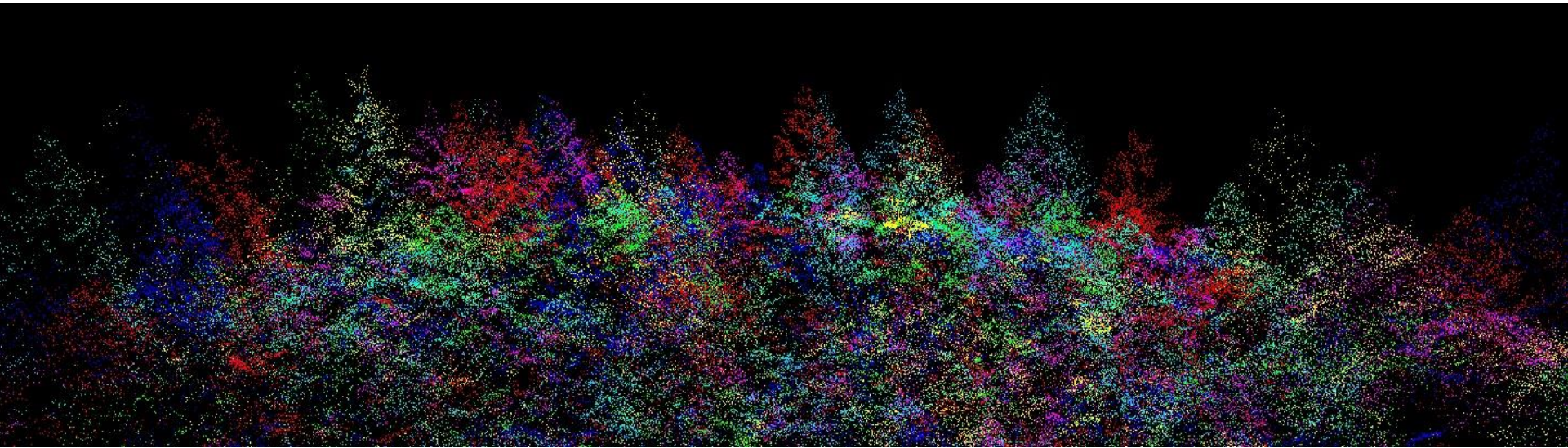


# RECHERCHE DANS LE DOMAINE LIDAR ET FORESTERIE AU LASIG



# **PLAN**

- 1. Délimitation des forêts**
- 2. Evaluation écologique des lisières**
- 3. Extraction des arbres individuels**

# 1. DÉLIMITATION DES FORÊTS

## Objectif:

Délimiter les forêts selon les critères géométriques définis dans les lois fédérales/cantoniales

## Principales difficultés:

- Intégration du critère de degré de recouvrement
- Filtrage des surfaces boisées non-forestières (e.g. Parcs, jardins, vergers)
- Validation du résultat

# PUBLICATIONS PRINCIPALES

- C. Kleinn, *A cautionary note on the minimum crown cover criterion in forest definitions*, Canadian Journal of Forest Research, vol. 31, no. 2, pp. 350–356, 2001.
- P. Magdon and C. Kleinn, *Uncertainties of forest area estimates caused by the minimum crown cover criterion*, Environmental monitoring and assessment, pp. 1–16, 2012.
- L. Eysn, M. Hollaus, K. Schadauer, and N. Pfeifer, *Forest delineation based on airborne LIDAR data*, Remote Sensing, vol. 4, no. 3, pp. 762–783, 2012.



Où placer la limite?



**Il existe de la diversité au sein des lois et règlements suisses/internationaux, mais on retrouve généralement:**

**Des critères géométriques:**

- Hauteur minimale
- Surface minimale des îlots et clairières
- Largeur minimale des bandes boisées
- Degré de recouvrement (i.e. densité)

**Des critères de couverture du sol**

- Pas de jardins
- Pas de vergers
- Pas de parcs

# MÉTHODE 1:

## CALCUL DU DEGRÉ DE RECOUVREMENT PAR CONVOLUTION

On fait glisser une fenêtre de convolution sur toute l'image en comptant à chaque pas le nombre de pixels de la classe forêt se trouvant dans la fenêtre

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Matrice binaire  
(masque de forêt)

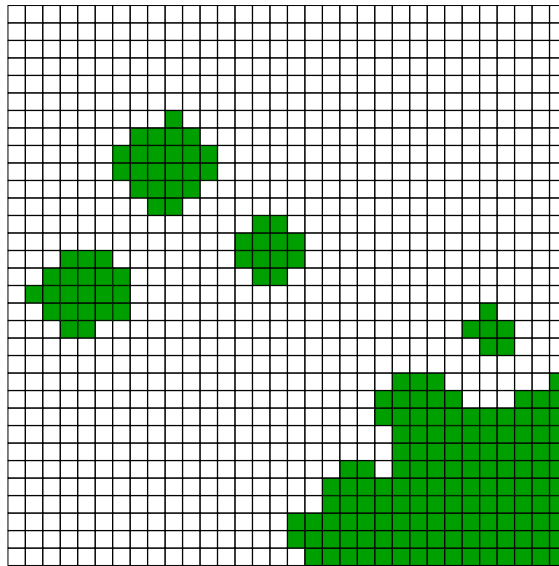
X

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

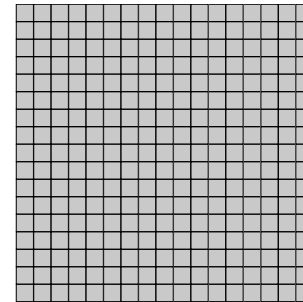
=


Matrice du degré  
de recouvrement

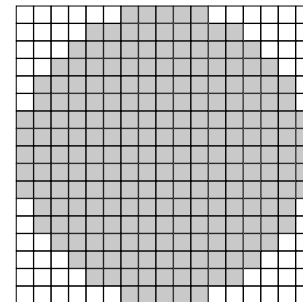
La forme de la fenêtre de convolution influence le résultat (effet de rognage ou d'expansion des lisières)



Matrice binaire  
(masque de forêt)



Matrice de  
convolution carrée



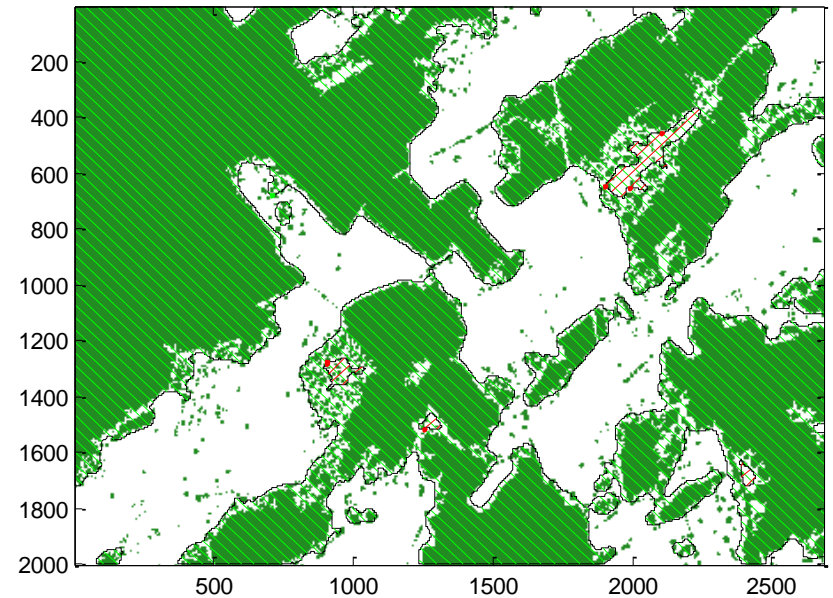
Matrice de  
convolution circulaire



# Exemple: convolution sans séparation surfacique préalable (d.r = 30 %)

tuile 1143-24 (2010), surface boisée: 330.7 ha (61.5 %)

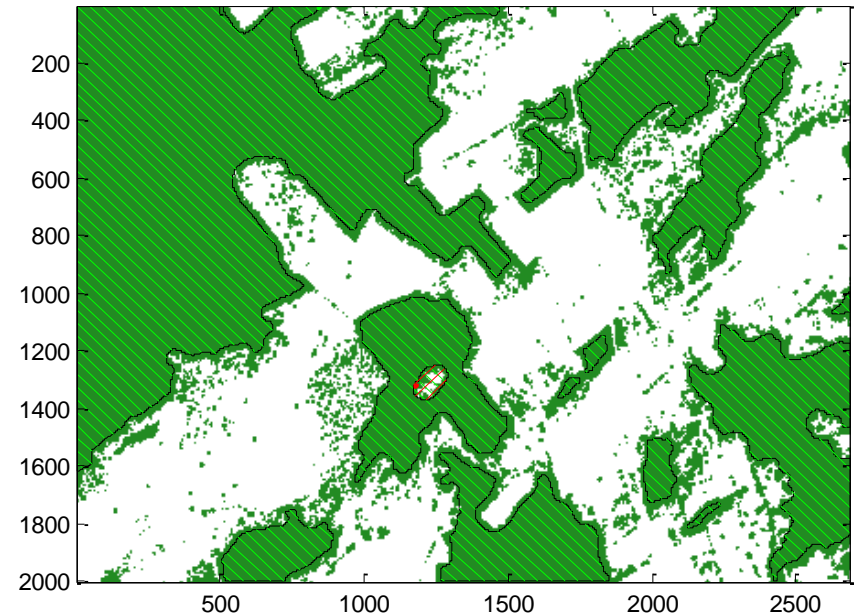
$H_{\min} = 2.0$  m,  $DR = 0.3$ ,  $S_{\min, i} = 800.0$  m<sup>2</sup>,  $S_{\min, c} = 2500.0$  m<sup>2</sup>,  $L_{\min} = 12.0$  m



# Exemple: convolution sans séparation surfacique préalable (d.r = 90 %)

tuile 1143-24 (2010), surface boisée: 216.5 ha (40.3 %)

$H_{\min} = 2.0$  m,  $DR = 0.9$ ,  $S_{\min, i} = 800.0$  m<sup>2</sup>,  $S_{\min, c} = 2500.0$  m<sup>2</sup>,  $L_{\min} = 12.0$  m



## **MÉTHODE 2:**

### **CALCUL DU DEGRÉ DE RECOUVREMENT PAR TRANSFORMÉE DE DISTANCE**

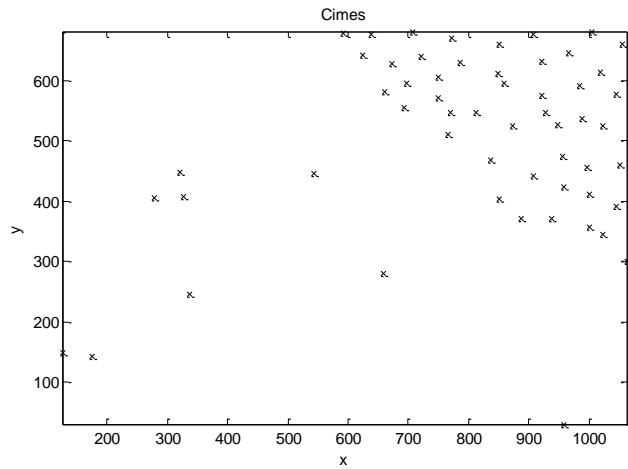
On crée une carte de distance entre les objets ou les cimes et on définit un seuil de distance inter-objets/cimes.

# DÉTECTION DES CIMES

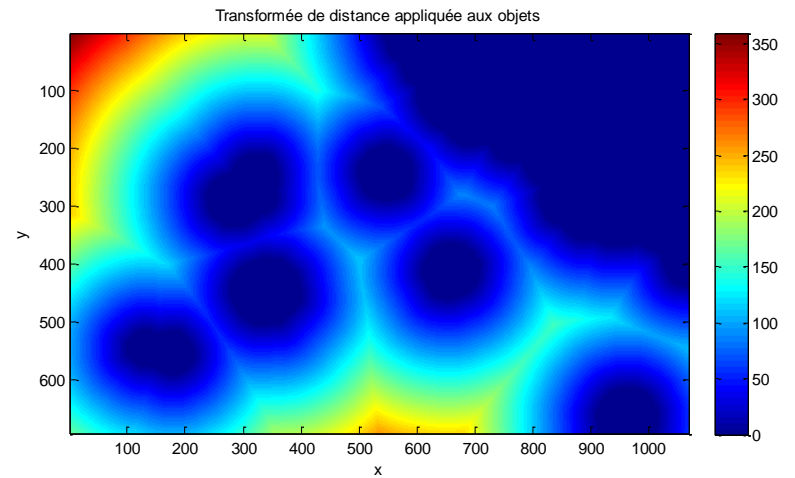
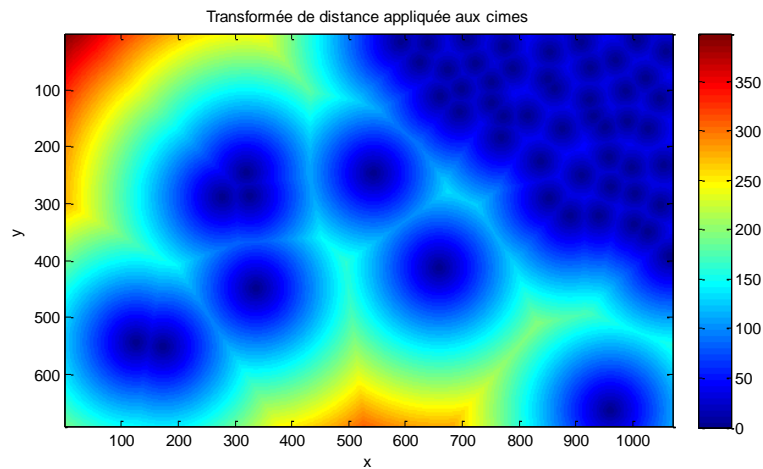
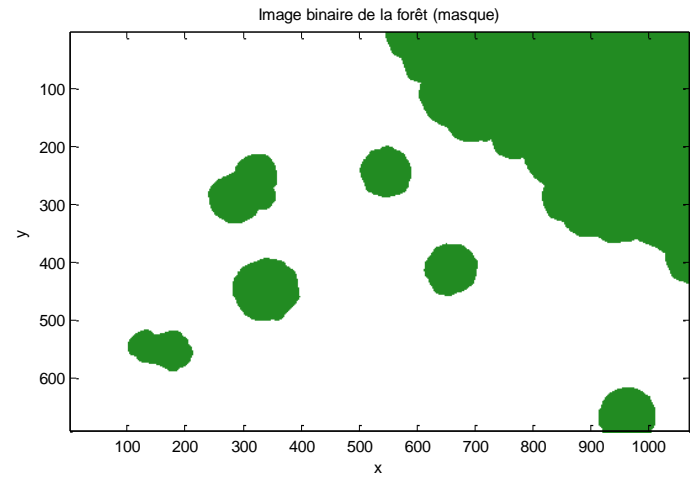
Plusieurs approches possibles, soit en mode image ou en mode nuage de points:

- Maxima local
- Maxima local avec fenêtre variable (Kwak et al, 2007)
- Aggrégation K-means (Morsdorf et al., 2004)
- Transformée H-maxima (Kwak et al, 2007)
- ...

# T.D. appliquée aux cimes



# T.D. appliquée aux objets

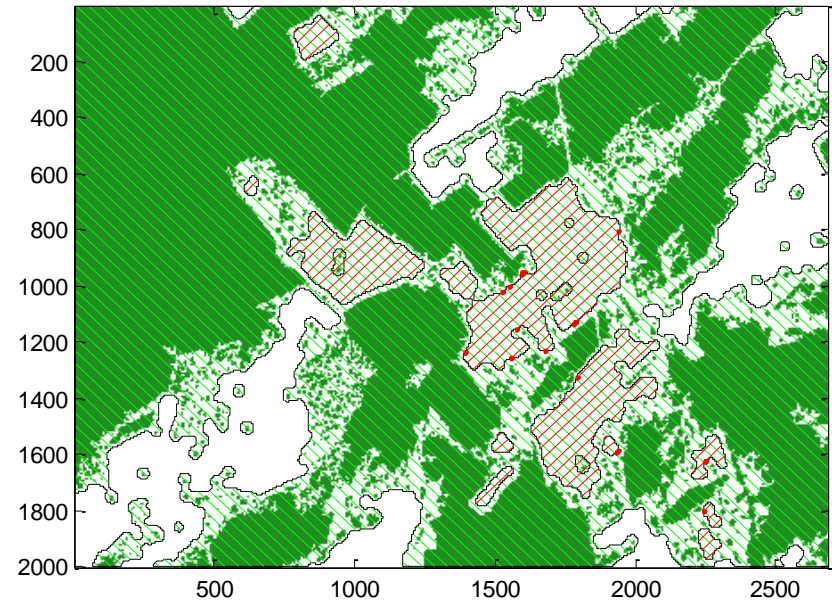




# Exemple: transformée de distance appliquée aux objets (seuil distance = 30 m)

tuile 1143-24 (2010), surface boisée: 411.9 ha (76.6 %)

$H_{\min} = 2.0$  m,  $DS = 30.0$  m,  $S_{\min, i} = 800.0$  m<sup>2</sup>,  $S_{\min, c} = 2500.0$  m<sup>2</sup>,  $L_{\min} = 12.0$  m

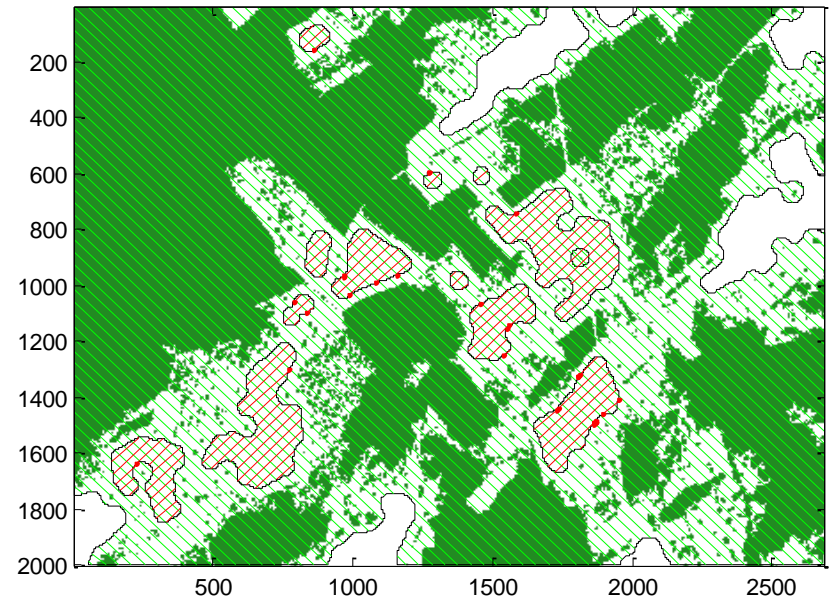




# Exemple: transformée de distance appliquée aux objets (seuil distance = 60 m)

tuile 1143-24 (2010), surface boisée: 464.7 ha (86.4 %)

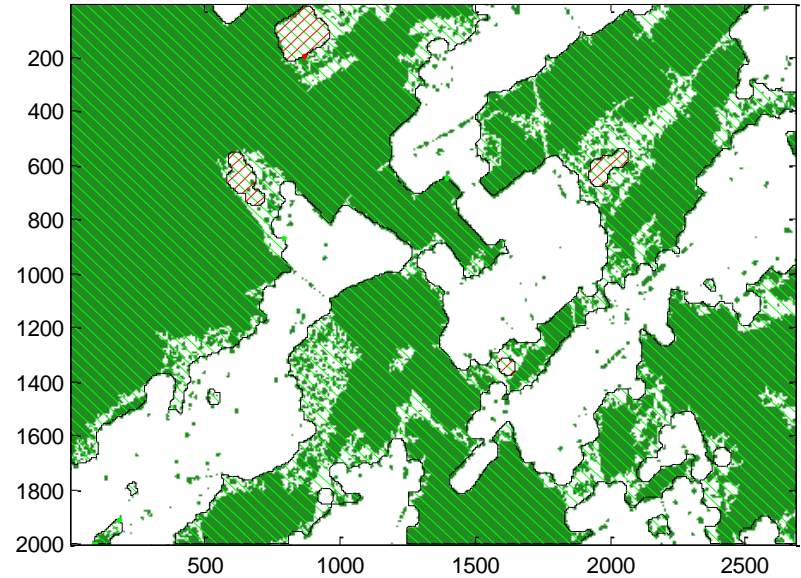
$H_{\min} = 2.0$  m,  $DS = 60.0$  m,  $S_{\min, i} = 800.0$  m<sup>2</sup>,  $S_{\min, c} = 2500.0$  m<sup>2</sup>,  $L_{\min} = 12.0$  m



# Exemple: transformée de distance appliquée aux cimes (seuil distance = 30 m)

tuile 1143-24 (2010), surface boisée: 333.6 ha (62.1 %)

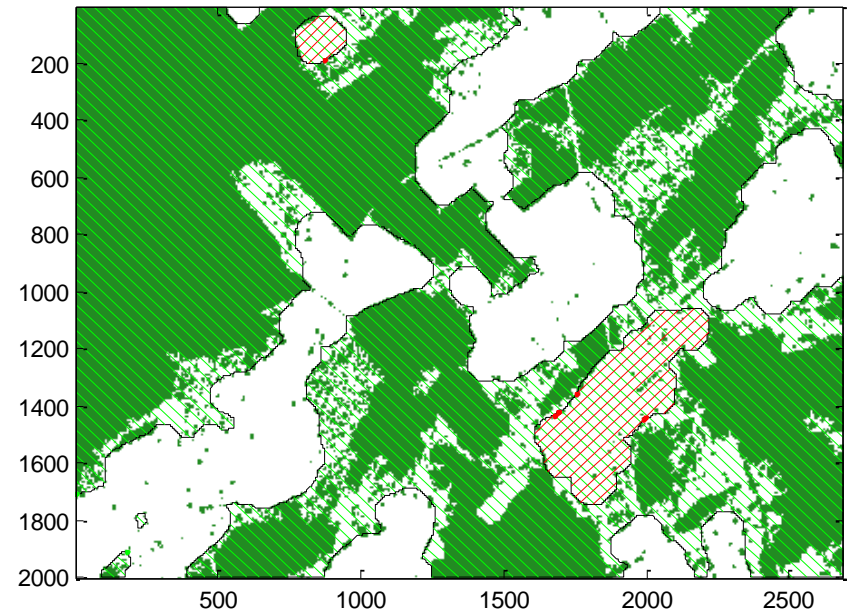
$H_{\min} = 2.0$  m,  $PV = 15$ ,  $DS = 30.0$  m,  $S_{\min, i} = 800.0$  m<sup>2</sup>,  $S_{\min, c} = 2500.0$  m<sup>2</sup>,  $L_{\min} = 12.0$  m



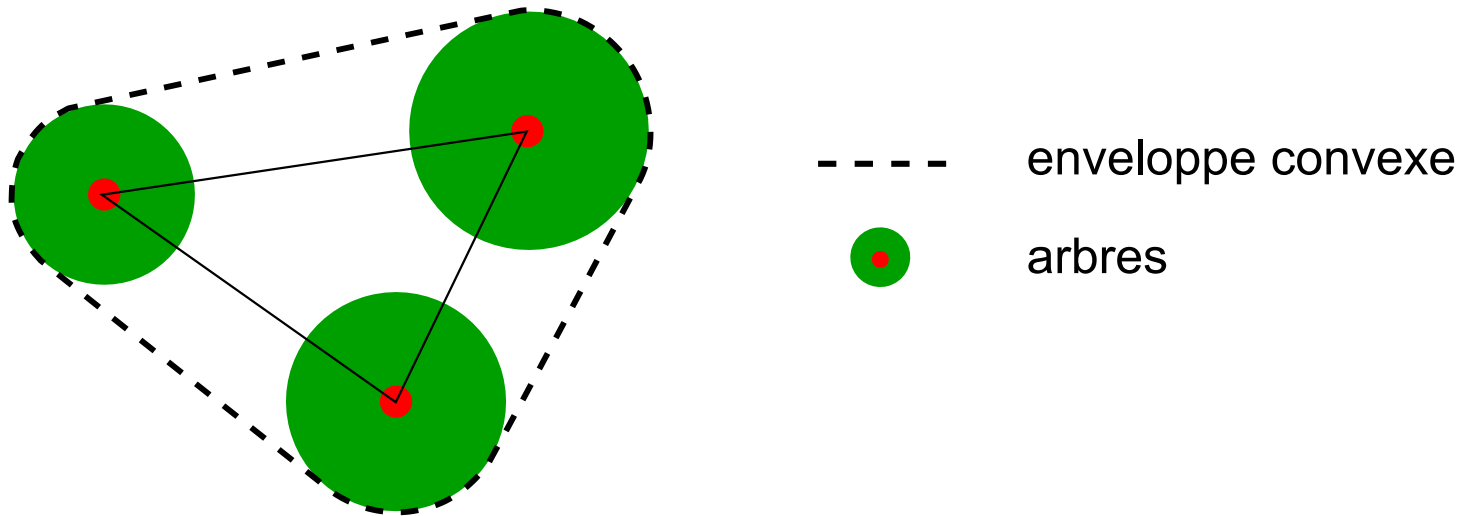
# Exemple: transformée de distance appliquée aux cimes (seuil distance = 60 m)

tuile 1143-24 (2010), surface boisée: 366.7 ha (68.2 %)

$H_{\min} = 2.0$  m,  $PV = 15$ ,  $DS = 60.0$  m,  $S_{\min, i} = 800.0$  m<sup>2</sup>,  $S_{\min, c} = 2500.0$  m<sup>2</sup>,  $L_{\min} = 12.0$  m



## MÉTHODE 3: CALCUL DU DEGRÉ DE RECOUVREMENT PAR TRIANGULATION



Pour chaque triplet d'arbres, le degré de recouvrement est le rapport de la somme des surfaces de couronnes à la surface de leur enveloppe convexe (Eysn et al., 2012)

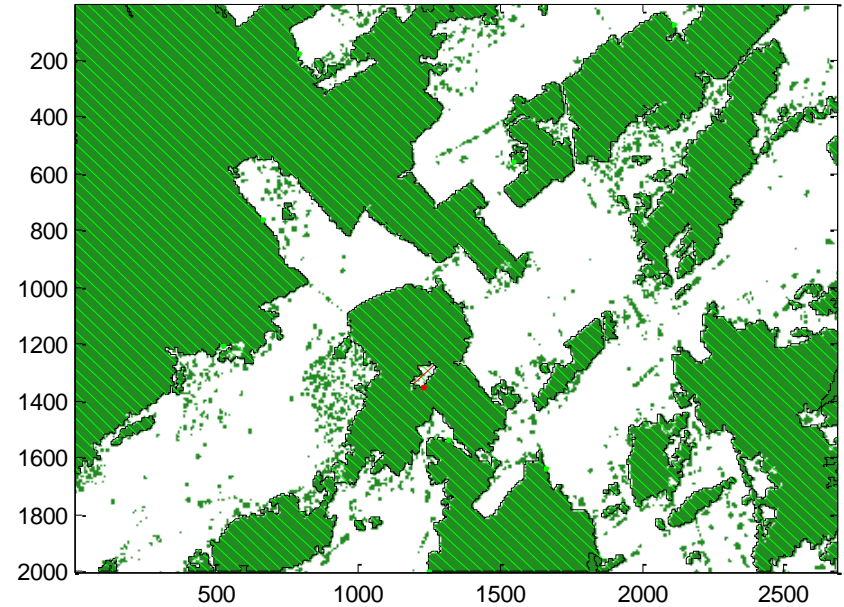


# Exemple: triangulation des cimes (d.r = 90 %)



tuile 1143-24 (2010), surface boisée: 275.8 ha (51.3 %)

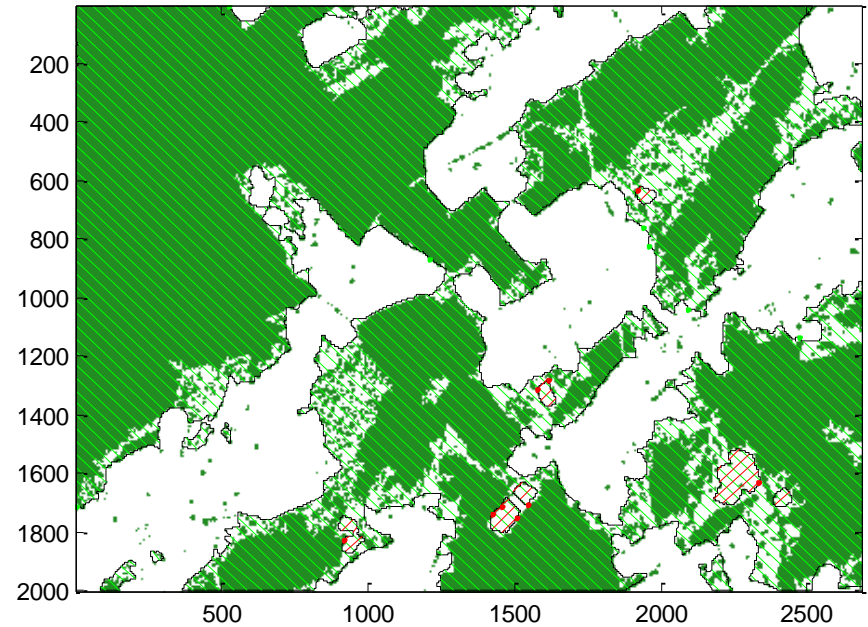
$H_{\min} = 2.0 \text{ m}$ ,  $DR = 0.9$ ,  $S_{\min, i} = 800.0 \text{ m}^2$ ,  $S_{\min, c} = 2500.0 \text{ m}^2$ ,  $L_{\min} = 12.0 \text{ m}$



# Exemple: triangulation des cimes (d.r = 30 %)

tuile 1143-24 (2010), surface boisée: 352.2 ha (65.5 %)

$H_{\min} = 2.0 \text{ m}$ ,  $DR = 0.3$ ,  $S_{\min, i} = 800.0 \text{ m}^2$ ,  $S_{\min, c} = 2500.0 \text{ m}^2$ ,  $L_{\min} = 12.0 \text{ m}$





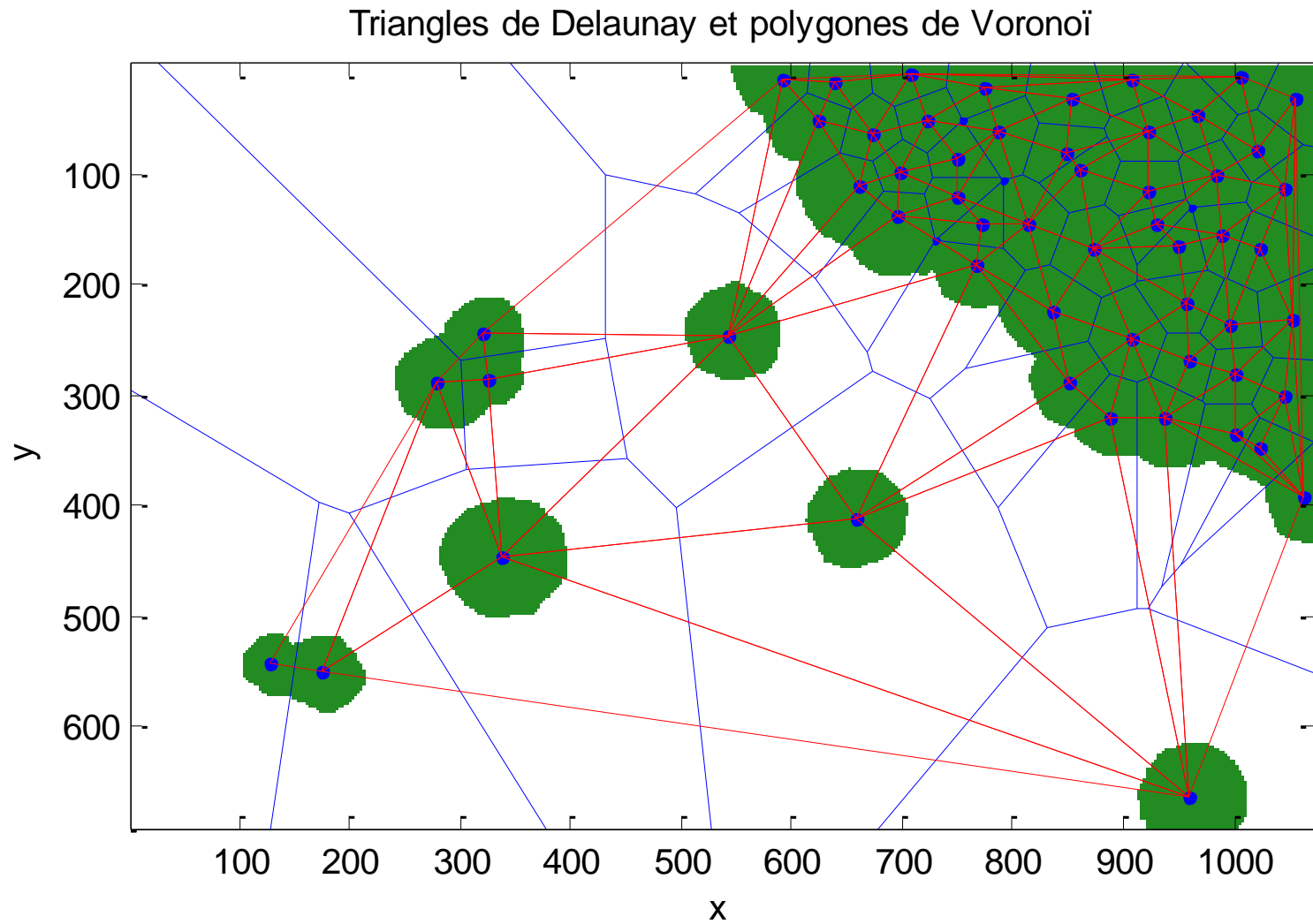
## **Inconvénients:**

- Il faut estimer la relation qui lie la hauteur de l'arbre au diamètre de sa couronne (allométrie)
- Temps de calcul long

## **Modification:**

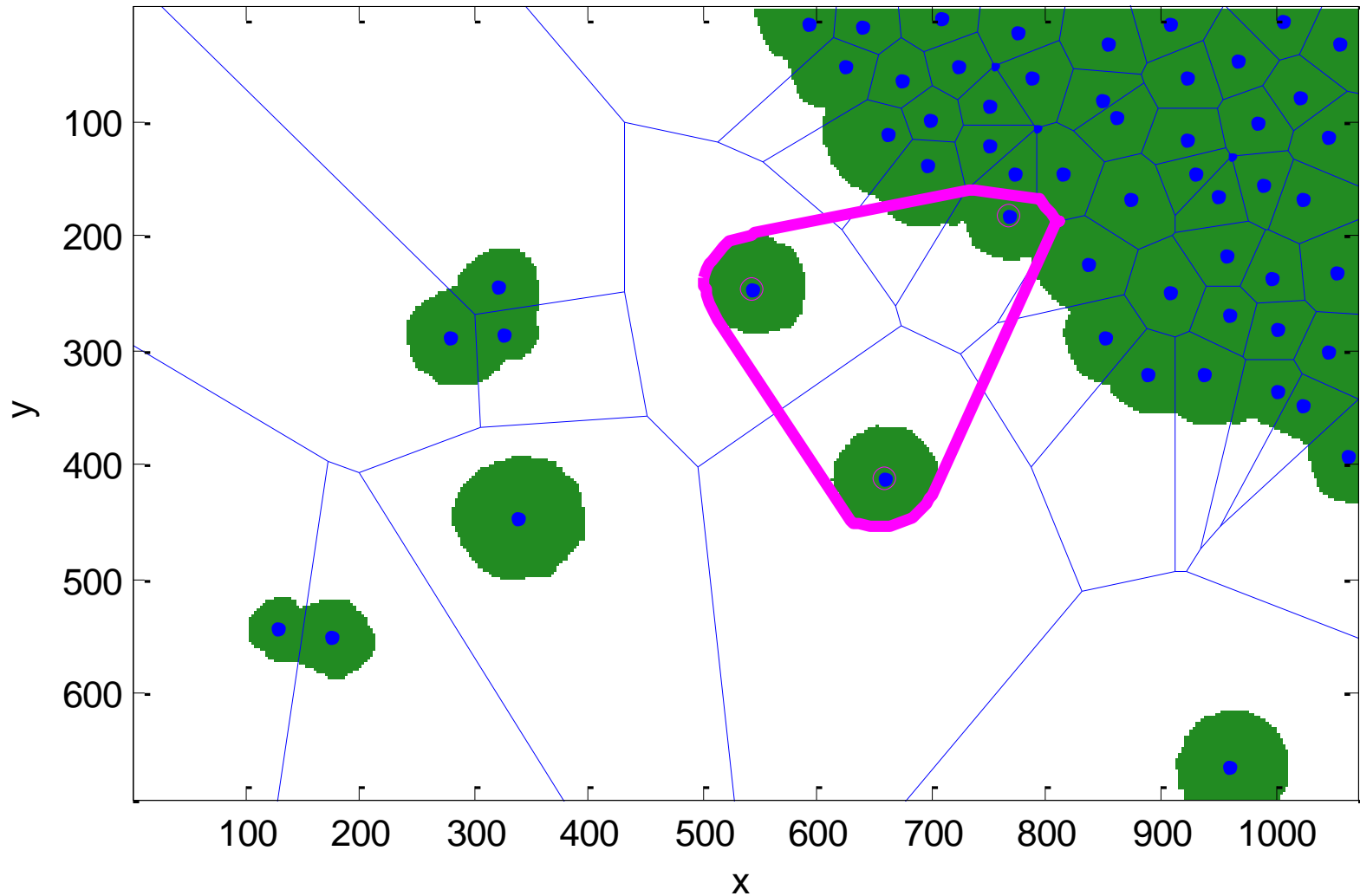
- Ne pas modéliser les couronnes, mais les extraire par polygones de Voronoi ou bassins versants

# Exemple: polygones de Voronoi



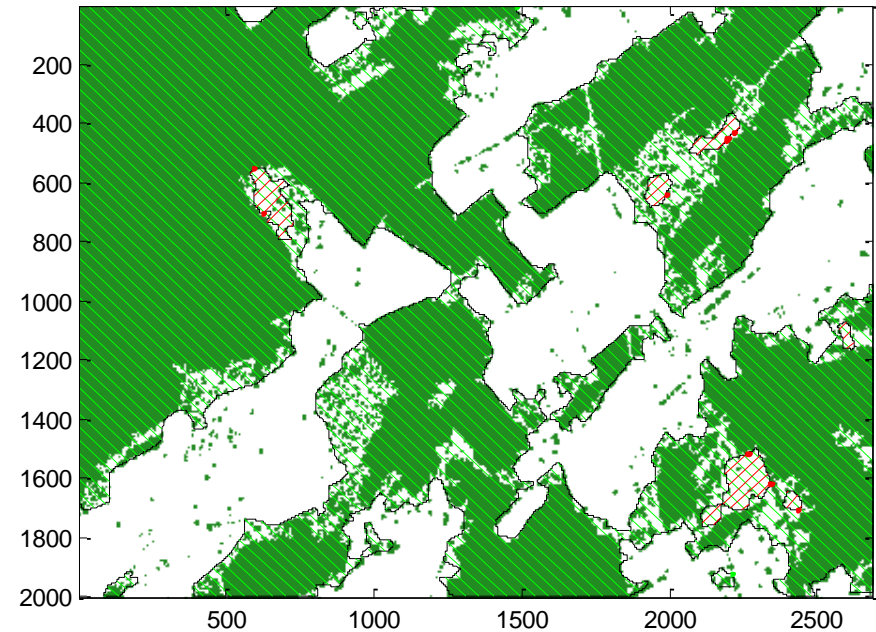
# Exemple: polygones de Voronoi

Surface couronnes: 16521.00, Surface enveloppe: 55099.00, Degré de recouvrement: 0.30



# Exemple: triangulation modifiée des cimes (d.r = 30 %)

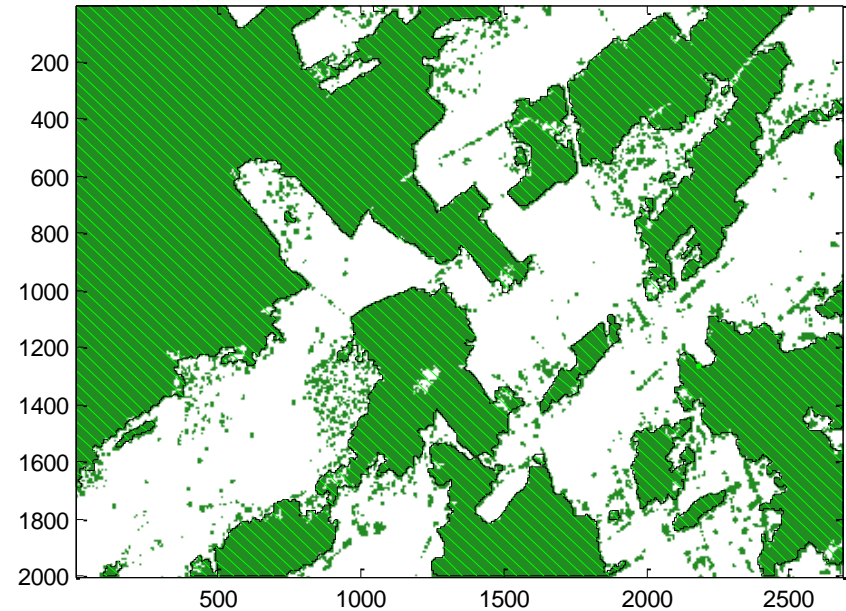
$h_{\min} = 2.0 \text{ m}$ ,  $DR = 0.3$ ,  $PV = 15$ ,  $S_{\min, i} = 800.0 \text{ m}^2$ ,  $S_{\min, c} = 2500.0 \text{ m}^2$ ,  $L_{\min} = 12.0 \text{ m}$



# Exemple: triangulation modifiée des cimes (d.r = 30 %)



$H_{\min} = 2.0 \text{ m}$ ,  $DR = 0.9$ ,  $PV = 15$ ,  $S_{\min, i} = 800.0 \text{ m}^2$ ,  $S_{\min, c} = 2500.0 \text{ m}^2$ ,  $L_{\min} = 12.0 \text{ m}$



# INCERTITUDES

## Sources:

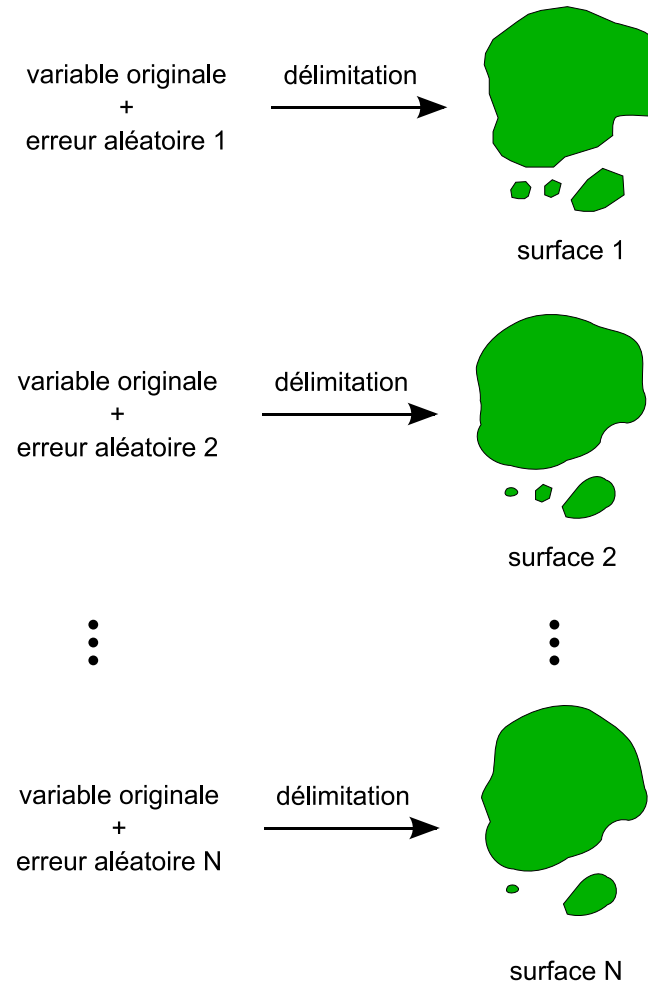
- Modèle numérique de canopée
- Seuil de hauteur
- Position des cimes
- Caractéristiques des couronnes



# Estimation de la sensibilité par simulations de Monte Carlo

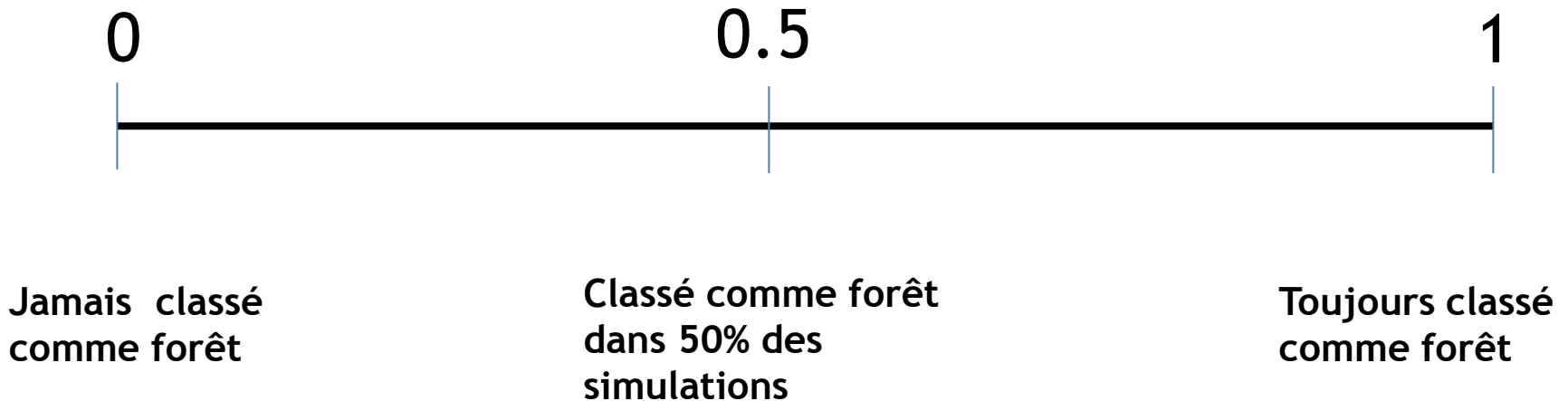
On répète la délimitation un grand nombre de fois en ajoutant à chaque fois une erreur aléatoire sur la hauteur et la position des cimes.

On moyenne ensuite les délimitations pour observer les zones sensibles

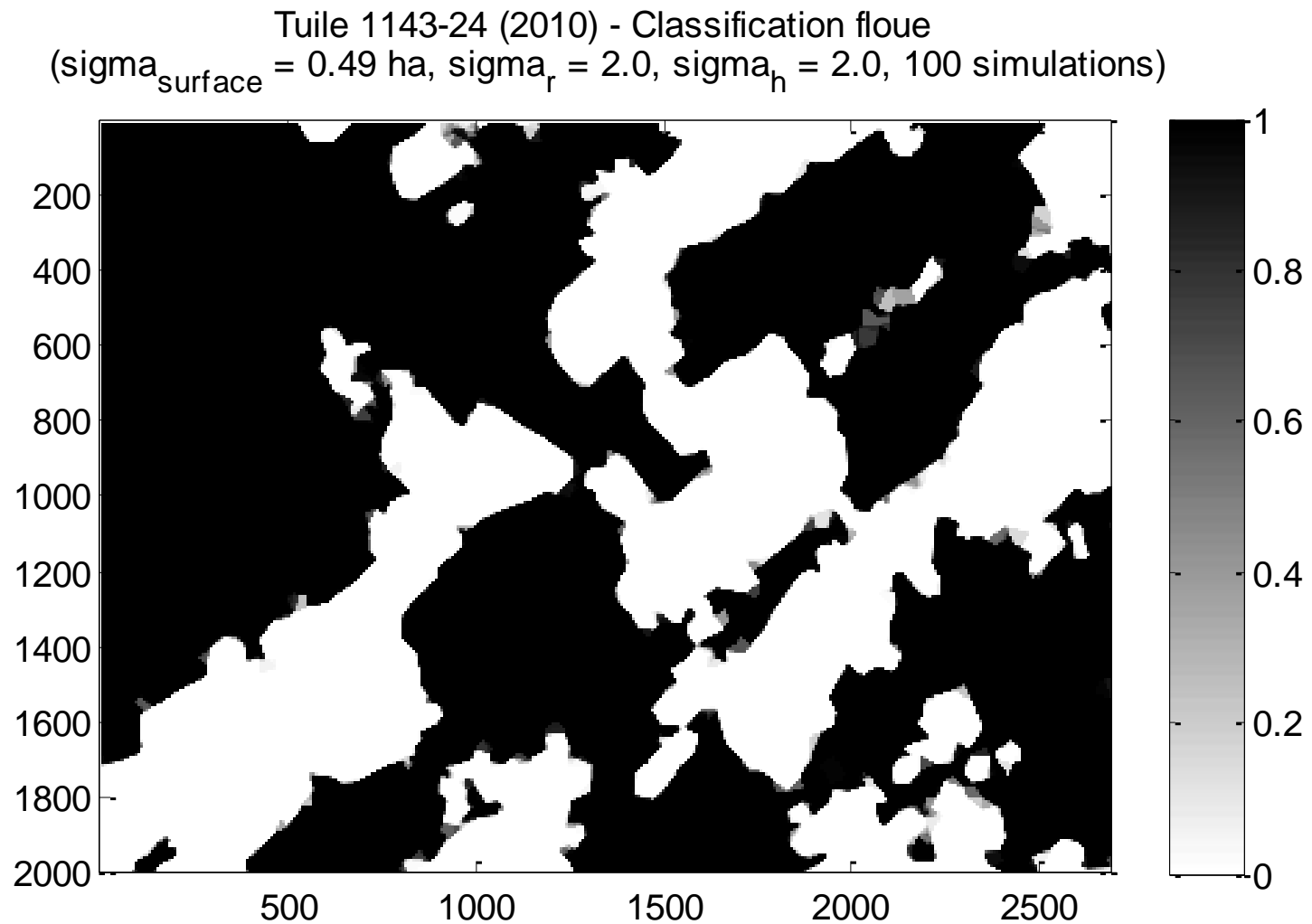


# Classification floue

En faisant la somme des différentes images binaires représentant la surface forestière et en divisant l'image résultante par le nombre de simulations effectuées, on obtient une image dont les valeurs (pixels) sont comprises entre 0 et 1.



# Exemple: classification floue



Erreur sur la surface en fonction des erreurs sur la position et la hauteur des cimes obtenue en effectuant 100 simulations pour la tuile 1143-24 (2010). Le seuil de degré de recouvrement est fixé à 30%.

		Erreur sur la position $\sigma_{P,MNC}$ [m]				
		<b>0</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
Erreur sur la hauteur $\sigma_{H,MNC}$ [m]	<b>0</b>	0 ha	0.25 ha	0.32 ha	0.46 ha	0.59 ha
	<b>0.5</b>	0.11 ha	0.25 ha	0.34 ha	0.41 ha	0.49 ha
	<b>1</b>	0.15 ha	0.24 ha	0.32 ha	0.42 ha	0.6 ha
	<b>2</b>	0.23 ha	0.33 ha	0.39 ha	0.49 ha	0.64 ha

Influence importante de la position des cimes (par effet de seuil)

## **2. ÉVALUATION ECOLOGIQUE DES LISIÈRES**

### **Objectif**

- Développer un outil d'aide à la décision pour la catégorisation du potentiel écologique des lisières forestières. La finalité est d'établir des sites prioritaires pour les interventions sylvicoles (e.g. revitalisation)

### **Principales difficultés**

- Extraire des descripteurs adéquats
- Récolter des exemples de lisières pour chaque catégorie
- Mise à jour de la catégorisation

# PUBLICATIONS PRINCIPALES

Plusieurs publications proposent des critères pour l'évaluation écologique des lisières, ainsi que des traitements sylvicoles appropriés pour encourager la biodiversité:

- Canton de Vaud, Service des forêts, de la faune et de la nature, *Directive RPT 2012-2015 Biodiversité en forêt, Annexe 4: Revitalisation des lisières forestières*, mars 2012.
- Rey, J., Canton de Fribourg, Service des Forêts et la Faune, *Création et entretien de lisières étagées: une mesure, 4 bénéficiaires*, décembre 2008.
- ProNatura, *Contributions à la protection de la nature en Suisse n°34 (2013), Valoriser les lisières de forêts - Guide Pratique*, 2013
- Schütz, M. et Krüsi M., Université des sciences appliquées de Zürich, Clé d'évaluation écologique des lisières
- Bolliger, M. (2009): *Waldrandpflege: Eine Chance für die Natur!* Milan, Mitteilungsblatt BirdLife Aargau, 4/2009.



# SOLUTION ETUDIÉE:

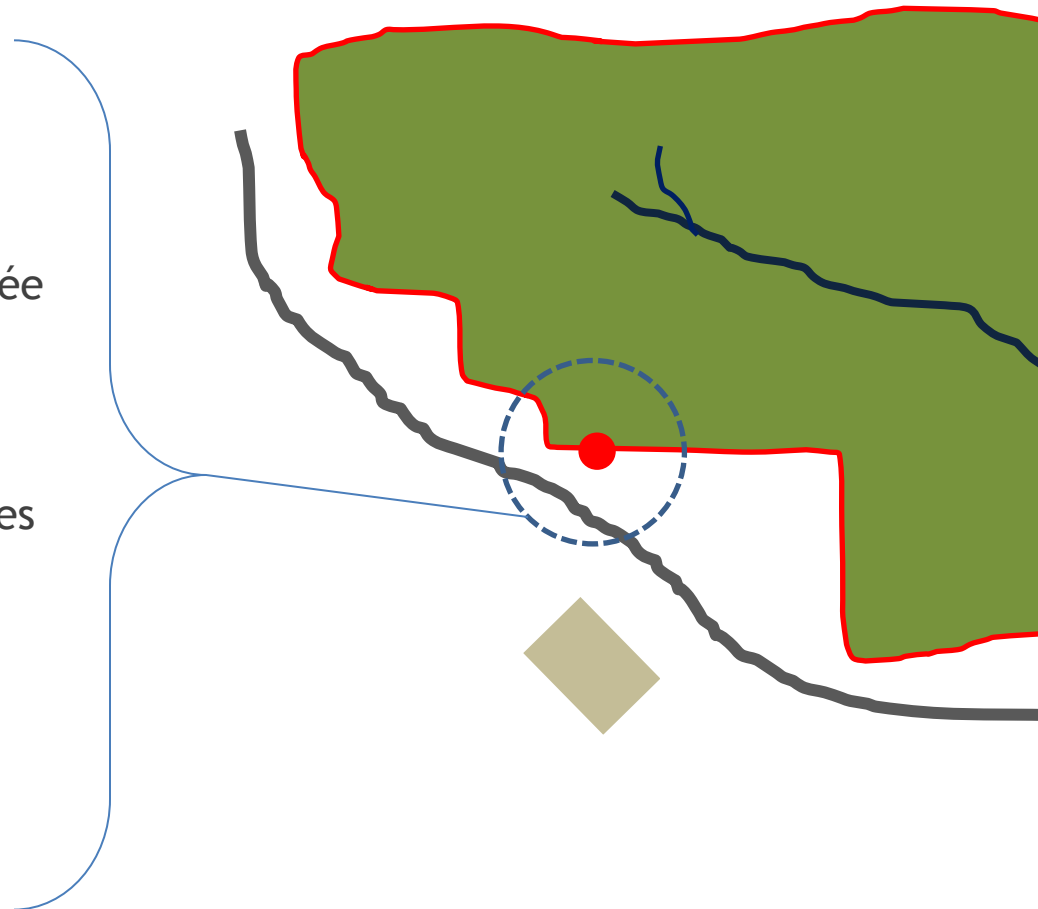
## APPRENTISSAGE SUPERVISÉ DU POTENTIEL ECOLOGIQUE DES LISIERES

- Pour chaque point situé sur la limite forestière, une série de descripteurs sont extraits à partir du modèle numérique de canopée (MNC) et de la couche VECTOR25.
- En parallèle, des lisières représentatives de chaque catégorie sont indiquées par les forestiers.
- Un algorithme d'apprentissage supervisé (SVM) apprend à catégoriser toutes les lisières à partir des exemples d'entraînement fournis par les forestiers

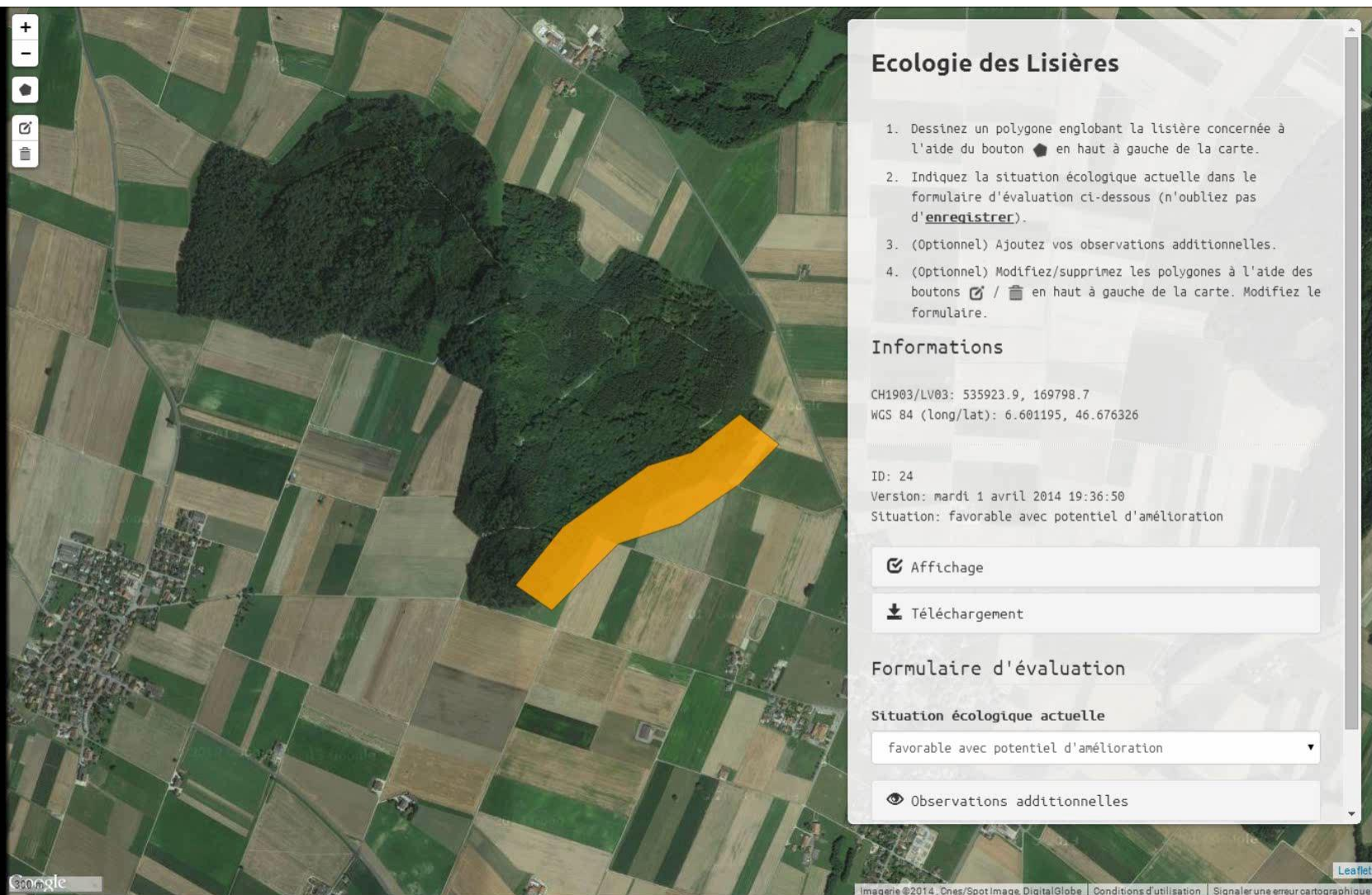
## CONSTRUCTION DES DESCRIPTEURS

Dans un rayon de 50 m autour de chaque pixel situé sur la limite forestière, calcul de descripteurs à partir du MNC:






- Orientation des lisières
- Pente moyenne du terrain
- Orientation moyenne du terrain
- Variations de hauteurs dans la canopée
- Sinuosité
- Ensoleillement
- Proximité de structures défavorisantes (e.g. routes, rails, constructions)
- Proximité de structures favorisantes (e.g. cours d'eau)



# ACQUISITION DES EXEMPLES D'ENTRAINEMENT VIA UNE INTERFACE WEB



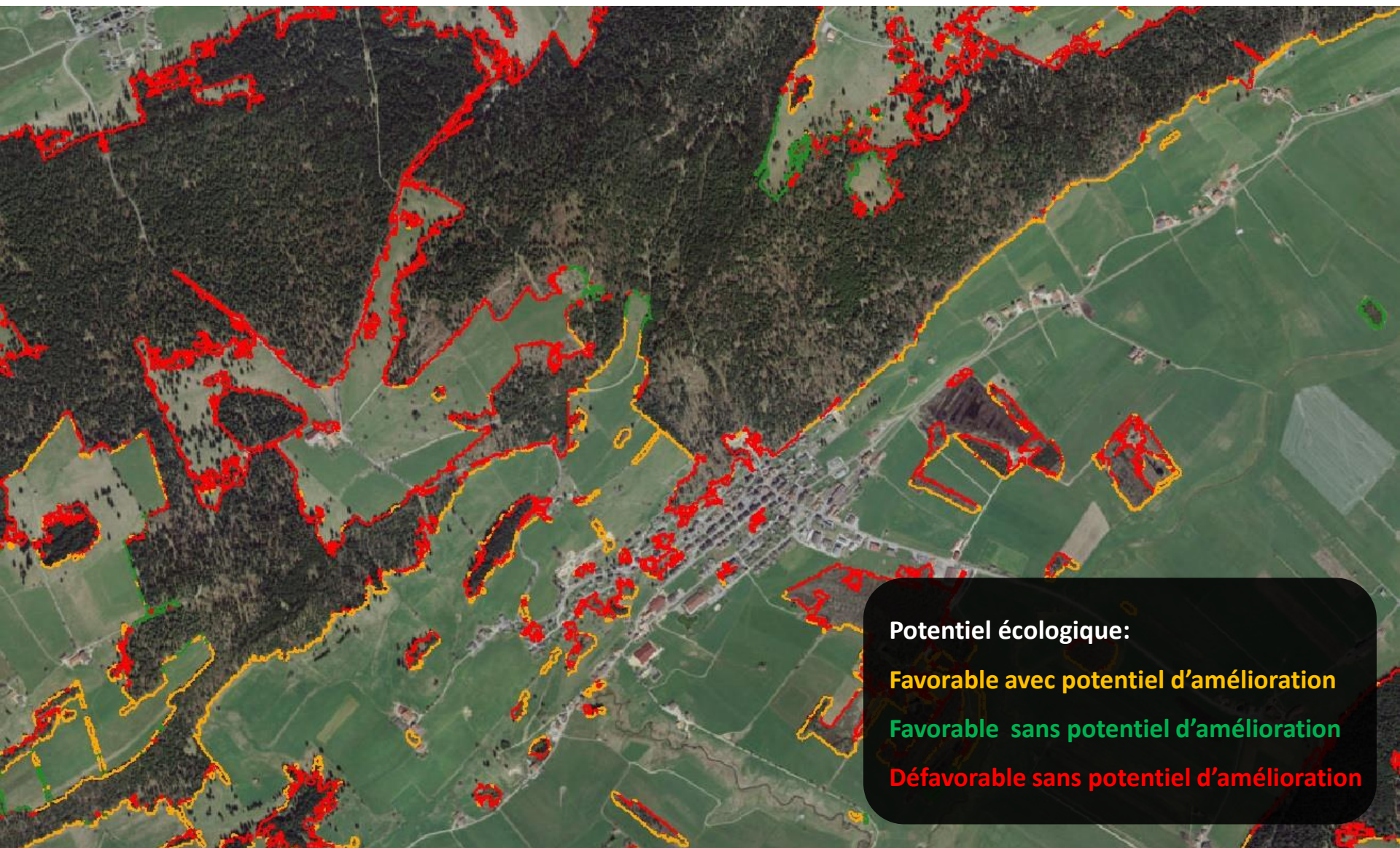
The screenshot displays a web application for 'Ecologie des Lisières'. The main area is a satellite map from Google with a yellow polygon drawn over a forested area. On the left, a vertical toolbar contains icons for zooming (+/-), home, editing (pencil), and deleting (trash). A sidebar on the right contains the following sections:

- Ecologie des Lisières**
  - 1. Dessinez un polygone englobant la lisière concernée à l'aide du bouton  en haut à gauche de la carte.
  - 2. Indiquez la situation écologique actuelle dans le formulaire d'évaluation ci-dessous (n'oubliez pas d'**enregistrer**).
  - 3. (Optionnel) Ajoutez vos observations additionnelles.
  - 4. (Optionnel) Modifiez/supprimez les polygones à l'aide des boutons  /  en haut à gauche de la carte. Modifiez le formulaire.
- Informations**
  - CH1903/LV03: 535923.9, 169798.7
  - WGS 84 (long/lat): 6.601195, 46.676326
  - ID: 24
  - Versión: mardi 1 avril 2014 19:36:50
  - Situation: favorable avec potentiel d'amélioration
- Formulaires**
  -  Affichage
  -  Téléchargement
- Formulaire d'évaluation**
  - Situation écologique actuelle**
    - favorable avec potentiel d'amélioration
  -  Observations additionnelles

At the bottom, there is a Google logo on the left and a footer with 'Imagerie ©2014, Ones/Spot Image, DigitalGlobe', 'Conditions d'utilisation', and 'Signaler une erreur cartographique' on the right, next to a Leaflet logo.



## RESULTAT: CLASSIFICATION DES LISIÈRES (NEUCHÂTEL)

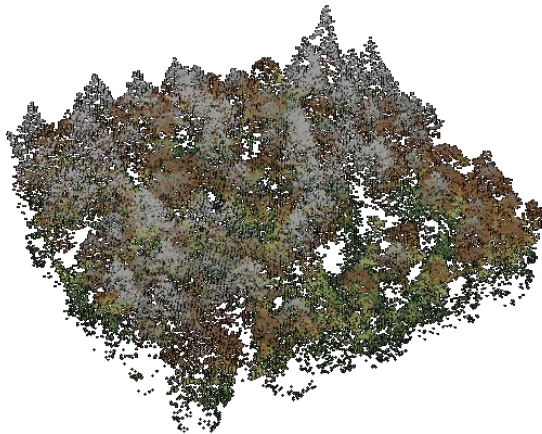


### 3. EXTRACTION DES ARBRES INDIVIDUELS

#### Objectif:

Isoler les arbres individuels à partir du nuage de points

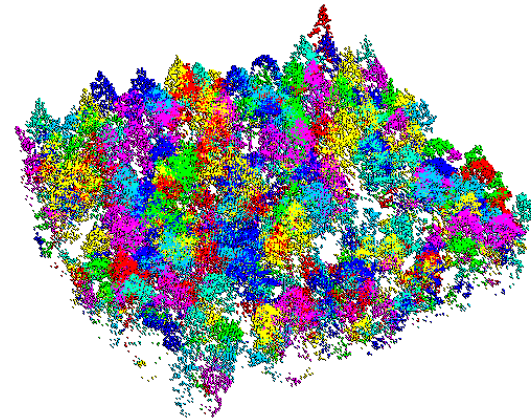
Nuage de points initial



Segmentation



Nuage de points segmenté



## Principales difficultés:



Intersection des couronnes



Géométries non-conventionnelles



Présence de sous-bois



Validation du résultat



# PUBLICATIONS PRINCIPALES

- Morsdorf et al. (2006) emploient un algorithme de clustering non-supervisé, le k-means, initialisé à partir des maxima locaux du MNC.
- Rahman et Gorte (2009) utilisent un indice de densité des point élevés pour détecter les centroïdes probables des arbres, puis appliquent l'algorithme Watershed (délimitation par bassins versants) localement pour extraire les couronnes.
- Tittmann et al. (2011) ajustent des paraboloïdes aux nuage de points à l'aide de l'algorithme RANSAC.
- Li et al. (2012) ont développé un algorithme simple qui agrège les points de haut en bas en fonction de critères de distance minimale aux aggrégats.

# SOLUTION ETUDIÉE:

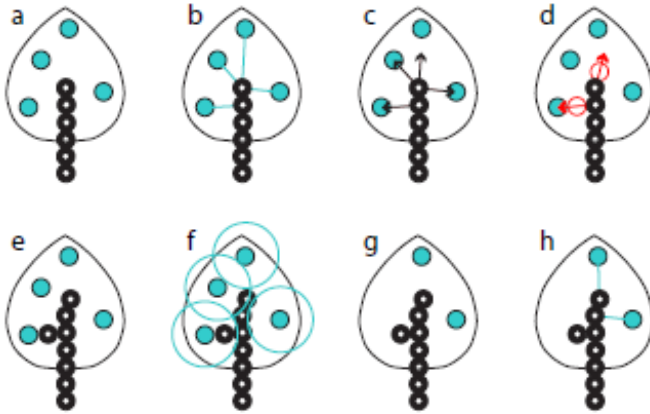
## ALGORITHME DE COLONISATION DE L'ESPACE (RUNIONS ET AL., 2007)

Méthode d'abord proposée en 2006 (Runions et al, 2006) pour la modélisation de la structure veineuse des feuilles, puis adaptée pour la modélisation des arbres en 2007. Le but recherché dans les deux publications est le réalisme graphique du résultat.



Exemples d'arbres générés avec l'algorithme de colonisation de l'espace  
(extrait de Runions et al, 2007)

# FONCTIONNEMENT



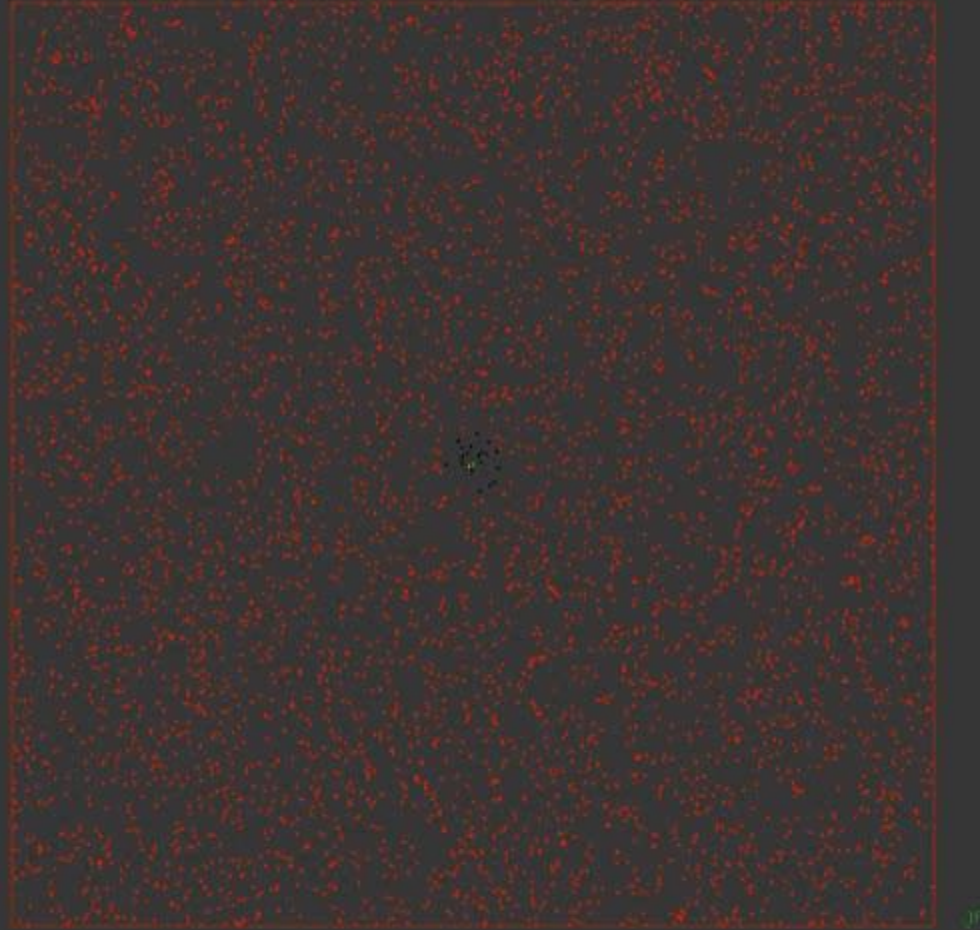
- Noeuds de colonisation
- Points attracteurs
- Nouveau noeuds de colonisation

## 3 paramètres à fixer:

- Rayon d'attraction
- Distance de propagation
- Rayon de suppression

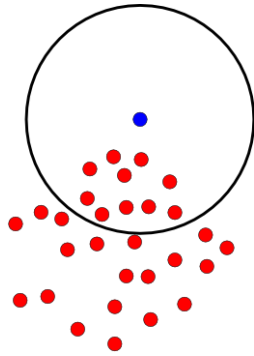
- a. Initialisation des noeuds de colonisation
  - b. Association des noeuds et points attracteurs dans un rayon d'attraction fixé
  - c. Calcul des vecteurs unitaires liant chaque noeud à ses points attracteurs dans un rayon d'attraction fixé
  - d. Pour chaque noeud, calcul de la somme des vecteurs unitaires associés et multiplication par une distance de propagation
  - e. Ajout de nouveaux noeuds à l'extrémité des vecteurs obtenus aux point d
  - f. Suppression des points attracteurs situés dans un rayon fixé autour des noeuds de colonisation
  - g. Réinitialisation des noeuds de colonisation
  - h. Association des noeuds et points attracteurs dans un rayon d'attraction fixé
- Itération jusqu'à épuisement de l'espace**

## EXEMPLE DE COLONISATION DE L'ESPACE EN 2D (GEOFFREY PONS)

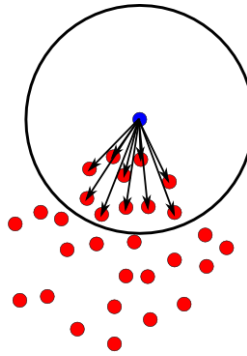


# UTILISATION POUR LA SEGMENTATION

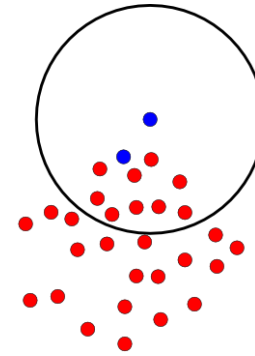
Dans le cas où le nuage de points représente plusieurs arbres (e.g. une forêt), les noeuds de colonisation initiaux doivent être initialisés individuellement pour chaque arbre. Pour ce faire, on commence par déterminer les sommets probables des arbres:



Nombre de points situés dans le rayon de recherche  $> 5$   
et proportion de points situés en dessous du point cible  $> 95\%$

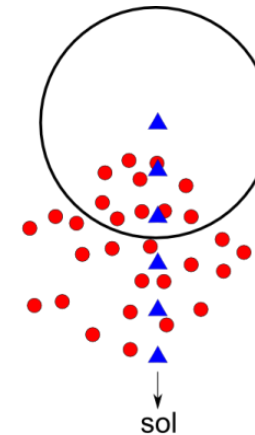


Composante vertical de la moyenne des  
vecteurs reliant le point cible aux autres points  
dans le rayon de recherche



Distance séparatrice horizontale entre  
cimes potentielles  $>$  seuil  $f(\text{hauteur})$

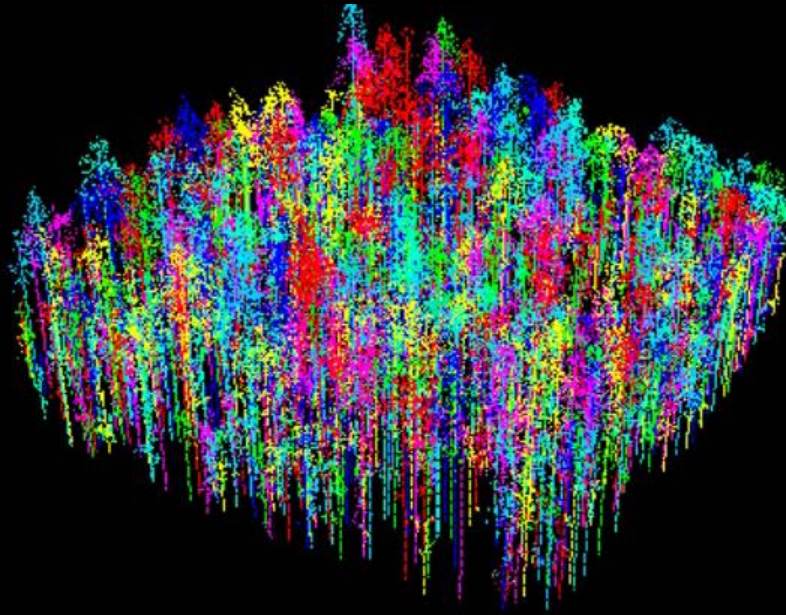
A partir de ces sommets probables, on place des noeuds de colonisation à intervalles réguliers (e.g. 50 cm) sur l'axe vertical reliant le sommet au sol (i.e. tronc).



Positionnement des noeuds de colonisation initiaux  
à partir de la cime

RESULTAT PRÉLIMINAIRES:

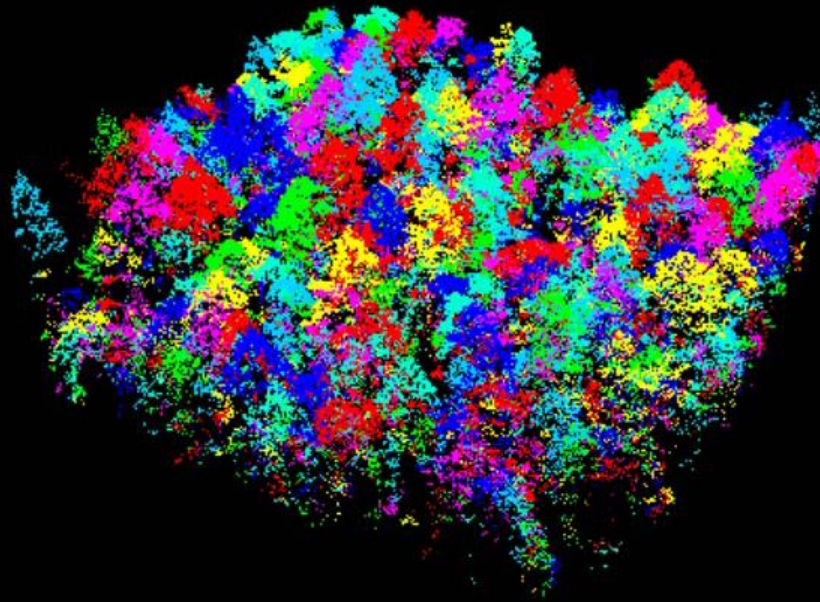
MARTELOSCOPE BY20 (NEUCHÂTEL) - NOEUDS DE COLONISATION





RESULTAT PRÉLIMINAIRES:

MARTELOSCOPE BY20 (NEUCHÂTEL) - POINTS LIDAR



## VALIDATION ET EXPLOITATION DU RESULTAT

- Association des positions d'arbres inventoriés pour les marteloscopes avec les centroïdes des arbres segmentés.
- Développement d'un jeu de données simulé
- Le résultat de la segmentation peut être utilisé pour calculer divers descripteurs (e.g. diamètre et volume de la couronne, hauteur du barycentre, indices de forme, etc...)

# RÉFÉRENCES (1)

Tittmann, Peter, Sohail Shafii, Bruce Hartsough, and Bernd Hamann. "Tree Detection and Delineation from LiDAR Point Clouds Using RANSAC." Accessed April 30, 2014.

Rahman, M. Z. A., and B. G. H. Gorte. "Tree Crown Delineation from High Resolution Airborne Lidar Based on Densities of High Points." *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci XXXVIII Part 3* (2009): W8.

Li, Wenkai, Qinghua Guo, Marek K. Jakubowski, and Maggi Kelly. "A New Method for Segmenting Individual Trees from the Lidar Point Cloud." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 78, no. 1 (2012): 75-84.

Morsdorf, Felix, Erich Meier, Benjamin Kötz, Klaus I. Itten, Matthias Dobbertin, and Britta Allgöwer. "LIDAR-Based Geometric Reconstruction of Boreal Type Forest Stands at Single Tree Level for Forest and Wildland Fire Management." *Remote Sensing of Environment* 92, no. 3 (August 30, 2004): 353-62. doi:10.1016/j.rse.2004.05.013.

Magdon, Paul, and Christoph Kleinn. "Uncertainties of Forest Area Estimates Caused by the Minimum Crown Cover Criterion." *Environmental Monitoring and Assessment* 185, no. 6 (June 1, 2013): 5345-60. doi:10.1007/s10661-012-2950-0.

Eysn, Lothar, Markus Hollaus, Klemens Schadauer, and Norbert Pfeifer. "Forest Delineation Based on Airborne LIDAR Data." *Remote Sensing* 4, no. 12 (March 20, 2012): 762-83. doi:10.3390/rs4030762.

Kleinn, Christoph. "A Cautionary Note on the Minimum Crown Cover Criterion in Forest Definitions." *Canadian Journal of Forest Research* 31, no. 2 (February 1, 2001): 350-56. doi:10.1139/x00-154.

Kwak, Doo-Ahn, Woo-Kyun Lee, Jun-Hak Lee, Greg S. Biging, and Peng Gong. "Detection of Individual Trees and Estimation of Tree Height Using LiDAR Data." *Journal of Forest Research* 12, no. 6 (December 1, 2007): 425-34. doi:10.1007/s10310-007-0041-9.

Kwak, Doo-Ahn, Woo-Kyun Lee, and Jun-Hak Lee. "Predicting Forest Stand Characteristics with Detection of Individual Tree." In *Proceedings of the MAPPS/ASPRS 2006 Fall Conference*, 2006.

# RÉFÉRENCES (2)

Canton de Vaud, Service des forêts, de la faune et de la nature, *Directive RPT 2012-2015 Biodiversité en forêt, Annexe 4: Revitalisation des lisières forestières*, mars 2012.

Rey, J., Canton de Fribourg, Service des Forêts et la Faune, *Création et entretien de lisières étagées: une mesure, 4 bénéficiaires*, décembre 2008.

ProNatura, *Contributions à la protection de la nature en Suisse n°34 (2013), Valoriser les lisières de forêts - Guide Pratique*, 2013

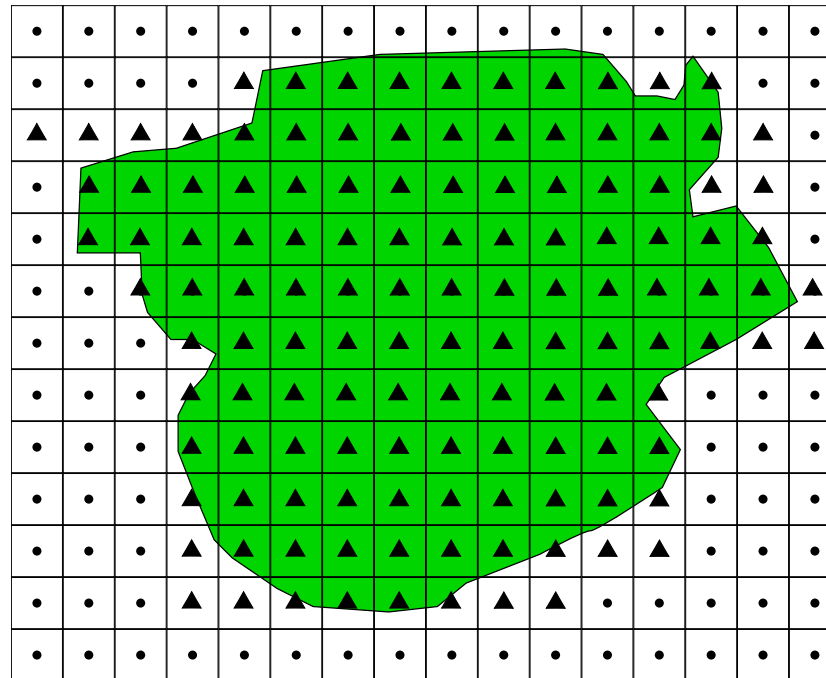
Schütz, M. et Krüsi M., Université des sciences appliquées de Zürich, *Clé d'évaluation écologique des lisières*

Bolliger, M. (2009): *Waldrandpflege: Eine Chance für die Natur!* Milan, Mitteilungsblatt BirdLife Aargau, 4/2009.

# Validation:

## Comparaison à la statistique suisse de superficie

## Comparaison à la statistique suisse de superficie



▲ Surfaces boisées selon la statistique de superficie

• Autres surfaces selon la statistique de superficie

Surfaces boisées délimitées automatiquement