

Extraction de mesures forestières de façon rétrospective à partir des données Lidar aéroporté

Lacina Coulibaly, Ph.D.

Andréana Paola M.B., Ms.



UNIVERSITÉ DE MONCTON
CAMPUS D'EDMUNDSTON

Faculté de foresterie

Eastern
CANUSA
Forest
Science
Conference



Octobre 2010
Université de Moncton,
Campus d'Edmundston
Edmundston, N.-B.

Congrès
ECANUSA
sur les
sciences
forestières



Plan de l'exposé

- Contexte et problématique
- Objectifs
- Zone d'étude
- Données d'inventaires de terrain
- Données Lidar
- Données d'images aériennes (Orthophotos)
- Méthodologie
- Résultats et discussion
- Conclusion



Contexte et problématique

- Avantages de la forêt :
 - Socioculturel : habitat, tourisme, ...
 - Économique : industries forestière et pharmaceutique, PFNL, ...
 - Environnemental : stock de carbone, lutte contre le réchauffement climatique, ...
- Mobilisation de la communauté internationale pour pérenniser cette ressource afin qu'elle continue à offrir ses multiples avantages
- Aménagement durable des forêts / connaissance de la ressource
- Mise à jour des programmes d'inventaires forestiers



Contexte et problématique

- L'acquisition des paramètres dendrométriques à l'aide des méthodes conventionnelles : fastidieuse, très coûteuse, très longue périodicité des mises à jour.
- Télédétection, un outil adéquat aux multiples avantages :
 - Extraction automatique des paramètres
 - Couverture de grandes étendues de territoire et des zones inaccessibles
 - Acquisition d'informations pertinentes (caractéristiques du couvert végétal, du sol, de la topographie, ...)
 - Brefs délais d'acquisition des informations
 - Suivi de l'état de la végétation en temps réel, etc.



Contexte et problématique

- Mode d'acquisition varié : images optiques, Radar et Lidar
- L'analyse des images optiques ne fournit pas directement d'information sur la hauteur des arbres.
- Les données Lidar ne permettent pas d'identifier les types d'espèce d'arbres.



Contexte et problématique

- Images optiques : mieux adaptées pour extraire les informations basées sur la distribution horizontale de la structure des objets étudiés
- Données Lidar : meilleure prise en compte de la tridimensionnalité de la structure du couvert forestier
- Combinaison Lidar + image optique : optimiser la caractérisation de la forêt



Objectifs principaux de l'étude

- Extraire les paramètres dendrométriques à partir des données Lidar aéroporté à petite empreinte ;
- Combiner les données Lidar avec les images optiques afin d'extraire les mesures forestières sur de grands territoires.



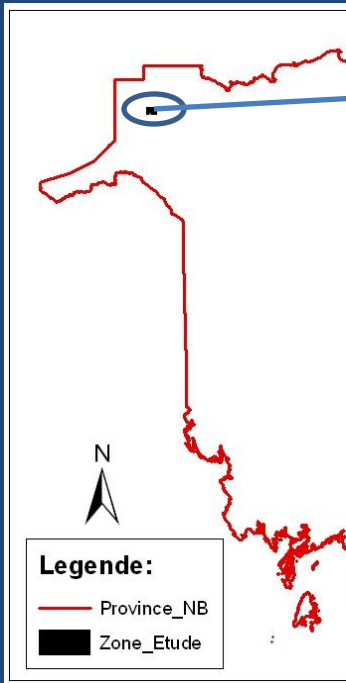
Objectifs secondaires

- Extraire la hauteur et le diamètre de couronne des arbres à partir des données Lidar
- Estimer le DHP à partir de la hauteur extraite par Lidar
- Extraire les espèces forestières à partir des photographies aériennes (orthophotos)
- Établir une relation entre le paramètre hauteur et les valeurs radiométriques de l'orthophotos
- Extrapoler les hauteurs et les DHP sur le reste de l'image, externe à la zone couverte par le Lidar

Zone d'étude : Rivière verte



Photographie aérienne 2000



Légende:

- Province_NB
- Zone_Etude



avec trois visible à (altitude N.)

3 000 Meters

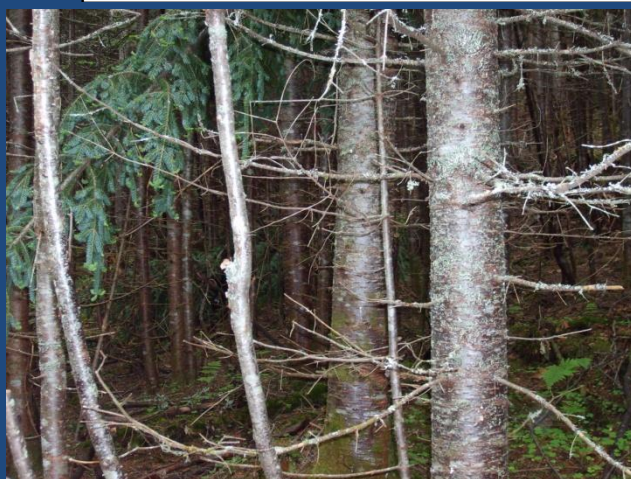
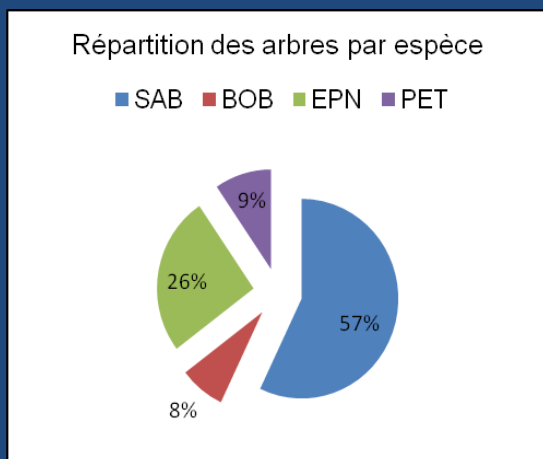
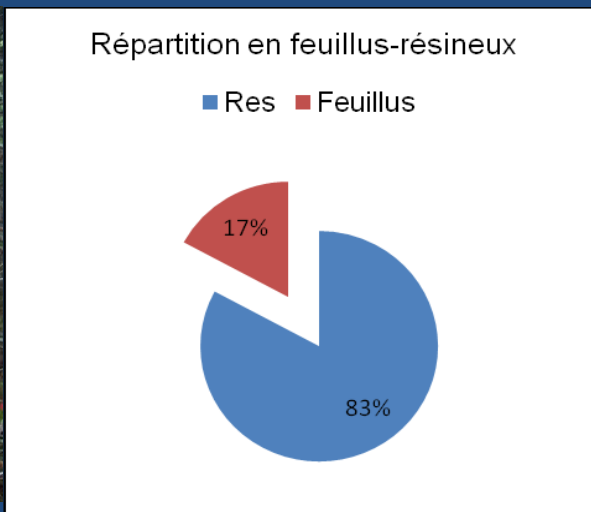
u Lidar

00 : SNB 2009

- Légende :**
- bop = bouleau blanc
 - cep = cerisier de P
 - epb = épinette blanche
 - sab = sapin baumier
- Hauteur moy :
 - Dhp moy : 15

Données d'inventaire de terrain 2008

Zone Lidar : 17 Placettes dont 13 de conifères (résineux) et 4 de feuillus



- Placette à rayon fixe : 11,28 m
- Essence
- Hauteur totale
- DHP (≥ 9 cm)
- Diamètre de couronne
- Coordonnées GPS
- Fermeture du couvert
- L'âge
- Point de prisme

Légende :

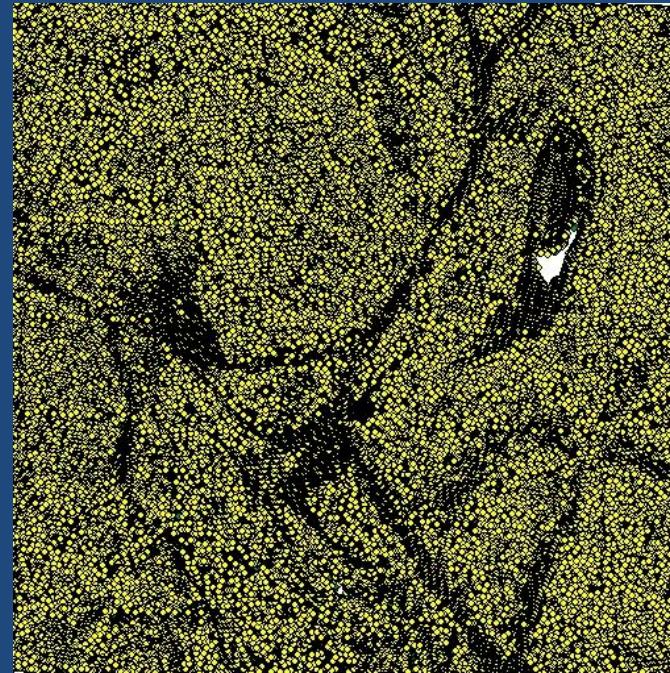
SAB = sapin baumier; BOB = bouleau blanc;

EPN = épinette (blanche et noire); PET= peuplier faux tremble

Description des données Lidar

- Acquisition: 26 août 2000
- Altitude : 700 m
- Vitesse : 60 m/s.
- Fréquence : 20 000 impulsions laser / s
- Enregistrement : premier et dernier retours; et intensité
- Recouvrement : 50%
- Espacement moyen : 0,75 m et 3,6 m
- Densité des points : 1,11 et 0,27pt/m²

St-Onge et al. 2004



Superficie : 700 m x 700 m, soit 49 ha.



Méthodologie

Traitement des données de terrain

Traitement des données Lidar

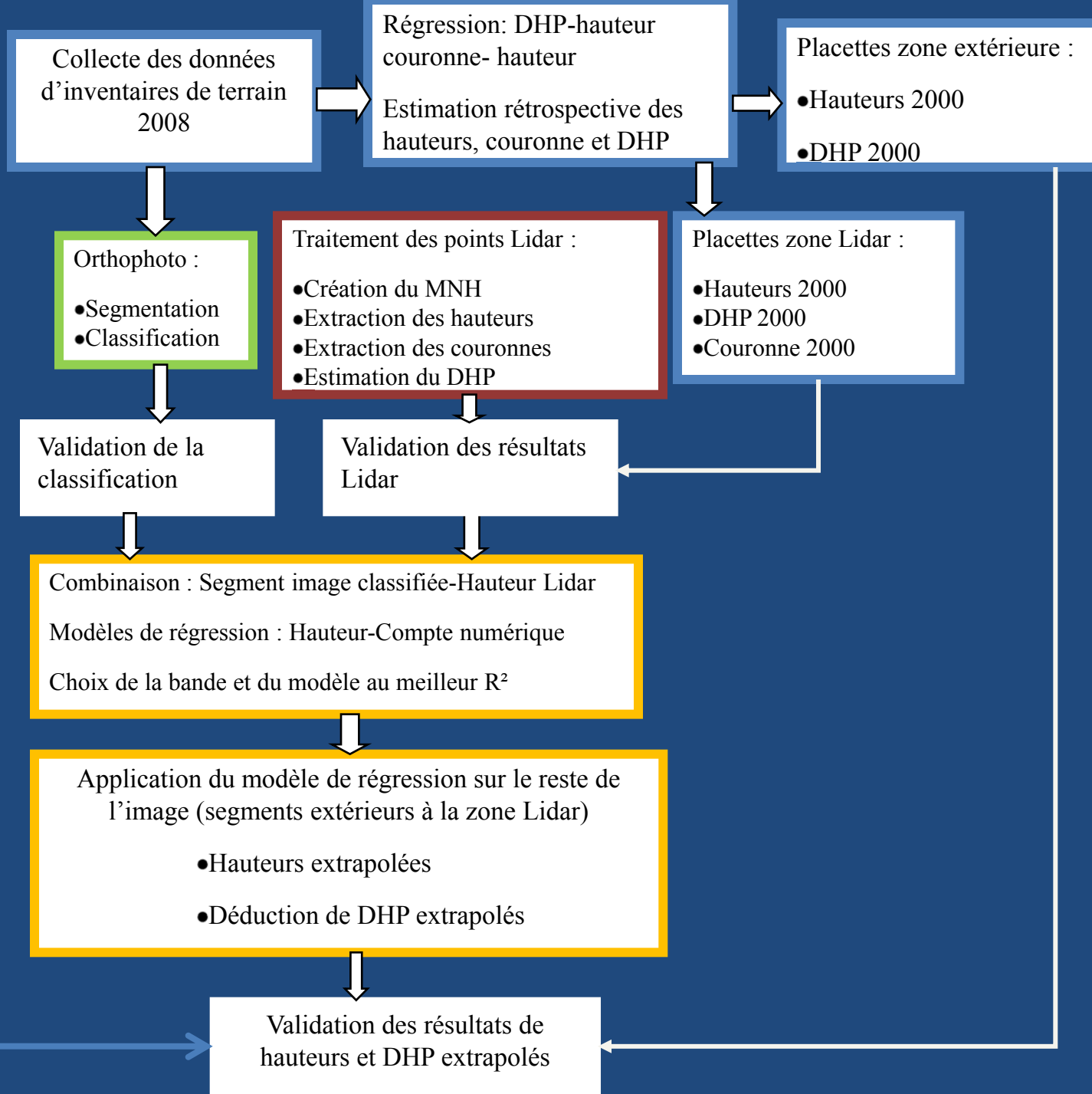
Traitement d'images : orthophoto

Combinaison des deux sources de données

Validation des résultats



Oganigramme méthodologique



Méthodologie : Traitement des données de terrain

Données d'inventaires de terrain 2008

Estimation rétrospective de la hauteur 2000

Courbes d'indice de station (Zelazny et al. 1991)

Tableaux de prédiction de hauteur (Roy, 1996)

$$H = 1,3 + (S - 1,3) [1 - \exp(-b_2 * 50)]^{-b_3 S^{b_4}} * [1 - \exp(-b_2 * A)]^{b_3 S^{b_4}}$$

Équations d'indice de station polymorphiques de Ker et Bowling (1991)

H = hauteur totale de l'arbre

S = indice de station (site index en anglais)

A = âge à hauteur de poitrine (1,3 m) en années

b2, b3 et b4 sont des coefficients de régression

- Estimation du DHP 2000
- Estimation Diamètre couronne 2000

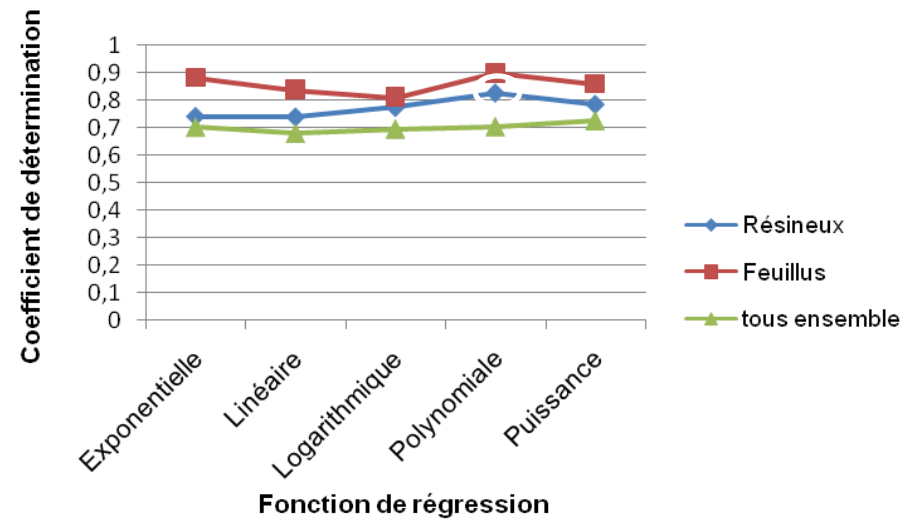
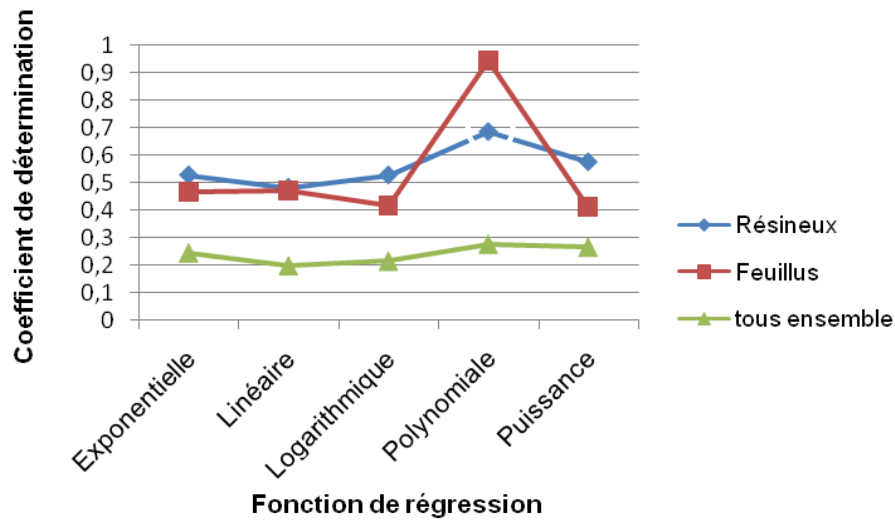
Choix des placettes de conifères : résineux au détriment des feuillus

Méthodologie : Traitement des données de terrain

Equations de régression : couronne / hauteur et DHP / hauteur

Diamètre de couronne : résineux : $R^2 = 0,68$

DHP : résineux : $R^2 = 0,82$

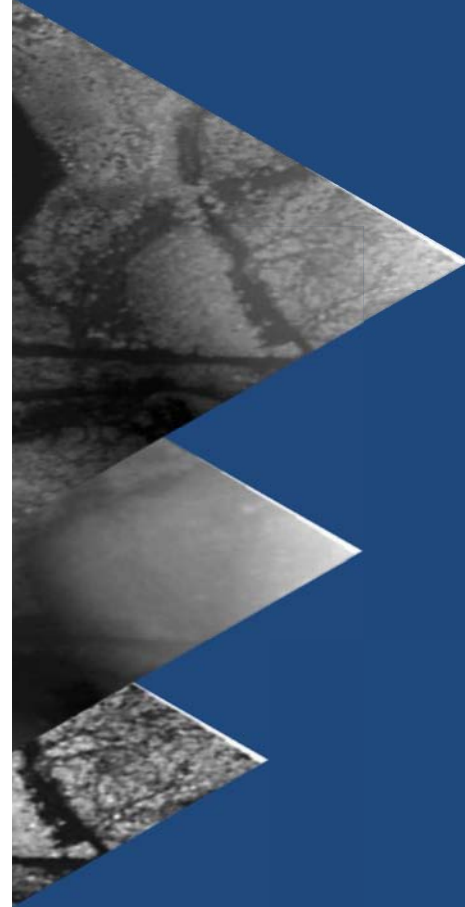
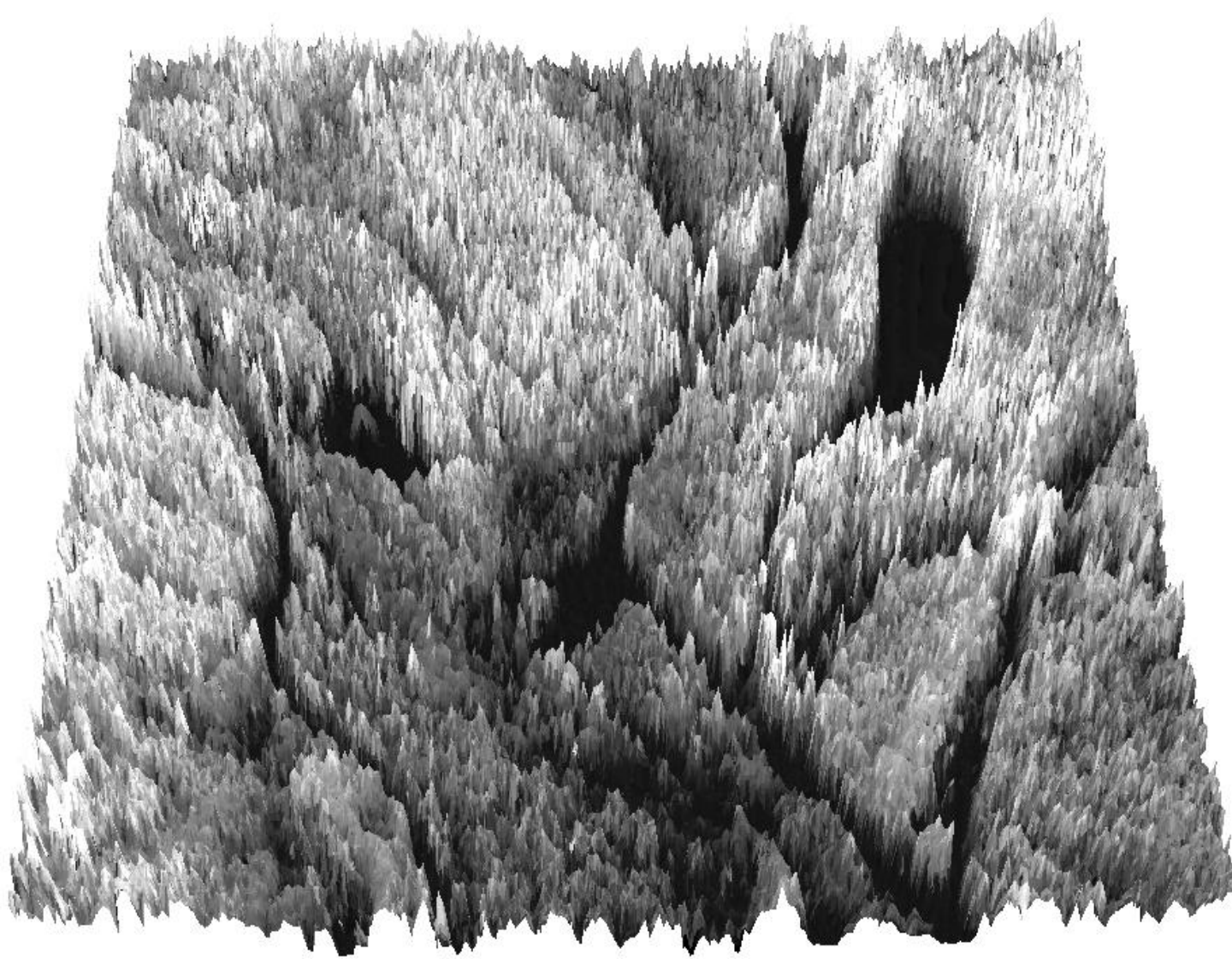


$$\text{Diamètre de couronne} = -0,0408 \times \text{Hauteur}^2 + 1,2997 \times \text{Hauteur} - 7,2297$$

$$\text{DHP} = -0,2231 \times \text{Hauteur}^2 + 7,7871 \times \text{Hauteur} - 43,93$$

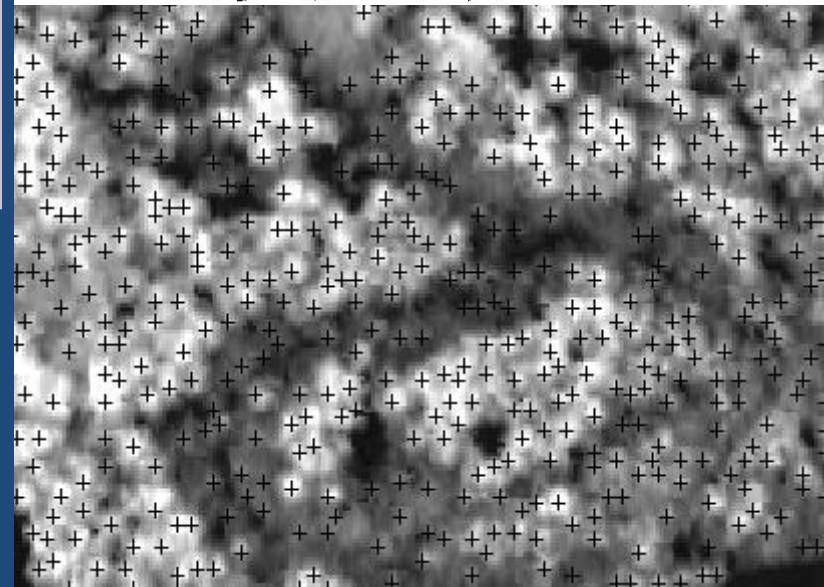
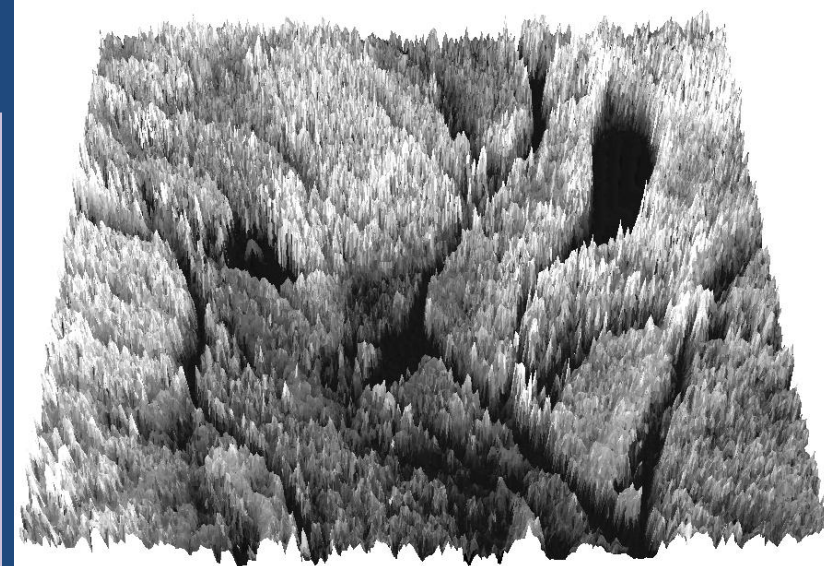
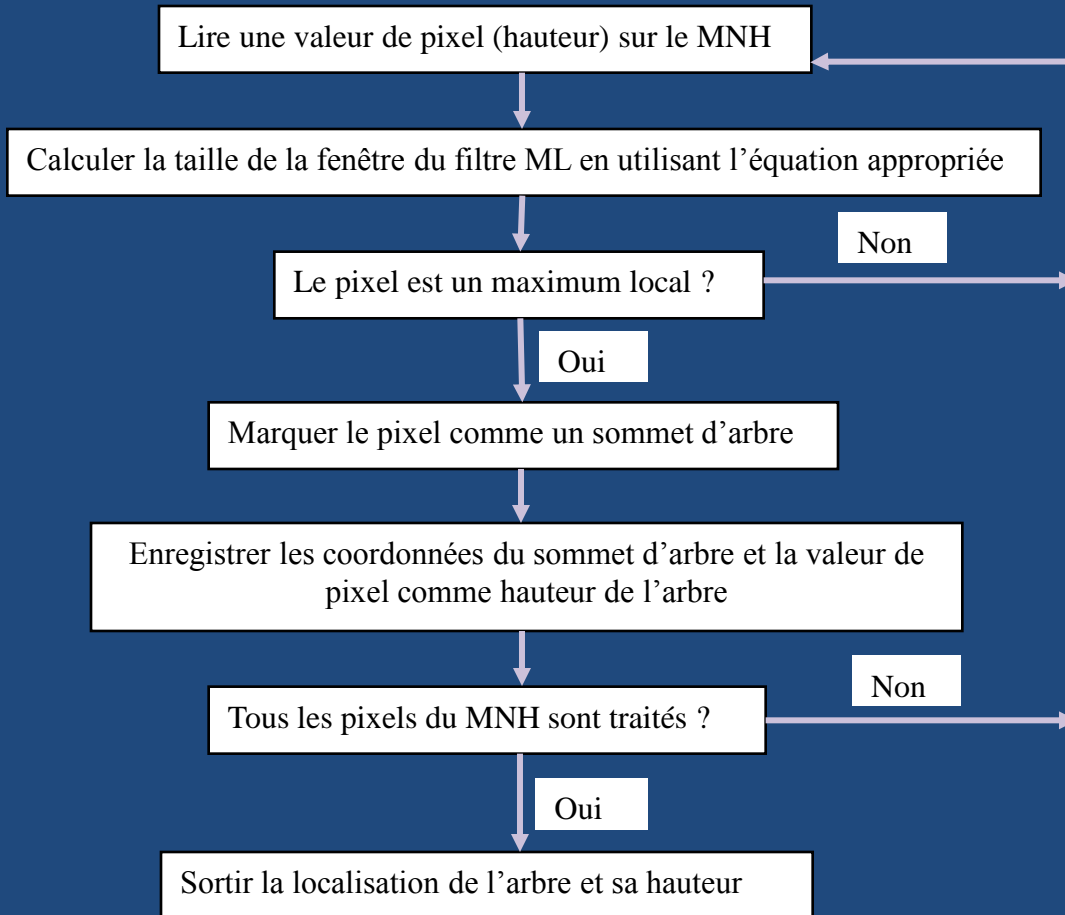
Méthodologie : Traitement des données Lidar

Création du MNH : (interpolation des points par TIN, rasterisation,



Méthodologie : Traitement des données Lidar

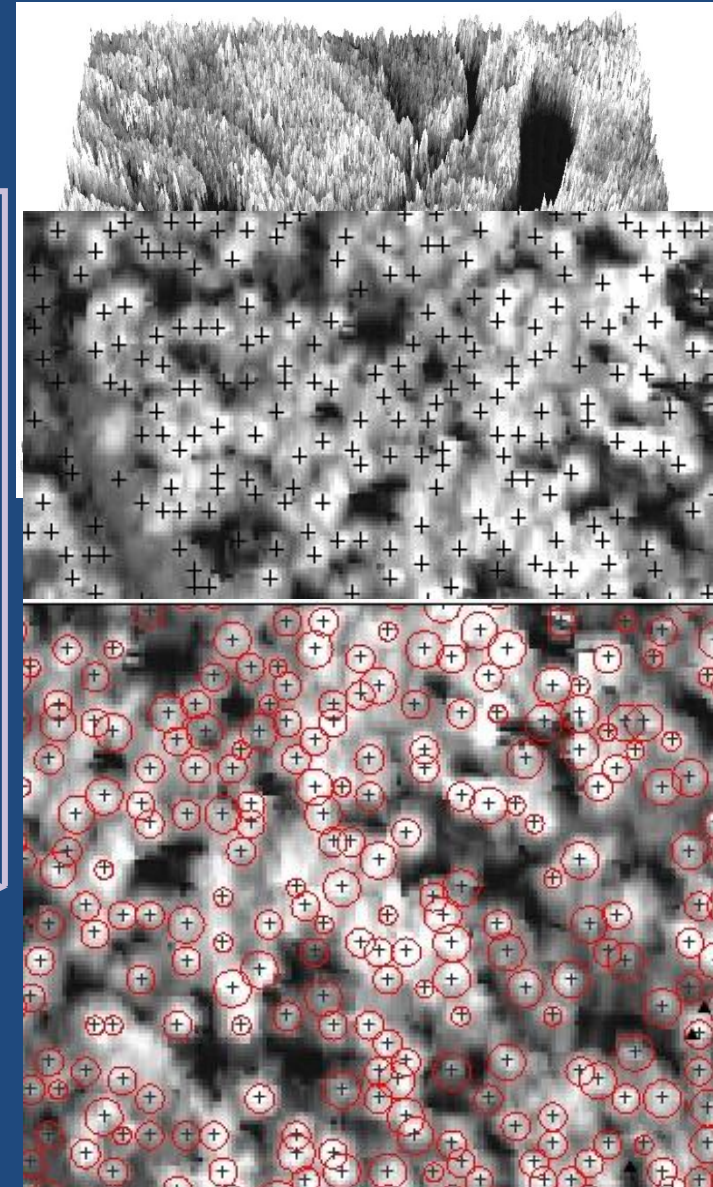
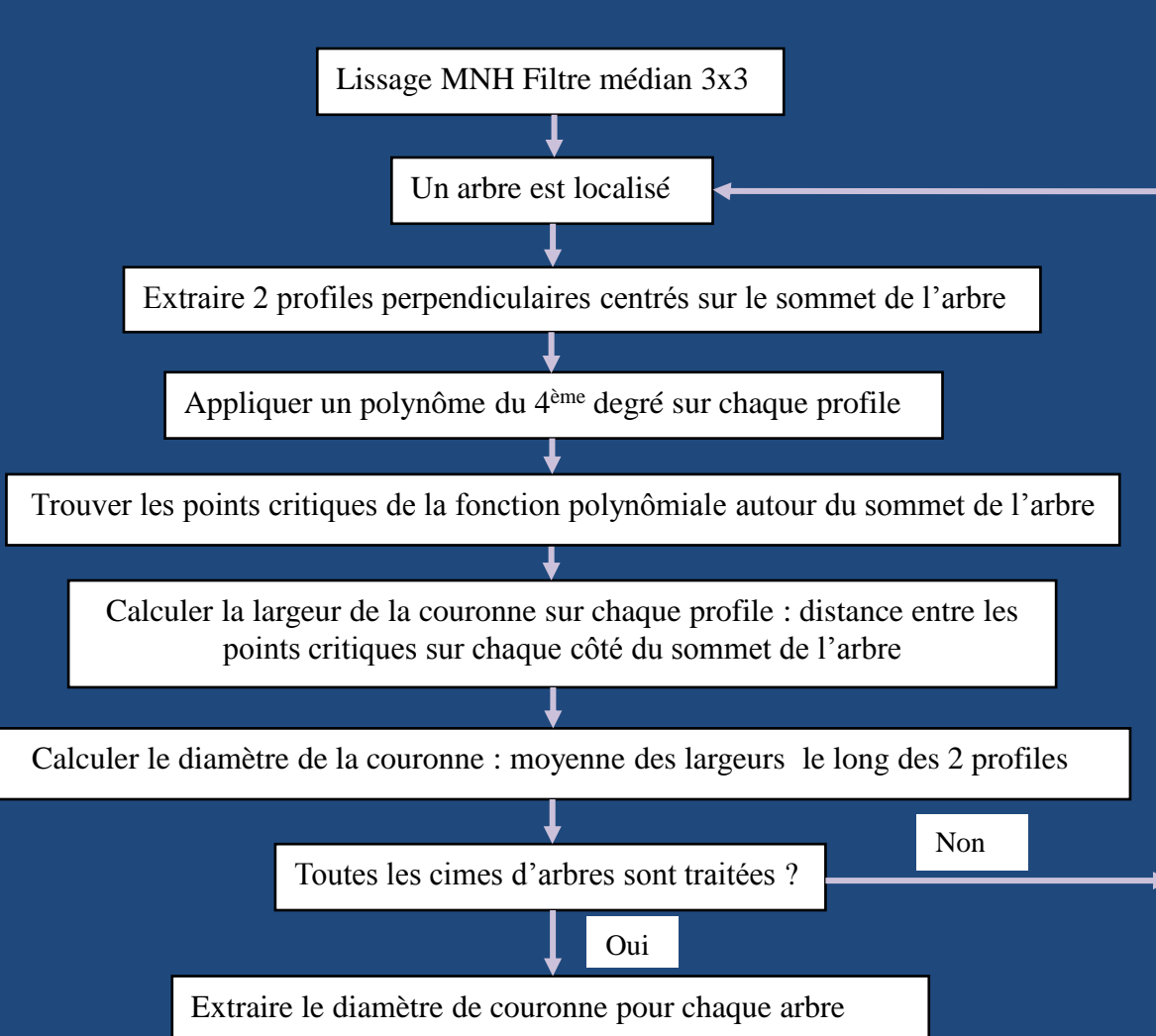
Identification des arbres individuels ML / Extraction des hauteurs



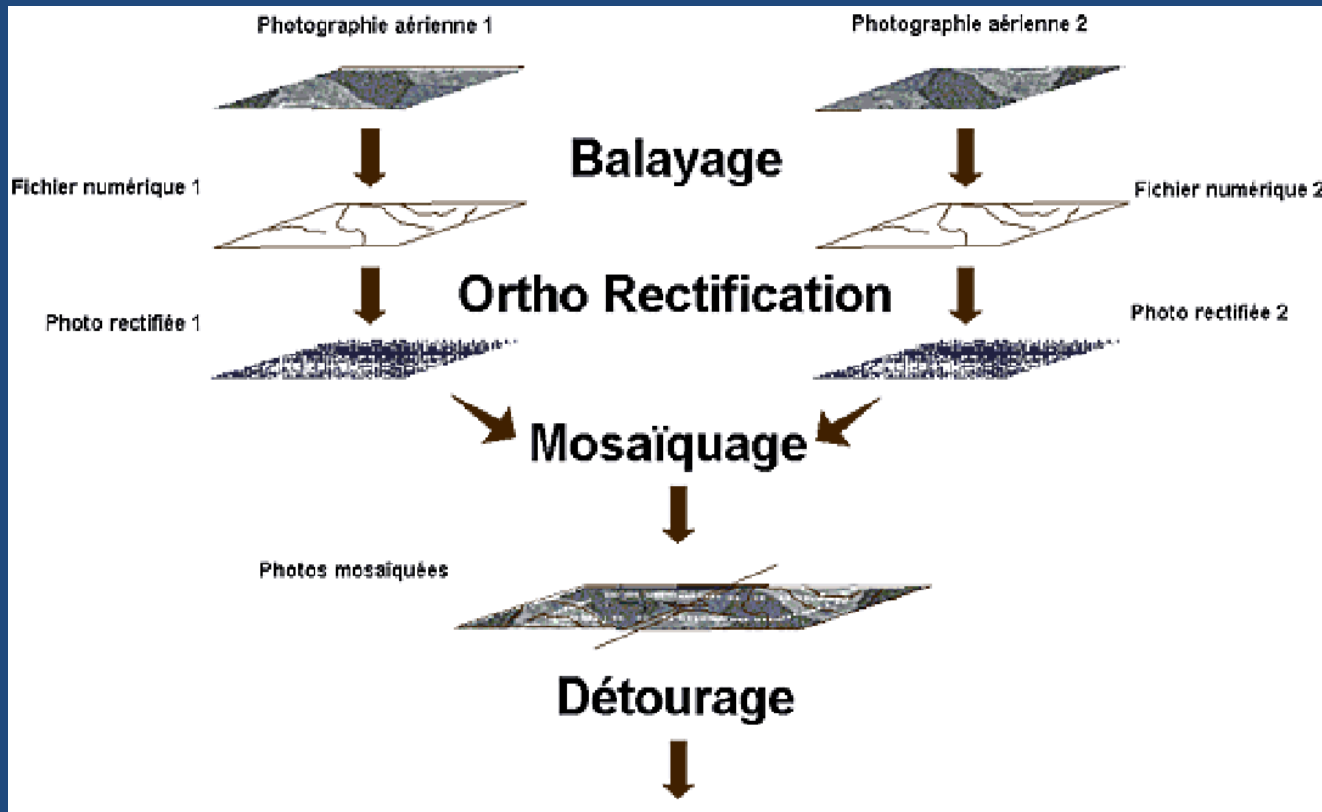
(Adapté de : Popescu et al. 2004)

Méthodologie : Traitement des données Lidar

Extraction des diamètres de couronne des arbres individuels ML



Méthodologie : Prétraitements des photographies aériennes



Processus de la production
d'une orthophotocarte

(SNB 2009)

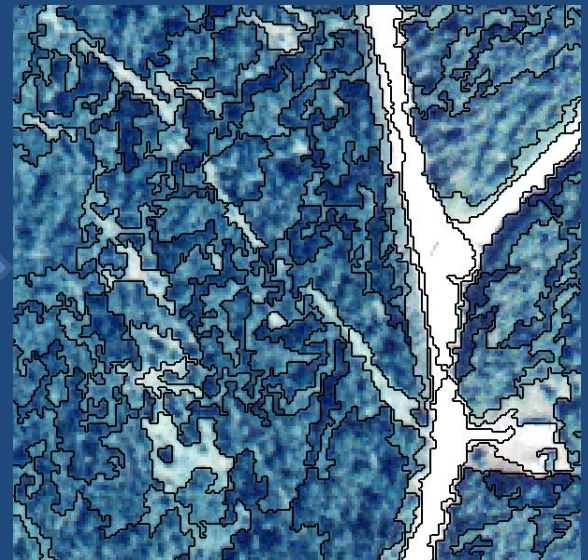
Méthodologie : Traitement des orthophotos

Segmentation multi résolution

Paramètres de segmentation retenus

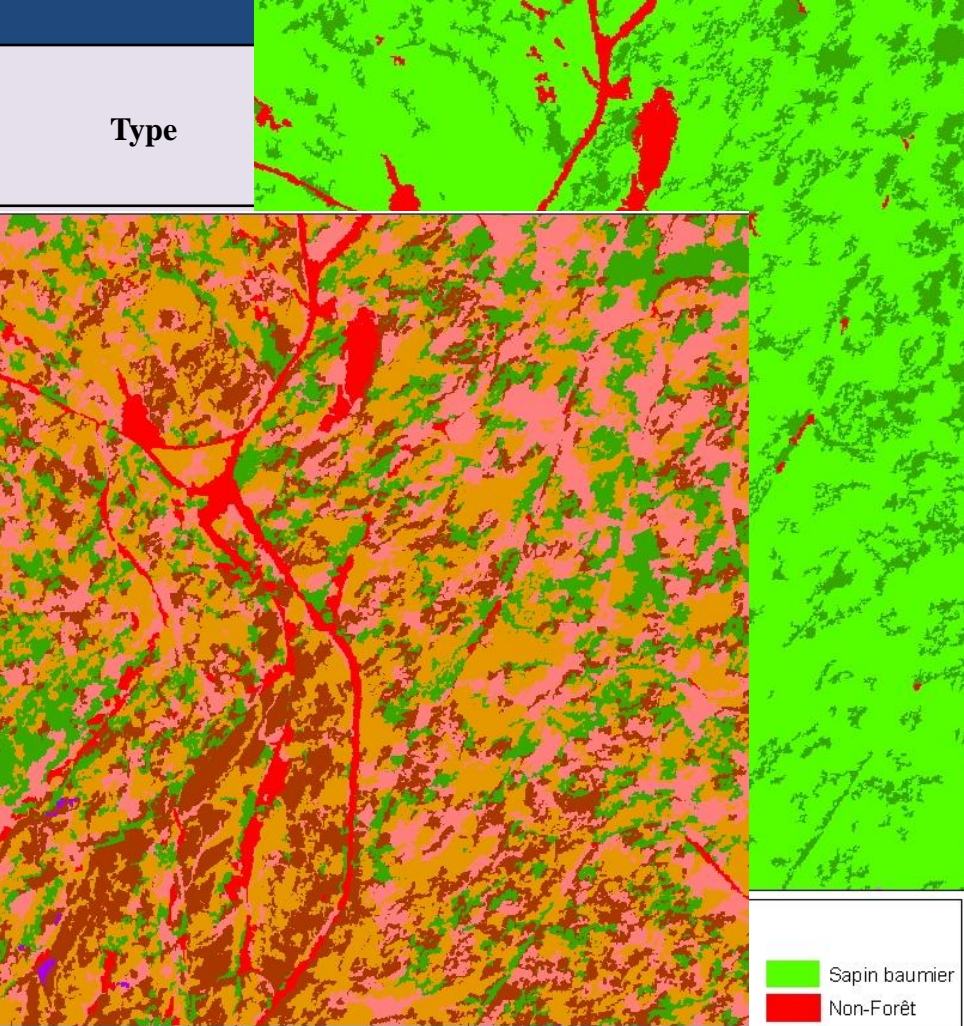
- Homogénéité : - forme : 0,1
- couleur: 0,9 lissage : 0,5
compacité : 0,5
- Echelle: 30

Suarez et al. 2005; Wulder et al. 2006; Hoang et al. 2007; Parker et Evans 2008



Méthodologie : Traitement des orthophotos

Classification hiérarchique : méthode du plus proche voisin

Classes thématiques	Groupes	Description	Type
Eau	Lac_Riv	Lac, eau, rivière	
Sol_nu	Sol_nu	chemins, habitation, coupe	
Sapin_J	Sapin	Sapin jeune	
Sapin_I		Sapin immature	
Sapin_M		Sapin mature	
EPB	Epinette	Epinette blanche	
EBN		Epinette noire	
BOB	Feuillus	Bouleau blanc	
PEP		Peuplier faux tremble	

Méthodologie : Traitement des orthophotos

Validation de la classification : méthode statistique dénommée « *Error Matrix Based on Training and Test Area (TTA) Mask* »

C'est une matrice de confusion basée sur la comparaison des sites d'entraînement avec des sites de vérification (ou zones tests)

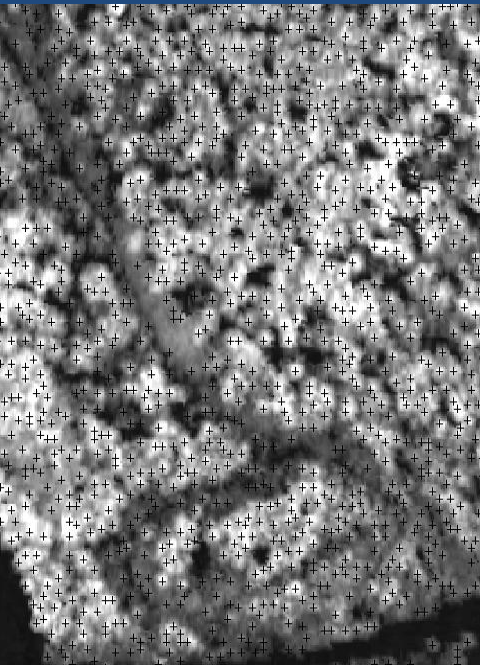
Consiste à sélectionner un certain nombre de segments tests, différents des sites d'entraînement, avec lesquels on crée un masque

Utiliser ce masque comme une référence pour vérifier la qualité de la classification en le comparant à la classification basée sur les sites d'entraînement

(Definiens Professionnal 5 User guide 2006)

Méthodologie : Combinaison des données numériques d'orthophotos et du Lidar

Hauteurs Lidar en fonction des valeurs radiométriques ou compte numérique (CN) des segments de l'image classifiée



Modèle de régression:
hauteur / CN segment

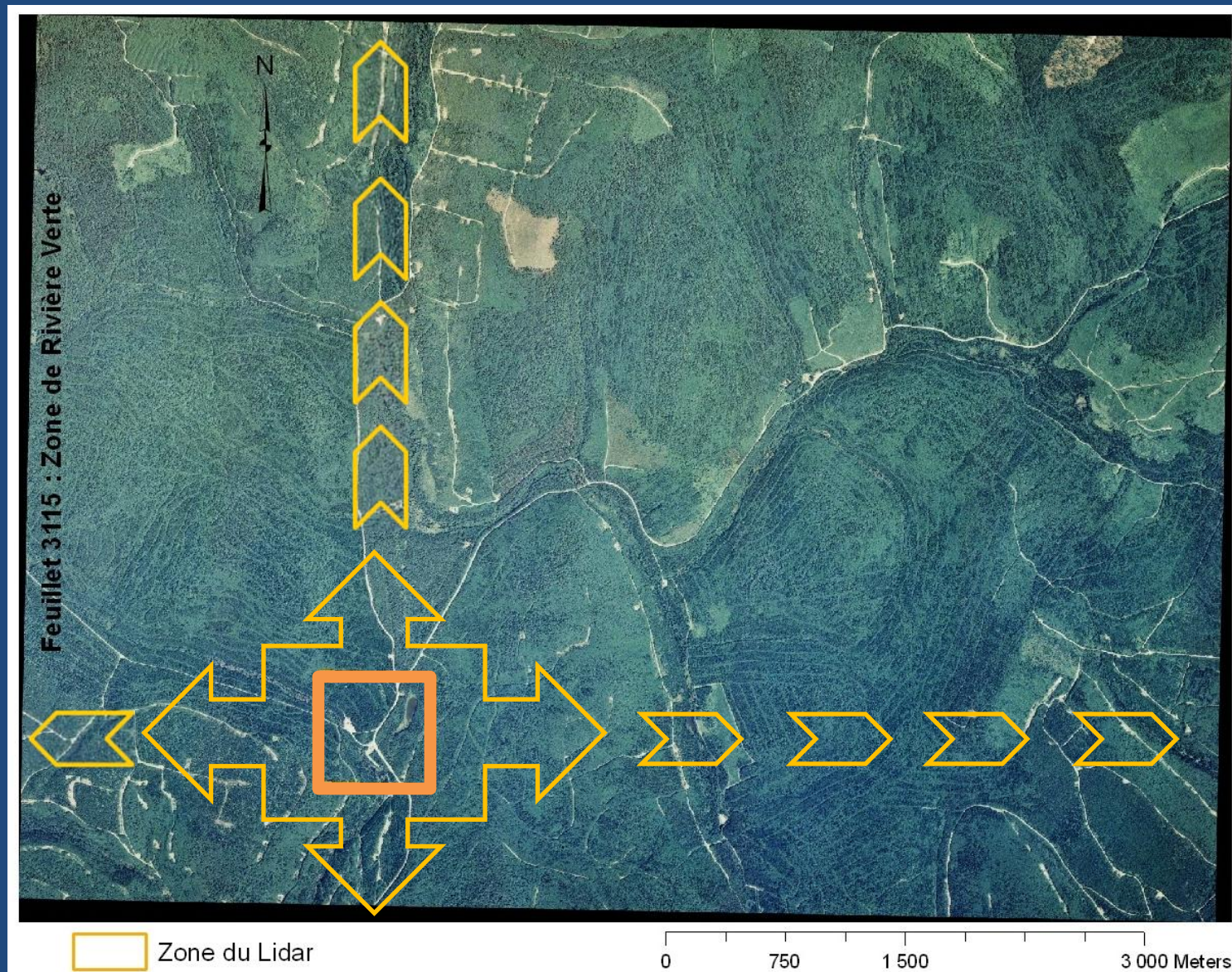
Détermination de la bande
la mieux corrélée

Choix de l'équation au
meilleur R^2

Hauteurs Lidar

CN pour chacune des 3 bandes
spectrales de l'image classifiée

Extrapolation des hauteurs : application du modèle sur le reste de l'image non couverte par le Lidar / Estimation du DHP extrapolé



Méthodologie : Validation des résultats

Comparaison des paramètres extraits par Lidar avec les données de terrain estimées de façon rétrospective : modèles de régression linéaire

Calcul des erreurs estimées RMSE (racine carrée de l'erreur quadratique moyenne) et résiduelles ER

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

\hat{y}_i : le paramètre estimé
 y_i : le paramètre de référence
 n : nombre d'observations

$$ER = \tilde{y}_1 - y_2$$

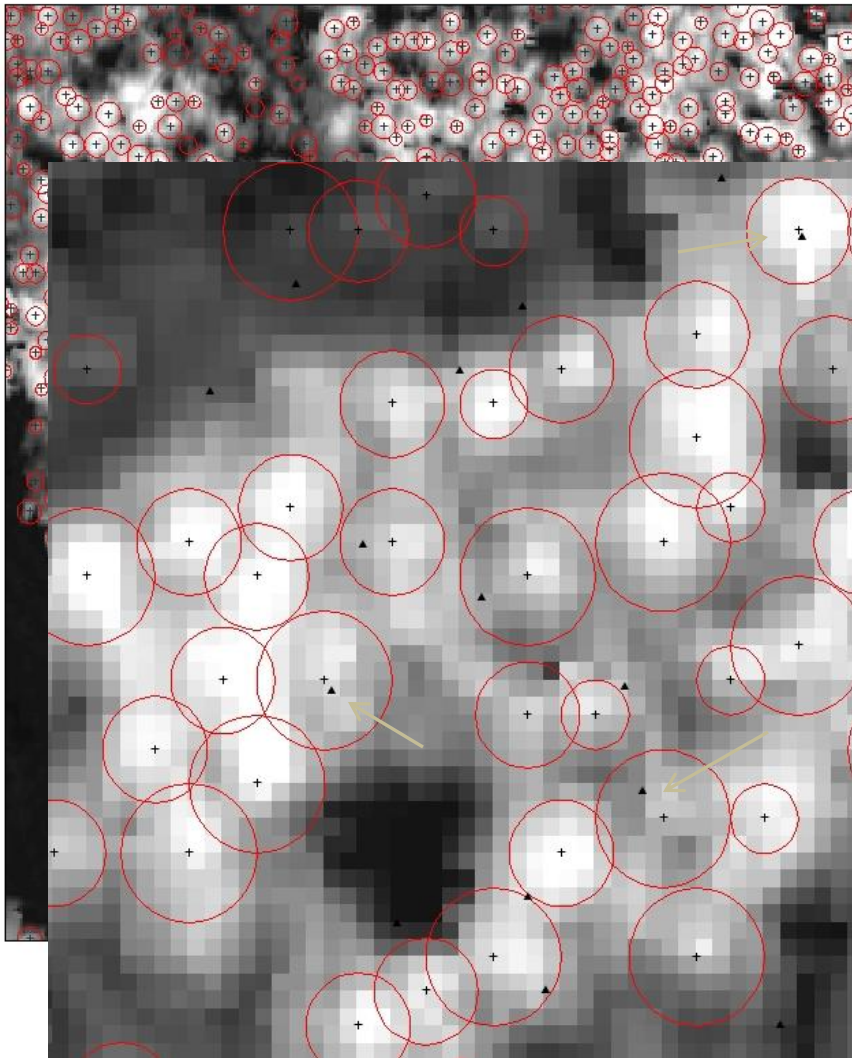
\tilde{y}_1 : moyenne du paramètre estimé

y_2 : moyenne des données de référence

- La validation est faite à l'échelle de la placette car impossible de faire l'appariement arbre par arbre
- Autre validation : avec les données de terrain de St-Onge de 2000

Résultats et discussion : données du Lidar

Hauteur et diamètre couronne



ML_Identifié	X	Y	Hauteur_ML (m)	Rayon (m)	D_COUR (m)
1	2381789	7635381	13	1,54	3,08
2	2381789	7635386	10	2,00	4,00
3	2381789	7635388	8	1,51	3,03
4	2381790	7635360	13	1,00	2,00
5	2381790	7635367	11	1,54	3,07
6	2381790	7635376	9	2,00	4,00
7	2381790	7635423	15	1,00	2,00
8	2381791	7635380	14	1,00	2,00
9	2381791	7635404	12	1,54	3,08
10	2381791	7635421	15	1,54	3,08
11	2381791	7635430	15	1,54	3,08
12	2381791	7635447	14	1,54	3,08
13	2381791	7635449	14	1,00	2,00
14	2381792	7635428	16	2,00	4,00
15	2381792	7635433	16	2,00	4,00
16	2381792	7635437	16	1,54	3,08
17	2381792	7635451	13	2,00	4,00
18	2381792	7635464	11	1,00	2,00
19	2381792	7635468	11	1,54	3,07

Résultats et discussion : données du Lidar

Hauteurs maximales et moyennes

$$R^2 = 0,91$$

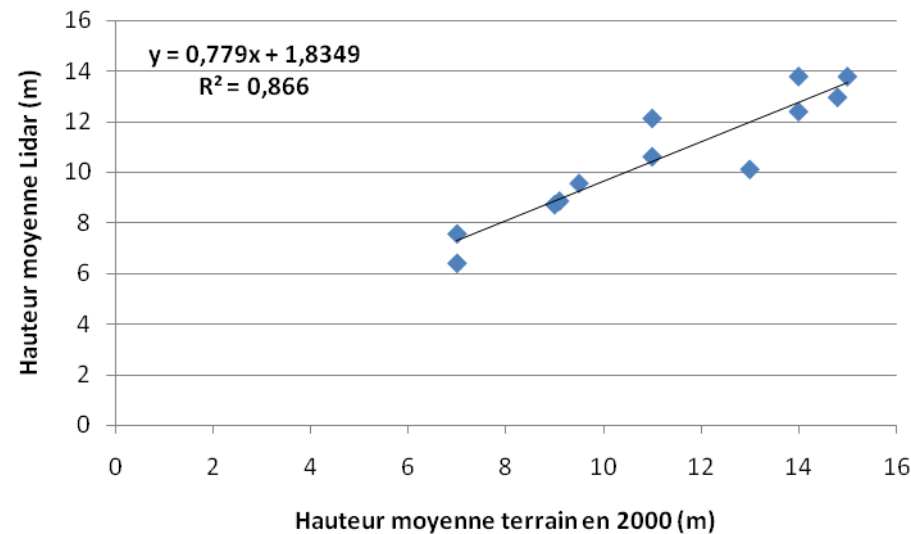
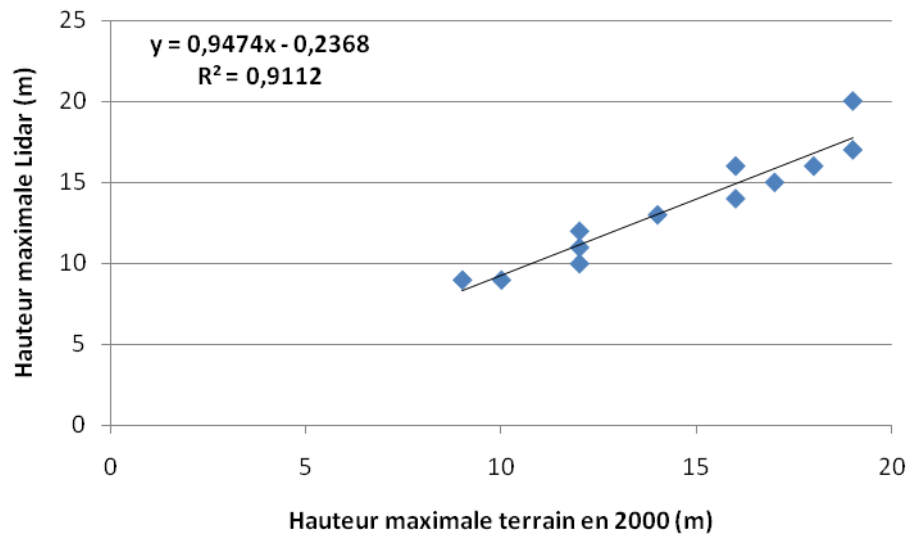
$$\text{RMSE} = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{ER} = -1$$

$$R^2 = 0,87$$

$$\text{RMSE} = 1,2 \text{ m}$$

$$\text{ER} = -0,64$$



➤ Le Lidar sous-estime les hauteurs

(1. Leckie et al. 2003; 2. Maltamo et al. 2004b, 3. Naesset et al. 2004a, 4. Philippe et al. 2005, 5. St-Onge 2007a, 6. Parker et Evans 2008)

➤ Résultats satisfaisants, comparativement aux études antérieures menées par ces auteurs (R^2 variant de 0,8 à 0,94; RMSE de 1,2 à 1,80 m et un biais de l'ordre de 1,3 m)

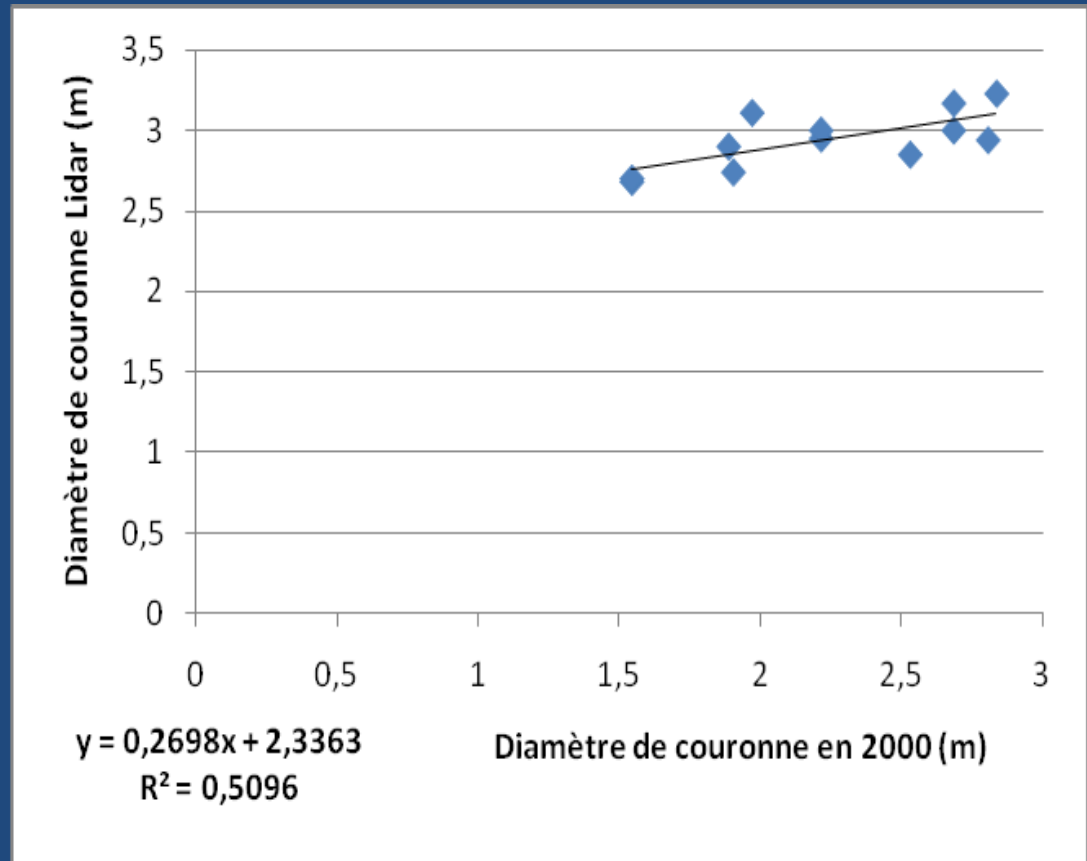
Résultats et discussion : données du Lidar

Diamètre de couronne

$$R^2 = 0,51$$

$$\text{RMSE} = 0,78 \text{ m}$$

$$\text{ER} = 0,7$$



- Résultat satisfaisant, comparé aux résultats de Popescu et al. (2004) : $R^2 = 0,62$ et $\text{RMSE} = 1,36 \text{ m}$ pour les espèces dominantes d'arbres dans les peuplements de pins; validation croisée
- biais lié au diamètre de couronne mesuré sur le terrain : Spurr (1960) et Wynne (2003) et à la faiblesse du modèle ($R^2 = 0,6$) ayant servi à l'estimation rétrospective

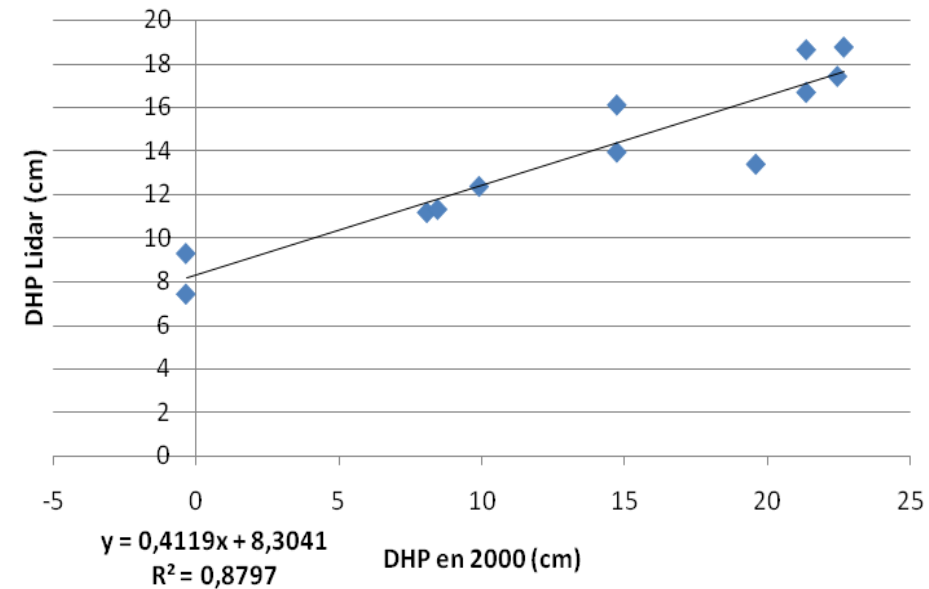
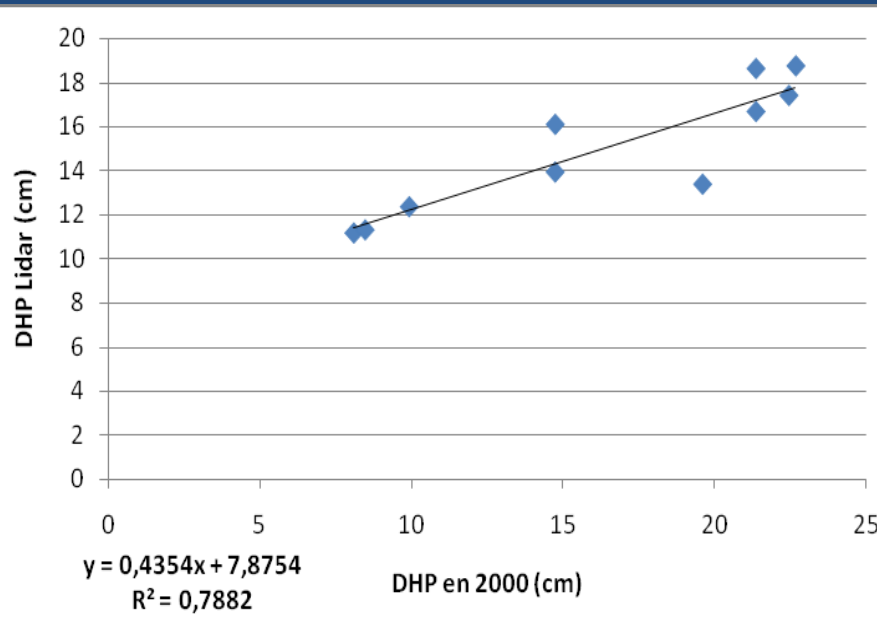
Résultats et discussion : données du Lidar

DHP

$$R^2 = 0,88$$

$$\text{RMSE} = 4,9 \text{ cm}$$

$$\text{ER} = 0,33$$



$$\text{DHP} > 10 \text{ cm}, R^2 = 0,79$$

$$\text{RMSE} = 3,67 \text{ cm}$$

$$\text{ER} = -1,35$$

➤ Résultats satisfaisants, comparé aux résultats de Kwak et al. (2005) : R^2 varie de 0,73 à 0,86 (RMSE : de 2,43 cm à 3,39 cm et de Popescu (2007) : $R^2 = 0,90$ modèle linéaire intégrant la hauteur et le diamètre de couronne

➤ RMSE plus élevée : DHP est un paramètre estimé par rapport à l'estimation rétrospective de la hauteur

Résultats et discussion : classification de l'orthophoto

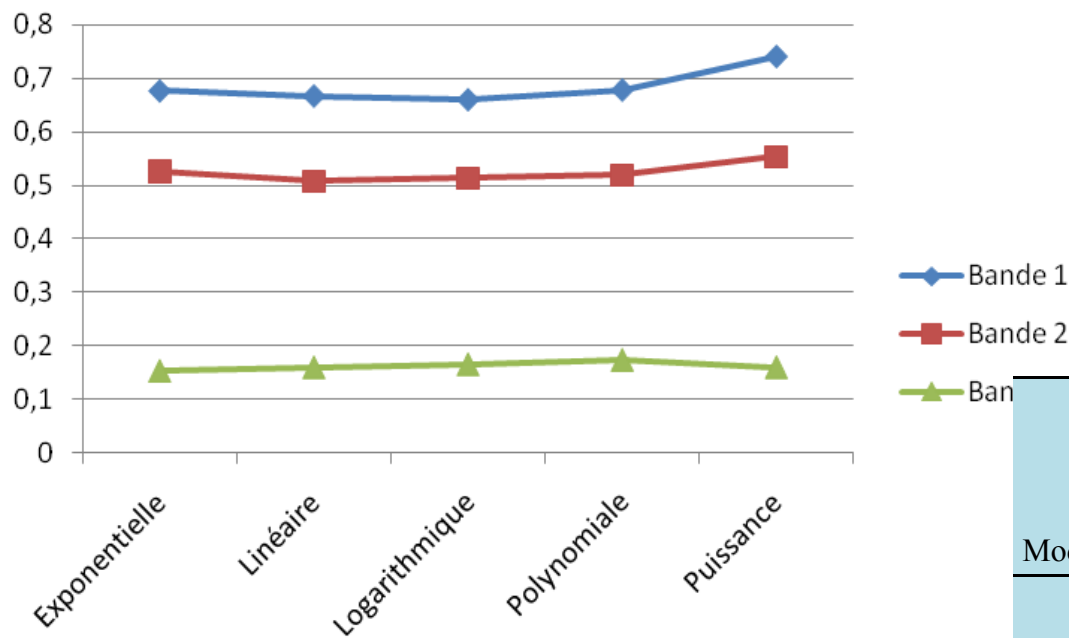
Matrice de confusion produite par *TTA Mask*

Précision globale : 90 %
Coefficient Kappa : 0,88

Classe	Code	1	2	3	4	5	6	7	Somme
Sol nu et coupe	1	16099	0	0	0	0	0	0	16099
Feuillus	2	0	4121	0	0	0	0	0	4121
Sapin mature	3	0	0	3394	0	0	2304	0	5698
Sapin jeune	4	0	2178	0	4356	0	0	0	6534
Sapin immature	5	0	0	786	0	2613	0	0	3399
Épinette	6	0	0	0	0	0	11273	0	11273
Lac et rivière	7	0	0	0	0	0	0	5709	5709
Non classé		0	0	0	0	0	0	0	0
Somme		16099	6299	4180	4356	2613	13577	5709	

Résultats et discussion : Combinaison des données numériques de l'orthophoto et du Lidar

Choix de la bande 1 et de l'équation de régression « Puissance »



$$H = 17,32 \times CN^{0,8601} / CN$$

où :

CN = compte numérique

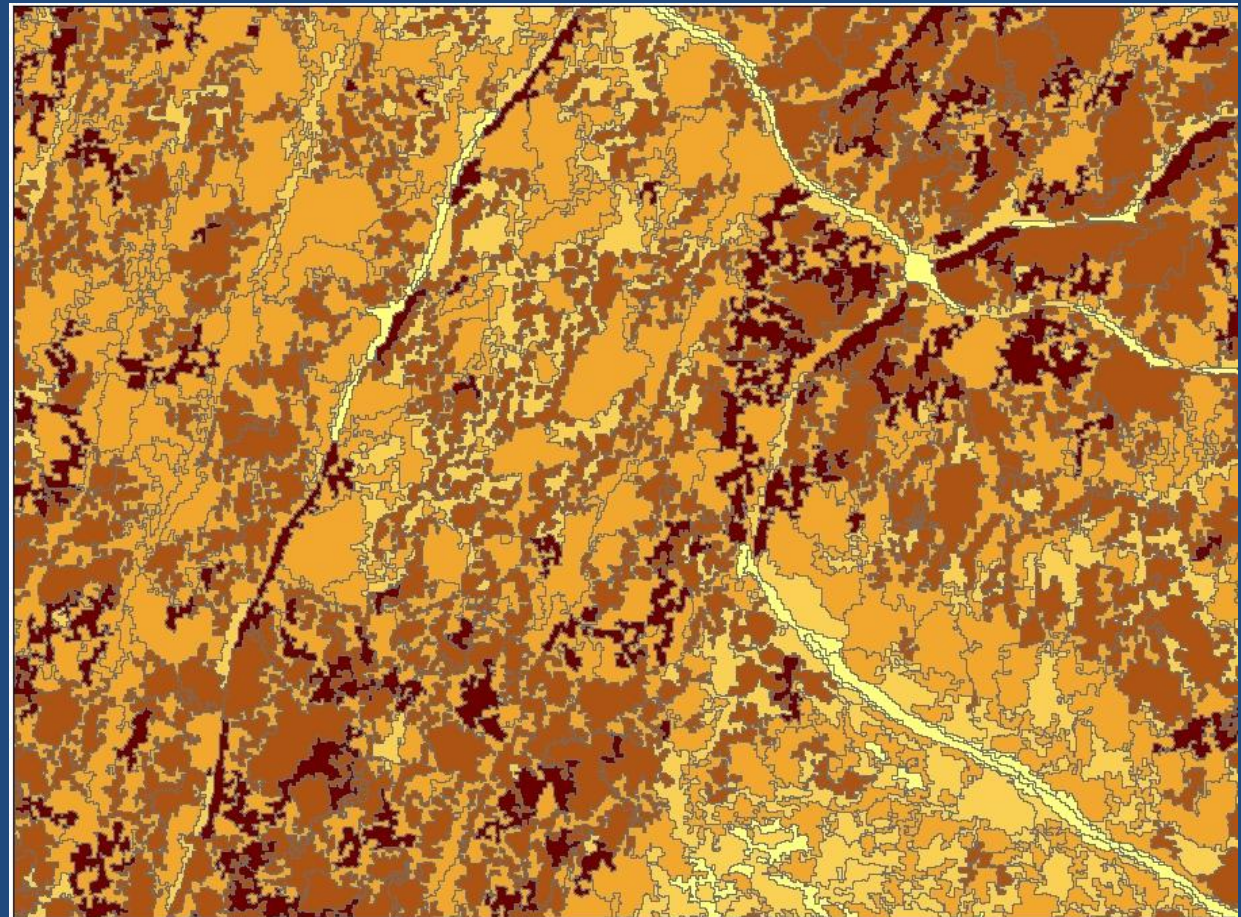
H = hauteur moyenne Lidar

Modèle de régression	Valeurs des R ²		
	Bande 1	Bande 2	Bande 3
Exponentielle	0,68	0,53	0,15
Linéaire	0,67	0,51	0,16
Logarithmique	0,66	0,51	0,17
Polynomiale	0,68	0,52	0,17
Puissance	0,74	0,55	0,16

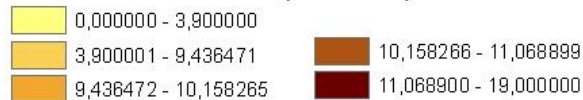
Résultats et discussion : Combinaison des données numériques de l'orthophoto et du Lidar

Carte des hauteurs extrapolées (en m)

Minimum : 0
Maximum : 19
Moyenne : 9,27
Écart-type : 2,42



Classes de hauteurs (en mètre)



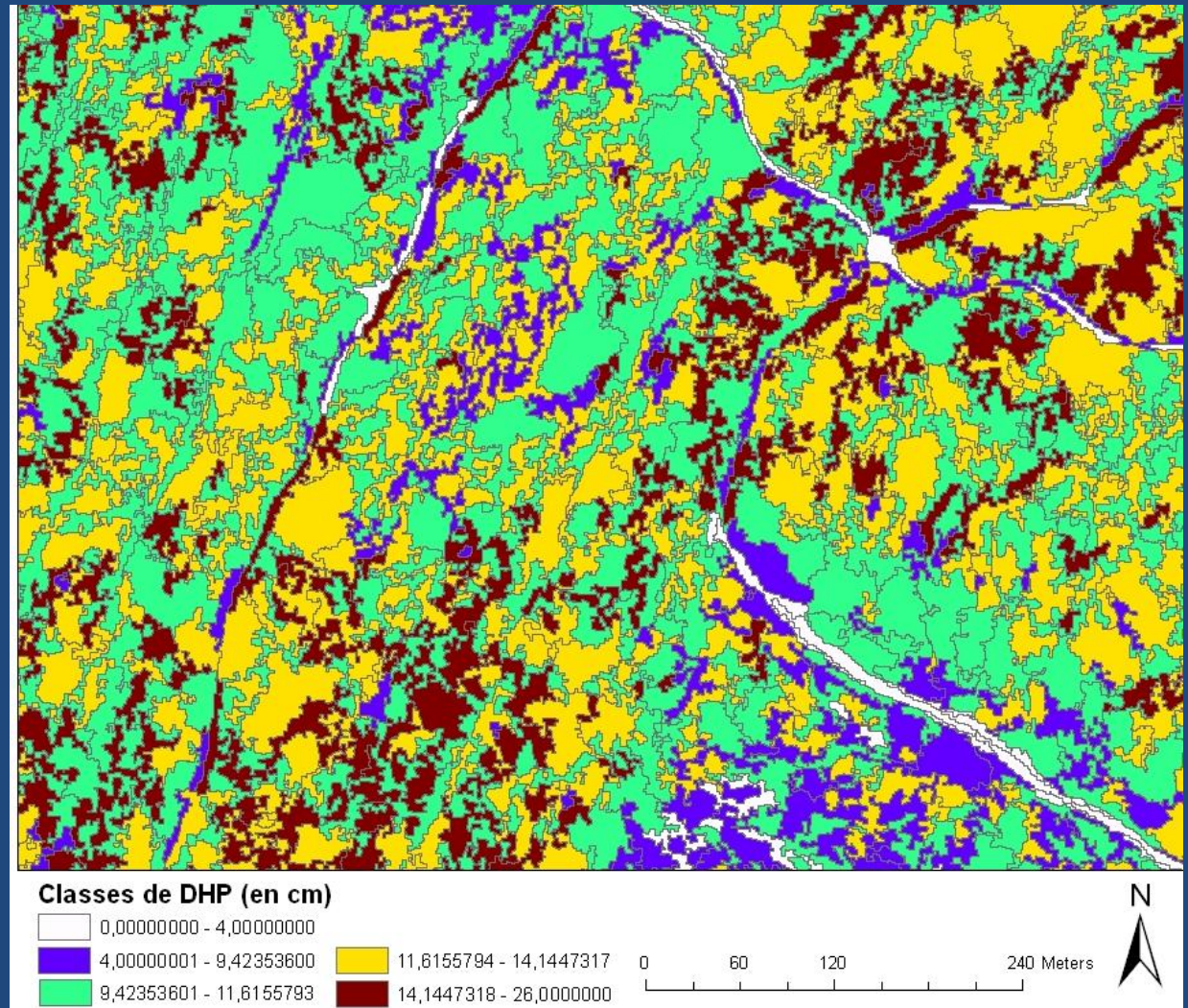
0 60 120 240 Meters



Résultats et discussion : Combinaison des données numériques de l'orthophoto et du Lidar

Carte des DHP extrapolés (en cm)

Minimum : 0
Maximum : 26
Moyenne : 10,37
Ecart-type : 3,49





Validation des paramètres extrapolés

Comparaison des hauteurs extrapolées avec les hauteurs estimées de manière rétrospective par espèce

Types d'espèce	Hauteur terrain 2000	Hauteur spatialisées	R ²	ER	RMSE	Nombre placettes validation
Sabin baumier	8,83	9,78	0,63	0,95	2,25	6
Epinette blanche	8	9,95	0,52	1,95	2,39	4
Epinette noire	8	10,03	0,75	2,03	2,13	4

➤ Résultats similaires, comparés aux résultats de l'étude pionnière de Wulder et Seeman (2003) : $R^2 = 0,67$, erreur type = 3,30 m



Validation des paramètres extrapolés

Comparaison des DHP extrapolées avec les DHP estimés de manière rétrospective par espèce

Espèce	DHP terrain 2000 (cm)	DHP spatialisées (cm)	R ²	ER	RMSE	Nombre placettes validation
Sapin baumier	6	10,76	0,45	4,75	9,39	6
Épinette blanche	3,53	11,43	0,43	7,9	9,94	4
Épinette noire	3,75	11,57	0,59	7,81	8,54	4



Validation des paramètres extrapolés

Comparaison des hauteurs et DHP extrapolées avec les données de St-Onge collectées en 2000

	Hauteur		DHP	
	Terrain	Lidar	Terrain	Lidar
Nombre d'échantillons	72	72	72	72
valeur minimale	3,60	8,49	4,1	7,33
Valeur maximale	21,01	13,87	47,5	18,91
Moyenne	15,55	9,96	25,66	11,15
Écart-type	3,46	1,19	9,02	2,99

➤ Les hauteur segment/lidar dérivées de l'extrapolation, sont généralement regroupées autour du zéro (aucune différence) jusqu'à 6 m de la hauteur mesurée au sol avec une valeur de R^2 de 0,67 et de l'écart-type de 3,30 m.



Conclusion

Les deux objectifs de l'étude ont été atteints :

- Le Lidar seul a permis l'extraction des paramètres avec de bons niveaux d'exactitude et une validation à l'échelle de la placette de l'ordre de :
 - 91% et 88 % pour les hauteurs maximales et moyennes
 - 51% pour les diamètres de couronnes
 - 79 à 88 % pour les DHP



Conclusion

- La meilleure relation d'intégration des hauteurs extraites par Lidar avec les CN a été obtenue avec la fonction « Puissance » ($R^2 = 0,74$).
- La combinaison des données Lidar avec les photographies aériennes a permis l'extrapolation des paramètres ainsi que leur validation par espèce avec des niveaux de précision acceptables variant de :
 - 52 à 75 % pour la hauteur extrapolée
 - 45 à 59 % pour le DHP extrapolé



Limites et recommandations

- Les orthophotos étaient issues de photos couleurs scannées
 - Utiliser des photographies aériennes numériques ou des images satellitaires à haute résolution (> 3 m).
- Impossible de faire l'appariement arbre par arbre, par conséquent nous avons validé les résultats à l'échelle de la placette
 - Localiser tous les arbres de la placette au GPS afin de faire une évaluation arbre par arbre
- Impossible d'évaluer les résultats des peuplements de feuillus : absence de courbes de hauteurs et d'équations polymorphiques d'indice de station
 - Développer des modèles similaires chez les feuillus, comme il en existe déjà pour certains conifères.



Merci

QUESTIONS ?