



## Analyse LIDAR et photogrammétrie du couvert forestier

Laurent Saint-André, Jean-Pascal Burochin, Nicolas Paparoditis, Cédric Vega, Marc Bouvier, Jean-Pierre Renaud, Jérôme Bock, Alain Munoz, Sylvie Durieux

### ► To cite this version:

Laurent Saint-André, Jean-Pascal Burochin, Nicolas Paparoditis, Cédric Vega, Marc Bouvier, et al.. Analyse LIDAR et photogrammétrie du couvert forestier. Colloque de Montiers, Mar 2015, Montiers, France. pp.17 slides. hal-02798164

**HAL Id: hal-02798164**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02798164>**

Submitted on 5 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Analyse LIDAR et photogrammétrique du couvert forestier

Laurent Saint-André, Jean-Pascal Burochin, Nicolas  
Paparoditis, Cédric Véga, Marc Bouvier, Jean-Pierre  
Renaud, Jérôme Bock, Alain Munoz, Sylvie Durieux

# ANR FORESEE - Forest Resource Estimation For Energy



- Estimer la ressource forestière et ses conditions d'exploitation à l'échelle de la parcelle.
- Prospector, exploiter, desservir, gérer, planifier, ... avec de nouveaux outils d'aide à la décision opérationnelle



*Colloque - Site de Montiers*

20 mars 2015

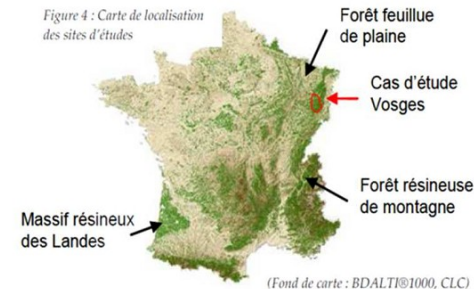


# OPE dans FORESEE



## Face aux hétérogénéités : diversifier les sites

| Site              | Caractéristiques                           |
|-------------------|--------------------------------------------|
| Aquitaine         | Pin maritime, terrain plat                 |
| OPE : 2009, 2011  | Feuillus mélangés, plaine                  |
| Haye : 2007, 2009 | Feuillus mélangés, plaine                  |
| Languimberg       | Feuillus , plaine                          |
| Chamonix          | Résineux, montagne                         |
| Bauges            | Résineux, montagne                         |
| Chablais          | Mélange résineux feuillus, montagne        |
| Vosges            | Peuplements hétérogènes, montagne, colline |
| Vercors           | Résineux hétérogènes, montagne             |
| Aillons (Savoie)  | Résineux, montagne                         |



Il s'agit de pouvoir croiser des données multi-sources dans des **situations de peuplements et de topographies contrastées.**

# Les enjeux

## Quelle ressource et quelle évolution de la ressource ?

Surface Terrière  
Vosges

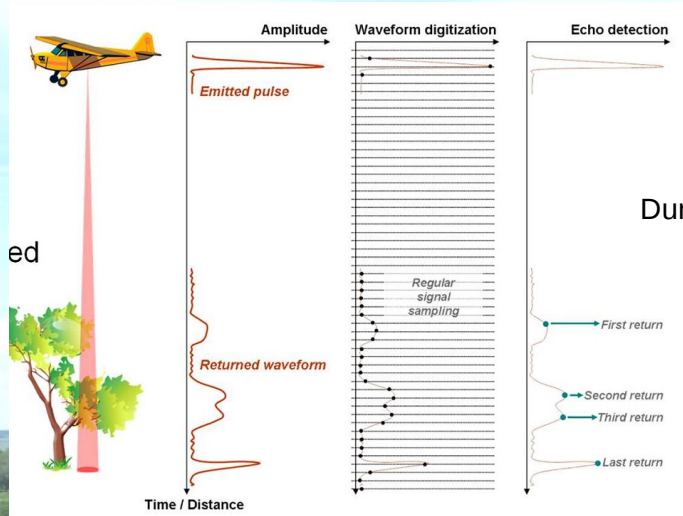
Amélioration des  
aménagement  
forestiers, création de  
systèmes de production,  
mix énergétique à  
l'échelle régionale ?

Hauteur Dominante  
Vosges

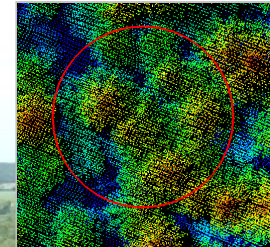
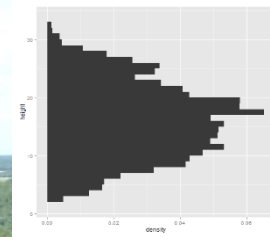
Ressource actuelle

Ressource du futur ?

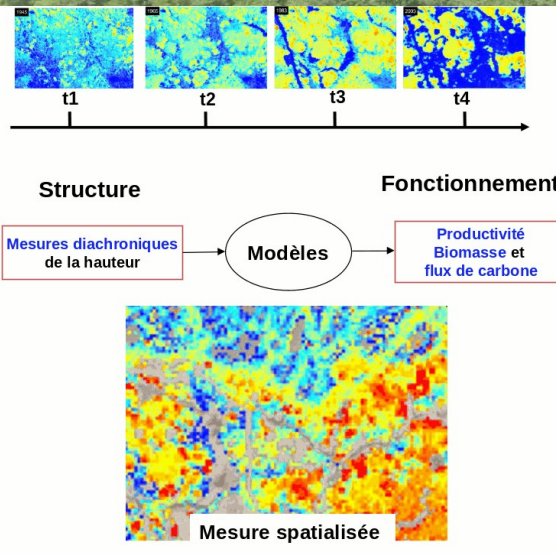
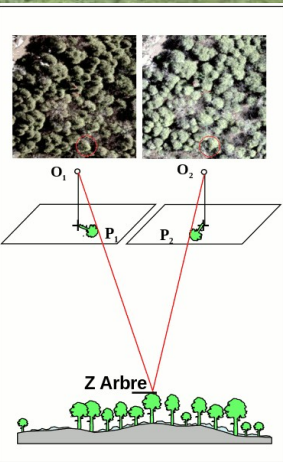
# Le LIDAR et la photogrammétrie



Durrieu et al. 2015



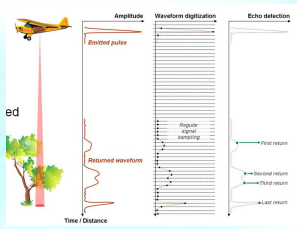
Ressource  
actuelle



Ressource  
future



Références:  
Véga & St-Onge 2009 (For. Ecol. Manag.)  
Véga & St-Onge 2008 (Rem. Sens. Environ.)  
St-Onge, Hu, Vega 2008 (Int. J. Rem. Sens.)



## Ressource actuelle

# Les avancées méthodologiques

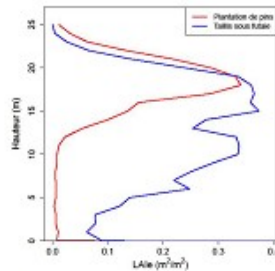


### Four complementary LiDAR metrics

- Mean stand height  
*Mean of first return heights*
- Height heterogeneity  
*Variance of first return heights*
- Horizontal canopy distribution  
*Ratio between the number of 1<sup>st</sup> returns below 2 m and the total number of 1<sup>st</sup> returns*
- Leaf area density profile  
*Ratio between the standard deviation and the mean of LAD*

Heterogeneity  
of the canopy surface

Vertical heterogeneity



$$\hat{y} = \beta_0 \mu_{CH}^{\beta_1} \sigma_{CH}^{2\beta_2} P_f^{\beta_3} C v_{LAD}^{\beta_4}$$

[Bouvier et al., submitted]

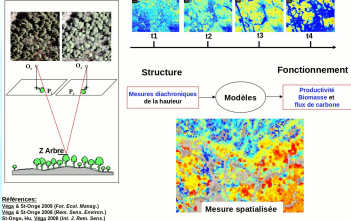
8

Revisite des approches  
« arbre » / « placette »...  
(André et al. 2015)

Plus « mécaniste »...  
(Bouvier et al. 2015)

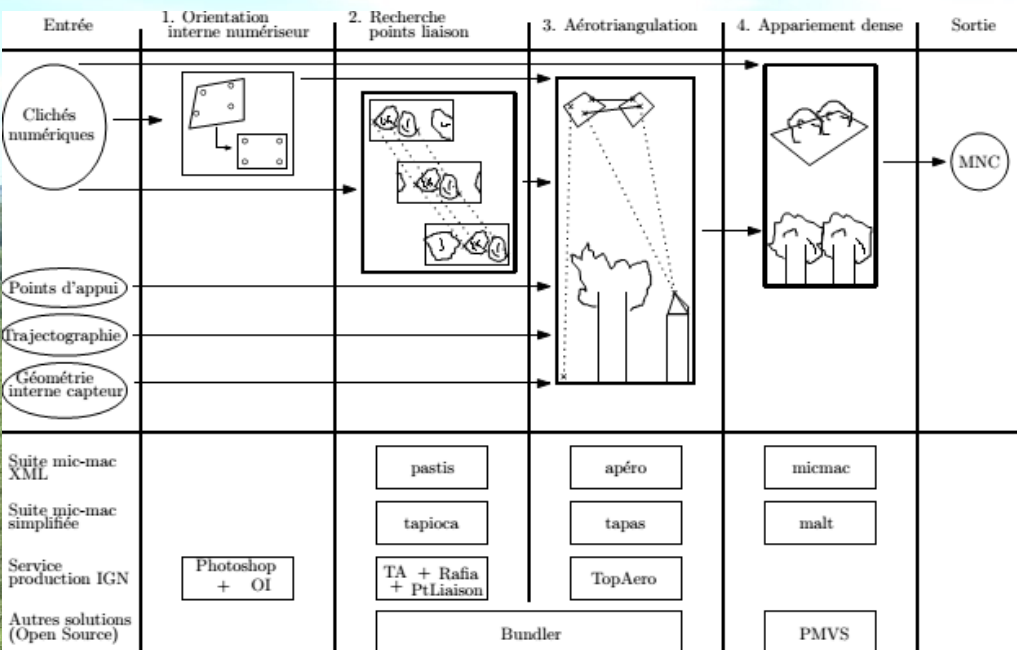
Revisite de la pénétration du  
signal...  
(Véga et al. 2015)

Passage des métriques statistiques à des métriques ayant un sens forestier, introduction des notions dendrométriques dans les modèles



## Ressource future

# Les avancées méthodologiques



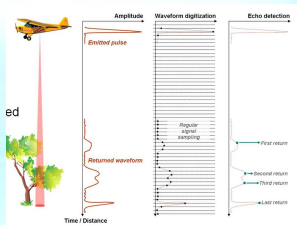
Chaine de traitement avec intervention manuelle restreinte

Utilisation de photographies anciennes

Applicable sur des massifs de grande taille (Haye, OPE, ...)

Permettant de cartographier la fertilité (au sens large) des parcelles forestières

## Combinaison de techniques photogrammétriques et de notions dendrométriques (indice de fertilité)



## Ressource actuelle

# Les résultats



$$\hat{y} = \beta_0 \mu_{CH}^{\beta_1} \sigma_{CH}^{2\beta_2} P_f^{\beta_3} C v_{LAD}^{\beta_4}$$

Bouvier et al.  
2014, RSE

Un modèle,  
paramétrage  
différents selon  
les sites

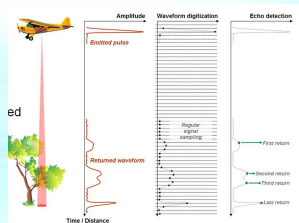
|             | Coniferous site<br>(39 field plots) |         | Deciduous site (28 field plots) |         |                |         | Mountainous<br>site (92 field<br>plots) |         |
|-------------|-------------------------------------|---------|---------------------------------|---------|----------------|---------|-----------------------------------------|---------|
|             |                                     |         | Leaf-off                        |         | Leaf-on        |         |                                         |         |
|             | R <sup>2</sup>                      | RSD (%) | R <sup>2</sup>                  | RSD (%) | R <sup>2</sup> | RSD (%) | R <sup>2</sup>                          | RSD (%) |
| Wood volume | 0.98                                | 12.42   | 0.87                            | 17.37   | 0.86           | 19.36   | 0.82                                    | 21.86   |
| Stem volume | 0.95                                | 14.58   | 0.88                            | 16.90   | 0.89           | 17.08   | 0.81                                    | 24.19   |
| AGB         | 0.94                                | 12.86   | 0.86                            | 18.09   | 0.85           | 19.43   | 0.77                                    | 22.26   |
| BA          | 0.84                                | 14.96   | 0.81                            | 19.61   | 0.78           | 20.67   | 0.59                                    | 23.74   |

$R^2 > 0,85$  -  $RSD \in [12\% - 20\%]$

$R^2 > 0,78$  -  $RSD \in [15\% - 21\%]$

Similar results for leaf-off & leaf-on conditions

$R^2 > 0,59$  -  $RSD \in [22\% - 24\%]$  point density? Site complexity?



# Les résultats

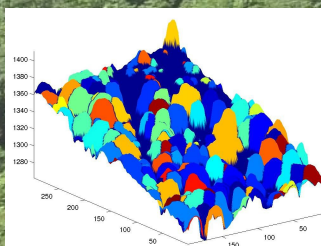


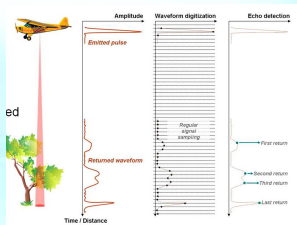
## Ressource actuelle

André et al.  
2015, RFPT

Mixage des  
approches  
distribution et  
arbre

| Variable    | Formule                                                 | R <sup>2</sup> a | AIC | Erreur.cv | %Erreur.cv  |
|-------------|---------------------------------------------------------|------------------|-----|-----------|-------------|
| <b>G</b>    | $Sd\_H40\_fst + Sd\_Tp.8 + BVf1m1\_H.A.sum$             | 0.91             | 206 | 5.8       | <b>20.7</b> |
|             | $Sd\_H40\_fst + Sd\_Tp.8 + BVf2m1\_H.A.sum$             | 0.91             | 207 | 6.5       | 23.2        |
|             | $Sd\_H40\_fst + Sd\_Tp.8 + BVf2m2\_H.A.sum$             | 0.90             | 210 | 6.7       | 24.0        |
|             | $Sd\_Hmd6\_Y3 + Sd\_Tp.8 + Pm1\_H.A.sum$                | 0.89             | 211 | 6.5       | 23.1        |
|             | $Sd\_H40\_fst + Sd\_Tp.8 + BVf1m2\_H.A.sum$             | 0.89             | 212 | 6.5       | 23.2        |
|             | $Sd\_H40\_fst + Sd\_Tp.8 + Pm2\_H.A.sum$                | 0.88             | 215 | 7.3       | 26.0        |
|             | <b><math>Sd\_H99\_lst + Sd\_H99 + Sd\_Tp.8</math></b>   | 0.86             | 219 | 8.0       | 28.3        |
| <b>Vtot</b> | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.82 + BVf1m2\_A.Q99$                 | 0.95             | 379 | 76.9      | <b>18.3</b> |
|             | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.82 + BVf1m1\_A.Q99$                 | 0.95             | 380 | 78.0      | 18.6        |
|             | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.8 + BVf2m1\_H.A.sum$                | 0.95             | 383 | 127.0     | 30.2        |
|             | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.8 + Pm1\_H.A.sum$                   | 0.94             | 384 | 131.0     | 31.2        |
|             | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.8 + BVf2m2\_H.A.sum$                | 0.94             | 389 | 134.0     | 31.9        |
|             | <b><math>Sd\_N.24m + Sd\_Hmd6\_R3 + Sd\_Tp.8</math></b> | 0.93             | 393 | 137.0     | 32.6        |
|             | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.8 + Pm2\_H.A.sum$                   | 0.92             | 394 | 148.0     | 35.2        |
| <b>V7</b>   | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.8 + BVf1m2\_A.Q99$                  | 0.96             | 368 | 68.0      | <b>18.8</b> |
|             | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.82 + BVf1m1\_A.Q99$                 | 0.95             | 371 | 78.1      | 21.6        |
|             | $Sd\_Hol.12m22 + Sd\_Tp.8 + BVf2m1\_H.A.sum$            | 0.94             | 380 | 80.8      | 22.3        |
|             | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.8 + BVf2m2\_A.Q90$                  | 0.94             | 381 | 101.0     | 27.9        |
|             | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.8 + Pm1\_H.A.sum$                   | 0.93             | 385 | 135.0     | 37.3        |
|             | <b><math>Sd\_N.24m + Sd\_Hmd6\_R3 + Sd\_Tp.8</math></b> | 0.92             | 388 | 137.0     | 37.8        |
|             | $Sd\_N.24m + Sd\_Tp.8 + Pm2\_H.Q99$                     | 0.92             | 390 | 131.0     | 36.2        |





## Ressource actuelle

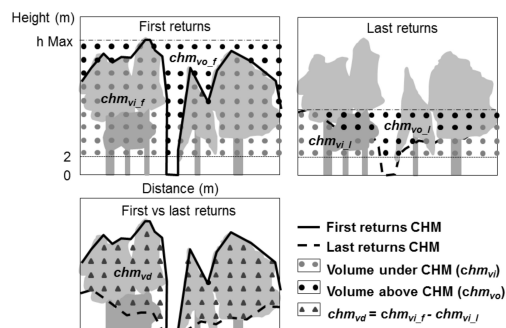
# Les résultats

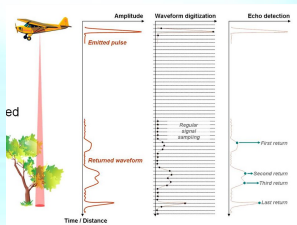


Véga et al. 2015,  
soumis RSE

Nouveau paradigme de  
calcul de métriques, forte  
amélioration de la  
performance des modèles

| Site    | Metrics | Formula                                                             | Raster cell size (m) | RMSE <sub>cv</sub> (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> ) | rRMSE <sub>cv</sub> (%) | R <sup>2</sup> <sub>adj</sub> |
|---------|---------|---------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| All     | All     | $p_{d5v\_l} + p_{d5f\_f} + p_{rim3\_a} + dsm_{vr\_f} + dsm_{vi\_l}$ | mean                 | 9.18                                                   | 26.83                   | 0.64                          |
|         | p/DSM   | $p_{d5v\_l} + p_{d5f\_f} + p_{rim3\_a} + dsm_{vr\_f} + dsm_{vi\_l}$ | mean                 | 9.18                                                   | 26.83                   | 0.64                          |
| Bure    | All     | $h_{im4\_l} + h_{vd} + p_{10\_f} + p_{40\_l} + p_{d5v\_l}$          | mean                 | 1.14                                                   | 6.09                    | 0.98                          |
|         | p/DSM   | $p_{40\_f} + p_{40\_l} + p_{d3f\_l} + p_{im3\_f}$                   | 0.5                  | 1.93                                                   | 10.27                   | 0.94                          |
|         | h/CHM   | $h_{im3\_f} + h_{im5\_l}$                                           | 0.5                  | 4.83                                                   | 25.67                   | 0.67                          |
| Aillon  | All     | $h_{d5v\_l} + p_{d4f\_f} + p_{cm2\_f} + dsm_{ra\_l} + dsm_{vd}$     | 0.5-HF               | 5.75                                                   | 12.83                   | 0.76                          |
|         | p/DSM   | $p_{d5v\_l} + p_{d4f\_f} + p_{cm2\_f} + dsm_{ra\_l} + dsm_{vd}$     | 0.5-HF               | 6.21                                                   | 13.86                   | 0.72                          |
|         | h/CHM   | $h_{d5v\_l} + h_{d4f\_f} + h_{cm4\_a} + h_{ra\_l} + h_{vd}$         | 0.5-HF               | 6.62                                                   | 14.76                   | 0.69                          |
| Vercors | All     | $p_{10\_l} + p_{d5v\_a} + p_{d5f\_f} + p_{gap\_f} + dsm_{vd}$       | mean                 | 8.59                                                   | 22.95                   | 0.69                          |
|         | p/DSM   | $p_{10\_l} + p_{d5v\_a} + p_{d5f\_f} + p_{gap\_f} + dsm_{vd}$       | mean                 | 8.59                                                   | 22.95                   | 0.69                          |
|         | h/CHM   | $chm_{vi\_f}$                                                       | 0.5-HF               | 9.61                                                   | 25.65                   | 0.61                          |
| Landes  | All     | $h_{d5v\_a} + h_{d3f\_f} + chm_{vo\_f} + p_{im3\_a} + p_{cm5\_l}$   | 2                    | 1.97                                                   | 8.11                    | 0.92                          |
|         | h/CHM   | $h_{d5v\_a} + h_{d3f\_f} + h_{d5f\_f} + h_{cm2\_l} + chm_{vo\_f}$   | 1                    | 2.15                                                   | 8.89                    | 0.90                          |
|         | p/DSM   | $p_{d3f\_a} + p_{gap\_f} + p_{rm5\_l} + dsm_{vo\_f} + dsm_{ra\_l}$  | 1                    | 2.86                                                   | 11.07                   | 0.84                          |



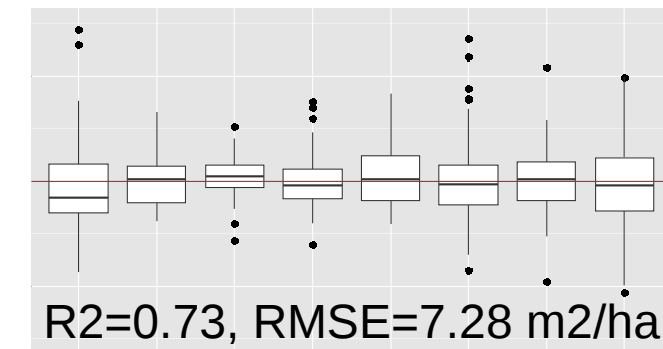
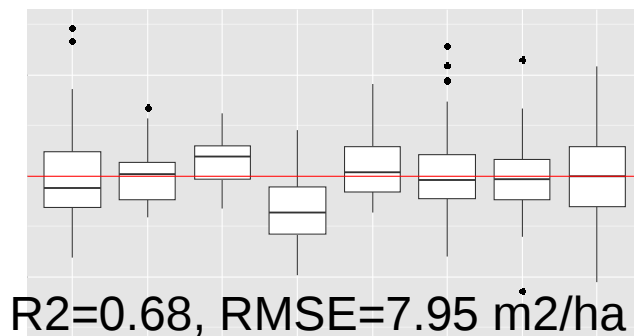
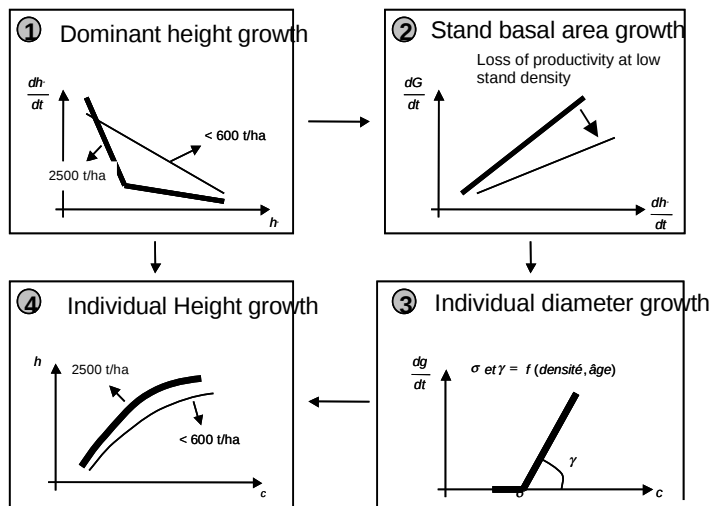


## Ressource actuelle

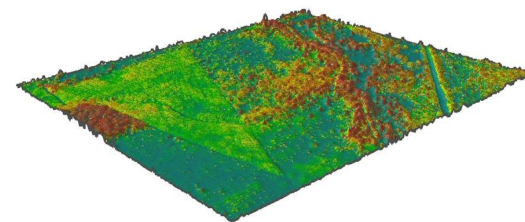
# Les résultats



### Growth and Yield Models



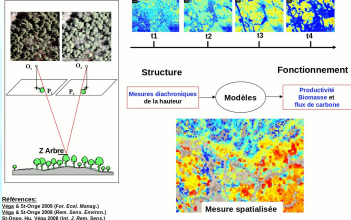
### LIDAR Data sets



**MNH:** Modèle numérique de hauteur

Saint-André et al.  
2015, Silvilaser

Combinaison de la  
théorie dendrométrique  
et des métriques  
nouvelle génération –  
un modèle quelque soit  
les peuplements

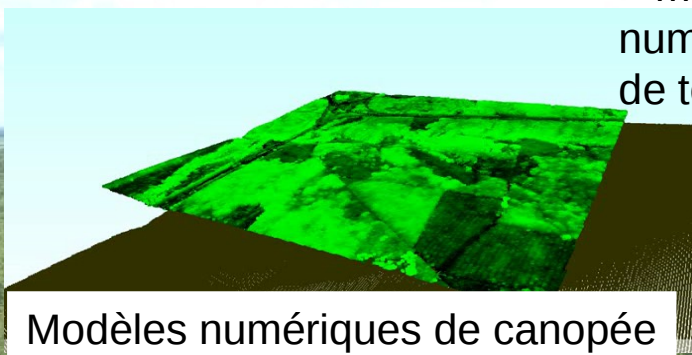


# Les résultats

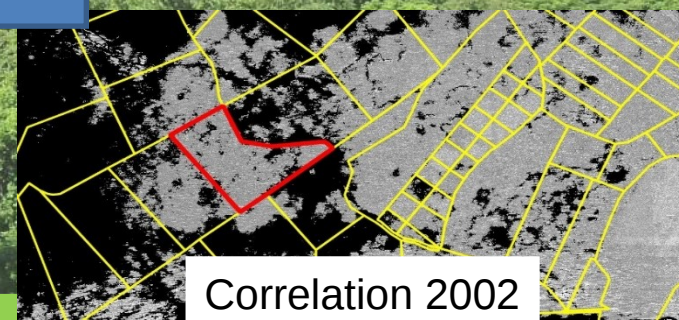
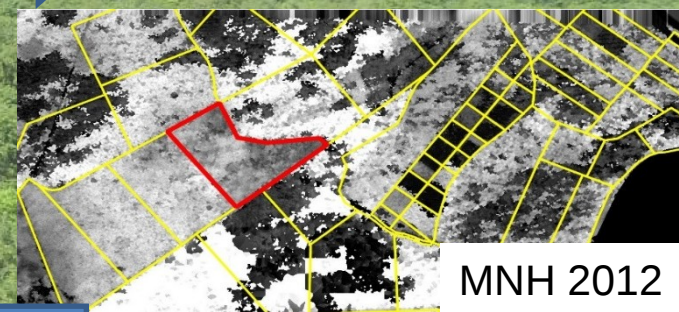
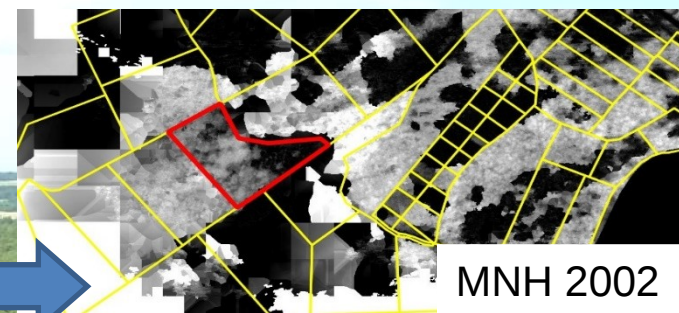
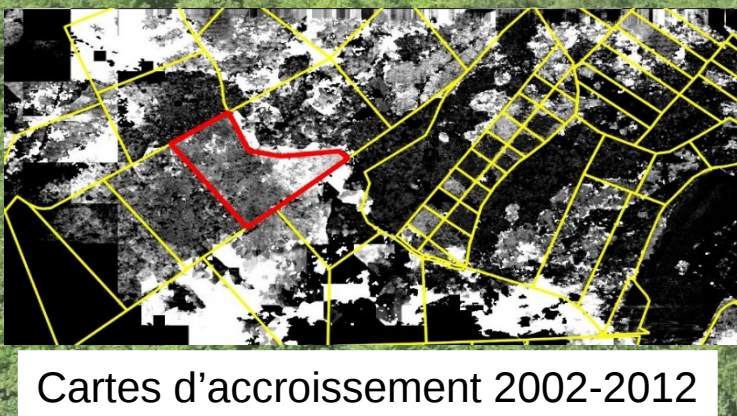
## Ressource future

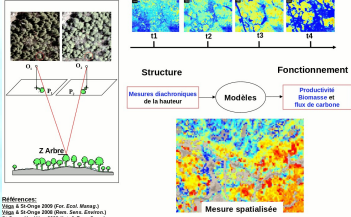
Burochin et al,  
postdoctorat  
IGN - INRA

Mise au point  
de la méthode  
sur la forêt de  
Haye



+ modèles  
numériques  
de terrain



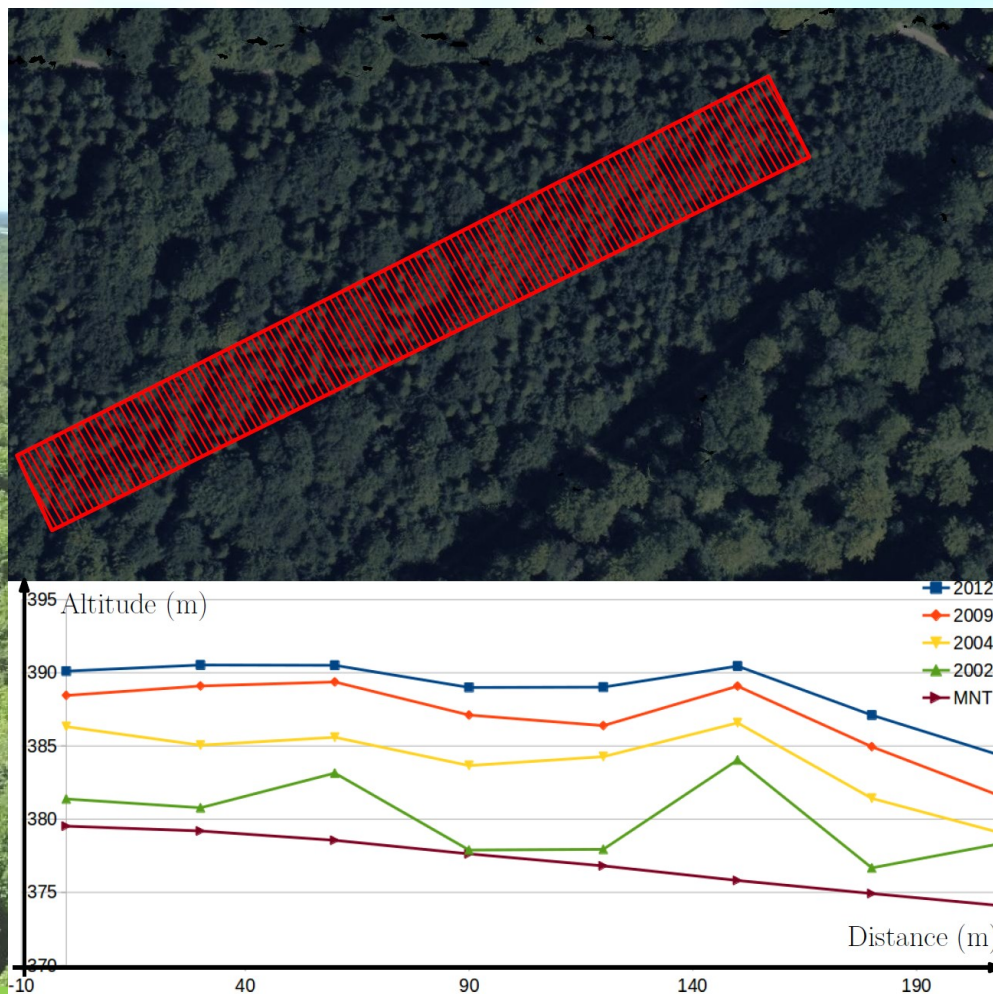


## Ressource future

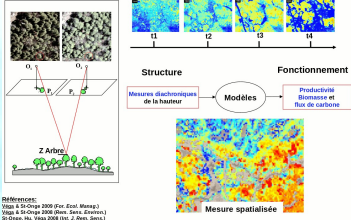
# Les résultats

Burochin et al,  
postdoctorat  
IGN - INRA

Reconstitution de la  
croissance en hauteur,  
avec photos numériques  
et digitales

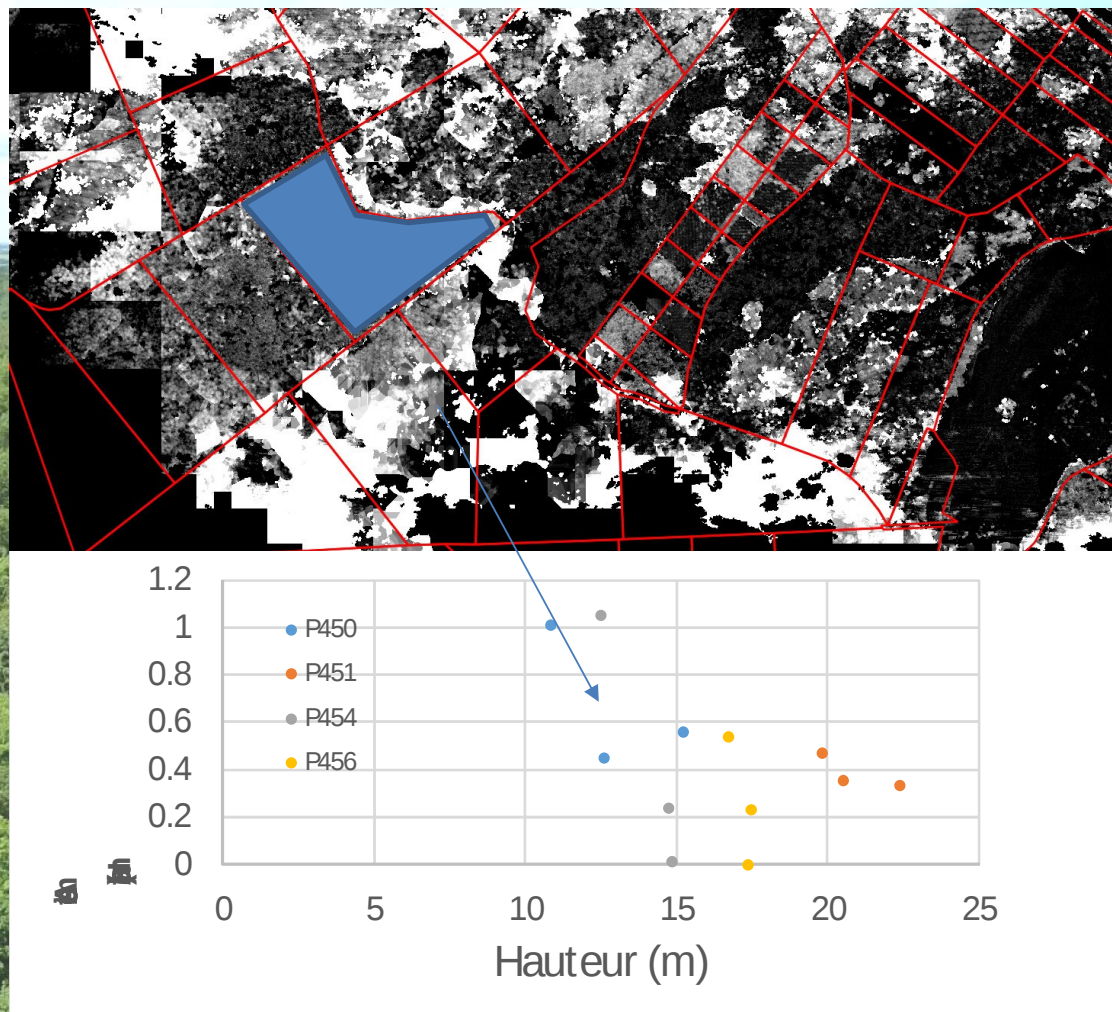


| Year | Material   | GSD           | B/H |
|------|------------|---------------|-----|
| 2012 | digital    | 50 cm (25 cm) | 0.2 |
| 2009 | digital    | 30 cm         | 0.3 |
| 2004 | digital    | 80 cm         | 0.2 |
| 2002 | historical | 26 cm         | 0.6 |



# Les résultats

## Ressource future



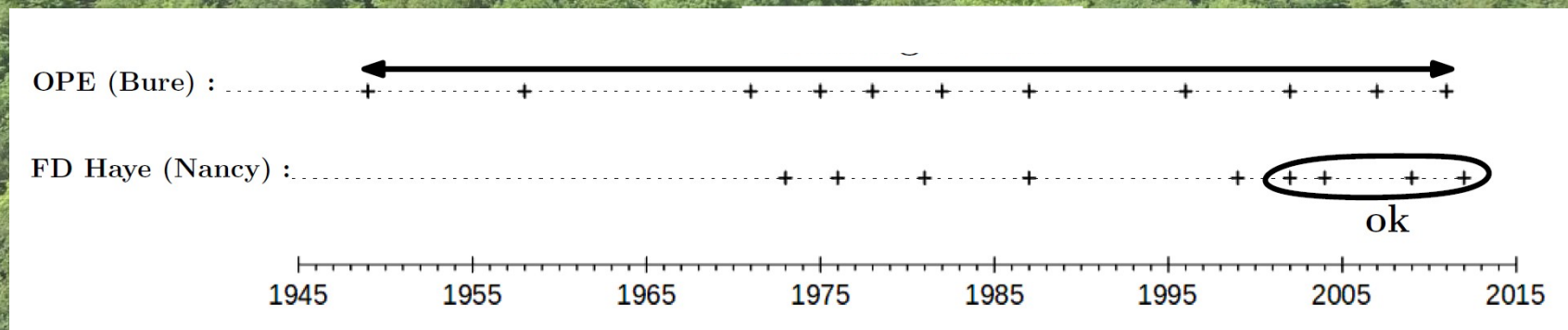
Burochin et al,  
postdoctorat  
IGN - INRA

Courbes  $d_{ho}=f(H_0)$ , et  
indices de fertilité

# Conclusions

**Ressource actuelle: Modèles disponibles pour la cartographie Ho, G, Vol, Biomasse sur l'OPE**

**Ressource future: Application photogrammétrie en cours sur OPE, comparaison cartes d'IF avec cartes de station et / ou mesures in situ**



# Perspectives

**Ressource actuelle: Ventilation par type de produits (gisements BO, BE, BI)**

**Ressource future: modèles de croissance pour prédire l'évolution des gisements en fonction de la silviculture et du climat**

SLCD-Fagacée (Sainte-Marie et al. 2014. Ecol. Mod.)

Castanea (Guillemot et al. 2014, AoB)

*Data for calibration, validation and forcing*

Remote sensing

National networks of permanent plots  
National Forest Inventories (NFI)

Comprehensive sites

Continent  
Country  
Region  
Forest  
Stand  
Tree

**Global models**

**NFI Matrix based models**

**NFI grid models**

**Tree and Stand Spatialized models**

Fagacée  
PP3, E-Dendro

3PG  
CO2Fix  
ForNBM

PnET; Lignum, GreenLab,  
G'Day, ForSafe, Castanea,  
GO+

**Tree and Stand models**

Empirical

Process-based



**Merci de votre attention**