

Le dispositif de l'Inventaire forestier national français

Échantillonnage spatial d'un objet complexe

François MORNEAU¹ Stéphanie WURPILLOT¹ Cédric DUPREZ¹
Jean-Daniel BONTEMPS² Jean-Christophe HERVÉ†²

IGN

¹Service de l'inventaire Forestier et Environnemental

²Laboratoire d'Inventaire Forestier

Jeudi 14 juin 2018



- 1 La forêt française, un objet complexe
- 2 IFN français : la “nouvelle” méthode 2005
- 3 La grille d'échantillonnage
- 4 L'inventaire du futur : plus riche, plus précis, mieux résolu
- 5 Conclusions

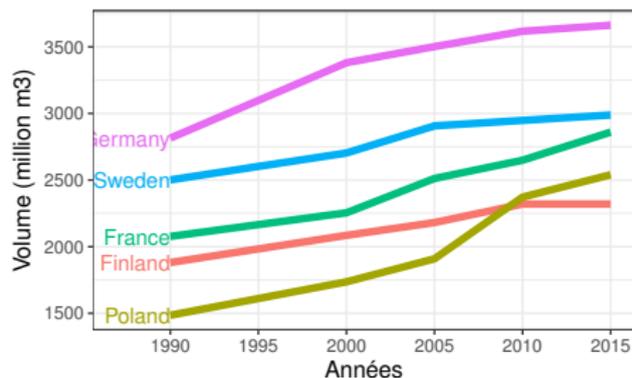
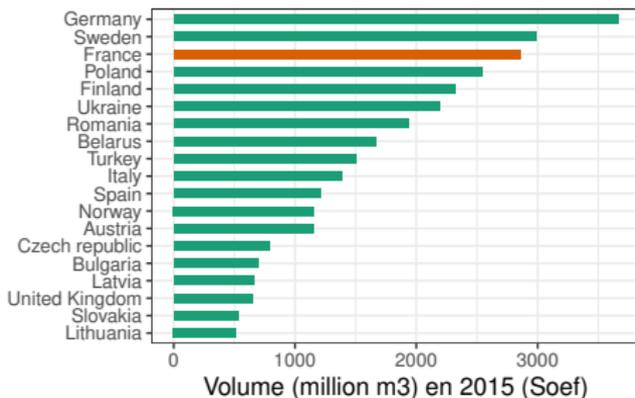


La forêt française, un objet complexe

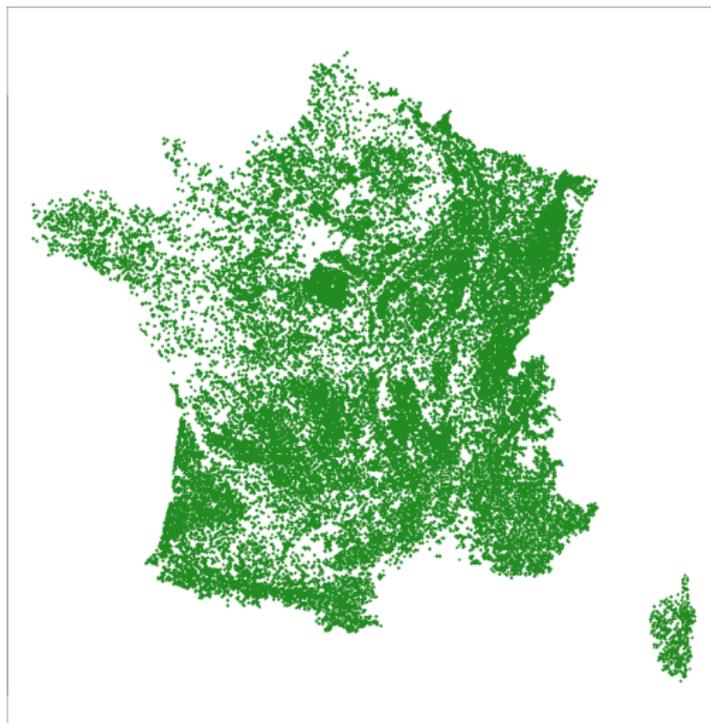


Contexte européen

■ Des forêts européennes en forte expansion



Les forêts françaises



Les forêts françaises

- Une (r)évolution historique :
 - ▶ La surface a **doublé en un siècle** : > 16 millions d'ha (30 % du territoire)
 - ▶ Le volume a **doublé en 50 ans** : > 2,5 milliards de m³
 - ▶ **Troisième stock** de bois en Europe
 - ▶ **Premier stock feuillu**
 - ▶ Et un des (le) plus exposé dans le cadre du changement climatique



Les forêts françaises

■ Une (r)évolution historique :

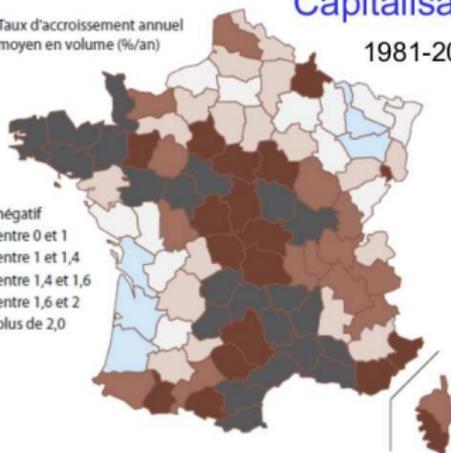
- ▶ La surface a **doublé en un siècle** : > 16 millions d'ha (30 % du territoire)
- ▶ Le volume a **doublé en 50 ans** : > 2,5 milliards de m³
- ▶ **Troisième stock** de bois en Europe
- ▶ **Premier stock feuillu**
- ▶ Et un des (le) plus exposé dans le cadre du changement climatique

Capitalisation

Taux d'accroissement annuel moyen en volume (%/an)

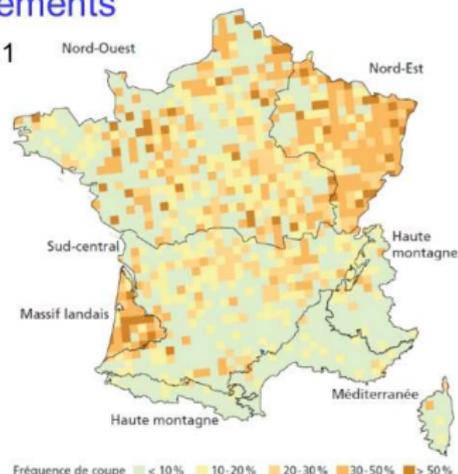
1981-2009

- négatif
- entre 0 et 1
- entre 1 et 1,4
- entre 1,4 et 1,6
- entre 1,6 et 2
- plus de 2,0



Prélèvements

2005-2011



Fréquence de coupe < 10% 10-20% 20-30% 30-50% > 50%

Les forêts françaises

- Au cœur d'enjeux inédits :
 - ▶ Matériaux renouvelables
 - Effet direct (évitement d'émissions fossiles)
 - Effet de substitution
 - ▶ Atténuation (fonction puits de carbone)
 - ▶ Adaptation : évolution subie ou voulue
 - ▶ Attentes sociétales parfois (souvent !) contradictoires
 - ▶ Biodiversité



Les forêts françaises

- Au cœur d'enjeux inédits :
 - ▶ Matériaux renouvelables
 - Effet direct (évitement d'émissions fossiles)
 - Effet de substitution
 - ▶ Atténuation (fonction puits de carbone)
 - ▶ Adaptation : évolution subie ou voulue
 - ▶ Attentes sociétales parfois (souvent !) contradictoires
 - ▶ Biodiversité

Un outil de suivi

→ **L'Inventaire forestier national (IFN) français**

Des milliers de placettes chaque année
Plus de 200 variables par placette (forêt)



IFN français : la "nouvelle" méthode 2005



Inventaire en continu

- De 1958 à 2004 : Inventaires départementaux
- 1999 (Lothar and Martin) : ~ 180 millions de m³ touchés
 - ▶ IFN incapable de fournir des résultats précis sur les dégâts
 - ▶ Besoin d'un nouvel outil (2005) :

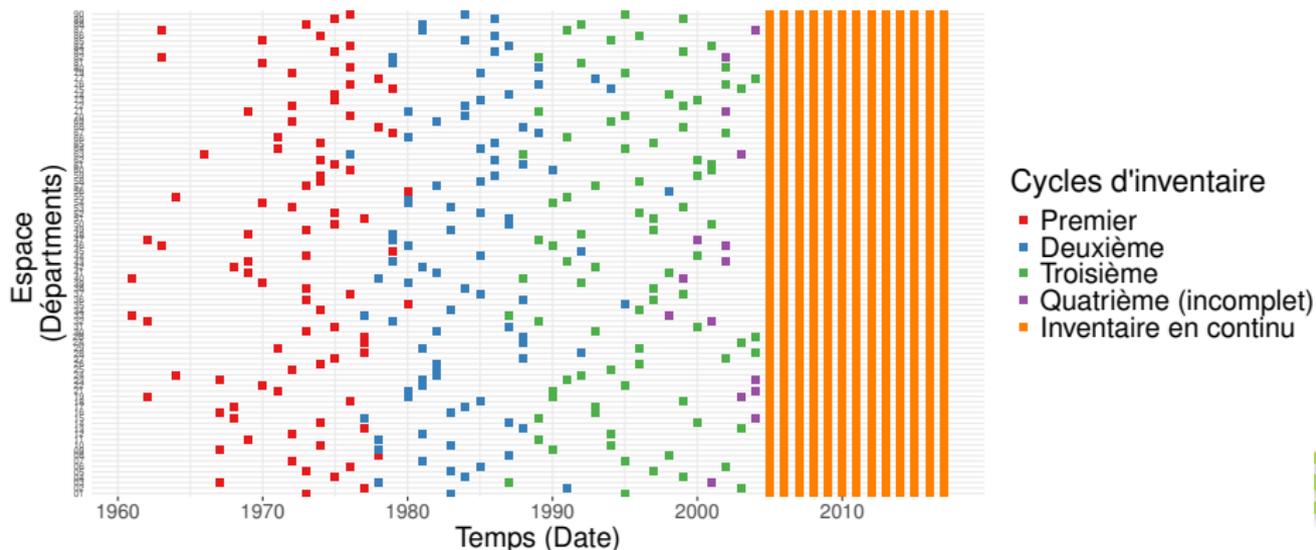
→ **Inventaire en continu dans l'espace et le temps**



Inventaire en continu

- De 1958 à 2004 : Inventaires départementaux
- 1999 (Lothar and Martin) : ~ 180 millions de m³ touchés
 - ▶ IFN incapable de fournir des résultats précis sur les dégâts
 - ▶ Besoin d'un nouvel outil (2005) :

→ **Inventaire en continu dans l'espace et le temps**



Un inventaire à deux phases

- Première phase "systématique" :
 - ▶ Photo-interprétation (80 000 à 100 000 points par an)
 - ▶ Données sur l'occupation du sol (couverture, utilisation, *etc.*)



Un inventaire à deux phases

■ Première phase "systématique" :

- ▶ Photo-interprétation (80 000 à 100 000 points par an)
- ▶ Données sur l'occupation du sol (couverture, utilisation, *etc.*)

■ Deuxième phase :

- ▶ Sous-échantillon des catégories visitées sur le terrain (5 000 à 7 000 nouveaux points par an)
- ▶ Et points de phase 1 pour les catégories non visitées



Un inventaire à deux phases

- Première phase “systématique” :
 - ▶ Photo-interprétation (80 000 à 100 000 points par an)
 - ▶ Données sur l’occupation du sol (couverture, utilisation, *etc.*)

- Deuxième phase :
 - ▶ Sous-échantillon des catégories visitées sur le terrain (5 000 à 7 000 nouveaux points par an)
 - ▶ Et points de phase 1 pour les catégories non visitées

- Des estimateurs annuels **post**-stratifiés
 - ▶ Moins de contraintes sur le plan d’échantillonnage
 - ▶ Un outil flexible et adaptable (utilisation de données auxiliaires)
 - ▶ Poids statistiques (proba d’inclusions) inégaux, fournis par le plan d’échantillonnage (grille)

- Statistiques produites par combinaison (moyenne simple) des 5 dernières années



Un inventaire à deux phases

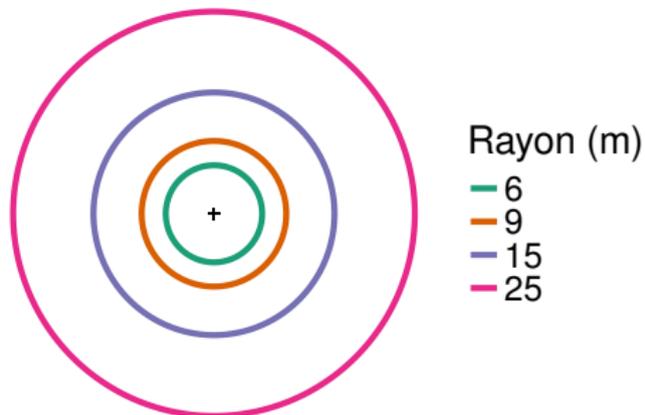
- Première phase "systématique" :
 - ▶ Photo-interprétation (80 000 à 100 000 points par an)
 - ▶ Données sur l'occupation du sol (couverture, utilisation, *etc.*)
- Deuxième phase :
 - ▶ Sous-échantillon des catégories visitées sur le terrain (5 000 à 7 000 nouveaux points par an)
 - ▶ Et points de phase 1 pour les catégories non visitées
- Des estimateurs annuels **post**-stratifiés
 - ▶ Moins de contraintes sur le plan d'échantillonnage
 - ▶ Un outil flexible et adaptable (utilisation de données auxiliaires)
 - ▶ Poids statistiques (proba d'inclusions) inégaux, fournis par le plan d'échantillonnage (grille)
- Statistiques produites par combinaison (moyenne simple) des 5 dernières années

Non-réponse

Aucune. Les arbres n'ont pas le choix, ils sont cernés !

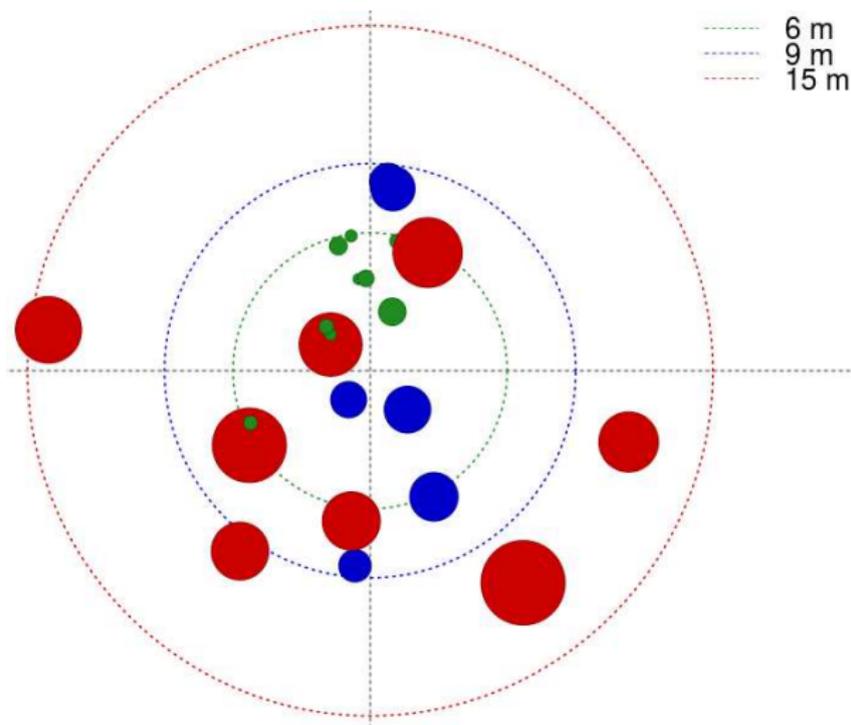
Placettes d'inventaire

- Les placettes "régularisent" les variables forestières (ex. : V/ha)
- Placette de 25 m
 - ▶ Description du peuplement
 - ▶ Commune aux phases 1 et 2
- Placette de 15 m
 - ▶ Ecologie et gros bois ($d \geq 37,5 \text{ cm}$)
- Placette de 9 m
 - ▶ Moyens bois
($22,5 \text{ cm} \leq d < 37,5 \text{ cm}$)
- Placette de 6 m
 - ▶ Petits bois ($7,5 \text{ cm} \leq d < 22,5 \text{ cm}$)



■ Un exemple de placette :

- ▶ une couleur par placette et classe de dimension des arbres levés



Mesures dendrométriques sur 6, 9 et 15 m

- Plus de 200 espèces d'arbres en France
- Mesure de la circonférence, de la hauteur, de l'accroissement, *etc.*
- Avec le temps :
 - ▶ Simplification des mesures
 - ▶ Allègement du matériel
 - ▶ Diminution des mesures → Imputations



Données écologiques sur 15 m



■ Données écologiques depuis les années 80

- ▶ Flore (> 3000 espèces)
- ▶ Géologie
- ▶ Pédologie (Sols)
- ▶ *etc*



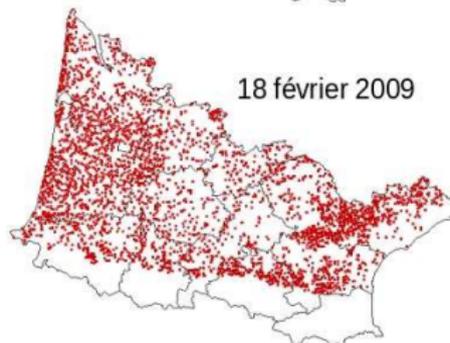
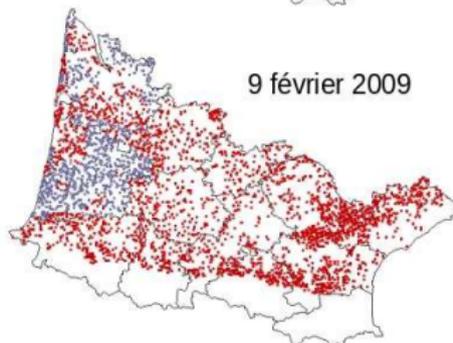
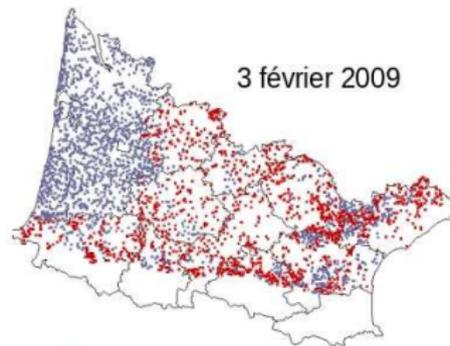
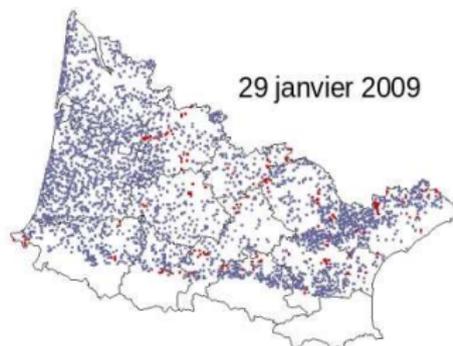
Un outil réactif : Klaus (24 janv. 2009)

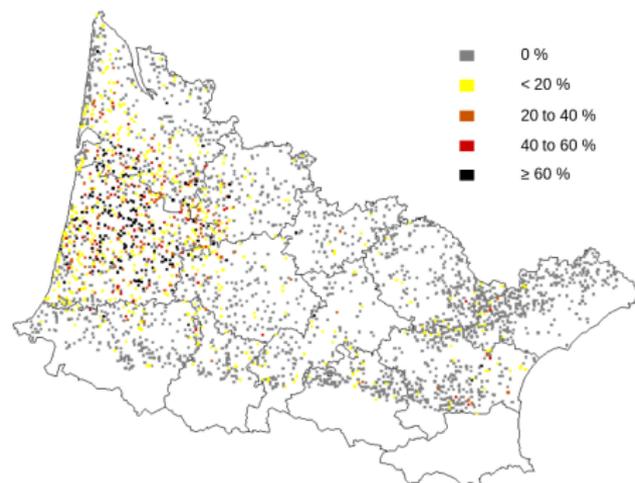


FIGURE 1 – Klaus impact on south-west pine forests

Klaus (24 janv. 2009)

- Plus de 3200 placettes revisitées (en rouge)





- Mise à jour des infos après tempête
- **Estimations finales (!!) en moins d'un mois**

Dégâts

42,5 millions m^3

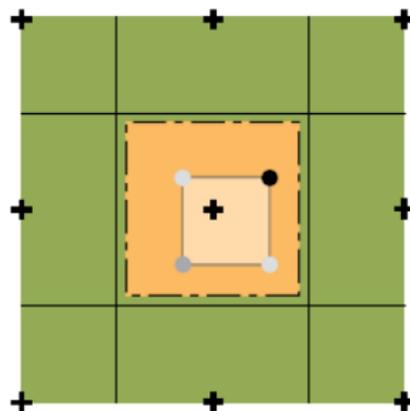
37 millions m^3 pour le seul pin maritime

La grille d'échantillonnage



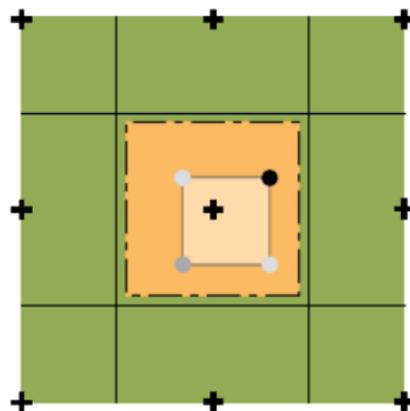
Une grille kilométrique

- Définie pour la nouvelle méthode en Lambert 2 étendu (projection carto)
- Organisation régulière des années
- Mailles à 5 ans d'écart juxtaposées
 - ▶ Optimisation de la distribution spatiale (moyennes sur 5 ans)
 - ▶ Position des points retours (optimisation logistique)
- Tirage au hasard des placettes dans les mailles
 - ▶ Stratification géographique (Tillé 2018, JMS)
- Éventuellement densification (≤ 4 points par maille)



Une grille kilométrique

- Définie pour la nouvelle méthode en Lambert 2 étendu (projection carto)
- Organisation régulière des années
- Mailles à 5 ans d'écart juxtaposées
 - ▶ Optimisation de la distribution spatiale (moyennes sur 5 ans)
 - ▶ Position des points retours (optimisation logistique)
- Tirage au hasard des placettes dans les mailles
 - ▶ Stratification géographique (Tillé 2018, JMS)
- Éventuellement densification (≤ 4 points par maille)



Fondamentalement

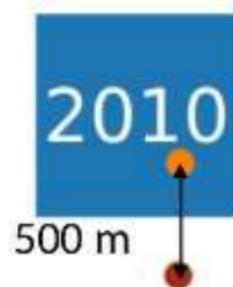
La grille est un support de tirage pour répartir systématiquement des échantillons dans l'espace et le temps

2005	2010	2006	2011	2007	2012	2008	2013
2013	2009	2014	2005	2010	2006	2011	2007
2007	2012	2008	2013	2009	2014	2005	2010
2010	2006	2011	2007	2012	2008	2013	2009
2009	2014	2005	2010	2006	2011	2007	2012
2012	2008	2013	2009	2014	2005	2010	2006
2006	2011	2007	2012	2008	2013	2009	2014
2014	2005	2010	2006	2011	2007	2012	2008



Depuis 2015

- Identique à la précédente mais :
 - ▶ On tire le point à 500 m au nord ou au sud du point fait il y a 5 ans
- Fortement contrainte par les tirages précédents



Les niveaux de tirage

- Chaque maille appartient à un niveau qui permet un sous-échantillonnage régulier
- Division par 2 du nombre de mailles à chaque montée d'un niveau



Niveau 1 : maille annuelle de 10 km²



Niveau 2 : maille annuelle de 20 km²



Niveau 3 : maille annuelle de 40 km²



Niveau 4 : maille annuelle de 80 km²



Fractionnement annuel

- Grilles annuelles carrées
- Propriété valide pour un sous-ensemble de fractionnement :
 - ▶ Ensemble des diviseurs d du réseau initial vérifiant :

$$d = a^2 + b^2, \{a, b, d\} \in \mathbb{N}$$

a et b coordonnées (entières) du sous-réseau



Fractionnement annuel

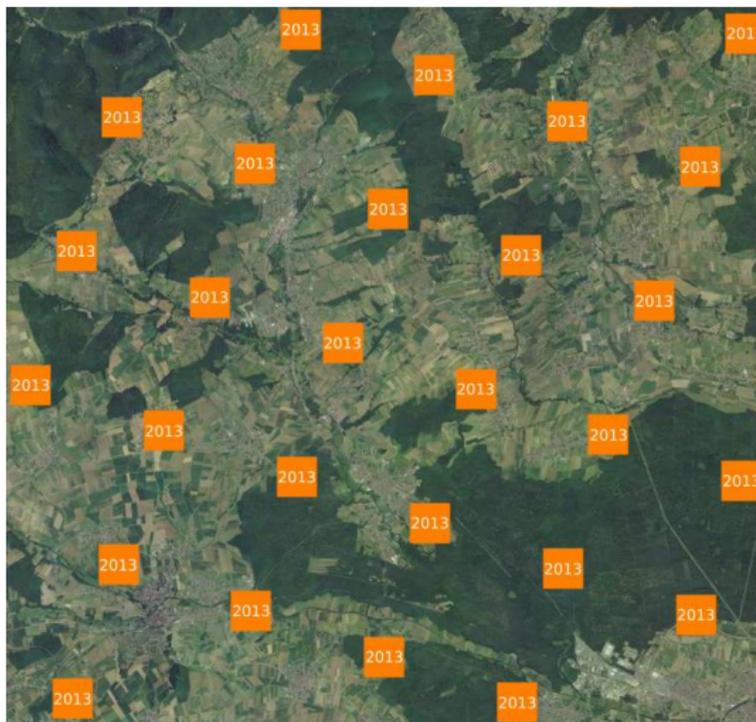
- Grilles annuelles carrées
- Propriété valide pour un sous-ensemble de fractionnement :
 - ▶ Ensemble des diviseurs d du réseau initial vérifiant :

$$d = a^2 + b^2, \{a, b, d\} \in \mathbb{N}$$

a et b coordonnées (entières) du sous-réseau

- Choix d'un fractionnement initial en 10 ($3^2 + 1$)
- Positionnement des 5 premières fractions
- Positionnement des 5 suivantes directement à côté (décalage temporel de 5 ans)











Bilan

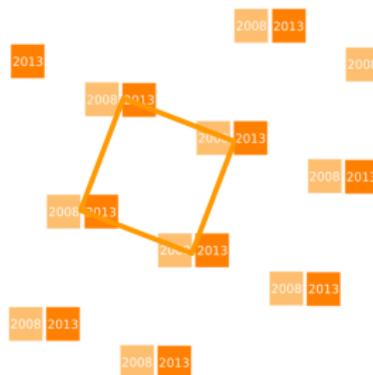
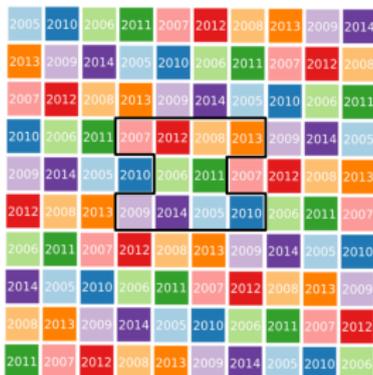
- Territoire entièrement couvert en 5 ans (grille régulière)
 - ▶ Statistiques annuelles (fenêtre glissante)
 - ▶ Optimisation du dispositif pour un retour sur points à 5 ans → Flux (croissance, prélèvements, mortalité, *etc.*)



Bilan

■ Territoire entièrement couvert en 5 ans (grille régulière)

- ▶ Statistiques annuelles (fenêtre glissante)
- ▶ Optimisation du dispositif pour un retour sur points à 5 ans → Flux (croissance, prélèvements, mortalité, etc.)



L'inventaire du futur : plus riche, plus précis, mieux résolu



Par couplage d'échantillons

- La proximité n et $n - 5$ permet d'envisager un "doublement" de l'échantillon
 - ▶ SPR (Sampling with Partial Replacement) : échantillon à renouvellement partiel
 - ▶ Trois phases statistiques ?
 - ▶ Imputation des flux de $n - 5 \rightarrow n$: estimateur par régression
 - ▶ Autre possibilités ?

Par couplage d'échantillons

- La proximité n et $n - 5$ permet d'envisager un "doublement" de l'échantillon
 - ▶ SPR (Sampling with Partial Replacement) : échantillon à renouvellement partiel
 - ▶ Trois phases statistiques ?
 - ▶ Imputation des flux de $n - 5 \rightarrow n$: estimateur par régression
 - ▶ Autre possibilités ?

Besoins

Travail de fond sur les statistiques et de nouveaux estimateurs adapté au cas concret de l'IFN



Par utilisation d'informations auxiliaires nouvelles

- Issues de la télédétection
 - ▶ Satellite
 - ▶ Et surtout photo → Modèle Numérique de Surface (MNS)
- Bien corrélées aux variables forestières de stock **et** de flux
- Via la post-stratification
- Via des techniques d'imputations → k -NN

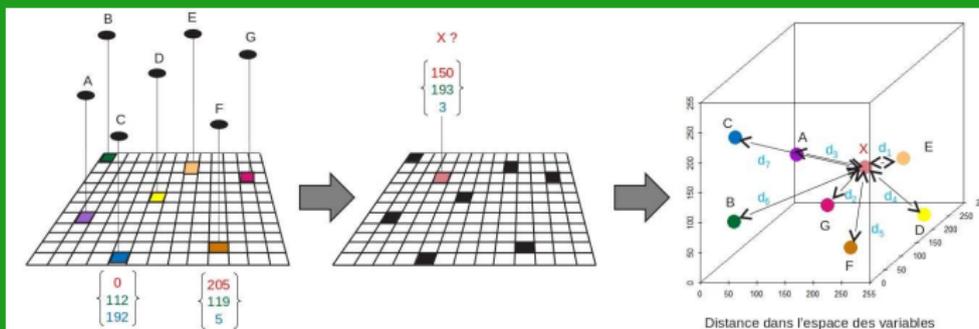


Par utilisation d'informations auxiliaires nouvelles

- Issues de la télédétection
 - ▶ Satellite
 - ▶ Et surtout photo → Modèle Numérique de Surface (MNS)
- Bien corrélées aux variables forestières de stock **et** de flux
- Via la post-stratification
- Via des techniques d'imputations → k -NN

Inventaire multisource

Approche non paramétrique basée sur les k plus proches voisins (k -NN)



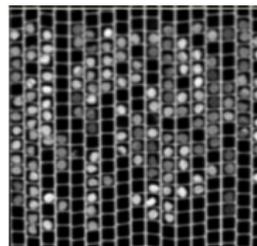
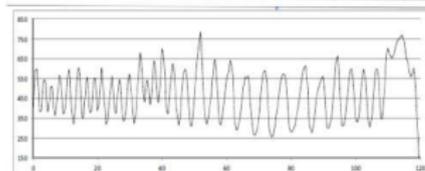
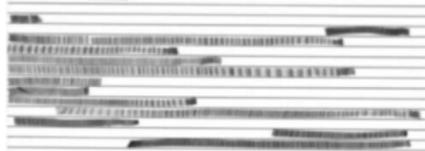
Par enrichissement de sorties

- Principe : nouvelles données à “coût marginal”
- Exemple : projet XyloDensMap
 - ▶ Biomasse au niveau arbre
 - ▶ Récupération de la “carotte” d'accroissement
 - ▶ Scanner tomographique (médical) pour acquérir la μ -densité à haute densité



Par enrichissement de sorties

- Principe : nouvelles données à “coût marginal”
- Exemple : projet XyloDensMap
 - ▶ Biomasse au niveau arbre
 - ▶ Récupération de la “carotte” d'accroissement
 - ▶ Scanner tomographique (médical) pour acquérir la μ -densité à haute densité



Conclusions



Conclusions

L'Inventaire français :

- Est une enquête sur un objet, la **forêt, au cœur de grands enjeux socio-économiques**

Pour développer l'Inventaire du futur

L'IGN se renforce et recrute un expert statisticien en sondage :

Offre : http://www.ign.fr/institut/sites/all/files/ac_expert_statisticien.pdf

Site du laboratoire LIF : <https://sites.google.com/Site/LabForestInventory>

Inventaire : <https://inventaire-forestier.ign.fr>

Fonctionnaire ou CDI catégorie A, salaire négociable (minimum 40K€/an)

Conclusions

L'Inventaire français :

- Est une enquête sur un objet, la **forêt, au cœur de grands enjeux socio-économiques**
- Est un des rare/unique système couvrant **l'espace ET le temps de manière systématique**

Pour développer l'Inventaire du futur

L'IGN se renforce et recrute un expert statisticien en sondage :

Offre : http://www.ign.fr/institut/sites/all/files/ac_expert_statisticien.pdf

Site du laboratoire LIF : <https://sites.google.com/Site/LabForestInventory>

Inventaire : <https://inventaire-forestier.ign.fr>

Fonctionnaire ou CDI catégorie A, salaire négociable (minimum 40K€/an)

Conclusions

L'Inventaire français :

- Est une enquête sur un objet, la **forêt, au cœur de grands enjeux socio-économiques**
- Est un des rare/unique système couvrant **l'espace ET le temps de manière systématique**
- S'appuie sur une **grille d'échantillonnage originale** :

Pour développer l'Inventaire du futur

L'IGN se renforce et recrute un expert statisticien en sondage :

Offre : http://www.ign.fr/institut/sites/all/files/ac_expert_statisticien.pdf

Site du laboratoire LIF : <https://sites.google.com/Site/LabForestInventory>

Inventaire : <https://inventaire-forestier.ign.fr>

Fonctionnaire ou CDI catégorie A, salaire négociable (minimum 40K€/an)

Conclusions

L'Inventaire français :

- Est une enquête sur un objet, la **forêt, au cœur de grands enjeux socio-économiques**
- Est un des rare/unique système couvrant **l'espace ET le temps de manière systématique**
- S'appuie sur une **grille d'échantillonnage originale** :
 - ▶ **Souplesse** pour adapter simplement l'effort d'échantillonnage (charge annuelle)

Pour développer l'Inventaire du futur

L'IGN se renforce et recrute un expert statisticien en sondage :

Offre : http://www.ign.fr/institut/sites/all/files/ac_expert_statisticien.pdf

Site du laboratoire LIF : <https://sites.google.com/Site/LabForestInventory>

Inventaire : <https://inventaire-forestier.ign.fr>

Fonctionnaire ou CDI catégorie A, salaire négociable (minimum 40K€/an)

Conclusions

L'Inventaire français :

- Est une enquête sur un objet, la **forêt, au cœur de grands enjeux socio-économiques**
- Est un des rare/unique système couvrant **l'espace ET le temps de manière systématique**
- S'appuie sur une **grille d'échantillonnage originale** :
 - ▶ **Souplesse** pour adapter simplement l'effort d'échantillonnage (charge annuelle)
 - ▶ **Répartition spatiale optimale** à 1 et 5 ans

Pour développer l'Inventaire du futur

L'IGN se renforce et recrute un expert statisticien en sondage :

Offre : http://www.ign.fr/institut/sites/all/files/ac_expert_statisticien.pdf

Site du laboratoire LIF : <https://sites.google.com/Site/LabForestInventory>

Inventaire : <https://inventaire-forestier.ign.fr>

Fonctionnaire ou CDI catégorie A, salaire négociable (minimum 40K€/an)

Conclusions

L'Inventaire français :

- Est une enquête sur un objet, la **forêt, au cœur de grands enjeux socio-économiques**
- Est un des rare/unique système couvrant **l'espace ET le temps de manière systématique**
- S'appuie sur une **grille d'échantillonnage originale** :
 - ▶ **Souplesse** pour adapter simplement l'effort d'échantillonnage (charge annuelle)
 - ▶ **Répartition spatiale optimale** à 1 et 5 ans
 - ▶ **Réactivité** démontrée après des événements exceptionnels

Pour développer l'Inventaire du futur

L'IGN se renforce et recrute un expert statisticien en sondage :

Offre : http://www.ign.fr/institut/sites/all/files/ac_expert_statisticien.pdf

Site du laboratoire LIF : <https://sites.google.com/Site/LabForestInventory>

Inventaire : <https://inventaire-forestier.ign.fr>

Fonctionnaire ou CDI catégorie A, salaire négociable (minimum 40K€/an)

Conclusions

L'Inventaire français :

- Est une enquête sur un objet, la **forêt, au cœur de grands enjeux socio-économiques**
- Est un des rare/unique système couvrant **l'espace ET le temps de manière systématique**
- S'appuie sur une **grille d'échantillonnage originale** :
 - ▶ **Souplesse** pour adapter simplement l'effort d'échantillonnage (charge annuelle)
 - ▶ **Répartition spatiale optimale** à 1 et 5 ans
 - ▶ **Réactivité** démontrée après des événements exceptionnels
- Un point fondamental : le **couplage intime entre l'inventaire et la recherche (LIF)**

Pour développer l'Inventaire du futur

L'IGN se renforce et recrute un expert statisticien en sondage :

Offre : http://www.ign.fr/institut/sites/all/files/ac_expert_statisticien.pdf

Site du laboratoire LIF : <https://sites.google.com/Site/LabForestInventory>

Inventaire : <https://inventaire-forestier.ign.fr>

Fonctionnaire ou CDI catégorie A, salaire négociable (minimum 40K€/an)

Conclusions

L'Inventaire français :

- Est une enquête sur un objet, la **forêt, au cœur de grands enjeux socio-économiques**
- Est un des rare/unique système couvrant **l'espace ET le temps de manière systématique**
- S'appuie sur une **grille d'échantillonnage originale** :
 - ▶ **Souplesse** pour adapter simplement l'effort d'échantillonnage (charge annuelle)
 - ▶ **Répartition spatiale optimale** à 1 et 5 ans
 - ▶ **Réactivité** démontrée après des événements exceptionnels
- Un point fondamental : le **couplage intime entre l'inventaire et la recherche (LIF)**
- Défi futur : l'inventaire des DOMs (Guyane) . . .

Pour développer l'Inventaire du futur

L'IGN se renforce et recrute un expert statisticien en sondage :

Offre : http://www.ign.fr/institut/sites/all/files/ac_expert_statisticien.pdf

Site du laboratoire LIF : <https://sites.google.com/Site/LabForestInventory>

Inventaire : <https://inventaire-forestier.ign.fr>

Fonctionnaire ou CDI catégorie A, salaire négociable (minimum 40K€/an)

Merci

Merci



Merci



Jean-Christophe Hervé

