

MODELLING FOREST DYNAMICS TO ASSESS AND IMPROVE FOREST MANAGEMENT SUSTAINABILITY AT A REGIONAL SCALE: AN ANALYSIS OF FOREST CHANGES IN SOUTHERN BELGIUM

PhD thesis – Jérôme PERIN

Public defense (20th november 2020)

**Supervisors:
Philippe LEJEUNE
Jacques HÉBERT**



1

Introduction

Contexte général

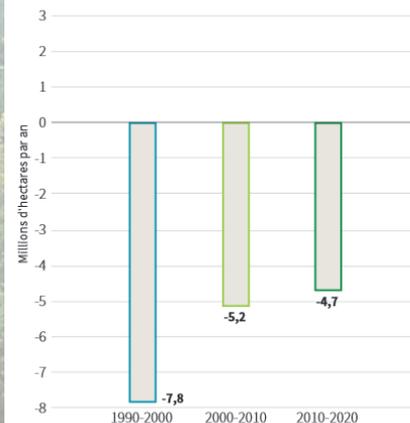
Importance majeure des forêts :

- Réservoirs de biodiversité
- Absorption et stockage de CO₂
- Produits renouvelables et de substitution
 - *Industrie, énergie et construction*

Pas toujours gérées durablement :

- Déforestation : 4.7 millions ha/an
- Dégradation : 15.4 millions ha/an

Changement annuel net de la superficie forestière mondiale, par décennie, 1990-2020



Contexte général

Multitude d'acteurs :

- Chercheurs, gestionnaires, industries
- Besoins d'informations à des échelles variées :
 - *Arbres* → *massif* → *région* → *pays*

Des ressources difficiles à évaluer précisément :

- Hétérogénéité des structures et compositions
- Ressource dynamique (changement continu)
 - *Cyclique: révolution > 50 ans*

Contexte général

Diverses méthodes de mesures :

- Inventaire terrain VS télédétection
- Échantillonnage VS couverture continue
- ≠ résolutions spatiales et temporelles
 - *Harmonisation des données compliquée*

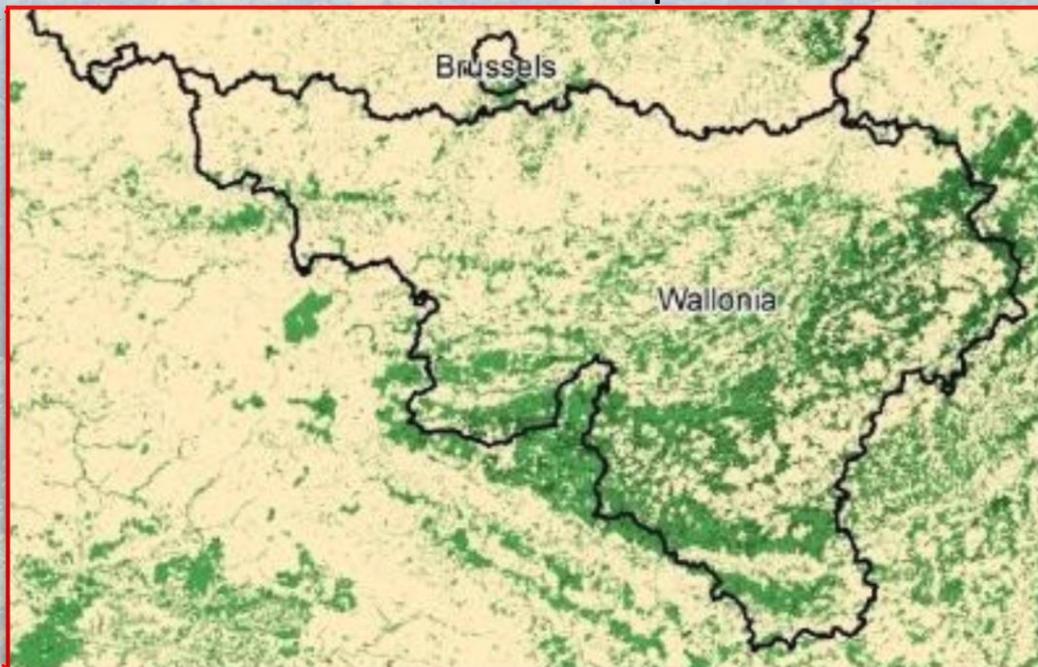
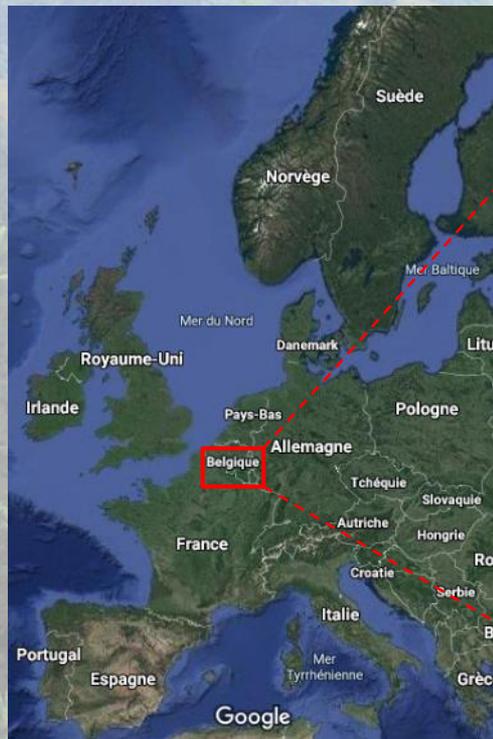
Inventaires Forestiers Nationaux (IFN) :

- PRO : Source de données d'inventaire la plus exhaustive
- CONS : Échantillonnage, mesures parfois incomplètes
Inventaires non synchronisés
Incohérences méthodologiques

Zone d'étude : la forêt wallonne

Couvre 33% du territoire (550 000 ha)

480 000 ha de forêts productives



Zone d'étude : la forêt wallonne

Fragmentée et diverse :

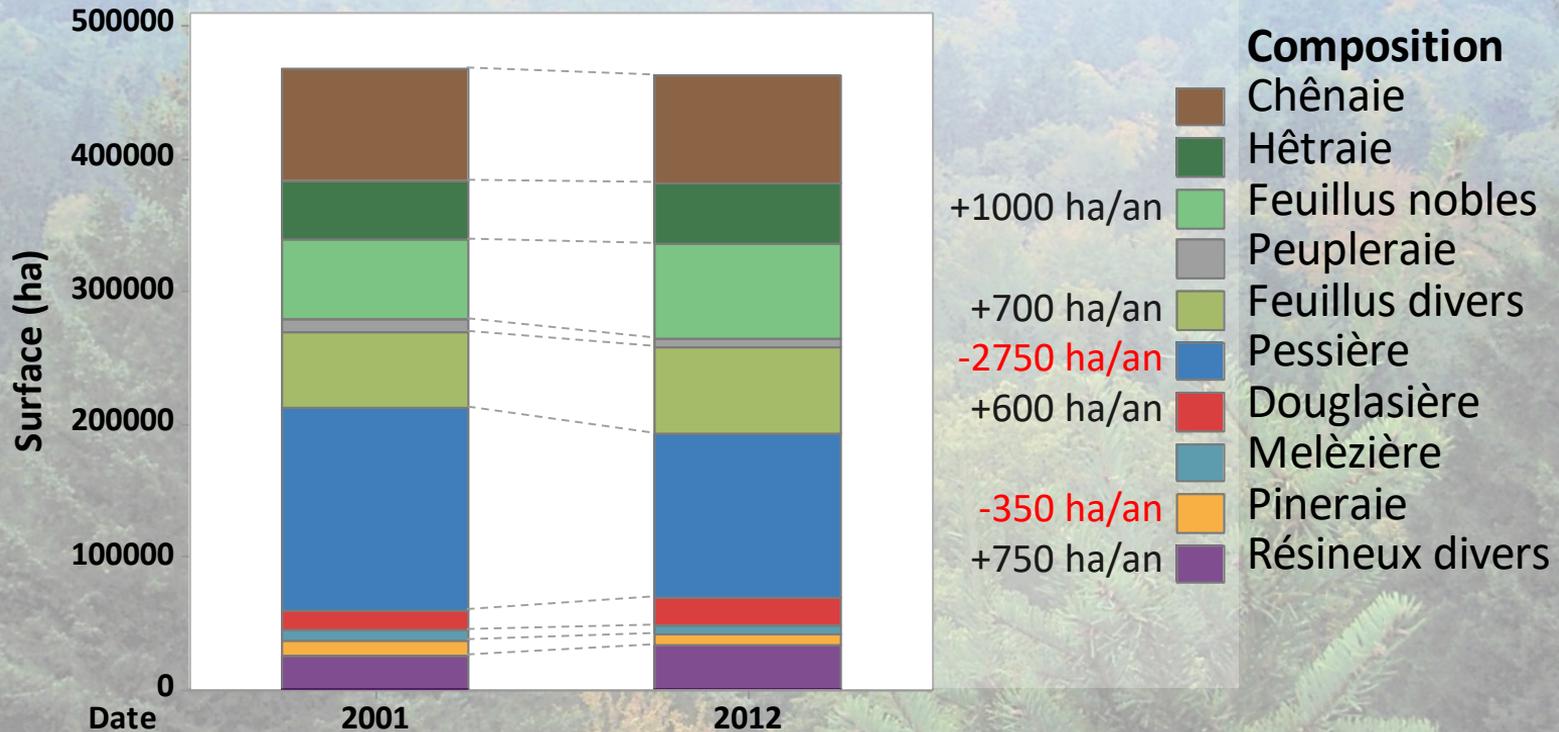
- Grande diversité de station x structure x composition

Gestion « intensive » :

- Coupes rases \approx 4500 ha/an
- 45% de plantations résineuses
 - *Révolutions courtes \approx 60-70 ans (80% des CR)*
- Eclaircies régulières (rotation = 5-12 ans)
 - *Mortalité naturelle rare (<5% du volume prélevé)*

Zone d'étude : la forêt wallonne

Changement rapide de composition :



Zone d'étude : la forêt wallonne

Incertitudes sur la soutenabilité de la gestion

Essence	Volume de la futaie (10 ³ m ³)		Production (10 ³ m ³)	Récoltes (10 ³ m ³)	Taux de récolte(%)
	1994-2008	2008-2012			
Chênes indigènes	20 980	23 040	384	243	63
Hêtre	14 260	16 100	444	428	96
Autres feuillus	11 920	14 750	428	207	48
Total feuillus	47 160	53 890	1 257	878	70
Epicéa	50 210	45 820	1 986	2 840	143
Autres résineux	10 530	13 350	516	425	82
Total résineux	60 740	59 170	2 502	3 265	130
Total	107 900	113 060	3 759	4 143	110

Zone d'étude : la forêt wallonne

Incertitudes sur la soutenabilité de la gestion

Essence	Volume de la futaie (10 ³ m ³)		Production (10 ³ m ³)	Récoltes (10 ³ m ³)	Taux de récolte(%)
	1994-2008	2008-2012			
Chênes indigènes	20 980	23 040	384	243	63
Hêtre	14 260	16 100	444	428	96
Autres feuillus	11 920	14 750	428	207	48
Total feuillus	47 160	53 890	1 257	878	70
Epicéa	50 210	45 820	1 986	2 840	143
Autres résineux	10 530	13 350	516	425	82
Total résineux	60 740	59 170	2 502	3 265	130
Total	107 900	113 060	3 759	4 143	110

! Estimations contradictoires !

Zone d'étude : la forêt wallonne

Estimations contradictoires ?

- Ressources non-mesurées
 - *Peuplements inaccessibles et impénétrables*
 - *Pas d'extrapolation de la production et des récoltes*
- \neq estimations correspondent à \neq périodes
 - *UE permanentes VS temporaires*
- Incohérences méthodologiques
 - *Entre cycles (peuplements linéaires)*
 - *Entre structures : futaie VS taillis*

Questions de recherche

Quels sont les principaux facteurs contrôlables influençant l'évolution des forêts?

- Évaluation et adaptation des scénarios de gestion
- Focus résineux

1^{ère} partie : Modèles « gestion » résineuse

Comment assister l'évaluation des ressources forestières avec la modélisation forestière ?

- Harmonisation et synchronisation des données
- Estimation, extrapolation et prospective

2^{ème} partie : Modèles "région"

Modèles résineux

- 2.1. Productivité
- 2.2. Croissance
- 2.3. GYMNOS
- 2.4. Conclusion

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Forest Ecology and Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foreco

ELSEVIER

Forest Ecology and Management

Modelling the top-height growth and site index of Norway spruce in Southern Belgium

Jérôme Perin^{a,*}, Jacques Hébert^a, Yves Brostaux^b, Philippe Lejeune^a, Hugues Claessens^a

CrossMark

Eur J Forest Res
DOI 10.1007/s10342-016-1019-y

ORIGINAL PAPER

Distance-independent tree basal area growth models for Norway spruce, Douglas-fir and Japanese larch in Southern Belgium

Jérôme Perin¹ · Hugues Claessens¹ · Philippe Lejeune¹ · Yves Brostaux² · Jacques Hébert¹

CrossMark

NOUVELLES COURBES DE PRODUCTIVITÉ HARMONISÉES
POUR LE DOUGLAS, L'ÉPICÉA ET LES MÊLÈZES EN WALLONIE

JÉRÔME PERIN – OLIVIER DE THIËR – HUGUES CLAESENS
PHILIPPE LEJEUNE – JACQUES HÉBERT

De nouvelles normes sylvicoles
pour les futaies pures équiennes
d'épicéa et de douglas
en appui à la gestion
de la forêt publique en Wallonie

Jérôme Perin | Jacques Hébert | Philippe Lejeune | Hugues Claessens
Unité de Gestion des Ressources Forestières (URF-GMRT)

2.1. Indice de productivité

Niveau de production = f(station x composition)

Forte corrélation avec la croissance en Hdom

- Commode dans les plantations pures
 - *Evolution de Hdom peu sensible aux éclaircies*
- Courbes de productivité (i.e. fertilité)
 - *Indice de productivité (SI) : Hdom à 50 ans*

Augmentation notable récemment observée

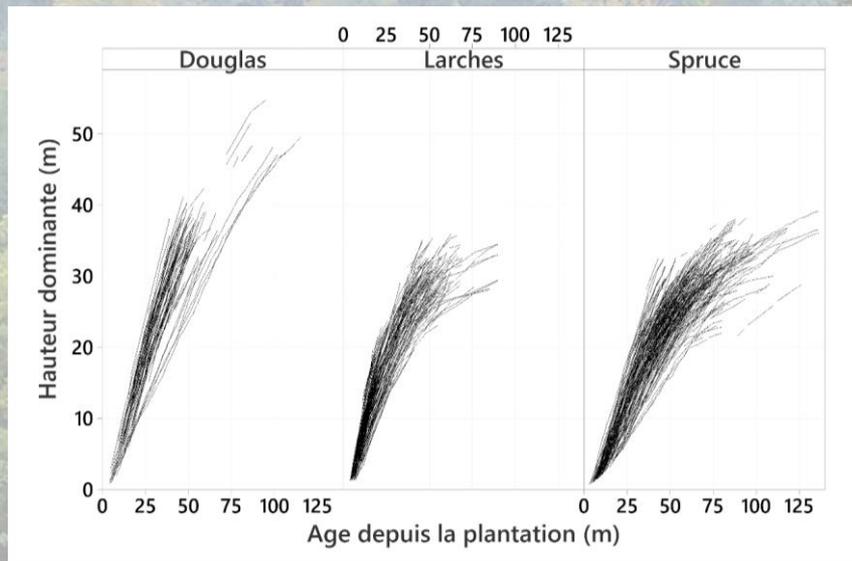
- Mise à jour des modèles antérieurs requise

2.1. Indice de productivité

Données = analyses de tige

- Longues séries temporelles sans suivi à long terme
- MAIS risque de changement de statut social

AT non-destructive possible



2.1. Indice de productivité

Révision des modèles antérieurs

- Modernisation des méthodes statistiques
- Mise en évidence d'une croissance plus soutenue

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Forest Ecology and Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foreco

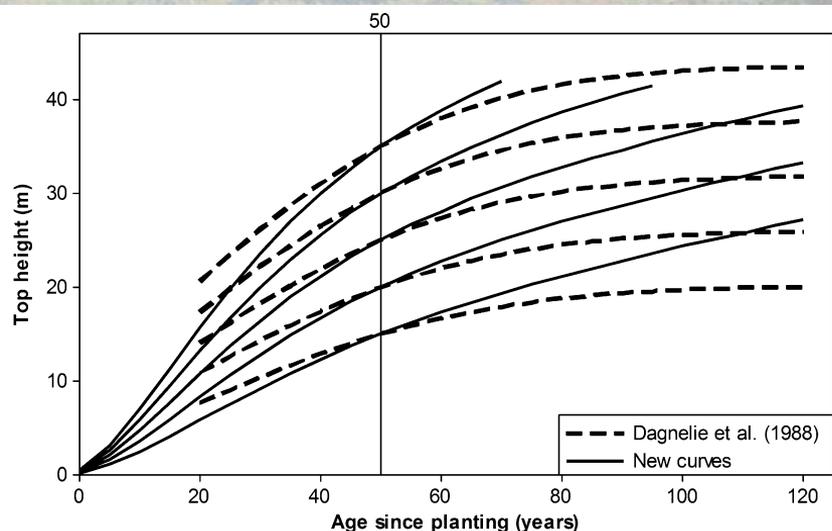
ELSEVIER

Modelling the top-height growth and site index of Norway spruce in Southern Belgium

Jérôme Perin ^{a,*}, Jacques Hébert ^a, Yves Brostaux ^b, Philippe Lejeune ^a, Hugues Claessens ^a

CrossMark

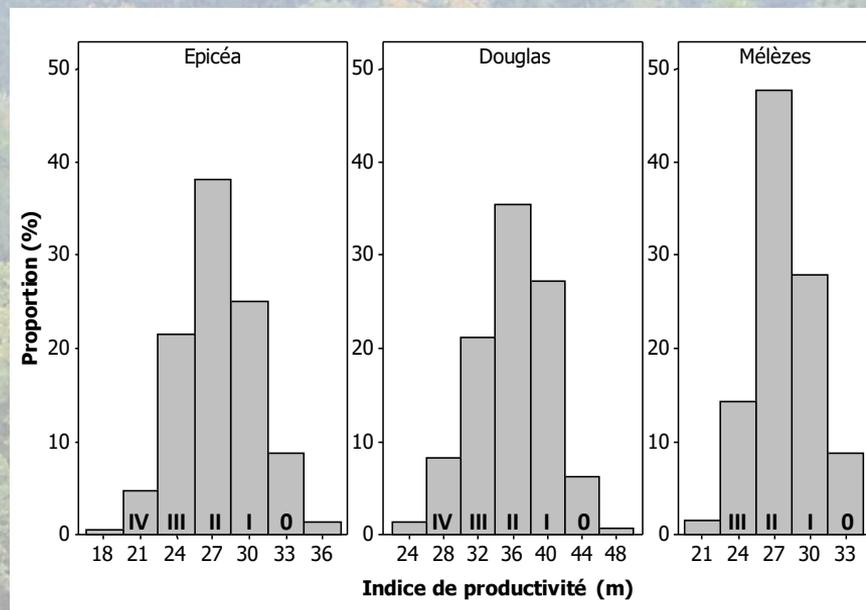
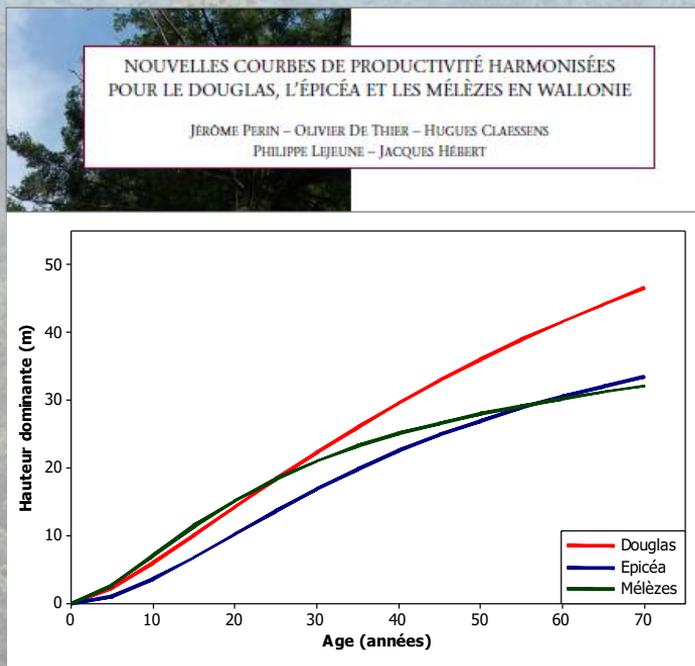
$$Hdom = \left[a * (age - age_M) + \frac{Hdom_M}{\left[1 - \exp\left(-\frac{age_M}{c}\right) \right]^r} \right] * \left[1 - \exp\left(-\frac{age}{c}\right) \right]^r$$



2.1. Indice de productivité

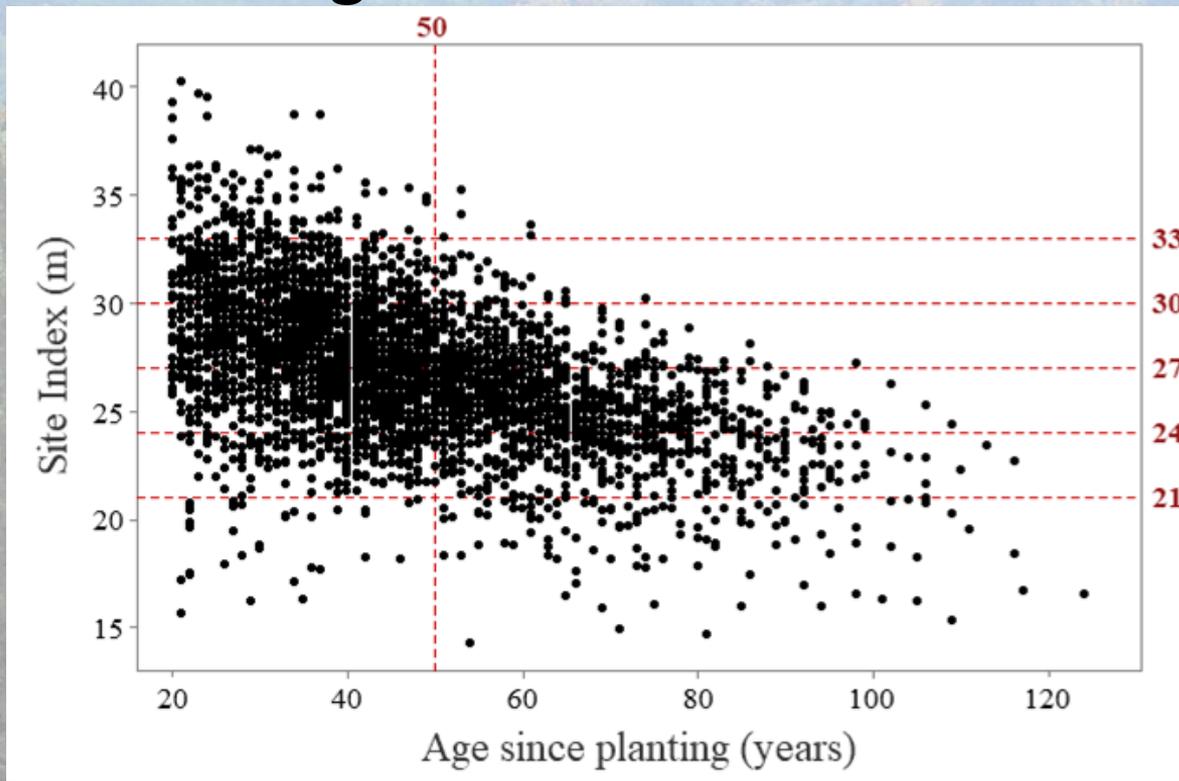
Modèles harmonisés pour EP, DO et MZ

- Nouvelles courbes et classes de productivités



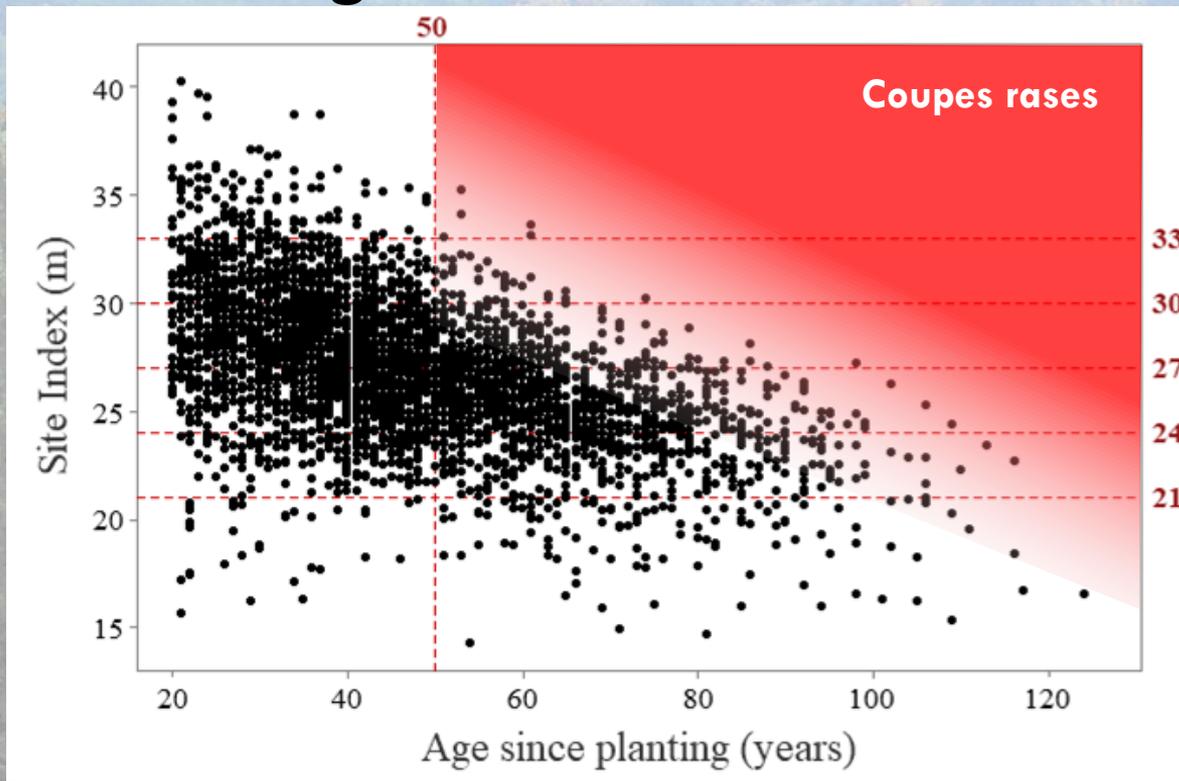
2.1. Indice de productivité

Influence de la gestion sur la distribution des SI



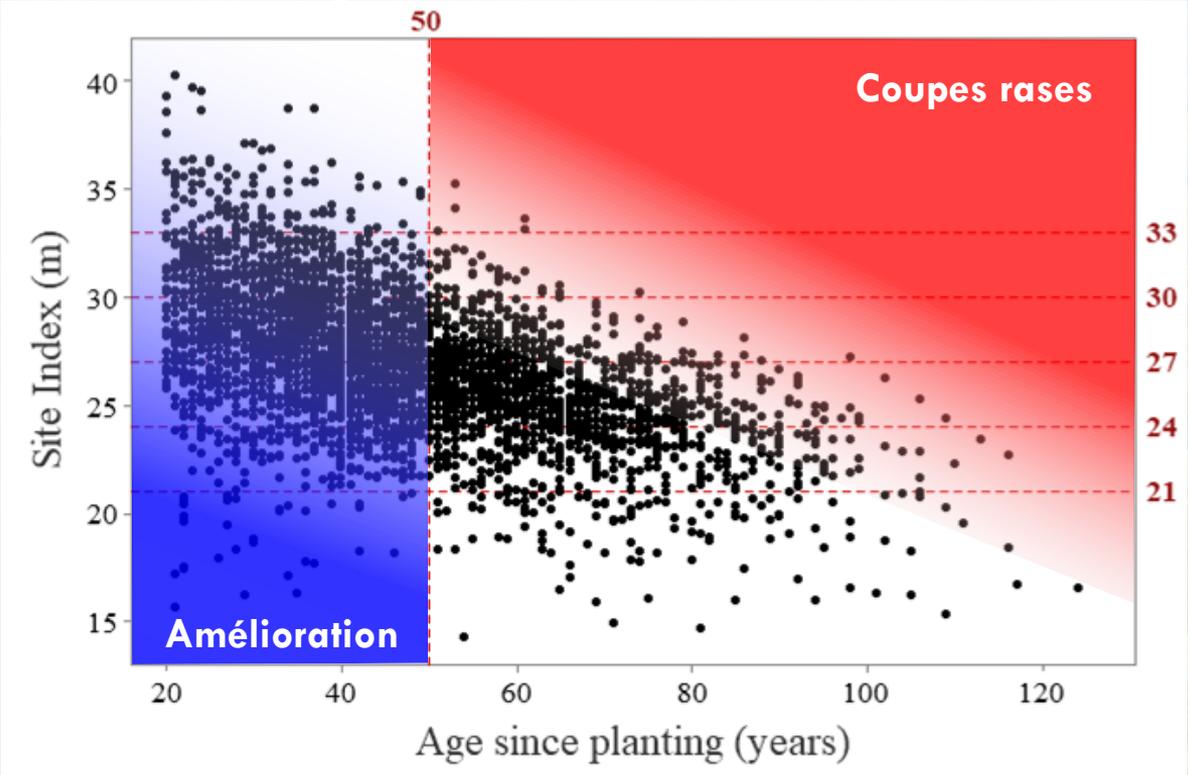
2.1. Indice de productivité

Influence de la gestion sur la distribution des SI



2.1. Indice de productivité

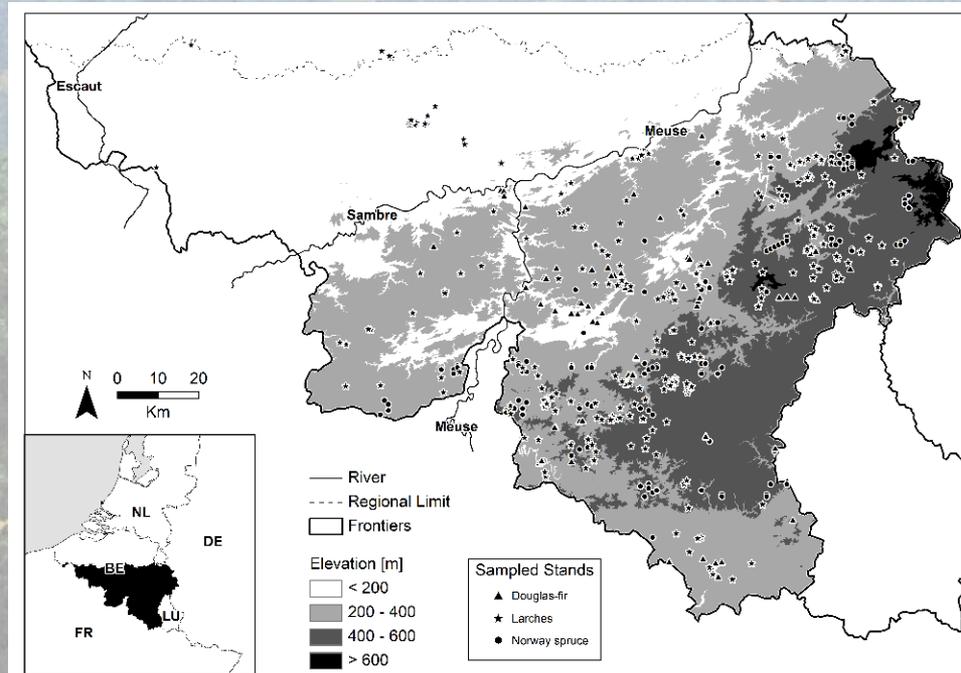
Influence de la gestion sur la distribution des SI



2.2. Croissance individuelle

Données = monitoring et dispositifs sylvicoles

- Représentat° de conditions de croissance très variées



2.2. Croissance individuelle

Adaptation du modèle de Deleuze et al. (2004) :

$$dGi = P * (Ci - m * A + ((m * A + Ci)^2 - 4 * A * Ci)^{0.5}) / 2$$

Eur J Forest Res
DOI 10.1007/s10342-016-1019-y



ORIGINAL PAPER

Distance-independent tree basal area growth models for Norway spruce, Douglas-fir and Japanese larch in Southern Belgium

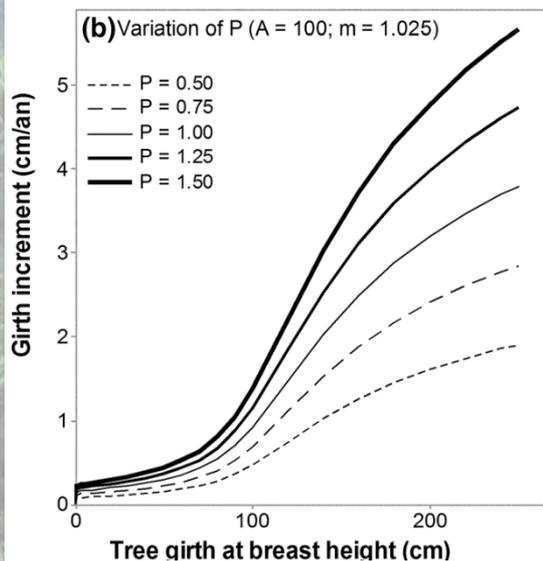
Jérôme Perin¹ · Hugues Claessens¹ · Philippe Lejeune¹ · Yves Brostaux² · Jacques Hébert¹

2.2. Croissance individuelle

Adaptation du modèle de Deleuze et al (2004) :

$$dGi = P * (Ci - m * A + ((m * A + Ci)^2 - 4 * A * Ci)^{0.5}) / 2$$

$$P = Pa + Pb * dHdom$$



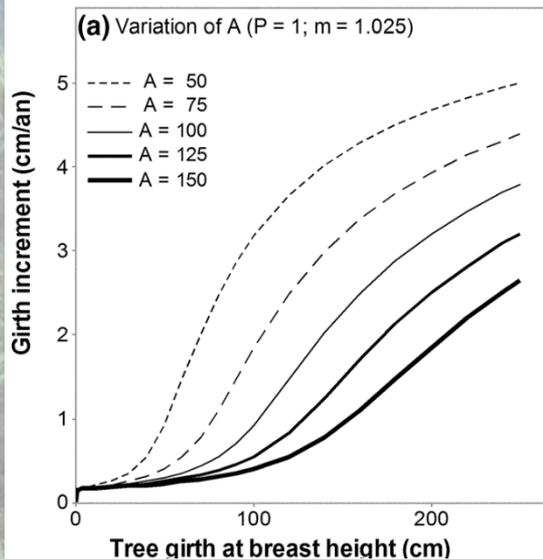
Effet pente \approx niveau de productivité

2.2. Croissance individuelle

Adaptation du modèle de Deleuze et al (2004) :

$$dGi = P * (Ci - m * A + ((m * A + Ci)^2 - 4 * A * Ci)^{0.5}) / 2$$

$$A = Aa * Hdom^{Ab}$$



Effet seuil \approx status social

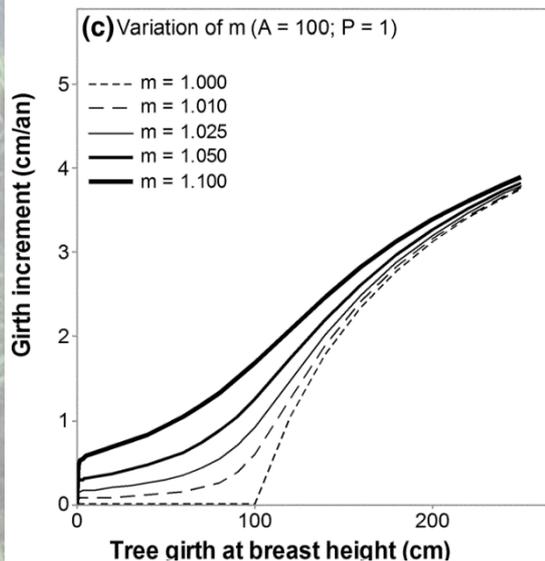
- Acc $\searrow \searrow$ lorsque $Ci \searrow$
 \rightarrow arbres dominés
- + vigueur car équiennne

2.2. Croissance individuelle

Adaptation du modèle de Deleuze et al (2004) :

$$dGi = P * (Ci - m * A + ((m * A + Ci)^2 - 4 * A * Ci)^{0.5}) / 2$$

$$m = 1 + \exp(ma * Hdom - mb * Gha)$$



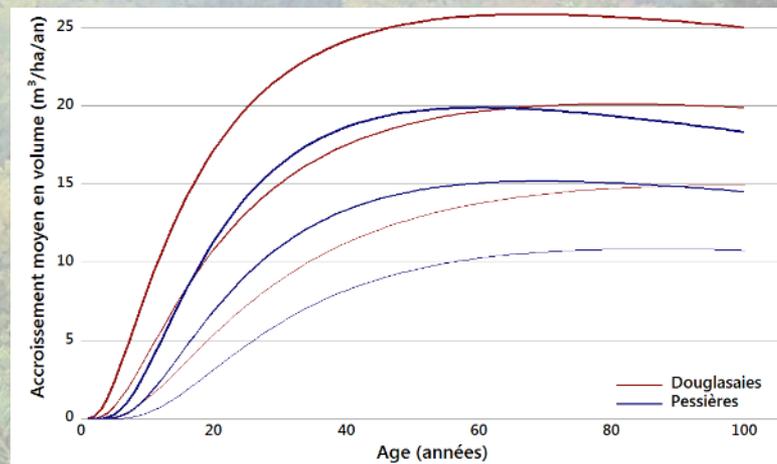
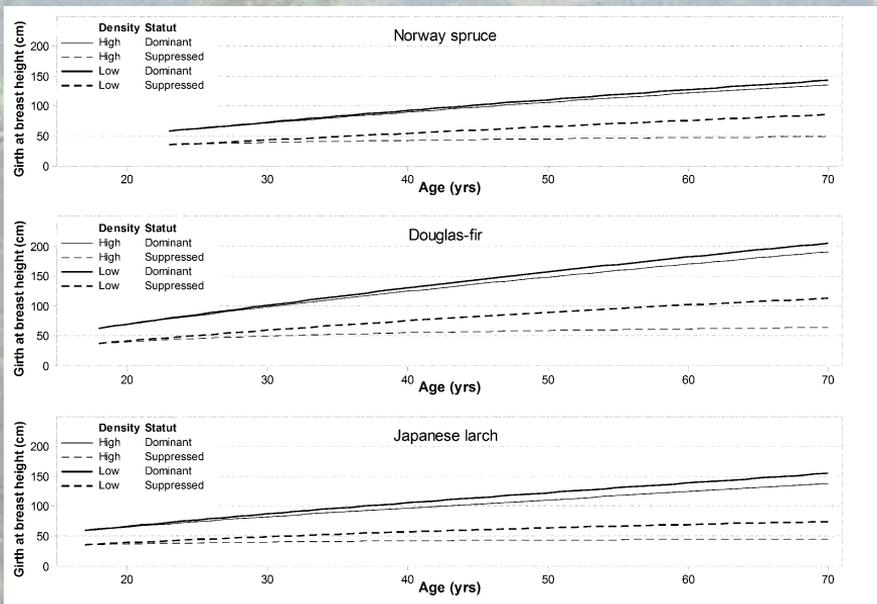
Effet lissage \approx Intensité de compétition

- Effet seuil $\nearrow \nearrow$ lorsque $Gha \nearrow$
 \rightarrow dominés souffrent plus de la densité

2.2. Croissance individuelle

Conclusions

- Accroissement de l'EP et DO très soutenu
 - *Adéquation des itinéraires sylvicoles pour ces essences ?*



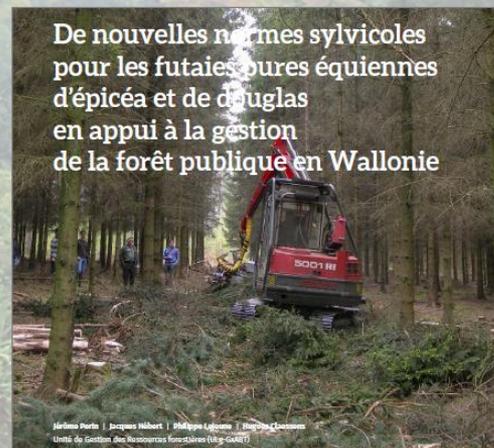
2.3. GYMNOS

Un modèle forestier orienté « gestion »

- Pour les plantations d'EP/DO/MZ
- Divers modules d'éclaircies « à la carte »
- Librairie pour estimer les recettes et les rendements

Amélioration des normes sylvicoles

- Groupe de travail multidisciplinaire
- Nouvelles normes pour Ep & DO
 - *Tables de production correspondantes*
 - *Estimations de l'évolution des recettes*

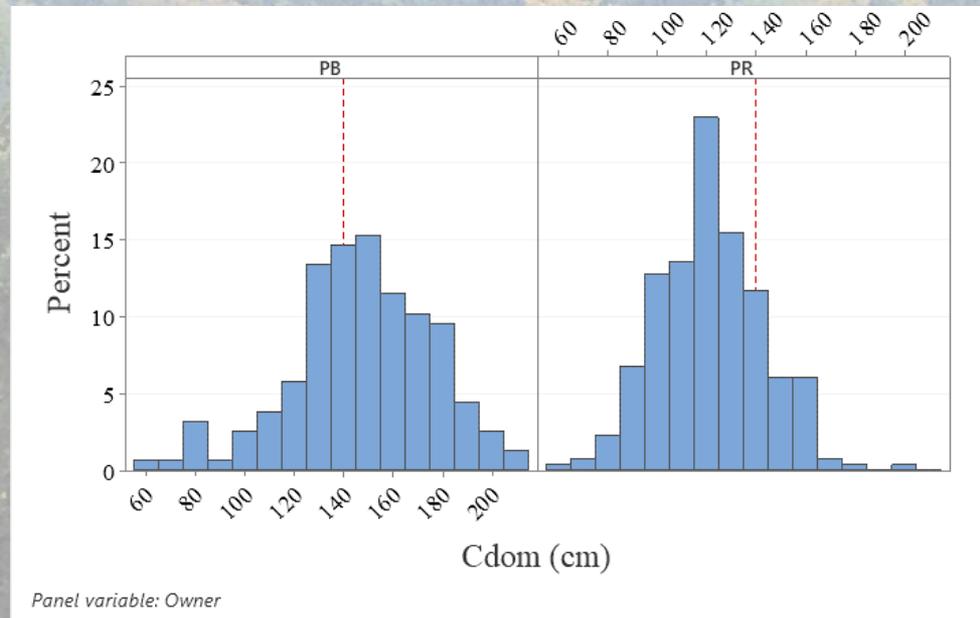


Avec plus de 150 000 ha, l'épicéa et le douglas couvrent ensemble près du tiers de la forêt wallonne. Ces nouvelles normes sylvicoles, mises au point grâce à des outils de stimulation, reflètent les orientations que le DNF souhaite insuffler dans les pessières et douglasiales qu'il gère en futaies pures épicéennes.

2.4. Conclusion

Évaluation de la gestion résineuse

- Globalement adaptée en public
- Révolutions trop courtes en privé → perte de rendement



Modèle régional

- 3.1. Données IPRFW
- 3.2. Modélisation
- 3.3. SIMREG
- 3.4. Résultats

SIMREG, a tree-level distance-independent model to simulate forest dynamics and management from national forest inventory (NFI) data.

Perin J., Pitchugin M., Hébert J., Brostaux Y., Lejeune P., Ligot G.

Accepted in Ecological Modelling

Objectifs

Développer un modèle de simulation forestière :

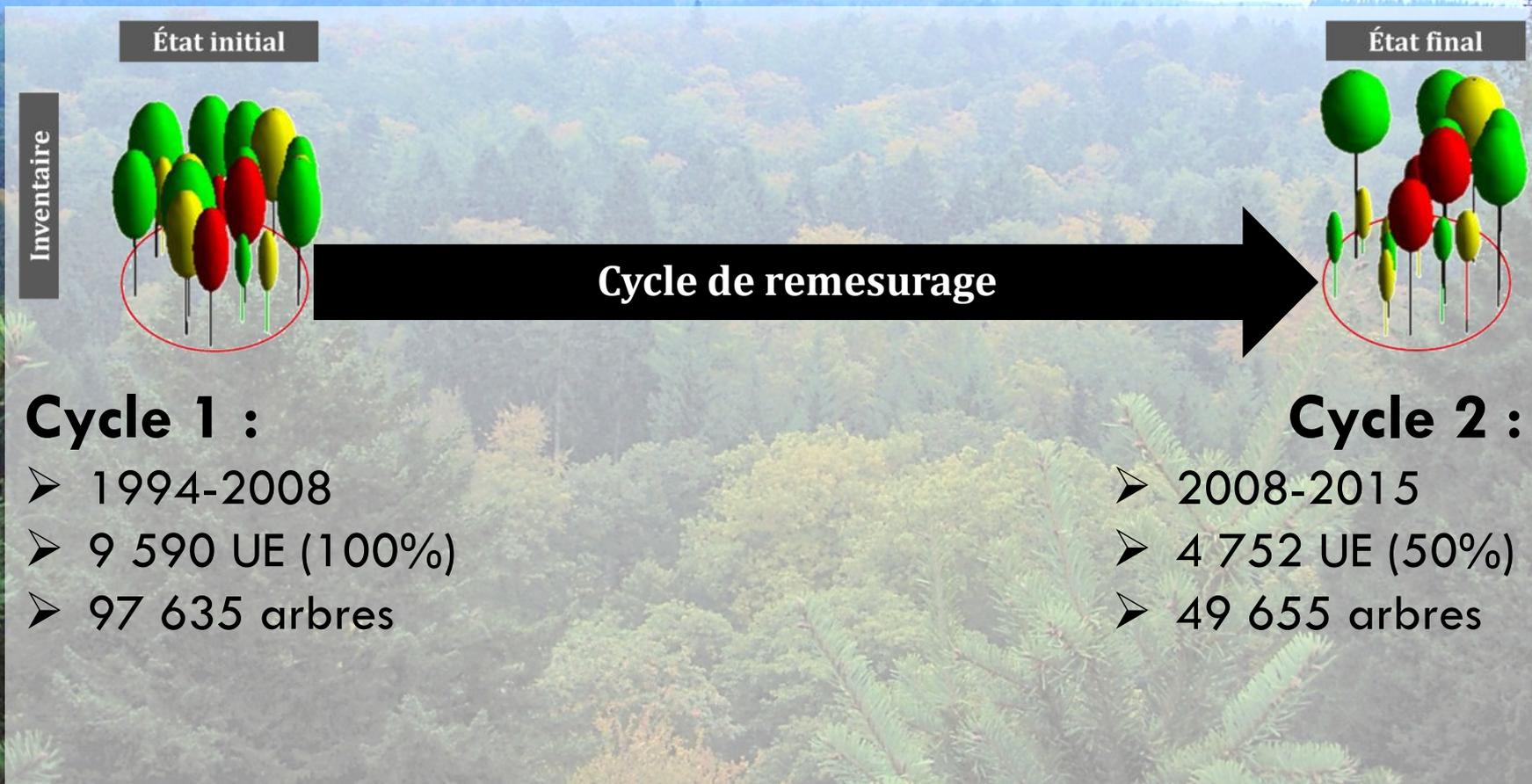
- Compatible avec différents inventaires
- Résolution = plus petit dénominateur commun
 - *Echelle arbre et pas de temps annuel*

Harmonisation et synchronisation des données

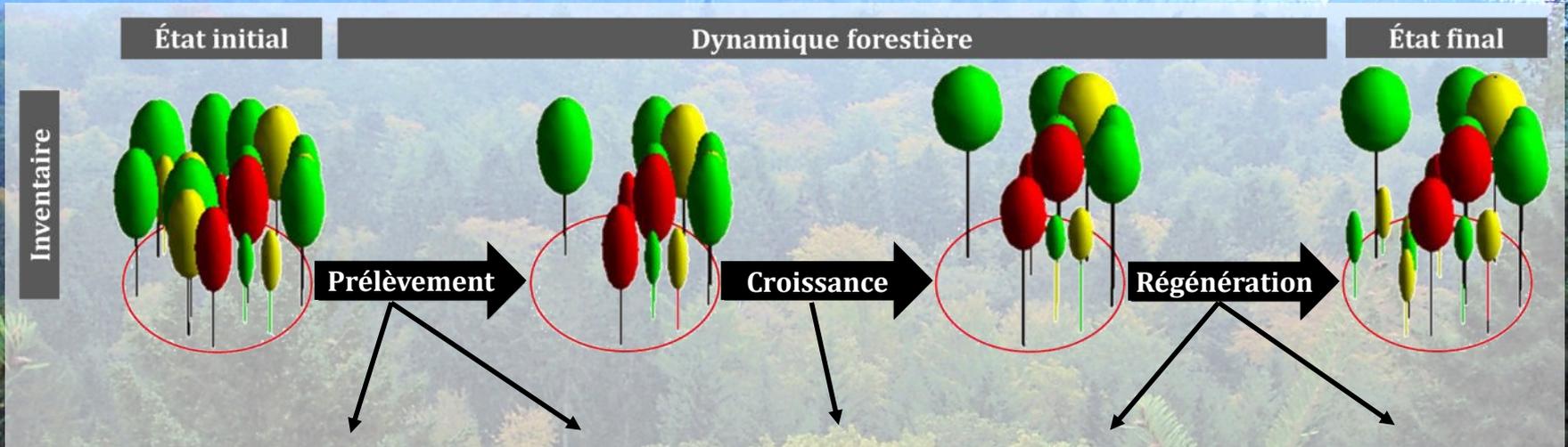
- Estimer l'évolution des ressources :
 - *Scénarios de gestion BAU ou originaux*
 - *Perturbations naturelles / changements globaux*

Aide à la décision pour une gestion plus durable

3.1. Données IPRFW



3.1. Données IPRFW



Modèles :	Coupe rase	Éclaircie	Croissance	Recrutement	Reforestation
Données :	603	7 425	26 930	1 429	475

3.1. Données IPRFW

Species group	Code	Number of data					Girth at breast height (cm)			
		Cycle1	Cycle2	Surviv	Remov	Recruit	min	mean	max	StDev
Native oak	Oak	18420	9545	7230	956	56	20	130.2	391	50.5
Beech	Bee	10568	5957	3958	1135	423	20	120.5	552	65.9
Birch	Bir	4318	2523	1042	310	173	20	56.4	212	33.9
Ash	Ash	2729	1699	960	211	115	20	100.9	336	54.2
Hybrid poplar	Pop	2287	1014	617	160	4	20	117.3	440	49.5
Maple	Map	2541	1612	597	101	134	20	66.3	276	45.5
Hornbeam	Hor	4427	2231	283	64	144	20	38.8	193	22.8
Black alder	Ald	1033	666	221	53	32	20	55.1	200	33.5
Red oak	Rok	773	534	284	44	15	20	109.3	442	61.3
Misc. commercial	Hwc	1053	652	289	59	28	20	73.0	354	48.5
Non-commercial	Hwx	2994	2126	229	115	93	20	36.2	298	26.0
Norway spruce	Spr	37393	16046	8498	3339	173	20	95.6	290	37.7
Douglas-fir	Dou	3270	2266	920	392	20	20	104.5	336	43.1
Scots pine	Spi	2616	1209	861	232	5	20	111.3	252	34.3
Larch	Lar	1883	943	563	130	13	20	110.0	248	34.1
Black Pine	Bpi	597	271	192	65	0	20	105.4	257	42.4
Misc.	Swx	733	361	186	59	1	20	101.6	326	41.0
Total		97635	49655	26930	7425	1429	20	98.8	552	52.1

17 groupes d'essences

Chênes indigènes

Hêtre

Bouleau

Frêne

Peuplier hybride

Erable

Charme

Aulne

Chêne rouge

Divers (production)

Divers (accompagnement)

11 Feuillus

Epicéa

Douglas

Pin sylvestre

Mélèzes

Pin noir

Divers

6 résineux

3.2. Modélisation : Coupe rase

Données : photo-interprétation des UE de l'IPRFW

Exemple:

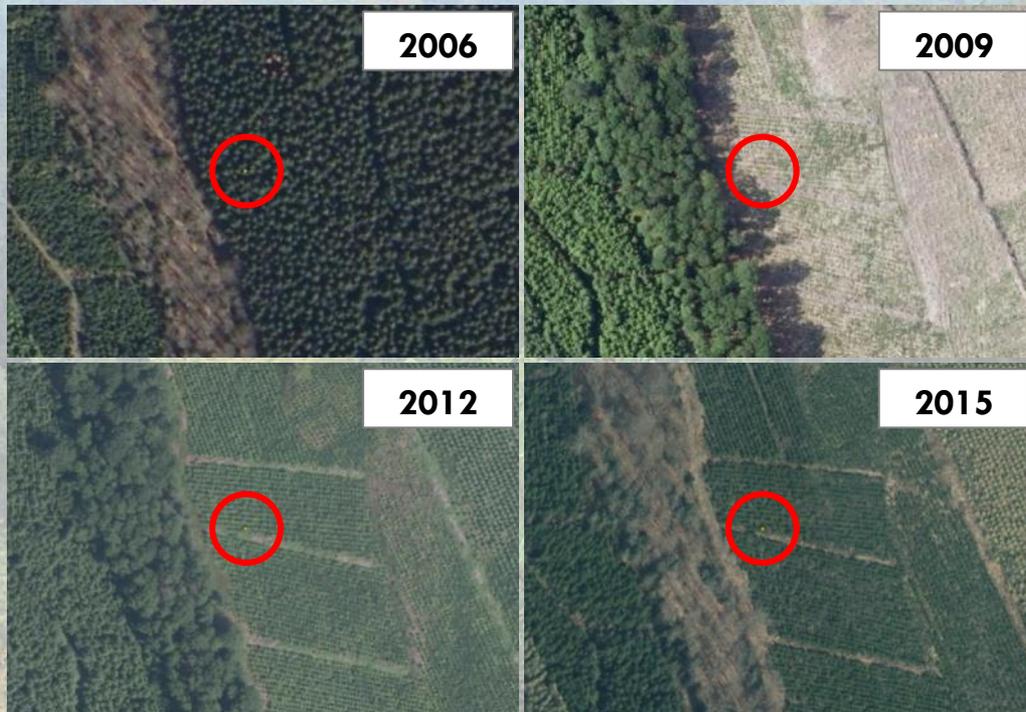
Pessière de 41 ans
mesurée en 1998



Mise à blanc
entre 2006 et 2009

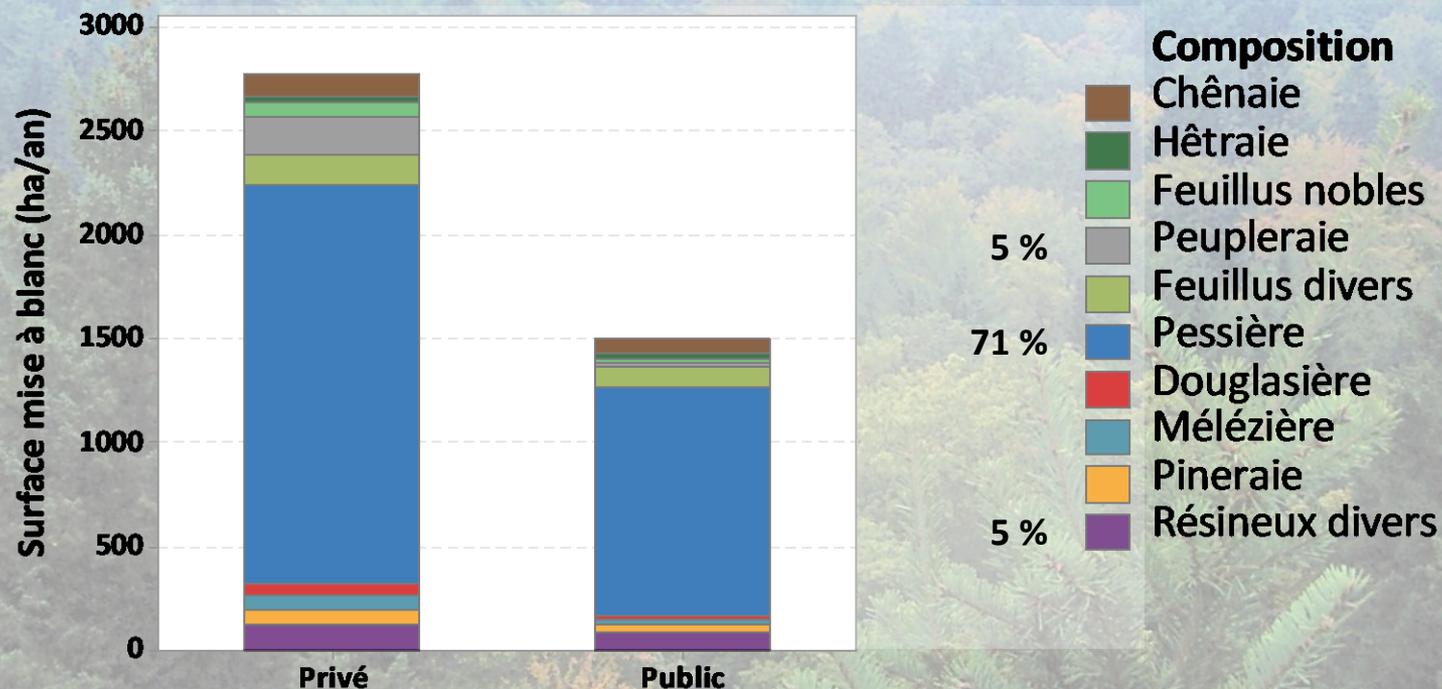


Replantée
en 2009



3.2. Modélisation : Coupe rase

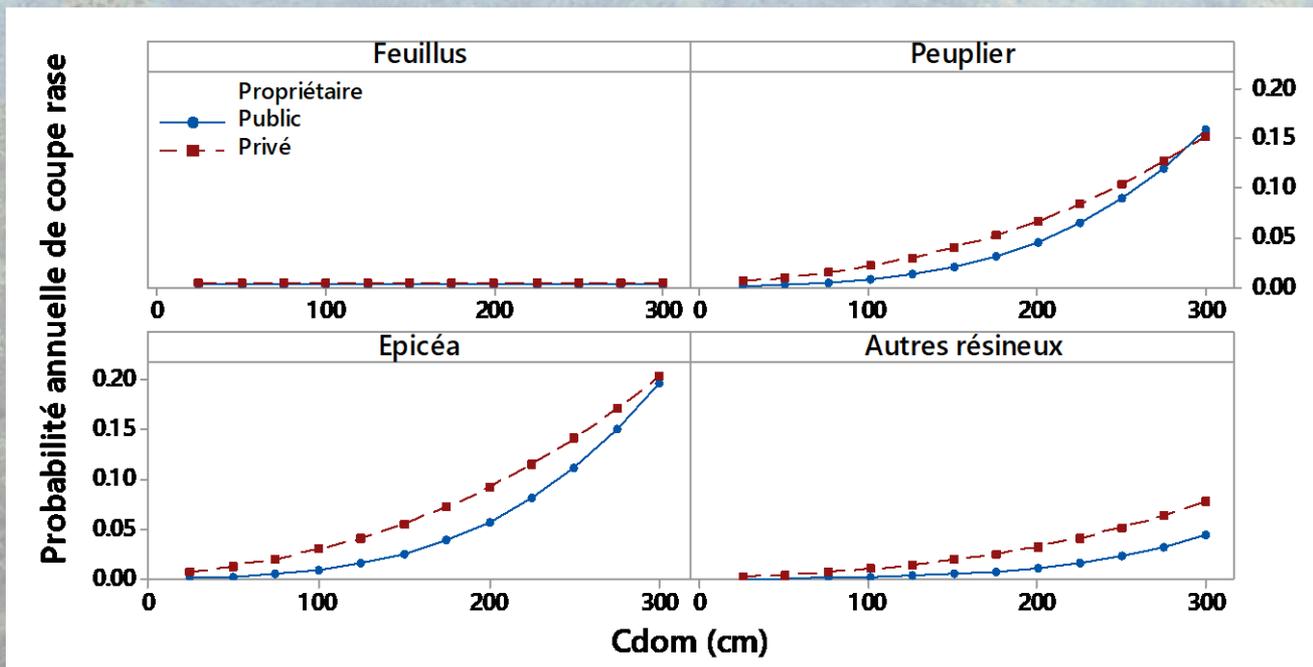
Données : 603 CR identifiées entre 2006 et 2015



3.2. Modélisation : Coupe rase

Probabilité de CR : régression logistique

$$P_{CR} = \text{logit}(\text{Propriétaire} * \text{Composition} * \text{Cdom})$$



3.2. Modélisation : Éclaircie

Probabilité d'éclaircie : régression logistique

$$P_{\text{ecl}} = \text{logit}(\text{Div} * \text{Gha} + \% \text{Sp} + \text{Prop} * \text{Crel} + \text{Sp} * \text{Crel} + \text{Div} * \text{CV} * \text{Crel})$$

Où

<i>Div</i>	= <i>type d'essence (feuillus, résineux)</i>
<i>Sp</i>	= <i>essence</i>
<i>Prop</i>	= <i>propriétaire (privé, public)</i>
<i>Gha</i>	= <i>surface terrière</i>
<i>%Sp</i>	= <i>proportion de l'essence dans le Gha</i>
<i>Crel</i>	= <i>dimension relative de l'arbre</i>
<i>CV</i>	= <i>dispersion des circonférences</i>

3.2. Modélisation : Éclaircie

Probabilité d'éclaircie : régression logistique

$$P_{\text{ecl}} = \text{logit}(\underbrace{\text{Div} * \text{Gha}}_A + \% \text{Sp} + \text{Prop} * \text{Crel} + \text{Sp} * \text{Crel} + \text{Div} * \text{CV} * \text{Crel})$$

A) $P_{\text{ecl}/\text{an}}$ augmente avec **Gha**

- ↗↗ pour les feuillus que les résineux

Interprétation:

- prélèvements ↘ dans les forêts claires
- rattrapage dans les forêts très denses
- pplts résineux souvent plus denses

3.2. Modélisation : Éclaircie

Probabilité d'éclaircie : régression logistique

$$P_{\text{ecl}} = \text{logit}(\text{Div} * \text{Gha} + \underbrace{\% \text{Sp}}_{\text{B}} + \text{Prop} * \text{Crel} + \text{Sp} * \text{Crel} + \text{Div} * \text{CV} * \text{Crel})$$

B) $P_{\text{ecl}/\text{an}}$ augmente avec %Sp

Interprétation: - focus sur l'essence dominante
- effort de diversification

3.2. Modélisation : Éclaircie

Probabilité d'éclaircie : régression logistique

$$P_{\text{ecl}} = \text{logit}(\text{Div} * \text{Gha} + \% \text{Sp} + \underbrace{\text{Prop} * \text{Crel} + \text{Sp} * \text{Crel} + \text{Div} * \text{CV} * \text{Crel}}_{\text{C}})$$

C) $P_{\text{ecl}/\text{an}}$ diminue avec **Crel** et augmente avec **CV*Crel**

- ↗↗↗ en résineux qu'en feuillus
- ↗ en privé qu'en public

Interprétation:

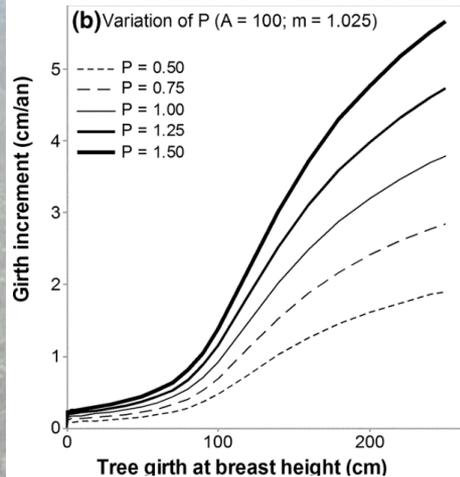
- éclaircies généralement par le bas
- coupe mixte dans les forêts irrégulières
- résineux souvent récoltés par CR

3.2. Modélisation : Croissance

Adaptation du modèle résineux :

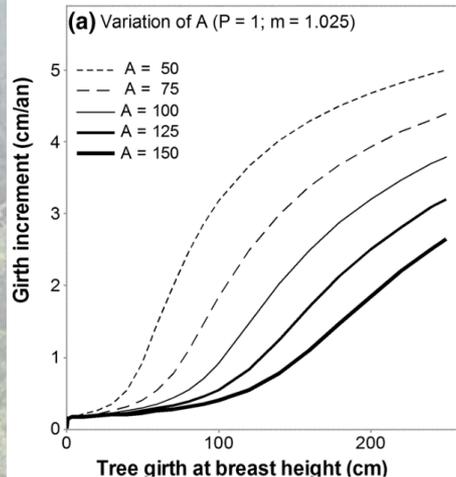
$$dGi = P * (Ci - m * A + ((m * A + Ci)^2 - 4 * A * Ci)^{0.5}) / 2$$

$$P = Pa * \exp(1 - Pb * Alt)$$



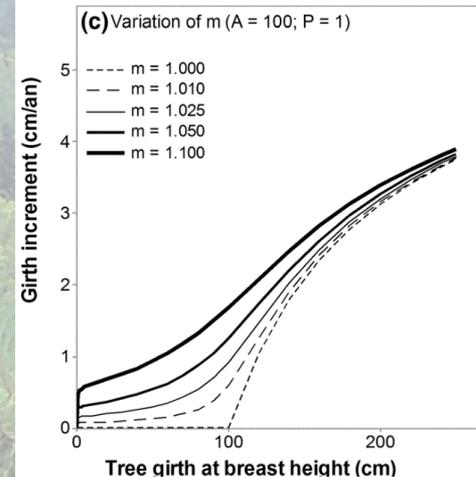
Productivité = f(altitude)

$$A = Aa * Cdom^{Ab}$$



Seuil social = f(Cdom)

$$m = 1 + \exp(ma - mb * Gha)$$



Compétition = f(Gha)

3.2. Modélisation : Croissance

Essence	Acc moyen	R ² ajusté	Validation RMSE	Validation ME
Chênes ind.	1.00 (23.64)	0.12 (0.39)	0.51 (12.65)	0.00 (0.03)
Hêtre	1.36 (29.73)	0.15 (0.50)	0.69 (16.12)	0.00 (0.58)
Bouleau	0.78 (9.33)	0.12 (0.40)	0.59 (7.60)	-0.02 (-0.09)
Frêne	1.34 (26.97)	0.19 (0.54)	0.68 (14.22)	-0.01 (-0.39)
Peuplier	2.78 (58.54)	0.33 (0.32)	1.56 (33.86)	-0.04 (-0.17)
Erable	1.23 (18.98)	0.14 (0.50)	0.70 (11.16)	0.00 (0.24)
Charme	0.89 (10.93)	0.10 (0.44)	0.55 (7.68)	-0.02 (-0.10)
Aulne	0.89 (11.53)	0.24 (0.38)	0.60 (7.62)	0.01 (0.41)
Chêne R	2.19 (49.39)	0.20 (0.58)	0.92 (21.78)	-0.01 (-0.94)
F. prod	1.08 (18.27)	0.09 (0.30)	0.85 (16.26)	0.00 (0.44)
F. divers	1.04 (13.38)	0.29 (0.57)	0.84 (12.42)	0.02 (-0.46)
Epicéa	1.44 (24.65)	0.31 (0.59)	0.54 (9.99)	0.00 (0.15)
Douglas	2.36 (47.45)	0.41 (0.72)	0.77 (15.94)	0.01 (-0.63)
Pin sylv.	0.83 (16.25)	0.16 (0.29)	0.47 (9.62)	0.00 (0.16)
Mélèze	1.52 (30.58)	0.21 (0.40)	0.61 (13.26)	-0.01 (0.00)
Pin A	1.08 (21.04)	0.15 (0.36)	0.65 (13.67)	-0.08 (-0.89)
R. divers	2.09 (40.10)	0.37 (0.64)	0.85 (19.29)	0.01 (-0.08)
Total	1.31 (25.83)	0.41 (0.58)	0.63 (13.43)	0.00 (0.09)

Performances :

- 58% R² total sur dGi
- Forte variation spécifique
 - 29 - 72% R² par essence
 - ≈ relatif à l'acc moyen

3.2. Modélisation : Croissance

Essence	Acc moyen	R ² ajusté	Validation RMSE	Validation ME
Chênes ind.	1.00 (23.64)	0.12 (0.39)	0.51 (12.65)	0.00 (0.03)
Hêtre	1.36 (29.73)	0.15 (0.50)	0.69 (16.12)	0.00 (0.58)
Bouleau	0.78 (9.33)	0.12 (0.40)	0.59 (7.60)	-0.02 (-0.09)
Frêne	1.34 (26.97)	0.19 (0.54)	0.68 (14.22)	-0.01 (-0.39)
Peuplier	2.78 (58.54)	0.33 (0.32)	1.56 (33.86)	-0.04 (-0.17)
Erable	1.23 (18.98)	0.14 (0.50)	0.70 (11.16)	0.00 (0.24)
Charme	0.89 (10.93)	0.10 (0.44)	0.55 (7.68)	-0.02 (-0.10)
Aulne	0.89 (11.53)	0.24 (0.38)	0.60 (7.62)	0.01 (0.41)
Chêne R	2.19 (49.39)	0.20 (0.58)	0.92 (21.78)	-0.01 (-0.94)
F. prod	1.08 (18.27)	0.09 (0.30)	0.85 (16.26)	0.00 (0.44)
F. divers	1.04 (13.38)	0.29 (0.57)	0.84 (12.42)	0.02 (-0.46)
Epicéa	1.44 (24.65)	0.31 (0.59)	0.54 (9.99)	0.00 (0.15)
Douglas	2.36 (47.45)	0.41 (0.72)	0.77 (15.94)	0.01 (-0.63)
Pin sylv.	0.83 (16.25)	0.16 (0.29)	0.47 (9.62)	0.00 (0.16)
Mélèze	1.52 (30.58)	0.21 (0.40)	0.61 (13.26)	-0.01 (0.00)
Pin A	1.08 (21.04)	0.15 (0.36)	0.65 (13.67)	-0.08 (-0.89)
R. divers	2.09 (40.10)	0.37 (0.64)	0.85 (19.29)	0.01 (-0.08)
Total	1.31 (25.83)	0.41 (0.58)	0.63 (13.43)	0.00 (0.09)

Performances :

- 58% R² total sur dGi
- Forte variation spécifique
 - 29 - 72% R² par essence
 - ≈ relatif à l'acc moyen
- Valide dans les ≠ structures

Type	Structure	Acc moyen	RMSE	Erreur moyenne	Erreur médiane	R ² dCi	R ² dGi
Feuillus	Taillis	1.17	0.69	0.02	0.08	0.37	0.53
Feuillus	Irrégulier	1.24	0.72	-0.09	0.02	0.30	0.54
Feuillus	Régulier	1.21	0.62	0.01	0.06	0.41	0.54
Résineux	Taillis	1.34	0.72	-0.04	-0.02	0.39	0.54
Résineux	Irrégulier	1.33	0.70	-0.09	0.01	0.48	0.67
Résineux	Régulier	1.49	0.55	0.01	0.04	0.44	0.66

3.2. Modélisation : Recrutement

Densité du recrutement : régression logistique

$$Nha_{\text{recrut}} = 400 * \text{logit}(\text{RNAT} * Gha + Cg + Cg^2 + CV)$$

Où

<i>RNAT</i>	=	<i>Région naturelle</i>
<i>Gha</i>	=	<i>Surface terrière</i>
<i>Cg</i>	=	<i>Circonférence moyenne</i>
<i>CV</i>	=	<i>Dispersion des circonférences</i>

3.2. Modélisation : Recrutement

Densité du recrutement : régression logistique

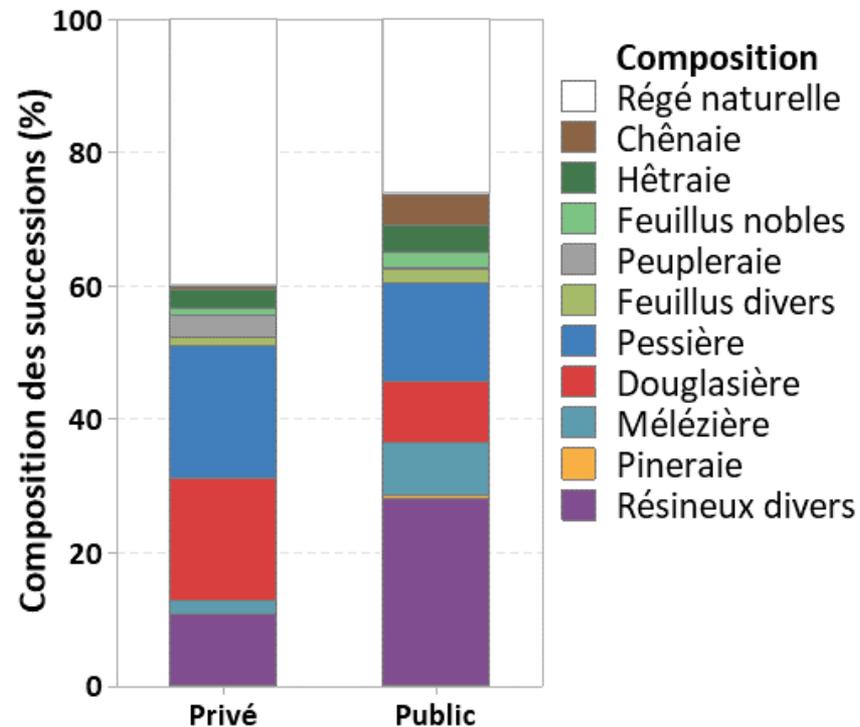
$$Nha_{\text{recrut}} = 400 * \text{logit}(\underbrace{RNAT * Gha}_A + \underbrace{Cg + Cg^2}_B + \underbrace{CV}_C)$$

- **A)** $Nha_{\text{recrut}} \searrow$ lorsque $Gha \nearrow$
 - effet max en Ardenne
- **B)** Nha_{recrut} max lorsque $Cg < 75$ OU > 200
 - passage à la futaie des jeunes plantations
 - régénération des vieilles forêts
- **C)** $Nha_{\text{recrut}} \nearrow$ avec CV
 - max dans les forêts très irrégulières

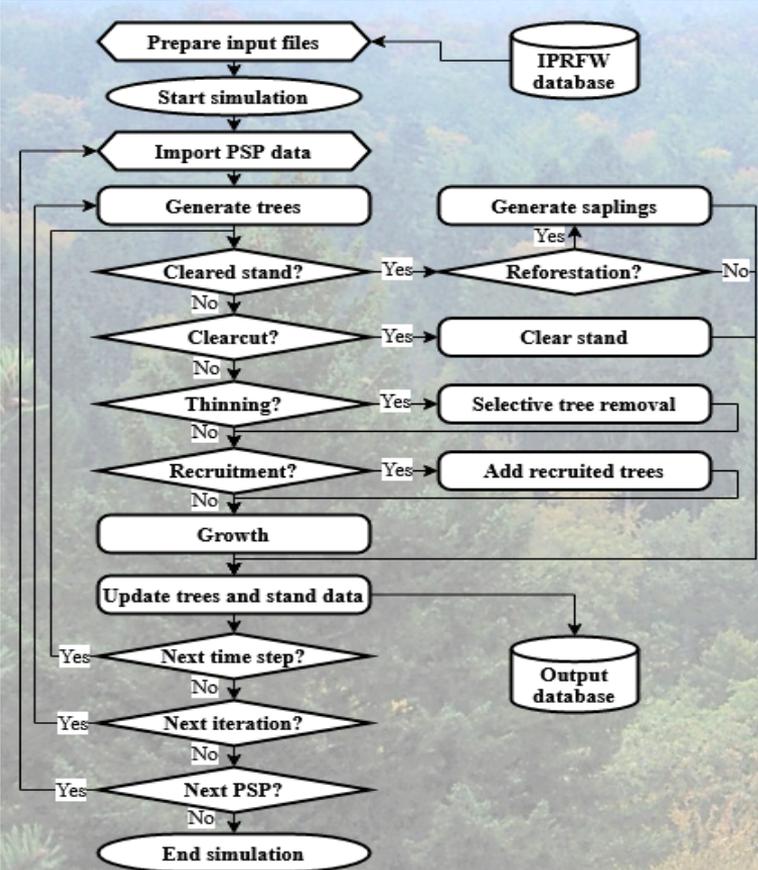
3.2. Modélisation : Reforestations

Probabilité par composition = f(propriétaire)

Reforestation type	Prob PB	Prob PR	Composition per ha
Natural regeneration	26.24	40.09	2000 * recruit
Spruce	14.83	19.81	2250 * Spr
Spruce + douglas	22.43	9.91	1500 * Spr + 750 * Dou
Douglas	9.13	18.4	2000 * Dou
Larch	7.98	1.89	2000 * Lar
Beech	3.04	2.83	2250 * Bee
Native oak	4.18	0	2000 * Oak
Hybrid poplar	0.38	3.3	120 * Pop
Douglas + larch	2.28	0.5	1500 * Dou + 750 * Lar
Red oak	1.14	0.94	2000 * Rok
Misc. hardwood	0.76	0.94	1100 * Hwc
Spruce + larch	1.52	0	1500 * Spr + 750 * Lar
Maple	0.76	0.47	2000 * Map
Misc. softwood	0.76	0.47	2000 * Swx
Birch	1.14	0	2000 * Bir
Beech + oak	1.14	0	1000 * Bee + 1000 * Oak
Ash	0.76	0	2000 * Ash
Beech + douglas	0.76	0	1500 * Bee + 750 * Dou
Black alder	0	0.47	2000 * Ald
Beech + larch	0.38	0	1500 * Bee + 750 * Lar
Scot pine	0.38	0	2000 * Spi



3.3. SIMREG



Importation données IPRFW



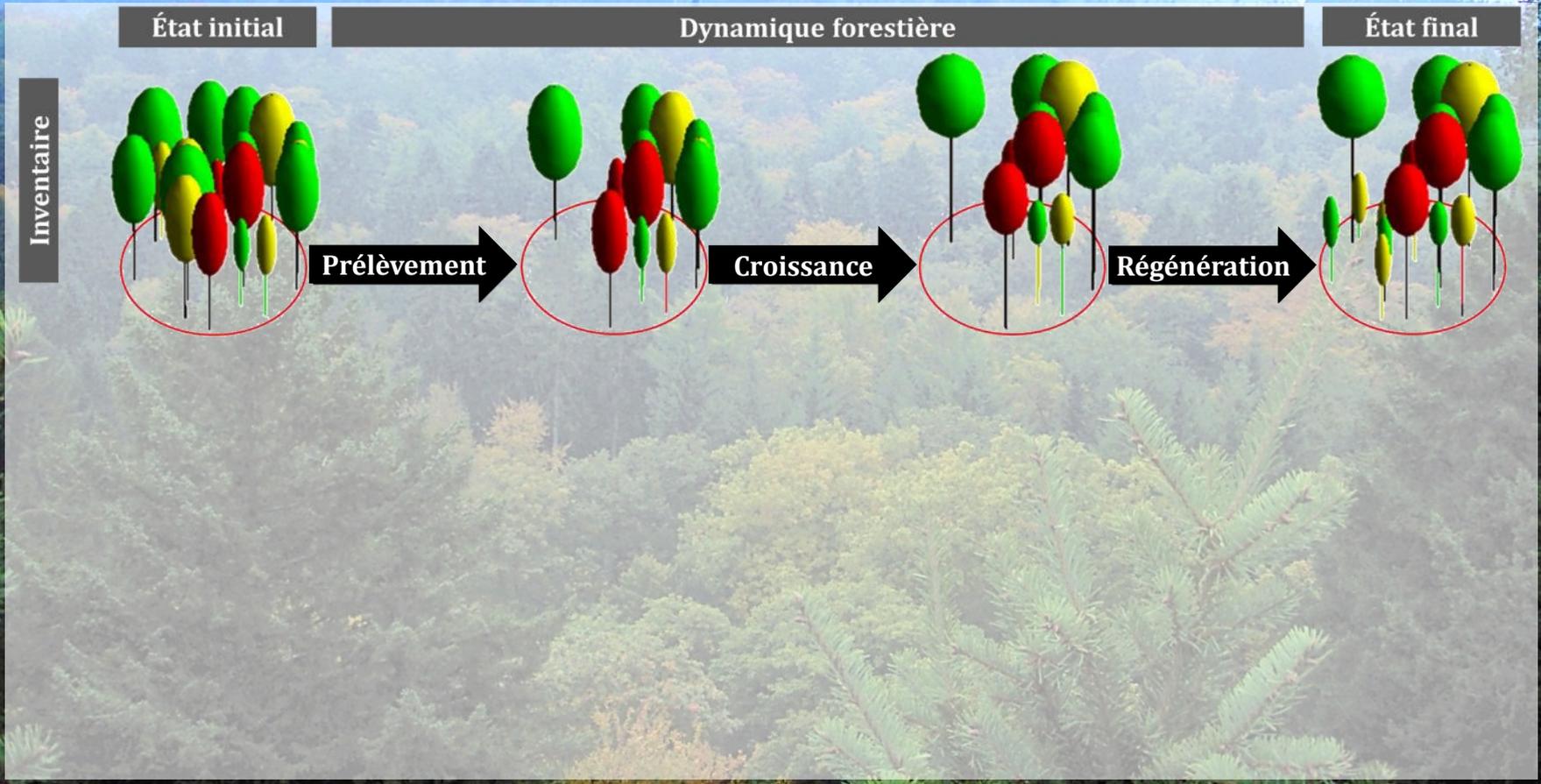
Génération de forêts virtuelles



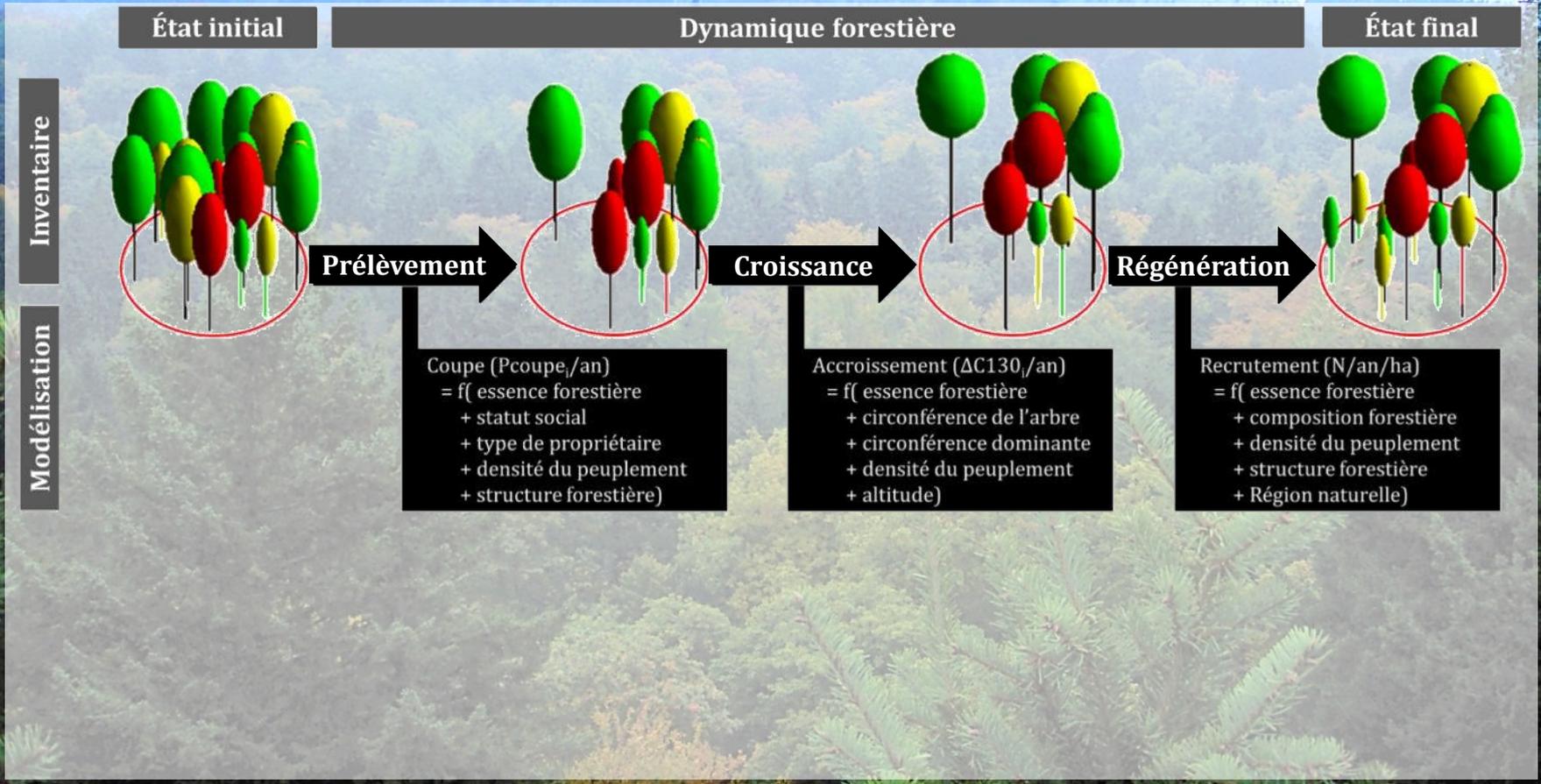
Application séquentielle des modèles :

- Eclaircie >-< coupe-rase
- Recrutement >-< reforestation
- Croissance

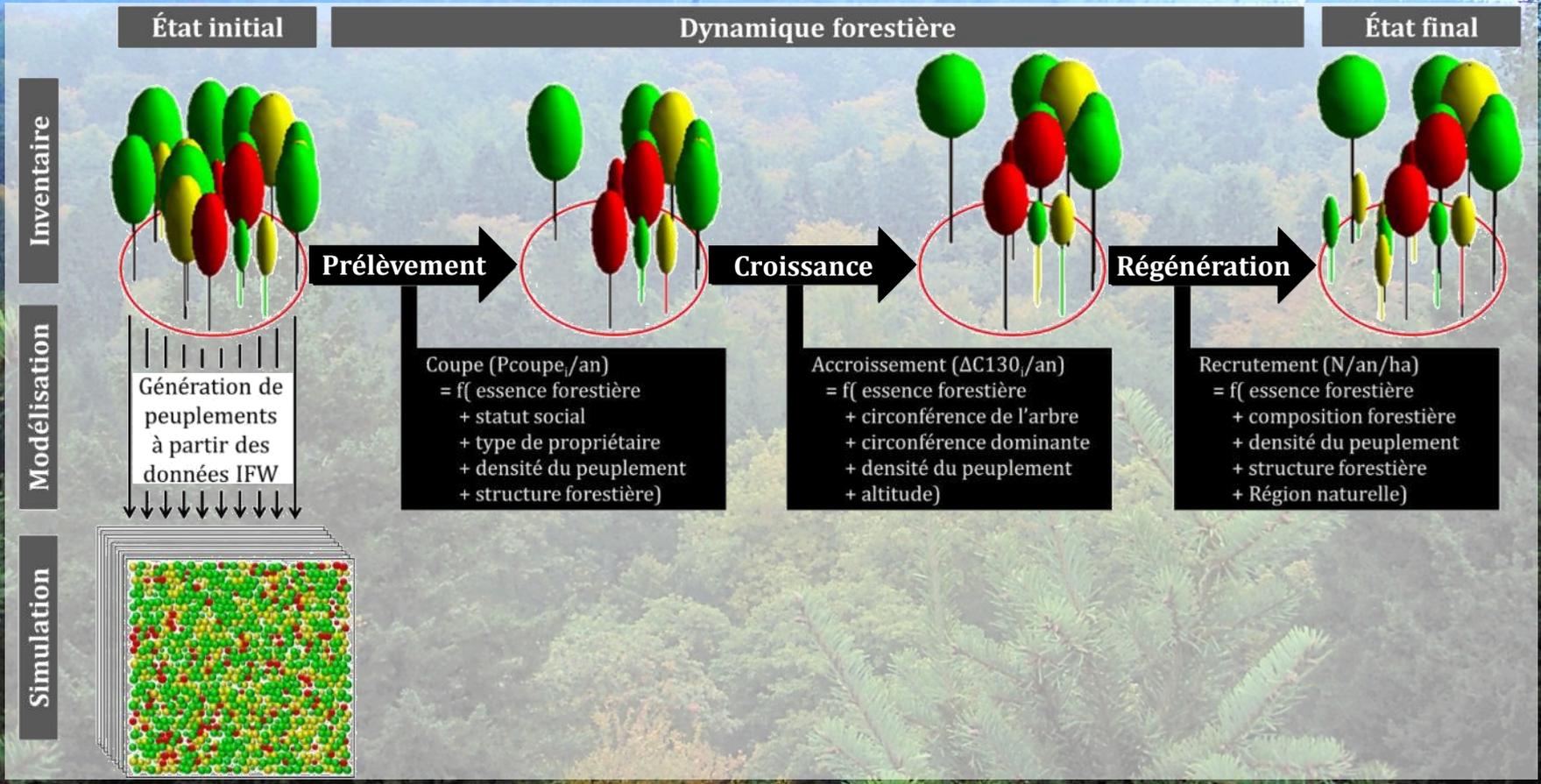
3.3. SIMREG



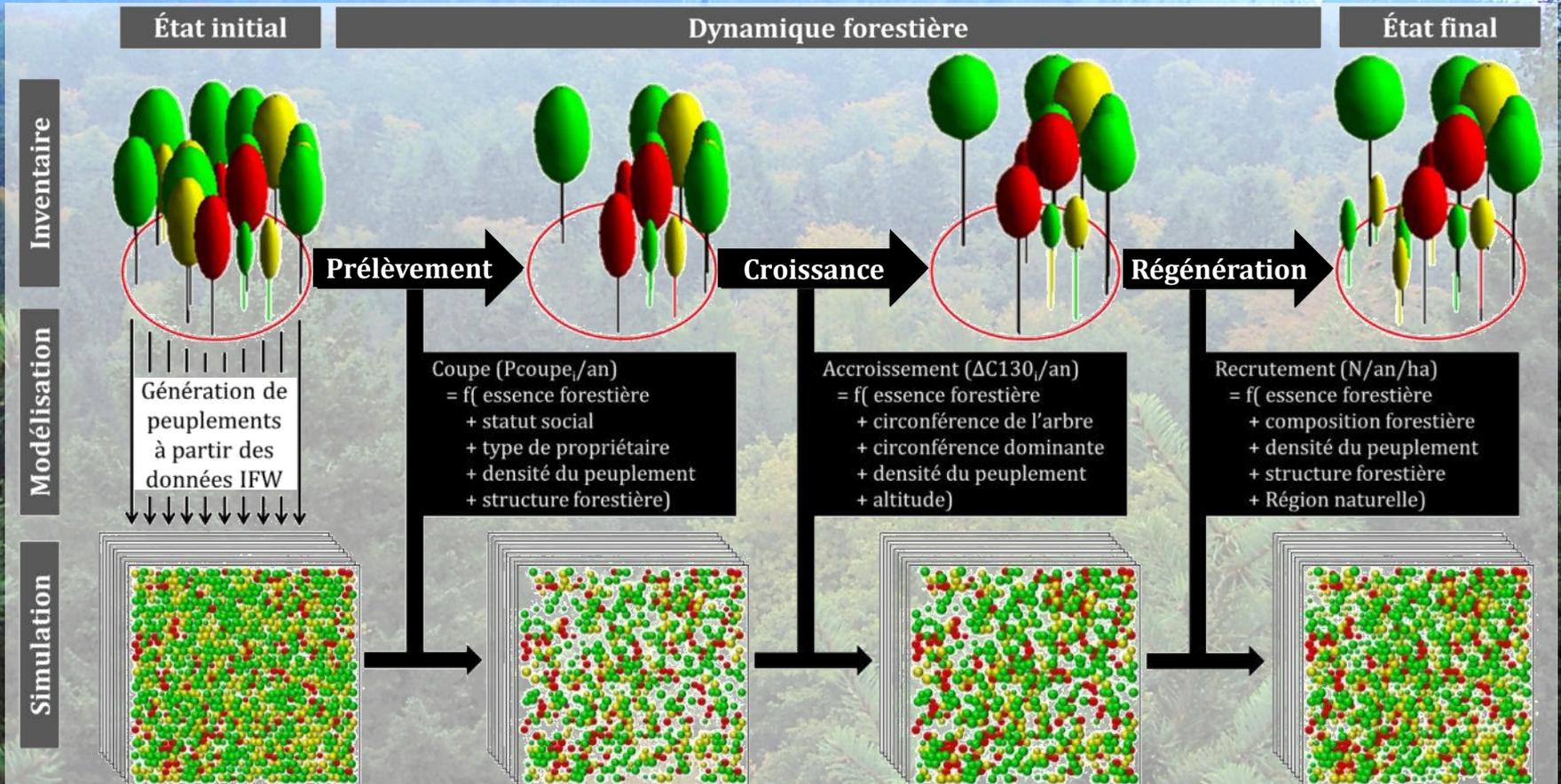
3.3. SIMREG



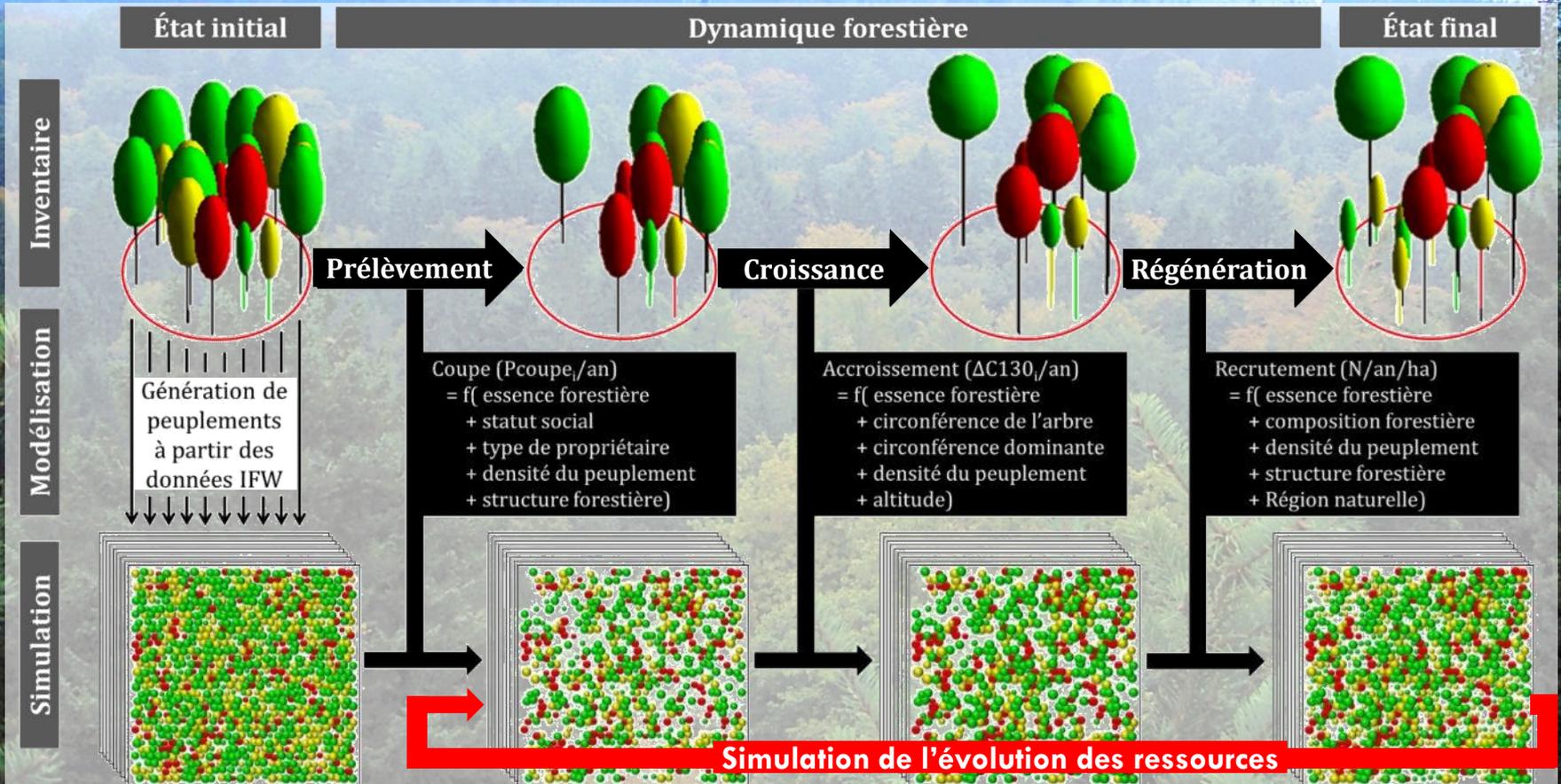
3.3. SIMREG



3.3. SIMREG



3.3. SIMREG



3.3. SIMREG

Point de départ = 1^{er} cycle de l'IPRFW

Simulation grandeur nature

- Chaque UE → 10 peuplements de 5 ha
 - *95 900 peuplements (479 500 ha)*
- Chaque arbre mesuré → 500 à 8000 arbres simulés
 - *≈ 465 million d'arbres simulés*

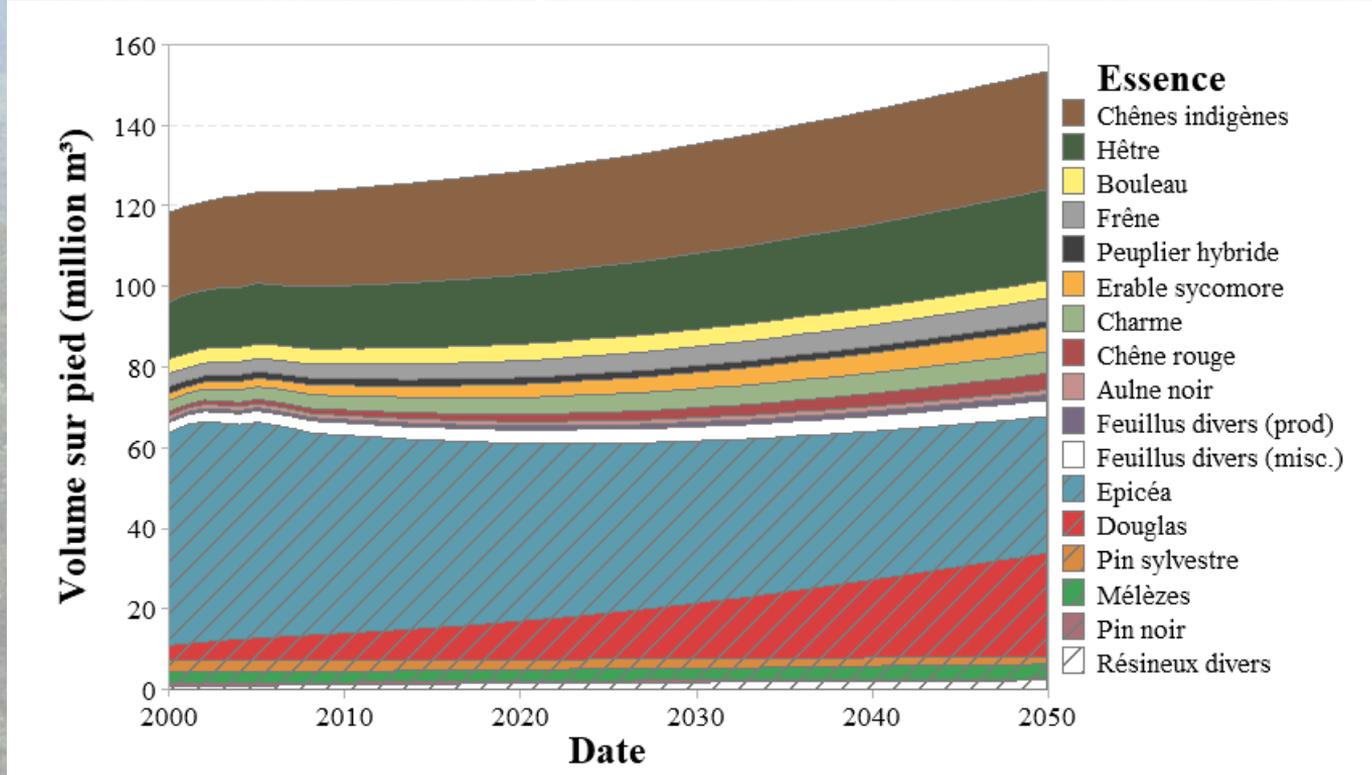
Synchronisation des données

- Intégration des UE à partir de leur année d'inventaire

Application séquentielle des modèles

3.4. Résultats

Évolution de la composition



3.4. Résultats

Révisions des estimations de production

Species	Production (10 ³ m ³)		Différence (10 ³ m ³)
	IPRFW	SIMREG	
Chênes	375	525	150
Hêtre	447	499	52
Frêne	92	119	27
Bouleau	105	117	12
Peuplier	64	62	-2
Feuillus divers	229	561	332
Total feuillus	1 313	1 884	571
Epicéa	1 815	2 290	475
Douglas	340	465	125
Mélèzes	66	89	23
Pins	59	83	24
Résineux divers	52	116	64
Total résineux	2 332	3 043	711
Total	3 645	4 884	1 239



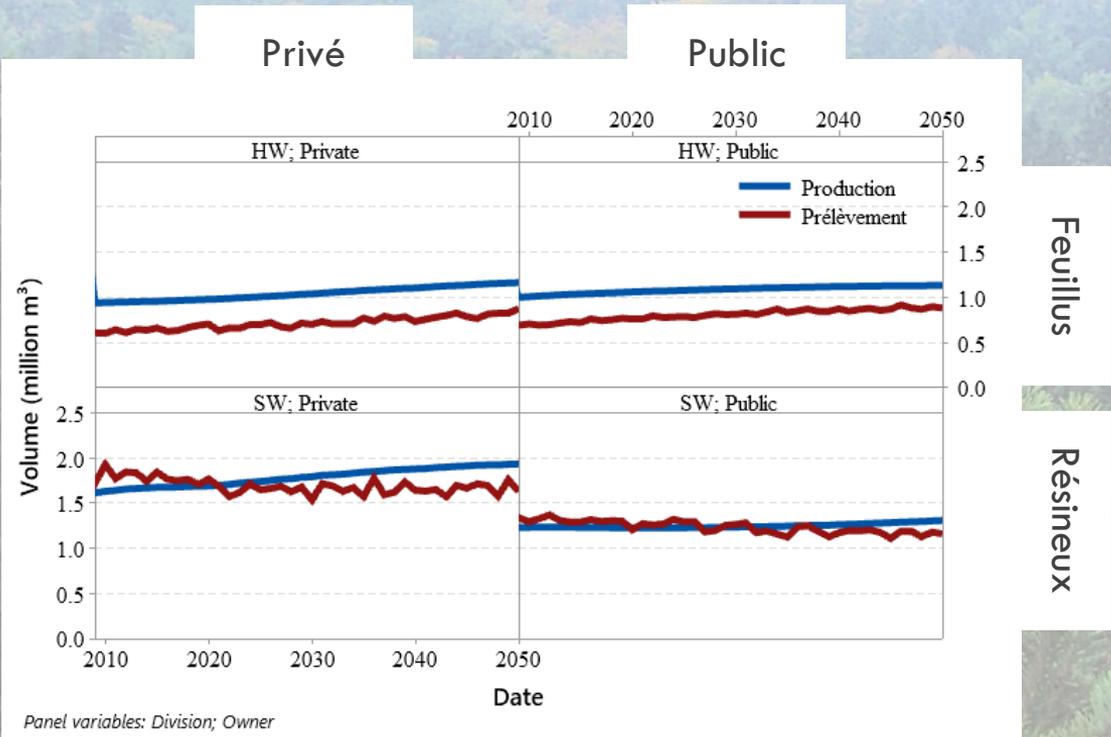
Taillis



Impénétrables

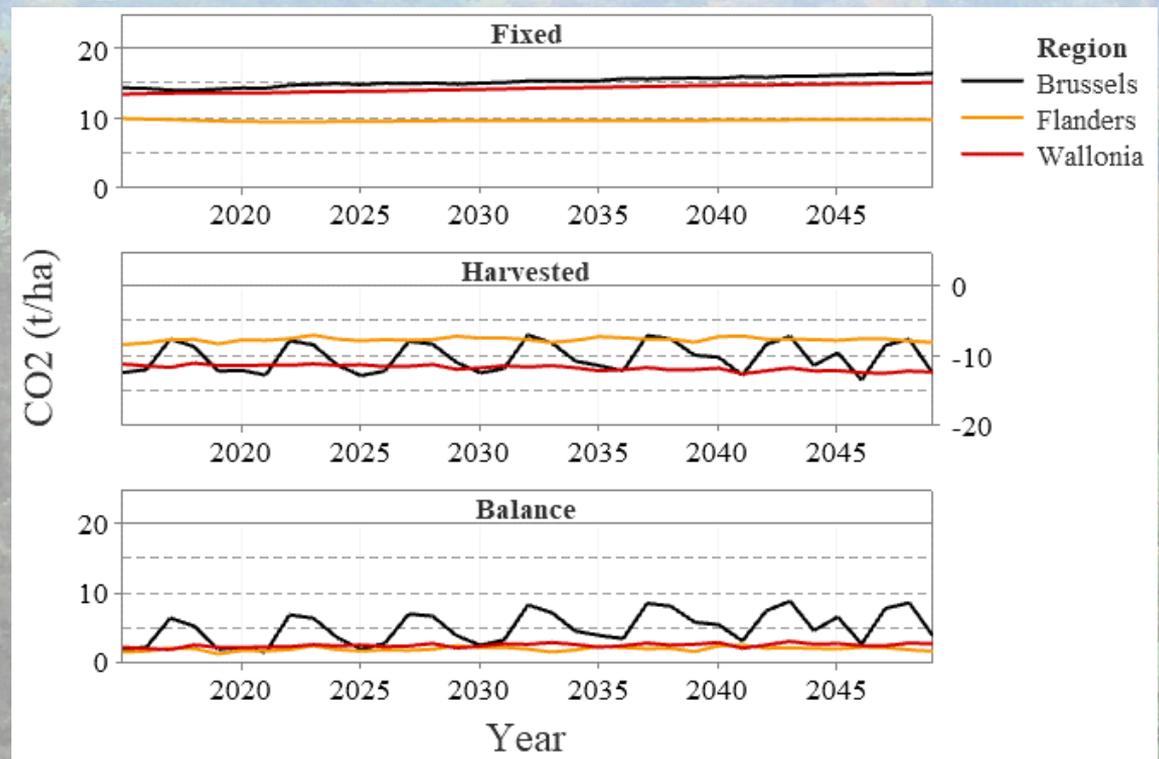
3.4. Résultats

Évolution de l'approvisionnement



3.4. Résultats

Bilan CO₂ de la forêt belge



4

Conclusions

Conclusions

Importance critique des données permanentes

Forêts Wallonnes = puit carbone (≈ 1 Mt/an)

Approvisionnement en épicéa insoutenable

Possibilités d'améliorer la gestion sylvicole

Perspectives

Meilleure intégration des effets stationnels

Prise en compte des conditions changeantes

- Evolution des objectifs/méthodes de gestion
- Rechauffement climatique

Simulation de l'effet des perturbations

- Scolytes, attaques fongiques, chablis,...

Merci de votre attention !



LIÈGE université
Gembloux
Agro-Bio Tech

Jérôme Perin
j.perin@uliege.be



Wallonie
environnement
SPW