



# BIOLLEY II

## Optimisation de la coupe de jardinage par programmation linéaire

Jean-Martin Lussier, ing.f., Ph.D.  
[jean-martin.lussier@rncan.gc.ca](mailto:jean-martin.lussier@rncan.gc.ca)

Pascal Gauthier, ing.f.  
[pascal.gauthier@cfhl.qc.ca](mailto:pascal.gauthier@cfhl.qc.ca)

Jesus Pascual, Ph.D.  
[jesus.pascual@rncan.gc.ca](mailto:jesus.pascual@rncan.gc.ca)



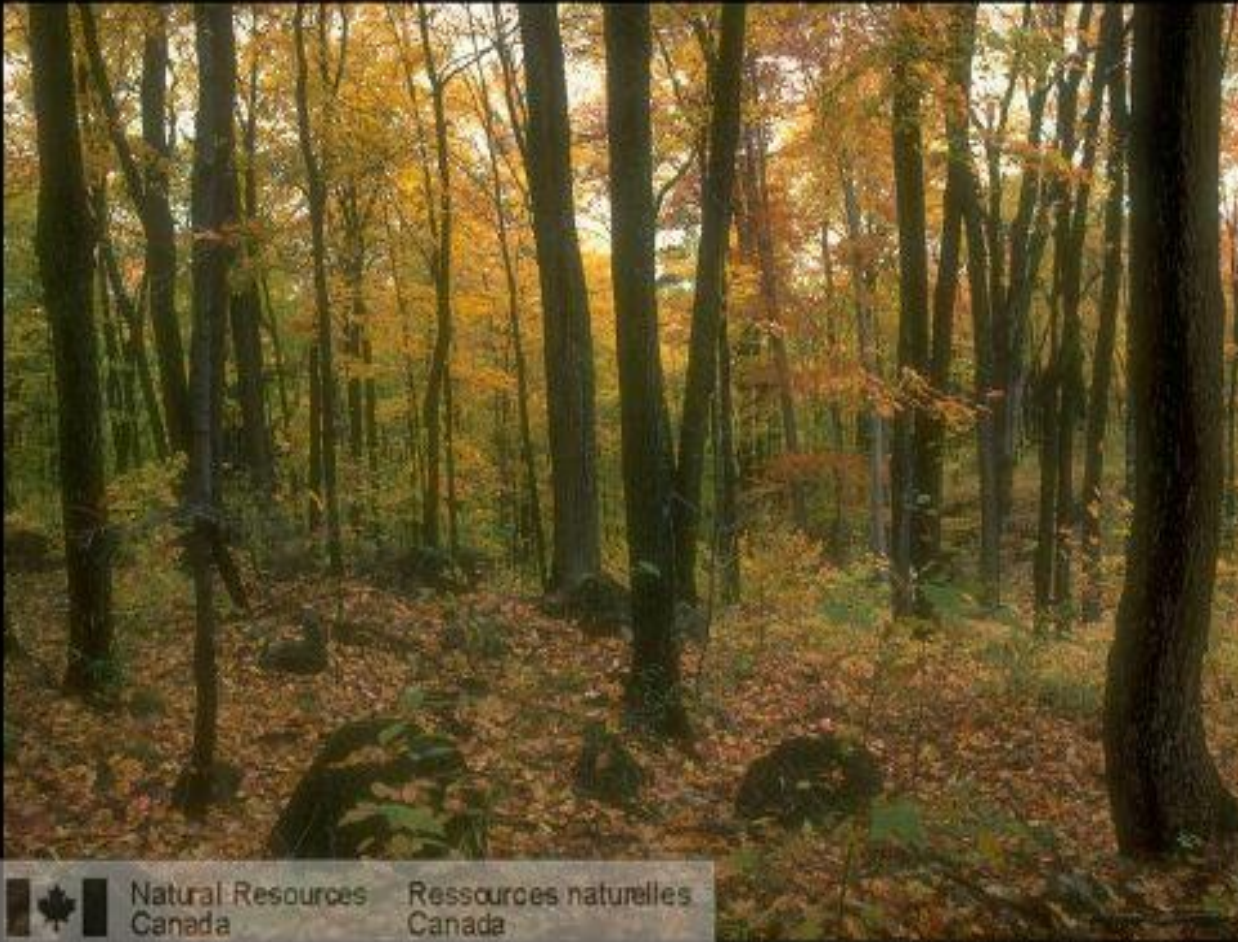


# AU MENU...

1. Jardinage 101
2. Commençons par la fin: une démo!
3. Construction du modèle Biolley
4. Microtypologie
5. Résultats de l'optimisation
  - a) Structure optimale
  - b) Conduite optimale
6. Validation du modèle de croissance
7. Application dans la pratique
8. Développements en cours

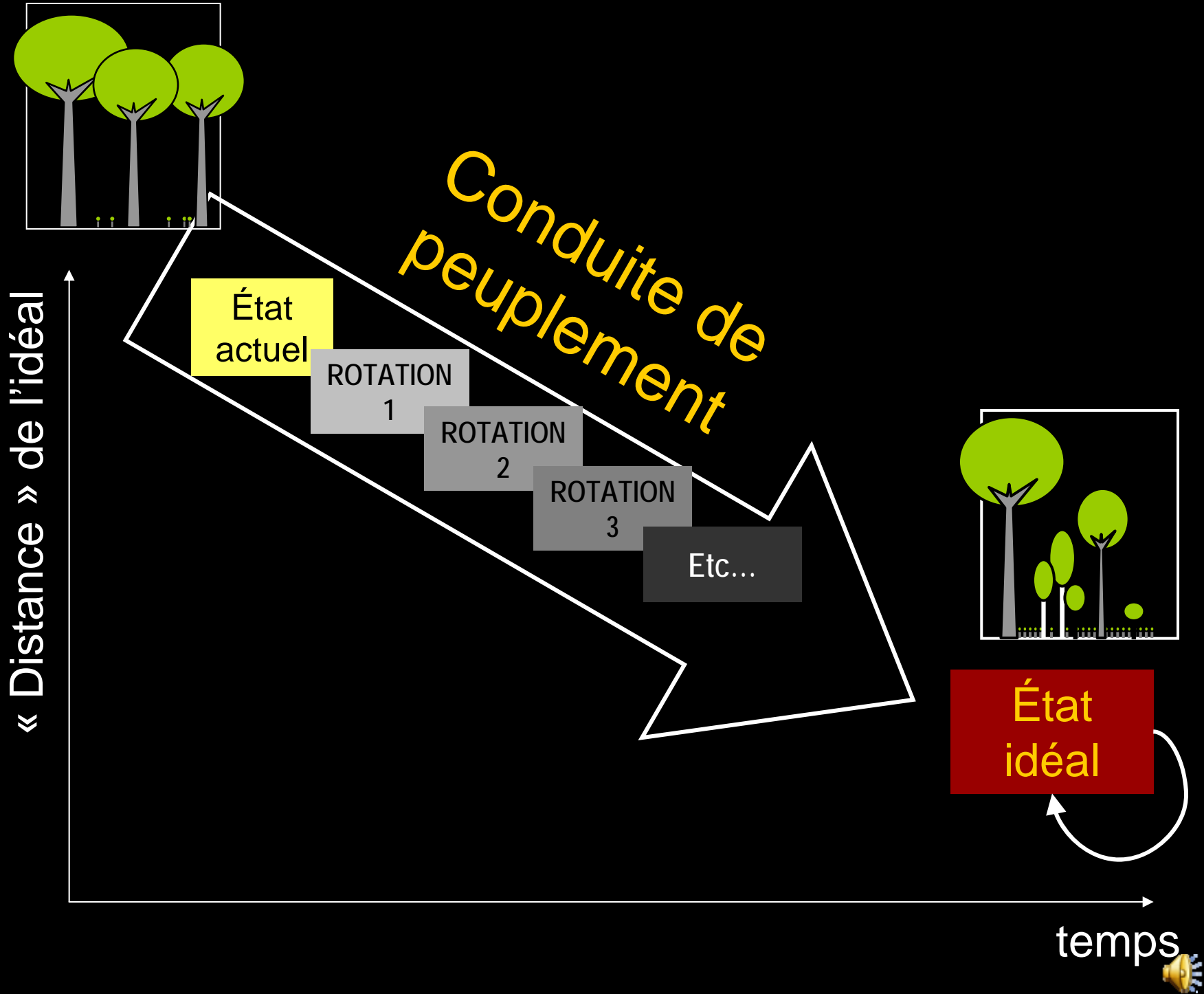


# RÉGIME DE LA FUTAIE JARDINÉE



- Couvert forestier continu
- Rendement économique soutenu à l'échelle du peuplement
- Rotations courtes (<30 ans)





# Sélection des tiges selon l'approche BDq

*Majcen et al.  
1990*

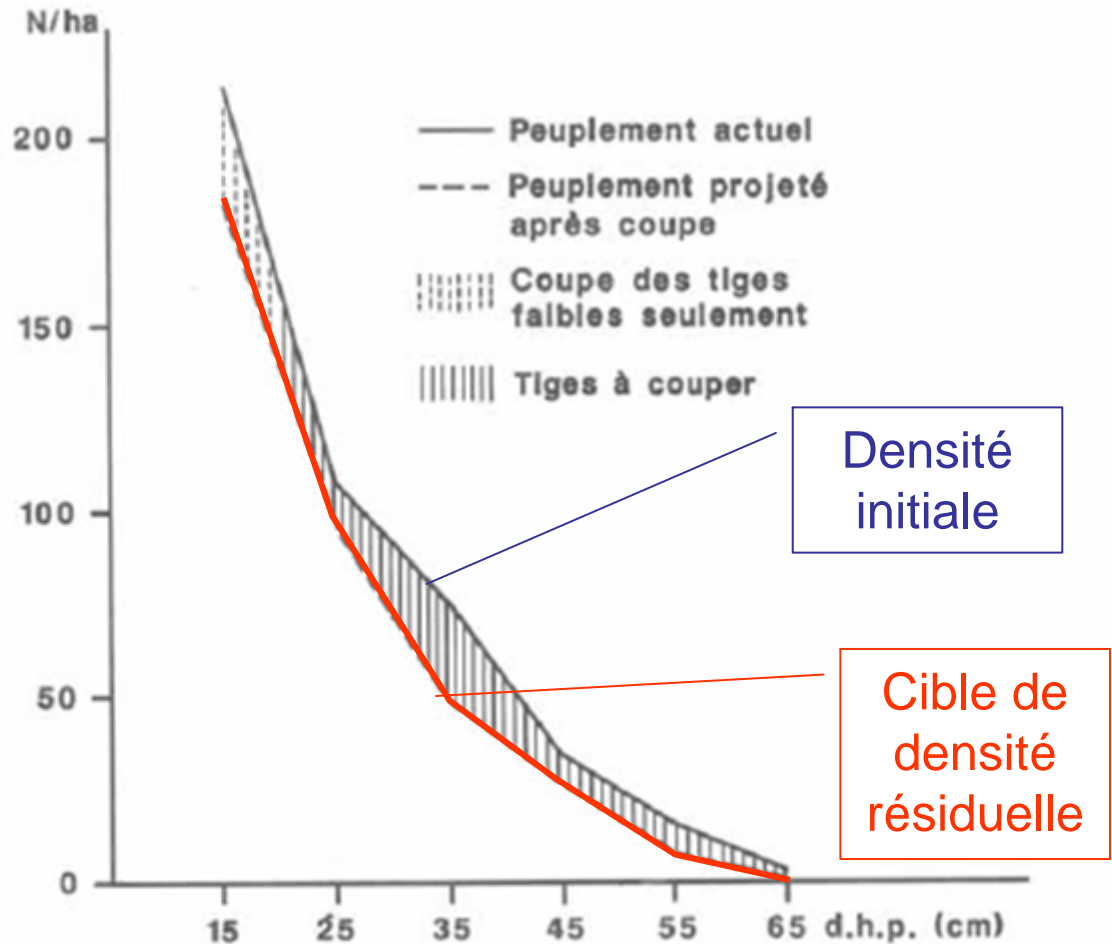
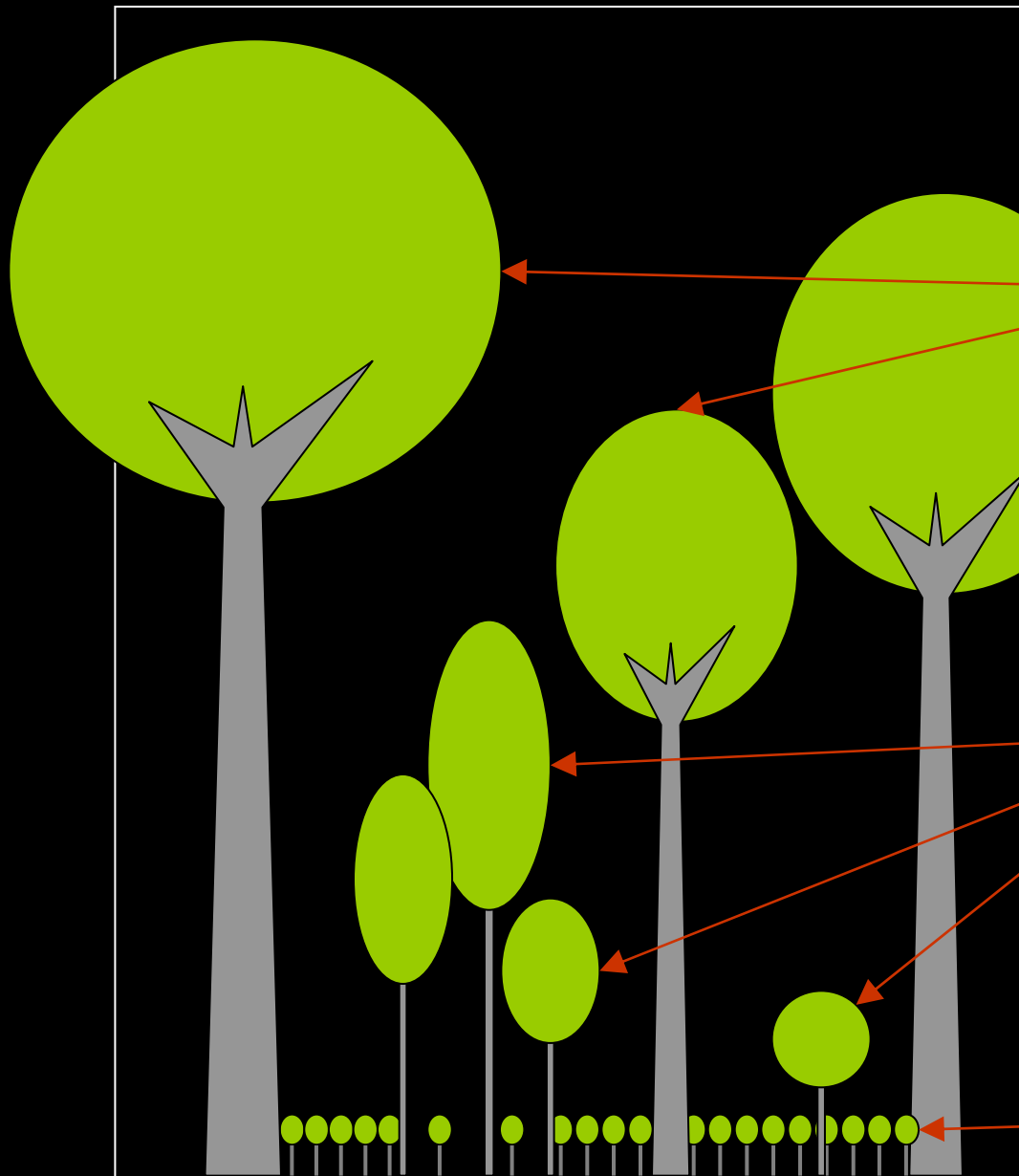


Figure 7: Distribution des tiges par hectare dans le peuplement actuel et le peuplement projeté après coupe (Grand lac Bénédicte)





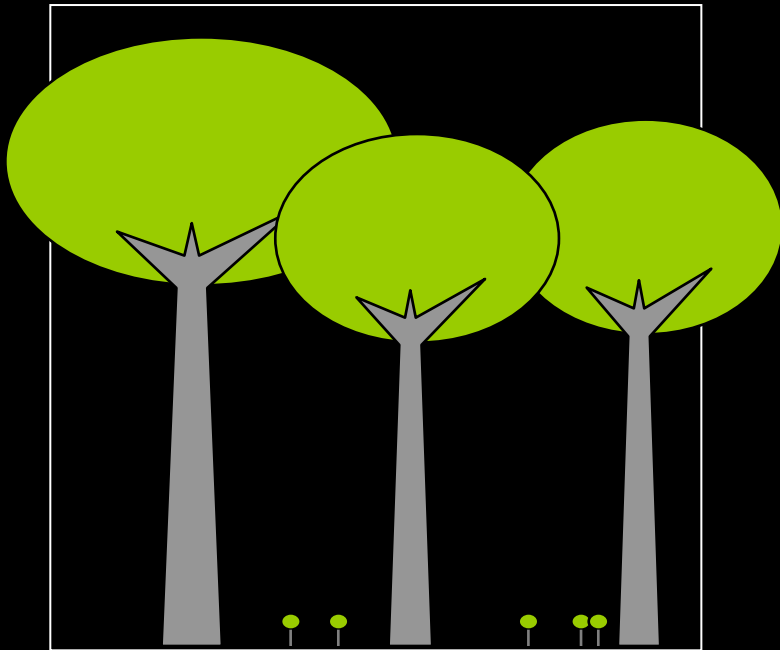
Charpente

Sprinters

Salle d'attente

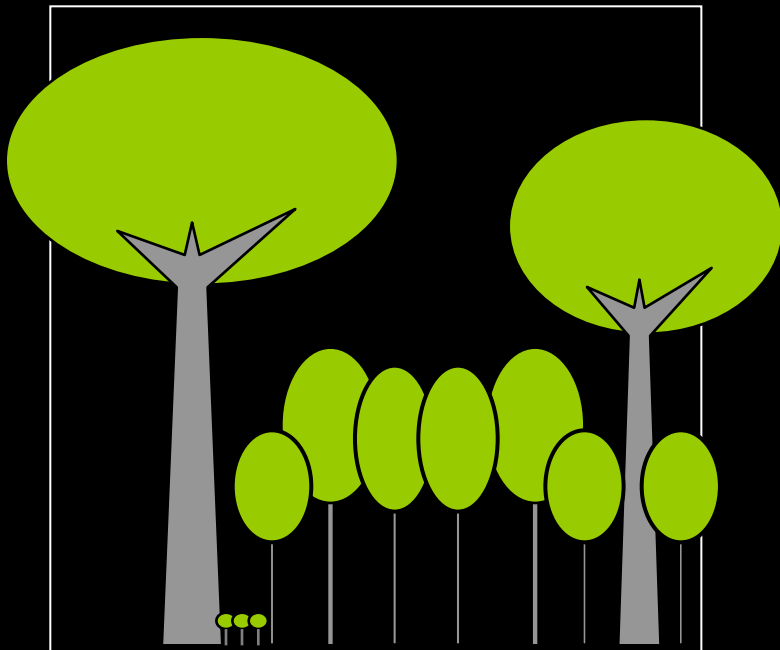


# Gérer la charpente



>27m<sup>2</sup>/ha

- Trop fermée
  - Absence de sprinters
  - Salle d'attente peu occupée



<16m<sup>2</sup>/ha

- Trop ouverte
  - Croissance massive des sprinters
  - Salle d'attente vide





# AU MENU...

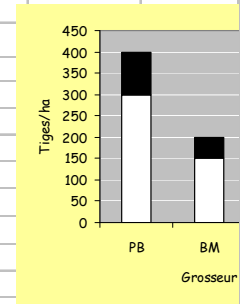
1. Jardinage 101
2. Commençons par la fin: une démo!
3. Construction du modèle Biolley
4. Microtypologie
5. Résultats de l'optimisation
  - a) Structure optimale
  - b) Conduite optimale
6. Application dans la pratique
7. Développements en cours



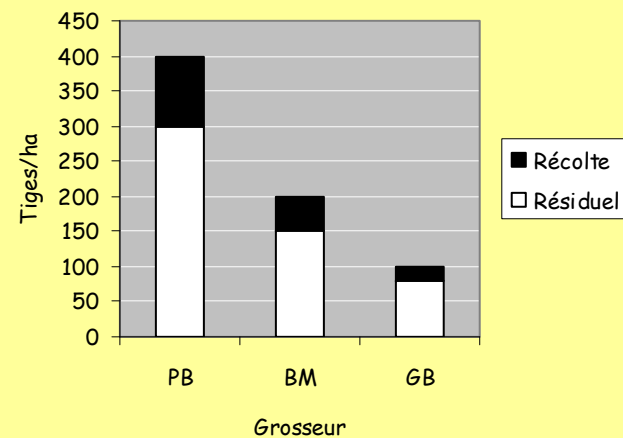


# DÉMO...

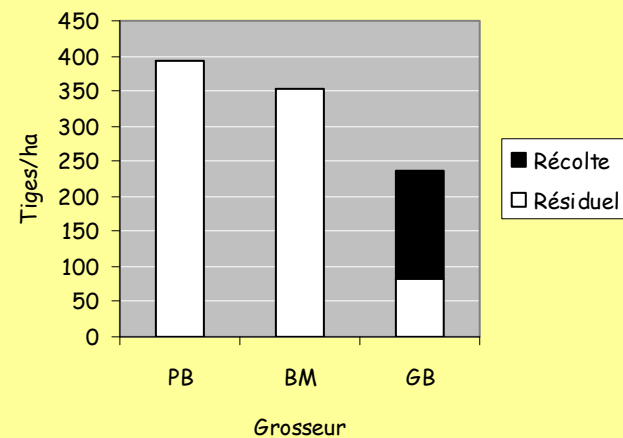
BIOLLEY SIMPLE							
<b>Paramètres généraux</b>							
Rotation	ans	15					
Recrutement	tiges/ha	196					
<b>Paramètres par classe de grosseur</b>	<b>Surface terrière</b>	<b>Volume marchand</b>	<b>Valeur marchande nette</b>				
	m <sup>2</sup> /tige	m <sup>3</sup> /tige	\$/m <sup>3</sup>	\$/tige			
PB	0,01	0,03	18,00 \$	0,54 \$			
BM	0,02	0,09	60,00 \$	5,40 \$			
GB	0,05	0,23	80,00 \$	18,40 \$			
<b>Matrice de transition</b>							
<b>État final</b>						PB	0,500
						BM	0,450
						GB	0,000
<b>Table de peuplement tiges/ha</b>	<b>temps t</b>			<b>temps t+rot</b>			
	Initial	Récolte	Résiduel	Initial	Initial+Recrut		
PB	400	100	300	150	346		
BM	200	50	150	210	210		
GB	100	20	80	144	144		
N tiges/ha	700	170	530	504	700		
G m <sup>2</sup> /ha	14	3	10	14	16		
V m <sup>3</sup> /ha	53	12	41	56	62		
Valeur \$/ha	3 136	692	2 444	3 855	3 961		
Taux intérêt	%	5%					
Valeur foncière espérée	\$/ha	-1 111					
<b>Contraintes</b>							
1 Non négativité des variables décisionnelles							
2 Récolte inférieure à la densité initiale							
3 Densité initiale au temps t égale à celle au temps t+rot							
4 Surface terrière résiduelle >16 m <sup>2</sup> /ha							
5 Surface terrière initiale < 27 m <sup>2</sup> /ha							



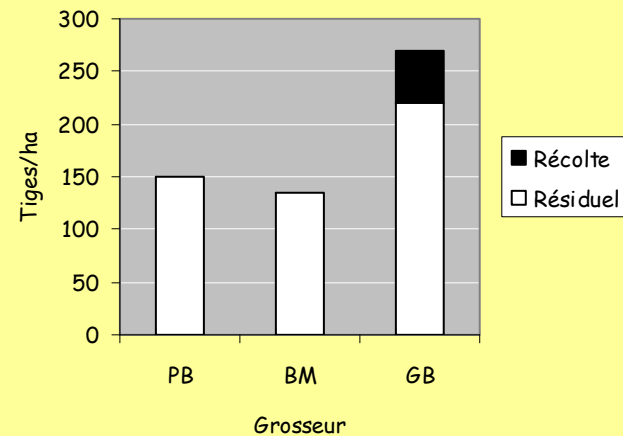
Récolte uniforme 25%  
Recrutement=196



Récolte optimisée  
Recrutement=196



Récolte optimisée  
Recrutement=75





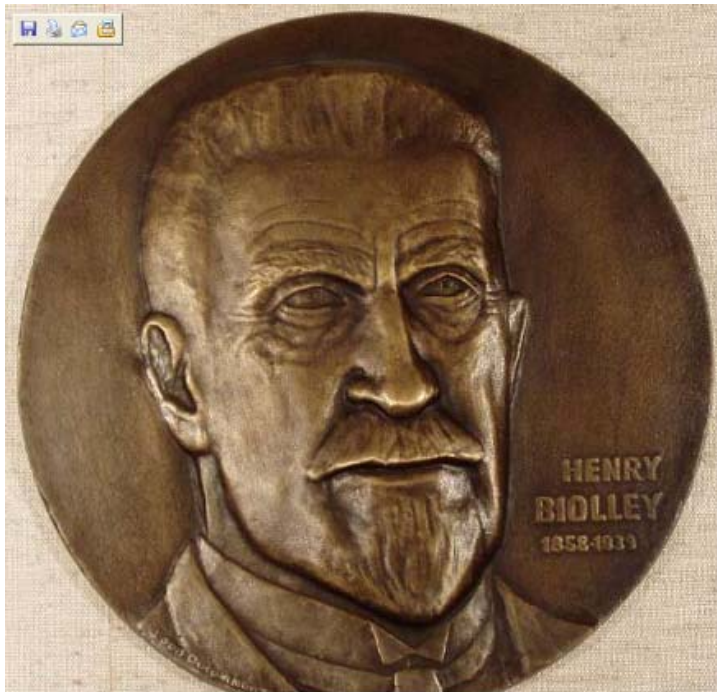
# AU MENU...

1. Jardinage 101
2. Commençons par la fin: une démo!
3. Construction du modèle Biolley
4. Microtypologie
5. Résultats de l'optimisation
  - a) Structure optimale
  - b) Conduite optimale
6. Application dans la pratique
7. Développements en cours





# Hommage à Henri Biolley 1858-1939



- Sylviculteur suisse, professeur à l'École Polytechnique de Zurich
- Développement du jardinage cultural selon la méthode du contrôle

# CATÉGORIES D'ARBRES

## 3 GROUPES D'ESSENCE

- FL  
Feuillus Longévifs  
(*Érable à sucre, bouleau jaune, etc.*)
- RL  
Résineux  
Longévifs (*Pins, épinettes, thuya*)
- NL  
Non-Longévifs  
(*Sapin, peupliers, etc.*)

## 3 CLASSES DE DHP

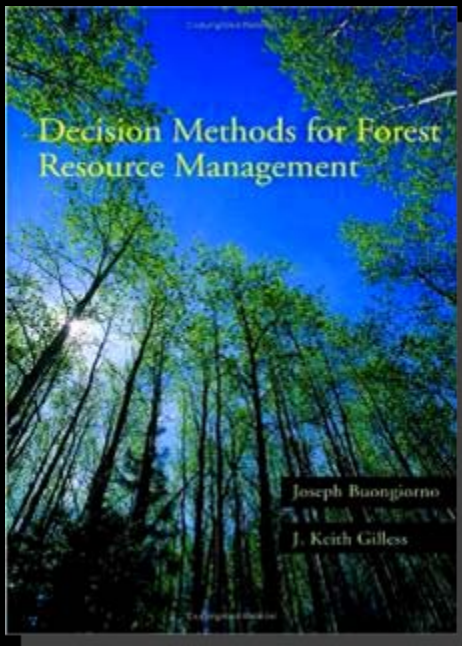
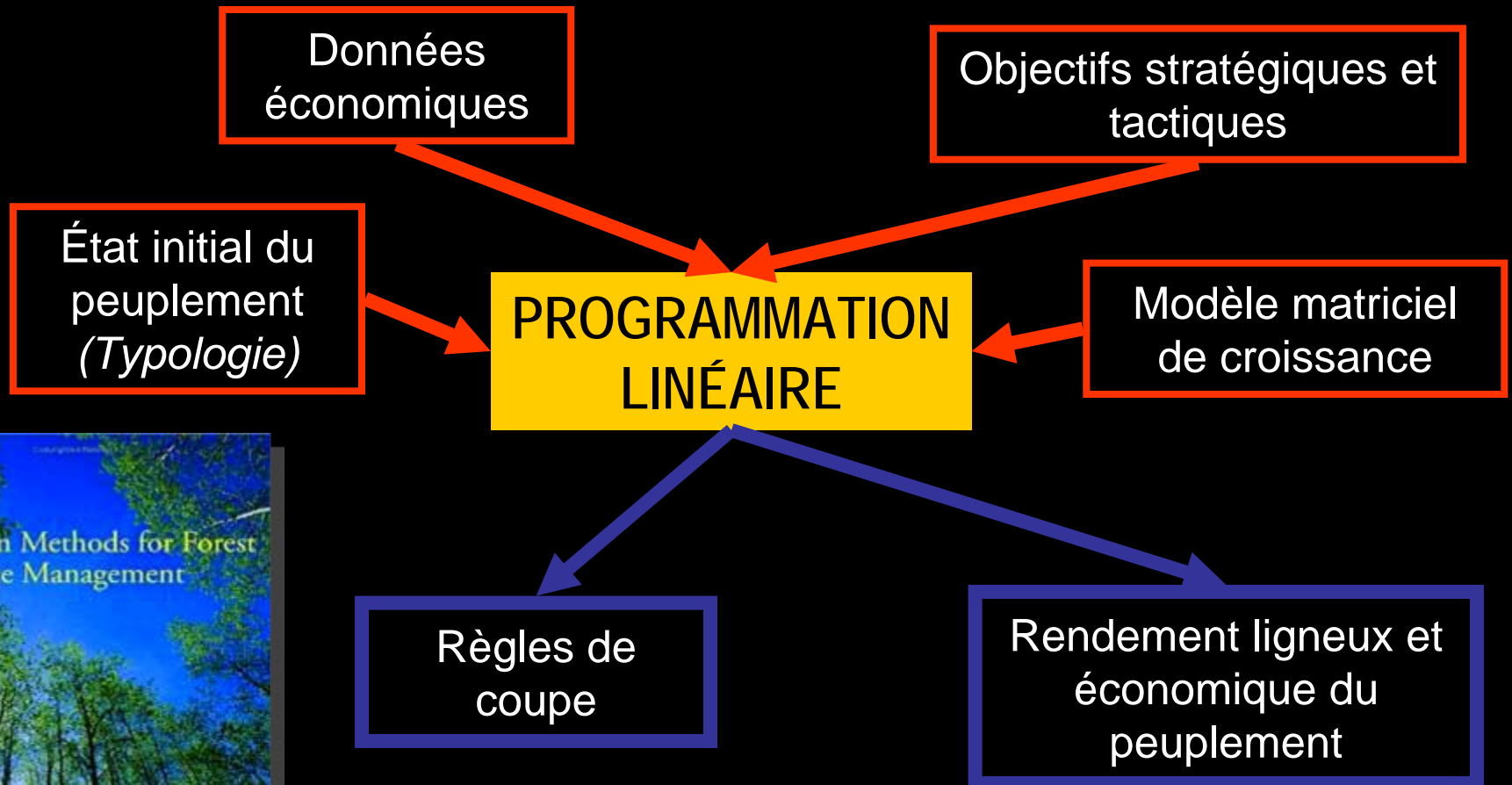
- PB  
Petit bois  
( $9\text{cm} < \text{dhp} < 25\text{cm}$ )
- BM  
Bois Moyen  
( $25\text{cm} < \text{dhp} < 41\text{cm}$ )
- GB  
Gros bois  
( $\text{dhp} > 41\text{cm}$ )

## 3 CLASSES DE VIGUEUR

- CR  
En réserve et en croissance
- S  
Improductif
- M  
En perdition

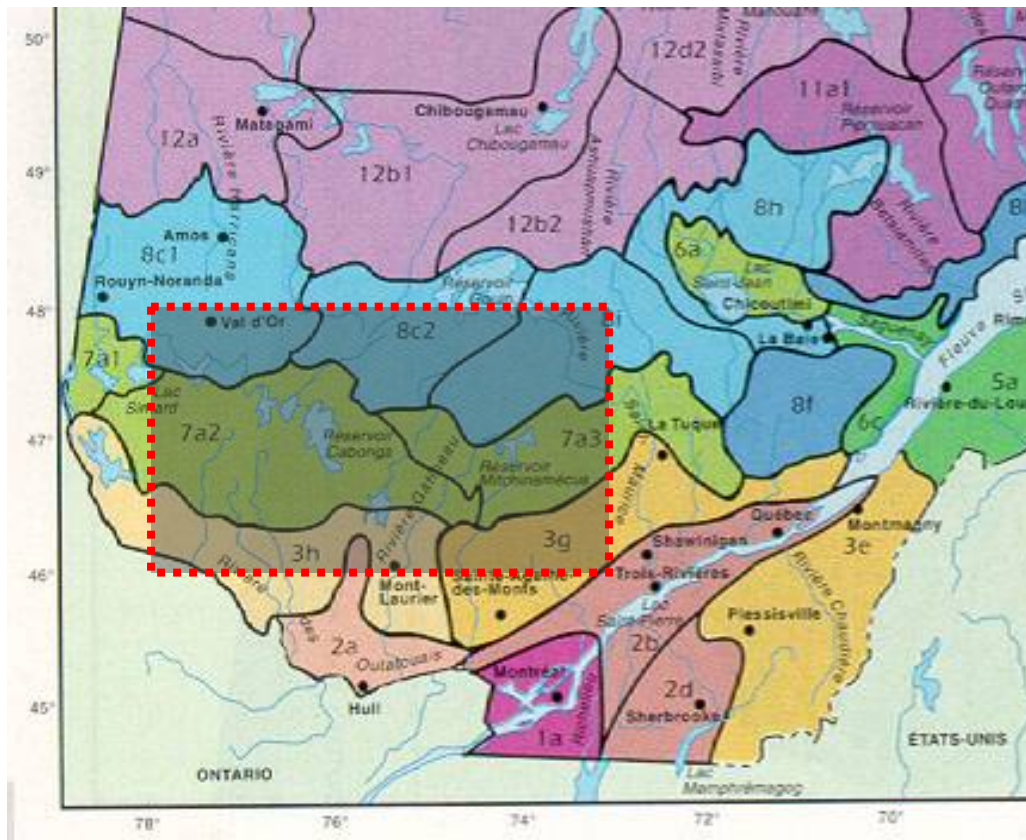


# Modèle d'optimisation BIOLLEY II



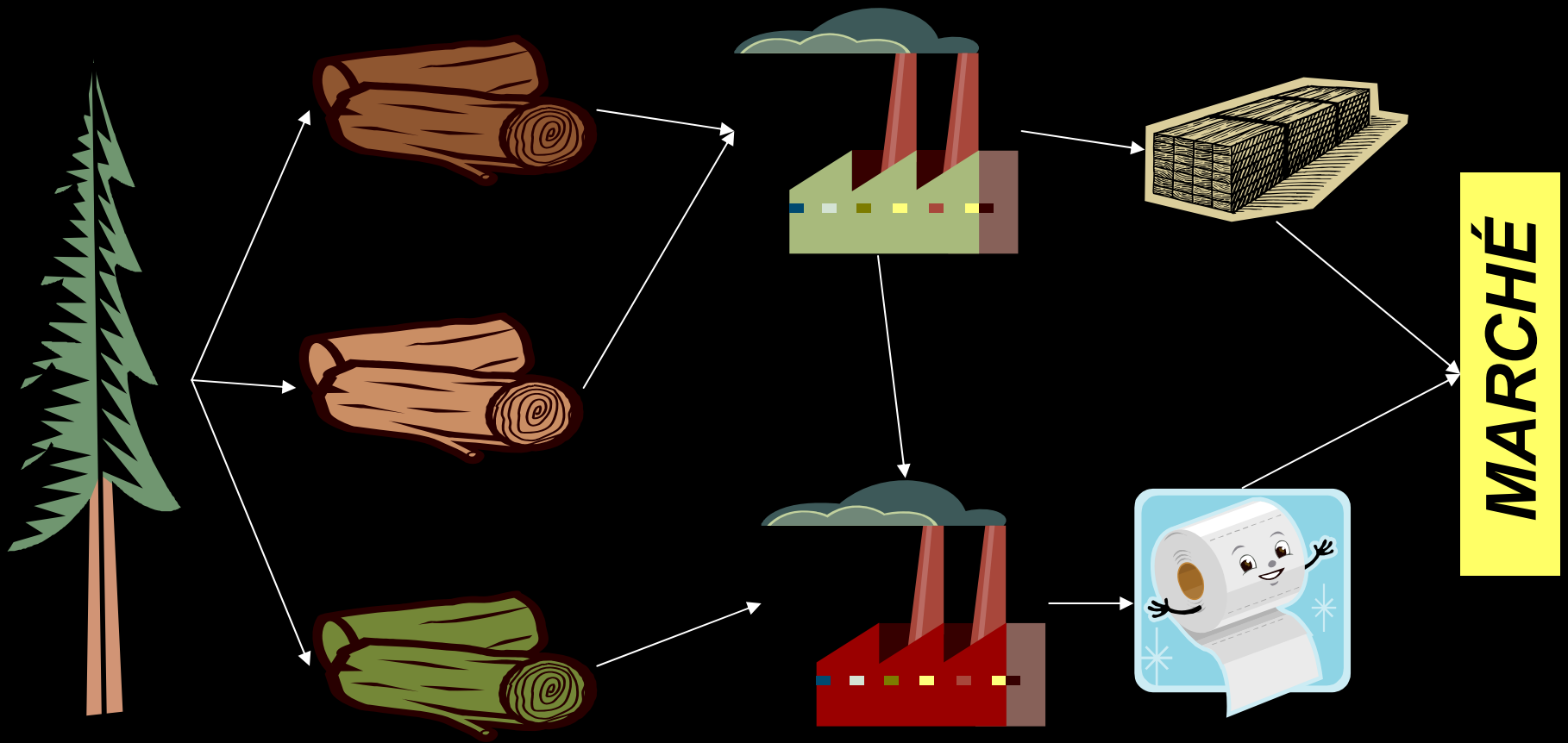


# Calibration de la matrice de croissance



- Source:  
Placettes permanentes MRNF
- 75% Calibration
- 25% Validation

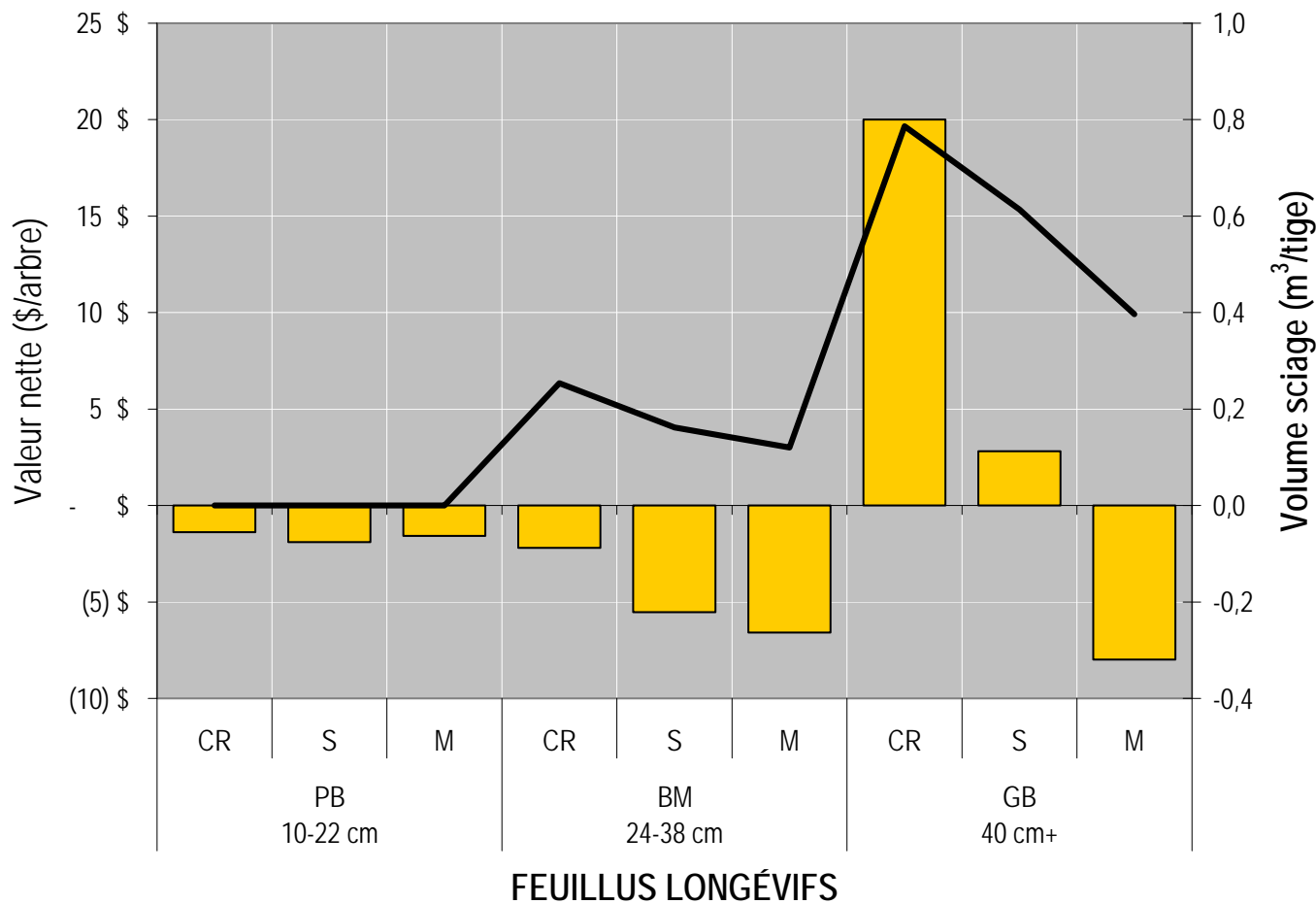
# Valeur nette pour la chaîne d'approvisionnement







# Valeur nette des arbres (Hautes-Laurentides - 2006-2007)





# COÛTS FIXES

Gestion: 440\$/ha

Martelage: 100\$/ha

Voirie: 320\$/ha

Camps: 40 \$/ha

**TOTAL: 900\$/ha**



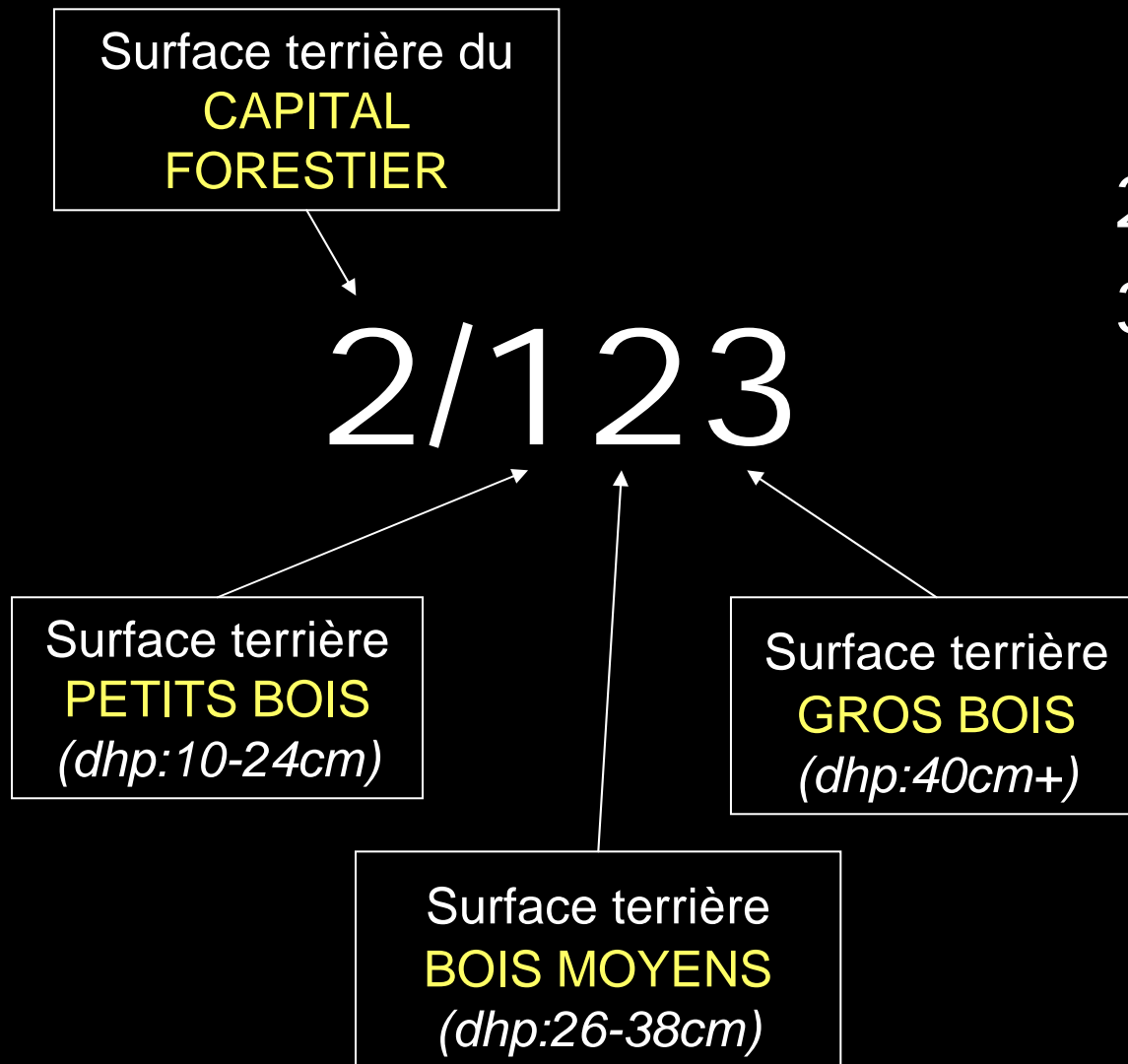


# AU MENU...

1. Jardinage 101
2. Commençons par la fin: une démo!
3. Construction du modèle Biolley
4. Microtypologie
5. Résultats de l'optimisation
  - a) Structure optimale
  - b) Conduite optimale
6. Application dans la pratique
7. Développements en cours



# 19 Microtypes



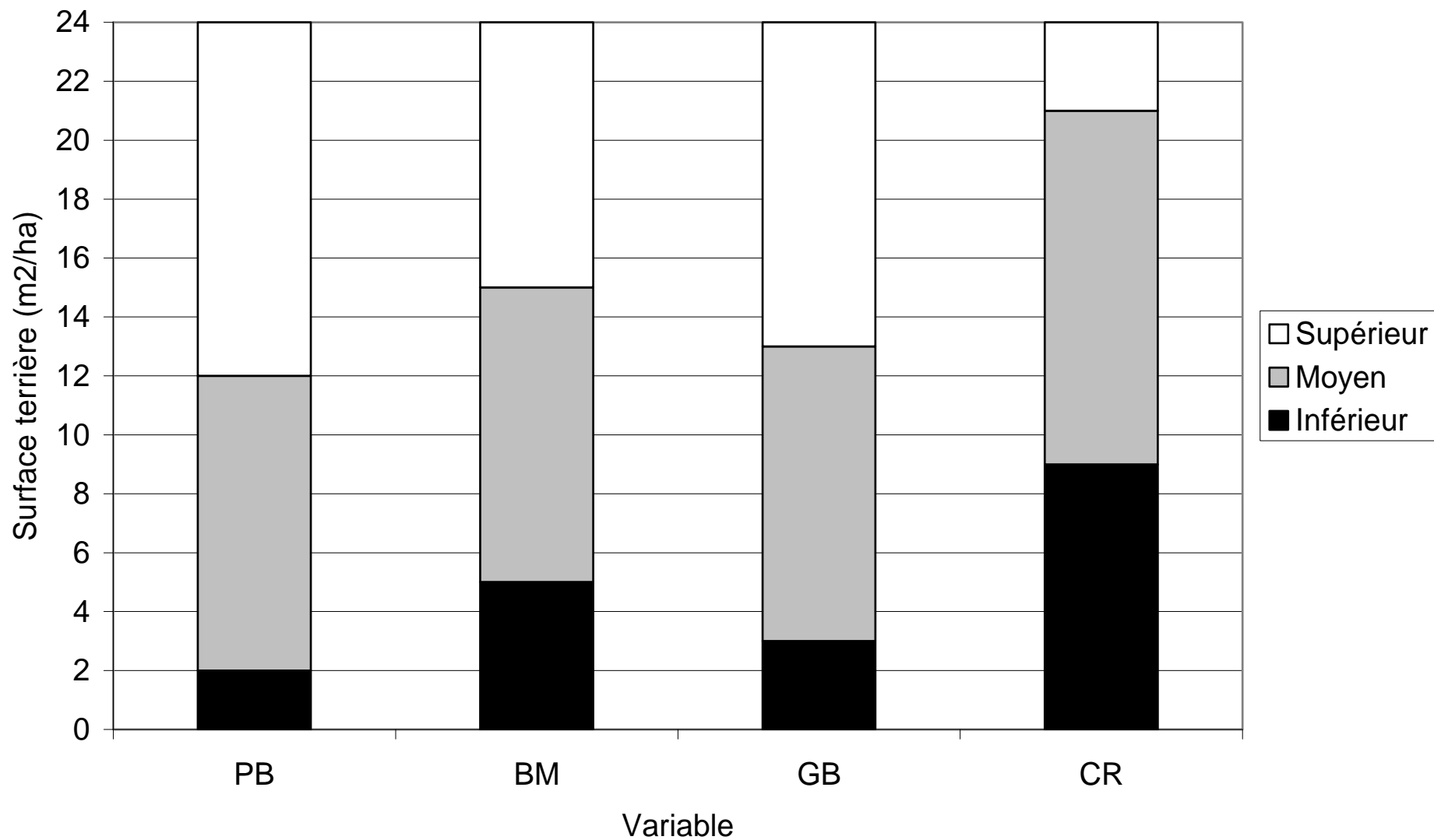
1=Inférieur à la moyenne

2=Moyen

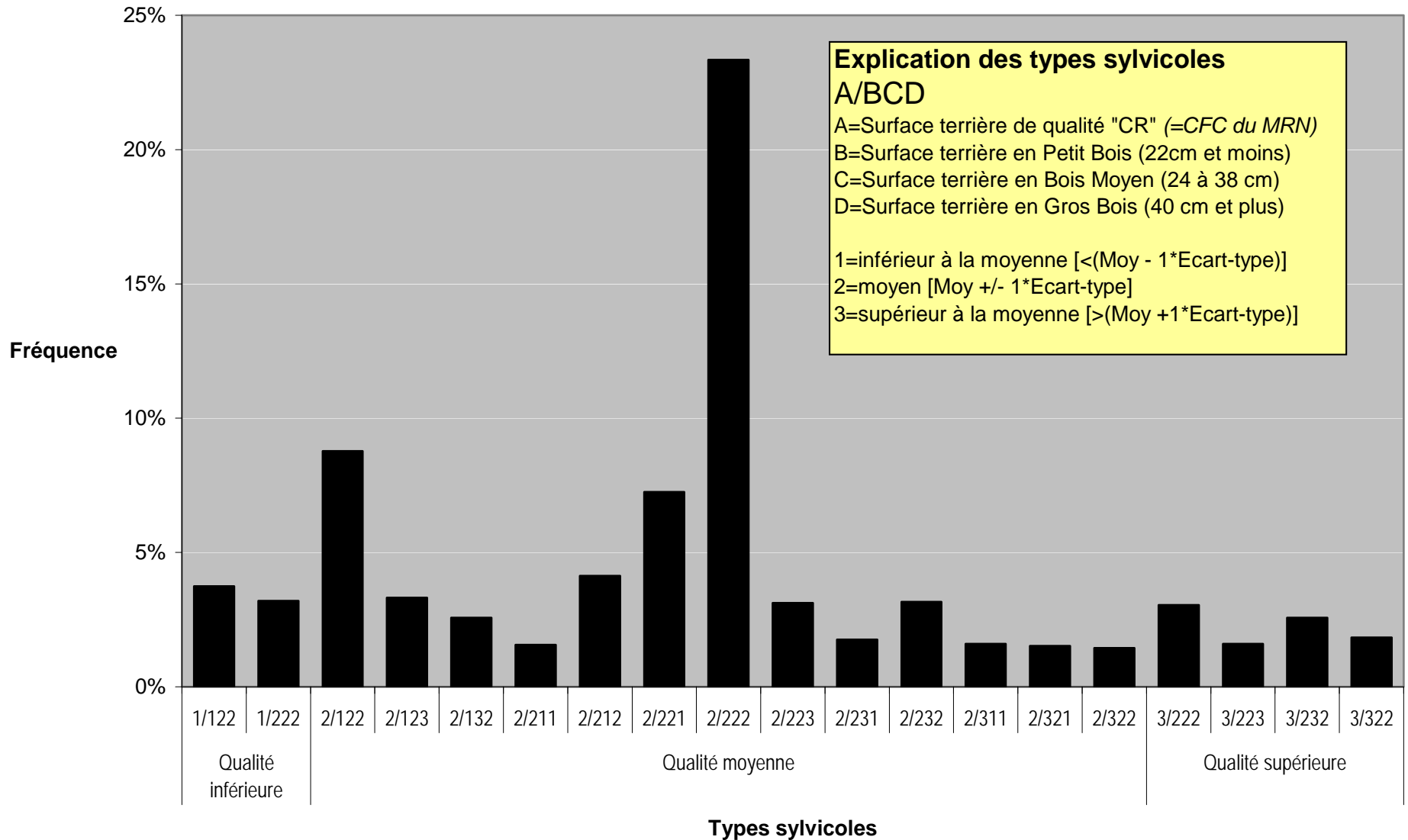
3=Supérieur à la moyenne



## Définition des niveaux pour les variables de la typologie de peuplement (Typologie B)



**Fréquence des parcelles par type sylvicole**  
*(19 types sylvicoles représentent 80% des parcelles de 2006)*







# AU MENU...

1. Jardinage 101
2. Commençons par la fin: une démo!
3. Construction du modèle Biolley
4. Microtypologie
5. Résultats de l'optimisation
  - a) Structure optimale
  - b) Conduite optimale
6. Application dans la pratique
7. Développements en cours



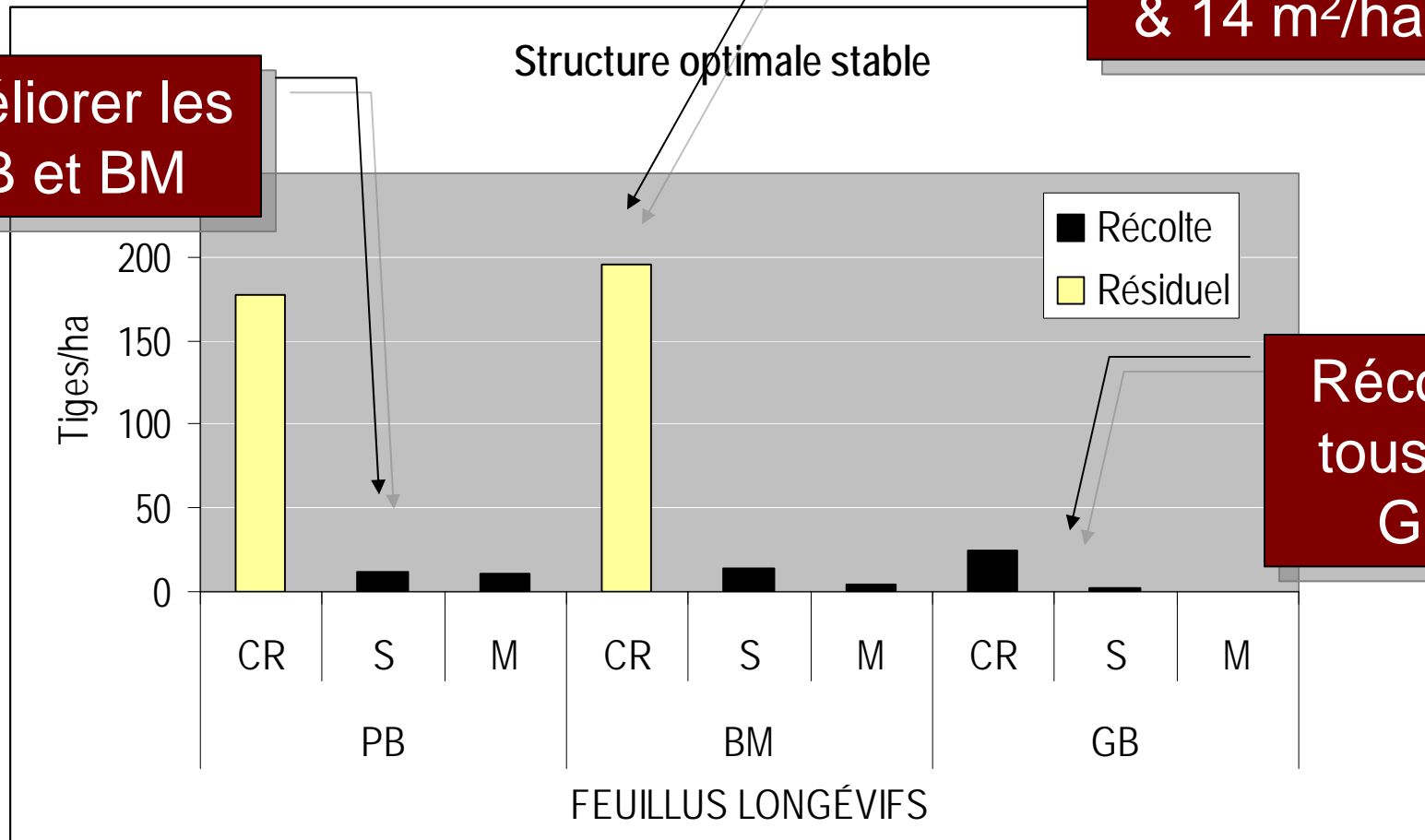




# Structure optimale stable pour le type sylvicole 2/222

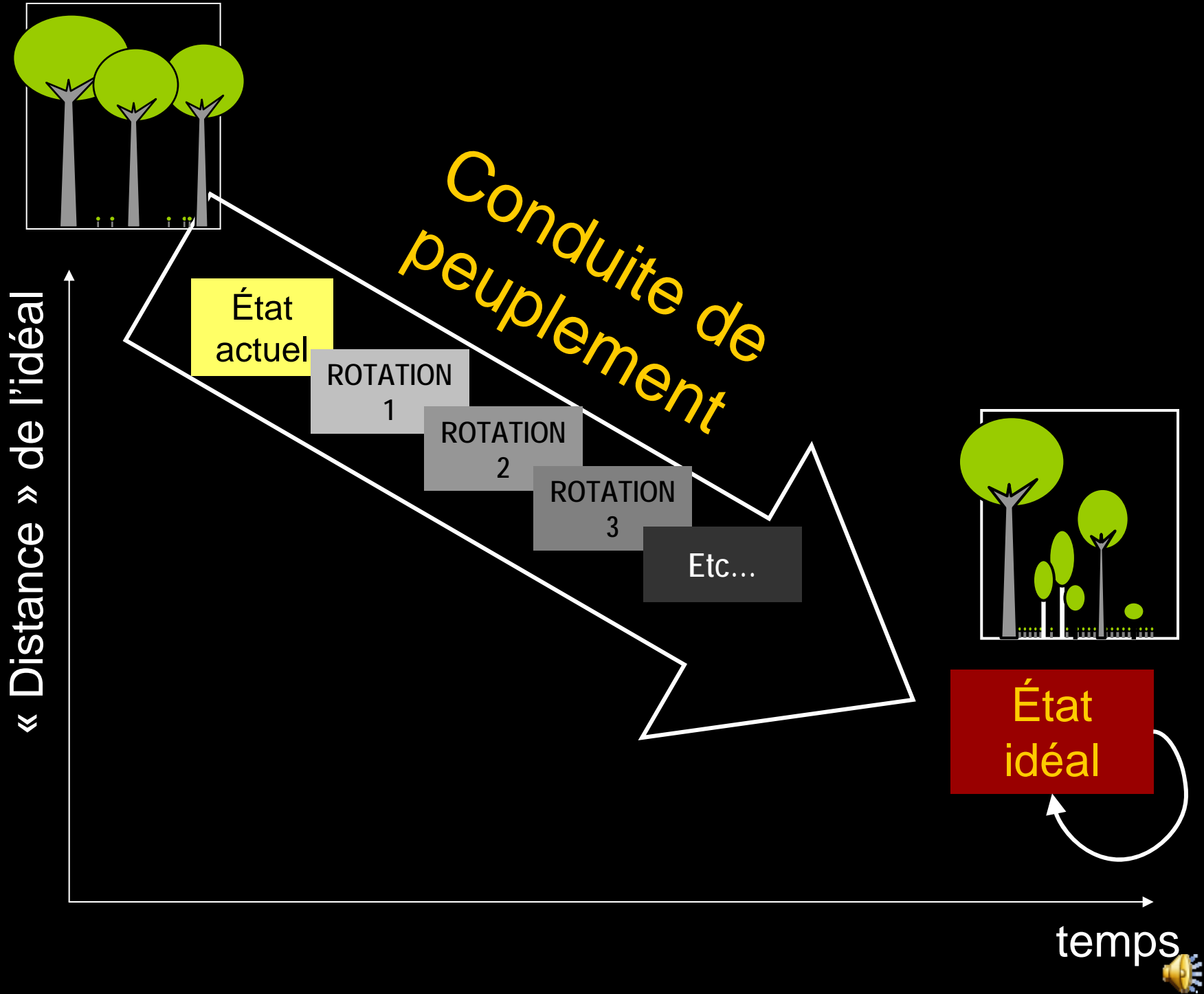
Améliorer les  
PB et BM

Stock résiduel  
de 4 m<sup>2</sup>/ha PB  
& 14 m<sup>2</sup>/ha BM



Récolter  
tous les  
GB





# Règles de coupe de la conduite optimisée Vs. Prescription actuelle d'assainissement

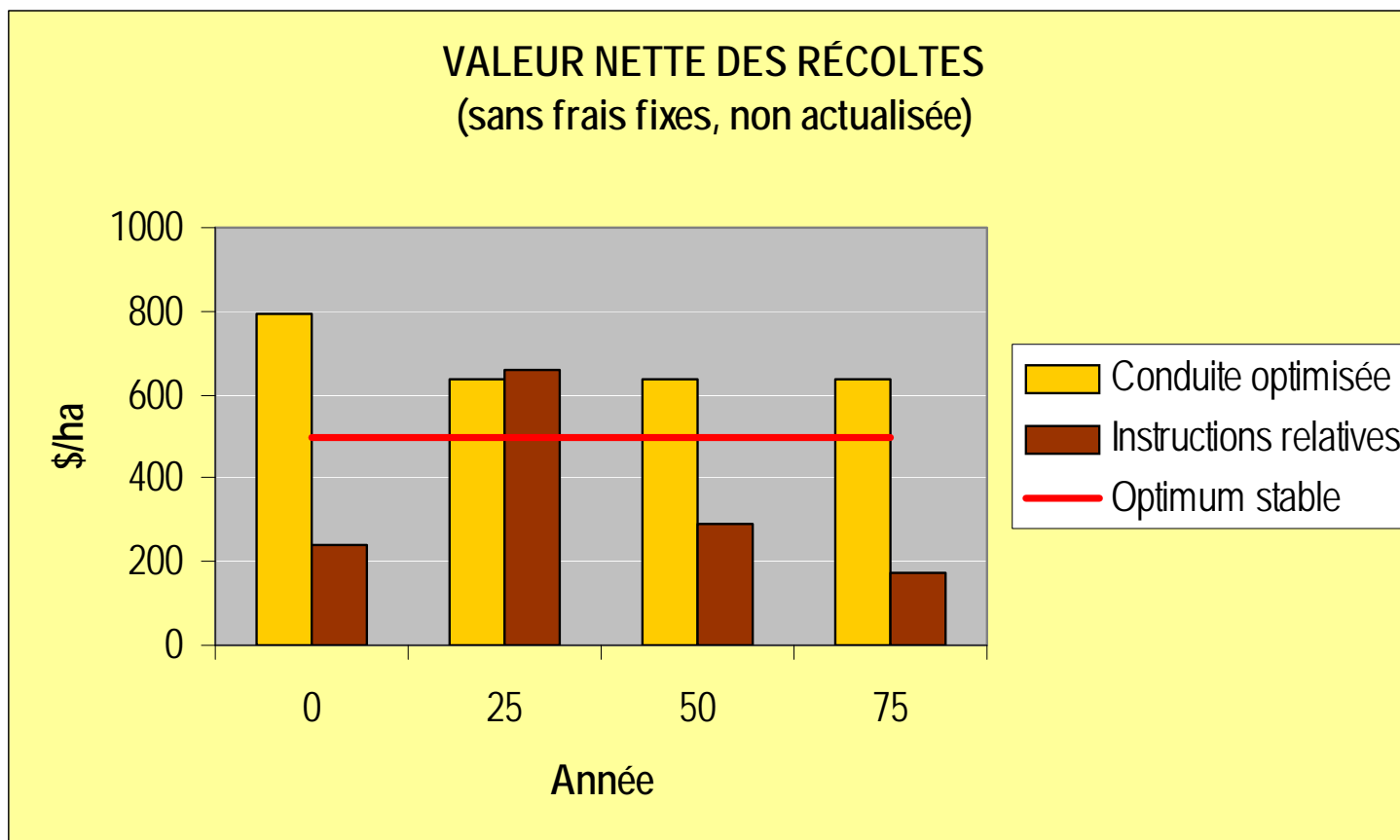
*Type 2/222*

			Conduite optimisée				Prescription actuelle			
			0	25	50	75	0	25	50	75
FEUILLUS LONGÉVIFS	PB	CR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		S	100%	100%	58%	0%	0%	0%	0%	0%
		M	100%	100%	100%	56%	0%	0%	0%	0%
	BM	CR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
		S	0%	0%	0%	0%	0%	0%	68%	100%
		M	0%	0%	0%	0%	79%	100%	100%	100%
	GB	CR	100%	100%	100%	100%	48%	36%	32%	36%
		S	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		M	14%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%





# Valeur économique des récoltes selon deux options de conduite de peuplement



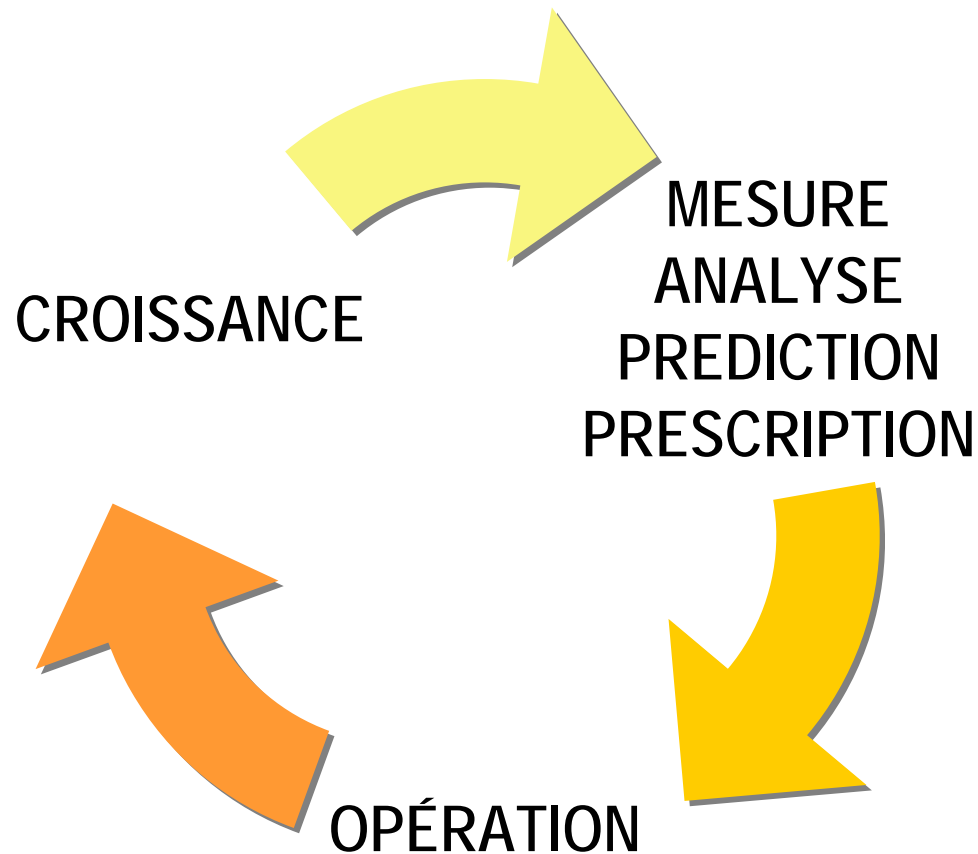


# AU MENU...

1. Jardinage 101
2. Commençons par la fin: une démo!
3. Construction du modèle Biolley
4. Microtypologie
5. Résultats de l'optimisation
  - a) Structure optimale
  - b) Conduite optimale
6. Application dans la pratique
7. Développements en cours

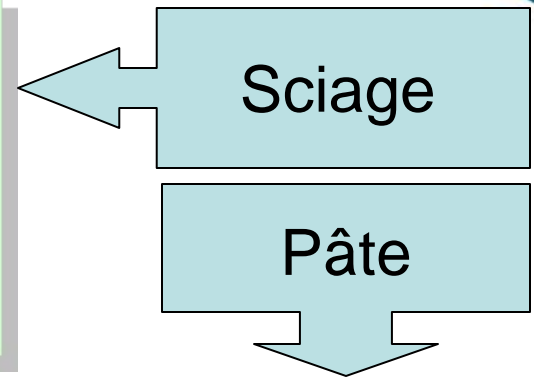
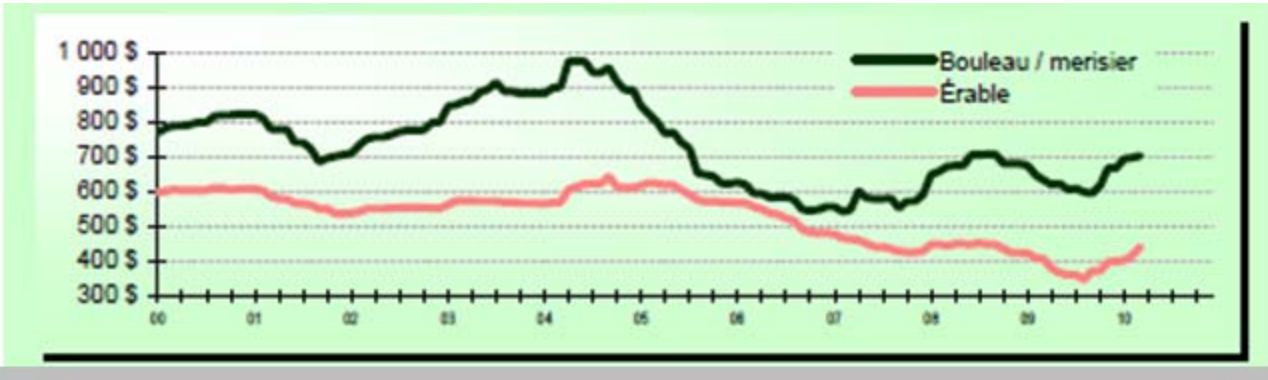


# La méthode du contrôle

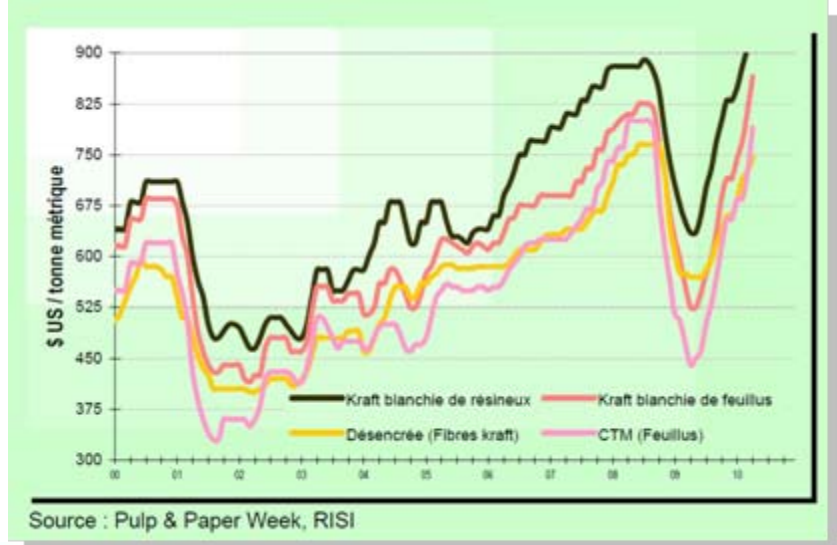




# La valeur des bois fluctue...

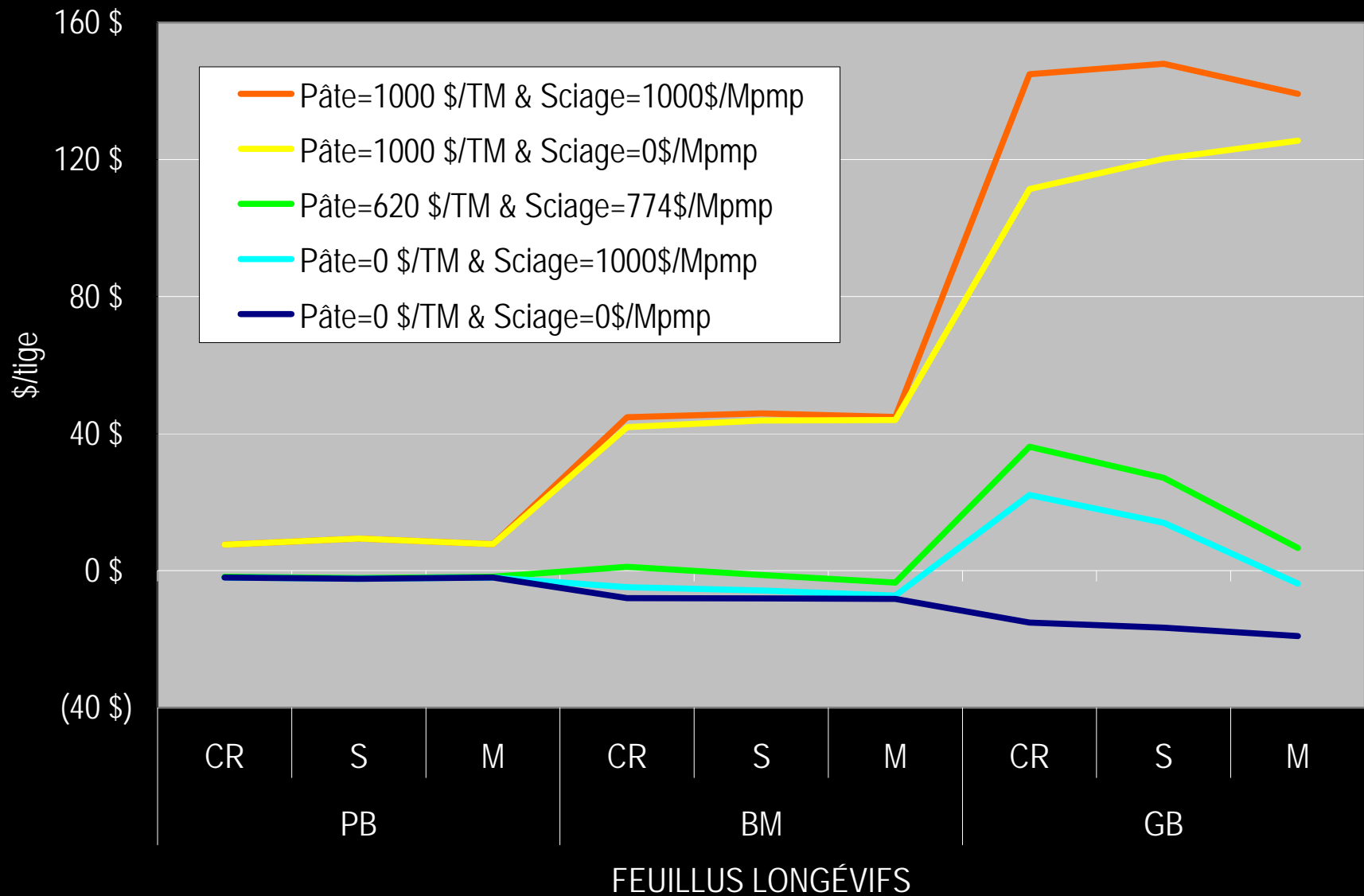


Prix	Pâte \$/TM	Sciage \$/Mmpm
Faible	350 \$	350 \$
Tendance	620 \$	794 \$
Fort	1 000 \$	1 000 \$



Source : Pulp & Paper Week, RISI

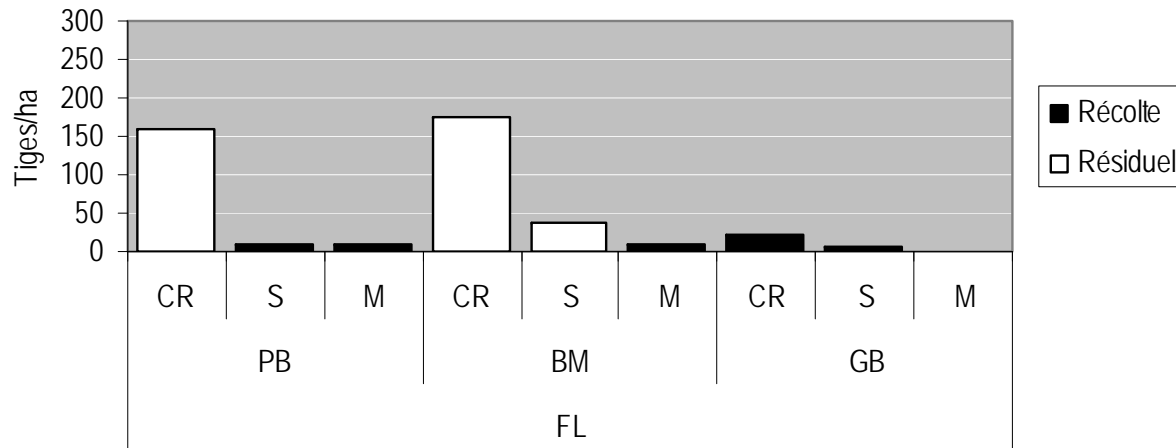
# Valeur nette selon 5 scénarios de prix



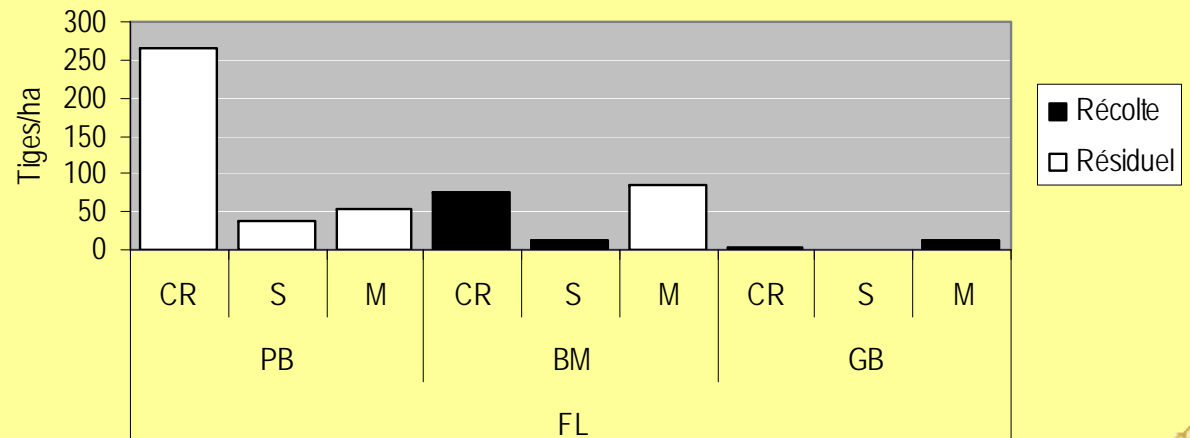


# La structure de la chaîne de valeur influence le peuplement stable optimal

Super Marché Sciage & Pas Pâte



Super Marché Pâte & Pas Sciage



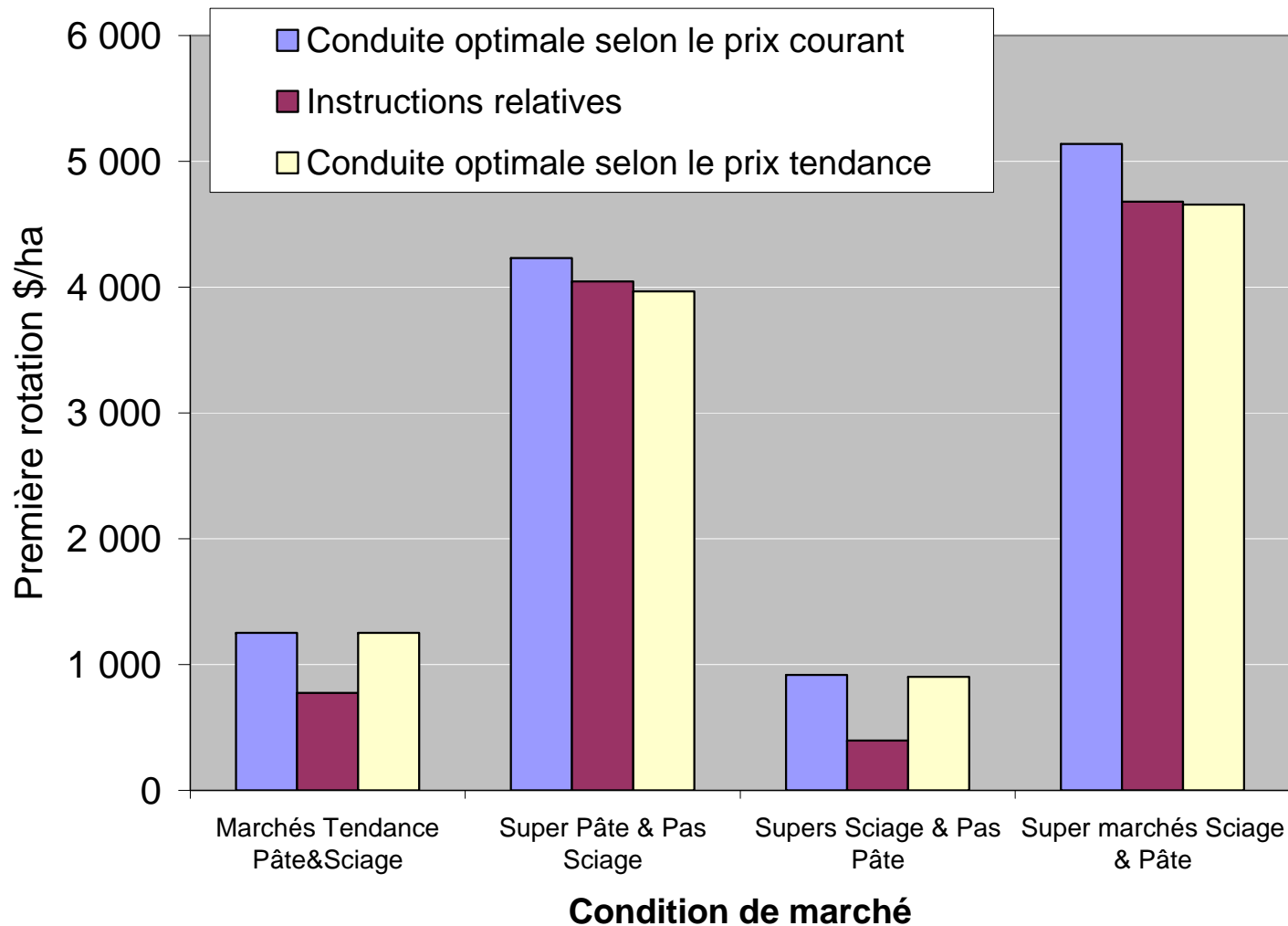
# Les fluctuations de prix influencent la conduite de peuplement optimisée

			Marchés Tendance Pâte&Sciage	Super Pâte Pas Sciage	Super Sciage Pas Pâte	Instructions relatives
FL	PB	CR	0%	0%	0%	0%
		S	0%	0%	0%	0%
		M	10%	0%	100%	0%
	BM	CR	0%	0%	0%	0%
		S	0%	0%	0%	0%
		M	0%	0%	0%	78%
	GB	CR	61%	100%	72%	44%
		S	100%	100%	100%	100%
		M	100%	91%	55%	100%

*...toujours avec la même structure stable optimale*



# Optimiser la conduite en fonction du prix courant permet des gains par rapport à une prescription fixe





# AU MENU...

1. Jardinage 101
2. Commençons par la fin: une démo!
3. Construction du modèle Biolley
4. Microtypologie
5. Résultats de l'optimisation
  - a) Structure optimale
  - b) Conduite optimale
6. Application dans la pratique
7. Développements en cours

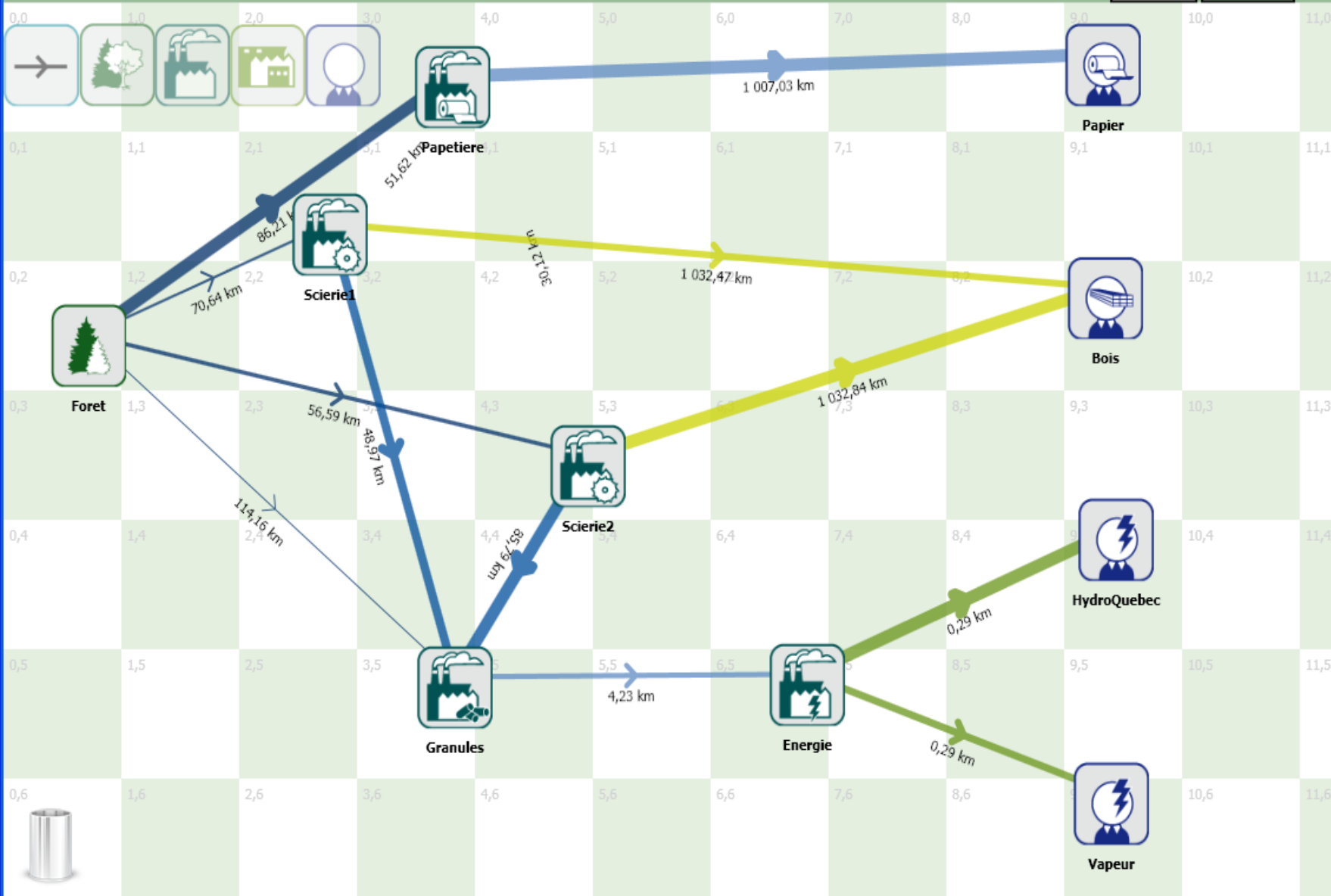




# Projet BIOLLEY II

- 2007-08
  - Prototype pour la région des Hautes-Laurentides
  - Essai sur le terrain par la CFHL
- 2009-11
  - Calibration pour l'Est du Canada
  - Amélioration de l'évaluation économique
  - Études de cas (Qc, NBrunswick)
  - Étude de sensibilité







# CONCLUSIONS

- **METHODE**

- Compromis entre la rentabilité à court et à long termes
- Fondements sylvicoles
- Optimisation mathématique
  - Amélioration des décisions
  - Solutions originales

- **RÉSULTATS**

- Amélioration marquée de la rentabilité
- Ajustement de la prescription sylvicole en fonction du marché
- Agilité accrue
- Outil complémentaire aux modèles de simulation

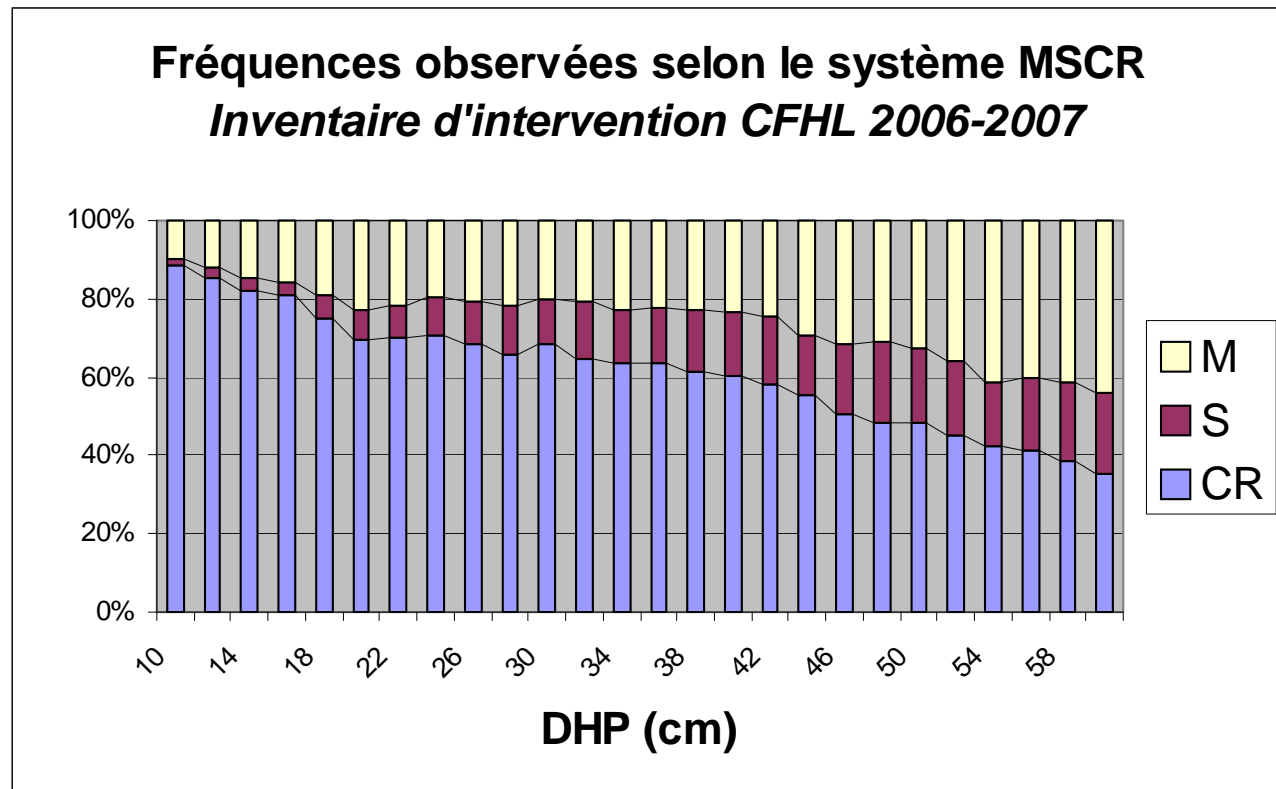


# Merci à...

- Michel Letarte
- Philippe Meek
- Raymond Barrette
- Ralph Nyland



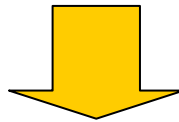
# Matrice de transition MSCR



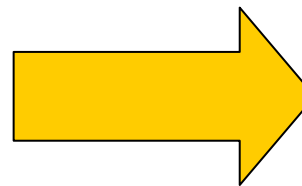
- **Hypothèse:** Les changements de proportion MSCR d'une classe de DHP à l'autre est un phénomène markovien dans le temps
  - Processus progressif de dégradation de l'état de santé des arbres
  - Les taux de passage ne dépendent que de l'état initial et sont indépendants de l'âge ou de la taille de la tige.
- **Données:** Inventaires d'intervention 2006-2007

# Calibration de la matrice de transition MSCR

Matrice de transition		État initial		
		CR	S	M
Etat final	CR	$P_{CC}$	0	0
	S	$P_{CS}$	$P_{SS}$	0
	M	$P_{CM}$	$P_{SM}$	$P_{MM}$



Fréquences prédites			
Temps	États		
	CR	S	M
0	$N_{c0}^*$	$N_{s0}^*$	$N_{m0}^*$
1	$N_{c1}^*$	$N_{s1}^*$	$N_{m1}^*$
2	$N_{c2}^*$	$N_{s2}^*$	$N_{m2}^*$
3	$N_{c3}^*$	$N_{s3}^*$	$N_{m3}^*$
4	$N_{c4}^*$	$N_{s4}^*$	$N_{m4}^*$
5	$N_{c5}^*$	$N_{s5}^*$	$N_{m5}^*$
...	...	...	...
t	$N_{ct}^*$	$N_{st}^*$	$N_{mt}^*$



Fréquences mesurées			
Temps	États		
	CR	S	M
0	$N_{c0}$	$N_{s0}$	$N_{m0}$
1	$N_{c1}$	$N_{s1}$	$N_{m1}$
2	$N_{c2}$	$N_{s2}$	$N_{m2}$
3	$N_{c3}$	$N_{s3}$	$N_{m3}$
4	$N_{c4}$	$N_{s4}$	$N_{m4}$
5	$N_{c5}$	$N_{s5}$	$N_{m5}$
...	...	...	...
t	$N_{ct}$	$N_{st}$	$N_{mt}$

# Matrice de transition MSCR

## Feuillus longévifs

MSCR		État initial		
		CR	S	M
Etat final	CR	0,984	0	0
	S	0,014	0,969	0
	M	0,002	0,031	1

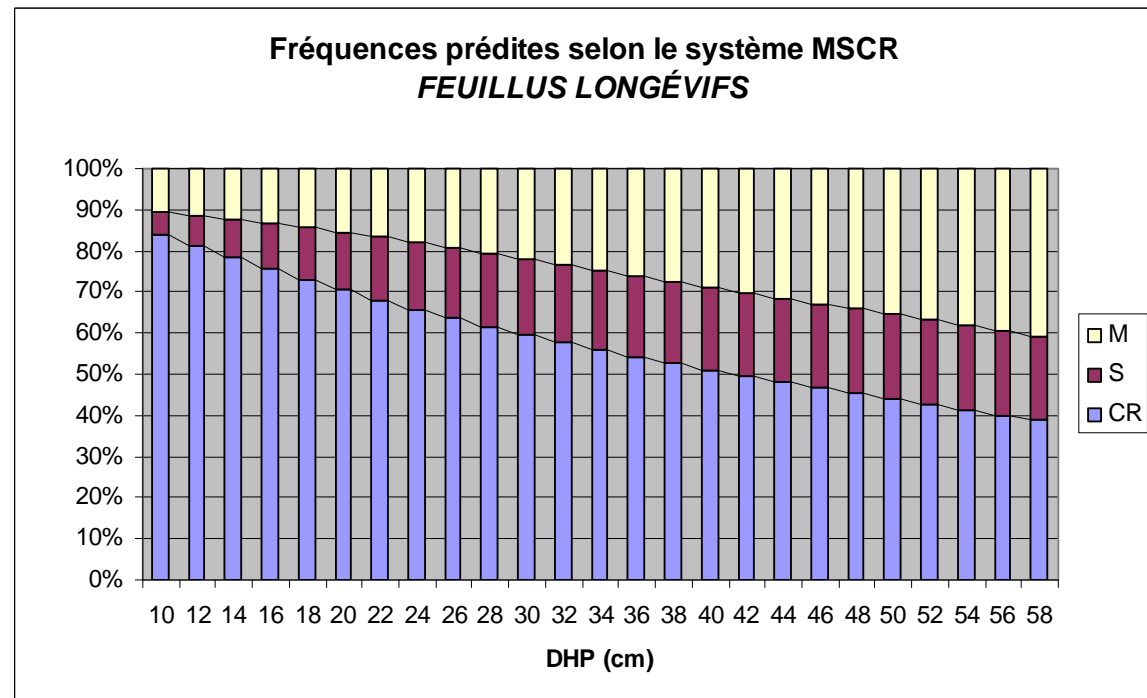
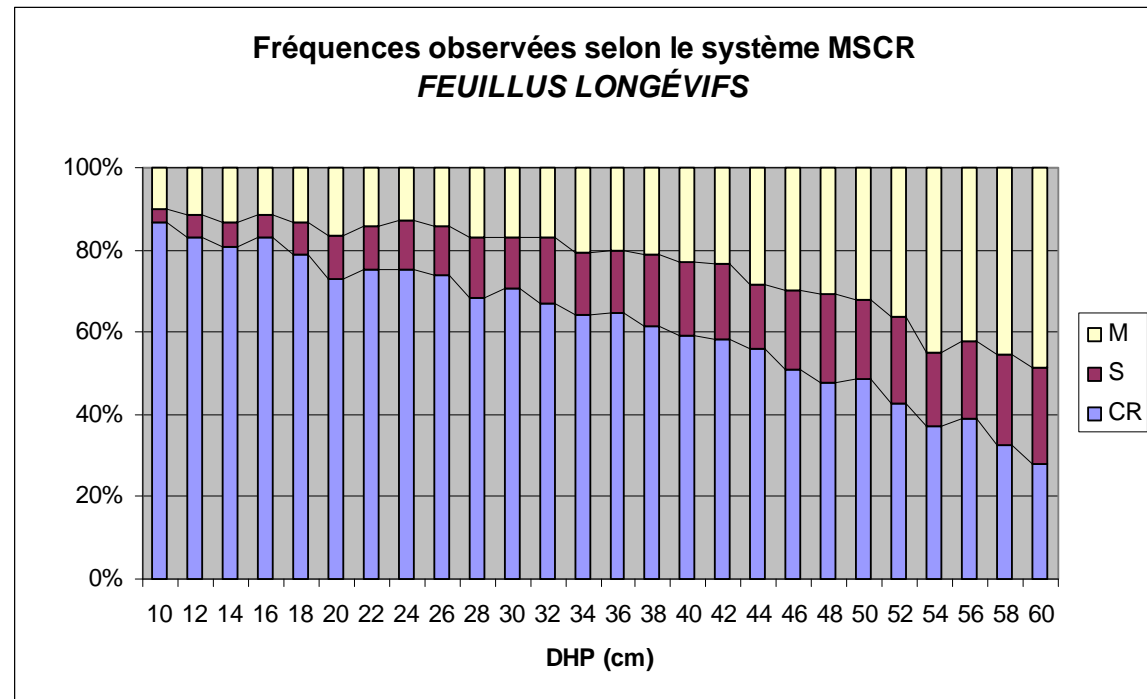
## Résineux longévifs

MSCR		État initial		
		CR	S	M
Etat final	CR	0,989	0	0
	S	0,003	1	0
	M	0,008	9E-08	1

## Non longévifs

MSCR		État initial		
		CR	S	M
Etat final	CR	0,996	0	0
	S	0,001	1	0
	M	0,003	0	1

# Fréquences MSCR OBSERVÉES Vs. PRÉDITES





# Modèle de recrutement quinquennal

$$R = b_0 + b_1N + b_2G + e$$

- Inspiré du modèle de recrutement de Buongiorno et Gilles 2003
- Modèle de régression linéaire mixte
  - Variables aléatoires: virée & parcelle
- Calibré avec 75% des mesures de parcelles permanentes de la région
- Validé avec le reste des mesures (n=138)

# Règles de martelage découlant de Biolley II

SCÉNARIO No.9	Programmation par objectifs (Somme des récoltes en \$/ha et structure initiale à 100 ans) - Utilisation des valeurs non actualisées, coût de voirie réduit de moitié pour les rotations 2, 3 et 4
	Limite de prélèvement MAX 66% pour permettre la récolte des NL ET rendement soutenu en revenu périodique ( $\pm 10\%$ )

**NOTE:** Dans cette ensemble de solution, tous les types présentent une solution optimale. Pour ce faire, des aménagements ont dû être fait pour ne pas considérer l'une des contraintes de surface terrière à la première rotation (types en jaune)

INTENSITÉS DE RÉCOLTE OPTIMALES																										
FL									RL									NL								
PB			BM			GB			PB			BM			GB			PB		BM		GB				
CR	S	M	CR	S	M	CR	S	M	CR	S	M	CR	S	M	CR	S	M	CR	S	M	CR	S	M	CR	S	M

TYPE	Ginitial	Gfinal	Prel	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
1/122	17	16	5,3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	97%	0%	0%	0%	0%	100%					
1/222	22	16	26,1%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	27%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	48%	100%	0%	0%	0%	100%	100%	100%				
2/122	20	16	18,2%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	32%	59%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%	100%				
2/123	26	16	38,4%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	85%	100%	21%	0%				0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%				
2/132	26	18	28,5%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	100%	52%				0%	0%	0%	100%		34%	0%	0%	100%		100%				
2/211	14	12	18,2%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	100%		100%	100%		100%	0%	0%	0%	100%	100%	100%				
2/212	18	16	9,8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	17%		100%	100%	0%	0%	
2/221	19	16	17,4%	A	0%	56%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%		100%	0%	0%	0%	100%	100%	100%				
2/222	23	16	29,5%		100%	100%	B	0%	0%	100%	100%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	71%	0%	0%	0%	100%		100%				
2/223	28	16	42,8%		0%	100%		0%	0%	90%	4+	0%	53%	0%	C	0%	0%	0%	0%	53%	0%	0%	0%	0%	100%		100%			
2/231	25	19	24,1%		0%	100%	100%	0%	0%	34%	100%	0%	100%	0%		0%	54%		100%	100%	2	100%	0%	D	0%	100%	100%	100%	1	
2/232	29	16	43,4%		0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	27%	100%	100%	2	100%	0%	D	0%	100%	100%	100%	100%	
2/311	21	19	13,7%		0%	0%	0%	0%	0%				0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%		0%	0%	52%	100%	100%	100%		
2/321	26	16	37,3%		0%	100%	100%	0%	0%	100%	100%	100%	6	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%			0%	0%	67%	100%	100%	100%		
2/322	28	16	42,4%		0%	100%	100%	0%	4%	6	100%	100%	6	0%	0%	0%	41%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	100%
3/222	27	17	36,2%		0%	100%	100%	0%	10%	6	100%	100%	100%	0%			0%	0%	69%	0%	0%	0%	0%	0%	100%		100%	100%		
3/223	32	16	50,5%		0%	100%	100%	0%	92%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	31%	0%	0%	0%	0%	0%	100%		100%			
3/232	33	21	36,5%		0%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	4%	0%	0%	0%	100%	100%	100%		
3/322	31	19	40,1%		29%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	0%		0%	5%		100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%	100%	100%	100%	100%	
<b>Moyenne</b>	<b>24</b>	<b>17</b>	<b>29%</b>																											
<b>Moy.Pond</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>27%</b>																											

- ERBJ
- ERBJ
- ERBJ
- ER
- ER
- BJR
- ERBJ
- ERBJ (6,8)-(8)
- ERBJ
- ER
- ERBJ
- ERBJ (2tho)-(2heg)
- SBB
- BJR
- BJR
- ERBJ (belle)
- ERBJ (14)-(6)
- ERBJ (11)-(8)
- ERBJ+ (8SEPM)



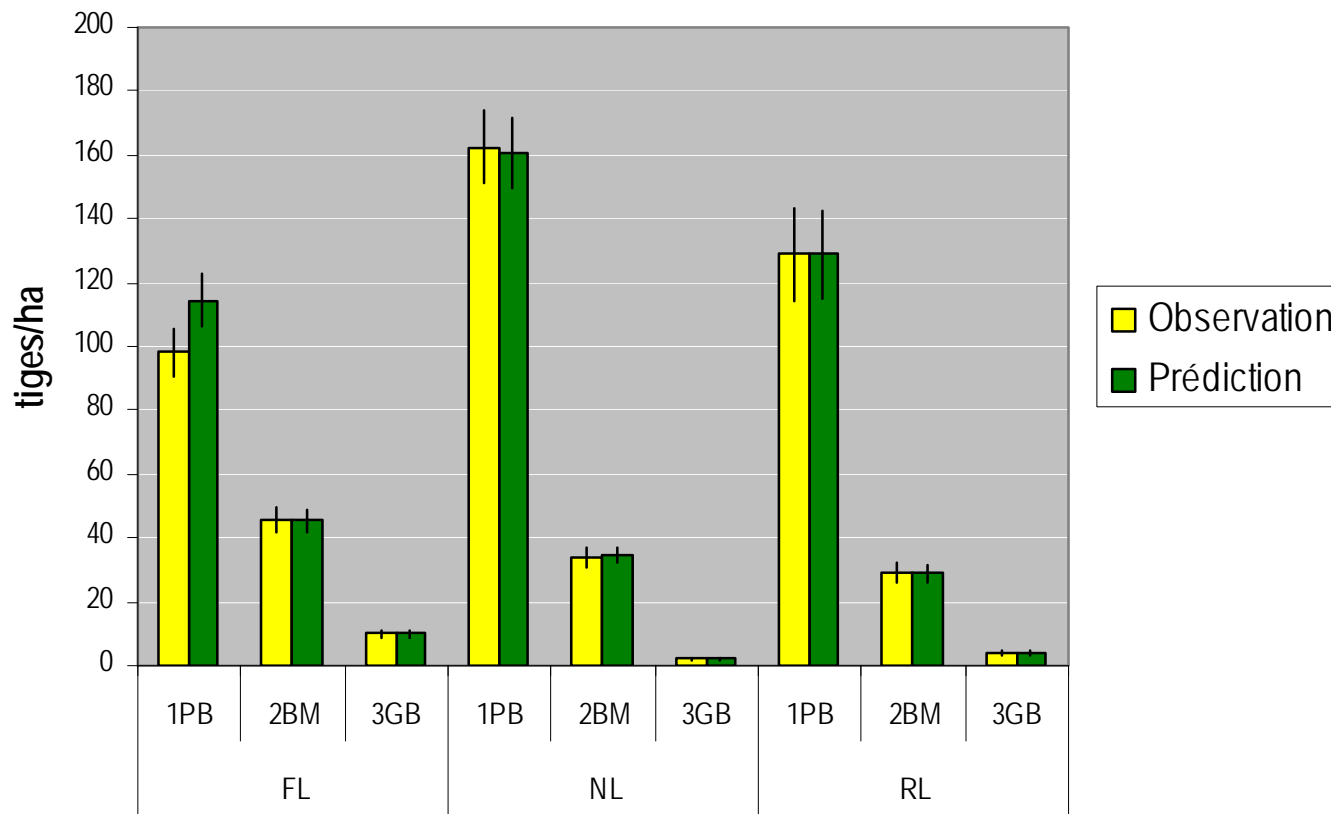
# AU MENU...

1. Jardinage 101
2. Commençons par la fin: une démo!
3. Construction du modèle Biolley
4. Microtypologie
5. Résultats de l'optimisation
  - a) Structure optimale
  - b) Conduite optimale
6. Validation du modèle de croissance
7. Application dans la pratique
8. Développements en cours



# Validation du modèle matriciel (projection sur 5 ans)

Nombre de tiges par classe après 5 ans  
PRÉDICTIONS Vs. OBSERVATIONS



*Accroissement  
en surface  
terrière*

- *Mesuré*  
*0,17*  
*m<sup>2</sup>/ha/an*
- *Prédit*  
*0,20*  
*m<sup>2</sup>/ha/an*

# Comparaison avec SAMARE

Comparaison des prédictions de BIOLLEY et SAMARE sur 25 ans pour 4 type sylvicoles selon 2 règles de martelage

