

Prédiction de la durabilité naturelle du bois massif de *Cryptomeria japonica* par Spectroscopie dans l'infrarouge proche

Jérôme VUILLEMIN

Marie-france THEVENON - Fabrice DAVRIEUX - Alain BASTIDE

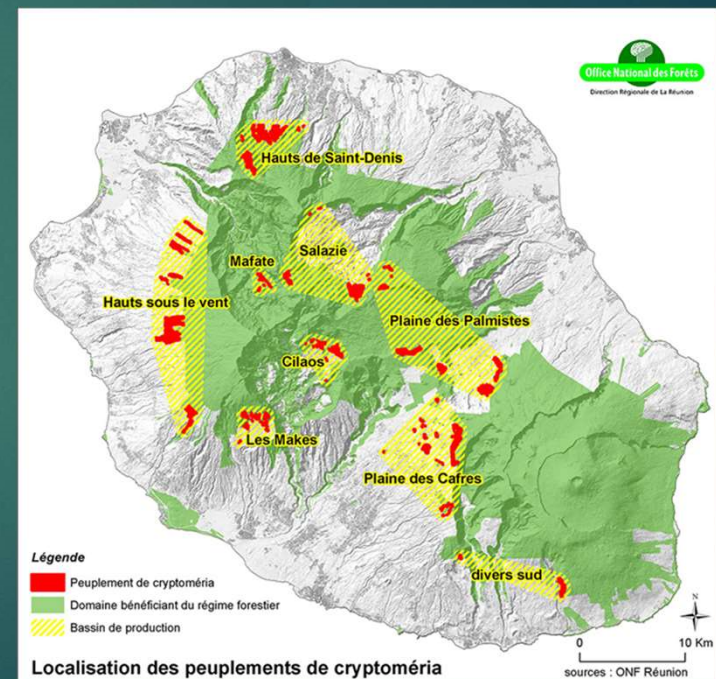


Contexte

Cryptomeria japonica

Conifère endémique du Japon introduit dans les années 1950 comme essence de reboisement en raison de son adaptation aux sols volcaniques, à l'altitude et aux vents cycloniques. Planté à des altitudes comprises entre 900 et 1.800 m, il couvre sur l'ensemble de l'île, une surface totale d'environ 2.500 ha.

Le comportement mécanique du Cryptoméria a été étudié et un protocole de classement mécanique normatif a été établi. Ce bois est la seule essence locale utilisable comme élément de structure dans la construction - 10.000 m³ de grumes par an.



Durabilité naturelle face aux champignons

decay fungus	plank number	mean moisture content (% m/m)	mean density (kg/m ³)	min mass loss (% m/m)	max mass loss (% m/m)	median mass loss (% m/m) per plank	overall median mass loss (% m/m)
CP	56	41	365	0,8	18,1	7,3	4,7
	332	48	400	1,0	27,8	1,4	
	533	48	276	1,0	11,6	1,9	
	557	39	400	0,9	26,3	5,6	
	572	39	363	0,0	27,0	7,2	
PP	56	40	363	1,0	11,8	3,5	8,1
	332	54	403	0,5	18,2	7,6	
	533	45	287	0,5	26,2	0,9	
	557	54	395	5,5	20,3	10,8	
	572	40	362	5,5	23,4	18,0	
GT	56	33	362	0,6	1,0	0,6	0,7
	332	35	410	0,6	1,1	0,8	
	533	37	283	0,7	0,9	0,8	
	557	32	400	0,6	0,8	0,8	
	572	29	375	0,4	0,7	0,5	
LL	56	35	355	0,9	1,1	1,1	1,0
	332	34	422	1,0	1,3	1,1	
	533	36	283	0,9	1,1	0,9	
	557	30	402	1,0	1,1	1,0	
	572	27	364	0,6	1,3	0,8	

Laboratory evaluation of the natural durability and treatability of *Cryptomeria japonica* grown in La Reunion Island , Kutnik *et al*, 2012, IRG/WP 16-30685

5 planches issues de 3 plantations
4 champignons :
Coniophora puteana (CP)
Poria (Rhodonia) placenta (PP)
Gloeophyllum trabeum (GT)
Lentinus lepideus (LL)

Classification du *C. japonica* de La Réunion :
Classe 2 - « DURABLE ».
Grande variabilité dans les résultats

Essais longs, coûteux et destructifs

Utilisation de la spectroscopie proche infra-rouge pour prédire la durabilité naturelle ?

Echantillonnage

Red Cedar
(*Thuja plicata*)

10 Planches de
DURAMEN

Cryptomeria japonica

Planches [DI – DE – A]
provenant de 4 arbres :

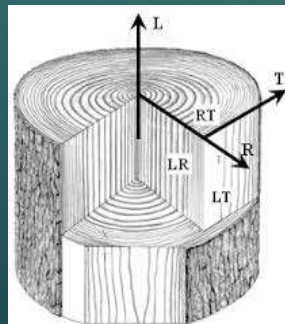
3 arbres de la forêt de BELOUVE
et 1 arbre de la Forêt de BEBOUR

+ Planches de Duramen
Exposées pendant 8 ans

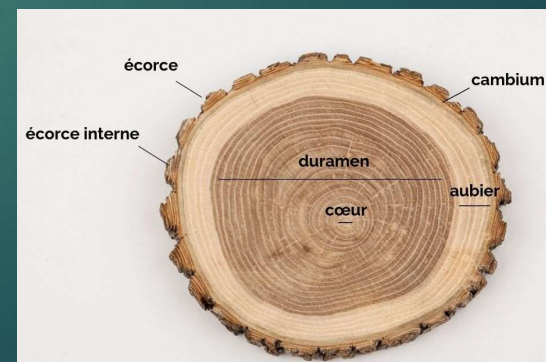
Pin Sylvestre
(*Pinus sylvestris*)

10 Planches de DURAMEN

Epreuves d'Aubier
[témoins des essais
biologiques]



50 x 25 x 15 mm



Essence	Origine	Arbre	Zone	Poria Placenta		Coniophora puteana		TERMITES C. Gestroi	
				Non Délavé	Délavé	Non Délavé	Délavé	Non Délavé	Délavé
Cryptomeria japonica	Bélouve	C1	Duramen Ext	7	7	8	8	6	6
			Duramen Int	7	7	8	8	6	6
			Aubier	7	7	8	8	6	6
		C2	Duramen Ext	7	7	8	8	6	6
			Duramen Int	7	7	8	8	6	6
			Aubier	7	7	8	8	6	6
		C3	Duramen Ext	8	8	7	7	6	6
			Duramen Int	8	8	7	7	6	6
			Aubier	8	8	7	7	6	6
	Bébour	C4	Duramen Ext	8	8	7	7	6	6
			Duramen Int	8	8	7	7	6	6
			Aubier	8	8	7	7	6	6
Red Cedar			Duramen	30	30	30	30	30	30
Pin Sylvestre			Duramen	30	30	30	30	30	30
Crypto japonica exposé			Duramen	30	0	30	0	30	0
Témoins Pin sylvestre			Aubier	16	10	16	10	12	12
				196	160	196	160	174	144
				712				318	
				1030					



Eprouvettes de C. japonica – Arbre C3

Délavage selon protocole NF EN 84 (1997)

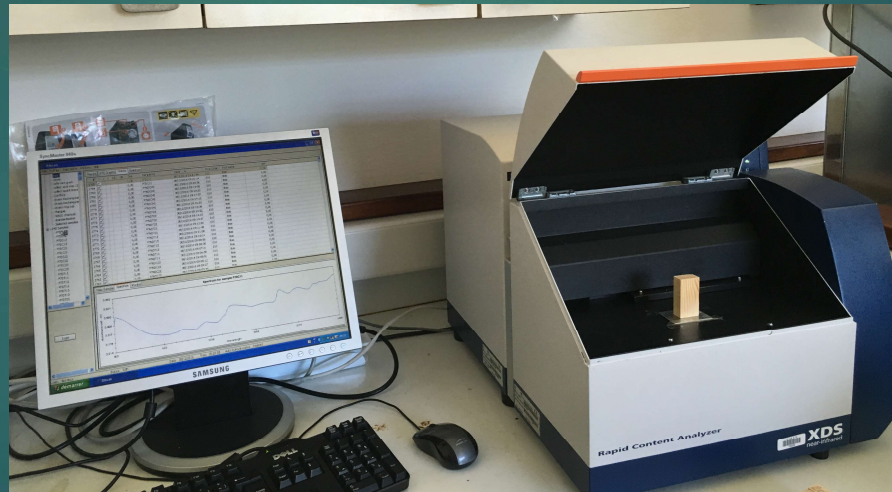
« Produits de préservation du bois - Épreuves de vieillissement accéléré des bois traités avant essais biologiques - Épreuve de délavage »

Mesure de la densité (masse et volume de chaque éprouvette)

Mesure de l'humidité

Acquisition Données NIRS

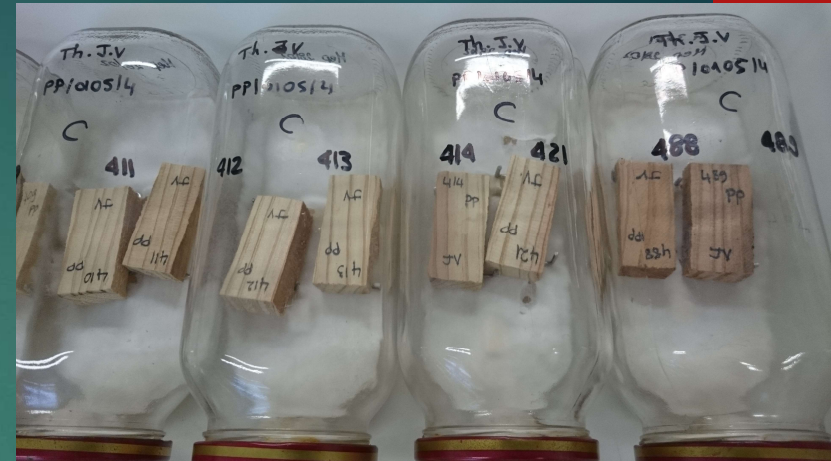
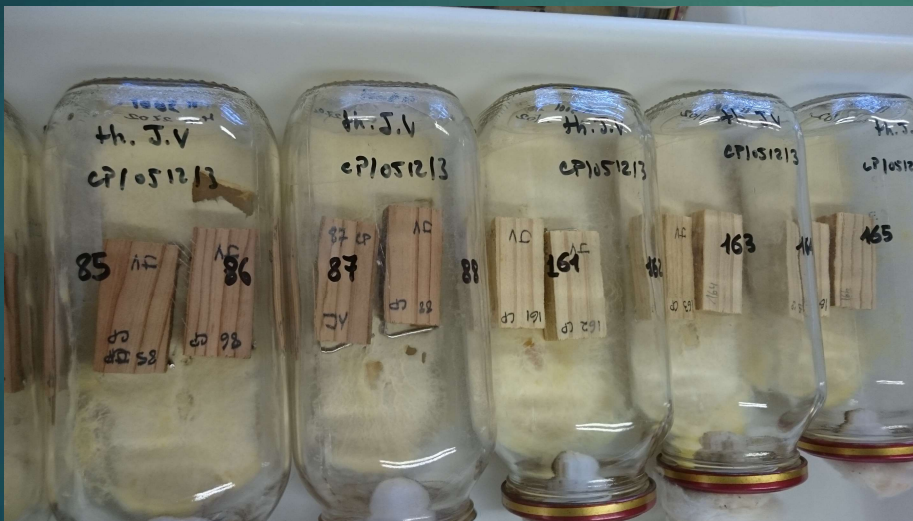
- Visible et infra-rouge ($\lambda = 400\text{nm}$ à 2498nm / pas de 2 nm)
- Plan RT (radial/transversal) – 2 faces
- Etude de la répétabilité : sur 85 échantillons - 3 mesures par face



Essais biologiques

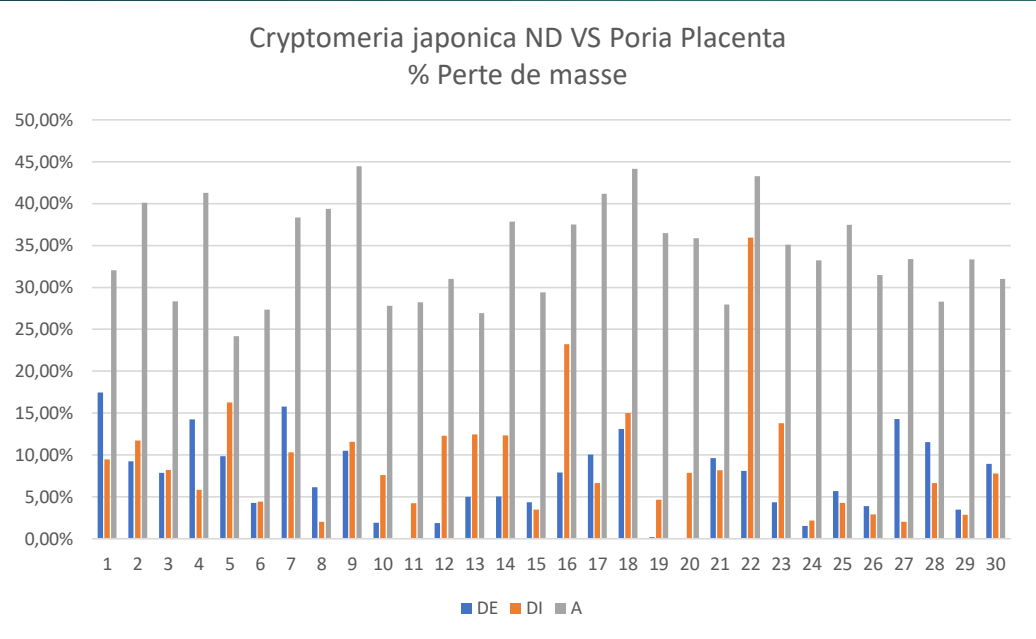
DURABILITE NATURELLE FACE AUX CHAMPIGNONS BASIDIOMYCETE

Poria Placenta et *Coniophora puteana*
[CEN/TS 15083-1 2005]



- 16 semaines de mise en présence
- Mesure du % de perte de masse

Résultats essais biologiques



	DE	DI	D	A
Médiane	7,00%	7,82%	7,82%	33,36%
Moyenne	7,20%	9,20%	8,20%	34,22%
Ecart Type	4,84%	7,07%	6,09%	5,73%
Min	0,00%	2,00%	0,00%	24,19%
Max	17,47%	35,94%	35,94%	44,47%

Durability class	Description	Percentage mass loss (ML)
DC 1	Very durable	$ML \leq 5$
DC 2	Durable	$5 < ML \leq 10$
DC 3	Moderately durable	$10 < ML \leq 15$
DC 4	Slightly durable	$15 < ML \leq 30$
DC 5	Not durable	$30 < ML$

ML = highest of the median mass losses (in %) determined for test specimens exposed to each of the used test fungi

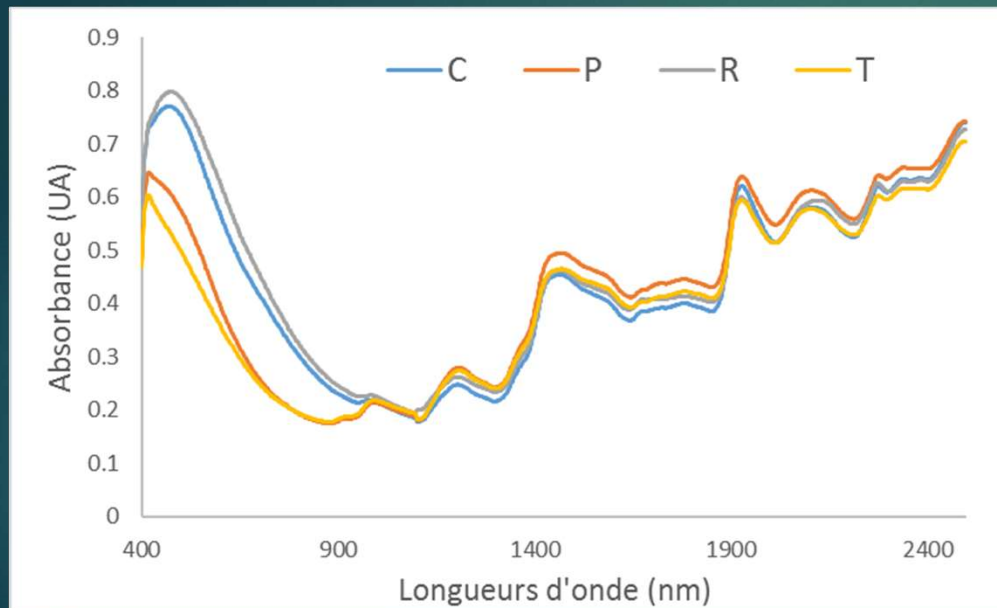
Classe de risque	Classe de durabilité				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	(0)	(0)
3	0	0	(0)	(0) — (x)	(0) — (x)
4	0	(0)	(x)	x	x
5	0	(x)	(x)	x	x

Légende :

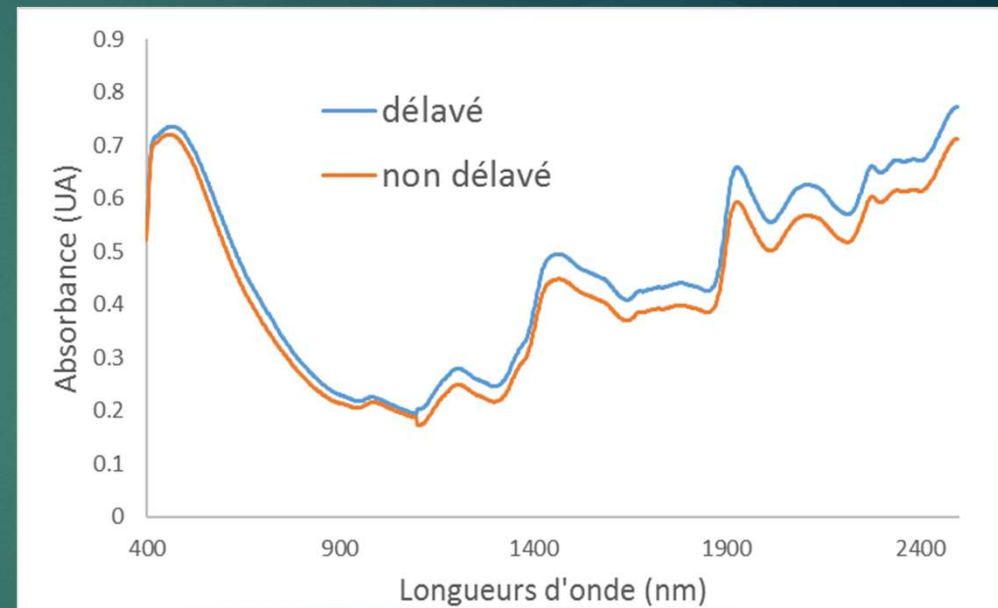
- 0 durabilité naturelle suffisante,
- (0) durabilité naturelle normalement suffisante, mais pour certains emplois un traitement de préservation peut être recommandé (voir annexe A),
- (0) — (x) la durabilité naturelle peut être suffisante, mais en fonction de l'essence de bois, de sa perméabilité (voir 6.1) et de son emploi final (voir annexe A), un traitement de préservation peut s'avérer nécessaire,
- (x) le traitement de préservation est normalement recommandé, mais pour certains emplois la durabilité naturelle peut être suffisante (voir annexe A),
- x traitement de préservation nécessaire.

Classe de durabilité	DC1	DC2	DC3	DC4	DC5
% échantillons par classe	36,67%	31,67%	21,67%	8,33%	1,67%

Analyse des résultats



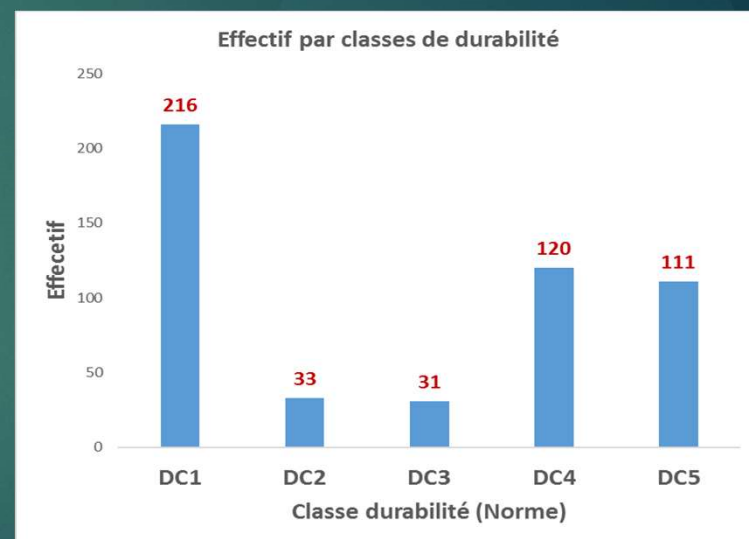
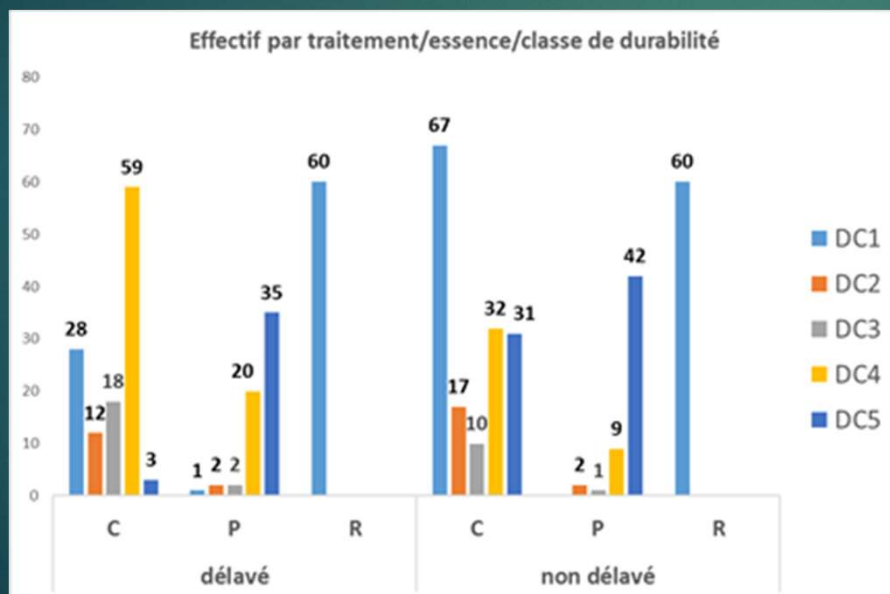
Spectres moyens par essence



Spectres moyens par Traitement

Prédiction de la durabilité naturelle face aux champignons basidiomycètes

Essence	Délavé	Non délavé	DC1	DC2	DC3	DC4	DC5	Total
C	120	157	95	29	28	91	34	277
P	60	54	1	4	3	29	77	114
R	60	60	120					120
Total	240	271	216	33	31	120	111	511



Classification

Analyse discriminante PCA/LDA : spectre brut (NIR uniquement)

Classe de durabilité	Description	Pourcentage de la perte de masse
DC 1	Très durable	≤ 5
DC 2	Durable	$> 5 \text{ à } \leq 10$
DC 3	Moyennement durable	$> 10 \text{ à } \leq 15$
DC 4	Faiblement durable	$> 15 \text{ à } \leq 30$
DC 5	Non durable	> 30

5 classes

3 classes

- DC1 + DC2 = D (durable)
- DC3 = MD (moyennement durable)
- DC4 + DC5 = ND (non durable)

2 classes

- DC1 + DC2 = D (durable)
- DC3 + DC4 + DC5 = ND (non durable)

LDA(linear)	Actuel				
Predicted	DC1	DC2	DC4	DC3	DC5
DC1	127	1	0	0	1
DC2	20	11	28	6	3
DC4	15	5	14	5	7
DC3	51	14	45	18	3
DC5	3	2	33	2	97
	216	33	120	31	111
	59%	33%	12%	58%	87%

Moy = 52%

LDA(linear)	D	N-D	Moy	
D	137	9	1	
N-D	27	154	6	
Moy	85	68	24	
	249	231	31	511
	55%	67%	19%	62%

LDA (mahalanobis)	durable	non durable	
durable	175	36	
non durable	74	226	
	249	262	511
	70%	86%	78%

Régression MPLS

Régression MPLS sur dérivée seconde des spectres NIR corrigés SNV.
Selection (Kennard-Stone) : training (n = 354) & validation (n = 153)

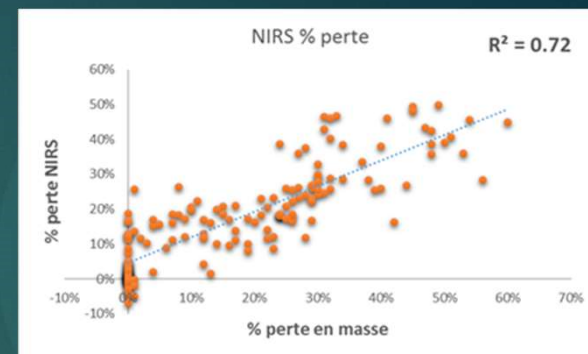
Performances équation de régression (learning)

Constituent	N	Mean	SD	SEC	RSQ	SECV	1-VR	#	maths	terms	correction	outliers	%out
learning	354	0.1512	0.1706	0.0824	0.7666	0.0856	0.7474	686	2,5,5	6	SNV	4	1%

Paramètres statistiques set de validation

	N	mean	SD	Bias	SEP	SEPC	slope	R ²
Validation	153	0.176	0.141	0.013	9%	0.092	0.891	0.722

Valeurs prédites vs valeurs labo (validation)



Matrice de confusion 5 classes sur la base des valeurs prédites (validation)

	DC1	DC2	DC3	DC4	DC5		
DC1	37	3	7	6	0	53	70%
DC2	0	1	2	8	0	11	9%
DC3	2	0	3	4	0	9	33%
DC4	0	3	7	34	4	48	71%
DC5	0	0	0	11	21	32	66%
						153	63%

Matrice de confusion 2 classes sur la base des valeurs prédites (validation)

	durable	non durable		
durable	41	23	64	64%
non durable	5	84	89	94%
			153	82%

Conclusions :

- ▶ Prédiction de la durabilité naturelle face aux champignons basidiomycètes peut être améliorée :
 - Modèles par essence de bois
 - Utilisation de méthodes d'IA (Denis Cornet – CIRAD)
- ▶ En complément des aspects champignons, d'autres variables ont été étudiées : teneur en eau / durabilité face aux termites / provenance (DE – DI – A) → Analyses en cours