



Institut pour le Développement Forestier

Assistance technique pour la mise en œuvre du programme de recherche « SVE »
(Structures Végétales Ecologiques – EO 2845)

Etude de l'influence de la taille d'une dalle de paillage biodégradable sur la croissance des plants forestiers

Essai 77.03.02 sur merisier et chêne sessile
Claye-Souilly (Seine-et-Marne, 77)

Rapport final de convention (2006)



Travaux conduits avec le soutien financier du
Réseau Ferré de France (RFF)
Conventions de marché n° 05238.2.1.0172.0000

et en collaboration avec la
Société Nationale des Chemins de Fer Français (SNCF)
Département Etudes de Lignes (IG LG) – Division Environnement (IG – LGE)

Contractant : Institut pour le Développement Forestier (IDF)
Responsable du projet : Philippe Van Lerberghe
IDF – 7, chemin de la Lacade 31320 Auzeville-Tolosane (France)
Tél. : +33/(0)5 61 75 45 00 – Fax. : +33/(0)5 61 75 45 09
Email : philippe.vanlerberghe@cnpf.fr

Résumé

L'essai 77/03/02 a pour objectif de comparer les effets de 8 modalités de paillage, dont un témoin, un désherbage chimique et deux produits, les plaques ISOROY et les plaques HPK, chacun sous 3 formes/tailles différentes, sur la croissance de deux essences, le chêne sessile et le merisier.

Les arbres ont été plantés en décembre 2003, mesurés en avril 2004, en novembre 2004 et 2005 et en octobre 2006.

Le présent rapport analyse les croissances en hauteur, diamètre et élancement de novembre 2005 à novembre 2006 ainsi que les mesures atteintes en novembre 2006. S'agissant du rapport de fin d'expérience, on s'intéressera aussi aux croissances depuis la plantation (fin 2003) jusque fin 2006.

Des 512 arbres (256 chênes, 256 merisiers) plantés en décembre 2003, il en reste 391 en novembre 2006, dont 144 chênes et 247 merisiers : **43,5% des chênes ont été perdus par mort ou élimination (tige cassée, par exemple), contre seulement 3,5% des merisiers.**

Quinze chênes ne montrant aucune croissance en 2006, ils sont éliminés des analyses ; celles-ci portent donc sur 129 chênes et 247 merisiers.

Les résultats marquants sont les suivants :

➤ chez le chêne :

- le taux de mortalité varie entre modalités de paillage ; il est d'environ 50% pour les témoins et le paillis HPK2, mais seulement de 20% à 24% pour les paillis ISOROY et le paillis HPK4 ;
- les croissances et les valeurs atteintes en hauteur, diamètre ou élancement ne semblent pas être influencées par les modalités de paillage, sauf peut-être pour une infériorité de croissance en hauteur chez les chênes Témoins et une supériorité de croissance en hauteur en 2006 avec les grands paillis (ISOROY 4 et HPK 4) par rapport aux petits (ISOROY 2 et HPK 2) ;
- notons que la croissance en hauteur du chêne est passée de 5 à 6 cm par an en 2004 et 2005 à 21 cm en 2006, alors que sa croissance en diamètre, de 0,6 mm en 2004, est restée proche de 1 mm/an en 2005 et 2006.

➤ chez le merisier :

- des différences marquantes apparaissent en fonction de la modalité de paillage ; les témoins non paillés croissent moins bien que les traités ; les désherbés croissent mieux que les paillés, mais cette différence tend à s'estomper en 2006 ;
- pour les deux produits (ISOROY et HPK), la croissance augmente avec la taille du paillis ;
- la croissance en hauteur de cette essence s'est ralentie en 2006 (49 cm par rapport à 58 cm en 2005) et ne montre plus de dépendance à la modalité de paillage ;
- la croissance en diamètre a par contre doublé en 2006 (10,5 mm par rapport à 5,1 mm en 2005 et 2,3 mm en 2004) et varie fortement entre modalités de paillage – mais de manière cohérente avec les conclusions ci-dessus.

Si un produit de paillage doit être désigné comme étant associé aux meilleures performances de croissance de ces essences au cours de cette expérience, c'est sans aucun doute le produit ISOROY 4, dalle carrée (120 x 120 cm) de 1,44 m².

Sommaire

1	INTRODUCTION	1
1.1	RAPPEL DES OBJECTIFS ET DU PLAN EXPERIMENTAL	1
1.2	STRATEGIE D'ANALYSE ET MODELISATION	1
2	RESULTATS	2
2.1	EXAMEN ET ANALYSES PRELIMINAIRES	2
2.1.1	Valeurs manquantes	2
2.1.2	Arbres à croissance nulle en 2006	3
2.1.3	Recherche de valeurs aberrantes	5
2.1.4	Statistiques descriptives	6
2.1.5	Taux de perte et mortalité : variations spatiales et selon la modalité de paillage	7
2.1.6	Taux de mortalité par essence et selon la modalité de paillage	8
2.1.7	Variations spatiales des croissances	9
2.2	EFFETS DES MODALITES DE PAILLAGE	10
2.2.1	Caractéristiques moyennes par modalité et par essence	10
2.2.2	Comparaisons entre modalités de paillage	11
2.2.2.1	Croissance en hauteur	12
2.2.2.2	Croissances en diamètre	13
2.2.2.3	Croissances en élancement	15
2.3	EFFETS DES MODALITES DE PAILLAGE SUR LES VALEURS ATTEINTES EN NOVEMBRE 2006	16
2.3.1	Caractéristiques moyennes par modalité et par essence	16
2.3.2	Comparaisons entre modalités de paillage	18
2.3.2.1	Hauteur atteinte fin 2006	18
2.3.2.2	Diamètre atteint fin 2006	19
2.3.2.3	Élancement atteint fin 2006	20
3	CONCLUSION	22
4	ANNEXES	23
4.1	STATISTIQUES D'ACCROISSEMENT EN 2006 PAR ESSENCE ET PAR MODALITE	23
4.1.1	Croissance en hauteur (en cm)	23
4.1.2	Croissance en diamètre (en mm)	23
4.1.3	Croissance en élancement (en cm/cm)	24
4.2	STATISTIQUES DES VALEURS ATTEINTES EN NOVEMBRE 2006 PAR ESSENCE ET PAR MODALITE ...	24
4.2.1	Hauteurs (en cm)	24
4.2.2	Diamètres (en mm)	25
4.2.3	Élancements (en cm/cm)	25

1 INTRODUCTION

1.1 RAPPEL DES OBJECTIFS ET DU PLAN EXPERIMENTAL

L'essai 77/03/02 a pour objectif de comparer les effets de huit modalités de paillage (dont un témoin) sur la croissance en hauteur, en diamètre et en élancement de deux essences ligneuses, le chêne sessile et le merisier.

La planification de cet essai a été réalisée en novembre 2003 et a fait l'objet d'un rapport préliminaire (« SNCF_Paillage_Rapport770302_Planification »). En bref, 512 arbres ont été plantés sur une grille de quatre fois quatre parcelles réparties sur quatre bandes inter-andains découpant le terrain expérimental, à raison de quatre parcelles (rangées en colonnes) par bande. Chaque parcelle comporte deux rangées voisines de 8 chênes et deux rangées voisines de 8 merisiers ; les huit modalités de paillage sont réparties au hasard parmi les arbres de chaque rangée.

L'analyse préliminaire des hauteurs et diamètres des arbres mesurés en avril 2004, cinq mois après implantation de l'essai, ainsi que des élancements déduits de ces variables (l'élancement d'un arbre étant sa hauteur divisée par son diamètre, en cm/cm) a fait l'objet d'un rapport de plantation (« SNCF_Paillage_Rapport770302_Plantation »). L'analyse des croissances en 2004 et des valeurs atteintes fin 2004 (hauteurs, diamètres, élancements) a fait l'objet d'un rapport d'avancement des travaux 2004 (« SNCF_Paillage_Rapport770302_1an »). Enfin, l'analyse des croissances en 2005 et des valeurs atteintes fin 2005 (hauteurs, diamètres, élancements) a fait l'objet d'un rapport d'avancement des travaux 2005 (« SNCF_Paillage_Rapport 770302_2ans »).

Le présent rapport s'intéresse à l'influence des modalités de paillage sur la croissance des arbres en 2006, en hauteur, diamètre et élancement. On examinera aussi leur influence sur la hauteur, le diamètre et l'élancement atteints fin 2006. On fera référence aux rapports cités ci-dessus pour la comparaison avec les résultats des années précédentes.

1.2 STRATEGIE D'ANALYSE ET MODELISATION

Le plan expérimental élaboré pour cet essai appelait un **modèle d'analyse en « Rectangles Latins »** détaillé dans le rapport préliminaire.

Les résultats des mesures réalisées sur ces arbres en novembre 2004 (voir rapport de 2004) montraient une forte hétérogénéité des réponses entre essences, pour les moyennes comme pour les variances. Depuis lors, les deux essences font l'objet d'analyses séparées, selon un modèle tenant compte des facteurs suivants : parcelle, modalité de paillage et rangée d'arbres dans la parcelle (voir rapports 2004 et 2005). Le même modèle d'analyse sera utilisé dans le présent rapport pour les croissances et valeurs atteintes en 2006.

Les facteurs « Parcelle » (de type aléatoire) et « Modalité de paillage » (de type fixe) sont croisés, tandis que la rangée est hiérarchisée à la parcelle (Figure 1). Ceci correspond au **modèle classique d'analyse de la variance à trois critères de type IV avec hiérarchie partielle**. On suppose que les parcelles sont choisies aléatoirement et que les écarts entre parcelles suivent une distribution Gaussienne.

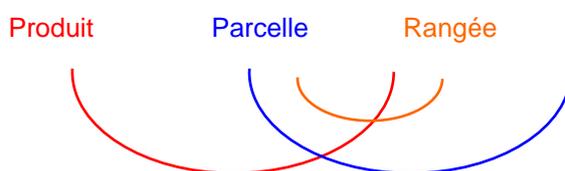


Figure 1 : Structure du modèle en parcelles aléatoires
(modèle d'analyse de la variance à trois critères de classification dit de type IV)

La liste des termes du modèle complet ainsi que les degrés de liberté associés à chaque terme est reprise ci-dessous (Tableau 1).

Dans ce modèle, classiquement l'absence d'effet des modalités de paillage s'éprouvera en comparant le carré moyen correspondant au carré moyen d'interaction Modalité × Parcelle ; c'est la variation entre parcelles qui sert de référence pour éprouver les effets dus aux modalités de paillage (via l'interaction de ces deux facteurs).

Terme du modèle	Type	Degrés de liberté	Remarques
Parcelle	Aléatoire	16 parcelles – 1 = 15	
Modalité de paillage	Fixe	8 modalités – 1 = 7	
Modalité × Parcelle	Aléatoire	7 × 15 = 105	
Rangée (Parcelle)	Aléatoire	(2 r. – 1) × 16 = 16	
Modalité × Rangée (Parcelle)	Aléatoire	7 × 16 = 112	= variance résiduelle

Tableau 1: Liste des termes pour le modèle d'analyse par essence (256 arbres par essence)

2 Résultats

Les résultats concernent principalement les croissances en hauteur, en diamètre et en élancement en 2006. Le rapport est structuré comme suit :

1. Examen et analyses préliminaires des données de croissance en 2006.
2. Évaluation des effets des modalités de paillage sur la croissance en hauteur, en diamètre et en élancement.
3. Comparaison des hauteurs, diamètres et élancements atteints en novembre 2006 en fonction des modalités de paillage.

Ces résultats seront ensuite discutés.

2.1 EXAMEN ET ANALYSES PRELIMINAIRES

Pour rappel, la liste des « Modalités de paillage » est la suivante. On donne entre parenthèses les libellés utilisés dans les graphiques.

1. Témoin non paillé et non désherbé	(Témoin)	
2. Plaque Isoplant (ISOROY) carrée de 60 x 60 cm	(ISOROY 2)	(0,36 m ²)
3. Plaque Isoplant (ISOROY) carrée de 80 x 80 cm	(ISOROY 3)	(0,64 m ²)
4. Plaque Isoplant (ISOROY) carrée de 120 x 120 cm	(ISOROY 4)	(1,44 m ²)
5. Désherbage chimique	(Désherbé)	(1,00 m ²)
6. Plaque de liège HPK carrée de 50 x 50 cm	(HPK 2)	(0,25 m ²)
7. Plaque de liège HPK ronde de 70 cm de diamètre	(HPK 3)	(0,38 m ²)
8. Plaque de liège HPK carrée de 100 x 100 cm	(HPK 4)	(1,00 m ²)

Ces résultats seront ensuite discutés.

2.1.1 Valeurs manquantes

Dans une expérience portant sur la croissance au cours du temps, il est inévitable que des arbres meurent ou soient éliminés de l'expérience pour diverses raisons.

Modalité	Avril 2004	Novembre 2004	Novembre 2005	Novembre 2006	Manquants	Non manquants	Total
Témoin	0	5	7	10	22	42	64
ISOROY2	0	2	6	4	12	52	64
ISOROY3	0	4	2	2	8	56	64
ISOROY4	0	4	2	7	13	51	64
Désherbé	0	2	5	8	15	49	64
HPK2	1	7	5	10	23	41	64
HPK3	1	5	7	4	17	47	64
HPK4	1	5	1	4	11	53	64
Effectif total	3	34	35	49	121	391	512

Tableau 2a : Nombre d'arbres disparaissant par modalité de paillage et par an

Des 512 arbres plantés en début d'essai, 3 (0,6%) étaient éliminés dès avril 2004, 34 de plus avaient disparu fin 2004, 35 fin 2005 et, 49 de plus, fin 2006, portant à 121 le nombre total d'arbres disparus en novembre 2006 (Tableau 2a) ; ceci laisse de 41 (HPK2) à 56 (ISOROY 3) arbres non manquants par modalité de paillage en novembre 2006.

Ces effectifs sont cependant très différents pour les chênes (Tableau 2b) et pour les merisiers (Tableau 2c) : 44 chênes ont disparu en 2006, contre 5 merisiers, portant les totaux manquants en novembre 2006 à 112 chênes contre 9 merisiers. Le nombre d'arbres manquants par modalité en novembre 2006 va de 8 à 20 sur 32 pour le chêne (Tableau 2b) et ne dépasse jamais 3 pour le merisier (Tableau 2c). Leur répartition par essence, modalité de paillage et par parcelle sera examinée plus loin. Pour le chêne, certaines modalités pourraient en effet ne plus être représentées dans certaines parcelles, ce qui risque de biaiser les résultats (section 2.1.5).

Modalité	Avril 2004	Novembre 2004	Novembre 2005	Novembre 2006	Manquants	Non manquants	Total
Témoin	0	5	6	9	20	12	32
ISOROY2	0	1	6	3	10	22	32
ISOROY3	0	4	2	2	8	24	32
ISOROY4	0	4	2	7	13	19	32
Désherbé	0	2	5	8	15	17	32
HPK2	0	7	5	8	20	12	32
HPK3	1	5	7	4	17	15	32
HPK4	1	4	1	3	9	23	32
Effectif total	2	32	34	44	112	144	256

Tableau 2b : Nombre de chênes disparaissant par modalité de paillage et par an

Modalité	Avril 2004	Novembre 2004	Novembre 2005	Novembre 2006	Manquants	Non manquants	Total
Témoin	0	0	1	1	2	30	32
ISOROY2	0	1	0	1	2	30	32
ISOROY3	0	0	0	0	0	32	32
ISOROY4	0	0	0	0	0	32	32
Désherbé	0	0	0	0	0	32	32
HPK2	1	0	0	2	3	29	32
HPK3	0	0	0	0	0	32	32
HPK4	0	1	0	1	2	30	32
Effectif total	1	2	1	5	9	247	256

Tableau 2c : Nombre de merisiers disparaissant par modalité de paillage et par an

En conclusion, il reste 391 arbres non manquants en novembre 2006, dont 144 chênes et 247 merisiers : en 3 ans, 43,5% des chênes ont été perdus, contre 3,5% des merisiers.

2.1.2 Arbres à croissance nulle en 2006

Lors des années précédentes, on a éliminé des analyses les arbres ne montrant de croissance ni en hauteur ni en diamètre : 46 chênes en 2004 et 19 en 2005, dont 6 ne croissaient déjà pas en 2004 ; parmi les merisiers, un seul a été éliminé pour non croissance et ce, seulement en 2005. Voir à ce sujet le rapport 2005.

Au cours de l'année 2006 comme précédemment, aucun arbre n'a vu sa hauteur ou son diamètre diminuer ; ce contrôle fait d'ailleurs partie des filtres implémentés par l'IDF à l'encodage des données :

- le nombre de chênes ne montrant aucune croissance (Tableau 3a) est inférieur en 2006 (15) à ce qu'il était en 2005 (19) et en 2004 (46). En 2006, les chênes qui croissent en hauteur (124 parmi les 144 présents) tendent aussi à croître en diamètre (72 parmi les 144 présents) ; cette relation positive avait aussi été observée en 2004 mais pas en 2005 ;

La distribution des croissances en hauteur des chênes montre encore une dominance de la catégorie « croissance 0 » en 2006 (Figure 2a), moindre cependant qu'en 2005. Cette dominance disparaît lorsqu'on élimine les arbres qui n'ont montré aucune croissance en 2006 (Figure 3).

Chez le merisier, la distribution des croissances en hauteur en 2006 ne montre pas de dominance de la classe « croissance 0 » (Figure 2b). Cette distribution est cependant moins symétrique qu'en 2005.

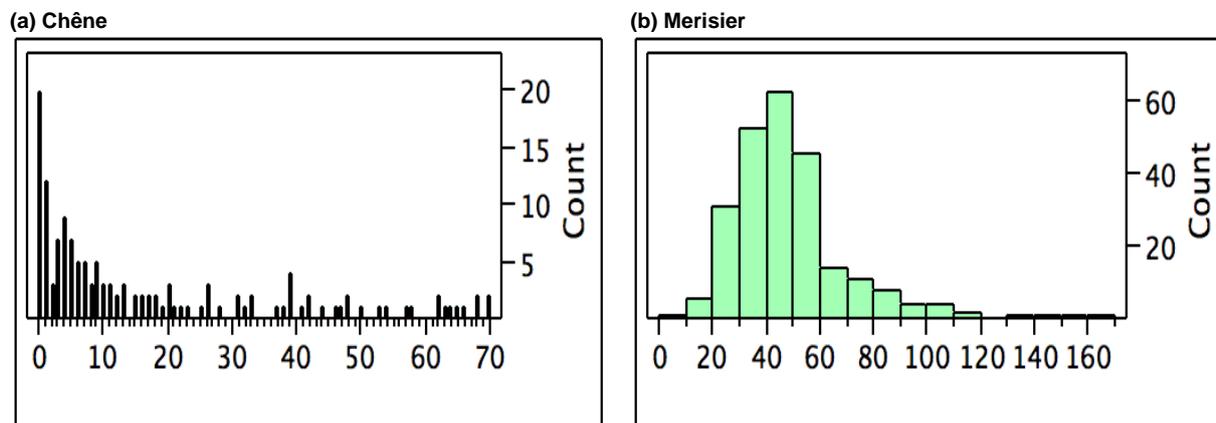


Figure 2 : Distribution des accroissements (cm) en hauteur observés en 2006 pour 144 chênes (a) et pour 247 merisiers (b). Classes de 1 cm pour le chêne, de 10 cm pour le merisier

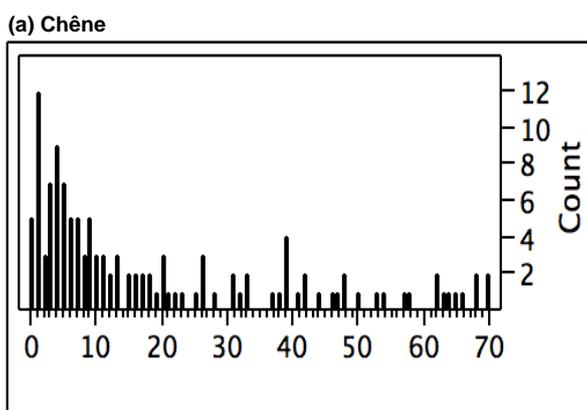


Figure 3 : Distribution des accroissements (cm) en hauteur observés en 2006 pour 129 Chênes ayant montré lors de cette année une croissance positive pour au moins l'une des variables (hauteur, diamètre). Classes de 1 cm

Au vu des résultats ci-dessus, on décide d'éliminer des analyses les 15 chênes qui n'ont montré aucune croissance en 2006, indépendamment de leur croissance précédemment. Ce problème ne se pose pas pour le merisier.

Au terme de cette sélection, on conserve 376 arbres pour l'analyse des croissances en 2006 et des hauteurs, diamètres et élancements atteints en novembre 2006 : 129 chênes et 247 merisiers. Ces nombres ne sont pas définitifs, puisqu'il faut encore vérifier s'il n'y a pas d'arbres présentant des mesures aberrantes.

2.1.3 Recherche de valeurs aberrantes

Certaines données se démarquent-elles au point de paraître aberrantes ?

La distribution des croissances dans les différentes parcelles (Figures 4 à 6 pour les trois réponses) ne montre pas d'arbre suspect. On constate une distribution plus asymétrique des croissances en hauteur et en diamètre qu'en novembre 2005 et ceci, pour les deux essences.

Par ailleurs, le seul arbre exclu comme aberrant en novembre 2005 (le chêne n°488, parcelle 41, traitement HPK3) est manquant en novembre 2006 (éliminé lors de la collecte des données).

Au terme de ce paragraphe, on garde donc 376 arbres actifs en novembre 2006, dont 129 chênes et 247 merisiers.

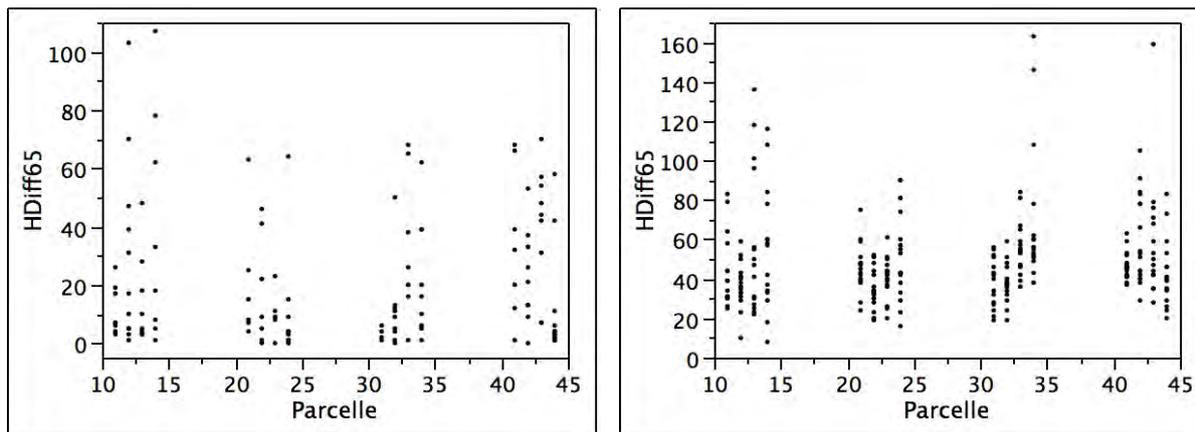


Figure 4 : Distribution des croissances en hauteur en 2006 (Hdiff65, en cm) observées, par essence et parcelle ; à gauche le chêne, à droite le merisier ; numérotation des parcelles : le chiffre des dizaines représente le n° de bande, celui des unités, le n° de colonne

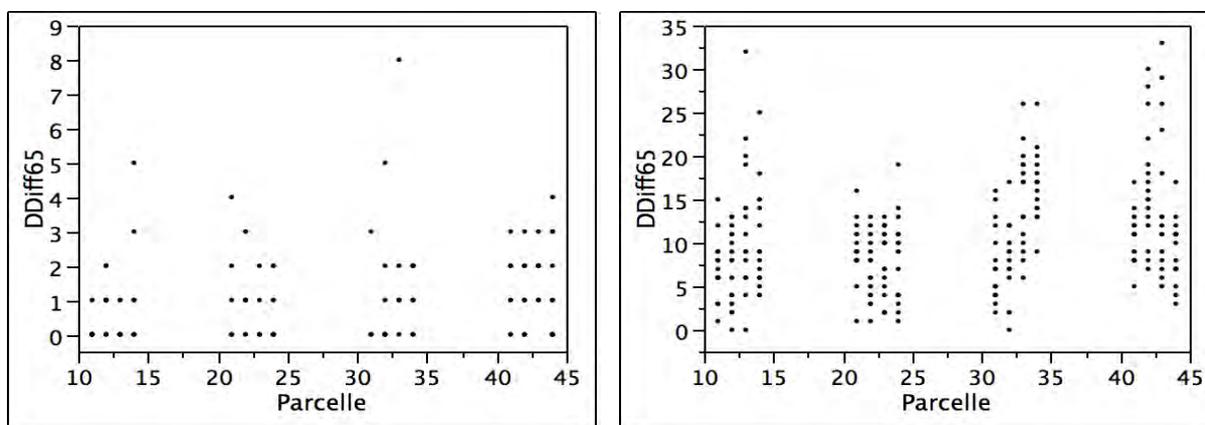


Figure 5 : Distribution des croissances en diamètre en 2006 (Ddiff65, en mm) observées, par essence et parcelle ; à gauche le chêne, à droite le merisier ; numérotation des parcelles : le chiffre des dizaines représente le n° de bande, celui des unités, le n° de colonne

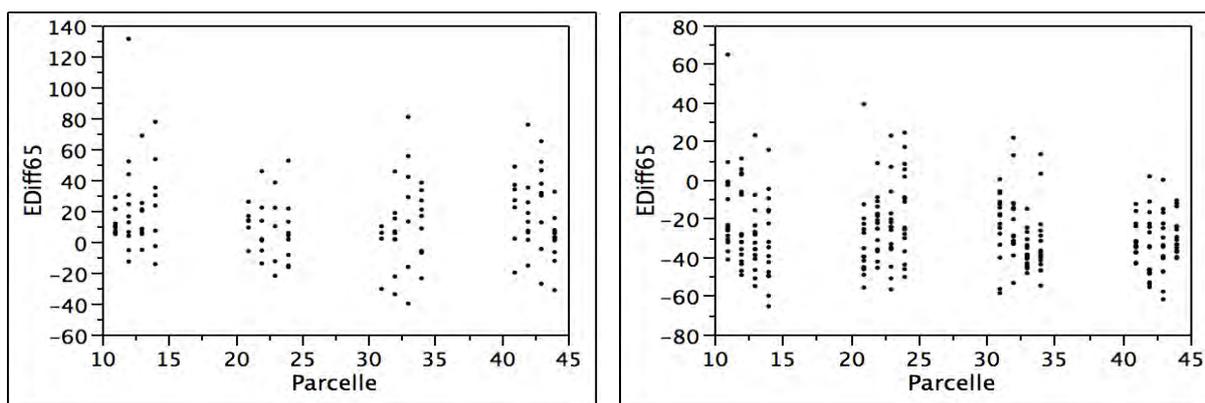


Figure 6 : Distribution des croissances en élargissement en 2006 (Ediff65, en cm/cm) observées, par essence et parcelle ; à gauche le chêne, à droite le merisier ; numérotation des parcelles : le chiffre des dizaines représente le n° de bande, celui des unités, le n° de colonne

2.1.4 Statistiques descriptives

Les trois croissances, en hauteur, diamètre et élargissement, seront analysées indépendamment, en se limitant aux 129 chênes et 247 merisiers qui ont montré une croissance positive en 2006.

On constate comme précédemment de fortes différences de croissance entre chênes et merisiers, ce que confirment les données globales par essence (Tableau 4).

Cependant, si la différence entre les essences reste très importante pour la croissance en diamètre (du simple au décuple), elle s'est encore atténuée pour la croissance en hauteur (du simple au double, alors qu'elle était presque du simple au décuple en 2005).

Croissance en	Essence	Moyenne	St-Dev	C.V. (%)	Min	Max	Q(5%)	Q(95%)
Hauteur (cm)	Chêne	21,279	23,314	109,6	0	107	1	68
	Merisier	48,591	23,153	47,6	8	163	22,4	90,6
Diamètre (mm)	Chêne	1,016	1,281	126,1	0	8	0	3
	Merisier	10,466	6,103	58,3	0	33	2	22
Élancement (cm/cm)	Chêne	14,432	25,501	176,7	-40,0	131,2	-23,1	60,2
	Merisier	-27,329	19,111	-69,9	-65,4	64,8	-53,7	8,9

Tableau 4 : Moyenne, écart-type, coefficient de variation, minimum, maximum, quantiles 0,05 et 0,95 observés pour les croissances en 2006 de 129 chênes et de 247 merisiers

Les statistiques des accroissements par essence et par modalité sont détaillées en Annexe 4.1.

Les chênes ont en moyenne gagné de l'élancement en 2006, contrairement à ce qu'on observait en 2005 et en 2004. Les coefficients de variation observés pour les accroissements en hauteur comme en diamètre restent de l'ordre de 100% chez le chêne et de l'ordre de 50% chez le merisier, des valeurs comparables à celles de 2005 et 2004.

À titre comparatif, on peut calculer (Tableau 5) les valeurs de hauteur, diamètre et élancement atteintes en novembre 2006 (plutôt que les accroissements entre avril et novembre). Les coefficients de variation vont d'environ 16 à 36%, ils sont donc un peu plus élevés qu'en 2004 et 2005 (15 à 25%). Il ne faut cependant pas perdre de vue que ces mesures de variabilité incluent toutes les sources de variation.

Croissance en	Essence	Moyenne	St-Dev	C.V. (%)	Min	Max	Q(5%)	Q(95%)
Hauteur (cm)	Chêne	84,70	29,40	34,7	52	216	56	142,5
	Merisier	200,52	31,81	15,9	112	328	153,8	262,6
Diamètre (mm)	Chêne	8,047	1,903	23,7	4	16	6	11
	Merisier	23,563	8,361	35,5	9	55	12	40,2
Élancement (cm/cm)	Chêne	106,37	29,54	27,8	52,0	242,9	65,4	161,9
	Merisier	91,70	21,35	23,3	50,2	157,0	61,0	133,6

Tableau 5 : Moyenne, écart-type, coefficient de variation, minimum, maximum, quantiles 0,05 et 0,95 observés pour les hauteurs (cm), diamètres (mm) et élancements (cm/cm) atteints en novembre 2006 pour 129 chênes et 247 merisiers

Les statistiques par essence et par modalité sont détaillées en Annexe 4.2.

2.1.5 Taux de perte et mortalité : variations spatiales et selon la modalité de paillage

Sur les 512 arbres plantés en décembre 2003, 376 sont encore actifs en novembre 2006 et 136 ont été perdus, soit un taux de perte de 26,6% (arbres éliminés ou morts). Ce taux de perte diffère cependant très fort entre essences : 127 chênes perdus (49,6%) contre seulement 9 merisiers (3,5%).

Comment les arbres encore actifs (ou le complément, les arbres perdus) se répartissent-ils sur le terrain et entre modalités de paillage ?

Le nombre de chênes actifs tombe jusqu'à 4 par parcelle (Tableau 6), tandis que chez le merisier seulement 9 parcelles ont perdu chacune un arbre (cf. Tableaux 2a à 2c pour la répartition temporelle des pertes).

La répartition spatiale des effectifs ne montre de structure significative ni chez le chêne, ni chez le merisier. On note un nombre d'actifs plus faible en colonne 1 que dans les autres colonnes ; ce phénomène est à la limite du seuil de signification pour le chêne ($p = 0,0503$) mais n'est pas significatif chez le merisier ($p = 0,53$) ni au total pour les deux essences ($p = 0,087$).

Par ailleurs, les croissances ne montrent rien de particulier dans cette colonne 1 (Figures 8 à 10) ; il n'y a donc pas de raison de croire que la survie ou la croissance des arbres y soit particulière.

(a) Chêne

Colonne Bande	1	2	3	4	Total
1	8	11	8	8	35
2	6	7	5	9	27
3	4	9	7	10	30
4	7	9	9	12	37
Total	25	36	29	39	129

(b) Merisier

1	2	3	4	Total
15	16	15	15	61
15	16	16	16	63
15	15	16	15	61
15	16	15	16	62
60	63	62	62	247

Tableau 6 : Nombre d'arbres actifs en novembre 2006, par parcelle. (a) Chêne, (b) Merisier. À la plantation (décembre 2003), chaque parcelle comptait 16 arbres par essence

Il reste en novembre 2006 de 29 à 32 merisiers « actifs » par modalité (entre 0 et 9% de pertes) ; cet effectif n'est plus que de 9 à 22 pour le chêne (de 31% à 72% de pertes ; Tableau 7).

La proportion de pertes diffère significativement entre modalités de paillage pour les chênes (Chi2 d'homogénéité des proportions, $p = 0,0033$). Elle est la plus forte chez les témoins (72% ; $p = 0,006$), ne diffère pas significativement entre désherbés et paillés (en moyenne 46% ; $p = 0,65$), semble inférieure pour les paillis ISOROY (39%) par rapport aux HPK (53% ; $p = 0,05$) mais dépend de la taille du paillis chez les HPK (HPK2 : 66% contre HPK4 : 31% de pertes, $p = 0,005$).

Modalité	Chêne	Merisier	Total
Témoin	9	30	39
ISOROY2	20	30	50
ISOROY3	20	32	52
ISOROY4	19	32	51
Désherbé	16	32	48
HPK2	11	29	40
HPK3	12	32	44
HPK4	22	30	52
Effectif total	129	247	376

Tableau 7 : Effectif disponible par essence et par modalité en novembre 2006 (pour rappel à la plantation, il y avait 32 arbres de chaque essence par modalité)

2.1.6 Taux de mortalité par essence et selon la modalité de paillage

En fin 2006, on sait pour chaque arbre s'il a été éliminé en cours d'expérience (par exemple parce que sa tige a été cassée, auquel cas il n'apporte plus d'information pertinente pour cet essai), s'il est mort ou s'il est encore vivant et « utile ». Cette tabulation est reprise ci-dessous (Tableau 8). On y a calculé le taux de mortalité observé par essence et par modalité de paillage (les « éliminés » ne participent pas à ce calcul).

On constate que le taux de mortalité est très faible chez le merisier (2%) mais est élevé chez le chêne (32,7%). Pour cette dernière essence, on peut se demander si le taux de mortalité est, ou non, lié à la modalité de paillage.

Les taux de mortalité du chêne ont été comparés entre modalités de paillage aux 214 chênes non éliminés en cours d'expérience (les taux de perte, incluant les arbres éliminés, ont été analysés au § précédent).

Les taux de mortalité du chêne diffèrent significativement entre modalités de paillage (Figure 7 ; Chi2 = 14,21, $p = 0,0476$). Des comparaisons multiples font apparaître deux groupes de modalités de paillage avec des taux de mortalité contrastés : d'une part le Témoin et HPK2 avec de fortes mortalités (autour de 50%), d'autre part les paillis ISOROY et HPK4 avec de faibles mortalités (20% à 24%). Les mortalités sous les trois autres modalités sont intermédiaires.

Modalité	Chêne					Merisier				
	Éliminés	Morts	OK	M+OK	% Morts	Éliminés	Morts	OK	M+OK	% Morts
Témoin	7	13	12	25	52,0%	1	1	30	31	3,2%
ISOROY2	3	7	22	29	24,1%	1	1	30	31	3,2%
ISOROY3	2	6	24	30	20,0%	0	0	32	32	0,0%
ISOROY4	7	6	19	25	24,0%	0	0	32	32	0,0%
Dés herbé	5	10	17	27	37,0%	0	0	32	32	0,0%
HPK2	8	12	12	24	50,0%	2	1	29	30	3,3%
HPK3	7	10	15	25	40,0%	0	0	32	32	0,0%
HPK4	3	6	23	29	20,7%	0	2	30	32	6,3%
Totaux	42	70	144	214	32,7%	4	5	247	252	2,0%

Tableau 8 : Nombres d'arbres éliminés, morts ou présents (« OK ») fin 2006 et taux de mortalité, par essence et par modalité de paillage

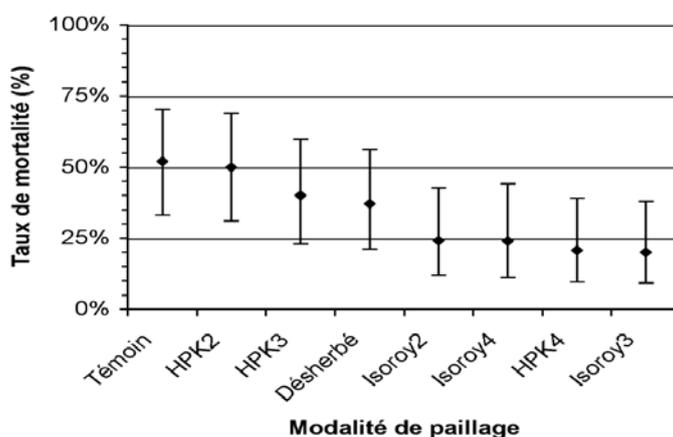


Figure 7 : Taux de mortalité estimés pour le chêne de 2003 à 2006, par modalité de paillage et intervalles de confiance estimés. Les modalités sont ordonnées par mortalité décroissante. Les deux modalités de gauche (forte mortalité) forment un groupe se différenciant significativement du groupe des 4 modalités de droite (faible mortalité)

2.1.7 Variations spatiales des croissances

Les échantillons montrent-ils de claires variations spatiales ? Les Figures 8 à 10 résument les échantillons (parcelles et essences) par leur moyenne, son intervalle de confiance à P = 0,95, les minima et maxima des croissances en hauteur (Figure 8), en diamètre (Figure 9) et en élanement (Figure 10). Les parcelles sont groupées par colonne, celles d'une même bande sont reliées. Ces graphiques complètent les Figures 4 à 6, où les parcelles sont groupées par bande.

Comme pour les analyses précédentes (avril et novembre 2004, novembre 2005), on n'observe aucune variation systématique des moyennes ou des variances entre colonnes ou entre bandes.

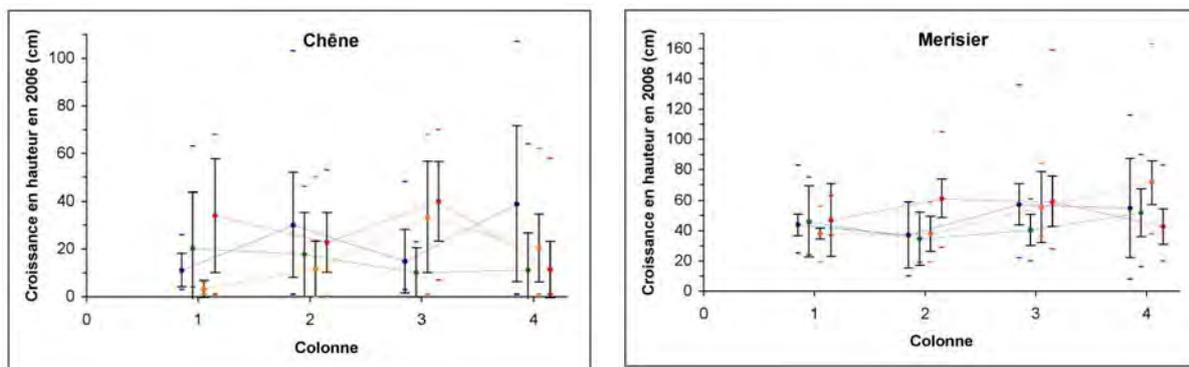


Figure 8 : Croissance en hauteur moyenne, minimale et maximale et I.C. à la moyenne observée par bande (n°1 à gauche, n°4 à droite) et colonne, pour le Chêne (a) et pour le Merisier (b)

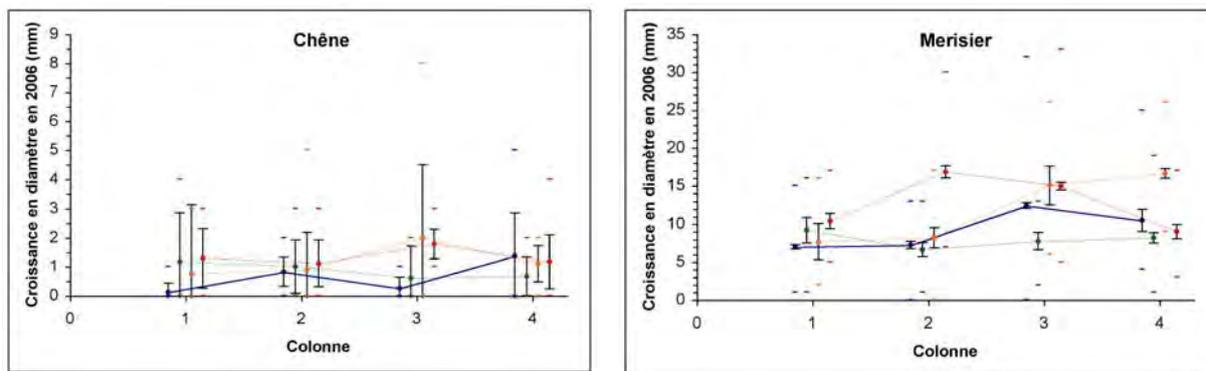


Figure 9 : Croissance en diamètre moyenne, minimale et maximale et I.C. à la moyenne observée par bande (n°1 à gauche, n°4 à droite) et colonne, pour le Chêne (a) et pour le Merisier (b)

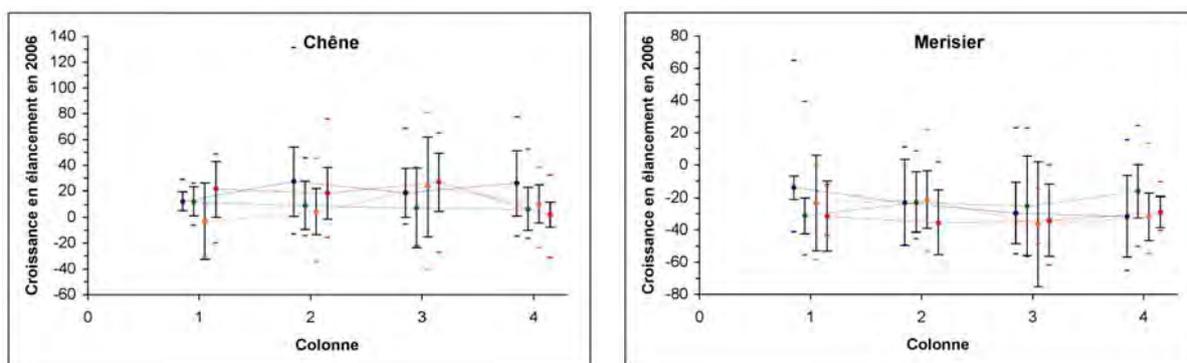


Figure 10 : Croissance en élancement moyenne, minimale et maximale et I.C. à la moyenne observée par bande (n°1 à gauche, n°4 à droite) et colonne, pour le Chêne (a) et pour le Merisier (b)

2.2 EFFETS DES MODALITES DE PAILLAGE

Ce paragraphe est au centre de la question à laquelle cet essai tente de répondre : les traitements de paillage influencent-ils la croissance des arbres et si oui, comment ?

Les résultats obtenus quant aux effets des modalités de paillage sur la croissance 2006 sont les suivants :

- ~ pour le chêne, aucune différence significative de croissance entre modalité n'est observée ($F = 1,91$, $p = 0,0752$ pour la croissance en hauteur ; $F = 1,60$, $p = 0,1480$ pour la croissance en diamètre ; $F = 1,58$, $p = 0,1516$ pour la croissance en élancement). Les accroissements en diamètre du chêne dépassent rarement 2 mm (13 fois en tout) ;
- ~ pour le merisier, les croissances en hauteur ne diffèrent pas entre modalités de paillage ($F = 1,45$, $p = 0,1922$) ; par contre, les croissances en diamètre ($F = 8,31$, $p < 0,0001$) et en élancement ($F = 2,82$, $p = 0,0104$) diffèrent significativement entre modalités de paillage.

Les résultats obtenus quant aux effets des modalités de paillage sur les valeurs atteintes en novembre 2006 sont les suivants :

- ~ pour le chêne, aucune différence significative de hauteur ($F = 1,29$, $p = 0,2612$), de diamètre ($F = 1,45$, $p = 0,1952$) ou d'élancement ($F = 1,06$, $p = 0,3944$) en fin 2006 n'apparaît en fonction de la modalité de paillage ;
- ~ pour le merisier par contre, les hauteurs ($F = 7,70$, $p < 0,0001$), diamètres ($F = 14,31$, $p < 0,0001$) et élancements ($F = 12,91$, $p < 0,0001$) atteints fin 2006 dépendent significativement de la modalité de paillage.

2.2.1 Caractéristiques moyennes par modalité et par essence

Les graphiques ci-dessous (Figures 11 à 13) illustrent les croissances moyennes en hauteur, diamètre et élancement obtenues par modalité de paillage et par essence.

On n’observe plus de retard systématique de croissance des Témoins par rapport aux autres traitements comme c’était le cas en 2004 et en 2005. Les plus grands paillis (ISOROY 4 et HPK 4) sont toujours associés aux plus grandes croissances, en hauteur (Figure 11) comme en diamètre (Figure 12).

La relation linéaire entre taille du paillis et croissance observée précédemment n’est plus visible que pour la croissance en diamètre du merisier et pour la marque ISOROY en 2006 (Figure 12).

Vu la prépondérance de la croissance en diamètre sur celle en hauteur chez le merisier en 2006, l’effet inverse se marque sur les croissances en élancement (Figure 13). Notons enfin que la différence de croissance en hauteur est moins notoire entre essences (Figure 11) qu’elle ne l’était précédemment.

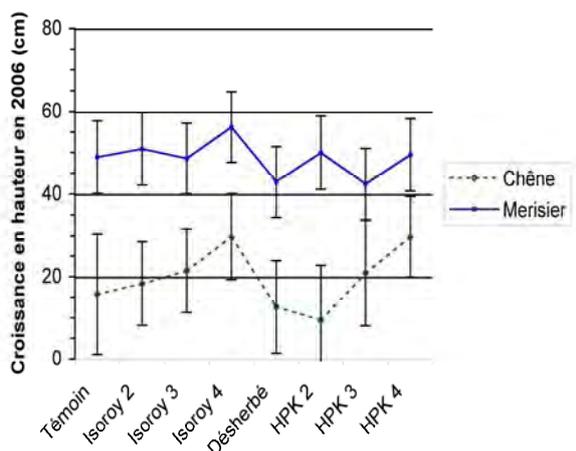


Figure 11 : Croissance en hauteur en 2006 sous chacune des 8 modalités de paillage, pour le chêne et pour le merisier. Les barres verticales indiquent l’intervalle de confiance aux moyennes (niveau P=0,95)

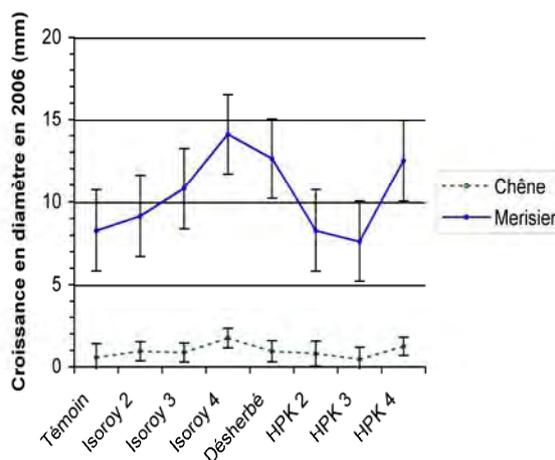


Figure 12 : Croissance en diamètre en 2006 sous chacune des 8 modalités de paillage, pour le chêne et pour le merisier. Les barres verticales indiquent l’intervalle de confiance aux moyennes (niveau P=0,95)

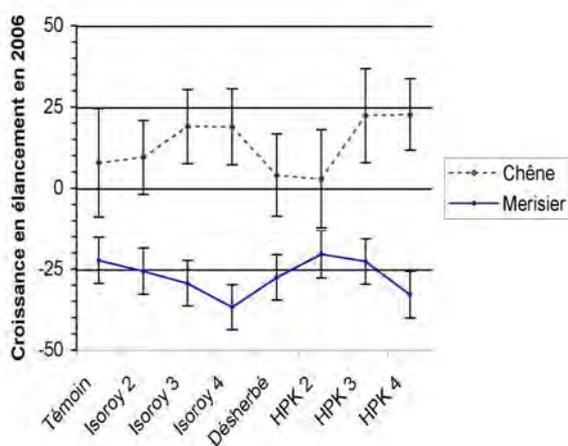
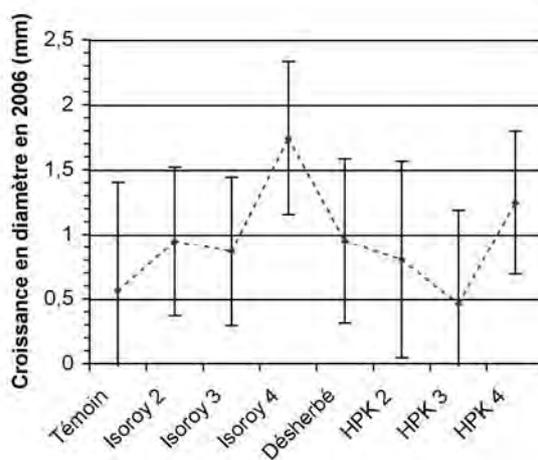


Figure 13 : Croissance en élancement (cm/cm) en 2006 sous chacune des 8 modalités de paillage, pour le chêne et pour le merisier. Les barres verticales indiquent l’intervalle de confiance aux moyennes (niveau P=0,95)



Pour le chêne : détail de la figure 12

2.2.2 Comparaisons entre modalités de paillage

Pour préciser les effets des modalités de paillage sur les caractéristiques des arbres, on les a traduits en une série de comparaisons d’une part pertinentes, d’autre part indépendantes ; huit modalités autorisent sept telles comparaisons, appelées **contrastes orthogonaux**.

Chaque contraste pose la question de l’égalité des réponses moyennes sous deux groupes de traitements. Les contrastes choisis sont énoncés ci-dessous. Il faut comprendre « A = B » comme : « la réponse moyenne sous le groupe de traitements A est égale à celle sous le groupe de traitements B ».

1. Témoins (modalité1) = Traités (modalités 2 à 8) ?
2. Désherbés (modalité 5) = Paillés (modalités 2 à 4, 6 à 8) ?
3. Produits ISOROY (modalités 2 à 4) = Produits HPK (modalités 6 à 8)?
4. ISOROY 60x60 (modalité 2) = ISOROY 120x120 (modalité 4)?
5. ISOROY 80x80 (modalité 3) = moyenne des autres ISOROY (modalités 2,4)?
6. HPK 50x50 (modalité 6) = HPK 100x100 (modalité 8)?
7. HPK rond 70 (modalité 7) = moyenne des autres HPK (modalités 6,8)?

Les résultats des comparaisons de moyennes des modalités de paillage sont illustrés pour chaque caractéristique en donnant pour chaque question (contraste) la différence de moyennes qui y répond ainsi que son intervalle de confiance au niveau P = 0,95 (Figures 14 à 16).

Tout intervalle de confiance (barres verticales dans les figures 14 - 16) qui n'intercepte pas la valeur 0 indique une différence significative pour la comparaison concernée, à condition cependant que l'effet global des modalités de paillage ait été jugé crédible (significatif).

En tenant compte de l'ensemble des analyses, cet effet global des modalités de paillage est crédible seulement pour les croissances en hauteur, en diamètre et en élanement du merisier : aucune influence significative des modalités de paillage sur la croissance du chêne n'a pu être démontrée.

Les graphiques relatifs aux contrastes pour le chêne ne sont donc repris ci-dessous que pour mémoire.

2.2.2.1 Croissance en hauteur

Pour le **chêne**, l'effet des modalités n'est pas significatif.

Effet	Num	Den	F Value	Pr > F
Modalité	DF	DF		
	7	104	1.91	0.0752

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num	Den	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	105	0.38	0.5400
Désherbés contre Paillés	1	104	2.45	0.1205
ISOROY Contre HPK	1	102	0.55	0.4602
ISOROY2 Contre 4	1	105	2.82	0.0963
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	100	0.20	0.6587
HPK2 Contre 4	1	106	6.67	0.0112
HPK2 et 4 Contre 3	1	106	0.03	0.8534

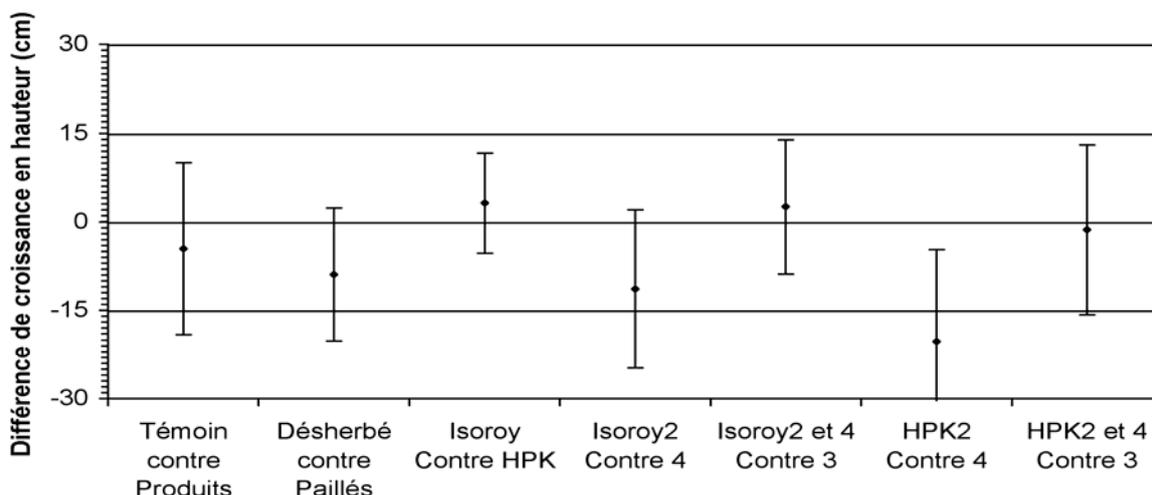


Figure 14a : Différences de croissance en hauteur en 2006 et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes) chez le chêne

Interprétation :

L'effet des modalités de paillage n'étant pas significatif, même l'apparente infériorité de croissance en hauteur sous HPK2 versus HPK4 n'est pas crédible.

Pour le **merisier**, l'effet des modalités de paillage sur la croissance en hauteur n'est pas significatif :

Effet	Num	Den	F Value	Pr > F
Modalité	7	104	1.45	0.1922

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num	Den	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	107	0.01	0.9429
Dés herbés contre Paillés	1	100	2.85	0.0942
ISOROY Contre HPK	1	104	2.29	0.1334
ISOROY2 Contre 4	1	103	1.01	0.3170
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	101	1.20	0.2754
HPK2 Contre 4	1	110	0.01	0.9212
HPK2 et 4 Contre 3	1	103	2.61	0.1095

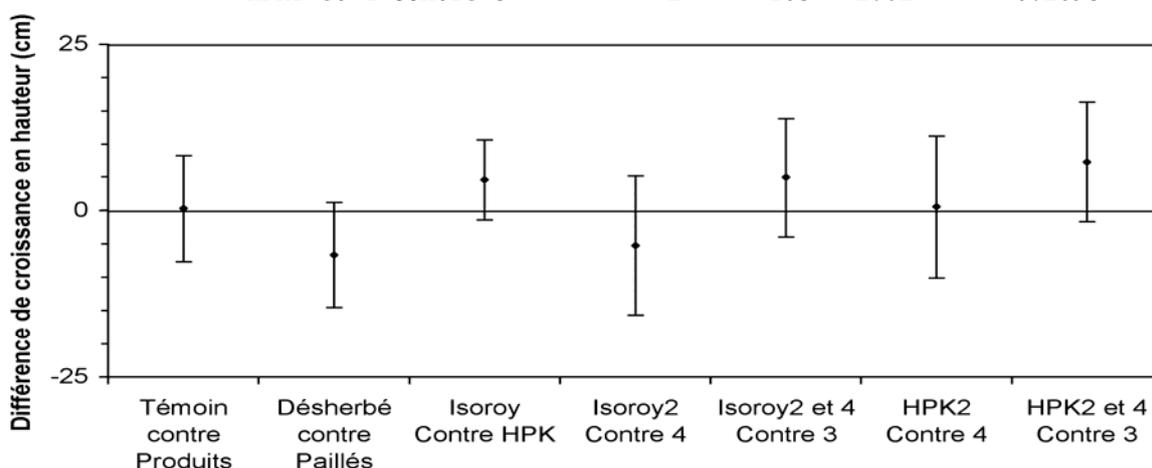


Figure14b : Différences de croissance en hauteur en 2006 et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes) chez le merisier

Interprétation :

Les différences de croissance en hauteur constatées lors des années précédentes, ne sont plus visibles en 2006.

2.2.2.2 Croissances en diamètre

Pour le **chêne**, l'effet des modalités de paillage n'est pas significatif :

Effet	Num	Den	F Value	Pr > F
Modalité	7	81.2	1.60	0.1480

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num	Den	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	97.3	1.01	0.3180
Dés herbés contre Paillés	1	83.5	0.03	0.8528
ISOROY Contre HPK	1	82.4	1.85	0.1776
ISOROY2 Contre 4	1	73.2	3.81	0.0547
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	70.1	1.86	0.1767
HPK2 Contre 4	1	88.6	0.89	0.3474
HPK2 et 4 Contre 3	1	98.7	1.71	0.1947

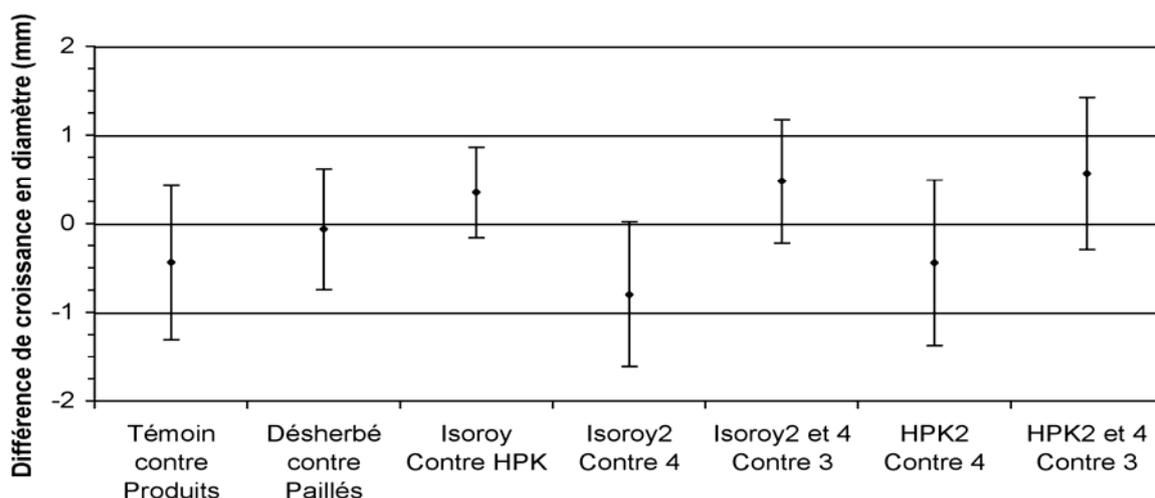


Figure 15a : Différences de croissance en diamètre en 2006 et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes) chez le chêne

Interprétation :

Aucune différence de croissance en diamètre ne s’observe entre modalités de paillage pour le chêne en 2006.

Pour le **merisier**, l’effet des modalités de paillage sur la croissance en diamètre est significatif :

Effet Modalités	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
	7	105	8.31	<.0001

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	108	7.15	0.0087
Désherbés contre Paillés	1	101	6.03	0.0157
ISOROY Contre HPK	1	105	7.44	0.0075
ISOROY2 Contre 4	1	104	17.08	<.0001
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	102	0.62	0.4320
HPK2 Contre 4	1	110	11.83	0.0008
HPK2 et 4 Contre 3	1	104	7.12	0.0088

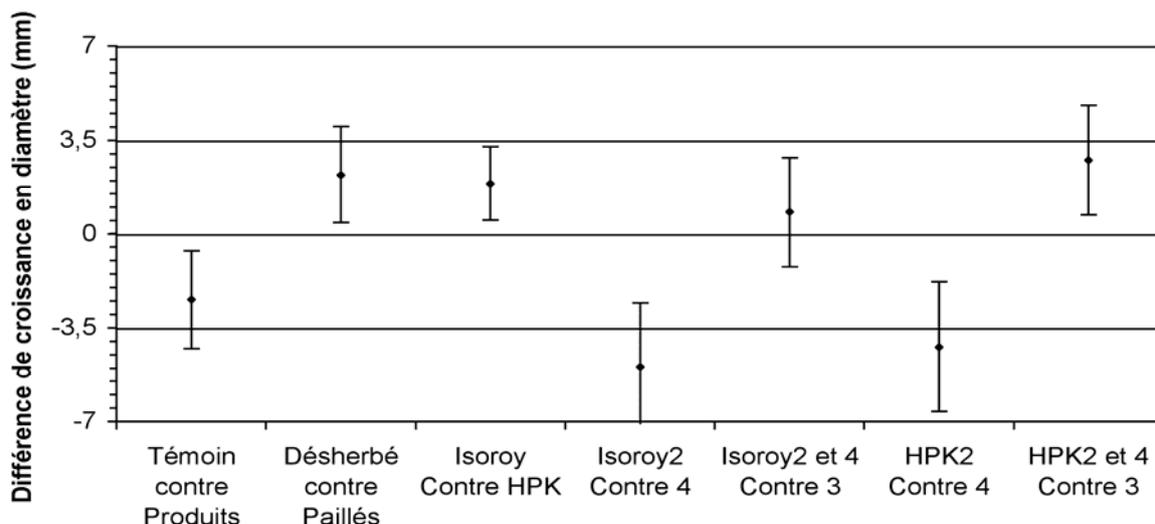


Figure 15b : Différences de croissance en diamètre en 2006 et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes) chez le merisier

Interprétation :

Les tendances observées en 2005 se renforcent en général en 2006.

La croissance en diamètre des merisiers dés herbés est en moyenne de 2,2 mm supérieure à celle sous les autres traitements de paillage. Contrairement à ce qu'on observait en 2005, la croissance en diamètre en 2006 est supérieure de 1,9 mm avec les paillages ISOROY par rapport à HPK.

Parmi les deux produits, ISOROY et HPK, on observe une progression significative de croissance du diamètre depuis le plus petit paillage jusqu'au plus grand (la différence de croissance entre le plus grand et le plus petit paillage est de 4,9 mm pour ISOROY et de 4,2 mm pour HPK). Cette progression reste linéaire pour le produit ISOROY ; par contre, la croissance en diamètre avec le produit HPK3 est de 2,8 mm plus faible que la croissance moyenne observée avec HPK2 et HPK4.

Enfin, la croissance en diamètre des merisiers témoins reste inférieure à celle des autres (de 2,5 mm en moyenne).

2.2.2.3 Croissances en élancement

Pour le **chêne**, l'effet des modalités n'est pas significatif :

Effet	Num	Den	F Value	Pr > F
Modalité	7	81.4	1.58	0.1516

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num	Den	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	101	0.52	0.4713
Dés herbés contre Paillés	1	83.8	3.01	0.0864
ISOROY Contre HPK	1	85.6	0.00	0.9669
ISOROY2 Contre 4	1	71.6	1.33	0.2531
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	70.2	0.48	0.4928
HPK2 Contre 4	1	89	4.49	0.0369
HPK2 et 4 Contre 3	1	98.3	1.23	0.2703

L'effet global des modalités n'étant pas significatif, les contrastes ci-dessus ne peuvent être considérés comme crédibles. La figure ci-dessous est donnée à titre illustratif seulement.

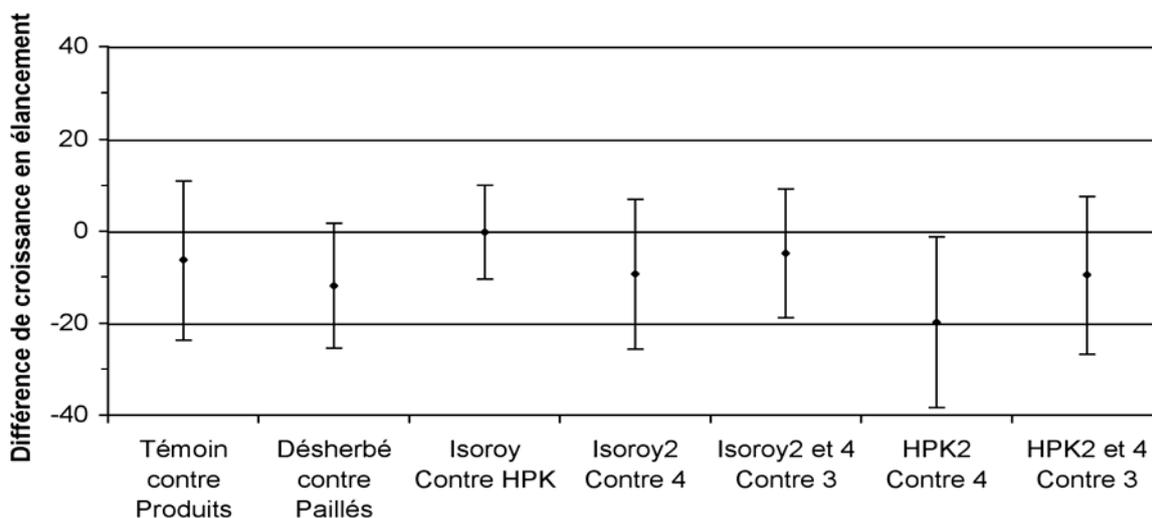


Figure 16a : Différences de croissance en élancement en 2006 et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes) chez le chêne

Interprétation :

Aucune différence de croissance en élancement entre modalités de paillage ne s'observe chez le chêne.

Pour le **merisier**, l'effet des modalités est significatif :

Effet	Num	Den	F Value	Pr > F
Modalité	7	95.6	2.82	0.0104

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num	Den	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	98.6	2.38	0.1258
Dés herbés contre Paillés	1	92.1	0.01	0.9106
ISOROY Contre HPK	1	96.1	3.68	0.0580
ISOROY2 Contre 4	1	95.3	5.53	0.0207
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	92.8	0.21	0.6517
HPK2 Contre 4	1	101	6.60	0.0117
HPK2 et 4 Contre 3	1	94.7	0.98	0.3251

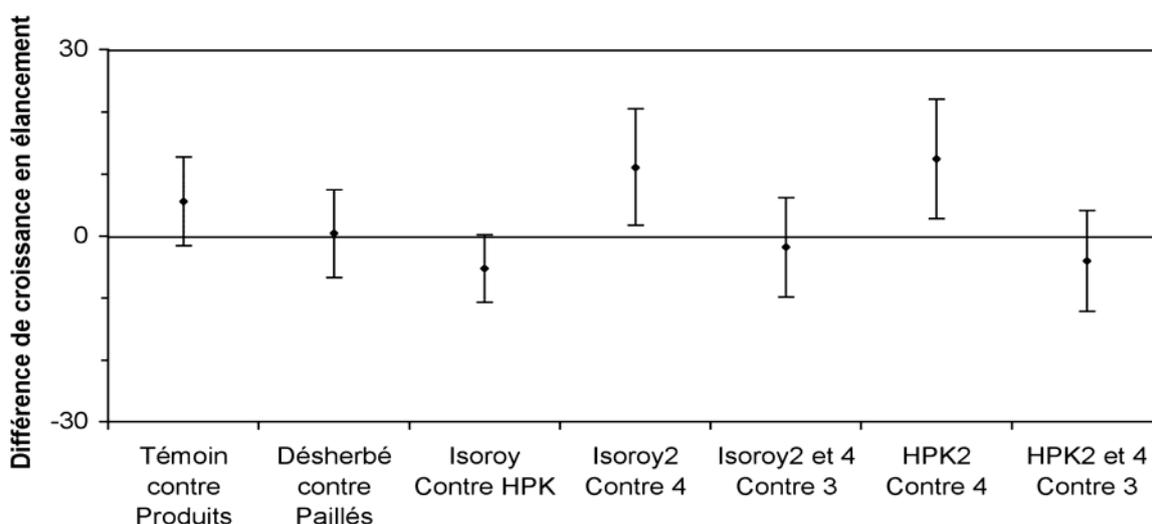


Figure 16b : Différences de croissance en élancement en 2006 et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes) chez le merisier

Interprétation :

Deux différences significatives apparaissent : pour ISOROY comme pour HPK, l'élancement est plus élevé pour le plus petit paillis que pour le plus grand (de 11,1 et 12,4 cm/cm respectivement). Ceci est nouveau par rapport à 2005, où la seule différence significative était le moindre élancement chez les dés herbés (voir rapport de fin 2005).

Rappelons qu'en moyenne, l'élancement des merisiers a diminué de 27,3 cm/cm en 2006 (alors qu'il s'était accru de 0,3 cm/cm en 2005).

On constate (Tableau 4) que la croissance en hauteur du merisier est un peu plus faible en 2006 (48,6 cm) qu'en 2005 (57,5 cm) tandis que sa croissance en diamètre est deux fois plus forte en 2006 (10,5 mm) qu'en 2005 (5,1 mm), ce qui explique la perte d'élancement.

2.3 EFFETS DES MODALITES DE PAILLAGE SUR LES VALEURS ATTEINTES EN NOVEMBRE 2006

2.3.1 Caractéristiques moyennes par modalité et par essence

Les hauteurs (Figure 17), diamètres (Figure 18) et élancements (Figure 19) atteints en novembre 2006 illustrés ci-dessous sans interprétation. Les faits saillants ressortent en effet suffisamment clairement d'eux-mêmes.

Ces résultats seront interprétés dans la section suivante.

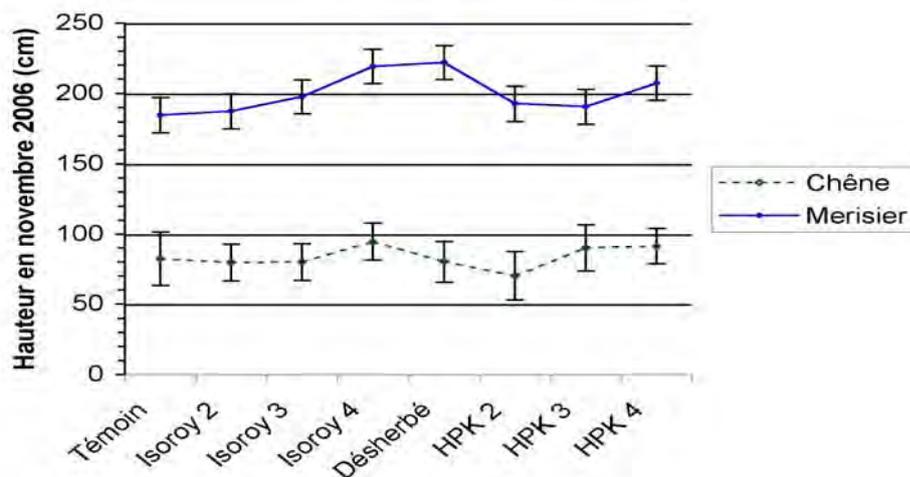


Figure 17 : Hauteur moyenne atteinte en novembre 2006 selon les 8 modalités de paillage, pour le chêne (en vert, série inférieure) et pour le merisier (en bleu, série supérieure) et intervalles de confiance aux moyennes (niveau P=0,95)

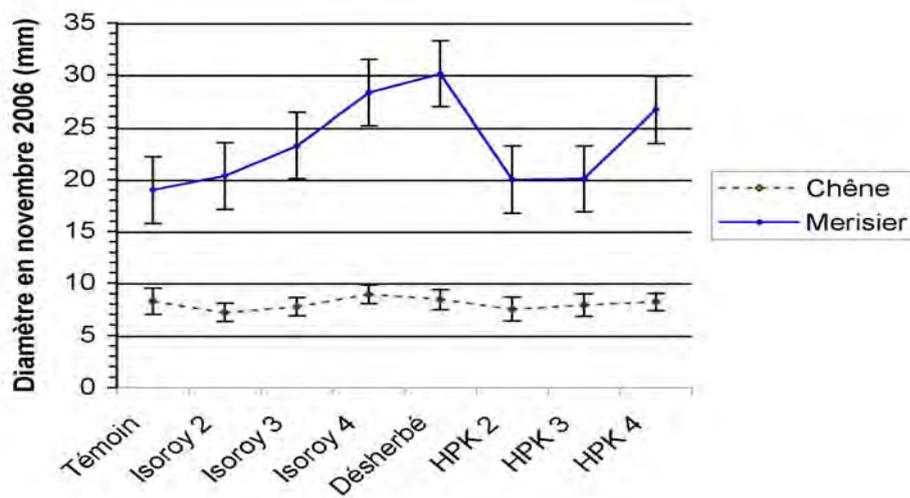


Figure 18 : Diamètre moyen atteint en novembre 2006 selon les 8 modalités de paillage, pour le chêne (en vert, série inférieure) et pour le merisier (en bleu, série supérieure) et intervalles de confiance aux moyennes (niveau P=0,95)

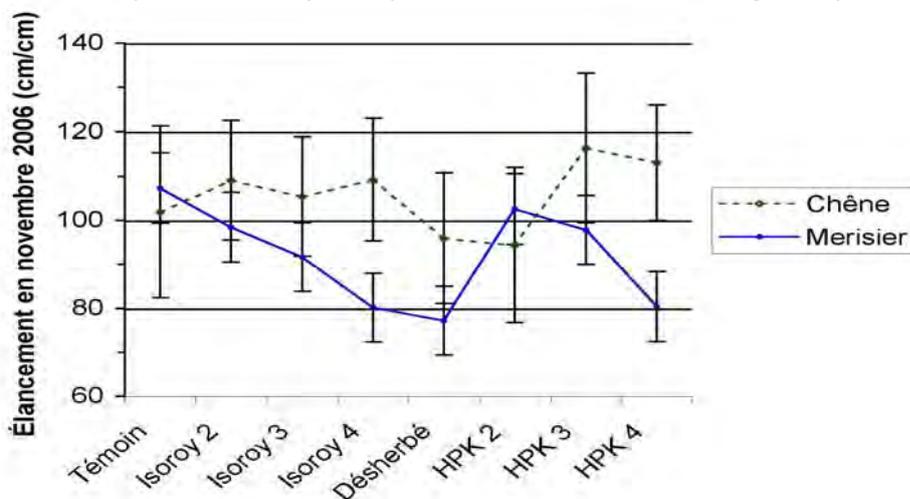


Figure 19 : Élançement moyen atteint en novembre 2006 selon les 8 modalités de paillage, pour le chêne (en vert, ligne pointillée) et pour le merisier (en bleu, ligne continue) et intervalles de confiance aux moyennes (niveau P=0,95)

2.3.2 Comparaisons entre modalités de paillage

2.3.2.1 Hauteur atteinte fin 2006

Pour le **chêne**, l'effet des modalités n'est pas significatif :

Effet	Num	Den	F Value	Pr > F
Modalité	7	104	1.29	0.2612

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num	Den	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	106	0.02	0.8907
Désherbés contre Paillés	1	104	0.31	0.5790
ISOROY Contre HPK	1	102	0.03	0.8740
ISOROY2 Contre 4	1	105	2.89	0.0923
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	100	0.93	0.3362
HPK2 Contre 4	1	107	4.36	0.0392
HPK2 et 4 Contre 3	1	107	0.98	0.3251

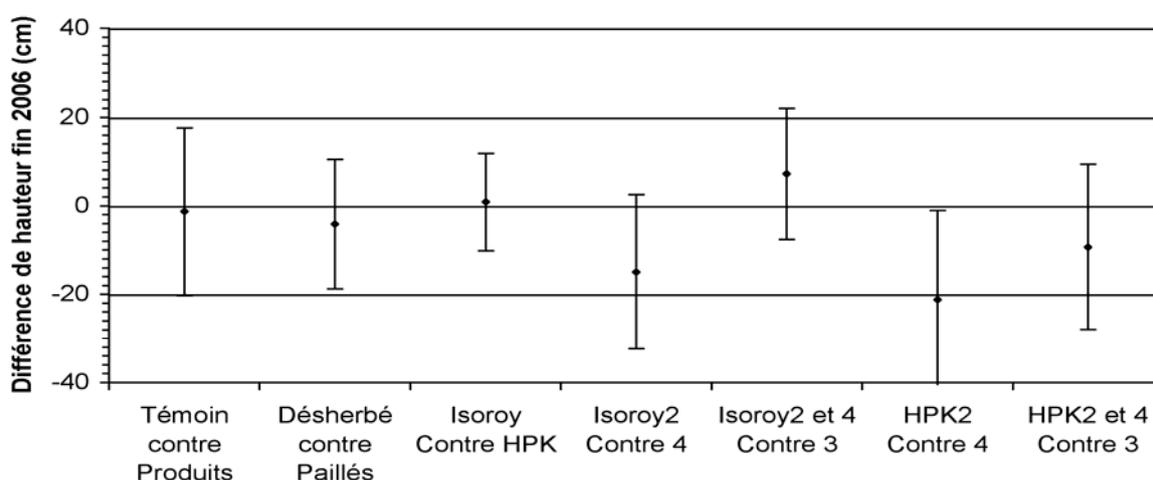


Figure 20a : Différences de hauteur en novembre 2006 chez le Chêne et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes)

Interprétation :

L'effet des modalités de paillage sur la hauteur atteinte en novembre 2006 n'étant pas significatif, on ne peut conclure à aucune différence significative de hauteur. L'apparente infériorité des petits paillis par rapport aux grands (ISOROY 2 contre 4 et HPK 2 contre 4) ne peut être considérée comme conclusive.

Pour le **merisier**, l'effet des modalités est significatif :

Effet	Num	Den	F Value	Pr > F
Modalité	7	103	7.70	<.0001

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num	Den	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	106	10.03	0.0020
Désherbés contre Paillés	1	100	16.98	<.0001
ISOROY Contre HPK	1	104	1.14	0.2886
ISOROY2 Contre 4	1	103	18.61	<.0001
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	101	0.82	0.3683
HPK2 Contre 4	1	108	3.76	0.0549
HPK2 et 4 Contre 3	1	102	2.21	0.1401

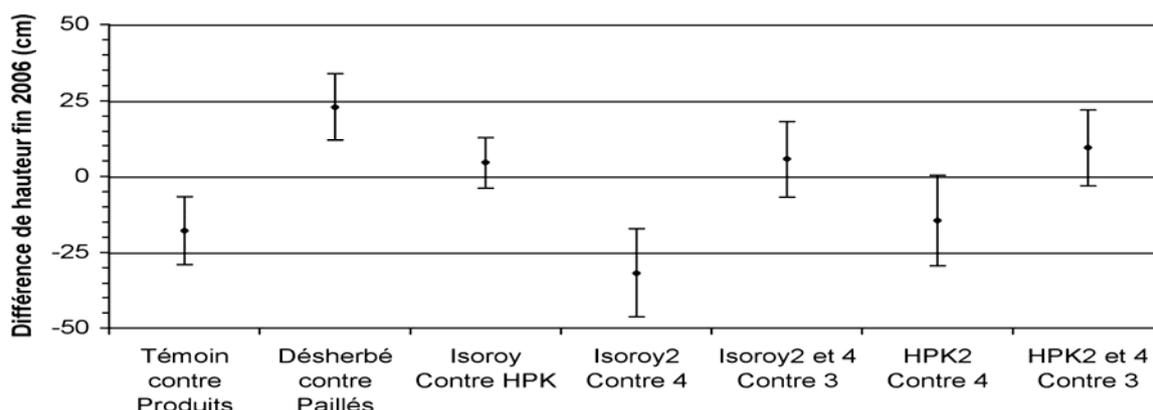


Figure 20b : Différences de hauteur en novembre 2006 chez le Merisier et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes)

Interprétation :

Les résultats obtenus en novembre 2004 et en novembre 2005 sont tous maintenus ou renforcés, sauf la supériorité en hauteur des désherbés par rapport aux paillés : la différence n'est plus que de 22,9 cm fin 2006 contre 30 cm en fin 2005. Les autres résultats s'interprètent exactement comme ceux des accroissements de hauteur en 2005. La hauteur des témoins reste inférieure de 17,8 cm à celle des autres arbres. Enfin, pour les deux types de paillis (ISOROY et HPK), on conserve une progression linéaire des hauteurs en fonction de la taille du paillis.

2.3.2.2 Diamètre atteint fin 2006

Pour le **chêne**, l'effet des modalités n'est pas significatif :

Effet	Num	Den	F Value	Pr > F
Modalité	7	89.1	1.45	0.1952

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num	Den	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	104	0.17	0.6827
Désherbés contre Paillés	1	91.4	0.94	0.3338
ISOROY Contre HPK	1	90.1	0.05	0.8243
ISOROY2 Contre 4	1	81	7.86	0.0063
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	79.2	0.37	0.5424
HPK2 Contre 4	1	95.3	0.95	0.3316
HPK2 et 4 Contre 3	1	105	0.00	0.9641

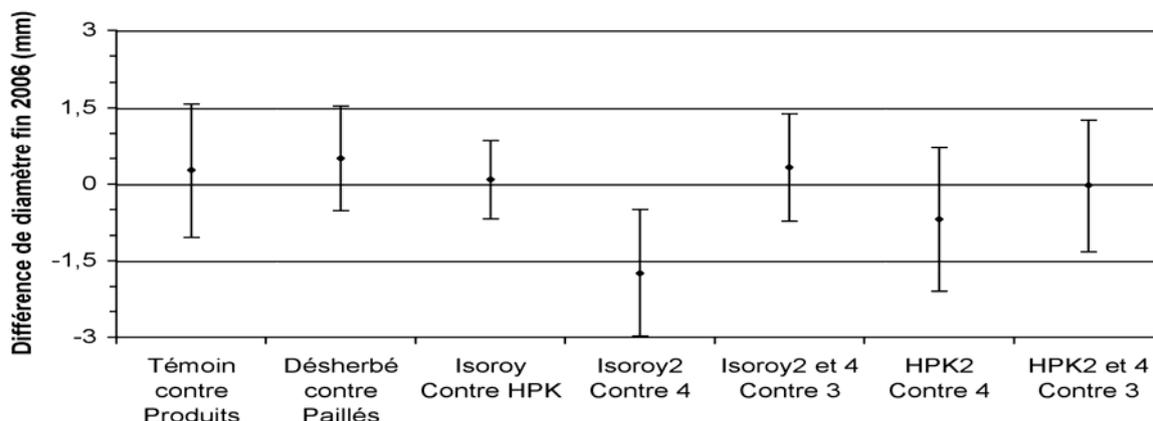


Figure 21a : Différences de diamètre en novembre 2006 chez le Chêne et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes)

Interprétation :

L'effet des modalités de paillage sur le diamètre atteint en novembre 2006 n'étant pas significatif, on ne peut conclure à aucune différence significative de diamètre. Comme pour la hauteur en fin 2006, l'apparente infériorité du diamètre du merisier sous ISOROY2 par rapport à ISOROY4 ne peut être considérée comme conclusive.

Pour le **merisier**, l'effet des modalités est significatif :

Effet	Num	Den	F Value	Pr > F
Modalité	7	104	14.31	<.0001

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num	Den	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	107	16.95	<.0001
Désherbés contre Paillés	1	101	32.75	<.0001
ISOROY Contre HPK	1	105	3.35	0.0700
ISOROY2 Contre 4	1	104	24.13	<.0001
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	102	0.59	0.4432
HPK2 Contre 4	1	110	16.30	0.0001
HPK2 et 4 Contre 3	1	103	5.44	0.0216

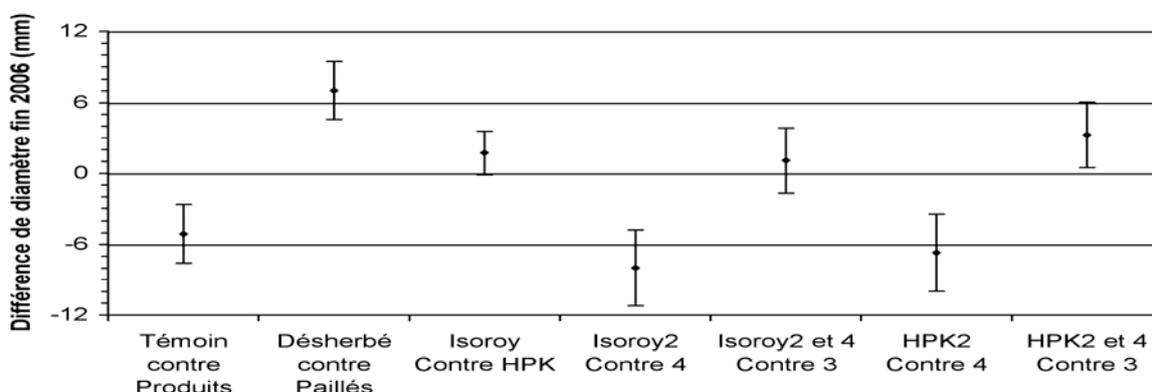


Figure 21b : Différences de diamètre en novembre 2006 chez le Merisier et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes)

Interprétation :

Les résultats obtenus en novembre 2004 et en novembre 2005 sont tous maintenus ou renforcés. Le diamètre des témoins est en moyenne de 5,1 mm inférieur à celui des autres, celui des désherbés est en moyenne de 7,0 mm supérieur à celui des paillés. On retrouve comme en fin 2005 et comme pour les hauteurs une progression depuis les plus petits jusqu'aux plus grands paillis. Dans le cas des produits ISOROY cette progression reste linéaire, dans le cas du produit HPK, cependant, elle ne l'est plus : le diamètre sous HPK3 est inférieur à la moyenne des diamètres sous HPH2 et HPK4.

2.3.2.3 Élancement atteint fin 2006

Pour le **chêne**, l'effet des modalités n'est pas significatif :

Effet	Num	Den	F Value	Pr > F
Modalité	7	82.1	1.06	0.3944

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num	Den	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	98	0.19	0.6620
Désherbés contre Paillés	1	84.7	2.45	0.1212
ISOROY Contre HPK	1	86.8	0.00	0.9870
ISOROY2 Contre 4	1	73.5	0.00	0.9840
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	71.8	0.24	0.6282
HPK2 Contre 4	1	88.5	3.14	0.0798
HPK2 et 4 Contre 3	1	97.2	1.72	0.1928

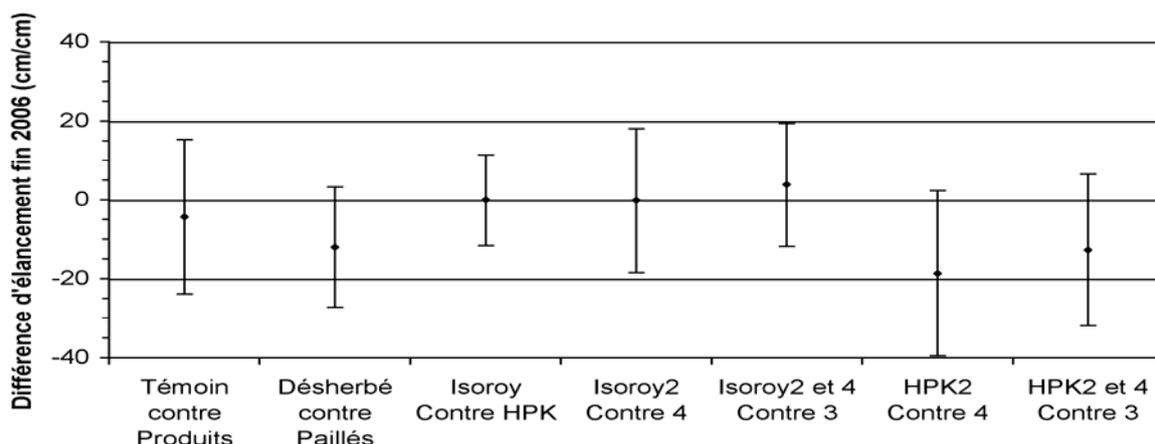


Figure 22a : Différences d'élancement en novembre 2006 chez le Chêne et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes)

Interprétation :

Aucune différence significative d'élancement n'apparaît entre modalités de paillage chez le Chêne en novembre 2006.

Pour le **merisier**, l'effet des modalités est significatif :

Effet Modalité	Num F	Den DF	F Value	Pr > F
	7	98.8	12.91	<.0001

Comparaisons entre modalités (contrastes) :

Label	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
Témoin contre Produits	1	102	26.16	<.0001
Désherbés contre Paillés	1	95.4	18.73	<.0001
ISOROY Contre HPK	1	99.2	1.85	0.1772
ISOROY2 Contre 4	1	98.4	16.55	<.0001
ISOROY2 et 4 Contre 3	1	96	0.37	0.5446
HPK2 Contre 4	1	104	23.44	<.0001
HPK2 et 4 Contre 3	1	97.9	2.69	0.1044

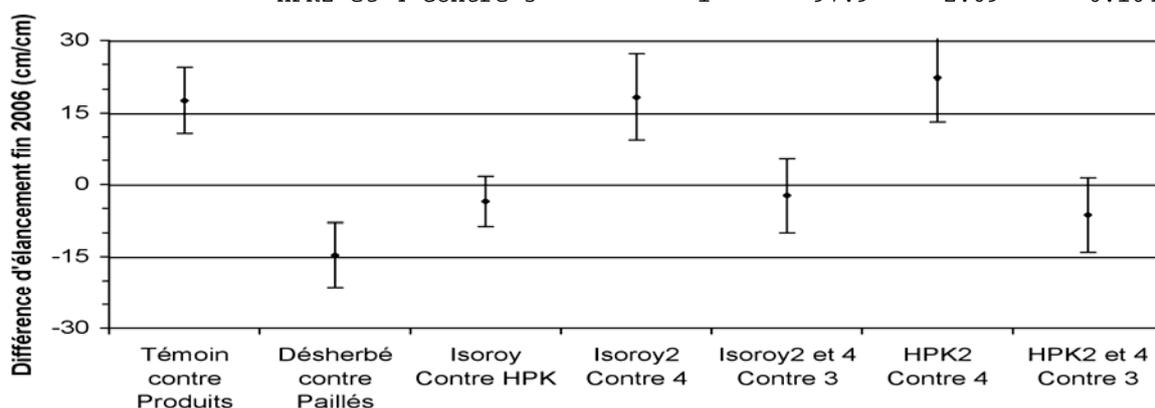


Figure 22b : Différences d'élancement en novembre 2006 chez le Merisier et intervalle de confiance (P=0,95) pour 7 comparaisons des modalités de paillage (contrastes)

Interprétation :

Les différences qui apparaissent sont assez bien l'inverse des différences pour les diamètres : élancement plus élevé pour les témoins, plus faible pour les désherbés, plus élevé pour les petites tailles de paillis que pour les grandes. Ceci confirme les résultats déjà obtenus en fin 2005 pour les élancements (voir rapport 2005).

3 CONCLUSION

Des 512 arbres (256 chênes, 256 merisiers) plantés en décembre 2003 pour cet essai visant à comparer huit modalités de paillage (un témoin, un désherbage chimique, trois tailles de paillis ISOROY et trois tailles de paillis HPK), il en reste 391 en novembre 2006, dont 144 chênes et 247 merisiers : 43,5% des chênes ont été perdus par mort ou élimination (tige cassée, par exemple), contre seulement 3,5% des merisiers (§ 2.1.1).

Quinze chênes ne montrant aucune croissance en 2006 sont éliminés des analyses (§ 2.1.2), celles-ci portent donc sur 129 chênes et 247 merisiers.

Chez les chênes, le taux de mortalité varie entre modalités de paillage (§ 2.1.6). Il est d'environ 50% pour les Témoins et le paillis HPK2, mais seulement de 20% à 24% pour les paillis ISOROY et le paillis HPK4. Chez le merisier, la mortalité est négligeable (5 arbres sur 252).

On peut résumer (Tableau 9) les croissances annuelles moyennes et la croissance sur trois ans pour les deux essences.

Période	Chêne				Merisier			
	Effectif	Hauteur	Diamètre	Élancement	Effectif	Hauteur	Diamètre	Élancement
2004	175	4,5 cm	0,6 mm	-3,5 cm/cm	253	39,6 cm	2,3 mm	21,0 cm/cm
2005	168	6,6 cm	0,9 mm	-4,3 cm/cm	251	57,7 cm	5,1 mm	0,3 cm/cm
2006	129	21,3 cm	1,0 mm	14,4 cm/cm	247	48,6 cm	10,5 mm	-27,3 cm/cm
2003-06	129	32,8 cm	2,6 mm	8,7 cm/cm	247	147 cm	17,9 mm	-6,0 cm/cm

Tableau 9 : Croissances annuelles moyennes et sur 3 ans pour le chêne et le merisier

La croissance en hauteur du chêne a presque quadruplé en 2006 par rapport aux deux années précédentes ; sa croissance en diamètre est passée de 0,6 mm en 2004 à environ 1 mm les deux années suivantes. L'augmentation de sa croissance en hauteur par rapport à celle en diamètre en 2006 a engendré une forte augmentation de l'élancement cette dernière année.

Chez le merisier, la croissance en hauteur est plus constante d'un an à l'autre. Mais la croissance en diamètre a doublé chaque année. Ceci engendre une diminution concomitante de la croissance en élancement.

Chez le chêne, les croissances et les valeurs atteintes en hauteur, diamètre ou élancement ne semblent pas être influencées par les modalités de paillage, sauf peut-être pour une infériorité de croissance en hauteur chez les chênes Témoins et une supériorité de croissance en hauteur en 2006 avec les grands paillis (ISOROY 4 et HPK 4) par rapport aux petits (ISOROY 2 et HPK 2).

Chez le merisier par contre, des différences marquantes apparaissent en fonction de la modalité de paillage. Les témoins croissent moins bien que les traités. Les désherbés croissent mieux que les paillés, mais cette différence tend à s'estomper en 2006. Pour les deux produits (ISOROY et HPK), la croissance augmente avec la taille du paillis. La croissance en hauteur de cette essence s'est ralentie en 2006 (49 cm par rapport à 58 cm en 2005) et ne montre plus de dépendance à la modalité de paillage ; la croissance en diamètre a par contre doublé en 2006 (10,5 mm par rapport à 5,1 mm en 2005 et 2,3 mm en 2004) et varie fortement entre modalités de paillage – mais de manière cohérente avec les conclusions ci-dessus.

Si un produit de paillage doit être désigné comme étant associé aux meilleures performances de croissance de ces essences au cours de cette expérience, c'est sans aucun doute le produit ISOROY 4.

4 ANNEXES

Pour chaque variable et chaque modalité, les tableaux ci-dessous donnent, pour les arbres croissants en 2006 (129 chênes et 247 merisiers) : le nombre d'observations, la moyenne, l'écart - type, le coefficient de variation (%), le minimum et le maximum observés ainsi que les quantiles 0,05 et 0,95 observés. Rappelons que 5% des valeurs de l'échantillon sont inférieures ou égales au quantile 0,05 et que 5% sont supérieures au quantile 0,95.

Il est à noter que pour ces variables d'accroissement, le coefficient de variation (C.V.) perd de sa signification : un accroissement moyen nul engendrerait un C.V. infini. Les hauteurs et les diamètres ne pouvant décroître, ceci ne peut cependant se produire que pour les élancements.

4.1 STATISTIQUES D'ACCROISSEMENT EN 2006 PAR ESSENCE ET PAR MODALITE

4.1.1 Croissance en hauteur (en cm)

Essence	Modalité	N	Moyenne	Écart-type	CV	Min	Max	Quantile5%	Quantile95%
Chêne	Contrôle	9	13,33	21,23	159,23	1	58	1,00	58,00
Chêne	Isoroy 2	20	17,40	23,37	134,32	0	70	0,05	69,90
Chêne	Isoroy 3	20	22,05	24,85	112,71	0	103	0,15	101,05
Chêne	Isoroy 4	19	30,79	22,92	74,45	2	78	2,00	78,00
Chêne	Désherbé	16	13,06	15,34	117,46	0	47	0,00	47,00
Chêne	HPK 2	11	9,91	11,54	116,42	1	33	1,00	33,00
Chêne	HPK3	12	23,25	23,21	99,85	1	62	1,00	62,00
Chêne	HPK 4	22	29,73	28,36	95,40	2	107	2,15	101,45
Merisier	Contrôle	30	49,33	30,38	61,59	16	146	17,65	140,50
Merisier	Isoroy 2	30	50,90	30,93	60,77	19	163	21,20	138,25
Merisier	Isoroy 3	32	48,59	18,38	37,83	8	96	21,65	92,75
Merisier	Isoroy 4	32	56,16	27,23	48,50	23	159	24,30	131,05
Merisier	Désherbé	32	42,91	15,56	36,25	10	78	15,85	71,50
Merisier	HPK 2	29	50,62	21,66	42,78	23	108	23,00	104,50
Merisier	HPK3	32	42,41	19,10	45,05	18	83	19,30	81,70
Merisier	HPK 4	30	48,17	16,14	33,50	29	108	30,10	98,10

4.1.2 Croissance en diamètre (en mm)

Essence	Modalité	N	Moyenne	Écart-type	CV	Min	Max	Quantile5%	Quantile95%
Chêne	Contrôle	9	0,56	1,01	182,48	0	3	0,00	3,00
Chêne	Isoroy 2	20	0,95	0,94	99,42	0	3	0,00	2,95
Chêne	Isoroy 3	20	0,85	0,88	102,95	0	3	0,00	2,95
Chêne	Isoroy 4	19	1,74	2,05	118,06	0	8	0,00	8,00
Chêne	Désherbé	16	0,94	0,85	91,08	0	3	0,00	3,00
Chêne	HPK 2	11	0,82	0,87	106,81	0	2	0,00	2,00
Chêne	HPK3	12	0,50	0,67	134,84	0	2	0,00	2,00
Chêne	HPK 4	22	1,23	1,60	130,50	0	5	0,00	5,00
Merisier	Contrôle	30	8,53	7,12	83,42	0	32	0,55	25,40
Merisier	Isoroy 2	30	9,17	5,78	63,10	2	26	2,55	22,70
Merisier	Isoroy 3	32	10,81	6,15	56,89	2	28	3,30	26,70
Merisier	Isoroy 4	32	14,09	6,53	46,35	4	33	5,30	31,05
Merisier	Désherbé	32	12,63	6,44	51,05	0	29	3,90	27,05
Merisier	HPK 2	29	8,59	5,51	64,21	1	21	1,00	20,50
Merisier	HPK3	32	7,63	3,91	51,26	0	18	1,30	16,05
Merisier	HPK 4	30	12,00	3,92	32,68	4	22	4,55	20,35

4.1.3 Croissance en élanement (en cm/cm)

Essence	Modalité	N	Moyenne	Écart-type	CV	Min	Max	Quantile5%	Quantile95%
Chêne	Contrôle	9	7,75	17,97	231,86	-23,67	37,50	-23,67	37,50
Chêne	Isoroy 2	20	9,37	22,59	241,01	-20,00	65,00	-19,82	64,52
Chêne	Isoroy 3	20	19,05	32,42	170,19	-12,62	131,19	-12,61	127,25
Chêne	Isoroy 4	19	18,86	28,06	148,80	-40,00	68,57	-40,00	68,57
Chêne	Désherbé	16	4,00	19,43	486,29	-27,22	43,61	-27,22	43,61
Chêne	HPK 2	11	2,86	11,40	398,25	-14,52	18,57	-14,52	18,57
Chêne	HPK3	12	22,15	24,28	109,63	1,43	77,50	1,43	77,50
Chêne	HPK 4	22	22,91	27,72	120,99	-34,00	80,71	-33,48	79,96
Merisier	Contrôle	30	-22,66	23,74	-104,80	-61,83	24,43	-58,06	22,99
Merisier	Isoroy 2	30	-25,52	17,59	-68,94	-55,74	22,86	-55,60	12,06
Merisier	Isoroy 3	32	-29,39	19,37	-65,92	-54,72	17,00	-53,65	11,91
Merisier	Isoroy 4	32	-36,77	13,82	-37,58	-65,38	-0,89	-57,54	-4,32
Merisier	Désherbé	32	-27,58	12,09	-43,83	-58,57	5,56	-50,82	-4,28
Merisier	HPK 2	29	-20,71	26,72	-129,03	-60,00	64,82	-54,63	52,02
Merisier	HPK3	32	-22,67	16,71	-73,72	-46,25	23,08	-46,23	15,28
Merisier	HPK 4	30	-32,64	15,78	-48,36	-57,82	15,56	-57,19	8,54

4.2 STATISTIQUES DES VALEURS ATTEINTES EN NOVEMBRE 2006 PAR ESSENCE ET PAR MODALITE

4.2.1 Hauteurs (en cm)

Essence	Modalité	N	Moyenne	Écart-type	CV	Min	Max	Quantile5%	Quantile95%
Chêne	Contrôle	9	80,11	21,20	26,47	61	118	61,00	118,00
Chêne	Isoroy 2	20	79,25	28,72	36,24	55	150	55,05	148,85
Chêne	Isoroy 3	20	80,80	28,19	34,89	53	170	53,15	167,65
Chêne	Isoroy 4	19	95,95	28,72	29,93	52	146	52,00	146,00
Chêne	Désherbé	16	80,31	23,77	29,60	54	128	54,00	128,00
Chêne	HPK 2	11	70,45	15,02	21,32	53	105	53,00	105,00
Chêne	HPK3	12	92,58	31,03	33,51	58	152	58,00	152,00
Chêne	HPK 4	22	91,36	39,25	42,96	56	216	56,30	204,15
Merisier	Contrôle	30	185,57	39,59	21,34	118	292	130,10	277,15
Merisier	Isoroy 2	30	187,63	27,27	14,53	126	277	139,20	254,45
Merisier	Isoroy 3	32	197,56	27,06	13,70	112	262	139,95	247,70
Merisier	Isoroy 4	32	219,13	32,44	14,80	162	328	172,40	302,00
Merisier	Désherbé	32	222,00	28,10	12,66	171	294	175,55	282,30
Merisier	HPK 2	29	193,41	32,81	16,97	156	290	156,50	280,00
Merisier	HPK3	32	190,53	22,59	11,86	151	245	155,55	233,30
Merisier	HPK 4	30	206,30	20,89	10,13	169	263	173,40	259,70

4.2.2 Diamètres (en mm)

Essence	Modalité	N	Moyenne	Écart-type	CV	Min	Max	Quantile5%	Quantile95%
Chêne	Contrôle	9	8,33	2,29	27,50	5	12	5,00	12,00
Chêne	Isoroy 2	20	7,25	1,55	21,40	5	11	5,00	10,90
Chêne	Isoroy 3	20	7,75	1,29	16,68	6	10	6,00	10,00
Chêne	Isoroy 4	19	8,95	2,37	26,47	6	16	6,00	16,00
Chêne	Désherbé	16	8,44	1,63	19,34	5	11	5,00	11,00
Chêne	HPK 2	11	7,55	1,29	17,14	6	10	6,00	10,00
Chêne	HPK3	12	7,92	1,38	17,42	6	11	6,00	11,00
Chêne	HPK 4	22	8,18	2,48	30,32	4	15	4,30	14,55
Merisier	Contrôle	30	19,23	8,70	45,26	9	43	9,55	40,25
Merisier	Isoroy 2	30	20,40	7,36	36,08	9	46	11,20	38,30
Merisier	Isoroy 3	32	23,25	8,25	35,50	10	43	11,30	43,00
Merisier	Isoroy 4	32	28,31	7,81	27,58	15	50	16,95	47,40
Merisier	Désherbé	32	30,13	9,07	30,12	18	55	18,00	54,35
Merisier	HPK 2	29	20,38	7,24	35,54	10	41	10,50	38,50
Merisier	HPK3	32	20,06	4,75	23,68	13	31	13,00	31,00
Merisier	HPK 4	30	26,13	5,44	20,81	15	43	16,65	37,50

4.2.3 Élancements (en cm/cm)

Essence	Modalité	N	Moyenne	Écart-type	CV	Min	Max	Quantile5%	Quantile95%
Chêne	Contrôle	9	99,85	24,88	24,92	61,00	128,33	61,00	128,33
Chêne	Isoroy 2	20	108,74	25,21	23,18	62,22	158,75	63,18	158,56
Chêne	Isoroy 3	20	105,49	37,77	35,81	63,33	242,86	63,89	237,55
Chêne	Isoroy 4	19	110,09	30,70	27,88	52,00	168,57	52,00	168,57
Chêne	Désherbé	16	95,05	19,41	20,42	67,50	142,22	67,50	142,22
Chêne	HPK 2	11	93,96	16,20	17,24	74,00	121,67	74,00	121,67
Chêne	HPK3	12	116,50	31,42	26,97	78,75	176,25	78,75	176,25
Chêne	HPK 4	22	113,35	34,23	30,20	56,00	195,71	57,77	191,11
Merisier	Contrôle	30	106,94	27,34	25,57	61,40	153,00	64,51	149,15
Merisier	Isoroy 2	30	98,41	20,88	21,21	60,22	140,00	62,58	139,58
Merisier	Isoroy 3	32	91,64	20,98	22,90	53,72	129,17	58,41	126,68
Merisier	Isoroy 4	32	80,15	12,01	14,98	58,11	108,00	59,84	107,86
Merisier	Désherbé	32	77,16	12,88	16,69	50,18	100,56	52,95	99,47
Merisier	HPK 2	29	101,75	23,18	22,78	70,73	157,00	71,57	149,41
Merisier	HPK3	32	97,86	15,00	15,33	70,65	135,00	76,10	129,75
Merisier	HPK 4	30	81,35	14,22	17,48	50,93	115,56	58,25	113,97