

1997

## Étude sur la « grimpabilité » des poteaux de bois dans le cadre de l'entente conjointe Hydro-Québec et Bell Canada

Yves Beauchamp  
*ÉTS*

Marc Thomas  
*ÉTS*

Jean Arteau  
*IRSST*

Denis Marchand  
*Université du Québec à Montréal*

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

---

### Citation recommandée

Beauchamp, Y., Thomas, M., Arteau, J. et Marchand, D. (1997). *Étude sur la « grimpabilité » des poteaux de bois dans le cadre de l'entente conjointe Hydro-Québec et Bell Canada* (Rapport n° R-164). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter [pharesst@irsst.qc.ca](mailto:pharesst@irsst.qc.ca).

**Étude sur la « grimpabilité »  
des poteaux de bois  
dans le cadre  
de l'entente conjointe  
Hydro-Québec et Bell Canada**

**Yves Beauchamp  
Marc Thomas  
Jean Arteau  
Denis Marchand**

**ÉTUDES ET  
RECHERCHES**

**AOÛT 1997**

**R-164**

**RAPPORT**



**IRSST**  
Institut de recherche  
en santé et en sécurité  
du travail du Québec

## La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

### ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal  
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications  
505, boul. de Maisonneuve Ouest  
Montréal (Québec)  
H3A 3C2  
Téléphone : (514) 288-1 551  
Télécopieur: (514) 288-7636  
Site internet : [www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)  
© Institut de recherche en santé  
et en sécurité du travail du Québec,

**Étude sur la « grimpabilité »  
des poteaux de bois  
dans le cadre  
de l'entente conjointe  
Hydro-Québec et Bell**

Yves Beauchamp, Marc Thomas  
École de technologie supérieure

Jean Arteau,  
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

Denis Marchand  
Université du Québec à Montréal

**ÉTUDES ET  
RECHERCHES**

**RAPPORT**

## **Remerciements**

Les auteurs tiennent à remercier les membres du comité aviseur, dont plus particulièrement Messieurs Claude Roy (Bell Canada) ainsi que Roland Gilbert et André Besner (IREQ), pour leurs participation active dans toutes les étapes de l'étude, ainsi que Messieurs Jacques Fortin (Hydro-Québec), Frank Ma (Union Carbide), Pascal Octeau (CRIQ) et Wayne Zirk (Union Carbide) pour leur contribution lors de la planification et la réalisation de l'étude.

Les auteurs tiennent également à remercier Monsieur Martin Brosseau, professionnel de recherche au sein de l'Équipe de recherche en sécurité du travail (EREST) de l'ÉTS pour sa participation active lors de la préparation du site, de la planification et de la réalisation des essais. Ils tiennent à souligner la contribution de Monsieur Gaëtan Chénier, chef - méthode et soutien chez Bell Canada, lors de la préparation du site d'expérimentation et à souligner la participation de Madame Julie Charland, étudiante à la maîtrise en kinanthropologie à l'Université du Québec à Montréal lors de la réalisation des essais expérimentaux,.

Les responsables sont également immensément reconnaissants envers tous les monteurs(re) qui ont participé à l'étude.

Enfin, les responsables remercient l'Institut de recherche en santé et sécurité du travail pour le soutien financier accordé ainsi que les compagnies Bell Canada et Hydro-Québec pour avoir fourni le site expérimental, les monteurs et les poteaux selon les spécifications demandées.

# Table des matières

<b>1.0</b>	<b>Contexte du projet de recherche.....</b>	<b>1</b>
<b>2.0</b>	<b>Problématique du travail des monteurs sur les poteaux de bois.....</b>	<b>1</b>
2.1	Les monteurs.....	1
2.2	Les poteaux.....	1
2.3	La santé et la sécurité du travail.....	2
2.4	Problématique de la grimabilité.....	2
2.5	Problématique spécifique au projet.....	2
<b>3.0</b>	<b>Revue des principales études.....</b>	<b>3</b>
<b>4.0</b>	<b>Objectifs.....</b>	<b>5</b>
<b>5.0</b>	<b>Composition du comité de travail.....</b>	<b>5</b>
5.1	Tâches.....	5
<b>6.0</b>	<b>Réalisation d'une étude pilote.....</b>	<b>7</b>
6.1	Méthodologie expérimentale.....	7
6.1.1	Variables indépendantes.....	7
6.1.2	Plans d'expériences.....	8
6.1.3	Variables dépendantes.....	9
6.1.4	Caractéristiques des monteurs participants.....	11
6.1.5	Caractéristiques des poteaux utilisés.....	11
6.2	Procédure générale.....	11
6.2.1	Plan d'expériences n°1.....	11
6.2.2	Plan d'expériences n°2.....	12
6.3	Résultats.....	13
6.3.1	Plan d'expériences n°1.....	13
	• Perception psychophysique.....	13
	• Fréquence cardiaque.....	15
	• Pourcentage d'utilisation musculaire.....	16
6.3.2	Plan d'expériences n°2.....	16
6.4	Synthèse des analyses statistiques de l'étude pilote.....	19
<b>7.0</b>	<b>Étude principale.....</b>	<b>22</b>
7.1	Variables indépendantes.....	22
7.2	Caractéristiques des poteaux utilisés.....	22
7.3	Plan d'expériences.....	24
7.3.1	Variables dépendantes.....	24
	• Mesure de la perception psychophysique.....	24
	• Mesure du pourcentage d'utilisation musculaire.....	25
	• Mesure effectuée à l'aide d'un éperon instrumenté.....	26
7.3.2	Caractéristiques des monteurs participants.....	28
7.4	Procédure générale et déroulement des mesures.....	30
	• Monteurs instrumentés.....	33
7.5	Résultats.....	34
7.5.1	Évaluation psychophysique.....	34

•	Appréciation de la dureté du poteau.....	34
•	Niveau d'inconfort physique ressenti à grimper le poteau.....	36
•	Sentiment de sécurité.....	37
•	Appréciation globale du poteau.....	38
7.5.2	Provenance des monteurs.....	40
•	Appréciation de la dureté du poteau selon la provenance des monteurs.....	40
•	Niveau d'inconfort physique perçu à grimper le poteau selon la provenance des monteurs.....	42
•	Sentiment de sécurité selon la provenance des monteurs.....	44
•	Appréciation globale du poteau selon la provenance des monteurs.....	46
7.5.3	« Acceptabilité » des poteaux étudiés.....	48
7.5.4	Mesures physiques.....	50
•	Pénétration de la griffe en montée.....	51
•	Pénétration de la griffe en descente.....	54
•	Impact générée par la pénétration de la griffe en montée.....	56
•	Impact générée par la pénétration de la griffe en descente.....	57
7.5.5	L'effet du poids des monteurs sur les mesures physiques.....	58
7.5.6	Mesures électromyographiques et cinématiques.....	60
•	Compilation des données.....	60
•	Résultats de l'électromyographie (EMG).....	61
•	La montée des poteaux.....	61
•	La descente des poteaux.....	64
•	Analyse de la cinématique du mouvement.....	65
•	Analyse de la demande musculaire à l'impact.....	65
•	Limitation de l'étude en ce qui a trait aux valeurs PUM obtenues lors des tests.....	66
7.5.7	Comparaison des mesures physiques et psychophysiques.....	67
•	Appréciation de la dureté du poteau.....	67
•	Niveau d'inconfort physique perçu à grimper le poteau.....	70
•	Sentiment de sécurité.....	71
•	Appréciation globale du poteau.....	73
<b>8.0</b>	<b>Synthèse et Conclusion.....</b>	<b>79</b>
8.1	Synthèse.....	79
•	Évaluation psychophysique.....	79
•	Mesures physiques.....	80
•	Mesures électromyographiques et cardiaques.....	80
•	Relations entre les mesures physiques et psychophysiques.....	81
8.2	Conclusion.....	82
	<b>Références.....</b>	<b>86</b>
<b>Annexes</b>		
Annexe 1	Questionnaire d'évaluation psychophysique : Étude pilote	
Annexe 2	Formulaires de consentement : Étude pilote	
Annexe 3	Caractéristiques des poteaux utilisés : Étude principale	
Annexe 4	Questionnaire d'évaluation psychophysique : Étude principale	
Annexe 5	Formulaires de consentement : Étude principale	

## Liste des figures

Figure 1	Représentation schématique du déroulement de l'étude pilote.....	9
Figure 2	Représentation schématique du déroulement d'un essai type du plan n°1.....	13
Figure 3	Graphique de l'appréciation de la dureté en fonction de la dureté « Pilodyn » .....	15
Figure 4	Graphique de la fréquence cardiaque en fonction de la hauteur de grimpage.....	16
Figure 5	Graphique de l'appréciation de la dureté en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne des poteaux (Hydro-Québec & Bell Canada combinée).....	17
Figure 6	Graphique de l'interaction Compagnie x Dureté "Pilodyn" .....	18
Figure 7	Angle de pénétration .....	27
Figure 8	Instrumentation de l'éperon Bashlin utilisé pour la collecte des mesures physiques.....	27
Figure 9	Système d'acquisition de données.....	28
Figure 10	Vue de la position des poteaux à l'intérieur du site d'expérimentation .....	30
Figure 11	Vue extérieure du site d'expérimentation de l'étude principale.....	30
Figure 12	Schématisation d'une journée type d'expérimentation (étude principale).....	31
Figure 13	Monteur utilisant une courroie de positionnement munie d'un système d'arrêt de chute.....	32
Figure 14	Grimpement d'un poteau à l'aide de l'éperon instrumenté .....	33
Figure 15	Graphique de l'appréciation de la dureté du poteau en fonction de la dureté «Pilodyn» moyenne .....	35
Figure 16	Graphique de l'inconfort physique ressenti en fonction de la dureté «Pilodyn» moyenne.....	37
Figure 17	Graphique du sentiment de sécurité exprimé par les monteurs lorsqu'ils se trouvaient dans le poteau en fonction de la dureté «Pilodyn» moyenne.....	38
Figure 18	Graphique de l'appréciation globale du poteau en fonction de la dureté «Pilodyn» moyenne .....	39
Figure 19	Graphique de l'appréciation de la dureté du poteau en fonction de la provenance des monteurs.....	41
Figure 20	Graphique de l'appréciation de la dureté du poteau en fonction de la provenance des monteurs participants et de la combinaison essence- traitement .....	42
Figure 21	Graphique du niveau d'inconfort physique ressenti à grimper dans le poteau en fonction de la provenance des monteurs .....	43
Figure 22	Graphique du niveau d'inconfort physique ressenti à grimper dans le poteau en fonction de la provenance des monteurs participants et de la combinaison essence-traitement.....	44
Figure 23	Graphique du sentiment de sécurité en fonction de la provenance des monteurs .....	45
Figure 24	Graphique du sentiment de sécurité en fonction de la provenance des monteurs et de la combinaison essence-traitement.....	46
Figure 25	Graphique de l'appréciation globale du poteau en fonction de la provenance des monteurs.....	47

Figure 26	Graphique de l'appréciation globale du poteau en fonction de la provenance des monteuses et de la combinaison essence-traitement.....	48
Figure 27	Pourcentage d'acceptabilité des poteaux en fonction de la combinaison essence-traitement et de la dureté "Pilodyn" moyenne (A) et catégorisation des poteaux en fonction du pourcentage d'acceptabilité (B).....	49
Figure 28	Exemple d'enregistrement d'une seule pénétration durant la montée.....	50
Figure 29	Exemple d'enregistrement de l'impact (g) d'une seule pénétration durant la montée avec une illustration de la correspondance entre la pénétration de la griffe et les impacts résultants .....	51
Figure 30	Graphique de la pénétration de la griffe en montée en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne.....	53
Figure 31	Graphique de l'humidité moyenne des poteaux en fonction de la densité totale moyenne pour les différentes dureté « Pilodyn » .....	54
Figure 32	Graphique de la pénétration de la griffe en descente en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne.....	55
Figure 33	Graphique de l'impact généré par la pénétration en montée en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne .....	56
Figure 34	Graphique de l'impact généré par la pénétration en descente en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne .....	57
Figure 35	Graphique de la pénétration en montée en fonction de la catégorie de poids des monteuses instrumentés .....	58
Figure 36	Graphique de la pénétration en descente en fonction de la catégorie de poids des monteuses instrumentés .....	59
Figure 37	Graphique de l'impact généré en montée en fonction de la catégorie de poids des monteuses instrumentés .....	59
Figure 38	Exemple d'enregistrement des signaux EMG et cinématique lors de la montée.....	60
Figure 39	Graphique de l'activation moyenne du droit antérieur en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne.....	62
Figure 40	Graphique de l'activation totale du droit antérieur en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne.....	63
Figure 41	Graphique de l'activation moyenne du tenseur du fascia lata en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne.....	65
Figure 42	Graphique de la comparaison entre de la "flexibilité perçue" et la pénétration de la griffe en montée en fonction de la classe de dureté moyenne du poteau.....	68
Figure 43	Graphique de la comparaison entre de l'appréciation de la dureté" et l'impact généré par la pénétration de la griffe en descente en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne du poteau .....	69
Figure 44	Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et l'appréciation de la dureté.....	70
Figure 45	Graphique de la relation entre l'impact mesuré en descente et l'appréciation de la dureté.....	70
Figure 46	Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et l'inconfort perçu.....	71
Figure 47	Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et l'inconfort perçu.....	71
Figure 48	Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et la perception de sécurité.....	72

---

Figure 49	Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et la perception de sécurité.....	72
Figure 50	Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et l'appréciation globale.....	73
Figure 51	Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et l'appréciation globale.....	73
Figure 52	Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et le pourcentage d'acceptabilité.....	75
Figure 53	Graphique de la relation entre l'impact mesuré en descente et le pourcentage d'acceptabilité.....	76
Figure 54	Graphique illustrant les niveaux moyens de pénétration en montée des poteaux.....	76
Figure 55	Graphique illustrant les niveaux moyens de pénétration en descente des poteaux.....	77
Figure 56	Graphique illustrant le rapport entre la moyenne des pénétrations et la moyenne des impacts en montée et en descente.....	78

## Liste des tableaux

Tableau 1	Niveaux des variables indépendantes de l'étude pilote .....	8
Tableau 2	Caractéristiques des monteurs en provenance d'Hydro-Québec .....	11
Tableau 3	Caractéristiques des monteurs en provenance de Bell Canada .....	11
Tableau 4	Tableau ANOVA de l'appréciation de la dureté du poteau de référence.....	14
Tableau 5	Tableau ANOVA de l'appréciation de la dureté des poteaux.....	15
Tableau 6	Tableau ANOVA de la fréquence cardiaque .....	16
Tableau 8	Tableau ANOVA de l'appréciation de la dureté.....	17
Tableau 9	Tableau ANOVA du sentiment de sécurité.....	18
Tableau 10	Sommaire des résultats de l'étude pilote (plans n°1 et 2) .....	19
Tableau 11	Niveaux des variables indépendantes désirées de l'étude principale.....	22
Tableau 12	Caractéristiques des poteaux évalués dans l'étude principale .....	23
Tableau 13	Caractéristiques des monteurs participants.....	29
Tableau 14	Caractéristiques des monteurs d'Hydro-Québec selon les catégories "Hydro-Québec - poids léger" et "Hydro-Québec" .....	29
Tableau 15	Tableau ANOVA de l'appréciation de la dureté du poteau.....	35
Tableau 16	Tableau ANOVA du niveau d'inconfort ressenti à grimper le poteau .....	36
Tableau 17	Tableau ANOVA du sentiment de sécurité exprimé par les monteurs lorsqu'ils se trouvaient dans le poteau .....	37
Tableau 18	Tableau ANOVA de l'appréciation globale des poteaux.....	39
Tableau 19	Tableau ANOVA de l'appréciation de la dureté du poteau.....	40
Tableau 20	Tableau ANOVA du niveau d'inconfort ressenti à grimper le poteau .....	43
Tableau 21	Tableau ANOVA du sentiment de sécurité.....	45
Tableau 22	Tableau ANOVA de l'appréciation globale du poteau.....	47
Tableau 23	Tableau des catégories des poteaux définies en fonction des taux d'acceptabilité.....	50
Tableau 24	Tableau ANOVA de la pénétration de la griffe en montée.....	51
Tableau 25	Tableau ANOVA de la pénétration de la griffe en descente.....	54
Tableau 26	Tableau ANOVA de l'impact généré par la pénétration en montée.....	56
Tableau 27	Tableau ANOVA de l'impact généré par la pénétration en descente.....	57
Tableau 28	Tableau sommaire des résultats des analyses de variance effectuées sur l'ensemble des variables dépendantes issues de la mesure des signaux électromyographiques.....	61
Tableau 29	Tableau ANOVA de l'activation musculaire moyenne du droit antérieur en montée .....	62
Tableau 30	Tableau ANOVA de l'activation musculaire totale du droit antérieur en montée .....	63
Tableau 31	Tableau ANOVA de l'activation musculaire moyenne du biceps fémoral en montée .....	64
Tableau 32	Tableau ANOVA de l'activation musculaire moyenne du tenseur du fascia lata en descente .....	64
Tableau 33	Tableau ANOVA de l'activation musculaire totale du tenseur du fascia lata en descente.....	64
Tableau 34	Discrimination de l'acceptabilité des poteaux à l'aide des mesures physiques .....	77

## 1.0 Contexte du projet de recherche

En janvier 1995, une réunion sur les poteaux de bois a regroupé Bell Canada, Hydro-Québec distribution, Union Carbide, LPB (un traiteur de poteaux) et l'IRSST. Un consensus a été atteint sur la nécessité d'une étude sur la grimpabilité des poteaux de bois et trois sujets de recherche ont été identifiés :

- 1) Évaluation psychophysique de la grimpabilité.  
*Maître d'oeuvre : IRSST-ÉTS.*
- 2) Développement d'un instrument de mesure de la pénétrabilité d'un poteau.  
*Maître d'oeuvre : Hydro-Québec (IREQ) et Bell Canada (CERRE).*
- 3) Vieillessement des poteaux CCA-PEG+.  
*Maître d'oeuvre : LPB*

La relation entre les trois sujets de recherche est la suivante :

- le groupe de travail « Évaluation psychophysique de la grimpabilité » vise à mesurer le degré d'acceptabilité des poteaux en corrélation avec la dureté des poteaux ou tout autre paramètre mécanique ;
- le groupe de travail « Développement d'un instrument de mesure » veut améliorer ou développer un instrument de mesure indépendant de la combinaison essence-traitement ;
- quant au groupe « Vieillessement des poteaux CCA-PEG + », il veut statuer sur l'évolution de la dureté des poteaux en fonction du temps.

Le présent rapport de recherche présente les résultats obtenus par le groupe de travail « Évaluation psychophysique de la grimpabilité ».

## 2.0 Problématique du travail des monteurs sur des poteaux de bois

### 2.1 Les monteurs

Au Québec, on compte environ 2,4 millions de poteaux de bois pour la distribution des lignes téléphoniques et de l'électricité basse tension aux résidences et aux commerces. Ces poteaux se retrouvent principalement le long des voies de circulation et en arrière-lots dans les quartiers résidentiels. Les monteurs de lignes de Bell, d'Hydro-Québec et de leurs sous-traitants exécutent des tâches de pose, de remplacement et de réparation de conducteurs, de câbles et d'appareils. Ces tâches sont exécutées avec des nacelles, lorsque les poteaux sont le long des voies de circulation, et en grimpant à l'éperon, lorsque les poteaux sont en arrière-lots ou inaccessibles. Les monteurs de lignes sont environ 5 000 au Québec et travaillent pour les compagnies de téléphonie (Bell Canada, Québec Téléphone, Télébec, etc.), les compagnies de distribution d'électricité (Hydro-Québec, Hydro-Sherbrooke, etc.) et les entrepreneurs spécialisés de la construction. Ils travaillent sur des systèmes dont la sûreté est maintenant essentielle pour le bon fonctionnement de la société. Enfin, leur formation est longue, l'apprentissage dure environ trois à quatre ans.

## 2.2 Les poteaux

Les poteaux de bois proviennent de divers essences comme : pin rouge, pin gris, cèdre de l'ouest, sapin de Douglas, pin Ponderosa, pin de Murray, thuya de l'est, pin jaune du sud, etc. Pour prolonger leur vie utile, les poteaux sont séchés, stérilisés puis traités avec un préservatif comme encore le créosote, mais plus fréquemment, le pentachlorophénol (penta ou PCP-huile) et l'arséniat de cuivre chromaté (chromated copper arsenate CCA). Or, le CCA est réputé pour durcir la surface du poteau d'où le risque de réduction de pénétration des éperons, affectant ainsi la grimabilité. La grimabilité est définie comme étant la facilité à grimper un poteau avec des éperons. Pour contrôler le durcissement, des ramollissants comme le polyéthylène-glycol (PEG) pour le CCA (CCA-PEG) sont ajoutés. Cependant, les ramollissants s'évaporent ou se lessivent avec le temps (e.g. PEG), causant ainsi un durcissement progressif qui se stabilise après quelques années. L'huile, utilisé comme solvant du PCP, agirait aussi comme lubrifiant ce qui pourrait affecter la dureté superficielle du poteau. Celle-ci s'écoule vers la base du poteau, une fraction étant évaporée, ce qui est néfaste pour l'environnement. L'effet de l'huile sur la dureté demeure néanmoins controversé.

## 2.3 La santé et la sécurité du travail

Outre les problèmes d'environnement et les dangers d'électrocution, les problèmes liés à la santé et à la sécurité au travail avec les poteaux de bois traités se divisent en trois groupes.

- 1- les dermatites, les allergies et les intoxications liés aux contacts avec les préservatifs du bois;
- 2- les chutes par dérapage lorsqu'un éperon glisse ou se désengage et les chutes libres à cause d'une rupture ou d'une mauvaise mise en place du système de positionnement (ceinture de monteur et courroie de poteau);
- 3 - des lésions musculosquelettiques et la charge physiologique et psychophysique (coût cardiaque, activation musculaire, perception de l'effort) liés à la grimabilité des poteaux.

Les problèmes du groupe 1 ont déjà été analysés (Goyer, 1976). Ceux du groupe 2 font l'objet de travaux de recherche et d'essais à l'IRSSST (Arteau et al, 1997; Beauchamp et al, 1996). Ceux du groupe 3 font partie du présent rapport de recherche.

## 2.4 Problématique de la grimabilité

Depuis l'introduction des traitements au CCA, la grimabilité fait l'objet de controverses en relation avec la dureté. Ces controverses se manifestent par des refus de travail, l'exclusion d'une essence comme le pin jaune du sud traitée au CCA et au Québec, par l'utilisation des poteaux traités aux CCA-PEG uniquement dans les endroits accessibles à la nacelle.

En effet, un poteau trop dur pourrait causer des problèmes musculosquelettiques et empêcher l'éperon de pénétrer suffisamment pour assurer un appui, et augmenter ainsi les risques de chute par dérapage. Un poteau trop mou permettra une pénétration très grande de l'éperon qui sera alors difficile à sortir du bois; cette situation amènera d'autres types de risques musculosquelettiques et de chutes.

Ainsi, en parallèle à la grimpabilité, des questions de coût cardiaque et de lésions musculosquelettiques sont implicitement soulevées.

## 2.5 Problématique spécifique au projet

Bell Canada et Hydro-Québec utilisent conjointement 1,2 million de poteaux. Malgré les études réalisées par Ontario-Hydro et Bell Canada (OH - BNR - BC 1983, Messina et Landry 1986, Hanrahan 1993) qui ont mené à une limite de dureté acceptable de 11 mm Pilodyn et une limite de dureté dite « non grimvable » de 9,6 mm Pilodyn, la controverse demeure entière au Québec. De plus, l'introduction du PEG+ par Union Carbide depuis 1994 relance cette problématique.

## 3.0 Revue des principales études

Un examen de la littérature a permis d'identifier cinq (5) études pertinentes à la problématique de la grimpabilité des poteaux de distribution.

Hawthorne (1981) rapporte les résultats d'une étude expérimentale réalisée pour le compte d'Hydro-Ontario. L'étude avait pour objectif l'évaluation de la perception du niveau de difficulté chez des monteurs de lignes pour des activités de montées/descentes dans différents types de poteaux. Les perceptions des sujets ont par la suite été corrélées avec des mesures de dureté effectuées sur chacun des poteaux. Au total, onze (11) différentes combinaisons essence—traitement ont été évaluées. Six (6) sujets ont participé à l'étude. Les résultats ont permis de catégoriser les combinaisons essence—traitement en deux (2) groupes distincts. De façon générale, les sujets préféraient les combinaisons du groupe suivant : pin traité au Penta; cèdre de l'ouest non-traité et cèdre de l'ouest traité au ACA (Ammoniacal Copper Arsenate). Ces combinaisons présentaient aussi une dureté moyenne plus faible. Enfin, l'auteur émet l'hypothèse que la couleur verte des poteaux aurait pu influencer les réponses des monteurs et que l'huile pourrait avoir un effet lubrifiant.

Hydro-Ontario et Bell Canada (1983) ont publié les résultats d'une étude portant sur la relation existante entre la dureté des poteaux et la grimpabilité (perception). Huit (8) monteurs de lignes ont participé à l'expérimentation, laquelle consistait à faire grimper les sujets dans trois catégories de poteaux classifiés selon leur dureté moyenne : faible dureté (pénétration > 20 mm); dureté modérée (pénétration 15 mm) et dureté élevée (pénétration < 10 mm). L'ordre de grimpage n'était pas aléatoire mais toujours moyen (16.3 mm), dur (9.7 mm) et mou (21.8 mm). À chaque essai, les sujets devaient monter au sommet du poteau, effectuer une certaine tâche puis descendre du poteau. Les variables dépendantes étaient les suivantes : les forces agissant sur les griffes (mesurées à l'aide de jauges de contrainte et d'un accéléromètre), l'angle du genou (mesuré à l'aide d'un électrogoniomètre), le rythme cardiaque, la chronométrie des activités (mesurée à l'aide d'un système vidéo) et la perception du risque (évaluée à l'aide d'un questionnaire). Les résultats révèlent que la technique de grimpage des monteurs de lignes est directement affectée par la dureté du poteau. Les auteurs rapportent aussi que la dépense énergétique peut augmenter avec la dureté du poteau. De plus, ils rapportent que la perception du risque chez les monteurs de lignes augmentait avec la dureté du poteau. Également, ils mentionnent qu'une modification de la technique de grimpage (déstabilisation) et qu'une augmentation de la dépense énergétique (fatigue accrue) peuvent entraîner une augmentation du risque de chute. Aussi, il est important de mentionner que le poteau mou a

été remplacé durant l'expérimentation soit un cèdre de l'ouest (western cedar) par un pin jaune du sud (southern yellow pine). De plus, les trois poteaux ont des essences différentes, des traitements différents et des duretés différentes d'une telle sorte que les différences observées dans les résultats sont difficilement attribuables à l'essence, au traitement, à la dureté ou encore, à des combinaisons de ceux-ci. Enfin, l'ordre des essais n'était pas aléatoire mais toujours moyen (16.3 mm), dur (9.7 mm) et mou (21.8 mm).

Le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) a réalisé, pour le compte de l'Association canadienne de l'électricité (CEA), une étude qui visait à définir certains critères permettant d'améliorer la conception existante des griffes de monteur afin de diminuer les risques d'accidents (Rapport CEA n° 096 D 496, 1987). Partant d'une étude des caractéristiques des éperons existants, d'essais expérimentaux en conditions réelles ainsi qu'en laboratoire et d'une modélisation mathématique des conditions d'utilisation de la griffe, les auteurs ont pu établir certains critères visant à améliorer la performance de la griffe dans le bois. Ces critères ont été pris en considération dans la conception préliminaire d'une griffe présentée dans le rapport de l'étude. Enfin, les auteurs proposent une conception d'un système d'arrêt complet; un tel système devant servir pour pallier à tout défaut du premier système.

La division santé & sécurité (Health & Safety Division) d'Hydro-Ontario a réalisé une étude sur l'influence de certains facteurs sur la grimpabilité de poteaux traités au CCA-PEG (Hanrahan, 1993). Les facteurs considérés étaient les suivants : la dureté du bois estimée à partir de la mesure de la pénétration à l'aide d'un Pilodyn, l'âge du poteau de bois (nombre d'années de service), le pourcentage d'humidité relative du bois et la température extérieure. À partir d'un banc d'essai, les auteurs ont évalué, pour quatre types de griffes commercialement disponibles, les pénétrations dynamiques et statiques pour différentes charges appliquées, le glissement de la griffe sur la surface du poteau pour une pénétration minimale lorsqu'elle est soumise à une charge de 250 lbs, l'effet de l'affûtage sur l'habileté de la griffe à pénétrer la surface et à maintenir une charge appliquée, ainsi que la force requise pour retirer la griffe suite à une pénétration dynamique. Les auteurs concluent entre autres que le PEG ne constituait pas un ramollissant efficace après un nombre d'années de service de 3 à 5 ans et que la dureté des poteaux traités au CCA-PEG variait significativement en fonction des conditions environnementales. De plus, ils mentionnent que l'affûtage de la griffe représentait le facteur qui affectait le plus la grimpabilité des poteaux traités au CCA-PEG. Enfin, ils mentionnent qu'un poteau, dont la pénétration moyenne est inférieure à 9.6 mm (estimée au Pilodyn), ne devrait pas être grimpé à l'éperon et que les poteaux de pénétration Pilodyn 11 mm peuvent être grimpés d'une manière sécuritaire bien que plus durs que la moyenne.

Enfin, mentionnons l'existence d'un rapport synthèse sur la grimpabilité des poteaux traités au CCA (Brudermann, 1994). Les objectifs du rapport sont de dresser l'inventaire des principaux problèmes associés à la grimpabilité des poteaux traités au CCA et d'identifier des solutions potentielles. Les informations contenues dans ce rapport sont issues d'une enquête effectuée auprès des principaux manufacturiers nord-américains d'équipements de grimpage et d'une revue de la documentation inhérente. L'auteur rapporte que le traitement de poteaux au CCA contribue à leur dureté et à leur difficulté de grimpage. L'analyse des données d'accidents, toutefois, ne permet pas d'établir une relation directe entre l'utilisation du CCA et la fréquence des accidents. Pour contrôler le durcissement, un ramollissant comme le polyéthylène glycol (PEG) est ajouté, ce qui semble amoindrir la problématique

liée à l'utilisation du CCA. Enfin, l'auteur mentionne que des études portant sur la grimabilité associée avec l'utilisation d'autres formulations devraient être effectuées.

Les études ci-haut mentionnées ont permis d'identifier les facteurs qui influencent la grimabilité des poteaux de distribution, mais par ailleurs l'évaluation des principales variables n'a jamais été réalisée dans le contexte d'une expérimentation contrôlée. Les objectifs de ces études étant différents, celles-ci peuvent être criticables aux points de vue méthodologique et statistique.

#### 4.0 Objectifs

L'objectif de cette étude est d'étudier, des points de vue psychophysique, physiologique et biomécanique l'influence de la dureté du bois sur la «grimabilité» de poteaux (essences variés) traités avec des préservatifs à base d'eau ou d'huile. Plus particulièrement, il s'agit d'évaluer si les variables précédentes ont une influence sur la perception psychophysique (perception de la dureté, de l'insécurité, de l'inconfort et de l'impact ressenti), les réactions physiologiques (rythme cardiaque) des monteurs de lignes, de même que l'activité musculaire des principaux muscles impliqués.

Il s'agit aussi d'établir une corrélation entre les perceptions psychophysiques des monteurs de lignes et un indicateur physique (e.g. pénétration de la griffe dans le bois, force de pénétration dans la direction de la jambe, l'impact généré par la pénétration et l'angle frontal de pénétration mesuré entre l'éperon et le poteau), de telle sorte que les éléments permettant d'établir une limite de la grimabilité des poteaux soient définis.

#### 5.0 Composition du comité de travail

Le comité de travail était sous la direction de l'IRSST et de l'ÉTS. Ses membres et leur champs d'expertise respectifs sont présentés au tableau qui suit.

Membre	Institution	Champ d'expertise
J. Arteau, ing., Ph.D.	IRSST	Protection contre les chutes
Y. Beauchamp, ing., Ph.D.	ÉTS	Ergonomie
M. Thomas, ing., Ph.D.	ÉTS	Mécanique dont entre autres des travaux sur les éperons
D. Marchand, Ph.D.	UQAM	Biomécanique et neuro-physiologie
C. Roy, ing.	CERRE (Bell Canada)	Poteaux de bois
R. Gilbert, Ph.D. chimie	IREQ (HQ)	Chimie des matériaux et traitement du bois
A. Besner, Ph.D. chimie	IREQ (HQ)	Chimie des matériaux et traitement du bois
J. Fortin	Hydro-Québec	Poteaux de bois
W. Zirk, statisticien sénior	Union Carbide	Plan d'expériences
F. Ma, Ph.D. chimie	Union Carbide	Créateur du PEG+

## 5.1 Tâches

Au départ, les grandes lignes de la méthodologie expérimentale étaient connues, soit la mesure des perceptions psychophysiques des monteurs, de paramètres mécaniques sur un éperon instrumenté et de mesures physiologiques, faites durant un travail simulé sur un nombre égal de poteaux verts (CCA) et de poteaux bruns (huile) répartis uniformément dans des classes de dureté Pilodyn de 9 à 14 mm. Le travail du comité était de raffiner cette méthodologie, principalement sur les caractéristiques des poteaux comme les essences, les traitements, les duretés, la densité, l'humidité, chaque membre apportant sa contribution. La variable « type d'éperons » n'a pas été retenue à ce stade-ci pour ne pas alourdir le protocole expérimentale; cependant, nous avons effectué une analyse de comparaisons multiples pour les pénétrations moyennes de la griffe mesurées à l'aide d'un banc d'essais par Hanrahan (1993). L'analyse révèle que les types d'éperons sont presque équivalents à des duretés « Pilodyn » moyennes de 9 mm et 13 mm. Ce résultat suggère que le type d'éperons n'influence pas la pénétration de la griffe à ces duretés « Pilodyn » moyennes. Le type d'éperon n'apparaît donc pas représenter une variable indépendante importante à ces duretés « Pilodyn ».

Pénétration moyenne de la griffe (mm)			
Éperon	Dureté Pilodyn moyenne (pin rouge CCA-PEG)		
	9 mm	10.5 mm	13 mm
Klein (modèle S)	13.5 ±0.5 <i>a,b</i>	14.7±0.7 <i>b,c</i>	18.5±1.5 <i>d</i>
Buckingham (CCA - modèle 9106)	13.2±1.0 <i>a,b</i>	17.3±1.3 <i>d</i>	20.6±1.8 <i>e</i>
Buckingham (modèle B.T.Co.-E)	13.5±0.5 <i>a,b</i>	15.5±1.3 <i>c</i>	18.3±2.3 <i>d</i>
Bashlin (modèle DB-12)	12.7±0.5 <i>a</i>	14.0±1.3 <i>a,b</i>	18.8±1.8 <i>d</i>

*Adapté de Hanrahan, 1993*

Pour l'étude principale, une première stratégie de sélection de poteaux a été envisagée : 1) pour chacune des essences importantes, soit pin rouge, pin gris, pin de Murray, pin jaune du Sud, avoir les deux ou trois traitements (CCA-PEG, CCA-PEG+, PCP-huile) et deux ou trois classes de dureté Pilodyn. Cette stratégie avait l'avantage de mettre en lumière les effets des essences, des traitements, des combinaisons essence-traitement, de la dureté (dur vs moyen). Cependant, cette stratégie posait des problèmes d'approvisionnement parce que certaines combinaisons essences-traitements ne sont pas commercialement disponibles. Ainsi, la sélection retenue comporte 12 poteaux répartis en deux combinaisons essence-traitement, soit le pin rouge traité au CCA-PEG (dont un traité au CCA-PEG+) et le pin jaune traité au PCP-huile (dont un pin gris) et six classes de dureté Pilodyn (9 à 14 mm).

## 5.2 Responsabilité de l'étude

Une fois la stratégie du choix des poteaux établie, le reste de l'étude, soit sa réalisation, la prise des mesures, l'analyse des résultats et la rédaction du rapport était sous la seule responsabilité des auteurs et de l'organisme subventionnaire (IRSST).

## 6.0 Réalisation d'une étude pilote

Une étude pilote a été réalisée dans le but de répondre à des questions précises soulevées lors des réunions avec des intervenants des entreprises concernées par ce projet :

- Est-ce que la hauteur de grimpage a une influence sur les variables dépendantes retenues ? (Pouvons-nous réaliser les essais du plan principal sur des poteaux de moins de 3.1 m plutôt que de 9.2 m ?)
- Est-ce que les variables dépendantes retenues ont une sensibilité suffisante pour détecter une variation de 4 mm dans la dureté d'un poteau estimée par la mesure de la pénétration à l'aide d'un Pilodyn (pénétration =12 mm versus 16 mm) ?
- Est-ce que l'état de surface du poteau a une influence sur les variables dépendantes retenues ? (Les mesures effectuées demeurent-elles inchangées après la réalisation d'une trentaine d'essais ?)
- Combien de sujets et de répétitions par sujet seront nécessaires afin que le plan d'expériences principal puisse détecter, avec une puissance statistique suffisante ( $\beta = 0.1, 90\%$ ), une différence significative ( $\alpha = 0.05$ ) dans les variables dépendantes retenues ?

Par ailleurs, l'étude pilote visait à évaluer la pertinence des variables dépendantes retenues et à tester la validité des outils d'évaluation développés spécifiquement pour ce projet de recherche.

## 6.1 Méthodologie expérimentale

Dans cette section, nous détaillons la méthodologie expérimentale employée pour la réalisation de l'étude pilote. Nous présentons les variables indépendantes retenues, les plans d'expériences réalisés, la description détaillée des conditions expérimentales, les variables dépendantes et leur mesure correspondante, les caractéristiques des monteurs de lignes participants ainsi que la procédure générale.

### 6.1.1 Variables indépendantes

Le tableau 1 présente les variables indépendantes et leurs niveaux respectifs :

**Tableau 1.** Niveaux des variables indépendantes de l'étude pilote

Variables indépendantes	Niveaux
Hauteur du grimpage	0 à 3.1 m (bas du poteau) 6.1 à 9.2 m (haut du poteau)
Dureté "Pilodyn" moyenne du poteau (mm)	12 mm 16 mm
Condition de surface du poteau	Neuve Détériorée

### 6.1.2 Plans d'expériences

Le premier plan d'expériences adopté était un plan factoriel complet. Il permettait d'évaluer l'effet des variables indépendantes (hauteur du grimpage, dureté « Pilodyn » moyenne du poteau et condition de surface) et leurs interactions respectives sur les mesures décrites plus loin (voir *Variables dépendantes*). Le plan d'expériences était de la forme 2 x 2 x 2 x 2; soit deux (2) hauteurs, deux (2) duretés "Pilodyn" moyennes, deux (2) conditions de surface et enfin, deux (2) répétitions par monteur. Au total, 64 essais expérimentaux (8 conditions expérimentales x 2 répétitions x 4 monteurs) ont été réalisés dans le cadre du premier plan d'expériences. Tous les participants étaient des monteurs à l'emploi de la compagnie Hydro-Québec.

Un deuxième plan d'expériences, identique au premier, a été réalisé durant la période du dîner avec des monteurs de la compagnie Bell Canada. La réalisation des essais prévus dans ce plan a permis d'une part, d'accélérer la détérioration de la surface des poteaux (opération nécessaire pour obtenir la condition expérimentale : condition de surface "détériorée") et d'autre part, d'évaluer l'effet de la provenance respective des monteurs (Bell versus Hydro-Québec). Le plan d'expériences était de la forme 2 x 2 x 2; soit deux (2) hauteurs, deux (2) duretés "Pilodyn" moyennes et deux (2) répétitions par monteur. Au total, 32 essais (4 conditions expérimentales x 2 répétitions x 4 monteurs) ont été réalisés dans ce deuxième plan d'expériences.

La figure 1 schématise le déroulement des deux plans d'expériences.

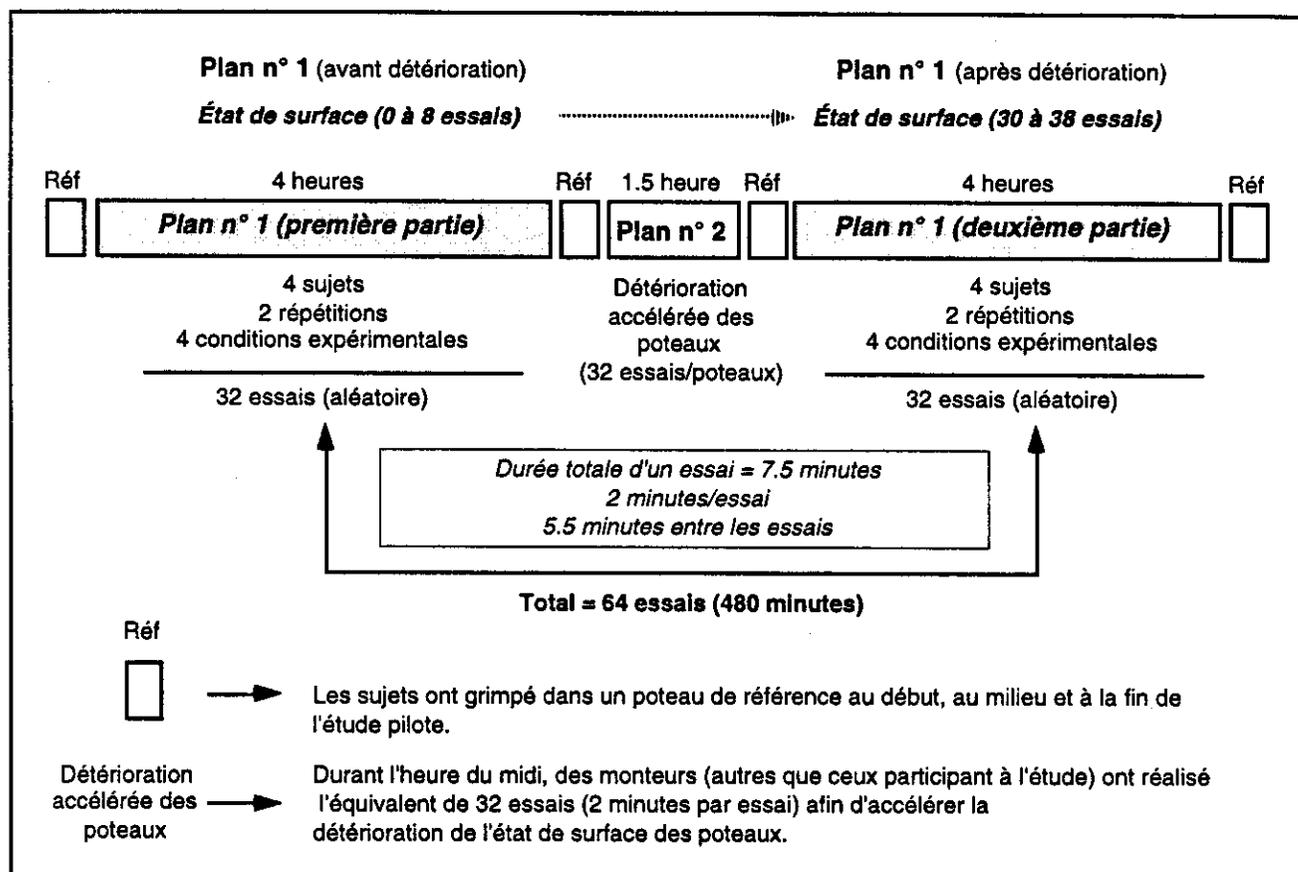


Figure 1 Représentation schématique du déroulement de l'étude pilote

### 6.1.3 Variables dépendantes

Les variables dépendantes retenues étaient les suivantes :

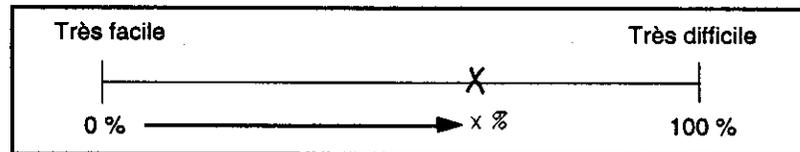
- la perception psychophysique ;
- la fréquence cardiaque ;
- le pourcentage d'utilisation musculaire (PUM) du Biceps fémoral et du Droit antérieur.

Mesure de la perception psychophysique : la perception psychophysique a été évaluée à partir d'un ensemble de sept (7) échelles visuelles analogues (annexe 1). Elles ont été élaborées spécifiquement dans le but d'obtenir les informations suivantes :

- la capacité à faire pénétrer l'éperon dans le poteau ;
- l'appréciation de la dureté du poteau ;
- le niveau d'inconfort physique ressenti ;
- l'appréciation globale du poteau si le grimpage (travail) est occasionnel ;
- l'appréciation globale du poteau si le grimpage (travail) est régulier ;
- le sentiment de sécurité ;
- l'intensité du contrecoup.

Après chaque essai, le sujet devait indiquer par un « X » l'endroit jugé approprié sur chacune des échelles visuelles analogues (VAS : Visual Analog Scale). La figure ci-après montre un exemple d'une échelle visuelle analogue. La mesure est obtenue en déterminant, à l'aide d'une règle, la distance entre la position de la marque « X » et l'origine (extrême gauche). Cette distance est par la suite convertie en pourcentage. La valeur correspondante de la perception psychophysique est alors comprise entre 0 et 100%.

Échelle visuelle analogue



Mesure de la fréquence cardiaque (plan n° 1 seulement) : la fréquence cardiaque a été mesurée à l'aide de deux (2) électrodes de surface disposées sur une courroie thoracique et reliées à un cardiotelemètre télémétrique : CardioSport PM-10 de PPG Biomédical System. Les électrodes étaient placées dans la région pectorale. Le cardiotelemètre permettait de mémoriser le rythme cardiaque moyen sur des intervalles de temps donnés pendant plusieurs heures. Les données ainsi emmagasinées étaient ensuite transférées directement à un ordinateur portable pour des traitements informatiques et statistiques subséquents.

Mesure du pourcentage d'utilisation musculaire (PUM) (plan n° 1 seulement) : l'activation musculaire de deux (2) muscles a été mesurée à l'aide d'électrodes de surface. Ces muscles sont le Biceps fémoral et le Droit antérieur de la jambe droite. Avant la pose des électrodes, la peau était lavée à l'aide d'un tampon alcoolisé. Les électrodes de surface étaient disposées sur la partie médiane du muscle de façon à suivre l'orientation des fibres musculaires. Les signaux ainsi captés par les électrodes étaient pré-amplifiés à la peau et acheminés à un système d'acquisition portable (Muscle Tester ME-3000 Professional de Mega Electronics Ltd) fixé à la ceinture du monteur. La fréquence d'échantillonnage des signaux était de 1000 Hz. L'état brut des différents signaux recueillis a été vérifié avant le début de la séance d'enregistrement dans le but de calibrer l'amplitude des signaux.

La réalisation des 32 premiers essais expérimentaux (essais réalisés dans la première partie du plan d'expériences n° 1) a révélé que la mesure de cette variable augmentait considérablement le temps requis entre les essais expérimentaux (préparation des sujets et transfert des données à l'ordinateur). Pour cette raison, il a été convenu de poursuivre le déroulement du protocole expérimental (deuxième partie) sans effectuer la mesure de cette variable.

### 6.1.4 Caractéristiques des monteurs participants

Monteurs d'Hydro-Québec : Quatre monteurs d'Hydro-Québec ont participé aux évaluations expérimentales du plan d'expériences n°1. Les monteurs ont les caractéristiques suivantes:

**Tableau 2.** Caractéristiques des monteurs en provenance d'Hydro-Québec

Caractéristiques	Moyenne	Étendue (max - min)
• Âge (ans)	33.8	8
• Taille (cm)	176.5	15
• Poids (kg)	85.0	6
• Expérience-monteur (année)	4.1	7

Monteurs de Bell Canada : Quatre monteurs de Bell Canada ont participé aux évaluations expérimentales du plan d'expériences n°2. Les monteurs ont les caractéristiques suivantes:

**Tableau 3.** Caractéristiques des monteurs en provenance de Bell Canada

Caractéristiques	Moyenne	Étendue (max - min)
• Âge (ans)	37.3	12
• Taille (cm)	180.3	23
• Poids (kg)	81.2	32
• Expérience-monteur (année)	11.7	22

Le poids des monteurs a été mesuré avec tout l'équipement de montage (e.g. ceinture, éperons).

### 6.1.5 Caractéristiques des poteaux utilisés

Deux poteaux ont été utilisés pour les essais réalisés lors de l'étude pilote. Les deux poteaux étaient des pins rouge traités au PCP-huile d'une dureté « Pilodyn » moyenne de 12 mm et de 16 mm. Les poteaux ont été sélectionnés suivants les critères suivants : les mesures prises à l'aide du Pilodyn 6J devaient être statistiquement homogènes autour (4 faces) et sur la longueur du poteau (sections du bas et du haut du poteau); la moyenne des mesures effectuées au Pilodyn devait correspondre, une fois arrondie, à la valeur entière la plus proche de l'une des deux duretés « Pilodyn » recherchées (12 mm et 16 mm).

## 6.2 Procédure générale

### 6.2.1 Plan d'expériences n°1

À leur arrivée sur le site, les monteurs recevaient des instructions verbales sur la procédure générale prescrite par le protocole expérimental. Par la suite, ils devaient compléter et signer un formulaire de consentement (annexe 2).

Avant d'entreprendre les essais prévus au protocole, chaque monteur devait réaliser deux (2) essais sur un poteau de "référence" (dureté « Pilodyn » = 14 mm). Un essai consistait

à grimper et à descendre le poteau durant une minute. Après chaque essai, le monteur devait compléter le questionnaire d'évaluation psychophysique (annexe 1). Les essais réalisés sur le poteau de référence ont été répétés au milieu (période du dîner) et à la fin de la deuxième partie de l'expérimentation. Ces essais ont permis de vérifier que la perception psychophysique demeurait homogène durant toute la durée de l'expérimentation.

La première partie du plan d'expériences s'est déroulée en avant-midi dans une condition de surface "neuve" des poteaux. Avant chaque essai, des électrodes de surface étaient disposées sur la peau du monteur désigné. Par la suite, l'unité de télémétrie du cardiotelemètre était attachée autour du torse du monteur dans la région pectorale. Le monteur réalisait l'essai expérimental durant deux (2) minutes. Un essai consistait à grimper la partie inférieure ou supérieure du poteau, effectuer une rotation de 360° autour du poteau, redescendre et recommencer ce cycle pendant deux minutes. Un chariot élévateur permettait d'élever le monteur à la partie supérieure du poteau, ceci afin d'éviter de détériorer la surface de la partie inférieure des poteaux (0 à 3.1 m) et de fatiguer inutilement le monteur. La période de repos qui suivait chaque essai expérimental était d'environ sept (7) minutes. Après chaque essai, le monteur devait compléter le questionnaire d'évaluation psychophysique. Par la suite, les mesures de l'ÉMG et de la fréquence cardiaque étaient transférées à un micro-ordinateur portatif. L'ordre de réalisation des essais était complètement aléatoire, de sorte que le monteur pouvait réaliser un seul essai à la fois ou plusieurs essais consécutifs. Le changement de monteur entraînait la pose à nouveau des électrodes de surface (ÉMG) et de l'unité de télémétrie du cardiotelemètre.

La deuxième partie du plan d'expériences s'est déroulée en après-midi dans la condition de surface « détériorée » des poteaux. L'ordre de réalisation des 32 essais était lui aussi complètement aléatoire. La procédure expérimentale était identique à celle de l'avant-midi, sauf que l'activation musculaire (ÉMG) n'était plus mesurée puisque la pose des électrodes de surface avait nécessité trop de temps lors de la première partie du plan n°1 (avant-midi).

La figure 2 illustre le déroulement d'un essai expérimental type du plan n°1.

### **6.2.2 Plan d'expériences n°2**

Le plan d'expériences n°2 a été réalisé durant la période du dîner avec des monteurs en provenance de la compagnie Bell Canada. La réalisation de ce deuxième plan d'expériences visait deux objectifs spécifiques : 1) accélérer la détérioration de l'état de surface des poteaux en vue de la réalisation de la deuxième partie du plan d'expériences n°1; 2) obtenir les perceptions psychophysiques de quatre monteurs d'une compagnie différente dans le but de réaliser une évaluation comparative.

À leur arrivée sur le site, les monteurs recevaient les instructions verbales d'usage sur la procédure générale prescrite par le protocole. Par la suite, les monteurs devaient compléter et signer un formulaire de consentement. Deux (2) monteurs réalisaient en simultané un essai expérimental dans un poteau différent. Un essai consistait à grimper la partie inférieure ou supérieure du poteau, effectuer une rotation de 360° autour du poteau, redescendre et recommencer ce cycle pendant deux minutes. Un chariot élévateur permettait d'élever le monteur à la partie supérieure du poteau. La période de repos qui suivait chaque essai expérimental était d'environ quatre (4) minutes, soit le temps nécessaire pour que les deux (2) autres monteurs puissent exécuter leur essai respectif.

Pendant la période de repos, les monteurs devaient compléter un questionnaire d'évaluation psychophysique. Chaque monteur a réalisé 8 essais, soit 2 hauteurs x 2 duretés « Pilodyn » moyennes x 2 essais. Au total, 32 essais expérimentaux ont été réalisés au cours de ce deuxième plan d'expériences.

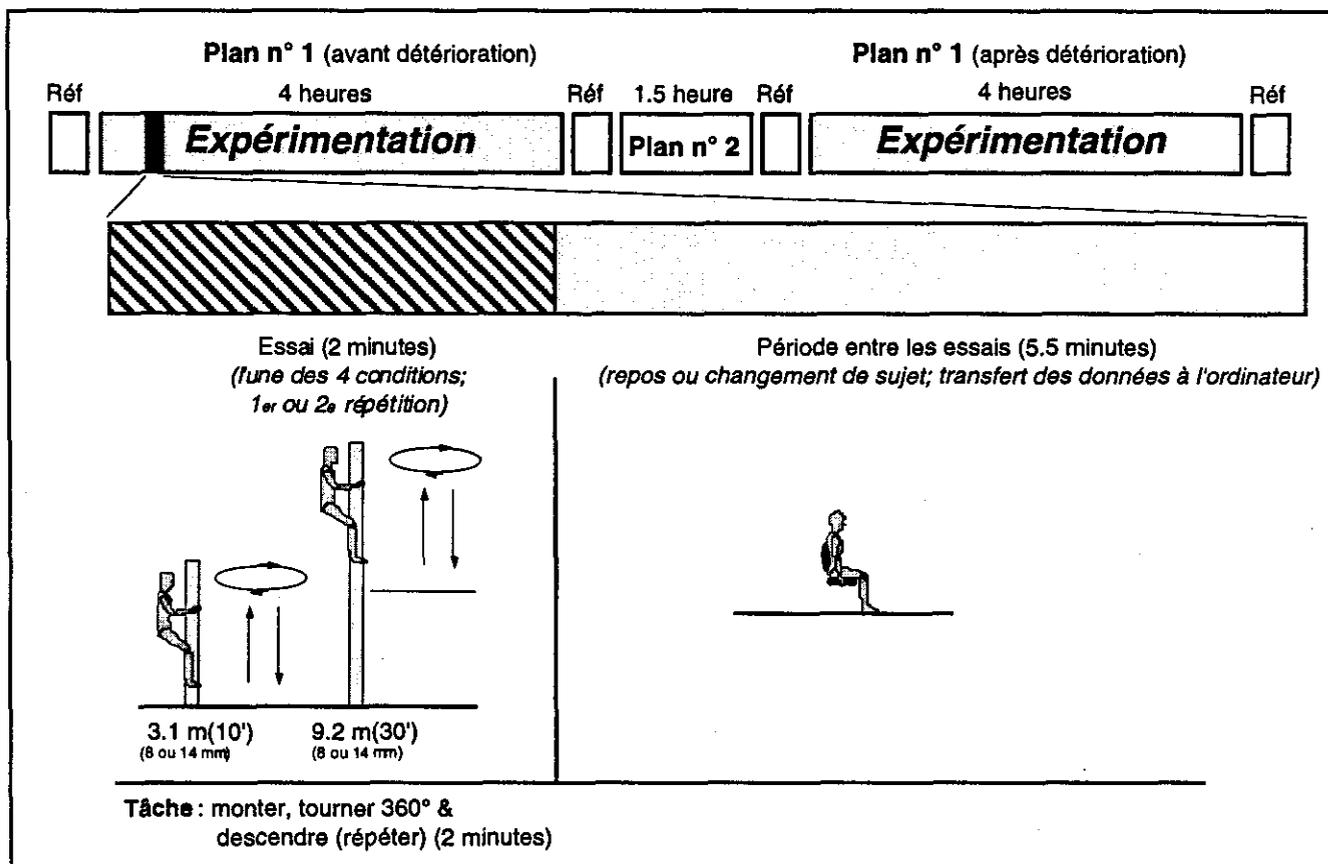


Figure 2 Représentation schématique du déroulement d'un essai type du plan n°1

## 6.3 Résultats

### 6.3.1 Plan d'expériences n°1

L'analyse de variance (ANOVA) est utilisée pour analyser les 64 essais expérimentaux effectués dans le plan d'expériences n° 1. L'ANOVA est appliquée à chacune des variables dépendantes étudiées: perception psychophysique, fréquence cardiaque et activation musculaire. Un niveau de confiance de 95% ( $p < 0.05$ ) est choisi pour identifier les effets significatifs.

#### Perception psychophysique

Dans cette section, nous présentons seulement les résultats de l'appréciation de la dureté des poteaux (question n°2 du questionnaire d'évaluation psychophysique) parce que ce facteur nous semble le plus important et que, par ailleurs, les résultats sont sensiblement identiques pour toutes les autres questions.

Le tableau 4 présentent les résultats de l'ANOVA<sup>1</sup> sur l'appréciation de la dureté pour les essais effectués sur le poteau de référence. Seuls les résultats des essais effectués avant et après la matinée sont présentés. En effet, faute de temps, il n'a pas été possible de réaliser les essais dans le poteau de référence prévus à la fin de l'expérimentation. Les résultats de l'ANOVA ne révèlent aucune différence significative dans l'appréciation de la dureté du poteau entre le début et la fin de la matinée (première partie) ainsi qu'entre les répétitions effectuées. De même, aucune interaction significative n'est révélée entre la période et les répétitions. Ces résultats suggèrent que la perception psychophysique des monteurs est demeurée inchangée au cours de l'expérimentation.

**Tableau 4** Tableau ANOVA de l'appréciation de la dureté du poteau de référence

Source de variation	df	SS	MS	F	(p<) <sup>†</sup>
Sujet	3	550.45	183.48		
Période	1	1123.49	1123.49	1.56	0.3005
Répétition	1	37.35	37.34	0.23	0.6677

*Note : df : degré de liberté; SS = somme des carrés; MS = SS / df ; F = statistique Fisher  
† un effet est significatif si la probabilité "p" est égale ou inférieure à 0,05 (5%).*

Les résultats de l'ANOVA (tableau 5) révèlent que la dureté « Pilodyn » moyenne des poteaux influence significativement ( $p < 0.05$ ) l'appréciation de la dureté des poteaux. L'effet de la dureté « Pilodyn » moyenne est montrée à la figure<sup>2</sup> 3. De cette figure, on observe que l'évaluation psychophysique permet de bien discriminer la dureté « Pilodyn » moyenne des poteaux.

Par ailleurs, la hauteur du grimpage, la condition de surface des poteaux ainsi que les répétitions effectuées n'ont révélé aucun effet significatif sur l'appréciation de la dureté des poteaux, de même que sur l'ensemble des autres mesures de l'évaluation psychophysique.

Ces résultats suggèrent que :

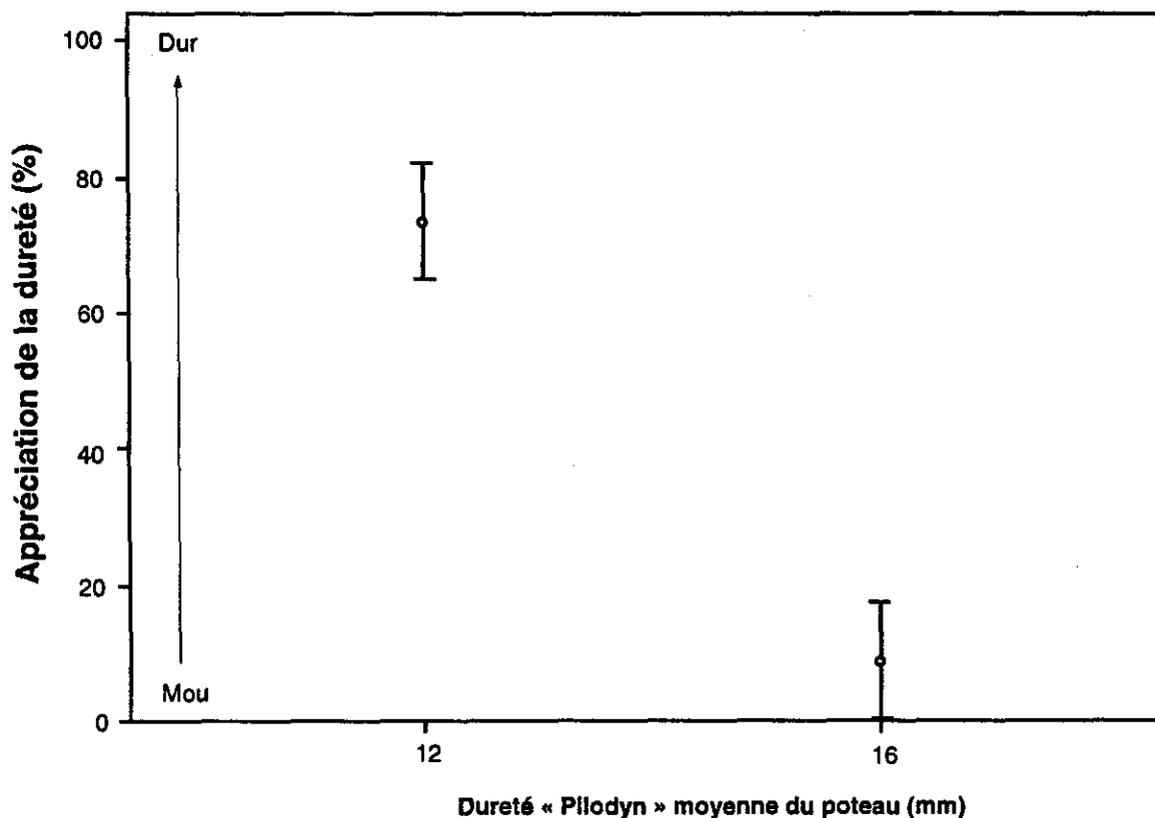
- 1) la hauteur à laquelle les essais sont effectués poteaux n'affecte pas la perception psychophysique des monteurs ;
- 2) la détérioration de la condition de surface des poteaux n'affecte pas la perception psychophysique des monteurs;
- 3) les essais réalisés à chaque condition expérimentale (répétition) sont statistiquement non différents; cela suggère que la mesure de la perception psychophysique est reproductible.

<sup>1</sup> Dans l'ensemble des analyses de variance réalisées dans ce rapport, nous utilisons un modèle mixte avec la variable « sujet » considérée comme une variable aléatoire. Les autres variables indépendantes sont fixes (Montgomery, 1994).

<sup>2</sup> Toutes les figures sont tracées avec les valeurs moyennes et leur intervalle de confiance 95% respectif.

**Tableau 5** Tableau ANOVA de l'appréciation de la dureté des poteaux

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	3	402.36	134.12		
Hauteur	1	25.93	25.93	0.28	0.6392
Dureté	1	69979.8	69979.8	376.85	0.0003
Répétition	1	56.25	56.25	0.36	0.5969
Surface	1	434.03	434.03	1.98	0.2541

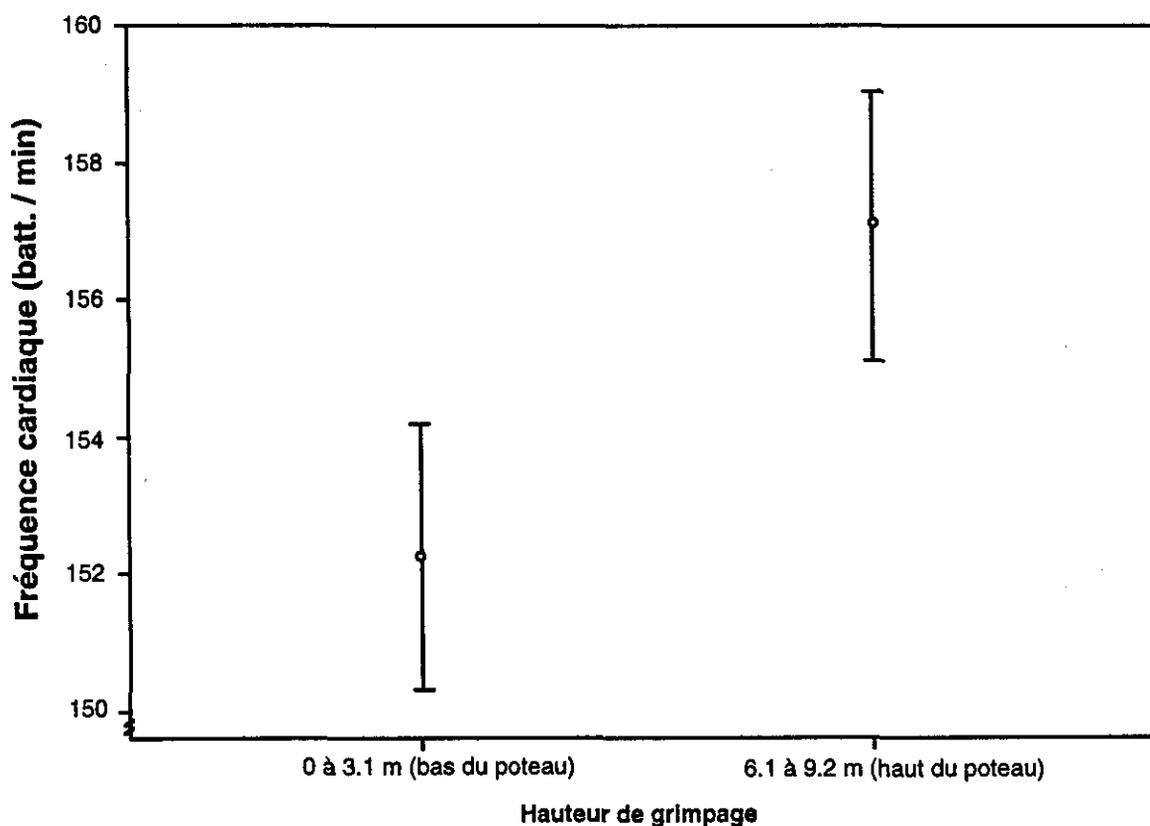
**Figure 3** Graphique de l'appréciation de la dureté en fonction de la dureté « Pilodyn »

### Fréquence cardiaque

Les résultats de l'ANOVA sur la fréquence cardiaque (tableau 6) révèlent que la hauteur de grimpage est significative ( $p < 0.0106$ ). La figure 4 montre que la réalisation des essais dans la partie supérieure des poteaux entraîne une augmentation moyenne de la fréquence cardiaque de 4 batt./min chez les monteurs participants. Cette augmentation, toutefois, est pratiquement négligeable d'un point de vue physiologique. La fréquence cardiaque, par ailleurs, n'est pas influencée par une variation de 12 à 16 mm dans la dureté « Pilodyn » moyenne des poteaux ou une détérioration de la condition de surface des poteaux.

**Tableau 6** Tableau ANOVA de la fréquence cardiaque

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	3	22509.8	7503.27		
Hauteur	1	337.64	337.64	32.76	0.0106
Dureté	1	11.39	11.39	1.91	0.2612
Surface	1	489.52	489.52	6.26	0.0875
Répétition	1	40.64	40.64	0.69	0.4755

**Figure 4** Graphique de la fréquence cardiaque en fonction de la hauteur de grimpage

#### Pourcentage d'utilisation musculaire

Des difficultés (e.g. électrodes qui décollent) sont survenues lors de la mesure de l'ÉMG, ce qui rend l'analyse et toute interprétation inutiles. Nous avons introduit cette mesure dans le protocole de l'étude pilote dans le but unique de mettre au point cette mesure en vue de l'étude principale. Ces essais, en effet, nous ont permis de surmonter plusieurs difficultés en vue de la réalisation de l'étude principale.

#### **6.3.2 Plan d'expériences n°2**

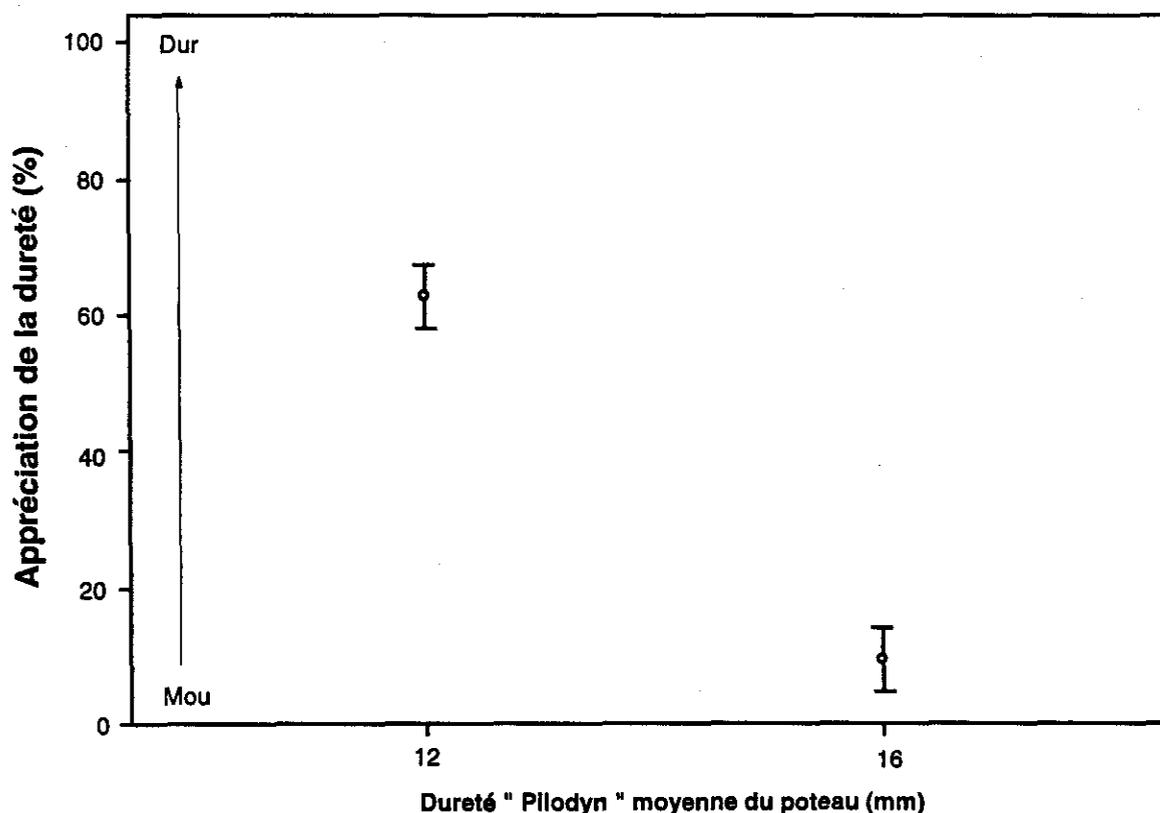
L'analyse de variance (ANOVA) est utilisée pour comparer les 32 premiers essais expérimentaux effectués par les monteurs de la compagnie Hydro-Québec à ceux effectués par les monteurs de la compagnie Bell Canada. L'ANOVA est réalisée pour chacune des

sept (7) questions du questionnaire d'évaluation psychophysique. Un seuil de confiance de 5% ( $p < 0.05$ ) est choisi pour l'identification des effets significatifs. Dans le but de ne pas trop alourdir le contenu de cette section, nous présentons seulement les résultats de l'appréciation de la dureté des poteaux et du sentiment de sécurité (questions n°2 & n°6 du questionnaire d'évaluation psychophysique; voir annexe 1).

La dureté « Pilodyn » moyenne des poteaux influencent significativement ( $p < 0.05$ ) l'appréciation de la dureté telle que rapportée par les monteurs (tableau 8). La figure 5 montre que l'appréciation de la dureté permet de bien discriminer la dureté « Pilodyn » moyenne des poteaux. Par contre, aucune différence significative n'est observée pour l'appréciation de la dureté entre les monteurs des compagnies Hydro-Québec et Bell Canada, les hauteurs de grimpage et les répétitions réalisées pour chacune des conditions expérimentales. Ces résultats suggèrent que les monteurs de la compagnie Bell Canada rapportent une appréciation de la dureté comparable à celle des monteurs de la compagnie Hydro-Québec.

**Tableau 8** Tableau ANOVA de l'appréciation de la dureté

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Compagnie	1	434.03	434.03	1.86	0.1784
Hauteur	1	59.06	59.06	0.25	0.6224
Dureté	1	43905.8	43905.8	188.11	0.0000
Répétition	1	80.67	80.67	0.35	0.5654

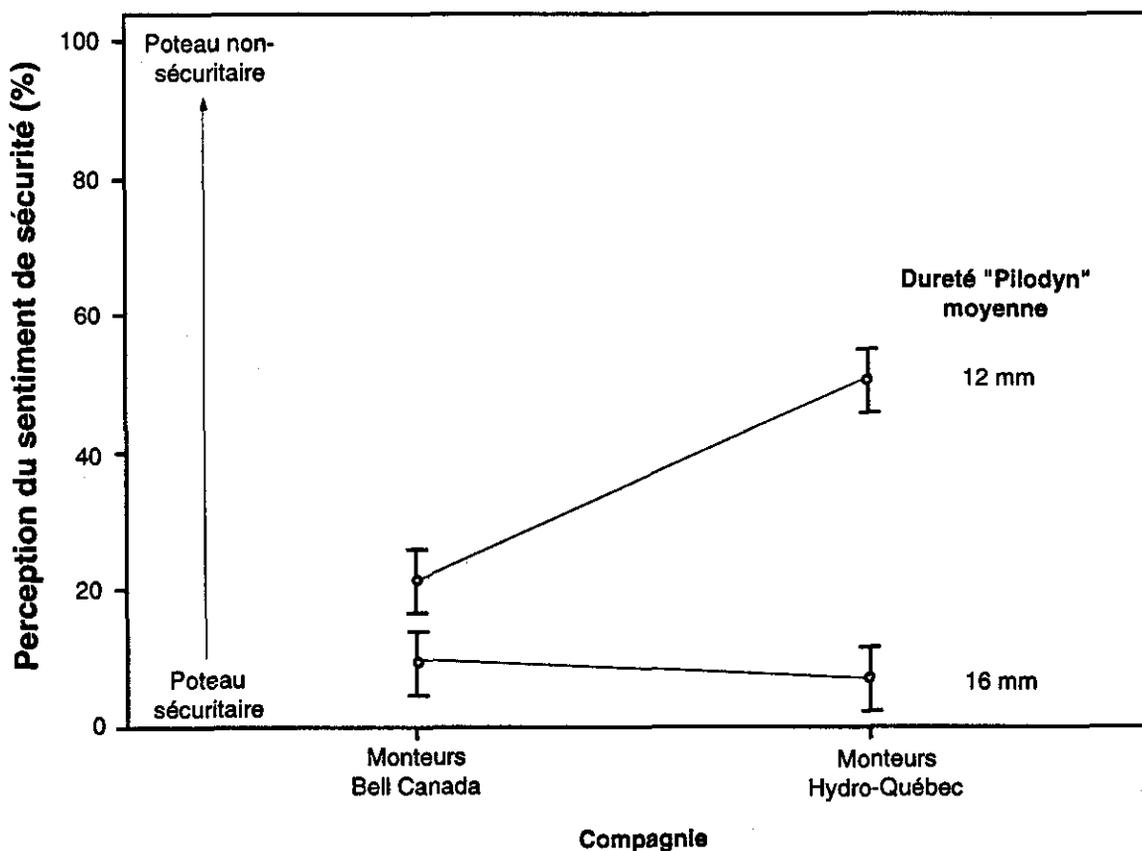


**Figure 5** Graphique de l'appréciation de la dureté en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne des poteaux (Hydro-Québec & Bell Canada combiné)

Les résultats de l'ANOVA (tableau 9) pour la perception du sentiment de sécurité révèlent une interaction Compagnie x Dureté significative ( $p < 0.05$ ). Les monteuses des compagnies Bell Canada et Hydro-Québec rapportent un sentiment de sécurité comparable lorsqu'ils évoluent sur un poteau dont la dureté « Pilodyn » moyenne égale 16 mm. Par contre, les monteuses de la compagnie Hydro-Québec trouvent moins sécuritaire le poteau d'une dureté « Pilodyn » moyenne de 12 mm comparativement aux monteuses de la compagnie Bell Canada (figure 6). Il est probable que la différence dans les habitudes de grimpage des monteuses (e.g. les monteuses de la compagnie Bell Canada ont l'habitude de grimper des poteaux plus durs) puisse permettre d'expliquer cet effet.

**Tableau 9** Tableau ANOVA du sentiment de sécurité

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Compagnie	1	2994.52	2994.52	18.89	0.0001
Hauteur	1	18.93	18.93	0.12	0.7347
Dureté	1	11676.0	11676.0	73.65	0.0000
Répétition	1	222.23	222.23	1.40	0.2417
Compagnie x Dureté	1	4165.03	4165.03	26.27	0.0000



**Figure 6** Graphique de l'interaction Compagnie x Dureté "Pilodyn"

## 6.4 Synthèse des analyses statistiques de l'étude pilote

Le tableau 10 présentent une synthèse des analyses statistiques réalisées pour les deux (2) plans d'expériences :

**Tableau 10** Sommaire des résultats de l'étude pilote (plans n°1 et 2)

### Plan d'expériences n°1

Variables indépendantes		Variables dépendantes		
	Niveaux	$\Psi$	F.C.	PUM
Hauteur du grimpage	0 à 3.1 m 6.1 à 9.2 m	N-S <sup>†</sup>	S	?
Dureté "Pilodyn" moyenne du poteau	12 mm 16 mm	S	N-S	?
Condition de surface du poteau	Neuve Détériorée	N-S	N-S	?

$\Psi$  = psychophysique

F.C. = Fréquence cardiaque

PUM = Pourcentage d'utilisation musculaire

† S : la variable indépendante affecte significativement ( $p < 0.05$ ) la variable dépendante.

N-S : la variable indépendante n'influence pas la variable dépendante.

? : effet inconnu (données incomplètes / non fiables)

### Plan d'expériences n°2

Variables indépendantes		Variables dépendantes	
	Niveaux	Appréciation de la dureté	Sentiment de sécurité
Compagnie	Bell Canada Hydro-Québec	N-S	S
Hauteur du grimpage	0 à 3.1 m 6.1 à 9.2 m	N-S	N-S
Dureté "Pilodyn" moyenne du poteau	12 mm 16 mm	S	S

† S : la variable indépendante affecte significativement ( $p < 0.05$ ) la variable dépendante.

N-S : la variable indépendante n'influence pas la variable dépendante.

Du tableau 10, il est permis d'énoncer les constats et de proposer les recommandations qui suivent:

### *Hauteur de grimpage*

- du point de vue de la perception psychophysique, il n'existe aucune différence significative entre les essais réalisés dans les parties inférieures et supérieures (0 à 3.1 m (10 pieds) ou 6.1 m à 9.2 m (20 à 30 pieds) des poteaux.
- la fréquence cardiaque augmente significativement lors des essais réalisés dans la partie supérieure des poteaux. Cette augmentation moyenne de la fréquence cardiaque est de l'ordre de 4 batt./min. Cette augmentation est pratiquement négligeable sur le plan physiologique. De plus, la fréquence cardiaque n'est pas influencée par la dureté « Pilodyn » moyenne des poteaux. Cette variable ne sera pas donc considérée dans l'étude principale; ceci permettra de réduire à moins d'une minute la durée prévue de chaque essai.

- ⇒ Un poteau d'environ 3 m (hors terre) peut être utilisé dans le cadre de l'étude principale.
- ⇒ La fréquence cardiaque ne sera pas mesurée dans le cadre de l'étude principale.

### *Dureté « Pilodyn » moyenne du poteau*

- du point de vue de la perception psychophysique, il existe une différence significative entre les duretés « Pilodyn » moyennes 12 mm et 16 mm. Les trois (3) questions qui permettent d'obtenir une bonne discrimination de la dureté « Pilodyn » moyenne portent sur : 1) l'appréciation de la dureté, 2) le sentiment de sécurité et 3) le niveau d'inconfort. Par ailleurs, les monteurs rapportent des niveaux de sécurité différents en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne selon qu'ils proviennent de la compagnie Bell Canada ou de la compagnie Hydro-Québec.
- la fréquence cardiaque n'est pas influencée par la dureté « Pilodyn » moyenne des poteaux.

- ⇒ Lors de l'étude principale, l'évaluation psychophysique portera principalement sur les aspects suivants : appréciation de la dureté, de la sécurité et de l'inconfort.
- ⇒ Des monteurs en provenance de diverses compagnies participeront à l'étude principale.

### *Condition de surface*

- du point de vue de la perception psychophysique, il n'existe aucune différence significative entre les essais réalisés avant et après une détérioration de la surface des poteaux. L'état de surface après plus de 48 minutes de détérioration (approx. 60 montées/descentes) n'a pas eu d'effet sur la perception psychophysique.
- la fréquence cardiaque aussi n'est pas influencée par l'état de surface des poteaux.

⇒ Plus de 60 montées/descentes pourront être réalisées sur une même section de poteau lors de l'étude principale.

*Puissance statistique de l'étude principale*

- Vingt-quatre (24) monteurs seront suffisants (24 x 2 répétitions = 48 montées/descentes par poteaux). Tout comme dans l'étude pilote, deux répétitions par essai s'avèrent suffisantes. Avec ce nombre de monteurs, on pourra rejeter l'hypothèse nulle (hypothèse nulle : aucune différence dans la perception de la dureté entre des duretés « Pilodyn » moyennes différentes) avec une probabilité d'au moins 90 % ( $\beta = 0.1$ ) si une différence entre les valeurs moyennes de la perception de dureté est plus grande que 13.5 sur l'échelle visuel analogue.

## 7.0 Étude principale

Dans cette section, nous détaillons la méthodologie expérimentale de l'étude principale. Nous présentons les variables indépendantes retenues, le plan d'expériences réalisé, la description détaillée des conditions expérimentales, les variables dépendantes et leur mesure respective, les caractéristiques des monteurs de lignes participants ainsi que la procédure générale. Mentionnons que les recommandations issues de l'étude pilote ont été appliquées dans l'élaboration du protocole de l'étude principale.

### 7.1 Variables indépendantes

Le tableau 11 présente les variables indépendantes désirées et leurs niveaux respectifs :

**Tableau 11** Niveaux des variables indépendantes désirées pour l'étude principale

Variables indépendantes	Niveaux
Combinaison traitement-essence	Base d'eau : Pin rouge - CCA-PEG Base d'huile : Pin jaune du sud - PCP-huile
Classe de dureté moyenne du poteau cible (dureté «Pilodyn»)	9 mm 10 mm 11 mm 12 mm 13 mm 14 mm
Compagnie	Hydro-Québec Hydro-Québec (léger) Bell Canada Indépendant

Suite à un consensus intervenu au sein du sous-comité psychophysique, composé de Bell Canada, Hydro-Québec, Union Carbide, IRSST, CRIQ et ÉTS, il a été décidé de sélectionner des poteaux de duretés « Pilodyn » moyennes comprises entre 9 et 14 mm afin de limiter l'étude à la gamme critique de la « grimabilité » (9 - 14 mm). Il a également été convenu de confondre les essences et les traitements, d'une part puisqu'il est difficile de trouver une essence unique couvrant toute la gamme de dureté pour des traitements différents et, d'autre part, pour limiter le nombre d'essais.

### 7.2 Caractéristiques des poteaux utilisés

Dans un premier temps, mentionnons que les poteaux sélectionnés pour les fins de cette étude ne représentent pas un échantillon représentatif de la population des poteaux actuellement en service sur le réseau de distribution hydroélectrique et téléphonique du Québec. L'échantillon a été constitué dans le but de couvrir une gamme de dureté

« Pilodyn » uniformément répartie entre 9 et 14 mm de pénétration. Les poteaux ont été sélectionnés suivants les critères suivants : les mesures prises à l'aide d'un Pilodyn 6J devaient être statistiquement homogènes autour et sur la longueur du poteau; la moyenne des mesures effectuées (24 mesures) au Pilodyn devait correspondre, une fois arrondie à la valeur entière la plus proche, à l'une des six classes de dureté « Pilodyn ». Au départ, nous avons cherché à obtenir 6 poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG et 6 poteaux de pin jaune du sud traités au PCP-huile (tableau 11). Les poteaux finalement obtenus sont de classes 4 et 5 et leurs caractéristiques sont présentées au tableau 12. Les poteaux obtenus près d'une dureté « Pilodyn » 14 sont un pin rouge traité au CCA-PEG+ et un pin gris traité au PCP-huile.

**Tableau 12** Caractéristiques des poteaux évalués dans l'étude principale

Poteau n°	Essence	Traitement	Pilodyn <sup>1</sup> (mm)	Pilodyn réel <sup>2</sup>		Densité totale <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Humidité <sup>4</sup> moyenne (%)	Circonférence (cm)
				moyenne	écart-type			
11	Pin rouge	CCA-PEG	9	8.4	0.84	593.44	7.42	77.5
12	Pin rouge	CCA-PEG	10	9.6	0.76	655.06	18.31	91.4
1	Pin rouge	CCA-PEG	11	10.8	0.73	604.61	18.81	83.8
2	Pin rouge	CCA-PEG	12	12.2	0.82	551.66	18.05	84.5
3	Pin rouge	CCA-PEG	13	12.8	0.95	655.63	26.25	80.0
4	Pin rouge	CCA-PEG+	14	13.8	1.18	706.47	30.59	106.7
5	Pin jaune	PCP-huile	9	9.2	0.97	876.10	19.18	90.8
6	Pin jaune	PCP-huile	10	10.2	0.85	897.48	19.15	77.5
7	Pin jaune	PCP-huile	11	10.7	0.87	732.85	25.56	105.4
8	Pin jaune	PCP-huile	12	11.7	1.42	1087.33	21.16	99.1
9	Pin jaune	PCP-huile	13	13.3	0.98	854.92	22.39	99.7
10	Pin gris	PCP-huile	14	13.7	0.82	747.48	17.71	86.4

1) Classe de dureté pilodyn 6J

2) Moyenne des mesures prises au pilodyn à la sélection des poteaux, en cours et à la fin de l'expérimentation.

3) Moyenne des mesures de densité totale (échantillon non-secché) prises autour du poteau

4) Moyenne des lectures d'humidité effectuées à trois profondeurs (6.4, 12.7 & 29.2 mm) au cours de toute l'expérimentation.

L'annexe 3 présente une évaluation sommaire des caractéristiques physiques des poteaux utilisés : densité totale moyenne, humidité moyenne et circonférence. Nous pouvons remarquer que les six poteaux traités au PCP-huile (pin jaune et pin gris) ont une densité moyenne plus élevée que les poteaux traités au CCA-PEG et PEG+. Par contre, les humidités moyennes des poteaux traités au CCA-PEG et PEG+ sont comparables à celles des poteaux traités au PCP-huile à l'exception des deux poteaux suivants : pin rouge traité au CCA-PEG de dureté « Pilodyn » de 8.4 mm et pin rouge traité au CCA-PEG+ de dureté « Pilodyn » de 13.8 mm; le premier affiche une humidité moyenne nettement plus basse comparativement aux autres poteaux tandis que le second affiche une humidité légèrement plus élevée. Par ailleurs, les poteaux d'une plus grande circonférence (> 92 cm), dont trois poteaux de pin jaune traités au PCP-huile et le poteau de pin rouge traité au CCA-PEG+, affichent tous une humidité moyenne supérieure à 20%.

### 7.3 Plan d'expériences

Le plan d'expériences adopté était un plan factoriel complet. Il permettait d'évaluer l'effet de la dureté « Pilodyn » moyenne sur la perception psychophysique, le pourcentage d'utilisation musculaire (PUM) des principaux muscles impliqués, la pénétration des éperons dans le bois et l'impact résultant. Le plan d'expériences était de la forme 12 x 2; soit 12 duretés « Pilodyn » moyennes et deux (2) répétitions. Au total, 576 essais expérimentaux (12 duretés x 2 répétitions x 24 monteuses professionnels) ont été réalisés dans le cadre du plan expérimental. Les monteuses participants provenaient de Bell Canada, d'Hydro-Québec et de compagnies hydroélectriques indépendantes.

#### 7.3.1 Variables dépendantes

Les variables dépendantes retenues pour l'étude étaient les suivantes :

- la perception psychophysique des monteuses : appréciation de la dureté du poteau, niveau d'inconfort physique ressenti à grimper dans le poteau, sentiment de sécurité lorsque le monteur est dans le poteau et enfin, appréciation globale du poteau ;
- pourcentage d'utilisation musculaire (PUM) de quatre muscles impliqués dans l'activité de grimpage ;
- la pénétration de la griffe dans le bois;
- l'impact généré par la pénétration dans deux directions, soit dans l'axe de l'impact et dans une direction perpendiculaire à l'impact.
- la force de pénétration;
- et enfin, l'angle de pénétration.

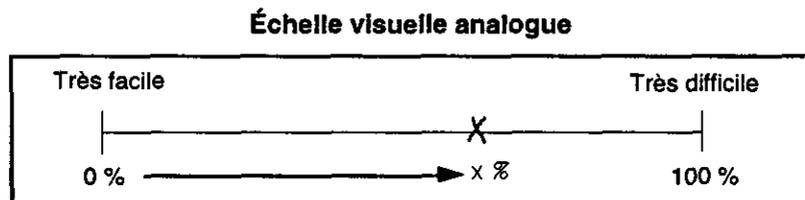
La réalisation du plan d'expériences a permis de répondre aux questions suivantes :

- Est-ce que la combinaison essence-traitement de bois a une influence sur les variables dépendantes pour des duretés « Pilodyn » moyennes comparables ?
- Est-ce que la dureté « Pilodyn » moyenne des poteaux a une influence sur les variables dépendantes ?
- Est-ce que la provenance et la catégorie de poids des monteuses ont une influence sur leurs perceptions psychophysiques ?
- Existe-t-il une relation entre les évaluations psychophysiques et les mesures physiques suivantes : les mesures PUM, la profondeur de pénétration de la griffe dans le bois et l'impact générée par la pénétration de la griffe, la force de pénétration et l'angle de pénétration.

Mesure de la perception psychophysique : la perception psychophysique a été évaluée à partir d'un ensemble de quatre (4) échelles visuelles analogues (annexe 4). Elles ont été élaborées dans le but d'obtenir les mesures suivantes:

- l'appréciation de la dureté du poteau ;
- le niveau d'inconfort physique ressenti à grimper le poteau ;
- le sentiment de sécurité ;
- l'appréciation globale du poteau.

Après chaque essai, le sujet devait indiquer par un « X » l'endroit jugé approprié sur chacune des échelles visuelles analogues. La figure ci-après montre un exemple d'une échelle visuelle analogue. La mesure est obtenue en déterminant, à l'aide d'une règle, la distance entre la position de la marque « X » et l'origine (extrême gauche). Cette distance est convertie en pourcentage. La valeur correspondante de la perception psychophysique est alors comprise entre 0 et 100%. Cette dernière valeur est utilisée comme variable dépendante pour le traitement statistique.



Mesure du pourcentage d'utilisation musculaire : L'électromyographie (EMG) surface permet d'enregistrer les potentiels d'action du muscle situé à proximité des électrodes, sous la peau. Durant l'augmentation d'un effort volontaire du muscle, l'activité électrique enregistrée augmente à cause de la haute fréquence de décharge des motoneurones et de l'activation d'un plus grand nombre d'unités motrices (Milner-Brown, Stein & Yemm, 1973). L'EMG représente l'effet global de l'activité d'un ensemble d'unités motrices qui déchargent de manière asynchrone. Bouisset et Goubel (1973) ont démontré la relation linéaire qui existe entre l'EMG intégré et le travail mécanique produit par le muscle. Ils concluent que cette relation provenait d'une proportionnalité entre le travail mécanique du muscle et deux mécanismes physiologiques impliqués dans la gradation d'une contraction musculaire: l'augmentation du nombre d'unités motrices activées et l'augmentation du rythme de dépolarisation de celles-ci. Plusieurs autres études ont démontré de fortes corrélations entre l'EMG de surface rectifié et la force développée par les muscles pour des contractions isométriques (Chaffin, Lee & Freivalds, 1980; Lind & Petrofsky, 1979; Komi & Viitasalo, 1976; Hagberg & Jonsson, 1975; Milner-Brown & Stein, 1975) et pour des contractions dynamiques (Bigland-Ritchie & Woods, 1974; Marchand, Normand, Beauchamp & Imbeau, 1991; Petrofsky, 1979). L'électromyographie est donc une mesure intéressante pour démontrer l'influence de variables externes (conditions de travail) sur la demande musculaire. Elle permet de quantifier objectivement la charge de travail imposée aux muscles lors de l'exécution de certaines activités professionnelles comme la montée et la descente d'un poteau.

L'activation musculaire de quatre muscles a été mesurée à l'aide d'électrodes de surface. Ces muscles sont : 1- le droit interne de la hanche qui est responsable de l'adduction de la hanche, 2- le biceps fémoral qui est responsable de l'extension de la hanche et de la flexion du genou, 3- le droit antérieur qui est responsable de la flexion de la hanche et de l'extension du genou, 4- le tenseur du fascia lata qui est responsable de l'abduction et de la flexion de la hanche. Avant la pose des électrodes, la peau était lavée à l'aide d'un tampon alcoolisé. Les électrodes de surface étaient disposées sur la partie médiane du muscle de façon à suivre l'orientation des fibres. Les signaux captés par les électrodes étaient pré-amplifiés à la peau (35 fois) et acheminés vers un amplificateur biologique (Therapeutic Instrument). Par la suite, les signaux étaient acheminés vers un convertisseur analogue 12 bits et enregistrés par un ordinateur. La fréquence d'échantillonnage des signaux était de

1000 Hz. L'état brut des différents signaux recueillis était vérifié avant le début de la séance d'enregistrement dans le but de calibrer l'amplitude des signaux. Par la suite, les signaux enregistrés étaient rectifiés et filtrés à une fréquence de 6 Hz afin d'obtenir l'enveloppe linéaire du signal (Winter, 1990). De plus, les valeurs EMG étaient transformées en pourcentage d'utilisation musculaire (PUM) à partir des amplitudes EMG maximales obtenues via des contractions isométriques maximales produites par les grimpeurs pour chaque muscle évalué.

La cinématique du mouvement des membres inférieurs était évaluée par l'intermédiaire d'électrogoniomètres bi-axiaux montés sur des tiges flexibles. Ces électrogoniomètres étaient placés de façon à mesurer la flexion-extension et l'adduction-abduction de la hanche ainsi que la flexion-extension du genou. Ces mesures ont permis de vérifier si l'amplitude et la vitesse des mouvements étaient comparables d'un poteau à l'autre.

Mesure effectuée à l'aide d'un éperon instrumenté : Un éperon BASHLIN a été instrumenté de façon à mesurer : 1) la pénétration dans le bois; 2) la force de pénétration dans la direction de la jambe; 3) l'impact généré par la pénétration dans deux directions, soit l'axe de l'impact et dans une direction perpendiculaire à l'impact et enfin; 4) l'angle frontal de pénétration mesuré entre l'éperon et le poteau (figure 7). La conception et l'installation des capteurs ainsi que la transcription des résultats de mesure ont été effectuées par le CRIQ.

L'éperon instrumenté, dont le principe de fonctionnement est décrit ci-après, a à l'origine été développé par le CRIQ (Rey-Lescure et Thomas, 1987) dans le cadre de l'étude CEA-96-D-496. Cet éperon comprenait la mesure des impacts à l'aide d'un accéléromètre tri-axial, la mesure de la pénétration à l'aide d'un LVDT et la mesure des forces dans les 3 axes à l'aide de jauges de contrainte. Cet éperon a été repris et légèrement modifié par le comité barème de mesure pour développer un indicateur clé, puis repris et modifié par le comité psychophysique pour permettre la mesure de la force sous le pied à l'aide d'un capteur piézoélectrique et l'angle de pénétration à l'aide d'un inclinomètre.

L'éperon a été instrumenté de la façon suivante (figure 8) : un LVDT (Linear Voltage Displacement Transducer) a été installé sur une des griffes afin de mesurer la pénétration dans le bois (pouces). Un capteur piézo-électrique a été installé sur l'éperon, directement sous les pieds des monteurs. Un dispositif mécanique, libre en rotation, a été installé sur la face interne de l'éperon de façon à ce qu'il puisse indiquer l'angle entre l'éperon et le poteau lors de la pénétration. Cette rotation générerait un voltage proportionnel à l'angle mesuré (degré). Deux accéléromètres ont été installés sur l'éperon de façon à mesurer les niveaux d'accélérations ( $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ) dans l'axe de la jambe et dans une direction perpendiculaire à l'impact. Les signaux étaient enregistrés sur un système d'acquisition de données (figure 9).

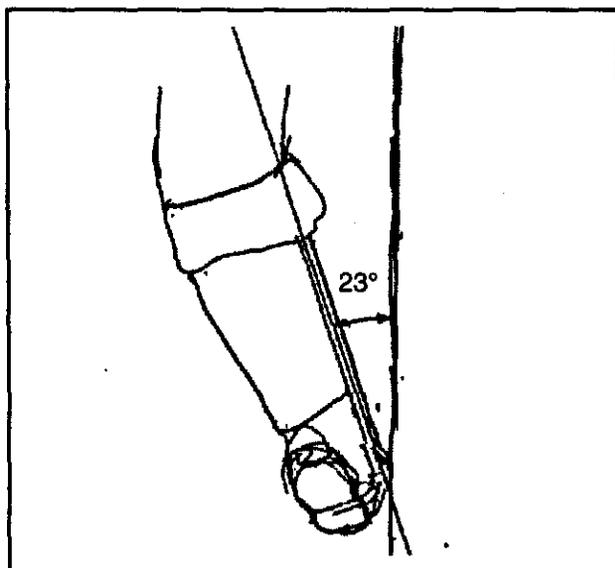


Figure 7 Angle de pénétration

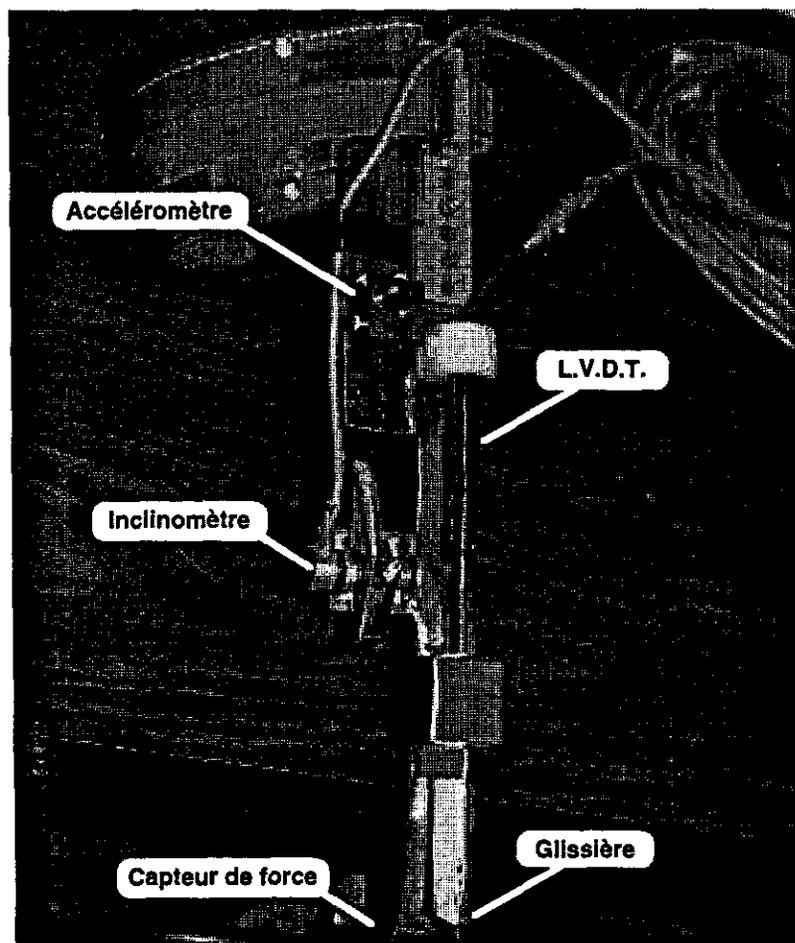
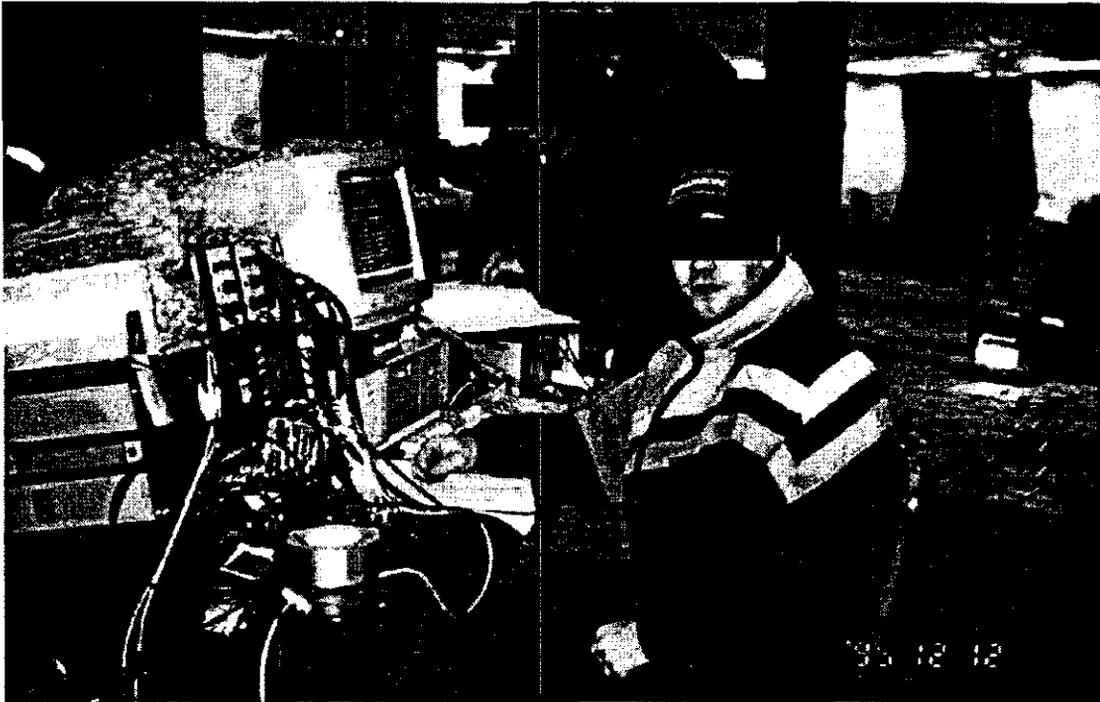


Figure 8 Instrumentation de l'éperon Bashlin utilisé pour la collecte des mesures physiques



**Figure 9** Système d'acquisition de données

La validation de la chaîne de mesure (éperon instrumenté et mesure de l'activation musculaire) a été réalisée sur un poteau de distribution (Pin-rouge traité au CCA-PEG; 7.6 m de hauteur) installé à l'intérieur d'un laboratoire de génie mécanique de l'ÉTS. Un monteur d'expérience a participé à ces essais.

### **7.3.2 Caractéristiques des monteurs participants**

Vingt quatre (24) monteurs d'expérience ont participé aux essais qui ont été réalisés sur le site du Centre de recherche en technologie du réseau extérieur de Bell Canada à Varennes. Douze (12) d'entre eux étaient à l'emploi d'Hydro-Québec (dont une femme), six (6) étaient à l'emploi de Bell Canada et six (6) provenaient des compagnies de distribution électriques suivantes : Hydro-Sherbrooke, Hydro-Coaticook et une compagnie indépendante. Les caractéristiques des monteurs d'après leur provenance respective sont présentées au tableau 13 (note : le poids de l'équipement de montage est compris dans le poids des monteurs).

Les monteurs de toute provenance ont été sélectionnés de façon aléatoire par les contremaîtres contactés. Par contre, les contremaîtres d'Hydro-Québec devaient fournir six (6) monteurs de poids léger. Un poids d'environ 75 kg leur avait été spécifié.

Les douze monteurs d'Hydro-Québec ont été regroupés en deux groupes distincts pour les fins d'une évaluation comparative sur le poids des monteurs : monteurs Hydro-Québec - poids léger (6 monteurs) et monteurs Hydro-Québec (6 monteurs). Les caractéristiques des monteurs de ces deux groupes sont présentées au tableau 14. Mentionnons que les deux groupes ont été obtenus simplement en séparant en nombre égal les douze monteurs

d'Hydro-Québec selon leur poids respectif. Par conséquent, aucun de ces deux groupes n'est réellement représentatif du poids de la population des monteuses de Hydro-Québec.

**Tableau 13** Caractéristiques des monteuses participantes

<i>Caractéristiques</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>
<b>Hydro-Québec (12 monteuses)</b>		
• Âge (ans)	36.9	6.05
• Taille (cm)	172.3	4.45
• Poids (kg)	94.3	14.25
• Expérience-monteur (ans)	11.9	7.75
<b>Bell Canada (6 monteuses)</b>		
• Âge (ans)	43.6	3.26
• Taille (cm)	177.1	5.49
• Poids (kg)	106.6	8.1
• Expérience-monteur (ans)	19.8	7.75
<b>Autres (6 monteuses)</b>		
• Âge (ans)	33.8	3.18
• Taille (cm)	177.1	3.18
• Poids (kg)	93.7	6.2
• Expérience-monteur (ans)	11.3	4.63
<b>Total (24 monteuses)</b>		
• Âge (ans)	37.8	5.96
• Taille (cm)	174.7	4.93
• Poids (kg)	97.2	12.2
• Expérience-monteur (ans)	13.7	6.99

*Note : le poids des monteuses inclut le poids des équipements*

**Tableau 14** Caractéristiques des monteuses d'Hydro-Québec selon les catégories "Hydro-Québec - poids léger" et "Hydro-Québec"

<i>Caractéristiques</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Écart-type</i>
<b>Hydro-Québec (poids léger)</b>		
• Âge (ans)	35.5	6.25
• Taille (cm)	169.3	2.65
• Poids (kg)	84.1	11.7
• Expérience-monteur (ans)	8.9	6.81
<b>Hydro-Québec</b>		
• Âge (ans)	38.3	6.05
• Taille (cm)	175.3	3.88
• Poids (kg)	104.4	7.9
• Expérience-monteur (ans)	15.0	7.97

#### 7.4 Procédure générale et déroulement des mesures

Les essais ont été effectués dans la semaine du 11 au 16 décembre 1995. Les douze poteaux ont été érigés en cercle, sous un chapiteau chauffé (figures 10 et 11).

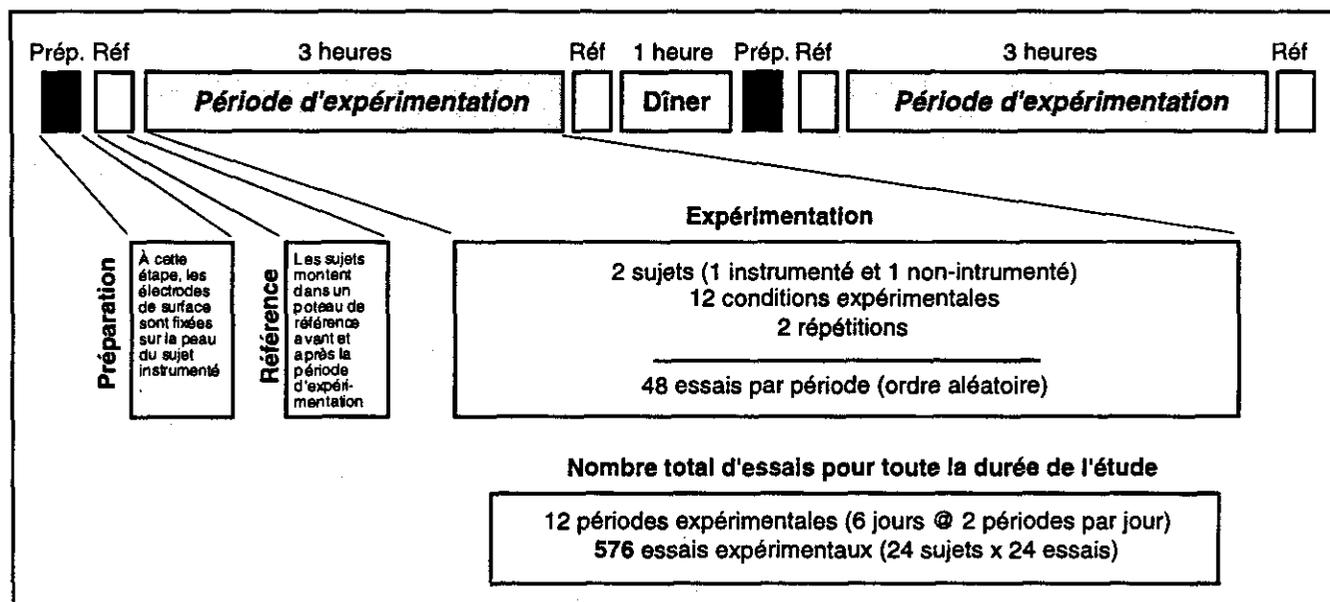


Figure 10 Vue de la position des poteaux à l'intérieur du site d'expérimentation



Figure 11 Vue extérieure du site d'expérimentation de l'étude principale

L'expérimentation complète s'est déroulée sur 12 périodes de 3 heures chacune (une période l'avant-midi et une période l'après-midi). Deux monteurs différents participaient à chacune des périodes expérimentales. Un seul des deux monteurs était instrumenté à chaque période compte tenu que nous ne disposions que d'un seul éperon instrumenté. Par conséquent, 12 des 24 monteurs participants ont été instrumentés. Mentionnons, à titre d'information, leur provenance : 7 d'Hydro-Québec, 2 de Bell Canada et 3 parmi les autres compagnies de distribution électrique. La figure 12 illustre le déroulement d'une journée type d'expérimentation (2 périodes).



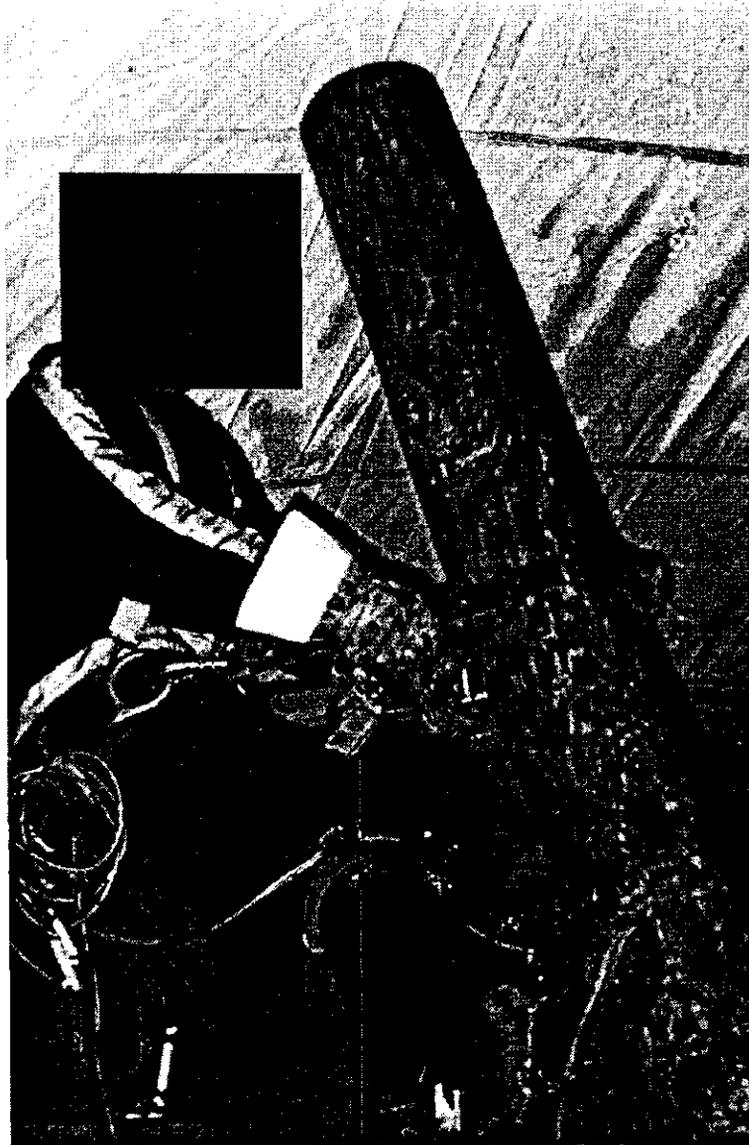
**Figure 12** Schématisation d'une journée type d'expérimentation (étude principale)

À leur arrivée sur le site, les groupes de deux monteurs recevaient les instructions verbales d'usage sur la procédure générale prescrite au protocole. Par la suite, ils devaient compléter et signer un formulaire de consentement (annexe 5). Un volontaire parmi les deux monteurs était instrumenté.

Avant d'entreprendre les essais, les monteurs devaient grimper dans un poteau de pratique afin de se familiariser avec la courroie de positionnement à laquelle était combiné un système d'arrêt de chute « Pole Choker » (figure 13). L'emploi d'un système d'arrêt, pour raisons de déontologie, s'est avéré nécessaire afin d'assurer la sécurité des monteurs lors des essais expérimentaux. Tous les monteurs en étaient à leur première expérience avec l'utilisation de ce système d'arrêt de chute. Par la suite, les monteurs devaient ensuite grimper dans un poteau de « référence » et utiliser la grille d'évaluation psychophysique. Cette procédure a également été répétée à la fin des essais expérimentaux. Elle visait à vérifier si la perception psychophysique des monteurs demeurait inchangée tout au long des essais<sup>1</sup>. Une fois ces étapes préliminaires complétées, les monteurs procédaient à la

<sup>1</sup> Les résultats des analyses de variance pour chacune des quatre questions du questionnaire psychophysique n'ont révélé aucune différence significative entre les réponses des monteurs rapportées au début et à la fin des essais. Par conséquent, nous pouvons admettre que la perception psychophysique des monteurs est demeurée comparable durant la période d'expérimentation.

réalisation des essais. À chacune des 12 périodes d'expérimentation, les monteurs participants (2 monteurs à chaque période) réalisaient leurs essais en même temps. Un essai consistait à grimper au sommet de l'un des douze poteaux placés en cercle, effectuer des extensions du haut du corps du côté droit et du côté gauche (afin de simuler une position d'atteinte), puis à redescendre. La durée de la période de repos qui suivait chaque essai était laissée à la discrétion du monteur. Pendant cette période, chaque monteur devait compléter le questionnaire d'évaluation psychophysique. Tous les monteurs ont réalisé 24 essais, soit 12 poteaux x 2 répétitions. L'ordre de réalisation des essais était complètement aléatoire pour l'ensemble des monteurs participants. Au total, les 24 monteurs ont effectué 576 essais (288 essais instrumentés et 288 essais non-instrumentés).



**Figure 13** Monteur utilisant une courroie de positionnement munie d'un système d'arrêt de chute

**Monteurs instrumentés** : Les mesures ont été réalisées lors de la montée et de la descente. Six (6) pénétrations (ou enjambées) en moyenne ont été observées lors de la montée comparativement à quatre (4) pénétrations en moyenne pour la descente. Au total, nos résultats sont fondés sur un total d'environ 1728 pénétrations en montée et de 1152 pénétrations en descente. Le capteur de force, le capteur de rotation et l'accéléromètre transversal ont été brisés lors des essais et ces données n'ont pu être analysées d'un point de vue statistique. Les quelques valeurs que nous avons obtenu ont néanmoins montré que l'angle de pénétration était de l'ordre de 23 degrés et qu'il y avait peu de variation significative. Une précédente étude menée en 1987 par Éric Rey-Lescure et Marc Thomas (Association canadienne d'électricité, 1987) avait montré que les forces de pénétration variaient en moyenne de 800 N à 1300 N en ascension, selon le poids des monteurs et que ces forces représentaient en moyenne 112 % du poids des monteurs. Les forces variaient entre 1000 N et 1800 N en descente, ce qui représentaient en moyenne 145 % du poids des monteurs. Fort heureusement, les données les plus utiles, à savoir la pénétration de la griffe et l'impact mesuré dans la direction de la jambe, ont pu être enregistrées tout au long des essais, sauf pour deux (2) essais sur 288 essais. La figure 14 illustre le grimpage d'un poteau avec l'éperon instrumenté.



**Figure 14** Grimpage d'un poteau à l'aide de l'éperon instrumenté

## 7.5 Résultats

L'analyse de variance (ANOVA) est utilisée pour analyser les 576 essais (dont 288 essais avec l'instrumentation) réalisés dans le cadre de l'étude principale. L'ANOVA est appliquée à chacune des catégories de variables dépendantes étudiées:

- |  |  |
|--|--|
| 1) perception psychophysique :<br>(576 essais)               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- appréciation de la dureté du poteau</li> <li>- niveau d'inconfort physique ressenti à grimper le poteau</li> <li>- sentiment de sécurité</li> <li>- appréciation globale du poteau</li> </ul>                 |
| 2) activation musculaire de quatre muscles :<br>(288 essais) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- droit interne de la hanche</li> <li>- biceps fémoral</li> <li>- droit antérieur</li> <li>- tenseur du fascia lata</li> </ul>  |
| 3) mesures physiques :<br>(288 essais)                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- pénétration de la griffe en montée</li> <li>- pénétration de la griffe en descente</li> <li>- impact générée par la pénétration en montée</li> <li>- impact générée par la pénétration en descente</li> </ul> |

Un niveau de confiance de 95% ( $p < 0.05$ ) est choisi pour identifier les effets significatifs. Mentionnons que toutes les variables dépendantes analysées en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne sont présentées selon les valeurs moyennes réelles des mesures de Pilodyn prises à la sélection des poteaux, en cours d'essais et à la fin de la semaine d'expérimentation (voir tableau 12). De plus, l'intervalle de confiance 95% autour de la moyenne réelle des mesures effectuées leur est aussi appliqué. Cet intervalle est calculé à partir de l'ensemble de toutes les mesures individuelles prises au Pilodyn lors de la sélection des poteaux, au milieu et à la fin de la semaine d'expérimentation. Les variations entre les mesures effectuées pendant et entre les trois périodes de mesures sont par conséquent considérées dans cet intervalle. L'intervalle de confiance pour la moyenne montre les limites inférieure et supérieure de la position de la vraie moyenne de la dureté « Pilodyn » à un niveau de confiance de 95%.

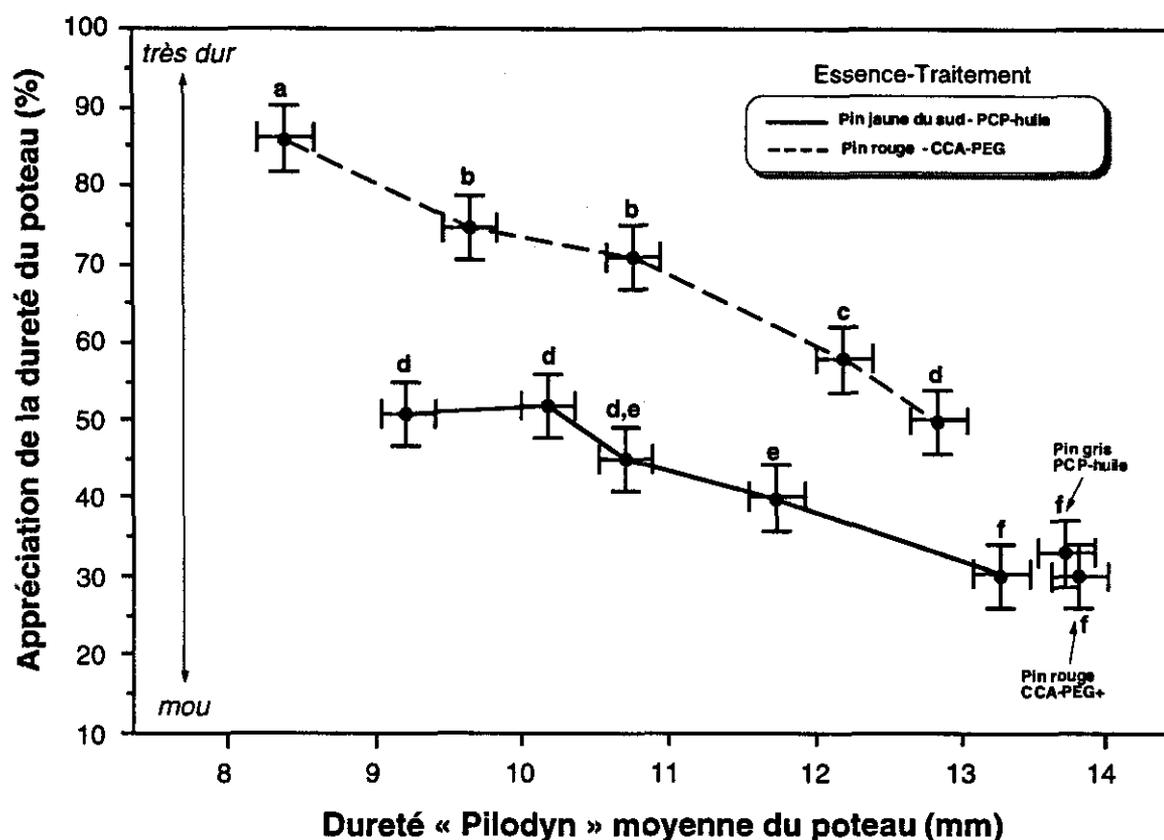
### 7.5.1 Évaluation psychophysique

#### Appréciation de la dureté du poteau

L'analyse de variance (ANOVA) (tableau 15) de l'appréciation de la dureté du poteau révèle que la dureté « Pilodyn » moyenne est significative ( $p < 0.00001$ ). La figure 15 présente l'appréciation de la dureté du poteau en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne.

**Tableau 15** Tableau ANOVA de l'appréciation de la dureté du poteau

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	23	65440.8	2845.3		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	170101.0	15463.7	33.41	0.0000
Répétition (R)	1	146.5	146.5	0.43	0.5257
D x R	11	1299.01	118.09	0.60	0.8255
Erreur	253	49527.7	195.76		
Total	575	411457.0			

**Figure 15** Graphique de l'appréciation de la dureté du poteau en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne

Après l'ANOVA, nous avons aussi appliqué le test de comparaison multiple **Newman-Keuls** sur la variable indépendante : dureté « Pilodyn » moyenne. Les résultats de ce test sont indiqués par des lettres sur la figure 15. Lorsque les lettres sont différentes, cela indique qu'il existe une différence significative à un niveau de confiance 95% ( $p < 0.05$ ) entre les duretés « Pilodyn » moyennes pour la mesure de l'appréciation de la dureté. Par contre, les mesures de l'appréciation de la dureté ne sont pas différentes lorsque les lettres sont identiques.

La figure 15 montre qu'à valeur de Pilodyn égale, la différence de la perception de la dureté entre les combinaisons essence-traitement n'est pas constante, ce qui suggère une interaction essence-traitement et dureté « Pilodyn ». Nous constatons que les poteaux de pin jaune du sud traité à l'huile PCP sont perçus moins durs par les monteuses que les

poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG pour des duretés « Pilodyn » moyennes équivalentes. Par ailleurs, il est intéressant de constater que les monteurs semblent discriminer plus aisément la dureté « Pilodyn » des poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG. Compte tenu des positions relatives des combinaisons essence-traitement sur la figure 15, il apparaît évident qu'une mesure de pénétration au Pilodyn ne reflète par la dureté perçue par les monteurs si on ne distingue pas les combinaisons essence-traitement. Par contre, il existe une relation claire entre l'appréciation de la dureté du poteau et la dureté « Pilodyn » pour une même combinaison essence-traitement, cette relation étant plus apparente pour la combinaison du pin rouge traité au CCA-PEG.

La figure 15 montre également que l'appréciation de la dureté du poteau de pin rouge (CCA-PEG) d'une dureté « Pilodyn » moyenne de 12.8 mm est équivalente à celles des poteaux de pin jaune du sud (PCP-huile) des duretés « Pilodyn » moyennes de 9.2, 10.2 et 10.7 mm. Enfin, les trois poteaux d'une dureté « Pilodyn » moyenne supérieure à 13 mm donnent des appréciations de la dureté équivalentes.

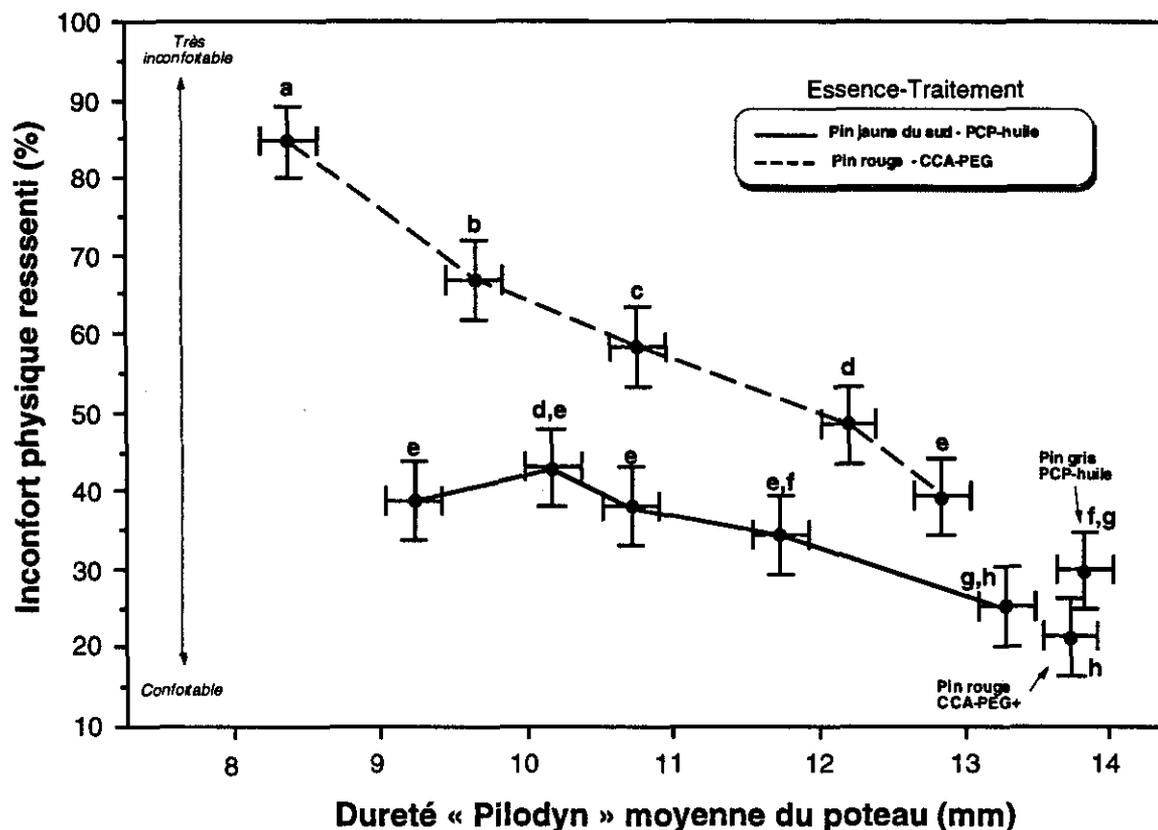
#### Niveau d'inconfort physique ressenti à grimper le poteau

L'analyse de variance appliquée à la mesure de l'inconfort physique ressenti révèle que la dureté « Pilodyn » moyenne ( $p < 0.00001$ ) est significative à un niveau de confiance de 95% (tableau 16).

La figure 16 montre qu'à des duretés « Pilodyn » moyennes équivalentes, les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG sont perçus moins confortables à grimper que les poteaux de pin jaune du sud traités au PCP-huile. La figure 16 montre également que le poteau pin gris (PCP-huile) est perçu moins confortable à grimper que le poteau de pin rouge traité au CCA-PEG+ ( $p < 0.05$ ) malgré des duretés « Pilodyn » moyennes équivalentes. La position relative de ces deux derniers poteaux semble aussi révéler une influence de l'essence du bois ou du type traitement sur le niveau d'inconfort physique. D'ailleurs, les niveaux d'inconfort physique ressenti ne sont pas différents entre le poteau de pin rouge traité au CCA-PEG+ et le pin jaune (PCP-huile) d'une dureté « Pilodyn » moyenne de 13.3 mm. L'inconfort physique ressenti n'est pas différent entre les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile d'une dureté « Pilodyn » inférieure à 12 mm et le poteau de pin rouge traité au CCA-PEG d'une dureté « Pilodyn » moyenne de 12.8 mm.

**Tableau 16** Tableau ANOVA du niveau d'inconfort ressenti à grimper le poteau

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	23	95960.2	4172.2		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	175847.0	15986.1	28.95	0.0000
Répétition (R)	1	130.1	130.1	1.14	0.2977
D X R	11	1169.35	106.31	0.39	0.9604
Erreur	253	69488.6	274.66		
Total	575	484957.0			



**Figure 16** Graphique de l'inconfort physique ressenti en fonction de la dureté «Pilodyn» moyenne

### Sentiment de sécurité

Du tableau ANOVA (tableau 17), nous pouvons également constater que la dureté « Pilodyn » moyenne ( $p < 0,00001$ ) influencent significativement le sentiment de sécurité tel qu'exprimé par les monteurs participants. La figure 17 illustre l'effet de la dureté « Pilodyn » moyenne sur le sentiment de sécurité.

**Tableau 17** Tableau ANOVA du sentiment de sécurité exprimé par les monteurs lorsqu'ils se trouvaient dans le poteau

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	23	106679.0	4638.2		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	203933.0	18539.4	32.10	0.0000
Répétition (R)	1	167.1	167.1	0.95	0.3499
D x R	11	2471.88	224.33	0.77	0.6738
Erreur	253	74211.7	293.33		
Total	575	537602.0			

Nous pouvons constater, encore une fois, que la disposition relative des combinaisons essence-traitement est approximativement identique à celles de l'appréciation de la dureté et du niveau d'inconfort physique ressenti. Les poteaux de pin jaune du sud (PCP-huile) sont perçus plus sécuritaires que les poteaux de pin rouge (CCA-PEG) par les monteurs participants à des duretés « Pilodyn » moyennes équivalentes. Par ailleurs, la perception du sentiment de sécurité n'est pas différente pour tous les poteaux de pin jaune (PCP-huile) d'une dureté « Pilodyn » moyenne inférieure à 12 mm. De plus, la perception du sentiment de sécurité rapportée pour le poteau de pin rouge (CCA-PEG) d'une dureté « Pilodyn » de 12.8 mm n'est pas différente de celles obtenues pour les poteaux de pin jaune (PCP-huile) d'une dureté « Pilodyn » inférieure à 12 mm. Les poteaux d'une dureté « Pilodyn » moyenne supérieure à 13 mm sont ceux qui, globalement, sont perçus les plus sécuritaires par les monteurs participants. L'analyse n'a révélé aucune différence entre les perceptions du sentiment de sécurité pour ces trois derniers poteaux.

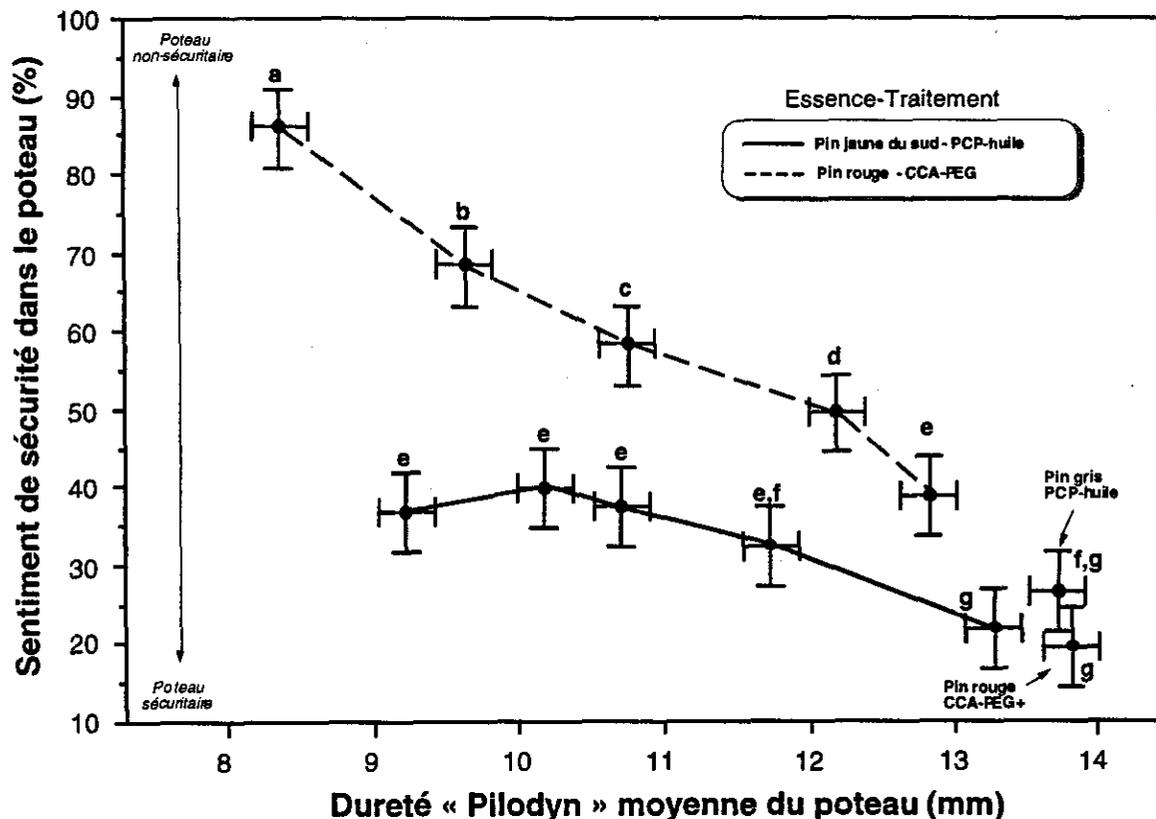


Figure 17 Graphique du sentiment de sécurité exprimé par les monteurs lorsqu'ils se trouvaient dans le poteau en fonction de la dureté «Pilodyn» moyenne

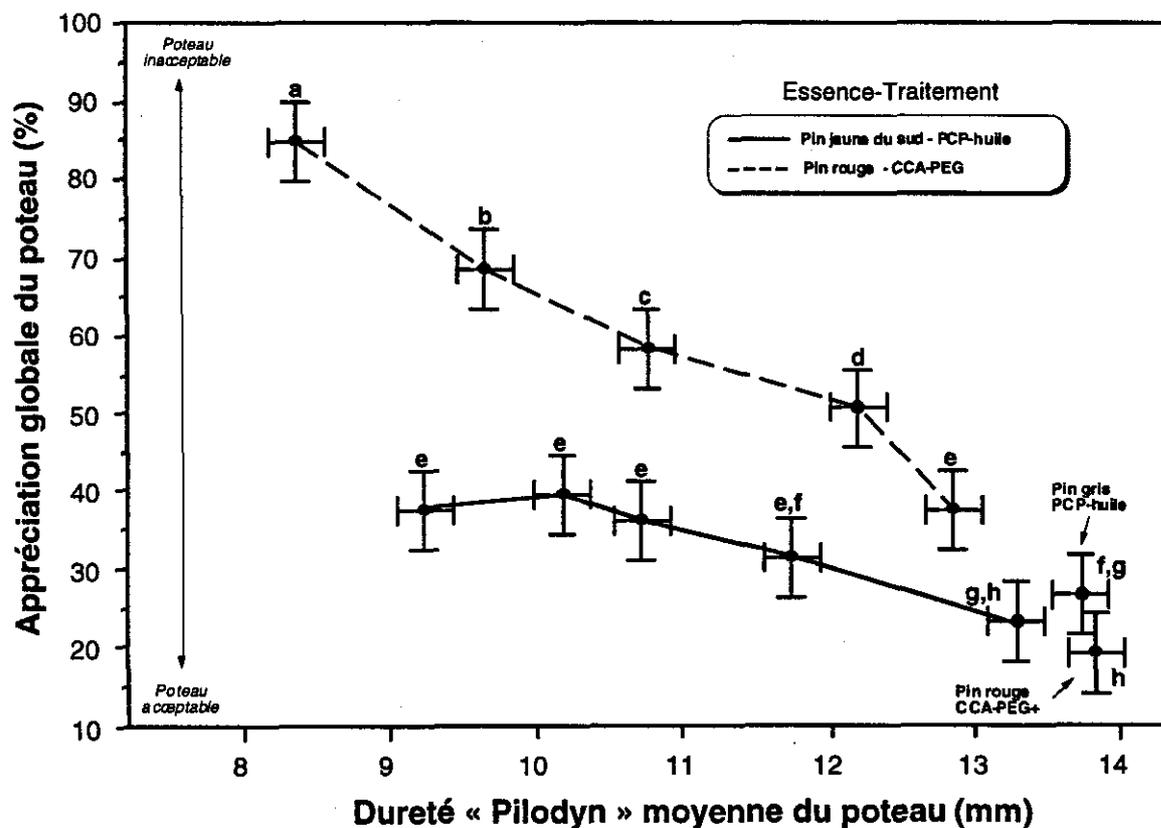
#### Appréciation globale du poteau

Le tableau ANOVA ci-après (tableau 18) révèle encore une fois que la dureté « Pilodyn » moyenne influencent l'appréciation globale du poteau telle qu'exprimée par les monteurs participants ( $p < 0,00001$ ). Dans l'ensemble, les 24 monteurs participants ont trouvé plus acceptables les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile que les poteaux de pin rouge

(CCA-PEG) à des duretés « Pilodyn » moyennes équivalentes (figure 18). L'appréciation globale n'est pas différente entre les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile d'une dureté « Pilodyn » inférieure à 12 mm et le poteau de pin rouge traité au CCA-PEG d'une dureté « Pilodyn » moyenne de 12.8 mm. De plus, les niveaux d'appréciation globale ne sont pas différents entre le poteau de pin rouge traité au CCA-PEG+ et le pin jaune (PCP-huile) d'une dureté « Pilodyn » moyenne de 13.3 mm.

**Tableau 18** Tableau ANOVA de l'appréciation globale des poteaux

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	23	122790.0	5338.7		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	201697.0	18336.1	29.25	0.0000
Répétition (R)	1	263.7	263.7	0.93	0.3548
D x R	11	2009.57	182.69	0.67	0.7689
Erreur	253	69262.6	273.77		
Total	575	561157.0			



**Figure 18** Graphique de l'appréciation globale du poteau en fonction de la dureté «Pilodyn» moyenne

## 7.5.2 Provenance des monteurs

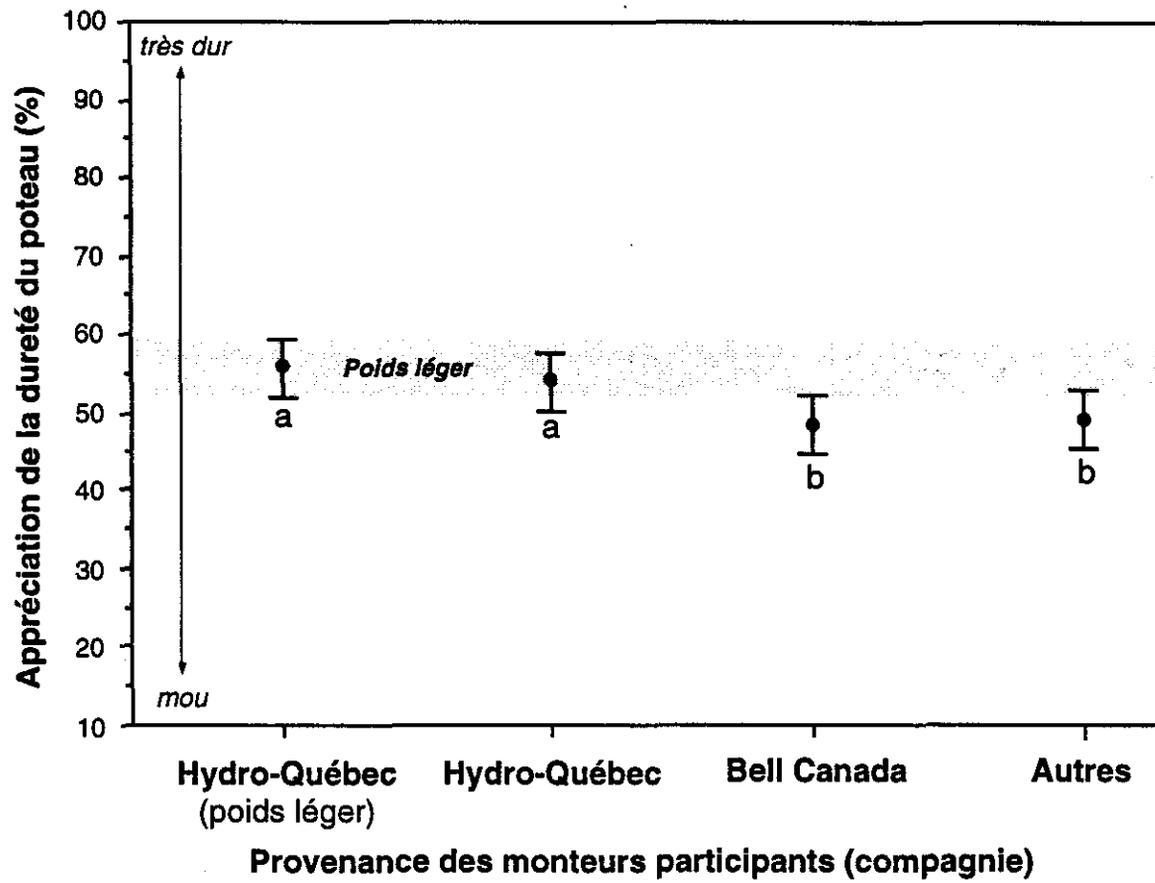
À cette étape de nos analyses, nous avons voulu évaluer si la provenance des monteurs avait une influence sur les variables dépendantes mesurées à partir du questionnaire d'évaluation psychophysique. Pour ce faire, nous avons regroupé les 24 monteurs participants en fonction de leur provenance (compagnie d'origine) et de leur poids pour les monteurs de la compagnie Hydro-Québec (C.F. section 7.3.2). Nous avons ainsi obtenu les quatre groupes suivants : 1) Hydro-Québec (poids léger) ; 2) Hydro-Québec ; 3) Bell Canada et enfin; 4) « Autres » pour les compagnies de distribution électriques indépendantes. Pour fin d'analyse, les quatre groupes ont été regroupés sous la variable indépendante « Provenance ». Chaque groupe comporte six (6) monteurs. Les deux groupes en provenance d'Hydro-Québec ont été formés uniquement afin de vérifier l'effet du poids corporel sur les variables dépendantes du questionnaire psychophysique. Les caractéristiques des monteurs de chaque groupe ont été présentées à la section 7.3.2 (tableaux 13 et 14). Les sections suivantes présentent les résultats des analyses effectuées pour chacune des variables dépendantes du questionnaire de l'évaluation psychophysique.

### Appréciation de la dureté du poteau selon la provenance des monteurs

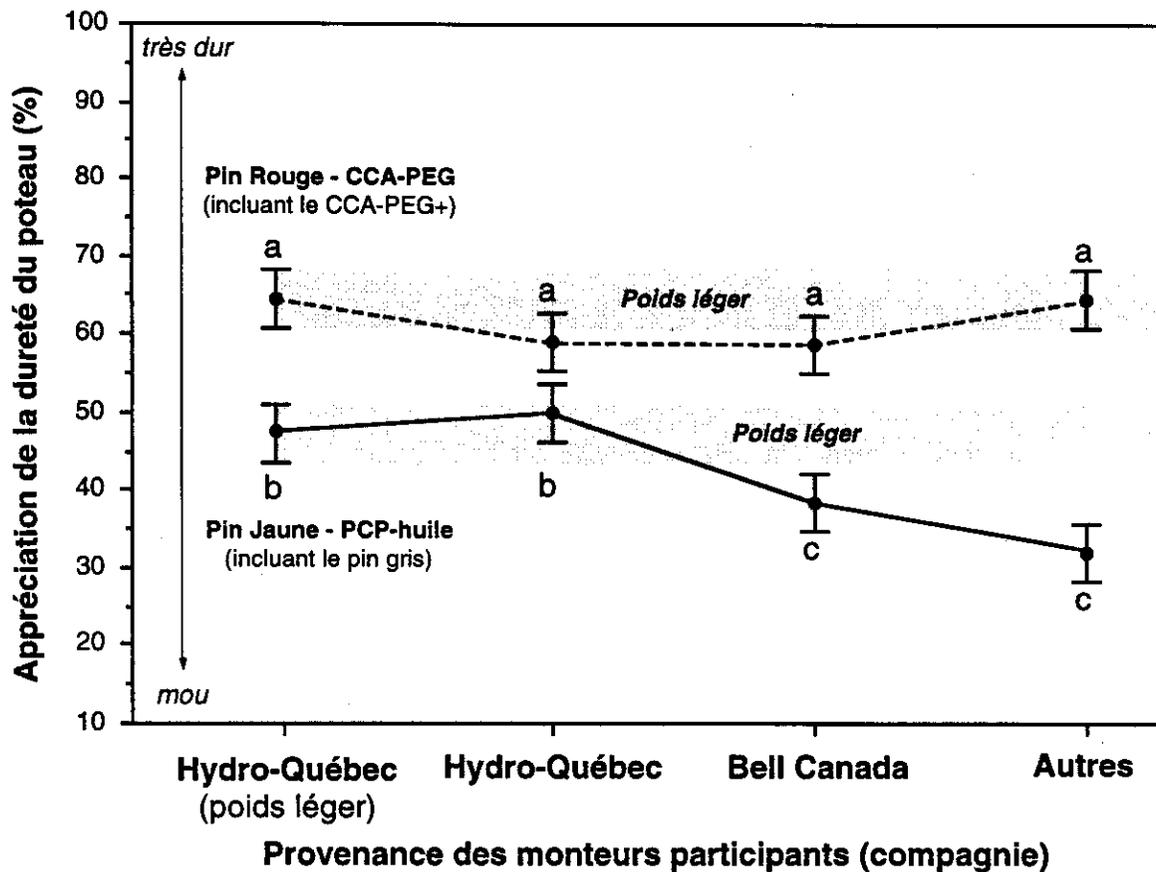
Le tableau ci-après (tableau 19) présente les résultats de l'analyse de variance pour la mesure de l'appréciation de la dureté du poteau. Les résultats révèlent que les variables indépendantes suivantes sont significatives à un niveau de confiance de 95% : provenance des monteurs ( $p < 0,0013$ ); dureté « Pilodyn » moyenne ( $p < 0,00001$ ); ainsi que l'interaction entre la provenance et la dureté ( $P \times D$ ) ( $p < 0,0204$ ). L'effet de la variable « Provenance » est présenté à la figure 19. Nous pouvons constater qu'il n'existe aucune différence entre les groupes Hydro-Québec au niveau de l'appréciation de la dureté du poteau. Les monteurs des compagnies Bell Canada et « Autres », par contre, trouvent les poteaux légèrement moins durs. Ce constat, toutefois, est valide seulement avec les poteaux de pin jaune (incluant le pin gris) traités au PCP-huile (figure 20). Cet effet peut possiblement s'expliquer par le fait que les grimpeurs de Bell Canada ont l'habitude de grimper des poteaux durs et que, par conséquent ils ont tendance à juger plus favorablement des poteaux qui offrent une meilleure pénétration de la griffe. Par ailleurs, la provenance des monteurs n'influencent pas l'appréciation de la dureté avec des poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG (incluant le CCA-PEG+).

**Tableau 19** Tableau ANOVA de l'appréciation de la dureté du poteau

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Provenance (P)	3	6821.6	2273.8	5.32	0.0013
Dureté « Pilodyn » (D)	11	170101.0	15463.7	36.19	0.0000
Répétition (R)	1	146.5	146.5	0.34	0.5647
P x D	33	22544.1	683.16	1.60	0.0204
Erreur	480	205094.0	427.28		
Total	575	411457.0			



**Figure 19** Graphique de l'appréciation de la dureté du poteau en fonction de la provenance des monteuses participants



**Figure 20** Graphique de l'appréciation de la dureté du poteau en fonction de la provenance des monteurs participants et de la combinaison essence-traitement

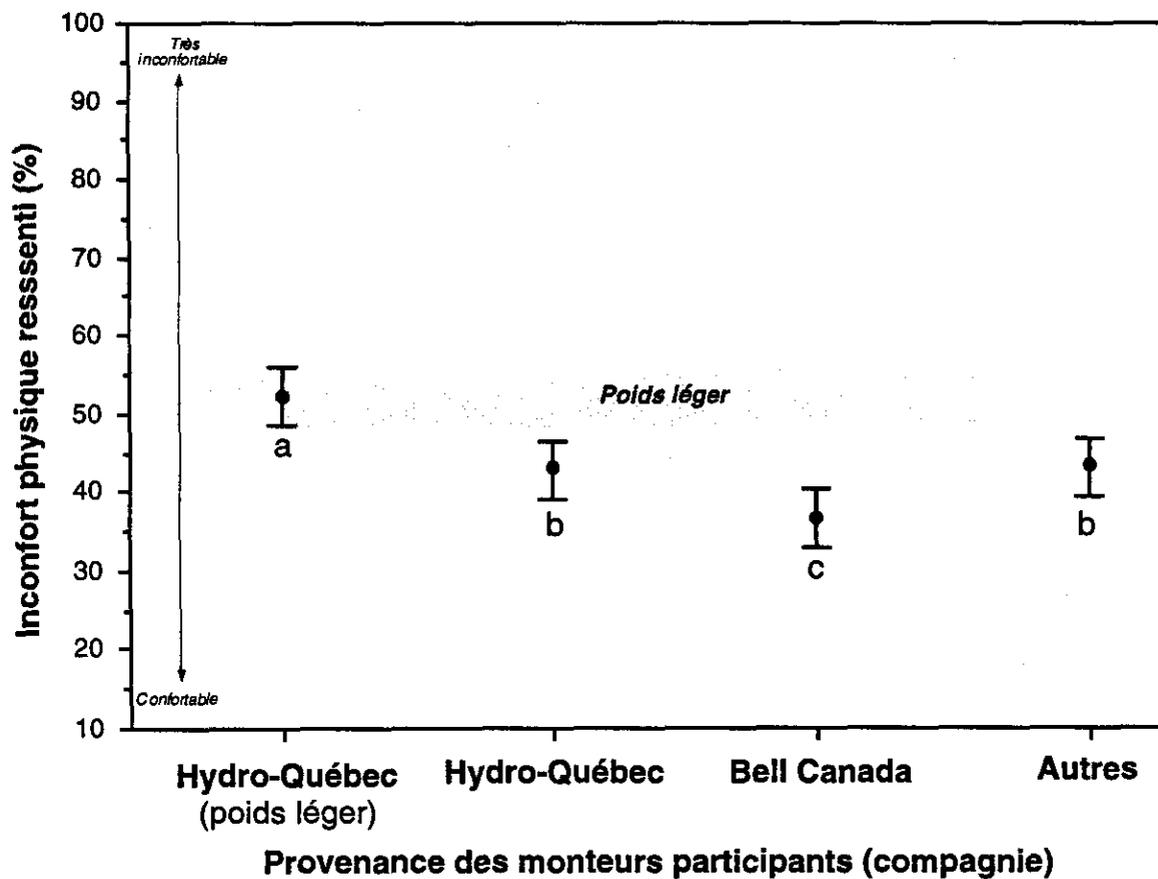
#### Niveau d'inconfort physique ressenti à grimper le poteau selon la provenance des monteurs

L'analyse du niveau d'inconfort physique ressenti à grimper le poteau (tableau 20) révèle aussi que la provenance des monteurs ( $p < 0,00001$ ), la dureté « Pilodyn » moyenne ( $p < 0,00001$ ) ainsi que l'interaction correspondante ( $p < 0,0435$ ) sont significatives. La figure 21 révèle que les monteurs du groupe Hydro-Québec « léger » ont trouvé moins confortables, en général, les poteaux testés que les monteurs des trois autres groupes. Parmi tous les groupes, ce sont les monteurs en provenance de Bell Canada qui ont rapporté les niveaux d'inconfort les plus faibles. La figure 22, toutefois, montre que les monteurs des groupes Hydro-Québec et Bell Canada rapportent des niveaux d'inconfort semblables lorsqu'ils évoluent dans des poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG (incluant le CCA-PEG+). De plus, pour ces mêmes poteaux, nous pouvons observer que les monteurs du groupe « Autres » rapportent des niveaux d'inconfort équivalents au groupe Hydro-Québec « léger ». Rappelons que les monteurs Hydro-Québec et Bell Canada avaient des poids relativement comparables (104.4 kg versus 106.6 kg), tout comme pour les groupes « Autres » et Hydro-Québec « léger » (84.1 kg versus 93.7 kg). L'effet observé au niveau de l'inconfort physique ressenti à grimper des poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG pourrait peut être s'expliquer par la variable « poids ». Cette dernière hypothèse, toutefois, ne semble pas s'appliquer pour les poteaux de pin jaune traités au

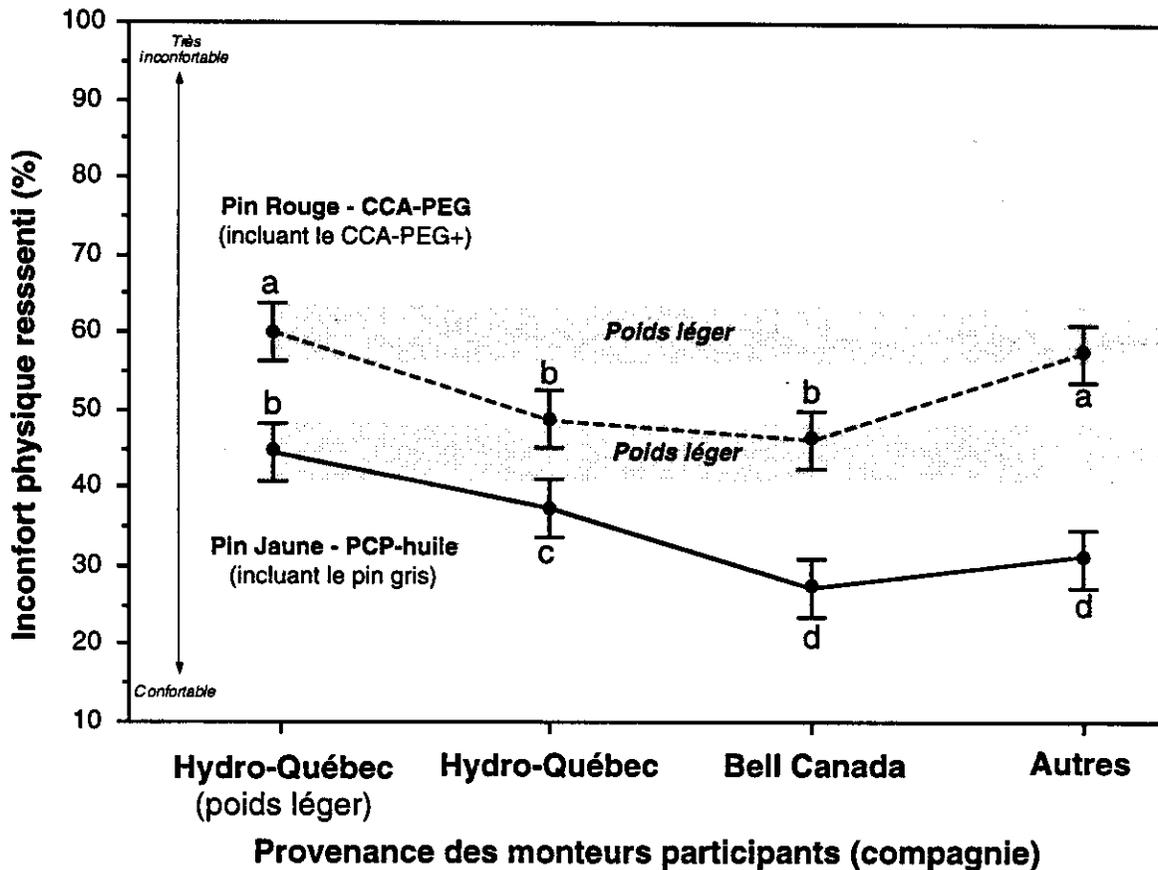
PCP-huile (incluant le pin gris). Dans ces derniers poteaux, les monteurs des groupes Bell Canada ont rapporté des niveaux d'inconfort physique ressenti plus faible que les deux groupes de monteurs en provenance d'Hydro-Québec. Cet effet, encore une fois, peut s'expliquer par le fait que les grimpeurs de Bell Canada ont l'habitude de grimper des poteaux durs et que, par conséquent ils ont tendance à juger plus confortable des poteaux qui offrent une meilleure pénétration de la griffe.

**Tableau 20** Tableau ANOVA du niveau d'inconfort ressenti à grimper le poteau

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Provenance (P)	3	17105.1	5701.7	10.6	0.0000
Dureté « Pilodyn » (D)	11	175847.0	15986.1	29.8	0.0000
Répétition (R)	1	130.1	130.1	0.24	0.6279
P x D	33	26253.6	795.56	2.6	0.0435
Erreur	480	257462.0	536.4		
Total	575	484957.0			



**Figure 21** Graphique du niveau d'inconfort physique ressenti à grimper dans le poteau en fonction de la provenance des monteurs



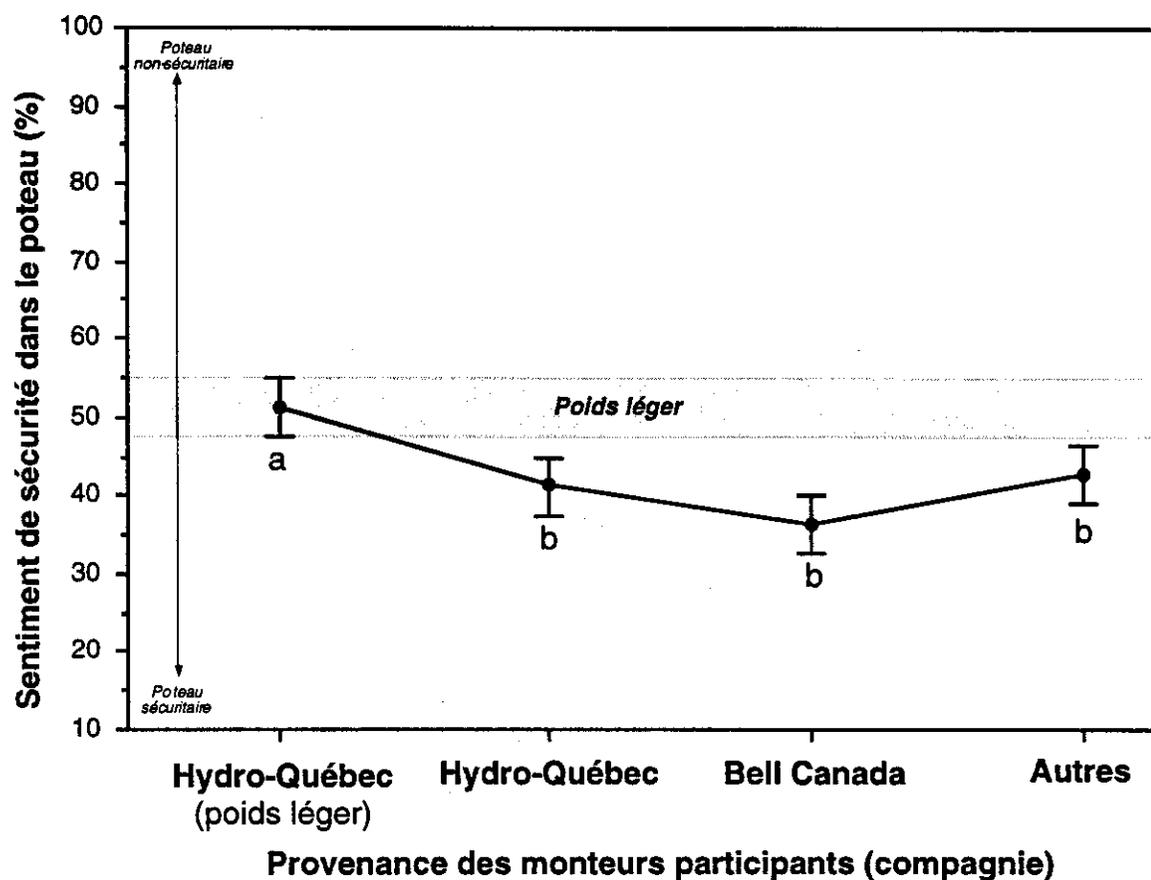
**Figure 22** Graphique du niveau d'inconfort physique ressenti à grimper dans le poteau en fonction de la provenance des monteurs participants et de la combinaison essence-traitement

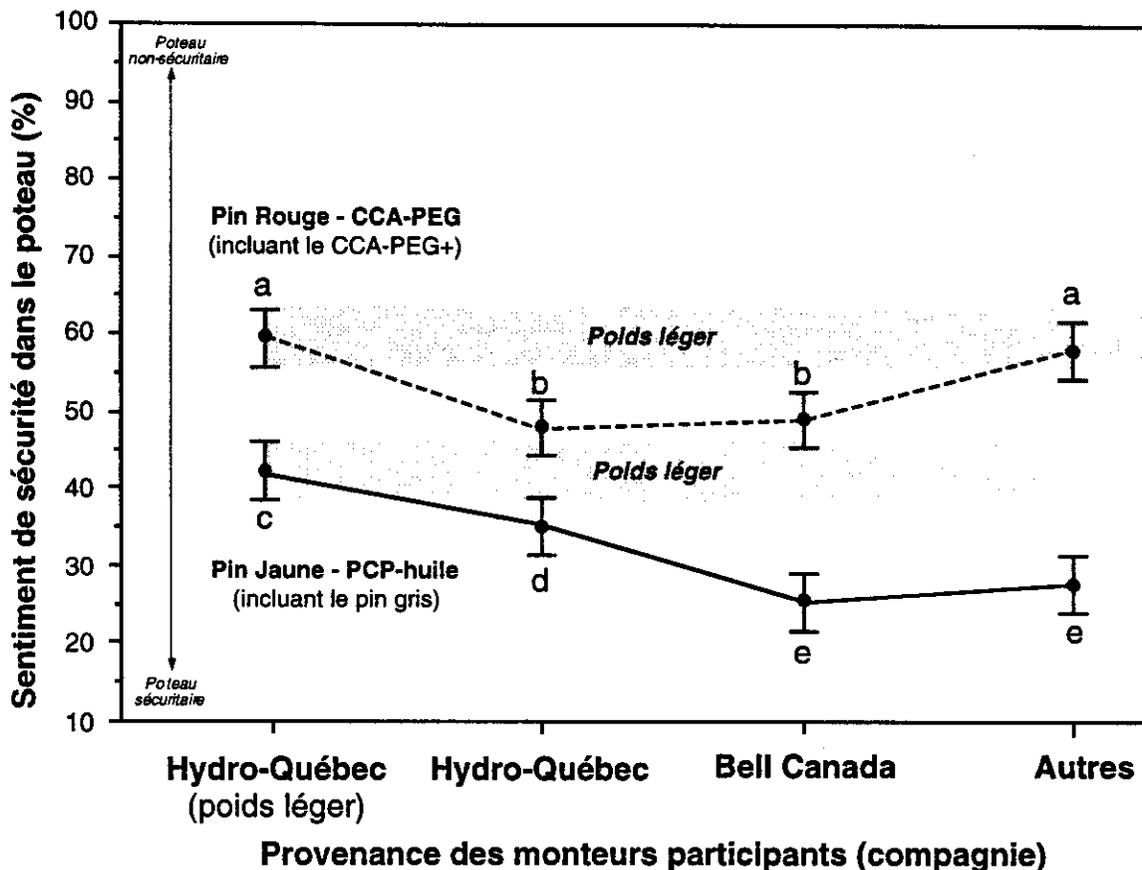
### Sentiment de sécurité selon la provenance des monteurs

Les résultats de l'analyse de variance (tableau 21) révèlent que la provenance des monteurs ( $p < 0,00001$ ), la dureté « Pilodyn » moyenne ( $p < 0,00001$ ), ainsi que l'interaction correspondante ( $p < 0,0334$ ) influencent significativement le sentiment de sécurité rapporté par les monteurs lorsqu'ils se trouvaient dans le poteau. La figure 23 révèle que les monteurs du groupe Hydro-Québec « léger » trouvent significativement moins sécuritaires les poteaux testés que les monteurs en provenance des autres groupes. Comme le montre la figure 24, cet effet est uniquement observable avec les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile. En effet, dans les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG (incluant CCA-PEG+), le sentiment de sécurité exprimé par les monteurs du groupe « Autres » est équivalent à celui exprimé par les monteurs du groupe Hydro-Québec « léger ». Un effet similaire avait été observé pour la perception de l'inconfort physique ressenti. Enfin, mentionnons que pour les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile (incluant le pin gris), les monteurs des groupes Bell Canada ont rapporté des niveaux d'insécurité plus faibles (poteaux plus sécuritaires) que les deux groupes de monteurs en provenance d'Hydro-Québec.

**Tableau 21** Tableau ANOVA du sentiment de sécurité

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Provenance (P)	3	17031.7	5677.3	9.84	0.0000
Dureté « Pilodyn » (D)	11	203933.0	18539.4	32.13	0.0000
Répétition (R)	1	167.1	167.1	0.29	0.5965
P x D	33	29024.3	879.53	1.52	0.0334
Erreur	480	276950.0	576.9		
Total	575	537602.0			

**Figure 23** Graphique du sentiment de sécurité en fonction de la provenance des monteurs



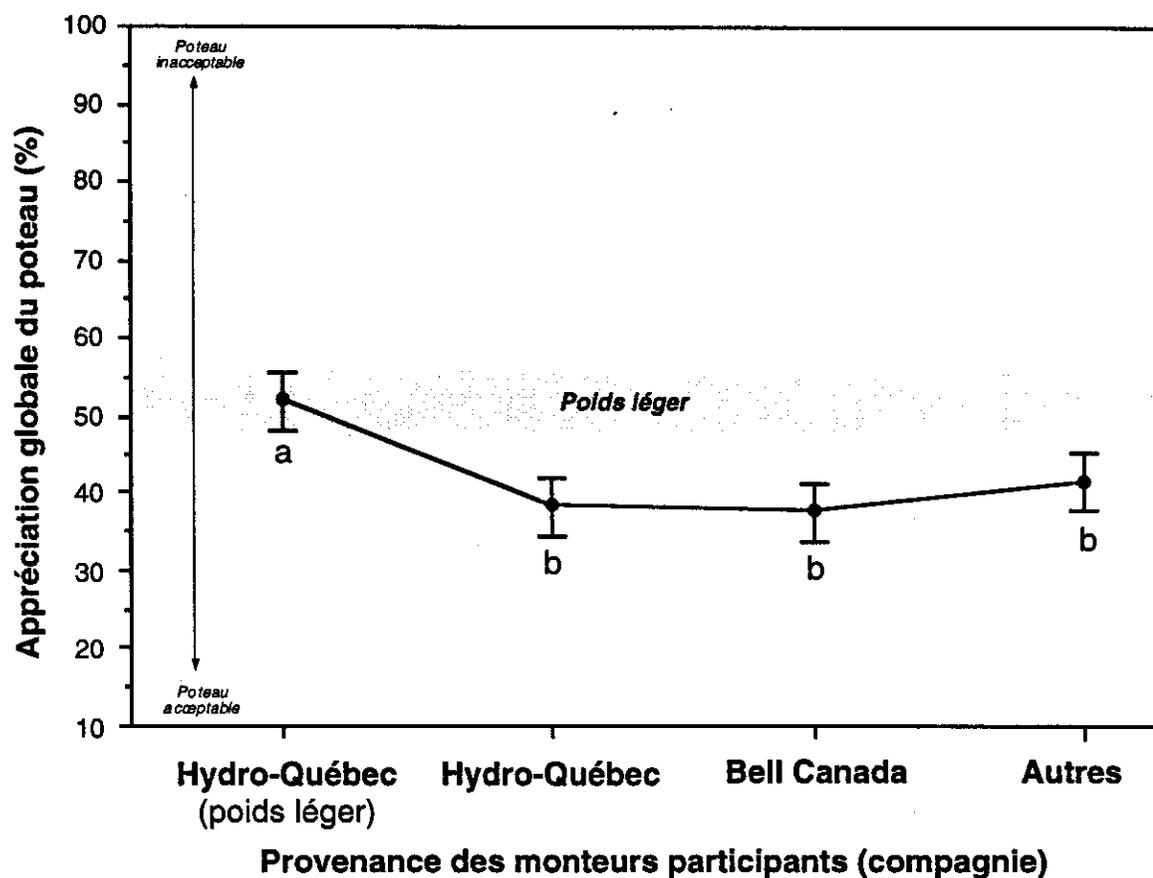
**Figure 24** Graphique du sentiment de sécurité en fonction de la provenance des monteuses et de la combinaison essence-traitement

#### Appréciation globale du poteau selon la provenance des monteuses

Le tableau ci-après (tableau 22) présente les résultats de l'analyse de variance appliquée pour la mesure de l'appréciation globale du poteau. Les résultats révèlent, comme à l'habitude, que les variables indépendantes suivantes sont significatives à un niveau de confiance de 95% : provenance des monteuses ( $p < 0,00001$ ) et dureté « Pilodyn » moyenne ( $p < 0,00001$ ). L'interaction entre la provenance et la dureté « Pilodyn » moyenne ( $P \times D$ ) est également significative ( $p < 0,0133$ ). La figure 25 illustre l'effet de la provenance sur l'appréciation globale des poteaux. En moyenne, les monteuses du groupe Hydro-Québec « léger » trouvent moins acceptables les poteaux testés que les monteuses autres groupes. Ce constat, par contre, est uniquement applicable aux poteaux de pin jaune traités au PCP-huile (incluant le pin gris) comme le montre la figure 26. En effet, l'appréciation globale des poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG (incluant CCA-PEG+) demeure équivalente chez les monteuses des groupes Hydro-Québec « léger » et « Autres ». De plus, les effets observés à la figure 26 sont pratiquement identiques à ceux observés pour les variables portant sur le sentiment de sécurité et l'inconfort physique ressenti.

**Tableau 22** Tableau ANOVA de l'appréciation globale du poteau

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Provenance (P)	3	18976.7	6325.6	10.3	0.0000
Dureté « Pilodyn » (D)	11	201697.0	18336.1	29.74	0.0000
Répétition (R)	1	263.7	263.7	0.43	0.5204
P x D	33	33796.2	1024.13	1.66	0.0133
Erreur	480	295953.0	616.5		
Total	575	561157.0			

**Figure 25** Graphique de l'appréciation globale du poteau en fonction de la provenance des monteuses

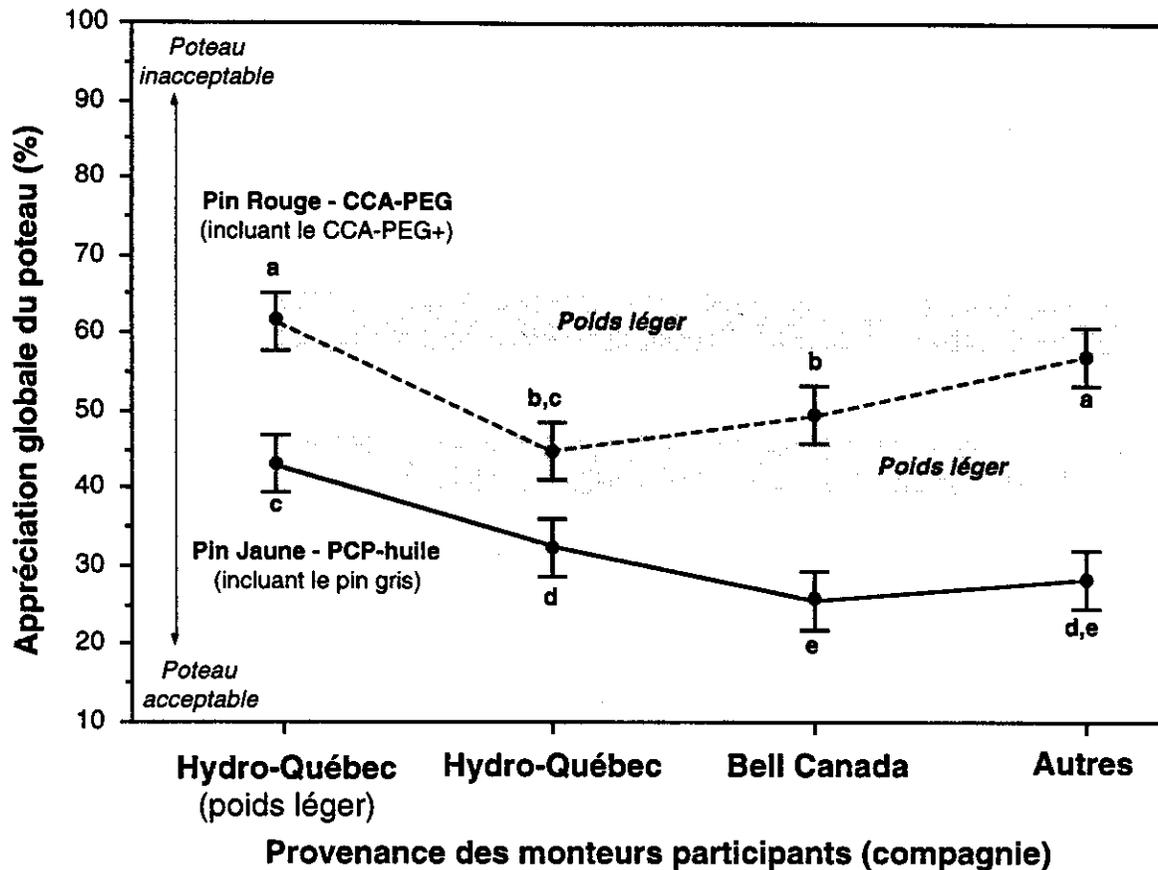


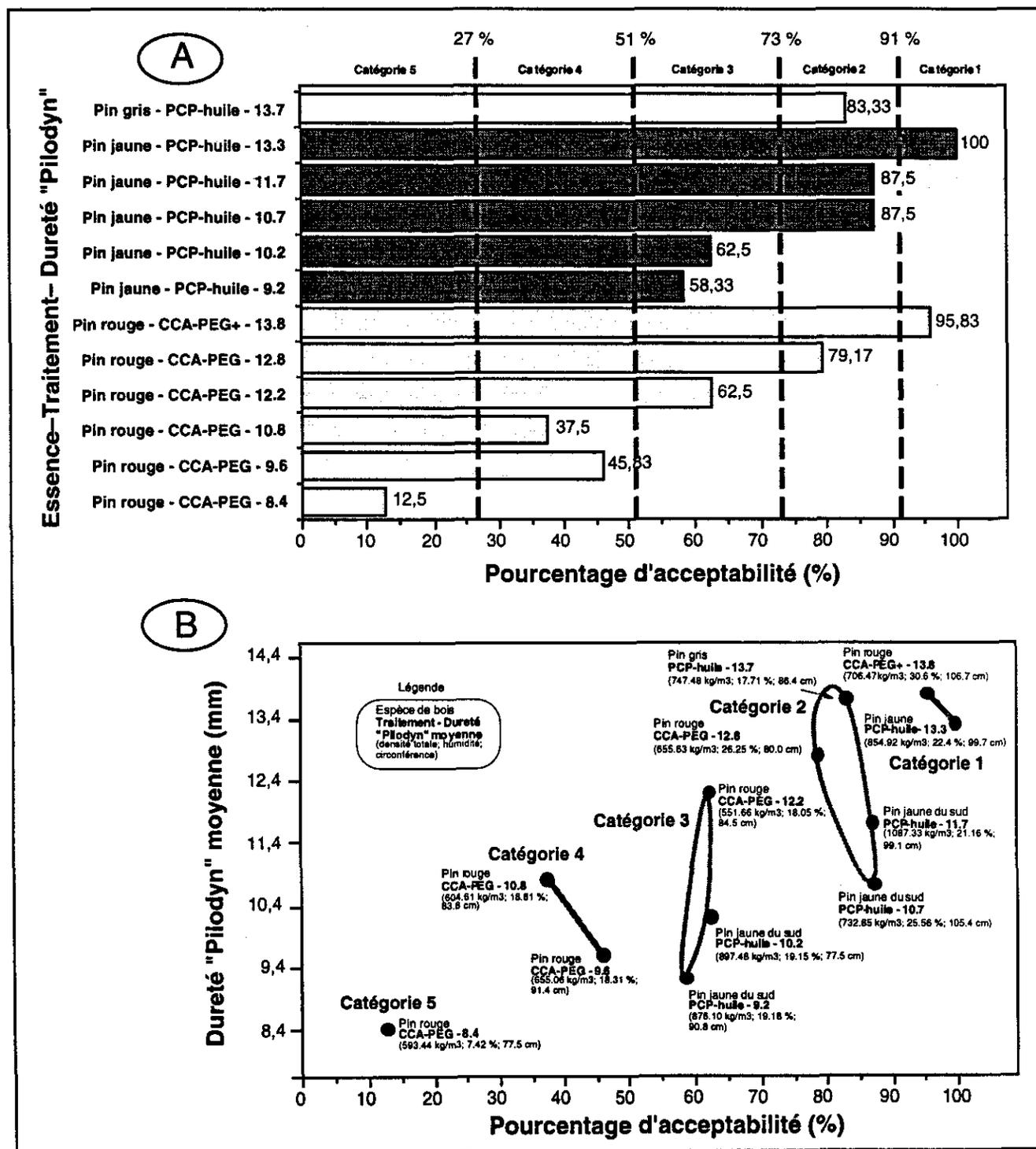
Figure 26 Graphique de l'appréciation globale du poteau en fonction de la provenance des monteurs et de la combinaison essence-traitement

### 7.5.3 « Acceptabilité » des poteaux étudiés

À la fin des essais, nous avons demandé à chaque monteur participant de formuler une appréciation globale de chacun des douze (12) poteaux évalués dans le cadre de l'étude principale. Pour ce faire, les monteurs devaient grimper à nouveau chaque poteau (à la base seulement) puis déterminer si le poteau était acceptable ou non-acceptable. La figure 27-A présente les résultats obtenus pour cette évaluation. Le pourcentage d'acceptabilité représente, pour chacun des poteaux, la proportion des monteurs qui ont accepté ce poteau. La figure 27-B montre les résultats d'une analyse de regroupement par classe (« cluster analysis »). Le regroupement des poteaux en cinq (5) catégories a été obtenu à partir de cette analyse.

De la figure 27-A, nous pouvons constater que les monteurs ont accepté dans une plus grande proportion les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile (incluant le pin gris), exception faite du poteau de pin rouge traité au CCA-PEG+ qui obtient un pourcentage d'acceptabilité supérieur au poteau d'une dureté « Pilodyn » moyenne équivalente (e.g. pin gris PCP-huile). Par ailleurs, il est intéressant de constater que le poteau pin rouge (CCA-PEG) d'une dureté « Pilodyn » moyenne de 12.8 mm montre un pourcentage d'acceptabilité comparable ou supérieur aux poteaux de pin jaune (PCP-huile) d'une dureté « Pilodyn » moyenne inférieure à 12 mm, ces derniers étant plus dur d'un point de vue

dureté « Pilodyn ». Il est aussi intéressant de rappeler que ce poteau (figure 18) démontrait une appréciation globale comparable aux poteaux de pin jaune de dureté « Pilodyn » inférieur à 12 mm.



**Figure 27** Pourcentage d'acceptabilité des poteaux en fonction de la combinaison essence-traitement et de la dureté "Pilodyn" moyenne (A) et catégorisation des poteaux en fonction du pourcentage d'acceptabilité (B)

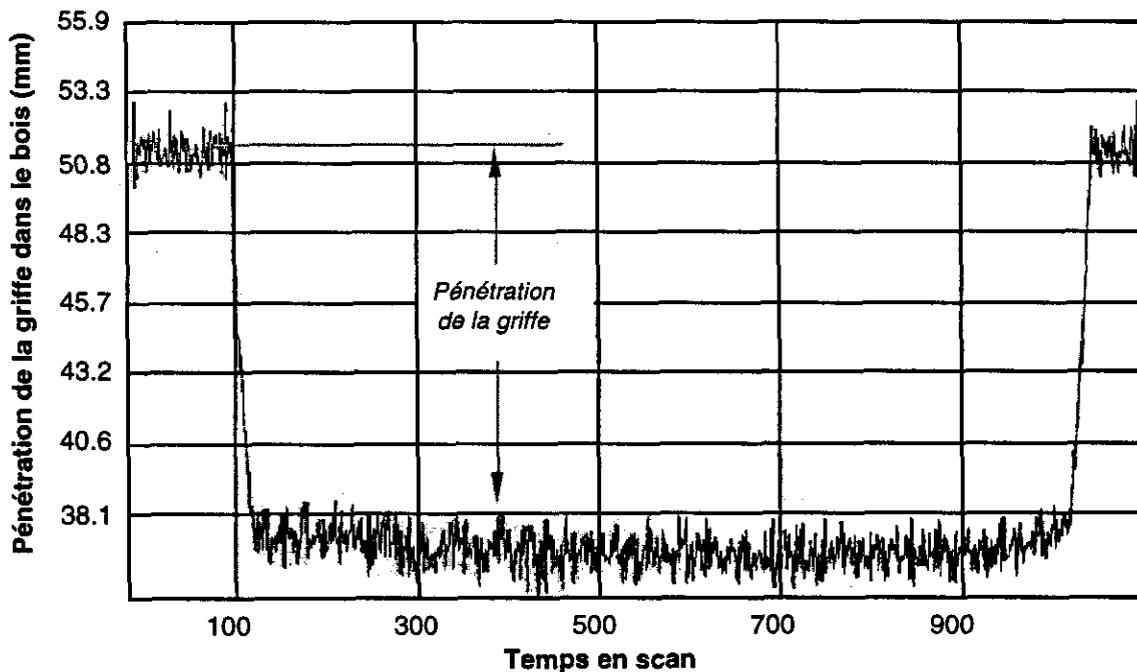
En résumé, nous pouvons catégoriser les poteaux de la façon suivante :

**Tableau 23** Tableau des catégories des poteaux définies en fonction des taux d'acceptabilité

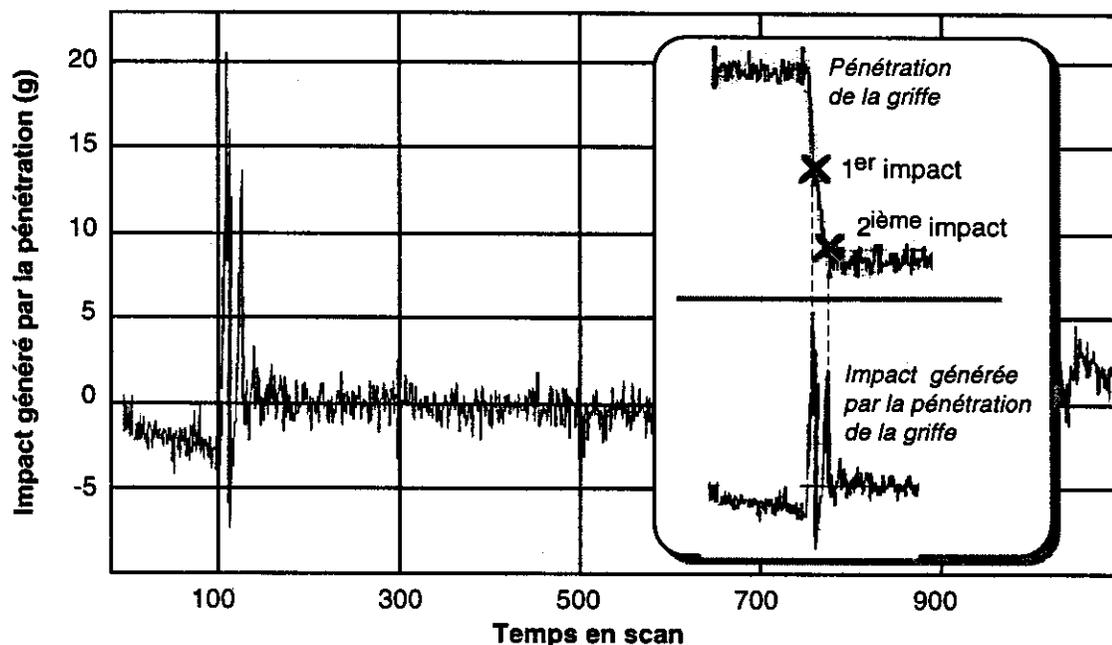
Catégorie	PCP-huile	CCA-PEG (PEG+)	Acceptabilité	Moyenne
1	13.3	13.8 (PEG+)	> 91 %	98 %
2	10.7, 11.7, 13.7 (pin gris)	12.8	73 à 91 %	84 %
3	9.2, 10.2	12.2	51 à 73 %	61 %
4		9.6, 10.8	27 à 51 %	42 %
5		8.4	< 27 %	12.5 %

#### 7.5.4 Mesures physiques

Les quatre variables dépendantes (valeurs mesurées) qui ont été analysées sont la profondeur maximale de pénétration de la griffe (mm) et l'impact (G) dans la direction de la pénétration, et ce en montée et en descente. La figure 28 montre un exemple de l'enregistrement d'une seule pénétration durant la montée. Avant la pénétration, le capteur est à la position 51.3 mm et lors de la pénétration à la position 36.8 mm. La pénétration est donc 14.5 mm. La figure 29 montre un exemple d'enregistrement de l'impact (G) pour la même pénétration.



**Figure 28** Exemple d'enregistrement d'une seule pénétration durant la montée



**Figure 29** Exemple d'enregistrement de l'impact (g) d'une seule pénétration durant la montée avec une illustration de la correspondance entre la pénétration de la griffe et les deux impacts résultants

Si on compare les temps correspondants au mouvement de la griffe dans le bois avec la figure précédente, cette courbe montre deux impacts, soit un premier impact lorsque la griffe commence à pénétrer dans le bois et un deuxième lorsque la griffe est en fond de course. Seul le premier impact a été analysé comme variable dépendante. La comparaison des courbes 28 et 29 montre que cet impact survient au début de la pénétration de la griffe dans le bois. Il représente, par conséquent, la dureté superficielle du bois. Par ailleurs, les mêmes courbes montrent que le second impact représente l'impact de fond de course dans le bois. Il pourrait être possible qu'il existe des phénomènes parasites dans la mesure, tel que l'impact causé par le jeu entre la botte et l'étrier de l'éperon. Ce dernier phénomène a été analysé par le sous-comité barème de mesure et les résultats ont montré que celui-ci était négligeable. Par ailleurs, les analyses de corrélation suivantes prouvent que les mesures d'impact n'ont pas été affectées par des phénomènes parasites.

### Pénétration de la griffe en montée

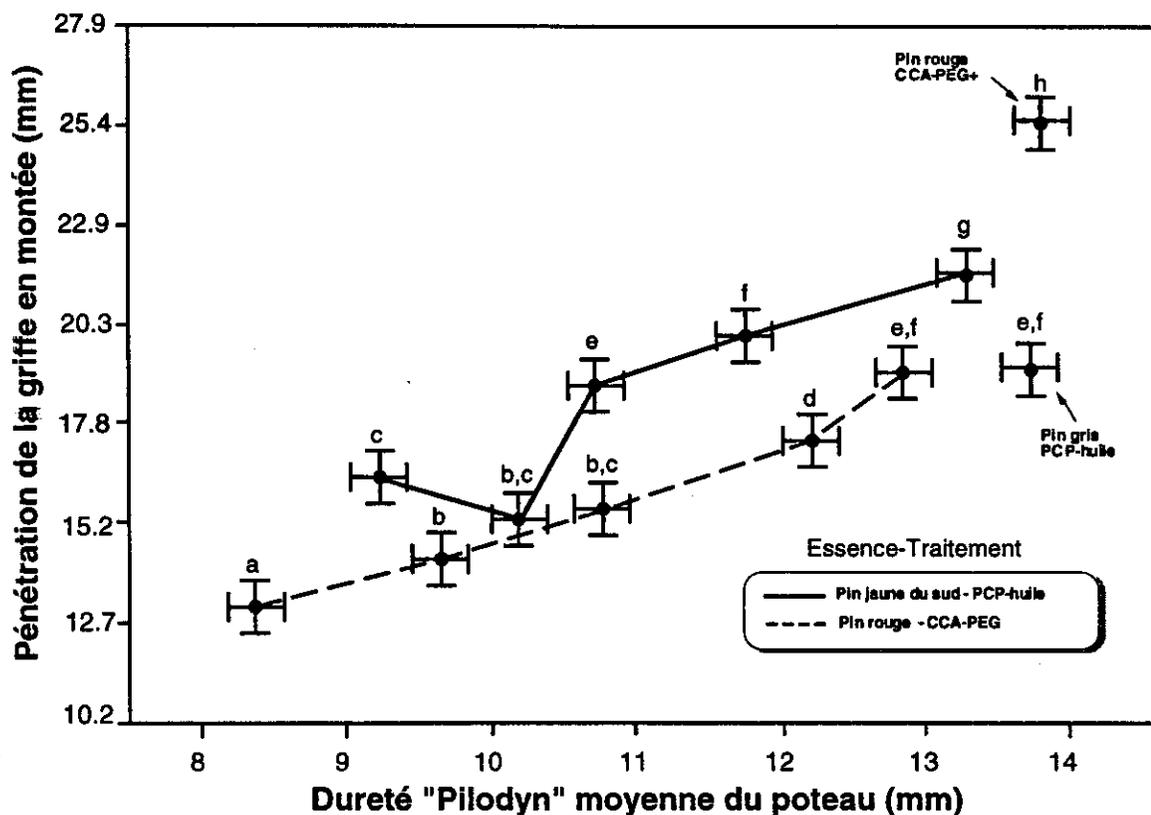
L'analyse de variance (tableau 24) de la pénétration de la griffe en montée révèle que la dureté « Pilodyn » ( $p < 0,00001$ ) est significative à un niveau de confiance de 95%. Par ailleurs, l'interaction entre la dureté « Pilodyn » et la répétition est significative ( $p < 0,0094$ ).

**Tableau 24** Tableau ANOVA de la pénétration de la griffe en montée

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	11	2.47035	0.224577		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	4.77337	0.433943	69.91	0.0000
Répétition (R)	1	0.0494469	0.0494469	11.56	0.0059
D X R	11	0.106071	0.00964283	2.42	0.0094
Erreur	119	0.474022	0.00398338		
Total	285	8.71647			

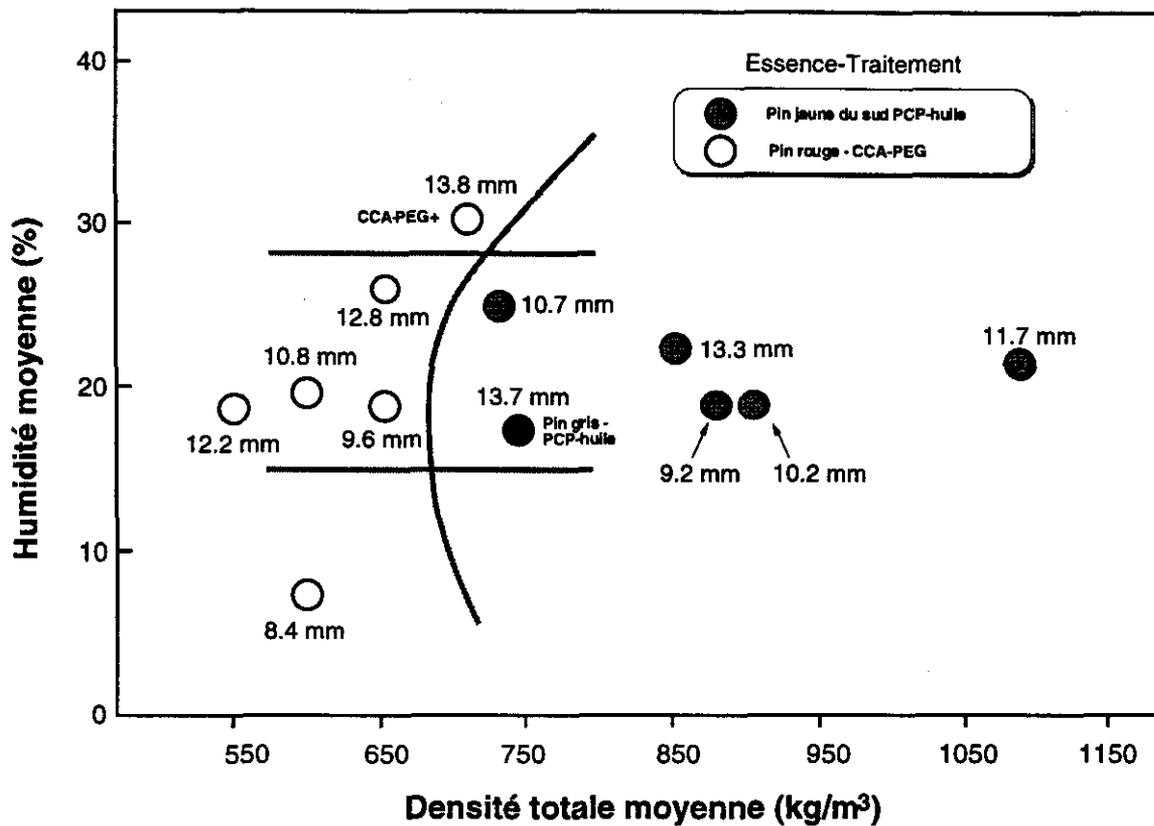
La figure 30 montre l'effet de la dureté « Pilodyn » sur la moyenne des pénétrations mesurées lors de la montée. Ces résultats montrent la variation des moyennes des mesures avec un intervalle de confiance de 95%. Cette figure montre que la pénétration de la griffe croît (en général) avec la pénétration mesurée au Pilodyn, mais avec deux niveaux différents selon l'essence-traitement considérée, soit entre 15.2 et 21.6 mm pour les poteaux traités avec un préservatif à base d'huile et entre 13.2 et 25.4 mm pour les poteaux traités avec un préservatif à base d'eau. En général, les poteaux traités au PCP-huile procurent une meilleure pénétration (2.5 mm) que ceux traités au CCA-PEG pour une même classe de dureté « Pilodyn ». D'une part, l'examen de l'humidité moyenne des poteaux en fonction de leur densité totale moyenne montre (figure 31) que les pins jaunes traités au PCP-huile sont plus denses que les pins rouges traités au CCA-PEG. Le paramètre densité étant confondu avec la combinaison essence-traitement, il est par conséquent impossible d'évaluer si une meilleure pénétration est due à l'un ou l'autre de ces paramètres. D'autre part, le Pilodyn ne peut être utilisé pour évaluer la dureté du bois indistinctement de sa combinaison essence-traitement, mais peut être considéré valable pour une même combinaison essence-traitement.

Les poteaux traités au PCP-huile de dureté « Pilodyn » moyenne 10.2 et 13.7 mm diffèrent du comportement général des autres poteaux traités au PCP-huile; aucune explication satisfaisante de ce comportement n'a été trouvée, si ce n'est que le diamètre du poteau PCP-huile de dureté « Pilodyn » moyenne 10.2 mm était le plus petit des poteaux traités au PCP-huile (voir tableau 12) et que le poteau de dureté « Pilodyn » moyenne de 13.7 mm était un pin gris. Ce dernier a montré des résultats comparables aux poteaux de pin jaune de dureté « Pilodyn » moyenne 10.7 mm et 11.7 mm ainsi qu'au pin rouge d'une dureté « Pilodyn » moyenne 12.8 mm. Enfin, nos résultats révèlent que le pin rouge traité au CCA-PEG+ montre une pénétration nettement supérieure à tous les autres poteaux. Celui-ci présentait l'humidité moyenne la plus élevée (figure 31). Dans le même ordre d'idées, le poteau traité au CCA-PEG de dureté « Pilodyn » moyenne 8.4 mm, qui a présenté la pénétration la plus faible, présentait l'humidité la plus faible de tous les poteaux. L'effet de l'humidité des poteaux sur leur performance a d'ailleurs été traité dans la littérature (Gilbert, Besner et Oceau, 1996).



**Figure 30** Graphique de la pénétration de la griffe en montée en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne

L'analyse sur l'effet de la répétition en interaction avec la dureté « Pilodyn » a montré que la répétition n'a eu aucun effet sur la pénétration en montée des poteaux à base d'huile, alors que la pénétration a été moindre (1.3 mm) au deuxième essai pour les poteaux de pin rouge dont la dureté « Pilodyn » moyenne était supérieure ou égale à 12.8 mm. Une hypothèse explicative pourrait être avancée pour ces poteaux qui sont les moins durs des pins rouge traités au CCA-PEG : cette pénétration plus faible résulterait d'une diminution de la crainte des monteuses qui grimpent pour une deuxième fois des poteaux perçus a priori plus difficiles. Quoiqu'il en soit, cette variation observée dans ces deux poteaux (1.3 mm de différence) est trop faible pour affecter les résultats globaux.



**Figure 31** Graphique de l'humidité moyenne des poteaux en fonction de la densité totale moyenne pour les différentes dureté « Pilodyn »

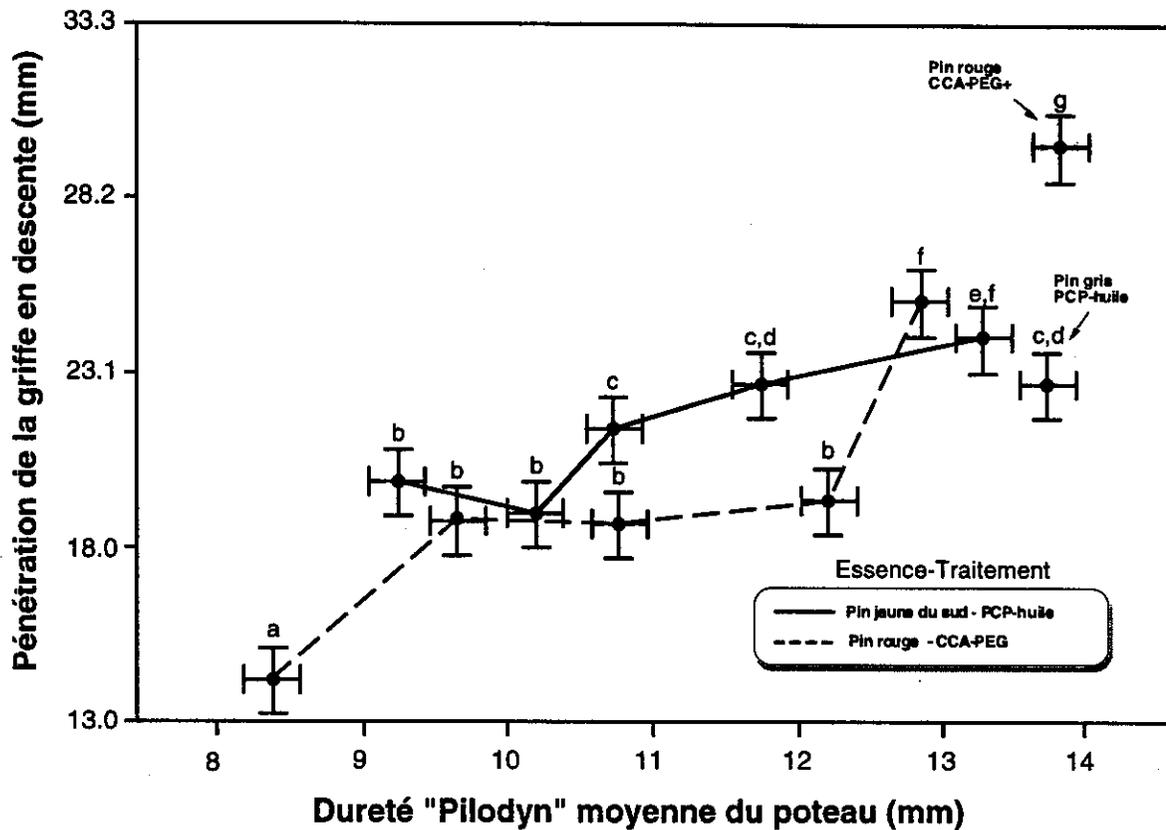
### Pénétration de la griffe en descente

Le tableau ci-après (tableau 25) présente les résultats de l'analyse de variance appliquée pour la pénétration de la griffe en descente. Les résultats révèlent également que la dureté « Pilodyn » moyenne est significative ( $p < 0,00001$ ). Dans cette condition, aucun effet dû à la répétition n'a été observé.

**Tableau 25** Tableau ANOVA de la pénétration de la griffe en descente.

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	11	4.74141	0.431037		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	6.16513	0.560467	44.96	0.0000
Répétition (R)	1	0.00367869	0.00367869	0.20	0.6690
D X R	11	0.148051	0.0134592	1.44	0.1643
Erreur	119	1.11283	0.00935153		
Total	285	13.8355			

Note : les données brutes de la pénétration utilisée dans l'ANOVA sont en pouces.



**Figure 32** Graphique de la pénétration de la griffe en descente en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne

Dû au fait d'un angle d'attaque plus grand en descente qu'en montée et que le grimpeur fait un travail mécanique positif, la pénétration en descente est plus importante qu'en montée. La figure 32 montre le même comportement global que lors de la montée, mais avec un comportement moins discriminant lorsque les grimpeurs descendent les poteaux de pin rouge pour des duretés « Pilodyn » moyennes variant entre 9.6 et 12.2 mm. Ceci peut être attribué au fait que les grimpeurs font un travail mécanique positif en descente et qu'ils atteignent la profondeur maximale, notamment pour les poteaux de pin rouge des duretés « Pilodyn » comprises entre 9.6 et 12.2 mm. Ils sont, par ailleurs, comparables au poteau de pin jaune de dureté « Pilodyn » de 9.2 mm. La pénétration maximale a varié entre 14.5 et 29.5 mm pour les poteaux de pin rouge (CCA-PEG & CCA-PEG+) et entre 18.5 et 23.9 mm pour les poteaux traités au PCP-huile. Si on considère la projection des variations de pénétration en fonction de l'angle d'attaque de la griffe pour le plan perpendiculaire au poteau, il est peu probable que ces résultats soient affectés par la variation d'humidité en fonction de la profondeur. Tout comme pour la montée, la plus grande pénétration a été observée avec le poteau de pin rouge traité au CCA-PEG+. Enfin, observons que tous les poteaux d'une dureté « Pilodyn » comprise entre 9 et 13 mm montrent des pénétrations pratiquement équivalentes.

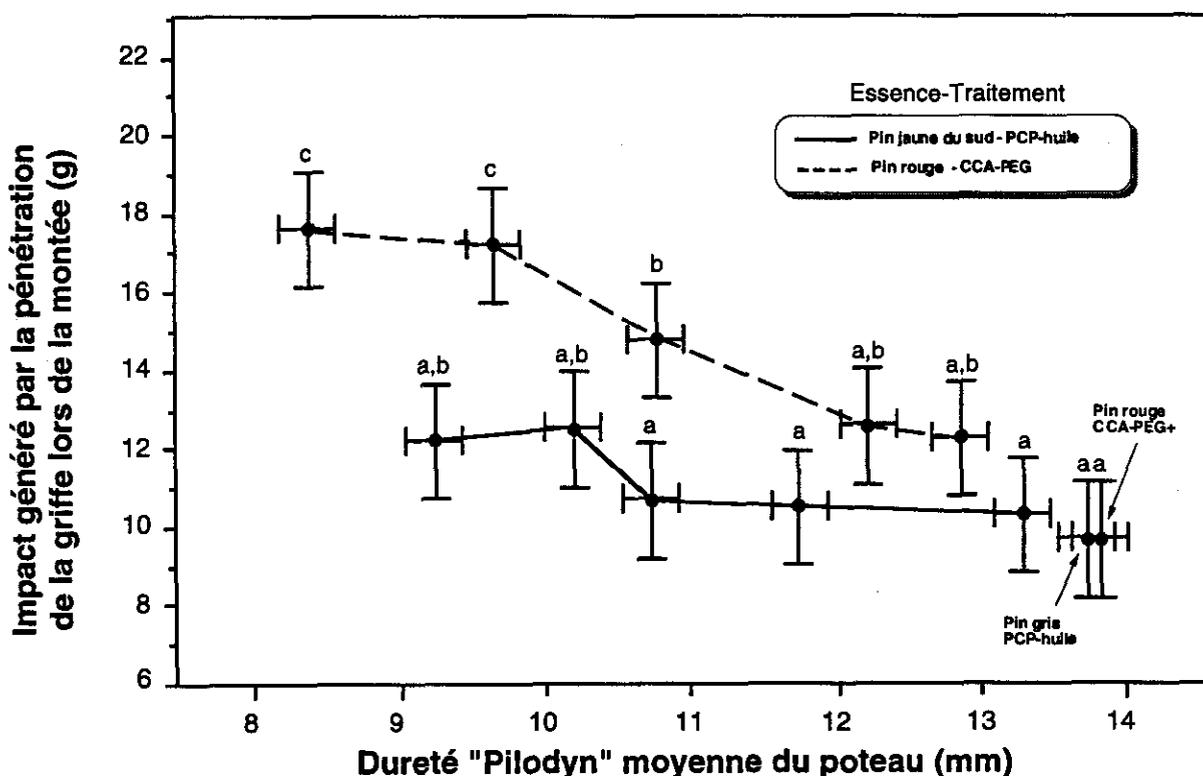
### Impact générée par la pénétration de la griffe en montée

Les résultats de l'analyse de variance (tableau 26) révèlent, encore une fois, que la dureté « Pilodyn » moyenne ( $p < 0,00001$ ) influencent d'une manière significative l'impact généré par la pénétration de la griffe lors de la montée.

**Tableau 26** Tableau ANOVA de l'impact généré par la pénétration en montée

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	11	7295.28	663.207		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	1676.99	152.454	7.21	0.0000
Répétition (R)	1	70.9429	70.9429	3.50	0.0880
D X R	11	97.4774	8.86158	0.63	0.7993
Erreur	118	1657.49	14.0466		
Total	284	13421.2			

Note : les données brutes de la pénétration utilisées dans l'ANOVA sont en pouces.



**Figure 33** Graphique de l'impact généré par la pénétration en montée en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne

La figure 33 montre les valeurs d'accélération (g) mesurées en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne. Nous constatons que l'impact varie plus dans les poteaux de pin rouge (de 10 à 17.5 g). Pour les poteaux traités au PCP-huile (variation de 10 à 12.5 g), les résultats ne révèlent aucune variation significative. Nous pouvons également constater que les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG ayant une dureté « Pilodyn » moyenne de

12.2 mm et 12.8 mm présentent des niveaux d'impact équivalents aux poteaux de pin jaune traités au PCP-huile de dureté « Pilodyn » moyenne de 9.2 mm et 10.2 mm.

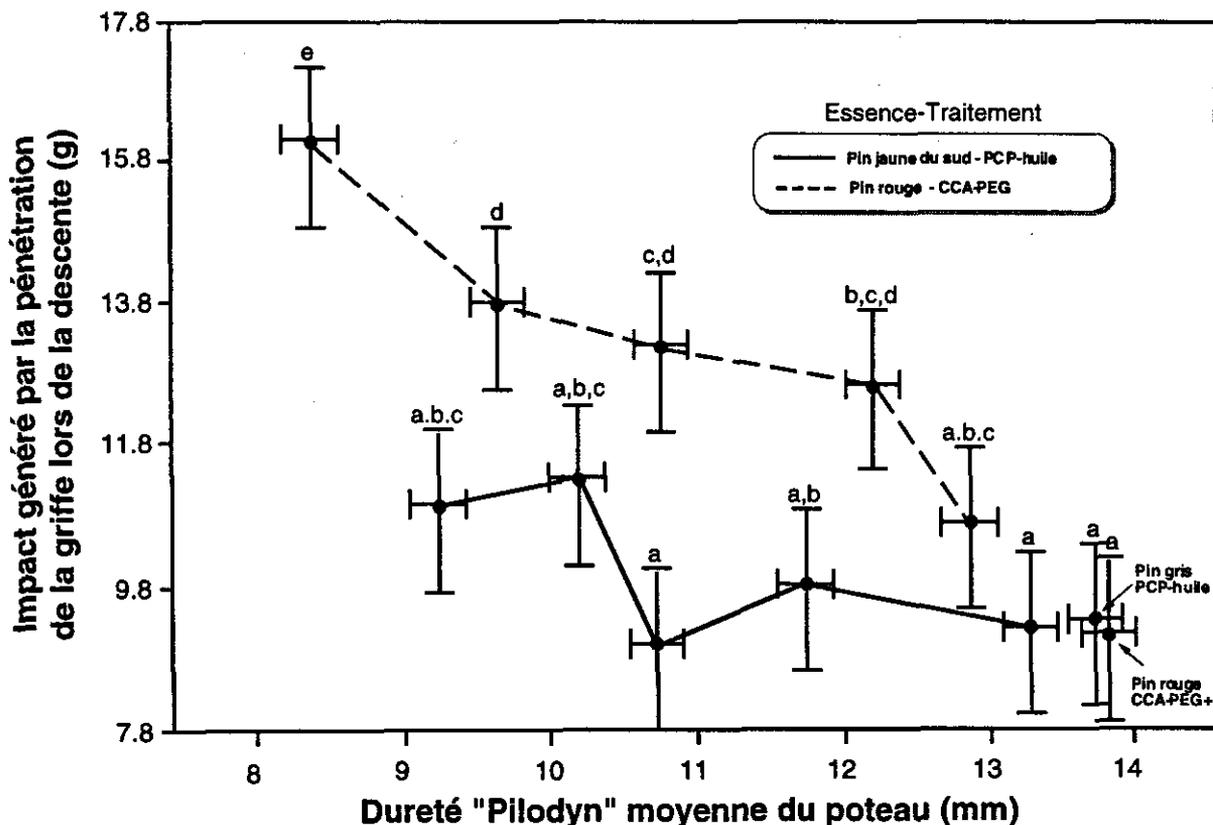
Impact généré par la pénétration de la griffe en descente

Le tableau ci-après (tableau 27) présente les résultats de l'analyse de variance appliquée pour l'impact généré par la pénétration de la griffe en descente. Les résultats révèlent, comme pour l'impact en montée, que la dureté « Pilodyn » est significative ( $p < 0,00001$ ).

**Tableau 27** Tableau ANOVA de l'impact généré par la pénétration en descente

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	11	4191.29	381.027		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	1351.29	122.845	7.28	0.0000
Répétition (R)	1	27.2223	27.2223	2.86	0.1191
D X R	11	78.8191	7.16537	0.57	0.8515
Erreur	120	1513.81	12.6151		
Total	286	9312.06			

La figure 34 montre les valeurs d'accélération (g) mesurées en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne. L'impact en descente est moindre que l'impact en montée du fait que la pénétration en descente était plus importante. Nous pouvons remarquer que l'impact varie plus pour les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG (de 9 à 16 g). Par contre, tous les poteaux traités au PCP-huile montrent des niveaux d'impact équivalents.



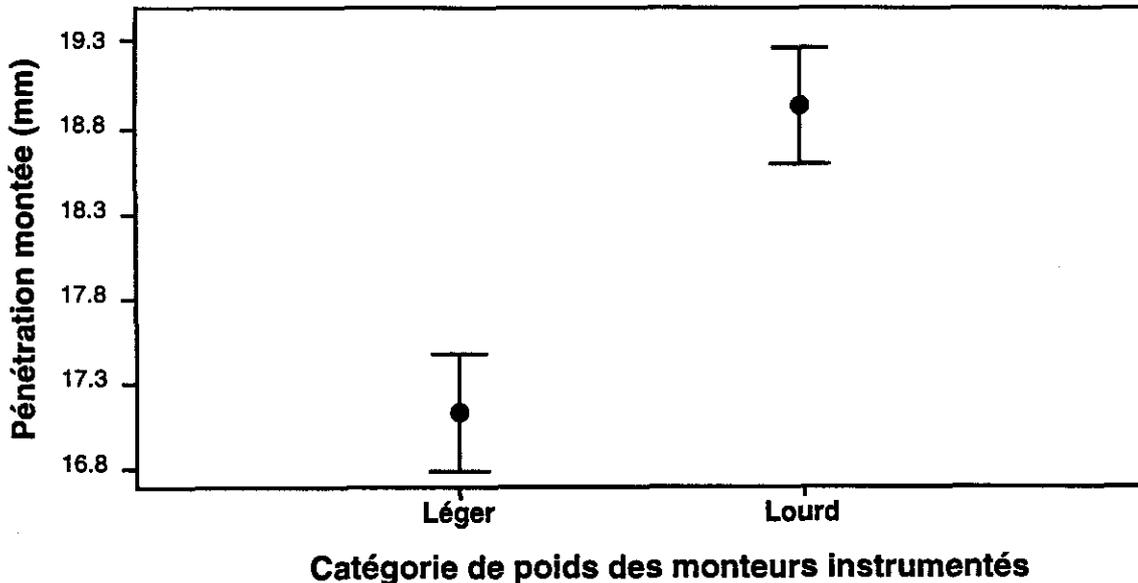
**Figure 34** Graphique de l'impact généré par la pénétration en descente en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne

### 7.5.5 L'effet du poids des monteurs sur les mesures physiques

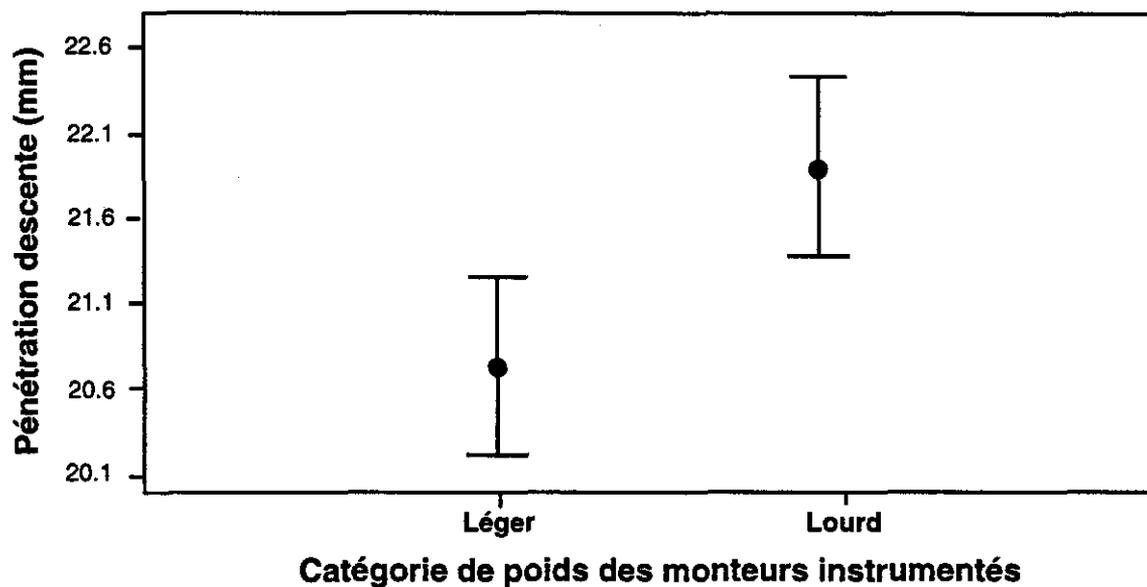
Une analyse de variance (ANOVA) a été effectuée sur les mesures physiques en considérant le « poids » des douze (12) monteurs instrumentés comme une variable indépendante. À cette fin, deux catégories ont été définies, soit 6 monteurs dont le poids était inférieur à 95 kg et 6 monteurs dont le poids était supérieur à 95 kg. Ce classement a permis de définir deux catégories, soit la catégorie « poids léger instrumenté » pour un poids moyen de 85 kg ( $s = 12.1$  kg), et la catégorie « poids lourd instrumenté » pour un poids moyen de 104 kg ( $s = 5.6$  kg). À titre d'information, mentionnons la provenance des monteurs selon la catégorie de poids : « poids léger instrumenté » (3 Hydro-Québec – léger, 2 autres et 1 Hydro-Québec – autre); « poids lourd instrumenté » (3 Hydro-Québec – autre, 2 Bell et 1 autre). Il faut mentionner que les catégories de poids définies dans cette section sont différentes de celles de la section 7.3.2 (tableau 14) puisqu'elles sont établies uniquement à partir des monteurs instrumentés. L'objectif de définir deux catégories de poids pour les monteurs instrumentés vise uniquement à évaluer l'effet de cette variable sur les mesures physiques.

Les résultats de l'ANOVA ont montré que les mesures de pénétration (montée et descente) ainsi que la mesure d'impact en montée étaient influencées par le poids des monteurs comme effet principal. Aucune interaction entre le poids et la dureté « Pilodyn » moyenne ou la répétition n'a été observée. Par contre, il importe de souligner que les mesures d'impact en descente n'ont pas été affectées par le poids des monteurs. Les figures 35 à 37 illustrent les effets du poids du monteur sur les variables dépendantes.

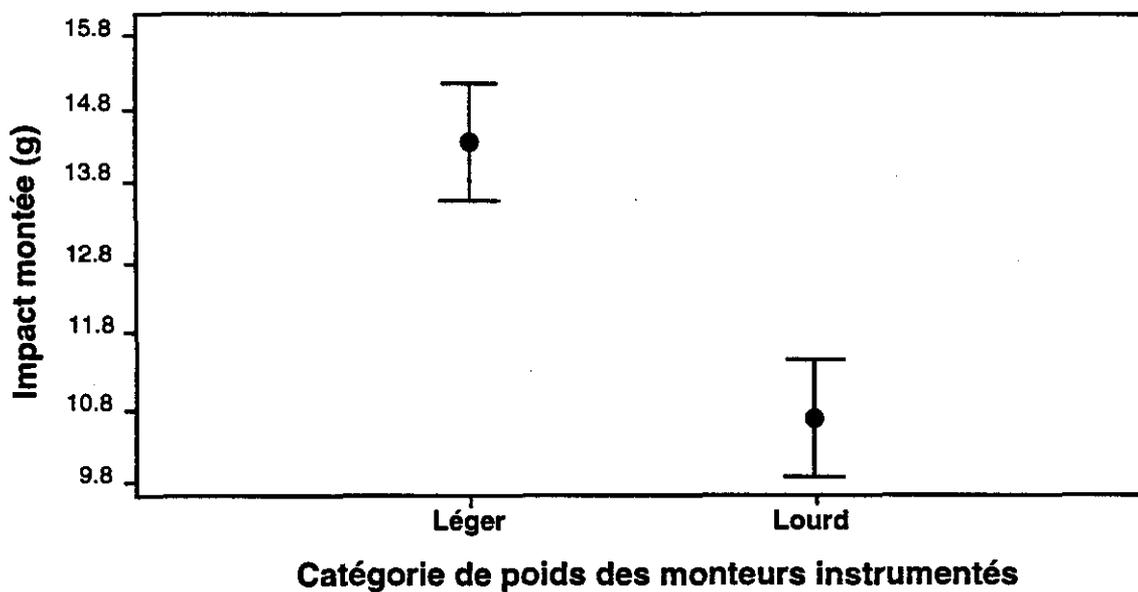
Les figures 35 et 36 montrent que les monteurs « poids lourd instrumenté » produisent une plus grande pénétration que les monteurs « poids léger instrumenté », toutefois, la différence de pénétration est plus importante en montée (2.03 mm) qu'en descente (1.01 mm). Par ailleurs, l'impact généré lors de la montée est plus important chez les monteurs « poids léger » (3.7 g) (figure 37).



**Figure 35** Graphique de la pénétration en montée en fonction de la catégorie de poids des monteurs instrumentés



**Figure 36** Graphique de la pénétration en descente en fonction de la catégorie de poids des monteuses instrumentées



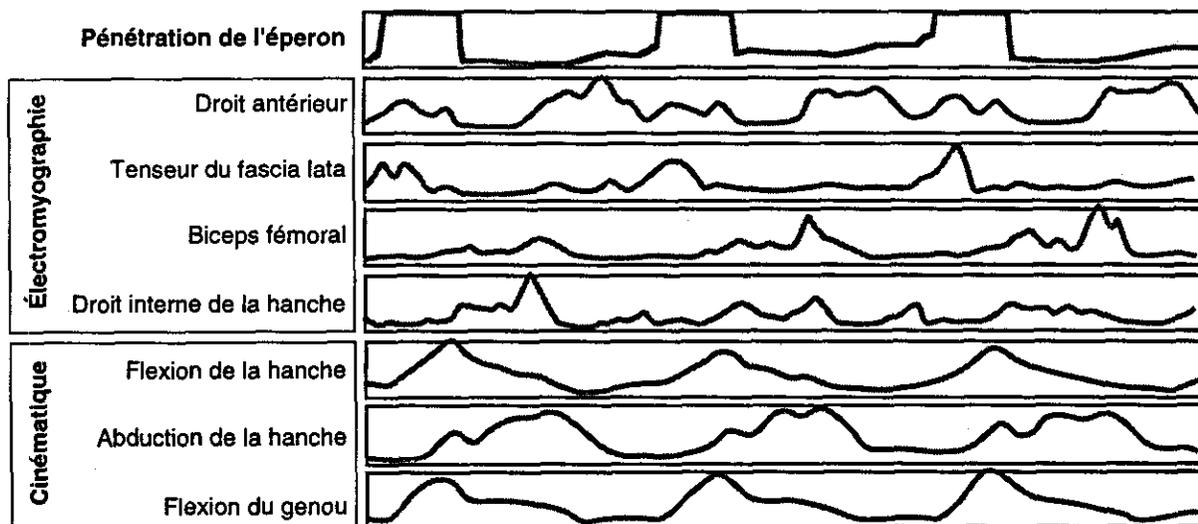
**Figure 37** Graphique de l'impact généré en montée en fonction de la catégorie de poids des monteuses instrumentées

### 7.5.6 Mesures électromyographiques et cinématiques

Cette étape avait pour but de mesurer le comportement des muscles qui articulent la hanche et le genou en fonction de la combinaison essence-traitement. La profondeur à laquelle pénètre et/ou la rigidité de la prise de l'éperon peuvent entraîner deux situations extrêmes différentes : 1) une faible pénétration de l'éperon dans le poteau entraînant une augmentation du niveau de co-activation des muscles responsables de la stabilisation de la hanche; 2) une trop forte pénétration de l'éperon dans le poteau entraînant une sollicitation accrue des fléchisseurs de la cuisse lors du retrait de l'éperon. Par conséquent, ces deux situations auront pour effet d'augmenter la demande musculaire des principaux muscles impliqués.

#### *Compilation des données*

Dans un premier temps, les données de l'électromyographie (EMG) ont été compilées de façon à exprimer la demande musculaire maximale, moyenne ou globale (aire sous la courbe) pour un cycle de mouvement durant la montée et la descente d'un poteau. Chaque cycle débutait à l'instant où l'éperon de la jambe instrumentée touchait le poteau. Un cycle comprenait les phases de pénétration et d'appui (e.g. extension de la hanche et du genou), de retrait et de recouvrement (flexion de la hanche et du genou) (figure 38). Pour l'analyse de la cinématique, nous n'avons retenu que les vitesses maximales obtenues lors des mouvements d'extension, de flexion, d'abduction et d'adduction de la hanche et d'extension et de flexion du genou. Dans un deuxième temps, les données EMG ont été compilées à partir du même marqueur temporel. Cette partie de l'analyse servait uniquement à mesurer l'amplitude de la demande musculaire et la vitesse articulaire au moment de l'impact. Bien que 12 sujets aient été instrumentés, les résultats n'étaient complets que pour 9 sujets. L'analyse porte donc sur ces derniers sujets.



**Figure 38** Exemple d'enregistrement des signaux EMG et cinématique lors de la montée

## Résultats de l'électromyographie (EMG)

Dans cette section, nous ne présentons que les muscles qui ont montré des effets significatifs. Le tableau 28 présente l'effet sur la dureté « Pilodyn » de chacune des analyses de variance effectuées sur l'ensemble des variables dépendantes étudiées.

**Tableau 28** Tableau sommaire des résultats des analyses de variance effectuées sur l'ensemble des variables dépendantes issues de la mesure des signaux électromyographiques

Muscle	Fonction	EMG (Variable dépendante)	Effet sur la dureté « Pilodyn »
Droit interne de la hanche	adduction hanche	Total Maximum Moyen	Non-significatif Non-significatif Non-significatif
Biceps fémoral	extension hanche + flexion genou	Total Maximum Moyen	Non-significatif Non-significatif Significatif (montée) <sup>†</sup>
Droit antérieur	flexion hanche + extension genou	Total Maximum Moyen	Significatif (montée) Non-significatif Significatif (montée)
Tenseur du fascia lata	abduction + flexion hanche	Total Maximum Moyen	Significatif (montée) Non-significatif Significatif (descente)

<sup>†</sup> significatif au niveau des répétitions seulement

### La montée des poteaux

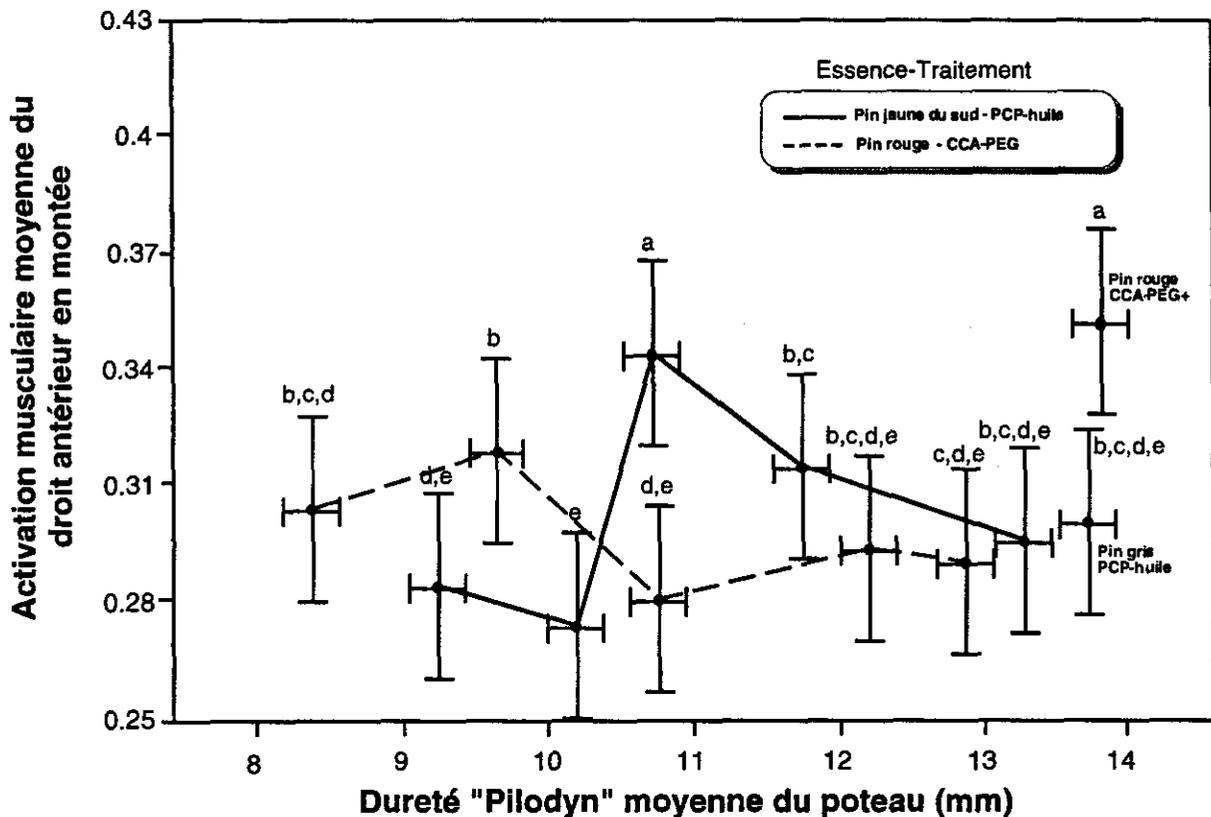
Les analyse de variance (ANOVA) (tableau 29 et 30) de l'activation musculaire moyenne et totale du droit antérieur en montée révèlent que la dureté « Pilodyn » moyenne influencent significativement ces deux variables dépendantes ( $p=0.0239$  et  $p=0.0393$  pour l'activation moyenne et totale, respectivement). Les figures 39 et 40 présentent respectivement l'activation moyenne et totale du droit antérieur en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne.

Les résultats montrent que les poteaux avec une dureté « Pilodyn » moyenne de 10,7 (pin jaune traité au PCP-huile) et 13,8 mm (pin rouge traité au CCA-PEG+) entraînent une demande musculaire plus élevée de la part du droit antérieur. Cette demande musculaire plus élevée du droit antérieur n'apparaît pas cependant être en relation avec la dureté des poteaux. Cette augmentation apparaît être davantage reliée au diamètre des poteaux. En effet, ceux-ci ont des diamètres supérieurs à l'ensemble des autres poteaux étudiés avec 33.5 et 33.9 cm, respectivement. Cette situation oblige les travailleurs à fléchir et à porter davantage les hanches en abduction (i.e. ouvrir les hanches) pour conserver un angle de pénétration de l'éperon adéquat. Cette situation accroît les moments de force exercés aux hanches, ce qui engendre une augmentation de la demande musculaire du droit antérieur.

Toutefois, il est possible que l'augmentation du diamètre entraîne aussi une augmentation de la rotation externe des genoux<sup>1</sup> pour que l'angle de contact de l'éperon demeure relativement constant par rapport à la surface du poteau.

**Tableau 29** Tableau ANOVA de l'activation musculaire moyenne du droit antérieur en montée

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	8	11.0968	1.3871		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	0.339846	0.0308951	2.16	0.0239
Répétition (R)	1	0.0194483	0.0194483	0.55	0.4873
D x R	11	0.0834832	0.00758938	1.04	0.4160
Erreur	432	0.916133	0.00212068		
Total	647	14.6386			

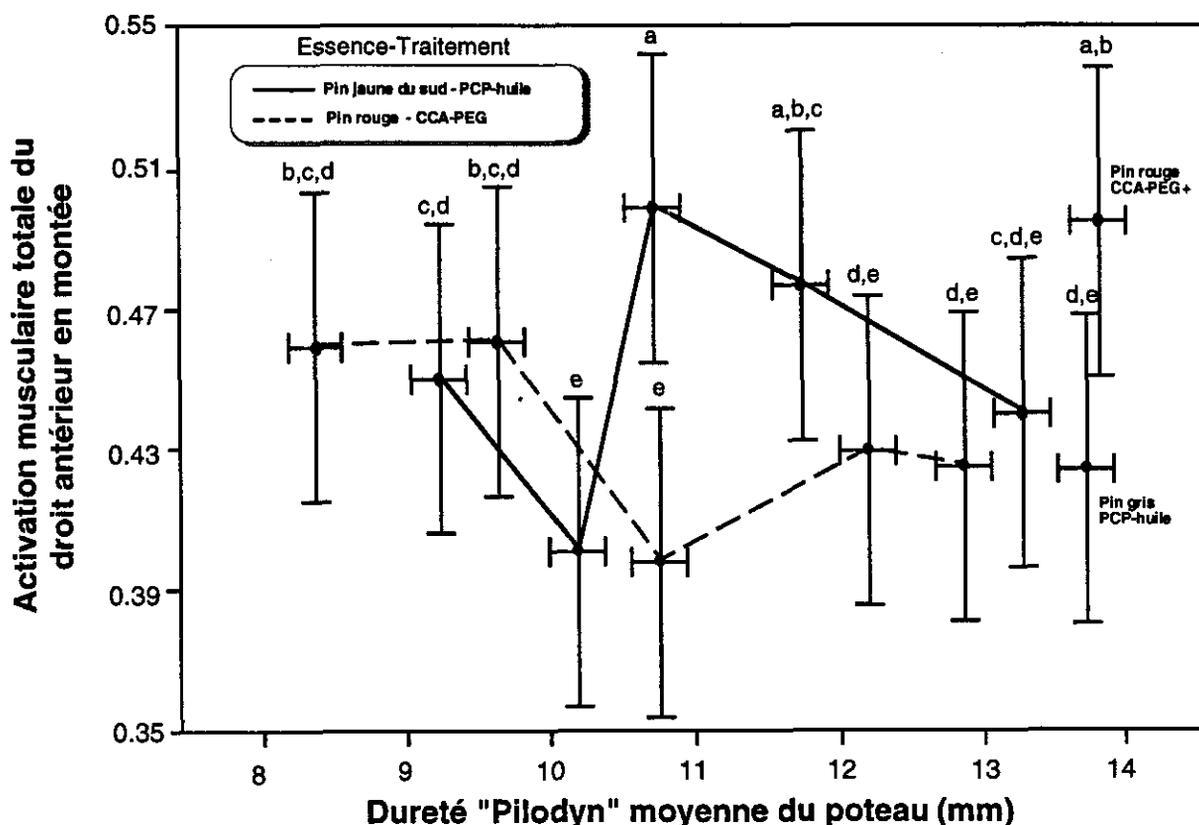


**Figure 39** Graphique de l'activation moyenne du droit antérieur en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne

<sup>1</sup> Cette mesure n'a pas été réalisée durant l'étude. L'électrogoniomètre utilisé ne mesurait que les mouvements de flexion et d'extension du genou.

**Tableau 30** Tableau ANOVA de l'activation musculaire totale du droit antérieur en montée

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	8	22.1161	2.76452		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	0.584034	0.053094	1.98	0.0393
Répétition (R)	1	0.0610557	0.0610557	1.13	0.3187
D x R	11	0.206531	0.0187756	1.09	0.3817
Erreur	432	2.31287	0.00535386		
Total	647	29.5877			



**Figure 40** Graphique de l'activation totale du droit antérieur en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne

L'analyse de variance (ANOVA) (tableau 31) de l'activation musculaire moyenne du biceps fémoral en montée révèle que la répétition est significative au niveau de confiance 95% ( $P=0.0261$ ). Ce résultat suggère une activation moyenne différente de ce muscle entre les premières et les deuxièmes montées des poteaux.

**Tableau 31** Tableau ANOVA de l'activation musculaire moyenne du biceps fémoral en montée

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	8	3.63037	0.453797		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	0.0443796	0.00403451	0.98	0.4731
Répétition (R)	1	0.0335117	0.0335117	7.42	0.0261
D x R	11	0.0321401	0.0029218	1.32	0.2271
Erreur	432	0.3792	0.000878		
Total	647	4.71386			

*La descente des poteaux*

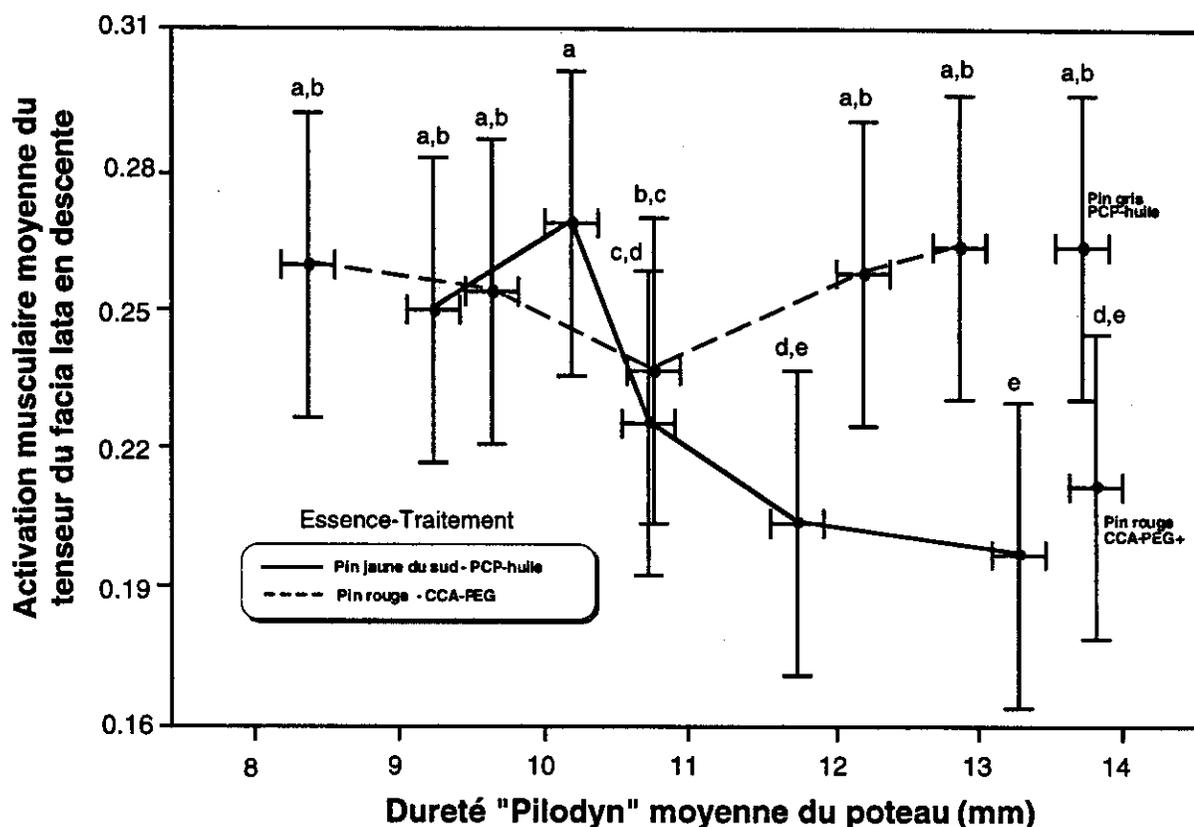
L'analyse de variance appliquée à l'activation moyenne du tenseur du fascia lata en descente révèle que la dureté « Pilodyn » est significative au niveau de confiance 95 % ( $p=0.0141$ ) (tableau 32). Ce résultat est présenté à la figure 41. Les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile de dureté « Pilodyn » 11.7 et 13.3 mm montrent des activations musculaires moyennes moins élevées que les poteaux de pin rouge de dureté comparables. Par contre, cette tendance est différente pour les deux poteaux de dureté « Pilodyn » moyenne 13.7 et 13.8 mm, soit le poteau de pin gris traité au PCP-huile et le pin rouge traité au CCA-PEG+. Par ailleurs, comme le révèle les tableaux 32 et 33, la variable répétition est significative pour l'activation moyenne et totale du tenseur du fascia lata.

**Tableau 32** Tableau ANOVA de l'activation musculaire moyenne du tenseur du fascia lata en descente

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	8	6.81881	0.852351		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	0.380273	0.0345703	2.34	0.0141
Répétition (R)	1	0.0341521	0.0341521	6.09	0.0389
Erreur	527	1.16876	0.00221776		
Total	643	9.7955			

**Tableau 33** Tableau ANOVA de l'activation musculaire totale du tenseur du fascia lata en descente

Source de variation	df	SS	MS	F	P<
Sujet	8	36.6465	4.58082		
Dureté « Pilodyn » (D)	11	2.19819	0.199835	1.82	0.0626
Répétition (R)	1	0.225643	0.225643	5.93	0.0409
Erreur	527	7.78005	0.0147629		
Total	643	57.0876			



**Figure 41** Graphique de l'activation moyenne du tenseur du fascia lata en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne

### Analyse de la cinématique du mouvement

L'analyse de variance effectuée pour les vitesses maximales atteintes pour chaque cycle en fonction de chacun des poteaux utilisés dans l'étude n'a révélé aucun effet significatif. Par conséquent, la dureté « Pilodyn » moyenne ne semble pas influencer la cinématique des mouvements des grimpeurs. Ces résultats supportent les variations obtenues lors de la mesure des indices de pénétration. L'étude mécanique de la mesure de pénétration de la griffe a montré que la pénétration variait en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne et des combinaisons essence-traitement. Si les grimpeurs avaient varié la vitesse des mouvements en fonction des caractéristiques physiques des poteaux, il est probable qu'alors aucune différence significative n'aurait été observée au niveau de la pénétration.

### Analyse de la demande musculaire à l'impact

Cette partie de l'analyse n'a pas permis de faire ressortir des différences significatives sur les principales variables indépendantes retenues : combinaison essence-traitement et la dureté « Pilodyn » moyenne. La seule variable pour laquelle nous avons mesuré une baisse significative de la demande musculaire est la répétition. Dans l'ensemble, ces résultats sont conformes à ceux présentés précédemment.

La baisse de la demande musculaire en fonction de la répétition peut s'expliquer par le niveau de l'incertitude qu'engendre la première montée d'un poteau inconnu. L'effet de

l'incertitude pour plusieurs actions motrices a pour effet de conduire à une augmentation de la rigidité articulaire via la coactivation des muscles agonistes et antagonistes (Feldman, 1985).

#### Limitation de l'étude en ce qui a trait aux valeurs PUM obtenues lors des tests

Dans cette étude, les valeurs électromyographiques mesurées servaient à mesurer ponctuellement la demande des principaux muscles impliqués pour la montée et la descente des poteaux. Les valeurs obtenues ont été transformées en pourcentage d'utilisation musculaire uniquement pour situer plus clairement le niveau de force musculaire requis par rapport à la capacité maximale de chacun des sujets. Le protocole utilisé n'a pas été conçu pour évaluer si la montée d'un poteau dur (par exemple, dureté « Pilodyn » 9 mm) entraîne davantage de fatigue musculaire par rapport à un autre plus mou (par exemple, dureté « Pilodyn » 14 mm); il faut un effort musculaire plus prolongé pour être capable d'évaluer la fatigue. Toutefois, il demeure évident qu'une demande musculaire plus élevée entraîne généralement une fatigue musculaire plus précoce.

Pour l'instant, les études réalisées sur le sujet (Hagberg, 1981, Jensen et al, 1993, Cooper et Stoke, 1994), ne permettent pas de généraliser les résultats obtenus à ceux de la présente étude. Le problème vient du fait que l'intensité de travail musculaire exigé lors de ces études est difficilement comparable avec celle mesurée chez les différents muscles évalués dans la présente étude. Toutefois, il est important de mentionner que les niveaux de force maximale atteints pour certains muscles (droit antérieur de la cuisse et biceps fémoral) sont de l'ordre du 100 %. Ces valeurs sont généralement atteintes lorsque le travailleur amorce son mouvement d'ascension immédiatement après avoir piqué l'éperon dans le poteau. Durant cette période, l'intensité élevée des contractions fait en sorte que les vaisseaux sanguins ne peuvent pas irriguer les cellules musculaires. Cependant, ces contractions musculaires dynamiques sont de courte durée. La récupération partielle est possible seulement lors de la phase de recouvrement de la jambe puisqu'il y a un relâchement des muscles utilisés pour l'ascension.

Le problème pour trouver un indice capable de prédire l'apparition de la fatigue ou des risques de blessures dépend non seulement de l'intensité du travail musculaire, mais aussi de la durée des contractions et des pauses musculaires. Pour mesurer la fatigue musculaire associée aux différents types de poteaux utilisés dans cette étude, nous aurions dû mettre en place un protocole beaucoup plus long. Pour se faire, les travailleurs auraient eu à grimper plusieurs fois le même poteau, et ce, dans le but d'entraîner délibérément une fatigue musculaire qui aurait permis d'identifier le délai temporel avant l'apparition d'un travail anaérobie (avec dette d'oxygène) (Viitasalo et al., 1985). Toutefois, ce genre de protocole implique des périodes de repos très longues entre les conditions expérimentales (i.e. de l'ordre de deux à trois jours).

Par ailleurs, le temps moyen d'ascension d'un poteau de distribution sans obstacles (9.2 m à 13.7 m) est relativement court (moins d'une minute), ce qui ne peut entraîner une fatigue musculaire significative. Pour l'ascension d'un poteau avec des obstacles, la durée de l'ascension est significativement plus longue, toutefois, la fatigue musculaire ne sera pas plus élevée parce que les périodes de passage d'obstacles peuvent être assimilées à des pauses musculaires.

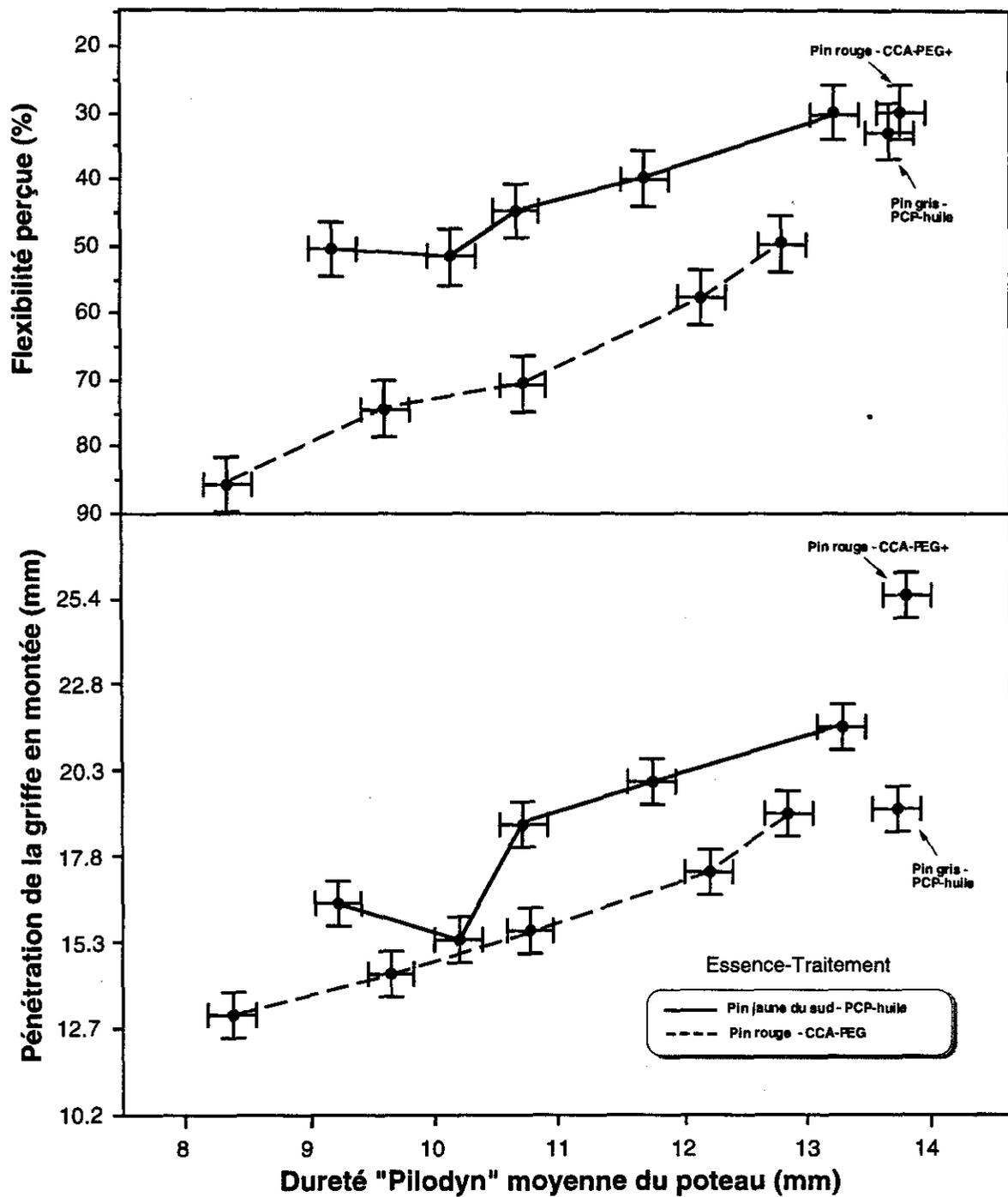
### 7.5.7 Comparaison des mesures physiques et psychophysiques

Les mesures psychophysiques ont été analysées à nouveau pour les 12 monteuses qui étaient instrumentés afin de pouvoir comparer les résultats à ceux des mesures physiques.

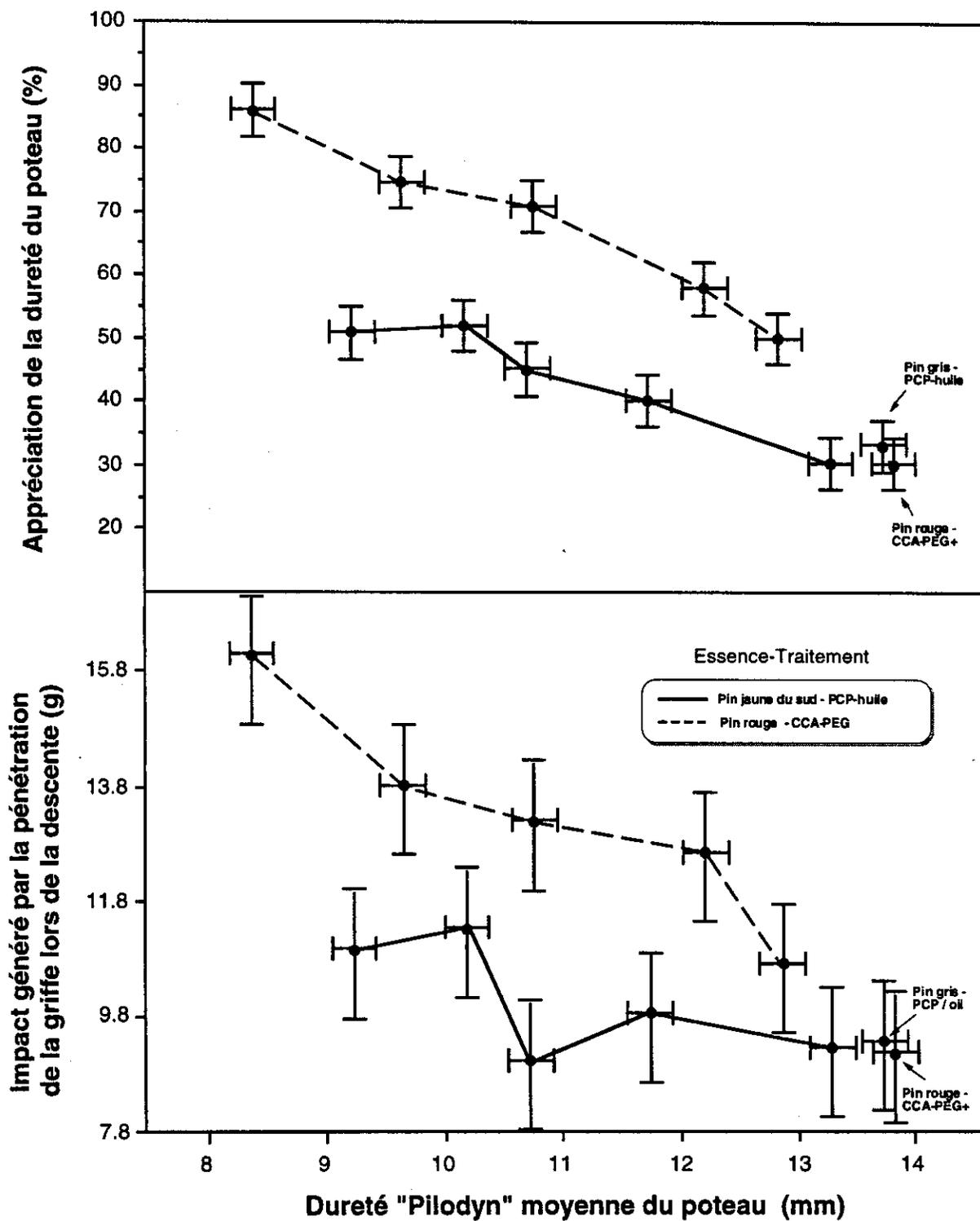
#### Appréciation de la dureté du poteau

La figure 42 montre les courbes de comparaison des résultats obtenus à partir des évaluations psychophysiques de l'appréciation de la dureté et des résultats obtenus à partir des mesures de pénétration en montée de la griffe. Dans cette figure, l'ordonnée « dureté perçue » a été inversée pour devenir la « flexibilité perçue » (flexibilité perçue = 100 - dureté perçue); ainsi la mesure de pénétration de la griffe peut être comparée plus facilement à la dureté perçue. Une analyse de régression entre les moyennes de pénétration en montée et en descente avec les moyennes de l'appréciation de la dureté a donné un coefficient de détermination de l'ordre de 70 %.

La figure 43 montre les courbes de comparaison des résultats obtenus à partir des évaluations psychophysiques de l'appréciation de la dureté et des résultats obtenus à partir des mesures d'impact sur la griffe lors de la descente. Nous constatons que la mesure d'impact en descente donne un reflet de la dureté des poteaux telle que perçue par les monteuses, puisqu'on pourrait attribuer un niveau de dureté perçue à un niveau d'impact (g), en considérant une incertitude donnée. L'impact moyen varie de 9 à 16 g alors que l'appréciation de la dureté varie de 35 à 85 (%) pour les poteaux de pin rouge et l'impact moyen varie de 9 à 11.5 g lorsque l'appréciation de la dureté varie de 25 à 50 (%) pour les poteaux traités au PCP-huile. Les figures 44 et 45 montrent respectivement les courbes des valeurs mesurées d'impact en montée et en descente en fonction des valeurs subjectives de l'appréciation de la dureté. Des régressions linéaires pour les moyennes des accélérations en montée et en descente avec les moyennes des appréciations de la dureté ont permis d'estimer l'appréciation de la dureté avec des coefficients de détermination respectifs de : 89 % et 95 %. On peut constater que la valeur de l'impact en descente reflète bien l'appréciation de la dureté quelque soit la combinaison essence-traitement. Les niveaux d'impact en montée, par contre, sont légèrement moins bien corrélés avec l'appréciation de la dureté.



**Figure 42** Graphique de la comparaison entre de la "flexibilité perçue" et la pénétration de la griffe en montée en fonction de la classe de dureté moyenne du poteau



**Figure 43** Graphique de la comparaison entre de l'appréciation de la dureté et l'impact généré par la pénétration de la griffe en descente en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne du poteau

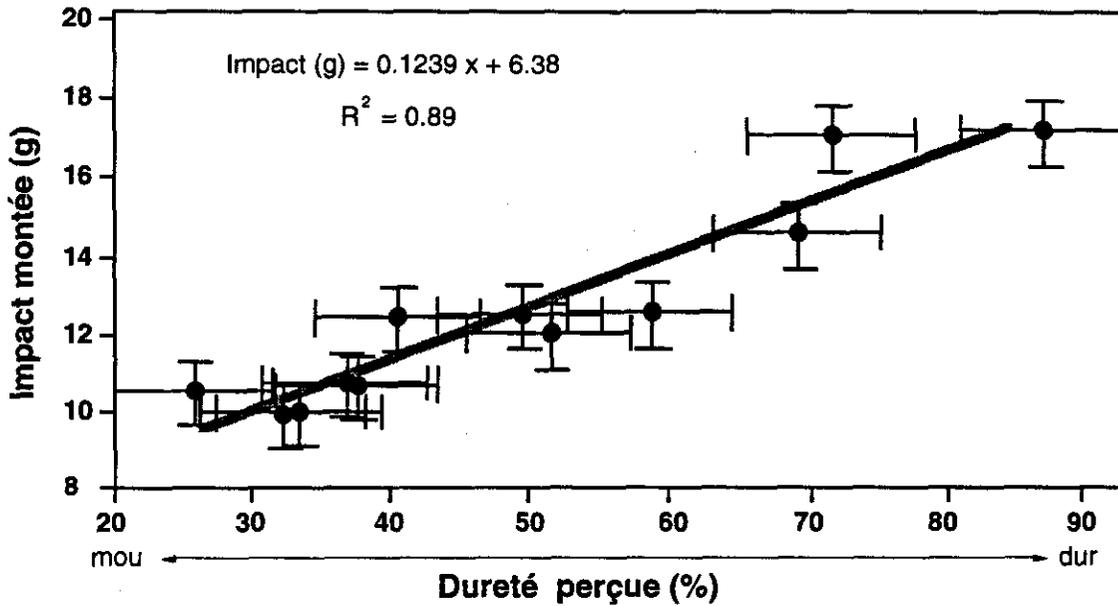


Figure 44 Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et l'appréciation de la dureté

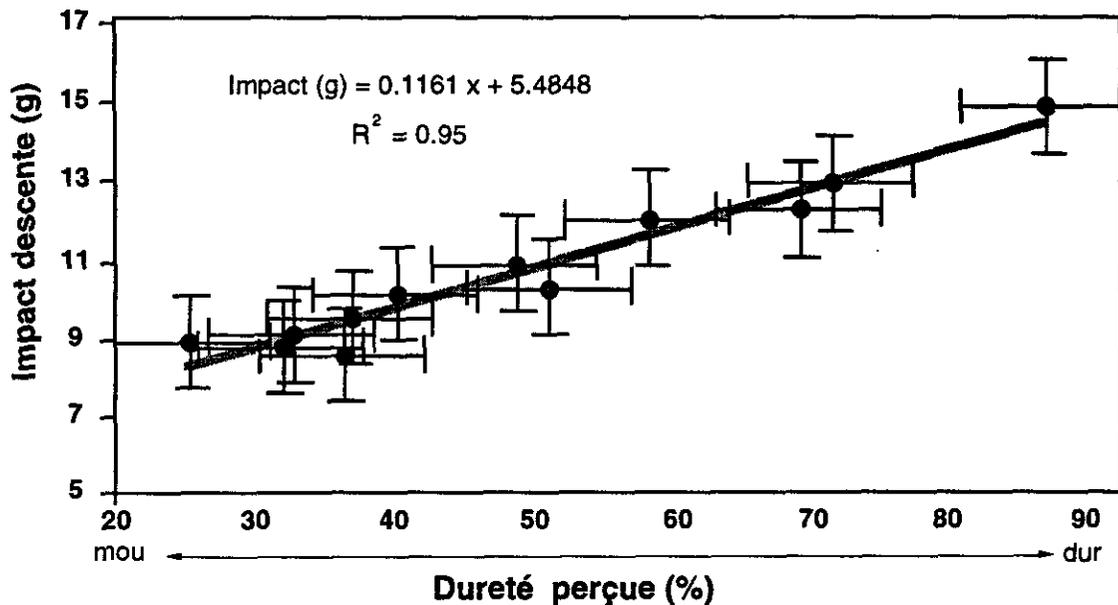
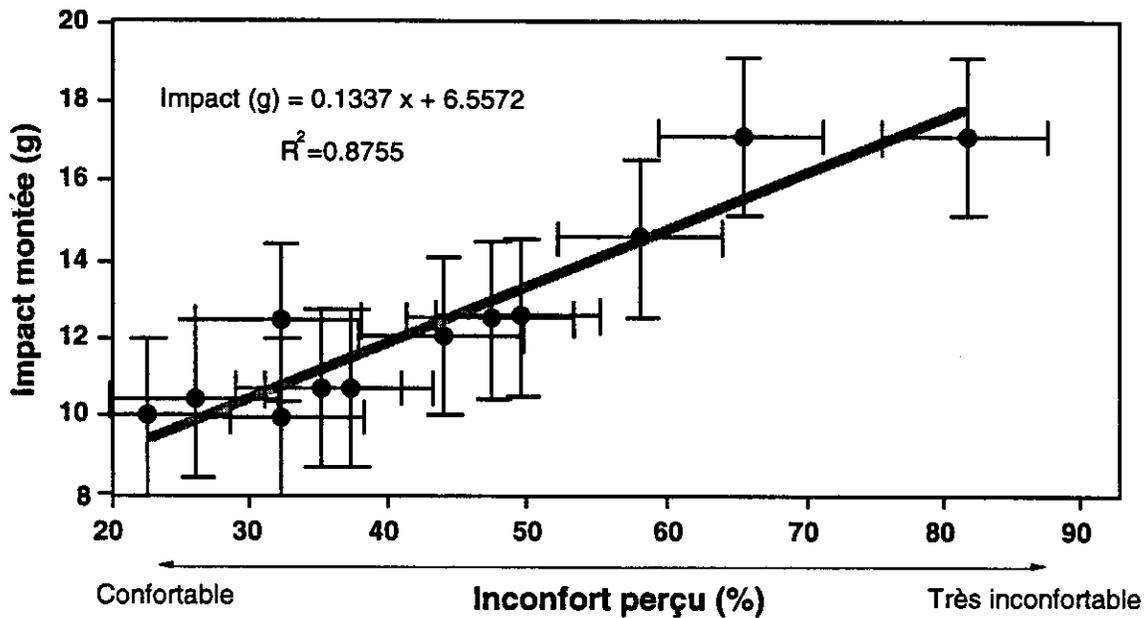


Figure 45 Graphique de la relation entre l'impact mesuré en descente et l'appréciation de la dureté

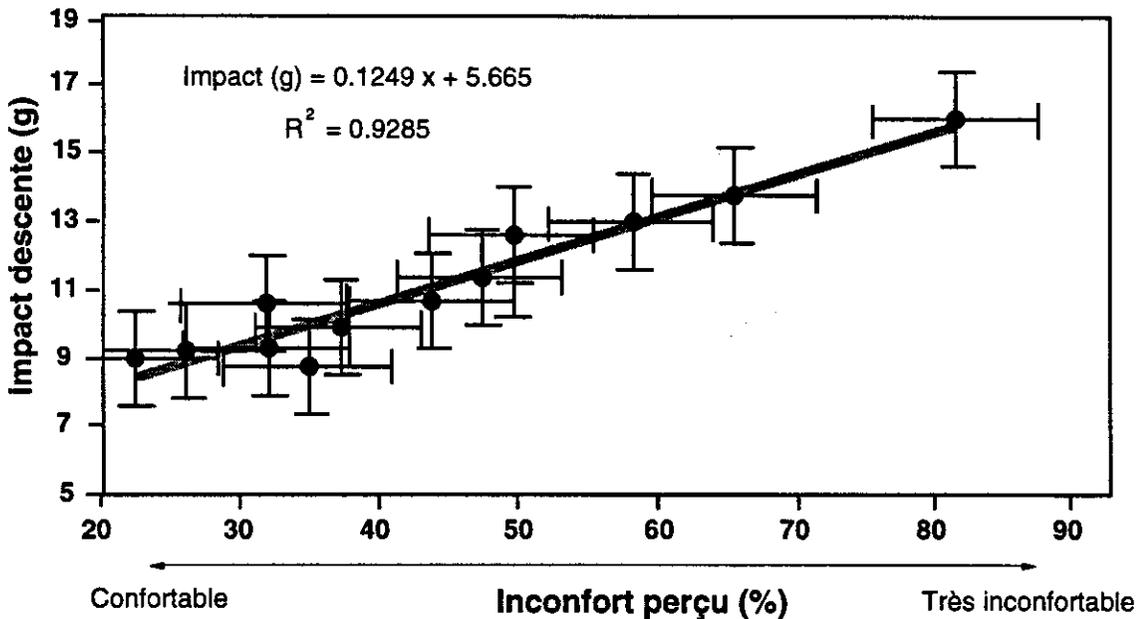
#### Niveau d'inconfort physique perçu à grimper le poteau

De la même manière, les figures 46 et 47 montrent respectivement les courbes des valeurs mesurées d'impact en montée et en descente en fonction des valeurs subjectives de l'inconfort physique. Des régressions linéaires pour les moyennes des accélérations en montée et en descente avec les moyennes des niveaux d'inconfort ont permis d'estimer l'appréciation de la dureté avec des coefficients de détermination respectifs de 87% et 93%. On peut encore constater que la valeur de l'impact en descente reflète bien l'appréciation

de l'inconfort physique quelque soit la combinaison essence-traitement, alors que les niveaux d'impact en montée sont légèrement moins bien corrélés.



**Figure 46** Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et l'inconfort perçu



**Figure 47** Graphique de la relation entre l'impact mesuré en descente et l'inconfort perçu

### Sentiment de sécurité

Les figures 48 et 49 montrent respectivement les courbes des valeurs mesurées d'impact en montée et en descente en fonction des valeurs subjectives du sentiment de sécurité. Les

coefficients de détermination pour les impacts en montée et en descente sont respectivement de: 88% et 92%. On peut toujours constater que la valeur de l'impact en descente reflète bien l'appréciation du niveau de sécurité quelque soit la combinaison essence-traitement.

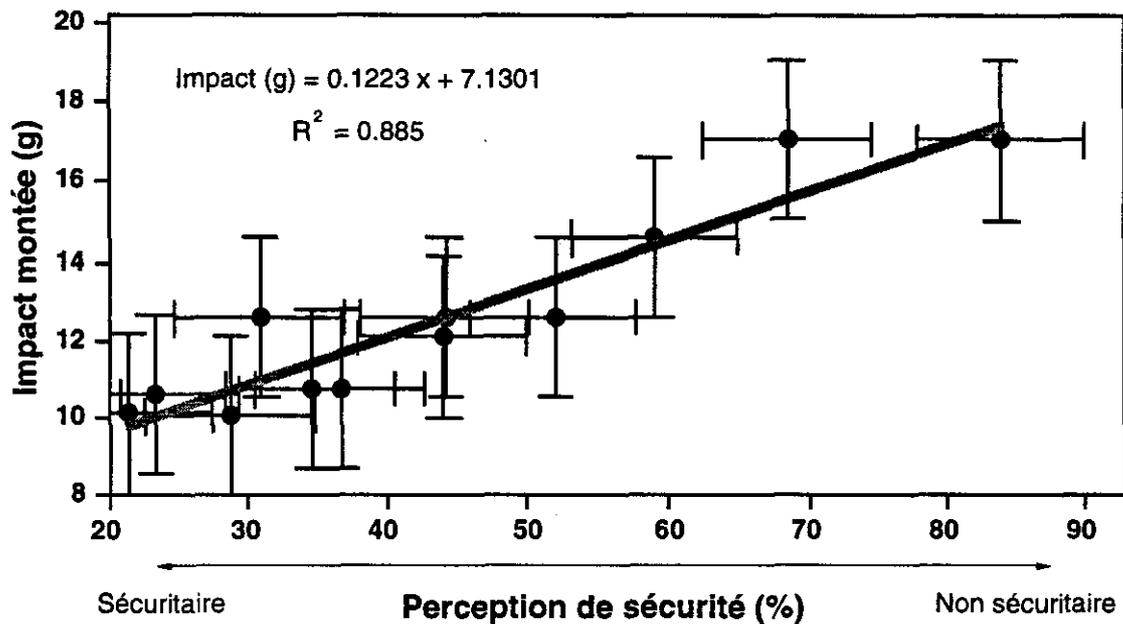


Figure 48 Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et la perception de sécurité

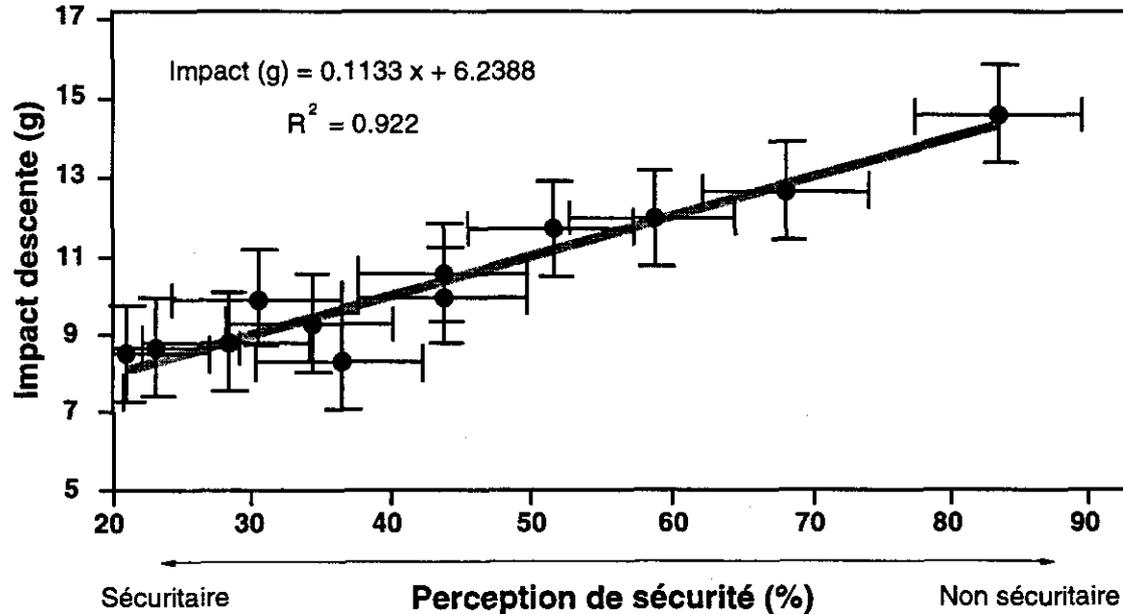


Figure 49 Graphique de la relation entre l'impact mesuré en descente et la perception de sécurité

### Appréciation globale du poteau

Les figures 50 et 51 montrent respectivement les courbes des valeurs mesurées d'impact en montée et en descente en fonction des valeurs subjectives de l'appréciation globale du poteau. Les coefficients de détermination pour les impacts en montée et en descente sont respectivement de 89% et 94%. On peut encore constater que la valeur de l'impact en descente reflète bien l'appréciation du niveau de sécurité quelque soit la combinaison essence-traitement.

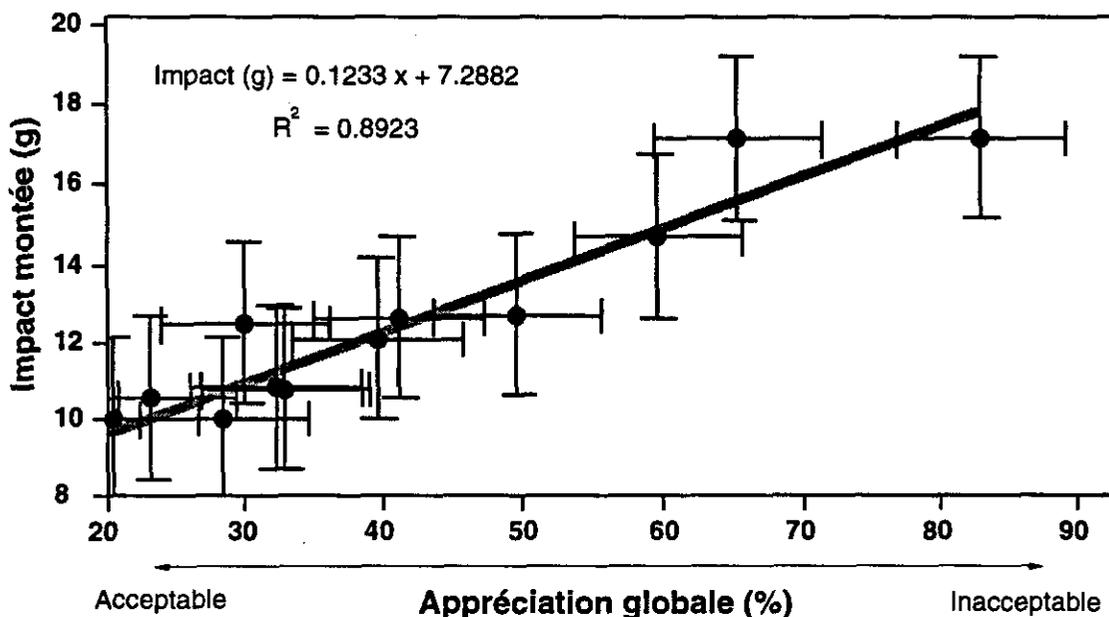


Figure 50 Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et l'appréciation globale

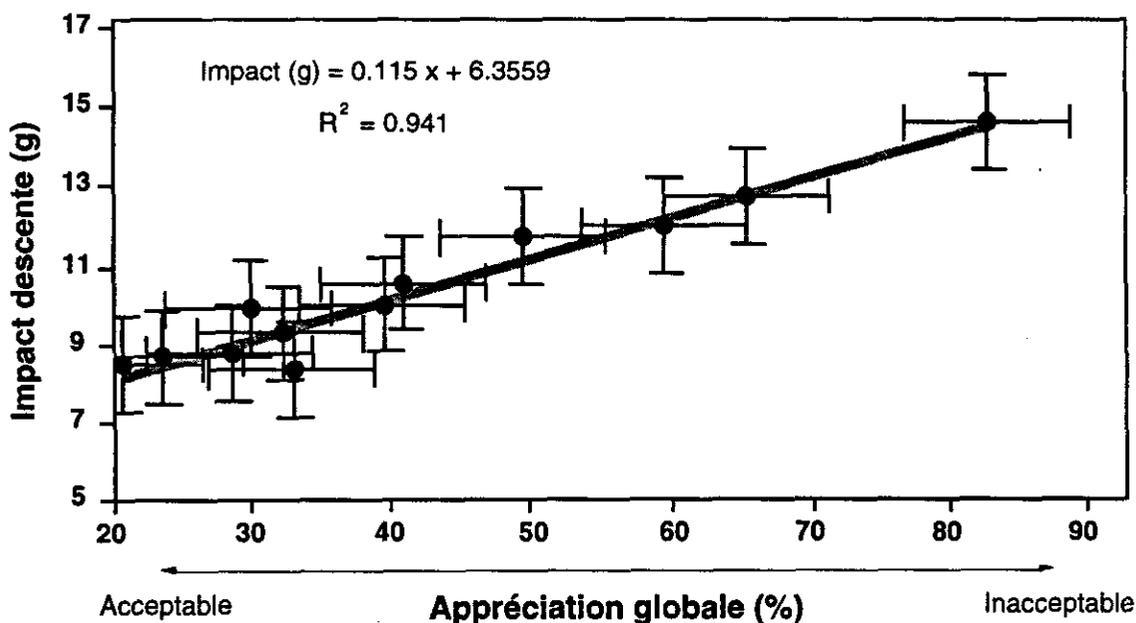
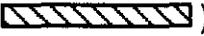


Figure 51 Graphique de la relation entre l'impact mesuré en descente et l'appréciation globale

En résumé de ce qui précède, il ressort que les diverses variables psychophysiques sont bien corrélées avec les moyennes des mesures d'impact, notamment avec les impacts en descente, le coefficient de détermination variant entre 92% et 95% selon la variable psychophysique. Les variables psychophysiques ne sont pas aussi bien corrélées avec les moyennes des mesures de pénétration. Les variables d'appréciation de la dureté et de l'appréciation globale des poteaux sont les mieux corrélées avec les moyennes des impacts en descente. Une explication possible est que la mesure d'impact en descente n'a pas été perturbée par le poids des monteuses alors que les autres mesures étaient affectées par celui-ci.

En conclusion, ces résultats montrent qu'il est possible d'obtenir un indice objectif qui reflète la dureté perçue par les monteuses en se basant sur la mesure d'impact, notamment en descente. Si on compare les résultats obtenus de l'acceptabilité des poteaux par les monteuses (figure 27-A) aux mesures d'impact en montée (figure 33) et en descente (figure 34), on peut établir une relation entre le niveau d'impact mesuré lors de la pénétration et le taux d'acceptabilité des poteaux quelque soit la combinaison essence-traitement considérée. D'après les cinq catégories de poteaux définies par l'analyse des regroupements de taux d'acceptabilité (tableau 23), nous avons défini quatre classes de poteaux, soit :

- Classe 1 : les poteaux jugés parfaitement acceptables définis par un taux d'acceptabilité > 91% (catégorie 1 );
- Classe 2 : les poteaux jugés moyens définis par un taux d'acceptabilité variant entre 73 et 91 % (catégorie 2 );
- Classe 3 : les poteaux jugés passables définis par un taux d'acceptabilité variant entre 51 et 73 % (catégorie 3 );
- Classe 4 : les poteaux jugés non acceptables définis par un taux de rejet supérieur à 49 % (catégories 4 et 5 ).

L'analyse de régression linéaire entre le taux d'acceptabilité et les mesures d'impact en montée et en descente a montré des coefficients de détermination variant entre 96% et 99%. Ces résultats sont présentés aux figures 52 et 53 sur lesquelles sont reportées les quatre classes de poteaux préalablement définies. L'analyse de ces courbes permet de définir des niveaux d'impact limites pour chaque classe en fonction du taux d'acceptabilité des monteuses (tableau 34). Les niveaux d'impact limite sont légèrement différents entre la montée et la descente, aussi nous avons pris comme critères de décision les niveaux d'impact sécuritaire, soit : la valeur d'impact maximale pour la classe 4 et la valeur d'impact minimale pour la classe 1. Cette façon de procéder laisse une zone d'indécision entre les classes 2 et 3 pour des valeurs d'impact entre 11 et 12 g. Ce niveau d'indécision reflète un taux d'acceptabilité de 73%.

Les quatre classes de poteaux définies préalablement ont été reportées sur les courbes de mesures de pénétration de la griffe en montée et en descente (figures 54 et 55). L'analyse de ces courbes a permis de définir des zones d'acceptabilité des poteaux en fonction de la pénétration de la griffe (tableau 34). Bien sûr, les niveaux de pénétration étant différents entre la montée et la descente, cela laisse des zones d'incertitude entre 18 et 20 mm pour les classes 2 et 3. Cette zone d'incertitude reflète également un taux d'acceptabilité de 73%. Les zones extrêmes ont été choisies en fonction des valeurs sécuritaires de pénétration.

Pour qu'un poteau puisse être catégorisé dans l'une des classes définies au tableau 34, il faut qu'à la fois le critère d'impact et le critère de pénétration soient respectés, sinon le poteau doit être relégué dans une catégorie inférieure. Afin de respecter simultanément ces deux critères de pénétration et d'impact, nous avons développé un indice de sévérité basé sur le rapport des moyennes des pénétrations en montée et en descente divisé par la moyenne des impacts en montée et en descente (mm/g). Cet indice de sévérité est décrit à la figure 56 et les niveaux de sévérité sont reportés à la dernière colonne du tableau 34. Il importe de souligner que les valeurs minimales et maximales de l'intervalle de l'ordonnée correspondent aux valeurs de montée et de descente, respectivement. Ces valeurs peuvent servir au gestionnaire comme critères de décision de la qualité d'un poteau à un instant donné, et peuvent servir également au comité barème de mesure à développer un indicateur clé qui tienne compte de ces critères dans un instrument de mesure tel que le mini-banc CRIQ. Il importe toutefois de mentionner que ces critères ont été établis dans une zone de dureté « Pilodyn » restreinte sur des poteaux sains et avec une griffe Bashlin. Aussi, tout nouvel appareil de mesure devra prendre en compte ces conditions d'essais. Par ailleurs, nous laissons au gré du gestionnaire de définir sa zone d'acceptabilité des poteaux en fonction du pourcentage d'acceptabilité des grimpeurs (approx. 50% pour le niveau passable; approx. 75% pour le niveau moyen).

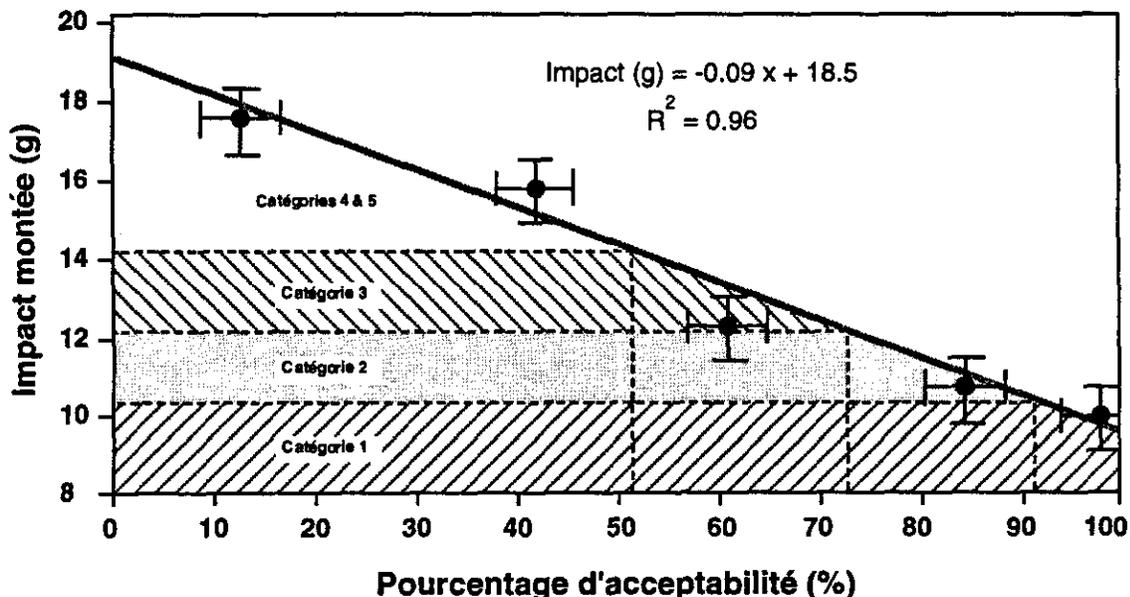


Figure 52 Graphique de la relation entre l'impact mesuré en montée et le pourcentage d'acceptabilité

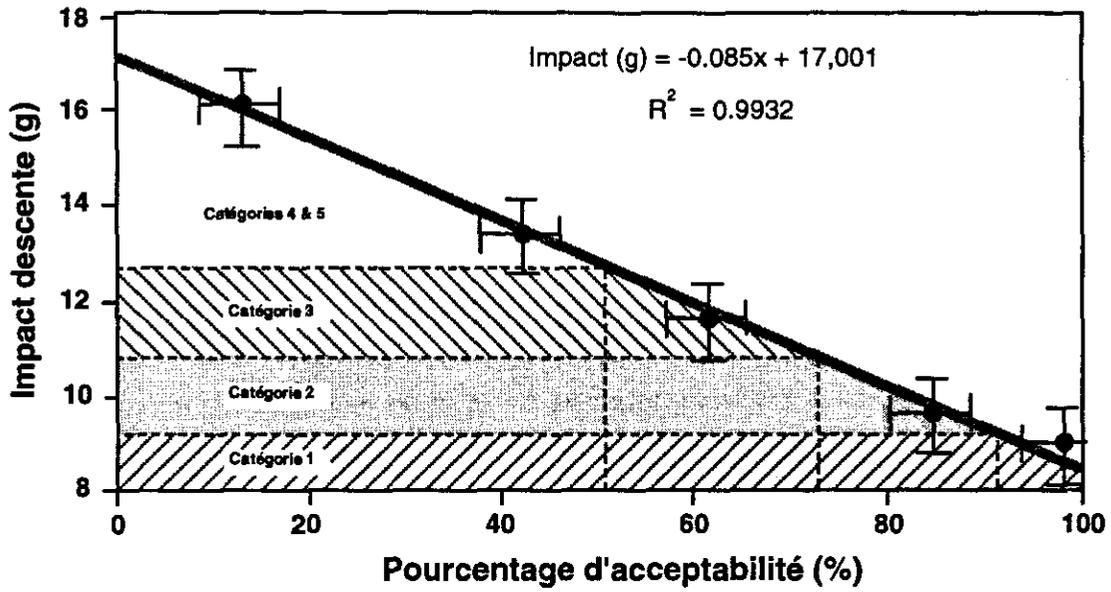


Figure 53 Graphique de la relation entre l'impact mesuré en descente et le pourcentage d'acceptabilité

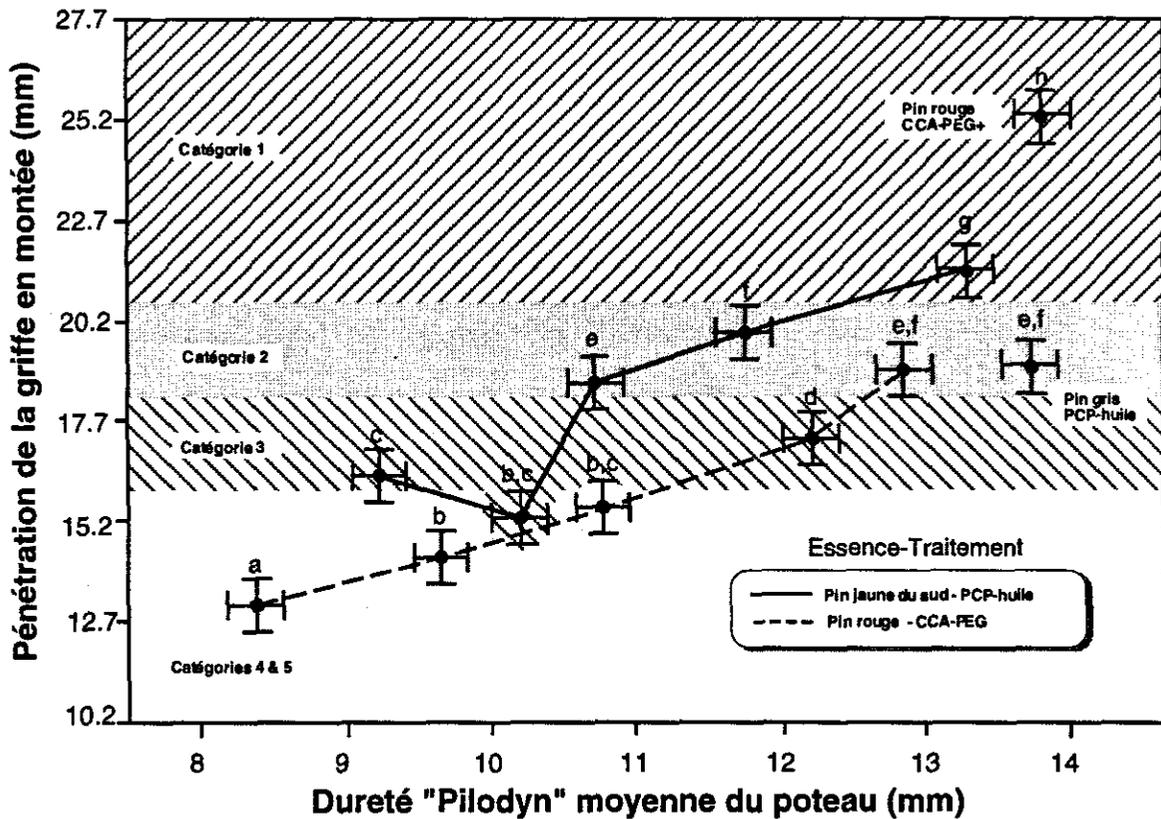


Figure 54 Graphique illustrant les niveaux moyens de pénétration en montée des poteaux

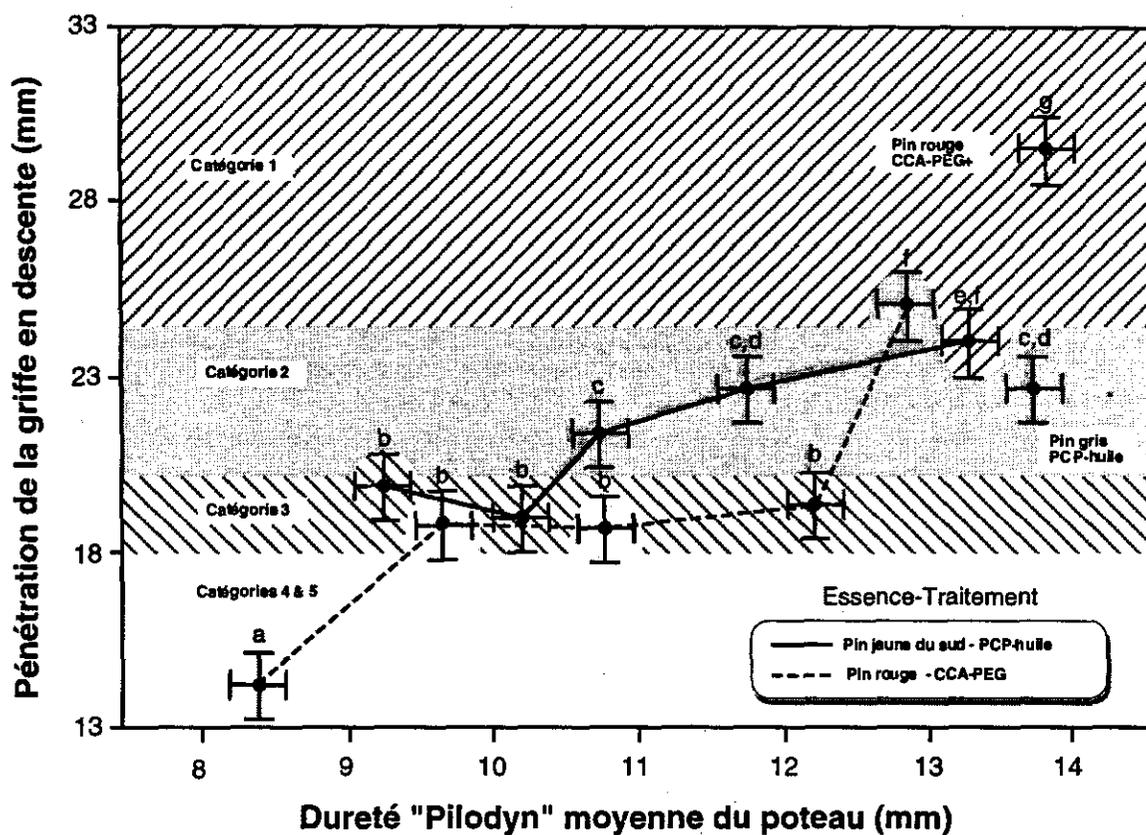


Figure 55 Graphique illustrant les niveaux moyens de pénétration en descente des poteaux

Ces résultats peuvent être résumés dans le tableau 34.

Tableau 34 Discrimination de l'acceptabilité des poteaux à l'aide des mesures physiques

Poteaux	Degré d'insatisfaction (%) des monteuses		Niveau d'impact (g)	Niveau de pénétration (mm)	(Pénétration montée + Pénétration descente) (Impact montée + Impact descente)
	Variation	Moyenne			
Acceptable	0 à 9	2	< 9	> 24	> 2.25
Moyen	9 à 27	16	9 à 12	18 à 24	1.75 à 2.25
Passable	27 à 49	39	11 à 14	16 à 20	1.4 à 1.75
Non - acceptable	> 49	68	> 14	< 16	< 1.4

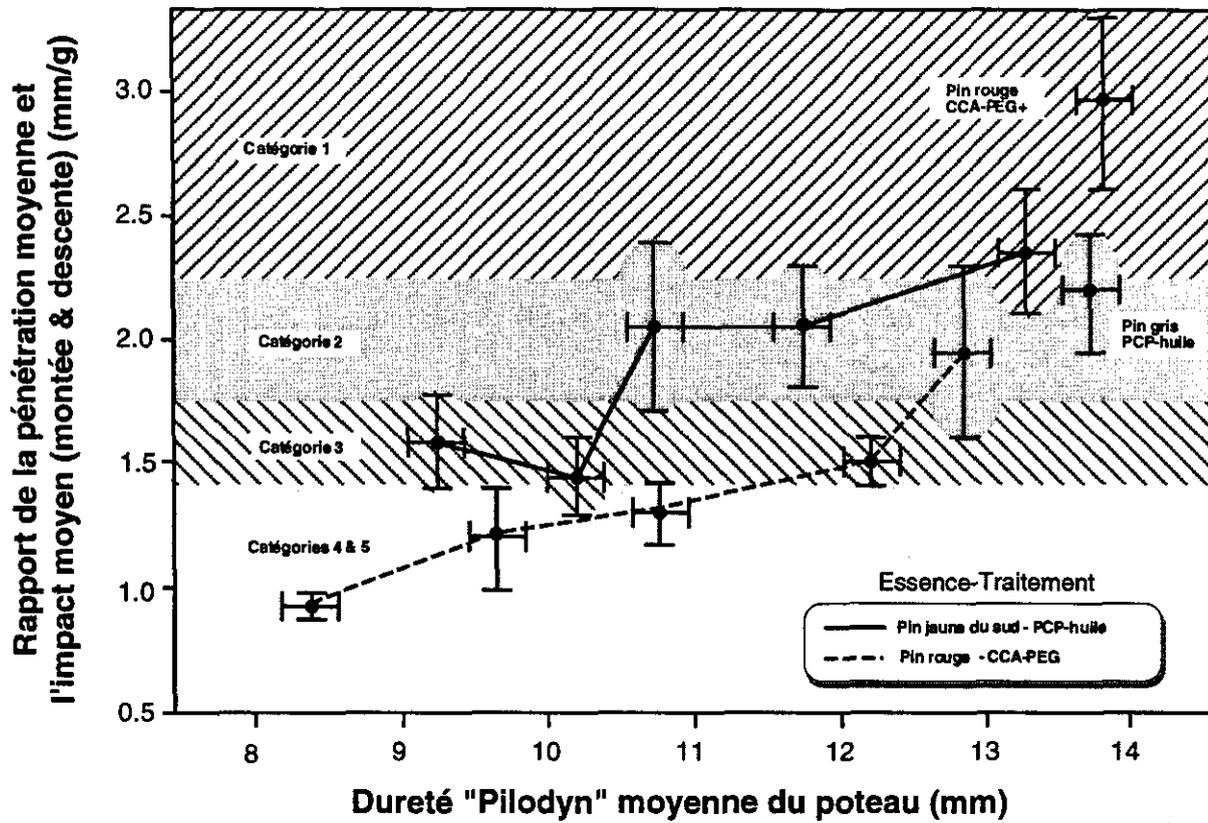


Figure 56 Graphique illustrant le rapport entre la moyenne des pénétrations et la moyenne des impacts en montée et en descente

## 8.0 Synthèse et conclusion

### 8.1 Synthèse

#### Évaluation psychophysique

Les résultats obtenus lors de l'évaluation psychophysique, autant au point de vue de l'appréciation de la dureté du poteau, de l'inconfort physique ressenti, du sentiment de sécurité et de l'appréciation globale du poteau, montrent à peu près les mêmes tendances, à quelques différences près.

Tout d'abord, bien que l'étude ait porté sur la dureté « Pilodyn » comme variable indépendante, l'effet d'interaction essence-traitement et dureté « Pilodyn » ressort indubitablement et la première conclusion qui s'impose est que la dureté « Pilodyn » ne peut être utilisée comme paramètre discriminatoire sans distinction de l'effet essence-traitement. A cet effet, le protocole initial prévoyant un plan ayant comme variables indépendantes l'essence, le traitement et la dureté « Pilodyn », tel que prévue à l'origine aurait été plus efficace. Toutefois, il faut bien avouer qu'il aurait été plus difficile à mettre en oeuvre avec les poteaux disponibles sur le terrain. Quoiqu'il en soit, les résultats obtenus permettent d'obtenir des constats très intéressants. Le fait que la dureté « Pilodyn » ne reflète pas la perception des grimpeurs quelque soit le critère, n'est pas surprenant, puisque c'est le sujet de l'étude. Un comité travaille d'ailleurs actuellement au développement d'un instrument de mesure de la « pénétrabilité » des poteaux.

De façon plus spécifique, les grimpeurs discriminent mieux les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG avec un gradient de l'ordre de 10% par millimètre de dureté « Pilodyn » que les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile avec un gradient de l'ordre de 3% par millimètre de dureté « Pilodyn » et ce, quelque soit le critère étudié.

En fait, les essais ont montré que les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG étaient en général moins bien perçus que les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile puisqu'il fallait un poteau de pin rouge CCA-PEG de dureté 12.8 mm pour être perçu équivalent aux poteaux traités au PCP-huile de 9.2 à 10.7 mm.

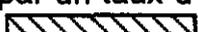
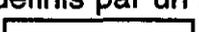
Les poteaux les mieux perçus avaient une dureté « Pilodyn » supérieure à 13 mm quelque soit la combinaison essence-traitement. Il faut mentionner à cet effet que le poteau de pin rouge de cette catégorie était un poteau traité au CCA-PEG+ et que le poteau le moins bien perçu parmi ceux montrant une dureté « Pilodyn » supérieure à 13 mm était un pin gris. Ce résultat bien que partiel semble montrer l'effet qu'aurait pu avoir l'interaction entre l'essence et le traitement.

Il faut noter que les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile étaient plus denses que les autres, ce qui semble indiquer que la densité est un paramètre important dans l'appréciation des grimpeurs. Par contre l'humidité des poteaux ne s'est pas révélée une variable discriminatoire.

De façon générale, les grimpeurs de poids léger trouvent les poteaux plus difficiles à grimper que les autres grimpeurs et ce, quelque soit la combinaison essence-traitement ou la dureté du poteau. Par contre, on a pu noter que les grimpeurs d'Hydro-Québec (habités

à monter des poteaux de pin rouge traités au PCP-huile) percevaient plus mal les poteaux de pin jaune traité au PCP-huile que les monteurs de Bell (habitué à grimper des poteaux plus durs) et les monteurs d'autres provenances.

Une étude sur le nombre de grimpeurs qui trouvaient les poteaux acceptables a permis de classer les poteaux en 5 catégories selon leur seuil d'acceptabilité. De ces résultats, nous avons défini quatre classes d'acceptabilité soit:

- Classe 1 : les poteaux jugés parfaitement acceptables définis par un taux d'acceptabilité > 91% (catégorie 1 );
- Classe 2 : les poteaux jugés moyens définis par un taux d'acceptabilité variant entre 73 et 91 % (catégorie 2 );
- Classe 3 : les poteaux jugés passables définis par un taux d'acceptabilité variant entre 51 et 73 % (catégorie 3 );
- Classe 4 : les poteaux jugés non acceptables définis par un taux de rejet supérieur à 49 % (catégories 4 et 5 ).

### Mesures physiques

Pratiquement, les mêmes constats peuvent être appliqués pour les mesures physiques que pour l'évaluation psychophysique. Il est montré que la dureté « Pilodyn » ne reflète ni les mesures de pénétration ni les mesures d'impact, toutes combinaisons essences-traitements confondues. Par contre, si on considère chaque combinaison essence-traitement séparément, il serait alors possible de faire des lois de comportement de pénétration ou d'impact en fonction de la dureté « Pilodyn ».

De façon plus spécifique, les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile présentent en général une pénétration plus importante que ce soit en montée ou en descente que les poteaux de pin rouge traité au CCA-PEG exception faite du poteau de pin rouge traité au CCA-PEG+ qui montre des résultats plus intéressants à cet effet.

Les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile présentent également en général des niveaux d'impact moins importants que les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG que ce soit en montée ou en descente. Cette mesure d'impact a été nettement plus discriminatoire pour les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG que les poteaux de pin jaune traité au PCP-huile, qui présentent des niveaux d'impact pratiquement comparables quelque soit la dureté « Pilodyn » de ceux-ci.

Ces résultats ont également montré que les grimpeurs de poids léger pénètrent moins que les grimpeurs de poids lourd et subissent un impact plus important que ceux-ci. Ce phénomène naturel explique la raison de leur plus mauvaise perception des poteaux.

### Mesures électromyographiques et cardiaques

Malheureusement (ou heureusement), ces mesures n'ont pas montré de relations directes ni avec la dureté « Pilodyn », ni avec les combinaisons essences-traitements, ni avec les mesures physiques, ni avec la perception des grimpeurs. Aussi aucune conclusion ne peut vraiment être portée concernant les risques musculosquelettiques d'après cette étude. Par ailleurs, rappelons que la charge cardiaque, mesurée lors de l'étude pilote, n'était que faiblement influencée par la variation de la dureté « Pilodyn » du poteau dans la gamme

12 à 16 mm, suggérant ainsi que le fait de monter des poteaux de différentes duretés n'entraîne pas pour autant une fatigue physiologique accrue. Schneider et al. (1984) ont mesuré la fréquence cardiaque chez huit monteurs lors du grimpage de poteaux de différentes duretés (mou, moyen et dur). Ils rapportent une différence de 4 battements par minute entre les poteaux mou et dur. Ils concluent que cette différence, quoique significative, ne représentait pas pour autant une charge physiologique accrue.

### Relations entre les mesures physiques et psychophysiques

Les résultats ont montré qu'il existe une relation évidente entre l'évaluation psychophysique et les mesures de pénétration et d'impact.

La corrélation la plus évidente a été établie entre l'impact à la descente et les différents paramètres de perception, avec des coefficients de détermination ( $R^2$ ) variant entre 92 et 95%.

Notamment, la corrélation entre les mesures d'impact en montée et en descente a été établie avec le pourcentage d'acceptabilité des poteaux. L'étude de corrélation a permis d'établir que les poteaux montrant un impact inférieur à 9 g étaient parfaitement acceptables et que les poteaux présentant un niveau d'impact supérieur à 14 g étaient jugés inacceptables. Les poteaux présentant un impact variant entre 9 et 11 g peuvent être classés moyens et les poteaux présentant un impact entre 12 et 14g peuvent être classés passables. Une zone d'incertitude entre 11 et 12 g subsiste entre les poteaux classés passables et moyens.

La relation entre les pourcentage d'acceptabilité des poteaux et les mesures de pénétration en montée et en descente a permis d'établir que les poteaux montrant une pénétration supérieure à 24 mm étaient parfaitement acceptables et que les poteaux présentant une pénétration de la griffe inférieure à 16 mm étaient jugés inacceptables. Les poteaux dont la pénétration de la griffe varie entre 20 et 24 mm peuvent être classés moyens alors que les poteaux dont la pénétration varient entre 16 et 18 mm peuvent être classés passables. Une zone d'incertitude entre 18 et 20 mm subsiste pour classer les poteaux passables ou moyens.

Par ailleurs, nous avons développé un indice de sévérité basé sur le rapport des moyennes des mesures de pénétration de la griffe et des impacts prises en montée et en descente. De cet indice, un poteau est acceptable pour 50 % et plus des grimpeurs lorsque l'indice de sévérité est supérieur à environ 1.4 mm/g ( $\pm 0.2$  mm/g).

Ces résultats peuvent être utiles au comité barème de mesure qui développe actuellement un appareil de mesure basé sur la mesure de la pénétration de la griffe ainsi que sur l'impact généré. Ces résultats peuvent également servir au questionnaire comme critères de décision.

## 8.2 Conclusion

L'objectif de cette étude était d'étudier les corrélations entre divers paramètres psychophysiques, tels que : appréciation de la dureté du poteau, niveau d'inconfort physique ressenti à grimper le poteau, sentiment de sécurité lorsque le monteur est dans le poteau et enfin, appréciation globale du poteau, avec un indicateur clé, si disponible. Les travaux du comité barème de mesure n'étant pas encore terminés, nous avons convenu d'utiliser la dureté « Pilodyn » comme indicateur de la dureté du poteau. Afin de mieux documenter la perception de la grimpabilité, nous avons également introduit dans le protocole expérimental un ensemble de mesures physiques, telles que : la pénétration de la griffe dans le bois, l'impact généré par la pénétration ainsi que le pourcentage d'utilisation musculaire de quatre muscles impliqués dans l'activité de grimpage. L'objectif spécifique de l'introduction de ces mesures physiques visait à fournir des éléments quantitatifs au comité barème de mesure en vue de définir un indicateur clé.

La conduite de l'étude a été faite en deux étapes, soit d'une part la réalisation d'une étude pilote afin de définir la pertinence des variables prévues au protocole principal et afin de raffiner les éléments méthodologiques, et d'autre part, la réalisation d'une étude principale. Cette étude a porté sur un ensemble de poteaux choisis selon leur dureté « Pilodyn » dans une gamme restreinte de dureté « Pilodyn » pour deux combinaisons essence-traitements, soit une combinaison de pins rouges traités au CCA-PEG et une autre de pin jaune traité au PCP-huile. Il est entendu que ces combinaisons ne reflètent pas la population des poteaux actuellement utilisés mais elles ont permis d'obtenir des poteaux dont la dureté est comprise dans une plage définie. La méthodologie employée lors de cette étude repose sur la réalisation d'un plan d'expériences factoriel complet permettant d'évaluer l'influence de la dureté « Pilodyn » sur un ensemble de variables dépendantes tant psychophysiques que physiques. L'analyse des données repose principalement sur des analyses de variance appliquées sur chacune des variables dépendantes ainsi que des analyses de corrélation et de régression.

Les principaux résultats révélés par cette étude sont les suivants :

- Il a été révélé, tout d'abord, que la mesure de dureté « Pilodyn » ne constituait pas une mesure efficace de la dureté du poteau à cause de la sensibilité de cette mesure à la combinaison essence-traitement. Ce résultat n'est pas surprenant puisque cette étude originait justement de cette problématique. Les résultats ont, par contre, révélé que cette mesure pouvait être utilisée efficacement pour une même combinaison essence-traitement. Ce dernier constat explique pourquoi l'utilisation de la dureté « Pilodyn » n'a jamais fait l'unanimité.
- Le second point important est l'interaction existante entre la dureté « Pilodyn » et la combinaison essence-traitement. En effet, le gradient de perception versus la dureté « Pilodyn » est différent d'une combinaison essence-traitement à l'autre et ce, quelque soit la variable psychophysique utilisée. Par exemple, la combinaison pin rouge – CCA-PEG a montré un gradient plus prononcé que la combinaison pin jaune – PCP-huile. Ces résultats montrent que la réalisation d'un plan d'expériences utilisant distinctement comme variables indépendantes l'essence et le type de traitement en plus de la dureté « Pilodyn » aurait fourni des résultats plus complets, malheureusement ce type de plan est beaucoup plus difficile à mettre en oeuvre vue la difficulté, sinon l'impossibilité, d'obtenir toutes les combinaisons possibles entre ces

variables (e.g. pin rouge traité au PCP-huile d'une dureté « Pilodyn » proche de 9 mm ou un pin jaune traité au CCA-PEG d'une dureté de 14 mm).

- De façon plus spécifique, les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG ont montré généralement une moins bonne perception de la part des grimpeurs que les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile. Ces résultats ont été confirmés par les mesures physiques puisque les pins rouges traités au CCA-PEG montraient une moins bonne pénétration de la griffe et un impact plus élevé que les pins jaunes traités au PCP-huile. Ces résultats peuvent être en partie attribués à la densité des poteaux, puisque les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG présentaient une densité inférieure à celle des poteaux de pin jaune traités au PCP-huile. Cette hypothèse néanmoins restera à vérifier. Les résultats de l'étude psychophysique ont montré qu'il fallait qu'un poteau de pin rouge traité au CCA-PEG ait une dureté « Pilodyn » d'au moins 12.8 mm pour être jugé équivalent aux poteaux de pin jaune traités au PCP-huile dont la dureté « Pilodyn » variait entre 9.2 et 10.7 mm. On doit aussi spécifier que le poteau de pin rouge traité au CCA-PEG+ (Pilodyn 13.8 mm) a montré des résultats au moins équivalents, sinon meilleurs, que tous les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile et ce, autant des points de vue psychophysiques que physiques.
- Un point important est l'excellente corrélation entre la mesure psychophysique, quelque soit la variable, et les mesures physiques de pénétration de la griffe et d'impact. Cette corrélation a été notamment beaucoup plus significative avec les mesures d'impact prises en descente. En effet, les coefficients de détermination obtenus ont varié entre 92 et 95 % selon la variable psychophysique considérée. Par conséquent, toutes études subséquentes, portant sur cette problématique, pourrait être basée uniquement sur une évaluation psychophysique du taux d'acceptabilité des poteaux.
- Suite à l'étude sur la fréquence d'acceptation des poteaux par les monteurs participants, nous avons établi quatre classes de poteaux, soit les poteaux acceptables : présentant un taux d'acceptabilité supérieur à 91 %; les poteaux jugés non acceptables : présentant un taux d'acceptabilité inférieur à 51 %; les poteaux jugés moyens : présentant un taux d'acceptabilité compris entre 73 et 91 %, et enfin, les poteaux jugés passables : présentant un taux d'acceptabilité variant entre 51 et 73 %.
- Les résultats des essais ont permis d'attribuer des niveaux permisibles d'impact et de pénétration de la griffe en fonction des quatre classes de poteaux. Ces critères de décision de la qualité des poteaux seront très utiles autant pour les gestionnaires que pour les concepteurs d'appareils de mesure. Il faut toutefois mentionner que les critères de pénétration de la griffe doivent être considérés avec un angle de pénétration de l'ordre de 23 degrés. En effet, Rey-Lescure et Thomas (1987) ont montré à l'aide d'essais menés en laboratoire que l'angle de pénétration de la griffe devait être supérieur à 15 degrés pour que le montage soit considéré comme sécuritaire au point de vue décrochage. Ils ont également montré qu'en réduisant l'angle de pénétration, la profondeur de pénétration augmentait également, sans pour autant augmenter la résistance au décrochage. Ces résultats suggèrent que la profondeur de pénétration, prise individuellement, ne constitue pas un critère de sécurité à moins qu'on ne l'étudie en interaction avec l'angle de pénétration.

- Les critères limites d'impact et de pénétration de la griffe ne peuvent être dissociés l'un de l'autre. Aussi si un poteau respecte uniquement l'un de ces critères, il doit être relégué dans une classe moins acceptable. À cet effet, nous avons développé un indice de sévérité basé sur le rapport des moyennes des mesures de pénétration de la griffe et des impacts prises en montée et en descente. Cet indice offre l'avantage de tenir compte à la fois des valeurs de pénétration et d'impact de la griffe. Enfin, nous laissons au gré du gestionnaire de définir sa propre zone d'acceptabilité des poteaux en fonction du pourcentage d'acceptabilité des grimpeurs ( 50 % pour le niveau passable; 75 % pour le niveau moyen).
- Enfin, mentionnons que les études électromyographiques n'ont révélé aucun indice qu'une fatigue accrue pourrait survenir en grim pant des poteaux de dureté différente dans la gamme de dureté « Pilodyn » couverte dans cette étude quelque soit la combinaison essence-traitement. Par contre, l'effet qui est apparu semble davantage dépendre du diamètre des poteaux que des autres paramètres physiques.
- Contrairement aux conclusions d'une étude récente (Hanrahan, 1993) qui préconisent qu'un poteau CCA-PEG doit montrer une dureté « Pilodyn » moyenne supérieure à 9.6 mm pour être grimpable, nos propres résultats suggèrent plutôt une dureté « Pilodyn » au moins supérieure à 10.8 mm (classes passable et plus) pour les poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG. Mentionnons toutefois que ce dernier critère est basé sur un taux d'acceptabilité supérieur à 51 % de la part des grimpeurs et non sur un indice du risque qu'ils peuvent encourir. Par ailleurs, tous les poteaux de pin jaune traités au PCP-huile de dureté « Pilodyn » supérieure à 9.2 mm peuvent être classés passables. Les niveaux limites étant différents d'une combinaison essence-traitement à l'autre, il s'avère nécessaire de compléter ces résultats partiels, dans le cas où le critère de sélection resterait la dureté « Pilodyn », par une étude psychophysique du taux d'acceptabilité des poteaux sur un plus grand ensemble de la population des poteaux afin de définir des limites de dureté « Pilodyn » pour chaque combinaison essence-traitement.
- Enfin, mentionnons d'une part, que nous observons une excellente corrélation entre nos mesures de pénétration en montée effectuées avec des monteurs de lignes et celles obtenues à partir d'un banc d'essais (Hanrahan, 1993) avec des poteaux de pin rouge traités au CCA-PEG. Ces résultats suggèrent la validité d'un tel banc d'essais pour la mesure de la pénétration de la griffe. D'autre part, nous avons effectué une analyse de comparaisons multiples pour les pénétrations moyennes de la griffe mesurées avec le banc d'essais. L'analyse révèle que les quatre types d'éperons sont presque équivalents à des duretés « Pilodyn » moyennes de 9 mm et 13 mm. Ce résultat suggère que le type d'éperons n'influence pas la pénétration de la griffe à ces duretés « Pilodyn » moyennes. À une dureté « Pilodyn » moyenne de 10.5 mm, par contre, l'éperon Buckingham CCA produit une pénétration plus grande que les autres éperons. Ce constat suggère que la limite proposée de 10.8 mm, établit avec un éperon Bashlin, pourrait être révisée, possiblement à la baisse, en utilisant ce type d'éperon; cependant, une vérification expérimentale devrait être réalisée.

## Pénétration moyenne de la griffe (mm)

Éperon	Dureté Pilodyn moyenne (pin rouge CCA-PEG)		
	9 mm	10.5 mm	13 mm
Klein (modèle S)	13.5 ±0.5 <i>a,b</i>	14.7 ±0.7 <i>b,c</i>	18.5 ±1.5 <i>d</i>
Buckingham (CCA - modèle 9106)	13.2 ±1.0 <i>a,b</i>	17.3 ±1.3 <i>d</i>	20.6 ±1.8 <i>e</i>
Buckingham (modèle B.T.Co.-E)	13.5 ±0.5 <i>a,b</i>	15.5 ±1.3 <i>c</i>	18.3 ±2.3 <i>d</i>
Bashlin (modèle DB-12)	12.7 ±0.5 <i>a</i>	14.0 ±1.3 <i>a,b</i>	18.8 ±1.8 <i>d</i>
Bashlin (montée)	13.1 ±2.8 (dureté 8.4 mm)	14.5 ±2.5 (dureté 9.6 mm)	19.1 ±3.2 (dureté 12.8 mm)

Adapté de Hanrahan (1993)

## Références

- Arteau, J., Beauchamp, Y., Arcand, J.-F. et Brosseau, M. (1997) «Testing a Wood Pole Fall Arrest System using an Evaluation Methodology with Ergonomic and Engineering Criteria», Electricity '97 Conference and Exposition, Corporate Resources - Health and Safety, Canadian Electricity Association, 20 au 24 avril 1997, Vancouver.
- Beauchamp, Y., Arteau, J. et Brosseau, M. (1996) «Evaluation of a lineman's belt equipped with a retractable lanyard fall arresting system». *Advances in Applied Ergonomics, Proceedings of the 1st International Conference on Applied Ergonomics (ICAE '96)*, Istanbul, 21-24 mai, p. 88-92.
- Beauchamp, Y., Thomas, M. et Arteau, J. (1996) «Psychophysical measurements as an effective way of evaluating climbability of wood treated utility poles». *Proceedings of the 20th International Conference on Computers and Industrial Engineering*, 6-9 October 1996, Kyongju, Korea, p. 925-928.
- Beauchamp, Y., Thomas, M., Arteau, J., Marchand, D. (1997) «Full Factorial Design to Assess Wood Pole Climbability using Psychophysical, Mechanical and Physiological Measurements», Electricity '97 Conference and Exposition, Corporate Resources - Health and Safety, Canadian Electricity Association, 20 au 24 avril 1997, Vancouver.
- Bigland-Ritchie, B., Woods, J.J. (1974) Integrated EMG and oxygen uptake during dynamic contractions of human muscles. *Journal of Applied Physiology*, 36, 475-479.
- Bouisset, S. & Goubel, F. (1973) Integrated electromyographical activity and muscles work, *J. Appl. Physiol.*, 35, 695-702.
- Brudermann G.E., Aug. 1994, Climbability of CCA treated poles, technical report CEA SD-169A, Canadian electrical association, 41p..
- Chaffin, D.B., Lee, M. & Freivald, A. (1980) Muscle strength assessment from EMG analysis. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 12 (3):205-11.
- Cooper R.G. & Stokes, M.J. Load-induced inflexion of the surface electromyographic signal during isometric fatiguing activity of normal human paraspinal muscle. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.* 34: 177-184.
- Cooper P.A., Ung Y.T., Ma F.M.S. and Zirk W.E., 1995, Performance of a new PEG additive for CCA treated red pine poles, CWPA, Faculty of forestry, university of Toronto, technical report, 17 pages.
- Gilbert, R.; Besner, A., Outeau, P. (1996). Effect of aging and temperature on the resistance to spur penetration in CCA-PEG 1000 - treated red pines poles. *Forest Products Journal*, 47(3). pp. 81-88.
- Goyer, Nicole (1976), Étude du traitement des poteaux de bois au CCA. Rapport Hydro-Québec, direction de l'environnement, 21 p.
- Hagberg, M. (1981) On evaluation of local muscular load and fatigue by electromyography *Arbet Och Halsa* 24: 1-53.
- Hagberg, M. and Jonsson, B. (1975) The amplitude distribution of the myoelectric signal in an ergonomic study of the deltoid muscle. *Ergonomics* 18:311-319.
- Hanrahan R.C. (1993), Factors influencing the climbability of CCA-PEG wood poles, technical report HSD-SD-93-5, Health and safety division, Hydro-Ontario, 19 p.
- Hawthorne S.H. (1981). "Pole climbing trials - Orangeville C&D centre". Ontario Hydro Research Division. Rapport n° 81-154-K. 31 pages.
- Hydro-ontario/Bell Canada research group, 10 Dec 1982, The relationship between wood pole hardness and climbing acceptability, Hydro-ontario and Bell Canada technical report, 21p.
- Jensen, B.R. (1993) Shoulder muscle load and shoulder muscle fatigue among industrial sewing machine operators *Eur. J. Appl. Physiol.* 67: 467-475.
- Komi P.V. & Vitasalo, J.H. (1976) Signal characteristics of EMG at different levels of muscle tension. *Acta Physiologica Scandinavica* 96 (2):267-76
- Lind, A.R. & Petrofsky, J.S. (1979) Amplitude of the surface electromyogram during fatiguing isometric contractions. *Muscle & Nerve* 2 (4):257-64
- Marchand, D., Normand, M.C., Gosselin, G., Imbeau, D., & Beauchamp, Y. (1991) Evaluation of the percentage of muscular utilization for the trunk muscles during manual handling with trunk rotation and flexion. *Congrès de l'Association Internationale d'Ergonomie*. Paris
- Messina E.E. and Landry M., 1986, Hard data on pole climbability, *Telephony*, Vol. 210 No 6, pp. 51-58.

- Milner-Brown, H.S. & Stein, R.B. (1975) The relation between the surface electromyogram and muscular force. *Journal of Physiology* 246: 549-569.
- Milner-Brown, H. S., Stein, R. B., and Yemm, R. (1973) The orderly recruitment of human motor units during voluntary isometric contractions. *J. Physiol. (Lond. )* 230:359-370
- Montgomery (1994). *Fundamental concepts of design of experiments*. Wiley. New York.
- Petrofsky, J.S. (1979) Frequency and amplitude analysis of the EMG during exercise on the bicycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology* 41 (1):1-15
- Rey-Lescure E., and Thomas M., May 1987, Design of linemen' spurs, Technical report, Canadian Electrical Association, CEA 096 D 496, 124 p.
- Sneider M.F., Orr G.W., Martin J. And Joy J., 1984, An ergonomic study of climbing utility poles, Proceedings of the 1984 international conference on occupational ergonomics, pp 591-593.
- Thomas, M., Beauchamp, Y. et Arteau, J. (1996) «Mechanical measurements of the hardness of treated wood utility poles for evaluating climbability». Proceedings of the 20th International Conference on Computers and Industrial Engineering, 6-9 October 1996, Kyongju, Korea, p. 1051-1054.
- Trumble B and Messina E., 1985, CCA-PEG pole preservative research, Proceedings of American Wood Preservers' Association, pp 203-211.
- Viitasalo, J.T., Luhtanen, P., Rahkila, P. & Rusko, H. (1985) Electromyographic activity related to aerobic and anaerobic threshold in ergometer bicycling. *Acta. Physiol. Scand.*, 124: 287-293.
- Winter, D. A. (1990) *Biomechanics of human movement* (2nd ed.) John Wiley & Sons.

## **Annexe 1**

**Questionnaire d'évaluation psychophysique  
Étude pilote**

Ce questionnaire a été conçu dans le but d'évaluer votre perception sur divers aspects. Il vous sera administré après chaque essai que vous effectuerez dans le cadre de votre participation dans cette étude.

Avant de remplir ce questionnaire il est important de prendre connaissance des éléments suivants :

- Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses aux questions ci-bas ;
- vos réponses orienteront les prochaines étapes du projet de recherche principal ;
- nous vous demandons d'être le plus impartial possible ;
- n'hésitez pas à marquer un «X» près des extrémités de l'échelle ;
- essayez autant que possible de ne pas tout marquer dans le centre de l'échelle ;
- les réponses nécessiteront votre opinion et votre jugement ;
- donnez votre opinion le plus honnêtement possible ;
- toutes ces informations seront confidentielles.

Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui globalement correspond le mieux à votre **capacité à faire pénétrer l'éperon dans le poteau.**

Très facile Très difficile

Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui globalement correspond le mieux à votre **appréciation de la dureté de ce poteau.**

Mou Moyen Dur

Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui globalement correspond le mieux au **niveau d'inconfort physique** ressenti à grimper dans ce poteau.

Inconfort très faible Très inconfortable

Imaginez que vous auriez à grimper et à travailler **occasionnellement** dans un tel poteau. Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui correspond le mieux à votre **appréciation globale** de ce poteau.

Excellent Acceptable Inacceptable

Imaginez que vous auriez à grimper et à travailler **régulièrement** dans un tel poteau. Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui correspond le mieux à votre **appréciation globale** de ce poteau.

Excellent Acceptable Inacceptable

Imaginez que vous auriez à effectuer votre travail habituel dans un tel poteau. Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui correspond le mieux à votre **sentiment de sécurité** lorsque vous vous trouvez dans ce poteau

Poteau sécuritaire Poteau non-sécuritaire

Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui correspond le mieux à l'**intensité du contre-coup** ressenti lorsque vous grimpez dans ce poteau.

Contre-coup très faible Contre-coup très fort

Date / / 95

Sujet no.

Réplicat no.

Poteau no.

## **Annexe 2**

**Formulaire de consentement  
Étude pilote**

Nom, prénom

Âge

Poids (kg ou lb)

 kg

ou

 lb

Taille (cm ou pi.)

 cm

ou

 pi.  po.

Nombre d'années d'expérience à titre de monteur de ligne

**Responsable de l'étude pilote :**

Yves Beauchamp, École de technologie supérieure

**Professionnel de recherche :**

Martin Brosseau

**Objectif du projet :**

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de certaines variables sur votre perception psychophysique, votre rythme cardiaque et l'activation musculaire d'un groupe musculaire.

**Procédure :**

Avant le début de l'expérimentation, nous procéderons à la pose de trois (3) électrodes de surface sur un muscle de votre jambe. Cette opération est sans douleur et ne vise qu'à fixer les capteurs qui nous permettront de mesurer l'activation électrique de votre muscle tout au long de la journée.

Au début et à la fin de l'expérimentation, vous devrez grimper à deux (2) reprises dans un poteau spécifique. Par la suite, vous devrez grimper dans l'un des quatre autres (4) poteaux mis à votre disposition. Chaque essai durera environ deux (2) minutes et sera éventuellement répété deux (2) fois. L'ordre des essais de tous les monteurs sera randomisé, de sorte que vous devrez parfois attendre plusieurs minutes avant de procéder à l'essai suivant. À la fin de chaque essai, vous devrez répondre à un court questionnaire. Enfin, toute cette procédure sera répétée après le dîner.

**Utilisation de l'information :**

Toutes les informations recueillies lors de ces évaluations seront traitées dans la plus stricte confidentialité. Seuls le responsable de l'étude et le professionnel de recherche auront accès aux informations personnalisées. De plus, toutes les informations recueillies seront conservées sous clé au laboratoire de recherche en sécurité du travail de l'École de technologie supérieure. À la fin de l'étude, un sommaire des résultats sera préparé puis transmis aux autres partenaires impliqués dans ce projet de recherche. Les informations contenues dans ce sommaire seront entièrement dépersonnalisées, de sorte qu'il sera impossible d'identifier l'un ou l'autre des participants à cette étude. Sur demande, il vous sera possible d'obtenir une copie du sommaire des résultats et/ou des informations qui vous sont spécifiques.

**Signatures :**

J'ai (le participant) pris connaissance de ce formulaire et j'accepte de participer à cette étude.

Participant: \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_/95

J'ai (professionnel de recherche) expliqué en détail le but de l'étude et la procédure expérimentale.

Expérimentateur: \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_/95

Nom, prénom	<input type="text"/>	Âge	<input type="text"/>
Poids (kg ou lb)	<input type="text"/> kg	ou	<input type="text"/> lb
Taille (cm ou pi.)	<input type="text"/> cm	ou	<input type="text"/> pi. <input type="text"/> po.
Nombre d'années d'expérience à titre de monteur de ligne	<input type="text"/>		

**Responsable de l'étude pilote :**  
**Professionnel de recherche :**

Yves Beauchamp, École de technologie supérieure  
Martin Brosseau

**Objectif du projet :**

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'influence de certaines variables sur votre perception psychophysique.

**Procédure :**

Au cours de l'expérimentation, vous devrez grimper dans les quatre autres (4) poteaux mis à votre disposition dans un ordre pré-établi. Chaque essai durera environ quatre (4) minutes et sera éventuellement répété une deuxième fois. À la fin de chaque essai, vous devrez répondre à un court questionnaire.

**Utilisation de l'information :**

Toutes les informations recueillies lors de ces évaluations seront traitées dans la plus stricte confidentialité. Seuls le responsable de l'étude et le professionnel de recherche auront accès aux informations personnalisées. De plus, toutes les informations recueillies seront conservées sous clé au laboratoire de recherche en sécurité du travail de l'École de technologie supérieure. À la fin de l'étude, un sommaire des résultats sera préparé puis transmis aux autres partenaires impliqués dans ce projet de recherche. Les informations contenues dans ce sommaire seront entièrement dépersonnalisées, de sorte qu'il sera impossible d'identifier l'un ou l'autre des participants à cette étude. Sur demande, il vous sera possible d'obtenir une copie du sommaire des résultats et/ou des informations qui vous sont spécifiques.

**Signatures :**

J'ai (le participant) pris connaissance de ce formulaire et j'accepte de participer à cette étude.

Participant: \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_/95

J'ai (professionnel de recherche) expliqué en détail le but de l'étude et la procédure expérimentale.

Expérimentateur: \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_/95

## **Annexe 3**

**Caractéristiques des poteaux utilisés  
Étude principale**

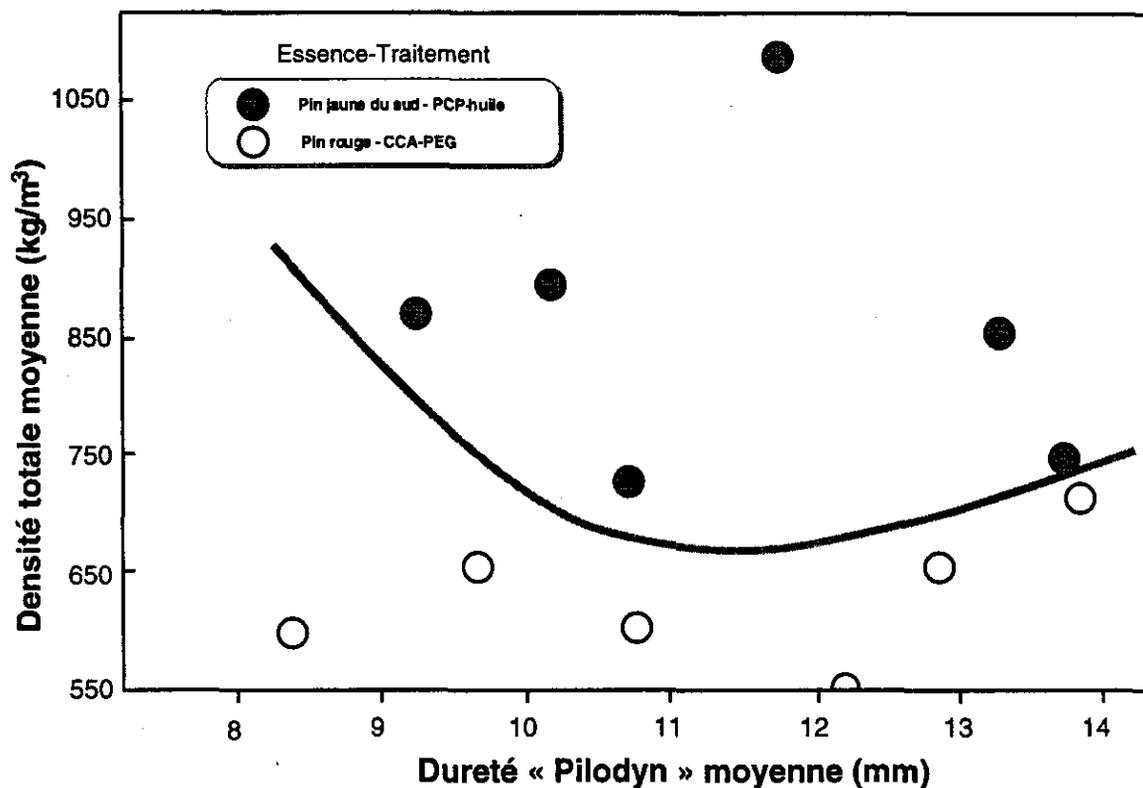


Figure 3.1 Densité moyenne en fonction de la dureté « Pilodyn » moyenne

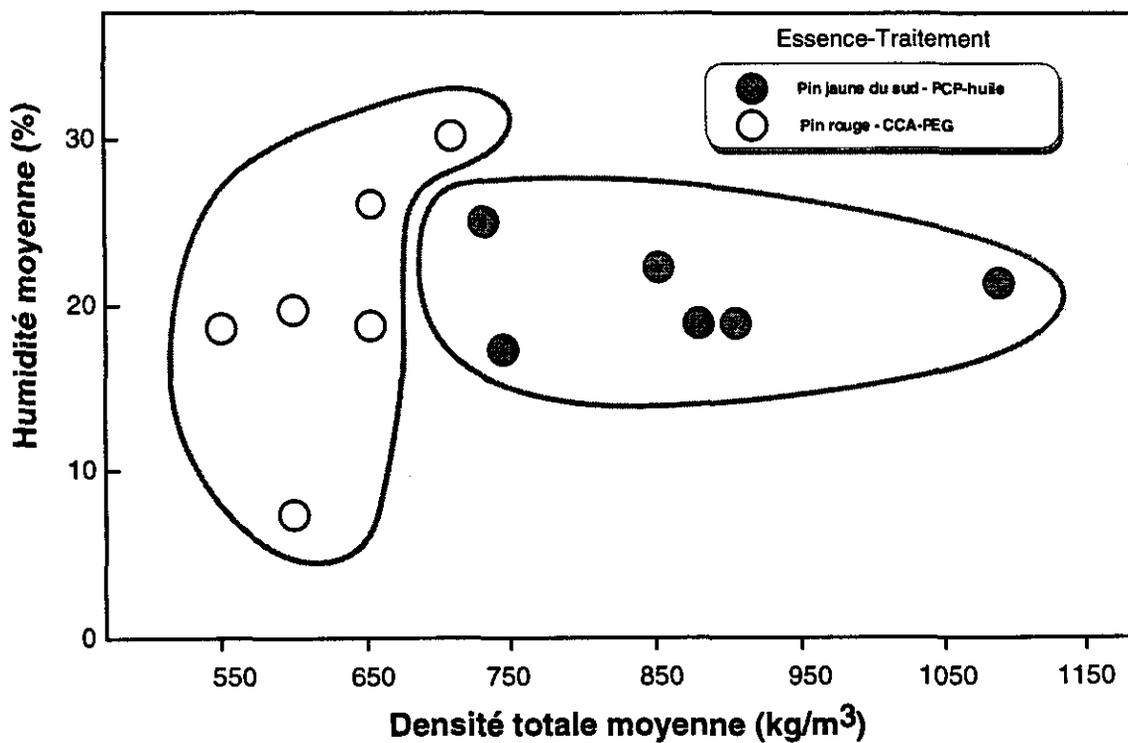
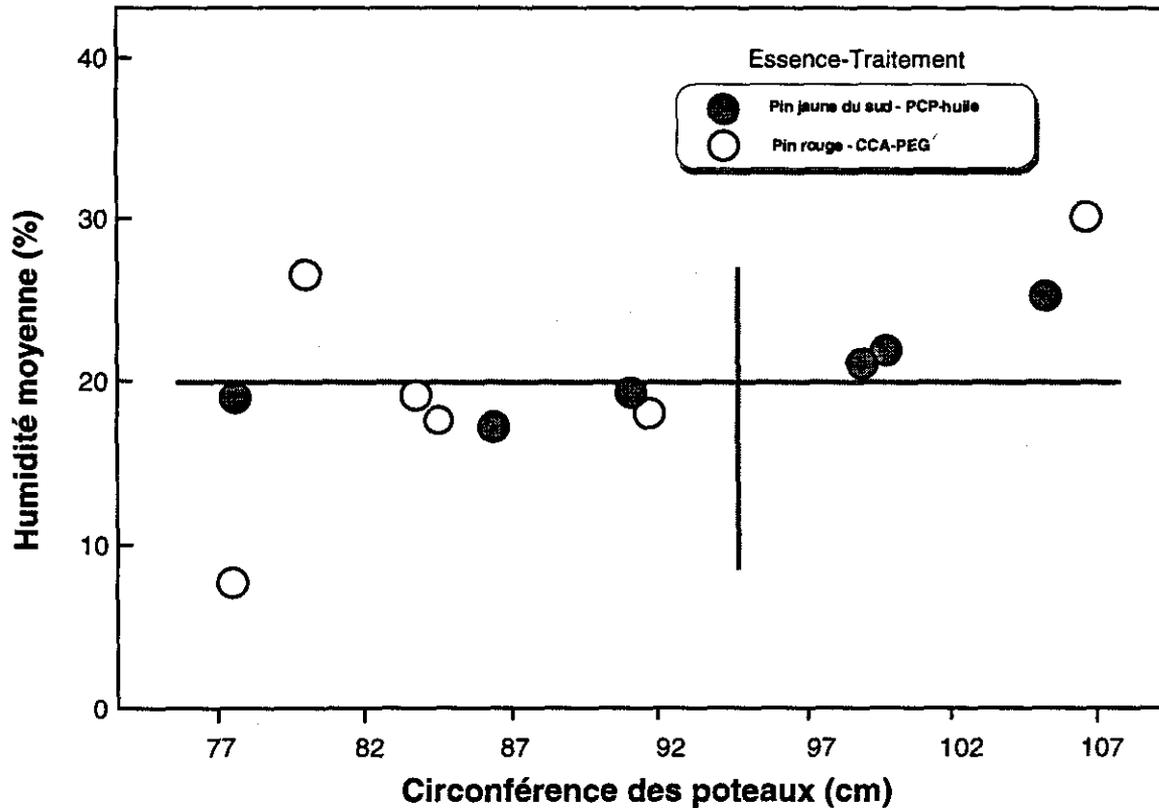


Figure 3.2 Humidité moyenne en fonction de la densité totale moyenne



**Figure 3.3** Humidité moyenne en fonction de la circonférence des poteaux

De la figure 3.1, nous pouvons remarquer que les six poteaux traités au PCP-huile (pin jaune et pin gris) ont une densité moyenne plus élevée que les poteaux traités au CCA-PEG et PEG+. Par contre, les humidités moyennes des poteaux traités au CCA-PEG et PEG+ sont comparables à celles des poteaux traités au PCP-huile à l'exception des deux poteaux suivants : pin rouge - CCA-PEG 8.4 mm et pin rouge - CCA-PEG+13.8 mm; le premier affiche une humidité moyenne nettement plus basse comparativement aux autres poteaux tandis que le second affiche une humidité légèrement plus élevée (figure 3.2). Par ailleurs, les poteaux d'une plus grande circonférence (> 92 cm), dont trois PCP-huile et le CCA-PEG+, affichent tous une humidité moyenne supérieure à 20% (figure 3.3).

## **Annexe 4**

**Questionnaire d'évaluation psychophysique  
Étude principale**

Ce questionnaire a été conçu dans le but d'évaluer votre perception sur divers aspects. Il vous sera administré après chaque essai que vous effectuerez dans le cadre de votre participation dans cette étude.

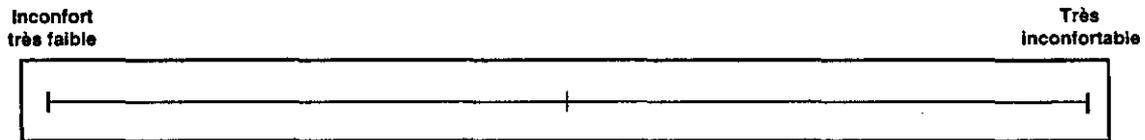
Avant de remplir ce questionnaire il est important de prendre connaissance des éléments suivants :

- Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses aux questions ci-bas ;
- nous vous demandons d'être le plus impartial possible ;
- n'hésitez pas à marquer un «X» près des extrémités de l'échelle ;
- essayez autant que possible de ne pas tout marquer dans le centre de l'échelle ;
- les réponses nécessiteront votre opinion et votre jugement ;
- donnez votre opinion le plus honnêtement possible ;
- toutes ces informations seront confidentielles.

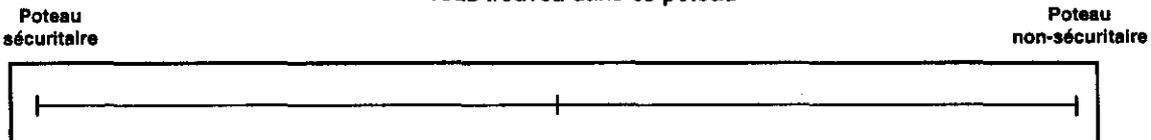
Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui globalement correspond le mieux à votre appréciation de la dureté de ce poteau.



Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui globalement correspond le mieux au niveau d'inconfort physique ressenti à grimper dans ce poteau.



Imaginez que vous auriez à effectuer votre travail habituel dans un tel poteau. Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui correspond le mieux à votre sentiment de sécurité lorsque vous vous trouvez dans ce poteau



Sur cette échelle, marquez d'un «X» l'endroit qui correspond le mieux à votre appréciation globale de ce poteau.



Date / / 95

Sujet no.

Réplikat no.  1  2

Poteau no.

Nous vous demandons de bien vouloir indiquer parmi les poteaux suivants, lesquels vous semblent globalement acceptables des points de vue dureté, sécurité et inconfort.

Poteau #	Acceptable	Non Acceptable
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Date / / 95

Sujet no.

## **Annexe 5**

**Formulaire de consentement  
Étude principale**

Nom, prénom

Âge

Poids (kg ou lb)

 kg

ou

 lb

Taille (cm ou pi.)

 cm

ou

 pi.  po.

Nombre d'années d'expérience à titre de monteur de ligne

**Responsables de l'étude :**Yves Beauchamp, ÉTS  
Marc Thomas, ÉTS  
Denis Marchand, UQAM  
Martin Brosseau**Professionnel de recherche :****Objectif du projet :**

L'objectif de cette étude est d'établir une corrélation entre des caractéristiques de poteaux de distribution et certaines variables dépendantes.

**Procédure :**

Avant le début de l'expérimentation, nous procéderons à la pose d'électrodes de surface sur des muscles de votre jambe. Cette opération est sans douleur et ne vise qu'à fixer les capteurs qui nous permettront de mesurer l'activation électrique de votre muscle tout au long de la journée. De plus, vous devrez utiliser un éperon instrumenté de type Bashlin.

Au début et à la fin de l'expérimentation, vous devrez grimper à deux (2) reprises dans un poteau spécifique. Par la suite, vous devrez grimper dans l'un des douze autres (12) poteaux mis à votre disposition. Chaque essai durera environ une (1) minute et sera éventuellement répété une deuxième fois. L'ordre des essais sera randomisé. À la fin de chaque essai, vous devrez répondre à un court questionnaire.

**Utilisation de l'information :**

Toutes les informations recueillies lors de ces évaluations seront traitées dans la plus stricte confidentialité. Seuls les responsables de l'étude et le professionnel de recherche auront accès aux informations personnalisées. De plus, toutes les informations recueillies seront conservées sous clé au laboratoire de recherche en sécurité du travail de l'École de technologie supérieure. À la fin de l'étude, un rapport des résultats sera préparé puis transmis aux autres partenaires impliqués dans ce projet de recherche. Les informations contenues dans ce rapport seront entièrement dépersonnalisées, de sorte qu'il sera impossible d'identifier l'un ou l'autre des participants à cette étude. Sur demande, il vous sera possible d'obtenir une copie du sommaire des résultats et/ou des informations qui vous sont spécifiques.

**Signatures :**

J'ai (le participant) pris connaissance de ce formulaire et j'accepte de participer à cette étude.

Participant: \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_/95

J'ai (expérimentateur) expliqué en détail le but de l'étude et la procédure expérimentale.

Expérimentateur: \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_/95

**Sujet instrumenté**

Nom, prénom  Âge Poids (kg ou lb)  kg ou  lbTaille (cm ou pi.)  cm ou  pi.  po.Nombre d'années d'expérience à titre de monteur de ligne 

Responsables de l'étude : Yves Beauchamp, ÉTS  
Marc Thomas, ÉTS  
Denis Marchand, UQAM

Professionnel de recherche : Martin Brosseau

**Objectif du projet :**

L'objectif de cette étude est d'établir une corrélation entre des caractéristiques de poteaux de distribution et certaines variables dépendantes.

**Procédure :**

Au début et à la fin de l'expérimentation, vous devrez grimper à deux (2) reprises dans un poteau spécifique. Par la suite, vous devrez grimper dans l'un des douze autres (12) poteaux mis à votre disposition. Chaque essai durera environ une (1) minute et sera éventuellement répété une deuxième fois. L'ordre des essais sera randomisé. À la fin de chaque essai, vous devrez répondre à un court questionnaire.

**Utilisation de l'information :**

Toutes les informations recueillies lors de ces évaluations seront traitées dans la plus stricte confidentialité. Seuls les responsables de l'étude et le professionnel de recherche auront accès aux informations personnalisées. De plus, toutes les informations recueillies seront conservées sous clé au laboratoire de recherche en sécurité du travail de l'École de technologie supérieure. À la fin de l'étude, un rapport des résultats sera préparé puis transmis aux autres partenaires impliqués dans ce projet de recherche. Les informations contenues dans ce rapport seront entièrement dépersonnalisées, de sorte qu'il sera impossible d'identifier l'un ou l'autre des participants à cette étude. Sur demande, il vous sera possible d'obtenir une copie du sommaire des résultats et/ou des informations qui vous sont spécifiques.

**Signatures :**

J'ai (le participant) pris connaissance de ce formulaire et j'accepte de participer à cette étude.

Participant: \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_/95

J'ai (expérimentateur) expliqué en détail le but de l'étude et la procédure expérimentale.

Expérimentateur: \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_/95