



Critères de stabilité des échelles et escabeaux : comment éviter la chute ?

Bertrand Galy

Plan de la présentation

1. Problématique de santé et sécurité du travail
2. Objectifs
3. Méthodologie
4. Résultats des essais
5. Modèle analytique
6. Conclusions

Problématique de santé et sécurité du travail

Chutes de hauteur – Échelles et escabeaux

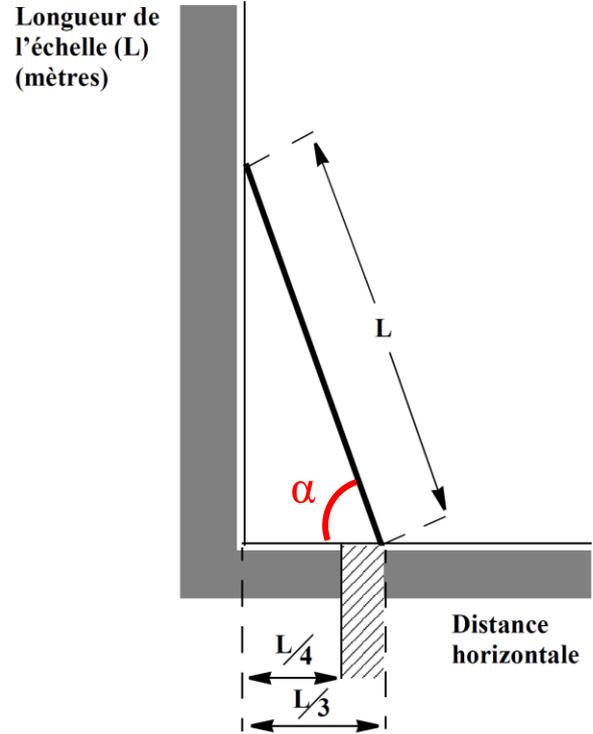
- 20 % des lésions en établissement et en construction (entre 2009 et 2013)
- 849 cas par an en moyenne (2^e cause de chute de hauteur)
- 160 jours d'arrêt de travail en moyenne
- 94,8 M\$/an (≈ 400 M\$/an pour les chutes de hauteur en tout)



Problématique de santé et sécurité du travail

Exigences du CSTC et RSST

- Norme CSA-Z11
- Il est permis d'utiliser une échelle pour des travaux de moins d'une heure
- Il n'y a pas de critères définissant les limites de stabilité lors de l'utilisation d'une échelle, outre l'indication concernant l'inclinaison



indique la zone à l'intérieur de laquelle doit reposer le pied de l'échelle

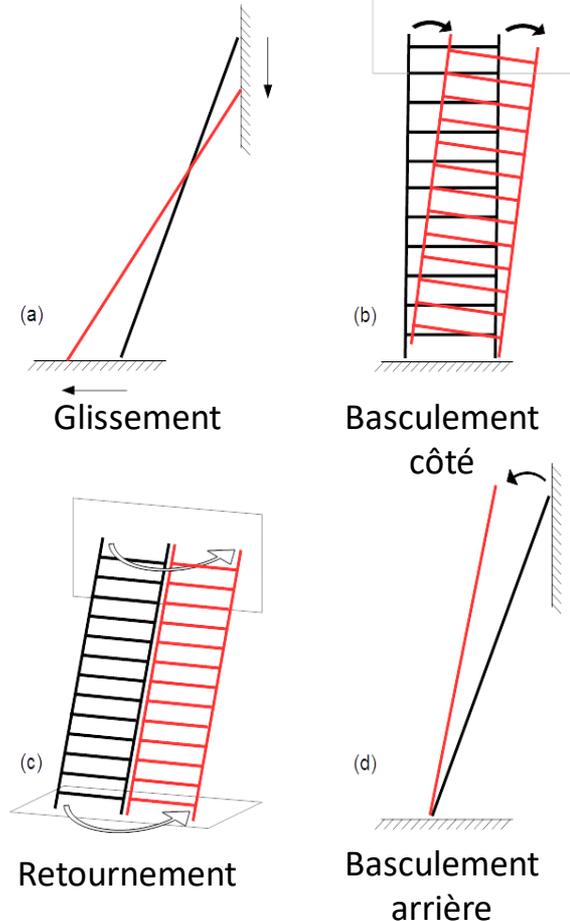
Problématique de santé et sécurité du travail

Angle d'inclinaison : 70,5-75,5° (RSST et CSTC)

- Pas toujours facile à vérifier en pratique
- $< 75^\circ \Rightarrow$ sentiment de sécurité accru

Hauteur du travailleur sur l'échelle :

- Haut = force horizontale à la base augmente
- Haut = risque de basculement arrière faible



Objectifs

Déterminer les limites de stabilité :

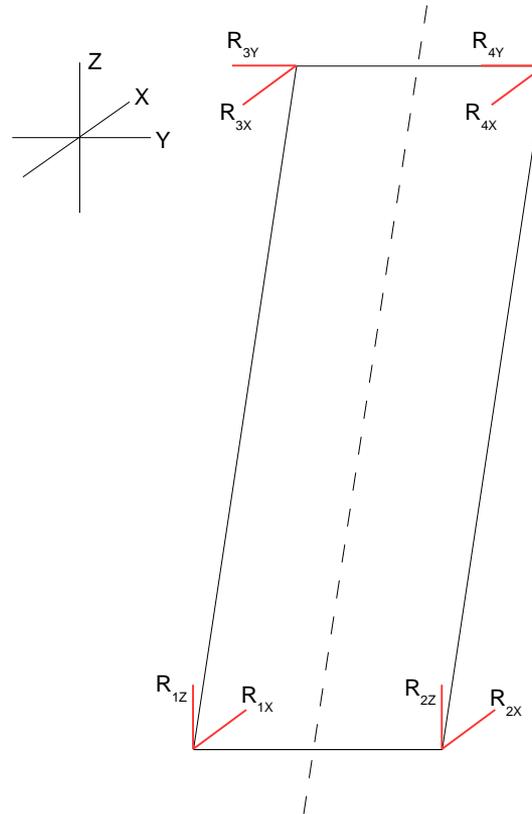
1. Pour des positions statiques (mouvement lent pour se mettre en position)
2. Pour des cas dynamiques (mouvement rapide, impulsions, transmission de charges)

Angles limites fixés par le CSTC : 70.5° et 75.5°



Méthodologie – essais de laboratoire

2 échelles de 24 pieds : fibre de verre (24 kg) et aluminium (19 kg)

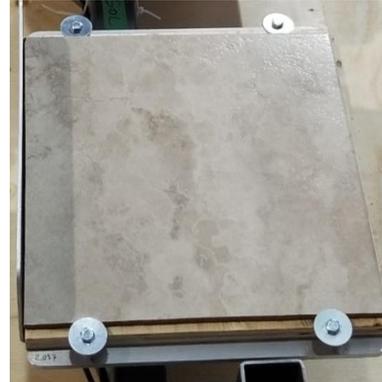


Méthodologie – essais de laboratoire

Type de surfaces au sommet de l'échelle

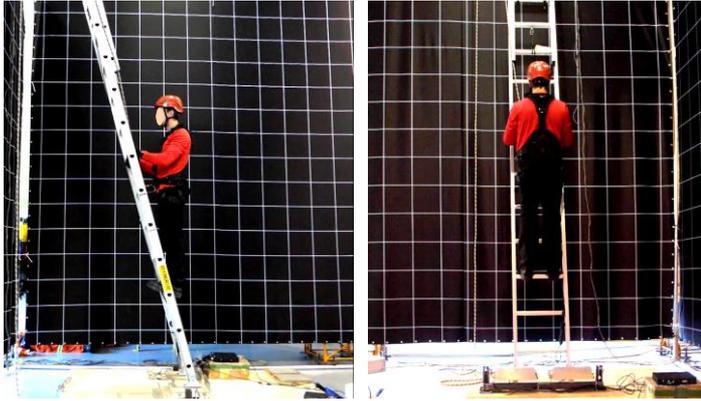


Type de surfaces au pied de l'échelle



Méthodologie – essais de laboratoire

Position de départ - Repos



Position 1 (P1)



P2



P3



Méthodologie – essais de laboratoire

2 expérimentateurs

Expérimentateur	E1	E2	E2 + WV (<i>veste lestée</i>)
Poids	922N	730N	955 N
Masse	94 kg	74 kg	97 kg
Taille	182 cm	175 cm	175 cm

Variation des poids / tailles sera étudiée avec modèle théorique

Méthodologie – essais de laboratoire

Échelle non déployée (138 essais)

Angle	Barreau	E1	E2	E2+WV	E2 - FB
70°	B2	3	-	-	-
	B3	3	-	-	-
	B4	3	-	-	-
	B5	3	-	-	-
	B6	3	-	-	-
	B7	3	-	-	-
	B8	3	-	-	-
72,5°	B2	3	3	-	-
	B3	3	3	-	-
	B4	3	3	-	-
	B5	3	3	-	-
	B6	-	3	-	-
	B7	-	3	-	-
	B8	-	3	-	-
75°	B2	3	3	3	3
	B3	3	3	3	3
	B4	3	3	3	3
	B5	3	3	3	3
	B6	3	3	3	3
	B7	3	3	3	3
	B8	3	3	3	3

Méthodologie – essais de laboratoire

Échelle non déployée (138 essais)

Angle	Barreau	E1	E2	E2+WV	E2 - FB
70°	B2	3	-	-	-
	B3	3	-	-	-
	B4	3	-	-	-
	B5	3	-	-	-
	B6	3	-	-	-
	B7	3	-	-	-
	B8	3	-	-	-
72,5°	B2	3	3	-	-
	B3	3	3	-	-
	B4	3	3	-	-
	B5	3	3	-	-
	B6	-	3	-	-
	B7	-	3	-	-
	B8	-	3	-	-
75°	B2	3	3	3	3
	B3	3	3	3	3
	B4	3	3	3	3
	B5	3	3	3	3
	B6	3	3	3	3
	B7	3	3	3	3
	B8	3	3	3	3

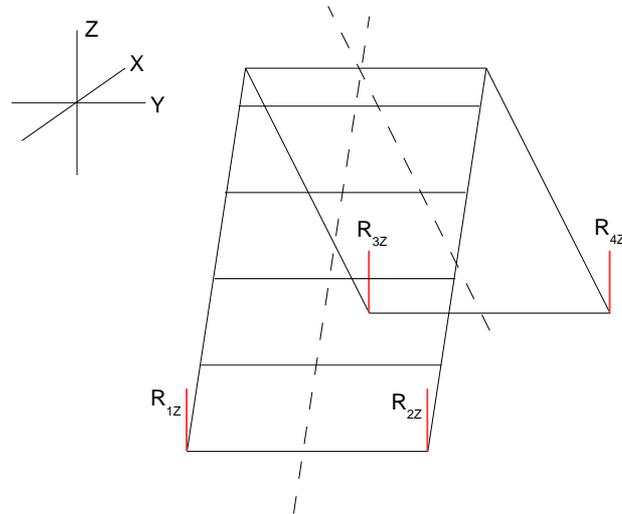
Échelle déployée (94 essais)

Angle	Barreau	E2	E2+WV	E2 - FB	E2+WV - FB
70°	B2	3	1	-	-
	B3	3	1	-	-
	B4	3	1	-	-
	B5	3	1	-	-
	B10	3	-	-	-
	B13	3	-	-	-
	B16	3	-	-	-
75°	B2	3	1	3	1
	B3	3	1	3	1
	B4	3	1	3	1
	B5	3	1	3	1
	B6	3	1	3	-
	B7	1	-	-	-
	B8	1	-	-	-
	B9	1	-	-	-
	B10	3	1	3	-
	B11	1	-	-	-
B12	1	-	-	-	
B13	3	1	3	-	
B14	1	-	-	-	
B15	1	-	-	-	
B16	3	1	3	1	

Méthodologie – essais de laboratoire



Taille nominale	Masse	Largeur base	Longueur base	Hauteur esc. ouvert	Nb échelons utilisables
12 pieds (3,6 m)	20 kg	809 mm	1975 mm	3478 mm	9
6 pieds (1,8 m)	8 kg	547 mm	1086 mm	1727 mm	4



Méthodologie – essais de laboratoire

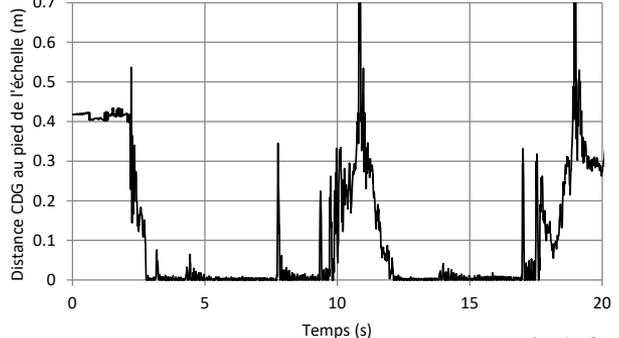
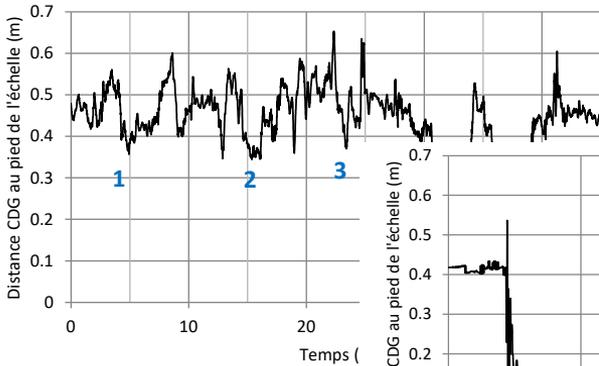
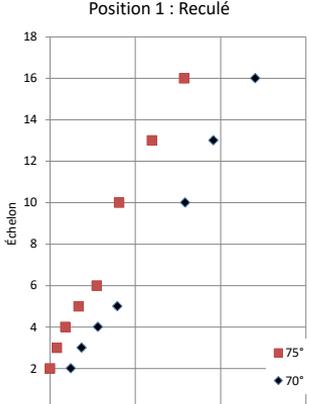
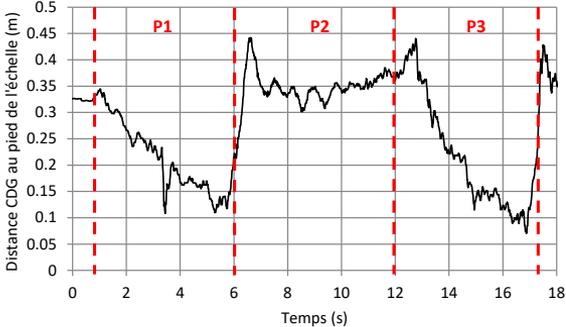
Escabeau de 12 pieds (36 essais, E1)

Barreau	Essais
B1	3
B2	3
B3	3
B4	3
B5	3
B6	3
B7	3
B8	3
B9	3

Escabeau de 6 pieds (12 essais, E2)

Barreau	Essais
B1	3
B2	3
B3	3
B4	3

Résultats



Résultats – essais de laboratoire

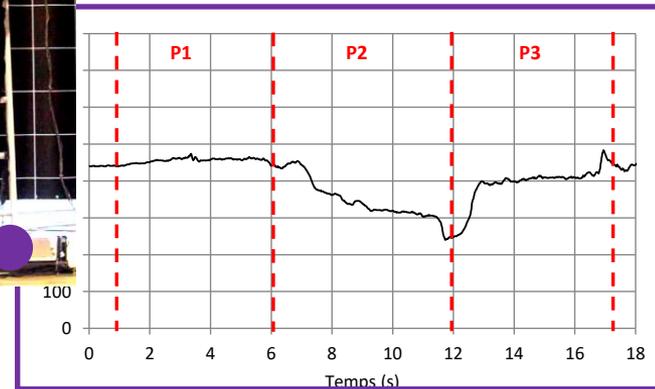
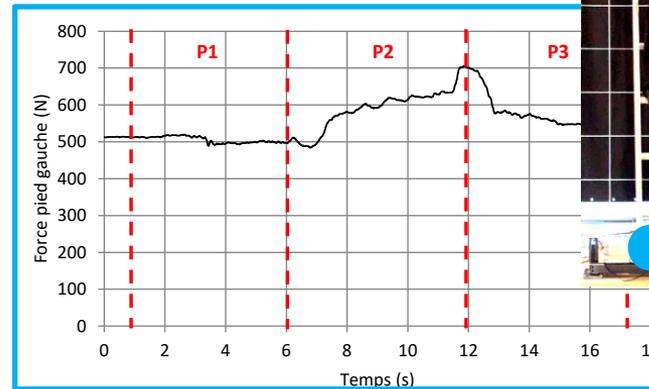
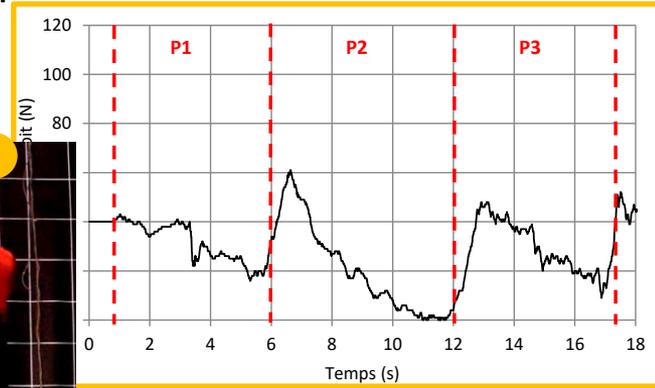
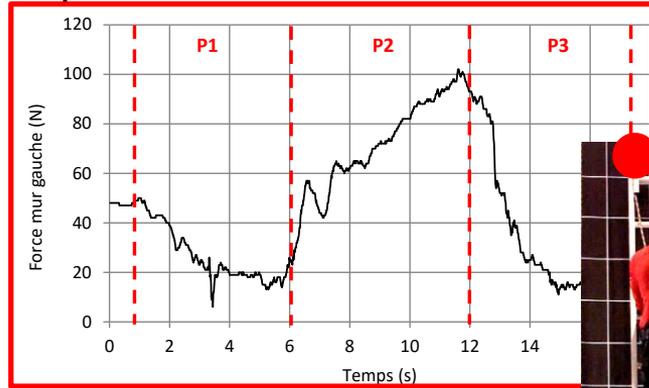
Essais préliminaires : surface d'appui

Matériau au pied	Matériau au sommet	Appui de l'échelle
Béton lisse	Bois	Sommet échelle
Béton lisse	Bois	Montants
Béton lisse	Acier	Sommet échelle
Béton lisse	Alu	Montants
Béton lisse	Brique	Sommet échelle
Béton lisse	Gypse	Sommet échelle
Béton lisse mouillé	Acier	Sommet échelle
Carrelage	Acier	Sommet échelle
Carrelage	Alu	Montants
Carrelage	Acier	Montants
Carrelage	Gypse	Sommet échelle
Carrelage mouillé	Acier	Sommet échelle



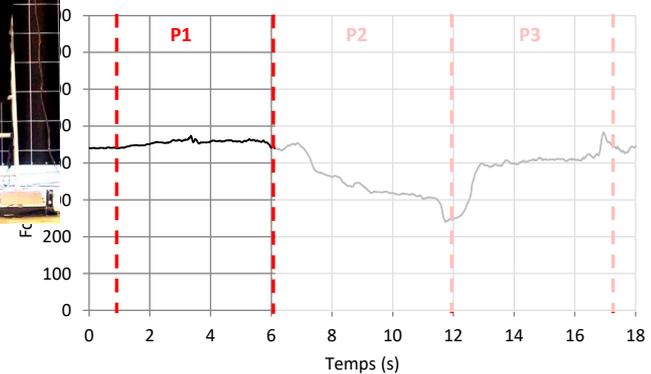
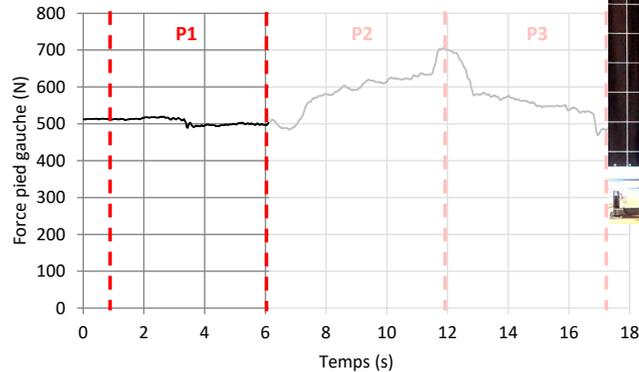
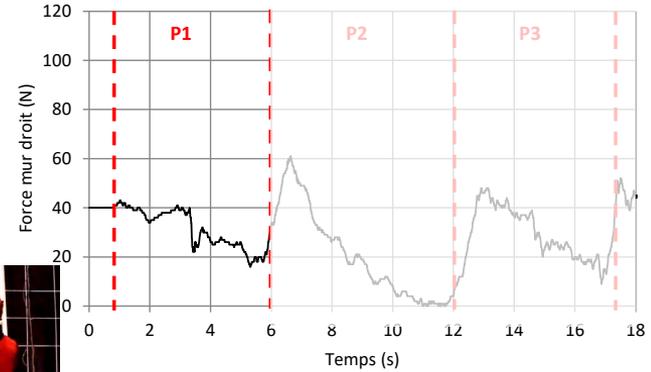
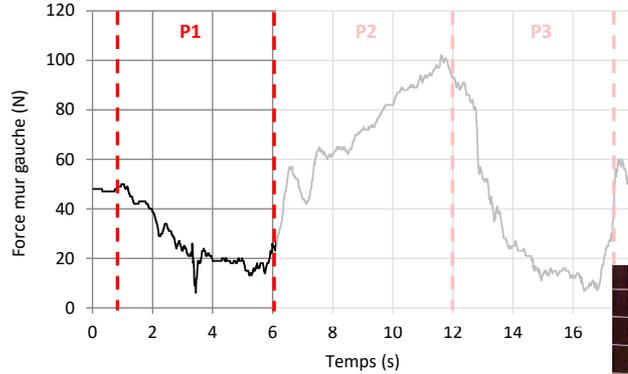
Résultats – essais de laboratoire

Analyse de la séquence de mouvements – Forces pied et sommet



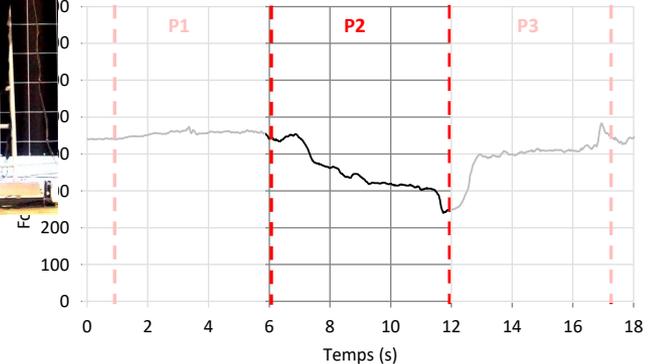
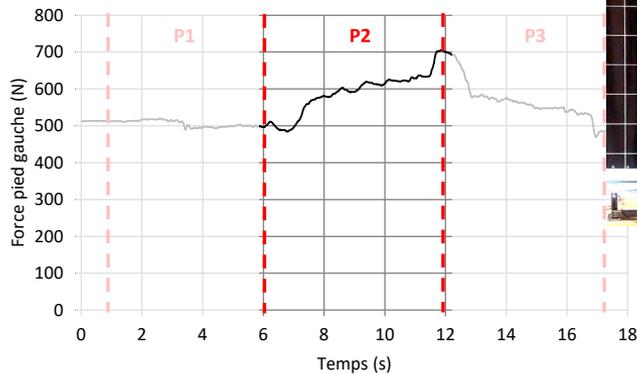
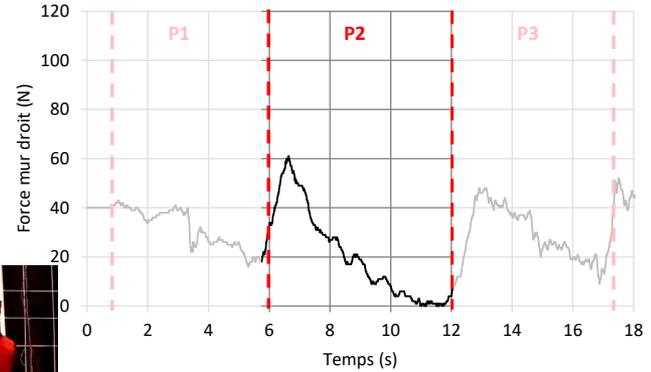
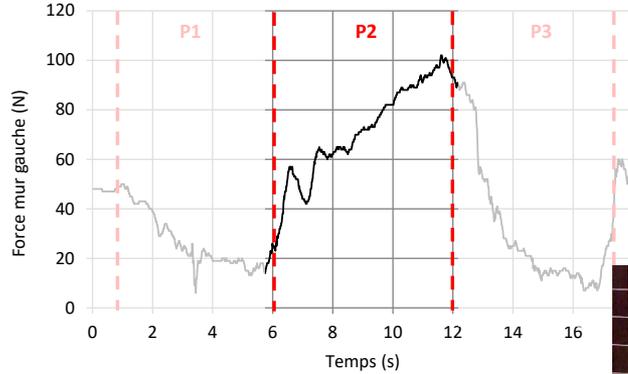
Résultats – essais de laboratoire

Analyse de la séquence de mouvements – Forces pied et sommet



Résultats – essais de laboratoire

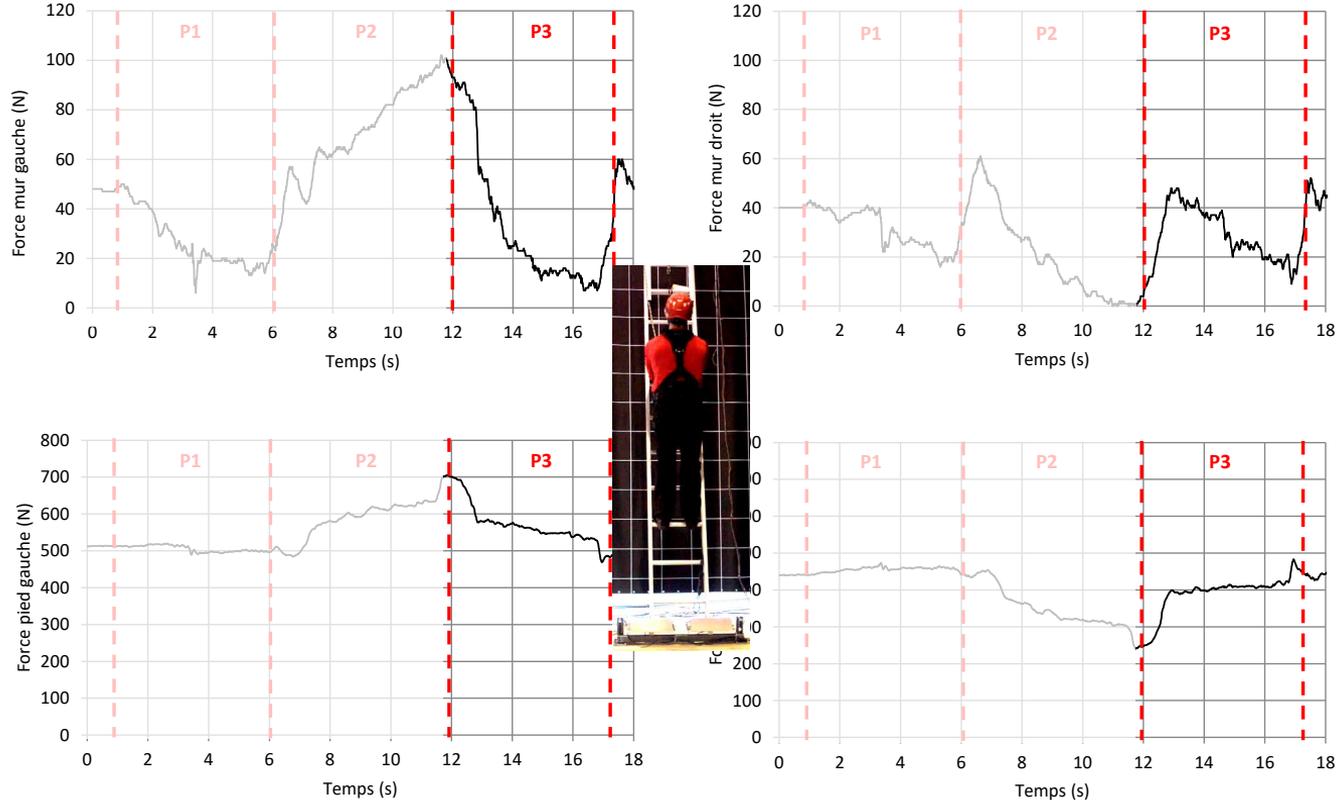
Analyse de la séquence de mouvements – Forces pied et sommet



Fc

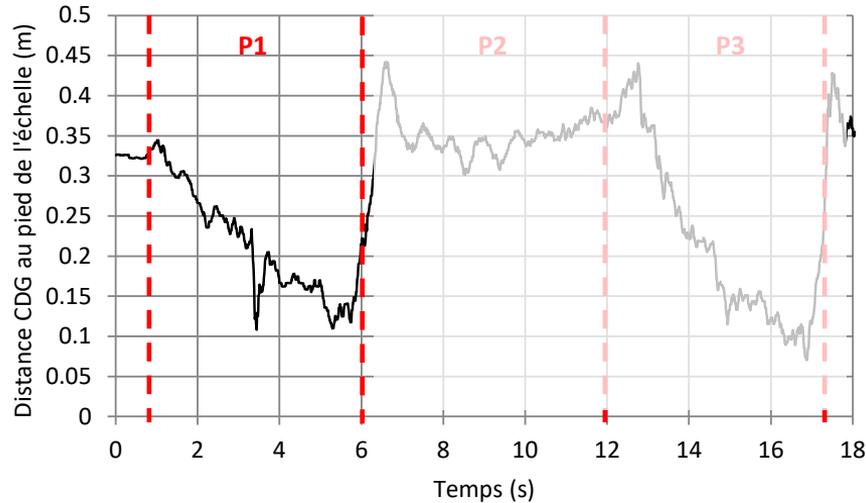
Résultats – essais de laboratoire

Analyse de la séquence de mouvements – Forces pied et sommet

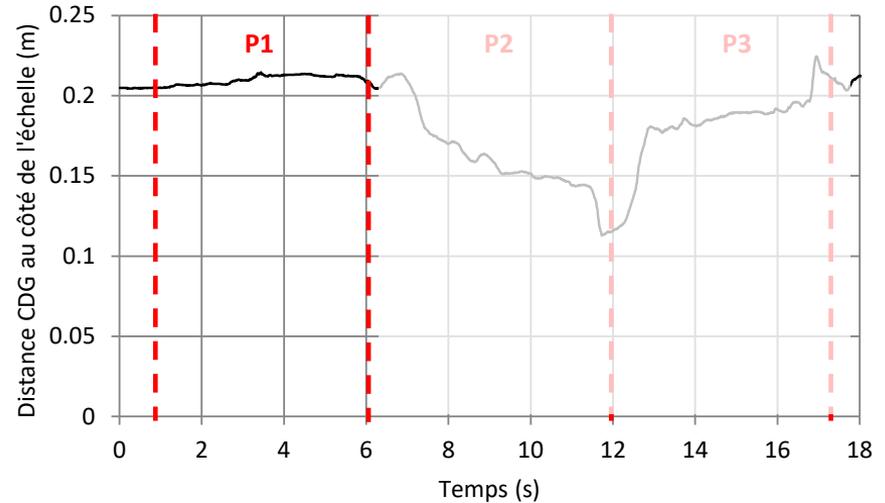


Résultats – essais de laboratoire

Analyse de la séquence de mouvements – Position des CDG



Avant-arrière
(0 = basculement arrière)

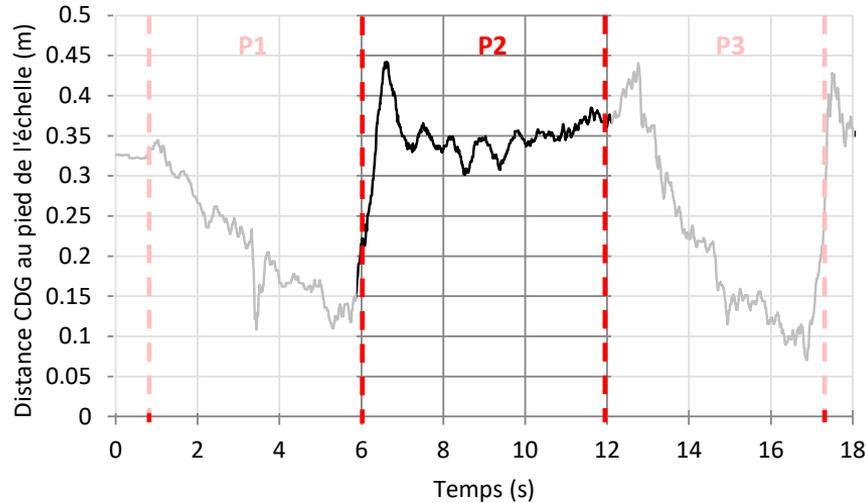


Gauche-droite
(0 = basculement côté ; 0,22 = position neutre)

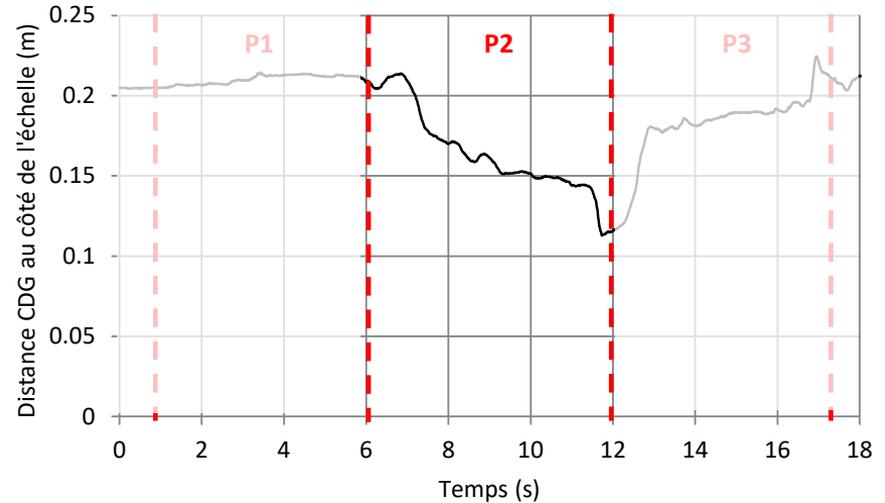


Résultats – essais de laboratoire

Analyse de la séquence de mouvements – Position des CDG



Avant-arrière
(0 = basculement arrière)

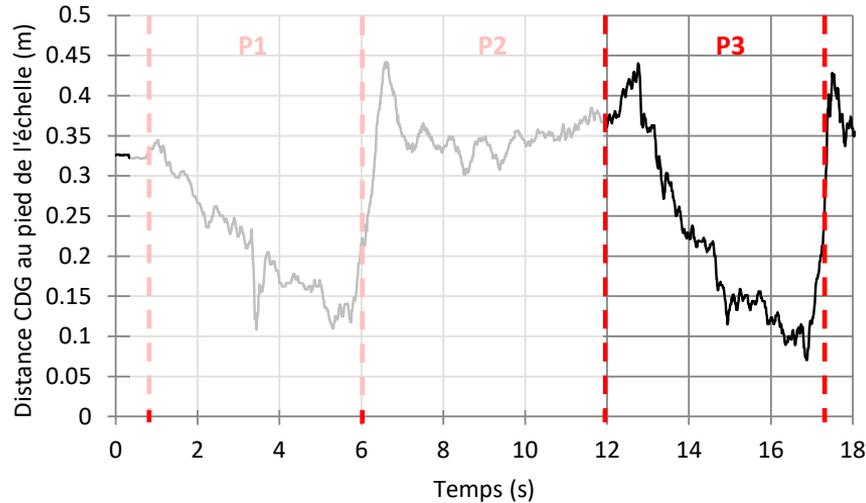


Gauche-droite
(0 = basculement côté ; 0,22 = position neutre)

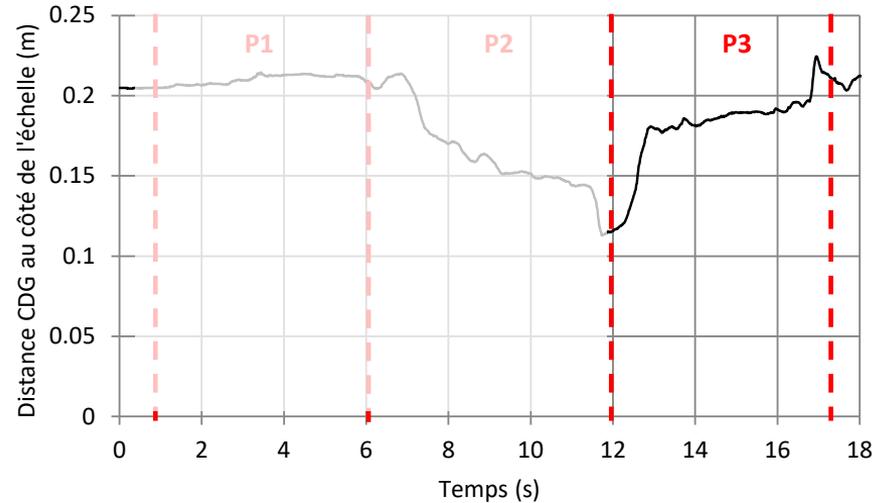


Résultats – essais de laboratoire

Analyse de la séquence de mouvements – Position des CDG



Avant-arrière
(0 = basculement arrière)

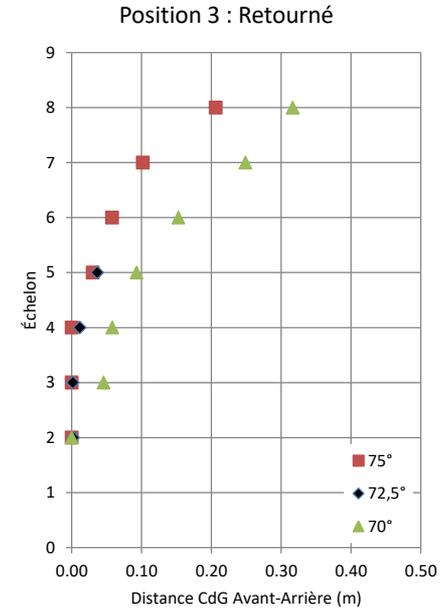
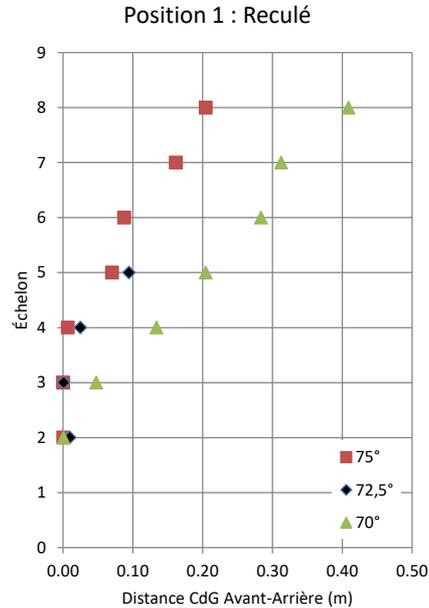
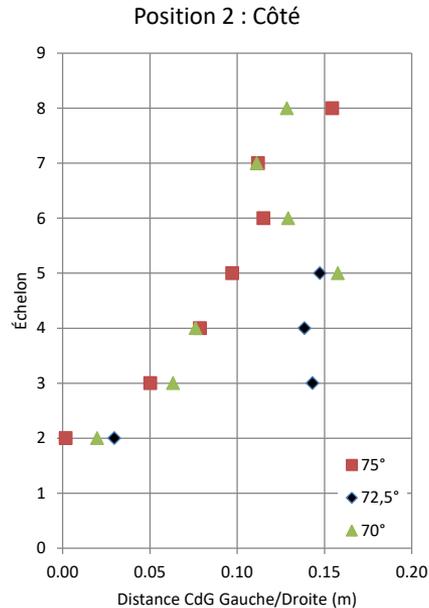


Gauche-droite
(0 = basculement côté ; 0,22 = position neutre)



Résultats – essais de laboratoire

Échelle non déployée (alu) – Position CdG 3 positions (E1)



Résultats – essais de laboratoire

Échelle non déployée (alu) – Risque instabilité (E1)

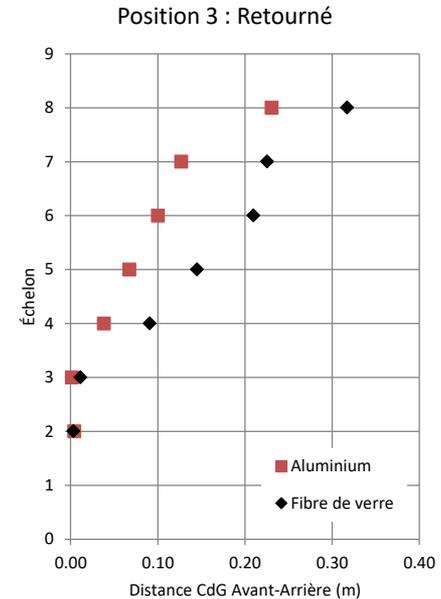
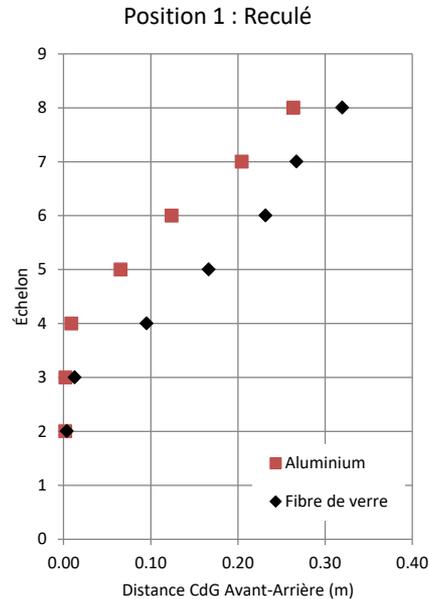
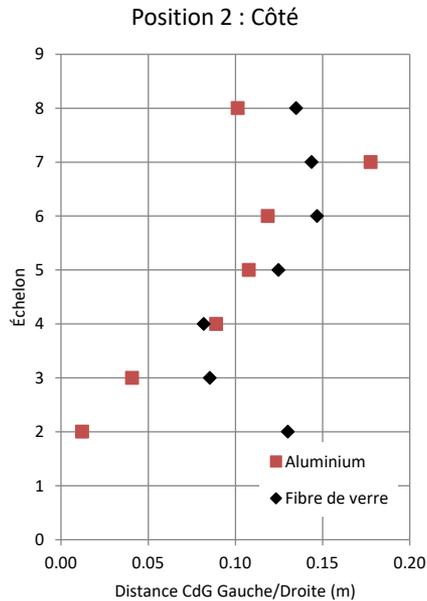
Échelon	P2			P1			P3		
	70 °	72,5 °	75 °	70 °	72,5 °	75 °	70 °	72,5 °	75 °
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	X		X	X	X	X	X	X	X
4					X	X	X	X	X
5								X	X
6									X
7									
8									

Échelle non déployée (alu) – Risque instabilité (E2)

Échelon	P2		P1		P3	
	72,5 °	75 °	72,5 °	75 °	72,5 °	75 °
2	X	X	X	X	X	X
3			X	X	X	X
4			X	X	X	X
5						X
6						
7						
8						

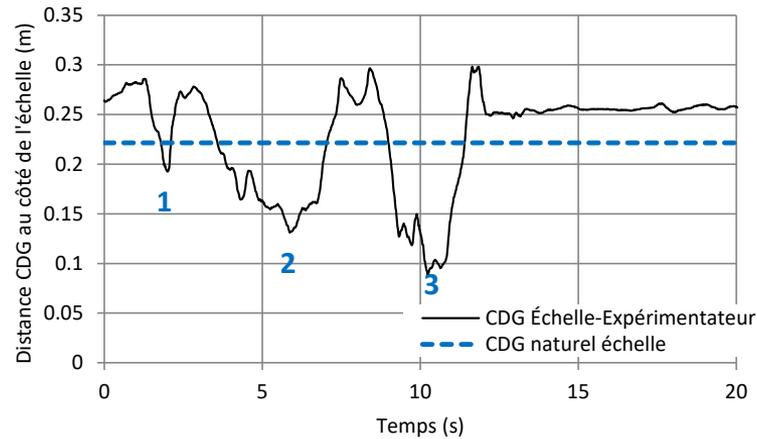
Résultats – essais de laboratoire

Échelle non déployée, 75° – Influence échelle (E2)



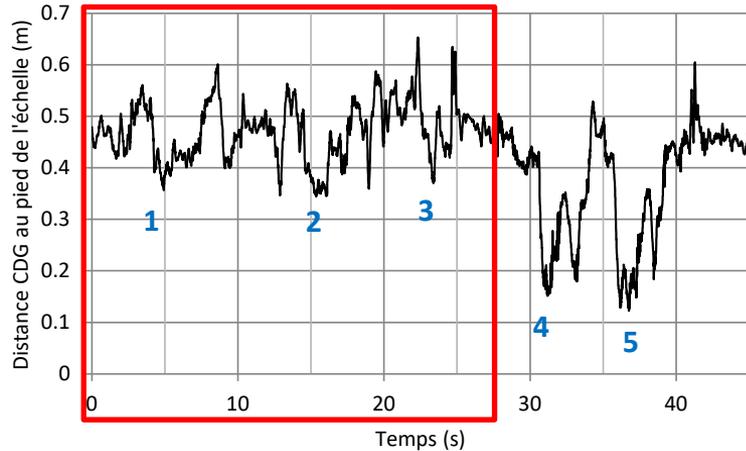
Résultats – essais de laboratoire

Transmission de poids sur le côté



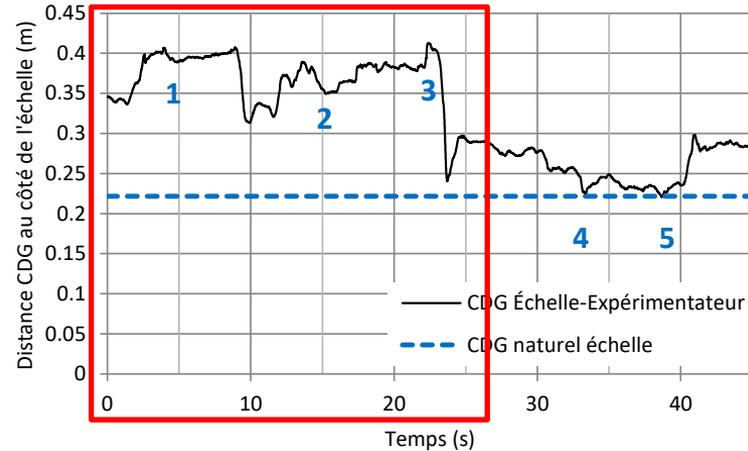
Résultats – essais de laboratoire

Vissage



Avant-arrière

(0 = basculement arrière)

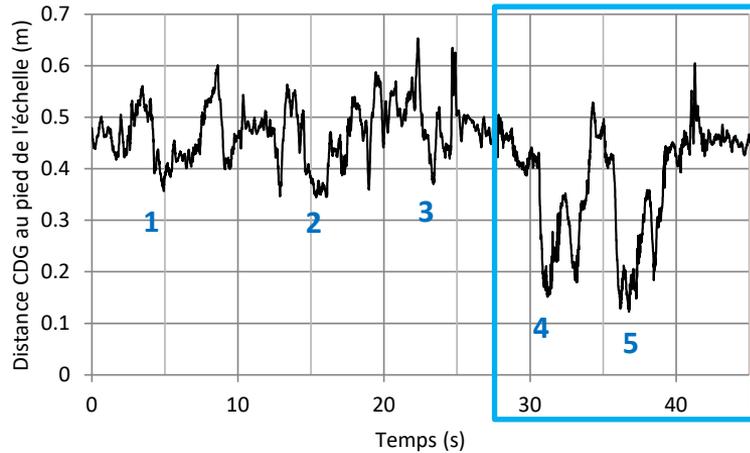


Gauche-droite

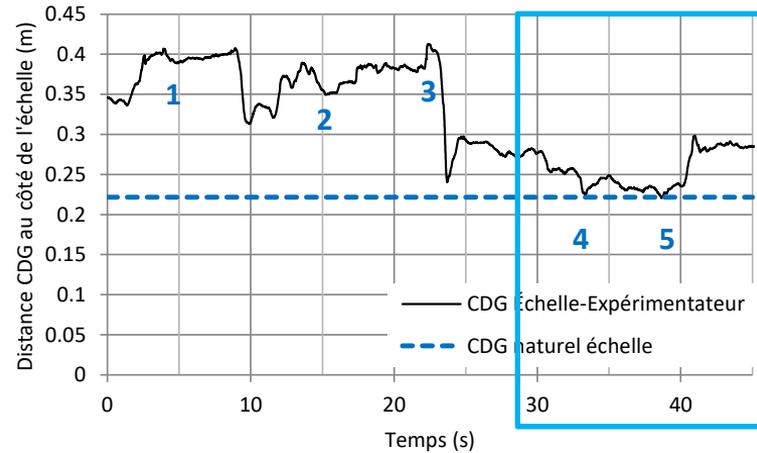
(0,44 = basculement côté; 0,22 = position neutre)

Résultats – essais de laboratoire

Vissage



Avant-arrière
(0 = basculement arrière)

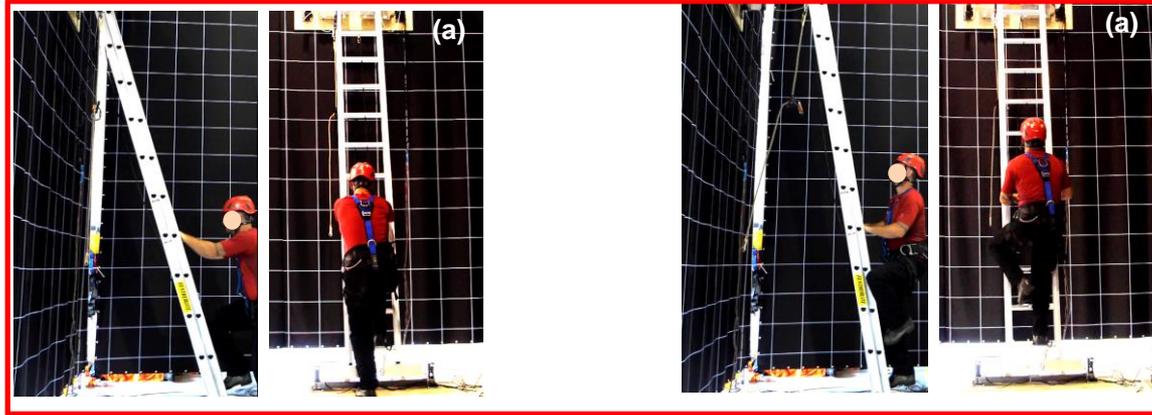


Gauche-droite
(0,44 = basculement côté; 0,22 = position neutre)

Résultats – essais de laboratoire

Montée d'échelles – 2 techniques, 2 comportements différents

Montée de face



Résultats – essais de laboratoire

Montée d'échelles – 2 techniques, 2 comportements différents

Montée de face

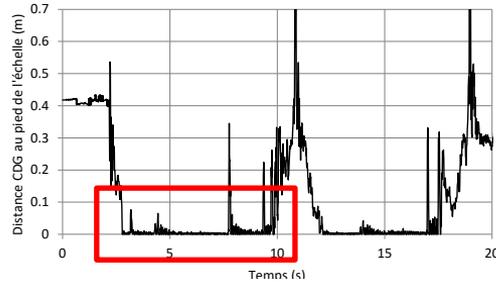


Montée de côté

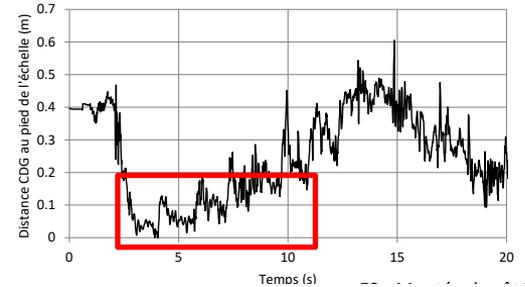


Résultats – essais de laboratoire

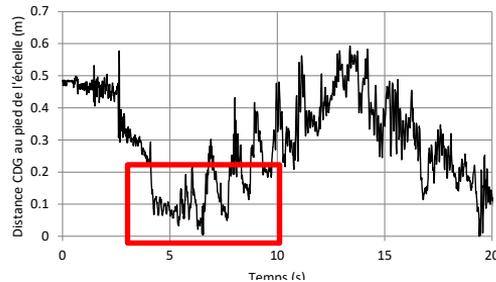
Montée d'échelles – 2 techniques, 2 comportements différents



Montée de face – Échelle alu



Montée de côté – Échelle alu



Montée de face – Échelle FV

Résultats – essais de laboratoire

ESC6 – Risque instabilité (E2)

Échelon	P2	P1	P3
1	X	X	X
2	X	X	X
3	X	X	X
4	X		



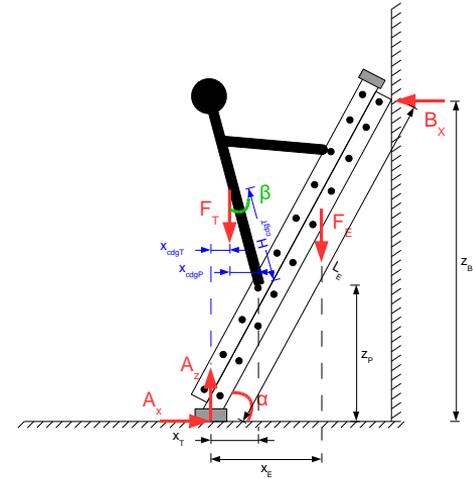
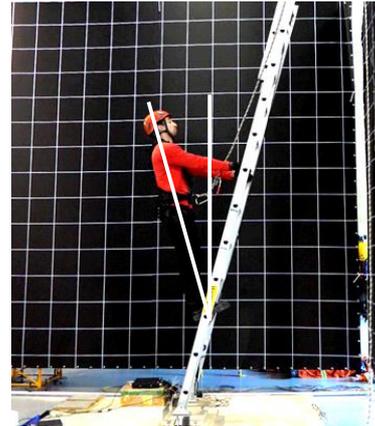
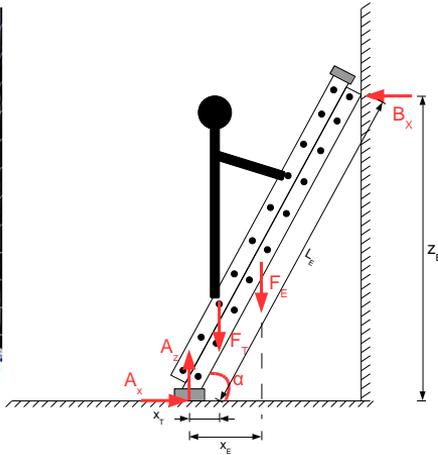
ESC12 – Risque instabilité (E1)

Échelon	P2	P1	P3
1	X	X	X
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			



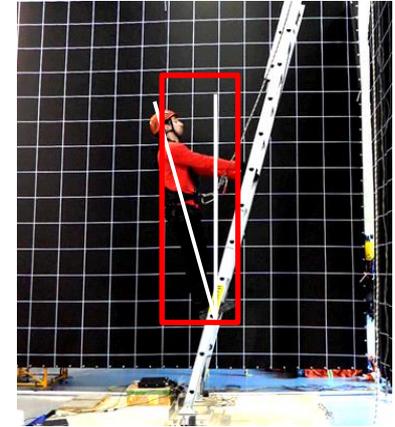
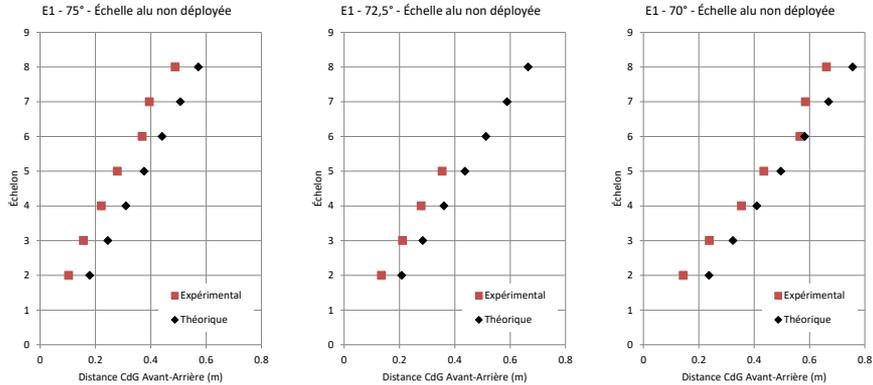
Modèle analytique

Objectif – Généraliser certains résultats (travailleurs de poids et tailles différents, autres types d'échelles)

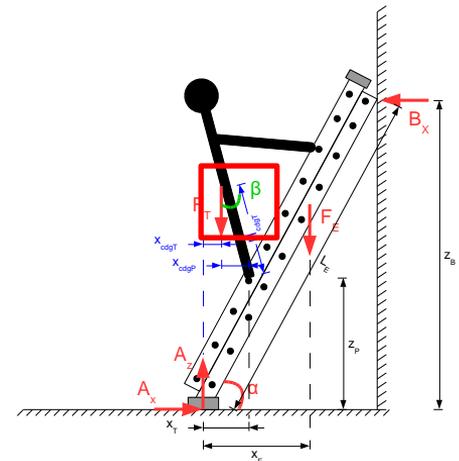


Modèle analytique

Comparaison résultats expérimentaux et théoriques (ajustement)

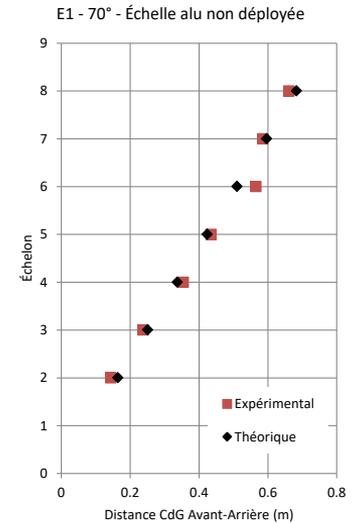
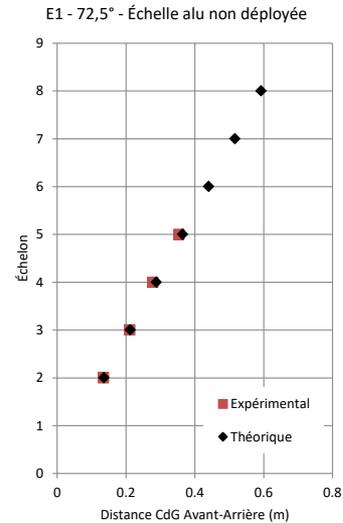
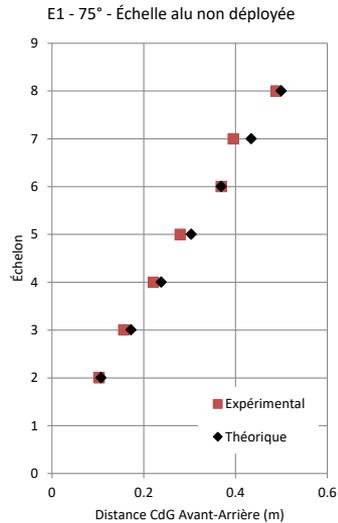
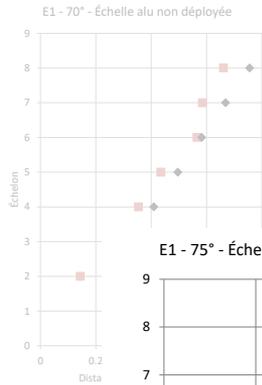
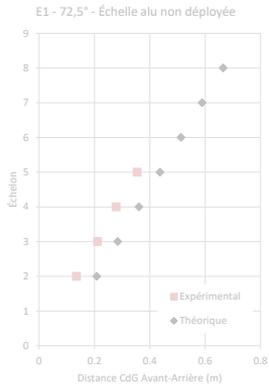
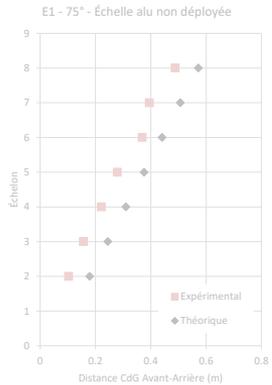


$$CDG_{av-arr} = \frac{F_E \times \frac{L_E}{2} \times \cos(\alpha) + F_T \times [(N_E \times 0,305 - 0,152) \times \cos(\alpha) - H_{cdgT} \times \sin(\beta)]}{F_E + F_T}$$



Modèle analytique

Comparaison résultats expérimentaux et théoriques (ajustement)



Modèle analytique

Objectif – Généraliser certains résultats (travailleurs de poids et tailles différents, autres types d'échelles)

Caractéristiques	T1	T2	T3
Taille (cm)	160	170	200
Masse (kg)	50	140	140
Poids (N)	490	1373	1373



Modèle analytique

Objectif – Généraliser certains résultats (travailleurs de poids et tailles différents, autres types d'échelles)

Échelle	Classe	Poids	
		Aluminium	Fibre de verre
8 pieds – Simple	Extra heavy duty (1A)	58 N	-
16 pieds – Télescopique	Extra heavy duty (1A)	129 N	-
12 pieds – Simple	Extra heavy duty (1A)	85 N	-
24 pieds – Télescopique	Extra heavy duty (1A)	190 N	238 N

Taille escabeau	Aluminium	Fibre de verre
12 pieds	198 N	222 N
6 pieds	80 N	94 N

Modèle analytique - Échelles

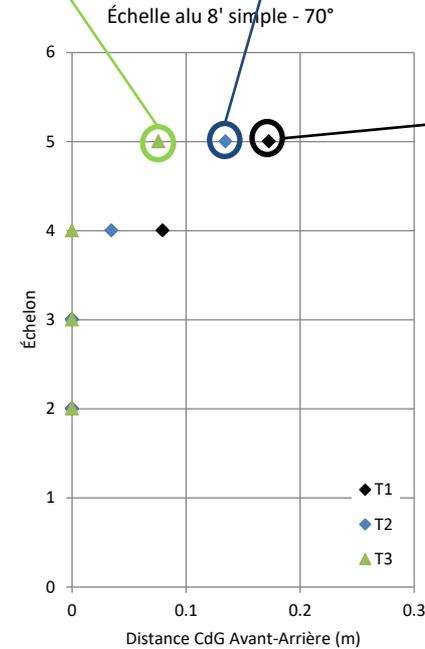
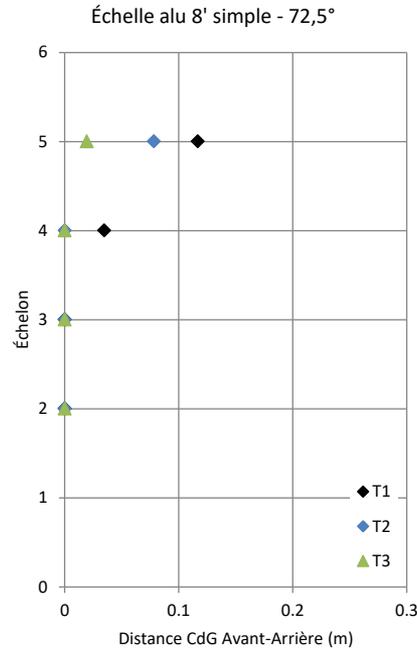
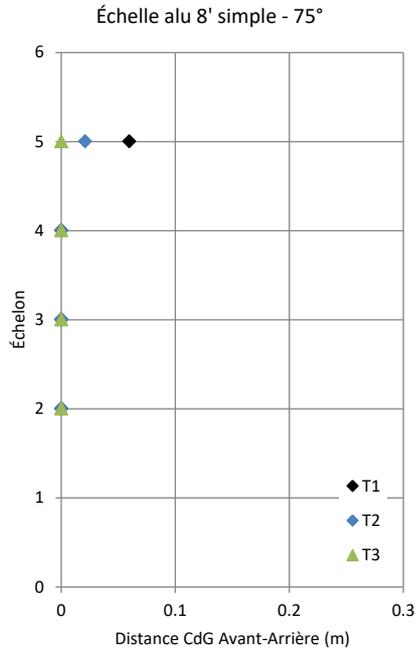
Travailleurs différents, échelle 8' (P3)



T3



T2



T1

Modèle analytique - Escabeaux

Travailleurs différents



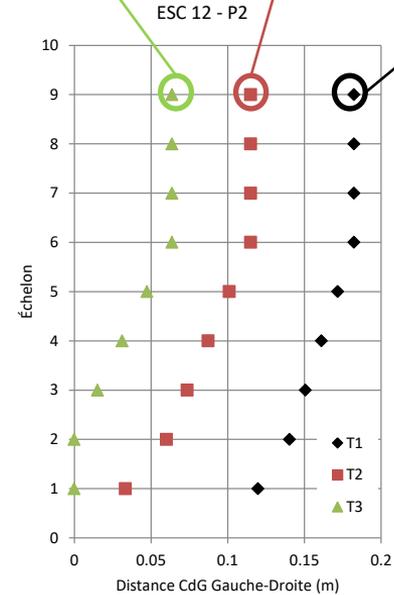
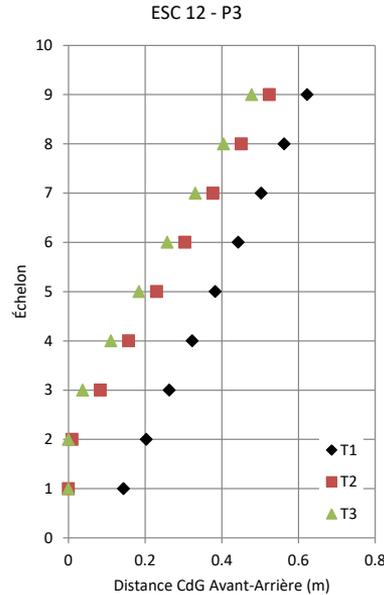
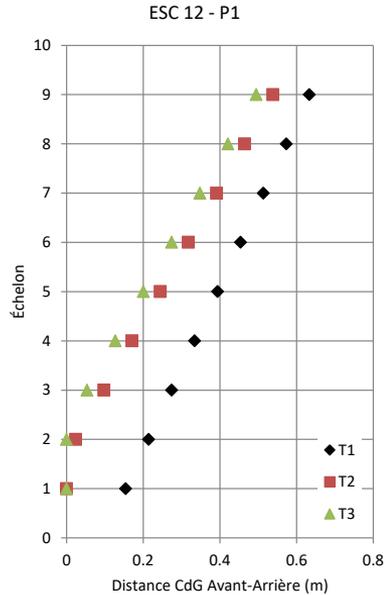
T3



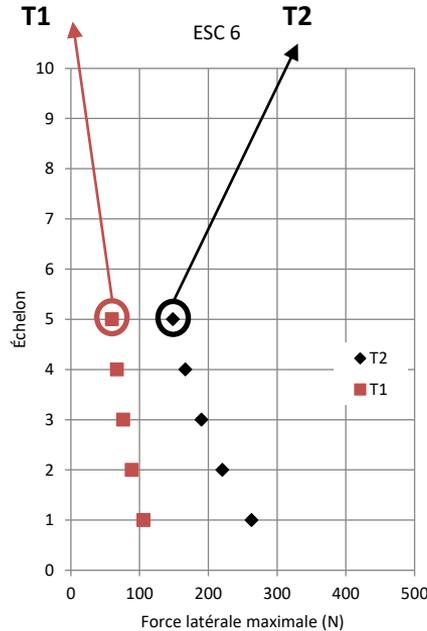
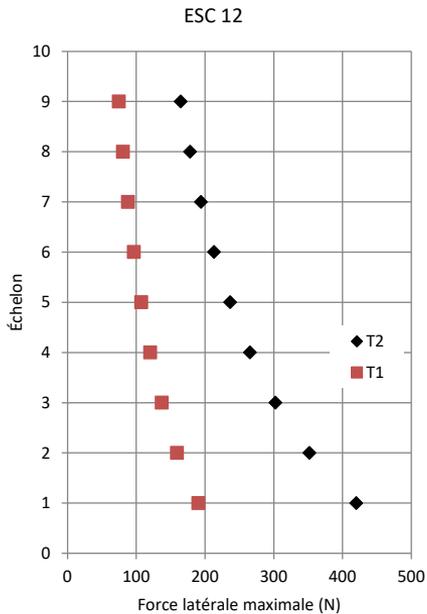
T2



T1



Modèle analytique – Limites de force latérale



Limite calculée = basculement
(pas de friction au sommet)

$$\text{Limite} \approx \frac{\text{Poids du travailleur}}{7}$$

Conclusions

ÉCHELLE NON DÉPLOYÉE

- Pour E1 : risque d'instabilité aux échelons 2 et 3 (tous angles et positions), instabilité au plus haut = 6^e échelon, P3 et 75°
- Pour E2 : instabilité au plus haut = 5^e échelon, P3 et 75°
- Échelle en fibre de verre fait diminuer légèrement le risque d'instabilité (attention manutention)
- Transmission de charge sur le côté et vissage : pas d'instabilité notée, risque existant cependant
- Montée de face : risque de faire basculer l'échelle en arrière ; montée de côté : beaucoup plus stable, même à 75°
- 75° = risque de basculement arrière accru (attention, angle trop faible = risque de glissement)

Conclusions

ÉCHELLES – Analyse paramétrique

- Travailleur lourd, risque d'instabilité jusqu'à l'échelon 6
- Travailleur plus grand, risque accru
- Échelle très légère (8 pi, aluminium) = risque d'instabilité élevé

ESCABEAUX

- Escabeau de 6 pieds, très instable même pour un travailleur léger
- Escabeau de 12 pieds, assez stable (risque = non maintient des trois points d'appuis)
- Force latérale max \approx poids du travailleur / 7

Limites et recommandations

LIMITES

- Essais de laboratoire et 2 sujets humains expérimentés (formateurs)
- Limites mesurées en conditions idéales, peut quasiment juste se dégrader en conditions réelles

RECOMMANDATIONS

- Limiter le travail à l'échelle (plateforme élévatrice si possible)
- Technique des 3 points d'appuis
- Mesurer l'angle de l'échelle (app NIOSH)
- Éviter de trop se pencher sur le côté (garder le nombril entre les montants)
- Poids de l'échelle : fibre de verre = plus stable (mais plus lourd à manipuler)
- Surface propre et sèche en pied

=> Formation pour sensibiliser les travailleurs dans des conditions sécuritaires

Cette recherche est financée par :

