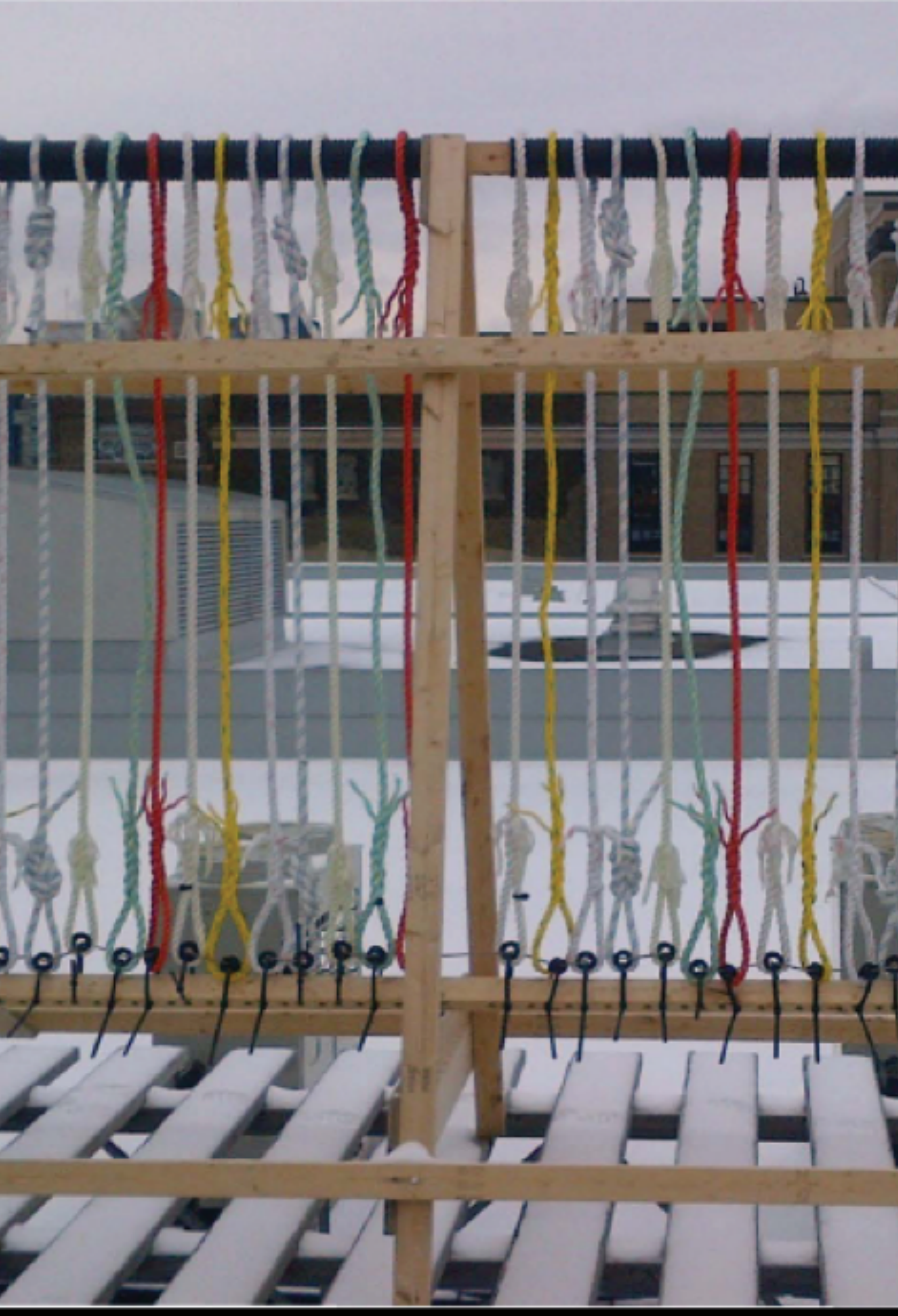




Étude sur le vieillissement, la dégradation et la durée de vie des équipements de protection contre les chutes – Cordes d'assurances

André Lan, Carlos Arrieta**, Toan Vu Khanh***

**Prévention des risques mécaniques et physiques, DREX, IRSST*

*** Département de génie mécanique, École de technologie supérieure*

Vieillissement naturel des cordes sur le toit de l'ÉTS

RDV de la Science, 12 septembre 2017, IRSST



Plan

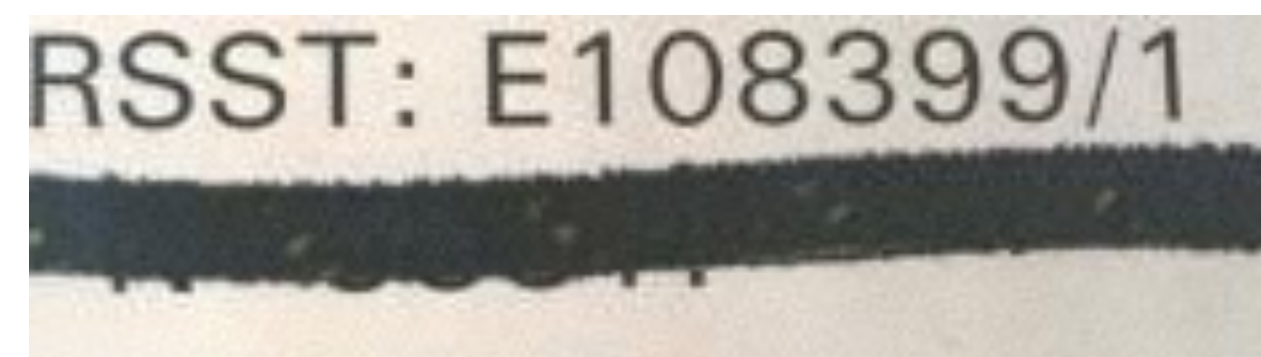
- Introduction – Origine de l'étude
- Objectifs
- Méthodologie
- Vieillissement naturel et en laboratoire
- Essais de traction
- Analyses physico-chimiques
- Résultats
- Modèle mathématique
- Conclusion

Introduction – Origine de l'étude

- Saisie des cordons d'assujettissement, cordes neuves/usagées en bon/mauvais état aux chantiers par les inspecteurs de la CNESST
- Questions sur la résistance des cordons d'assujettissement et des cordes
- Utilisateurs : beaucoup de questions sur la durée de vie des cordes
- Essais cordes et cordons d'assujettissement : résistances < exigence norme CAN/CSA Z259.2.5
- Demande CNESST : étudier le vieillissement des cordes de fibres synthétiques exposées aux intempéries et ses effets sur leurs propriétés mécaniques : critères de désuétude



Polypropylène



Nylon



Polypropylène



Polypropylène

Objectifs de l'étude

- 1) Étudier l'effet d'une exposition prolongée aux intempéries sur les propriétés physico-chimiques et mécaniques des cordes couramment utilisées pour la fabrication de cordons d'assujettissement et lignes de vie verticales
- 2) Établir une relation entre les durées de vieillissement naturel et en laboratoire
- 3) Formuler un modèle mathématique pour estimer la résistance résiduelle des cordes en fonction du temps d'exposition aux intempéries

Dégradation des fibres synthétiques

- Éléments environnementaux qui dégradent les fibres synthétiques :
 - Température
 - Humidité
 - Oxygène (air)
 - Intempéries
 - Environnement agressif
 - Rayonnement ultra-violet (UV)
 - et combinaisons des éléments ci-dessus

Quelques utilisations de cordes de fibres synthétiques

- Cordons d'assujettissement
- Élingues (levage et manutention)
- Cordes d'assurance verticale, exemple : lavage de vitres, montage/démontage échafaudages



Cordon d'assujettissement avec absorbeur d'énergie
www.capitalsafety.ca



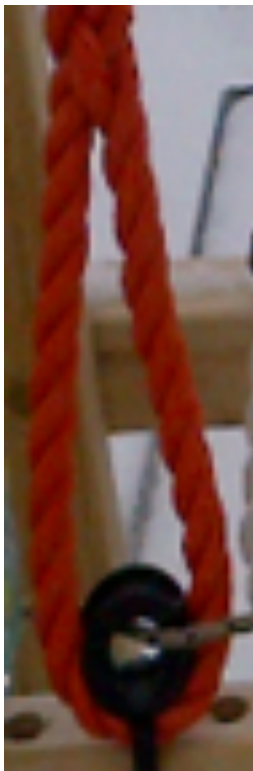
Élingues
www.lankhorstropes.com



Corde d'assurance verticale – Lavage de vitres
Source : DBI SALA

Méthodologie

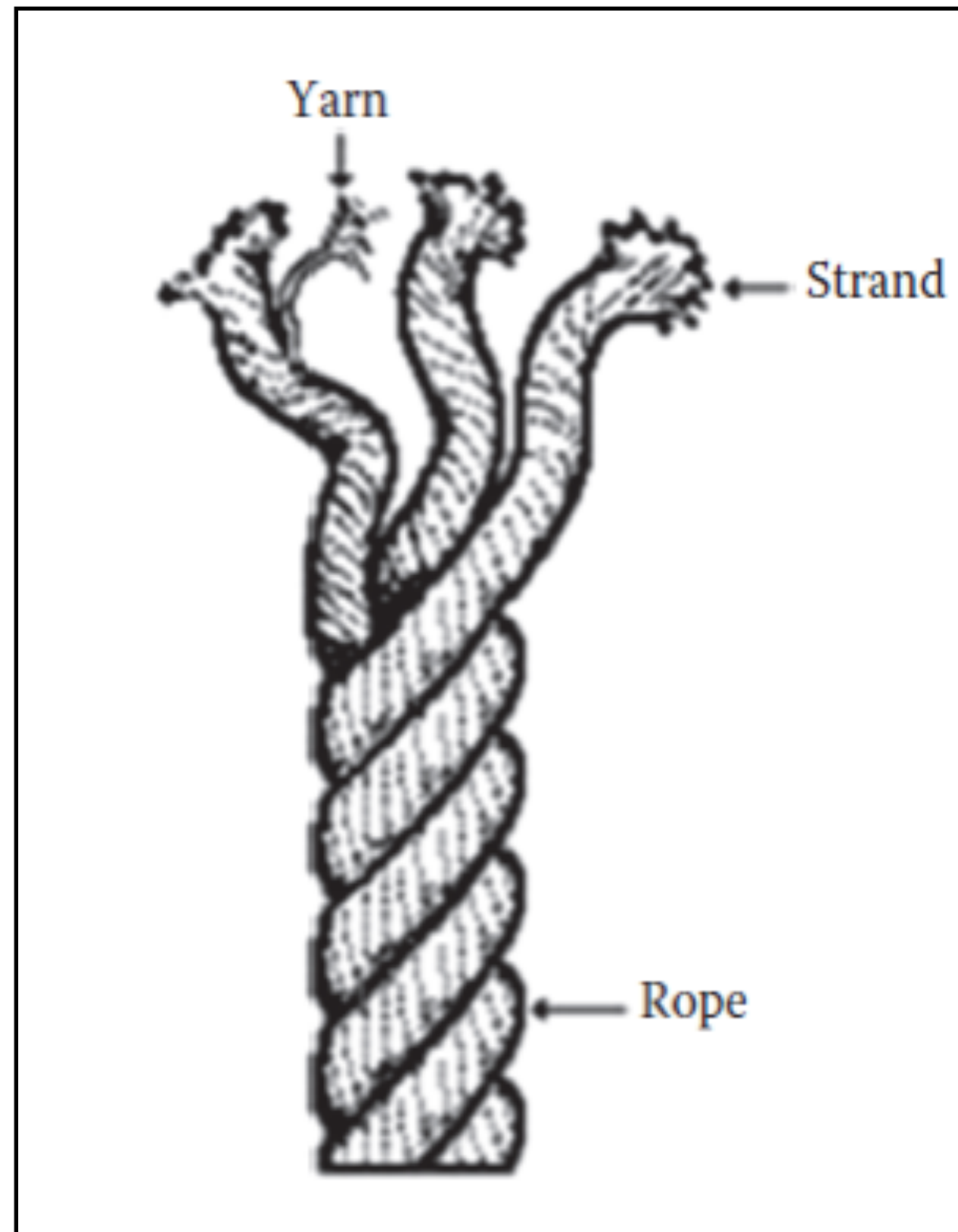
- Sept cordes de fibres synthétiques les plus utilisées comme cordes d'assurance verticale choisies en collaboration avec les experts du milieu (inspecteur CNESST, Cordages Barry, utilisateur de cordes)

Polyamide (Nylon)	Polyester ou Téréphtalate de polyéthylène	Polypropylène	Polyéthylène	Polysteel ^{MD}	Multiline	Kernmantle
						

Composition des cordes

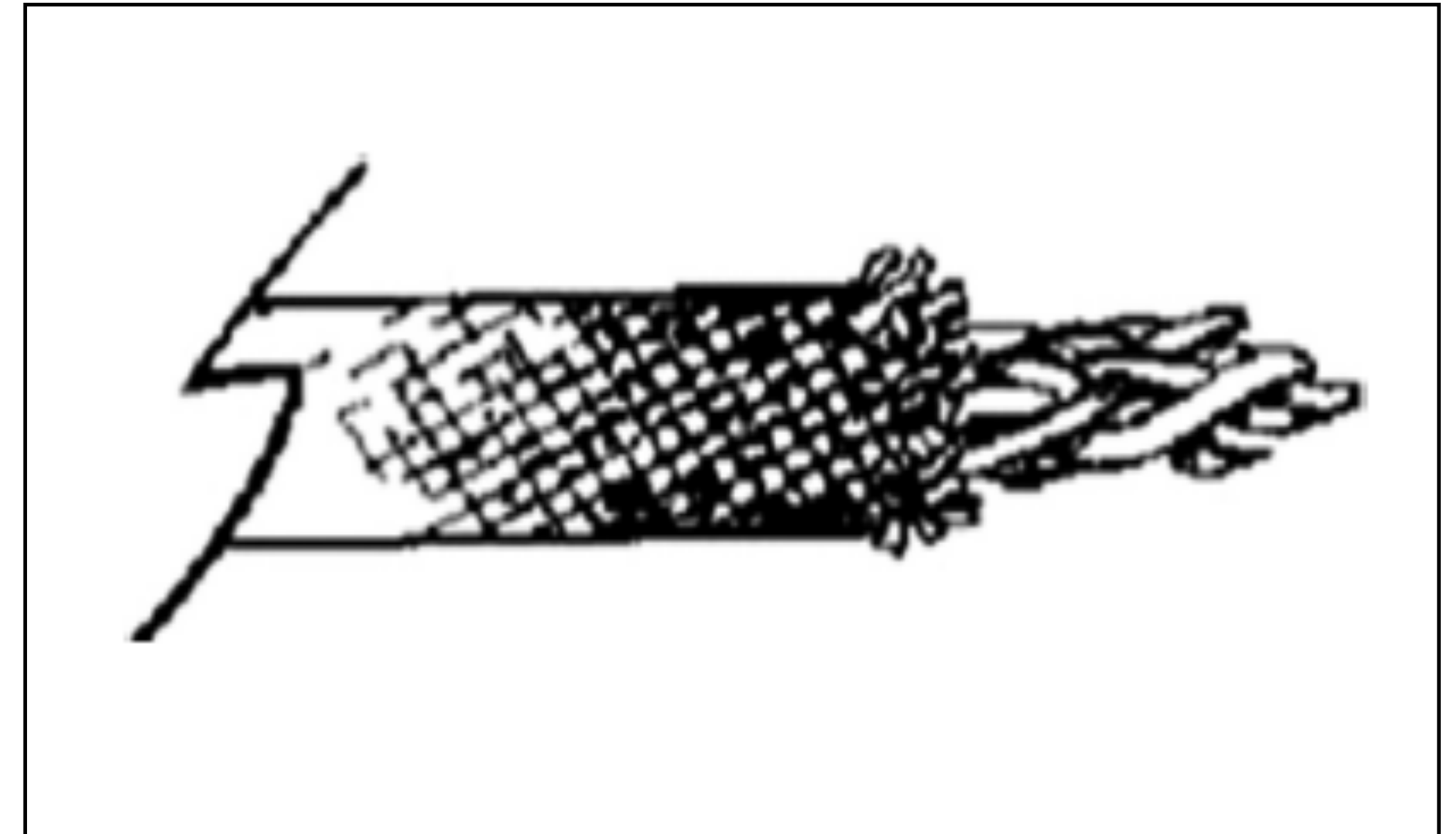
Cordes	Description	Composition
Polyamide (PA6)	3 torons torsadés, 5/8" diamètre	Fibres de polyamide 6
Polyester (PET)	3 torons torsadés, 5/8" diamètre	Fibres de téréphtalate de polyéthylène
Polypropylène (PP)	3 torons torsadés, 5/8" diamètre	Fibres de polypropylène
Polyéthylène (PE)	3 torons torsadés, 5/8" diamètre	Fibres de polyéthylène
Polysteel ^{MD}	3 torons torsadés, 5/8" diamètre	Copolymère de fibres de polypropylène et polyéthylène
Multiline	3 torons torsadés, 5/8" diamètre	Fibres de téréphtalate de polyéthylène et polypropylène
Kernmantle	Gaine tressée-noyau, couche extérieure de polyester et noyau de polyamide	Fibres de téréphtalate de polyéthylène et polyamide 6

Construction des cordes



3 torons torsadés

De : Senthil Kumar, Textiles in ropes



Construction gaine-noyau

De : Senthil Kumar, Textiles in ropes

Coût des cordes au pied linéaire

Cordes	Coût/pied (CAD \$ 2011)
Polypropylène	0.42
Polyamide	0.76
Polyéthylène	0.83
Polysteel ^{MD}	1.24
Polyester	1.33
Multiline	1.33
Kernmantle	2.41

Exigences de résistance des cordes d'assurance verticales

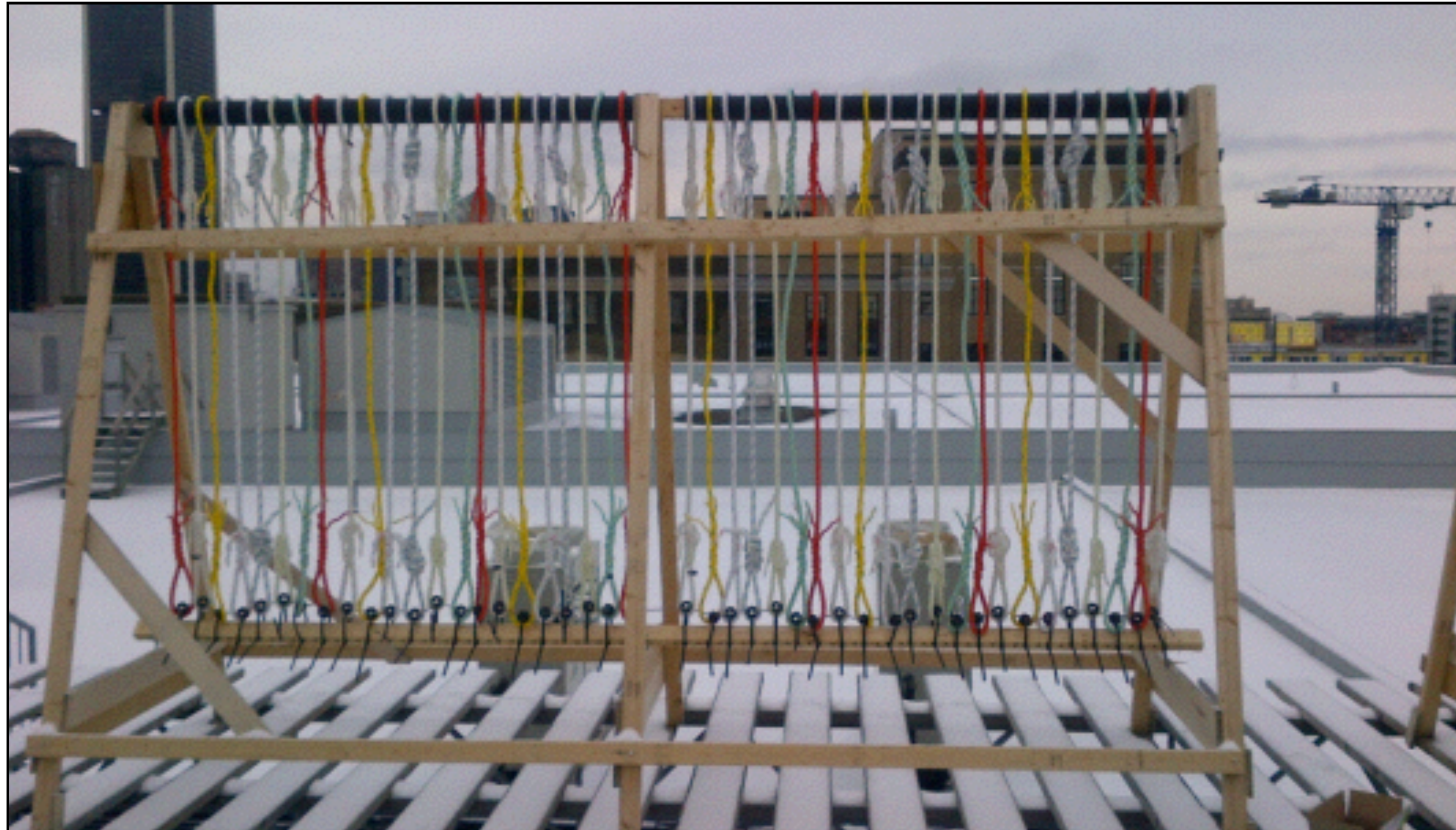
Normes/Règlements	Exigences de résistance
CAN/CSA-Z259.2.5 Dispositifs antichutes et cordes d'assurance verticales (Alinéa 4.5 Cordes d'assurance verticale)	a) Elles doivent être en fibres synthétiques vierges présentant des caractéristiques qui correspondent à du polyamide ou fibres de polyester et présenter une résistance minimale à la rupture de 27 kN (6 000 lbf) . Les cordes d'assurance doivent être mises à l'essai conformément à l'ISO 2307 ou CI 1500. Les cordes en polypropylène ne doivent pas être utilisées. Le copolymère incorporant du polypropylene peut être utilisé
ANSI/ASSE Z359.1-2007 Safety Requirements for Personal Fall Arrest Systems, Subsystems and Components (Clause 3.2.7.2.3)	Synthetic rope used in vertical lifelines shall have a minimum breaking strength of 5 600 pounds (25 kN) when tested in accordance with reference 8.3.3.
OSHA Regulations Part 1926 Subpart M – Fall Protection [(d)(9)]	Lanyards and vertical lifelines shall have a minimum strength of 5 000 lbs (22.2 kN) .
EN 353-2 - Partie 2 : antichutes mobiles incluant un support d'assurage flexible (Clause 4.4. Static strength)	Withstand a force of at least 22 kN and belay cables must withstand a force of at least 15 kN.

Échantillons expérimentaux

- Chaque corde est divisée en 3 échantillons
- 1^{er} échantillon : 5 spécimens épissés suivant norme Cordage Institute (CI 1307) servent de référence
- 2^e échantillon : multiples spécimens soumis au vieillissement dans une chambre environnementale au laboratoire
- 3^e échantillon : 20 spécimens épissés suivant CI 1307, soumis pendant 24 mois sur un toit de l'ÉTS au vieillissement naturel au soleil et intempéries, mais pas d'utilisation
- Subséquemment : étude comparative de la résistance à la traction des cordes et changements physico-chimiques après 6, 12, 18 et 24 mois d'exposition aux intempéries et 1 à 3 mois de vieillissement artificiel en laboratoire



Exposition aux intempéries



Exposition aux intempéries de 7 cordes sur le toit d'un bâtiment de l'ÉTS

Exposition au vieillissement en laboratoire

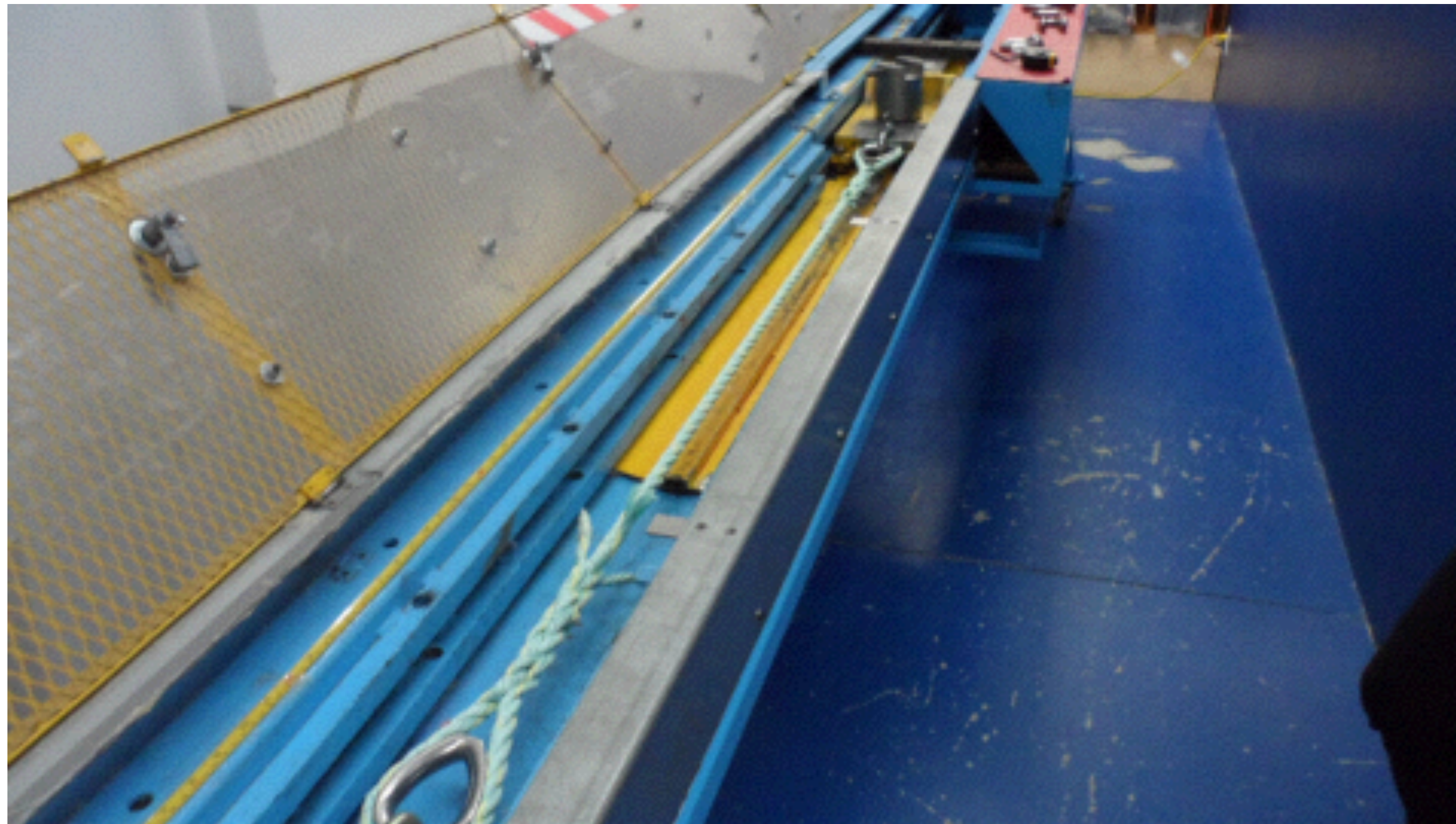
- Vieillissement accéléré :
Norme ASTM G-155-13
(Table X 3.1) pendant 1, 2 et 3 mois (720, 1440 et 2 160 heures)
- Chambre de vieillissement Q-Sun Xe-3-HSC à lampe de Xénon, rencontre les exigences des normes ISO et ASTM



Chambre de vieillissement Q-Sun modèle Xe-3-HSC à
lampe de Xénon

Banc d'essai normalisé CI 1307 – Essais de traction

- 1 tête (traverse) fixe
- 1 tête (traverse) se déplace à 100 mm/min (4 po/min)



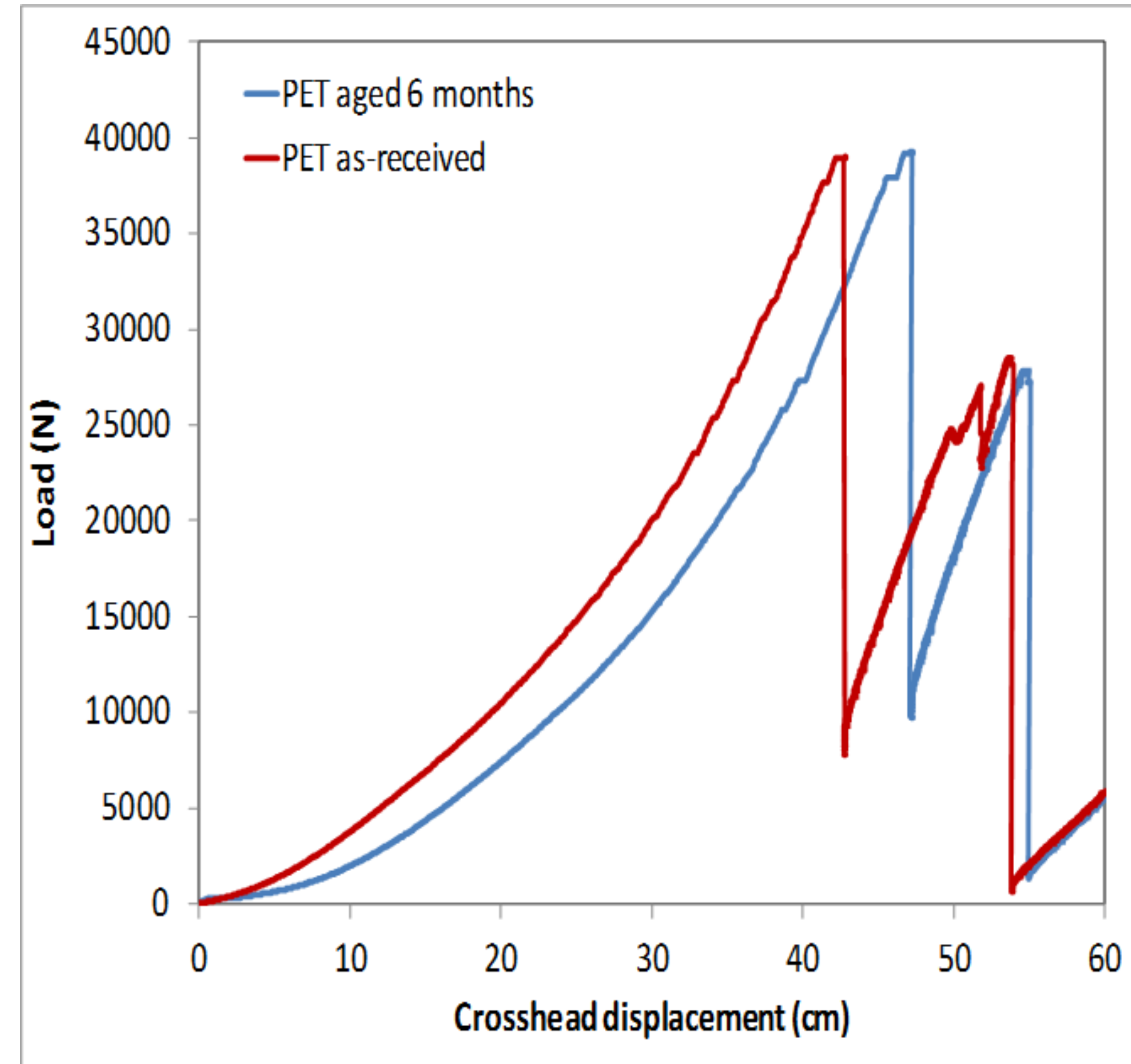
Analyse physico-chimique

- Essais et analyses de caractérisation physico-chimique usuels :
 - Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)
 - Analyses par calorimétrie différentielle à balayage
 - Rhéologie (mesure de la viscosité)
 - Diffraction des rayons X
 - Microscopie électronique à balayage

➡ Seuls résultats IRTF et calorimétrie différentielle présentés

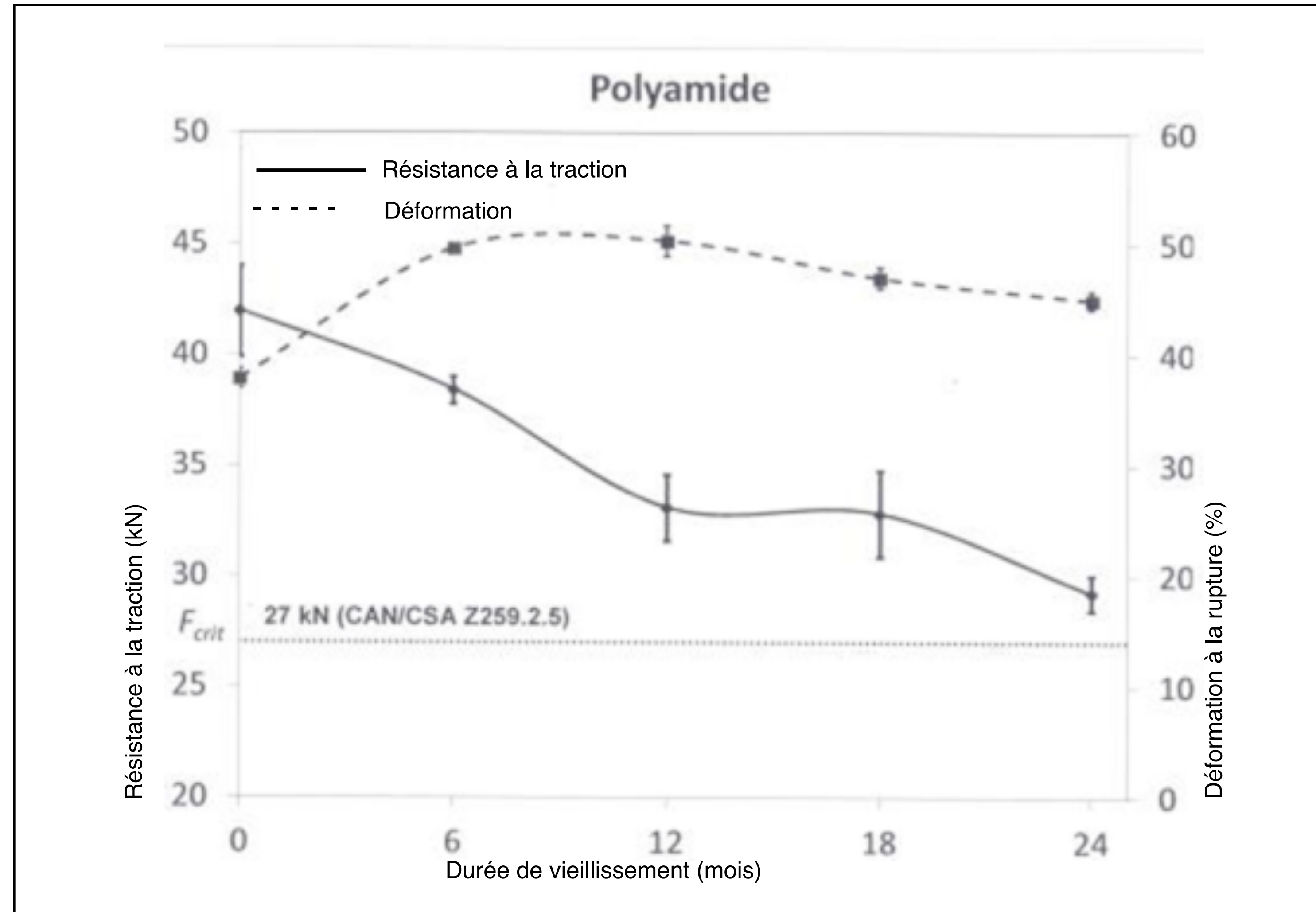
Graphique typique charge vs déplacement de la traverse du banc d'essai

- Graphique charge vs déplacement de la traverse : 3 maxima associés à la rupture de chaque toron de la corde
- Le premier maxima : rupture de la corde



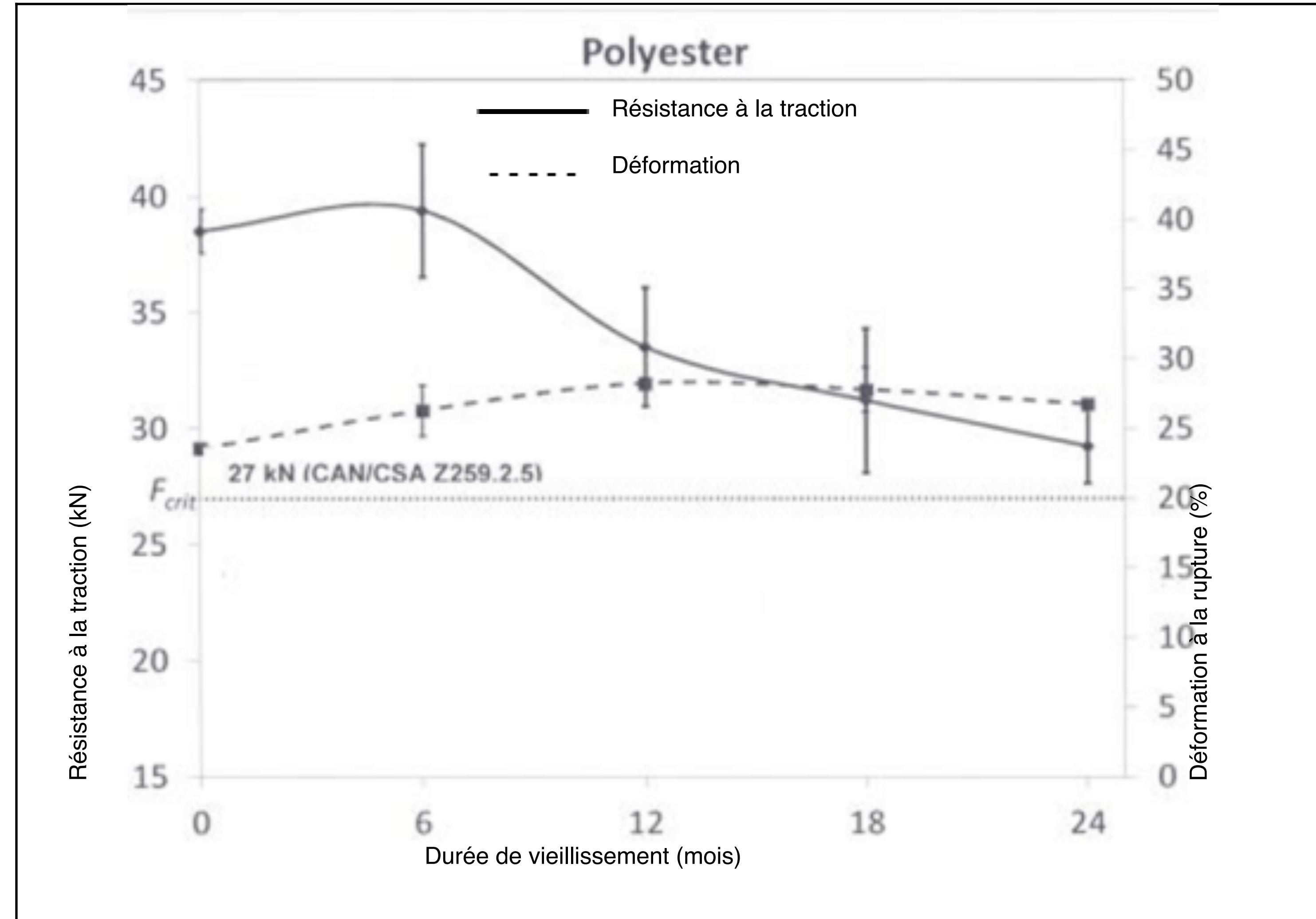
Résultats – Résistance à la traction vs durée de vieillissement naturel du polyamide

- Après 24 mois d'exposition :
- Résistance résiduelle pas sous 27 kN
- 30 % de perte en résistance à la traction
- Déformation à la rupture croît de 38 % à 45 %



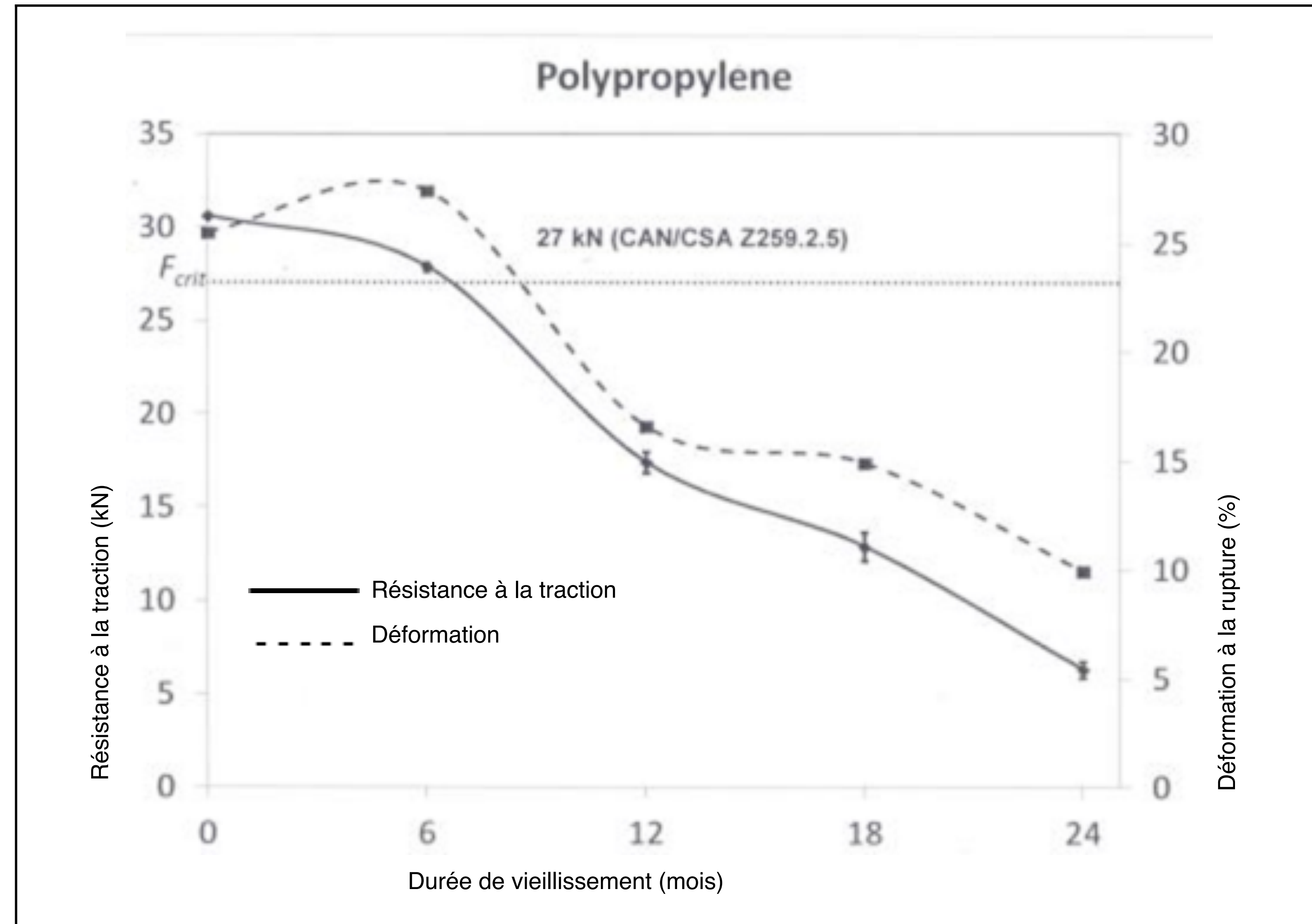
Résultats – Résistance à la traction vs durée de vieillissement naturel du polyester

- Changements adverses après 12 mois d'exposition aux intempéries
- Résistance résiduelle pas sous 27 kN
- 76 % de la résistance à la traction après 24 mois
- L'élongation augmente pour toutes les durées d'exposition
- Élongation maximale après 24 mois d'exposition



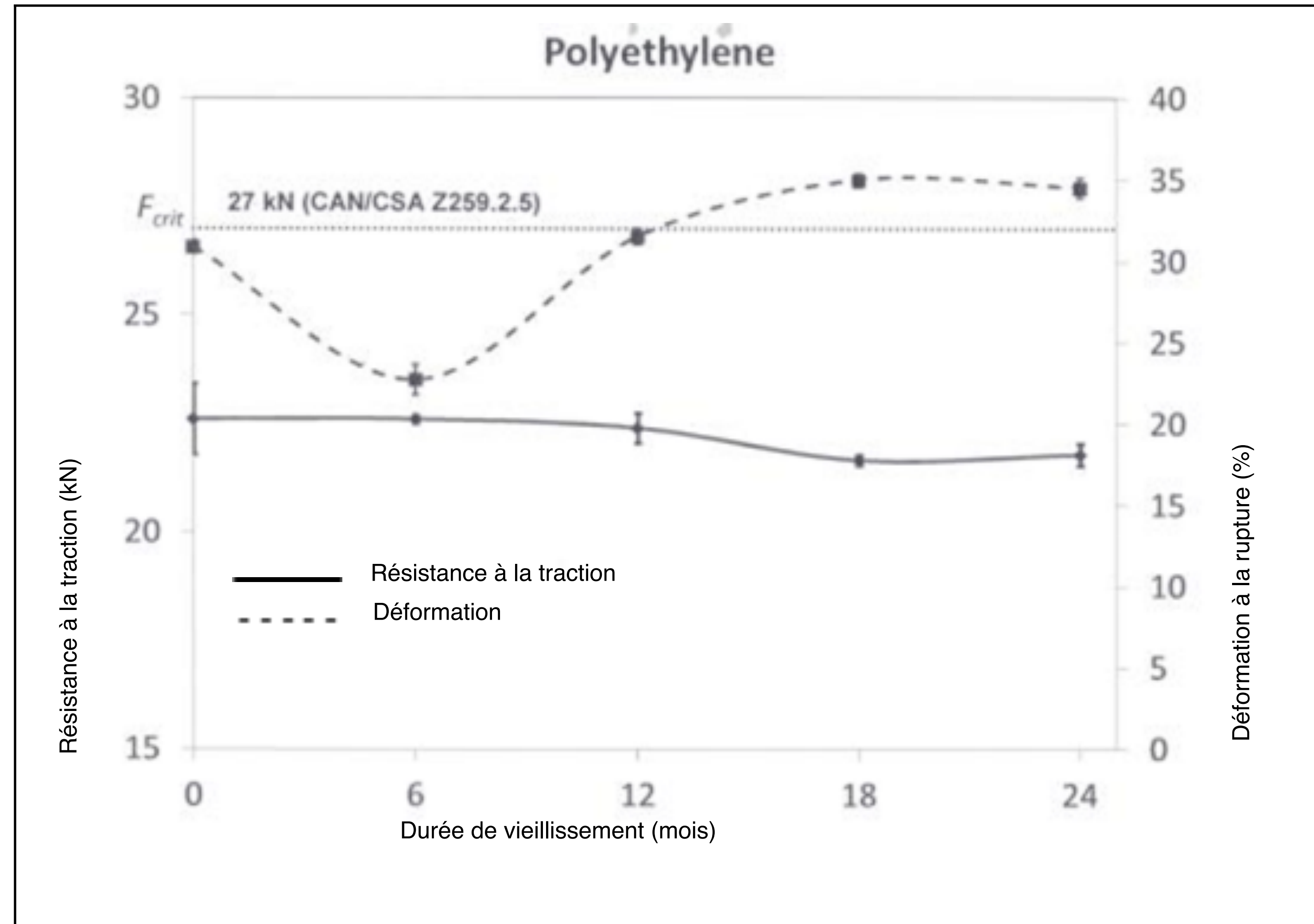
Résultats – Résistance à la traction vs durée de vieillissement naturel du polypropylène

- Polypropylène : pire performance de la résistance à la traction après le vieillissement
- Sous 27 kN après 24 mois d'exposition (80 % de perte)
- Pas convenable pour cordes d'assurance verticale
- OSHA, CSA et ANSI ne permettent pas son usage comme porteurs de charges et où la vie humaine doit être protégée



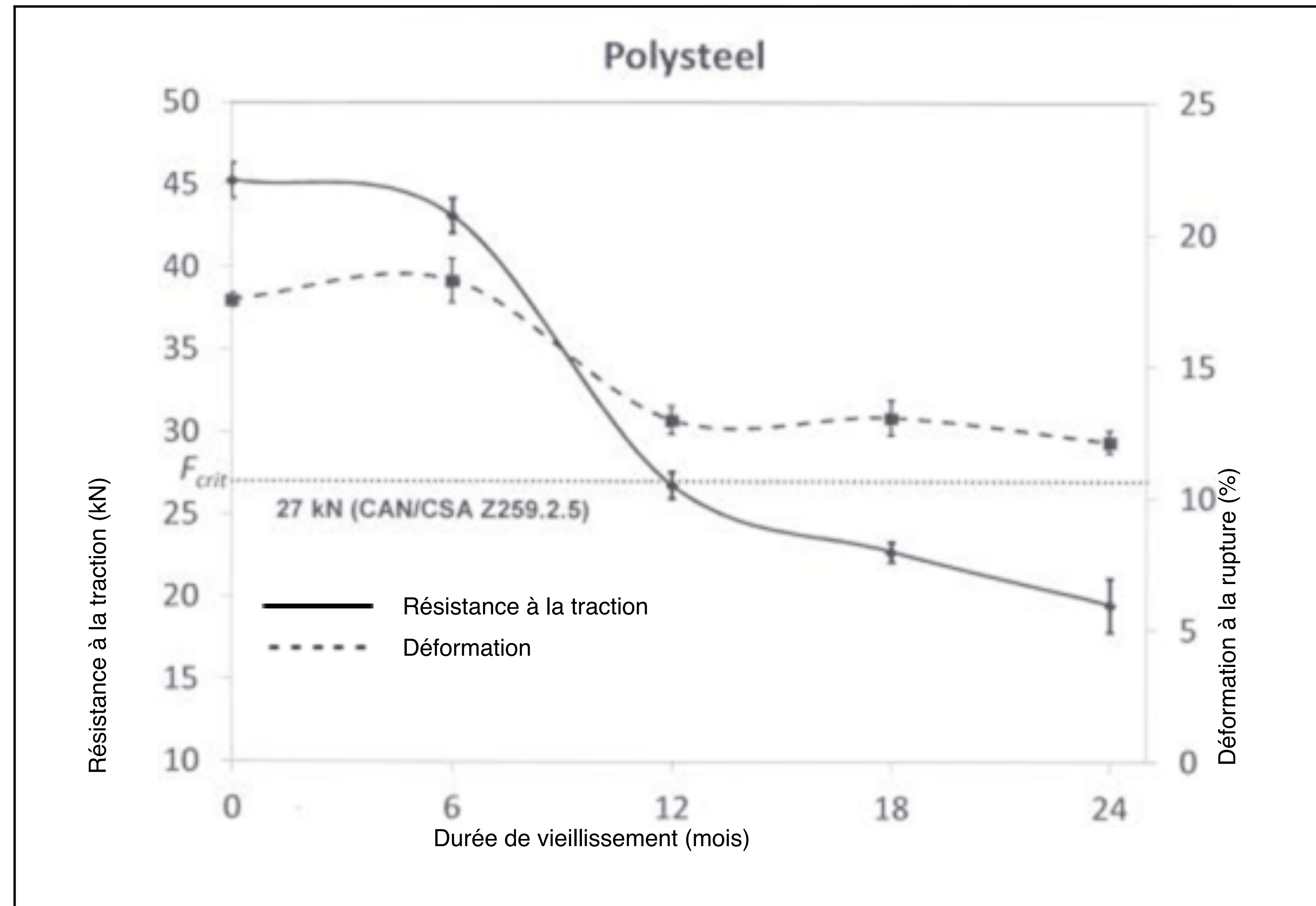
Résultat – Résistance à la traction vs durée de vieillissement naturel du polyéthylène

- L'effet du vieillissement sur la résistance à la traction du polyéthylène est négligeable
- Bonne performance contre l'exposition prolongée aux agents environnementaux
- Ne rencontre pas l'exigence requise de 27 kN (22.6 kN, corde neuve)



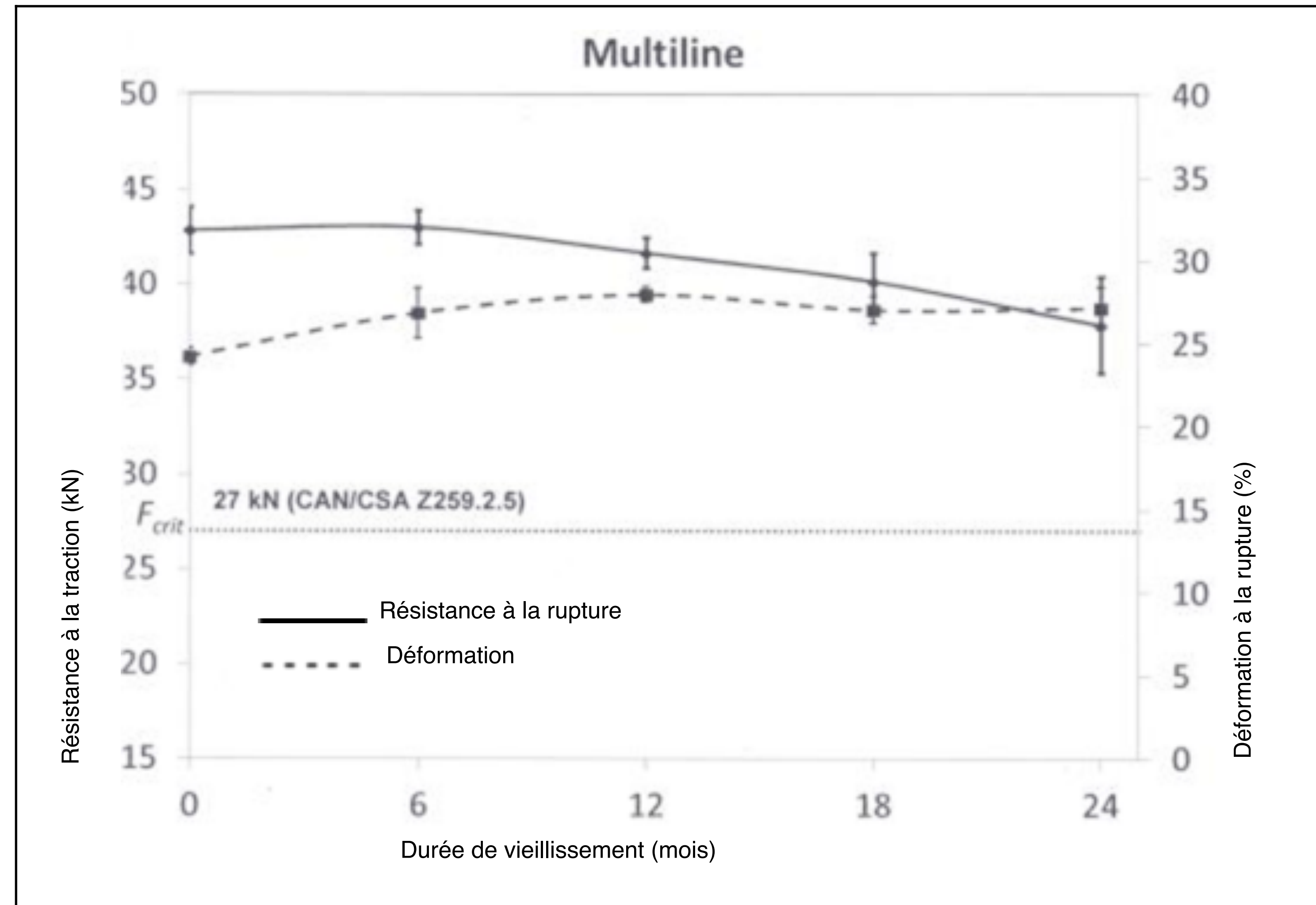
Résultats – Résistance à la traction vs durée de vieillissement naturel du polysteel^{MD}

- Polysteel^{MD} : sous 27 kN après 24 mois vieillissement naturel, autour de 20 kN (comme polypropylène)
- Résistance à la traction initiale comparable au multiligne
- Pas approprié pour cordes d'assurance verticale



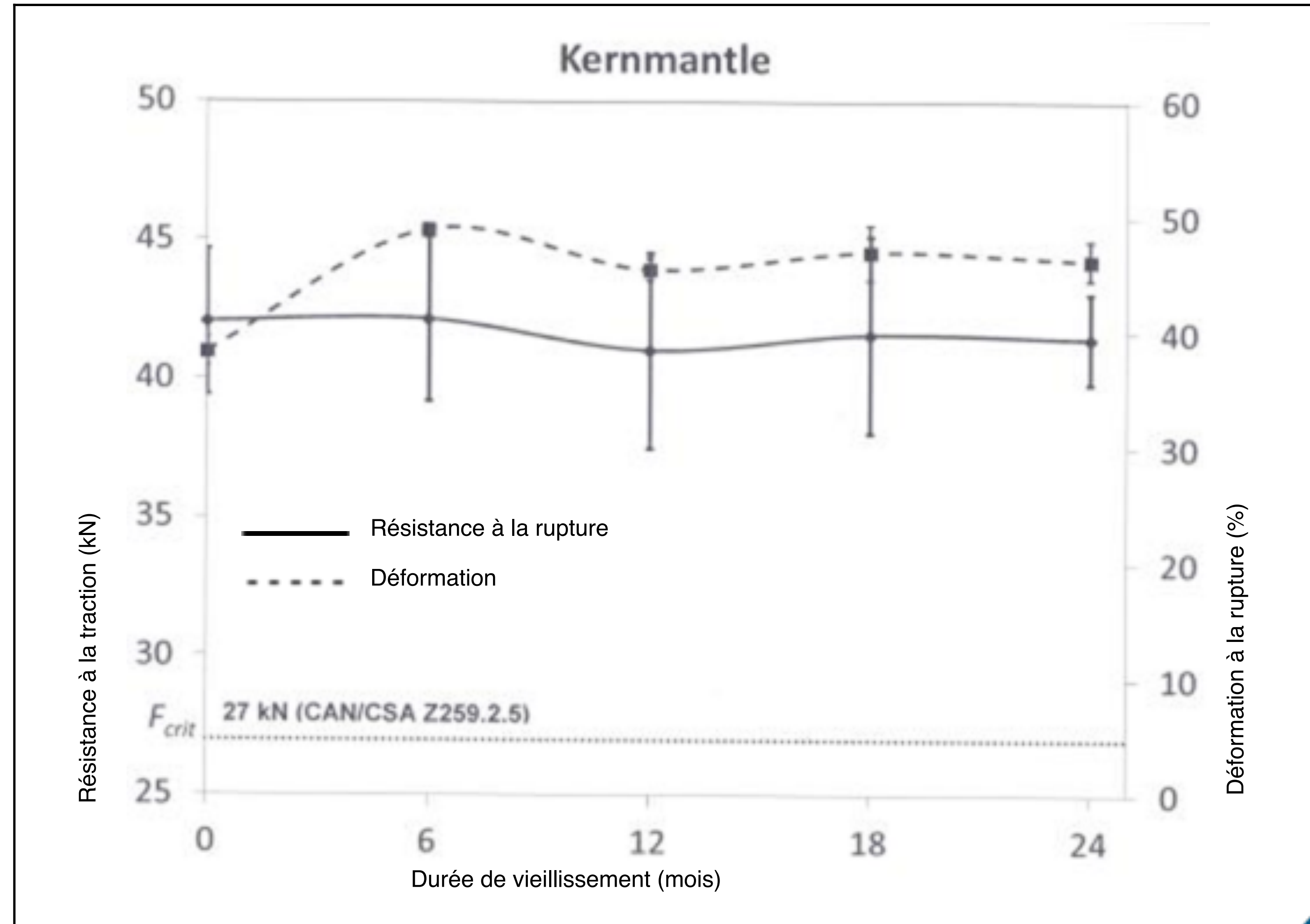
Résultats – Résistance à la traction vs durée de vieillissement naturel du multiline

- Effets de vieillissement visibles après 12 mois
- Après 24 mois, pas sous 27 kN (80 % de sa résistance initiale)
- Seul le polyéthylène a une meilleure rétention de résistance après vieillissement



Résultats – Résistance à la rupture vs durée de vieillissement naturel du kernmantle

- Vieillissement naturel a peu d'influence sur la résistance du kernmantle (résistance $\pm$ inchangée)
- Bonne performance mécanique due à sa construction gaine-noyau
- Meilleur choix pour cordes d'assurance
- Prix n'attire pas les utilisateurs, mais constitue un bon investissement à long terme

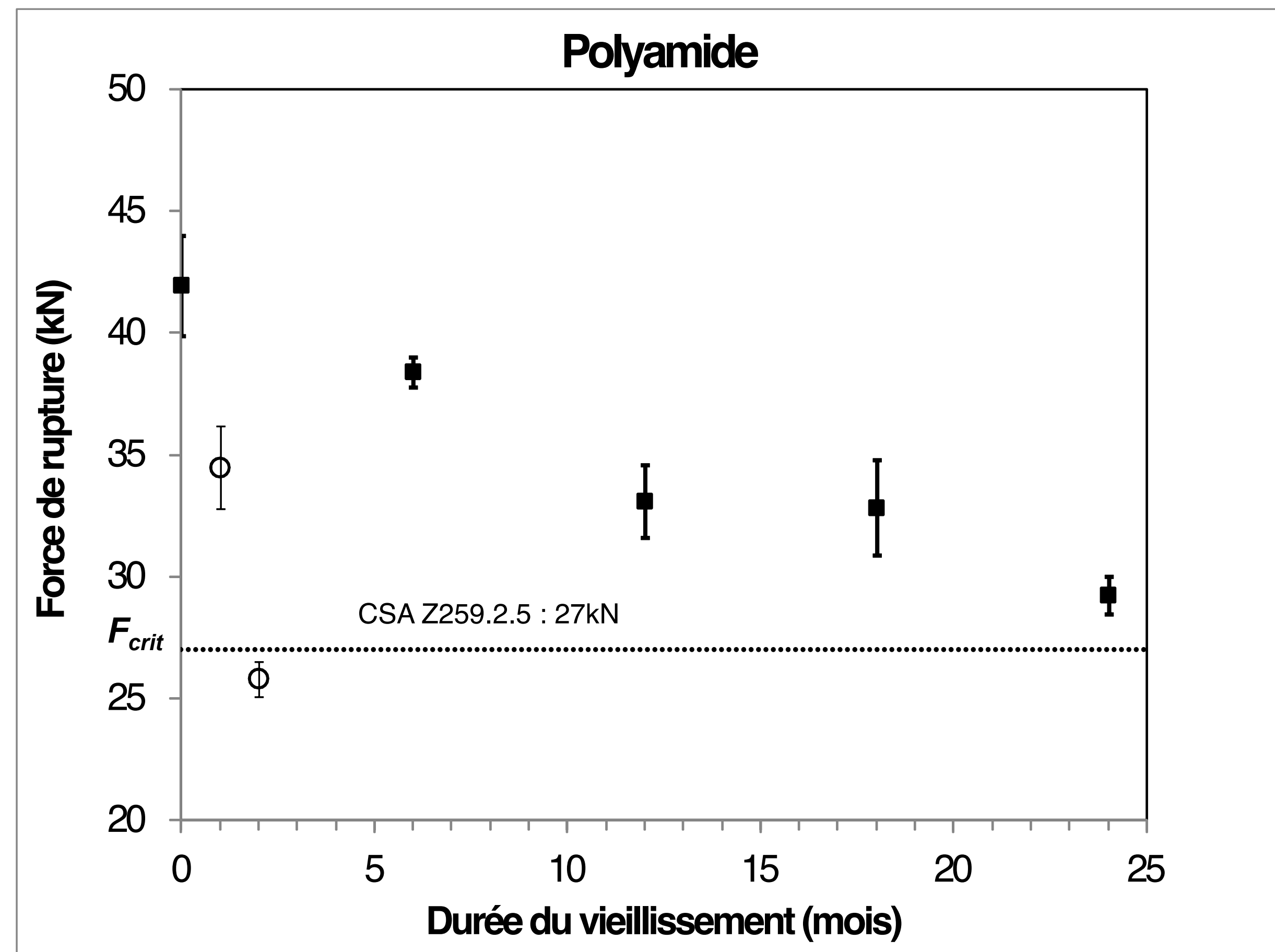


Résultats – Résistance à la traction des cordes vieilles en laboratoire

	Polyester (PET)					Polyamide (PA6)				
	Neuve	Vieilles 2 mois		Vieilles 3 mois		Neuve	Vieilles 1 mois		Vieilles 2 mois	
	Rés. à la rupture (kN)	Rés. à la rupture (kN)	Déf. ϵ (%)	Rés. à la rupture (kN)	Déf. ϵ (%)	Rés. à la rupture (kN)	Rés. à la rupture (kN)	Déf. ϵ (%)	Rés. à la rupture (kN)	Déf. ϵ (%)
Moyenne	38,53	35,96	31,35	34,33	30,77	41,96	34,48	55,2	25,82	48,22
Écart-type	0.95	3,38	2,20	0,77	2,70	2.05	1,7	5,26	0,72	2,10

Polyamide – Vieillissement en laboratoire

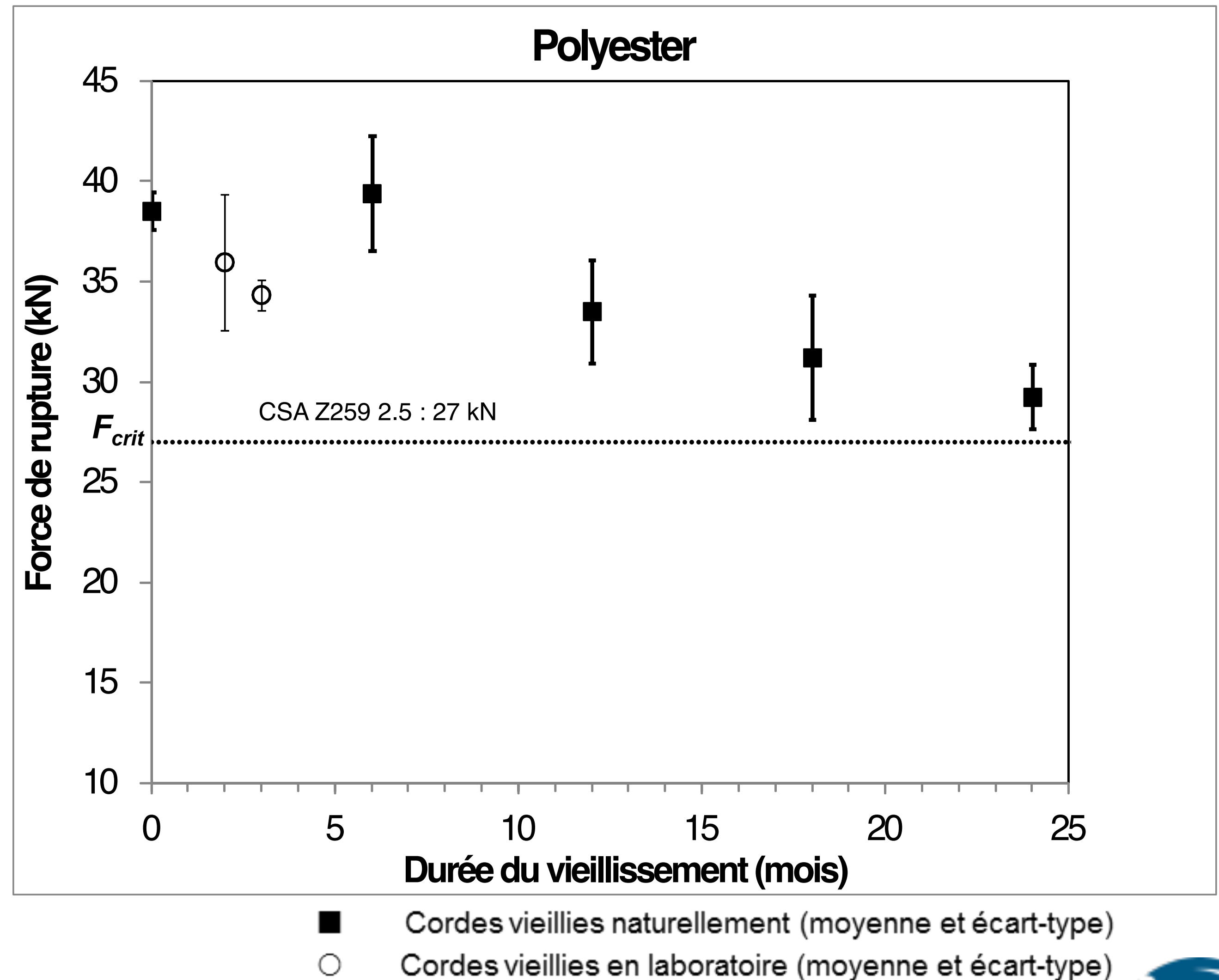
- Après 2 mois de vieillissement en laboratoire, résistance à la traction tombe au-dessous de 27 kN (24 mois > 27 kN)
- Ne peut pas étendre modèle prédictif aux cordes vieilles au laboratoire
- Détermination d'un facteur accélérant entre vieillissements accélérés et naturel n'a pas de base scientifique



- Cordes vieilles naturellement (moyenne et écart-type)
- Cordes vieilles en laboratoire (moyenne et écart-type)

Polyester – Vieillissement en laboratoire

- Après 3 mois de vieillissement en laboratoire, résistance à la traction du polyester est encore plus grande que celle vieillie naturellement pendant 24 mois
- Ne peut pas étendre le modèle prédictif aux cordes vieillies au laboratoire
- Détermination d'un facteur accélérant entre vieillissements accélérés et naturel n'a pas de base scientifique



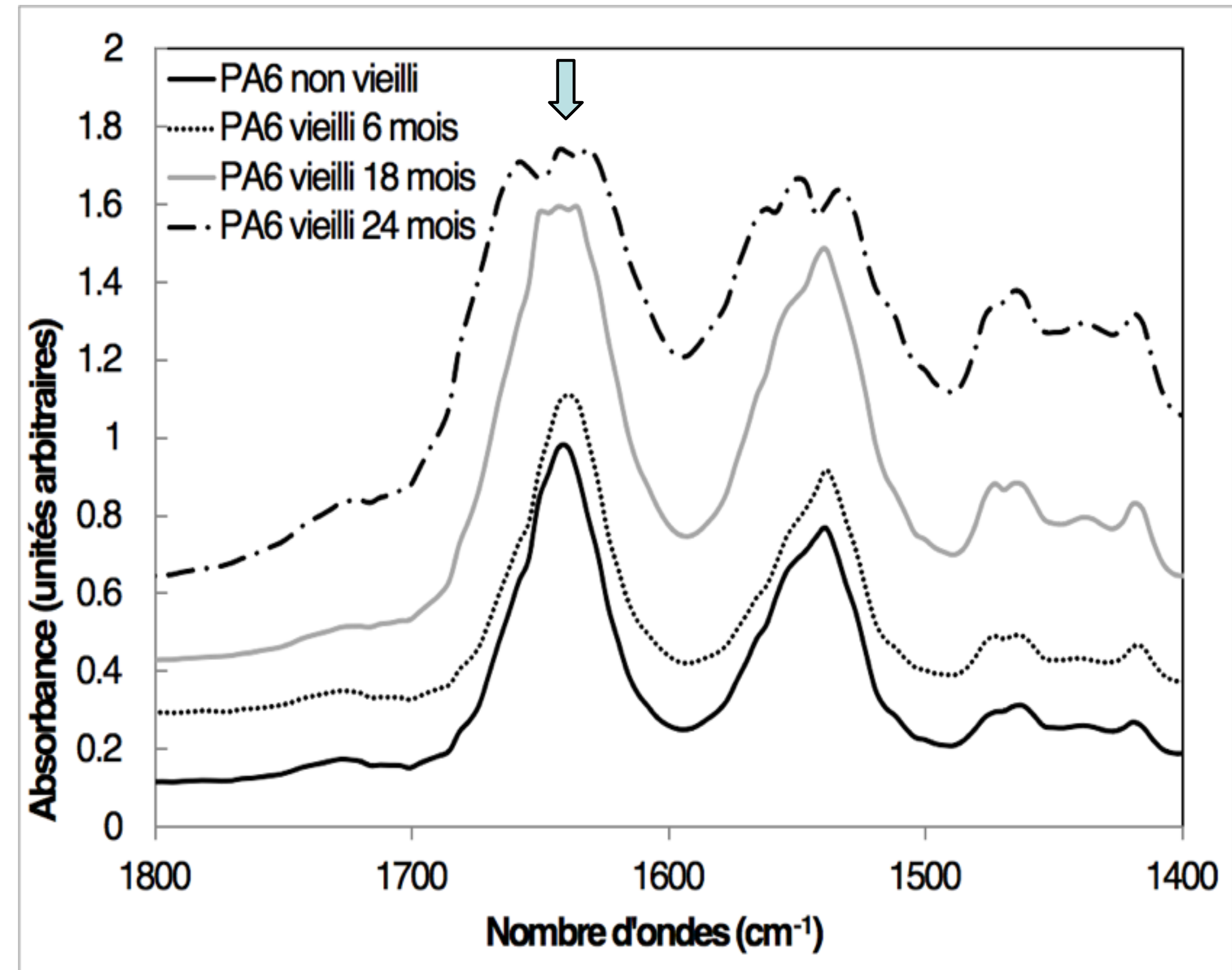
Corrélation entre vieillissement naturel et en laboratoire

- Détermination d'un facteur accélérant entre le vieillissement naturel et en laboratoire peut être intéressant du point de vue technologique, exemple : X heures de vieillissement en laboratoire équivalent à Y heures de vieillissement naturel
- Mais auteurs renommés en vieillissement des polymères, comme Verdu, croient que ces corrélations n'ont pas de bases scientifiques

(Verdu, J., X. Colin, B. Fayolle et L. Audouin. « Methodology of Lifetime Prediction in Polymer Aging ». *Journal of testing and evaluation*, vol. 35, n° 3, 2006, p. 1-8.)

Résultats – IRTF (infrarouge à transformée de Fourier) Polyamide

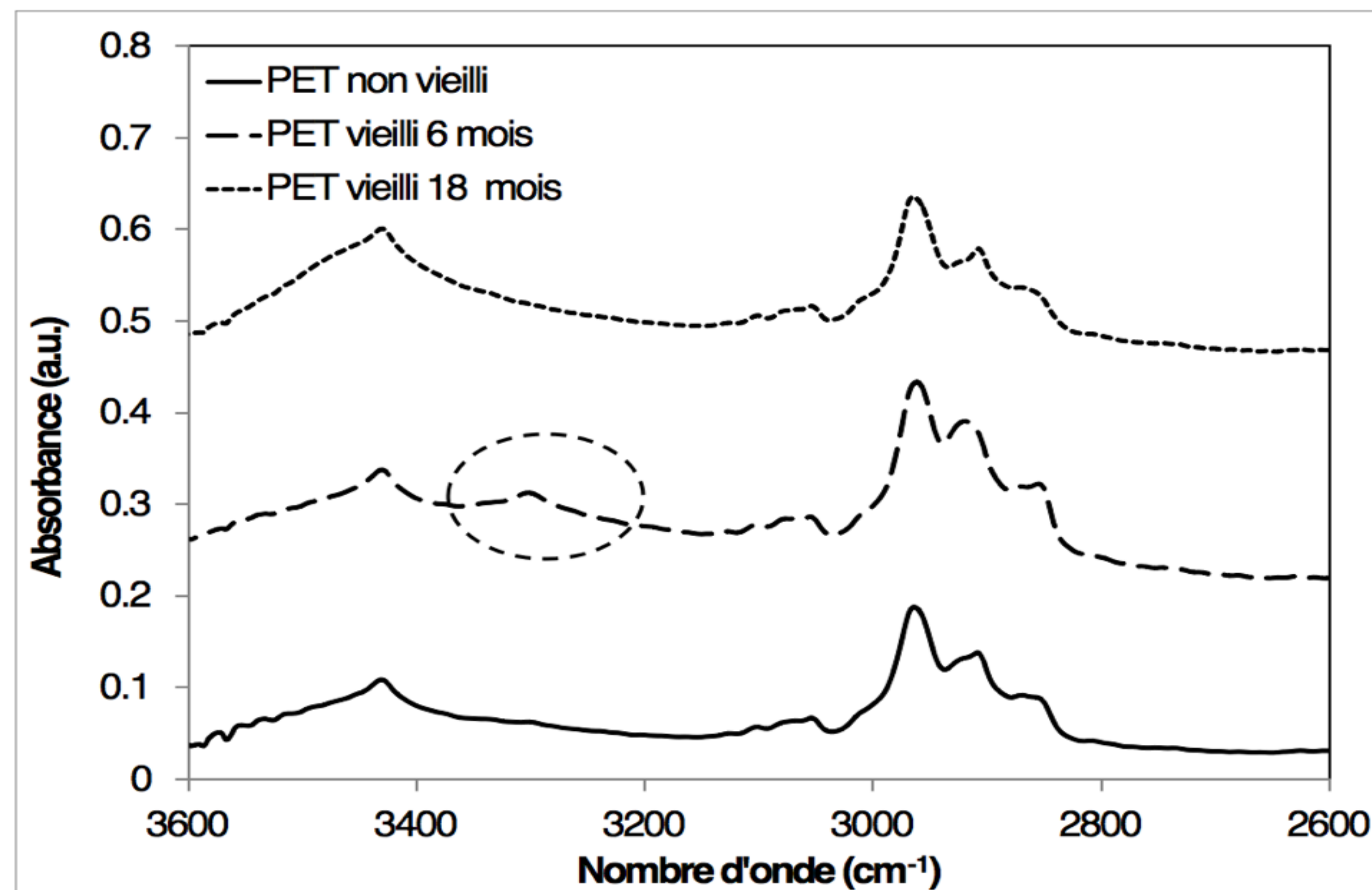
- La réaction prédominante pendant le vieillissement chimique des polymères est l'oxydation
- Nouvelles bandes d'absorption dans la région carbonyle (longueur d'onde entre 1 650 et 1 800 cm^{-1}) ou hydroxyle (longueur d'onde de 3 200 à 3 550 cm^{-1})
- Pas de nouvelle bande d'absorption après 6 mois d'exposition
- Forte bande d'absorption centrée à 1 650 cm^{-1} s'élargit avec le temps de vieillissement
- Après 18 mois, émergence de 2 épaulements aux côtés droit et gauche
- Deux pics forts à 24 mois
- Formation de groupes contenant la liaison carboxyle ($\text{C} = \text{O}$) provenant de l'oxydation



Spectre infrarouge du PA6 à plusieurs étapes du vieillissement naturel

Résultats – IRTF (infrarouge à transformée de Fourier) Polyester

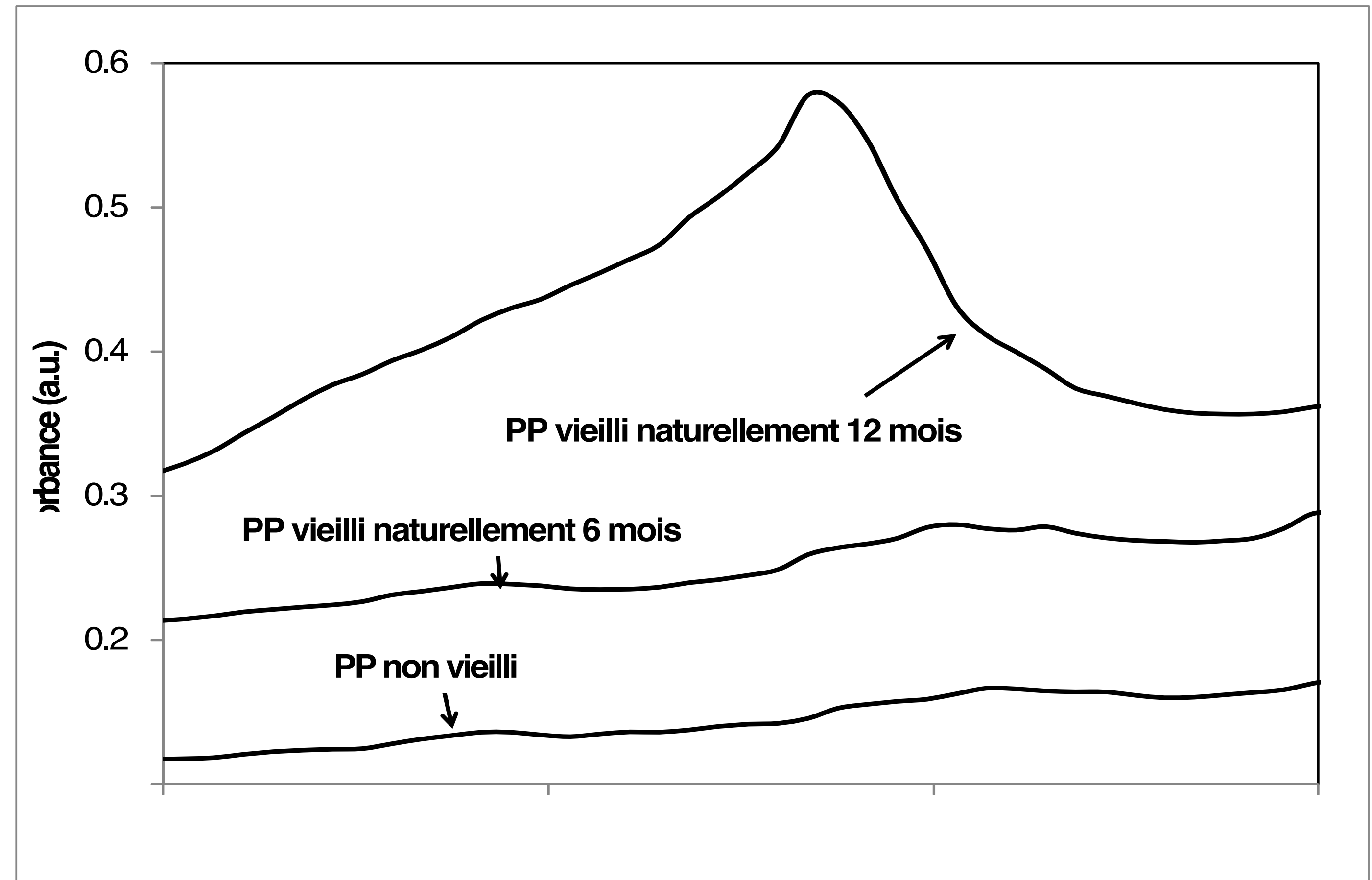
- Après 6 mois, apparition d'une nouvelle bande d'absorption à $3\,300\text{ cm}^{-1}$ dans la région hydroxyle (entre $3\,200$ et $3\,500\text{ cm}^{-1}$)
- Assigné à la vibration d'étirement de la liaison OH dans les groupes acides carboxyliques formés soit à la suite d'une réaction de photo-oxydation, soit après une réaction d'hydrolyse impliquant la liaison ester



Résultats – IRTF (infrarouge à transformée de Fourier)

Polypropylène

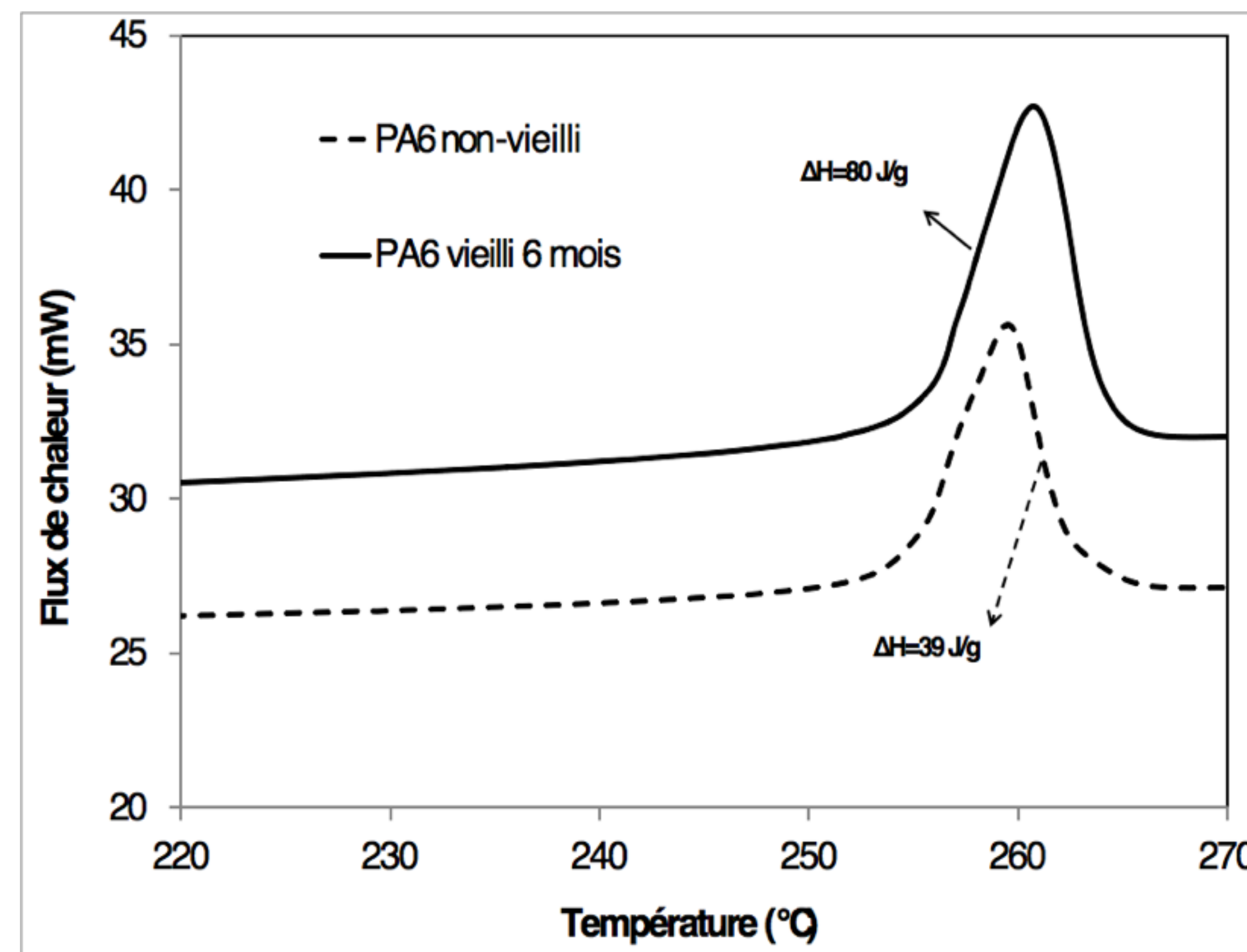
- Comparaison de la région carbonyle du spectre IRTF
- Pas de changements notables après 6 mois d'exposition aux intempéries
- Large bande non-symétrique avec un pic à $1\,710\text{ cm}^{-1}$ après 12 mois
- Pas de nouvelles bandes dans la région hydroxyle du spectre du PP vieilli détectées après vieillissement
- Présence des produits carbonyles confirme les réactions d'oxydation



Comparaison de la région carbonyle du spectre infrarouge du PP à l'état non vieilli et après 6 à 12 mois de vieillissement naturel

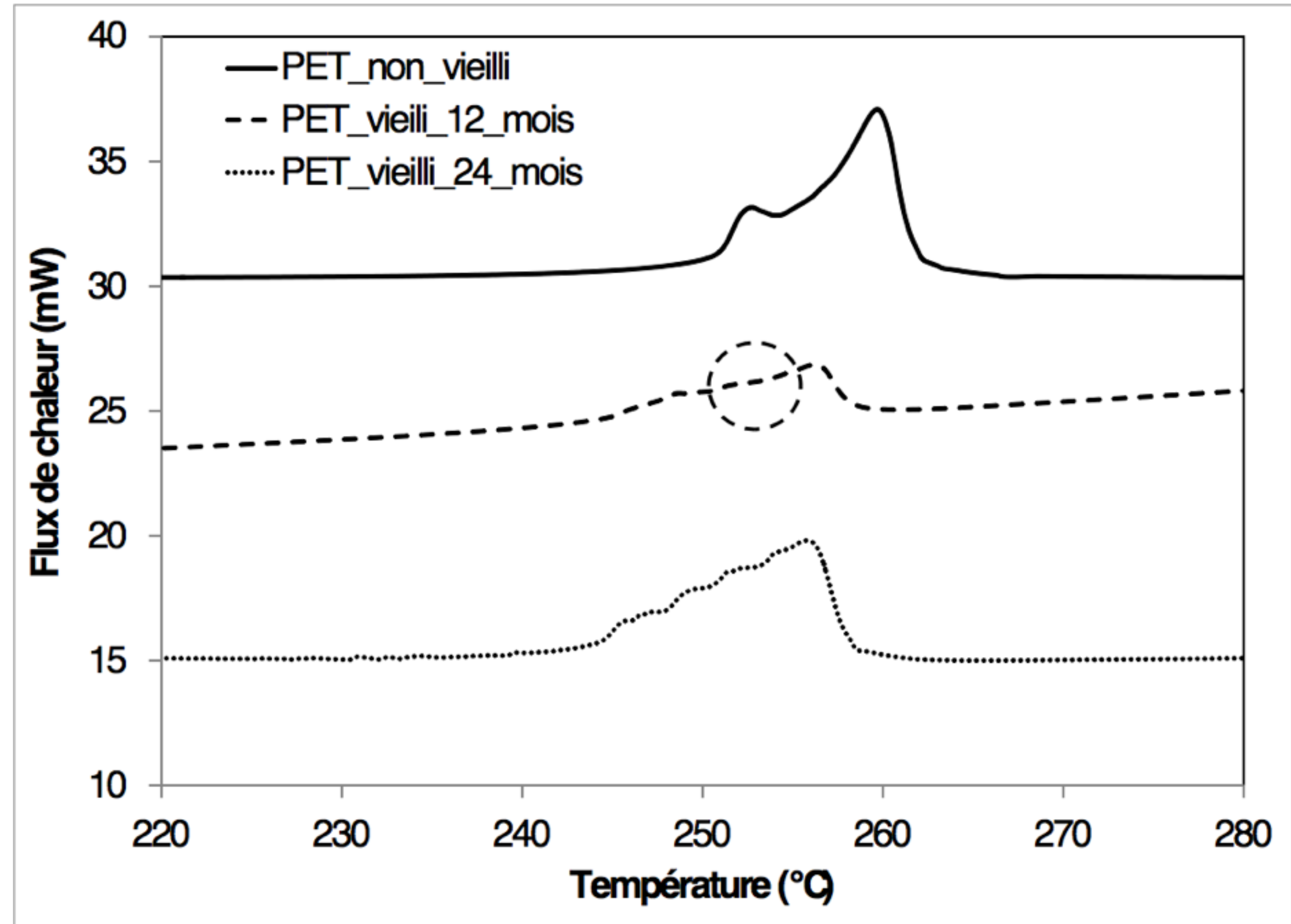
Résultats – Calorimétrie différentielle à balayage du Polyamide

- L'enthalpie de fusion de PA6 vieilli de 6 mois ($\Delta H = 80 \text{ J / g}$) est deux fois plus élevée que celle du matériau neuf reçu ($\Delta H = 39 \text{ J / g}$)
- La cristallinité des fibres après 6 mois de vieillissement est 2 fois supérieure à celle du matériel reçu neuf
- Cela cause une augmentation de la densité des fibres et diminue la longueur des cordes
- La cristallinité des fibres de polyamide reste inchangée après 6 mois d'exposition jusqu'à la fin de l'exposition aux intempéries



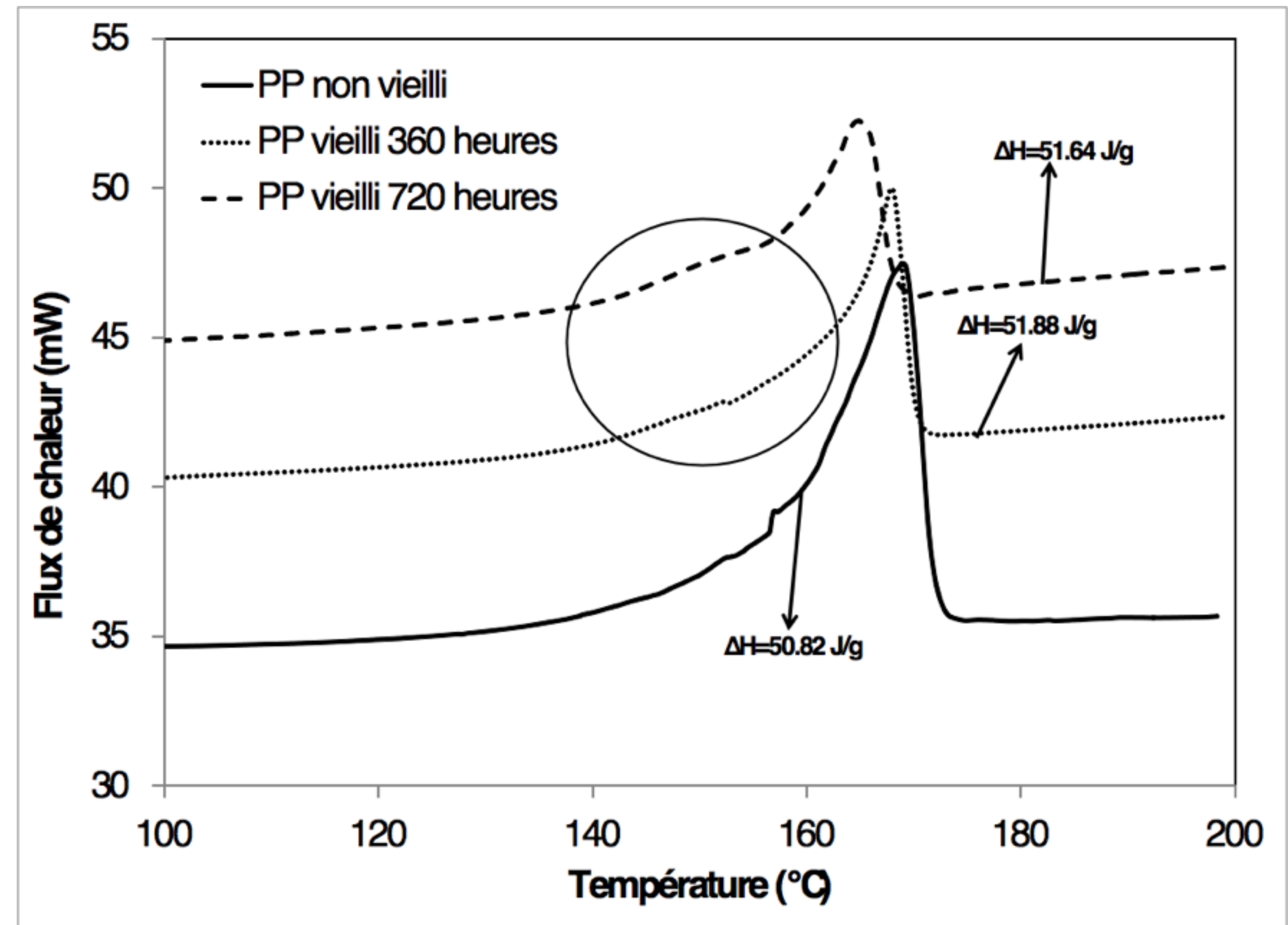
Résultats – Calorimétrie différentielle à balayage du polyester

- Émergence graduelle de plusieurs épaulements au fur et à mesure que le temps de vieillissement augmente
- Le pic de fusion cristalline du matériau neuf reçu est constitué de deux maximums bien définis
- Après 12 mois de vieillissement, un troisième maximum peut être vu
- Après 24 mois de vieillissement, le pic de fusion cristallin a au moins 5 épaulements
- Développement d'épaulements avec le temps de vieillissement dû à l'élargissement du spectre de taille de cristal, à la suite d'un phénomène de recristallisation
- Pendant la recristallisation, des molécules mobiles plus petites provenant des réactions de scission de chaîne qui se déroulent pendant le vieillissement sont insérées dans des cristaux existants et allongent leur taille



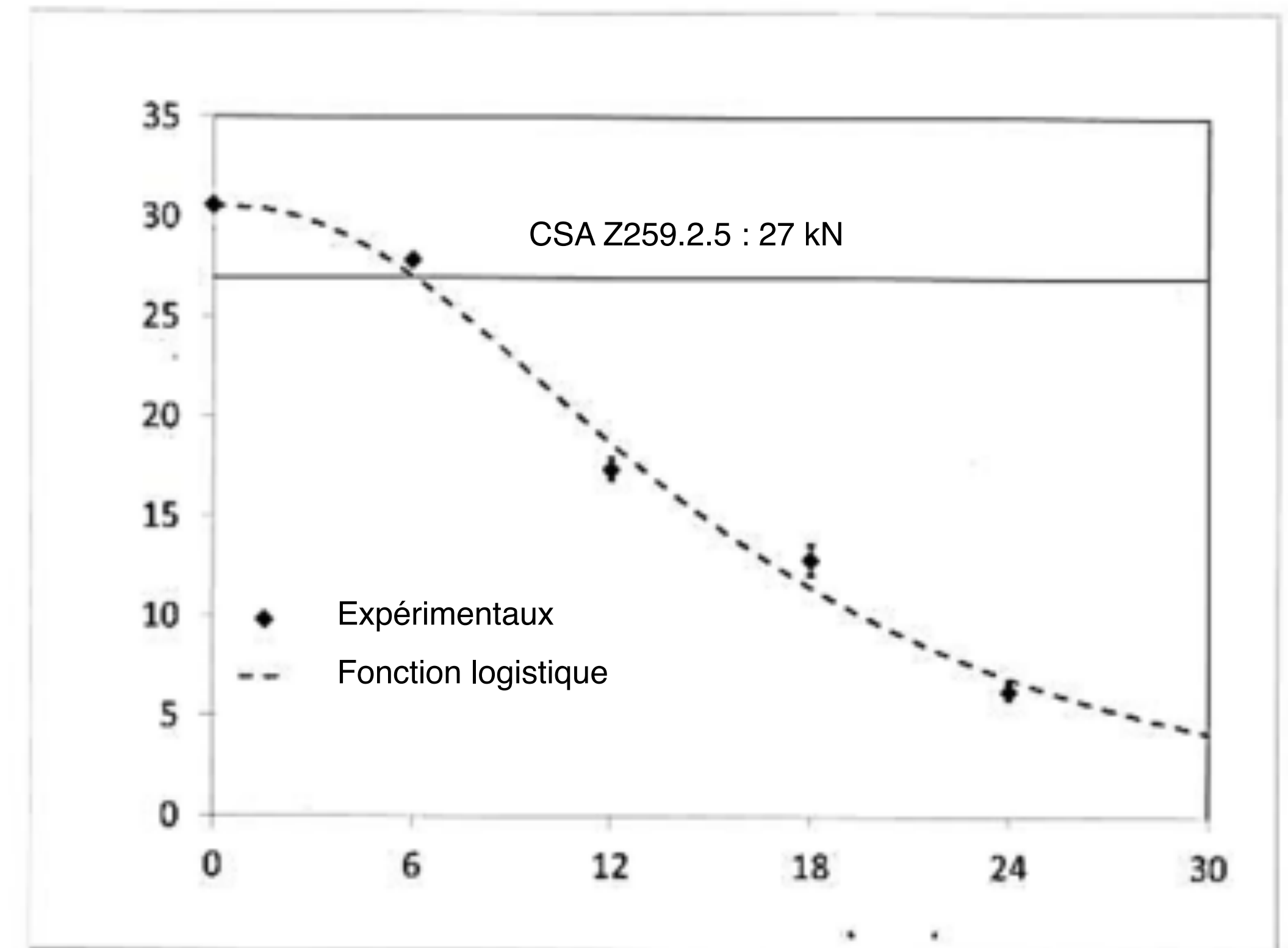
Résultats – Calorimétrie différentielle à balayage du polypropylène

- Comparaison des thermogrammes des fibres de PP neuves reçues et après 360 et 720 heures de vieillissement en laboratoire
- À noter que l'épaulement situé vers les plus basses températures devient plus prononcé après le vieillissement



Résultats – Modèle mathématique

- Modèle mathématique : extrapoler la résistance à la traction résiduelle par rapport au temps d'exposition
- Graphique : résistance à la traction vs durée d'exposition : forme sigmoïdale (courbe sinusoïdale)
- L'un des modèles les plus utilisés pour décrire ces courbes : fonction logistique



Courbe sigmoïdale du polypropylène

Fonction logistique

- Fonction logistique :

$$F_{rupt} = \frac{F_{rupt0} - F_{rupt\infty}}{1 + \left(\frac{t}{t_0}\right)^p} + F_{rupt\infty}$$

$$t_{crit} = t_0 \left(\frac{F_{rupt0} - F_{rupt\infty}}{F_{rupt} - F_{rupt\infty}} - 1 \right)^{\frac{1}{p}}$$

F_{rupt} : résistance à la traction de la corde au temps t

F_{rupt0} : résistance à la traction de la corde reçue

$F_{rupt\infty}$: limite de la résistance à la traction vers laquelle la courbe logistique tend quand la durée de vieillissement devient très long (plus que 5 ans)

t : durée de vieillissement

t_0 : temps pour lequel F_{rupt} est la moitié de la différence entre F_{rupt0} et $F_{rupt\infty}$

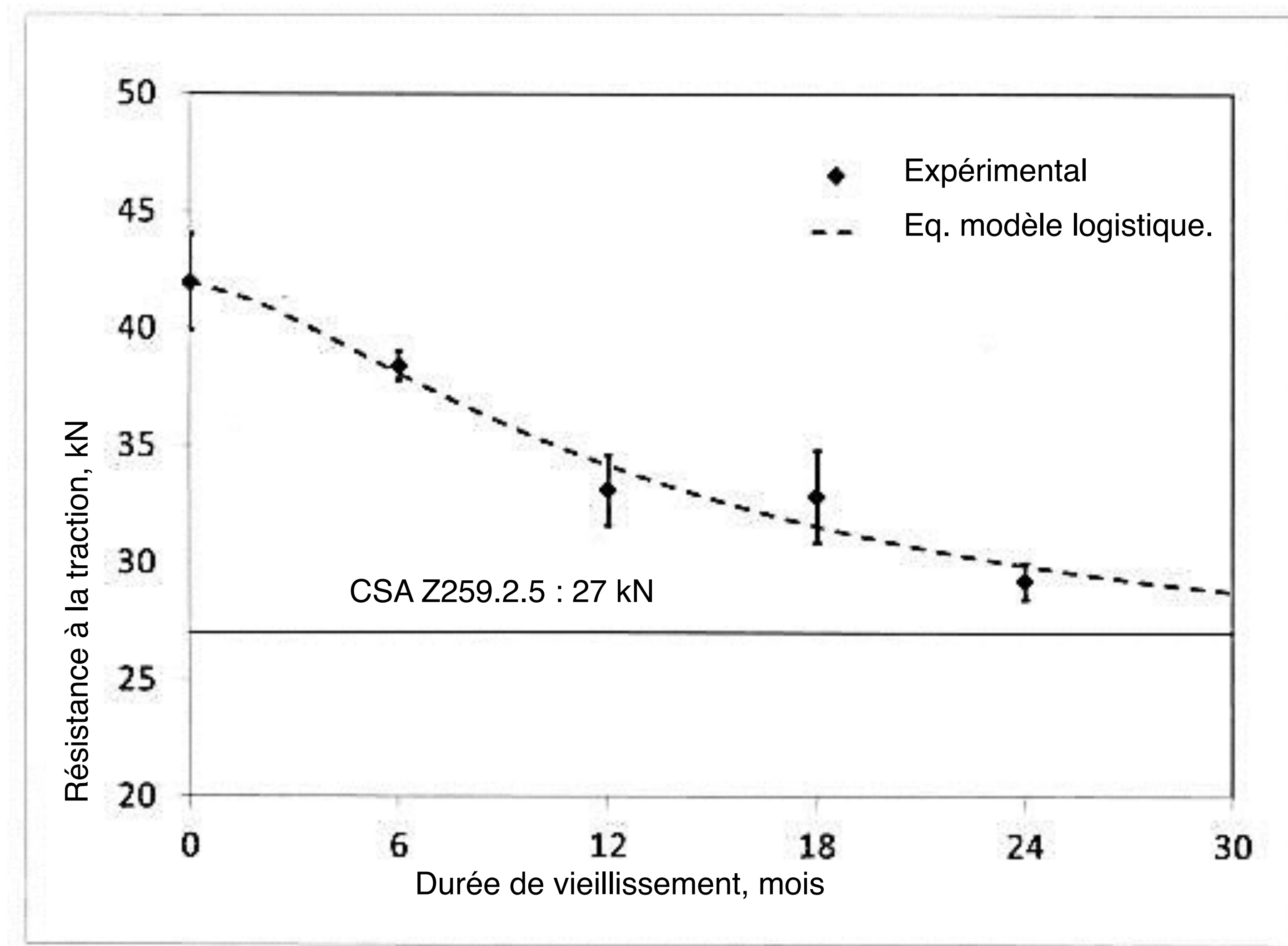
p : constante de la corde

Valeurs des paramètres de la fonction logistique

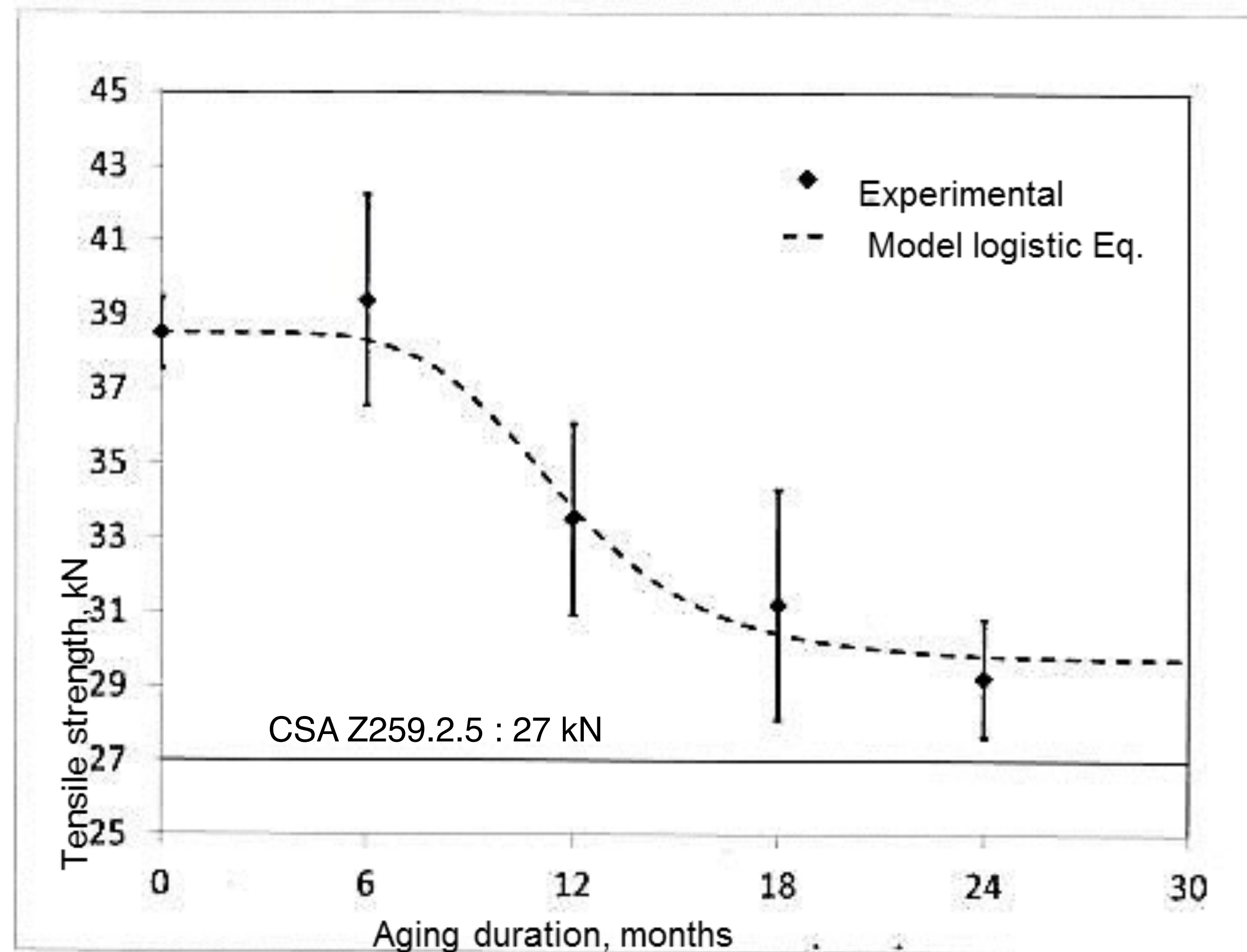
- $F_{rupt\infty}$, t_0 et p sont calculés pour chaque corde par une régression des moindres carrés avec l'outil SOLVER EXCEL (Microsoft Corporation)
- Pour Multiline et Polyester, le modèle ne s'applique pas, car $F_{rupt\infty}$ ne tombe pas en dessous de 27 kN

Paramètres	Cordes					
	Polyamide	Multiline	Polyester	Polypropylène	Polyéthylène	Polysteel ^{MD}
P	1,51	3,43	5,55	2,26	8,49	4,60
t_0 (months)	13,57	21,91	11,74	15,11	13,99	9,79
$F_{rupt\infty}$ (kN)	24,70	34,28	29,68	-1,39	21,60	20,07

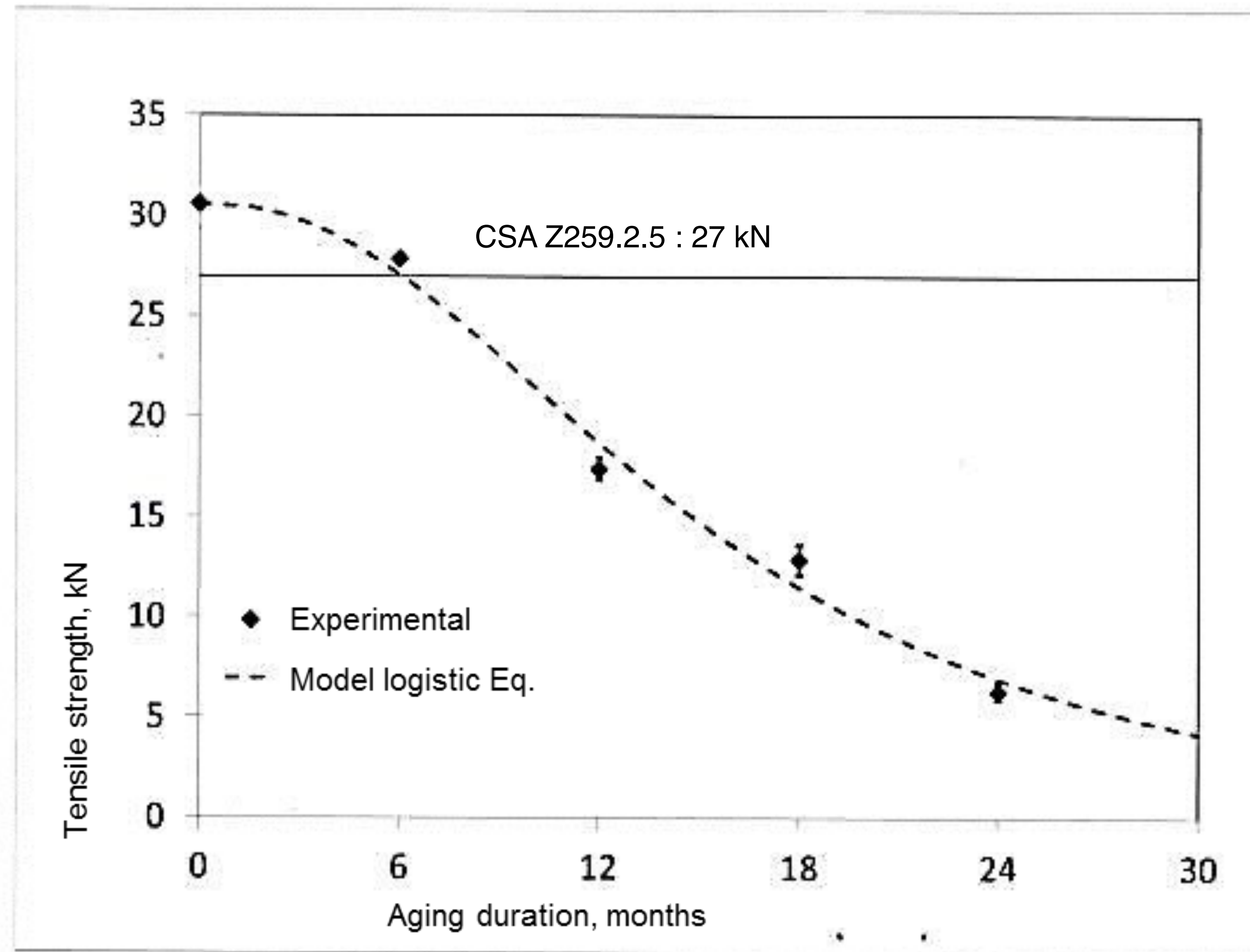
Modèle mathématique – Polyamide



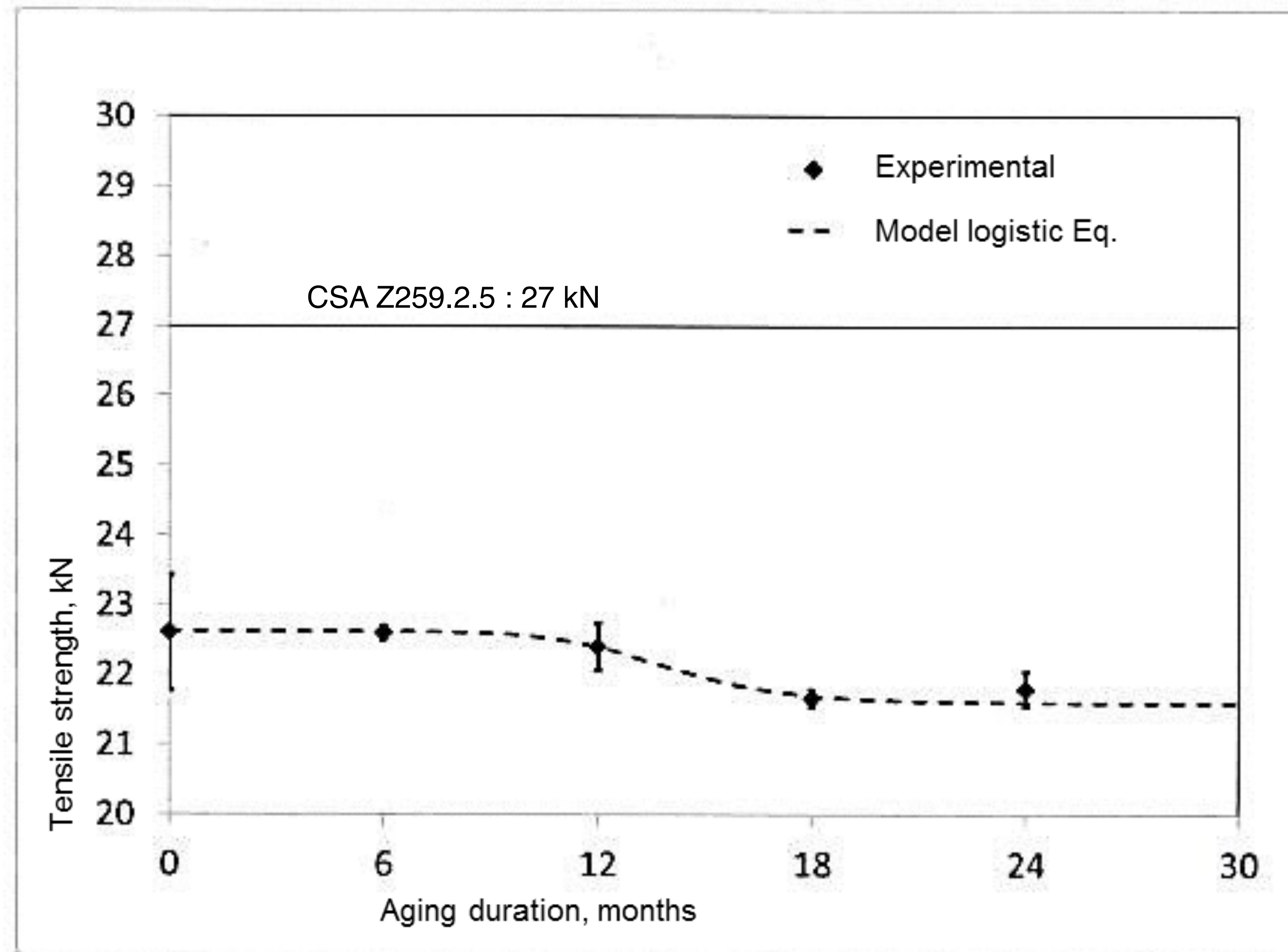
Modèle mathématique – Polyester



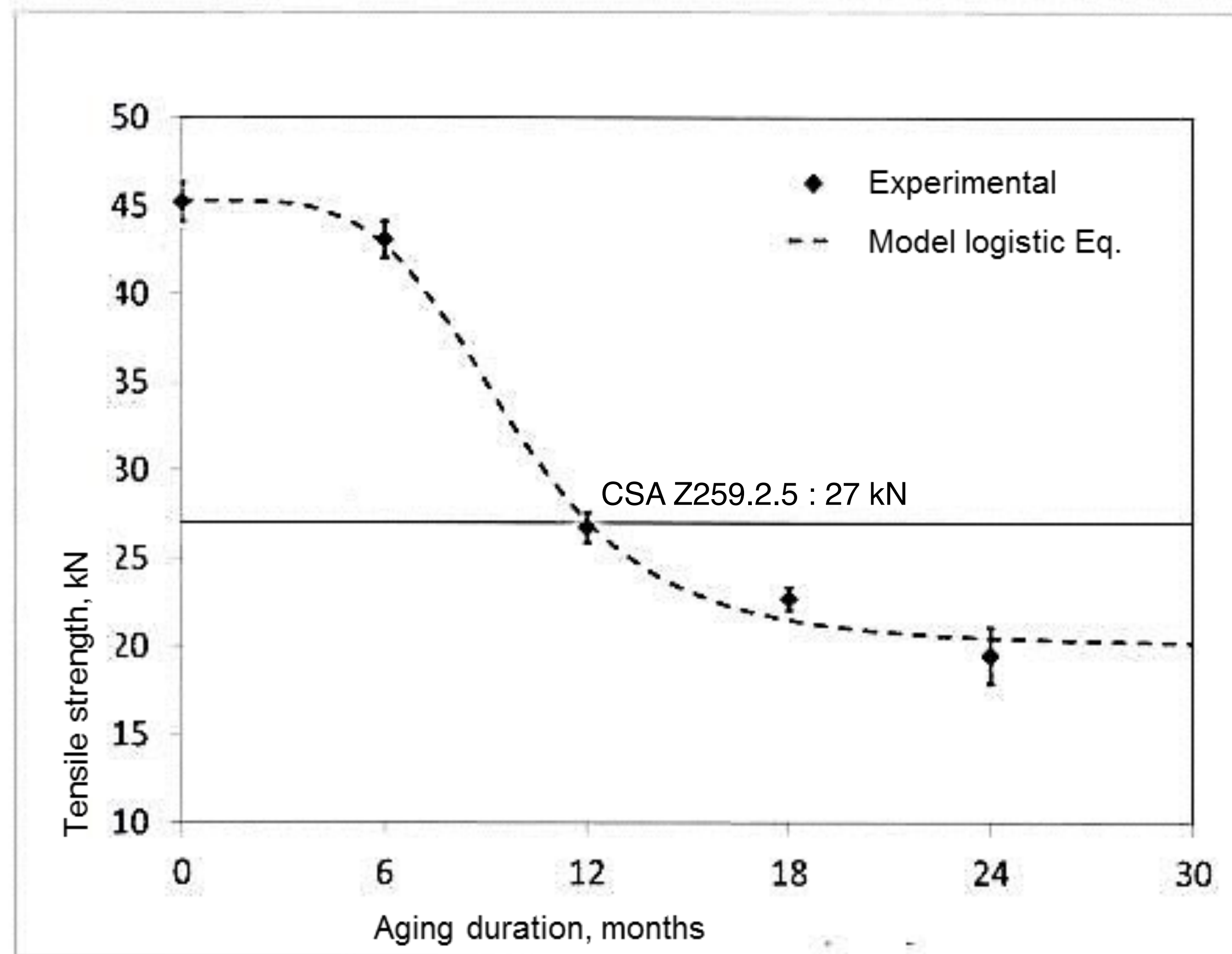
Modèle mathématique – Polypropylène



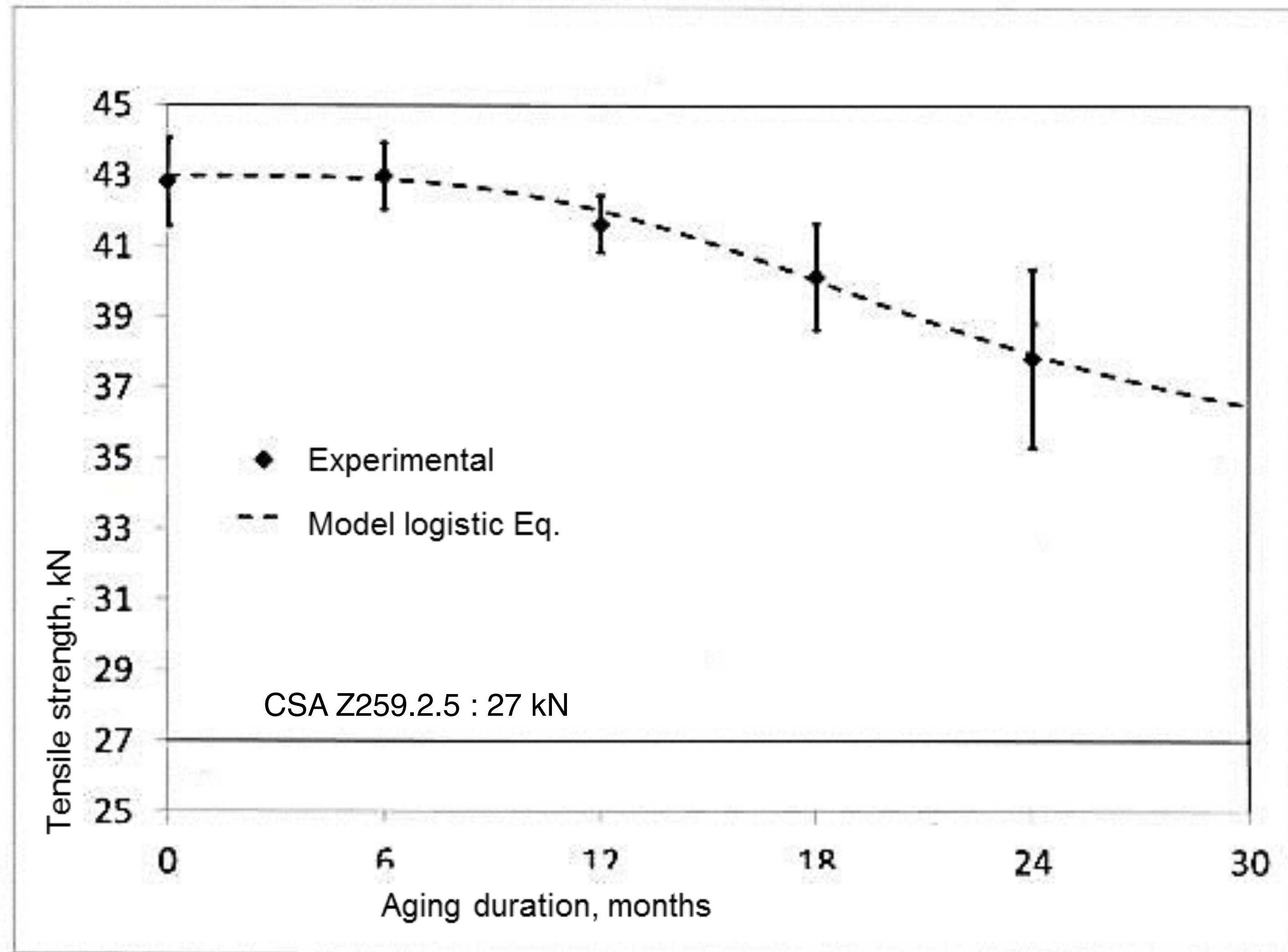
Modèle mathématique – Polyéthylène



Modèle mathématique – Polysteel^{MD}



Modèle mathématique – Multiline



Modèle mathématique – Application

- Selon ce modèle :
- Multiline et Polyester ne tombent pas en dessous de 27 kN même si exposés à des intempéries extérieures > 5 ans
- Le polyamide atteindra 27 kN après 47 mois (4 ans)
- Polysteel^{MD} atteindra 27 kN après 12 mois (1 an)
- Le polypropylène atteindra 27 kN après 6 mois (0,5 an)
- Le modèle d'équation logistique ne s'applique pas à Kernmantle et au polyéthylène (courbe pas sinusoïdale)
- Même si l'équation logistique prédit que Kernmantle, Multiline et Polyester ne seront jamais inférieurs à 27 kN après un très long temps d'exposition, il est conseillé de les surveiller après 4 ans de service

Conclusion – Essais de résistance à la traction

Classement des cordes		
Catégorie 1	Catégorie 2	Catégorie 3
Perte négligeable en résistance après traitement de vieillissement naturel	Perte modérée en résistance après traitement de vieillissement naturel	Perte importante en résistance après traitement de vieillissement naturel
Kernmantle	Multiline	Polypropylène
Polyéthylène	Polyamide	Polysteel ^{MD}
	Polyester	

Conclusion – Essais de résistance à la traction

- Kernmantle et polyéthylène : pas de différence significative entre la résistance à la traction des cordes reçues et celles soumises à 24 mois d'exposition extérieure (Test student)
- Meilleur comportement contre l'exposition au vieillissement
- Polyéthylène : résistance à la traction de la corde en polyéthylène neuve (22,6 kN) ne rencontre pas les exigences de résistance de CAN / CSA Z259.2.5 (27 kN), rencontre OSHA (22,2 kN)
- Polyéthylène : pas adéquat pour fabriquer des cordes d'assurance verticale au Canada, mais convient aux États-Unis

Conclusion – Essais de résistance à la traction

- Multiline, polyamide et polyester : décroissement détectable de la résistance à la traction à la fin de l'exposition aux intempéries de 24 mois
- La résistance à la traction résiduelle rencontre encore les exigences de CAN/CSA Z259.2.5
- La méthode de construction du multiline est différente parce que ses torons sont renforcés avec des fibres de polypropylène

Conclusion – Essais de résistance à la traction

- Le vieillissement conduit à une perte significative de la résistance à la traction du polypropylène et Polysteel^{MD} de sorte que celle-ci descend au-dessous de l'exigence minimale de CAN/CSA Z259.2.5 avant l'exposition au vieillissement de 24 mois
- Ces cordes offrent la pire performance, pas adéquates comme cordes d'assurance verticale ou dans tout équipement pour sauver des vies

Conclusion – Analyses physico-chimiques

- Polyamide et polyester conviennent pour fabriquer des cordes d'assurance verticale
- Polyester retient mieux la résistance mécanique que le polyamide; meilleur choix pour la fabrication de cordes à 3 torons torsadés
- Polyoléfines (polyéthylène, polypropylène) ne conviennent pas pour des situations où la vie humaine doit être protégée
- Essais de caractérisation physico-chimiques : **oxydation** comme le principal mécanisme de dégradation menant à la perte de propriétés mécaniques pour chaque type de fibre

Décoloration du polypropylène

- Cordes de polypropylène (et dans une moindre mesure que le Polysteel™) exhibent une décoloration prononcée durant l'exposition aux intempéries
- Cette perte de couleur est une indication visuelle du procédé de dégradation chimique



PP reçu (haut) et PP vieilli naturellement pendant 18 mois (bas)

Limite de l'étude

- Influence de la construction de la corde sur les propriétés mécaniques après traitements de vieillissement statique pas abordée
- Construction "noyau gaine" de Kernmantle présente un excellent comportement au vieillissement, même si elles sont constituées de fibres de polyester et de polyamide qui sont susceptibles de se dégrader chimiquement lorsqu'elles sont exposées à la lumière du soleil et à l'humidité
- Les essais de résistance à la traction sont des essais statiques
- Lors de l'arrêt d'une chute accidentelle, la corde est soumise à une force dynamique pendant un court intervalle de temps
- La dégradation due au vieillissement et à l'utilisation des cordes sur les chantiers n'a pas été abordée dans cette étude
- Les effets combinés des conditions environnementales et de l'usure en raison de l'utilisation de la corde accélèrent le vieillissement et la dégradation de la corde
- Une étude des propriétés d'impact des cordes vieilles utilisées sur les chantiers de construction serait un complément à cette étude

Diffusions des résultats

- ARRIETA, C., LAN, A., NGUYEN-TRI, P., VU-KHANH, T. « Étude sur le vieillissement, la dégradation et la durée de vie des équipements de protection contre les chutes - cordes d'assurance » Études et recherches. Rapport R-925. IRSST, Montréal, 2016, 78 pages.
- LAN, A., ARRIETA, C. « Results of 24 months outdoor weathering of ropes used in fall arrest equipment » *International Society for Fall Protection*. Atlanta, Georgia. <http://www.isfp.org>, Juin 2016
- LAN, A., ARRIETA, C., VU-KHANH, T. « Results of 24 months outdoor weathering of ropes used in fall arrest equipment » In: Proceedings of the *Symposium of the International Society for Fall Protection*. Atlanta, Georgia. 29-30 Juin in 2016.
- LAN, A., GALY, B. « Effet du vieillissement sur la résistance mécanique des cordes d'assurance verticales » *Travail et santé*, 32(3), 29-33. 2016
- LAN, A., ARRIETA, C., VU-KHANH, T. « Outdoor weathering of synthetic fibers ropes used in fall arrest equipment – Polyamide and Polyester ropes » *International Society for Fall Protection*. <http://www.isfp.org>. Juin 2013.
- LAN, A., ARRIETA, C., VU-KHANH, T. « Outdoor weathering of synthetic fibers ropes used in fall arrest equipment – Polyamide and Polyester ropes » In : Proceedings of the *Symposium of the International Society for Fall Protection*. Las Vegas, Nevada. Juin 2013.
- ARRIETA, C., YINGYING, D., LAN, A., VU-KHANH, T. « Outdoor Weathering of Polyamide and Polyester Ropes Used in Fall Arrest Equipment » *Journal of Applied Polymer Science*. Mai 2013.