



ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA PROPAGATION DU FEU LE LONG D'UN CHEMIN DE CÂBLES ÉLECTRIQUES

Romain MEINIER – 02/12/2021

Contexte de l'étude

- Thématique : Feux de câbles électriques
 - Plusieurs kilomètres de chemins de câbles électriques dans les installations nucléaires
 - 70 départs de feu et incendies impliquant des chemins de câbles recensés dans la base de l'OCDE « FIRE » depuis 1990
- Evaluation du risque incendie
 - Nombre important de locaux dans les installations
 - 1ère analyse (screening) avec des outils simples et conservatifs
 - 2nde analyse avec des outils CFD pour les locaux à risque potentiel
- Modèles simples nécessaires



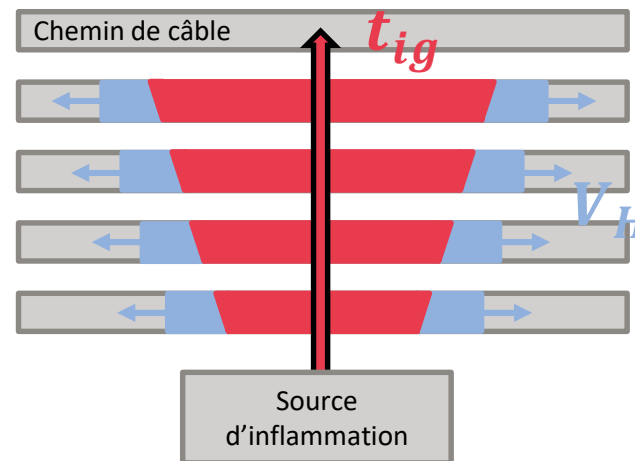
Incendie de la centrale de Browns-Ferry



Feu de chemins de câbles (PRISME-2)

Objectif de la thèse

- De proposer et valider des modèles simples d'inflammation et de propagation de la flamme le long d'un chemin de câbles électriques
- Deux grandeurs clés
 - Le délai d'inflammation : t_{ig}
 - La vitesse de propagation horizontale : V_H



t_{ig} et V_H
(modèles)

SYLVIA,
CALIF3S/ISIS...

Puissance du feu



Etude multi-échelle

Petite échelle

- Echantillon de câbles
- Cône calorimètre/DSC/XFA



Moyenne échelle

- Un seul chemin de câbles
- Dispositif CISCCO



Grande échelle

- Plusieurs chemins de câbles
- Essais PRISME-2 et PRISME-3



Cadre de la thèse

$$k, \rho, c_p, T_{ig}, CHF, t_{ig}$$



$$V_H$$

Cadre de la présentation

$$\dot{Q}_t = f(t_{ig}, V_H)$$

Plan de la présentation

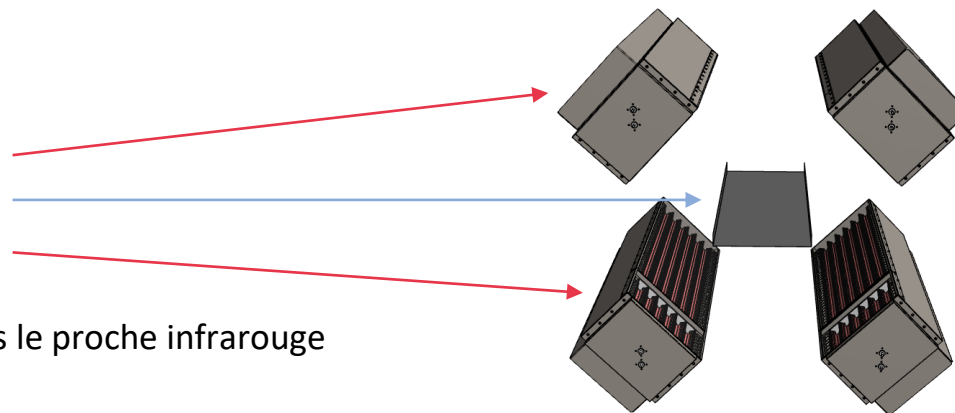
- | *Introduction*
- | **Dispositif d'étude CISCCO**
- | Essais de propagation à moyenne échelle
- | Conclusion et perspectives



Dispositif CISCCO

Présentation générale du dispositif

- CISCCO : *Cable Ignition and Spreading under Controlled COnditions*
- Principe : Contrôler l'inflammation et la propagation du feu sur un chemin de câbles à l'aide de panneaux rayonnants simulant les effets thermiques de chemins de câbles environnants enflammés
- Eléments principaux :
 - Panneaux rayonnants supérieurs
 - Chemin de câbles
 - Panneaux rayonnants inférieurs
- 48 lampes halogènes émettant dans le proche infrarouge



Représentation des éléments principaux de CISCCO

Description des zones d'études

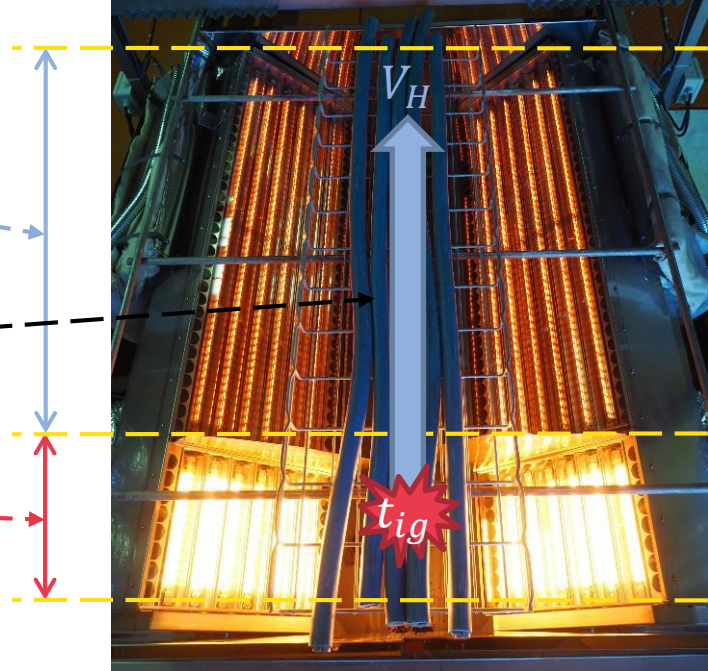
Zone de Propagation (ZP)

- Rôle : Préchauffer le chemin de câbles
- Flux de chaleur incident $\leq 25 \text{ kW/m}^2$
- Longueur = 1,1 m

Chemin de câbles

Zone d'Inflammation (ZI)

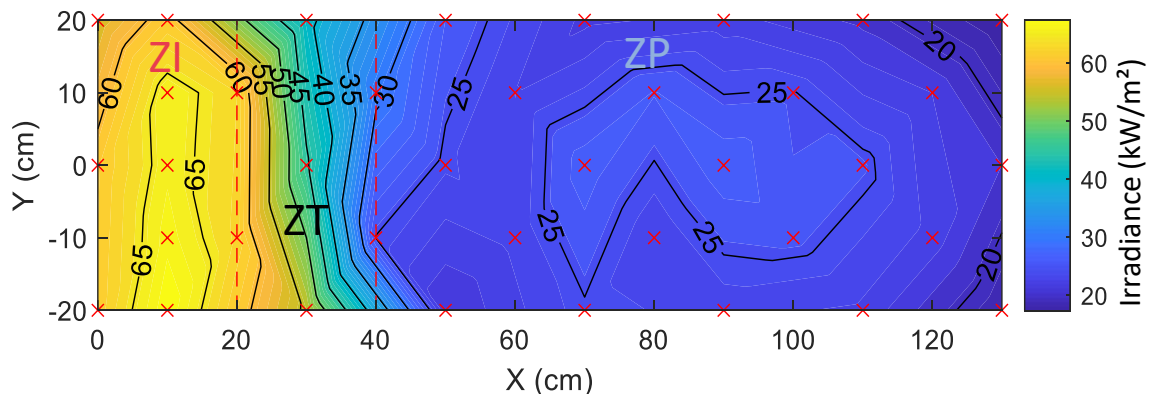
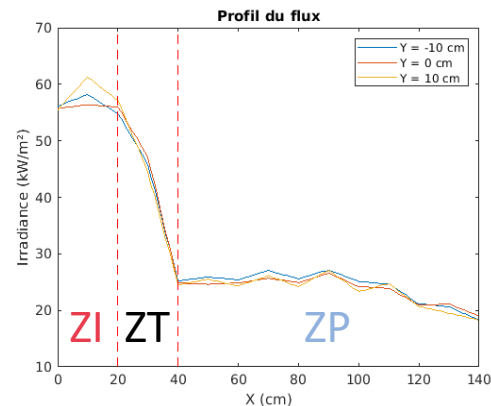
- Rôle : Enflammer le chemin de câbles
- Flux de chaleur incident $\leq 65 \text{ kW/m}^2$
- Longueur = 0,3 m



Vue du dessus avec les panneaux inférieurs activés

Qualification des panneaux rayonnants

- Plaque de cartographie
- Mesures du flux de chaleur incident
 - Fluxmètre total MEDTHERM
 - Jusqu'à 52 points de mesure
- Cartographie du flux de chaleur incident
 - Reconstruction par interpolation
 - Croix rouges : Points de mesures
 - Lignes noires : Isoflux
- Zone de Transition (ZT)
 - Située entre la ZI et la ZP
 - Longueur de la ZT = 0,2 m



Homogénéité des largeurs de zone

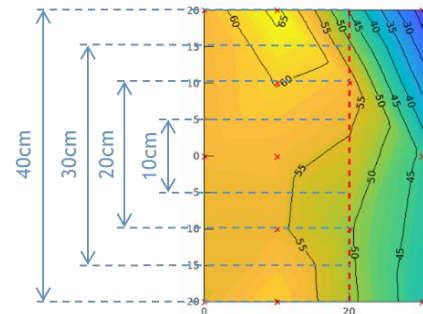
Largeur des zones variant de 10 à 40 cm

Coefficient d'homogénéité $H = 2 \times \frac{\text{Ecart-Type}}{\text{Moyenne}}$

- Calculé par zone (ZI/ZP)
- Et par largeur L

Valeurs de H pour L = 20 cm

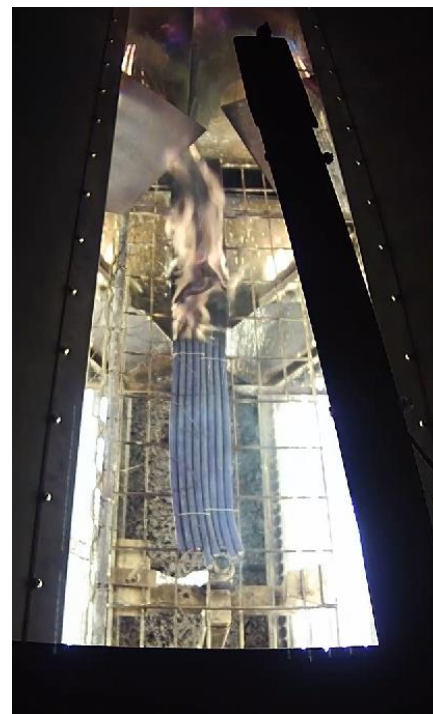
- $\pm 5 \%$ sur la zone d'inflammation (ZI)
- $\pm 10 \%$ sur la zone de propagation (ZP)



Pilotage	Largeur L	ZI	ZP
88 %	40 cm	$\pm 8 \%$	$\pm 14 \%$
	30 cm	$\pm 6 \%$	$\pm 11 \%$
	20 cm	$\pm 5 \%$	$\pm 9 \%$
	10 cm	$\pm 4 \%$	$\pm 8 \%$
44 %	40 cm	$\pm 8 \%$	$\pm 15 \%$
	30 cm	$\pm 6 \%$	$\pm 12 \%$
	20 cm	$\pm 5 \%$	$\pm 10 \%$
	10 cm	$\pm 4 \%$	$\pm 9 \%$
22 %	40 cm	$\pm 9 \%$	$\pm 18 \%$
	30 cm	$\pm 6 \%$	$\pm 15 \%$
	20 cm	$\pm 5 \%$	$\pm 13 \%$
	10 cm	$\pm 5 \%$	$\pm 13 \%$

Plan de la présentation

- | *Introduction*
- | *Dispositif d'étude CISCCO*
- | **Essais de propagation à moyenne échelle**
- | Conclusion et perspectives



Capture lors d'un essai de propagation

Etude de la propagation sur un chemin de câbles électriques : Présentation

■ Câble étudiés

Nom du câble	PE Bleu	PVC Blanc
Composition	PE/EVA/ATH	PVC
Diamètre externe	12 mm	28 mm
Epaisseur GE*	2,5 mm	2,0 mm
Masse linéique	0,25 kg/m	2,00 kg/m

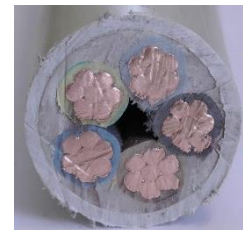
*GE : Gaine externe

■ Flux de chaleur incident en Zone d'Inflammation

- 35 kW/m²
- 50 kW/m²
- 65 kW/m²

■ Température de consigne pour le préchauffage

- Câble PVC Blanc : 180 à 270 °C
- Câble PE Bleu : 270 à 350 °C



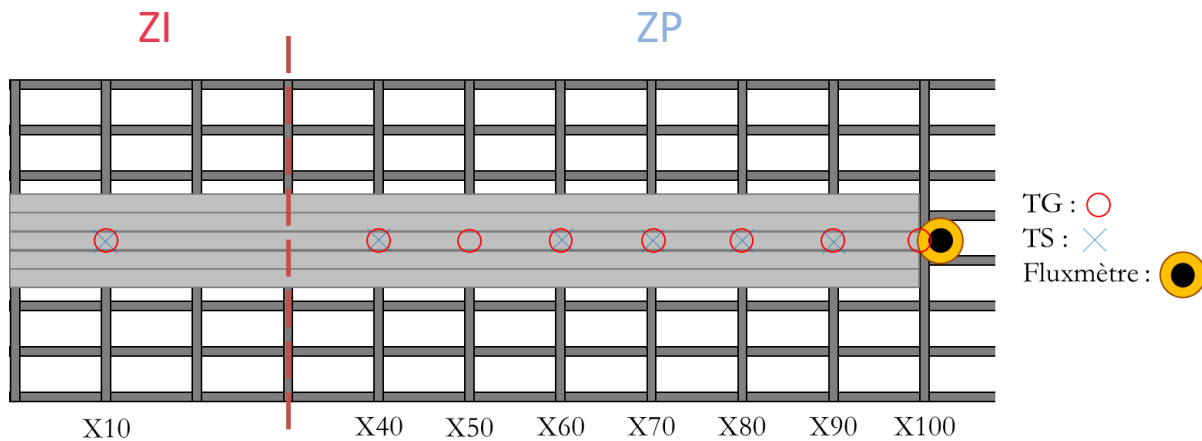
PE Bleu



PVC Blanc

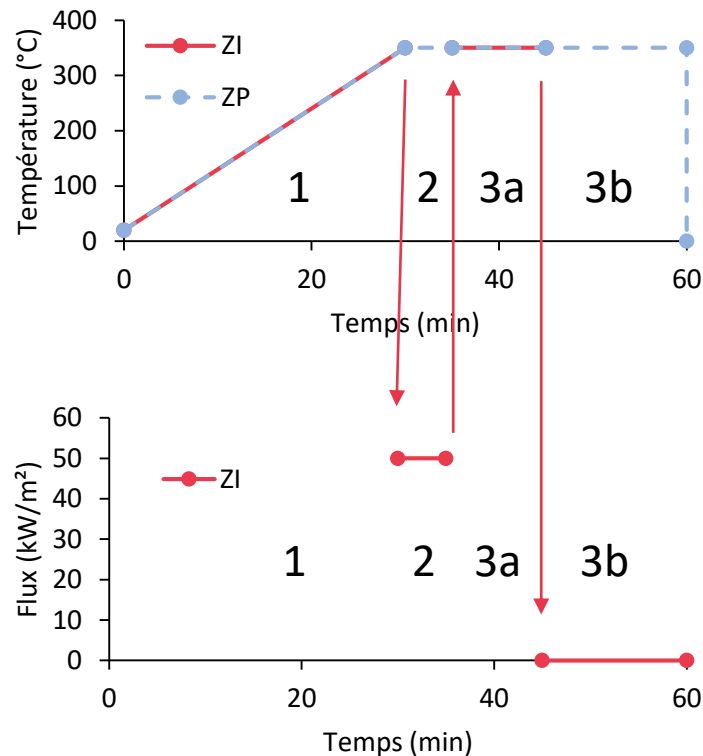
Etude de la propagation sur un chemin de câbles électriques : Métrologie

- Thermocouples (TC)
 - Jusqu'à 10 TC (1,0 mm) dans les gaz situés au dessus du chemin : TG
 - Jusqu'à 8 TC (1,5 mm) dans le solide (gaine du câble) : TS
- Fluxmètre présent en bout de chemin de câbles sur certains essais
- 4 caméras pour superviser l'essai et identifier le front de flamme

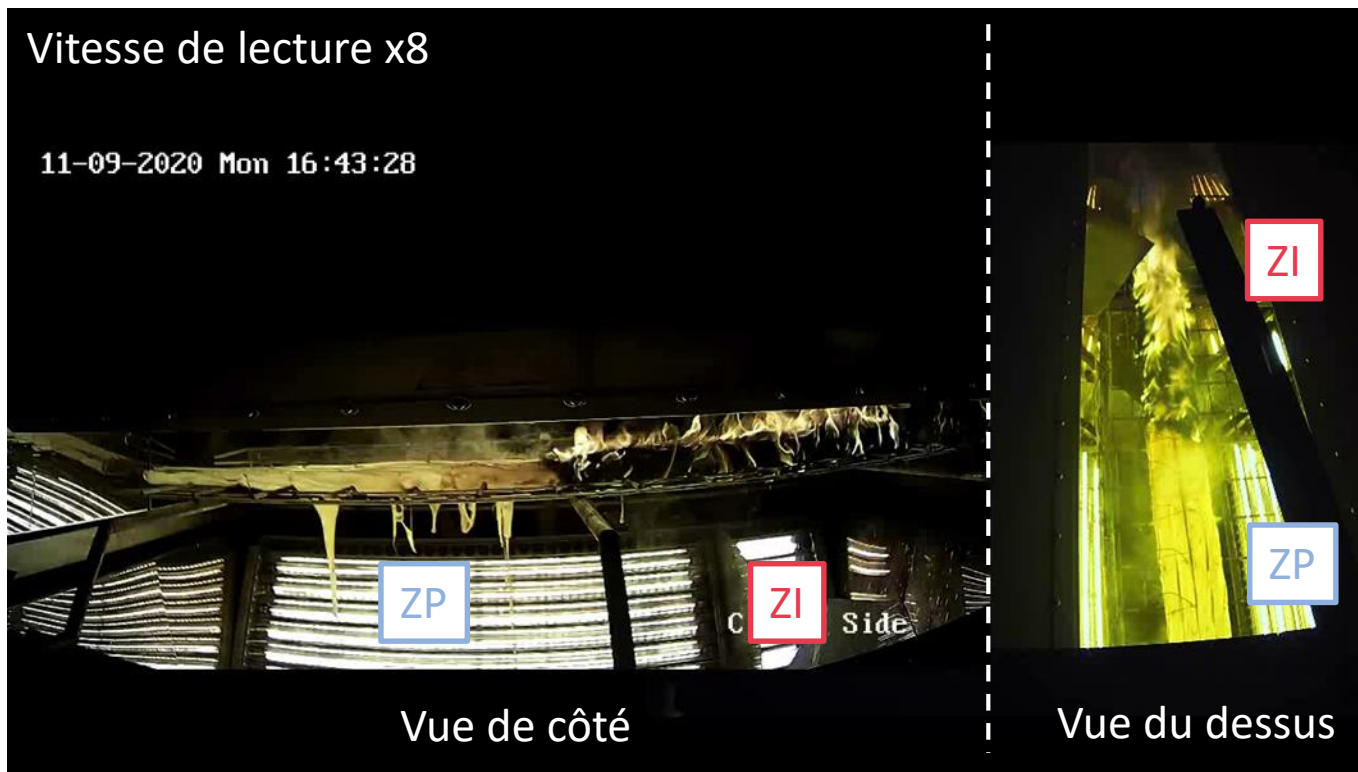


Etude de la propagation sur un chemin de câbles électriques : Procédure des essais

- Phase 1 : Préchauffage (30 min)
- Phase 2 : Inflammation (5 min)
- Phase 3 : Propagation (10-30 min)
 - Partie 3a : Régulation sur les deux zones
 - Partie 3b : Régulation qu'en ZP et extinction de la ZI

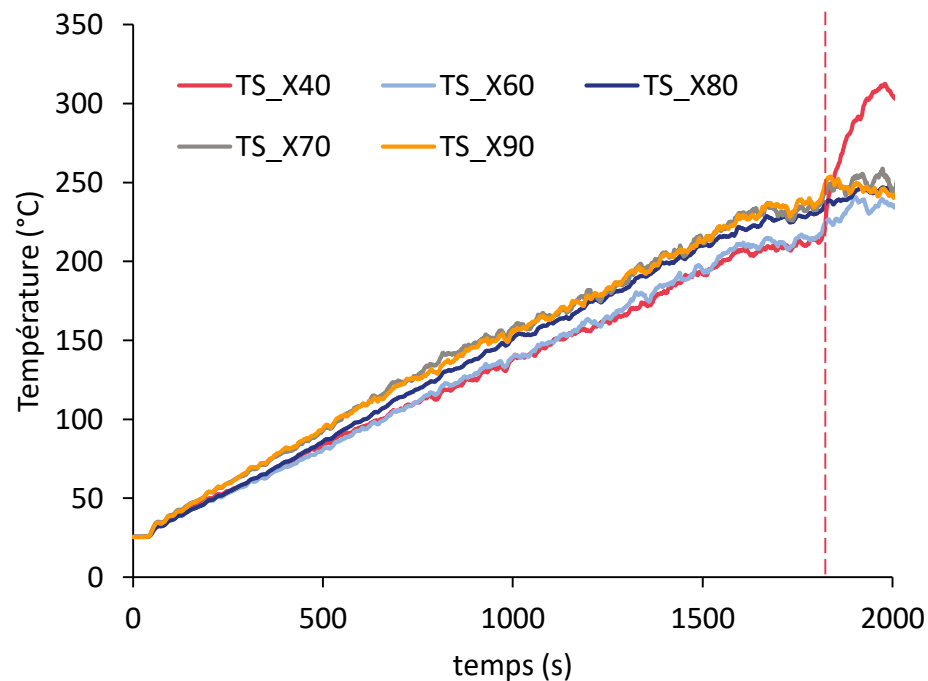


Etude de la propagation sur un chemin de câbles électriques : Essai démo PVC Blanc



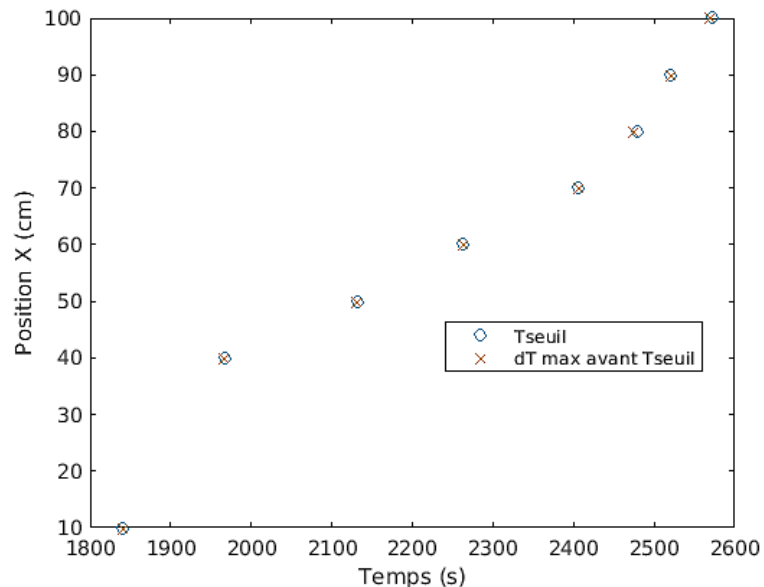
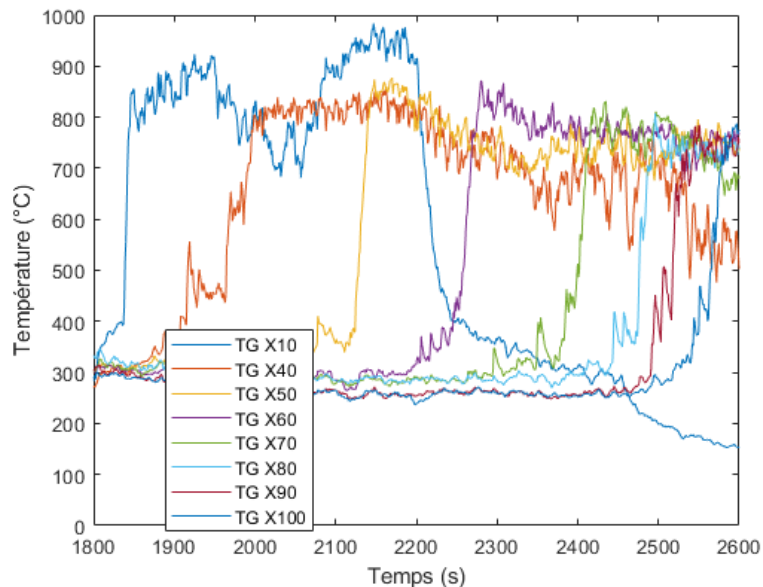
Etude de la propagation sur un chemin de câbles électriques : Température moyenne de préchauffage

- Mesures des températures de la gaine du câble par les thermocouples TS
- La température de préchauffage moyenne est calculée à la fin de la phase de préchauffage (30 min)



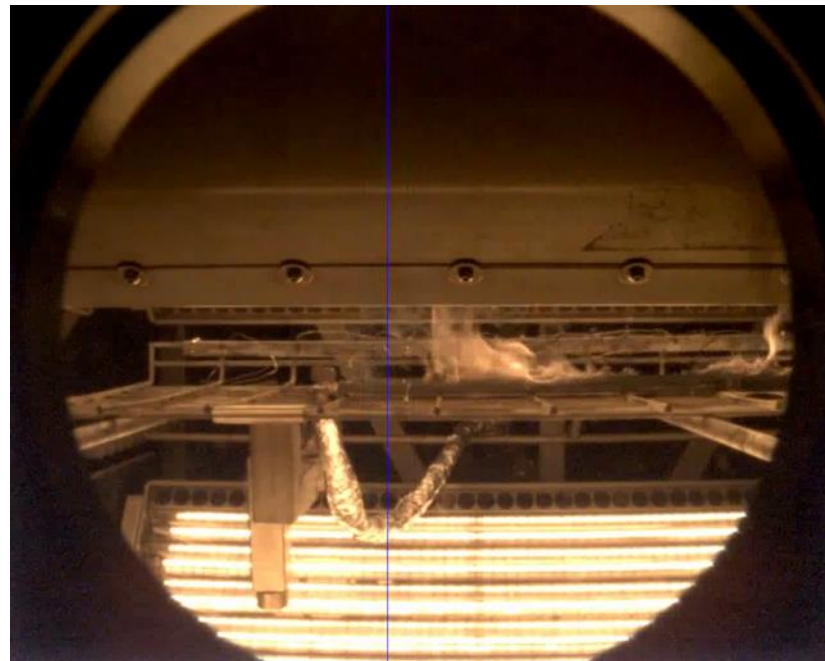
Etude de la propagation sur un chemin de câbles électriques : Passage de la flamme et vitesse de propagation

- Détection du passage de la flamme sur les thermocouples TG par deux méthodes
 - Seuil de température de 600 °C atteint
 - Dérivée en température maximale avant les 600 °C



Etude de la propagation sur un chemin de câbles électriques : Analyse vidéo

- **Quatre phases de la vidéo :**
- Vidéo initiale
- Différence d'images
- Détection du front de flamme
- Vidéo initiale avec front de détection

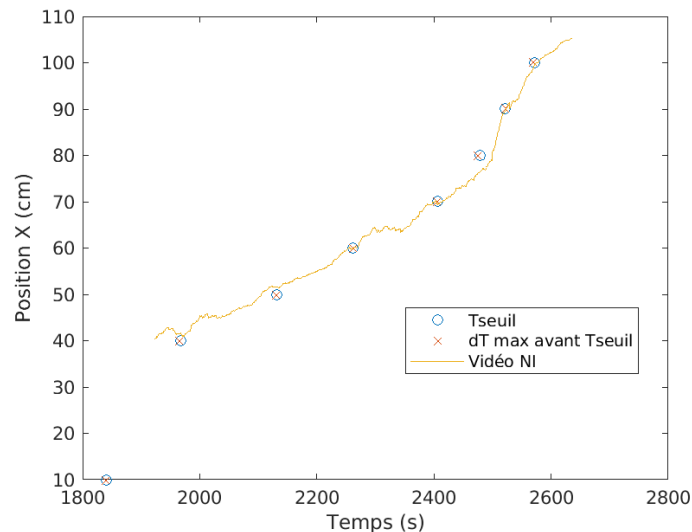
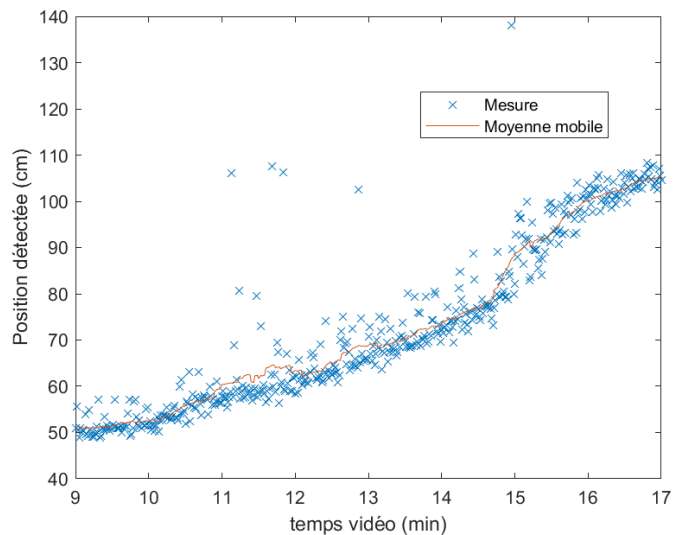


Etude de la propagation sur un chemin de câbles électriques : Analyse vidéo

■ Courbe du front de flamme

- Points de détection pour chaque image analysée
- Calcul de la moyenne mobile sur 30 s

■ Comparaison entre le front de flamme détecté par les TC (2 méthodes) et par l'analyse vidéo



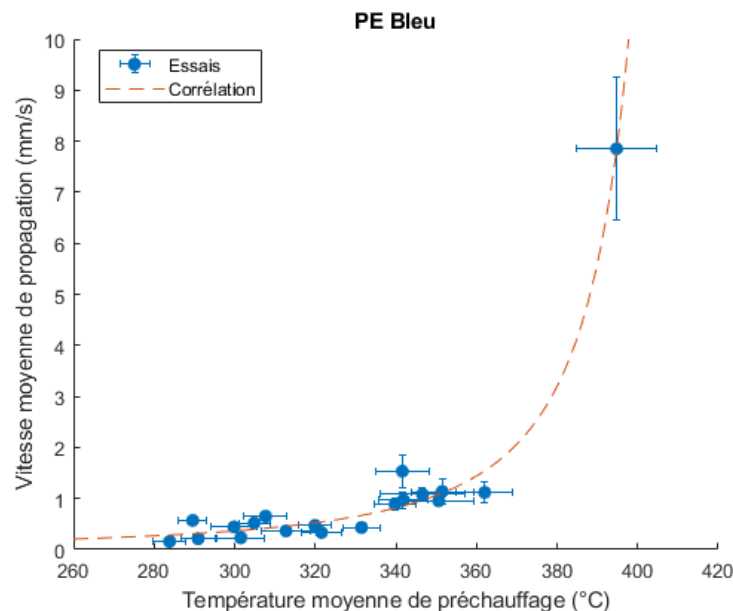
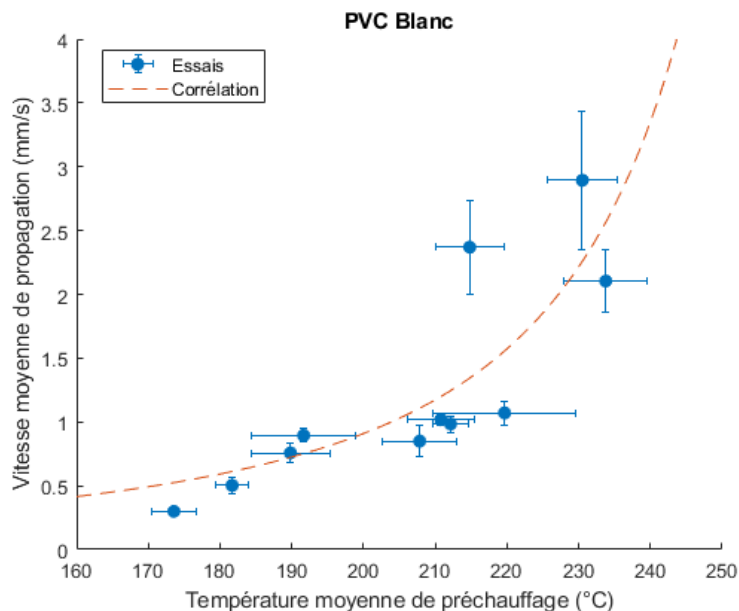
Etude de la propagation sur un chemin de câbles électriques : Corrélation $V = f(T)$

Résultats : Vitesse de propagation du front de flamme en fonction de la température de préchauffage des câbles

Corrélation de type $V(T_s) = \frac{A}{(B - T_s)^2}$

Câble	$A (m \cdot s^{-1} \cdot ^\circ C^2)$	$B (^\circ C)$
PVC Blanc	6,34	283,5
PE Bleu	5,33	420,9

T_{ig}



Plan de la présentation

- | *Introduction*
- | *Dispositif d'étude CISCCO*
- | *Essais de propagation à moyenne échelle*
- | **Conclusion et perspectives**



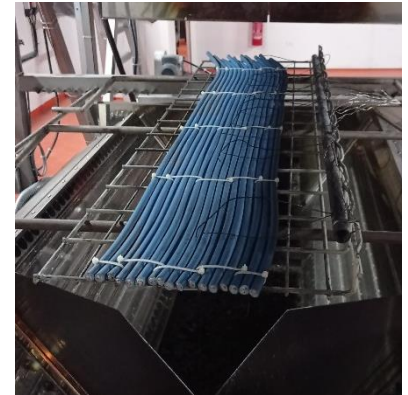
Résidu d'un essai de propagation avec un chemin de câbles PE/EVA/ATH

Conclusion

- Qualification du dispositif CISCCO
 - Qualification des panneaux rayonnants et répartition des flux de chaleur homogène
 - Aptitude du dispositif à réaliser des essais d'inflammation et de propagation maîtrisés
- Etude de la propagation du feu le long d'un chemin de câbles électriques
 - Mesure expérimentale de la vitesse de propagation réalisée par deux méthodes
 - Détermination de corrélations $V_H = f(T_{pre})$ pour deux câbles électriques différents

Perspectives

- Etude approfondie des effets « matériaux » sur les câbles PE/EVA/ATH sur la propagation
 - Effet de l'ATH sur la propagation
 - Température critique de préchauffage
- Etude du second front de flamme présent dans certains cas dû à la combustion des gaines internes du câble électrique
- Effet de l'arrangement du chemin de câbles sur la propagation
 - Largeur de chemin de câbles
 - Plusieurs couches de câbles superposées dans le chemin
- Essais de propagation avec une inclinaison jusqu'à 45°





Merci pour votre attention