



Preditec^{GROUP}

MONITORING DES GEOSYNTHETIQUES DE RENFORCEMENT POUR PREVENIR LES ALEAS DANS LES ZONES KARSTIQUES

ADEME



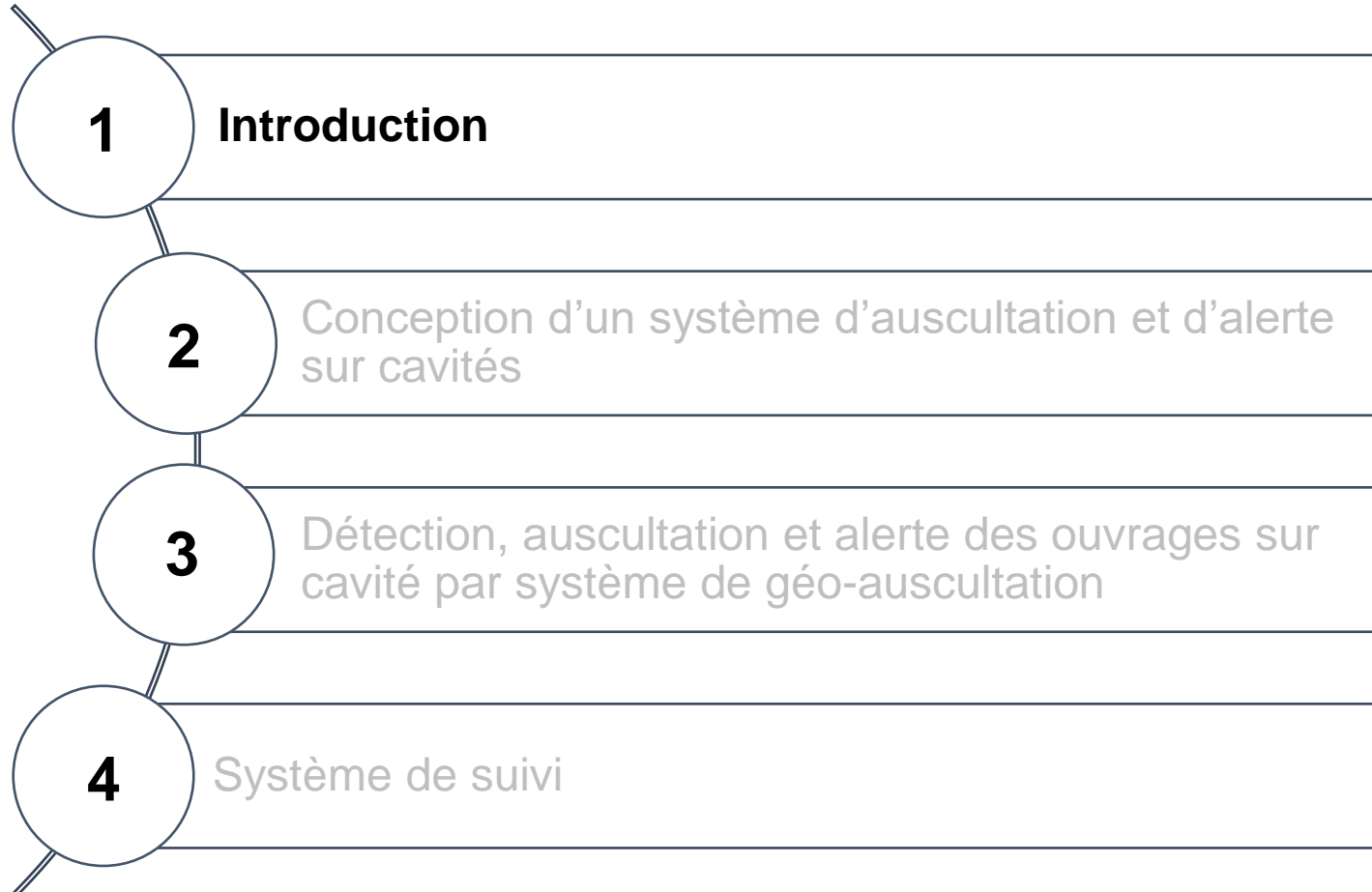
Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie



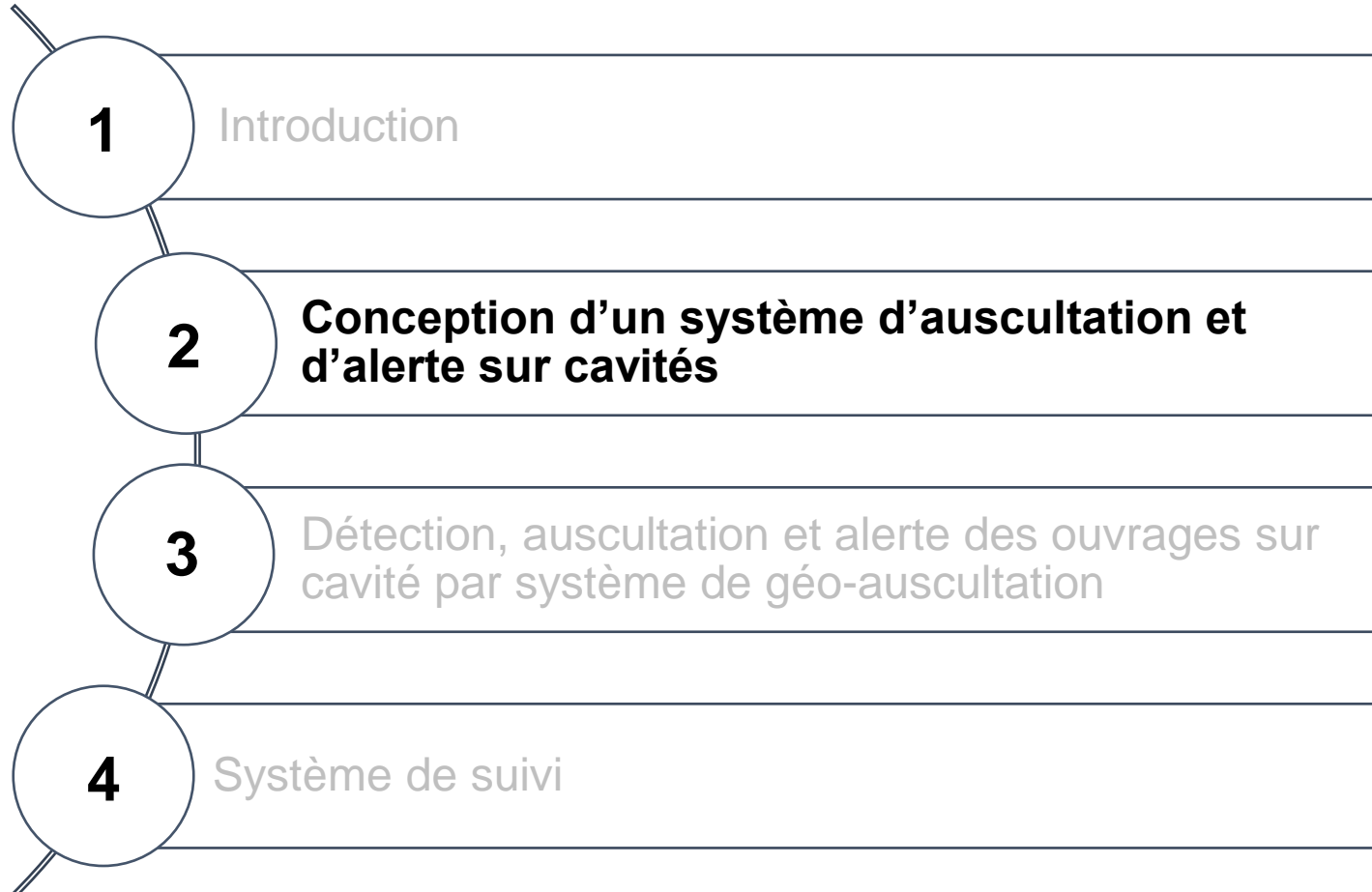
Mathilde RIOT
Thomas MONNET



PLAN DE LA PRESENTATION



PLAN DE LA PRESENTATION



ÉVOLUTION DES DÉFORMATIONS D'OUVRAGES RENFORCÉS PAR GÉOSYNTHÉTIQUES SUR CAVITÉS



Effondrement localisé au droit d'une ancienne mine de fer de Lorraine -Source Ineris



Effondrement localisé au droit d'une ancienne carrière de craie - Source Ineris

EVOLUTION DES DÉFORMATIONS D'OUVRAGES RENFORCÉS PAR GÉOSYNTHÉTIQUES SUR CAVITÉS



Exemple d'effondrement localisés au droit de cavités d'origine anthropique - source : Ineris

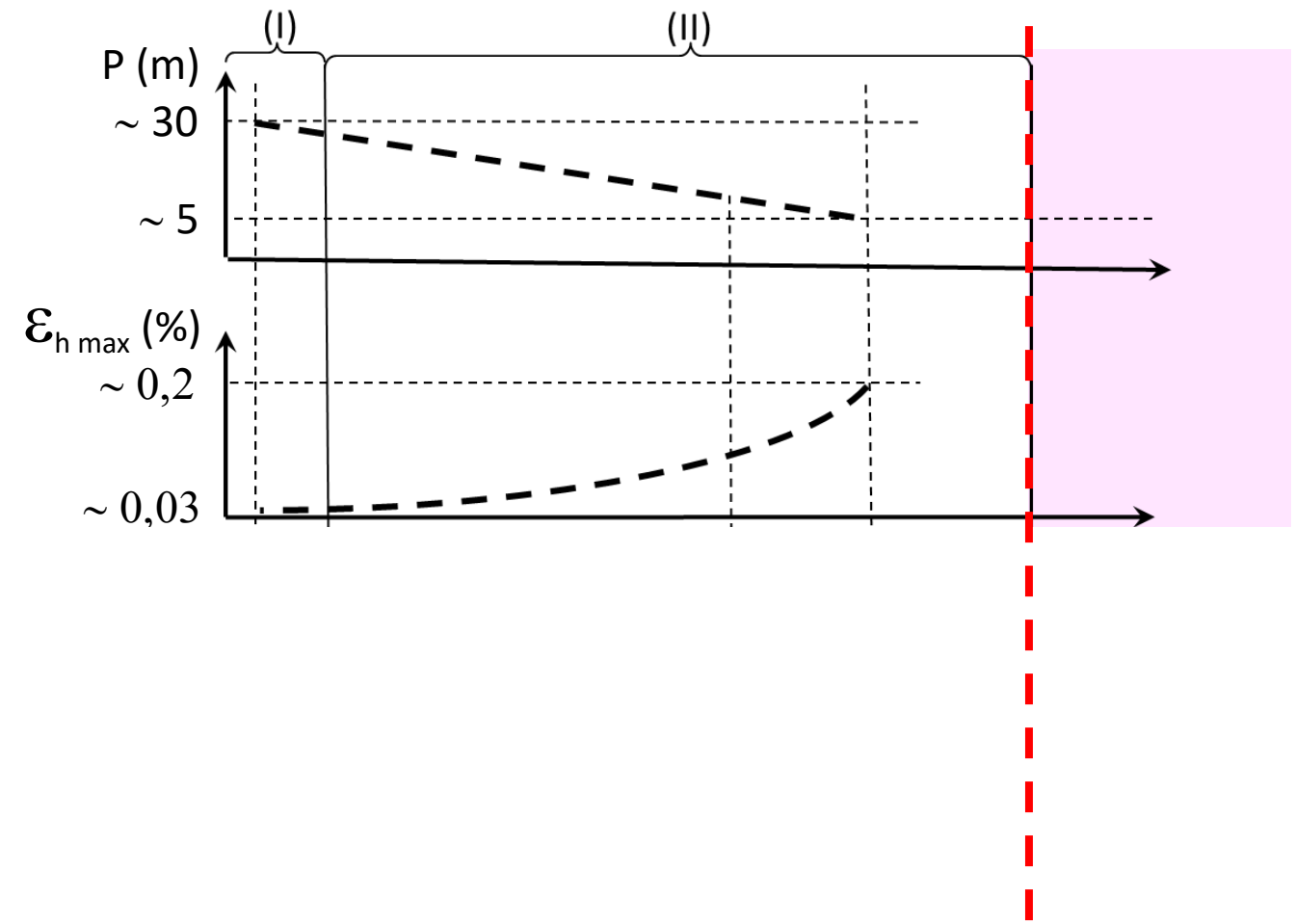


Exemple d'une cuvette d'affaissement - source : Ineris

EVOLUTION DES DÉFORMATIONS D'OUVRAGES RENFORCÉS PAR GÉOSYNTHÉTIQUES SUR CAVITÉS

Profondeur
cavité / TN

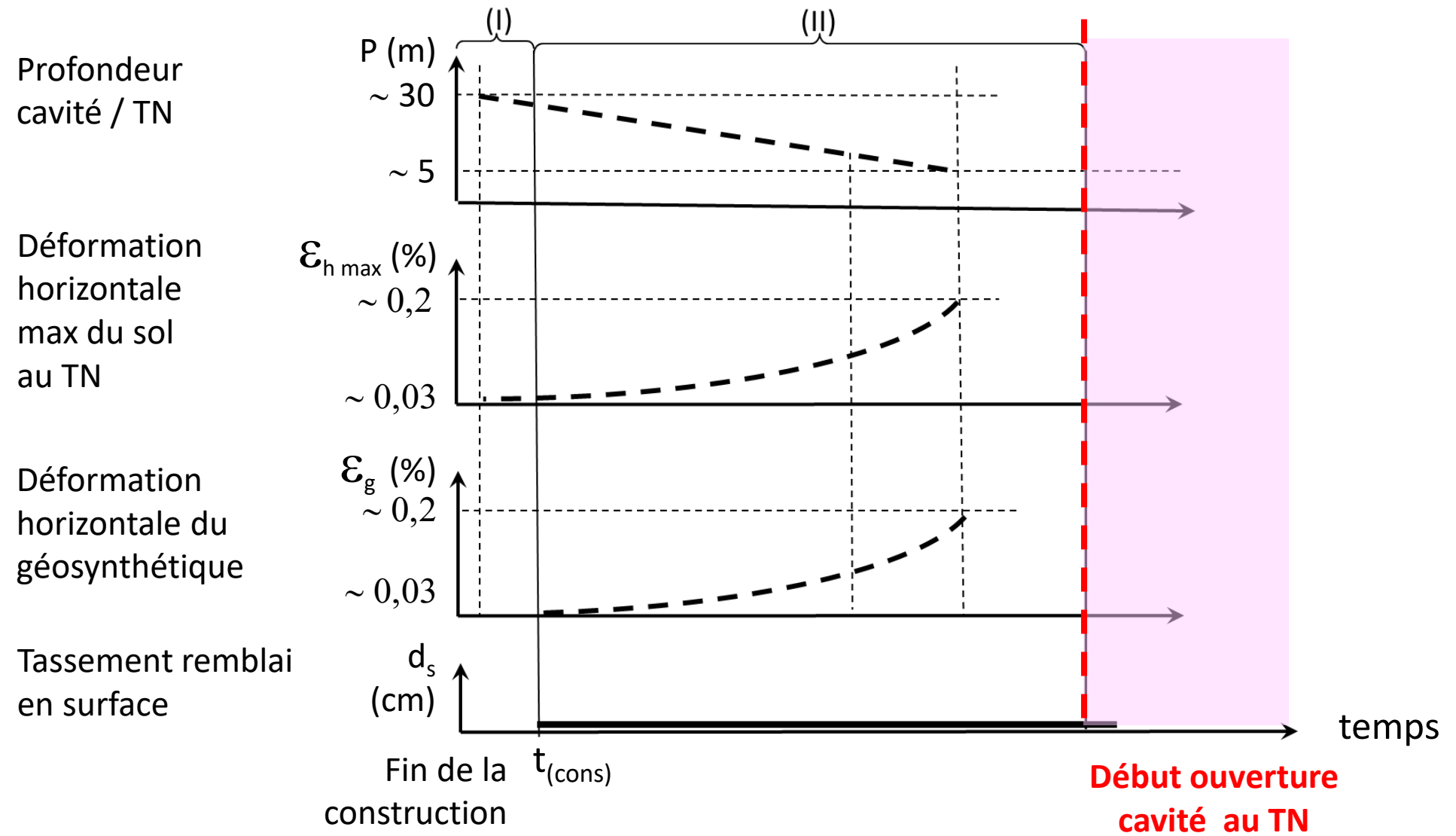
Déformation
horizontale
max du sol
au TN



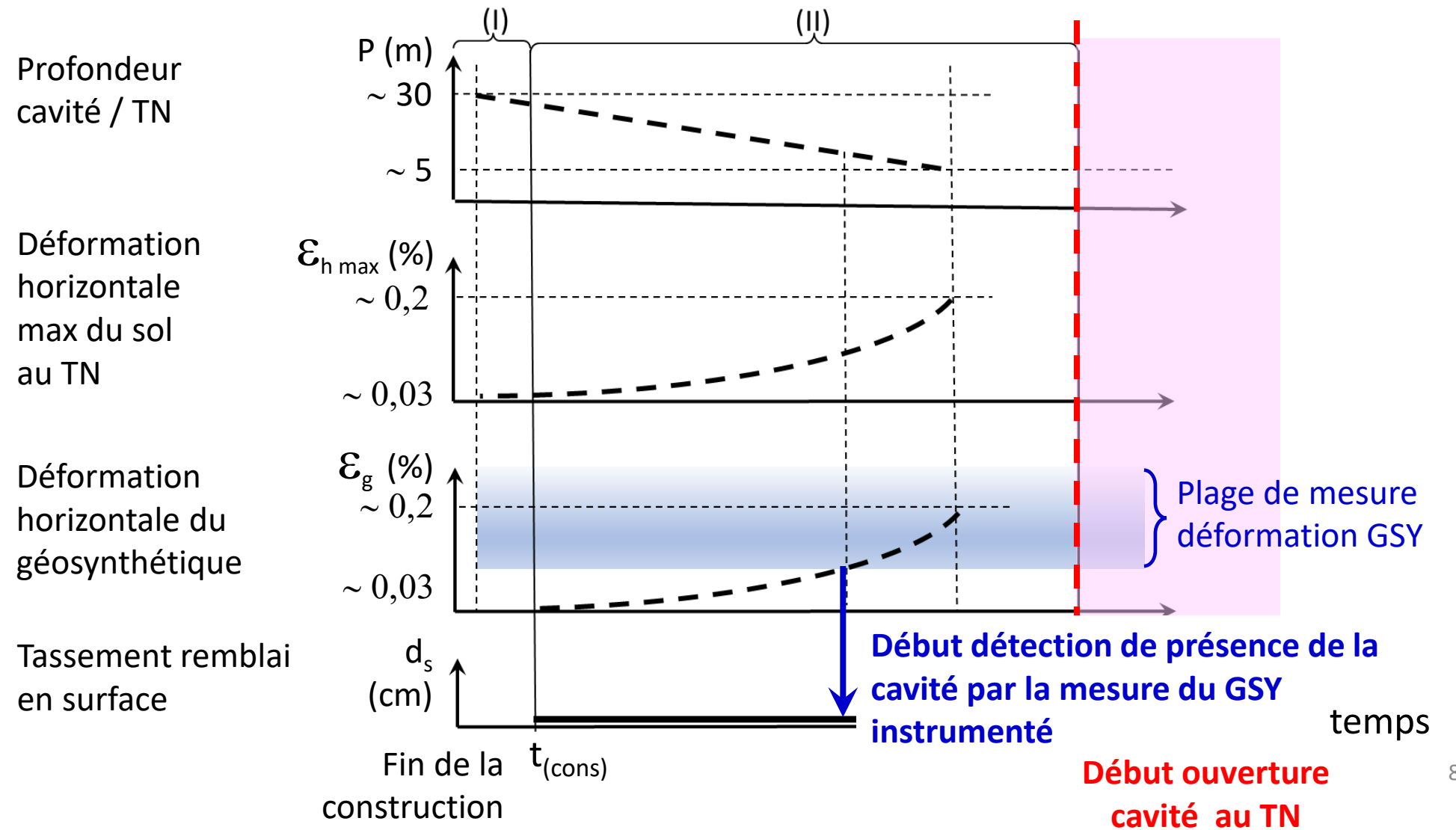
**Début ouverture
cavité au TN**

temps

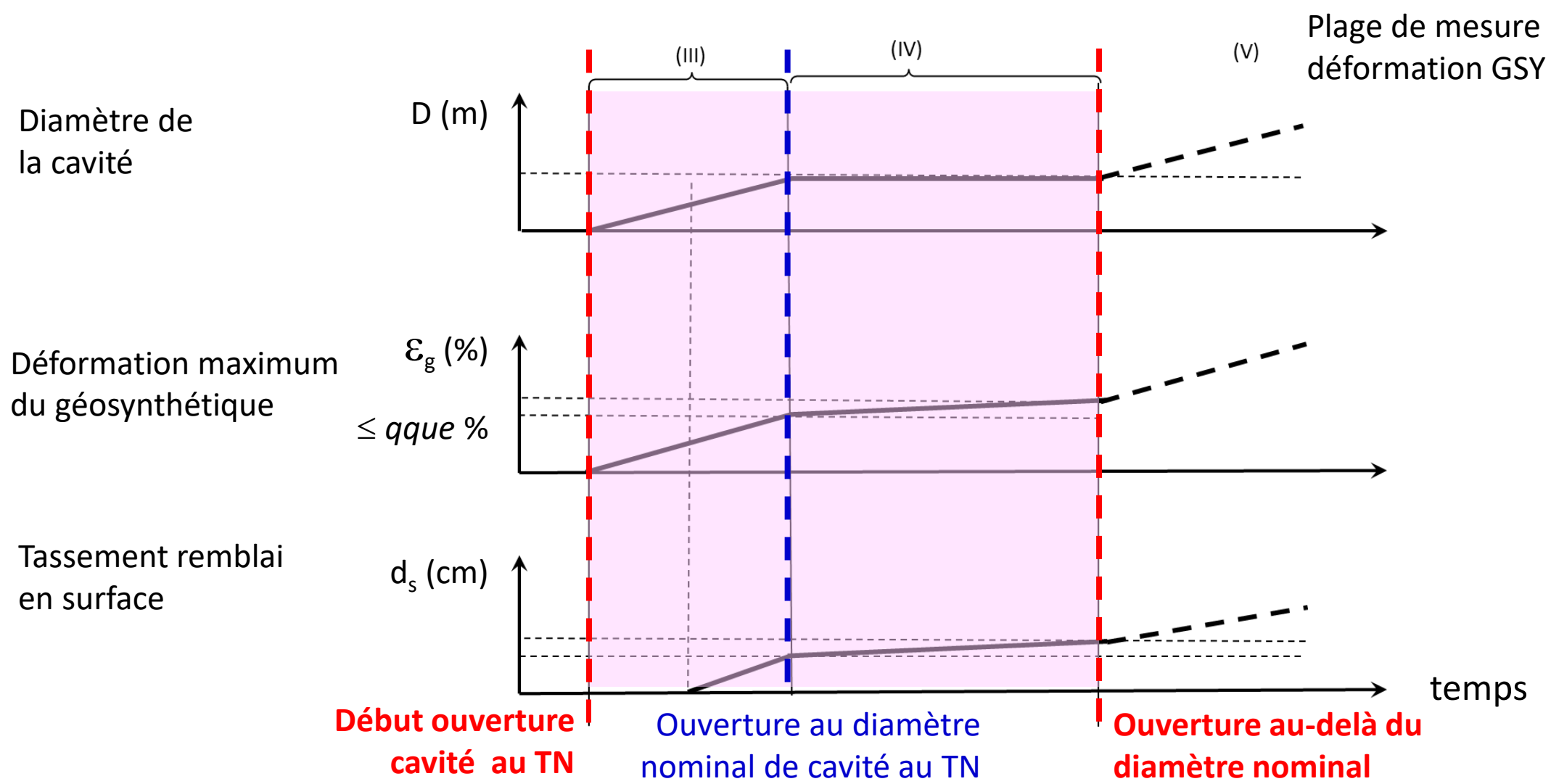
EVOLUTION DES DÉFORMATIONS D'OUVRAGES RENFORCÉS PAR GÉOSYNTHÉTIQUES SUR CAVITÉS



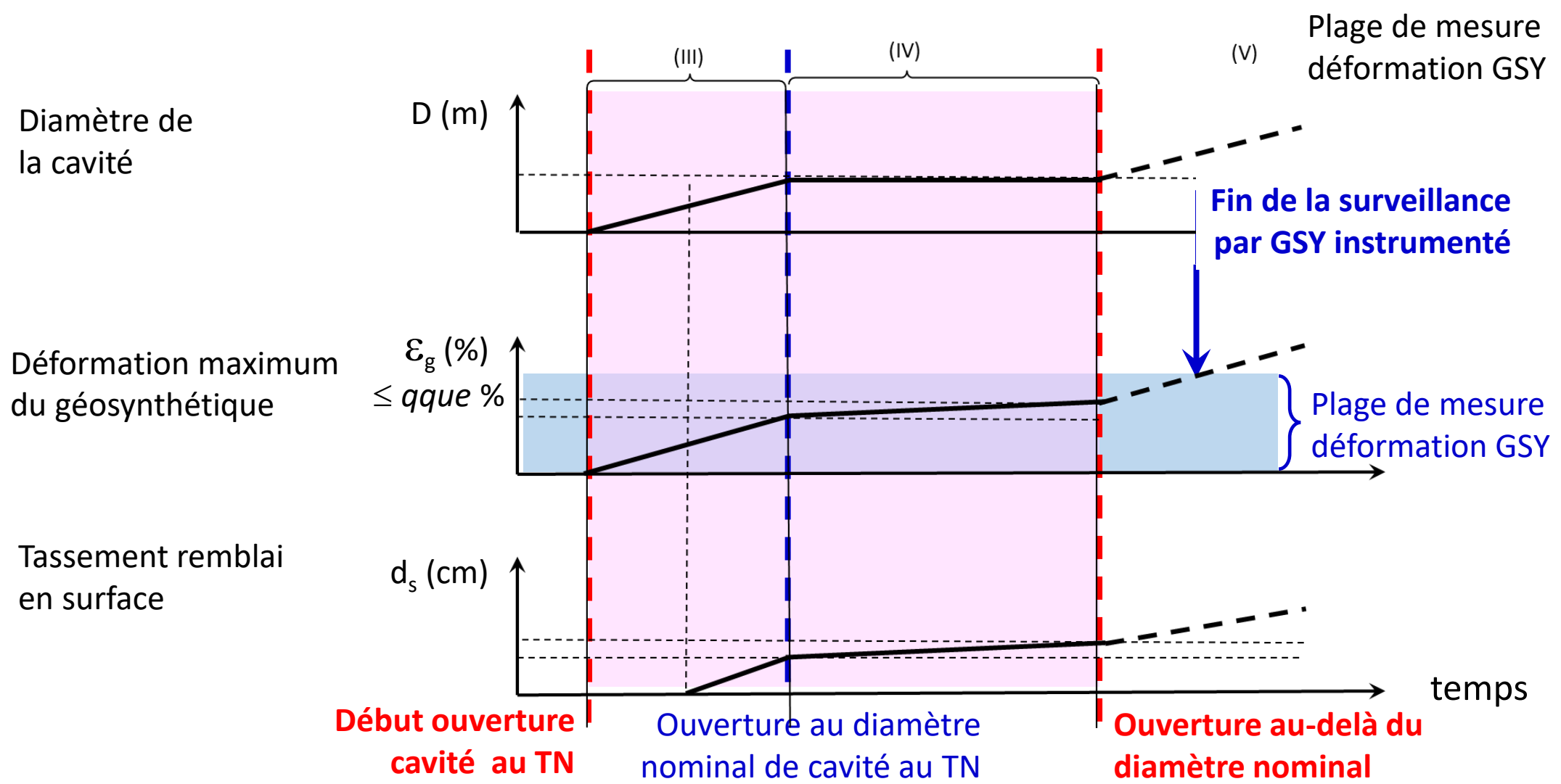
EVOLUTION DES DÉFORMATIONS D'OUVRAGES RENFORCÉS PAR GÉOSYNTHÉTIQUES SUR CAVITÉS



EVOLUTION DES DÉFORMATIONS D'OUVRAGES RENFORCÉS PAR GÉOSYNTHÉTIQUES SUR CAVITÉS



EVOLUTION DES DÉFORMATIONS D'OUVRAGES RENFORCÉS PAR GÉOSYNTHÉTIQUES SUR CAVITÉS



CONCEPTION DE LA « GÉO-AUSCULTATION » POUR LES ZONES À RISQUE DE CAVITÉS

ÉVALUATION DU TYPE D'EFFONDREMENT	SPÉCIFICATION DU SYSTÈME D'AUSCULTATION ET D'ALERTE
ouverture très progressive d'un fontis	GSY spécifique mesures de déformation très faibles <ul style="list-style-type: none">- Une résistance élevée à la traction (selon la conception)- Une rigidité élevée (mise en tension immédiate)- Une capacité à retenir efficacement le sol (fonction de séparation en cas de cavités souterraines)
fontis avec ouverture brutale	GSY moins exigeant

CONCEPTION DE LA « GÉO-AUSCULTATION » POUR LES ZONES À RISQUE DE CAVITÉS

ÉVALUATION DU TYPE D'EFFONDREMENT	SPÉCIFICATION DU SYSTÈME D'AUSCULTATION ET D'ALERTE
ouverture très progressive d'un fontis	GSY spécifique mesures de déformation très faibles <ul style="list-style-type: none">- Une résistance élevée à la traction (selon la conception)- Une rigidité élevée (mise en tension immédiate)- Une capacité à retenir efficacement le sol (fonction de séparation en cas de cavités souterraines)
fontis avec ouverture brutale	GSY moins exigeant
vitesse et l'amplitude des déformations attendues	type et fréquence des mesures type de système de traitement et d'alerte

CONCEPTION DE LA « GÉO-AUSCULTATION » POUR LES ZONES À RISQUE DE CAVITÉS

LOCALISATION SPATIALE DE L'EFFONDREMENT DANS LA GÉOMÉTRIE DE L'OUVRAGE D'INFRASTRUCTURE	SPÉCIFICATION DU SYSTÈME D'AUSCULTATION ET D'ALERTE
Extension de la zone à traiter <ul style="list-style-type: none">• cavité localisée, par ex. catiche• cavités potentielles non localisées par ex. infrastructure linéaire de transport	choix du type de fibre optique conception du système d'auscultation et d'alerte
Extension en surface des affaissements, ou des fontis, à détecter	calepinage espacement des fibres optiques.

CONCEPTION DE LA « GÉO-AUSCULTATION » POUR LES ZONES À RISQUE DE CAVITÉS

Évaluation du type d'effondrement

Localisation spatiale de l'effondrement dans la géométrie de l'ouvrage d'infrastructure



Technologie de fibre optique adaptée à l'ouvrage

Produit géosynthétique adapté à la fibre optique choisie et au type d'effondrement

Système d'auscultation (détection/acquisition) adapté au type d'infrastructure

CONCEPTION DE LA « GÉO-AUSCULTATION » POUR LES ZONES À RISQUE DE CAVITÉS

Développement d'une gamme de solutions géosynthétiques de renforcement



- Géotextile haute résistance (avec fonction de séparation)
- Géogrille haute résistance
- Dispositif d'alerte autonome et à distance



Solution proposée :

Empêcher l'effondrement

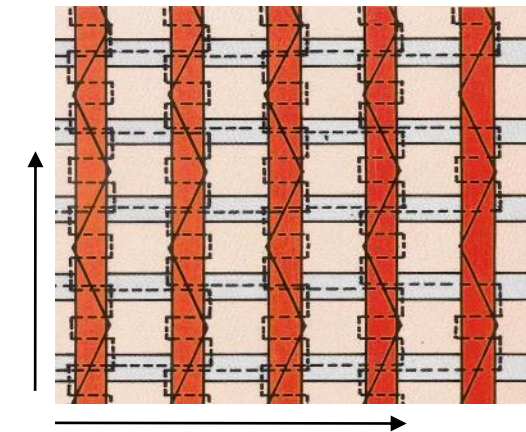
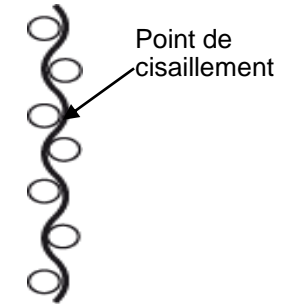
Signaler la présence d'une cavité

Limiter la déformation (effet parachute)

Géogrille NOTEX® GX

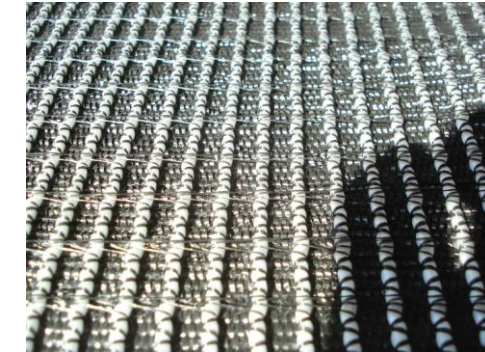


Tissé standard



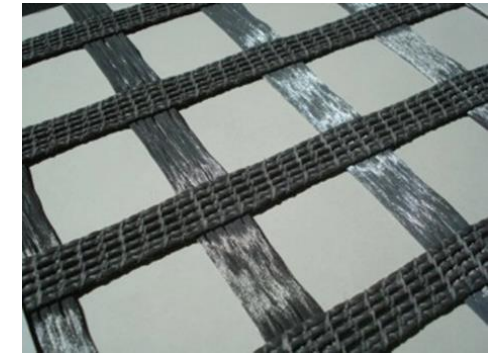
GÉOTEXTILE HAUTE RÉSISTANCE – GEOTER F

- Renforcement :
 - Les câbles droits offrent une résistance élevée à la traction pour une faible déformation.
 - Résistance à la traction jusqu'à 1 800 kN/m
- Séparation :
 - Le géotextile tissé retient le sol en cas d'effondrement.
- Procédé de fabrication :
 - Technologie de tricotage en chaîne, pour assurer une mise en tension instantanée des câbles.

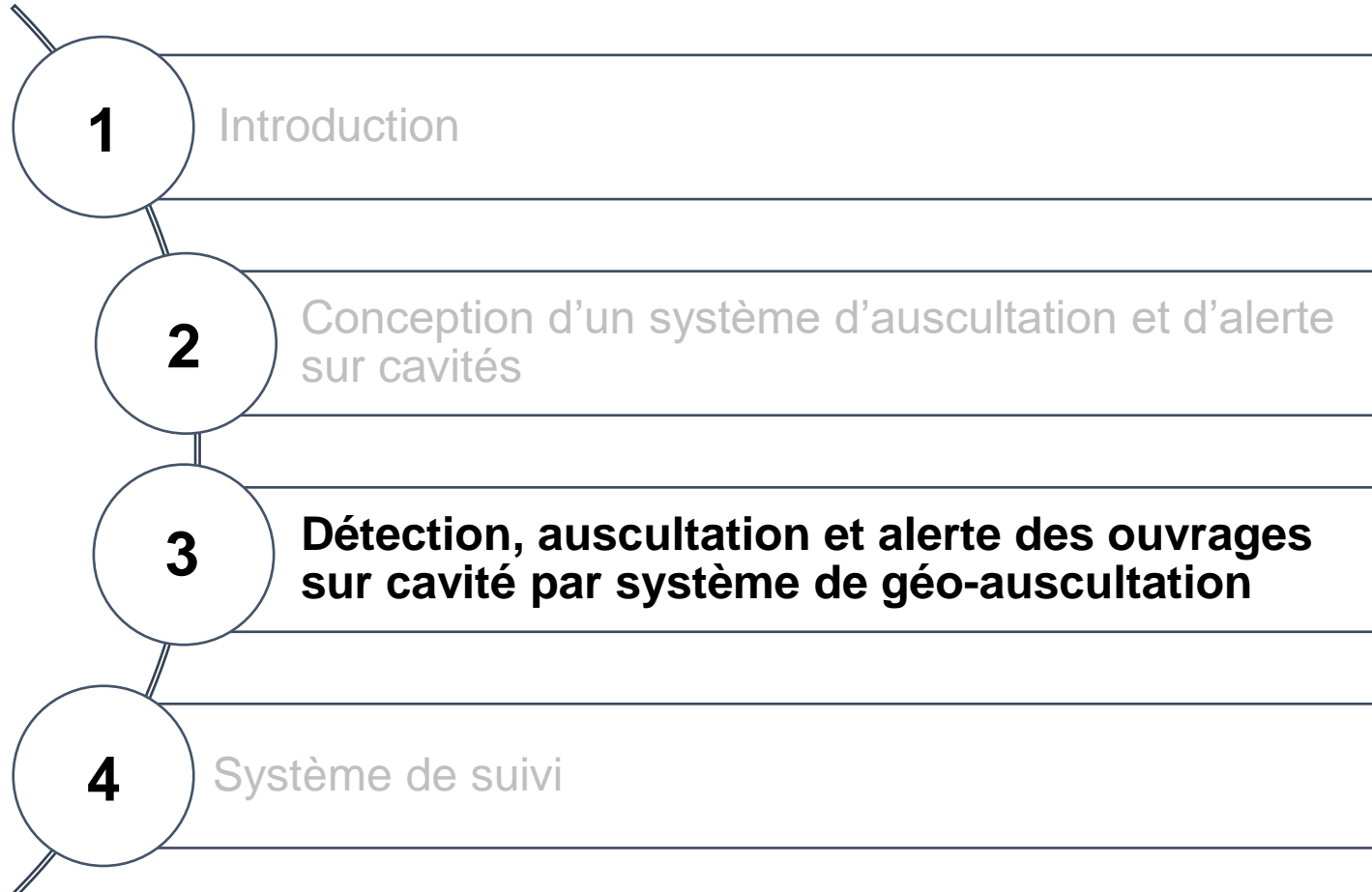


GÉOGRILLE HAUTE RÉSISTANCE - NOTEX C

- Renforcement :
 - Résistance élevée à la traction pour une faible déformation
 - Résistance à la traction jusqu'à 1 800 kN/m
- Géogrille enrobée :
 - Haute résistance contre les dommages d'installation
 - Angle de frottement élevé de l'interface avec le sol (interlock)
 - Le géotextile tissé retient le sol en cas d'effondrement.



PLAN DE LA PRESENTATION



CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE UTILISÉS DANS LA SURVEILLANCE DES CAVITÉS

▪ Les capteurs à mesures réparties (continues)

La mesure est faite par analyse fréquentielle du signal rétro diffusé.



On note 2 technologies :

- Brillouin

Adaptée à la détection, l'auscultation et la surveillance d'infrastructures de cavités.
Convient particulièrement aux infrastructures linaires de grandes dimensions.

- Rayleigh

Moins utilisée dans les ouvrages réels.

Faible portée.

Possible pour la localisation de cavité connue.

Possible pour des infrastructures de dimensions réduites.

CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE UTILISÉS DANS LA SURVEILLANCE DES CAVITÉS

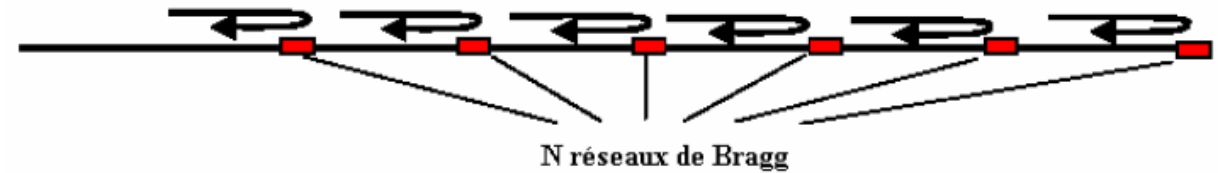
Les capteurs à mesures distribuées (locales)

La mesure est faite sur la longueur réfléchi.

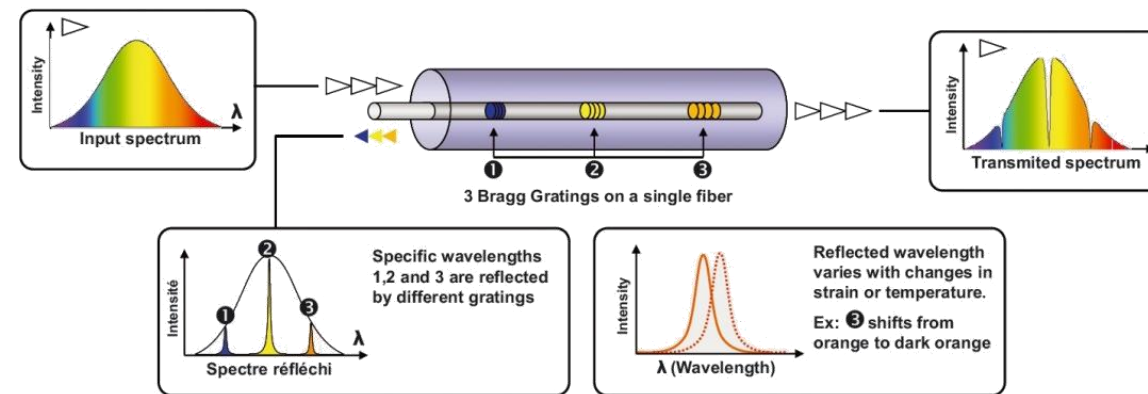
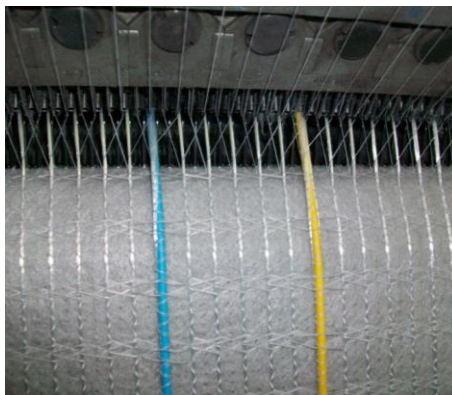
On note 1 technologie :

- Les réseaux de Bragg

La longueur d'onde réfléchi varie de manière proportionnelle à la déformation.
Les longueurs d'onde de chaque réseau doivent être suffisamment espacée.
Le nombre de capteurs sur une fibre optique est limité.



Adaptée à la détection, l'auscultation et la surveillance d'infrastructures où la localisation de cavités est connue ou de structures aux dimensions réduites.



CAPTEURS À FIBRE OPTIQUE UTILISÉS DANS LA SURVEILLANCE DES CAVITÉS

■ Comparatif technique et économique :

Caractéristiques	Diffusion Brillouin	Diffusion Rayleigh	Réseaux de Bragg
Résolution spatiale	1 m	1 m	8 mm et distance entre réseaux
Précision de la mesure	10 $\mu\epsilon$	1 $\mu\epsilon$	1 $\mu\epsilon$
Temps d'acquisition	10 min	1 ms	1 ms
Portée	30 km	70 m	50 km
Allongement à la rupture	5 %	(-)	5 %
Allongement maximum de mesure	3 %	(-)	3 %

- Les fibres optiques à mesures continues reviennent à une dizaine d'euros le mètre.
- Les fibres optiques sont plus de six fois plus chères équipées de réseaux de Bragg.
- A contrario l'analyseur Bragg est environ sept fois moins cher que les analyseurs pour les fibres optiques à mesure continues.

PLAN DE LA PRESENTATION

- 1 Introduction
- 2 Conception d'un système d'auscultation et d'alerte sur cavités
- 3 Détection, auscultation et alerte des ouvrages sur cavité par système de géo-auscultation
- 4 **Système de suivi**

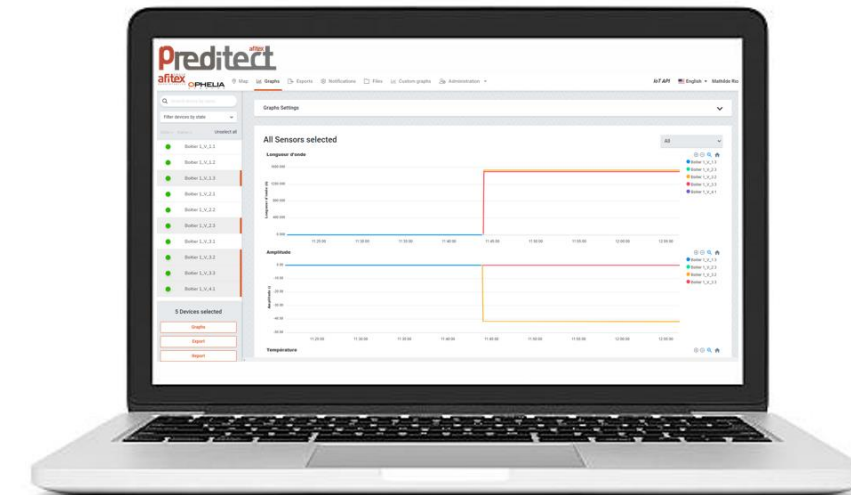


SYSTÈME DE SUIVI

- Solution de surveillance à distance
- Enregistreur de données autonome (avec panneau solaire)
- Acquisition automatisée des données
- Serveur à distance : accès direct par le client
- Entièrement personnalisable
 - Types de capteurs (déformation / température)
 - Affectation des zones
 - Limites de déformation acceptables
 - Fréquence du rapport



Preditect afitex GROUP



SYSTÈME DE SUIVI

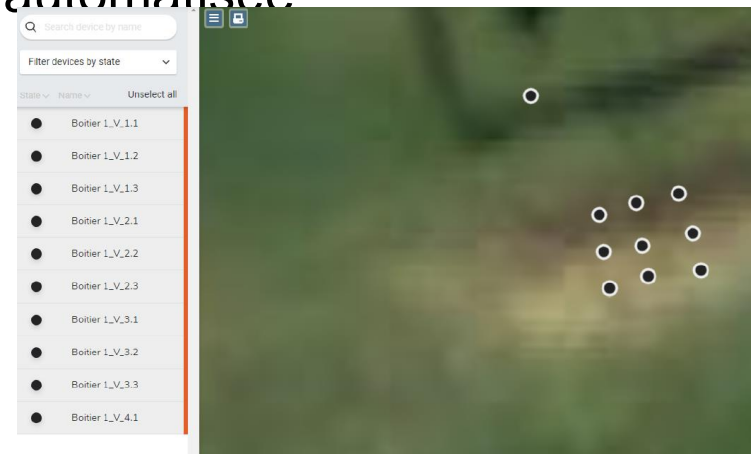
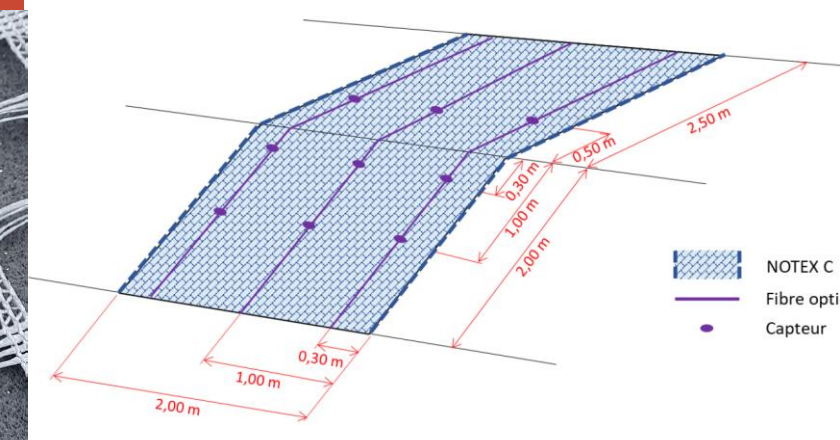
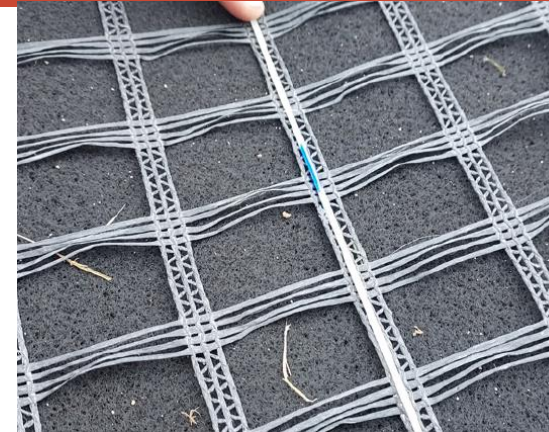
▪ Principe du système de suivi :

- Réaliser l'acquisition des données (mesures brutes) :
 - En acquisition périodique ou continue.
 - En parallèle un contrôle de fonctionnement est réalisé avec alarme automatique.
- Traiter les données de manière préliminaire :
 - Cette phase permet de différencier les anomalies non qualifiées (divers) des anomalies qualifiées (mouvements du géosynthétique).
- Les anomalies qualifiées font alors l'objet d'un traitement avancé :
 - Localisation, extension des mouvements, dépassement de seuils, etc.
- Des alertes au Maître d'Ouvrage avec rapport d'anomalie :
 - Changement de mode de surveillance, une intervention sur site, etc.

CHANTIER TEST : STABILISATION DE TALUS

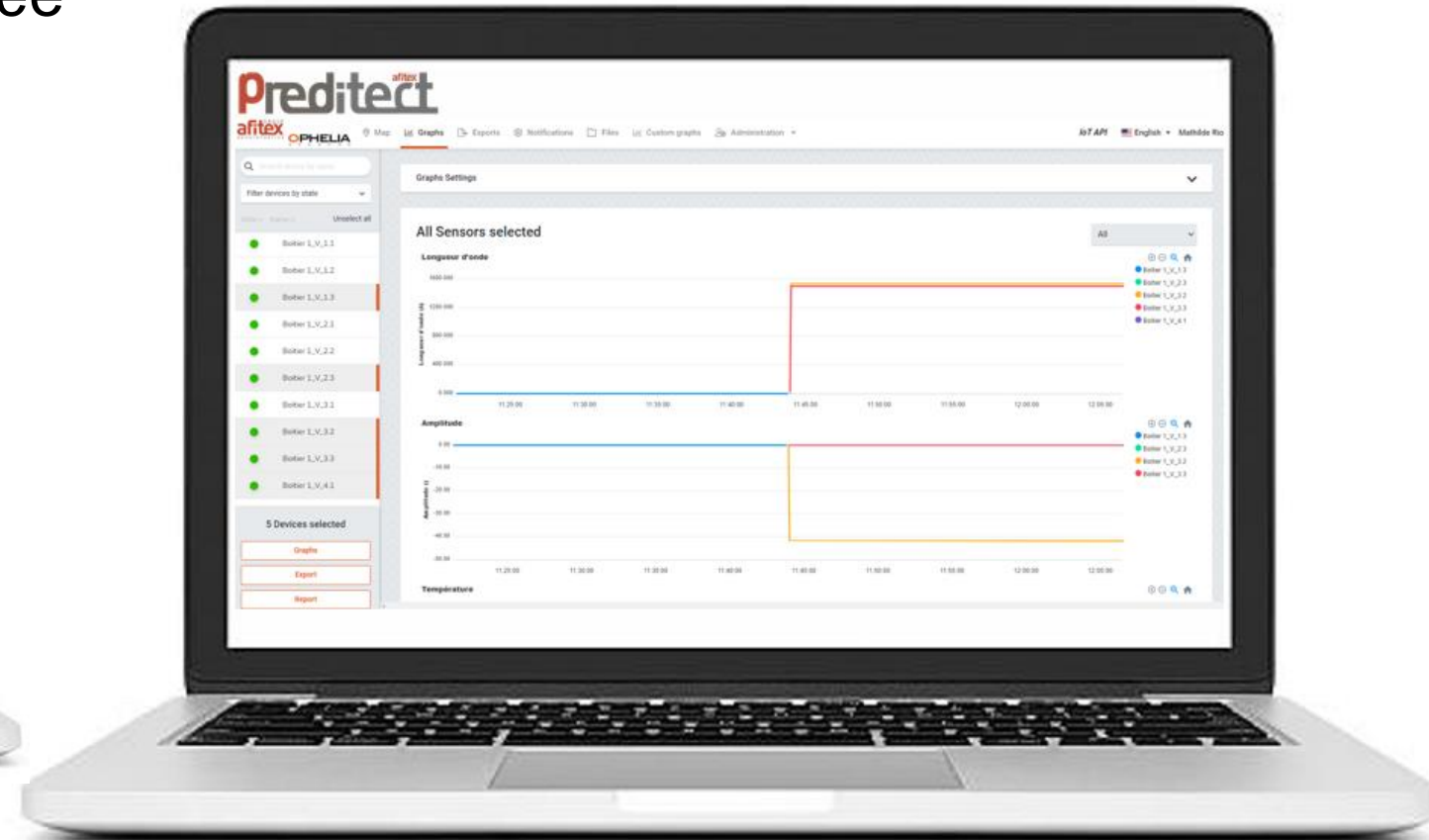
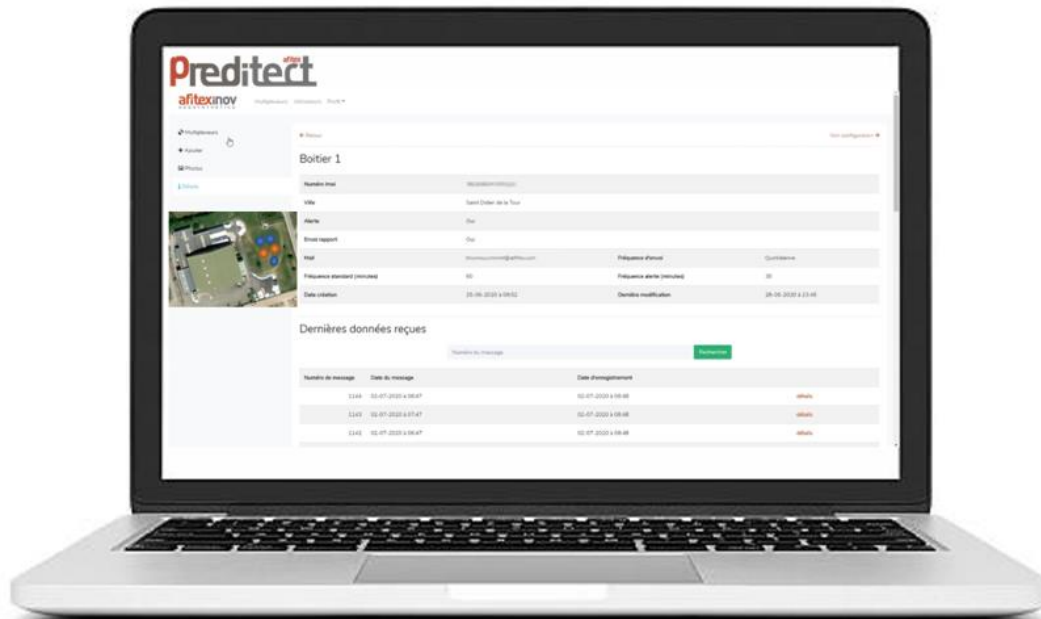
■ Coupe transversale (de bas en haut)

- Géomembrane lisse
- Géocomposite de drainage DRAINTUBE
- Géosynthétique de renforcement (+ fibres optiques)
- Sol de surface, 0.80 m
- Pente = 30 °
- Acquisition de données automatisée



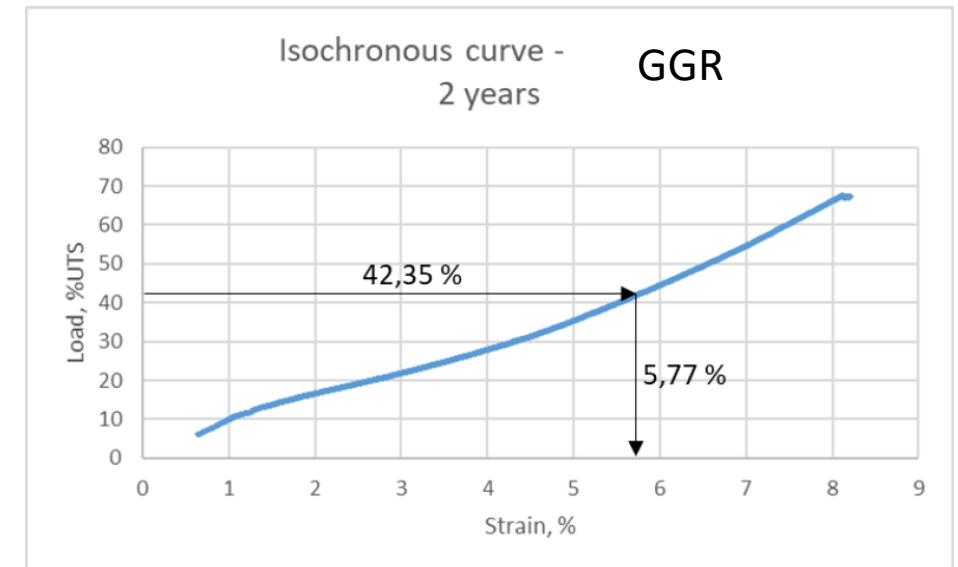
CHANTIER TEST : STABILISATION DE TALUS

- Géogrille avec fibres optiques reliées à l'enregistreur de données autonome
- Acquisition de données automatisée



CHANTIER TEST : STABILISATION DE TALUS

- Mesures de déformation attendues dans le produit de renforcement de traction ultime de 35 kN/m)
- Tension permanente dans le produit = 15.6 kN/m (42.35% de la déformation ultime)
- Déformation initiale à 42,35% de la déformation ultime = 5,4%.
- Déformation attendue après 2 ans = 5,8%.



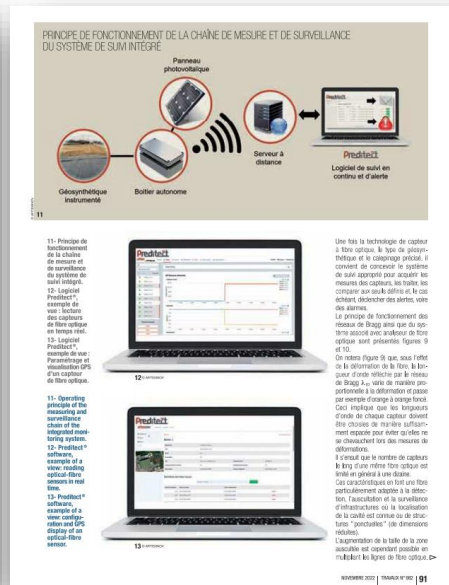
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- Utilisation de nappes géosynthétiques de renforcement pour prévenir les effondrements localisés des cavités est aujourd'hui courante.
- Mise au point de la nouvelle technologie de « géo-auscultation » qui est supportée par son système de suivi intégré spécifique.
 - Adapté spécifiquement à la problématique des suivis de déformations dans les zones à risque d'effondrement.
 - offre un outil facile d'emploi et aisément paramétrable en fonction des objectifs de surveillances visés.

■ Pour aller plus loin :

- Article de la Revue TRAVAUX n°982 (novembre 2022)
- [Guide Ineris/Afitexinov](#) :

« Renforcement par géosynthétique pour la réduction des risques associés à un effondrement localisé »





Merci pour votre attention !

CONTACTS :

MATHILDE RIOT

Mathilde.riot@afitex.com

YOUNESS BESSAM

Youness.bessam@afitex.com

REMERCIEMENTS À L'**ADEME** POUR
SON ACCOMPAGNEMENT, DANS LE
CADRE DE L'**ACTION VÉHICULES ET
TRANSPORTS DU FUTUR** DU
PROGRAMME D'**INVESTISSEMENTS
D'AVENIR**

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie