



Ouvrages Fluviaux

Journée présentée par

Sylvie Bretelle, Pascal Aguado (CFMS) et Philippe Gotteland (FNTP)

À la Maison des Travaux Publics

Journée parrainée par HUESKER et NGE



Ouvrages Fluviaux

De L'intérêt d'instrumenter en continu les tirants d'ancrage

Bakri Basmaji (Cerema) - Alain Le Kouby(Univ-Eiffel) - Maryan Kolanek (VNF)

Virginie Pierre

Sommaire

- Généralités sur les tirants d'ancrage
- Contexte Neuves Maisons (54)
- Origines des désordres
- Suivi des Tirants : pour zones réparée, zone intermédiaire, zone confortée
- Conclusions et perspectives

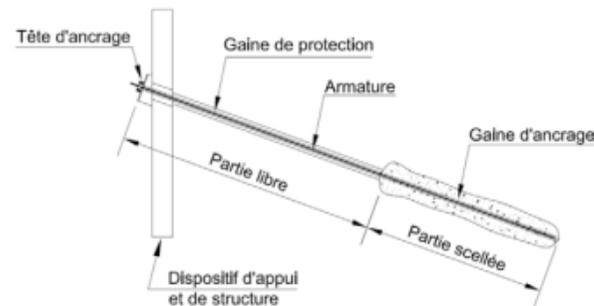
Généralités sur les tirants d'ancrage

Définitions

Tirant d'ancrage : un élément structural capable de transmettre un effort de traction à une couche de terrain résistante, par l'intermédiaire d'une longueur libre.
Il comprend la tête d'ancrage, la partie libre et la partie d'ancrage au terrain.

Tirants actifs : tirant d'ancrage dont la mise en service s'achève par une mise en tension (à la valeur de la précontrainte déterminée par le dimensionnement)

Tirants passifs : tirant d'ancrage simplement bloqué sur l'écran de soutènement et qui n'est sollicité en traction que sous l'effet d'un déplacement de celui-ci vers l'aval



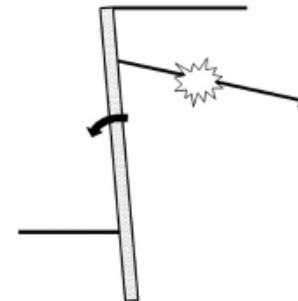
Généralités sur les tirants d'ancrage

Origines des désordres

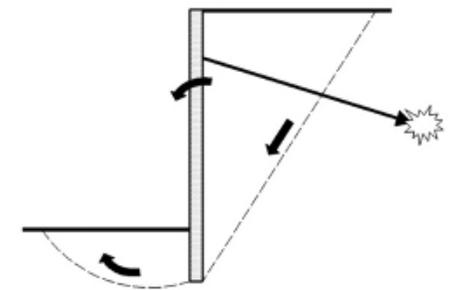
- Mauvaise conception et sous-dimensionnement des ouvrages
- Mauvais exécution des ouvrages (défauts d'exécution, ou protection des tirants, défauts de blocage...
- Défauts d'entretien (vandalisme – détérioration des capots, infiltration d'eau, etc
- exploitation, environnement et autres agressions physico-chimiques
- Travaux divers (rehaussement, terrassement en pied ou en aval de l'ouvrage, des mouvements qui modifieraient la répartition, séisme, chocs, protection inefficace
- Mauvaise liaison ou mauvaise exécution entre le tirant et l'ouvrage

Pour les tirants :

- Corrosion des armatures (impact aggravé pour les tirants actifs)
- Fluage du scellement (essentiellement terrain argileux)
- Réparation de tirant mal conduite (-> e.g. détérioration de la protection)



a) Rupture d'un tirant d'ancrage



c) Arrachement d'un tirant d'ancrage

Généralités sur les tirants d'ancrage

Origines des désordres – protection des tirants

TA 2020 : L'acier des tirants précontraints et l'acier de limite élastique supérieure à 500 MPa de tous les tirants (précontraints et passifs) doivent être protégés contre la corrosion pour leur durée d'utilisation prévue.

l'ensemble du système d'ancrage qui est visé : partie scellée, partie libre et tête d'ancrage

| Agressivité des sols | | | Durée de vie | |
|---------------------------|--------|--------|--------------|--------|
| Caractéristiques des sols | Classe | Indice | ≤ 2 ans | >2 ans |
| Fortement corrosif | I | ≥ 13 | P | P |
| Corrosif | II | 9 à 12 | P | P |
| Moyennement corrosif | III | 5 à 8 | T | P |
| Peu corrosif | IV | 1 à 4 | T | P |

Tableau 6.1 : niveau de protection en fonction du sol (voir tableaux E.4 et E.5 de l'annexe E)

| Agressivité des ambiances | | Durée de vie | |
|-----------------------------------|-----------|--------------|--------|
| Classification | Catégorie | ≤ 2 ans | >2 ans |
| Corrosivité très élevée | C5 I et M | P | P |
| Corrosivité élevée | C4 | P | P |
| Corrosivité moyenne | C3 | T | P |
| Corrosivité faible et très faible | C1 et 2 | T | P |

Tableau 6.2 : niveau de protection en fonction de l'ambiance (voir tableau E.6 de l'annexe E)



vue de face



X 10

Généralités sur les tirants d'ancrage

Origines des désordres - gél

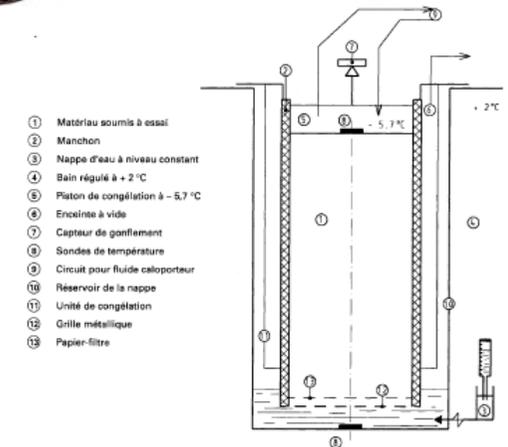
La norme précise qu'il convient de prendre en compte les action liée au gel pour les classes de terrain très gélifs dans les zones géographiques de gel sévère.

L'annexe K (94-282) informative donne des informations permettant d'identifier les terrains et les zones ou il convient de considérer les effets particuliers dus au gel, et cela en fonction de :

- Classes de sensibilité des sols au gel : sols non gélif, peu gélif ou très gélif.
- Perméabilité des sols : sols de perméabilité moyenne dans des sites exposés et à fort indice de gel.
- Type de sols.

Tableau K.1 — Classes de sensibilité des sols au gel

| p | $\leq 0,05$ | $0,05 \text{ à } 0,4$ | $\geq 0,4$ |
|--|--|-----------------------|------------|
| Sol | Non gélif | peu gélif | très gélif |
| avec | | | |
| $p = \frac{x_g}{\sqrt{I}} \left(mm / \sqrt{^\circ C \cdot h} \right)$ | | | |
| x_g | Amplitude du gonflement du sol (mm) | | |
| I | Indice de gel déterminé selon NF P 98-234-2 (en $^\circ C \cdot h$) | | |
| $^\circ C$ | Température hors du gel en degrés Celsius | | |
| h | Durée du gel en heures | | |



Généralités sur les tirants d'ancrage

Instrumentation des tirants

TA2020 : Un certain nombre de tirants de l'ouvrage ancré doivent être équipés d'un appareil permettant de contrôler périodiquement la traction.



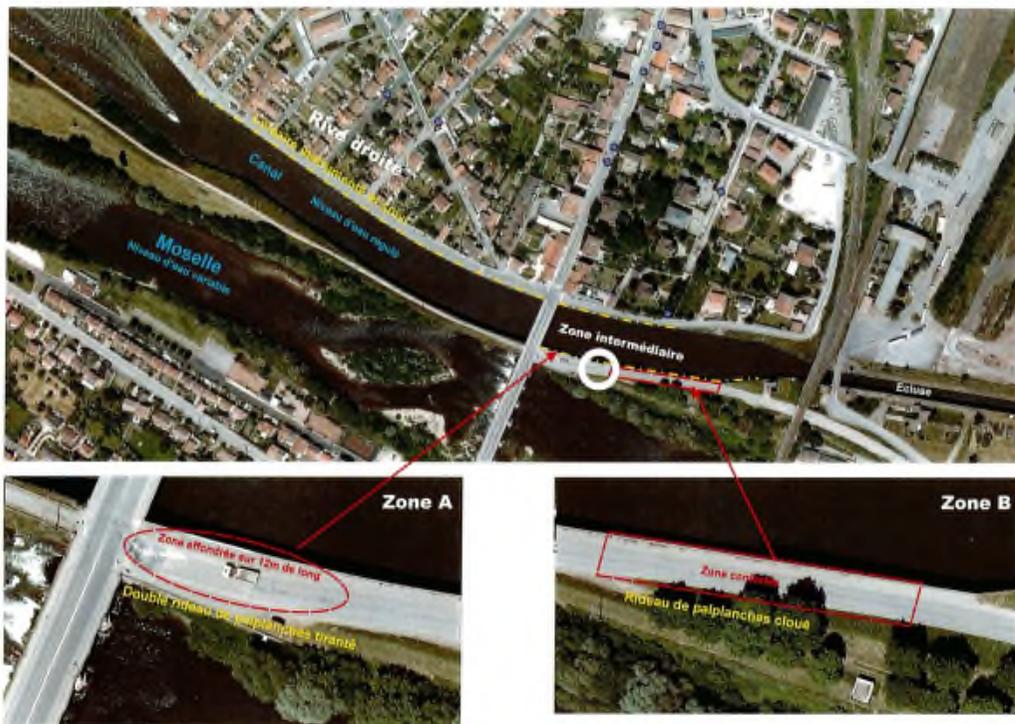
Photo 8.8 : Tête d'ancrage instrumentée avec protection de type P
(© Soletanche Bachy)

| V | N _A | V | N _A |
|---------|----------------|-----------|----------------|
| 1 à 10 | 1 | 93 à 110 | 9 |
| 11 à 20 | 2 | 111 à 130 | 10 |
| 21 à 30 | 3 | 131 à 150 | 11 |
| 31 à 40 | 4 | 151 à 170 | 12 |
| 41 à 50 | 5 | 171 à 190 | 13 |
| 51 à 64 | 6 | 191 à 210 | 14 |
| 65 à 78 | 7 | 211 à 230 | 15 |
| 79 à 92 | 8 | 231 à 250 | 16 |

Au-delà de 250 tirants un dispositif de contrôle supplémentaire doit être prévu par tranche de 20 tirants.

Tableau 8.2 : nombre d'appareils de contrôle en fonction du nombre V de tirants dans chaque catégorie

Neuves Maisons (54) Présentation du site de Neuves-Maisons



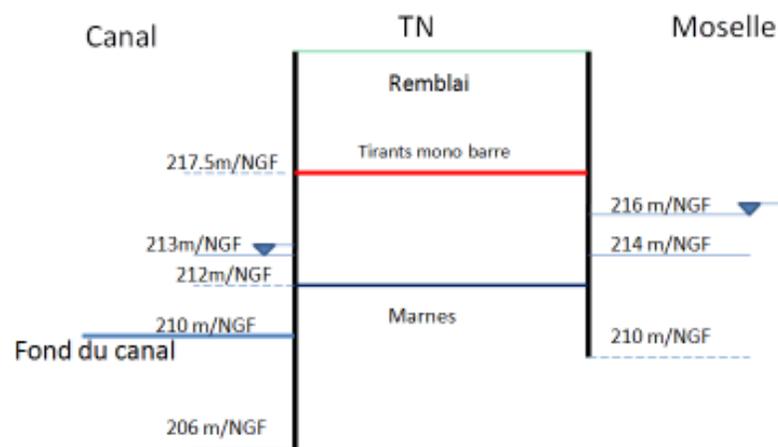
- Création du canal, parallèlement à la Moselle au cours des années 70.
- Pendant le chantier, construction d'un rideau de palplanches, soutenu par plusieurs techniques de tirants (câbles horizontaux ancrés sur un contre-rideau, et tirants-câbles scellés dans le terrain).
- Un site de 215 tirants, dont 163 tirants câble



1950

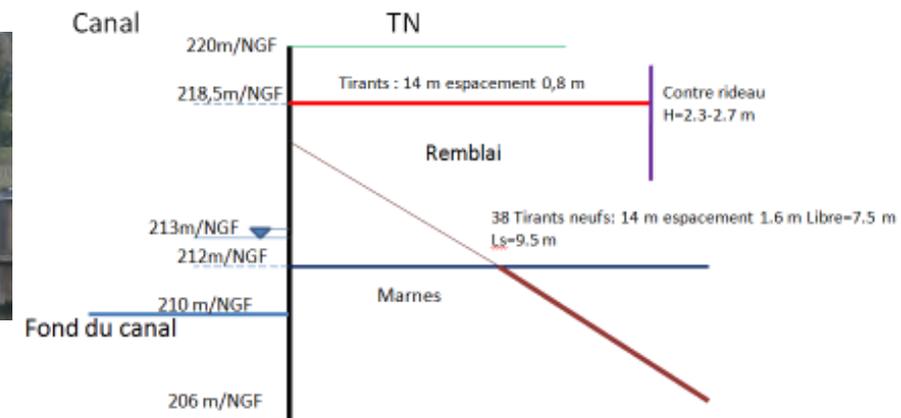
Neuves Maisons (54) Présentation du site de Neuves-Maisons

Présentation du site de Neuves-Maisons



La Moselle en période de crue

Neuves Maisons (54) Présentation du site de Neuves-Maisons



Neuves Maisons (54) Rupture du soutènement en 2001

Désordres apparus au cours du mois de décembre 2001



Neuves Maisons - Rupture du soutènement en 2001

Analyse des causes de ruine

- Conditions météorologiques défavorables: crue importante, suivie d'un épisode de grand froid
- dégradation sur les tirants: forte corrosion
- absence de protection anti-corrosion
- présence de tirants « détendus »: pré-tension défailante ?
- stationnement fréquent et prolongé de poids-lourds chargés (laitiers), à l'aplomb du rideau

Hypothèse de calcul: rupture d'un tirant sur deux, associée à un phénomène de « vidange rapide » = ruine de l'ouvrage

Rupture du soutènement en 2001

Analyse des causes de ruine :

Conditions météorologiques défavorables : à retravailler

| | | | |
|--|----------------------------------|------------------------|----------------------|
|  | Station : NANCY-ESSEY | Latitude : 48°41'1 N | Mois : Décembre |
| | Commune : TOMBLAINE | Longitude : 006°13'2 E | Année : 2001 |
| | Lieu dit : | Altitude : 212.0 m | Indicatif : 54526001 |
| | Département : MEURTHE-ET-MOSELLE | | TOM stations MN |
| | Observation non permanente | | Page : 5 |

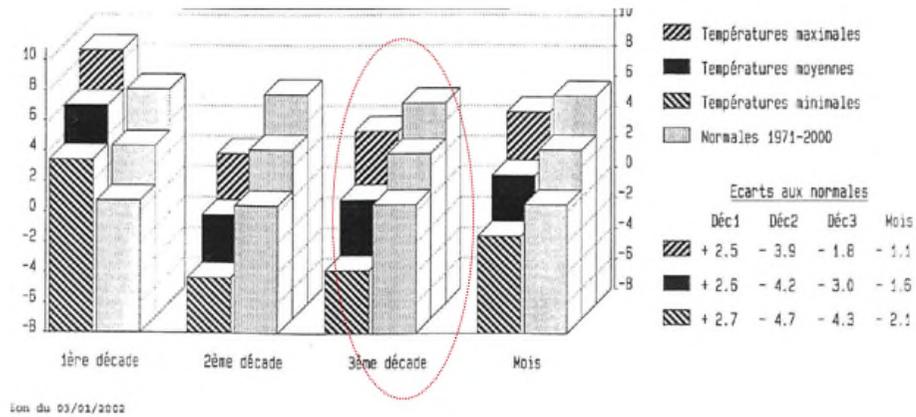
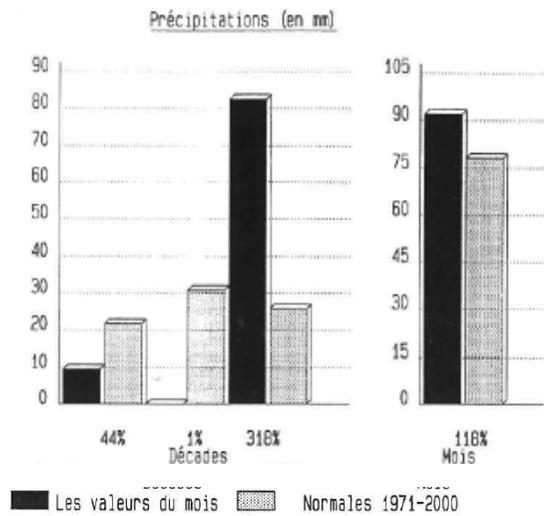
| PRECIPITATIONS | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| DUREE : en heures et minutes | | | | | | | HAUTEUR : en millimètres et dixièmes | | | | | | | |
| | 06-12 | 12-18 | 18-24 | 00-06 | 06-18 | 18-06 | 06-06 | 06-12 | 12-18 | 18-24 | 00-06 | 06-18 | 18-06 | 06-06 |
| E | UTC | UTC | UTC | UTC | UTC | UTC | UTC | UTC |
| V 28 | 6h00 | 4h24 | 6h00 | //// | 10h24 | //// | //// | 1.2 | 1.0 | 1.8 | 5.4 | 2.2 | 7.2 | 8.4 |
| S 29 | 6h00 | 6h00 | 4h20 | //// | 12h00 | //// | //// | 19.8 | 28.2 | 4.2 | . | 48.0 | 4.2 | 52.2 |
| D 30 | UTC | . | 0h1 | //// | 0h22 | //// | //// | Tr | . | 1.2 | . | Tr | 1.2 | 1.2 |

| | | 07 | 28 | 07 | 10 | le 25 |
|-----------------------|---------------------------|---|----|----|----|-------|
| | | NOMBRE DE JOURS OU LES PHENOMENES SUIVANTS ONT ETE OBSERVES | | | | |
| TEMPERATURES | | | | | | |
| Sous abri | Chaleurs Tx=>25 °C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Fortes chaleurs Tx=>30 °C | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Gelées Tn<=-0 °C | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Fortes gelées Tn<=-5 °C | 7 | 4 | 10 | 9 | 9 |
| | Sans degel Tx<=-0 °C | 3 | 0 | 4 | 3 | 3 |
| Au dessus du sol | Gelées à +10cm Tn<=-0 °C | 24 | 0 | 2 | 1 | 1 |
| | Gelées à +50cm Tn<=-0 °C | 23 | 4 | 10 | 10 | 10 |
| PRECIPITATIONS | | | | | | |
| HAUTEUR | | | | | | |

Rupture du soutènement en 2001

Analyse des causes de ruine :

Conditions météorologiques défavorables

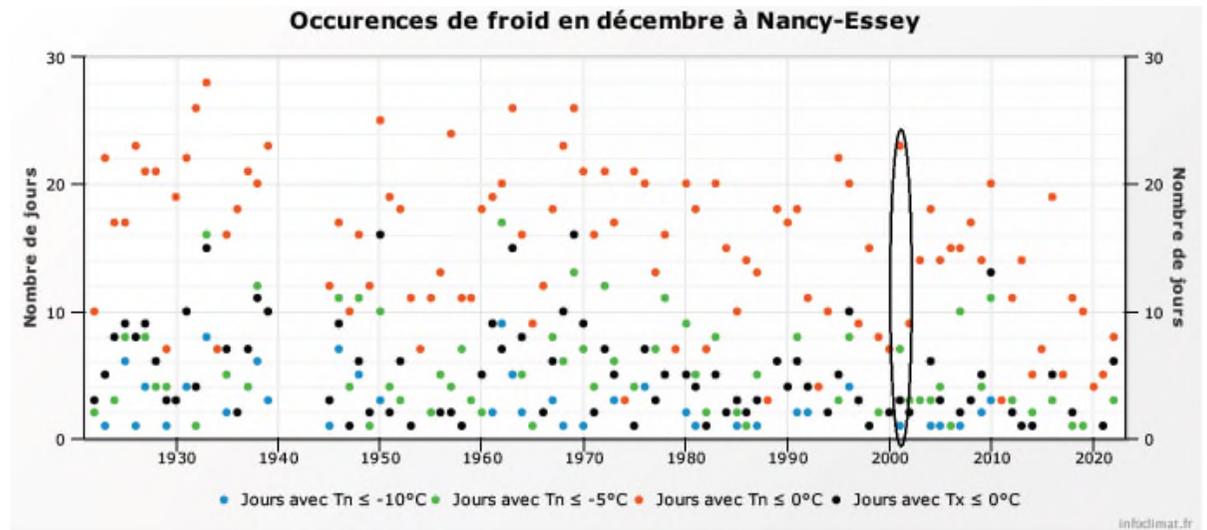
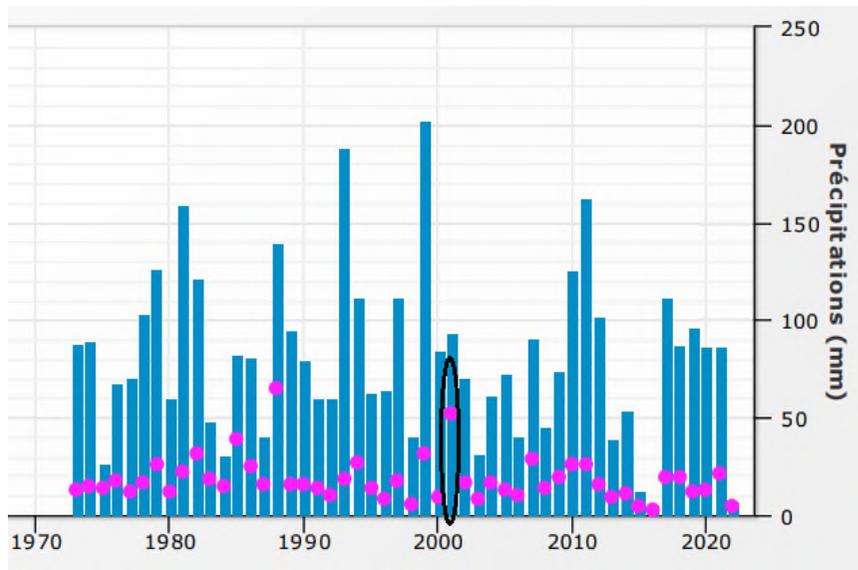


➤ Températures moyennes décennales et mensuelles (degrés)

Rupture du soutènement en 2001

Analyse des causes de ruine :

Conditions météorologiques défavorables



Rupture du soutènement en 2001

Analyse des causes de ruine : Dégradation sur les tirants



Tout d'abord il faut préciser que les câbles visibles après dégagement du remblai n'apparaissent pas protégés par une gaine sur toute leur longueur ; seule une protection par une peinture brai a sans doute existée à l'origine et a quasiment disparue aujourd'hui (quelques traces sont encore visibles sur certains fils).

Rupture du soutènement en 2001

Analyse des causes de ruine : Dégradation sur les tirants



Rupture du soutènement en 2001

Analyse des causes de ruine : Dégradation sur les tirants

L'examen visuel a montré des torons avec un aspect oxydé et mal enrobé



En conclusion, les caractéristiques des torons étaient sans aucun doute, à l'origine, conformes aux élaborations de l'époque. Les ruptures constatées proviennent sans ambiguïté de dégradations de surface de fils par corrosion suite à une insuffisance de protection induisant des microfissures importantes (jusqu'à 4 à 5 dixième de mm constatés au MEB). Ceci correspond à une réduction des capacités de précontraintes de l'ordre de 50 %. A ce stade, le phénomène de rupture en chaîne est tout à fait plausible.

vue de profil



vue de face



Etat initial



X 10

X 10

Etat après nettoyage



X 10

Rupture du soutènement en 2001

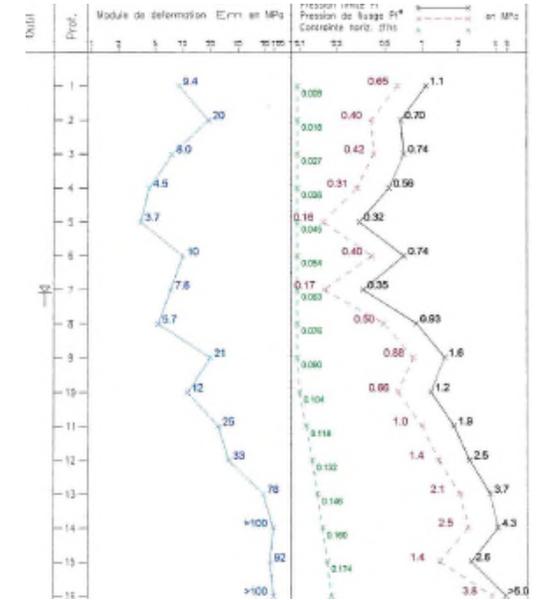
Reconnaitances géotechniques : écran profil

- Sondage à la pelle
- 2 Sondages pressiométrique
- 5 sondages pénétromètre dynamique
- Sondage carotté

| Profondeur | Description de la couche |
|--------------|--------------------------|
| 0 à 0,30 m | Grave ciment |
| 0,3 à 0,5 m | Laitier |
| 0,5 à 1,5 m | Blocs calcaires |
| 1,5 à 9,8 m | Tout-venant |
| 9,8 à 12,7 m | Marne grise |

Le sondage à la pelle a mis en évidence la présence des tirants (toron Type 6T13)
Tirant tous les 1.6 m

Contre calcul en 2002 :
1 Tirant défaillant sur 2 avec remontée de l'eau dans le remblai conduit à une rupture dans les tirants.



Neuves Maisons (54) Rupture du soutènement en 2001 Proposition de réparation

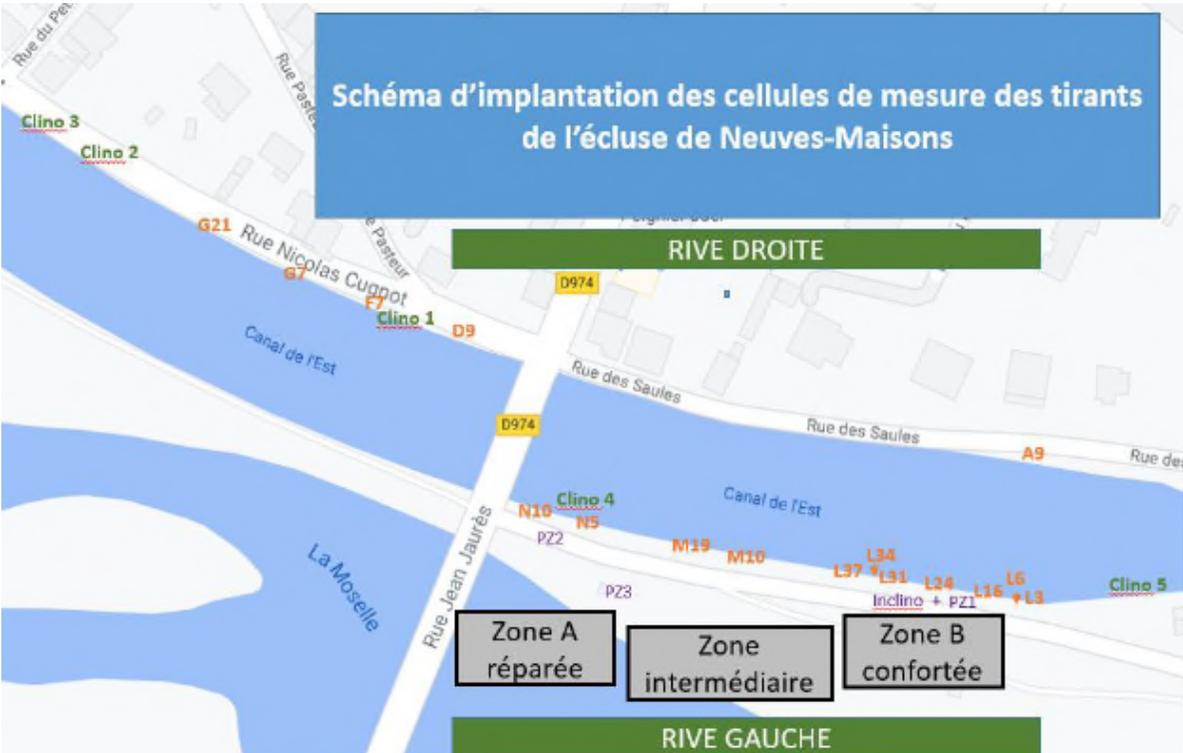
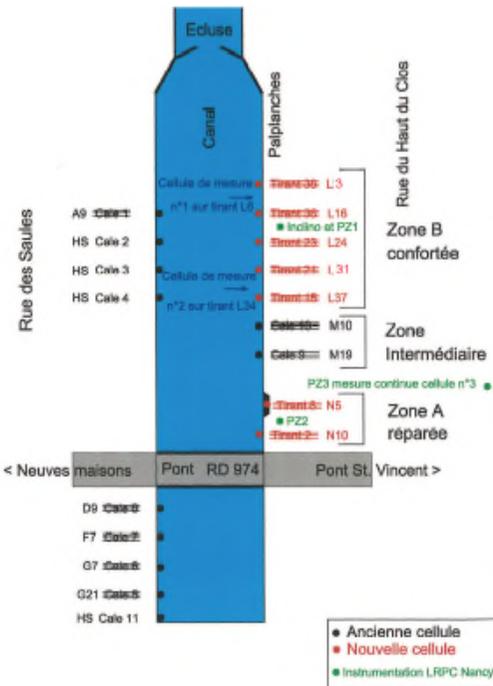
Renforcement du rideau de palplanches situé à proximité du pont adjacent (itinéraire prioritaire du CD54), par des tirants « barre » ancrés sur le rideau opposé (côté Moselle)

- Battage d'un rideau en retrait de l'ancien
- Mise en œuvre de tirants « barre » traversant comme précédemment (distance de 1.2 m)
- Recépage de l'ancien rideau à la cote canal + 1m
- Confortement de la deuxième zone adjacente par des tirants monobarre scellés dans les marnes
- Pose de nouvelles cellules Glötzl pour un suivi trimestriel.



Neuves Maisons (59)

Dispositif de suivi depuis 2002



Neuves Maisons (54) Dispositif de suivi depuis 2002

➤ Zone rive gauche: 3 zones sont à distinguer

Zone A : correspondant à la zone réparée en 2002, équipée de 2 cellules placées sur des tirants de type mono-barre.

Zone B : zone confortée, équipée de 5 nouvelles cellules en 2002

Zone intermédiaire : entre les deux zones précédentes, équipée de deux cellules anciennes

Neuves Maisons (54) Dispositif de suivi avant 2002

➡ Zone rive droite :

Les cellules de mesure sont positionnées sur des tirants d'ancrage (câbles avec précontrainte)

Quatre anciennes cales hors service ne sont plus mesurées (cellules anciennes).

En contre-bas de la rue des Saules : cinq "cellules anciennes" y sont mesurables .



Neuves Maisons (54) - Dispositif de suivi depuis 2002

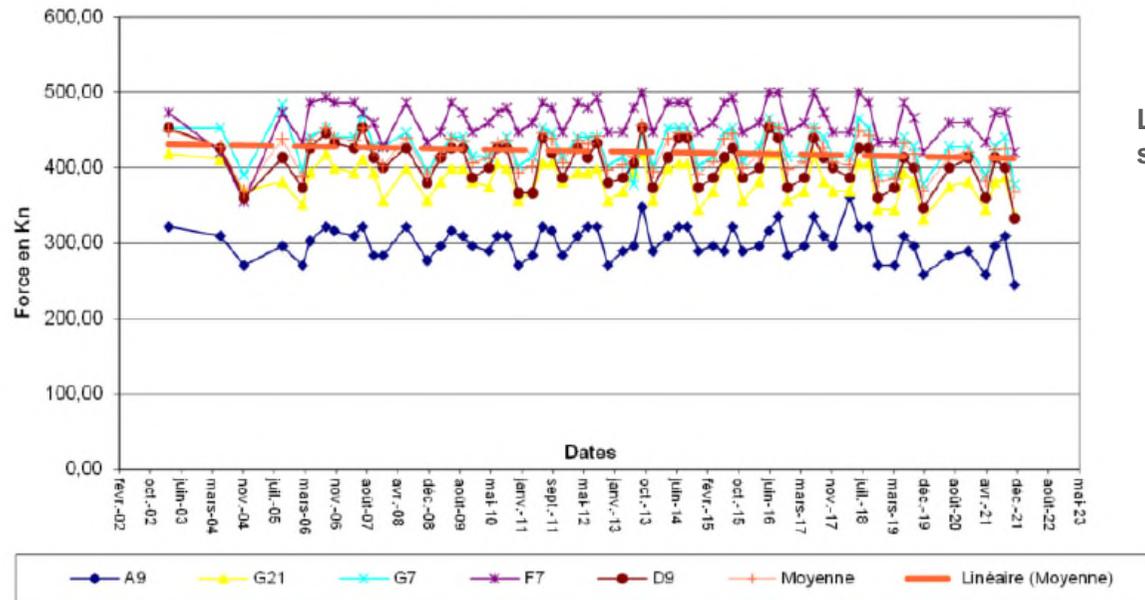
- Cales Glötzl sur nouveaux tirants.
- 2 cales Glötzl automatiques reliées à des mini-centrales d'acquisition.
- Pose d'un inclinomètre et de trois piézomètres à lecture manuelle.
- Automatisation d'un piézomètre avec acquisition par mini-centrale (à pile).
- Remplacement de toutes les mini-centrale par une centrale de type Geo-instrumentation installée dans un local de la DIREN (plus de perte d'information).
- Novembre 2010: pose de la canne de température,
- et mesure traction en continu (pour la zone confortée).
- 2021 : clinomètres sur les palplanches.



Neuves Maisons (54) - Suivi des tirants

Efforts dans les tirants – rive droite (mesures manuelles)

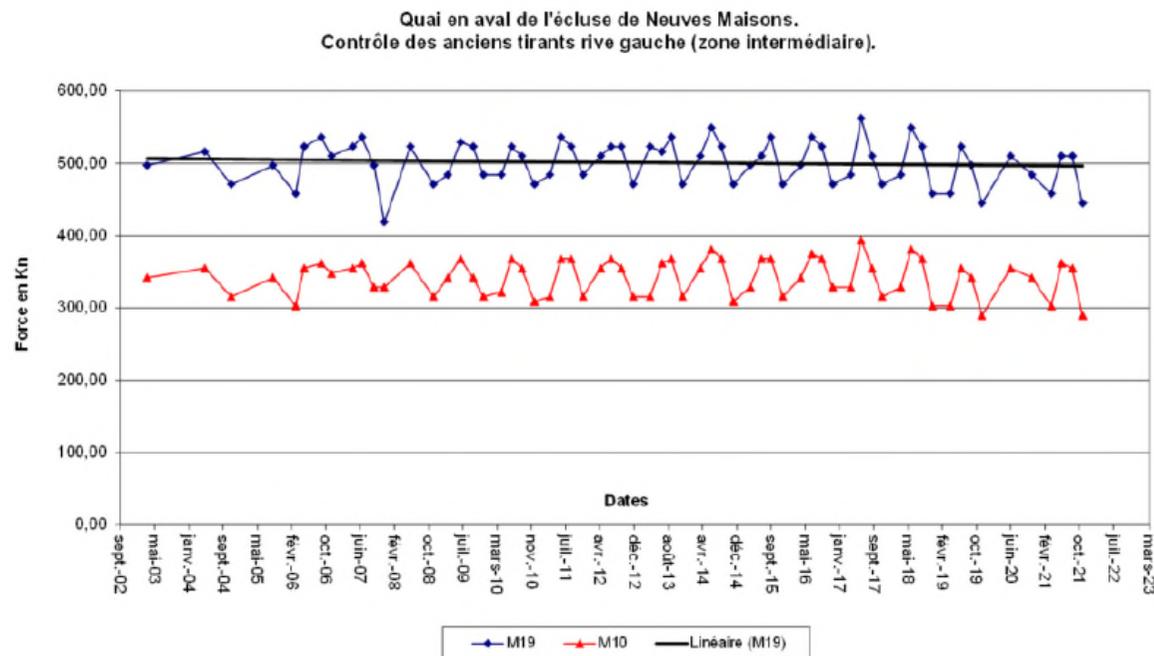
Quai en aval de l'écluse de Neuves Maisons.
Contrôle des anciens tirants rive droite



Les mesures mettent en évidence une diminution des efforts sur les 2 zones en amont et aval du pont en rive droite

Neuves Maisons (54) - Suivi des tirants

Efforts dans les tirants – zone intermédiaire (mesures manuelles)

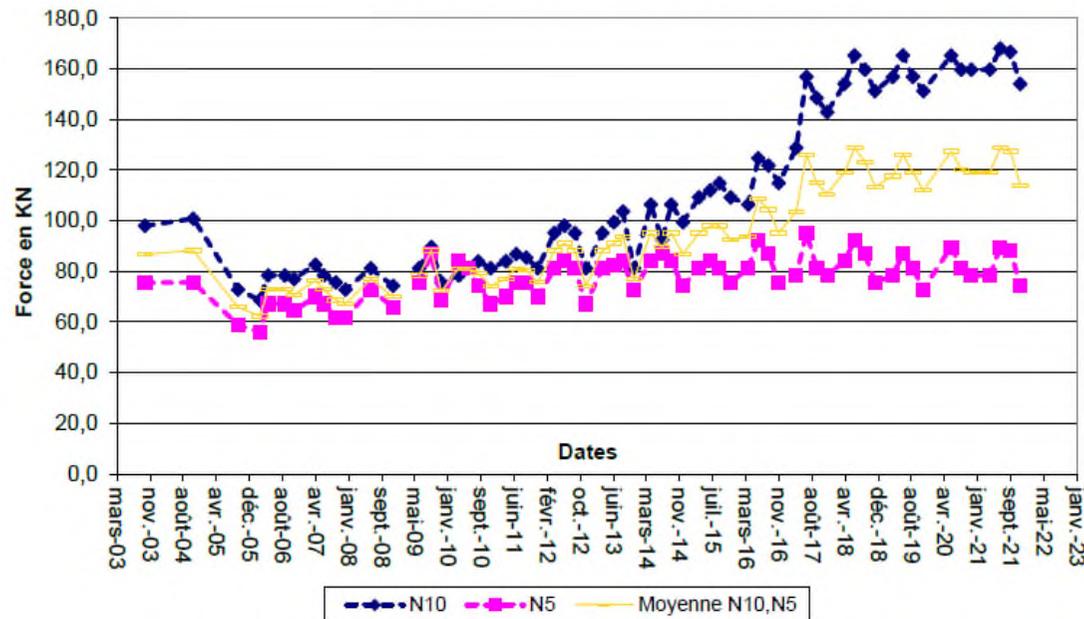


Les mesures mettent en évidence une diminution des efforts sur les 2 zones en amont et aval du pont en rive droite

Neuves Maisons (54) – Zone réparée - Suivi des tirants

Efforts dans les tirants – Zone A « réparée »

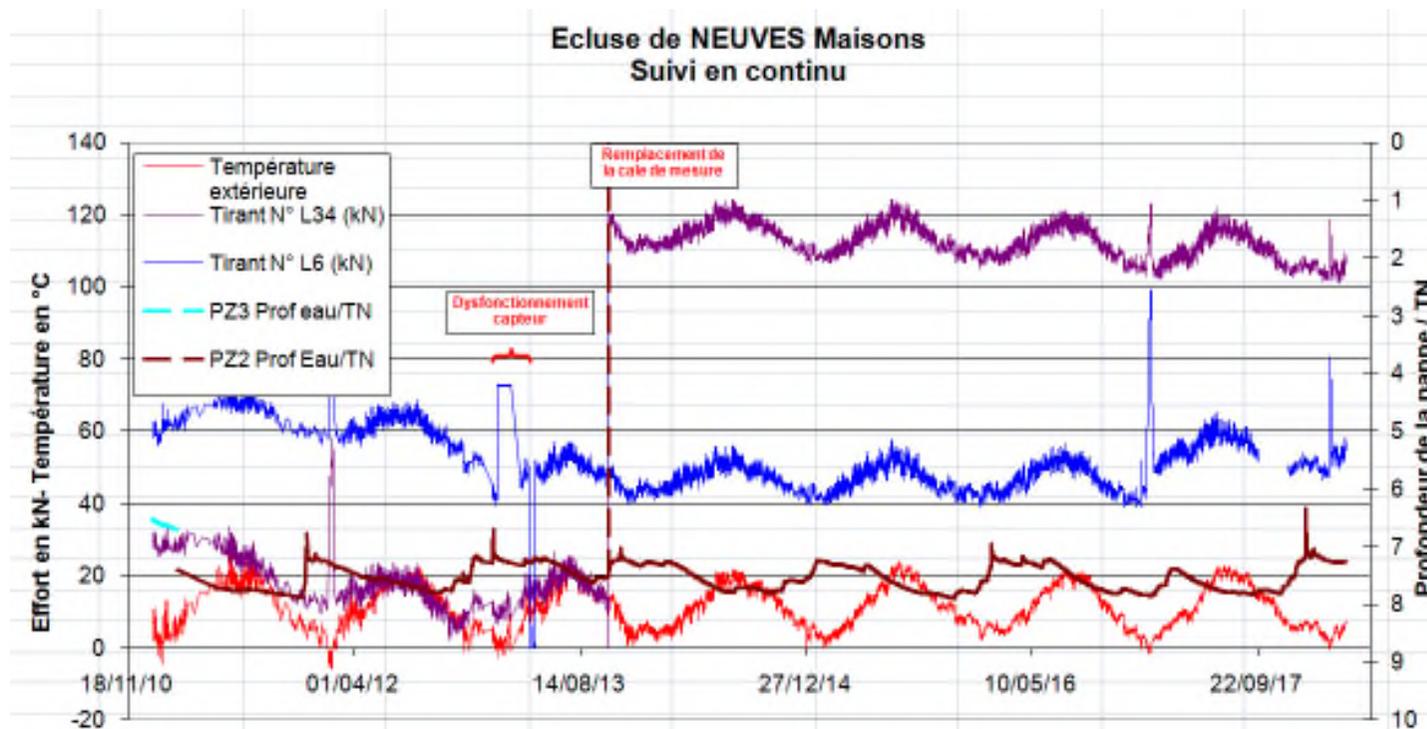
Quai en aval de l'écluse de Neuves Maisons
Contrôle des tirants sur la zone réparée



La traction mesurée dans le tirant N10 a augmenté de façon significative depuis 2017, alors que cette traction est stable le tirant N5 à proximité

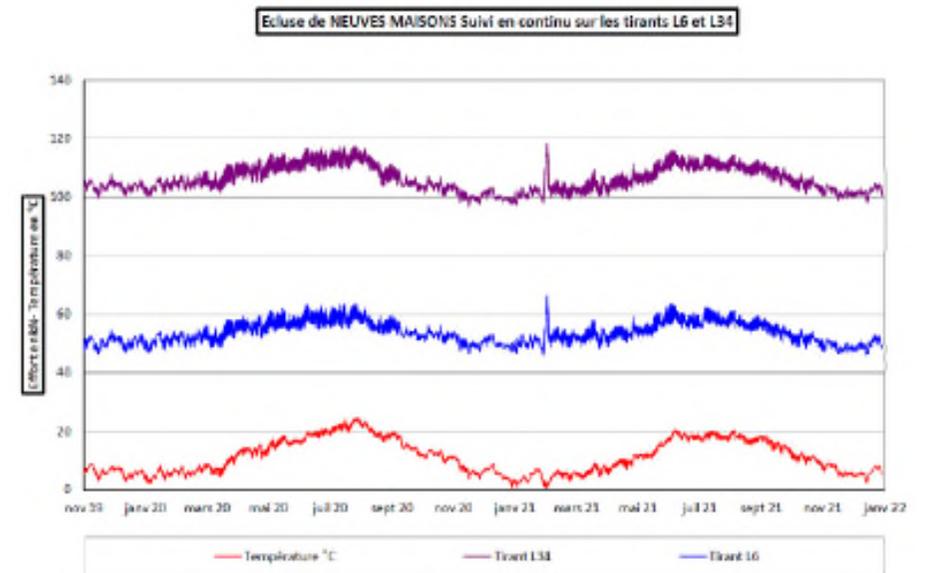
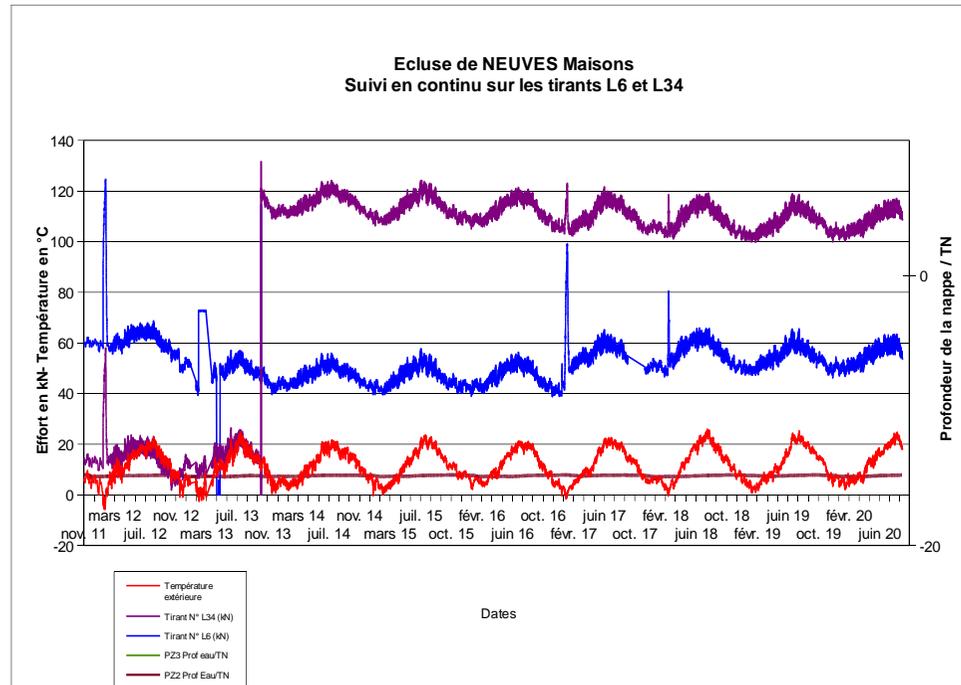
Neuves Maisons – Zone confortée – Efforts dans les tirants

Efforts dans les tirants – Zone confortée- Suivi en continu



Neuves Maisons – Zone confortée – Efforts dans les tirants

Efforts dans les tirants – Zone confortée- Suivi en continu

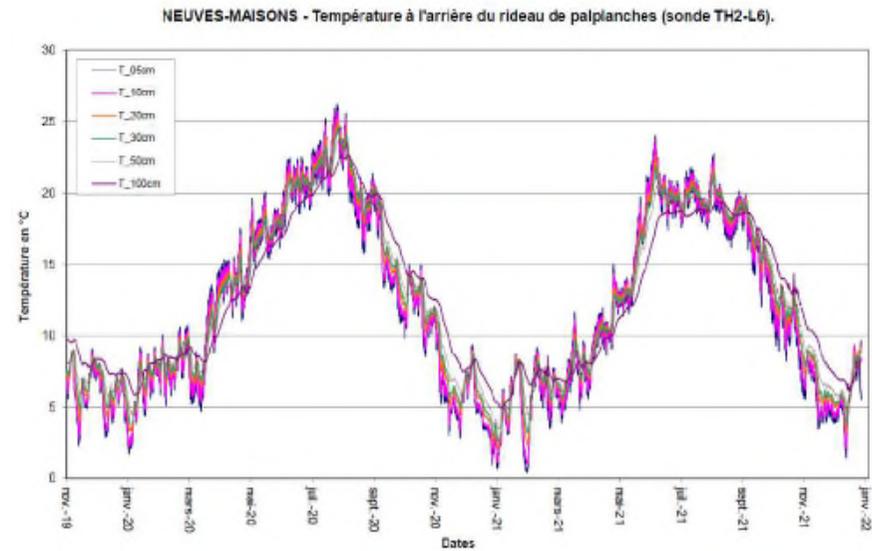
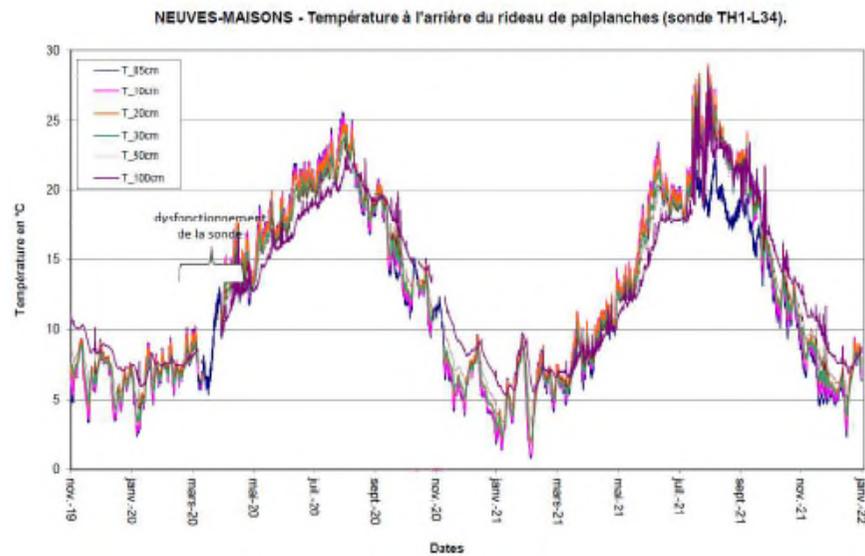


Tirants – Quelques pics avec au maximum un doublement de l'effort sur des périodes entre 1 jour et 12 jours

Neuves Maisons – Zone confortée

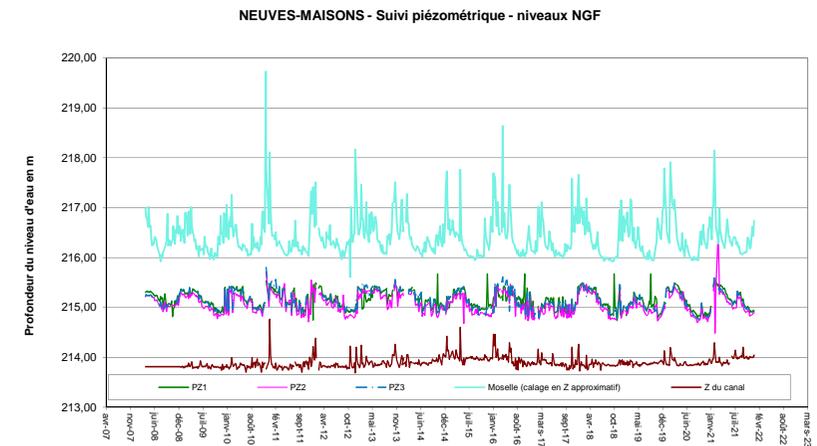
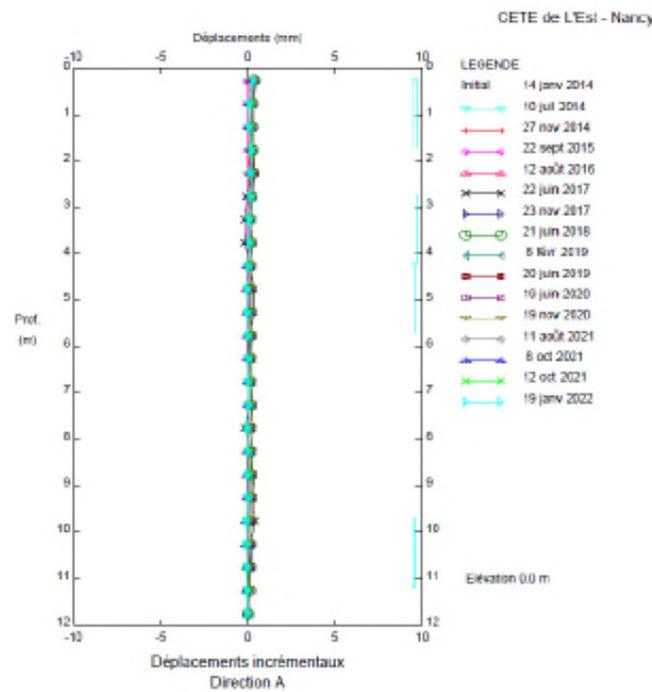
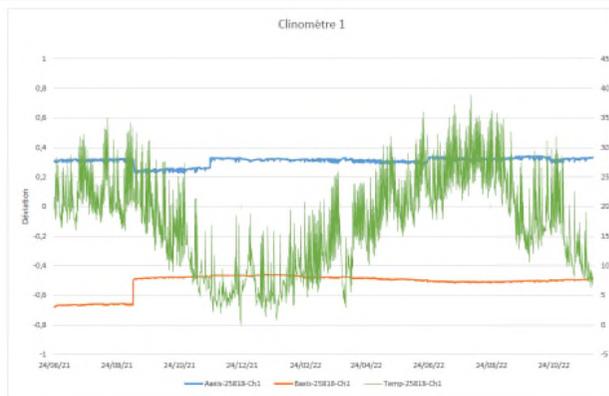
Evolution de la température

Suivi de température



Neuves Maisons

Suivi piézométrique et inclinométrique



Conclusions

Particularité des mesures automatiques:

- Aucune perte de données avec la nouvelle centrale installée dans un local chauffé.
- Evolutions différentes des tirants nouvellement équipés en comparaison des anciens tirants dont les efforts sont lus manuellement.
- Perte d'efforts dans les tirants nouvellement équipés

Température:

- inversion des courbes mini/maxi entre les périodes « froides » et les périodes « chaudes ».
- Période Gel : Augmentation des efforts dans les tirants équipés par des capteurs des mesures continu.
- Niveaux d'eau: pas d'influence notable constatée lors des épisodes de crues vis-à-vis des efforts dans les tirants.

Perspectives

- **Suivi en continu sur le long terme : avantages et inconvénients,**
- **Caractérisation du sol : sol sensible au gel,**
- **Mesurer les contraintes de poussée du mur**
- **Modélisation numérique : gel**

De l'intérêt d'instrumenter en continu les tirants d'ancrage

Merci de votre attention

