

Visite technique en Corse:

Instrumentation spécifique des ouvrages

Corte, le 7 octobre 2009

Sommaire

1. Rôle et objectifs de l'instrumentation
2. Démarche générale et techniques d'instrumentation
3. Cas d'un ouvrage en service : le pont du Stabiacciu
4. Cas d'un ouvrage neuf: le pont d'ABRA
5. Conclusions

Les rôles et objectifs

Rôles de l'auscultation

- Assurer la sécurité des ouvrages et contribuer à leur pérennité
- Permettre de :
 - déceler à temps tout comportement déviant pouvant entraîner la détérioration d'un ouvrage
 - programmer sa mise hors service
 - prévoir sa ruine

L'instrumentation: clef de voûte de l'auscultation

- L'instrumentation permet de
 - quantifier certains paramètres du comportement de l'ouvrage avec une grande précision
 - de suivre leur vitesse d'évolution
 - observer la stabilisation des mouvements
 - déduire l'éventualité d'une rupture dans le cas d'une accélération
 - suivre la stabilité de l'ouvrage
 - mettre en oeuvre au moment opportun, les mesures correctives en comparant les valeurs obtenues avec les valeurs calculées lors de la conception

Instrumentation des ouvrages en service

- **Après la constatation de désordres:**
 - Identifier la cause des désordres
 - Comprendre le fonctionnement de l'ouvrage
 - Proposer des solutions de confortations
 - Vérifier la pertinence des solutions pendant et après les travaux de réparations
- **Suivi de l'endommagement de l'ouvrage**
- **Surveiller: assurer la sécurité par la mise en place d'alertes**

Instrumentation des ouvrages neufs

- **Rôle fondamental durant la construction**
 - vérifier les hypothèses de conception
 - vérifier les interactions du nouvel ouvrage avec son environnement
- **Suivi du vieillissement naturel de l'ouvrage**
 - Paramètres initiaux: connaissance de l'histoire de l'ouvrage
 - Détection d'éventuelles anomalies
 - Vérifier la pertinence des solutions pendant et après les travaux de réparations
- **Maintenance préventive**

Instrumentation et modélisation

- **Instrumentation permet:**
 - Alimenter les modèles de calcul
 - Caler les modèles de calcul
 - d'effectuer des simulations et par couplage réalité/modèle de prévoir des risques de désordres et leurs évolutions
- **Modélisation permet:**
 - Aider à l'implantation de l'instrumentation dans les zones les plus sollicitées

La démarche

La démarche:

Mise au point du programme

- **Définition et dimensionnement de l'instrumentation**
 - Définir les objectifs
 - Définir les paramètres à mesurer et/ou à surveiller
 - Choisir les sections et les zones critiques à instrumenter
- **Association de compétences**
 - Le bureau d'étude d'instrumentation: connaît les instruments de mesures, leur limites, les contraintes liées à la mise en œuvre et à l'exploitation et l'interprétation des mesures
 - L'expert en conception d'ouvrage / pathologie: définit les paramètres critiques à suivre
 - L'expert en modélisation: aide à l'implantation de l'instrumentation

La démarche:

Choix des instruments de mesure

- Que veut on mesurer (paramètres, gamme de mesure, précision, longévité...)?
 - Capteurs standards
 - Capteurs « sur mesure »
- A quelle fréquence (acquisition continue, statique, dynamique...)?
- Quelles sont les contraintes économiques?
- Quelles sont les contraintes liées au chantier?

La démarche: La mise en œuvre

● Ouvrages neufs

- Coordination avec le chantier / insertion dans le phasage
- Mise en place des capteurs pendant les travaux (ex. capteurs noyés dans le béton..)
- Cheminement des câbles
- Tests des capteurs avant et après leur pose: valeurs initiales
- Connexion au système d'acquisition (alimentation..)
- Nécessité d'une présence accrue sur le chantier

● Ouvrages en service

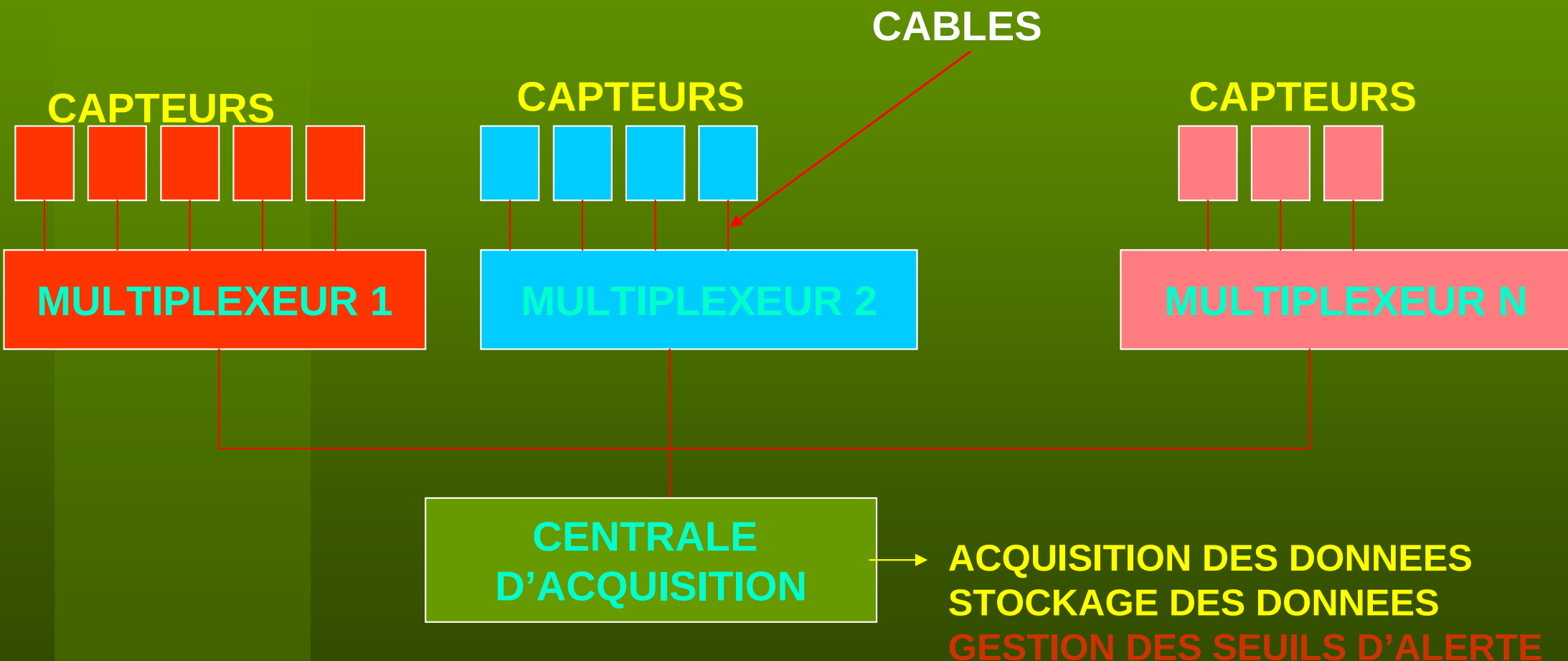
- Accès aux zones instrumentées
- Capteurs généralement placés en surface (esthétisme, vandalisme)
- Cheminement des câbles problématique, alimentation du système d'acquisition

La démarche: le système d'acquisition

● Dispositif d'acquisition

- Fréquence d'acquisition
- Stockage des mesures
- Suivi en temps réel
- Alimentation électrique du dispositif
- Transmission des données en temps réel ou à posteriori
- Alertes: sur chantier, à distance

La démarche: le système d'acquisition



La démarche: La transmission des données



La démarche: L'exploitation des mesures

- Passage des données brutes aux données physiques
- Corrections thermiques
 - Liées aux capteurs
 - Liées à la structure
- Calcul des variations et des évolutions

La démarche:

La surveillance, la gestion des alertes

- **Définition des paramètres et des seuils d'alertes**
 - Alertes de dysfonctionnement du dispositif
 - Près alertes et alertes sur paramètres à surveiller
 - Seuils peuvent être déduits des modèles de calcul

- **Gestion en cas d'alerte**
 - Actions à mettre en place peuvent conduire à:
 - Mise hors service de l'ouvrage
 - Mise en sécurité de l'ouvrage
 - Réparations ...

Application à un ouvrage en service

Le pont du Stabiacciu à Porto-Vecchio

Maitre d'ouvrage: C.T.C. – D.T.F.I.



Cas d'un ouvrage en service: Pont du Stabiacciu



- L'ouvrage:
 - Longueur totale de 101 m et de 8,30 m de largeur, 5 arches d'ouverture 15 m à la base.
 - Piles en maçonneries d'épaisseur de 2,00 m, Culées en maçonneries sont pleines
 - Les 2 arches de rives en maçonnerie, d'origine, sont des voûtes de plein cintre.
 - Les 3 arches centrales, constituées de 2 voiles en béton armé, à intrados de plein cintre



Cas d'un ouvrage en service: Pont du Stabiacciu



Cas d'un ouvrage en service: Pont du Stabiacciu



● Problèmes:

– Principaux désordres structurels:

- fissuration de flexion, d'ouvertures variables, à la clé de l'ensemble des poutres « arc », et aux reins de certaines,
- décollement des voiles tympans, sur la poutre « arc »,
- éclatement du béton plus ou moins important au niveau de l'articulation de la poutre « arc » sur sommier

– Conclusions du CETE suite au recalcul de l'ouvrage et à sa modélisation

- les sollicitations restent, pour les éléments critiques, supérieures aux sollicitations résistantes
- l'ouvrage ne dispose pas, des armatures suffisantes pour lui permettre de reprendre, dans des conditions réglementaires, les sollicitations auxquelles il est soumis.

Cas d'un ouvrage en service: Pont du Stabiacciu



- **Objectifs généraux:**

- Programmer le remplacement de l'ouvrage avec ou sans réparation
- Évaluer le niveau de service de l'ouvrage : appréhender le fonctionnement de l'ouvrage et « alimenter » les modèles de calcul.
- Suivre son endommagement afin de s'assurer qu'il n'est pas dangereux :
Surveillance de l'ouvrage avec alerte

- **Instrumentation de l'ouvrage**

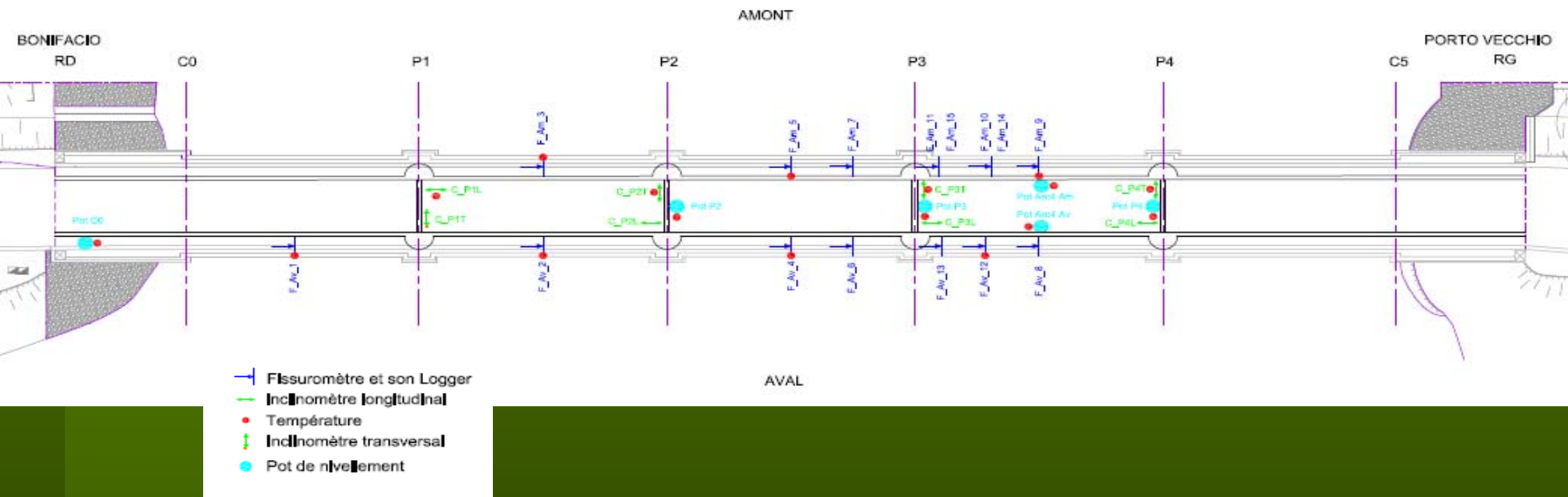
- Comprendre le fonctionnement de l'ouvrage pour aider à établir le diagnostic pathologique et caler les modèles de calcul
 - instrumentation locale : appréhender les phénomènes encore actifs, déterminer le comportement sous sollicitation thermique...)
- Surveiller l'ouvrage pour garantir la sécurité en mettant des seuils d'alerte (instrumentation locale et globale)

Cas d'un ouvrage en service: Pont du Stabiacciu



- **Choix des instruments de mesure:**
 - des mesures du tassement (nivellement de l'ouvrage) avec des pots hydrostatiques interconnectés en acquisition continue (1 pot de référence)
 - mesure des flèches des arcs béton
 - mesure du tassement des piles
 - mesures du basculement des appuis longitudinal et transversal par des inclinomètres
 - mesures d'ouvertures/fermetures des principales fissures
 - des mesures des phénomènes environnementaux par les sondes de température

Cas d'un ouvrage en service: Pont du Stabiacciu



Cas d'un ouvrage en service: Pont du Stabiacciu



- Choix des instruments de mesure:
 - 5 mesures de tassement des piles et des poutres arc par des pots de nivellement



Cas d'un ouvrage en service: Pont du Stabiacciu



- Choix des instruments de mesure:
 - 8 mesures de basculement des piles par des inclinomètres



Cas d'un ouvrage en service: Pont du Stabiacciu

- Choix des instruments de mesure:
 - 15 mesures d'ouverture et de fermeture de fissures par des capteurs de déplacement



Cas d'un ouvrage en service: Pont du Stabiacciu



- **Choix des instruments de mesure:**
 - 17 mesures de température réparties sur tout l'ouvrage
 - Associées à l'ensemble des capteurs
- **Implantation de l'instrumentation**
 - Fonction des conclusions de l'IDP exceptionnelle réalisée par GETEC
 - Fonction du recalcul de l'ouvrage par le CETE
- **Système d'acquisition mixte: filaire et non filaire pour optimiser les passages de câbles**
- **Mise en place de seuils d'alerte en fonction des premiers résultats de calcul**
- **Mise sous surveillance de l'ouvrage**

Application à un ouvrage neuf

Le pont d'ABRA

RN 196 entre GROSSETTO et PETRETO

Maitre d'ouvrage: C.T.C. – D.T.F.I.

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Objectifs généraux:

Du fait des « incertitudes » sur les caractéristiques mécaniques du béton utilisé pour la construction du Pont d'Abra et de la géométrie particulière de ce pont, la CTC a souhaité:

- suivre le comportement pendant la construction
- rapprocher les mesures obtenues aux données issues des modèles de calcul utilisés pour la conception de l'ouvrage.
- suivre dans le temps le vieillissement naturel de l'ouvrage,
- effectuer une maintenance préventive du pont

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Stratégie:

– Instrumentation intégrée à l'ouvrage

- Appréhender les déformations différées et la redistribution des efforts dans cette structure particulière à âmes ajourées
- mesurer les gradients thermiques et les effets du fluage dans les sections normales de l'ouvrage.

– Modélisation des effets thermiques

- connaître la part qu'occupent les phénomènes thermiques dans la déformation globale

➤ **Deux paramètres clé : le fluage, les déformations thermiques**

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Stratégie:

- Mesures de la température dans l'ouvrage
 - Obtention des gradients de température et de leur évolution en tout point des sections, et d'expliquer les mouvements dus aux phénomènes thermiques qui peuvent être importants
- Modélisation des effets thermiques
 - Entrée dans le modèle des T°C mesurées
 - Calibration des lois d'échanges
 - Déduction de la redistribution des T°C sur l'ensemble de la structure

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Stratégie:

– Mesures de l'évolution du fluage

➤ par la mesure des réaction d'appuis sur culée

- Les réactions d'appui sur culées ne varient pas avec le fluage. Elles dépendent de deux phénomènes essentiels :
 - les effets thermiques dans l'ouvrage (essentiellement le « gradient linéaire de température »)
 - la redistribution des efforts par fluage, lié à l'effet hyperstatique des pertes de précontrainte
- par l'étude du béton mis en œuvre (Labo2A, LCPC)
 - prédire/expliciter le comportement du béton, en particulier en ce qui concerne le comportement différé du béton (flèches)
 - disposer de données fiables relative au comportement du béton pour un éventuel recalcul de l'ouvrage

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Stratégie:

- Mesures des déformations liées au retrait, au fluage et à la température: mesures extensométriques
 - Suivi de l'évolution structurelle du béton
 - intégration aux calculs en remontant aux contraintes et à la modélisation des déplacements sous l'influence des paramètres environnementaux

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Étude du béton mis en œuvre (Labo2A, LCPC)

- Résistances sur site, en labo : quelle est la résistance probable du béton réel dans l'ouvrage ?
 - comparaison entre résistances à la compression de carottes de bloc et béton réalisé en laboratoire (LRPC Strasbourg)
- Expliquer les valeurs de module mesuré à partir des caractéristiques des roches, du ciment, de la composition, etc
- Disposer de données nécessaires au calcul – ou re-calcul de l'ouvrage
 - Mesure de Retrait Endogène et de Dessiccation à 2 jours
 - Fluage Propre et Fluage de Dessiccation à 7, 28 et 86 jours
 - Évolution de f_{cj} et E_{ij}
 - Identification des lois réglementaires BPEL

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

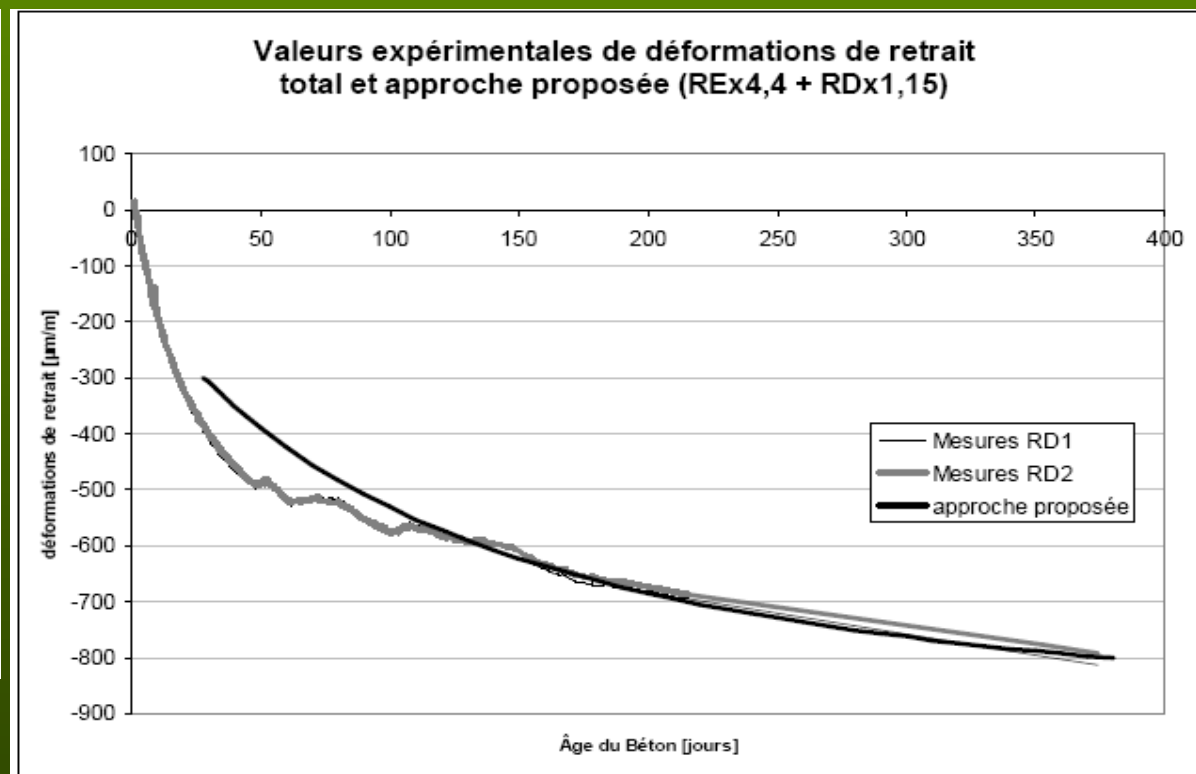
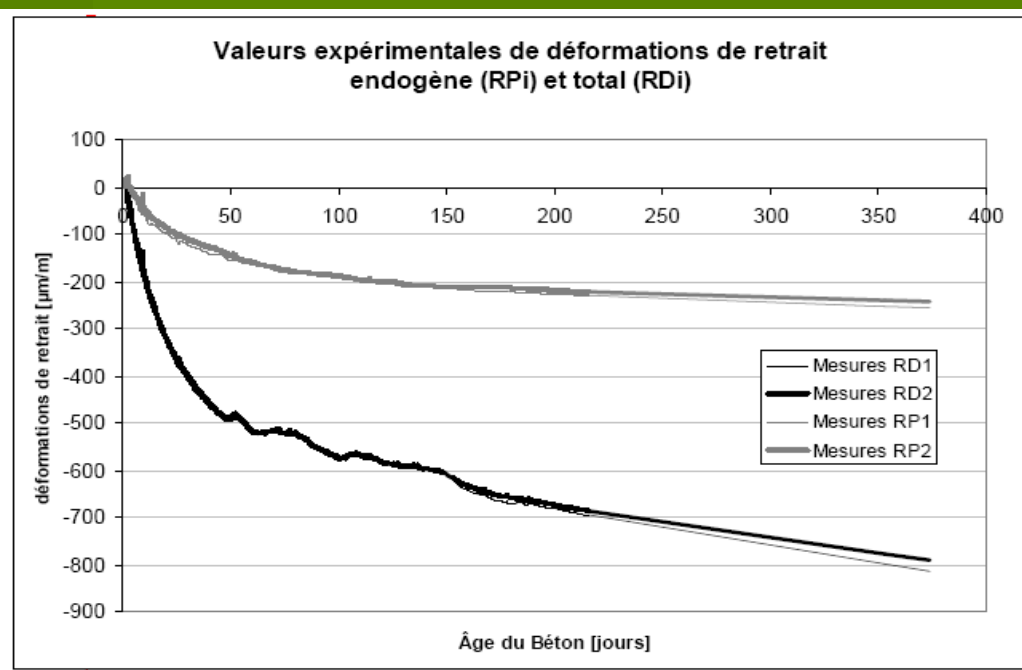
➤ Étude du béton mis en œuvre (Labo2A, LCPC)



- Analyse des dossiers de carrière
 - Ce type de roche permet de réaliser des bétons à hautes performances.
 - Analyse des dossiers d'études des bétons
 - Formulation du béton des voussoirs fournie par le laboratoire d'Ajaccio
 - Le béton doit être un **C40/50**.
 - Résistance et modules d'élasticité du béton réel
 - résistance en peau de 65,3 MPa comparable aux valeurs de contrôle relevées sur chantier
 - diminution de la résistance à cœur de 3,1 MPa liée à l'histoire thermique du béton de masse et à la nature et compacité différente des hydrates formés.
- **valeur du module d'élasticité, de 30,5 GPa**
- cette valeur est faible par rapport au modèle BPEL pour un béton C40: module de 37,6 GPa.

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

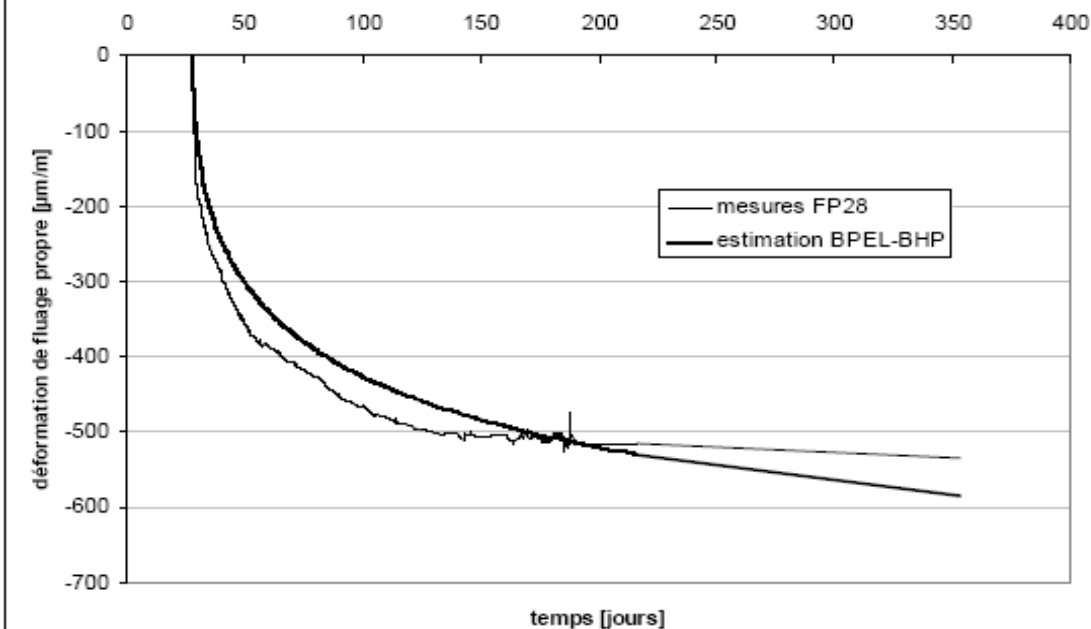
● Étude du béton mis en œuvre: identification des lois de retrait



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

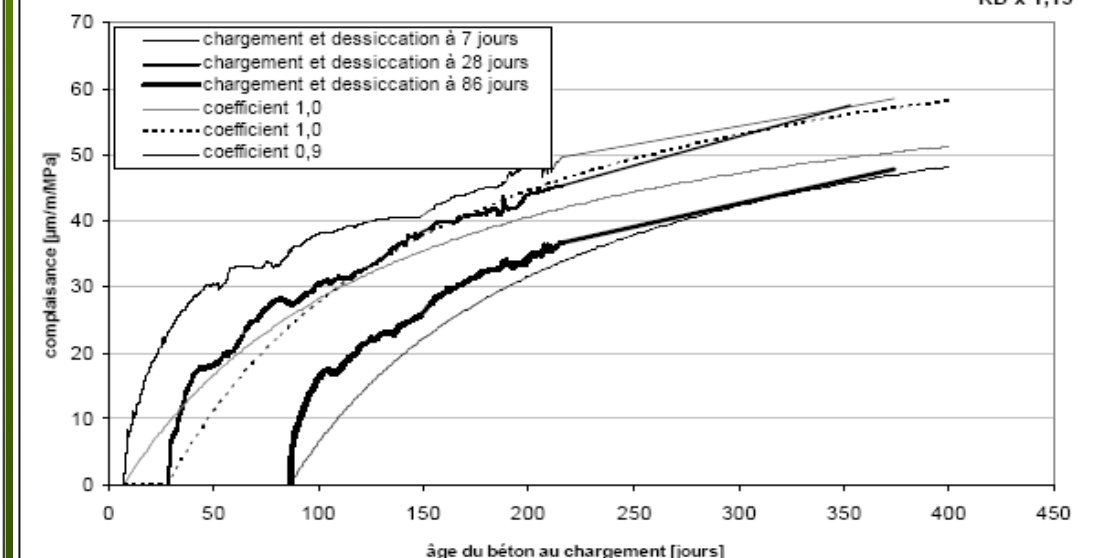
● Étude du béton mis en œuvre: identification des lois de fluage

Fluage propre : chargement à 28 jours



Complaisance de fluage de dessiccation
identification coefficients multiplicatifs

Ei28 = 30,5 GPa
RD x 1,15



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

➤ Conclusions sur l'étude du retrait et du fluage du béton

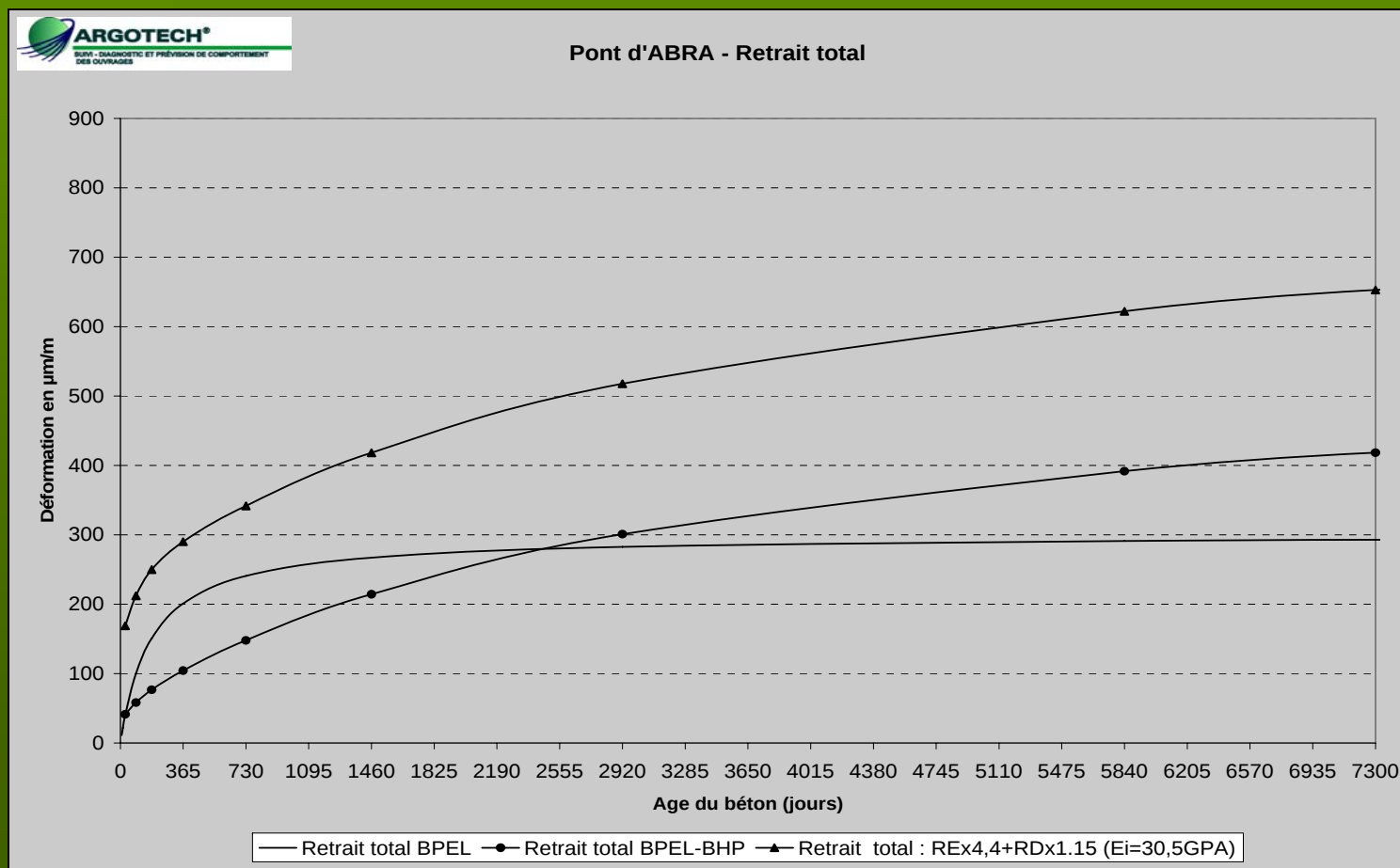
- Dans l'annexe 14 du BPEL 91 révisé 99, la valeur forfaitaire du retrait final est de – 300mm/m (quart sud-est de la France). Ce retrait final inclut la déformation de retrait endogène et celle de retrait de dessiccation.
- La déformation de retrait total (éprouvette) atteint –700 mm/m après 1 an
- Il conviendrait d'utiliser les modèles BPEL-BHP, qui différencient le retrait endogène du retrait de dessiccation, et le fluage propre du fluage de dessiccation.
- Pour obtenir une estimation correcte des déformations instantanées et différées, les corrections suivantes peuvent être envisagées :
 - $f_{c28} = 40 \text{ MPa}$
 - $E_{i28} = 30,5 \text{ GPa}$
 - modèle retrait endogène x 4,4
 - modèle retrait de dessiccation x 1,15
 - modèle de fluage propre x 1,0
 - modèle de fluage de dessiccation x 1,0



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Étude du béton mis en œuvre

➤ Comparaison des modèles de retrait

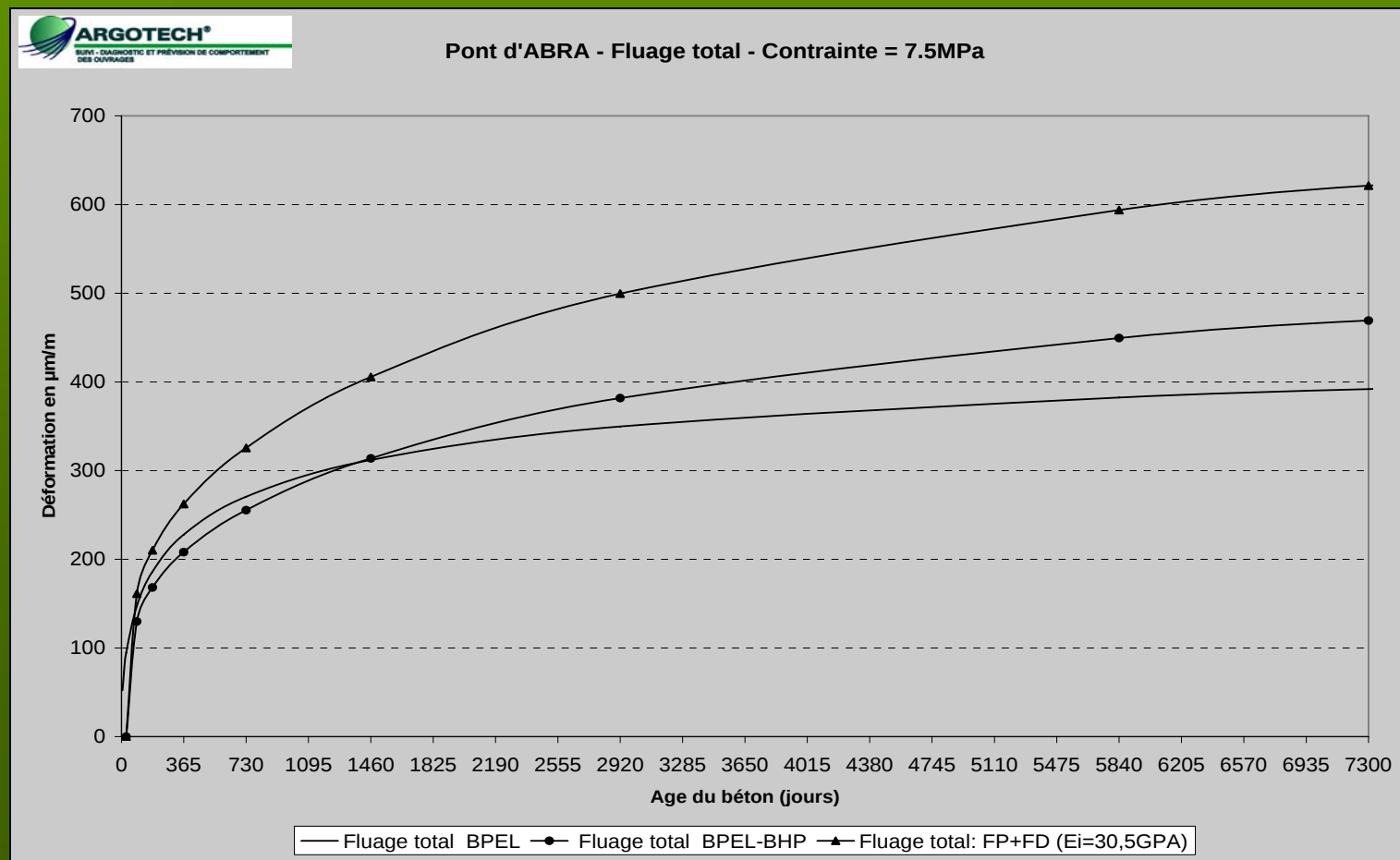


Ratio à l'infini
= 2,7

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Étude du béton mis en œuvre

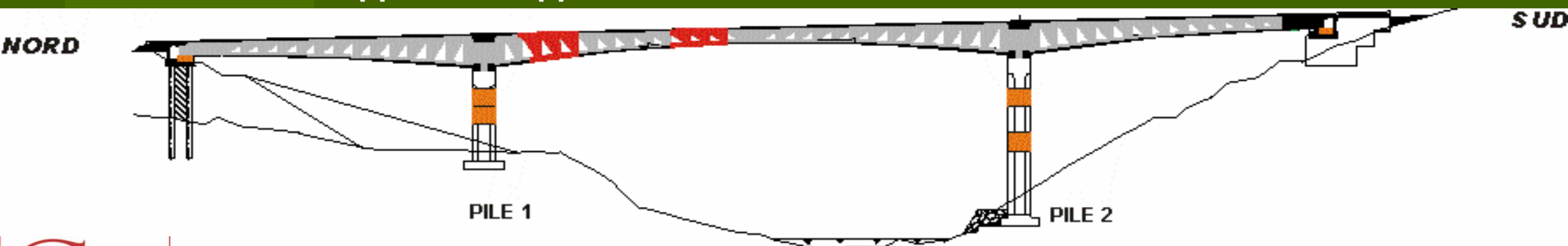
➤ Comparaison des modèles de fluage



Ratio à l'infini
= 1,7

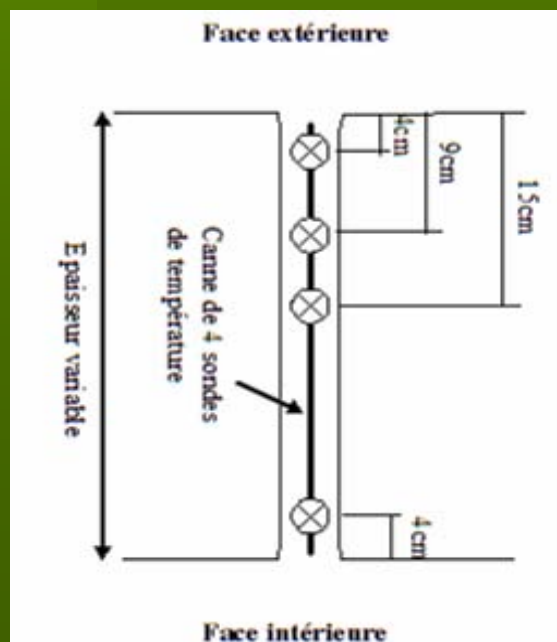
Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- Définition et le dimensionnement de l'instrumentation établis en tenant compte de la complexité structurelle de l'ouvrage:
 - Ne pas alourdir les coûts
 - Sections représentatives fonction de la symétrie et de l'exposition de l'ouvrage:
 - Tablier: 1 zone près de la clé et 1 zone près d'une pile
 - Les deux piles (piles encastrées)
 - Les appareils d'appuis des 2 culées



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- Choix des instruments de mesure: Température
 - Mesures des phénomènes environnementaux par les sondes de température et des humidimètres noyés à différentes profondeurs
 - Suivi des paramètres naturels dont les données seront corrélées avec les données structurelles apportées par les autres capteurs



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Choix des instruments de mesure: Réaction d'appuis

Cellules de force Etendue de mesure: 3000 kN – Précision: $\pm 15\text{kN}$ Ø:340 H:40



Incidence chantier: Modification des appareils d'appuis – Butée latérale

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- Choix des instruments de mesure: Déformation

- Pour les voussoirs:

- des jauges de déformation noyées à mi-épaisseur dans les hourdis supérieur et inférieur
- des déformomètres en surface des âmes en triangles

- Pour les piles le tablier étant encastré dans les piles: il peut y avoir à la fois des moments de flexion et des efforts horizontaux en tête

- des déformomètres en surface sur les voiles transversaux de la pile P1
- des jauges de déformation noyées à mi-épaisseur des voiles de la pile P2

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- Choix des instruments de mesure: jauges de déformation à cordes vibrantes noyées dans le béton

Etendue de mesure 3000 $\mu\text{m/m}$ _ précision : $\pm 3 \mu\epsilon$ $\varnothing$: 19 mm L:153 mm



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

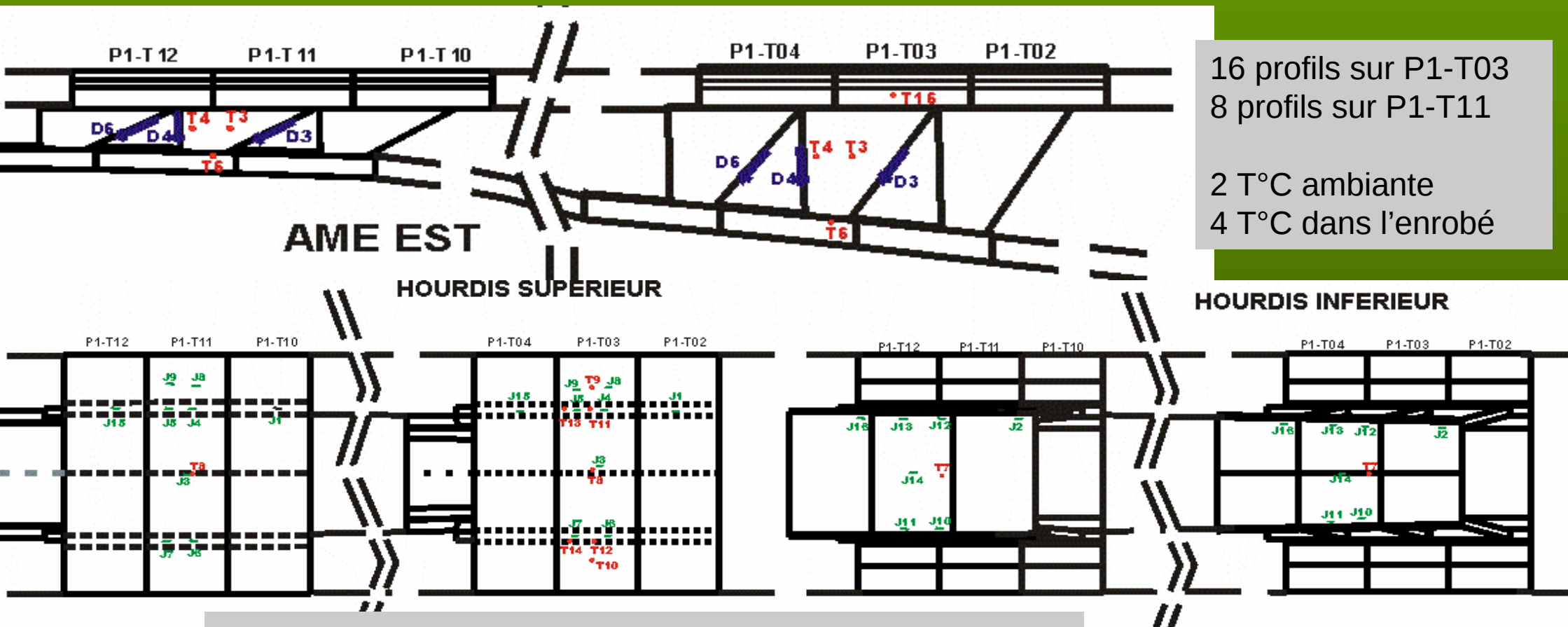
- Choix des instruments de mesure: déformomètres à cordes vibrantes en surface sur les âmes et la pile P1

Base de mesure 1 m – Etendue de mesure: 25 mm – Précision: ± 0.075 mm



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

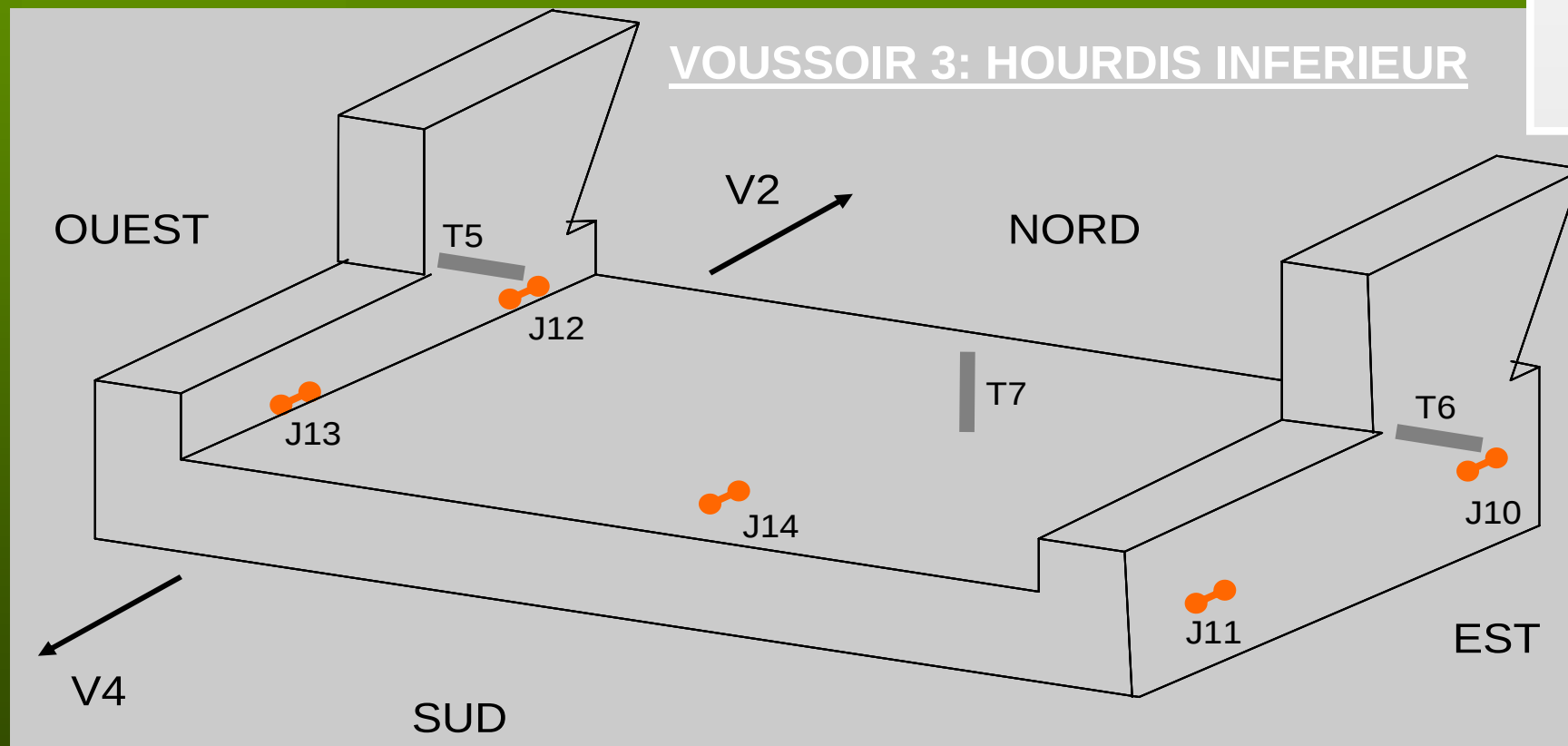
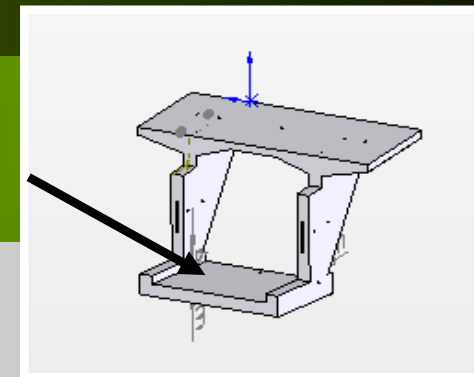
● La mise en oeuvre: les voussoirs instrumentés



Pour deux sections de 3 voussoirs
16 jauges par section
6 déformomètres sur les âmes par section

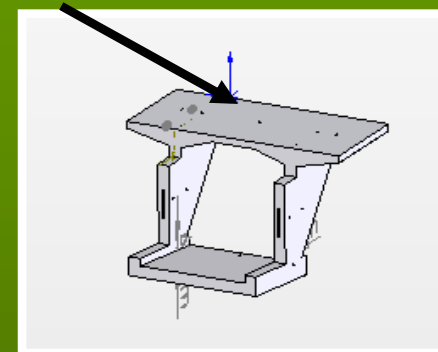
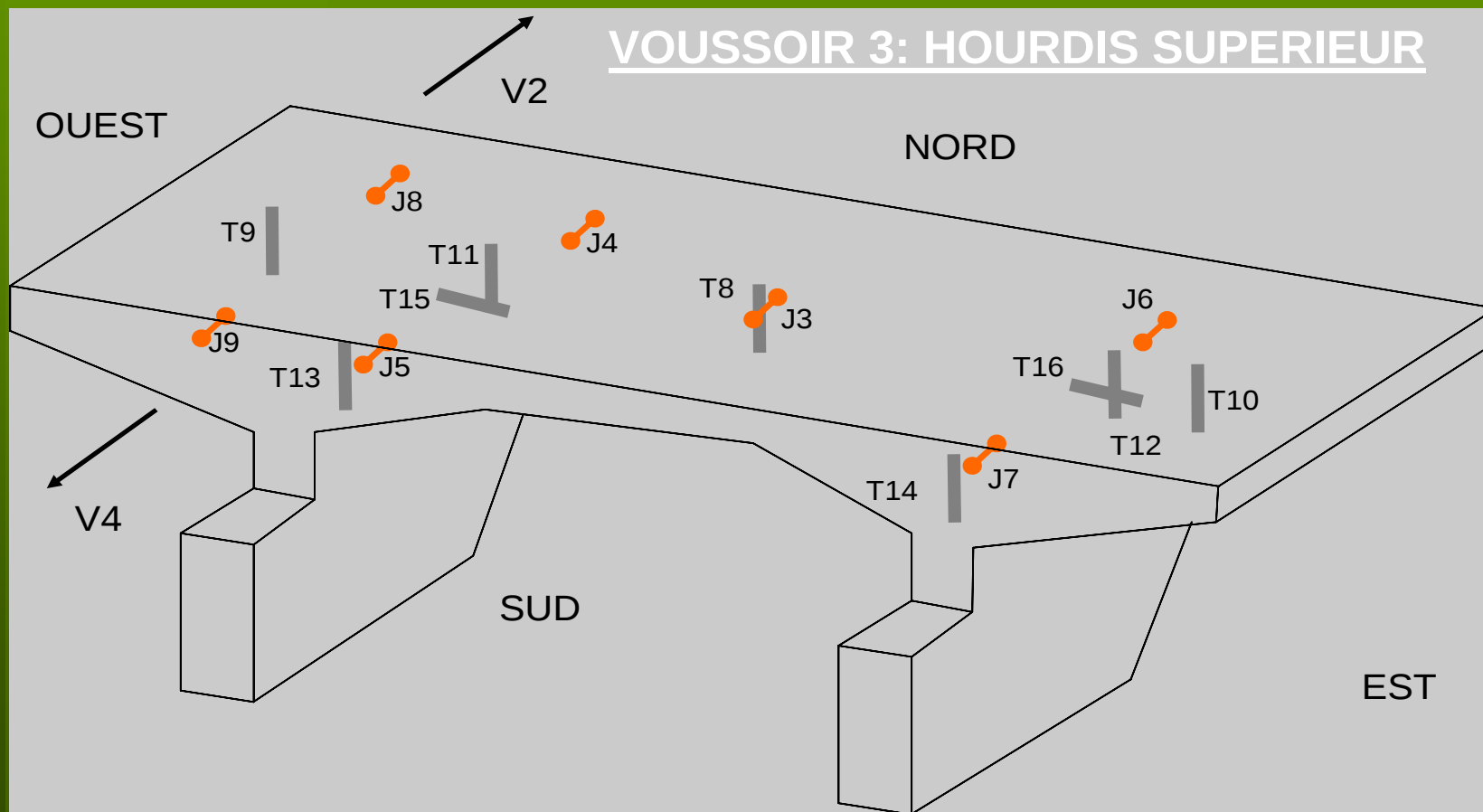
Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● La mise en oeuvre dans un voussoir



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

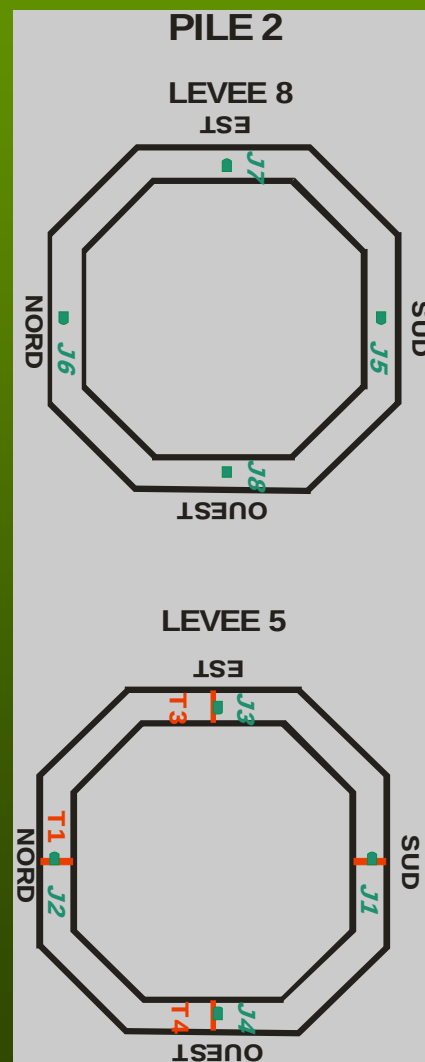
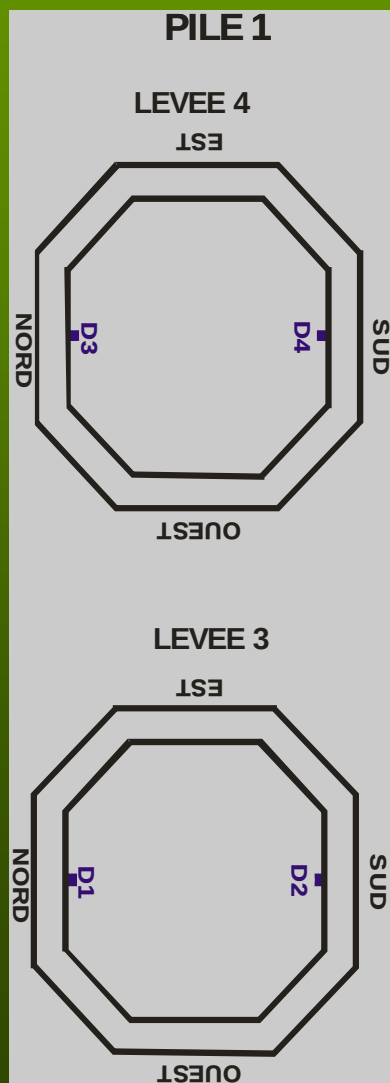
La mise en œuvre dans un voussoir



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● La mise en oeuvre: les piles

4 déformomètres

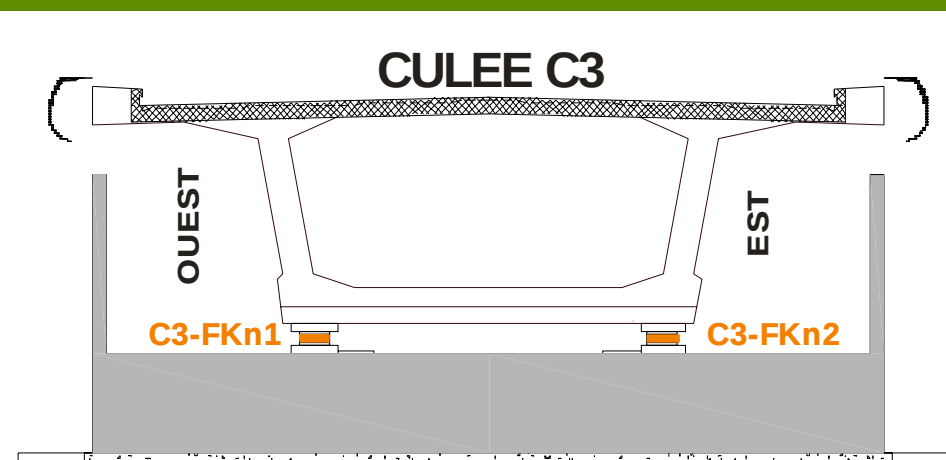
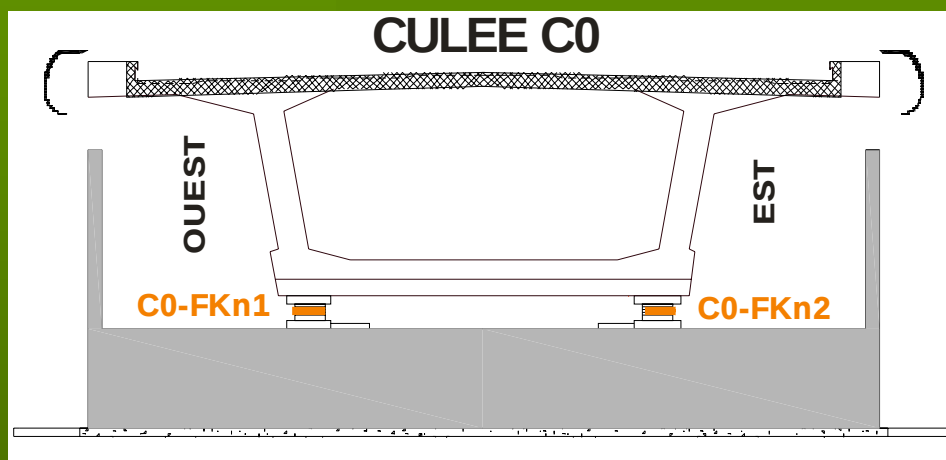


4 profils T°C

8 jauges

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- La mise en oeuvre: les culées

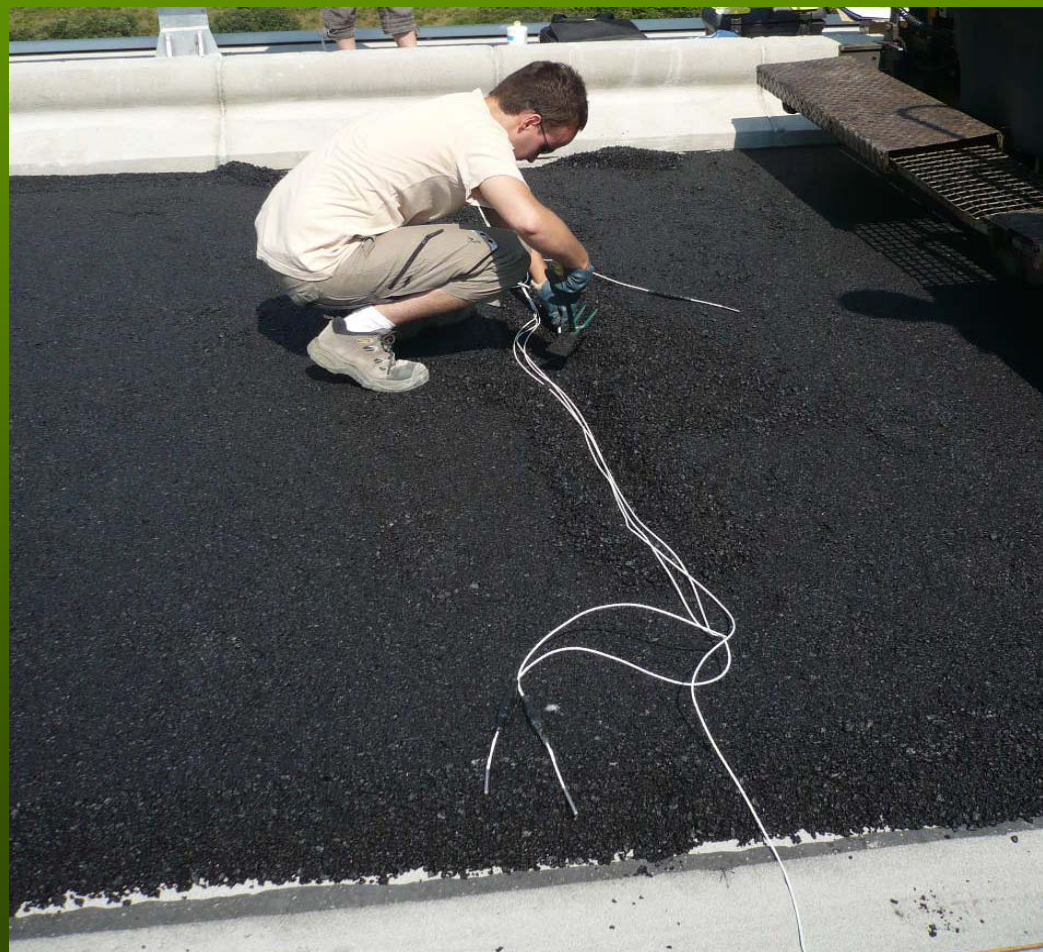


4 cellules de force

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- La mise en oeuvre: sonde T°C dans l'enrobé

5 sondes de T°C



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- La mise en oeuvre: 2 systèmes d'acquisition



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● La mise en oeuvre:

- Plus de 250 points de mesure intégrés à l'ouvrage (environ 100 capteurs, 50% faits sur mesure)
- Grand nombre de capteurs noyés dans le béton
 - Insertion dans le phasage du chantier
 - Forte présence sur le chantier
 - Tests des capteurs avant après bétonnage
- Modification des appareils d'appuis
- Capteurs noyés dans le béton et cheminement des câbles: perturbation pour le chantier

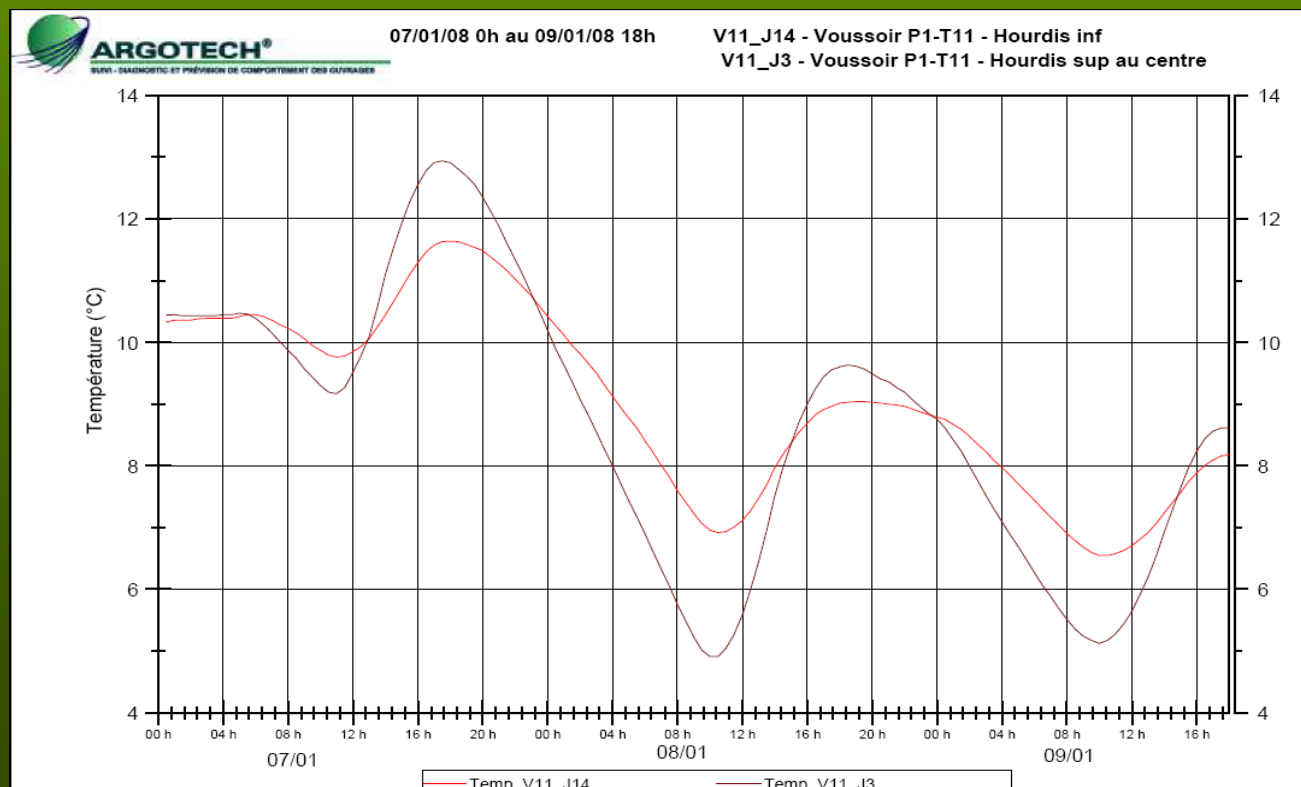


Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● L'exploitation des mesures pendant les travaux:

- Transmission des courbes de température pour déterminer les heures de clavage: limiter les gradient de T°C entre le hourdis supérieur et le hourdis inférieur

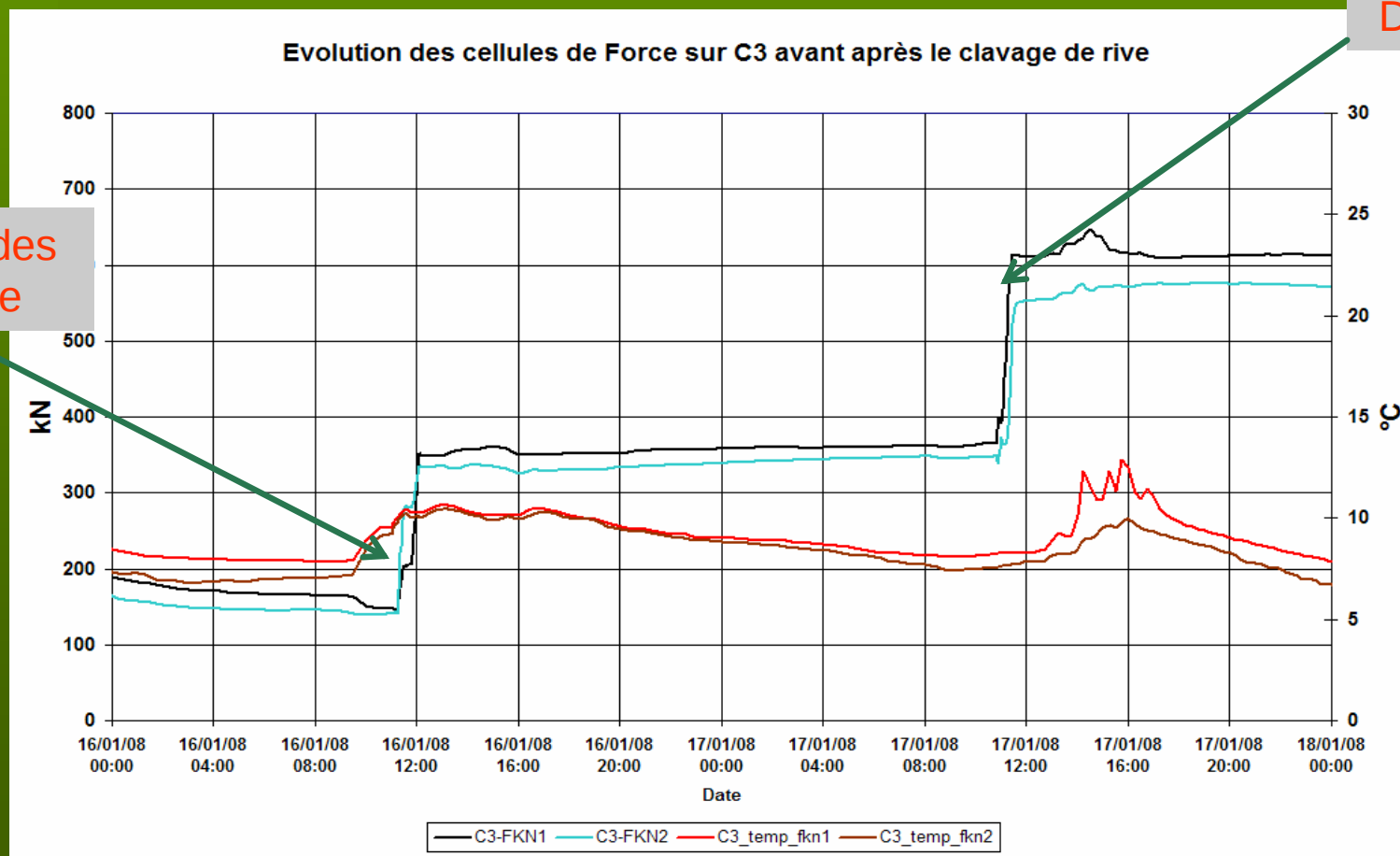
- Ex. Clavage de rive C3:



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● L'exploitation des mesures pendant les travaux:

➤ Ex. Réactions d'appuis sur C3 après le clavage de rive:



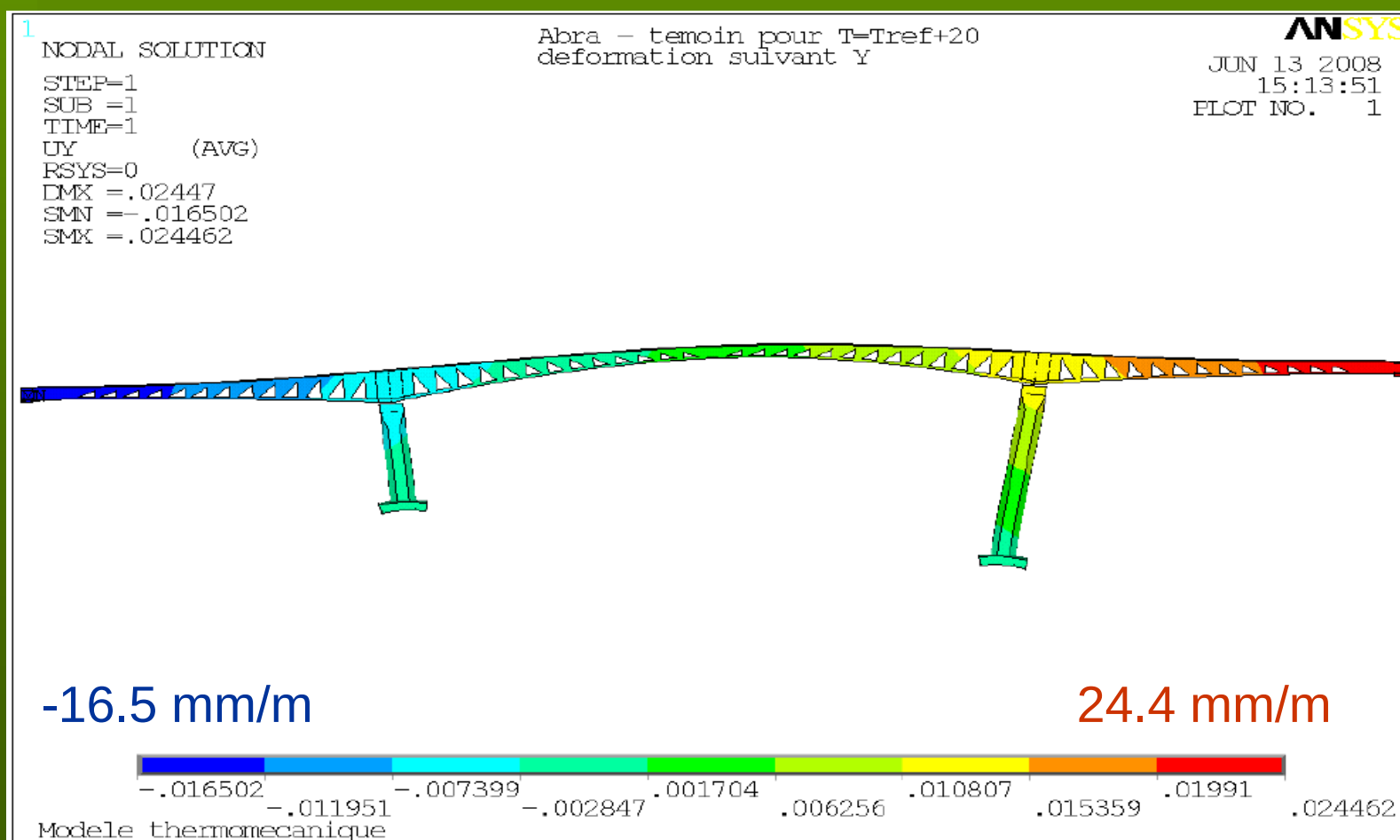
Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● L'exploitation des mesures : Modélisation thermomécanique

- Étude des sollicitations thermiques
 - Étude de la part qu'occupe les phénomènes thermiques dans la déformation globale
 - Modélisation EFI 3D multicouches avec des épaisseurs de couche correspondant aux profondeurs des capteurs de T°C
 - Injection des T°C mesurées par les capteurs et obtention des contraintes et des déformations thermiques globales des zones instrumentées
- Interpolation à l'ensemble de la structure

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- L'exploitation des mesures : Modélisation thermomécanique:
ex. T°C réf + 20 °C



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● L'exploitation des mesures : Comparaison modèle de calcul conception / mesures

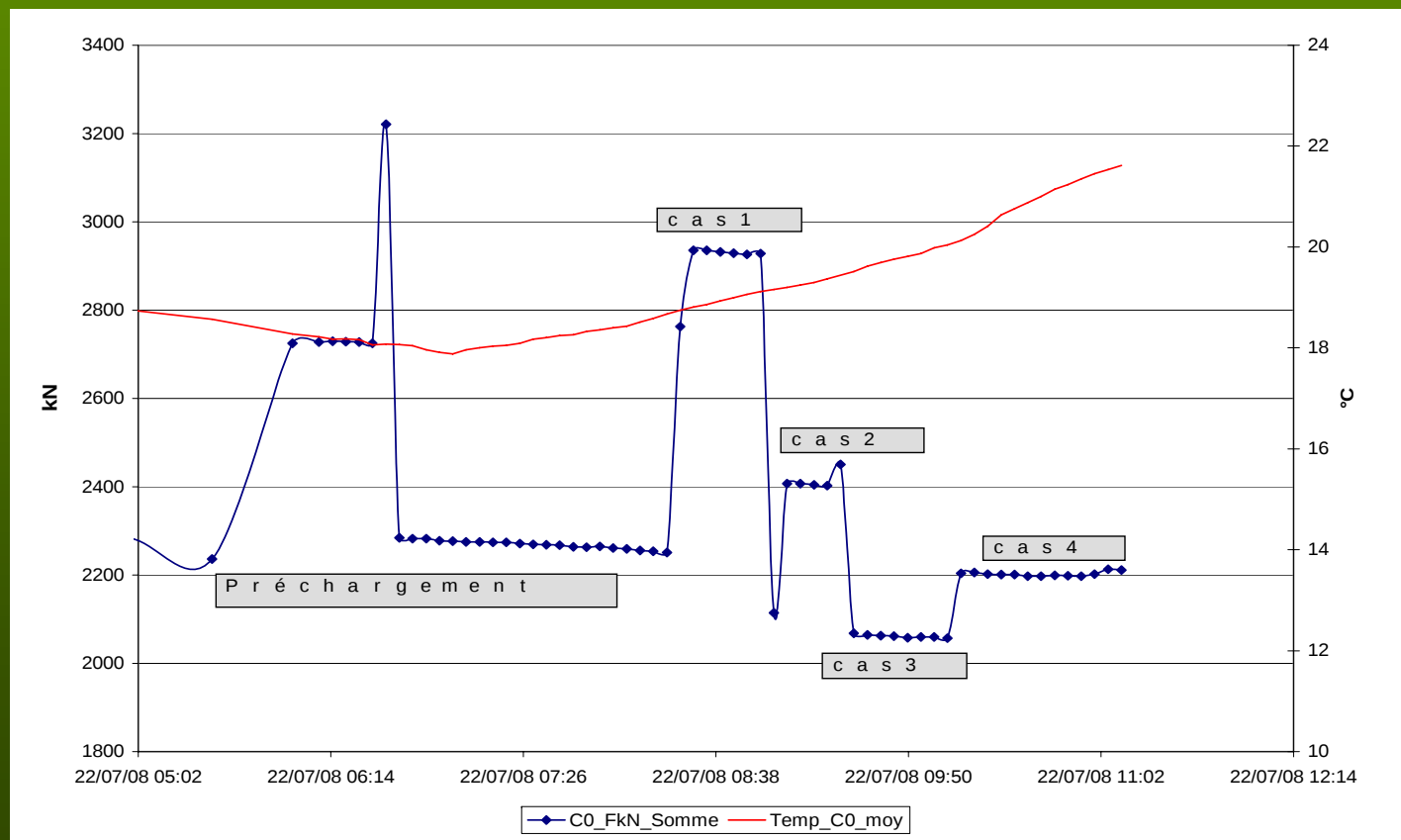
- RAZEL a fourni les résultats des contraintes ou efforts issues du modèle éclaté ST1
 - aux points d'implantation des capteurs
 - pour différents états correspondant aux cycles de construction
- La démarche consiste dans un premier temps
 - remonter des déformations mesurées aux contraintes pour les jauges
 - comparer 2 états consécutifs entre eux (« rester » dans le domaine élastique)
 - Corriger l'effet thermique de structure: les variations de température induisent un effort de redistribution des efforts sur la structure

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Comparaison modèle de calcul conception / mesures: Cas des épreuves de chargement

– Mesures des réactions d'appuis sur la culée C0

- Cas 1 chargement
 - C0-P1
- Cas 2 chargement
 - travée C0-P1
 - travée P1-P2
- Cas 3 chargement
 - travée P1-P2
 - travée P2-C3
- Cas 4 chargement
 - travée P2-C3



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- Comparaison modèle de calcul conception / mesures: Cas des épreuves de chargement
 - Résultats sur la culée C0

C0 FkN1+FkN2	Données "brutes"			Données corrigées			Calcul RAZEL		
	Moyenne des cellules (avec Etat 1700)	Etat 1700	Variation (kN)	Somme des cellules (avec Etat 1700)	Etat 1700 Corrigé (le 23/07/08)	Variation (kN)	FkN1+Fn N2 (t)	FkN1 ET FnN2 (kN)	Delta
	(1)	(2)	(3)=(1)-(2)	(4)	(5)	(6)=(4)-(5)	(7)	(8)	(9)=(8)-(8 état 1700)
1700 22/07/08 8h00		2261.4			2261.4		224.2	2199.4	
cas 1 - charg 2112 8h35	2935.6		674.2	2935.6	2245.2	690.4	297.9	2922.4	723.0
cas 2 - charg 2107 9h05	2406.8		145.4	2406.8	2235.6	171.2	241.2	2366.0	166.6
cas 3 - charg 2108 9h35	2068.0		-193.4	2068.0	2228.9	-160.9	207.5	2036.0	-163.4
cas 4 - charg 2113 10h20	2201.4		-60.0	2201.4	2217.3	-15.9	223.2	2189.8	-9.6

Cas 1 chargement C0-P1 - Cas 2 chargement travée C0-P1/travée P1-P2
Cas 3 chargement travée P1-P2/travée P2-C3 - Cas 4 chargement travée P2-C3

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Comparaison modèle de calcul conception / mesures: Cas des épreuves de chargement

– Résultats sur la culée C3

C3 FkN1+FKN2	Données "brutes"			Données corrigées			Calcul RAZEL		
	Moyenne des cellules (avec Etat 1700)	Etat 1700	Variation (kN)	Somme des cellules (avec Etat 1700)- corrigé	Etat 1700 Corrigé (le 23/07/08)	Variation (kN)	FkN1+Fn N2 (t)	FkN1 ET FnN2 (kN)	Delta
	(1)	(2)	(3)=(1)-(2)	(4)	(5)	(6)=(4)-(5)	(7)	(8)	(9)=(8)-(8 état 1700)
1700 22/07/08 8h00		2126.4			2126.4		215.0	2109.2	
cas 1 - charg 2112 8h35	2109.5		-16.9	2109.5	2106.0	3.5	214.1	2100.3	-8.8
cas 2 - charg 2107 9h05	1960.9		-165.5	1960.9	2098.6	-137.7	200.6	1968.3	-140.9
cas 3 - charg 2108 9h35	1988.0		-138.4	1988.0	2088.9	-100.9	235.3	2307.9	198.8
cas 4 - charg 2113 10h20	2222.1		95.7	2222.1	2082.5	139.6	290.7	2852.0	742.8

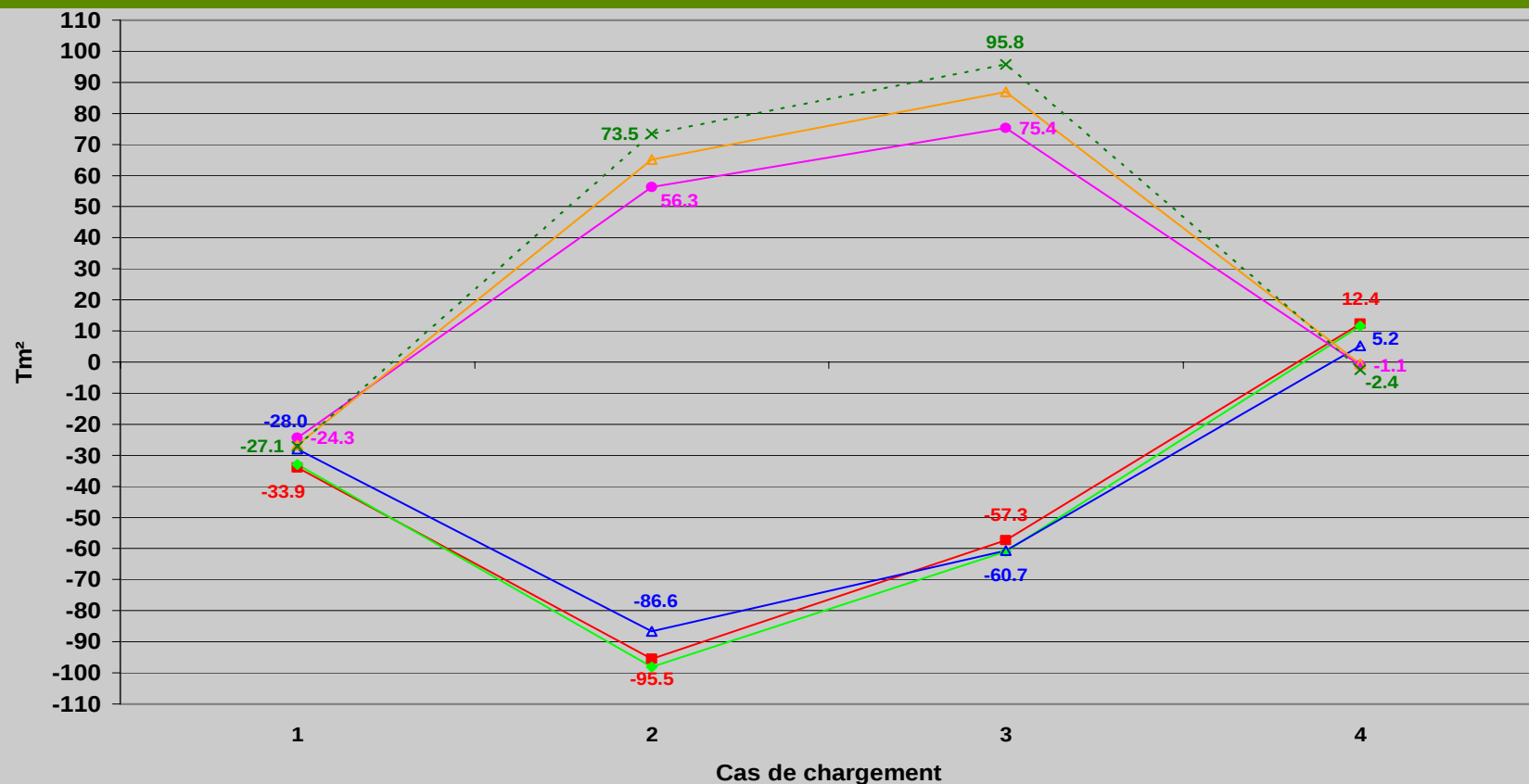
Cas 1 chargement C0-P1 - Cas 2 chargement travée C0-P1/travée P1-P2
Cas 3 chargement travée P1-P2/travée P2-C3 - Cas 4 chargement travée P2-C3

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Comparaison modèle de calcul conception / mesures:

Cas des épreuves de chargement

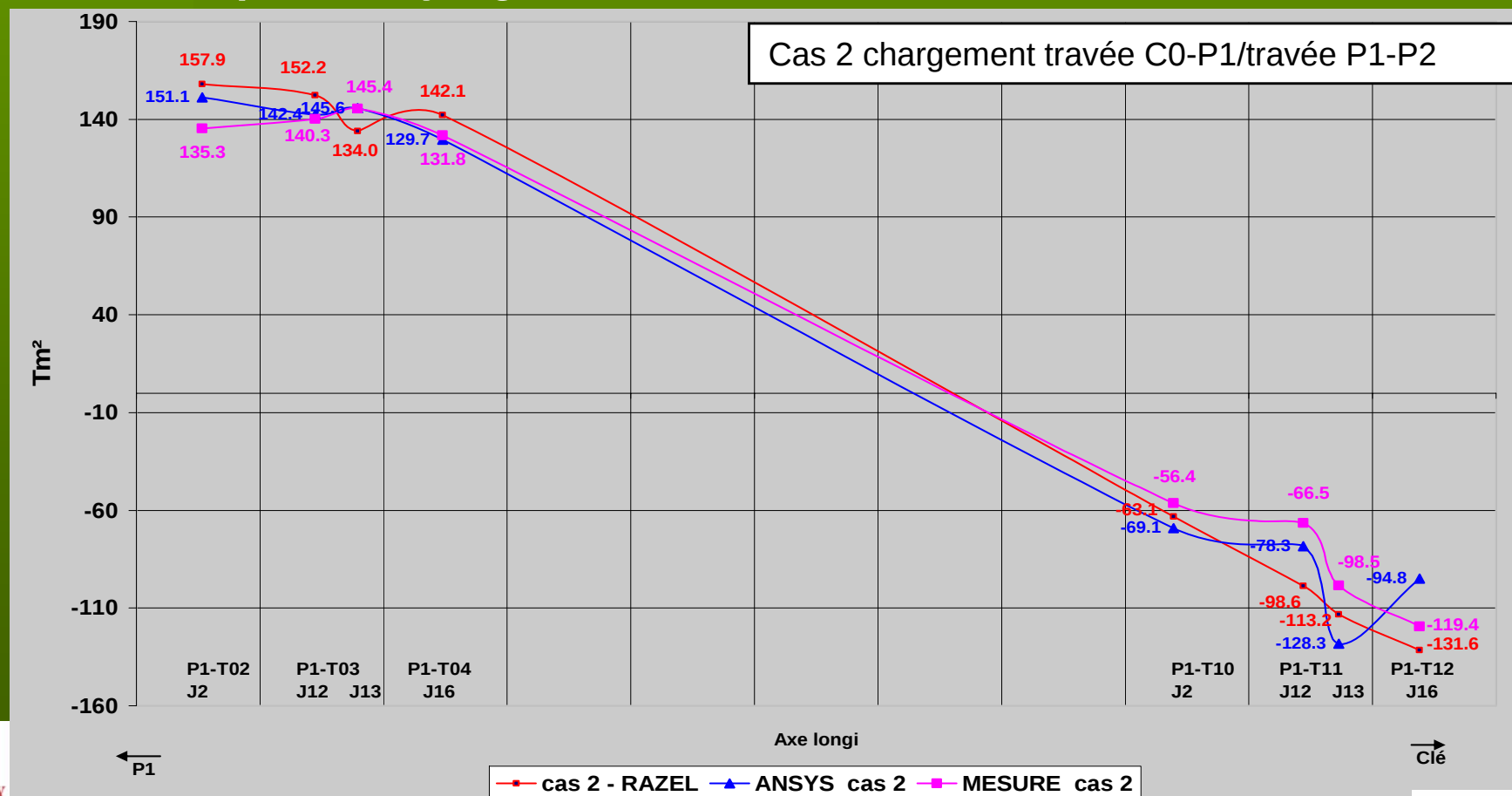
– Résultats pour les hourdis supérieurs de P1-T03 et P1-T11 au centre



■ V3-J3 RAZEL
 ◆ V3-J3 ANSYS
 ▲ V3-J3 MESURE
 ● V11-J3 RAZEL
 ▲ V11-J3 ANSYS
 x V11-J3 MESURE

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- Comparaison modèle de calcul conception / mesures:
Cas des épreuves de chargement
 - Résultats pour les jauges du hourdis inférieur au droit des âmes



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Comparaison modèle de calcul conception / mesures:

Cas des épreuves de chargement

– Résultats pour les déformomètres de la levée 3 de la pile P1

Cas 1 chargement

- C0-P1

Cas 2 chargement

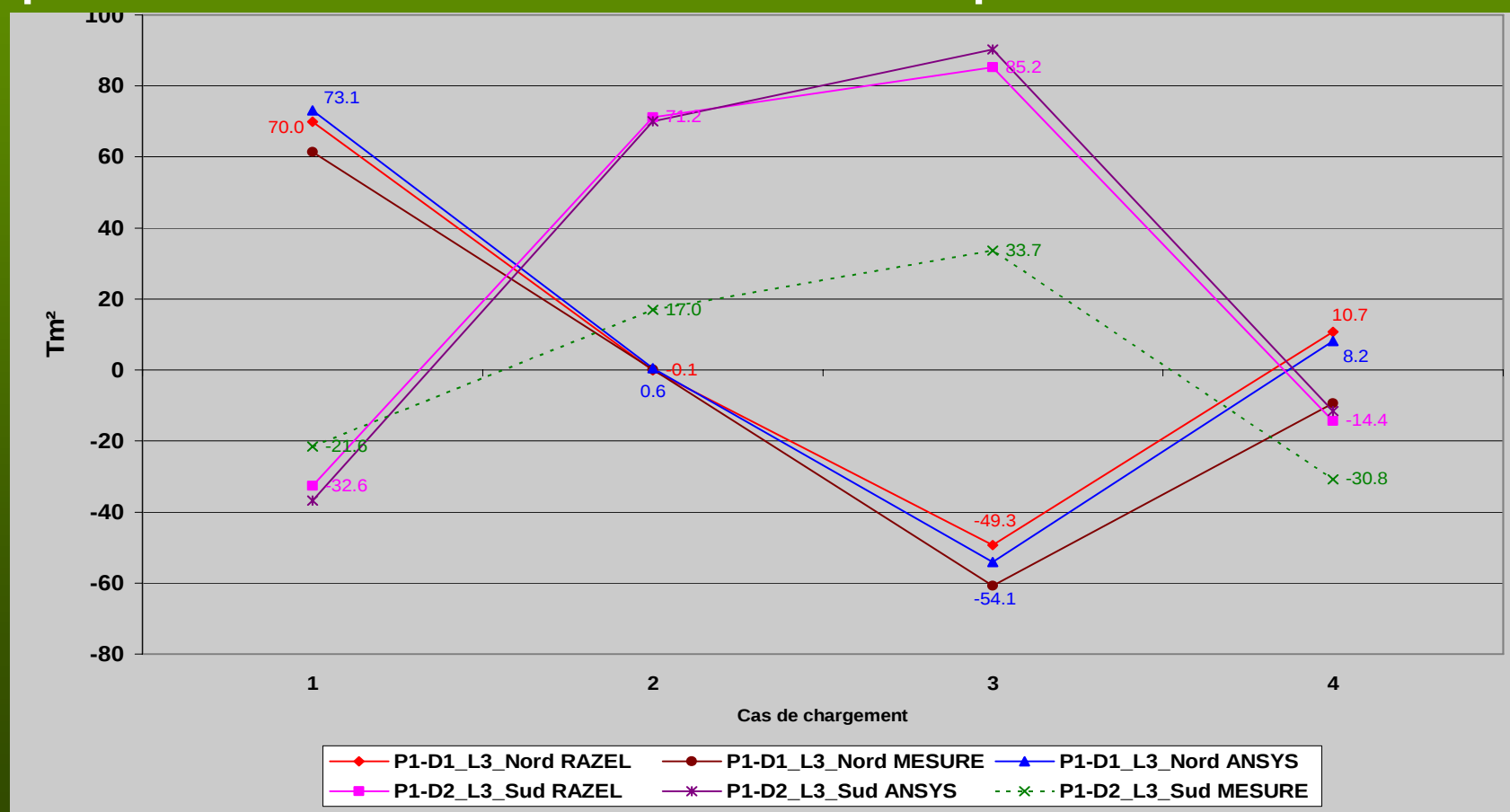
- travée C0-P1
- travée P1-P2

Cas 3 chargement

- travée P1-P2
- travée P2-C3

Cas 4 chargement

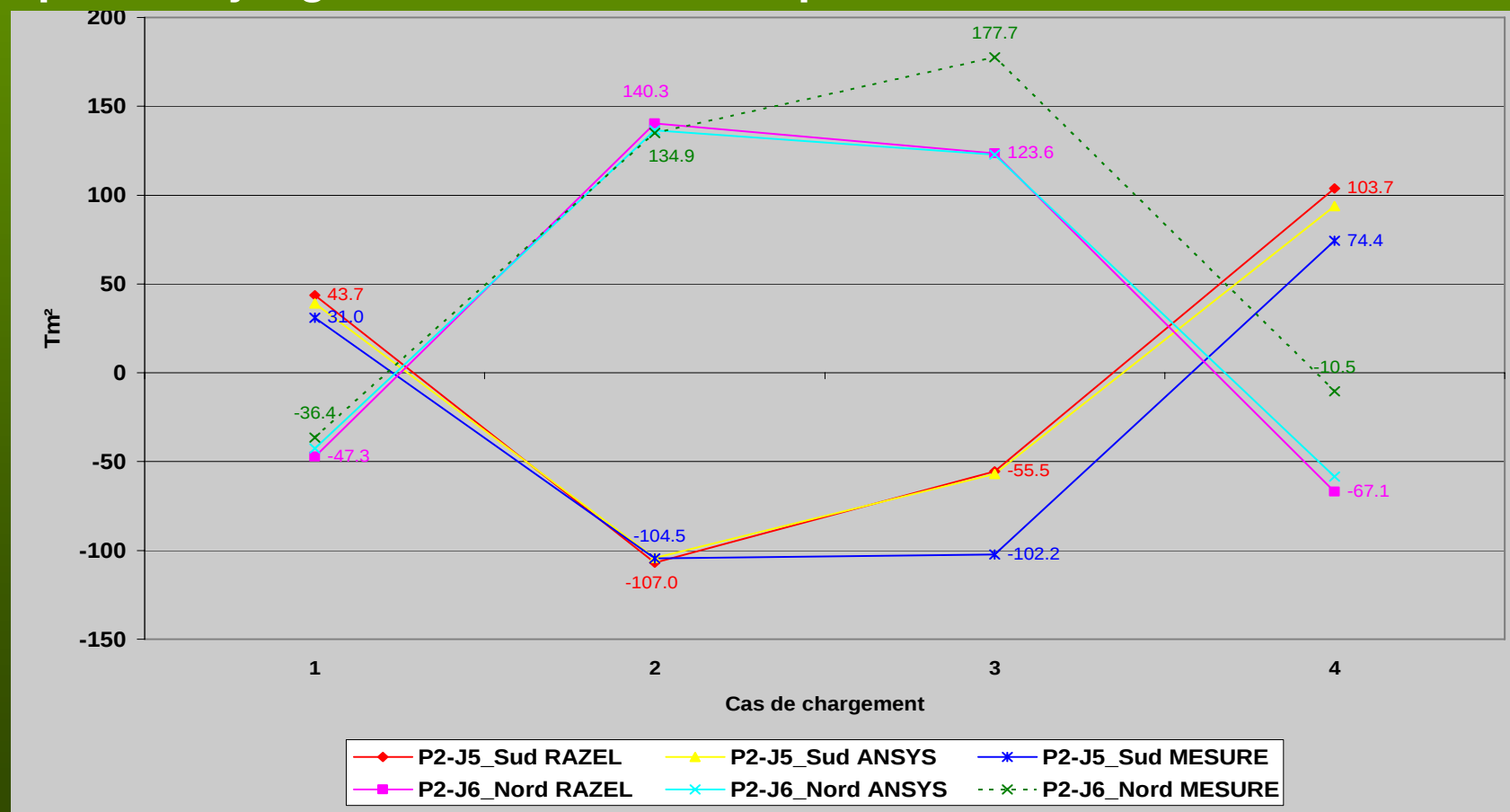
- travée P2-C3



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- Comparaison modèle de calcul conception / mesures:
Cas des épreuves de chargement
 - Résultats pour les jauges de la levée 8 de la pile 2

- Cas 1 chargement
 •C0-P1
 Cas 2 chargement
 •travée C0-P1
 •travée P1-P2
 Cas 3 chargement
 •travée P1-P2
 •travée P2-C3
 Cas 4 chargement
 •travée P2-C3



Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

- Premières conclusions sur la comparaison modèle de calcul conception / mesures
 - Bonne concordance:
 - au niveau des réactions d'appuis hormis pour les cas 3 et 4 sur C3 (au niveau des mesures)
 - au niveau des moyennes nord/sud des piles (hormis cas 4)
 - au niveau des parties encorbellements et parties centrales des hourdis
 - Concordance globalement satisfaisante
 - au droit des âmes du hourdis supérieur : les allures des courbes sont proches, les contraintes sont plus faibles au niveau du calcul ST1. Meilleure concordance au niveau des voussoirs près de la clé
 - au droit des âmes du hourdis inférieur: les allures des courbes sont proches. Bonne concordance pour les cas 2 et 3.
 - Doutes au niveau du cas de charge 4 au niveau des épreuves
 - Au niveau de l'instrumentation, les déformomètres ne paraissent pas adaptés aux mesures « rapides »

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Perspectives: la surveillance de l'ouvrage

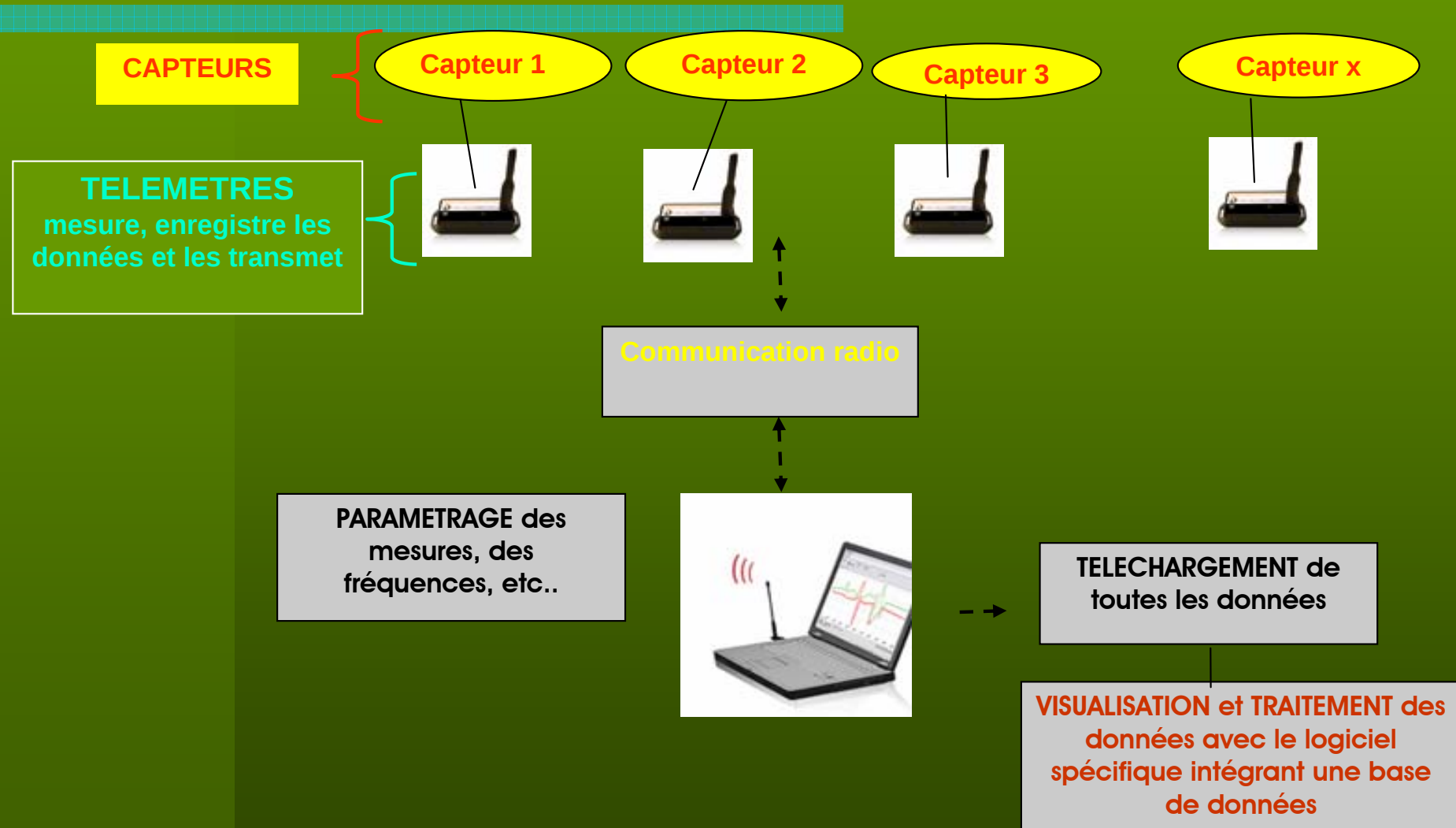
- Base de données
- Logiciel de visualisation et de traitement des données
- Dans l'avenir:
 - Mise en place d'alertes pour la maintenance de l'ouvrage
 - Suivi du fluage de l'ouvrage

Cas d'un ouvrage neuf: le Pont d'ABRA

● Le coût de l'instrumentation

- La conception, la mise en place et l'exploitation des mesures : un investissement faible par rapport au coût de la construction
 - **environ 1,5 %**
- **Instrumentation à demeure, maintenance faible**
- Valoriser l'investissement en poursuivant le suivi des mesures:
 - Connaissance de l'histoire de l'ouvrage depuis sa construction
 - Aide à la maintenance de l'ouvrage

L'évolution des technologies



En Conclusion

- L'efficacité du processus d'instrumentation, de suivi et de surveillance repose sur:
 - Une équipe pluri disciplinaire avec une coordination assurée par le bureau d'étude instrumentation en liaison étroite avec les divers experts (conception, calcul, modélisation, pathologie)
 - Une intégration de cette équipe dans la participation à l'acte de construire avec le Maître d'ouvrage, le maître d'œuvre et l'entreprise