

Présentation du Nouveau système CASC

(Surveillance acoustique des câbles)

V. LE CAM, L. LEMARCHAND
LCPC -Service Métrologie &
Instrumentation

JOA Lyon 13 avril
2005



L'esprit de recherche au cœur des réseaux

Sommaire

- Contexte / rôle du Service Métrologie & Instrumentation
- Objectifs et contraintes du nouveau système de surveillance acoustique
- Spécification globale du système
- Conception du système : le capteur, le superviseur,
- La plate forme prototype,
- La synchronisation temporelle du système,
- La validation de terrain sur la poutre de Merlebach,
- Conclusions.

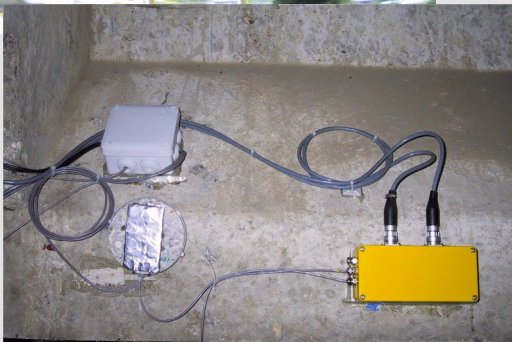
Contexte – Rôle du SMI

Le SMI étudie, développe et conçoit des systèmes d'instrumentation au sens large (vibration, fissuration, température,...) permettant –entre autres- la surveillance des ouvrages d'art.

Suivi des déformations
sur le viaduc de Roberval

Electronique,
informatique industrielle,
mécanique, traitement de
signal, algorithmes,...

Mesure de la rotation des
ancrages d'Hauban à St
Nazaire



Objectifs et contraintes du nouveau système CASC

Un projet SMI ↔ MACOA

Publics visés :

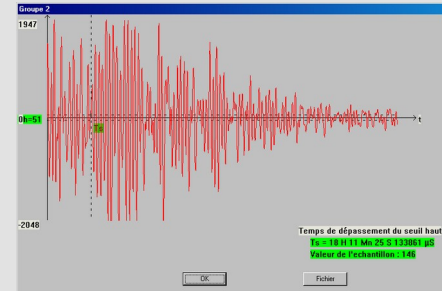
- la communauté scientifique (1er temps),
- les gestionnaires d'ouvrages (2ieme temps)



Objectif : DETECTER DES RUPTURES DE FILS DANS LES CÂBLES

Contraintes :

- Enregistrer et exploiter la richesse des signaux acoustiques (meilleure détection des ruptures, nouveaux critères,...),
- Améliorer le fonctionnement en réseau des capteurs et disposer d'un fonctionnement temps-réel du système,
- Fournir une solution de capteurs avec ou sans fils.



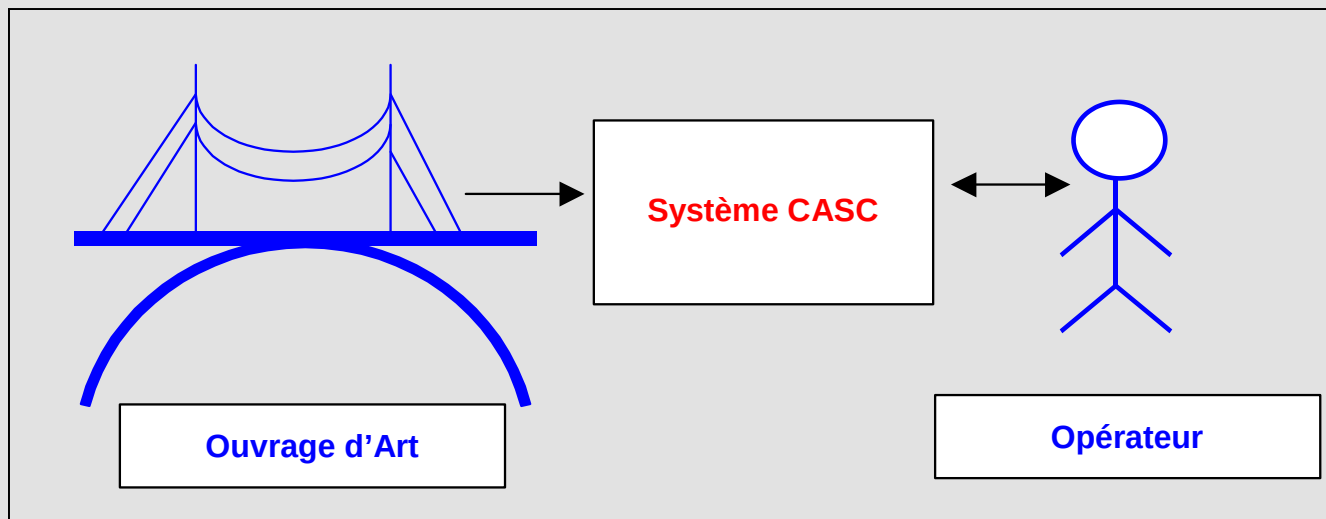
Spécification du système

Durant 2 ans : un nouveau projet où le système a été **entièrement repensé**.

Mené comme un **projet de développement** : du cahier des charges aux tests d'intégration.

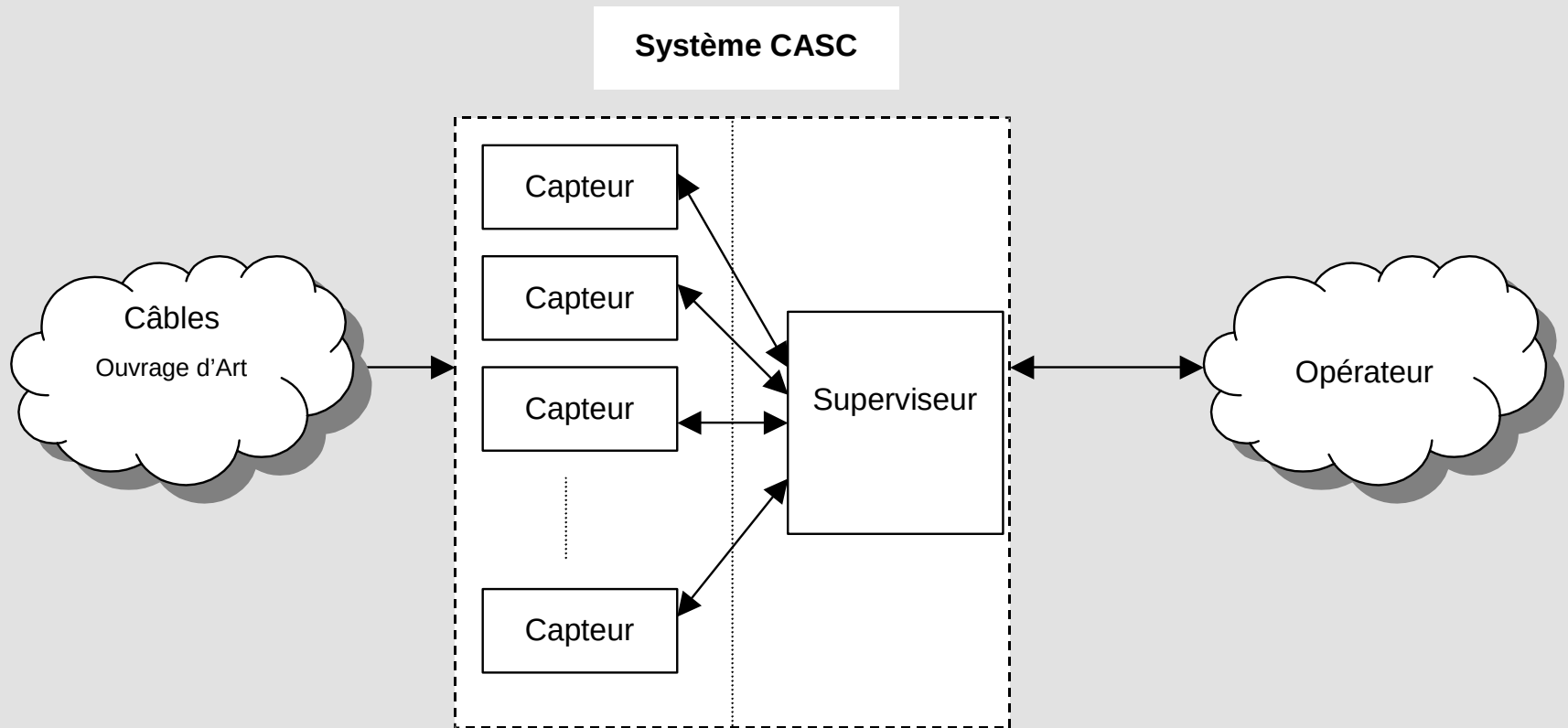


SPECIFICATION DU SYSTEME :



Spécification du système

SPECIFICATION DETAILLEE DU SYSTEME :



Conception du système

Un choix technologique très dimensionnant : le TCP/IP comme protocole de **communication** dans le système :

- Protocole réseau donc adapté à un fonctionnement en « réseau de capteurs »,
- Protocole mondial (Internet Protocole) accessible nativement dans tout PC et dans beaucoup de processeurs électroniques,
- Évolutif et simple à utiliser : évite de développer un protocole propriétaire,
- Protocole numérique dit « connecté » => aucune perte de données (fiable) et haut débit (plusieurs MegaOctets/sec).

Surtout le TCP/IP est un protocole logiciel indépendant de son implémentation matérielle. En conséquence les liens physiques du réseau peuvent être :

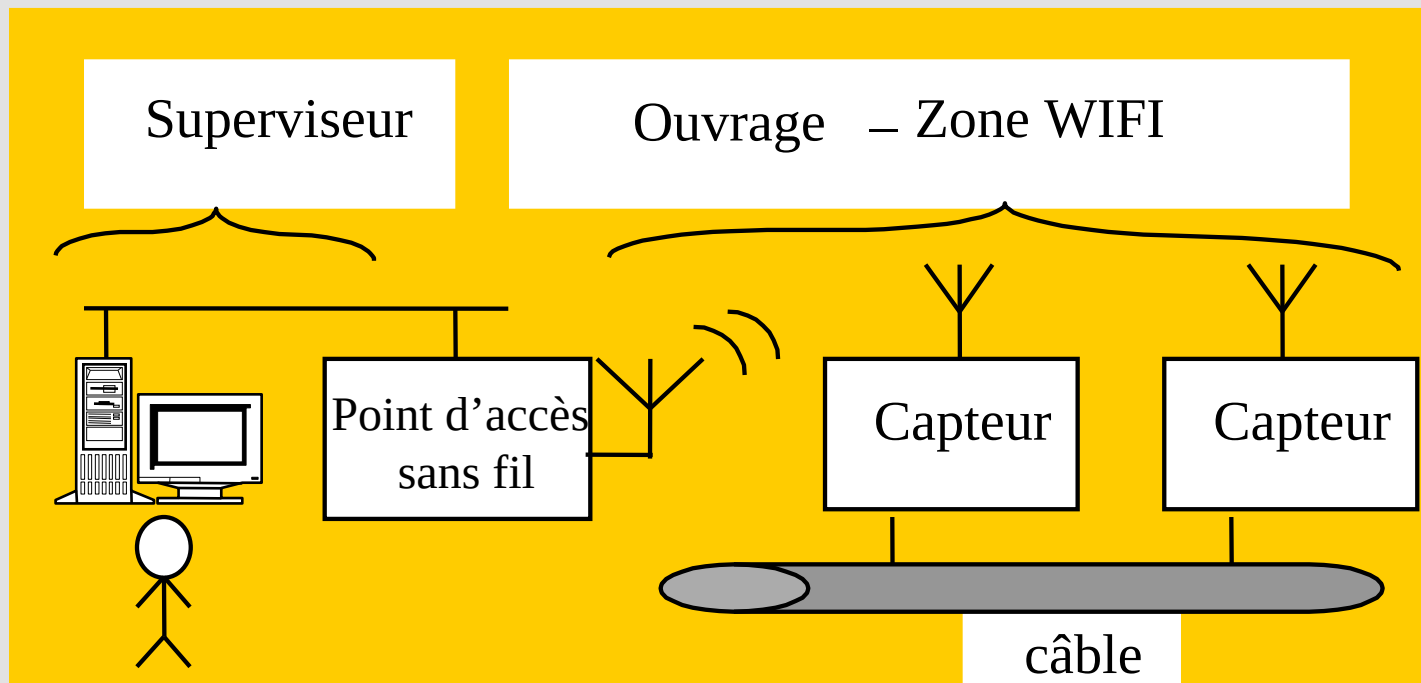
- ⇒ filaires (câble réseau Ethernet, RJ45,...),
- ⇒ sans-fil (WIFI, Zigbee,...).



Conception du système

Concrètement, le **TCP/IP** comme protocole dans le système CASC permet d'envisager la communication « capteurs – superviseur » comme un réseau d'ordinateur traditionnel.

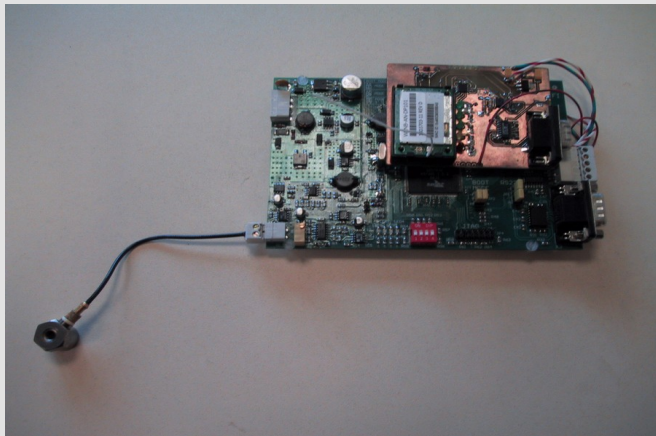
Le lien réseau physique retenu pour le TCP/IP est le **WIFI** c'est à dire une **communication sans-fil**.



Le Capteur

Le capteur est « intelligent » au sens où c'est un système électronique intégrant plusieurs fonctions :

- (En continu) Mesure physique et conditionnement du signal en sortie de la partie sensible (un accéléromètre)
- Acquisition, numérisation et traitement des échantillons à 250 kHz ; exécution d'algorithmes (DSP),
- Datation absolue des échantillons par signal GPS,
- Communication en TCP/IP (WIFI) avec le superviseur.



10
cm

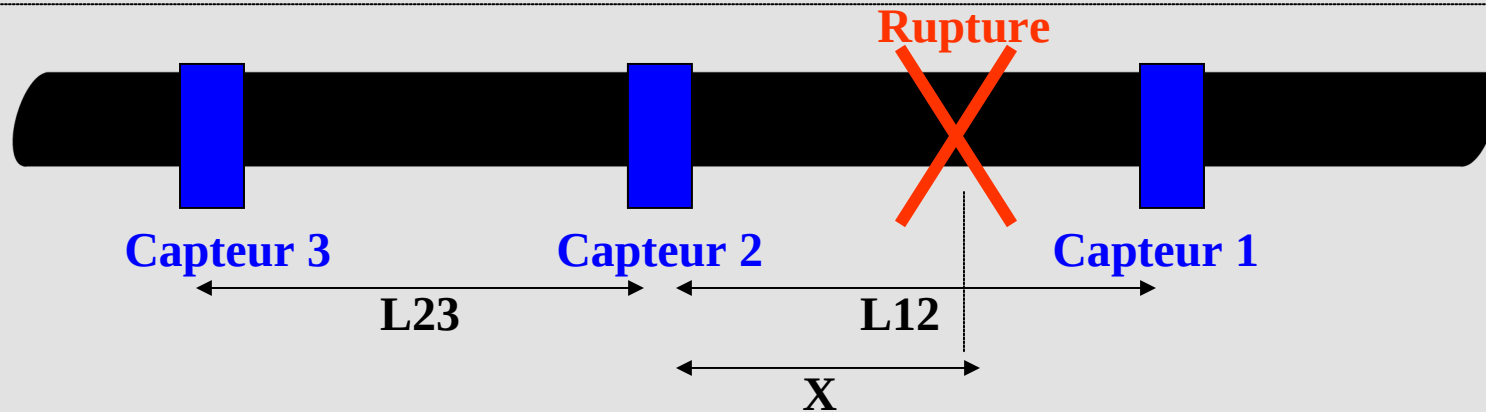
Lors d'une rupture :

- Le signal (en g) dépasse un seuil paramétré
- Sur détection du dép. de seuil : fabrication d'une trame contenant 8ms de signal (dont 1ms de pretrigger),
- Connexion en TCP/IP au superviseur.
- Transmission des informations

Le Superviseur

Le superviseur est un logiciel 'haut niveau' développé en langage objet.

- Offre une vue et un contrôle global du système (état des capteurs, répartition,...),
- Affiche et mémorise tout les évènements acoustiques en provenance des capteurs,
- Exécute en permanence et en temps réel l'algorithme de détection des ruptures :



$$x = \frac{1}{2} * (L12 - v * \Delta t12) \text{ avec } v = L23/\Delta t23.$$

Avec $V \sim 5000 \text{ m/s}$

- (A terme : envoie une alarme -mail, appel, sms- à des opérateurs si rupture)

Le Superviseur

Superviseur | Surveillance | Configuration | Paramétrer | Etat Système | Calibrer | Aide

Viaduc de Merlebach

- └─ Poutre 1
 - └─ Capteur 5
 - └─ Capteur 4
 - └─ Capteur 2
 - └─ Capteur 1
- └─ Ligne test
 - └─ Capteur fictif IP=192.168.0.1
 - └─ DPAC en réserve IP=192.168.0.2
 - └─ Capteur 3 : en réserve
 - └─ Dev LCPC v0
 - └─ Capteur 1

EVENEMENT	CAPTEUR	MESSAGE	DATE
⚠	Capteur 2	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 38Mn 20s 631103µS
⚠	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 36Mn 52s 126361µS
⚠		Le paramétrage des alarmes a été modifié le: 23/0...	23-3-2005 18H 21Mn 0s 0µS
⚠		La surveillance de l'ouvrage a démarré le: 23/03/2...	23-3-2005 18H 12Mn 0s 0µS
⚠		La surveillance de l'ouvrage a été arrêtée le: 23/0...	23-3-2005 18H 35Mn 0s 0µS
⚠		Pas de mise à jour nécessaire pour le capteur: Capteu...	23-3-2005 18H 3Mn 0s 0µS
⚠		Demande de mise à jour du capteur: Capteur 4. Surve...	23-3-2005 18H 3Mn 0s 0µS
⚠	Capteur 4	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 12Mn 6s 737090µS
⚠		Pas de mise à jour nécessaire pour le capteur: Capteu...	23-3-2005 18H 42Mn 0s 0µS
⚠		Demande de mise à jour du capteur: Capteur 4. Surve...	23-3-2005 18H 42Mn 0s 0µS
⚠	Capteur 4	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 49s 238350µS
⚠	Capteur 4	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 46s 818184µS
⚠		Pas de mise à jour nécessaire pour le capteur: Capteu...	23-3-2005 18H 33Mn 0s 0µS
⚠		Demande de mise à jour du capteur: Capteur 4. Surve...	23-3-2005 18H 33Mn 0s 0µS
⚠	Capteur 4	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 37s 163034µS
⚠		Pas de mise à jour nécessaire pour le capteur: Capteu...	23-3-2005 18H 26Mn 0s 0µS
⚠		Demande de mise à jour du capteur: Capteur 4. Surve...	23-3-2005 18H 26Mn 0s 0µS
⚠	Capteur 4	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 32s 866441µS
⚠		Pas de mise à jour nécessaire pour le capteur: Capteu...	23-3-2005 18H 26Mn 0s 0µS
⚠		Demande de mise à jour du capteur: Capteur 5. Surve...	23-3-2005 18H 26Mn 0s 0µS
⚠	Capteur 5	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 5 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 141605µS
⚠	Capteur 5	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 5 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 133861µS
⚠	Capteur 1	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 1 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 141199µS
⚠	Capteur 2	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 139758µS
⚠	Capteur 4	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 140920µS
⚠	Capteur 4	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 133177µS
⚠	Capteur 1	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 1 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 133185µS
⚠	Capteur 2	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 132014µS
⚠	Capteur 4	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 125433µS
⚠	Capteur 5	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 5 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 126104µS
⚠	Capteur 5	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 5 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 209974µS
⚠	Capteur 1	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 1 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 125442µS
⚠	Capteur 2	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 124270µS
⚠	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 616707µS
⚠	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 219915µS
⚠	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 201722µS
⚠	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 192506µS
⚠	Capteur 4	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 218235µS
⚠	Capteur 4	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 209974µS

Nom: Poutre 1

Commentaire Ligne: Comm

Seuil Bas: 100.0000

Seuil Haut: 1000.000

Nb de capteurs connectés

Le Superviseur

Superviseur

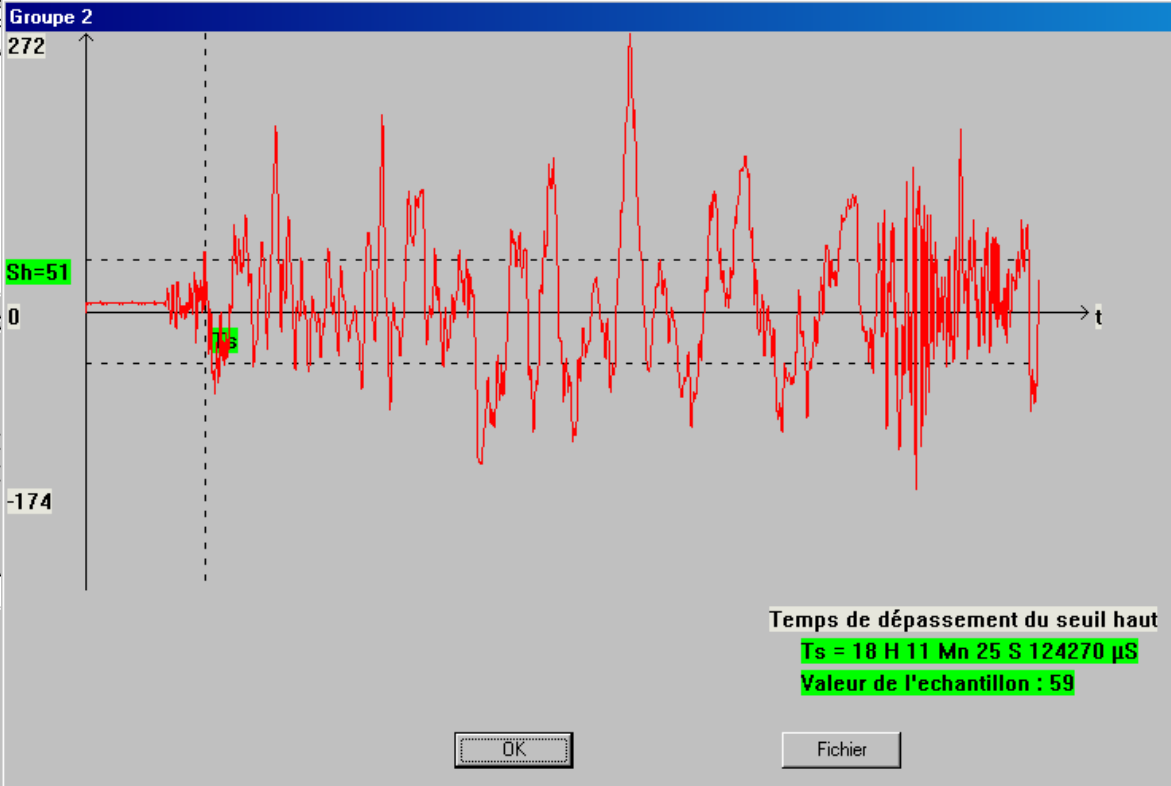
Surveillance Configuration Paramétrer Etat Système Calibrer Aide

Viaduc de Merlebach

- Poutre 1
 - Capteur 5
 - Capteur 4
 - Capteur 2
 - Capteur 1
- Ligne test
 - Capteur fictif IP=192.168.0.1
 - DPAC en réserve IP=192.168.0.2
 - Capteur 3: en réserve
 - Dev LCPC v0
 - Capteur 1

EVENEMENT	CAPTEUR	MESSAGE	DATE
⚠	Capteur 2	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 38Mn 20s 631103µS
⚠	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 36Mn 52s 126361µS
⚠		Le paramétrage des alarmes a été modifié le: 23/0...	23-3-2005 18H 21Mn 0s 0µS
⚠		La surveillance de l'ouvrage a démarré le: 23/03/2...	23-3-2005 18H 12Mn 0s 0µS
⚠		La surveillance de l'ouvrage a été arrêtée le: 23/0...	23-3-2005 18H 35Mn 0s 0µS
i		Pas de mise à jour nécessaire pour le capteur: Capteu...	23-3-2005 18H 3Mn 0s 0µS

Groupe 2



Nom: Poutre 1
Commentaire Ligne: C

Seuil Bas: 100.0
Seuil Haut: 100.0

Nb de capteurs connectés: 0

Temps de dépassement du seuil haut
Ts = 18 H 11 Mn 25 S 124270 µS
Valeur de l'échantillon : 59

OK Fichier

⚠	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 201722µS
⚠	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 192506µS
⚠	Capteur 4	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 218235µS
⚠	Capteur 4	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 209974µS

Le Superviseur

Superviseur				
Surveillance Configuration Paramétrer Etat Système Calibrer Aide				
Viaduc de Merlebach				
<ul style="list-style-type: none"> Poutre 1 <ul style="list-style-type: none"> Capteur 5 Capteur 4 Capteur 2 Capteur 1 Ligne test 				
EVENEMENT	CAPTEUR	MESSAGE	DATE	
	Capteur 2	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 38Mn 20s 631103µS	
	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 36Mn 52s 126361µS	
		Le paramétrage des alarmes a été modifié le: 23/0...	23-3-2005 18H 21Mn 0s 0µS	
		La surveillance de l'ouvrage a démarré le: 23/03/2...	23-3-2005 18H 12Mn 0s 0µS	
		La surveillance de l'ouvrage a été arrêtée le: 23/0...	23-3-2005 18H 35Mn 0s 0µS	
		Pas de mise à jour nécessaire pour le capteur: Capteu...	23-3-2005 18H 3Mn 0s 0µS	

Visualisation graphique de la routine de détection des Ruptures

Analyse de la ligne: Poutre 1

- >Le capteur: Capteur 5 est en bout de ligne. Pas d'analyse. possible.
- >Analyse des évènements liés au capteur: Capteur 4 (capteur prec= Capteur 1 capteur suiv= Capteur 5).
- >Il y a: 210 Groupes2 associés au capteur: Capteur 4
- > RUPTURE entre le capteur: Capteur 4 et le capteur: Capteur 1 le: 23-3-2005 18H 4Mn 55s 894522µS à: 0.
- > RUPTURE entre le capteur: Capteur 4 et le capteur: Capteur 1 le: 23-3-2005 18H 4Mn 55s 902469µS à: 0.
- > RUPTURE entre le capteur: Capteur 4 et le capteur: Capteur 1 le: 23-3-2005 18H 5Mn 24s 588101µS à: 0.
- > RUPTURE entre le capteur: Capteur 4 et le capteur: Capteur 1 le: 23-3-2005 18H 6Mn 17s 522786µS à: 0.
- > RUPTURE entre le capteur: Capteur 4 et le capteur: Capteur 1 le: 23-3-2005 18H 7Mn 2s 664063µS à: 0.1
- > RUPTURE entre le capteur: Capteur 4 et le capteur: Capteur 1 le: 23-3-2005 18H 8Mn 20s 7556µS à: 1.53
- > RUPTURE entre le capteur: Capteur 4 et le capteur: Capteur 1 le: 23-3-2005 18H 11Mn 25s 125433µS à: 1
- > RUPTURE entre le capteur: Capteur 4 et le capteur: Capteur 1 le: 23-3-2005 18H 11Mn 25s 133177µS à: 1
- > RUPTURE entre le capteur: Capteur 4 et le capteur: Capteur 1 le: 23-3-2005 18H 11Mn 25s 140920µS à: 1
- >Le capteur: Capteur 2 est en bout de ligne. Pas d'analyse. possible.

Démarrer routine

OK

	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 192506µS
	Capteur 4	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 218235µS
	Capteur 4	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 209974µS

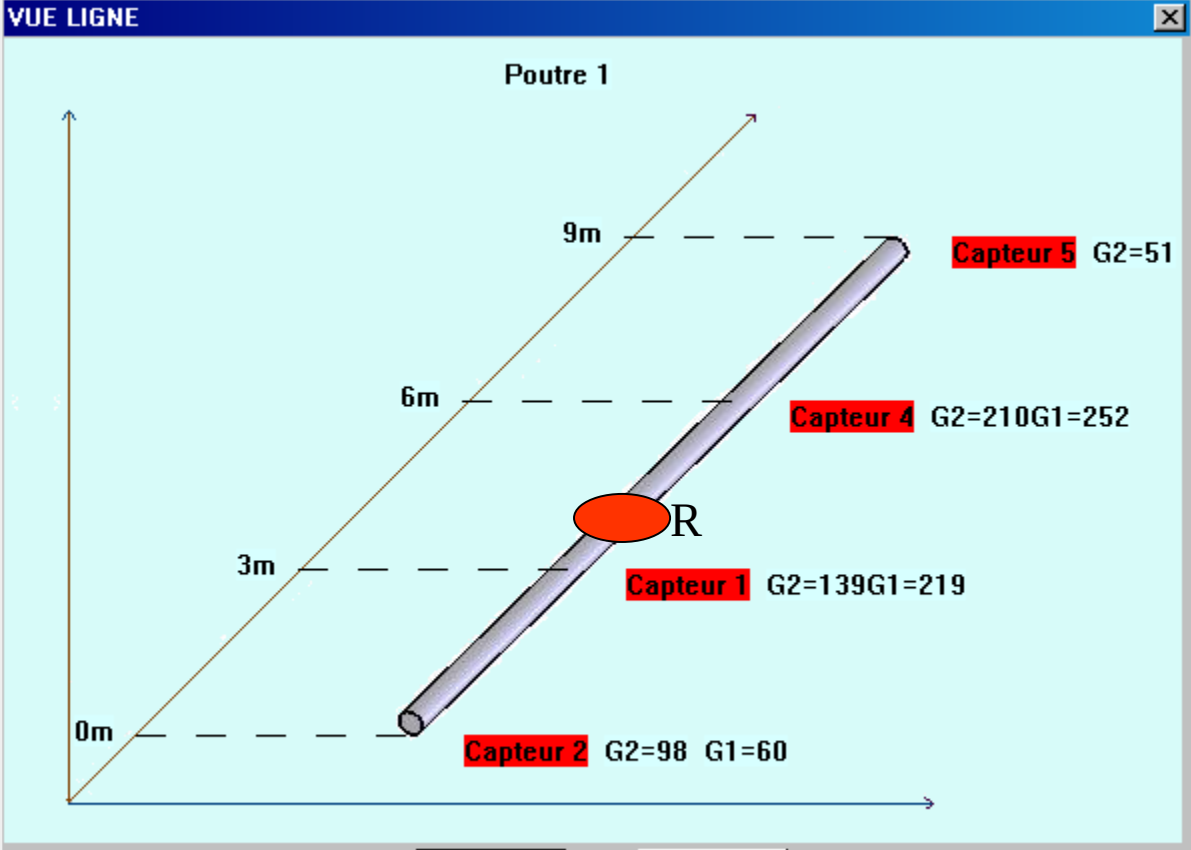
Le Superviseur

Superviseur

Surveillance Configuration Paramétrer Etat Système Calibrer Aide

EVENEMENT	CAPTEUR	MESSAGE	DATE
⚠	Capteur 2	Groupe2 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 38Mn 20s 631103μS
⚠	Capteur 2	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 2 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 36Mn 52s 126361μS

VUE LIGNE



Poutre 1

9m
6m
3m
0m

Capteur 5 G2=51

Capteur 4 G2=210G1=252

R

Capteur 1 G2=139G1=219

Capteur 2 G2=98 G1=60

OK Cancel

⚠	Capteur 4	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 218235μS
⚠	Capteur 4	Groupe1 reçu du capteur: Capteur 4 de la ligne: Po...	23-3-2005 18H 11Mn 25s 209974μS

La plate-forme prototype

Fin 2004, une plate forme prototype opérationnelle pour mener les tests de validation du nouveau CASC :



L'esprit de recherche au cœur des réseaux

La synchronisation GPS

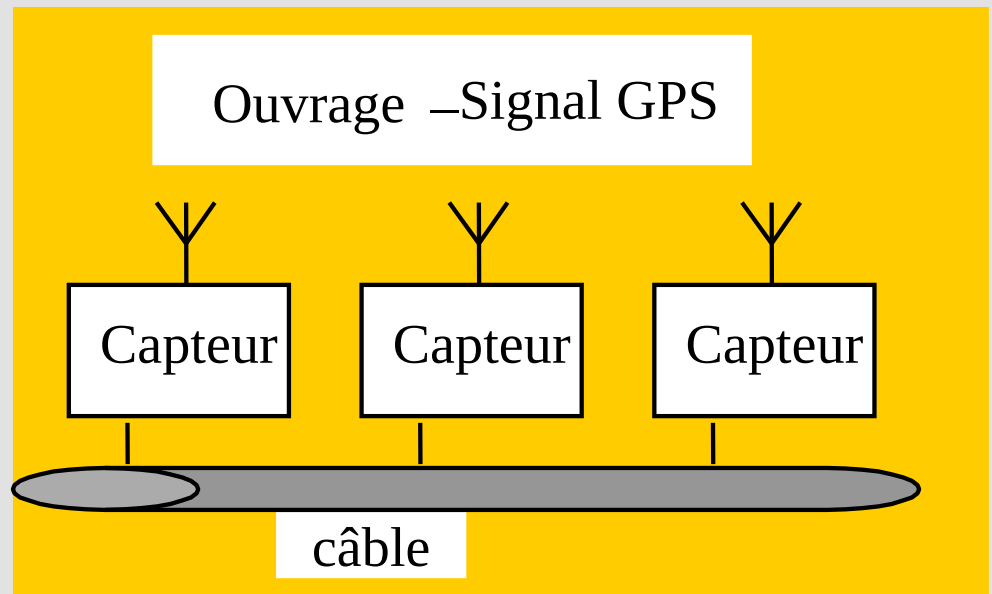
Besoin d'une synchronisation TRES précise des capteurs :

- Vitesse d'onde d'environ 5000 m/s
- Précision souhaitée pour la localisation +/- 15cm
- => Ecart tolérable de datation entre 2 capteurs = **30 microSecondes !**

Solution : chaque capteur possède un petit récepteur GPS.

Toute les secondes, le front montant du signal satellite (le PPS - très précis) resynchronise les capteurs.

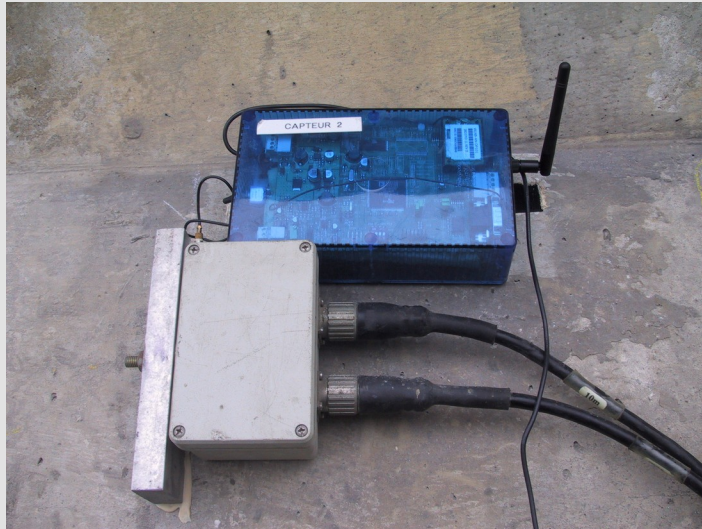
Précision : moins de **5 microsecondes** d'écart entre 2 capteurs... qui s'ignorent !



Validation de terrain à Merlebach

Installation du système lors de « l'essai à la rupture de la poutre de Merlebach » du 21 au 23 mars 2005.

Plusieurs systèmes de surveillance cohabitaient dont l'ancien et le nouveau système CASC.



Validation de terrain à Merlebach

Des tests globaux : un choc à équidistance entre 2 capteurs adjacents et on relève la datation.



Résultats :

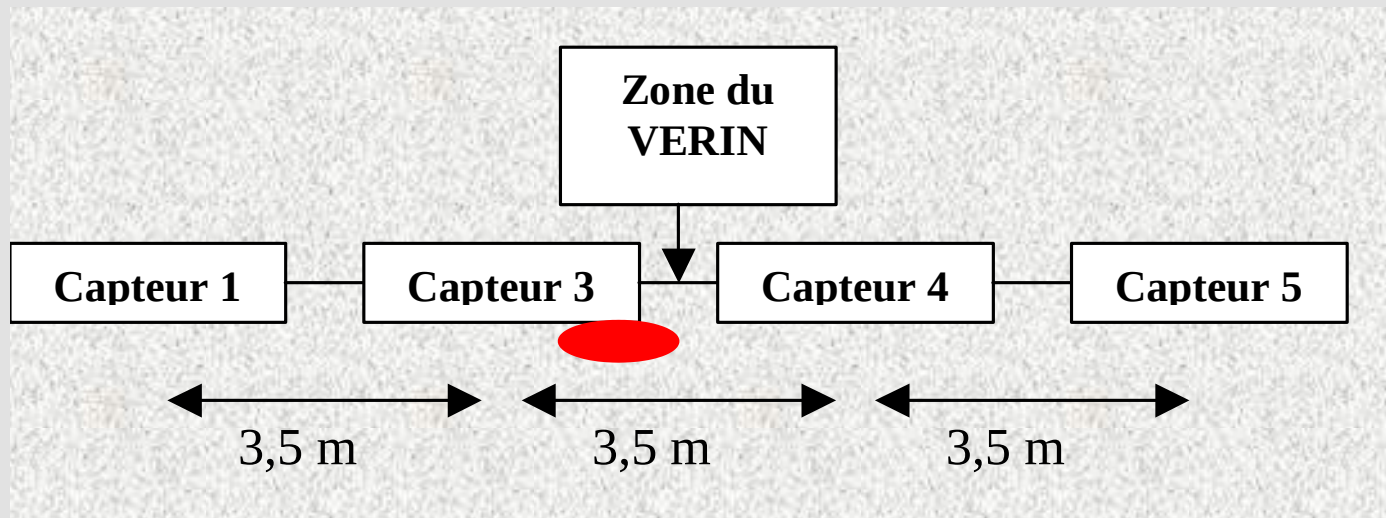
En moyenne une précision de +/- 11cm sur la localisation.

Coups de marteau schléro à mi-distance entre :	Ecart de datation absolue des 2 signaux obtenus au niveau du superviseur :	Précision de localisation équivalente pour une vitesse d'onde de ~5000m/s
C1 et C3	14 μ s	7 cm
	22 μ s	11 cm
	23 μ s	11.5 cm
C3 et C4	36 μ s	18 cm
	79 μ s	39.5 cm
	17 μ s	8.5 cm
C4 et C5	57 μ s	28.5 cm
	66 μ s	33 cm
	80 μ s	40 cm
	Moyenne = 44 μ s	Moyenne = 22 cm

Validation de terrain à Merlebach

Montée en charge paliative de la poutre le mardi 22 et le mercredi 23 mars 2005.

- Les évènements acoustiques surviennent à mesure de la montée en charge,
- Les capteurs adjacents à la charge (C3 et C4) fournissent le plus d'évènements et les plus riches en énergie (de 2 à 56g) ,
- Le système **détecte et localise les ruptures** en corrélation avec l'ancien système.



Conclusions

- ⇒ Tests de labo + Manip de Merlebach => un nouveau système CASC opérationnel
- ⇒ Une instrumentation sans fil :
 - ⇒ valide : synchronisation des signaux à quelques microsecondes (GPS),
 - ⇒ pratique : pas de câble, simplicité de mise en œuvre, plus mobile,...
- ⇒ Fonctionnement en temps réel,
- ⇒ L'enregistrement de la forme complète du signal. Grandes possibilités d'exploitation offertes pour introduire de nouveaux critères de détection :
 - ⇒ Corrélation des signaux,
 - ⇒ Analyse de la FFT, ...
- ⇒ Les choix technologiques (le TCP/IP, sans fil, superviseur intuitif, DSP,...) rendent le système ouvert et facilement adaptable pour d'autres instrumentation.

