

Document original

Instrumentation des fissures

Salle du Trésor de la cathédrale Eglise Notre Dame

Saint Omer

SOMMAIRE.

INTRODUCTION

LOCALISATION DE L'EDIFICE

LOCALISATION DES FISSURES EXTERIEURES

LOCALISATION DES FISSURES INTERIEURES

LOCALISATION DES CAPTEURS

EQUIPEMENT ET SUIVI DES DEPLACEMENTS DES FISSURES

RELEVES DES TEMPERATURES ET HUMIDITES RELATIVES SOUS ABRI EN EXTERIEUR, D'AVRIL A OCTOBRE 2008 A SAINT OMER –METEO CONSULT.

THERMOGRAPHIE : 9 OCTOBRE 2008.

RESULTATS DES ENREGISTREMENTS DES DEUX CAPTEURS

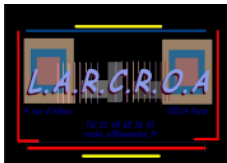
CONCLUSION

ANNEXE.

Toute reproduction est interdite

Pour la DRAC Pas de Calais
Le lundi 17 novembre 2008

LARCROA



INTRODUCTION.

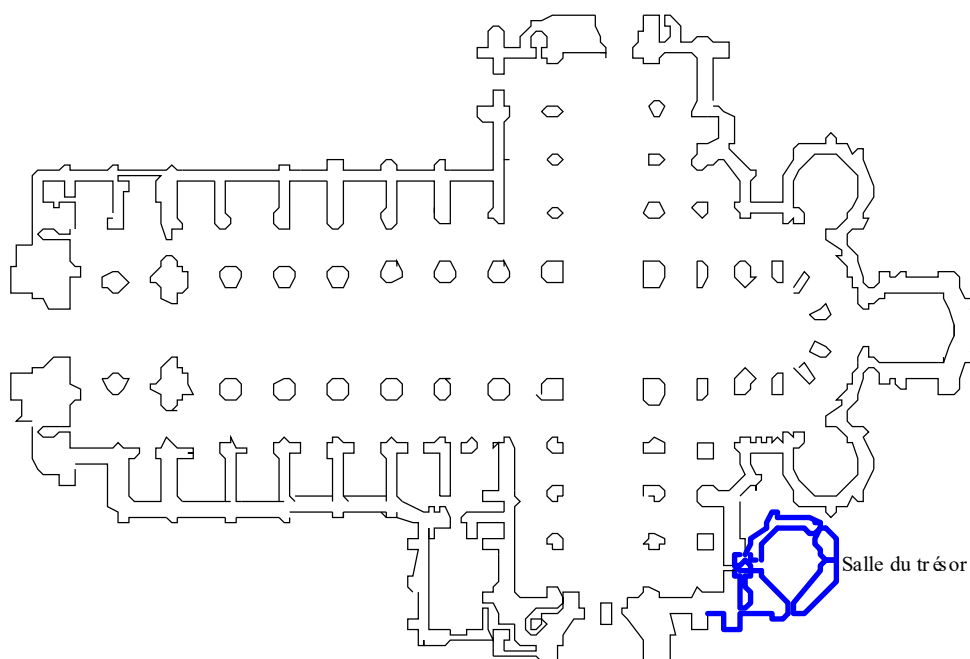
La présence des fissures dans une maçonnerie témoigne d'une instabilité actuelle ou passée du bâtiment. Des déplacements ou des modifications d'éléments de construction, des mouvements ou des aménagements au sol, peuvent perturber la répartition des charges et provoquer des zones de concentrations de contraintes telles que les matériaux se fissurent.

L'étude statique a pour but de vérifier l'activité des fissures. Elles sont actives quand des écartements ou des resserrements de leurs lèvres ont des amplitudes suffisamment importantes. L'avantage d'un suivi sur une longue période c'est de pouvoir associer les effets des facteurs climatiques –extrema des températures et d'humidité - et d'avoir assez de données pour faire un bilan de la situation.

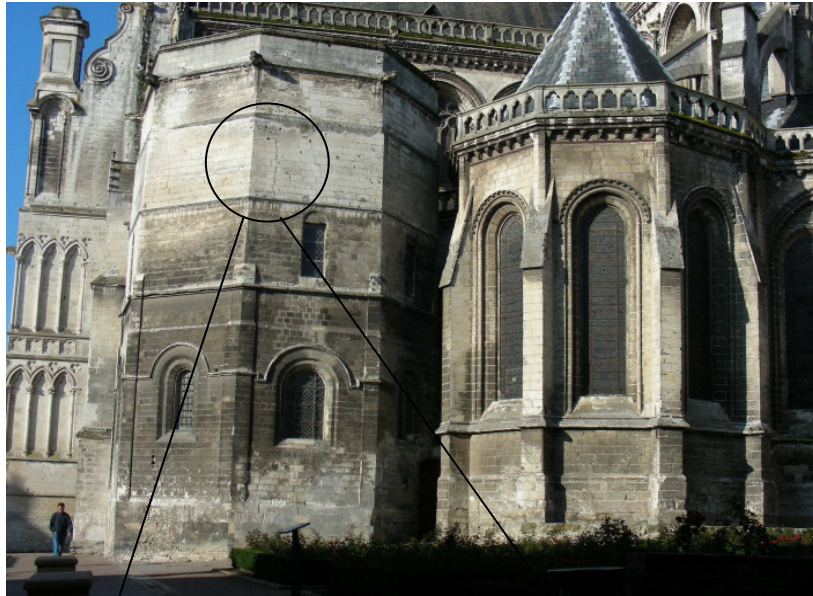
LOCALISATION DE L'EDIFICE

Nom : Eglise Notre Dame, Salle du trésor de la cathédrale.

Adresse : Saint Omer.



LOCALISATION DES FISSURES EXTERIEURES



LOCALISATION DES FISSURES INTERIEURES

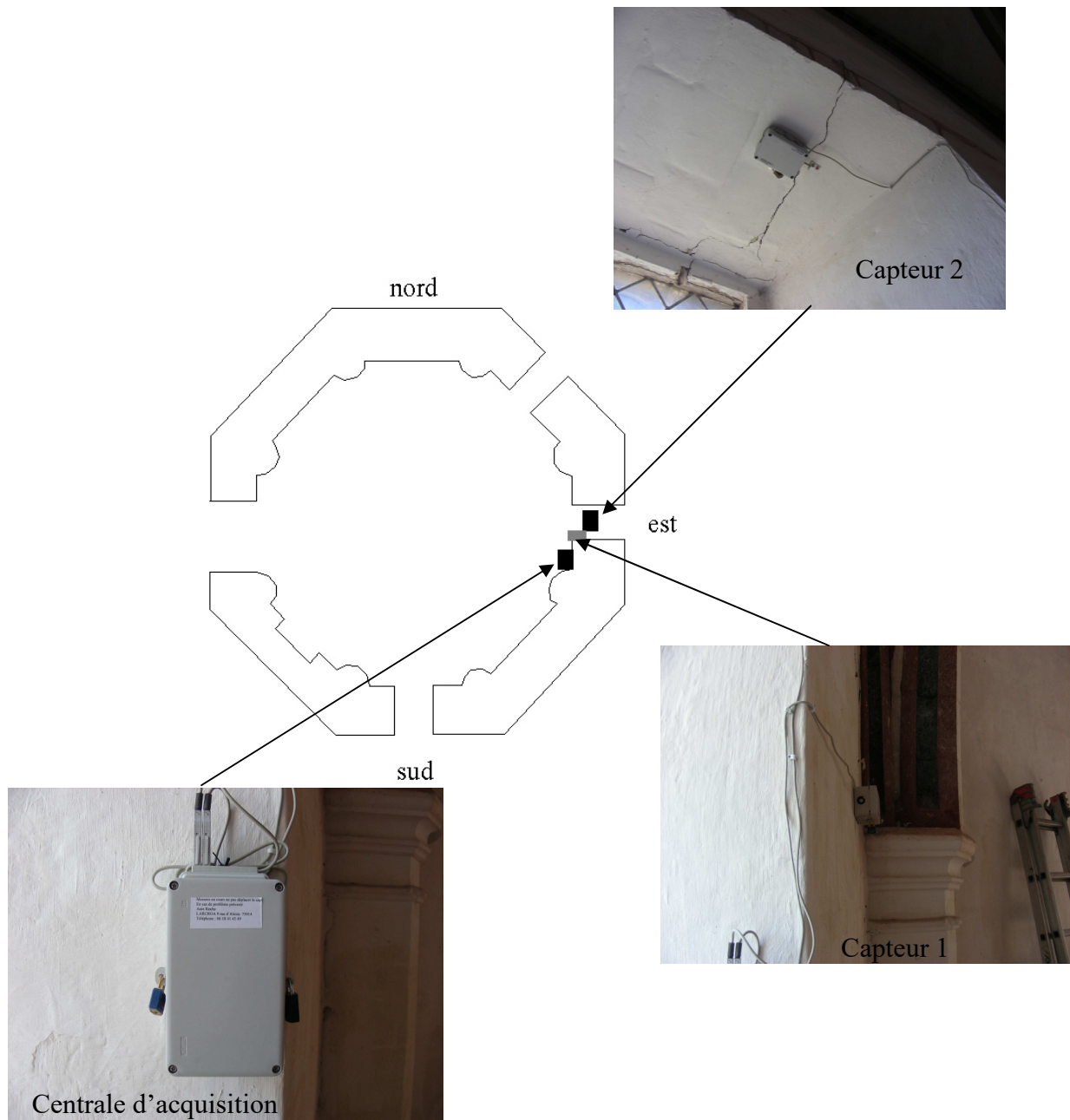
Fissure franche courant le long d'un joint de pierres.



La fissure le long du pilastre est le résultat de la réouverture d'un ancien bouchage le long d'un joint. Cette zone a fait l'objet d'anciennes restaurations (bouchages).

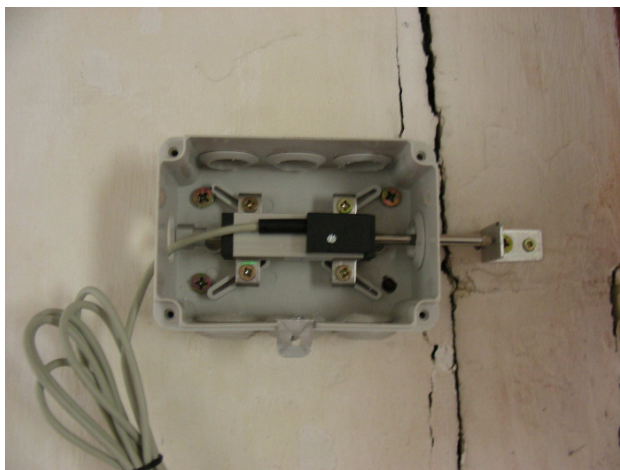


LOCALISATION DES CAPTEURS



EQUIPEMENT ET SUIVI DES DEPLACEMENTS DES FISSURES.

Le système de mesure est composé d'un capteur de déplacement pour chaque fissure relié par une centrale d'acquisition ALMENO 2390-8. Les capteurs potentiométriques (réf. Annexe) sont fixés sur une rive de la fissure et la tige s'appuie sur une butée fixée sur l'autre rive. Chaque mouvement de la fissure est ainsi transmis au capteur via la butée. Au point de mesure la tige du capteur est parfaitement perpendiculaire à la fissure. Avec ce système nous n'enregistrons que des déplacements dans le plan de la fissure.

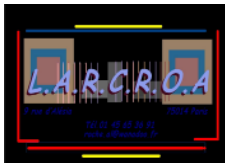


Les deux capteurs de déplacement sont à leur tour reliés à une centrale d'acquisition (réf. Annexe) qui pilote les capteurs et enregistre les données.



L'avantage de ce type de matériel c'est son autonomie sur une longue période, grâce à la possibilité de mise en veille de la centrale entre chaque mesure et la possibilité de programmer le pas de mesure.

La durée de l'étude a duré 6 mois du 7 avril 2008 au 9 octobre 2008.
La cadence des mesures, est toutes les quatre heures, soit un total de 1098 mesures par capteur.



RELEVES DES TEMPERATURES ET HUMIDITES RELATIVES SOUS ABRI EN EXTERIEUR, D'AVRIL A OCTOBRE 2008 A SAINT OMER - METEO CONSULT.-

Températures

Cette période de mesures du climat présente plusieurs aspects.

- Variation quotidienne des minima de températures
- Variation quotidienne des maxima de températures
- Variation quotidienne des écarts entre les minima et les maxima.

Minima des températures inférieures à 0°C.

La température la plus basse apparaît le 7 avril à 5h28 : -2,6°C. Le 8 avril la température remonte à -0,9°C. Elle redevient négative le 16 avril T= -0,2°C et le 17 avril avec T= -0,4°C. Les températures les plus basses se sont manifestées au début du mois d'avril. Ensuite sur les six mois de mesures les valeurs sont positives.

Maxima des températures supérieures à 25°C.

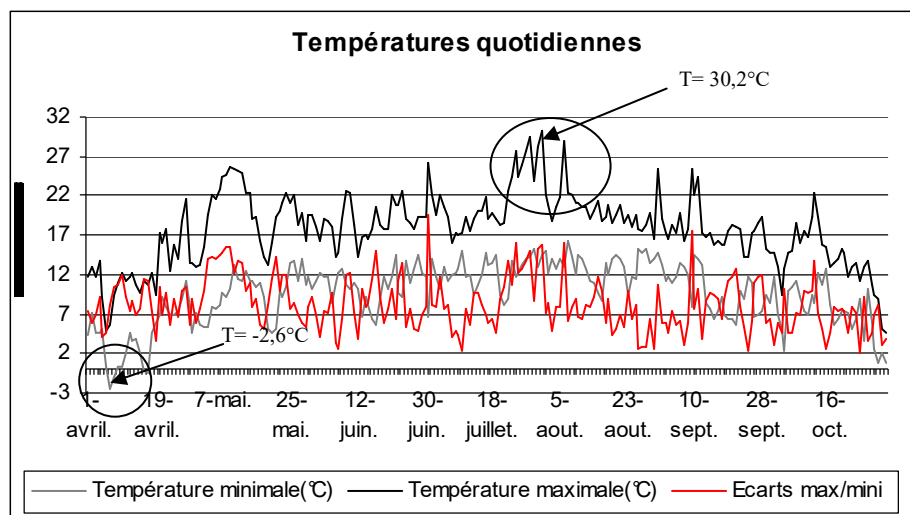
Les valeurs supérieures à 25°C sont regroupées :

- les ; 9 mai (T = 25,7°C), 10 mai (T = 25,4°C), 11 mai (T = 25,2°C)
- les ; 24 juillet (T = 26,1°C), 26 juillet (T = 25,9°C), 27 juillet (T = 27,6°C), 28 juillet (T = 29,4°C), 30 juillet (T = 28,2°C), 31 juillet (T = 30,2°C).

Ensuite les valeurs sont isolées :

1 juillet : T = 26,1°C, 31 août : T = 25,3°C, 9 septembre : T = 25,3°C

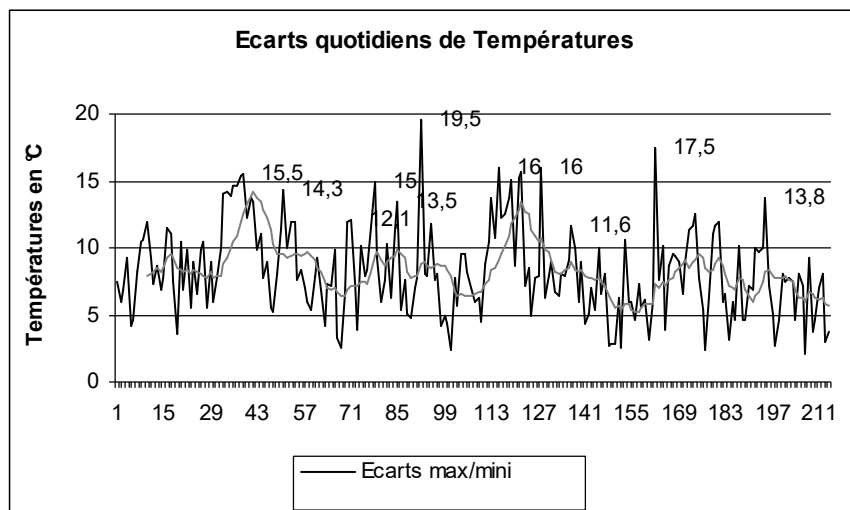
La valeur la plus élevée est de 30,2°C



Ecarts des températures entre, les maxima et les minima, supérieurs à 15°C.

- 8 mai $\Delta T = 15,4^{\circ}\text{C}$, 9 mai $\Delta T = 15,5^{\circ}\text{C}$.
- 1 juillet $\Delta T = 19,5^{\circ}\text{C}$, 28 juillet $\Delta T = 15,1^{\circ}\text{C}$, 30 juillet $\Delta T = 15,2^{\circ}\text{C}$, 31 juillet $\Delta T = 15,7^{\circ}\text{C}$
- 9 septembre $\Delta T = 17,5^{\circ}\text{C}$.

Les valeurs des écarts les plus importants provoquées par les variations climatiques sont de 19,5°C et de 17,5°C. Chaque écart de température est un véritable choc thermique qui s'exerce sur la pierre.



Humidités relatives

Minima des humidités relatives inférieures à 30%.

Ils se situent les :

5 mai (22%), 7 mai (28%), 8 mai (26%), 9 mai (24%), 10 mai (20%), 11 mai (22%), 12 mai (21%), 13 mai (23%), 22 mai (28%) et le 1 juillet (29%).

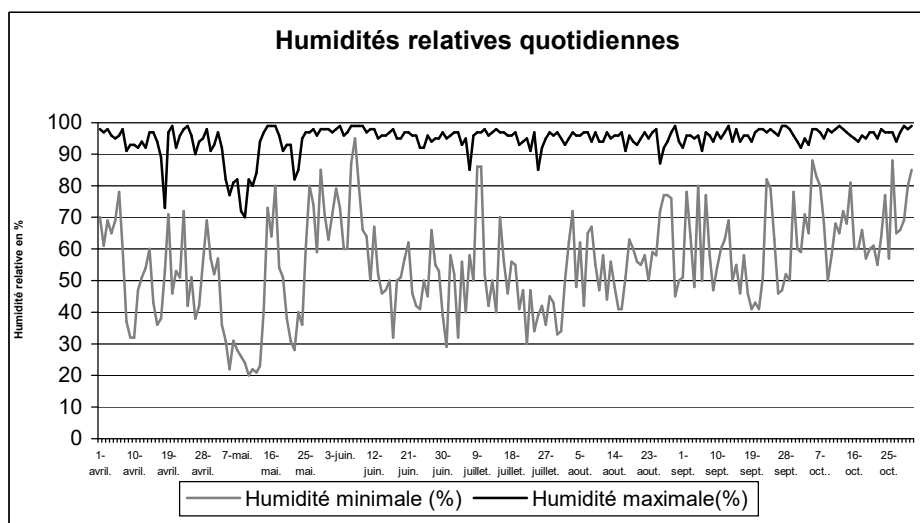
Le 10 mai est le jour le plus sec de la période de mesure.

Maxima des humidités relatives.

Pendant les mois d'enregistrement, l'humidité oscille entre 90% et 99%. La période où les maxima sont les plus faibles se situe entre le 5 et le 12 mai.

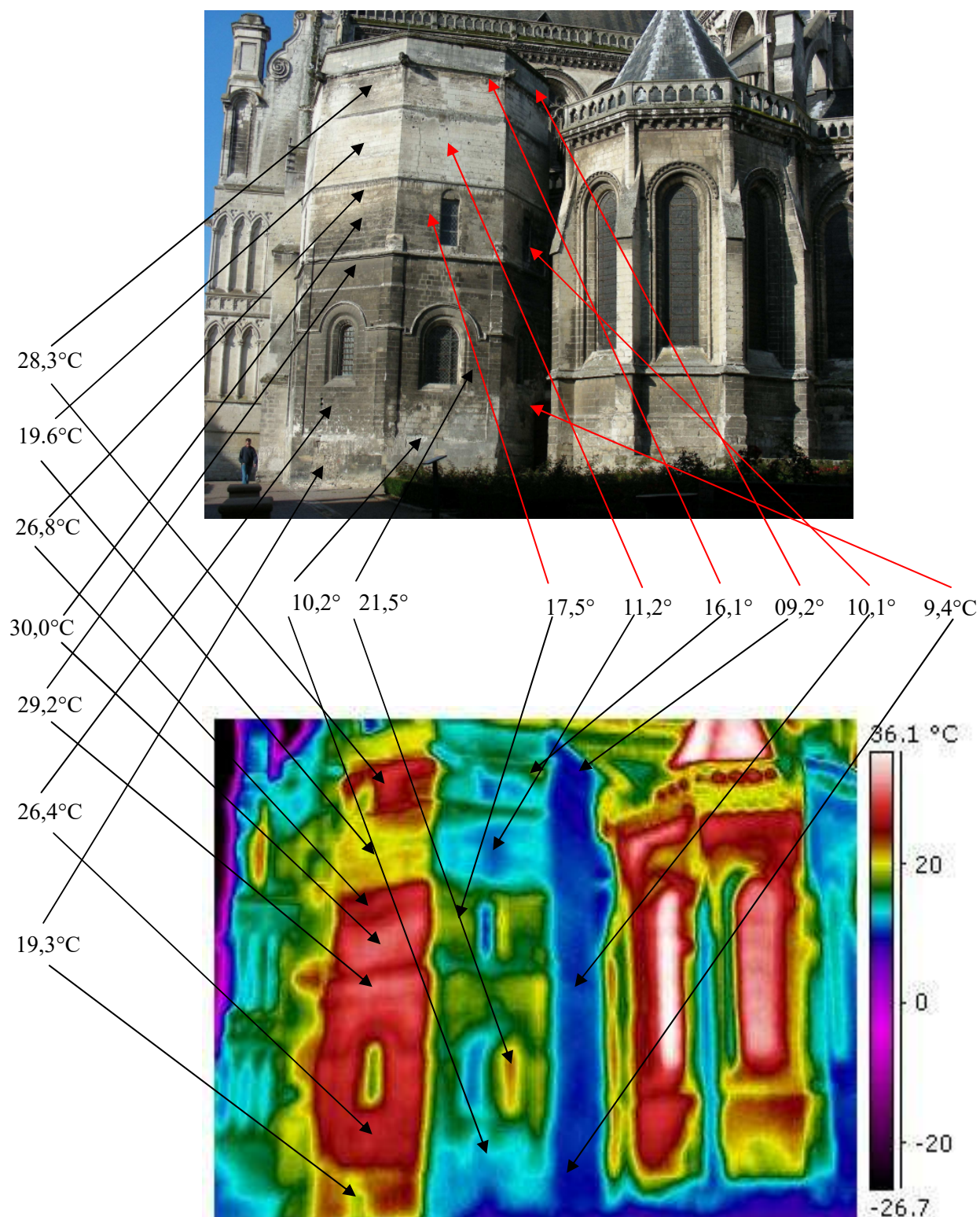
La moyenne des maxima est de 95%. Le climat est particulièrement humide et la pierre se trouve sans cesse imprégnée d'eau.

Pendant cette période d'enregistrement le risque de gèle de l'eau d'imprégnation de la pierre est limité au 7 avril où les températures sont négatives $T = -2.6^{\circ}\text{C}$ et l'humidité relativement élevées.



THERMOGRAPHIE ; 9 OCTOBRE 2008 – 12H 15, 12H 45

Le thermogramme a été fait le 9 octobre 2008 par une journée ensoleillée, sans couverture nuageuse. La température était d'environ 17,5 °C. L'étude de ce thermogramme nous a permis d'avoir des informations sur les variations de température de surface des murs de la tour octogonale exposés au sud-est, est et nord-est.



Le mur sud-est est le plus ensoleillé. Sa température de surface varie d'un maximum de 30,0°C à un minimum de 19,3°C c'est-à-dire un écart de plus de 10,0°C. Cette hétérogénéité des températures de surface est liée principalement aux variations de couleur de la pierre. Les parties les plus sombres, où la pierre est encrassée et dégradée, absorbent davantage la chaleur et créent des points chauds.

Le mur est est moins ensoleillé. Sa température de surface est plus basse, elle varie de 21 à 11°C. L'hétérogénéité des températures est également due à la couleur de la pierre, son encrassement et à sa dégradation. L'arête sud-est/est de la tour, à la limite entre la face ensoleillée et la face la moins exposée, subit des écarts de température qui peuvent dépasser les 10°C. Ces écarts sont responsables de phénomènes de dilatation/rétraction et peuvent provoquer de fortes contraintes dans la structure si celle-ci n'est pas libre de se dilater.

Enfin la face nord est dans l'ombre et les températures oscillent autour de 10°C. Les écarts de température de surface entre les zones ensoleillées et d'ombre sont d'environ 20°C

Analyse des conditions extérieures de conservation.

L'ensemble des données obtenues par les relevés climatiques et la thermographie traduit bien les conditions de conservation de la Tour du Chapitre. Ces six mois d'enregistrement, commencés à la fin de l'hiver 2008 et terminés à la fin de l'été nous donnent une idée des conditions climatiques qui règnent sur Saint Omer.

Les écarts quotidiens de températures sont élevés ce qui entraîne une succession de chocs thermiques, auxquels vont s'ajouter des variations de températures de surface les jours d'ensoleillement.

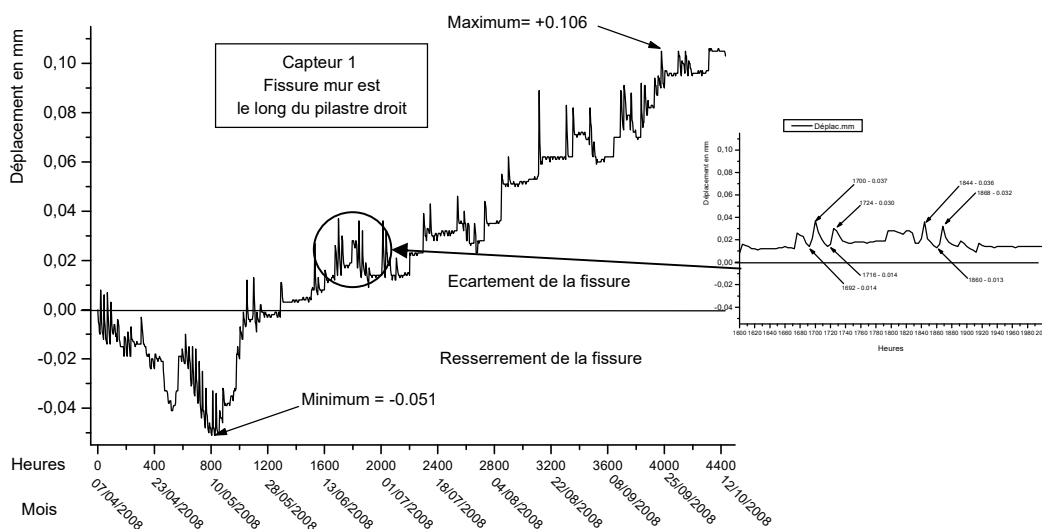
L'humidité est particulièrement haute avec des maxima de 99 % HR et une moyenne de plus de 75 % HR. Cette humidité est quasiment journalière.

Ces conditions ne sont pas exceptionnelles dans le nord de la France mais elles ont bien entendu des conséquences sur la conservation des bâtiments.

RESULTATS DES ENREGISTREMENTS DES DEUX CAPTEURS.

Capteur 1- Fissure mur est, le long du pilastre. Largeur de la fissure est de 6 mm au point de mesure, orientée verticalement.

Résultats.



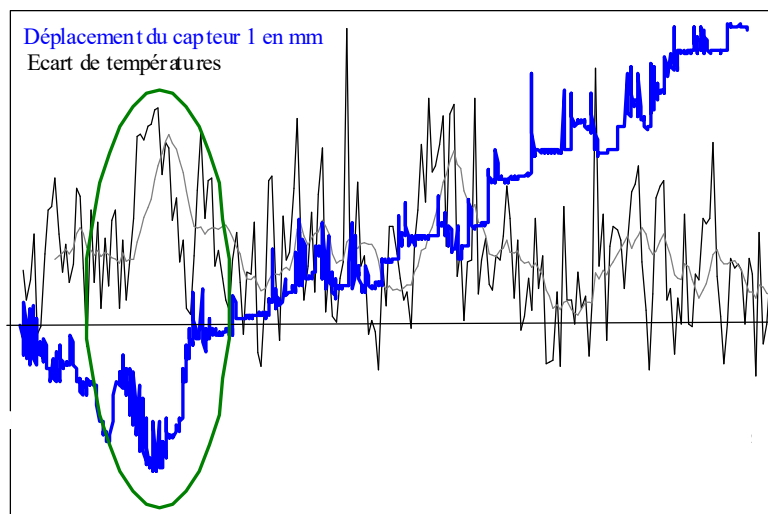
Analyse des résultats

Le déplacement dans le plan est mesuré selon un axe. La valeur de départ est calée à zéro et ensuite **les valeurs négatives correspondent à un resserrement et les valeurs positives à un écartement de la fissure**. La courbe présente deux types de variations. Des petites variations qui s'exercent tout le long de la durée des mesures. Elles sont de l'ordre de 0.020 mm soit 0.3 % par rapport à la largeur de la fissure au point de mesure. La fréquence, de ces mouvements de faible amplitude, est de 8 à 16 heures, ce sont des variations quotidiennes. Elles peuvent s'expliquer par des phénomènes des vibrations ou par des chocs thermiques.

Jusqu'au 10 mai 2008, soit pendant les 800 premières heures, la fissure se resserre pour atteindre un minimum à -0.051 mm soit 0.85% de la largeur de la fissure. Ce resserrement est trop faible pour entraîner une compression des lèvres de la fissure. Ensuite la fissure s'écarte rapidement pour atteindre vers 1200 heures (fin du mois de mai) sa position initiale.

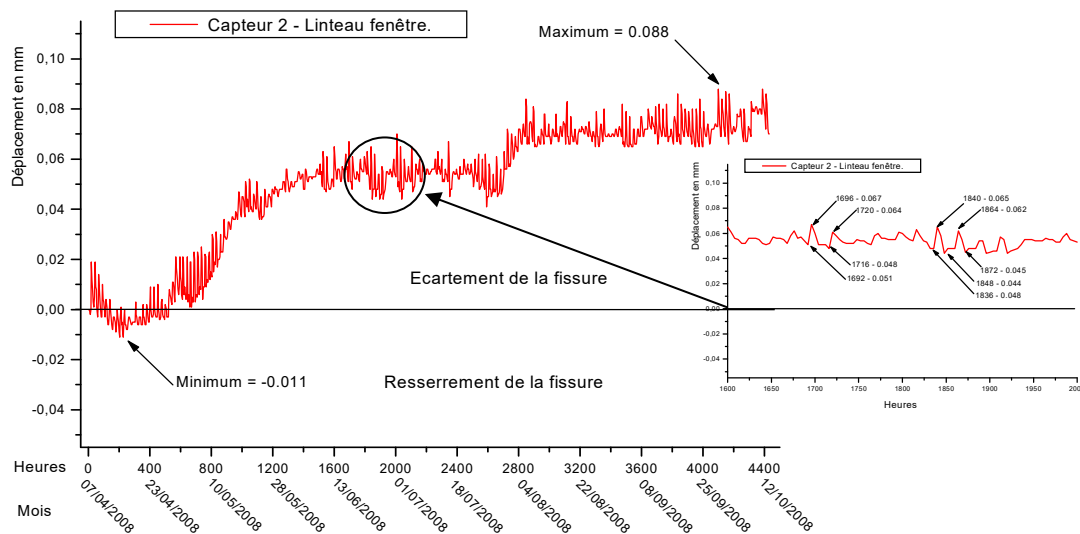
A partir de ce moment la fissure s'écarte régulièrement presque linéairement pour atteindre à la fin des mesures sa valeur maximale de 0.106 mm soit une peu plus de 1.76%. Les 4400 heures d'enregistrement nous indique que **la fissure travaille lentement en s'écartant**.

Influence des écarts de températures



La superposition des courbes « Ecart quotidiens de Températures » et « Variations de l'écartement de la Fissure » permet de mettre en évidence la coïncidence qui existe entre les chocs thermiques dus au climat et les mouvements de faibles amplitudes de la fissure.

Capteur 2 : Fissure du linteau de la baie coté est. Largeur de la fissure est de 4 mm au point de mesure, orientée horizontalement.



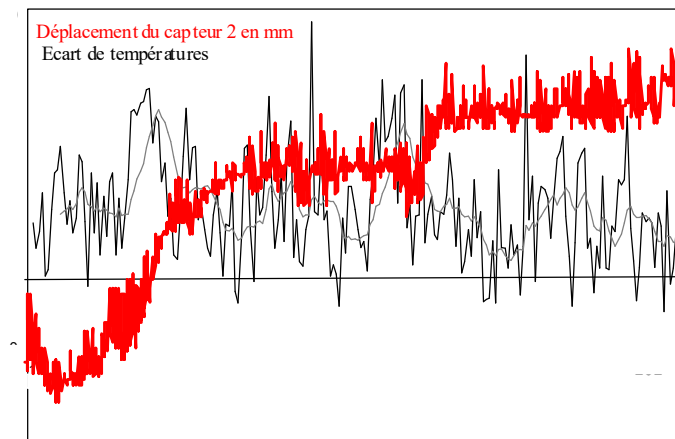
Analyse des résultats.

Comme précédemment la courbe présente deux types de variations. Des petites variations qui s'exercent tout le long de la durée des mesures. Elles sont de l'ordre de 0.016 mm soit 0.4 % par rapport à la largeur de la fissure au point de mesure. La fréquence, de ces mouvements de faible amplitude, est également de 8 à 16 heures. Elles sont quotidiennes et peuvent s'expliquer par des phénomènes des vibrations ou des chocs thermiques.

Les premières manifestations de l'activité de cette fissure s'affirment par un écartement de 0.02 mm (0,5%) qui se resserre ensuite régulièrement pour atteindre son minimum - 0.011 mm vers le 23 avril 2008. Ce resserrement est trop faible pour entraîner une compression des lèvres de la fissure.

A partir de cette position, la fissure recommence à s'écarter progressivement pour atteindre vers 450 heures sa position initiale. Ensuite la vitesse d'écartement s'accélère pour atteindre un palier où la valeur moyenne est de 0,055 mm (1.37%). Ce palier reste stable entre 1600 à 2600 heures. De nouveau l'écartement de la fissure s'accroît entre 2600 et 2800 heures pour se stabiliser à une valeur oscillant entre 0.080 et 0.066 mm. L'écartement maximum atteint 0.088 mm. Les mesures s'arrêtent au niveau d'un palier. Pour cette fissure l'écartement maximum enregistré par rapport à l'ouverture initiale de la fissure est 2.2 %. **La fissure travaille par à coup.**

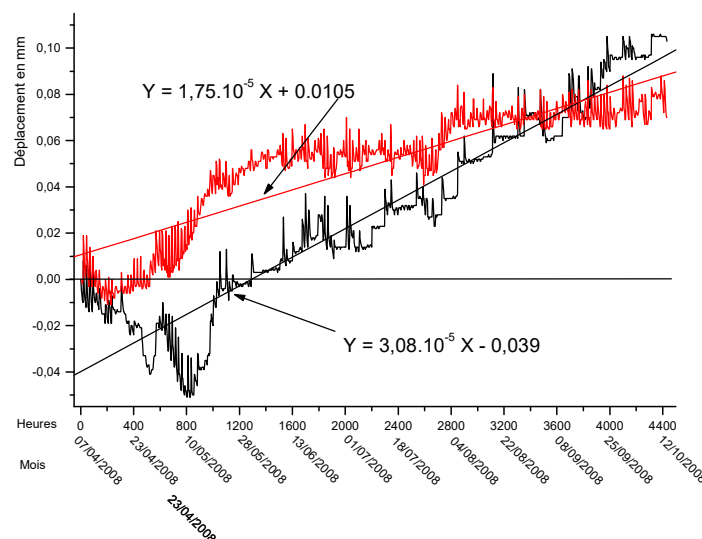
Influence des écarts de températures



La superposition des courbes « Ecart quotidiens de Températures » et « Variations de l'écartement de la Fissure » permet de mettre en évidence la coïncidence qui existe entre les chocs thermiques dus au climat et les mouvements de faibles amplitudes de la fissure.

Evaluation de l'amplitude de l'activité des fissures.

A partir des points d'enregistrements des deux courbes de déplacement des fissures le long du pilastre et du linteau de la baie, on peut calculer les droites de régression linéaire. Ces droites correspondent respectivement **aux tendances (ou les vitesses) d'écartement** dans le temps. Elles nous aident à faire des estimations sur l'évolution de ces deux fissures dans le futur à condition, bien entendu, **que cette tendance s'affirme sur plusieurs années.**



Par exemple pour la fissure le long du pilastre

Sur une année soit 8640 heures la fissure va s'écarter de 0.23 mm

Sur 10 ans la fissure s'écartera de 2.30 mm.

Pour la fissure du linteau de la baie

Sur une année la fissure va s'écarter de 0,16 mm

Sur 10 ans la progression de l'écartement sera de 1,6mm.

CONCLUSION

Les enregistrements des mouvements des fissures montrent que **ces deux fissures sont actives et leur tendance est à l'écartement**.

Les écarts thermiques quotidiens, qui sont à l'origine des pics de faible amplitude, affectent probablement le comportement des fissures. Ils peuvent participer aux phénomènes d'agrandissement des fissures mais ils ne sont directement responsables.

Ces deux fissures ne réagissent pas de la même manière. La fissure du linteau de la baie se développe par paliers ou par saccades, alors que la fissure le long du pilastre a une croissance régulière. La fissure du linteau semble plus récente que la fissure du pilastre néanmoins leur comportement pourrait être lié.

L'état sanitaire de la face extérieure présente une large fissure verticale située sur la gauche et qui court sur toute la hauteur de la partie du mur au-dessus de la baie. Cette fissure est ancienne. Bien qu'elle ne soit pas en regard direct avec la fissure intérieure le long du pilastre il est possible qu'elle soit également liée.



Les mouvements de l'édifice, comme en témoignent les fissures instrumentées, ne sont pas stabilisés. Au vu des anciennes restaurations (bouchage des fissures) faites à l'intérieur de la salle du trésor, ces mouvements sont de nouveau responsables des désordres actuels. Les travaux de terrassement, coté sud de l'église (aménagement et consolidation du terrain et réfection du réseau hydraulique¹) faits en 2006 et 2007, aurait pu interrompre l'évolution des fissures. Etant donné que les écartements continuent à progresser, il serait souhaitable de les immobiliser en prenant des mesures adaptées.

Alain ROCHE pour LARCROA.

¹ Informations données par Monsieur Molin, Architecte, responsable du service Urbanisme de la ville



ANNEXE

Capteur de déplacement, potentiométrique FWA025TR

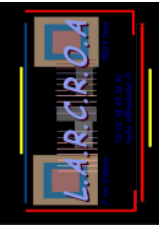
Linéarité indépendante : $\pm 0.2\%$
Longueur du boîtier : 63 mm
Course maximum : 30 mm
Masse totale : 120g
Fréquence de manœuvre : 18 Hz
Force d'application : ± 5 N.
Rigidité diélectrique : ± 1 mA.
Plage de température : -30 à 100 °C.
Connecteur AMENO pour tension ± 26 volt résolution 0.1 mV.

Centrale d'acquisition portable ALMENO 2390-8

Entrées de mesure : 5 entrées ALMENO, séparation galvanique pour 5 capteurs.
Canaux : 4 canaux par capteur, mesures et fonctions.
Plages de mesure : 0 à 500 Ohm (résolution 0,1), 0 à 5000 Ohm (Résolution 1)
-2 à 2,6 Volt et -26 à 2,6 milli Ampère.
Tension d'alimentation capteur : Pile : 7 à 9 Volt ou 100mA max
Secteur : 12 Volt ou 100 mA max.
Sorties : 2 prises ALMENO.
Mémoire : 512 Ko soit (640000 et 100000 mesures).
Alimentation : Piles de 9 Volts
Adaptateur secteur.
Consommation : env. 10 mA soit 10000 cycle par pile.

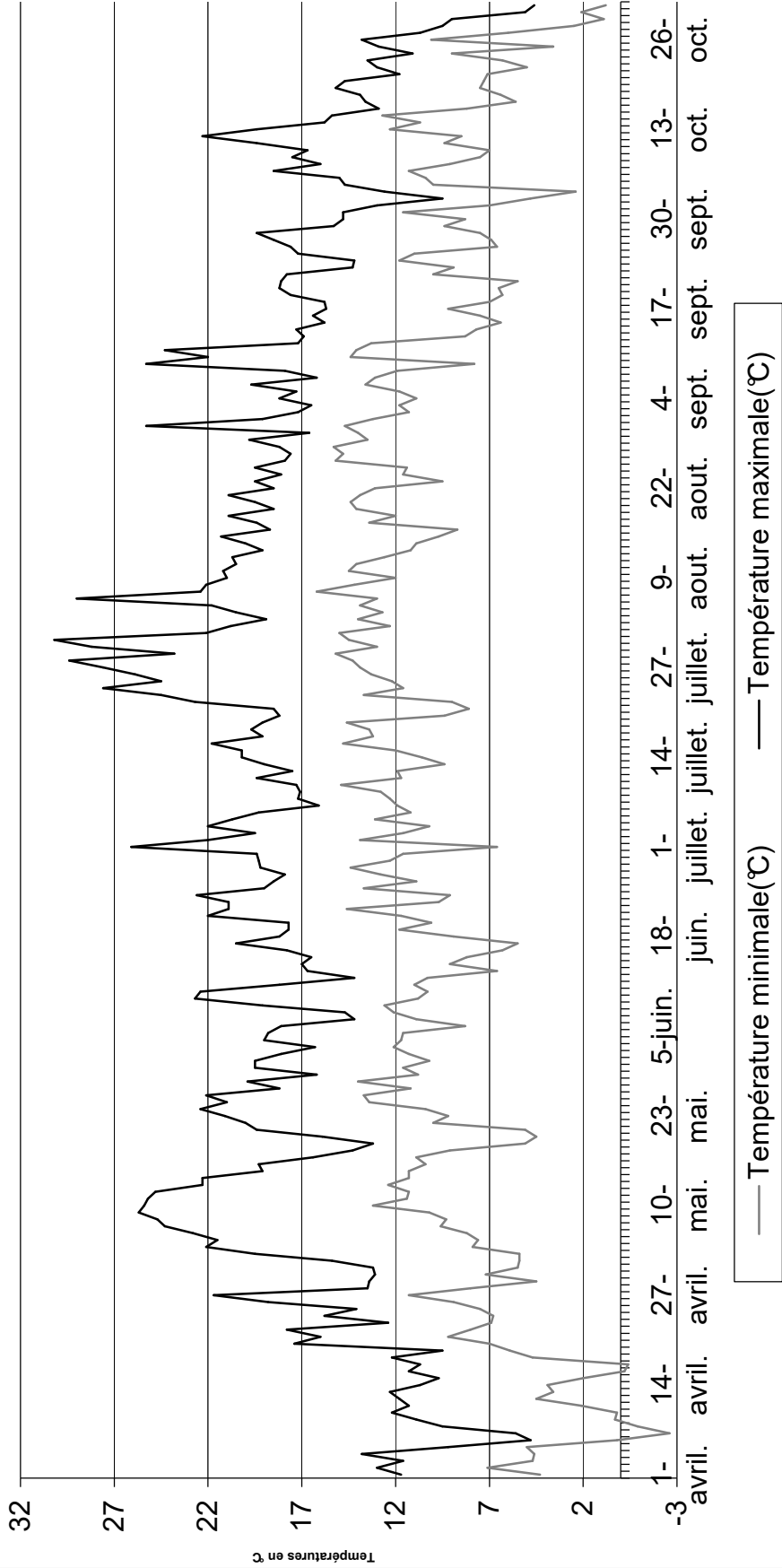
Logiciel AMR-CONTROL

Programmation des capteurs
Récupération des données en fichier texte par RS 232



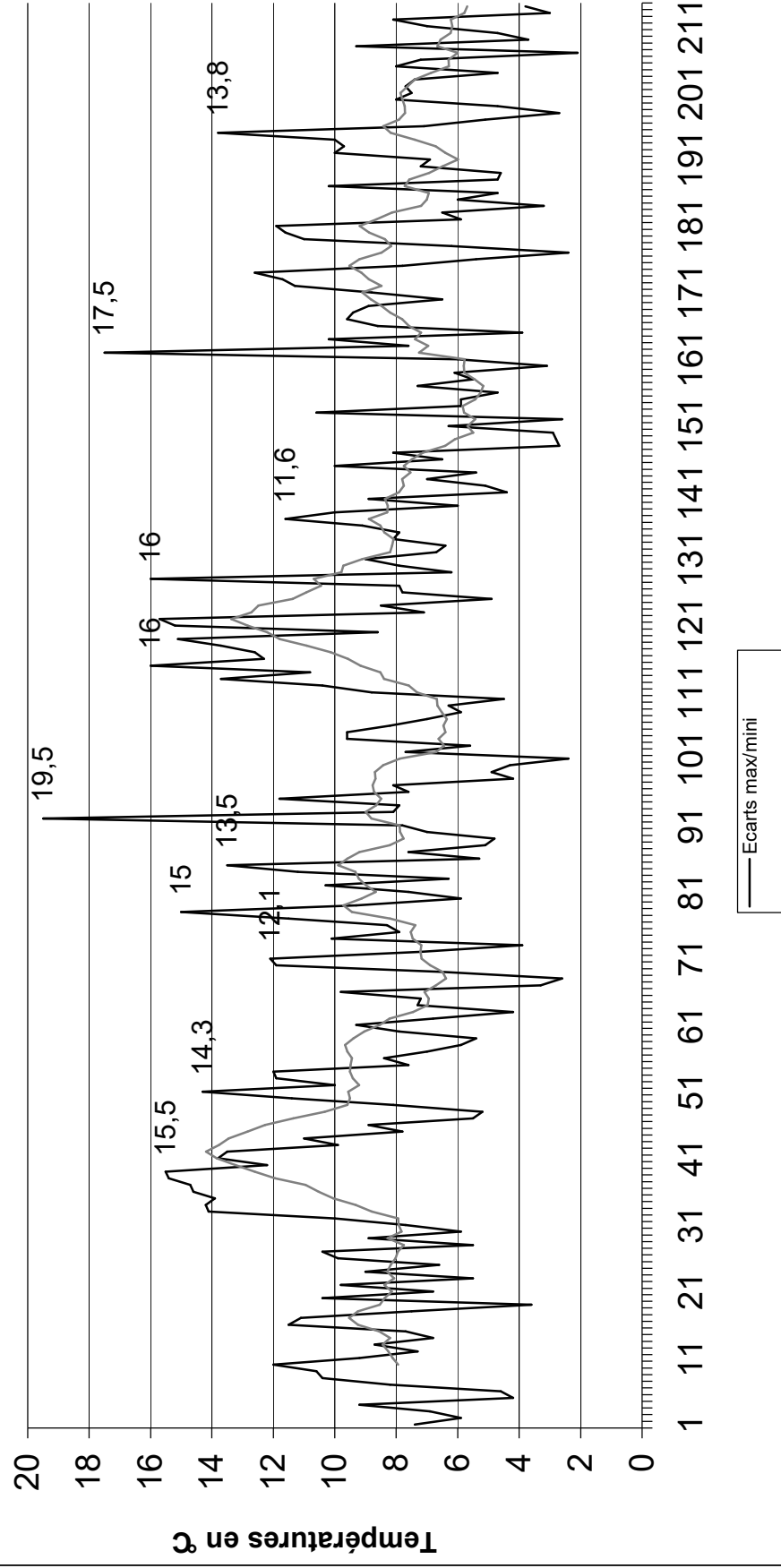
COURBE 1

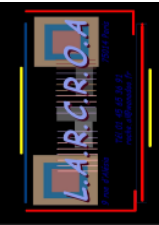
Relevé des températures Saint Omer
Période avril-octobre 2008



COURBE 2

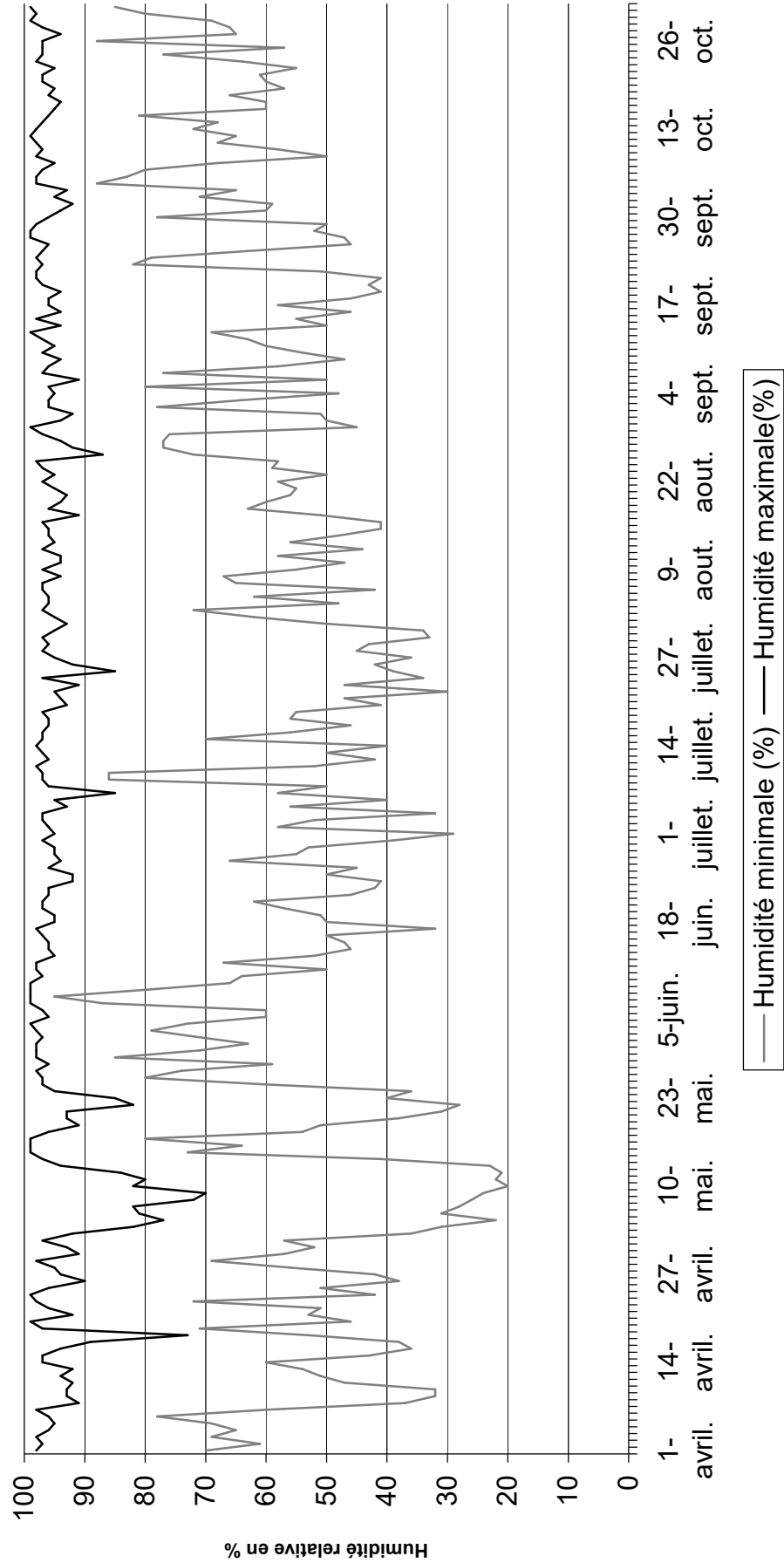
Relevé des températures Saint Omer Période mai-octobre 2008



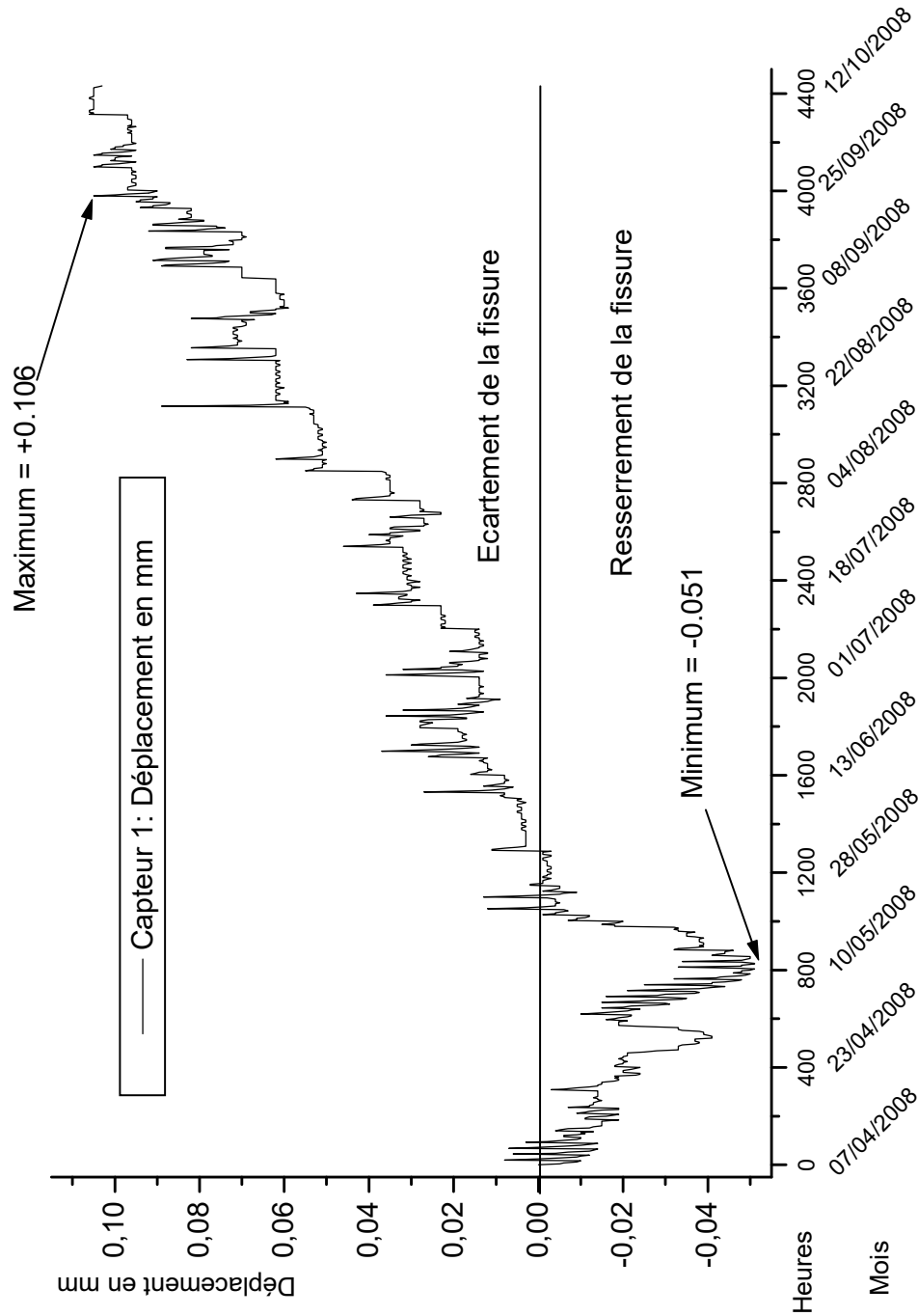


COURBE 3

Relevé de l'humidité relative Saint Omer
Période avril-octobre 2008



COURBE 4



COURBE 5

