



# La protection du patrimoine historique. Diagnostiquer - surveiller - traiter

Michel Laverie

## ► To cite this version:

Michel Laverie. La protection du patrimoine historique. Diagnostiquer - surveiller - traiter. Nouvelles technologies et monuments historiques, Nov 1994, Le Caire, Egypt. <ineris-00971913>

**HAL Id: ineris-00971913**

**<https://hal-ineris.ccsd.cnrs.fr/ineris-00971913>**

Submitted on 3 Apr 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## LA PROTECTION DU PATRIMOINE HISTORIQUE DIAGNOSTIQUER - SURVEILLER - TRAITER

M. LAVÉRIE  
INERIS

Les sites et monuments historiques, comme tous les ouvrages naturels et humains, évoluent avec le temps du fait de l'action des éléments naturels ou de l'activité anthropique. Le caractère unique et l'intérêt général d'un monument ou d'un site amène donc la collectivité à se poser la question des moyens à mettre en oeuvre pour assurer la pérennité des ouvrages qu'elle souhaite conserver dans son patrimoine et la sécurité des personnes susceptibles de les visiter.

En effet le risque principal auquel il faut faire face est celui de la "ruine" du site ou monument. Cette ruine résulte d'une instabilité peut prendre des formes lentes d'évolution mais qui peuvent s'accélérer et mettre en péril brusquement l'édifice et ses visiteurs.

Protéger le patrimoine historique contre ce risque de ruine consiste à entreprendre des actions à trois niveaux successifs : (Fig. 1)

- Diagnostiquer l'évolution probable en identifiant les points faibles de l'ouvrage et les facteurs d'influence externes constituant une menace pour celui-ci.
- Surveiller les points sensibles détectés lors de la phase de diagnostic et décider le cas échéant d'une intervention.
- Traiter pour agir sur le processus de ruine ou dans les situations d'urgence pour prendre les mesures conservatoires nécessaires et le cas échéant éviter d'exposer les visiteurs ou populations voisines à un risque de ruine soudaine.

La pratique des études de protection du patrimoine historique met en évidence les difficultés à prendre des décisions compte tenu des incertitudes techniques du diagnostic, du coût et des imperfections des moyens de surveillance, des aspects administratifs, culturels et économiques des actions à entreprendre.

### I - LE DIAGNOSTIC

Il s'agit ici par analogie avec la médecine de préciser et de quantifier des symptômes d'instabilité qui sont le plus souvent des déformations ou des fissurations au sein de l'ouvrage ou de la structure géologique sur laquelle ou au sein de laquelle il est implanté. Le diagnostic peut également permettre, en corrélation avec l'observation de l'environnement de l'ouvrage, de remonter aux causes de l'évolution constatée.

De même qu'un médecin examine un malade avant de porter son diagnostic avec une méthodologie spécifique pour laquelle il a été formé, il est nécessaire d'entreprendre le diagnostic d'un ouvrage avec une méthodologie qui permette d'avoir un diagnostic le plus sûr possible. L'INERIS a une expérience de cette méthodologie de diagnostic des ouvrages miniers ou de génie civil et des sites industriels ; celle-ci peut être transposée au cas des ouvrages de sites historiques selon un schéma présenté dans la figure 2 (a,b).

Dans un premier temps il faut considérer le système représenté par le monument ou site considéré et son environnement. Seule cette analyse globale de système permettra de ne pas passer à côté de facteurs importants d'instabilité et non forcément évidents à déceler.

Ensuite on procédera à l'identification systématique des facteurs potentiels d'instabilité en ne négligeant aucun d'eux a priori dans cette phase du diagnostic.

Cette identification sera suivi alors d'une première analyse de risques qui consistera pour chaque facteur à évaluer sa probabilité d'intervention et l'impact de son action ou la gravité de ses conséquences selon les modalités qu'il prend.

Cette phase d'analyse des risques peut permettre un classement des facteurs d'instabilité et une identification des points sensibles de l'ouvrage ou du site sur lesquels ils sont susceptibles a priori d'avoir une influence .

Ces points sensibles étant a priori décelés on entreprendra alors une auscultation qui peut permettre d'apprécier l'évolution d'éléments de certains ouvrages ou facteurs de risques. Elle peut aussi permettre d'étudier la sensibilité de l'ouvrage à des sollicitations : variation du niveau de la nappe phréatique, vibrations produites par la circulation, pluie, vent...

Une auscultation doit toujours être une opération limitée dans le temps et bien ciblée suite à l'analyse de l'ouvrage. Pour être efficace et bien acceptée une auscultation doit aussi mettre en oeuvre des techniques simples de mesures (inclinaison, écartement de fissures, mouvements de blocs) en faisant appel dans cette phase à des moyens de mesures à grande sensibilité plutôt qu'à des moyens fiables à long terme.

Les résultats de cette phase d'auscultation permettront alors de conforter ceux de l'analyse a priori et un diagnostic global pourra alors être porté.

Ce diagnostic comportera généralement à côté de la description de l'ouvrage ou du site :

- la liste des facteurs à plus fort risque
- leur probabilité (même approximative) d'apparition et d'évolution
- la gravité de leurs conséquences pour l'ouvrage
- les indications sur l'évolution possible des dégradations dans le temps et leurs conséquences vraisemblables sur le pronostic de ruine de l'ouvrage.

.../...

Comme dans le domaine médical le diagnostic d'un site ou monument comporte des incertitudes. Le coefficient de sécurité attaché à un ouvrage rocheux ou à une construction ancienne n'est jamais connu avec la même précision que celui d'une construction moderne. Ceci est lié en particulier à la variabilité naturelle des matériaux le constituant et de la structure géologique sur laquelle il est établi . Il faut raisonner en probabilité de rupture mais d'une part ceci n'est pas encore accepté de manière courante et d'autre part cette évaluation probabiliste est très délicate à entreprendre.

La réalisation de diagnostics est un élément de choix capital pour les organismes chargés de la gestion et de la protection du patrimoine. Les budgets annuels étant toujours limités, les diagnostics réalisés sur plusieurs ouvrages peuvent permettre de faire des choix de priorité. En aboutissant à la mise sous surveillance des ouvrages à plus haut risque, le diagnostic permet d'optimiser dans le temps les dépenses en réservant surveillance, interventions et traitements aux cas les plus urgents.

## II - LA SURVEILLANCE

### 2.1. Le rôle de la surveillance

Quand un diagnostic a permis de mettre en existence une évolution probable de l'ouvrage du site il est nécessaire de connaître l'évolution de la dégradation en fonction du temps pour pouvoir décider du degré d'urgence des travaux à réaliser. De plus il est rare que ce traitement puisse être directement entrepris et il faut monter un dossier administratif et financier souvent complexe et les travaux peuvent s'étendre sur plusieurs années.

Pour toutes ces raisons, la mise en place d'un réseau de surveillance va permettre un suivi dans le temps du monument ou site concerné et le déclenchement éventuel de mesures de première urgence en cas de dépassement de seuils d'alarme.

De plus, la surveillance de l'ouvrage permet d'assurer la sécurité vis-à-vis du public. Lorsque le site devient un établissement recevant du public la sécurité doit être assurée non plus seulement vis-à-vis de l'extérieur (conséquence d'une dégradation ou ruine sur l'environnement de l'ouvrage) mais aussi vis-à-vis de l'intérieur pour pouvoir le cas échéant prendre les mesures vis-à-vis des visiteurs du site. Pour des ouvrages souterrains en particulier les risques d'instabilité doivent être surveillés au même titre que les risques liés à la ventilation et à l'incendie.

Enfin, plus tard, dans la phase de traitement (cf. III) le réseau de surveillance va aussi permettre de contrôler les travaux de traitement. Il faut effectivement vérifier pendant leur réalisation que ceux-ci n'introduisent pas de perturbations dommageables sur d'autres parties de l'ouvrage. Les travaux de traitement terminés le réseau de surveillance permettra aussi le plus souvent de vérifier leur efficacité.

.../...

## 2.2. Comment surveiller ? (Figure 3 (a, b) )

Une surveillance efficace ne peut être mise en place qu'après une étude fine de la stabilité qui n'a été que grossièrement approchée dans la phase de diagnostic. La première phase de cette étude fine de stabilité est l'établissement d'une carte "géotechnique qui rassemble pour l'ouvrage et son assise les données géométriques, géologiques et structurales (fracturation naturelle ou induite).

Cette phase est complétée par des mesures de caractérisation mécanique du sol, des roches et du matériau constitutif de l'ouvrage ainsi que par des mesures in situ de fissuration (auscultation ultra sonique) et de contraintes. De plus quand la géométrie de l'ouvrage est complexe (ce qui est souvent le cas), il faut recourir à des modèles de calcul dont les plus utilisés sont fondés sur la méthode des éléments finis, sachant que pour les ouvrages et sites à forte fracturation seuls les modèles dits "de blocs" permettent une représentation correcte de la complexité d'un site. En effet, ils permettent de simuler l'ouvrage et son socle pour un assemblage d'éléments discontinus ou "blocs" réagissant les uns ou les autres selon les lois de la mécanique.

Caractérisations et modèles permettent alors de tester différents scénarios de rupture et de proposer les types de mesures représentatives et l'emplacement optimum des dispositifs de mesures.

Pour la surveillance plusieurs types de mesures peuvent être utilisées :

- des mesures de contrainte permettant de suivre l'évolution du niveau de contrainte au voisinage des points les plus sollicités et où les ruptures sont susceptibles de s'amorcer ;
- des mesures de microsismicité qui permettent de suivre l'évolution de la structure rocheuse sur laquelle est implanté le site ou l'ouvrage et de constater la sensibilité aux mouvements d'ensemble des massifs rocheux voisins ;
- des mesures d'inclinométrie qui permettent de suivre avec grande précision l'inclinaison d'éléments sensibles du site ou de l'ouvrage.

Mais les mesures, de loin les plus utilisées en matière de surveillance sont les mesures de déformations. En effet, avant la rupture, les matériaux rocheux présentent une augmentation de volume que peut détecter la précision des capteurs utilisés couramment (1/100 mm). L'INERIS dispose de matériels suffisamment fiables pour rester en service pendant des années dans des conditions d'environnement parfois difficiles tout en restant d'un coût raisonnable.

La télémesure des capteurs a d'abord été réalisée pour répondre aux difficultés (et au danger) d'accès au site. Mais une fois résolu le problème de la transmission des mesures, il était tentant de réaliser une automatisation de la saisie des données qui présente un double intérêt :

- . augmenter la fréquence des mesures à moindre coût
- . assurer une meilleure répétabilité des mesures.

.../...

En effet, seul un ordinateur peut continuer pendant des années sans se lasser à effectuer un contrôle sans alerte ; car heureusement on fait souvent une surveillance où il ne se passe rien.

Du point de vue technique, l'interprétation des mesures repose sur le choix d'un critère d'alarme et les méthodes de détection de dépassement du critère. Le critère peut être un seuil de déformation à ne pas dépasser, une vitesse de déformation critique ou, plus souvent, la détection d'une accélération ces déformations ; c'est en effet ce dernier type de critère qui demande le moins de connaissance sur l'historique de l'ouvrage.

L'INERIS a pu automatiser l'interprétation des mesures et mettre en place sur certains sites une télésurveillance déclenchant des alarmes. Le développement de la micro-informatique permet de réaliser des installations réduites et facilement gérables sur les sites.

Les aspects administratifs et sociaux sont très importants dès que la surveillance peut se traduire en termes d'alarme. Il y a lieu de définir très précisément qui gère le système de surveillance, qui reçoit l'alarme et ce qu'il en fait. La concertation avec les différentes autorités administratives est ici primordiale et il importe de juger des conséquences des décisions prises trop tôt (alarme à tort) ou trop tard (défaut d'alarme) lorsqu'il s'agit de barrer une route ou de faire évacuer un immeuble. La notion de "péril imminent" ne s'appuie en fait sur aucune valeur précise de vitesse d'évolution ou de seuil atteint. L'interprétation des mesures de surveillance ne saurait donc se réduire à une simple mesure automatique.

### III - LE TRAITEMENT

La décision de traitement (figure 4) interviendra le plus souvent après une phase de diagnostic suivie d'une phase de surveillance. La définition du mode de traitement va amener à résoudre des problèmes à la fois techniques, administratifs et financiers.

Pour l'aspect technique il convient à nouveau de considérer l'ouvrage ou le site comme un système en interaction avec son environnement comme cela a été souligné précédemment ; en effet ce système va réagir au traitement et il faut donc prévoir, suivre et pouvoir le cas échéant contrôler cette réaction.

Si on dispose d'un modèle descriptif de l'ouvrage dans son environnement, il sera plus aisé de simuler l'effet d'un facteur exogène comme une modalité de traitement sur l'évolution du système. Dans le cas particulier des études de stabilité, le recours à des modèles de simulation numérique permet là encore de tester l'efficacité de différentes modalités possibles de renforcement ou de confortement et de faciliter les choix techniques.

.../...

A côté de l'aspect technique il convient de prendre en compte les aspects administratifs et financiers qui sont d'ailleurs souvent liés. Ils sont souvent assez complexes et différents selon les pays. Une harmonisation des procédures administratives de protection du patrimoine culturel est recherchée tant au niveau européen (c'est un des points du traité de Maastricht) qu'au niveau international (sous l'égide de l'UNESCO qui a déjà recensé les législations nationales en matière de protection des biens culturels et incite les pays les plus démunis d'un cadre législatif protecteur à faire évoluer leur système).

Mais devant l'importance du problème (en particulier dans les pays riches en éléments de patrimoine historique et culturel) le principal obstacle à la mise en oeuvre d'une politique de traitement des ouvrages et sites est un obstacle financier. On ne peut pas tout traiter et il faut donc faire des choix. Là encore le recours à l'analyse systémique peut permettre pour un ensemble de sites une approche coût/efficacité des traitements qui jointe à l'analyse de risques de chaque site donnera aux autorités compétentes des éléments de hiérarchisation des priorités.

\*  
\* \*

## CONCLUSION

En conclusion nous avons voulu montrer que dans la description de ces trois phases d'une politique de protection du patrimoine historique (Diagnostic - Surveillance - Traitement) il était important :

- 1) de procéder à une analyse du système global constituée par le monument, l'ouvrage, le site et son contexte environnemental,
- 2) d'avoir recours dans la mesure du possible à des modèles déterministes de représentation du système permettant de simuler les influences des facteurs endogènes ou exogènes sur l'évolution du système,
- 3) de raisonner en terme de risques c'est-à-dire en évaluant de façon conjointe les probabilités d'évolution des facteurs de ruine et la gravité des conséquences qu'ils peuvent entraîner.
- 4) d'intégrer correctement la notion de temps à toutes les étapes (cinétique des évolutions, adaptation dans le temps de la surveillance, définition du moment opportun pour engager le traitement en fonction de l'urgence, priorités et délais de mise en oeuvre).

# LA PROTECTION DU PATRIMOINE HISTORIQUE

---

## DIAGNOSTIQUER

Déceler les points faibles, les facteurs influants, l'évolution probable, les conséquences sur l'ouvrage.

## SURVEILLER

Suivre l'évolution pour décider d'une intervention en temps utile.

## TRAITER

Agir sur le processus de survie

Protéger l'ouvrage et ses visiteurs

FIGURE 2 (a)

## LE DIAGNOSTIC

---

- 1) Description de l'ouvrage et de son environnement
- 2) Inventaire des facteurs d'évolution
- 3) Analyse des risques (Probabilité/Conséquences.  
Evaluation probable dans le temps)
- 4) Auscultation
- 5) Diagnostic
  - Pas d'intervention
  - Différer à  $t + n$
  - Surveiller
  - Traiter

FIGURE 2b : LE DIAGNOSTIC

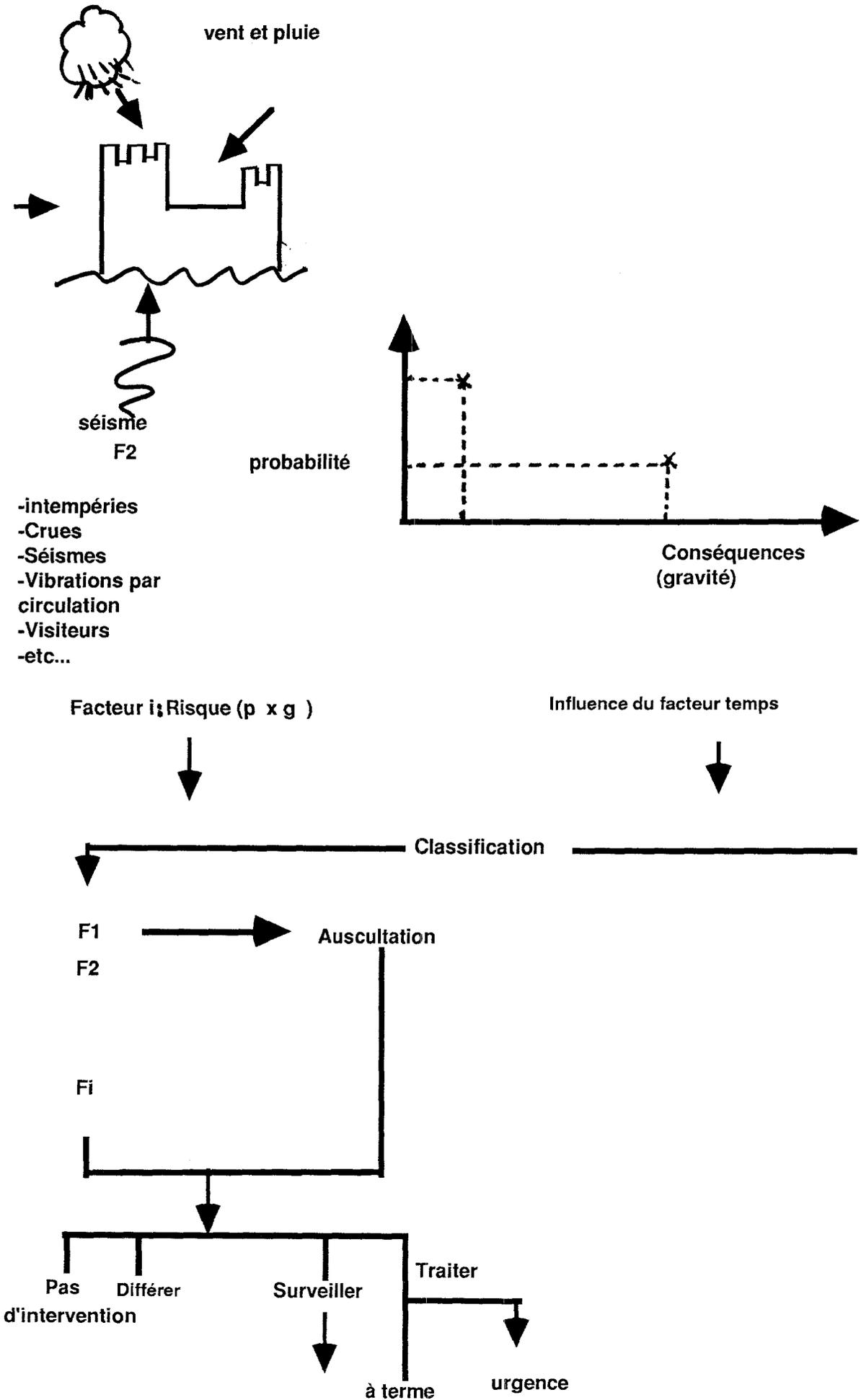


FIGURE 3 (a)

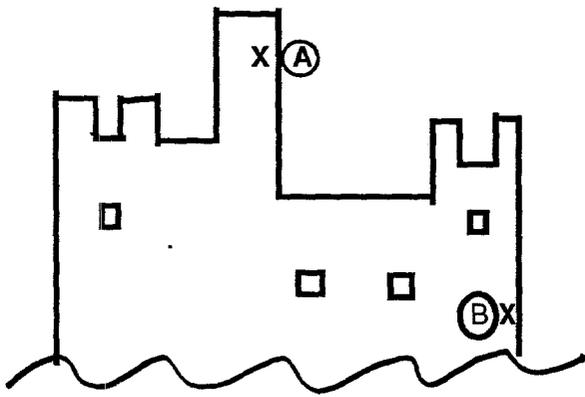
## LA SURVEILLANCE

---

- Quels endroits surveiller ?
- Quelles mesures faut-il mettre en oeuvre ?
- Comment faut-il les interpréter ?
- Que décider ?
  - Continuer la surveillance
  - Renforcer la surveillance (types de mesures  
(nombre de mesures  
(fréquence des mesures
  - Intervenir
    - Traitement immédiat
    - Traitement différé

FIGURE 3b

LA SURVEILLANCE



1) où ?

Calcul structure  
+ Auscultation



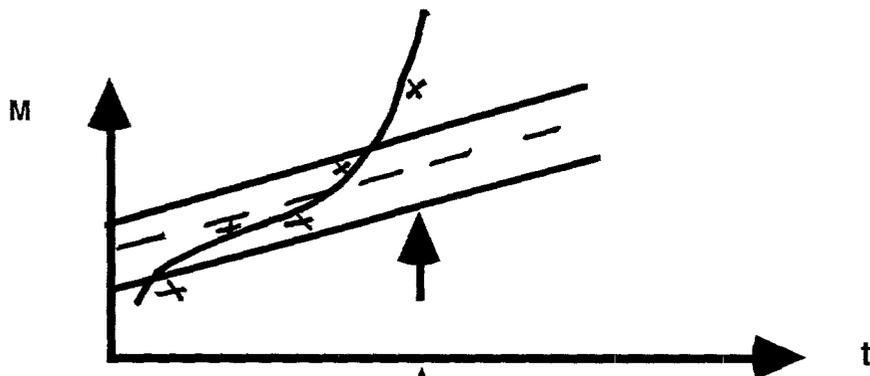
2 points sensibles  
A et B

2) Avec quoi ?

A) Inclinomètre

B) Extensomètre

3) Comment ?



Alarme

Différents niveaux

Continuer la  
surveillance

Renforcer la surveillance  
(nombre de mesures,  
fréquence)

Intervenir

différé

immédiat

FIGURE 4

## LE TRAITEMENT

---

- Quelles priorités : coût/efficacité
  - (----> immédiat/différé/en plusieurs phases
- Quel traitement (----> sur l'ouvrage (ex. pose d'étais)/sur son environnement (ex. injection du sol)
  - (----> sur l'ouvrage/sur les visiteurs (accès limité, protection)
- Comment le mettre en oeuvre
- Surveiller sa mise en oeuvre
- Contrôler ses effets