

Conférence publique

vendredi 30 octobre 2015

Résultats des recherches sur l'évolution du versant de VILLERVILLE
(décembre 1984 – octobre 2015)

Olivier MAQUAIRE

Candide LISSAK, Stéphane COSTA, Robert DAVIDSON

*U.F.R. SEGGAT, Université de Caen Normandie
Laboratoire LETG-Caen Géophen, UMR 6554 CNRS*

Introduction et contexte

Crises majeures

Délimitation de l'aléa

 Zones instables (2010)

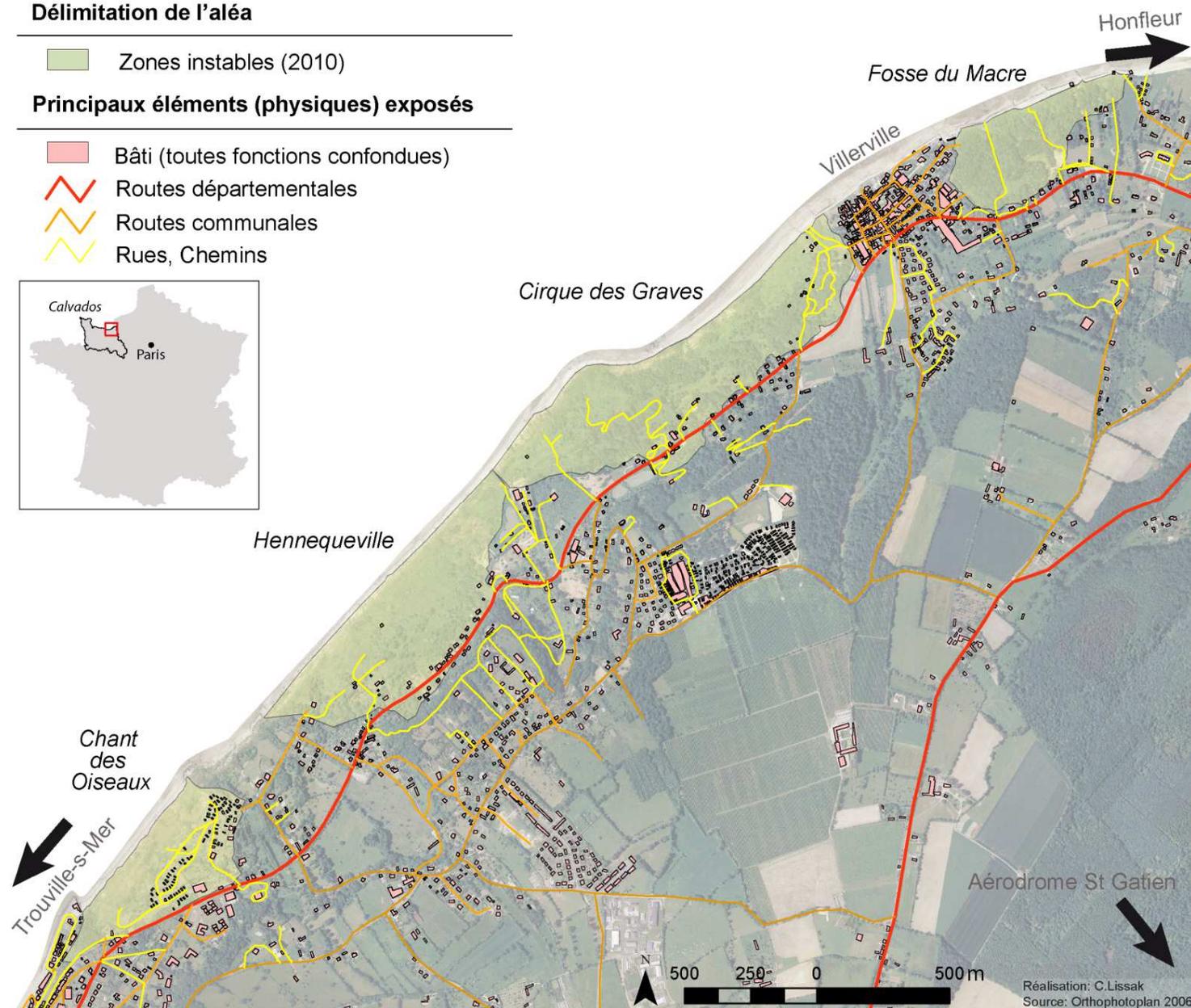
Principaux éléments (physiques) exposés

 Bâti (toutes fonctions confondues)

 Routes départementales

 Routes communales

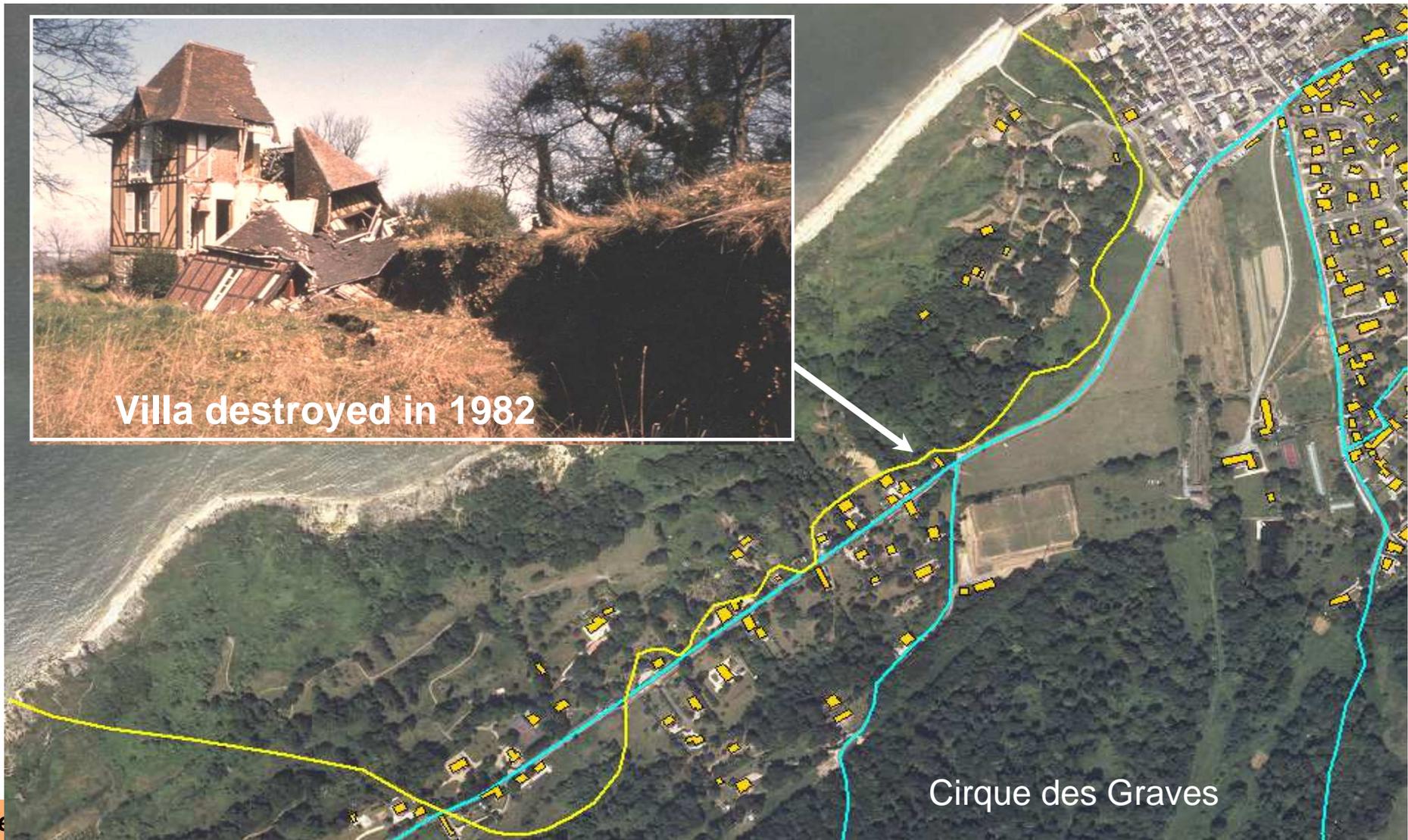
 Rues, Chemins



Introduction et contexte

Crises majeures

1ère crise : les **10/11 Janvier 1982**, un glissement majeur détruit partiellement ou totalement **une trentaine de bâtiments** et endommage la route en **2 endroits** (affaissement d'env. 2 m).



Introduction et contexte

Crises majeures

1ère crise : les **10/11 Janvier 1982**, un glissement majeur détruit partiellement ou totalement une trentaine de bâtiments et endommage **la route en 2 endroits** (affaissement d'env. 2 m).



Introduction et contexte

Crises majeures

1ère crise : les **10/11 Janvier 1982**, un glissement majeur détruit partiellement ou totalement une trentaine de bâtiments et endommage **la route en 2 endroits** (affaissement d'env. 2 m).



Route affaissée (Mirella)



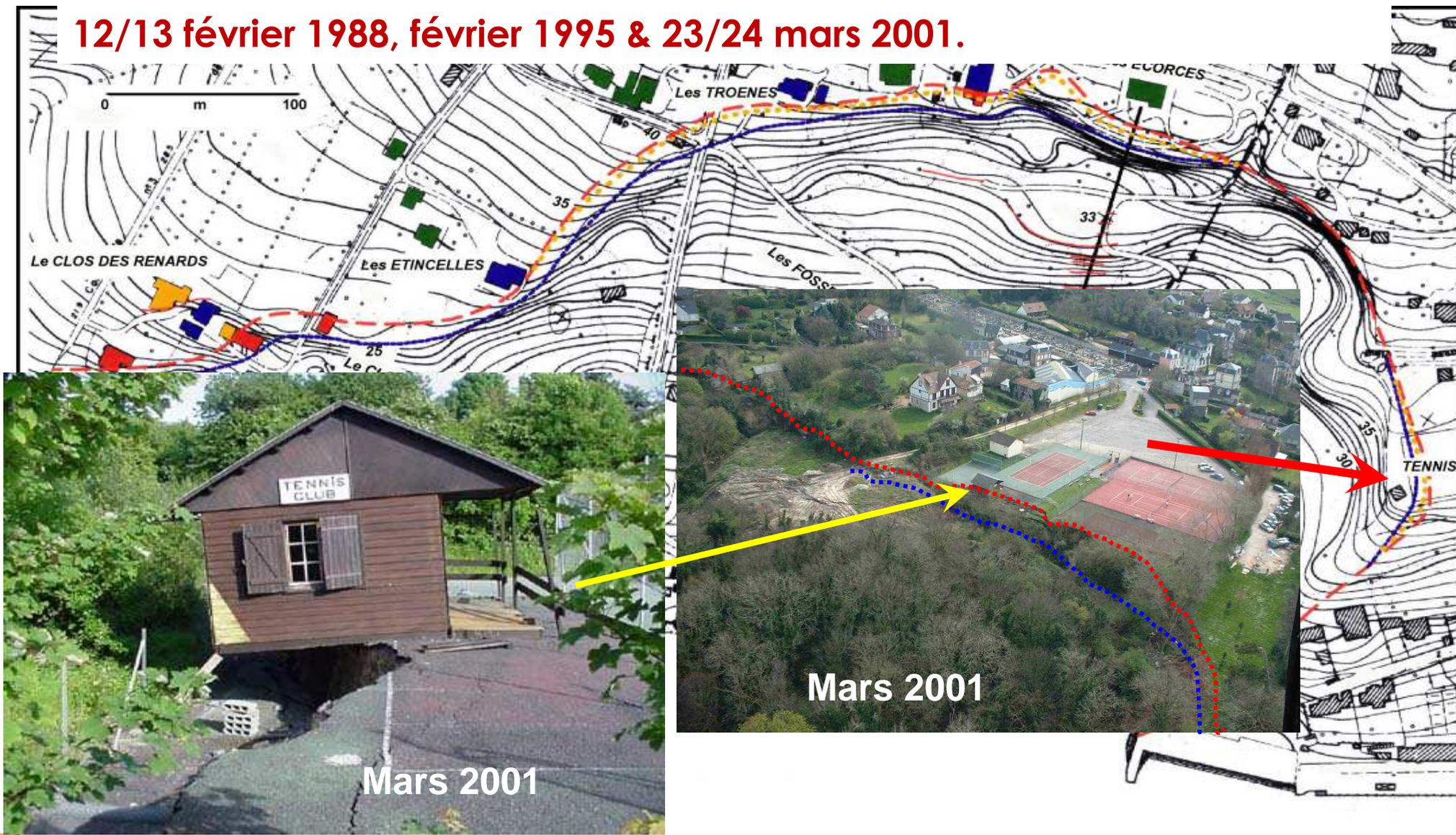
Cirque des Graves

Introduction et contexte

Crises majeures

1ère crise (10/11 Janvier 1982) suivie par trois réactivations majeures:

12/13 février 1988, février 1995 & 23/24 mars 2001.

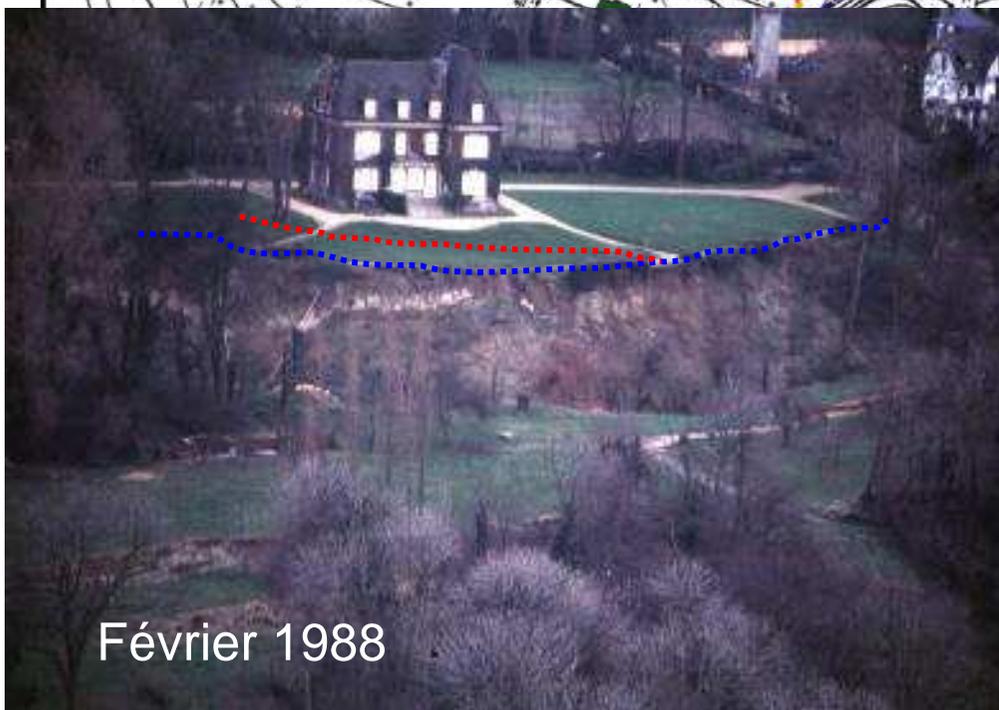


Introduction et contexte

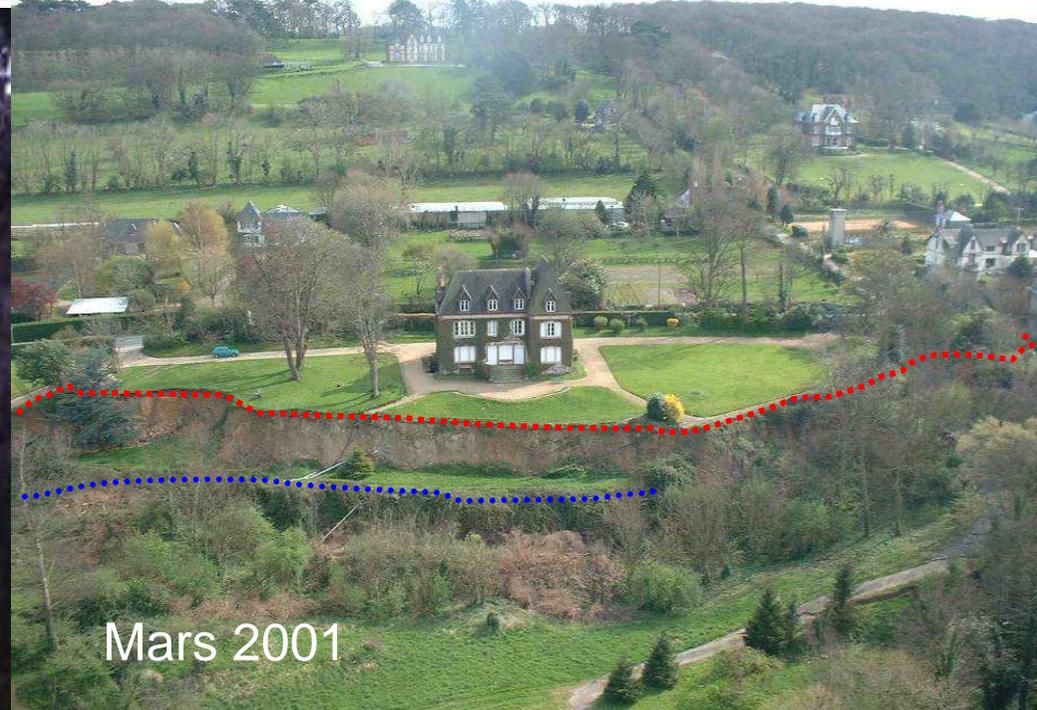
Crises majeures

1ère crise (10/11 Janvier 1982) suivie par trois réactivations majeures:

12/13 février 1988, février 1995 & 23/24 mars 2001.



Février 1988



Mars 2001

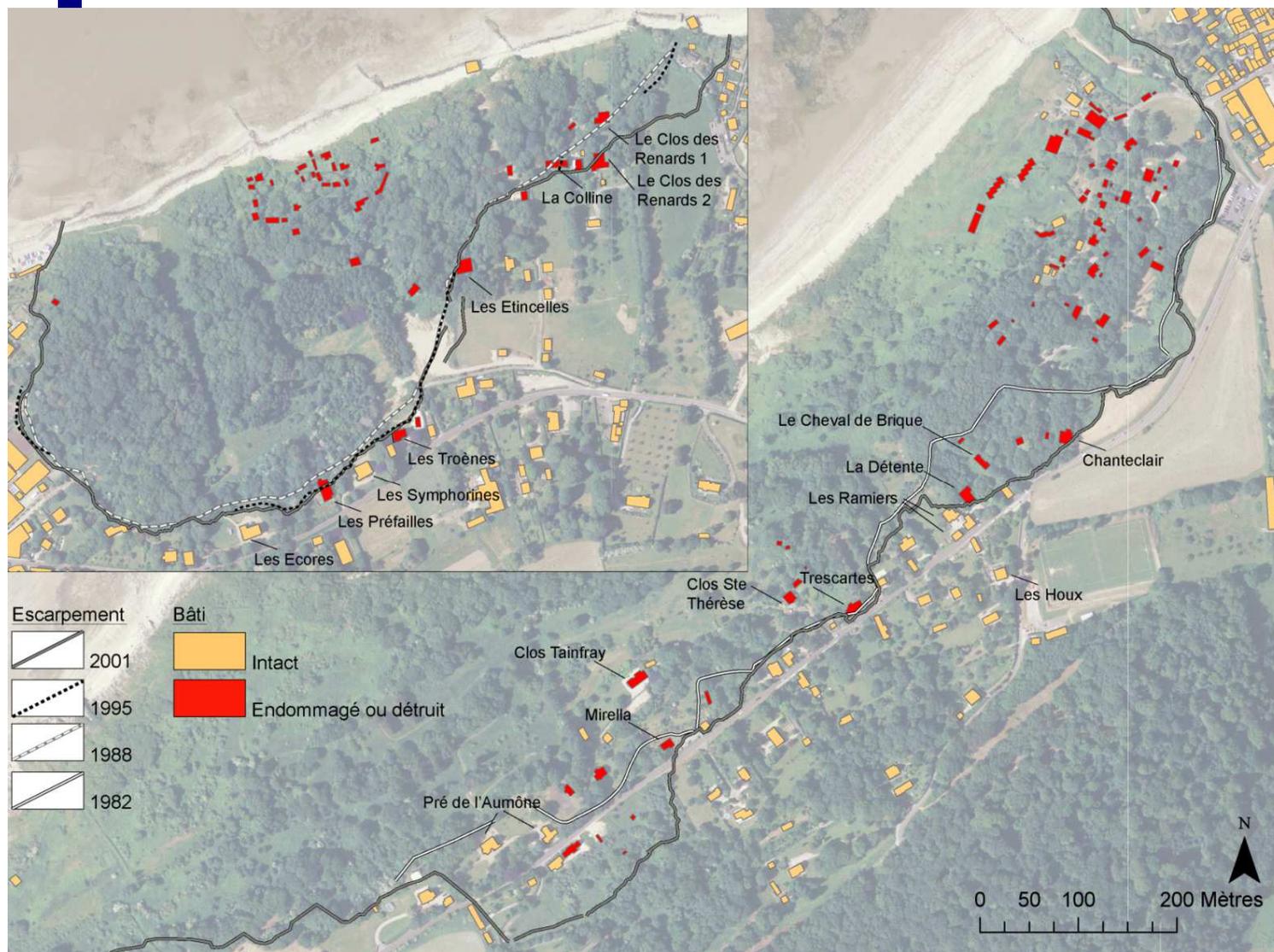
- Threatened construction (long-term)
- Main cracks
- Extension of the scarp (february 1988)
- Extension of the scarp (march 1995)
- Extension of the scarp (actual)



Introduction et contexte

Crises majeures

→ Conséquences directes et indirectes importantes



Comment anticiper ?

Quelles vitesses et rythmes ?

Causes ? Les processus responsables, ...

Définition de seuils de déclenchement et de réactivation

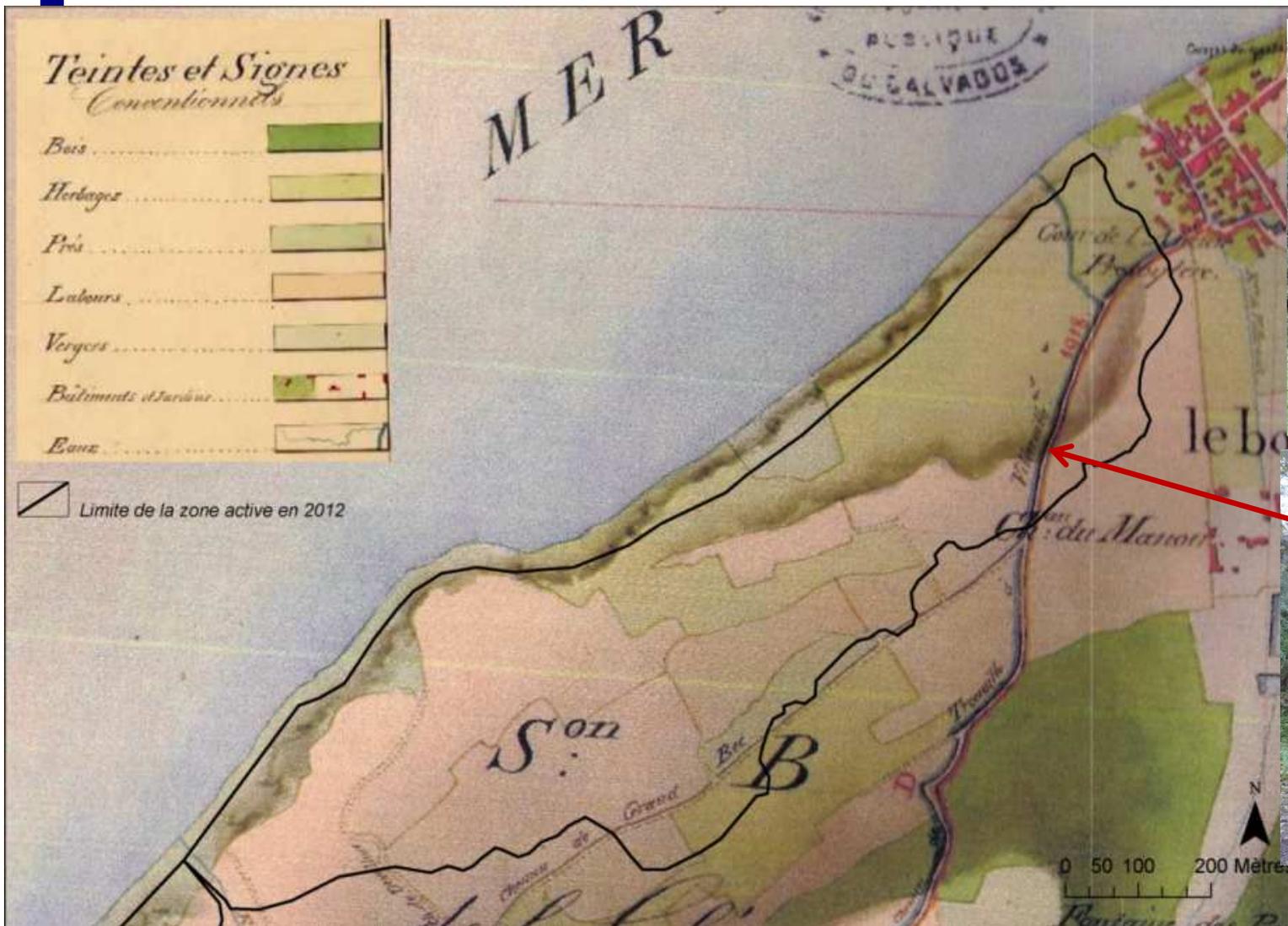
→ Réseau de surveillance

Le devenir du bourg de Villerville ?

D'après thèse C. Lissak, 2012.

Connaître le passé

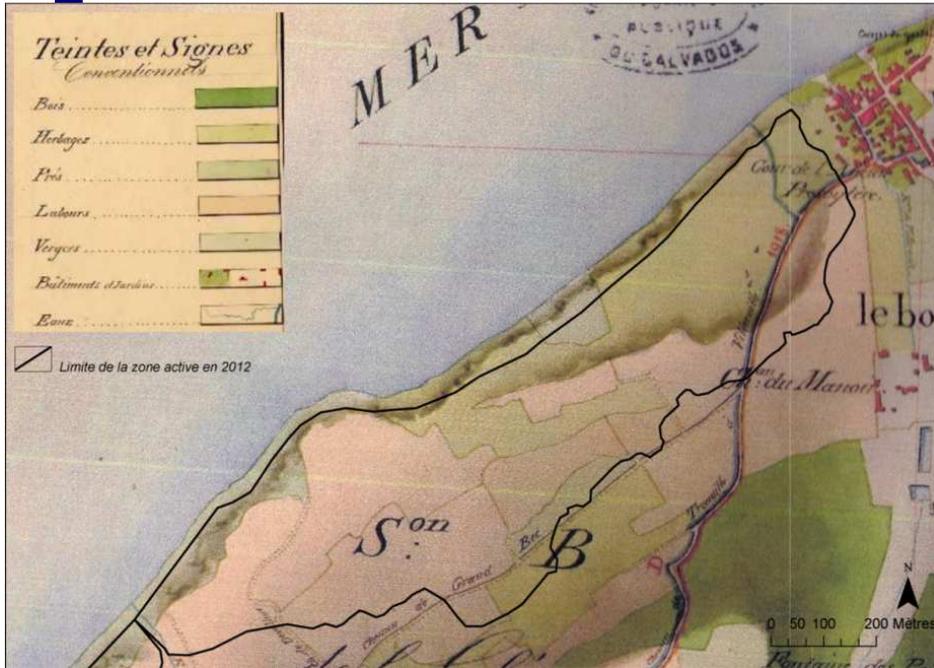
Analyse des cartes anciennes, cadastres, photographies IGN, textes, etc ...



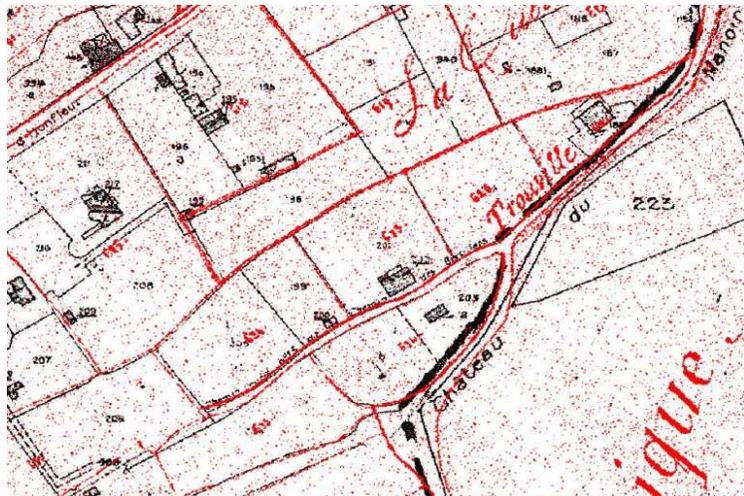
Extrait cadastre 1829, Villerville, Calvados

Connaître le passé

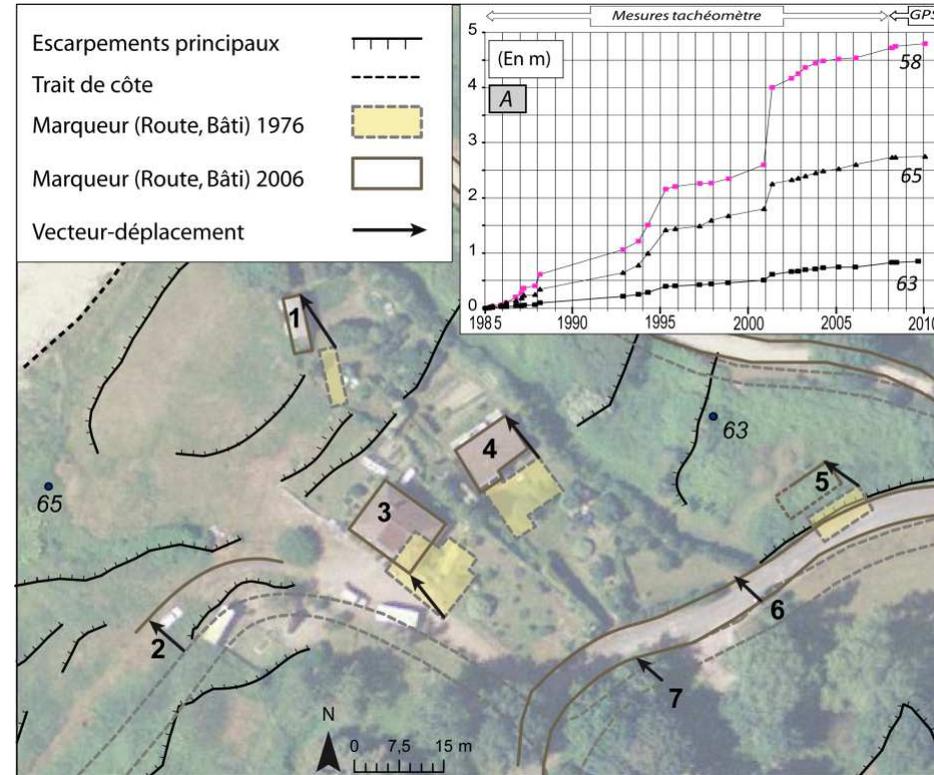
Analyse des cartes anciennes, cadastres, photographies IGN, textes, etc ...



Extrait cadastre 1829, Villerville, Calvados



(In: Thèse C. Lissak, 2012)

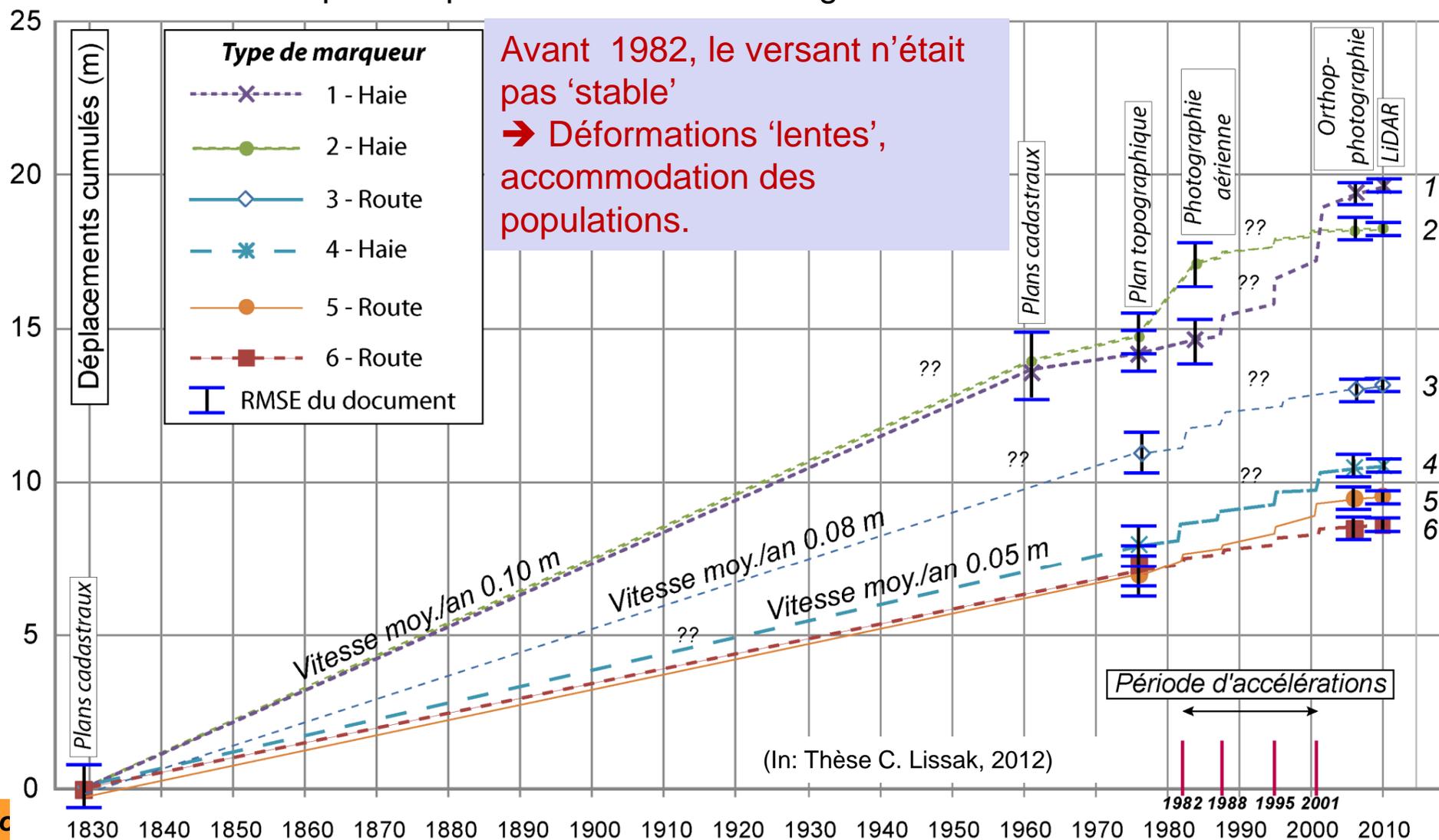


Superposition de plusieurs photos aériennes (Villerville, Calvados)

Connaître le passé

Synthèse : versant 'littoral' de Villerville (Calvados)

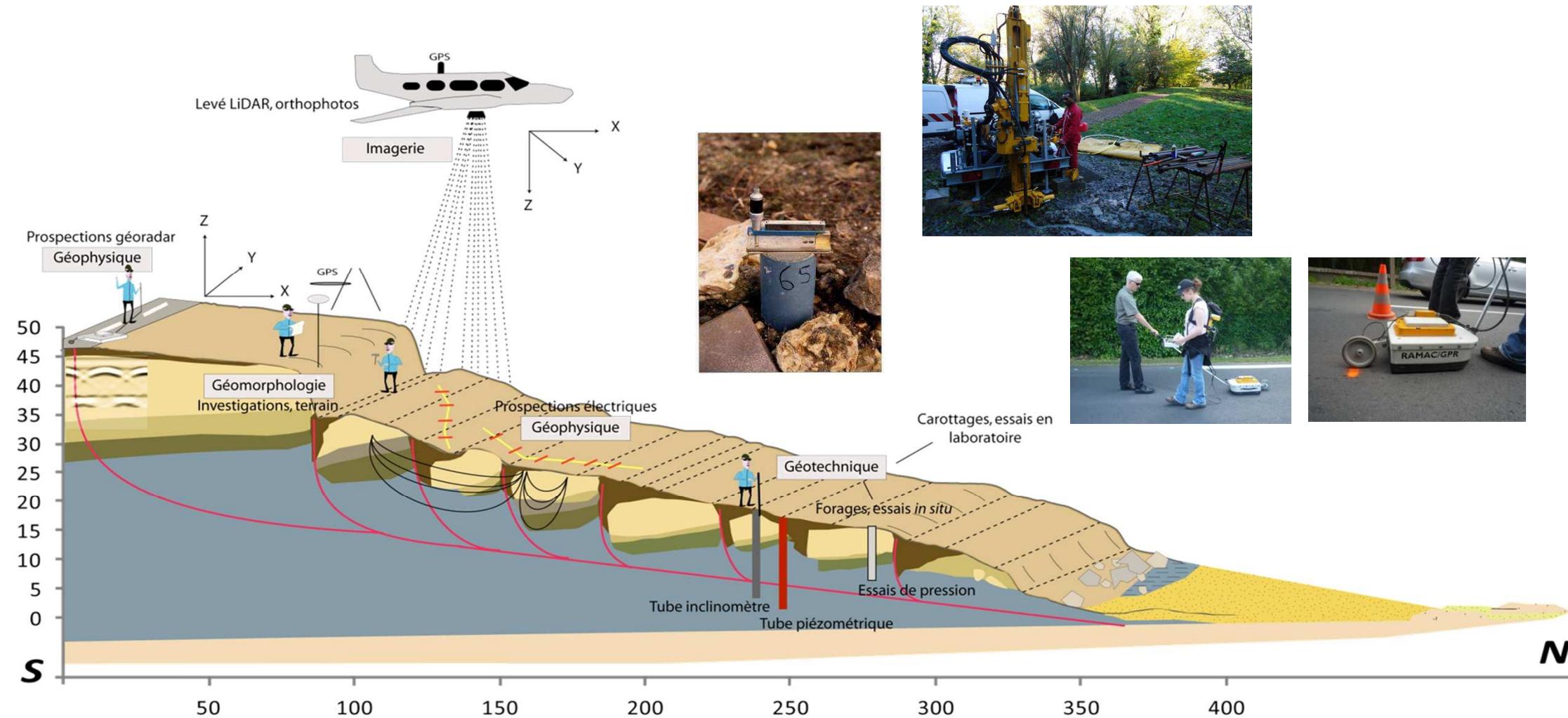
- Compartimentage de la zone en 'mouvement'
- Déplacements cumulés depuis 1829 compris entre 10 à 20 m (+/-2m)
- Valeurs complétées par réseau de monitoring



.. Comprendre le présent .. (Réseau de surveillance)

➤ Investigation et suivi

- Réseau de surveillance dès 1984 (> 70 repères)



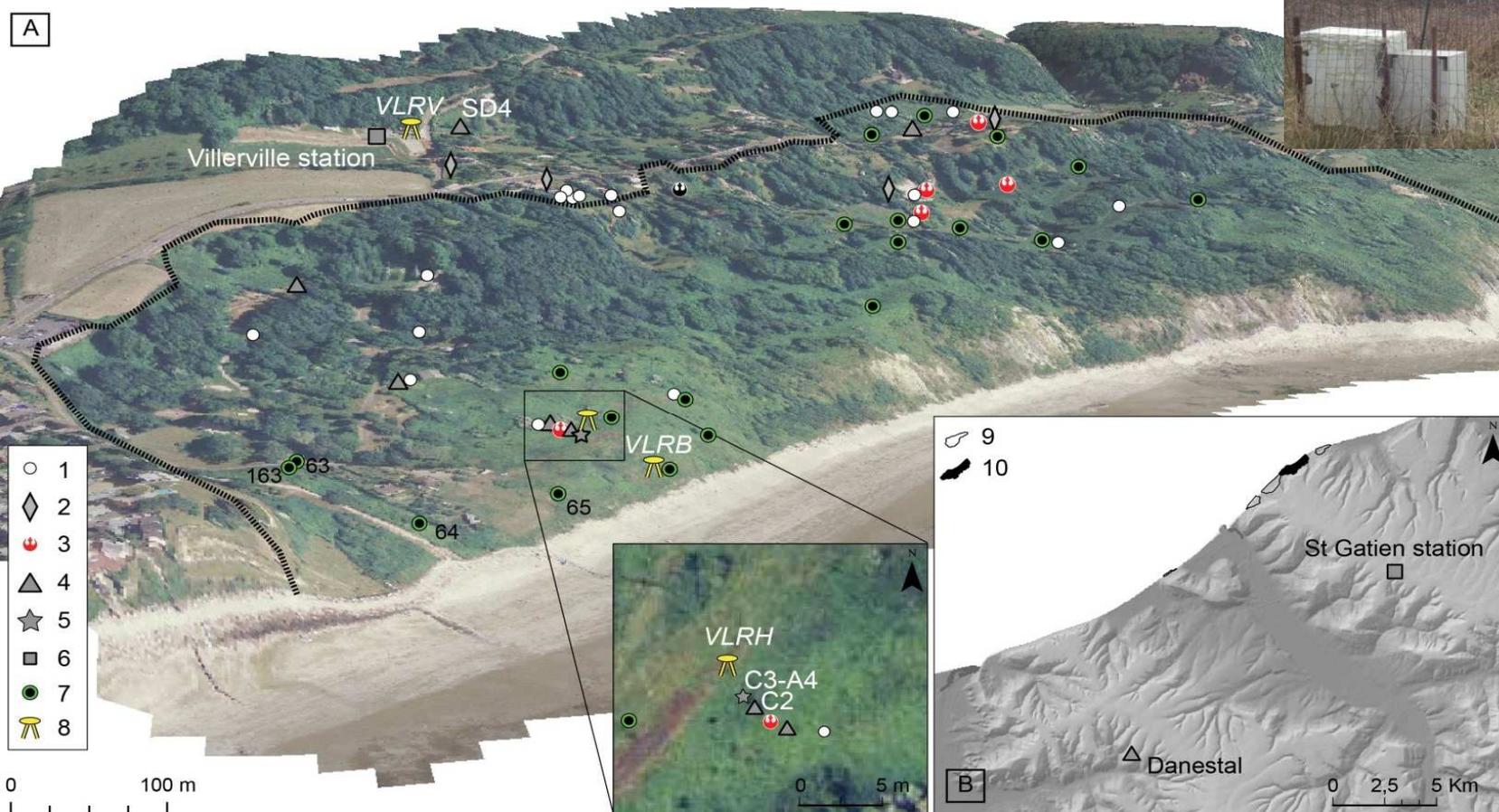
(In: Thèse C. Lissak, 2012)

.. Comprendre le présent .. (Réseau de surveillance)

➤ *Distribution spatiale & temporelle des déplacements de surface*

- Réseau de surveillance dès 1984 (> 70 repères)
- Nouveau réseau géodésique depuis 2008 (24 repères)
- GNSS permanent double fréquence depuis 2009 stations (OMIV)

A



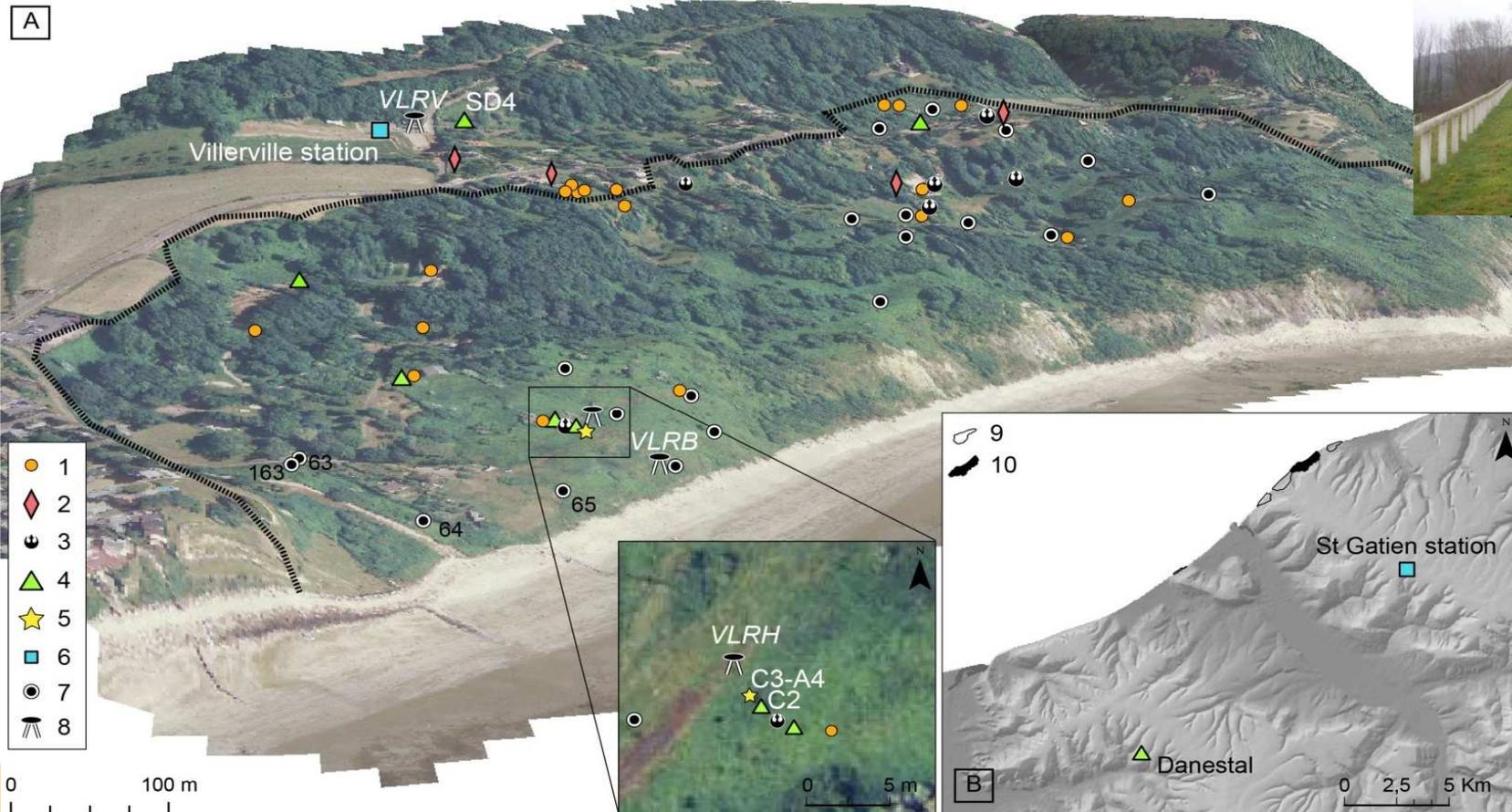
1. Piézomètre
2. Puits
3. **Inclinomètre**
4. Piézomètre avec capteur permanent
5. **Sonde Geobead**
6. Station Météo.
7. **Repère topographique**
8. **Récepteur GNSS**

B

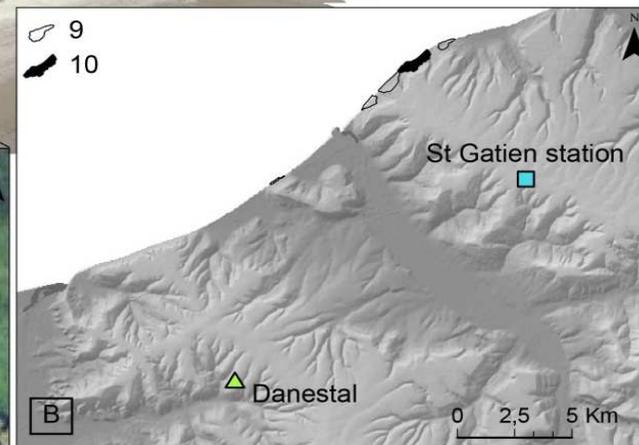
.. Comprendre le présent .. (Réseau de surveillance)

➤ Conditions hydro-climatiques

- Analyse des données historiques et investigation terrain
- **Nappe (GWL)** = 29 points d'observation : 4 puits, 7 tubes inclinomètre, 18 piézomètres (6 sondes automatiques) + 1 piézomètre sur le plateau depuis 1974
- **Précipitations** = 2 stations météorologiques: Villerville depuis 2013 + 1 station sur le plateau (Saint-Gatien-des-Bois) depuis 1949



1. Piézomètre
2. Puits
3. Inclinomètre
4. Piézomètre avec capteur permanent
5. Sonde Geobead
6. Station Météo.
7. Repère topographique
8. Récepteur GNSS

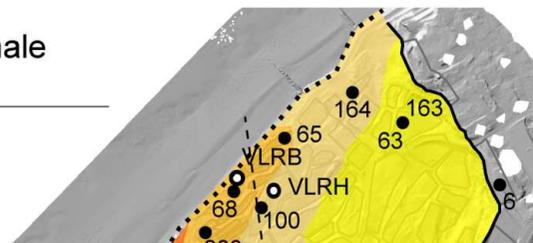


... Comprendre le présent ...

➤ *Modèle cinématique du glissement de terrain : hétérogénéités spatiales*

- Organisation concentrique autour d'un **noyau médian central**
- Evolution régressive de **l'aval vers l'amont**
- **Plusieurs unités morpho-structurales** (ou compartiments) liées à l'existence de panneaux de craie

Vitesses moyennes annuelles de la composante longitudinale
(2 avril 2008 au 25 avril 2012)



Repère topographique

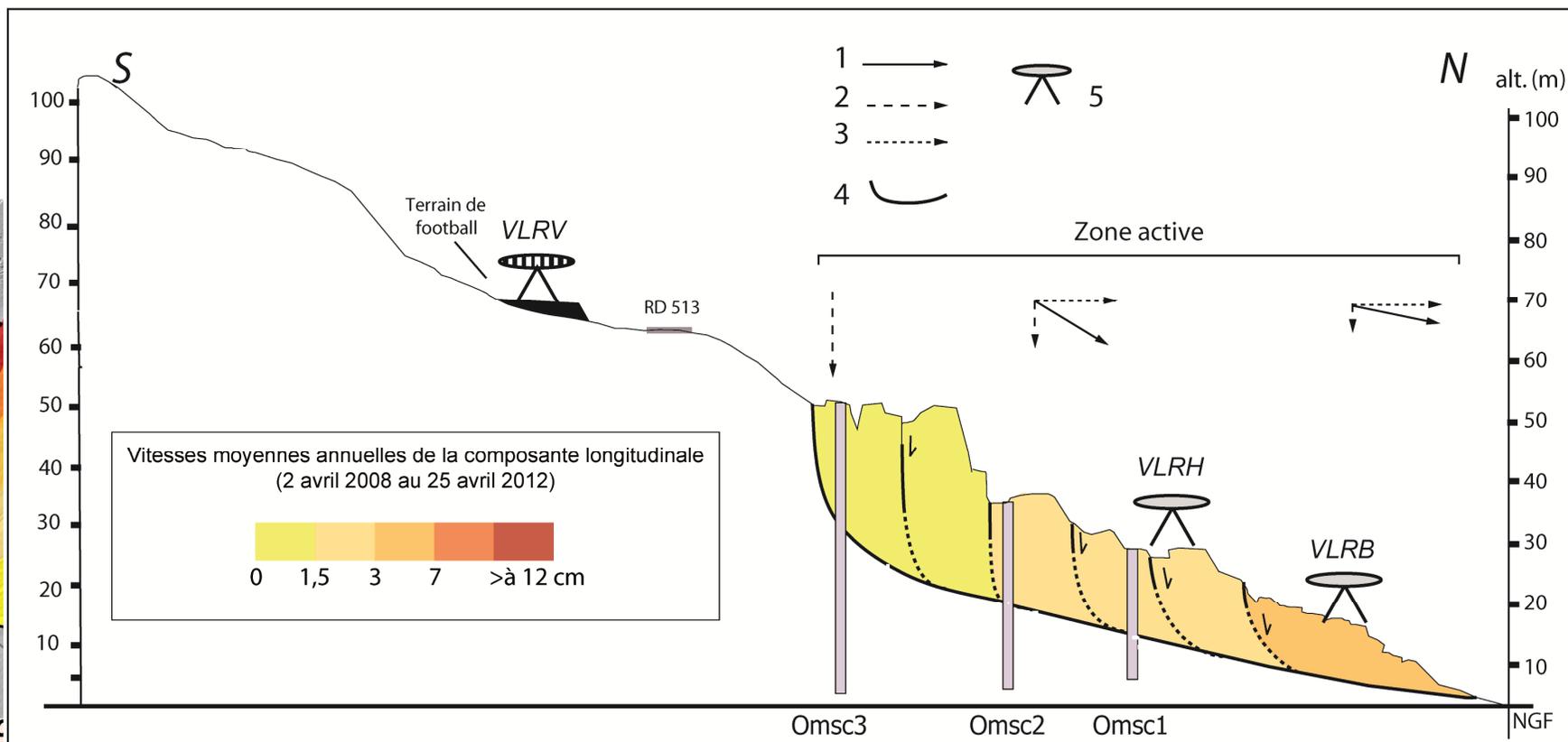
Antenne GPS permanente

Limite de la zone active

Trait de côte 2010

Panneaux de craie

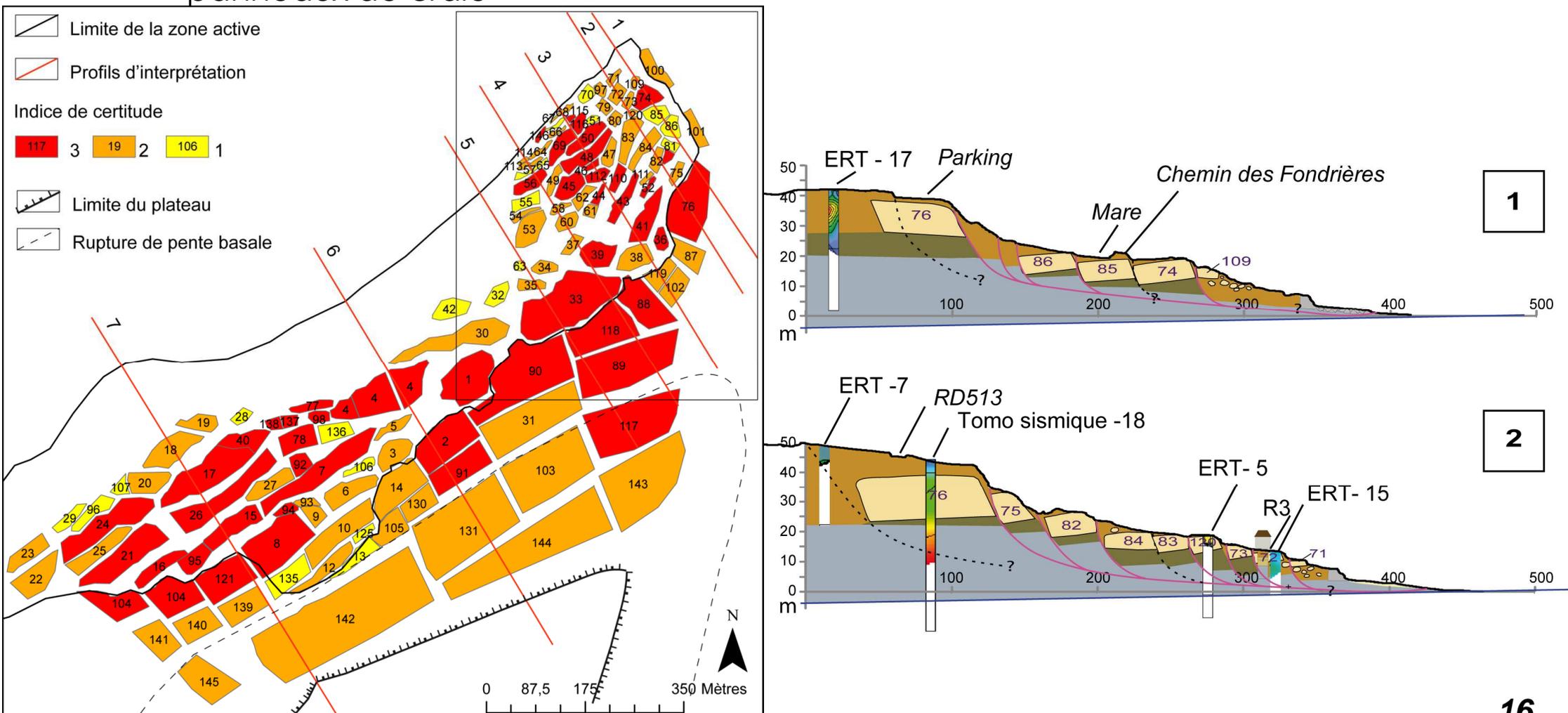
Coupe schématique



... Comprendre le présent ...

➤ *Modèle cinématique du glissement de terrain : hétérogénéités spatiales*

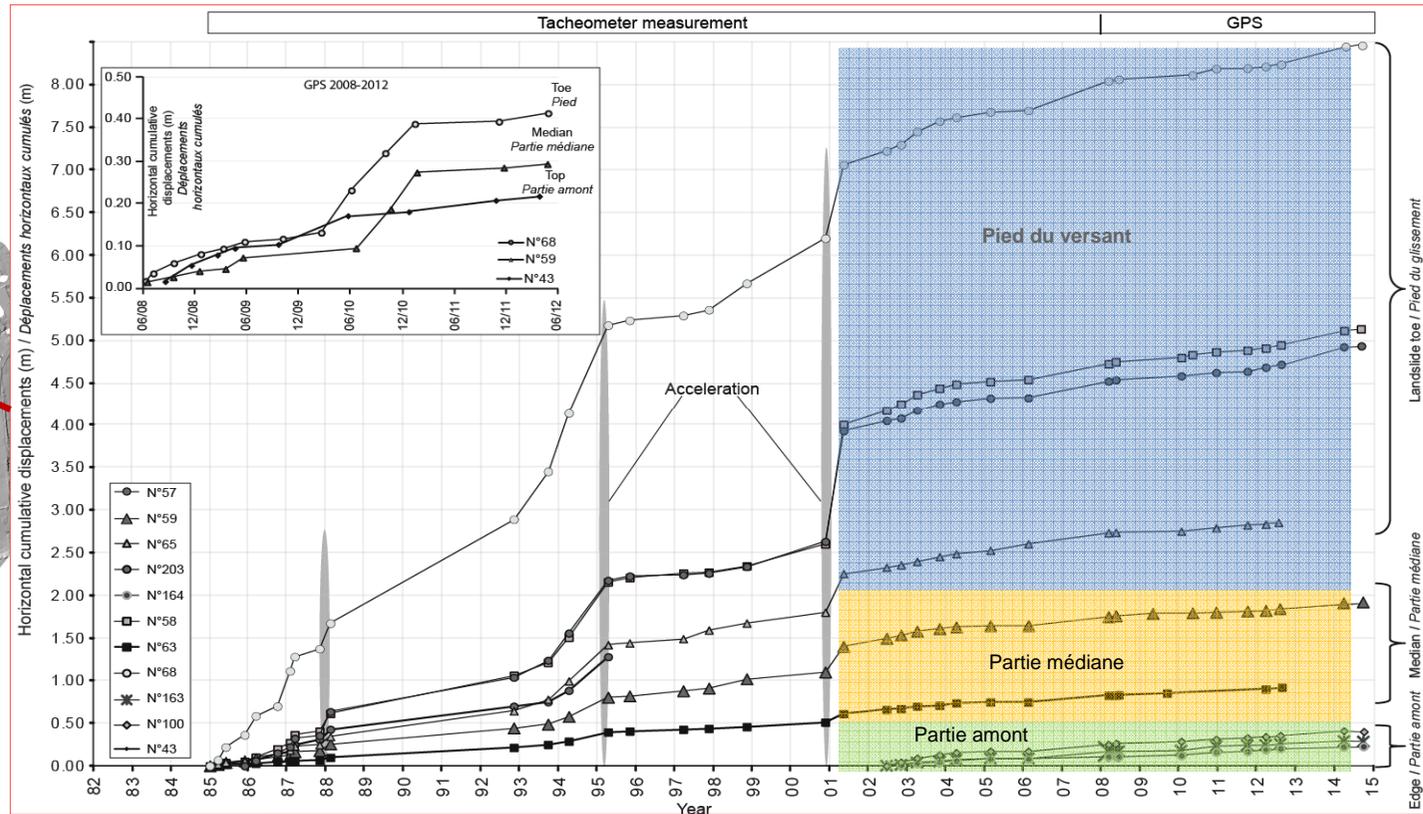
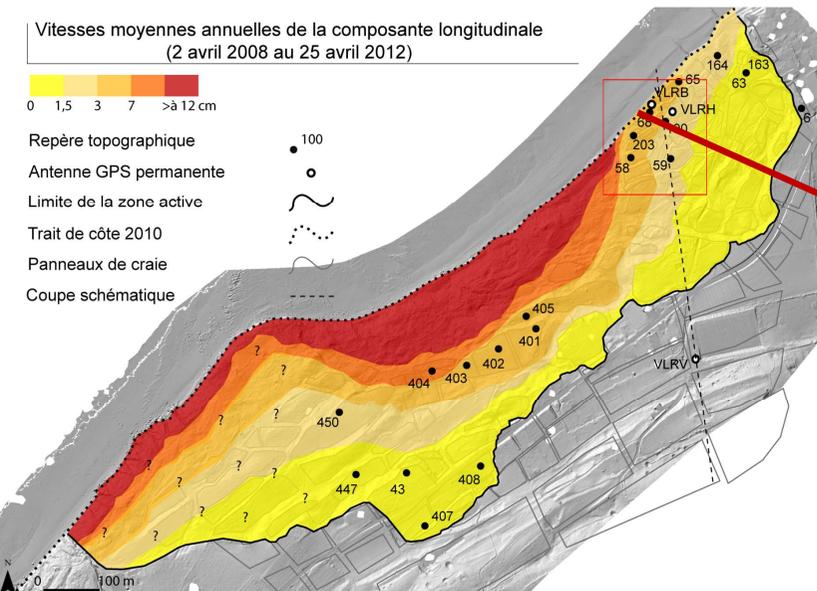
- Organisation concentrique autour d'un **noyau médian central**
- Evolution régressive de **l'aval vers l'amont**
- **Plusieurs unités morpho-structurales** (ou compartiments) liées à l'existence de **panneaux de craie**



... Comprendre le présent ...

➤ *Modèle cinématique du glissement de terrain : hétérogénéités spatiales*

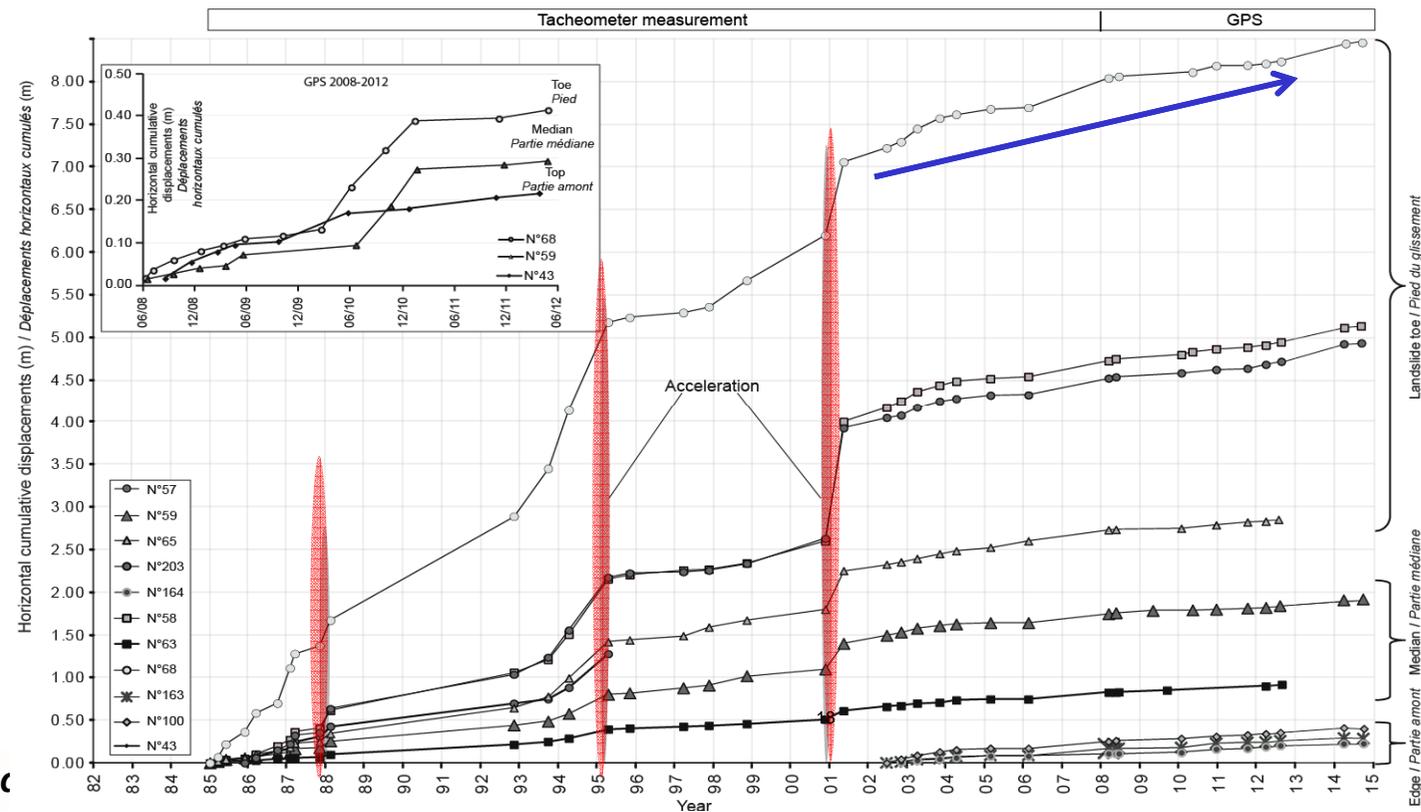
- Organisation concentrique autour d'un **noyau médian central**
- Evolution régressive de l'**aval vers l'amont**
- **Plusieurs unités morpho-structurales** (ou compartiments) liées à l'existence de panneaux de craie



... Comprendre le présent ...

➤ *Modèle cinématique du glissement de terrain : hétérogénéités temporelles*

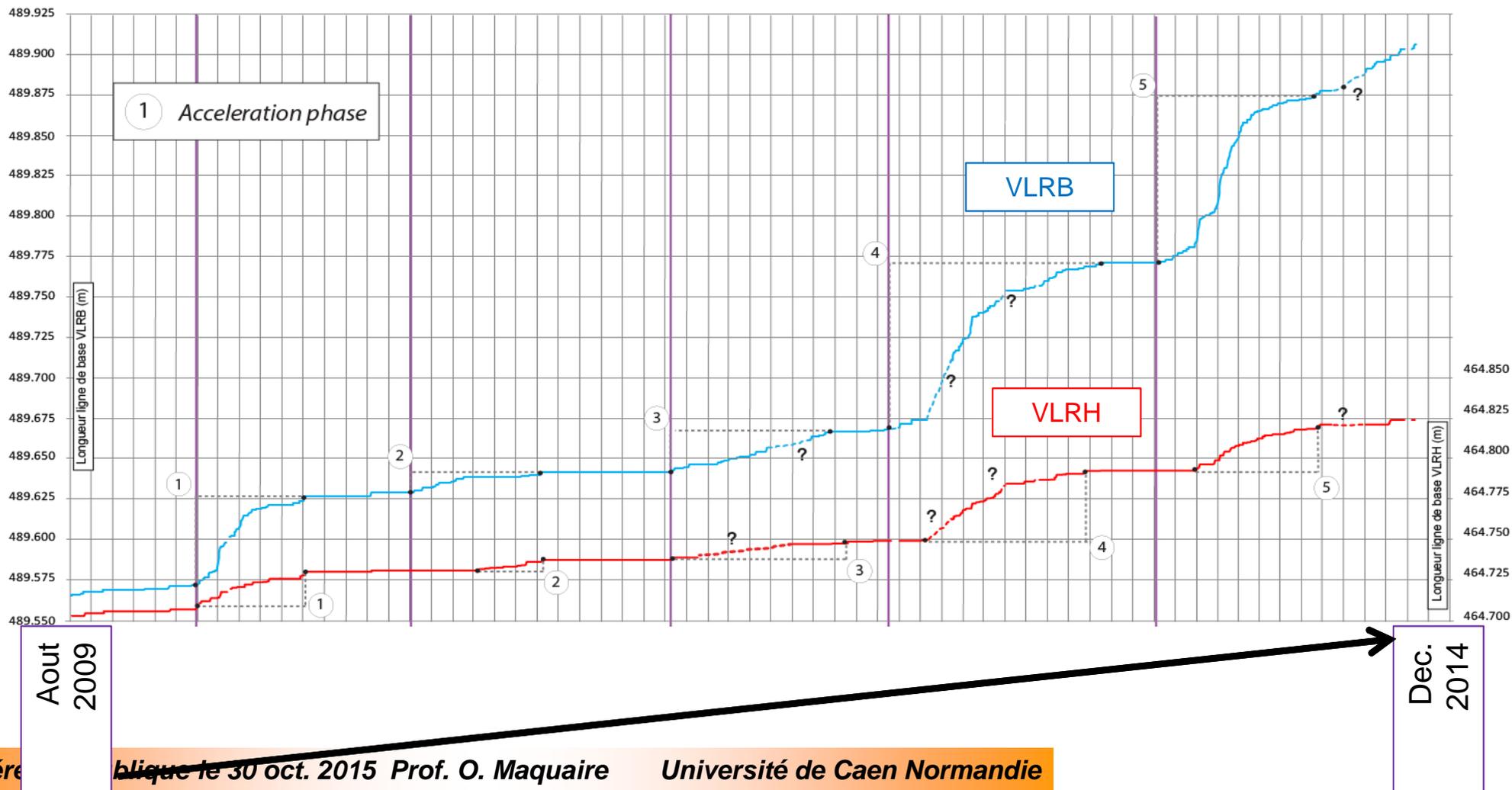
- **3 accélérations majeures** (1988, 1995, 2001) avec plusieurs décimètres ou plusieurs mètres de déplacement
- Un **'fluage' continu** entre deux 'accélérations' majeures



... Comprendre le présent ...

➤ *Modèle cinématique du glissement de terrain : hétérogénéités temporelles*

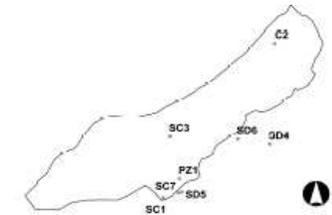
- **Fluage continu** confirmé par l'analyse des **données haute résolution (GNSS)**
- Depuis 2009 = **35cm** de déplacements VLRB, **12cm** VLRH
- **Comportement saisonnier** avec phases d'accélération (\neq amplitude)
- **Délai** entre stations varie entre 1 et 4 jours pour les différentes phases



... Comprendre le présent ...

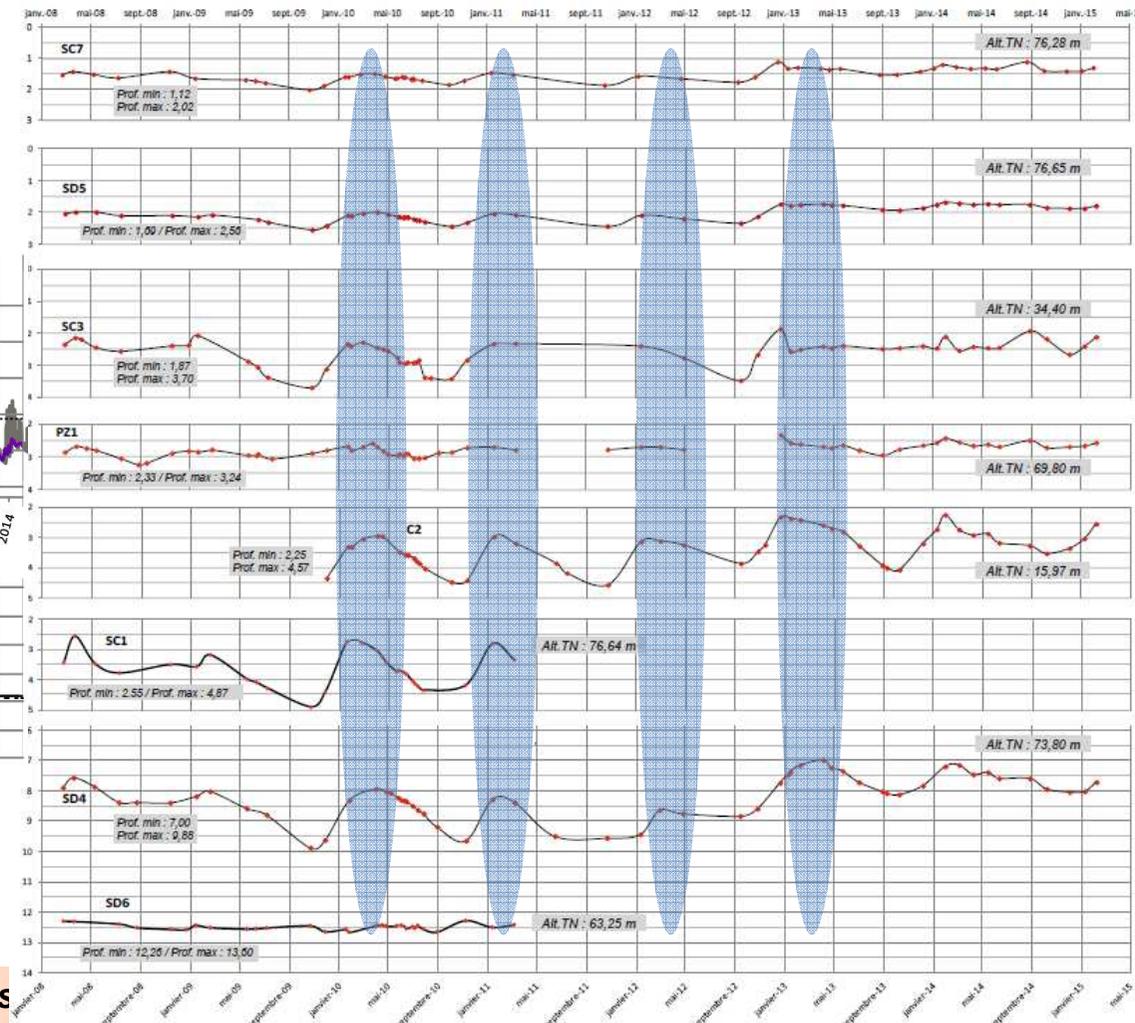
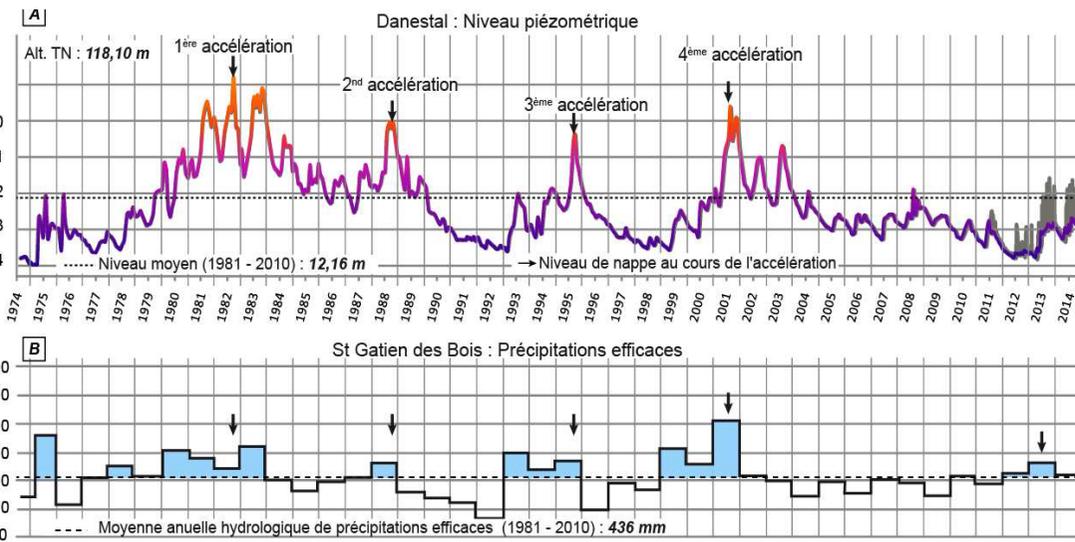
➤ Relations **pluviométrie – niveaux piézométriques**

- Périodes de **recharge** de la nappe : 1977-1989, 1992 -1996 and 1998-2002
- Périodes de **drainage**: 3 à 4 ans
- **Comportement saisonnier** du réservoir



Zone en glissement (Janv. 2008-mai 2015)

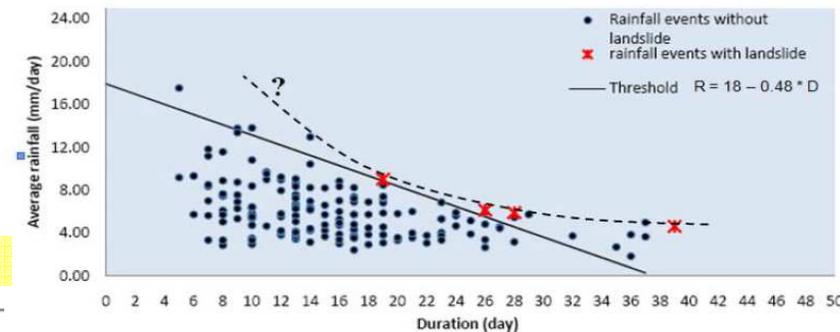
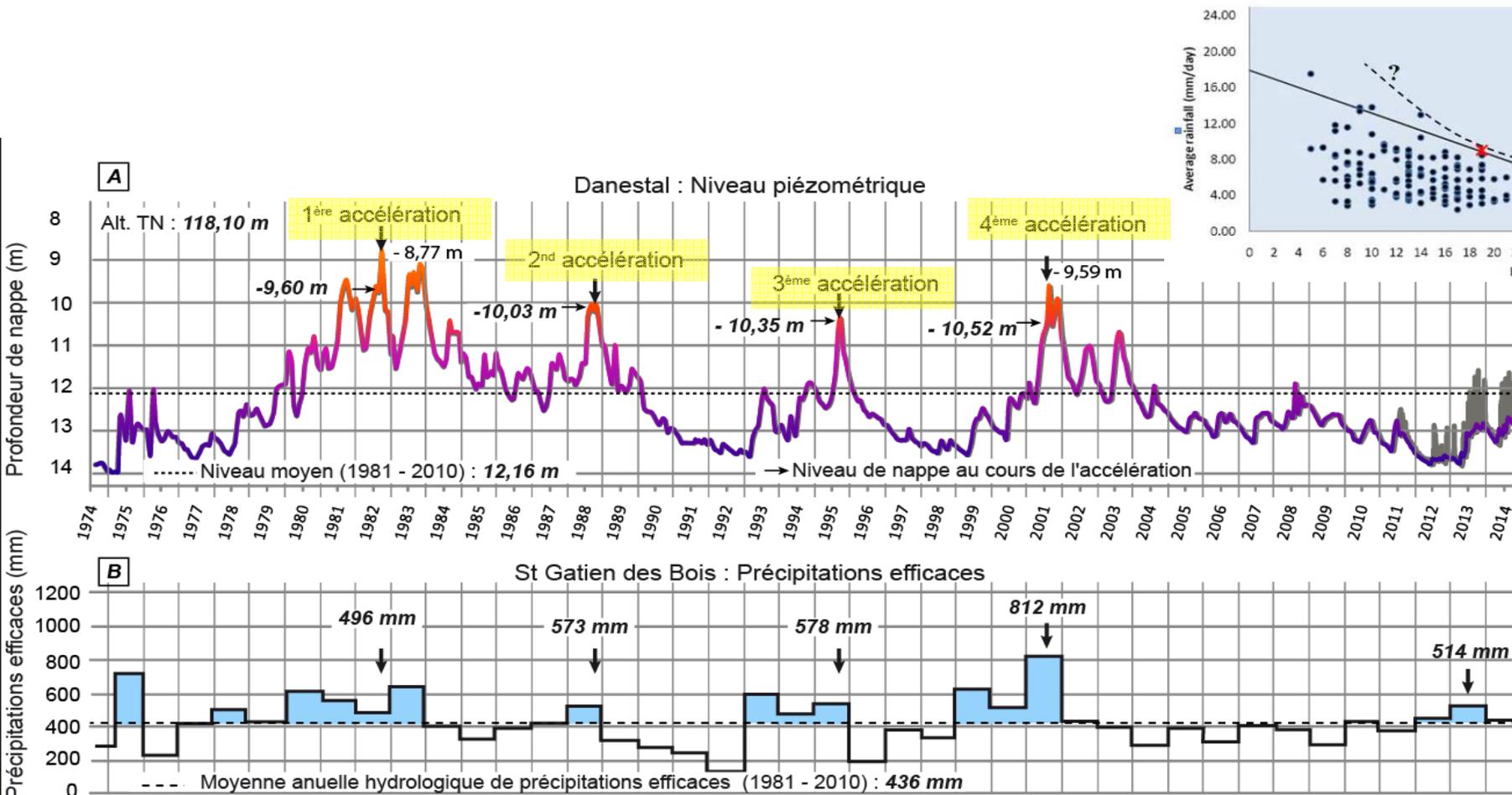
Plateau (1974-2004)



... Comprendre le présent ...

➤ Relations hydrologie – cinématique

- 'Seulement' 4 accélérations majeures
- Déclenchement-réactivation en **périodes très pluvieuses** avec plusieurs années de **niveaux piézométriques élevés**
- Evénement de 1982 = **année hydrologique** (Juillet 1981 - Juin 1982) avec **d'abondantes pluies d'hiver** → Conséquences : nappe de Danestal s'élève > **1.50 m**

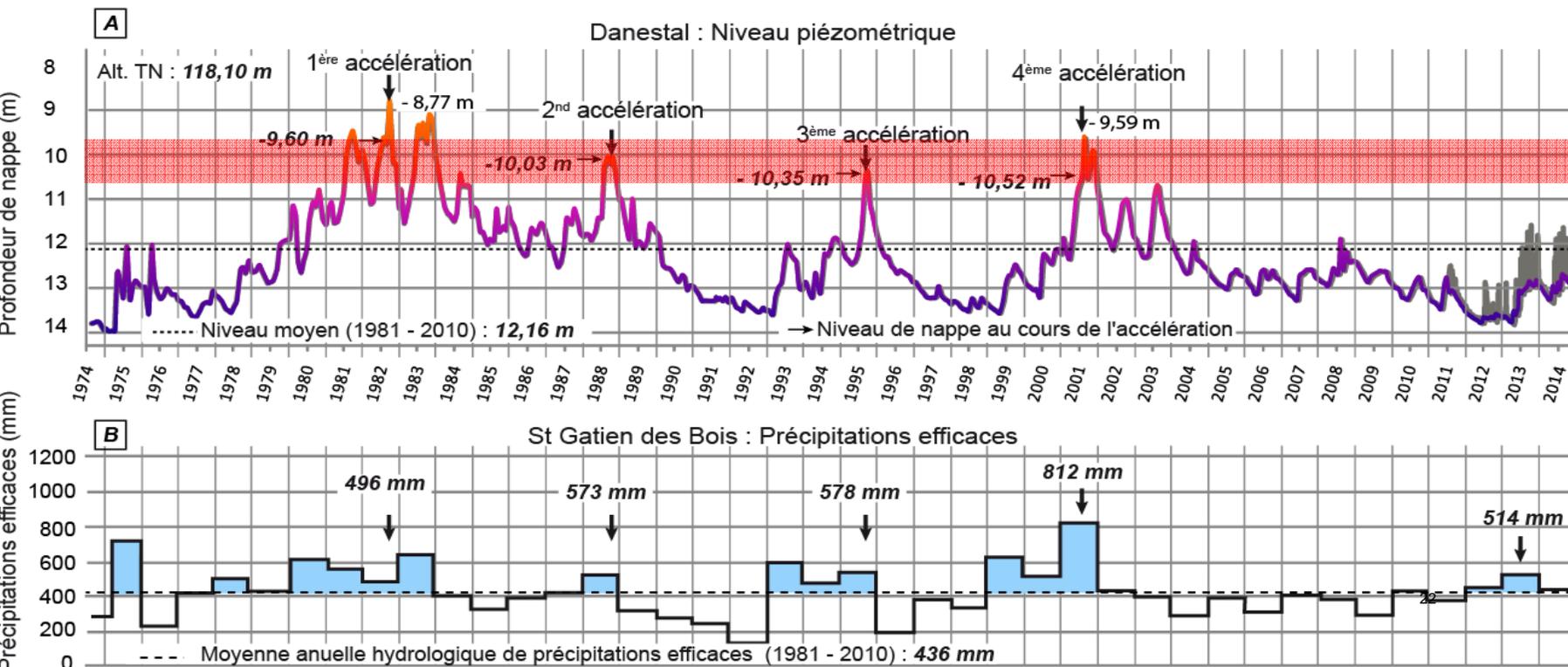


Empirical rainfall duration threshold for Cirque des Graves landslide (Bogaard et al.2011)

... Comprendre le présent ...

➤ *Relations hydrologie – cinématique*

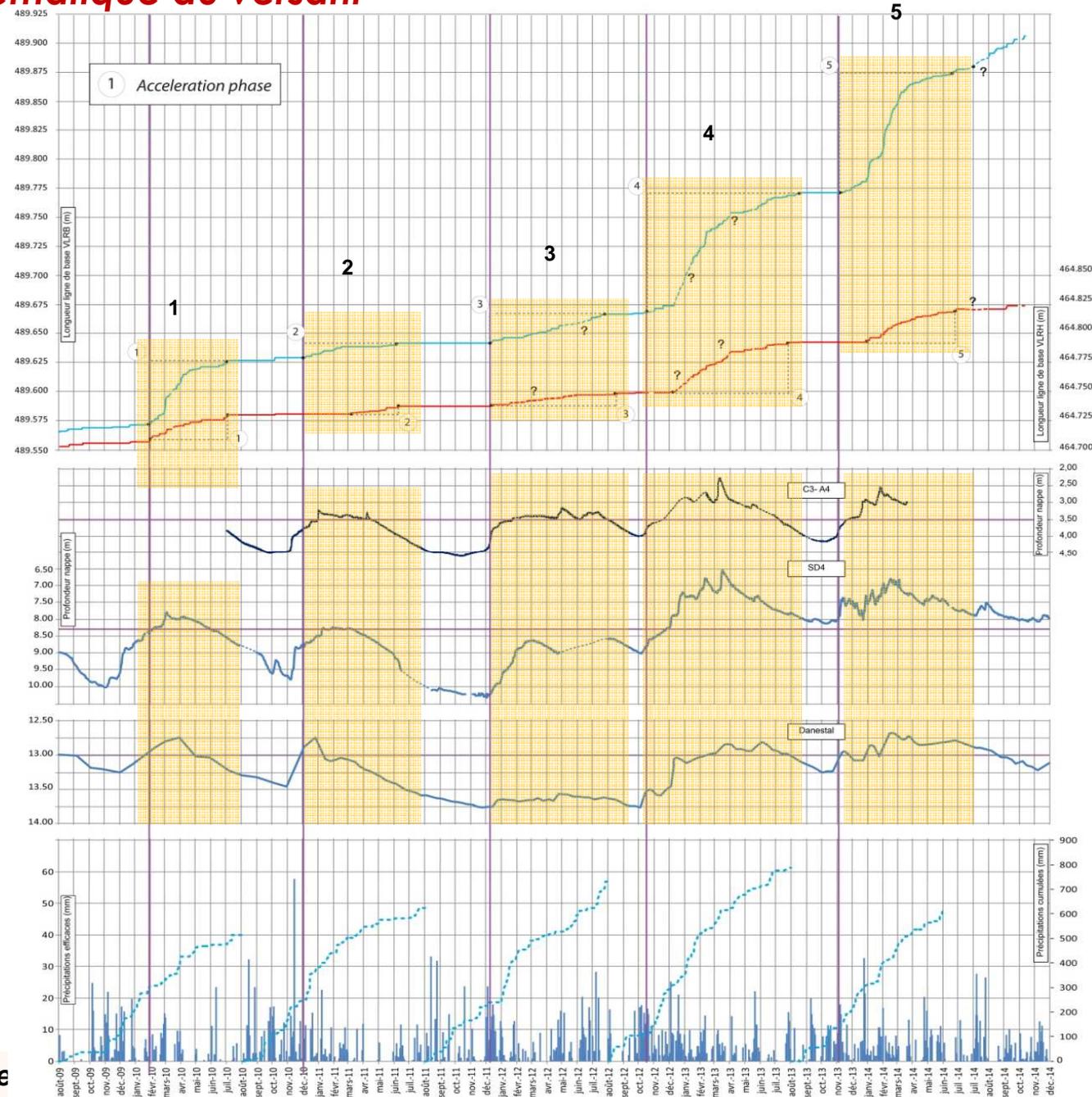
- Seulement 4 accélérations majeures
- Déclenchement-réactivation en **périodes très pluvieuses** avec plusieurs années de **niveaux piézométriques élevés**
- Evénement de 1982 = **année hydrologique** (Juillet 1981 - Juin 1982) avec **d'abondantes pluies d'hiver** → Conséquences : nappe de Danestal s'élève **>1.50 m**
- **Seuil critique 'régional'** entre **-10.35-9.60 m**



... Comprendre le présent ...

➤ Relations hydrologie & cinématique du versant

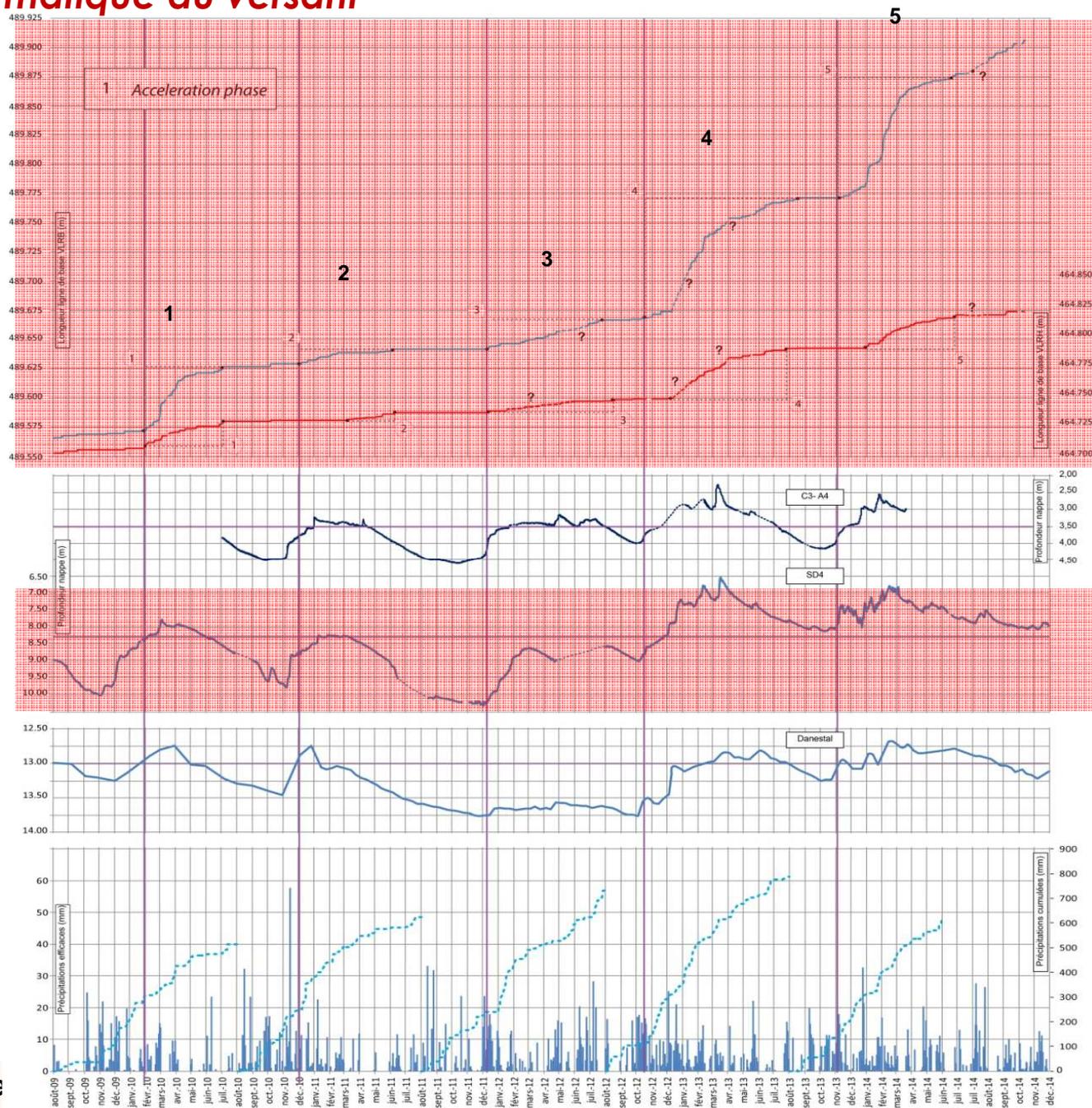
- Comportement **saisonnier** du versant associé à des **recharges saisonnières** de la nappe phréatique
- Y-a-t-il possibilité de définir un niveau critique de nappe par analyse statistique ?



... Comprendre le présent ...

➤ Relations hydrologie & cinématique du versant

- Focus sur le piézomètre SD4 et les récepteurs GNSS

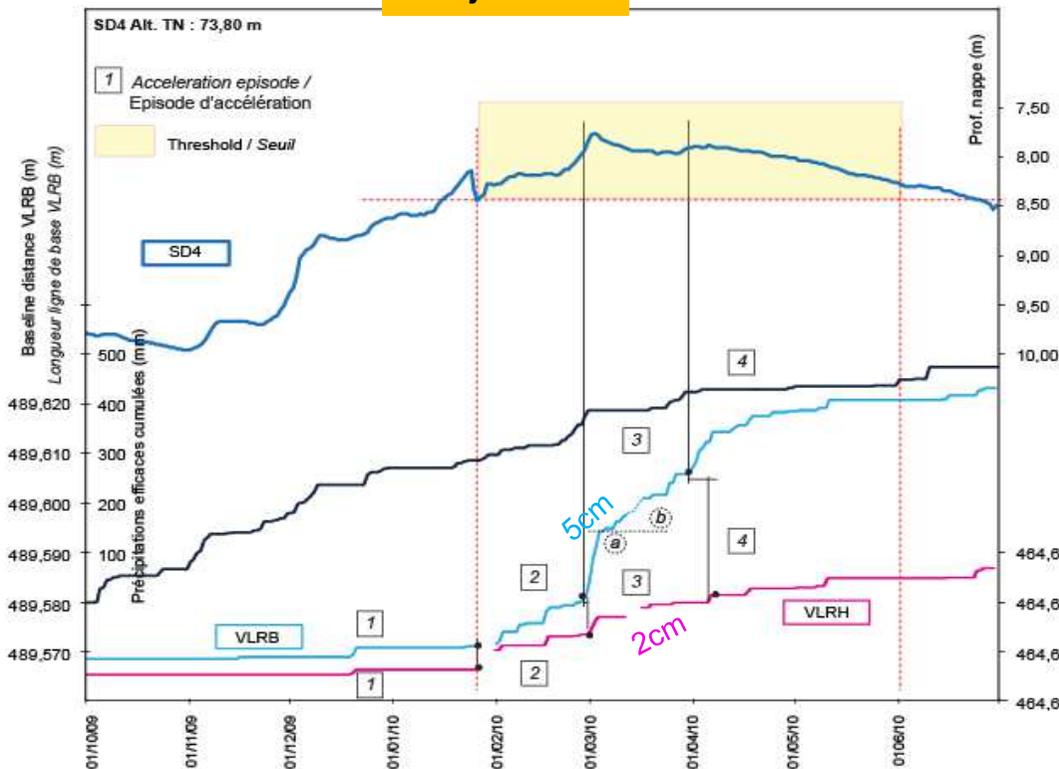


... Comprendre le présent ...

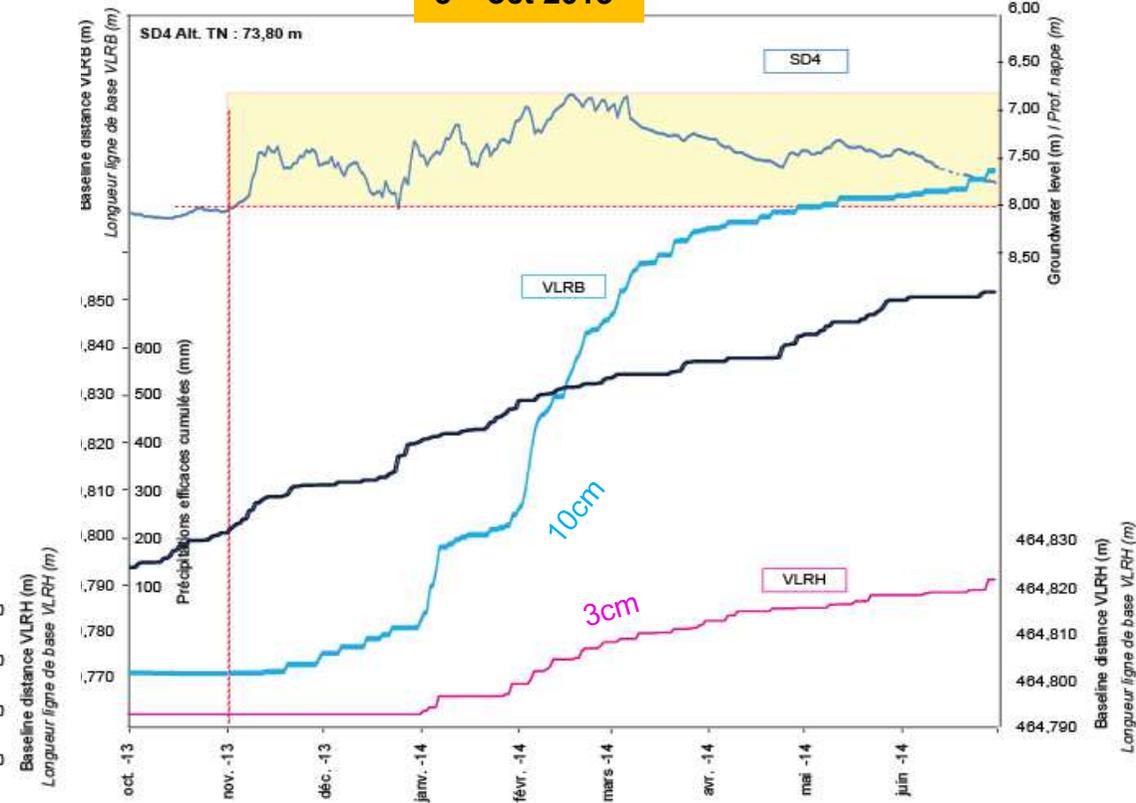
➤ Relations hydrologie & cinématique du versant

- Focus sur le **piézomètre SD4** et les récepteurs GNSS
- Déplacements augmentent significativement quand le niveau de nappe atteint une profondeur de **8.50 m** (1) et **8.00 m** (5) en 2013 (année 'pluvieuse')
- Le versant se stabilise quand la nappe est en dessous de 8 m de profondeur

1 – jan 2010



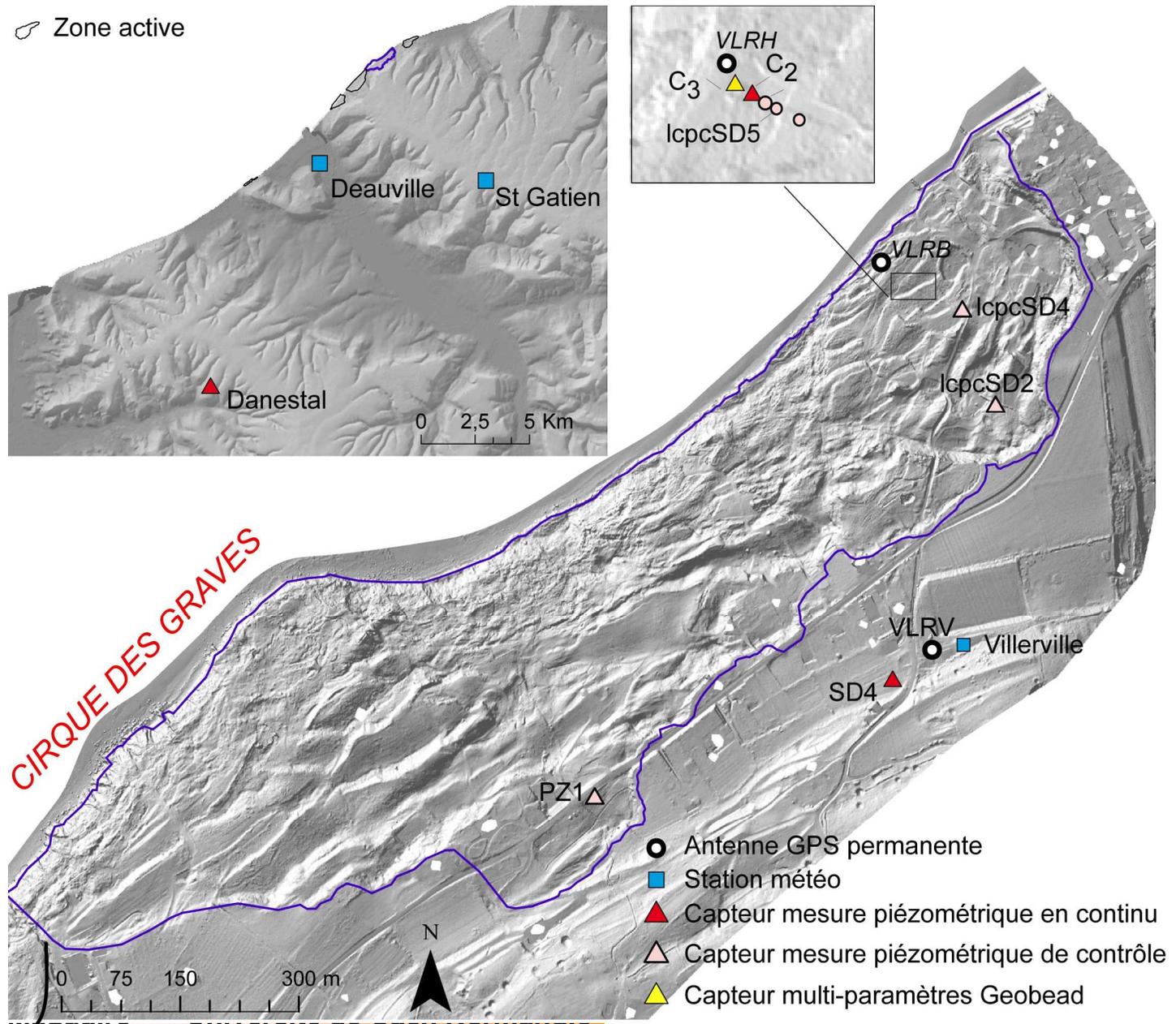
5 – oct 2013



... Préparer l'avenir

➤ Vers un système d'alerte

➤ Arbre de décision : approche **régionale** (longues séries) et **locale** (courtes séries)

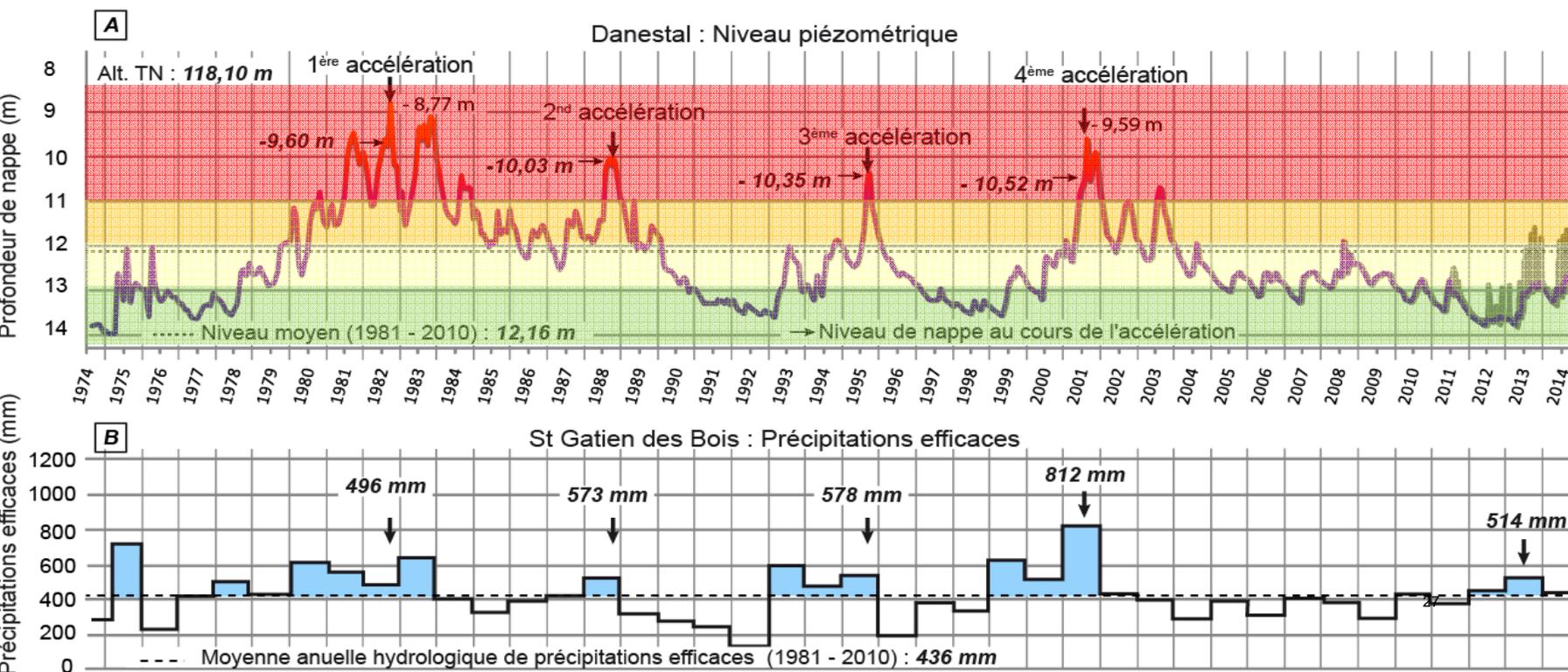


Système de surveillance comprenant des observations 'régionales' et des observations 'locales' sur le versant instable du Cirque des Graves à Villerville.

... Préparer l'avenir

➤ Vers un système d'alerte

- Seuil critique 'régional' entre -10.35-9.60 m ➔ **Alerte -11m**
-



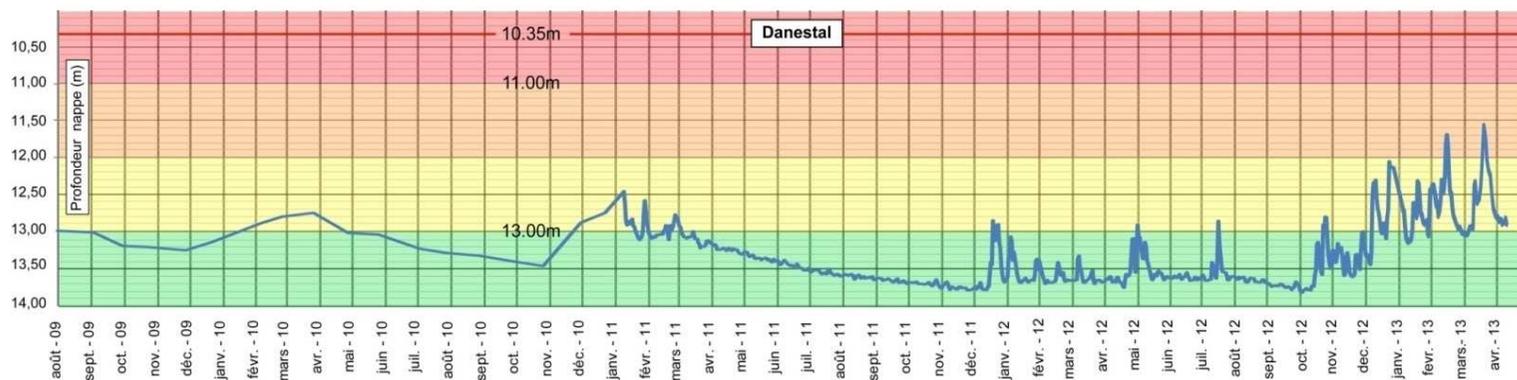
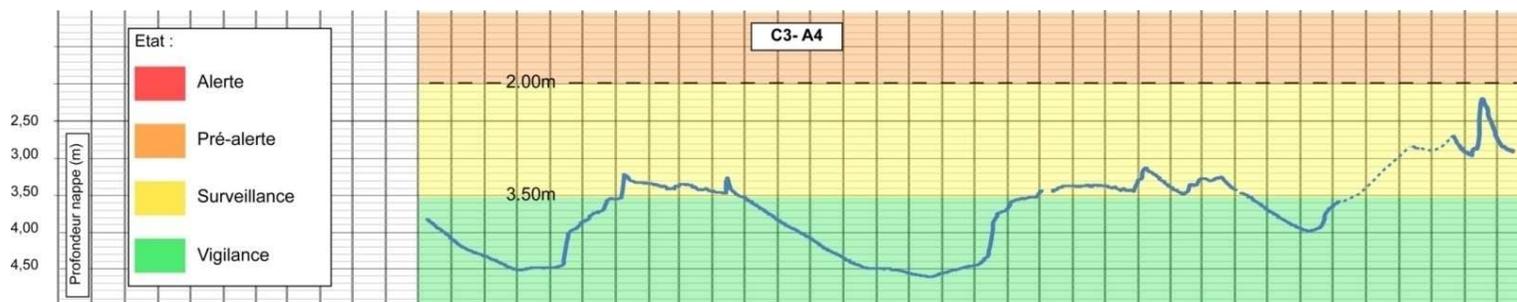
Alerte

Pré-alerte
Surveillance
Vigilance

... Préparer l'avenir

➤ Vers un système d'alerte

- Seuil critique 'régional' entre -10.35-9.60 m → **Alerte -11m**
- Seuil critique 'local' de pré-alerte à -2.00 m (au piézo C3-A4)



... Préparer l'avenir

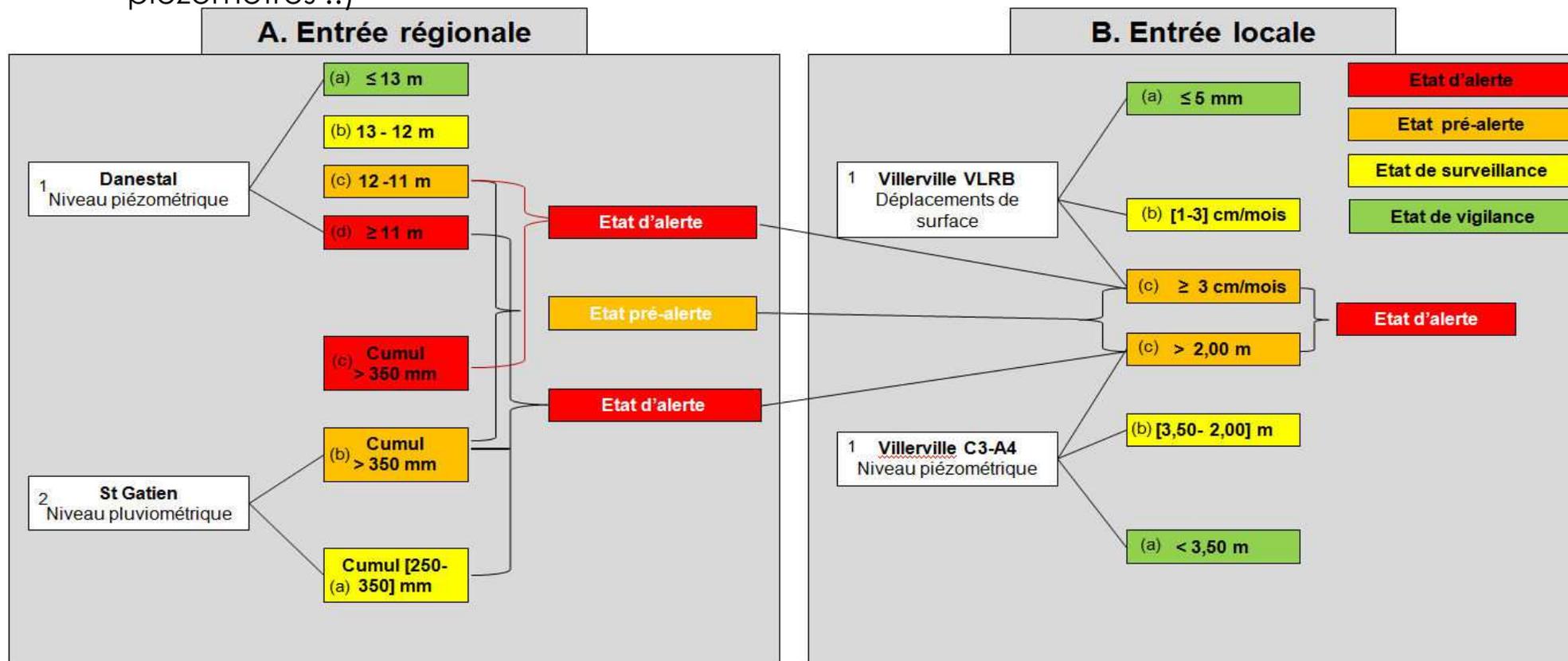
- Système d'alerte basé **sur deux chroniques temporelles de données** :

Analyse du piézomètre de Danestal permet de définir deux seuils 'régionaux' significatifs :

→ une **accélération saisonnière** de faible amplitude = seuil à -13 m

→ une **accélération majeure** de forte amplitude = seuil 10.35 m

En conséquence localement, les **observations in-situ** indiquent que le versant devient instable à partir d'un niveau de nappe de **8.00 / 8.50 m en SD4** (seuil à confirmer y compris pour autres piézomètres !!)

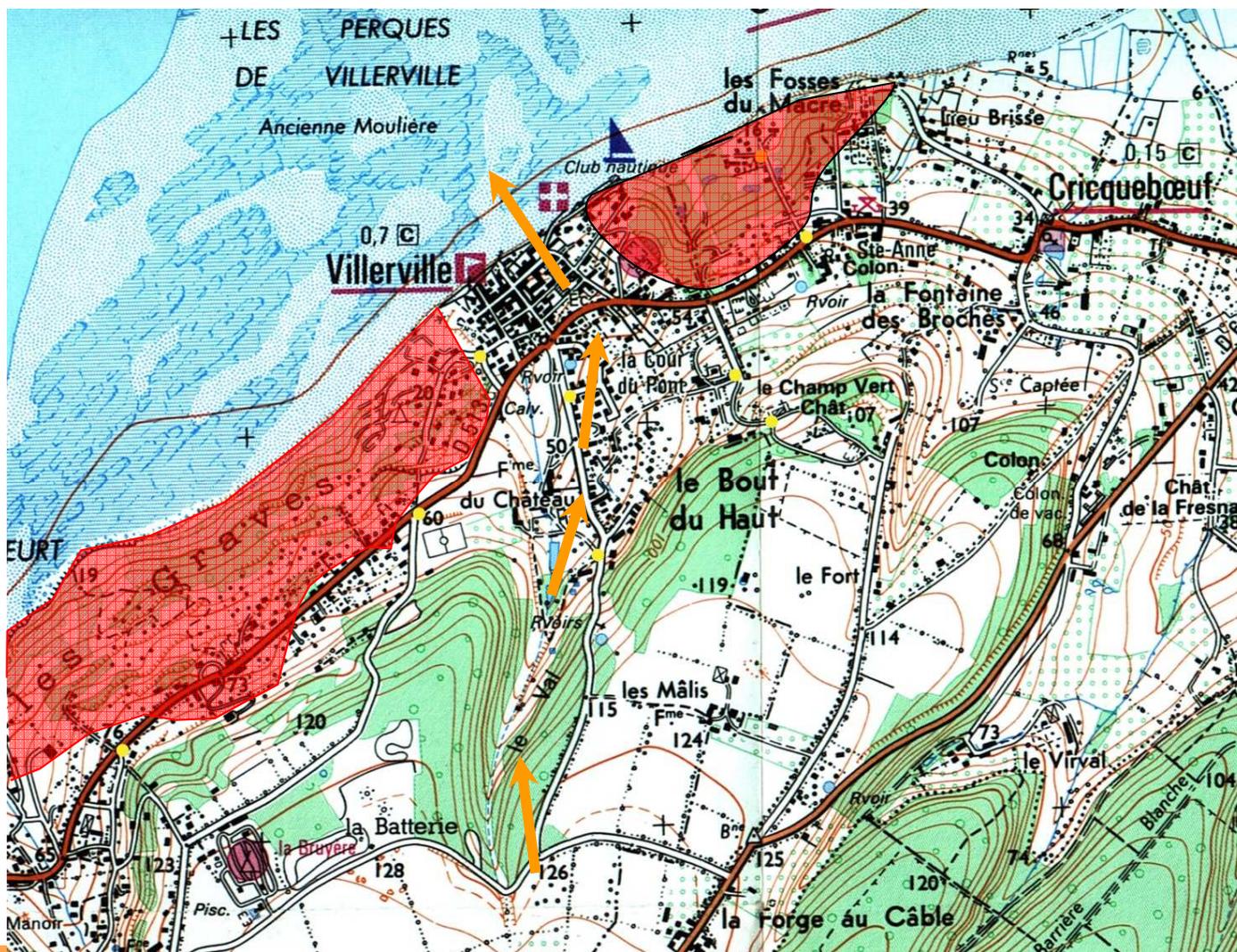


Arbre de décision avec deux entrées (régionale et locale) pour le glissement de Villerville

... Préparer l'avenir

Evaluation de l'aléa : cas du bourg

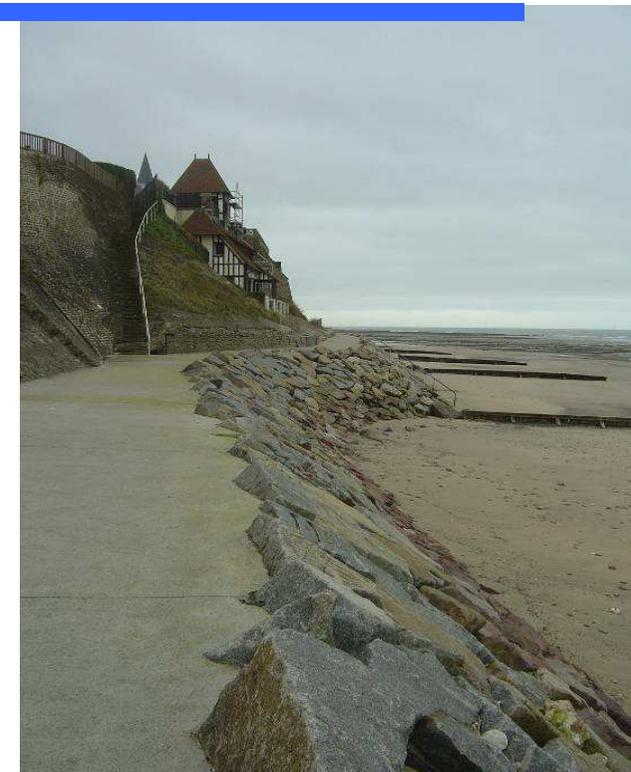
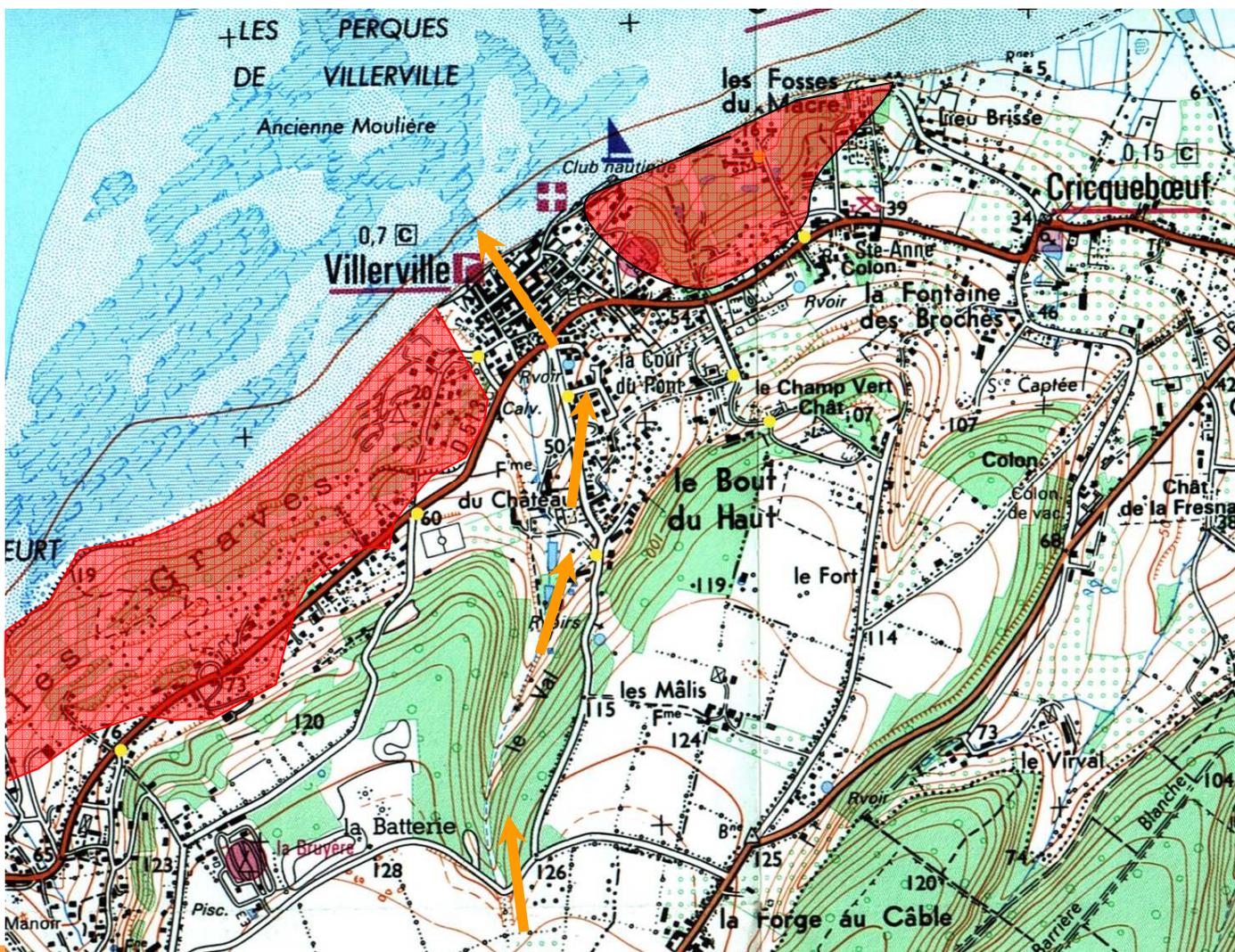
Localisation très singulière et ancienne du bourg



1. Bourg situé dans l'axe d'une petite vallée (20 m d'altitude) avec Église Notre-Dame (1^{er} sanctuaire du 12^{ème} siècle)

... Préparer l'avenir

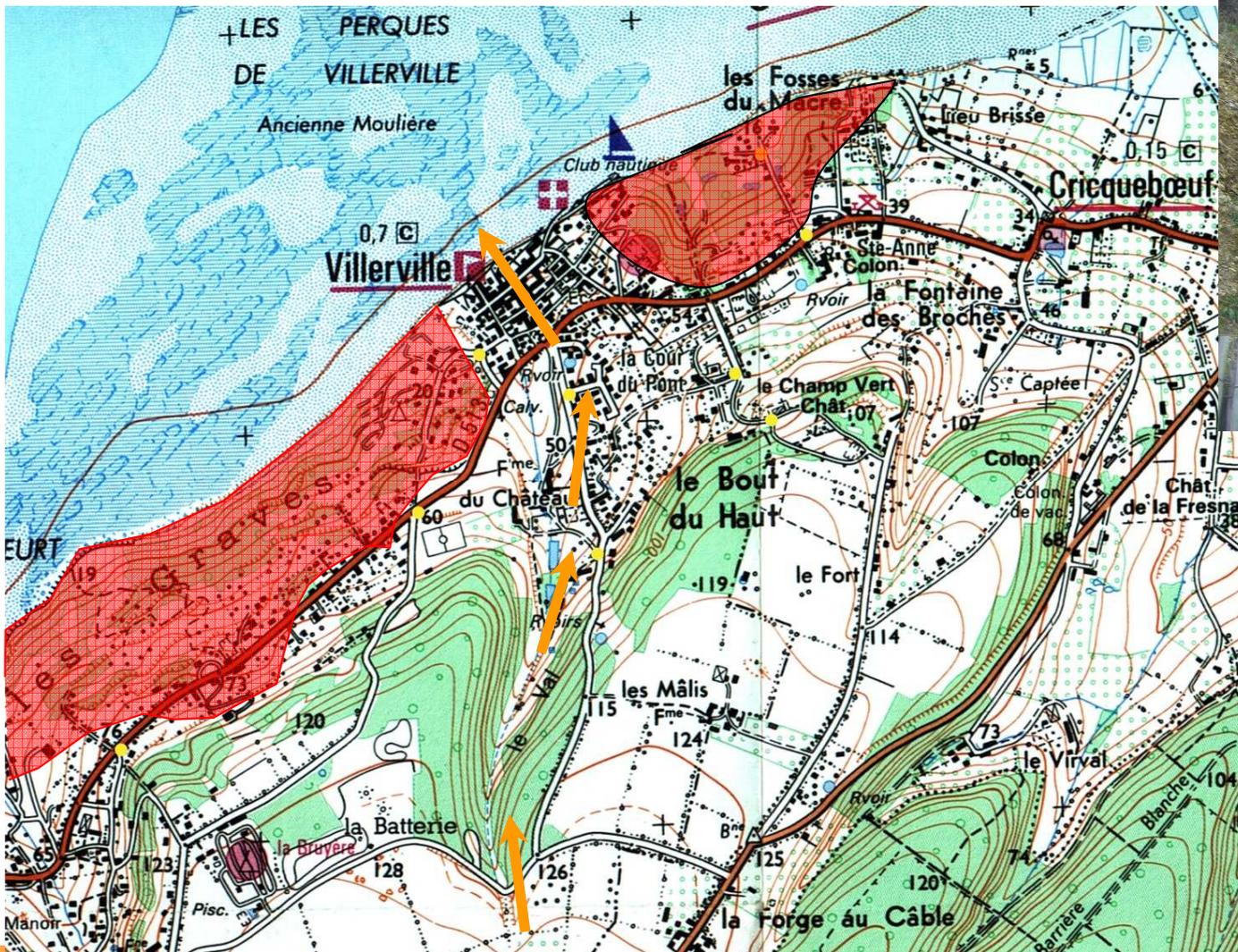
Evaluation de l'aléa : cas du bourg



1. Bourg situé dans l'axe d'une petite vallée (20 m d'altitude) avec Église Notre-Dame (1^{er} sanctuaire du 12^{ème} siècle)
2. Versant protégé par une digue et des enrochements,

... Préparer l'avenir

Evaluation de l'aléa : cas du bourg

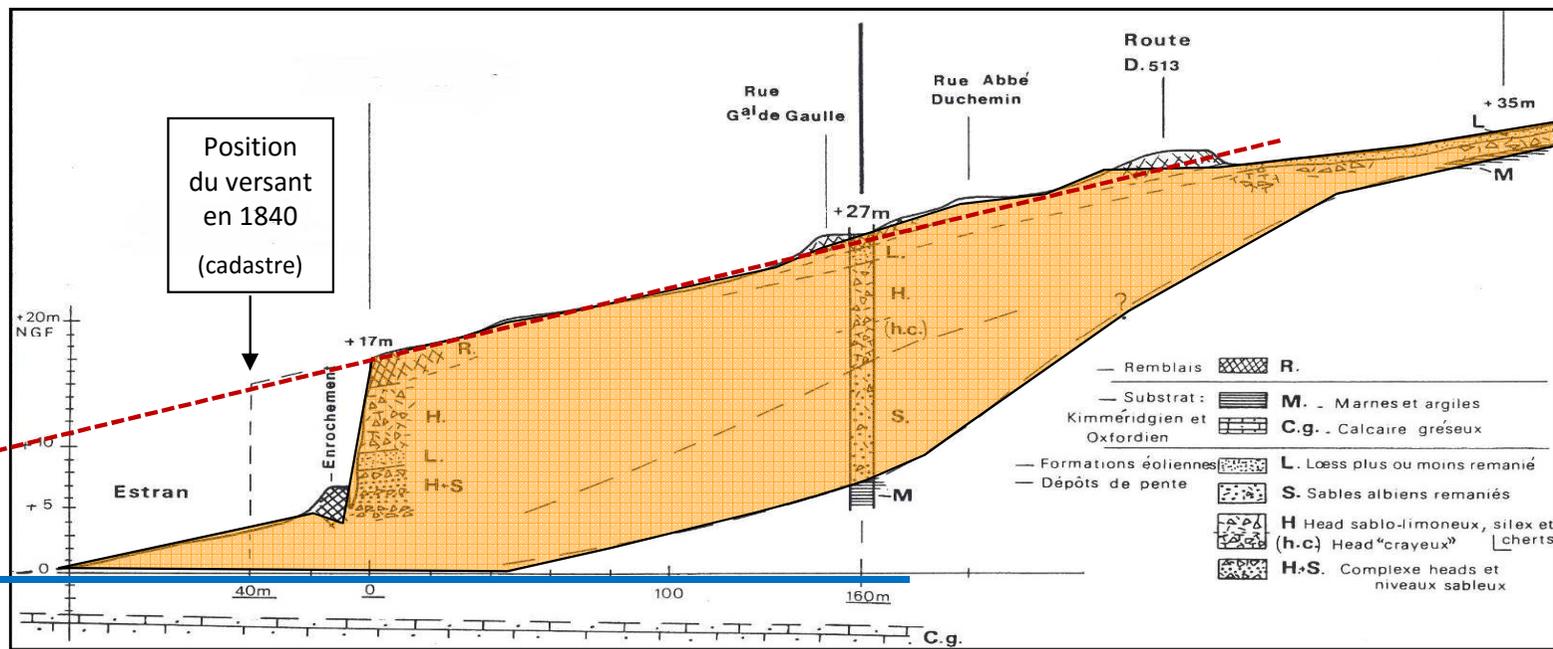


1. Bourg situé dans l'axe d'une petite vallée (20 m d'altitude) avec Église Notre-Dame (1^{er} sanctuaire du 12^{ème} siècle)
2. Versant protégé par une digue et des enrochements,
3. Matériaux du versant sont des formations de remplissage (limons, sables et graviers).

... Préparer l'avenir

Evaluation de l'aléa : cas du bourg

Position du trait de côte
-5000 -6000 an



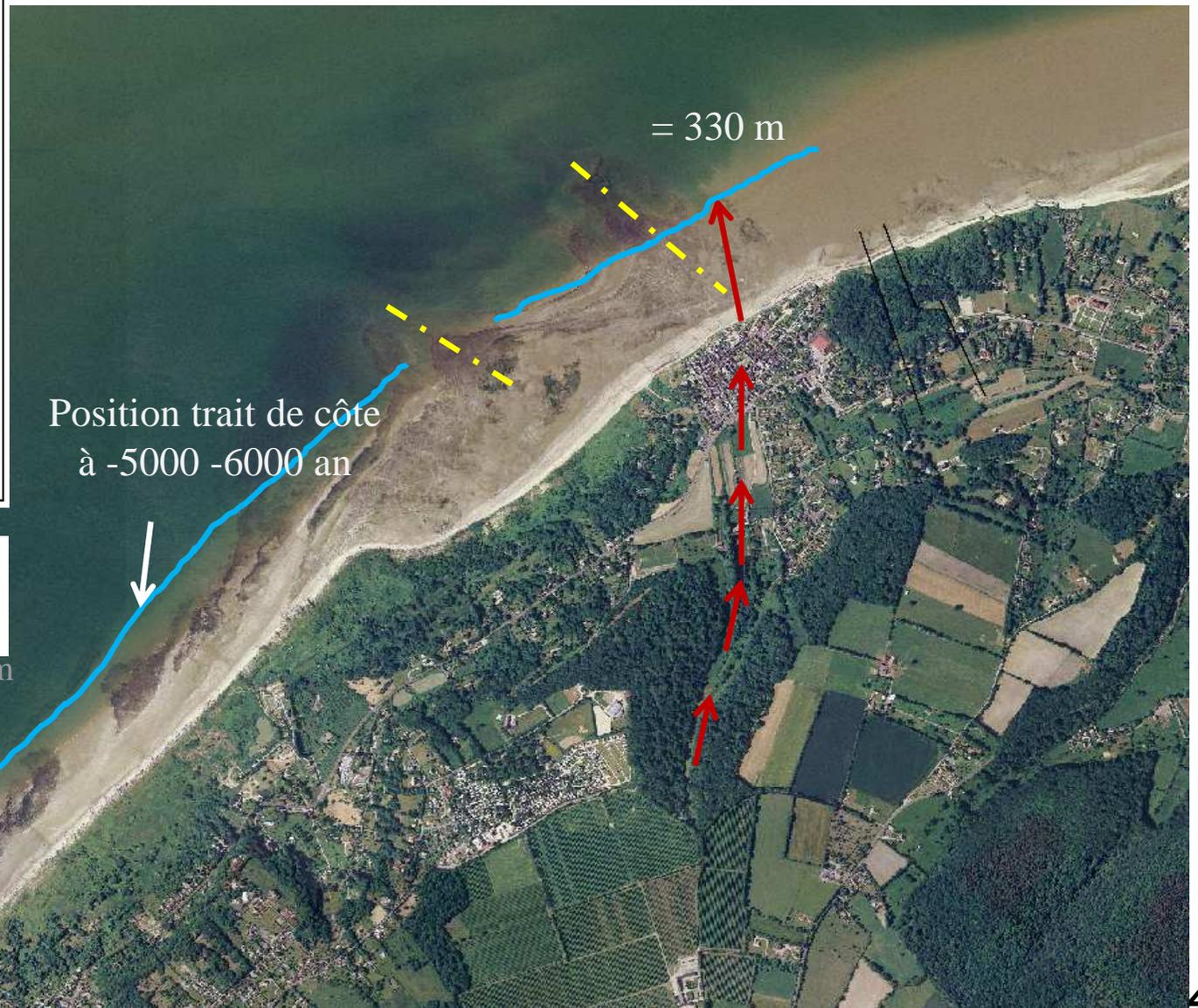
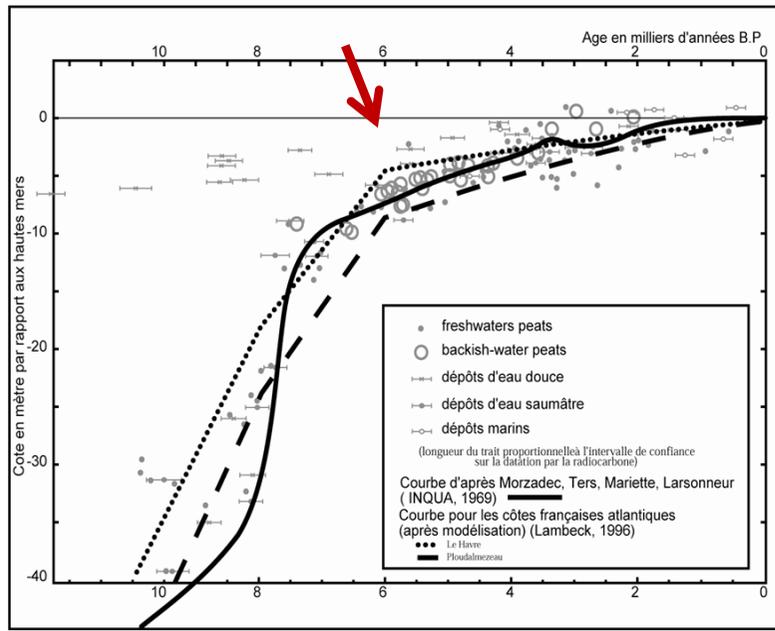
Position à marée basse
= + 300 m

→ Paleo-vallée a été comblée par des colluvions et des alluvions (loëss, sables et graviers). Ces formations ont été mises en place au **Pleistocene supérieur** quand le niveau de la mer était bas (max -100m).

→ Matériaux sont très perméables sans nappe phréatique → **Aléa faible** !!

... Préparer l'avenir

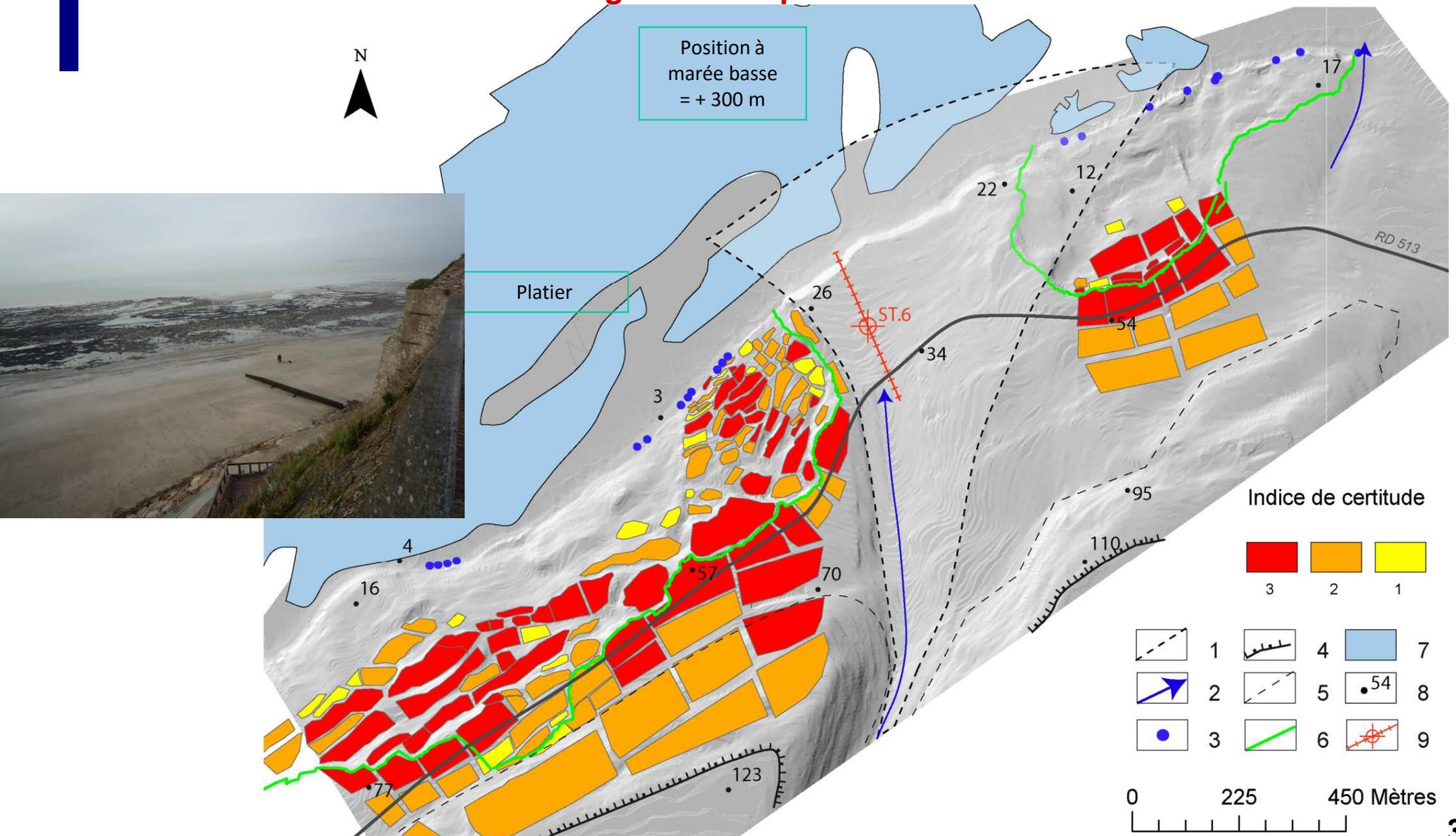
Evaluation de l'aléa : cas du bourg et des cirques



Courbe des modifications relatives du niveau marin au cours de l'Holocène pour le nord-ouest de la France (d'après Morzadec et al., 1969 et Lambeck, 1996)

... Préparer l'avenir

Evaluation de l'aléa : cas du bourg et des cirques



Connaître le passé pour comprendre le présent et préparer l'avenir

- Un cas typique de glissement profond à commande hydrologique
- **Données historiques + investigation surveillance in-situ** (haute résolution spatiale et temporelle) permettent de montrer :
- Evolution régressive du glissement
- Une variabilité spatiale et temporelle des déplacements en relation étroite avec l'évolution des nappes phréatiques
- Stabilité précaire (en l'absence de crises majeures depuis 2001)
- Quid des effets des changements climatiques (pluviométrie et élévation du niveau de la mer) ?

→ Soutien d'une politique de suivi long terme, fiable, homogène et précis d'où **l'intérêt des observatoires normalisés pérennisés.**

→ **système de surveillance pouvant être transformé en système d'alerte !**

Connaître le passé pour comprendre le présent et préparer l'avenir

Projet d'aménagement mur au droit du bourg !!



Réunion publique du 1^{er} juin 2013 - Présentation du projet

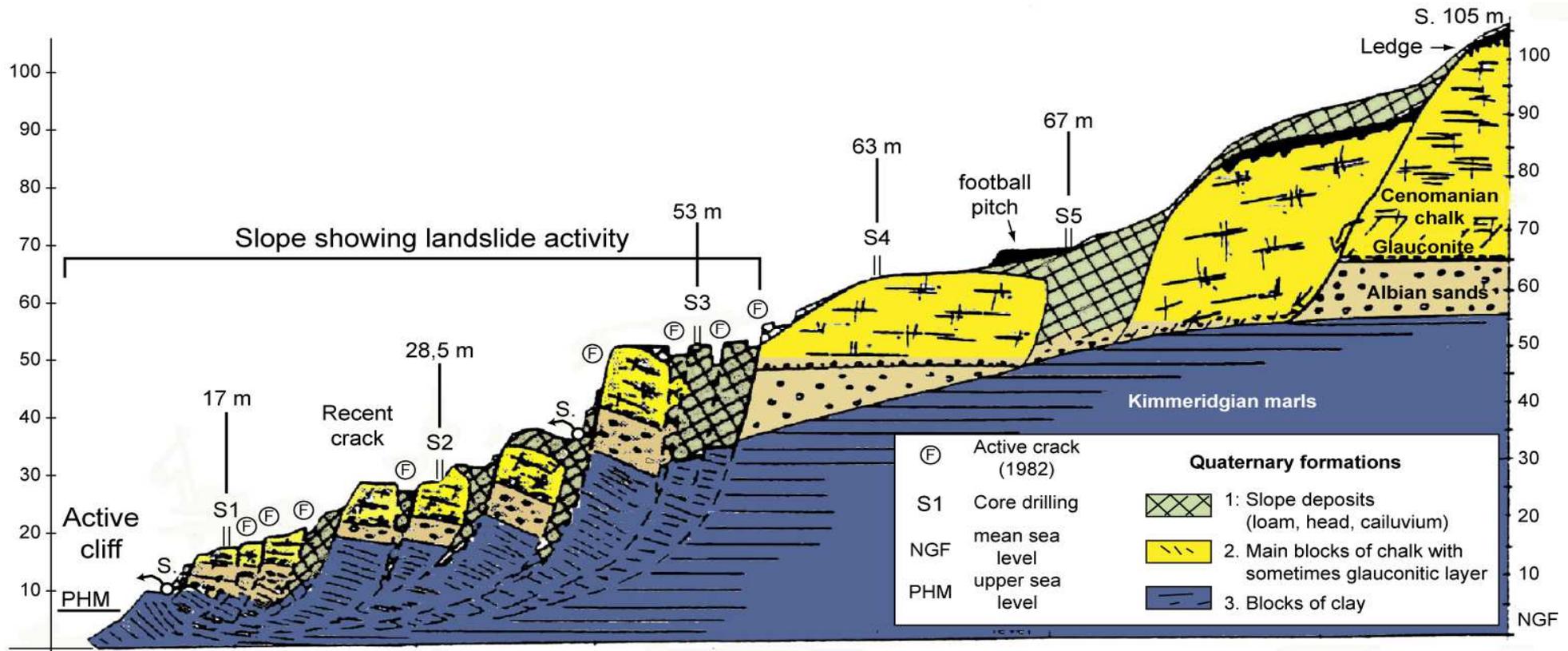
Merci pour votre attention

Introduction et contexte

Contexte morphologique

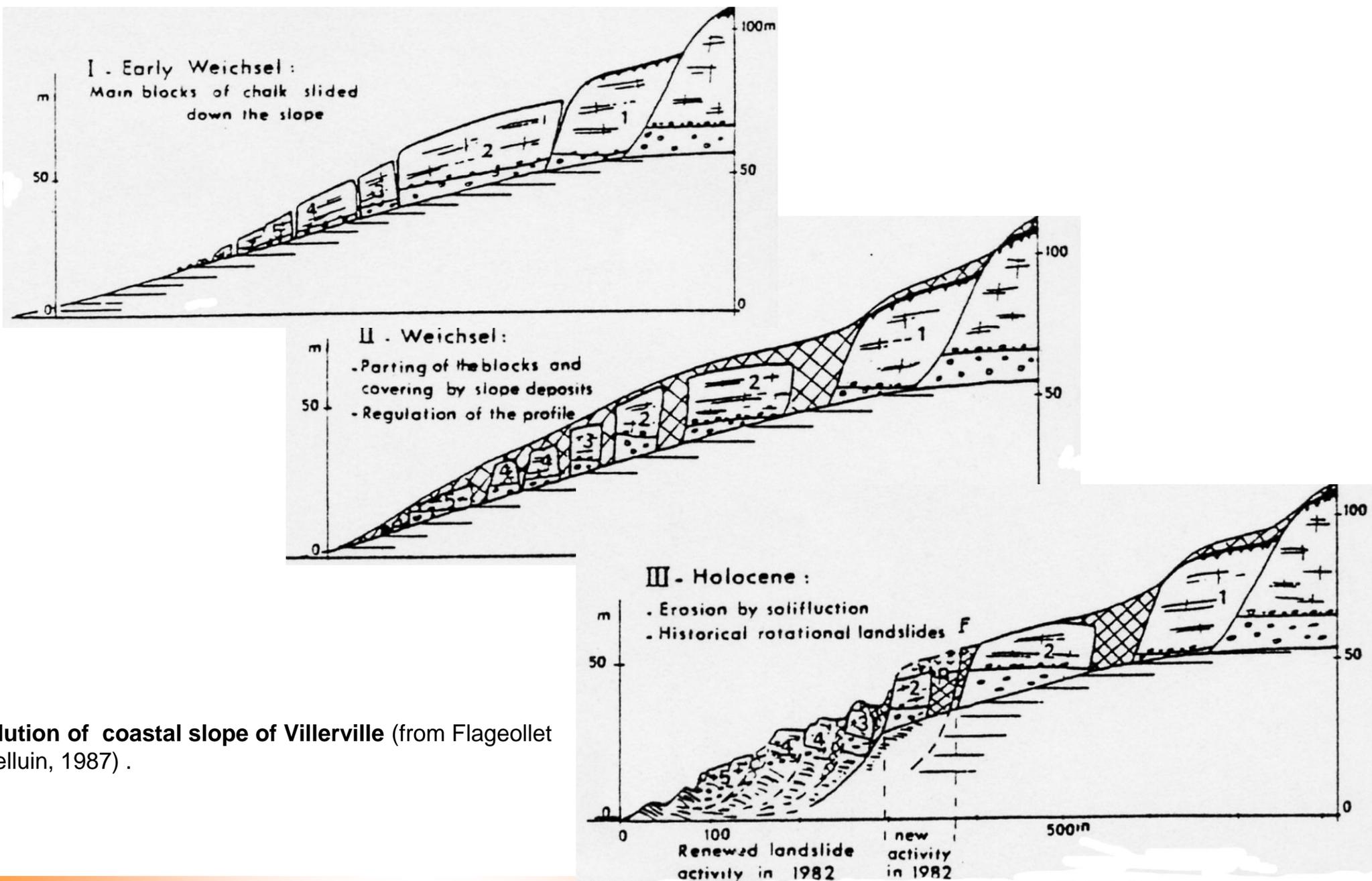
Matériaux hétérogènes composés de larges panneaux et blocs de craie et de débris (craie, limons, sables et cailloux).

Ces formations ont été mises en place (> 10 000 ans).

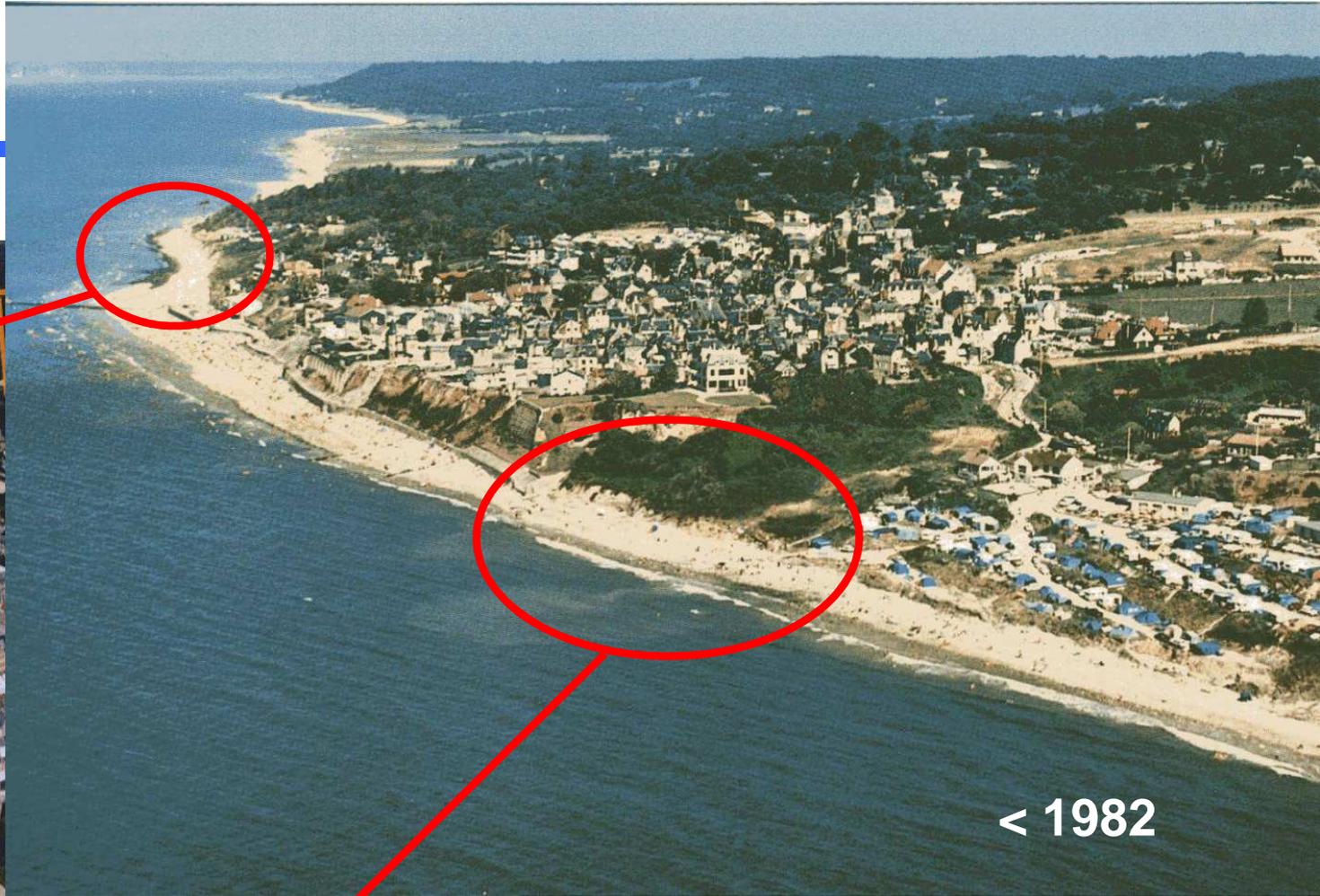


Coupe géologique du versant de Villerville (d'après Flageollet & Helluin, 1987).

Introduction et contexte



Evolution of coastal slope of Villerville (from Flageollet & Helluin, 1987).



< 1982



OFFICE DE TOURISME
SAISON 1997

< 1997

Défense contre l'érosion : enrochement ont été prolongé sur les flancs du bourg et dans les zones instables au milieu des années 80 (principalement à Cricqueboeuf Fosses du Macre), ...

... mais 3 crises en 1988, 1995 & 2001.
→ **protection contre l'érosion est nécessaire mais pas suffisante.**

