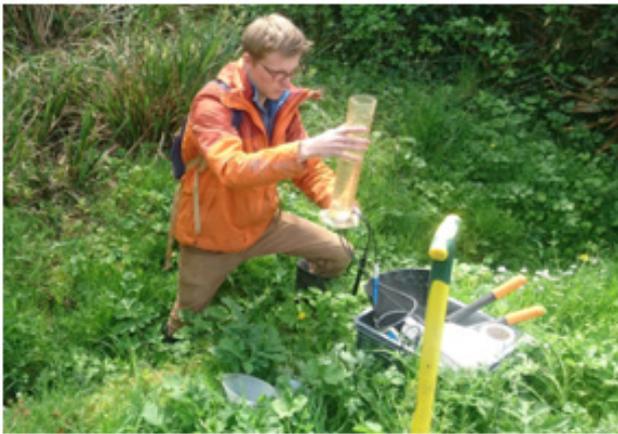


**Projet ANR RICOCHET**  
**Evaluation Multirisque de territoires côtiers en contexte de**  
**changement global (2017 - 2021)**

**SYNTHÈSE 3 :**  
**CARACTÉRISATION HYDROGÉOLOGIQUE D'UN GLISSE-**  
**MENT CÔTIER PAR UNE APPROCHE MULTIDISCIPLINAIRE**



*Mesure de conductivité / température / pH*



*Mesure de polarisation spontanée*

?

Comment mieux comprendre les origines  
des accélérations de glissement pour  
mieux prévenir puis agir ?

?

Quels rôles jouent la nappe  
et les écoulements dans l'activité  
d'un glissement ?

?

Quels types de données  
croiser pour mieux comprendre  
une dynamique de glissement ?

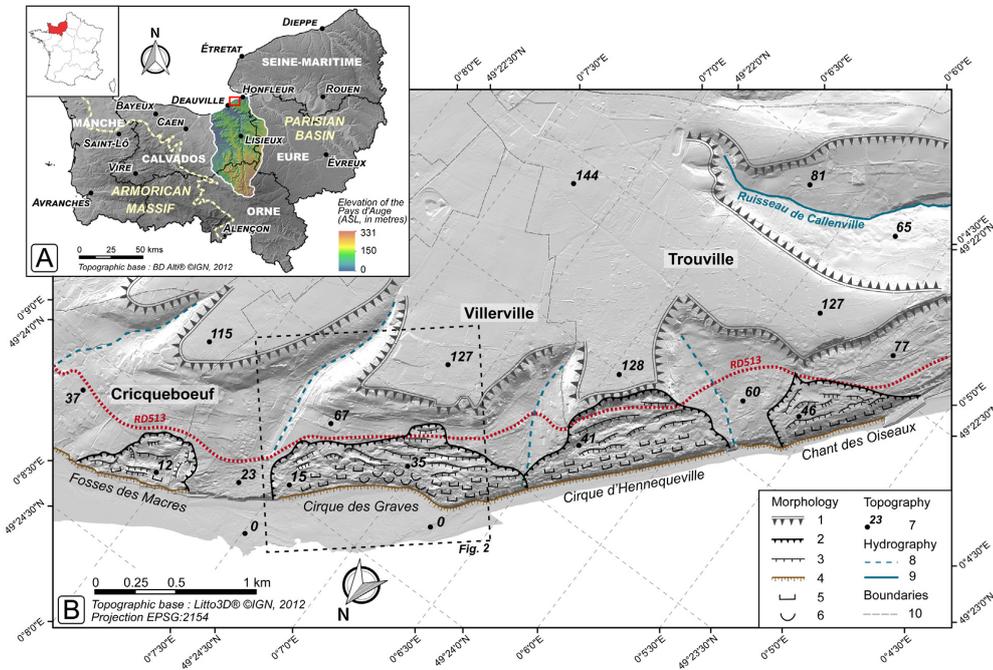
?

Ces réflexions ont été énoncées par différents acteurs des territoires littoraux normands dans le cadre des comités locaux (juin 2017) du projet RICOCHET. Elles évoquent l'inquiétude des élus et gestionnaires des communes face aux aléas climatiques côtiers et continentaux. Ce travail de recherche vise à analyser conjointement des données géologiques, hydrogéochimiques et géophysiques pour mieux identifier les circulations internes de ce glissement en relation avec ses différentes phases d'activité.

# RICOCHET : un projet pluridisciplinaire adoptant une approche multirisque sur trois territoires normands

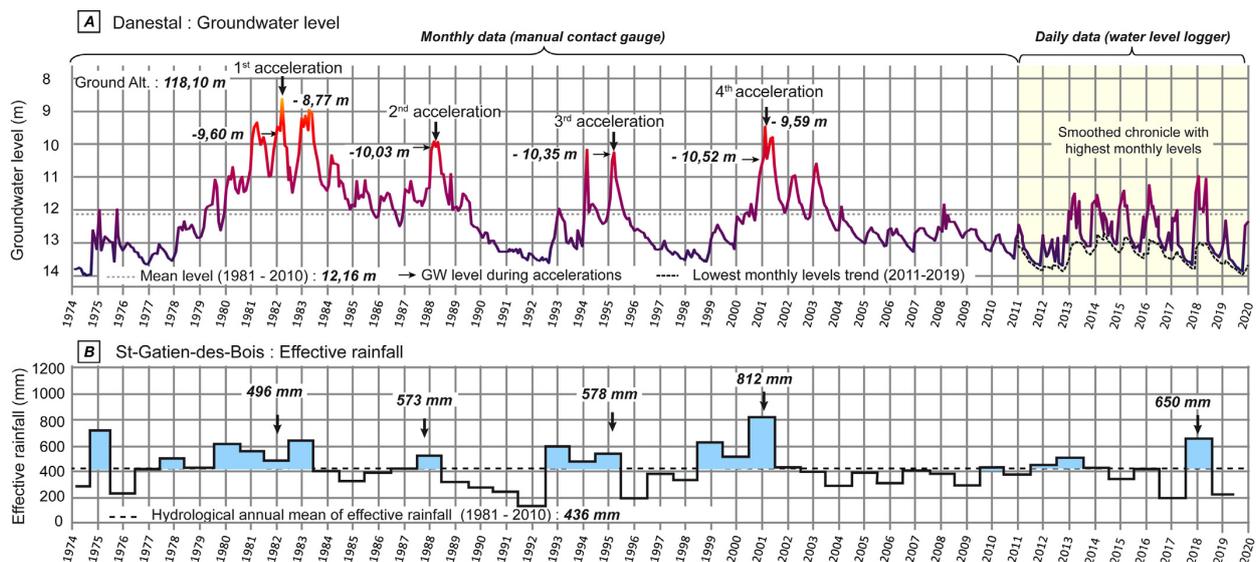
## LE CIRQUE DES GRAVES : QUELS ENJEUX ET QUELS OBJECTIFS ?

Le Cirque des Graves est le plus étendu des quatre glissements littoraux situés au Nord du Pays d'Auge avec une superficie de 47 ha (Figure 1). Ce site, sur lequel l'urbanisation s'est accentuée depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, a subi plusieurs accélérations ayant engendré des dégâts en 1982, 1988, 1995 et 2001.



Ce glissement s'étend de la bordure du plateau à la mer. La dissociation de panneaux de craie y est responsable d'une morphologie en escaliers. Compte tenu de sa taille, de la netteté de l'escarpement principal, des processus affectant la pente et des modelés rencontrés, ce glissement peut être classé comme rotationnel-translationnel complexe (Lissak, 2012).

La corrélation entre hydrologie (seuils de niveau de nappes extrêmes suite à plusieurs années de pluies efficaces annuelles supérieures à la moyenne) et l'activité du glissement ont été démontrées (Maquaire, 1990 ; Lissak, 2012) (Figure 2).



Mais de nombreux points restent en suspens au regard du fonctionnement hydrogéologique du site : (1) identifier les sites de décharge préférentielle de la nappe continentale ; (2) comprendre les flux hydrologiques préférentiels dans le glissement de terrain ; (3) mettre en évidence le degré d'hétérogénéité du fonctionnement hydrogéologique du site ; et (4) établir un lien entre les spécificités morpho-structurales et le comportement du glissement de terrain au regard des flux internes.

Par l'utilisation croisée d'anciennes données (tomographie de résistivité électrique, données géotechniques et géomorphologiques) et de nouvelles acquisitions (levé de polarisation spontanée, analyse physico-chimique des eaux de surface), l'objectif est de proposer un nouveau modèle de fonctionnement hydrogéologique après homogénéisation et analyse conjointe des sets de données à disposition, présentant une variabilité aussi bien temporelle que spatiale.

# 1 ANALYSE MORPHOSTRUCTURALE ET HYDROLOGIQUE

La détermination de l'état de la craie est essentielle car une craie peu épaisse et faiblement cohésive peut induire des réseaux de fissures et des discontinuités marquées. Une synthèse des sondages réalisés sur le glissement depuis les années 1970 renseigne sur la variabilité des épaisseurs de craie rencontrées. Lissak (2012) mettait déjà en évidence la fragmentation plus importante des panneaux de craie à l'est du cirque.

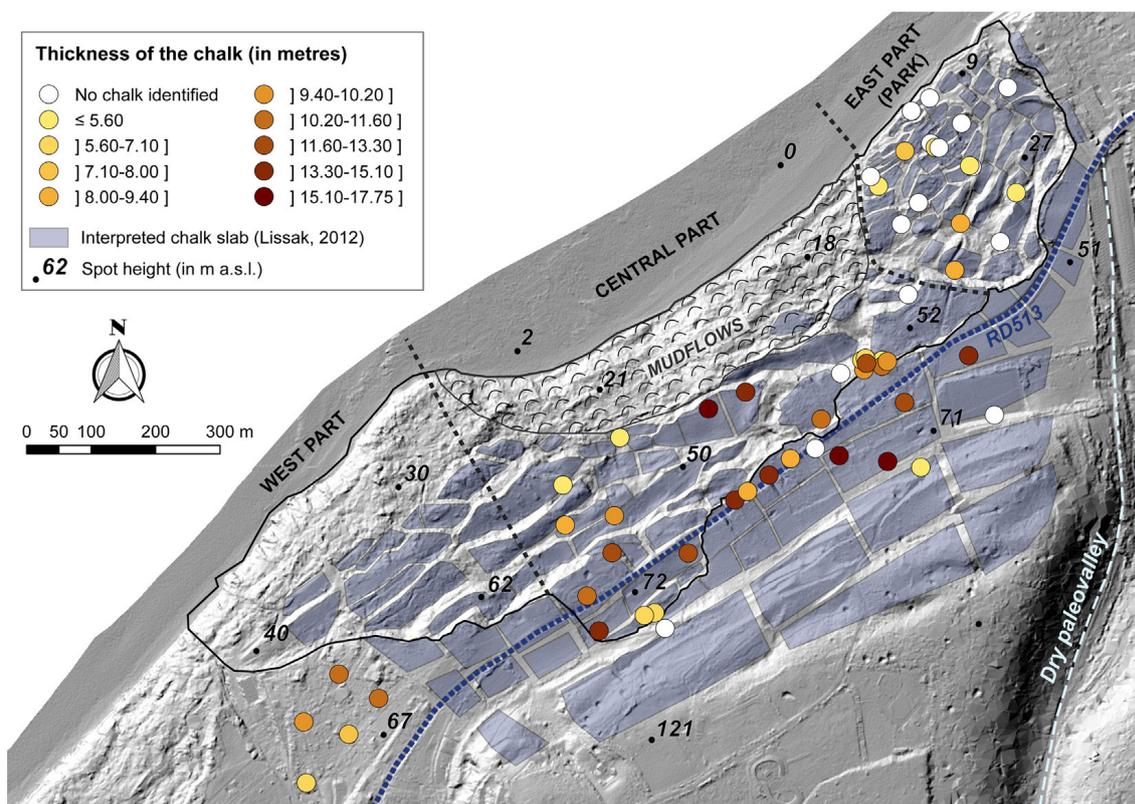


Figure 3 - Variation de l'épaisseur de la craie à partir de diagraphies de sondages dans ou à proximité du Cirque des Graves et géométrie des panneaux identifiés (in Thirard et al, 2020).

Cette observation est confirmée puisque le Parc des Graves est caractérisé par les épaisseurs de craie les plus faibles (1 à 7 m), voire une absence de craie dans certains sondages, au gré du remaniement intensif des formations lithologiques de ce secteur. À l'inverse, la zone centrale est caractérisée par des épaisseurs plus importantes (9 à 18 m), puis une légère décroissance s'amorce vers l'ouest.

# 2

## ANALYSE PHYSICO-CHEMIQUE DES EAUX DE SURFACE

Deux campagnes de caractérisation physico-chimique de l'eau ont été menées en octobre 2018 et avril 2019, afin de caractériser toutes les zones où l'aquifère affleure dans le glissement et l'éventuelle provenance de l'eau. Les mesures physico-chimiques révèlent une concentration des eaux de surface sur trois secteurs (Figure 4) :

- À la limite sud-ouest du parc le long d'un thalweg continu depuis l'escarpement principal jusqu'à l'estran ;
- Au pied des escarpements crayeux au centre du cirque ;
- Au point de contact entre les sables albiens et les argiles, en amont de la zone centrale affectée par des coulées de boue.

La répartition spatiale met en évidence l'importance de la zone centrale sur le débit mesuré, avec 74% du débit total en octobre 2018 (85,1 l/min) et 69% en avril 2019 (119 l/min).

Compte tenu du contexte calcaire, les eaux ont une tendance à la basicité. Les mesures de conductivité électrique augmentent d'amont en aval et impliquent un enrichissement ionique. Les valeurs mesurées les plus fortes sont pour la plupart situées à l'affleurement des sables, après les derniers panneaux de craie. La cause de cette forte augmentation de conductivité peut être sujette à questionnement, notamment au regard de l'origine des eaux (transit dans la craie et/ou les sables), ou d'une d'influence marine.

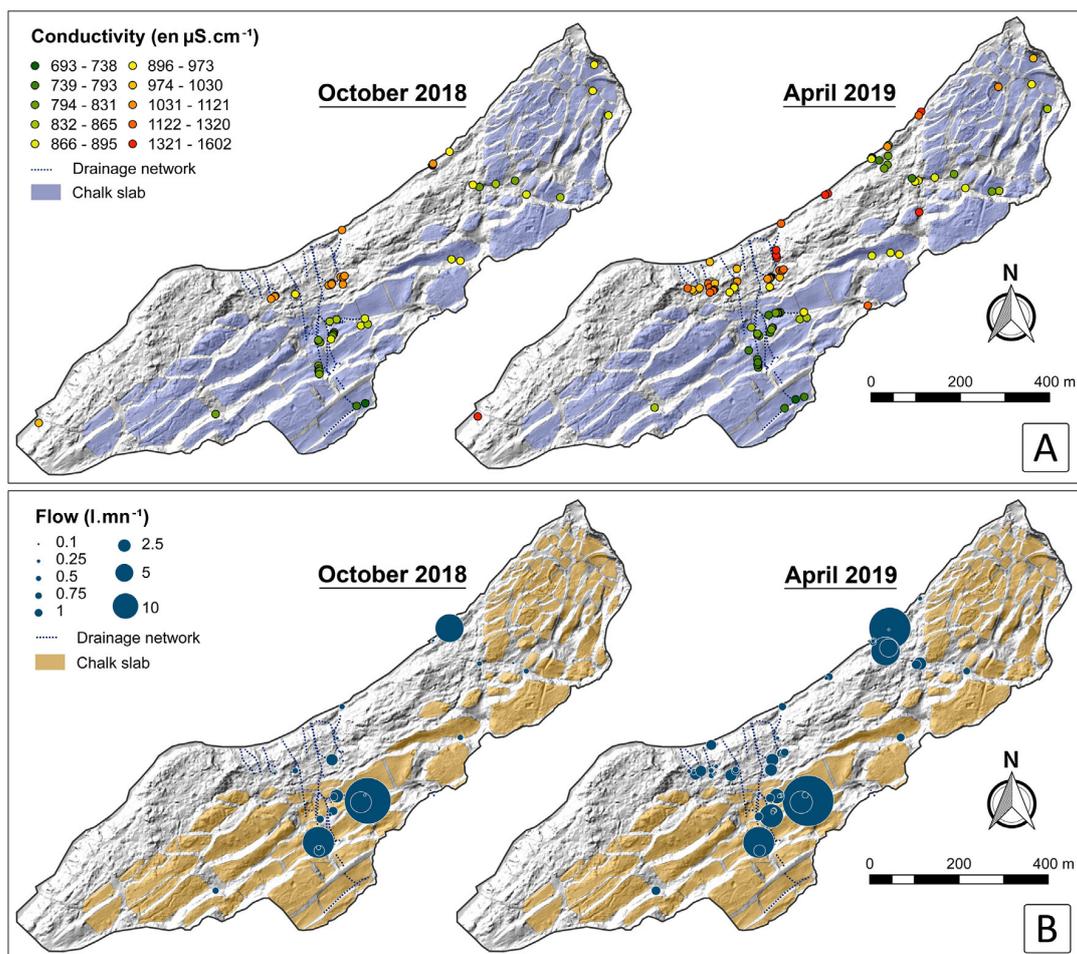


Figure 4 - (A) Conductivité mesurée dans les sources, les étangs et les drains et (B) débit mesuré aux sources du Cirque des Graves lors des campagnes de terrain d'octobre 2018 et d'avril 2019 (in Thirard et al, 2020).

# 3

## PROSPECTIONS GÉOPHYSIQUES ET IDENTIFICATION DES ÉCOULEMENTS INTERNES

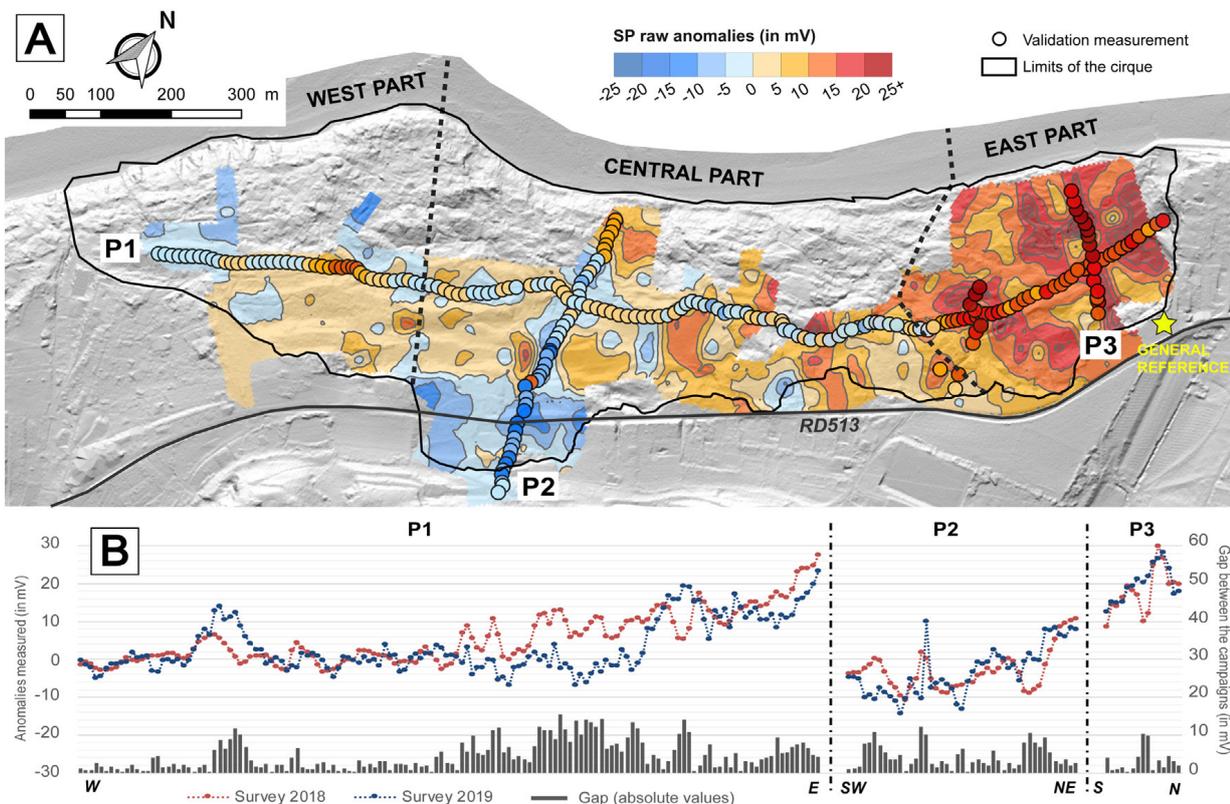
Les méthodes géophysiques sont très utiles pour imager les dynamiques internes et ainsi caractériser les flux hydrogéologiques dans la zone active. Par l'utilisation conjointe de la polarisation spontanée (PS) et de la tomographie de résistivité électrique (ERT), une compartimentation du comportement hydrologique du site a pu être proposée.

### LA POLARISATION SPONTANÉE

La polarisation spontanée a d'abord permis de mesurer la distribution du potentiel électrique à la surface du sol. Il s'agit d'une méthode géoélectrique dite passive (pas d'injection de courant). Selon la charge électrique mesurée, les anomalies électriques de PS peuvent être caractéristiques soit :

- d'une zone de drainage et d'infiltration d'eau (charge négative)
- d'une accumulation et d'une remontée d'eau (charge positive).

Une cartographie de l'anomalie de PS a été réalisée en avril 2018, à la fin de la période de hautes eaux, à partir de 1 171 points de mesure (Figure 5). Un levé de validation a ensuite été réalisé l'année suivante, en avril 2019, et a permis de confirmer les résultats obtenus, avec une gamme de valeurs d'anomalies observées et des tendances tout à fait comparables.

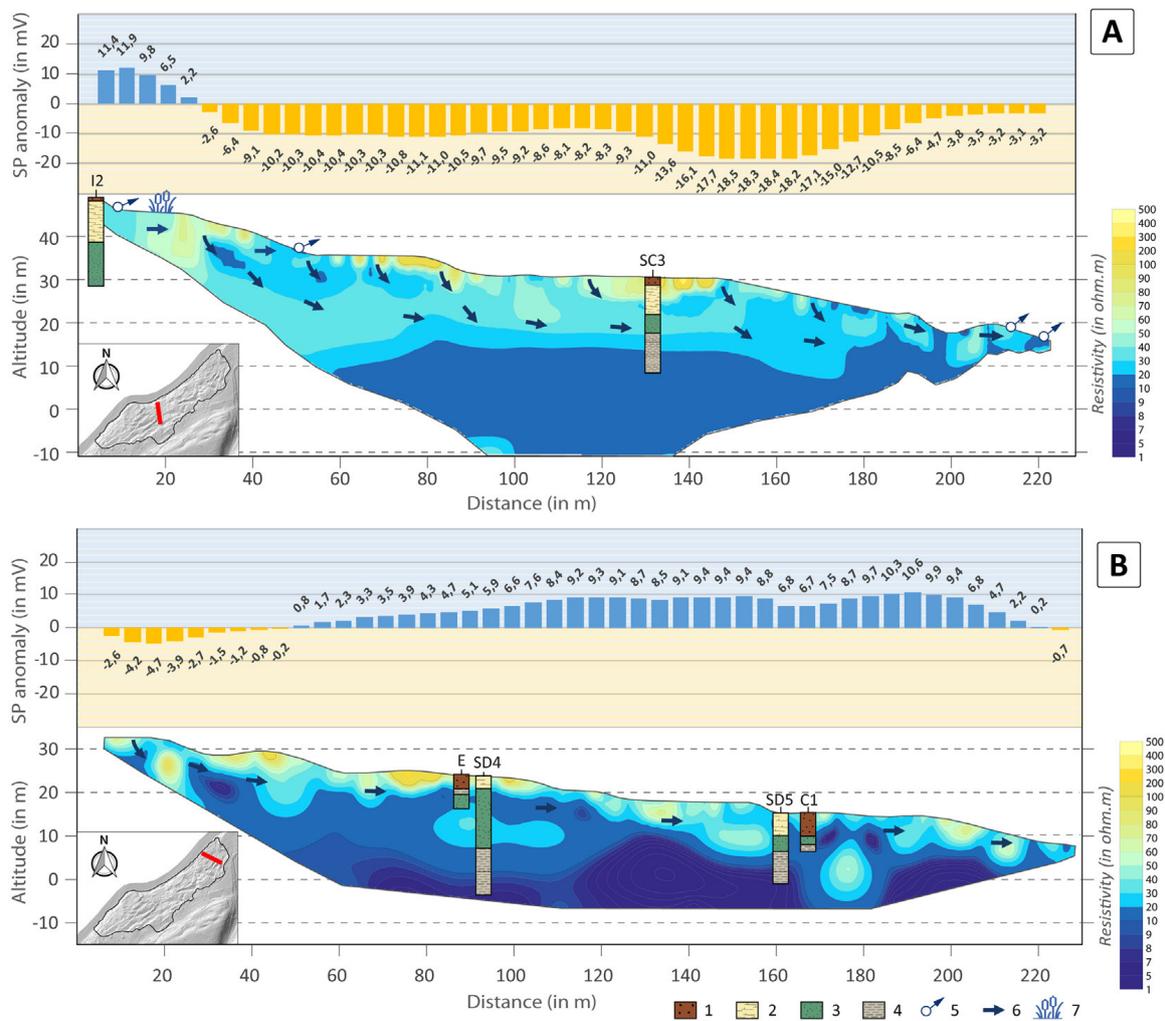


**Figure 5 -** Comparaison entre les anomalies PS du levé initial (2018) et du levé de validation (2019). (A) Distribution spatiale des points des trois profils de validation superposés sur la carte d'anomalies brute initiale (la gamme de couleurs est identique) ; (B) Comparaison «point à point» entre la carte d'anomalies brute de 2018 et les mesures de vérification de 2019 pour les trois profils. Le graphique à barres grises représente l'écart absolu entre les campagnes (in Thirard et al., 2020).

Ces données renseignent sur la présence d'anomalies fortement négatives (flux verticaux et infiltration en profondeur) en amont de la zone centrale du cirque, et des anomalies positives à l'extrémité est, correspondant au « Parc des Graves » (flux horizontal avec peu d'infiltration).

## CORRÉLATIONS AVEC LES DONNÉES DE TOMOGRAPHIE DE RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE

La campagne d'ERT menée en 2008/2009 dans le cadre du projet ANR SISCA a été réexploitée (Lissak et al, 2014) afin de comparer les informations de résistivité (dépendant de la saturation et des caractéristiques pétro-physiques) avec les informations hydrocinétiques provenant de la polarisation spontanée.

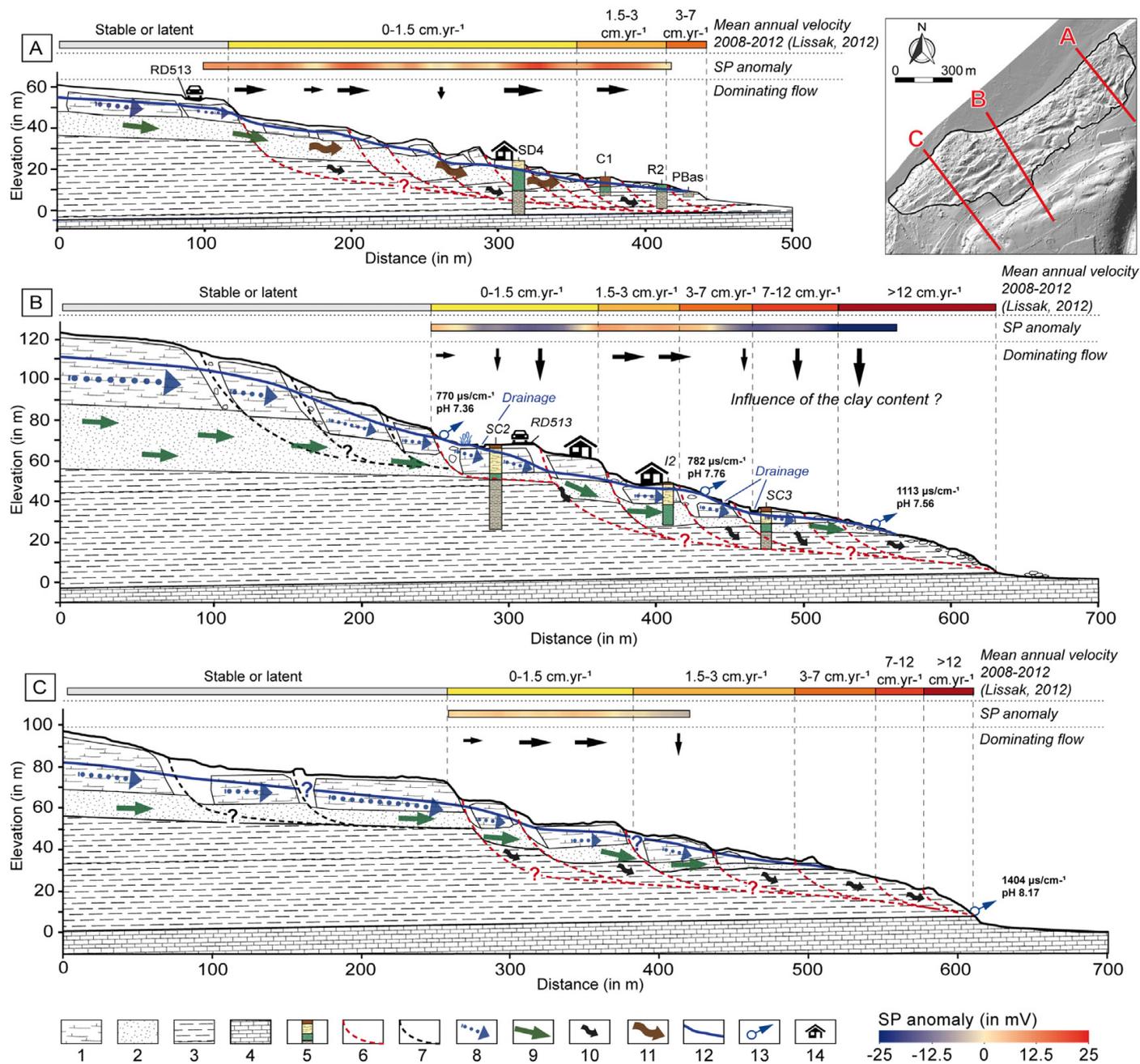


**Figure 6 -** Corrélation entre les données SP filtrées (2018) et les profils ERT (2007/2008) dans (A) la partie centre-ouest du Cirque et (B) dans la partie est du Cirque (parc). Légende : (1) Formation de pentes hétérogènes, (2) Craie +/- altérée, (3) Sable glauconieux, (4) Argile et marne, (5) Source, (6) Sens de l'écoulement, (7) Zone stagnante et végétation hygrophile (in Thirard et al, 2020).

En se focalisant sur deux profils représentatifs, la figure 6 permet d'exprimer les corrélations entre l'ERT, la PS et les connaissances géologiques issues des logs de forages. Il existe au centre du cirque une concordance entre des épaisseurs de craie plus importantes, des résistivités fortes en surface, et des anomalies négatives de PS assez marquées, indiquant une tendance à l'infiltration et à des flux d'eau verticaux (profil A). A l'inverse, la partie est du glissement (parc des Graves), montre des épaisseurs de craie plus minces et des formations plus conductrices, associées à des anomalies PS positives. Il est donc supposé des flux plus horizontaux dans ce secteur, à la faveur de niveaux de nappe davantage subaffleurant sur cette zone est (profil B).

# NOUVELLES HYPOTHÈSES DE FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU SITE

La dynamique d'écoulement n'est pas homogène à l'échelle du glissement de terrain, et il est possible de délimiter trois compartiments au fonctionnement dissocié dans les parties orientale, centrale et occidentale du glissement (Figure 7). Les écoulements sont plus verticaux à l'ouest qu'à l'est du site en lien avec la géologie, et la décharge principale de la nappe en partie centrale est attestée à la fois par la PS, l'ERT et les analyses physico-chimiques. Par ailleurs, l'analyse de la cinématique sur la période 2008-2020 confirme que cette zone est sensible puisqu'elle présente également les évolutions les plus marquées de la zone instable.



**Figure 7 - Coupes transversales du comportement hydrogéologique conceptuel identifié dans chacune des trois parties du cirque. Légende : (1) +/- craie altérée, (2) sables glauconieux, (3) marnes/argile, (4) calcaire gréseux, (5) sondages, (6) surface de glissement active identifiée, (7) surface de glissement latente identifiée, (8) écoulement de la nappe de la craie, (9) écoulement de la nappe des sables, (10) humectation des argiles/marnes, (11) écoulement erratique dans une matrice hétérogène, (12) niveau de la nappe libre (craie), (13) résurgence, (14) bâtiment (in Thirard et al., 2020).**

En conclusion, le projet Ricochet a permis de renforcer les connaissances scientifiques sur le glissement « actif » du Cirque des Graves à Villerville par la mise en œuvre d'une approche multidisciplinaire. L'analyse conjointe des données géologiques, hydrogéochimiques et géophysiques, a permis de proposer des hypothèses de distribution spatiale, de direction et d'intensité des flux au regard des circulations internes de ce glissement, et de mieux comprendre ses différentes phases d'activité (alternance de périodes de calme relatif suivies d'accélération brutales). Ces connaissances scientifiques sont à la disposition des gestionnaires.

Synthèse réalisée par Guillaume THIRARD, Olivier MAQUAIRE et Stéphane COSTA.

Mise en page et relecture : ANBDD

**Références :**

Lissak, C., 2012. Les glissements de terrain des versants côtiers du Pays d'Auge (Calvados) : Morphologie, fonctionnement et gestion du risque. (Thèse de Géographie). Université de Caen Basse-Normandie, Caen.

Maquaire, O., 1990. Les mouvements de terrain de la côte du Calvados, Recherches et prévention. Documents du BRGM, Orléans.

Lissak, C., Maquaire, O., Malet, J.-P., Bitri, A., Samyn, K., Grandjean, G., Bourdeau, C., Reiffsteck, P., Davidson, R., 2014. Airborne and ground-based data sources for characterizing the morpho-structure of a coastal landslide. *Geomorphology* 217, 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.019>

Thirard G., Grandjean G., Thiery Y., Maquaire O., François B., Costa S. Hydrogeological assessment of a deep-seated coastal landslide based on a multi-disciplinary approach. *Geomorphology*, Elsevier, 2020, pp.107440. Version complète disponible à l'adresse suivante : <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107440>

Pour plus d'informations sur le projet RICOCHET, rendez-vous sur : <http://anr-ricochet.unicaen.fr>

Pour en savoir plus, contactez : [olivier.maquaire@unicaen.fr](mailto:olivier.maquaire@unicaen.fr) ; [stephane.costa@unicaen.fr](mailto:stephane.costa@unicaen.fr)

