

Suivi d'un glissement littoral par méthode RFID

Monitoring of a coastal landslide by RFID method

Etienne REY^{1,4}, Arthur CHARLETY¹, Vanessa ROGUIER¹, Christophe GARNIER², Yannick THIERY², Anaïs RUSQUET², Mathieu LE BRETON³, Laurent BAILLET⁴, Eric LAROSE⁴

1 Géolithe, Crolles, France

2 BRGM, F-33600 Pessac, France

3 WSL-SLF, Davos, Suisse

4 ISTERre, Gières, France

** etienne.rey@geolithe.com*

RESUME : La côte basque française comporte de nombreuses instabilités de versant littorales liées à un contexte géologique et géomorphologique local défavorable. L'une d'entre elles, d'ampleur significative, menace une propriété localisée en amont, par un glissement d'alluvions plio-quadernaires sablo-limoneux reposant sur une dalle de flysch à pendage conforme à la pente. Ce glissement de terrain s'inscrit dans un processus de déstabilisation polycyclique, marqué par des phases successives de purge et de reprise qui traduisent un fonctionnement rythmé dans le temps, avec la réactivation possible de secteurs déjà mobilisés. Pour analyser plus finement la cinématique de ce glissement, le BRGM a missionné la société Géolithe dans le cadre des Projets Interreg SUDOE RISKCOAST (fonds européens FEDER) puis FALAISES (co-financé par Région Nouvelle-Aquitaine et le BRGM) afin d'équiper le versant d'un dispositif de mesure des déplacements de surface par des cibles RFID. Relancé au printemps 2025, ce dispositif sans-fil permet de suivre l'évolution globale du versant grâce à un nombre de cibles important réparties en surface et offre la possibilité de mesurer des déplacements rapides, jusqu'à plusieurs décimètres voire mètres par minute. Nous présentons ici les résultats obtenus sur la période de mesure disponible, en comparaison avec la pluviométrie et la houle, ainsi que les observations photographiques et photogrammétriques réalisées sur la zone suivie.

ABSTRACT : The French Basque coast exhibits many coastal slope instabilities due to an unfavorable local geological and/or geomorphological context. One of them threatens a property above, due to the slide of Plio-Quaternary alluvium resting on a flysch slab whose dip is consistent with the slope. This landslide is part of a polycyclic destabilization process, marked by successive phases of release and recovery, including the potential reactivation of already affected areas. To further analyze the kinematics of this unstable slope, BRGM (French Geological Survey) commissioned Géolithe, within the framework of the Interreg SUDOE (European Regional Development Fund) RISKCOAST and FALAISES projects (co-financed by the Nouvelle-Aquitaine region and the BRGM), to equip the slope with a surface displacement measurement system using RFID targets. Reactivated in spring 2025, this wireless device allows to monitor the overall evolution of the slope thanks to a large number of targets distributed across the surface and offers the possibility of measuring rapid displacements, reaching several decimeters to meter per minute. We will present the results obtained over the available measurement period, in comparison with pluviometry and swell, as well as photographic or photogrammetric observations carried out in the monitored area.

Mots-clés : landslide ; coastal regression ; RFID ; pluviometry, swell.

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte de l'étude

La côte basque est fortement concernée par le phénomène de recul du trait de côte par érosion littorale. Elle fait l'objet d'un suivi régulier de la part de l'Observatoire de la Côte de (Nouvelle) Aquitaine, dans le cadre de plusieurs études menées depuis plus d'une vingtaine d'années (Peter-Borie, 2008 ; Guillen, 2024) et des projets européens transfrontaliers SUDOE Ezponda, Riskcoast puis Falaises co-financés par des fonds européens FEDER ; le BRGM et la Région Nouvelle-Aquitaine (projet Falaises).

Du fait d'un contexte géologique et géomorphologique particulièrement défavorable, le versant littoral étudié a subi un éroulement de la falaise inférieure, associé à une déstabilisation des terrains sus-jacents le 30/11/2017 suivi d'une érosion accélérée les années suivantes. La Figure 1 donne un aperçu visuel de l'évolution du versant entre 2017 et 2025, encore marquée entre janvier 2022 et mai 2025.

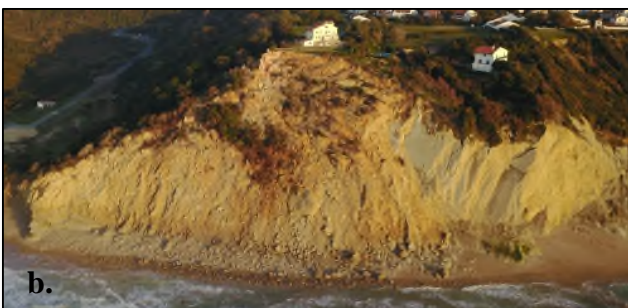


Figure 1 : Photos montrant l'évolution marquée du versant entre (a) mai 2017, (b) mai 2019, (c) janvier 2022, (d) mai 2025. Sources photos : (a) Observatoire de la Côte Nouvelle Aquitaine ; (b,c,d), Géolithe.

1.2 Contexte géologique et géotechnique

Comme de nombreux sites de la côte basque, ce versant est caractérisé par la présence de couches de flysch marno-gréseux inclinées en direction de l'océan avec un pendage marqué conforme à la pente, compris entre 35° et 40° vers le nord-ouest.

Ce site comporte, de plus, les spécificités (défavorables) suivantes : i. une hauteur significative (environ 70m) et ii. une accumulation sur plusieurs mètres de dépôts plio-quadernaires (silto-graveleux) reposant sur ces vastes dalles de flysch fortement pentées en direction du bas du versant (Figure 1).

L'étude géotechnique réalisée en 2019 consécutive à l'évènement de fin 2017 a conduit à un modèle géologique interprétatif simplifié illustré par la coupe

Ouest-Est ci-dessous (Figure 2) mettant en évidence un pendage réel des couches d'environ 40° vers l'océan.

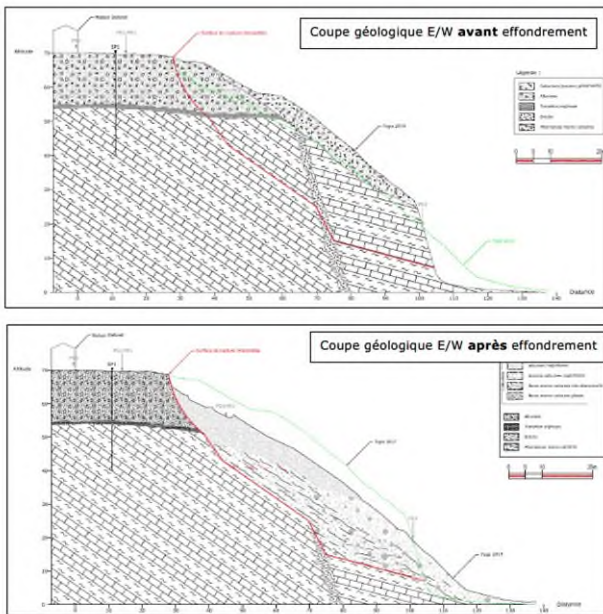


Figure 2 : Modèle géologique interprétatif montrant la structure (simplifiée) du versant avant et après l'effondrement initial de 2017. Les pentages principaux apparaissent légèrement sous-estimés du fait de l'orientation de la coupe (source Geolithe).

1.3 Historique récent du site

Un suivi instrumental a été installé début 2022 avec la mise en place d'un dispositif de mesure des déplacements relatifs de surface par méthode RFID.

Sur la première période de son fonctionnement (janvier 2022 – juillet 2023), ce dispositif a mis en évidence des déplacements cumulés pouvant atteindre jusqu'à 8 mètres en partie avale de la zone suivie (Le Breton et al., 2023), représentés sur la Figure 3, avec un fonctionnement irrégulier dans le temps, qui semble marqué par une activité prépondérante en saison humide (hiver 2022, automne 2022 et une déstabilisation majeure en hiver 2023 (Figure 3).

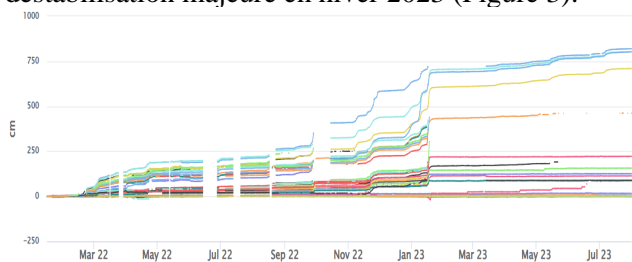


Figure 3 : Déplacements relatifs cumulés des tags sur la première période de suivi (02/2022-->07/2023).

Ce suivi instrumental a dû être interrompu en août 2023 faute de financement pour assurer une maintenance minimale mais aussi suite à la disparition

de plusieurs tags en parties médiane et basse du versant. Le dispositif a pu être relancé en mai 2025, dans le cadre du projet Falaises.

Après une présentation rapide de la méthode de suivi des déplacements relatifs de surface par RFID, les résultats des mesures réalisées sur 2025 sont présentés ici, en parallèle des facteurs de réactivation potentiels (précipitations, houle), avec une mise en perspective plus large de la déformation du versant sur la période 2022-2025.

2 METHODOLOGIE

2.1 Suivi des déplacements relatifs de surface par méthode RFID

Les mesures RFID (Radio-Frequency Identification) constituent une méthode innovante intéressante pour le suivi et/ou la surveillance des déplacements de surface sur des versants instables tels que les glissements de terrain (Le Breton et al., 2019 ; Charléty et al., 2023).

Par rapport aux méthodes de télésurveillance surfaciques qui se basent sur le suivi direct de la surface du terrain naturel, qu'elles soient optiques (photogrammétrie), laser (Lidar) ou radar (interférométrie), l'utilisation de cibles localisées (tags RFID) permet de réduire significativement les volumes de données à traiter et d'augmenter parallèlement très significativement la fréquence temporelle des mesures réalisées (jusqu'à plusieurs mesures par seconde et par tag).

Les méthodes précédemment citées sont également sensibles aux effets de masque (végétation, forte pluie, neige, brouillard...), ce qui confère à la mesure des déplacements de surface par RFID un avantage important pour une surveillance sur le long terme et en toutes conditions/saisons.

La fréquence des mesures RFID est également nettement plus élevée que celle de méthodes de télésurveillance terrestre plus traditionnelles sur cibles telles que le tachéomètre (station topographiques robotisée) qui nécessite une période de retour sur un même tag de plusieurs minutes (typiquement une dizaine, variable selon le nombre et la disposition des cibles). Il en découle la possibilité de réaliser des mesures denses, que ce soit au niveau temporel (de l'ordre de 1 point par seconde) ou spatial (plusieurs dizaines de cibles/tags sur un même site).

Si la précision sur chaque mesure est moindre que celle, millimétrique, d'un tachéomètre, de précédents travaux ont déjà démontré que les méthodes basées sur le traitement de la phase (Le Breton et al. 2022, 2023 ; Charléty et al., 2023) permettait d'obtenir une précision centimétrique (Le Breton et al. 2019) qui reste tout à fait compatible avec la surveillance de mouvements de versant de type glissement de terrain.

Comparée à d'autres méthodes classiques, la surveillance RFID offre une alternative généralement moins coûteuse en termes d'installation et de maintenance, possiblement alimentée de manière autonome, avec une identification facile des tags (pas le cas des cibles topographiques).

2.2 Aptitude de la méthode à la détection de mouvements rapides

Sur la base d'une longueur d'onde rétrodiffusée par les tags de 34.6 cm (fréquence centrale 868 MHz) et d'une fréquence de mesure de 1 Hz, la vitesse de mouvement potentiellement mesurable peut atteindre théoriquement 8.6 cm/sec, ce qui équivaut à environ 5m/min ou encore 0.3 km/h et constitue une vitesse typique de la réactivation d'un glissement de terrain. Cette vitesse maximale pourra toutefois être diminuée afin d'inclure une redondance / un moyennage statistique nécessaire à l'obtention des mesures unitaires plus robustes.

3 RESULTATS

3.1 Déplacements mesurés

Les déplacements relatifs mesurés sur la période comprise entre mi-mai et début décembre 2025 ont été obtenus après une fusion multi-fréquences puis multi-antennes des mesures et enfin un déroulement de la phase des signaux (Charléty et al., 2023) permettant d'obtenir le déplacement relatif en continu de chacun des tags.

Les résultats sont représentés sur la Figure 4. Ils permettent d'identifier au moins 5 périodes distinctes entre mai et décembre 2025.

Après une période de stabilité entre mi-mai et fin août (notée 1 sur la Figure 4), une forte perturbation météorologique en lien avec l'arrivée de Ouragan Erin en provenance des Caraïbes et sa dissipation progressive au large de l'Europe entre le 26 et le 30 août semble avoir réactivé l'instabilité du versant.

La forte houle associée à cette évènement (annoncée alors jusqu'à 4 à 5 mètres d'amplitude sur la côte basque), générée par des vents forts au large, n'est probablement pas étrangère à cette réactivation, bien qu'il soit difficile de l'affirmer avec certitude. Les photos disponibles sur d'autres périodes montrent cependant clairement que les vagues viennent lécher le pied du versant à marée haute.

Suite à cet épisode météo, le versant a subi une accélération progressive en 3 phases successives (notées 2 à 4, Figure 4), caractérisées par 3 vitesses de déplacement croissantes, jusqu'au 4 décembre 2025 où survient une accélération brusque et très marquée à (période 5 sur Figure 4), suivie d'une stabilisation relative.

Notons que les déplacements mesurés à partir de la phase du signal et représentés sous forme de graphes sur la Figure 4 correspondent à la distance relative (1D) entre les antennes de base et chacun des tags. Pour une meilleure lisibilité, ces déplacements ont projetés en carte selon la direction de la ligne de plus grande pente du versant (azimut N 310°), qui constitue la direction préférentielle de mouvement des terrains instables (Figure 5).

Ce type de suivi, spatialement et temporellement dense, permet de mieux connaître la cinématique du versant ausculté. Pour les 2 périodes présentées sur la Figure 5, les déplacements cumulés mettent en évidence un gradient positif en direction du bas de la pente qui peut s'expliquer par le pente plus forte (donc plus instable) du bas du versant, probablement en lien avec la sape progressive par l'océan, notamment lors des épisodes de forte houle.

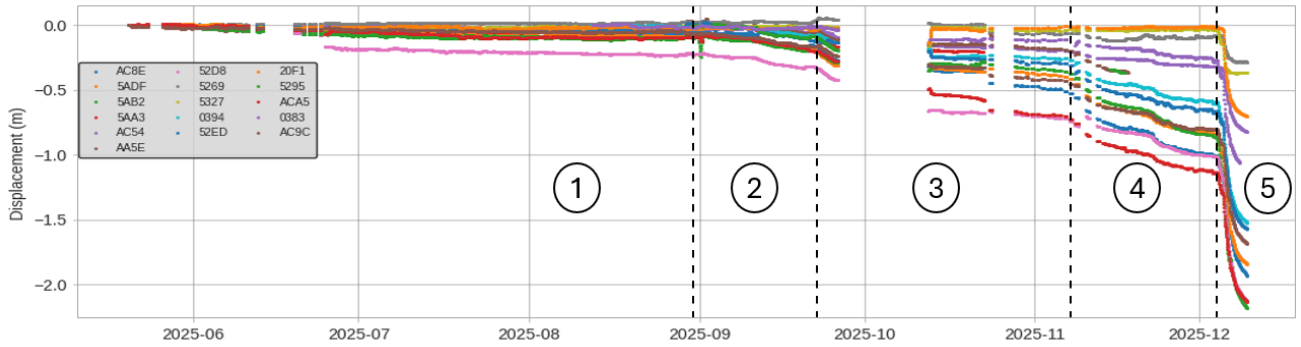


Figure 4 . Déplacements relatifs (1D) mesurés sur le glissement pour toute la période de surveillance, entre mi-mai et début décembre 2025 (en haut).



Figure 5 . Déplacements relatifs projetés en carte (2D) pour 2 périodes distinctes : entre fin août au 4 décembre (à gauche) puis du 4 au 10 décembre 2025 (à droite). (échelle : graduations sur les axes tous les 25 m).

3.2 Autres marqueurs de déplacements

Deux modèles numériques de terrain obtenus par 2 campagnes de photogrammétrie par survol drone de la zone d'étude ont été réalisées successivement en février 2022 puis en novembre 2025. La comparaison de ces 2 MNT et leur exploitation sous forme de 2 coupes AA' et BB' selon la pente du versant (Figure 6, Figure 7) a permis de mettre en évidence une évolution significative du versant sur la période 2022-2025, avec l'ablation d'une épaisseur de matériaux pouvant atteindre jusqu'à 11 mètres en partie sud-ouest de la zone où les dalles de flyshs affleurent actuellement (coupe Sud ou BB' sur Figure 6).

La comparaison des 2 MNT permet par ailleurs d'estimer un volume érodé par l'océan à 50 200 m³ sur la période considérée.

L'utilisation comme éléments repères de 2 gros blocs pluri-métriques (plusieurs dizaines de m³) a également mis en évidence localement un mouvement du versant dans sa partie haute compris entre 18.6 m et 22.5 m le long de la pente (Figure 7).

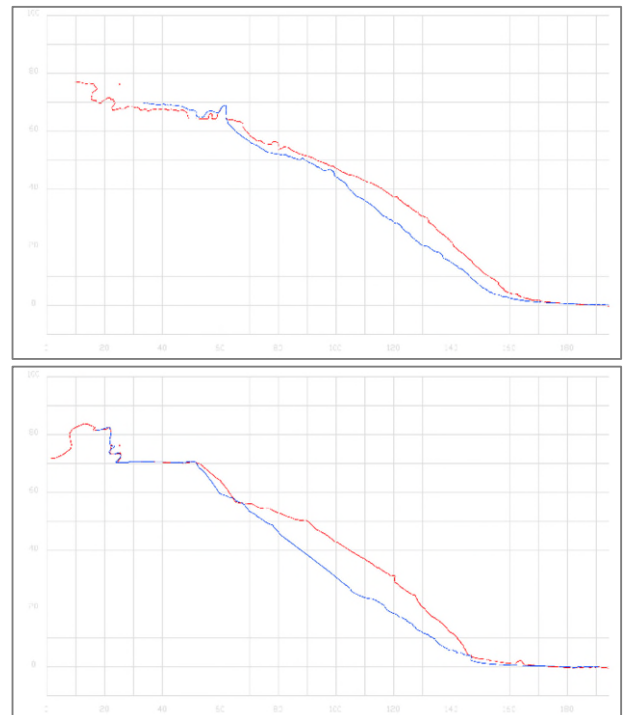


Figure 6 : Evolution de la topographie du versant entre février 2022 (en rouge) et novembre 2025 (en bleu), au niveau des coupes AA' (coupe Nord, en haut) et BB' (coupe Sud, en bas).

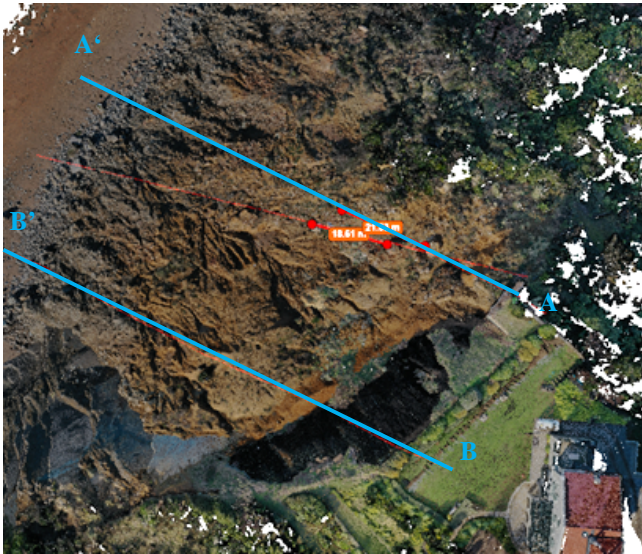


Figure 7 : Localisation des coupes présentées en figure 6 et mouvements de 2 gros blocs identifiés sur les MNT de février 2022 (photo ci-dessus) puis en novembre 2025 (non visible ici).

3.3 Corrélation avec les précipitations

Sur la Figure 8a et 8b, les déplacements relatifs mesurés par RFID sont juxtaposés avec les données de précipitation mesurées sur la station Météo France la plus proche, située au niveau de l'aéroport de Biarritz (à environ 6 km de distance).

Le résultat obtenu met en évidence un effet des forts épisodes de précipitations sur les réactivations successives du versant au cours de l'été/automne 2025, avec un délai de réaction court (1 à 3 jours) pour les épisodes des 20-22 septembre et de début décembre.

Les réactivations de fin août et début novembre semblent plutôt reliées à un effet cumulatif de la pluie sur 2 ou 3 semaines.



Figure 8. Juxtaposition des mouvements de surface mesurés en RFID (a) avec les précipitations quotidiennes (histogramme, en bleu) et cumulées sur 7,14 et 21 jours mesurées par la station Météo France de Biarritz, à quelques km de distance du site (b) et les données de houle (source OCNA – Candhis).

3.4 Effet de la houle

La Figure 8 (a,c) juxtapose également les déplacements de surface mesurés en RFID et les mesures de houle réalisées par Observatoire de la Côte Nouvelle Aquitaine, représentées par hauteur significative des vagues d'une part (courbe rouge) et la puissance cumulée des vagues normalisée par la saison de référence 2013-2014 (en vert).

Sur la période de suivi présentée ici (mai 2025 à décembre 2025), trois des quatre réactivations successives correspondent à un pic d'amplitude de la houle supérieure à 4 mètres. Rappelons également la coïncidence entre la tempête liée à l'approche de l'ouragan Erin au large des côtes européennes à la fin du mois d'août 2025 (et le fort épisode de houle associé) et la réactivation 'initiale' du versant, qui semble montrer un effet probable de la houle sur la stabilité du versant, bien que celui-ci soit difficile à isoler de la pluviométrie.

4 CONCLUSION

La méthode de suivi des mouvements de surface par mesures RFID constitue une méthode intéressante qui permet de suivre ou surveiller des mouvements de terrain lents ou rapides, pouvant atteindre potentiellement jusqu'à plusieurs mètres par minute.

Les différentes périodes de suivi de ce type réalisées sur ce versant semblent mettre en évidence une activité cyclique, avec une remobilisation des terrains préférentiellement en saisons automnale et hivernale - généralement assez météorologiquement perturbées sur la côte basque. Cette érosion littorale semble corrélée, d'une part, aux forts épisodes pluvieux mais aussi, d'autre part, au travail de sape de la houle en pied de versant.

L'association très fréquente de forte houle avec les précipitations lors des épisodes dépressionnaires rend cependant l'effet de chacun de ces paramètres délicat à isoler. L'influence de la houle sur l'érosion littorale de la côte basque est une thématique actuellement en cours étude par le BRGM, selon une approche statistique d'occurrence d(e) (ré)activation de mouvements de versant littoraux suite à de forts épisodes de houle.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Région Nouvelle Aquitaine pour leur soutien financier. Le projet présenté dans cet article a été financé par des fonds FEDER Européens via le projet SUDOE Riskcoast (fonds européens FEDER) puis Falaises (Financement BRGM/Région NA/EPCI).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Charléty A., Le Breton M., Baillet L. and Larose E. (2023). RFID Landslide monitoring : Long-Term Outdoor Signal Processing and Phase Unwrapping. *IEEE Journal of Radio Frequency*, Vol.7.
- Guillen L. (2024). *Erosion des falaises de flysch du Pays Basque Français : apports d'une approche typologique des instabilités gravitaires*. Thèse de doctorat de l'université de Pau et des Pays de l'Adour. <https://theses.hal.science/tel-04816712>
- Le Breton M., Baillet L., Larose E., Rey E., Benech P., Jongmans D., Guyoton F. and Jaboyedoff M. (2019). Passive radio-frequency identification ranging, a dense and weather-robust technique for landslide displacement monitoring, *Eng. Geol.*, vol. 250, pp. 1–10, Feb.
- Le Breton M., Liébault F., Baillet L., Charléty A., Larose E. and Tedjini S. (2022). Dense and long term monitoring of earth surface processes with passive RFID—A review. *Earth Sci. Rev.*, vol. 234, Nov. Art. no. 104225.
- Le Breton M., Charléty A., Baillet L., Larose E., Rey E., Muller F., Grunbaum N., Tisset B., Guillen L. and Guyoton F. (2023). Landslide monitoring with passive RFID, case studies. *Proceedings of the 23th Worldwide Landslide Forum, Firenze, Italy*.
- Peter-Borie M. (2008), *Les massifs rocheux du Crétacé supérieur du Labourd occidental : processus d'altération et instabilités littorales*. Thèse de doctorat de l'université Bordeaux 1. <https://theses.fr/2008BOR13732>