

# ANALYSE DU CYCLE DE VIE D'UN GÉOSYNTHÉTIQUE DE RENFORCEMENT COUPLÉ À UN SYSTÈME D'ALERTE DE DÉTECTION

## LIFE CYCLE ASSESSMENT OF A DETECTION ALERT SYSTEM

Mathilde RIOT<sup>1</sup>, Philippe DELMAS<sup>2</sup>, Thomas MONNET<sup>3</sup>

1 AFITEXINOV, Champhol, France

2 Expert géotechnicien, Fontenay le Fleury, France

3 AFITEXINOV, Cessieu, France

**RÉSUMÉ** – Le couplage d'un dispositif d'auscultation et d'alerte à un système de renforcement par géosynthétique constitue une solution innovante judicieuse dans les ouvrages sensibles comme au-dessus de zones à haut risque d'effondrement localisé. S'il existe déjà quelques études de référence sur l'Analyse du Cycle de Vie de solutions intégrant des géosynthétiques, il a semblé important d'évaluer l'impact de dispositifs d'auscultation et d'alerte sur celui-ci et de le comparer aux autres solutions couramment utilisées. L'article présente une analyse de sensibilité réalisée afin d'identifier les paramètres les plus influents, celle-ci est ensuite étendue à d'autres solutions offrant un même niveau de performance et de sécurité au Maître d'Ouvrage.

Mots-clés : Analyse du Cycle de Vie, auscultation, alerte, géosynthétique, cavité.

**ABSTRACT** – The coupling of an auscultation and warning system to a reinforcement geosynthetic is a judicious innovative solution in case of sensitive structures like areas with high risk of soil subsidence. Although there exist already some reference studies on the Life Cycle Assessment of solutions incorporating geosynthetics, it seems important to evaluate the influence of auscultation and warning system on the environmental impact and to compare it with other currently used solutions. The article presents a sensitivity analysis for identifying the most influencing parameters; it is then extended to other solutions offering the same level of performance and security to the Owner.

Keywords: Life Cycle Assessment, auscultation, alert, geosynthetic, cavity.

## 1. Introduction

L'utilisation de géosynthétiques de renforcement pour prévenir les effondrements localisés sur des cavités est maintenant relativement courante. Au cours du projet de recherche REGIC (REnforcement par Géosynthétique Intelligent sur Cavités naturelles ou anthropiques), une solution géosynthétique innovante a été développée. Elle comprend un géosynthétique de renforcement, couplé à un dispositif d'alerte autonome et à distance permettant de détecter, de localiser puis de surveiller un effondrement localisé ou une doline sous un remblai. Ce système d'alerte comprend un réseau de capteurs à fibres optiques placés sur le géosynthétique et reliés à un boîtier de mesure. Ce système de surveillance permet de fournir une solution pertinente pour une gestion rapide et efficace des risques.

L'objectif de l'étude présentée dans cet article est d'identifier techniquement et environnementalement les conditions de mise en œuvre validant les bénéfices attendus de cette solution innovante de géosynthétique instrumenté par rapport à la solution traditionnelle de renforcement.

L'Analyse du Cycle de Vie est réalisée pour effectuer cette comparaison d'un point de vue environnemental. Les résultats de l'étude comparative visent à fournir des informations sur les performances environnementales de la solution instrumentée développée dans un cadre de recherche et développement. Une analyse de sensibilité est réalisée afin d'identifier les paramètres les plus influents. Cette analyse donne un aperçu de la performance environnementale de la solution développée au cours du projet. Cette analyse détaillée est ensuite étendue aux autres solutions possibles les plus courantes répondant au renforcement d'une cavité, qui offrent le même niveau de performance et de sécurité au client. Cette analyse du cycle de vie a finalement abouti à la publication d'une Déclaration Environnementale de Produit (EPD®) pour la gamme de géosynthétiques concernée.

## 2. Objectif et champ de l'étude

### 2.1. Problème géotechnique à traiter

Le problème choisi comme base de cette étude correspond à celui d'un chantier réel dans la région de Lille. Celui-ci vise le renforcement au-dessus d'une catiche de 2 m de diamètre. Les solutions envisagées doivent permettre d'assurer un tassement résiduel nul pour une durée de service de 100 ans. Différentes solutions techniques et méthodes de suivi, voire d'alerte sont envisagées.

### 2.2. Solutions envisagées dans l'étude de l'Analyse du Cycle de Vie

La solution de référence est une dalle de béton d'une surface de 16 m<sup>2</sup> de béton (25 cm d'épaisseur), placée à 1,5 m de profondeur et recouverte de terre. Un volume de 24 m<sup>3</sup> de sol est excavé avant coulage de la dalle de béton, le coffrage perdu (bois) d'une hauteur de 20 cm en planches de 4 cm d'épaisseur est mis en place avant le coulage de la dalle de 4 m<sup>3</sup>. Après la prise du béton (7 jours), une partie du sol est remise en place (20 m<sup>3</sup>), 4 m<sup>3</sup> du sol initialement excavé est mis en dépôt. La dalle est ferrillée à raison de 50 kg/m<sup>3</sup>. Un suivi par le Maître d'Ouvrage est prévu avec une visite tous les 7 ans.

Une première solution (a) de renforcement par géosynthétique sans auscultation est envisagée. Celui-ci est dimensionné conformément à la norme NF XP G 38065, pour une durée de service de 100 ans avec un tassement résiduel nul en surface. Un suivi par le Maître d'Ouvrage est prévu avec une visite tous les 7 ans. On appellera ce géosynthétique FPET-600.

La deuxième solution (b) de renforcement par géosynthétique est basée sur le même géosynthétique dimensionné conformément à la norme NF XP G 38-065, mais prévoit une auscultation avec suivi automatique FPET-600-I. Un suivi par le Maître d'Ouvrage est prévu avec une visite tous les 7 ans.

La troisième solution (c) de renforcement par géosynthétique est basée sur un géosynthétique optimisé dimensionné conformément à la norme NF XP G 38-065, avec une auscultation et suivi automatique FPET-150-I. Un suivi par le Maître d'Ouvrage est prévu avec une visite tous les 7 ans. L'optimisation prend en compte la réduction du temps d'intervention du Maître d'Ouvrage lié au système d'alerte.

Enfin une quatrième option (d) prend en compte la solution (c) avec un géosynthétique pré-instrumenté mais sans système d'alerte. Il permet de mesurer les déformations éventuelles du géosynthétique mais suppose un suivi par le Maître d'Ouvrage par une visite annuelle.

La surface à recouvrir (64 m<sup>2</sup>, pour tenir compte des ancrages latéraux) est excavée sur une profondeur de 1,5 m. Un volume de 95,4 m<sup>3</sup> est donc excavé. L'utilisation des engins nécessaires pour les terrassements est estimée sur la base de Suer et Andersson-Sköld (2011) qui considèrent l'utilisation d'un excavateur hydraulique et d'un compacteur. Le même volume de sol est excavé et remblayé.

## 3. Analyse du Cycle de Vie

L'étude de l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) est menée sur la base des normes ISO 14040, ISO 14044 et ISO 14025. En accord avec la norme européenne EN 15804 + A1, l'approche « cut-off » est appliquée aux systèmes étudiés. Cela signifie que les matières issues du recyclage ou de la réutilisation (matière secondaire) sont considérées libres de tout impact environnemental.

Afin de pouvoir comparer les différentes solutions entre elles, il est nécessaire de déterminer une Unité Fonctionnelle (UF) commune à l'ensemble des produits comparés et définie dans la norme ISO 14044 comme « *la performance quantifiée d'un système de produits, destinée à être utilisée comme unité de référence dans une ACV* ». On utilisera l'UF pour pondérer et introduire sur une base commune les résultats de cette ACV afin de pouvoir faire les choix optimaux.

Dans le cadre de cette ACV, l'unité fonctionnelle considérée est la suivante : Renforcement d'une cavité (« catiche ») de 2 m de diamètre pendant 100 ans.

### 3.1. Données de production

Comme la dalle de béton est réalisée sur place, seule la production des géosynthétiques, qu'ils soient instrumentés ou non, est prise en compte.

Pour les solutions géosynthétiques, les données de production sont basées sur celles de l'usine d'AFITEXINOV à Saint-Didier-de-la-Tour (38) pour l'année 2019. Elles intègrent :

- la consommation de matières premières, qui comprend :
  - les volumes de matières, intégrant entre autres les pertes liées à la fabrication du géosynthétique ;
  - les consommations des fournisseurs de câblés de renfort, en considérant le mix-énergétique du pays de fabrication de ces câblés ;
  - les consommations pour l'assemblage réalisé dans l'usine de Saint-Didier-de-la-Tour (38).
- la consommation d'énergie et d'eau, qui intègre les consommations d'électricité lors de l'assemblage, la consommation de gaz pour les chariots à gaz et la consommation d'électricité dans les bureaux.
- les emballages, qui comprennent
  - les emballages des matières premières ;
  - les emballages des produits finis.
- les déchets de production : ils comprennent les pertes de matière première, les déchets d'emballage et les autres déchets liés aux activités de l'usine (huiles usagées, eaux usées, etc.).

Dans le cas de géosynthétiques instrumentés, il convient aussi de prendre en compte la production des fibres optiques. On considèrera pour l'étude qu'un mètre de fibre optique est nécessaire pour la conception d'1 m<sup>2</sup> de géotextile instrumenté et les données sont basées sur les éléments fournis par Unger et Gough (2008).

- les étapes de transport, qui intègrent :
  - le transport des matières premières du lieu de production à l'usine de St-Didier-de-la-Tour (38) ;
  - le transport des emballages ;
  - le transport des fibres optiques ;
  - le transport du géosynthétique sur le chantier situé à Lille dans l'étude.

### **3.2. Données de réalisation du chantier**

Les données de réalisation du chantier prennent en compte les phasages et quantités définis au paragraphe 2.2. Il est considéré qu'aucun intrant n'est nécessaire à la mise en place du géotextile et du système de sécurisation.

#### **3.2.3. Données de la phase d'usage**

Les données de la phase d'usage considèrent les différents scénarios définis en 2.2. Pour cette étude, on a considéré que, lors des visites de l'ouvrage, une distance moyenne de 100 km était parcourue.

Pour les scénarios basés sur les solutions instrumentées, la phase d'usage nécessite la prise en compte de la consommation d'électricité du système d'auscultation, voire celle de l'utilisation d'un boîtier de mesure.

La consommation électrique dépend du type de boîtier, suivant le type de fibre optique employé ; pour la présente étude on a considéré un boîtier pour les réseaux de Bragg, en considérant que pour un suivi continu, 15 minutes par jour étaient consacrées aux mesures. Dans le cas d'une connexion au réseau électrique, le chantier étant à Lille, le mix français a été utilisé.

Pour le transfert de données, envoi et stockage des mails, différentes options ont été envisagées qui seront détaillées plus loin. Les consommations d'électricité nécessaires à la transmission et au stockage des mails sont issues des études suivantes : Pflueger (2010) ; Schmidt et al. (2009).

Les données sur le boîtier de mesure de réseaux de Bragg prennent en compte différents composants électroniques pour un poids de 800 g. Le coffrage en acier a été considéré d'un poids plus important que normal (7 kg) pour permettre d'intégrer ultérieurement des éléments tels que des batteries et des panneaux solaires. La durée de vie des éléments électroniques est estimée à 7 ans.

### 3.2.4 Fin de vie

L'utilisation des géosynthétiques, ou de la dalle de béton, étant considérée permanente (100 ans), aucune fin de vie n'est considérée dans l'analyse.

### 3.3. Évaluation de l'impact environnemental et analyse de sensibilité

Pour l'évaluation de l'impact environnemental, les indicateurs sélectionnés sont ceux préconisés par la norme EN 15804 + A1 encadrant les déclarations environnementales de produits de construction, auxquels est ajoutée la consommation cumulée d'énergie (Tableau 1).

Tableau 1. Indicateurs sélectionnés pour l'évaluation d'impacts environnementaux.

Indicateur	Unité	Description
Acidification	kg éq. SO <sub>2</sub>	mesure la contribution à la production de gaz dits « acides » qui réagissent avec l'eau dans l'atmosphère, générant les fameuses « pluies acides ».
Eutrophisation	kg éq. PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mesure les impacts potentiels de la concentration des nutriments chimiques dans un écosystème, entraînant leur changement indésirable (ex : production d'algues entraînant une anoxie dans les milieux aquatiques).
Changement climatique	kg éq. CO <sub>2</sub>	mesure les impacts potentiels de l'émission de gaz à effet de serre.
Oxydation photochimique	kg éq. COVNM	mesure de la création de produits chimiques, tels que l'ozone, dans la troposphère par réaction de la lumière solaire due aux émissions de combustion de combustibles fossiles. Les causes sont le dioxyde de soufre (SO <sub>2</sub> ), le monoxyde de carbone (CO), l'oxyde d'azote (NO) et les composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM).
Épuisement des ressources abiotiques	kg éq. Sb	mesure l'épuisement des ressources naturelles non vivantes, telles que les minéraux et les métaux.
Épuisement des ressources fossiles	MJ	mesure l'épuisement des ressources naturelles non vivantes, telles que les ressources fossiles (pétrole, charbon etc.).
Consommation d'eau	m <sup>3</sup> éq.	mesure la consommation d'eau et la met en perspective avec la disponibilité de l'eau dans la région où elle est consommée.
Épuisement de la couche d'ozone	kg CFC-11 éq.	mesure la capacité d'un composé chimique à dégrader la couche d'ozone en haute atmosphère, notamment les chlorofluorocarbures (CFC).
Consommation cumulée d'énergie	MJ	mesure les quantités totales de ressources énergétiques consommées le long d'une chaîne de valeur.

Pour une analyse de sensibilité complète en vue d'optimiser l'impact du système, l'étude réalisée dans le cadre du projet de recherche a intégré l'influence des paramètres suivants :

- la consommation d'énergie pour le monitoring ;
- la source d'alimentation du boîtier de monitoring : panneaux solaires, ou autres ;
- la durée d'utilisation journalière du système d'auscultation ;
- la durée de service de l'ouvrage ;
- la durée de stockage des mails envoyés par le boîtier ;
- la taille du chantier ;
- la fin de vie des géotextiles : dans le cas d'une application de courte durée (ex : renforcement de cavités dans une activité minière), à côté des activités d'excavation et de transport, un traitement par incinération peut permettre d'éviter la consommation de ressources fossiles.
- le pays de mise en œuvre de l'ouvrage ; outre sur le transport de l'usine de production jusqu'au chantier, celui-ci a un impact sur le mix électrique utilisé pour le monitoring et sur l'impact des solutions alternatives.

Dans la suite de l'article, on évaluera l'impact environnemental par le biais de l'impact sur le changement climatique et la consommation cumulée d'énergie.

### 3.3.1. Impact sur le changement climatique

L'impact sur le changement climatique du traitement par dalle de béton est de 1764 kg CO<sub>2</sub> eq./unité fonctionnelle (UF), contre 717 kg CO<sub>2</sub> eq./UF pour l'emploi du renforcement par géosynthétique non-instrumenté (a) et 1292 kg CO<sub>2</sub> eq./UF pour l'emploi du renforcement par géotextile instrumenté (b) (Figure 1). L'impact environnemental de la solution de renforcement par géosynthétique instrumenté (b) est donc 27% plus faible que le renforcement par dalle de béton mais 1,8 fois plus élevé qu'un renforcement par géosynthétique non-instrumenté (a). Il convient cependant de noter que le dimensionnement mécanique des géosynthétiques non-instrumenté (a) et instrumenté (b) sont identiques, ce qui est discutable dans la mesure où cela ne prend pas en compte l'apport important sur la sécurité apporté par le système l'auscultation et d'alerte. Ce point sera discuté au paragraphe 4.

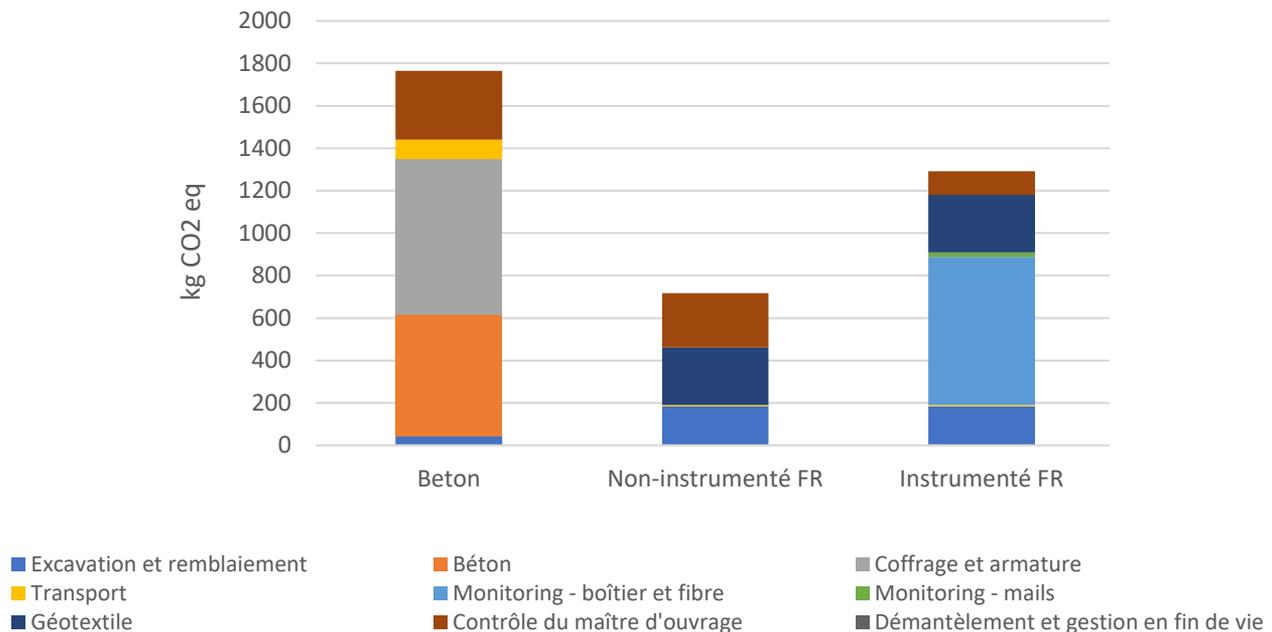


Figure 1. Comparaison de l'impact sur le changement climatique des trois solutions : dalle de béton, géosynthétiques non-instrumenté (a) et instrumenté (b).

Les principaux contributeurs aux impacts sur le changement climatique de chacune des solutions sont détaillés ci-après.

Pour la « dalle de béton », les premiers contributeurs sont la production du coffrage et de l'armature. Le deuxième contributeur est la production du béton, dont 75% des impacts sont dus aux émissions directes liées à la production, notamment au CO<sub>2</sub> émis lors de la calcination du calcaire. Le troisième contributeur est lié aux déplacements du Maître d'Ouvrage sur le site tous les 7 ans.

Pour le géosynthétique non-instrumenté (a), le premier contributeur est la production du produit, qui représente 38% de l'impact total. Celui-ci est majoritairement dû aux fibres de renforcement en PET. Le deuxième contributeur est dû aux déplacements du Maître d'Ouvrage. Ces visites ont des impacts similaires pour les solutions « dalle de béton » et géotextile non-instrumenté (a) en raison de la même périodicité. Le troisième contributeur est l'excavation/remblaiement lors de la mise en place du géosynthétique. La surface en jeu étant plus élevée que pour la « dalle béton » (64 m<sup>2</sup> contre 16 m<sup>2</sup>), l'impact de cette étape est plus important que pour la « dalle de béton ».

Pour le géotextile instrumenté

(b) le premier contributeur est la production du boîtier de mesure, en particulier de ses composants électroniques. La base de données utilisée ne permettant pas une modélisation précise de l'impact du boîtier, celui-ci reste à prendre avec précaution. Cependant, cette forte contribution révèle le potentiel élevé de l'optimisation de son impact sur l'ensemble du cycle de vie de la solution géosynthétique instrumenté (b) et montre également la faible contribution de la consommation d'électricité. Le deuxième contributeur est la production du géotextile et le troisième est liée aux déplacements du Maître d'Ouvrage. Viennent ensuite les étapes de terrassement et le transfert et le stockage des mails.

### 3.3.2. Impact sur la consommation cumulée d'énergie

La consommation cumulée d'énergie de la solution « dalle de béton » est de 20,8 GJ/Unité Fonctionnelle (UF), contre 13,6 GJ/UF pour la solution de renforcement par géosynthétique non-instrumenté (a) et 34,1 GJ/UF pour solution de renforcement par géosynthétique instrumenté (b) (Figure 2).

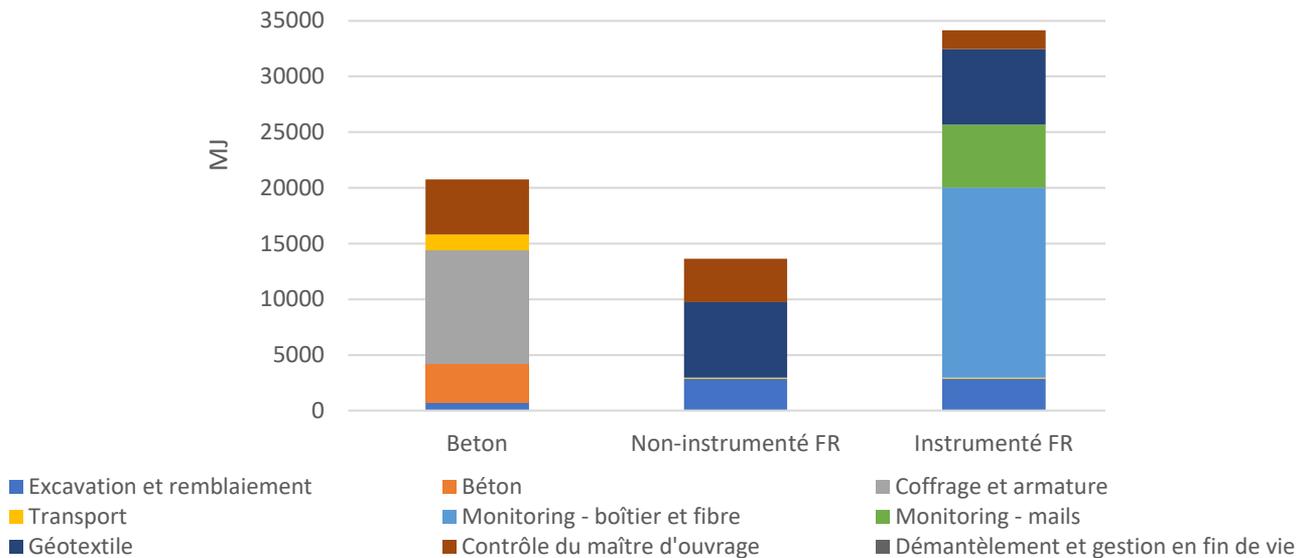


Figure 2. Comparaison de l'impact sur la consommation cumulée d'énergie des trois scénarios de renforcement

La solution de renforcement par géosynthétique instrumenté (b) est celle qui nécessite le plus de ressources énergétiques le long de son cycle de vie. Les impacts des solutions « dalle de béton » et géotextile non-instrumenté (a) sont respectivement 39% et 60% plus faibles.

Les principaux contributeurs aux impacts de chacun des scénarios sont détaillés ci-après.

Pour la « dalle de béton », le premier contributeur correspond à la production de l'armature (48%). Le deuxième est lié aux déplacements du Maître d'Ouvrage (24%), suivi par la production du béton (17%).

Pour le géosynthétique non-instrumenté (a), le premier contributeur est lié à la production du produit, (50% de l'impact total) ; celui-ci est majoritairement dû aux fibres de PET. Le deuxième contributeur est lié aux déplacements du Maître d'Ouvrage (29%), suivie par le terrassement (21%).

Pour le géosynthétique instrumenté (b) : le premier contributeur est lié à la production du boîtier d'auscultation et d'alerte (environ 50%), suivi par la production du géosynthétique et par le transfert et le stockage des mails. L'impact du système de suivi, d'auscultation et d'alerte (« boîtier et fibres optiques ») est pour 60% imputable à la production du boîtier et 40% à la consommation d'électricité.

Comme mentionné lors de l'analyse de l'impact environnemental (3.3.1), le dimensionnement mécanique des géosynthétiques non-instrumenté (a) et instrumenté (b) sont identiques ce qui est discutable dans la mesure où cela ne prend pas en compte l'apport important sur la sécurité apporté par le système l'auscultation et d'alerte.

D'autre part, comme montré aussi en (3.3.1), le fort niveau de consommation lié au système de suivi d'auscultation et d'alerte lors de cette première analyse révèle un potentiel important d'optimisation de la conception du système. On notera comme éventuelles possibilités d'améliorations la consommation du système de suivi et d'alerte, son type d'alimentation (électrique, solaire, etc.), la durée journalière d'auscultation (mesure du géosynthétique), la durée journalière de la connexion au serveur de suivi (permanente, ponctuelle en cas d'alerte locale, etc.), le stockage des mails (dans le « cloud », en local).

### 3.3.3. Tendances de l'évolution de l'Analyse de Cycle de Vie en fonction des paramètres de conception du renforcement

L'étude paramétrique réalisée dans le cadre de ce projet de recherche a permis de dégager les tendances suivantes :

- dans le cas d'une solution avec un géosynthétique instrumenté (b) avec un système d'auscultation et d'alerte associé :

- plus la durée de service de l'ouvrage augmente, plus la durée journalière de l'auscultation a un impact important sur la consommation cumulée d'énergie ;
  - la réduction du stockage des mails sur le « cloud » à 1 semaine au lieu de 1 an diminue significativement l'impact environnemental ;
  - la consommation électrique du boîtier d'auscultation a peu d'impact sur les résultats ;
  - le mix électrique du pays de mise en œuvre de la solution géosynthétique instrumentée a un fort impact sur sa performance environnementale.
- comparaison de la solution « dalle béton » et géosynthétique instrumenté (b) avec un système d'auscultation et d'alerte associé :
- l'augmentation du temps de service de l'ouvrage a une influence plus grande sur l'impact environnemental de la solution « dalle béton » et que sur celui du géosynthétique instrumenté avec un système d'auscultation et d'alerte associé ;
  - de même, plus la zone de l'ouvrage traitée est importante, plus l'impact environnemental de la solution géosynthétique instrumenté avec un système d'auscultation d'alerte associé présente un impact environnemental réduit par rapport à la solution « dalle béton ».

#### **4. Comparaison de l'impact environnemental de différentes solutions suivant le niveau de sécurité envisagé en fonction du risque de l'ouvrage**

Cette partie présente de manière synthétique comment, pour un niveau de sécurité donné, il est judicieux d'adapter le dimensionnement du géosynthétique de renforcement en fonction de l'utilisation, ou non, d'un système d'auscultation et d'alerte. Il est important d'analyser les ouvrages de manière comparable en matière de sécurité et justifiables techniquement vis-à-vis d'un Maître d'Ouvrage. La comparaison qui suit s'appuie sur l'exemple d'une cavité potentielle, similaire à celle présentée en 2.1 et en envisageant différentes hypothèses d'évolution du risque.

##### **4.1. La cavité ne présente pas de risque de s'élargir au-delà du diamètre nominal**

Si l'on considère que la cavité ne présente aucun risque de s'élargir au-delà du diamètre nominal, les solutions en concurrence peuvent être :

- la solution « dalle béton »
- un géosynthétique non instrumenté (a)

Le dimensionnement du géosynthétique est réalisé suivant la norme NF XP G38-065 pour un tassement nul en surface et une durée de service de 100 ans.

Pour ces deux solutions, il a été prévu que le Maître d'Ouvrage réalise une visite de surveillance tous les 7 ans.

##### **4.2. La cavité peut présenter un risque non négligeable de s'élargir au-delà du diamètre nominal**

Si on considère que la cavité peut présenter un risque non négligeable de s'élargir au-delà du diamètre nominal (ou que ce risque n'est pas connu et que le Maître d'Ouvrage veut un suivi en continu pour accepter la solution GSY), les solutions en concurrence peuvent être :

- la solution « dalle béton »
- un géosynthétique instrumenté avec système d'auscultation et d'alerte (b)
- un géosynthétique « optimisé » instrumenté avec système d'auscultation et d'alerte (c)

Le dimensionnement du géosynthétique (b) est réalisé suivant la norme NF XP G38-065 pour un tassement nul en surface et une durée de service de 100 ans.

Pour le dimensionnement du géosynthétique (c), il est important de prendre en compte les avantages apportés par le système d'auscultation et d'alerte. En effet, le suivi en continu permet de justifier de dimensionner le géosynthétique pour l'ouverture partielle de la cavité, par exemple D/2 ; en appliquant la norme NF XP G38-065, on peut ainsi justifier un géosynthétique (c) avec une résistance réduite par rapport au géosynthétique (b). Grâce au système d'auscultation et d'alerte, il est possible d'assurer l'obtention d'un tassement nul en surface et une durée de service de 100 ans.

Pour ces trois solutions, il a été prévu que le Maître d'Ouvrage réalise une visite de surveillance tous les 7 ans.

#### 4.3. Le risque que la cavité s'élargisse au-delà du diamètre nominal n'est pas bien connu mais a priori n'est pas très élevé

Si l'on considère que le risque pour que la cavité s'élargisse au-delà du diamètre nominal n'est pas bien connu mais a priori n'est pas très élevé au moins au début, les solutions en concurrence peuvent être :

- la solution « dalle béton »
- un géosynthétique instrumenté avec un capteur optique mais sans suivi en continu (d)

Cette solution géosynthétique permet un suivi modulable, ponctuel au début (par exemple une mesure par an) qui peut s'accroître dans le temps et peut même se convertir en suivi continu si les choses s'aggravent. Le dimensionnement du géosynthétique est réalisé suivant la norme NF XP G38-065 pour un tassement nul en surface et une durée de service de 100 ans.

Pour la solution « dalle béton », il a été prévu que le Maître d'Ouvrage réalise une visite de surveillance tous les 7 ans. Cependant pour la solution géosynthétique il a été prévu que le Maître d'Ouvrage réalise une visite de surveillance tous les ans.

#### 4.4. Analyse de l'impact sur l'environnement des différentes solutions suivant les hypothèses de risque vis-à-vis de la cavité

Pour cette analyse, on a considéré les hypothèses suivantes :

Une consommation électrique d'une heure par mesure, si la mesure de la fibre optique est réalisée ponctuellement ; cependant en cas de suivi continu des panneaux solaires sont systématiquement utilisés.

Un envoi par jour des données de mesures au serveur central, sans stockage en ligne ; sauf en cas d'alerte.

Les figures 3, 4 et 5 présentent la comparaison de l'impact sur le changement climatique des différentes solutions suivant les différentes hypothèses de risque d'ouverture de cavité.

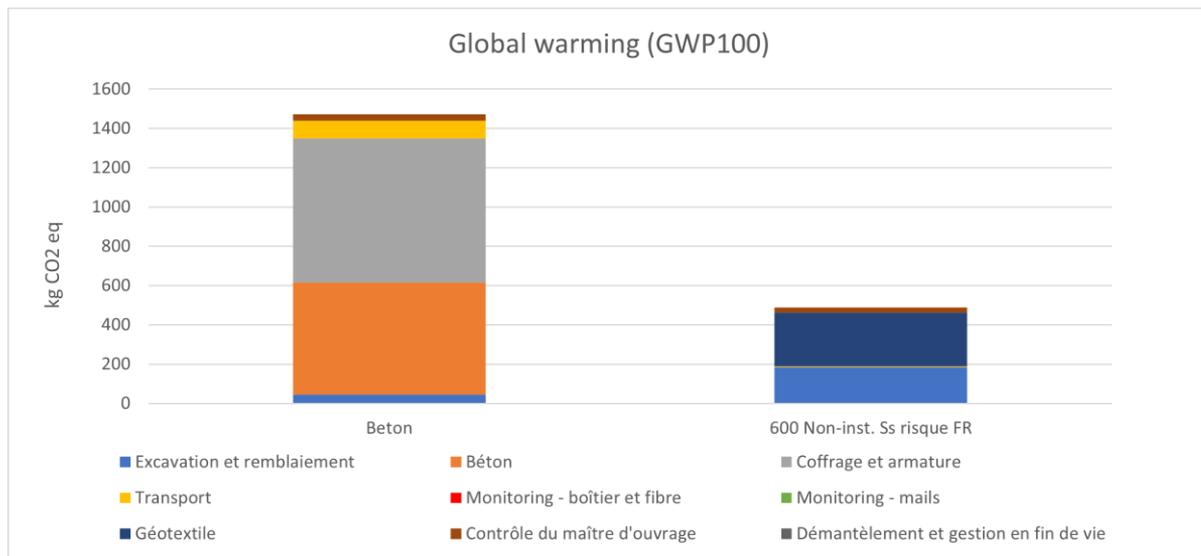


Figure 3. La cavité ne présente pas de risque de s'élargir au-delà du diamètre nominal : comparaison de la solution « dalle béton » et de celle d'un géosynthétique non-instrumenté (a).

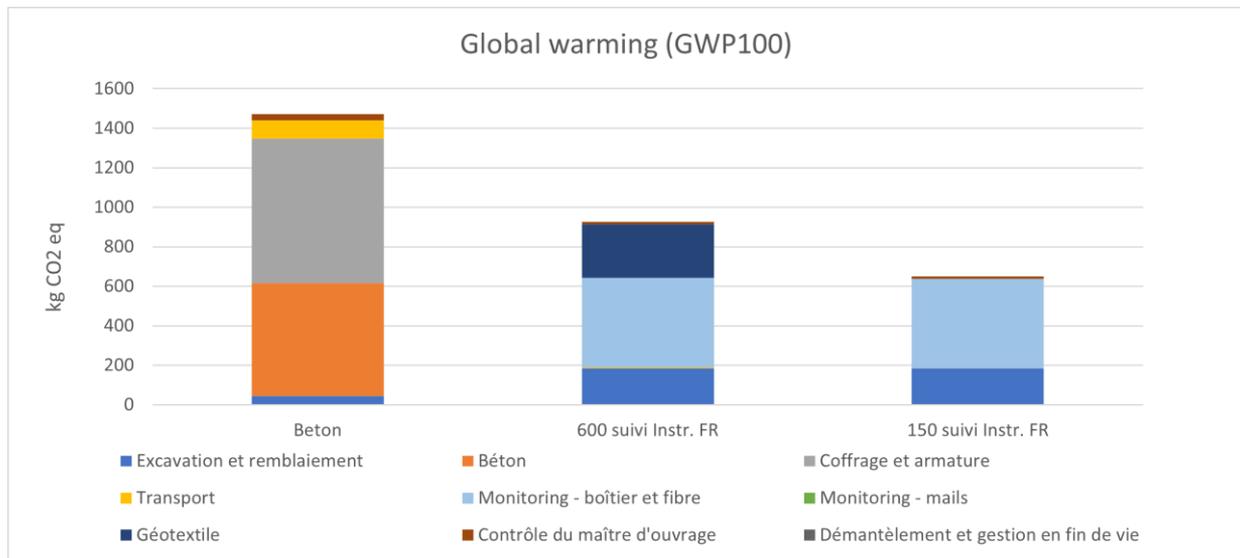


Figure 4. La cavité peut présenter un risque non négligeable de s'élargir au-delà du diamètre nominal : comparaison de la solution « dalle béton », de celle d'un géosynthétique instrumenté avec système d'auscultation et d'alerte (b) et de celle d'un géosynthétique « optimisé » instrumenté avec système d'auscultation et d'alerte (c).

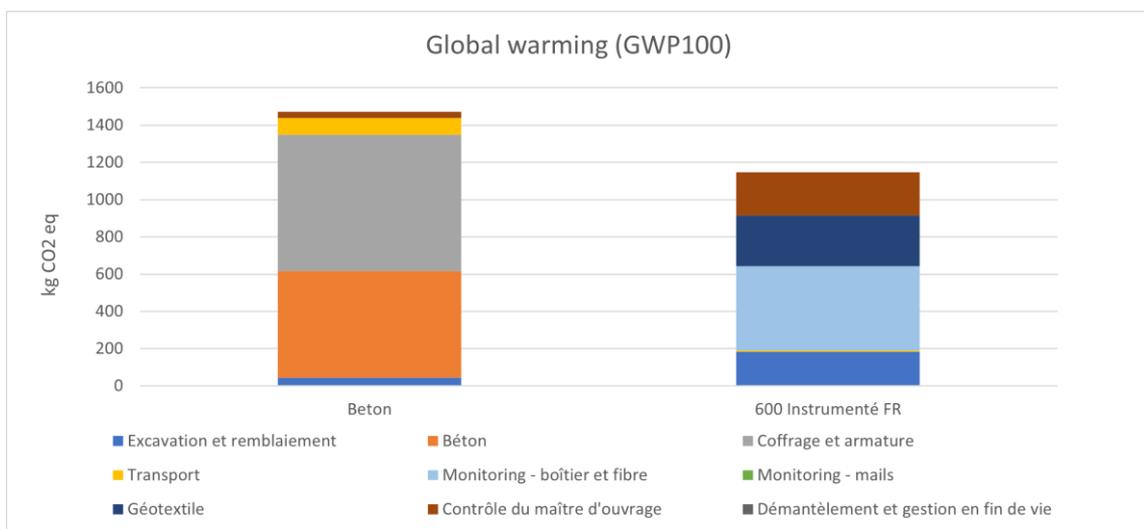


Figure 5. Le risque que la cavité s'élargisse au-delà du diamètre nominal est non connu mais a priori n'est pas très élevé au moins au début : comparaison de la solution « dalle béton » et de celle d'un géosynthétique instrumenté avec un capteur optique mais sans suivi en continu (d)

## 5. Conclusion

L'étude de l'Analyse du Cycle de Vie de solutions intégrant des géosynthétiques instrumentés, avec dispositif d'auscultation et d'alerte, a montré combien cette évaluation était importante pour optimiser la conception du système de renforcement, en particulier pour les ouvrages sensibles comme au-dessus de zones à haut risque d'effondrement localisé, objet de ce projet de recherche.

Il a été possible d'évaluer et de quantifier l'influence des différents paramètres de conception du système (géosynthétique, instrumentation, système d'auscultation et d'alerte) sur l'impact sur le changement climatique et sur l'impact sur la consommation cumulée d'énergie.

L'outil développé a ainsi permis de montrer qu'il était possible d'adapter et d'optimiser la solution de traitement et de suivi d'une zone à haut risque d'effondrement localisé en fonction du niveau de risque lié à l'évolution potentielle de la cavité.

On notera l'intérêt quasi systématique de l'adjonction d'une instrumentation et d'un système de suivi optimisé du point de vue de l'Analyse du Cycle de Vie tant du point de vue technique que de la sécurité. Cette étude valide ainsi les bénéfices attendus de cette solution innovante de géosynthétique instrumenté par rapport à la solution traditionnelle de renforcement, dans des conditions optimisées et adaptées à chaque chantier comme ici dans la région de Lille sur une cavité de 2m de diamètre.

Cette Analyse du Cycle de Vie a enfin abouti à la publication d'une Déclaration Environnementale de Produit EPD® pour la gamme de géosynthétiques concernée, qui fournit les données sur l'impact environnemental du géosynthétique. Ce document présente les données de façon standardisée pour les comparer aux différentes solutions du marché.

## 6. Remerciements

Les partenaires du projet REGIC, AfiteXinov, le laboratoire 3SR et l'Inéris tiennent à remercier le Pôle de Compétitivité Techtera pour sa labellisation et l'Ademe pour son soutien financier dans le cadre de l'appel à projets PIA « Route du futur ». Les auteurs tiennent en outre à remercier tous les collaborateurs et notamment le laboratoire GEOMAS de l'INSA Lyon qui ont participé à la collecte des données et à l'interprétation des résultats de cette Analyse de Cycle de Vie ainsi qu'au bon déroulement de l'ensemble du projet REGIC.

## 7. Références bibliographiques

- ISO 14040 (2006) Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework
- ISO 14044 (2006) Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines
- ISO 14025 (2010) Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures
- EN 15804 + A1 (2016) Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction
- NF XP G 38-065, (2020) Géosynthétiques, géotextiles et produits apparentés — Renforcement de la base de remblais sur zones à risques d'effondrements — Justification du dimensionnement et éléments de conception, *AFNOR*, 50 pages.
- Pflueger J. (2010) Understanding data center energy intensity, *A Dell Technical White Paper*.
- Schmidt, Anders, Nanja Heddal Kløverpris, (2009) Environmental impacts from digital solutions as an alternative to conventional paper-based solutions.
- Suer P., Andersson-Sköld, Y., (2011) Biofuel or excavation? - Life cycle assessment (LCA) of soil remediation options. *Biomass and Bioenergy* 35 (2): 969–81. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2010.11.022>.
- Unger N., Gough O. (2008) Life cycle considerations about optic fibre cable and copper cable systems: A case study. *Journal of Cleaner Production* 16 (14): 1517–25. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2007.08.016>.