Annexe 4 : Tierce expertise (BRGM)

Confidentiel

Projet d'Installation de Stockage de Déchets Inertes de Cocherel (77) Tierce-expertise de l'évaluation de l'impact de l'ISDI sur la qualité des eaux souterraines.

Rapport final

BRGM/RC-69525-FR
Mai 2020

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Confidentiel

Projet d'Installation de Stockage de Déchets Inertes de Cocherel (77) Tierce-expertise de l'évaluation de l'impact de l'ISDI sur la qualité des eaux souterraines.

Rapport final

BRGM/RC-69525-FR
Mai 2020

G. Boissard, P. Audigane

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : B. Chevrier	Nom : H. Léprond
Date : 04/05/2020	Date : 05/05/2020
Signature :	Signature **:**

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Avertissement :

Le tirage initial de ce rapport, en nombre fixé par convention, est diffusé à son commanditaire. Sa communicabilité ultérieure à des tiers est liée à la prise d'une décision administrative formelle à laquelle il concourt, conformément à la loi n° 78-753 du 17 Juillet 1978. Passé ce délai, ce rapport devient communicable à tout tiers extérieur qui en ferait la demande ; le BRGM ne peut plus être tenu comme responsable de l'usage qui pourrait en être fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Ce rapport est le produit d'une expertise institutionnelle qui engage la responsabilité civile du BRGM. Il constitue un tout indissociable et complet ; une exploitation partielle ou sortie du contexte particulier de l'expertise n'engage pas la responsabilité du BRGM.

La diffusion des rapports publics est soumise aux conditions de communicabilité des documents, définie en accord avec le demandeur. Aucune diffusion du présent document vers des tiers identifiés ne sera volontairement engagée par le BRGM sans notification explicite du demandeur.

Le BRGM a mis en place un dispositif de déontologie visant à développer une culture de l'intégrité et de la responsabilité dans le quotidien de tous ses salariés.

Après examen, il est ressorti qu'il n'existait aucun lien d'intérêt :

- ***entre le BRGM et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise,***
- ***entre les salariés du BRGM qui seront impliqués et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise.***

susceptible de compromettre l'indépendance et l'impartialité du BRGM dans la réalisation de cette expertise.

Ce document a été vérifié et approuvé par :

Vérificateur : Nom : B. Chevrier	Date : 04/05/2020 Fonction : Ingénieur géotechnicien
Approbateur : Nom : H. Léprond	Date : 05/05/2020 Fonction : Responsable de l'unité Sites, Sols et Sédiments Pollués

Mots-clés : expertise, installation de stockage de déchet inertes, modélisation, Cocherel, Seine-et-Marne

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
G. Boissard, P. Audigane (2020) – Projet d'installation de stockage de déchets inertes de Cocherel (77). Tierce-expertise de l'évaluation de l'impact de l'ISDI sur la qualité des eaux souterraines. Rapport BRGM/RC-69525-FR. (57 de pages) p., 26 ill., 2 ann.

© BRGM, année, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La société ROLAND constitue actuellement un dossier d'enregistrement ayant pour but de justifier de l'ouverture d'une Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI) sur la commune de Cocherel (77). Compte tenu de la localisation du site d'étude (Ile-de-France), il est envisagé d'y accueillir une partie des déblais du Grand Paris. Leur composition, pour certains paramètres chimiques, dépasse les valeurs limites maximales d'acceptation en cas d'adaptation et avec facilités autorisées au titre de l'Arrêté Ministériel (AM) du 12 décembre 2014.

En lien avec la nature de ces matériaux et selon les dispositions de l'AM relatif aux conditions d'admission des déchets inertes en Installation de Stockage de Déchets Inertes, la société ROLAND souhaite étudier la possibilité de rehausser les seuils d'acceptation des déchets inertes sur site, par rapport aux seuils définis par l'AM :

- Dans la limite d'un facteur 3 pour les déchets relevant de l'Annexe II du même AM ;
- Au-delà du facteur 3 pour les déchets relevant de l'Annexe I du même AM et sur lesquels des analyses ont été réalisées (dans le cas présent, futurs déblais du Grand Paris, analysés par la Société du Grand Paris).

La DRIEE a demandé à la société ROLAND de faire réaliser une tierce-expertise concernant l'impact sur les eaux souterraines de l'acceptation de ces terres et la société ROLAND a missionné le BRGM pour la réalisation de cette tierce-expertise.

La totalité du dossier de porter à connaissance a été transmise au BRGM par la société ROLAND. Le document examiné dans le cadre de cette expertise est le rapport de ANTEA GROUP : Site de Cocherel (77) Etude hydrodispersive évaluant l'impact du remblaiement avec des matériaux de classe 3+ (Rapport n°A99526/version B du 4 septembre 2019, version C du 4 décembre 2019, version D du 16 décembre 2019, version E du 28 février 2020 et version F du 20 avril 2020).

L'ensemble des remarques formulées par le BRGM ont été prises en compte et les réponses aux demandes d'éclaircissement et d'approfondissement ont été apportées dans les différentes versions du rapport produit par ANTEA GROUP. Ces éléments permettent donc de valider la pertinence des résultats des modélisations et la validité des valeurs seuils proposées.

Le BRGM émet les recommandations suivantes :

- **Le pétitionnaire s'engagera à mettre en œuvre une couche de drainage dans le dispositif de couverture de l'installation de stockage ;**
- **Il est recommandé de réaliser un piézomètre dans l'aquifère des sables de Beauchamp afin de vérifier l'absence de nappe dans ces formations ;**
- **Le pétitionnaire s'engagera à suivre la qualité des eaux souterraines conformément à la norme NF X31-615, a minima au droit de 3 piézomètres (un ouvrage en amont et deux ouvrages en aval hydraulique de l'installation de stockage) et au moins 2 fois par an (en période de hautes eaux et de basses eaux). La réalisation de tout nouveau piézomètre sera à réaliser conformément à la norme NF X31-614. L'aquifère concerné par ce suivi est celui des calcaires du Lutétien sauf si la présence d'une nappe est observée dans les sables de Beauchamp ;**
- **Les résultats du suivi de la qualité des eaux souterraines seront à comparer aux résultats de la modélisation. En cas d'écart entre ces résultats, le**

pétitionnaire s'engagera à en informer l'administration et à mettre en œuvre, si besoin, les actions correctives nécessaires ;

- **Le cadre fourni par le guide d'orientation (version 2 de septembre 2018) sur l'acceptation des déblais et terres excavées de la DRIEE (« ces mesures démontrent l'absence de contamination anthropique mais révèlent néanmoins une surconcentration d'origine naturelle ») devra être respecté.**

Sommaire

Synthèse **3**

1. Introduction **8**

2. Dossier examiné **8**

3. Champs de l'expertise **9**

4. Présentation du contexte **9**

4.1. PRESENTATION DU SITE ET DU PROJET 9

4.2. CONTEXTE MORPHOLOGIQUE 12

4.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE 13

4.4. CONTEXTE HYDROLOGIQUE 21

4.5. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE 22

4.6. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES EAUX 24

4.7. PERMEABILITE DES TERRAINS 24

4.8. FOND GEOCHIMIQUE DES SOLS 26

5. Modélisation **27**

5.1. MODELISATION HYDRODYNAMIQUE 27

5.2. MODELISATION HYDRODISPERSIVE 30

5.3. DISCUSSION DES INCERTITUDES 40

5.4. CONCLUSIONS 40

6. Conclusions **43**

6.1. AVIS DU BRGM SUITE A L'ANALYSE DU DOSSIER INITIAL 43

6.2. AVIS DU BRGM SUITE AUX REPONSES APPORTEES AUX REMARQUES FORMULEES PAR LE BRGM (VERSIONS C ET D DU RAPPORT ANTEA GROUP) 44

6.3. AVIS DU BRGM SUITE AUX REPONSES APPORTEES AUX REMARQUES FORMULEES PAR LE BRGM (VERSIONS E ET F DU RAPPORT ANTEA GROUP) 45

Annexe 1 46

Annexe 2 51

Liste des illustrations

Figure 1 : Localisation géographique de l'ISDI (fond de carte topographique IGN 1/25 000e) – Rapport ANTEA GROUP Rapport n°A99526/version B– 04 septembre 2019)..... 10

Figure 2 : Plan du projet d'ISDI de Cocherel (Source Eiffage – Rapport n°A99526/version B– 04 septembre 2019) 11

Figure 3 : Coupe de principe de création d'un casier de l'ISDI Cocherel (Source Eiffage – Rapport n°A99526/version B– 04 septembre 2019, échelle non respectée) 12

Figure 4 : Extrait de la carte géologique et des zones de mouvement de terrain non localisés (Source : Infoterre) 13

Figure 5 : Zoom sur l'emprise du site d'étude sur fond de carte géologique avec légende de la carte géologique de Meaux n°155 (Rapport ANTEA GROUP)..... 14

Figure 6 : Localisation des sondages de références autour du site (Rapport ANTEA GROUP) 15

Figure 7 : Log stratigraphique validé du sondage BSS000LQAV (Source : Infoterre) 16

Figure 8 : Log stratigraphique validé du sondage BSS000LQAW (Source : Infoterre) 16

Figure 9 : Localisation des sondages réalisés en septembre 2018 (Rapport ANTEA GROUP, Source Eiffage) 18

Figure 10 : Localisation des sondages réalisés en février 2019 (Rapport ANTEA GROUP, Source Eiffage)..... 19

Figure 11 : Carte piézométrique de la nappe du Lutétien en période de hautes eaux en 2014 (Source : SIGES Seine-Normandie) 22

Figure 12 : Log hydrogéologique de BDLISA situé au droit du point Orange sur la carte et localisé dans une entité aquifère des calcaires de Brie 23

Figure 13 : Tests de perméabilité sur les sondages carottés SC4* et SC5..... 24

Figure 14 : Perméabilités issues du rapport Filliat et Duchauvelle, 1981. 25

Figure 15 : Perméabilités retenues pour la modélisation numérique..... 25

Figure 16 : Modèle conceptuel utilisé pour les modélisations (Rapport ANTEA) 27

Figure 17 : Isovaleurs de charges hydrauliques et écoulements de la nappe de la craie - Résultats du modèle SEEP/W (Rapport ANTEA) 28

Figure 18 : Localisation de la coupe d'étude retenue 30

Figure 19 : Paramètres à analyser lors du test de lixiviation et valeurs limites à respecter avec et sans adaptation sur les seuils fixés par l'annexe II de l'AM du 12/12/2014 (Source : rapport ANTEA GROUP)..... 32

Figure 20 : « Concentration représentatives hautes des sols naturels » identifiées par la SGP (Source : rapport ANTEA GROUP)..... 32

Figure 21 : Point cible choisi pour les modélisations hydrodispersives 35

Figure 22 : Synthèse des résultats des modélisations réalisées – Rehausse des seuils « Facteur 3 » (Source : rapport ANTEA GROUP)..... 36

Figure 23 : Synthèse des résultats des modélisations réalisées – Rehausse des seuils « Au-delà du facteur 3 » (Source : rapport ANTEA GROUP) 36

Figure 24 : Synthèse des résultats des modélisations réalisées – Seuils SGP et seuils maximum admissibles (Source : rapport ANTEA GROUP)..... 37

Figure 25 : Exemple de résultat de simulation hydrodispersive pour l'Antimoine (Source : rapport ANTEA GROUP)..... 38

Figure 26 : Tableaux 27 et 28 du rapport ANTEA GROUP 41

1. Introduction

La société ROLAND constitue actuellement un dossier d'enregistrement ayant pour but de justifier de l'ouverture d'une Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI) sur la commune de Cocherel (77). Compte tenu de la localisation du site d'étude (Ile-de-France), il est envisagé d'y accueillir une partie des déblais du Grand Paris. Leur composition, pour certains paramètres chimiques, dépasse les valeurs limites maximales d'acceptation en cas d'adaptation et avec facilités autorisées au titre de l'Arrêté Ministériel (AM) du 12 décembre 2014.

En lien avec la nature de ces matériaux et selon les dispositions de l'AM relatif aux conditions d'admission des déchets inertes en Installation de Stockage de Déchets Inertes, la société ROLAND souhaite étudier la possibilité de rehausser les seuils d'acceptation des déchets inertes sur site, par rapport aux seuils définis par l'AM:

- Dans la limite d'un facteur 3 pour les déchets relevant de l'Annexe II du même AM ;
- Au-delà du facteur 3 pour les déchets relevant de l'Annexe I du même AM et sur lesquels des analyses ont été réalisées (dans le cas présent, futurs déblais du Grand Paris, analysés par la Société du Grand Paris).

La DRIEE a demandé à la société ROLAND de faire réaliser une tierce-expertise concernant l'impact sur les eaux souterraines de l'acceptation de ces terres et la société ROLAND a missionné le BRGM pour la réalisation de cette tierce-expertise.

Le présent document répond à la demande de la DRIEE d'Ile-de-France.

2. Dossier examiné

Le document examiné dans le cadre de cette expertise est le rapport de ANTEA GROUP : *Site de Cocherel (77) Etude hydrodispersive évaluant l'impact du remblaiement avec des matériaux de classe 3+* (Rapport n°A99526/version B – 04 septembre 2019).

Suite aux remarques du BRGM, ANTEA GROUP a transmis au BRGM deux versions modifiées de ce rapport :

- Site de Cocherel (77) Etude hydrodispersive évaluant l'impact du remblaiement avec des matériaux de classe 3+ (Rapport n°A99526/version C – 04 décembre 2019) ;
- Site de Cocherel (77) Etude hydrodispersive évaluant l'impact du remblaiement avec des matériaux de classe 3+ (Rapport n°A99526/version D – 16 décembre 2019) ;

- Site de Cocherel (77) Etude hydrodispersive évaluant l'impact du remblaiement avec des matériaux de classe 3+ (Rapport n°A99526/version E – 28 février 2020) ;
- Site de Cocherel (77) Etude hydrodispersive évaluant l'impact du remblaiement avec des matériaux de classe 3+ (Rapport n°A99526/version F – 20 avril 2020).

La suite du présent document reprend les différentes parties de l'étude hydrodispersive de ANTEA GROUP :

- Présentation du contexte (morphologique, géologique, hydrologique et hydrogéologique) ;
- L'évaluation de l'impact à l'aide d'une modélisation hydrodynamique et hydrodispersive.

3. Champs de l'expertise

Le point à expertiser est l'aspect « eaux souterraines » de l'impact du stockage des terres dépassant les seuils autorisés au titre de l'arrêté du 12 décembre 2014 au droit de l'installation de stockage de Cocherel. La partie relative à la gestion des eaux pluviales menant au dimensionnement des fossés de réception des eaux ne fait donc pas partie de la présente expertise.

4. Présentation du contexte

4.1. PRESENTATION DU SITE ET DU PROJET

L'Installation de Stockage des Déchets Inertes est localisée au sud-ouest du village de Cocherel, dans le département de la Seine-et-Marne (cf. Figure 1).

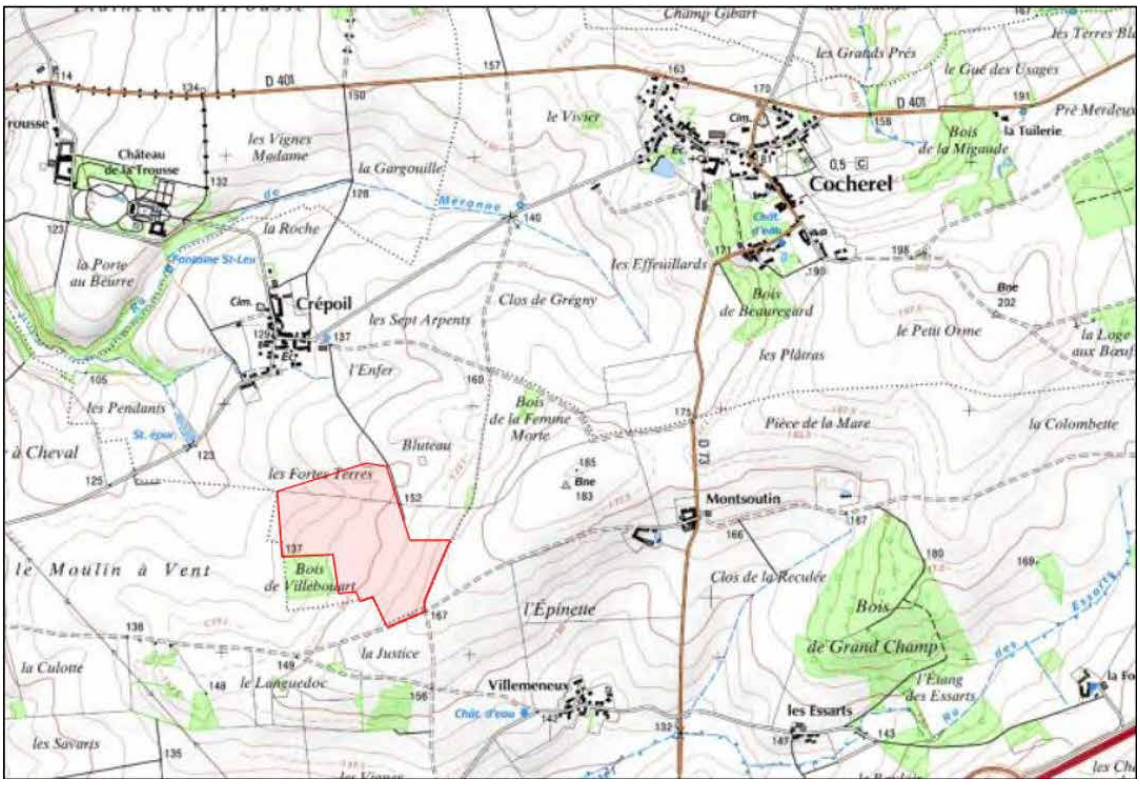


Figure 1 : Localisation géographique de l'ISDI (fond de carte topographique IGN 1/25 000e) – Rapport ANTEA GROUP Rapport n°A99526/version B– 04 septembre 2019)

Ce projet prévoit :

- Le stockage de 1 600 000 m^3 de déchets inertes, sur une période de 10 ans. Le point haut du projet fini (après mise en œuvre de la couverture finale) est fixé à 170,57 m NGF et est situé au sud-est du site. La hauteur maximale de stockage est de l'ordre de 14 m. Le modelé final présentera une pente de 2 % à 10 % vers le nord-est (cf. Figure 2 pour la géométrie des casiers).
- Une division de la zone exploitée en 5 casiers séparés par des diguettes de 2 m de haut ;
- La couverture des déchets inertes par, du haut vers le bas :
  - 0,30 m de terre végétale ;
  - 0,30 m d'argile du site ;
- La restitution des parcelles en parcelles agricoles à l'issue de l'exploitation (cf. Figure 2).

Figure 2 : Plan du projet d'ISDI de Cocherel (Source Eiffage – Rapport n°A99526/version B– 04 septembre 2019)

Préalablement à l'exploitation d'un casier, la terre végétale sera décapée et les argiles du site seront décaissées (sur une profondeur non précisée) sur l'emprise du casier pour constituer les stocks nécessaires à la réalisation des diguettes et de la couverture (cf. Figure 3). Dans l'état actuel, la topographie du site est comprise entre 131 m NGF et 168 m NGF.

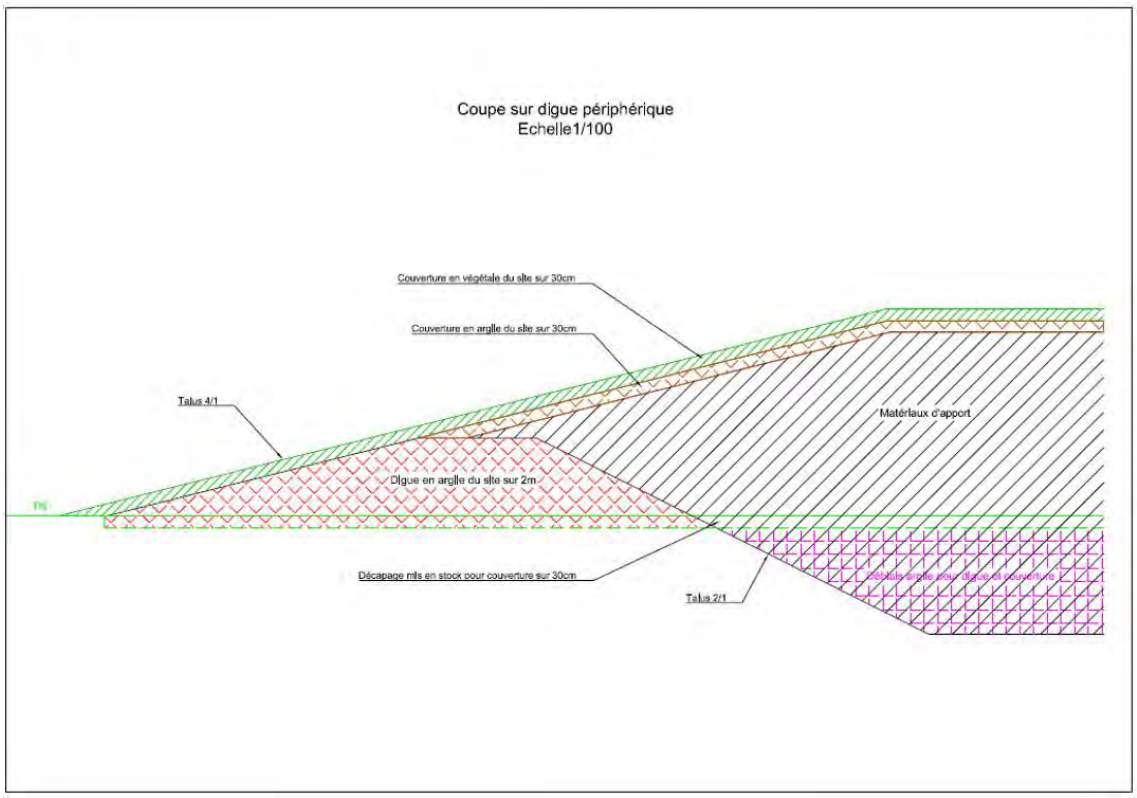


Figure 3 : Coupe de principe de création d'un casier de l'ISDI Cocherel (Source Eiffage – Rapport n°A99526/version B– 04 septembre 2019, échelle non respectée)

4.2. CONTEXTE MORPHOLOGIQUE

Compte tenu de la localisation du site dans le quart sud-est de la carte géologique de Meaux (feuille n°155, éditée par le BRGM), ce dernier est considéré s'inscrire dans les paysages de « collines aux formes molles » comme défini dans la notice de la carte géologique de Meaux (feuille n°155, éditée par le BRGM) :

« *Vers le Sud, cette morphologie tabulaire s'estompe par suite de l'enfoncement des séries et surtout par la présence des niveaux de la série à gypse et de l'argile à meulière. Argiles et marnes donnent des collines aux formes molles couvertes de pâturages et de forêts. Le glissement des terrains argileux y efface partiellement les ressauts liés aux calcaires marinésiens et lutétiens.* »

4.2.1 Avis du BRGM

Les niveaux de la série à gypse, tels que mentionnés ici ainsi que dans la section 5.2.2 du contexte géologique local du rapport analysé, ont été exploités pour le gypse notamment dans la commune de Tancrou. Il est indiqué dans le rapport ANTEA GROUP que les horizons exploités sont sous-jacents à la série des marnes supra-gypseuses et que les carrières ne sont plus exploitées aujourd'hui. Néanmoins, la carte des

mouvements de terrain autour de la zone du site semble présenter des mouvements de terrain définis comme « non localisés » (ce qui signifie soit confidentiels, soit historiquement non référencés mais ayant été identifiés dans la commune) sur Infoterre (Figure 4).

Remarque 1 :

Des éléments complémentaires de vérifications permettant de s'assurer de la stabilité des terrains envisagés (présence de cavités) doivent être apportés.

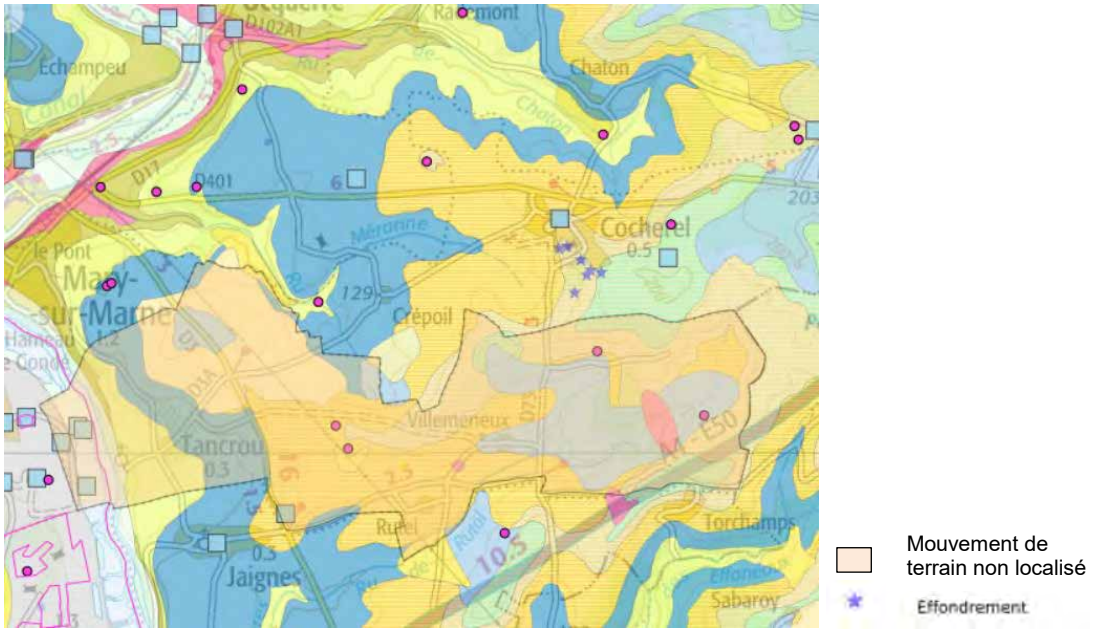


Figure 4 : Extrait de la carte géologique et des zones de mouvement de terrain non localisés (Source : Infoterre)

4.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE

L'étude du contexte géologique local se base sur :

- L'étude de la carte géologique de Meaux (feuille n°155, éditée par le BRGM),
- La base de données BSS (Banque de données du Sous-Sol), notamment les coupes des forages de recherche d'hydrocarbures (forages n°BSS000LQAV à Montsoutin et BSS000LPZG à Villemeneux), et
- Les données ROLAND récoltées pour le développement du projet d'ISDI.

4.3.1 Données de la carte géologique

D'après la carte géologique de Meaux, les formations géologiques rencontrées dans la zone d'étude, des plus récentes aux plus anciennes, sont les suivantes (Figure 5) :

- CRM : Colluvions d'argiles à meulière ;
- RM : Argiles à meulière ;
- RM/e7b : Argile à meulière sur Marnes supra-gypseuses ;
- RM/e7a : Argile à meulière sur Formation du gypse ;
- RM/e6b : Argile à meulière sur calcaire et marnes.

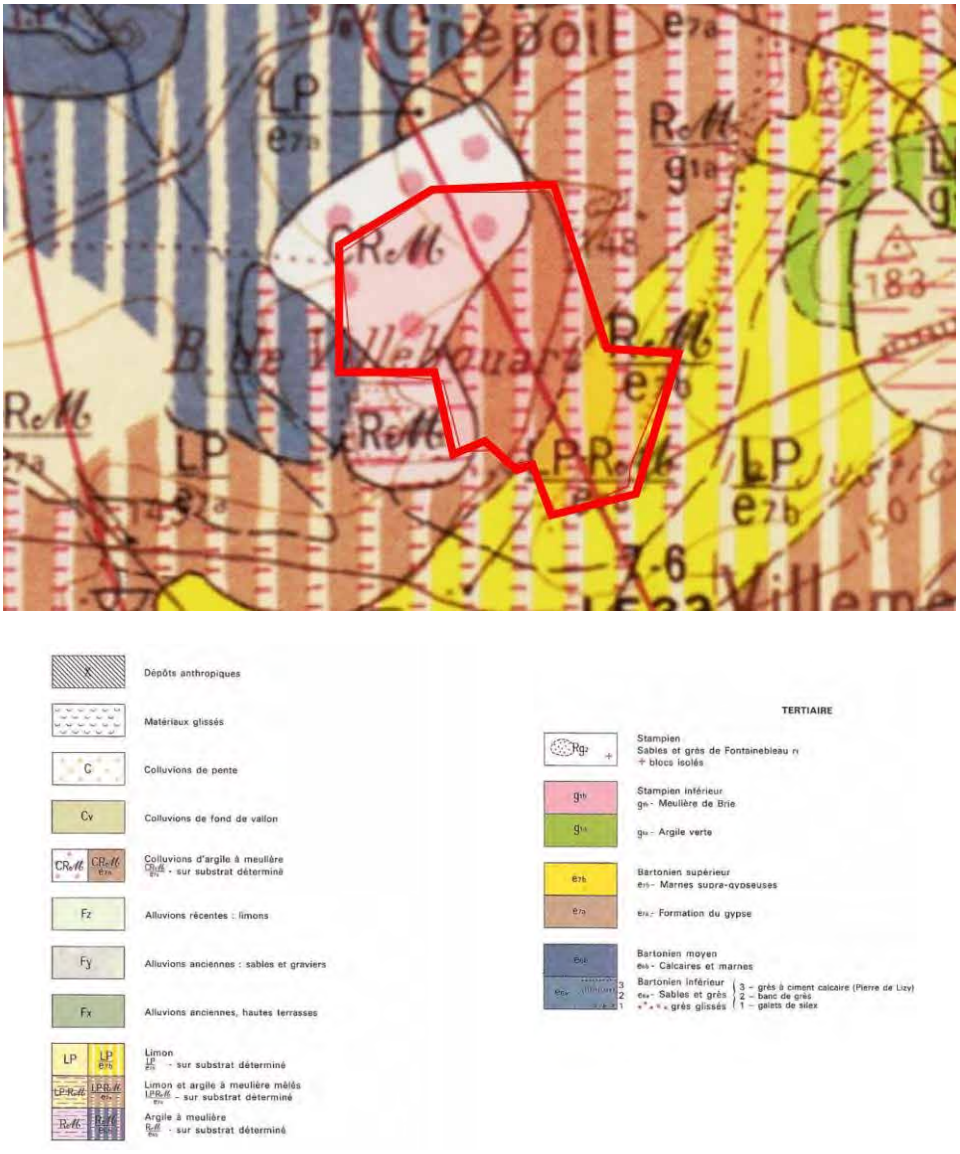


Figure 5 : Zoom sur l'emprise du site d'étude sur fond de carte géologique avec légende de la carte géologique de Meaux n°155 (Rapport ANTEA GROUP)

4.3.2 Données de la BSS

Sont également utilisés les logs des forages BSS000LQAV et BSS000LQAW parmi les 5 forages profonds réalisés notamment dans le cadre de recherche pétrolière (cf. Figure 5). Les logs sont illustrés dans les Figure 7 et Figure 8 ci-dessous.

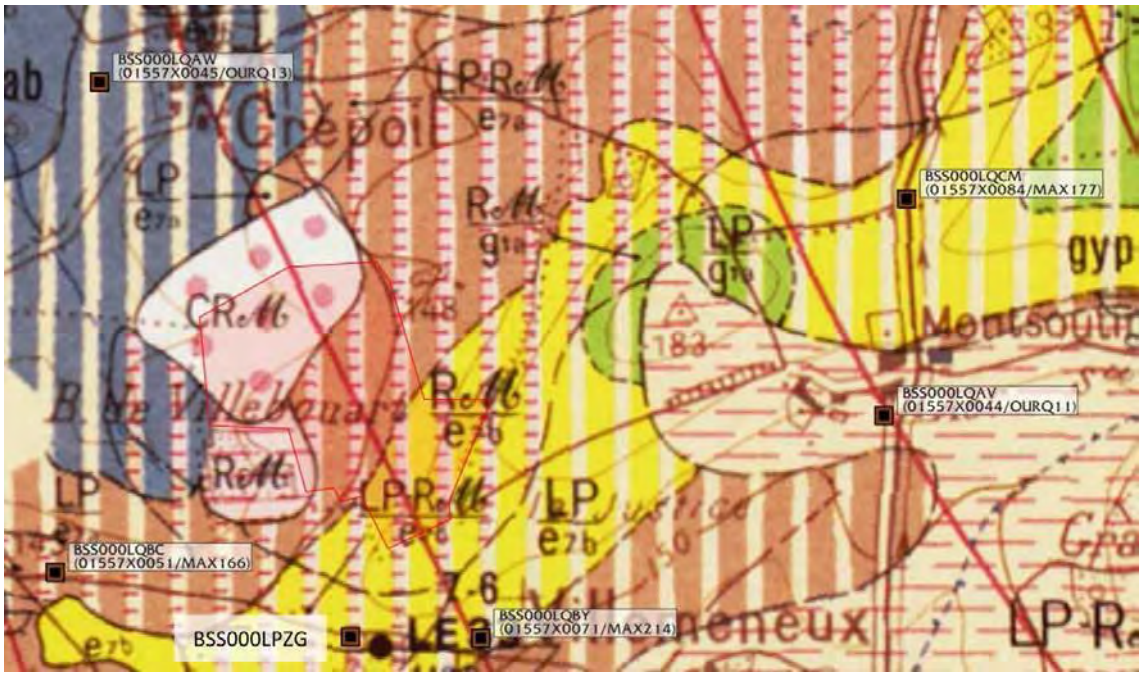


Figure 6 : Localisation des sondages de références autour du site (Rapport ANTEA GROUP)

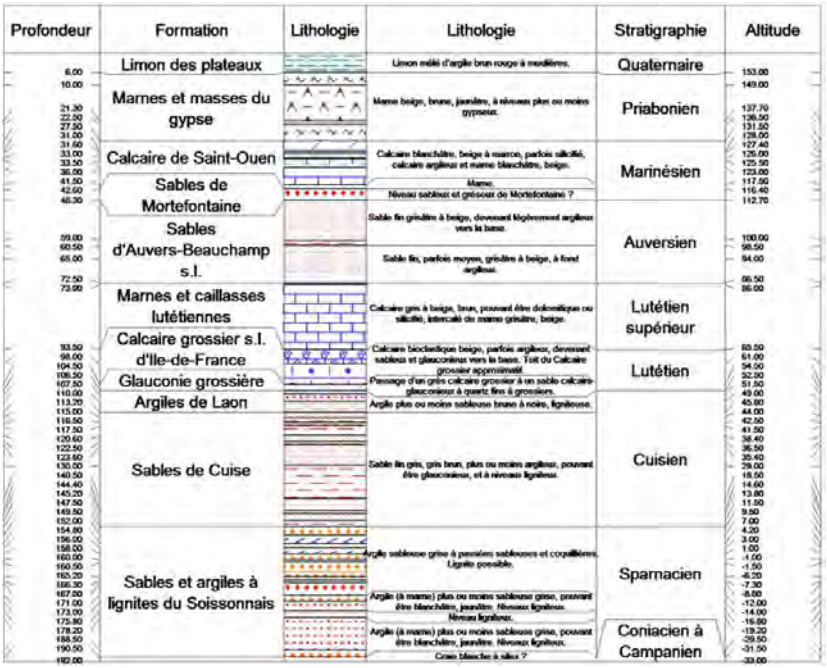


Figure 7 : Log stratigraphique validé du sondage BSS000LQAV (Source : Infoterre)

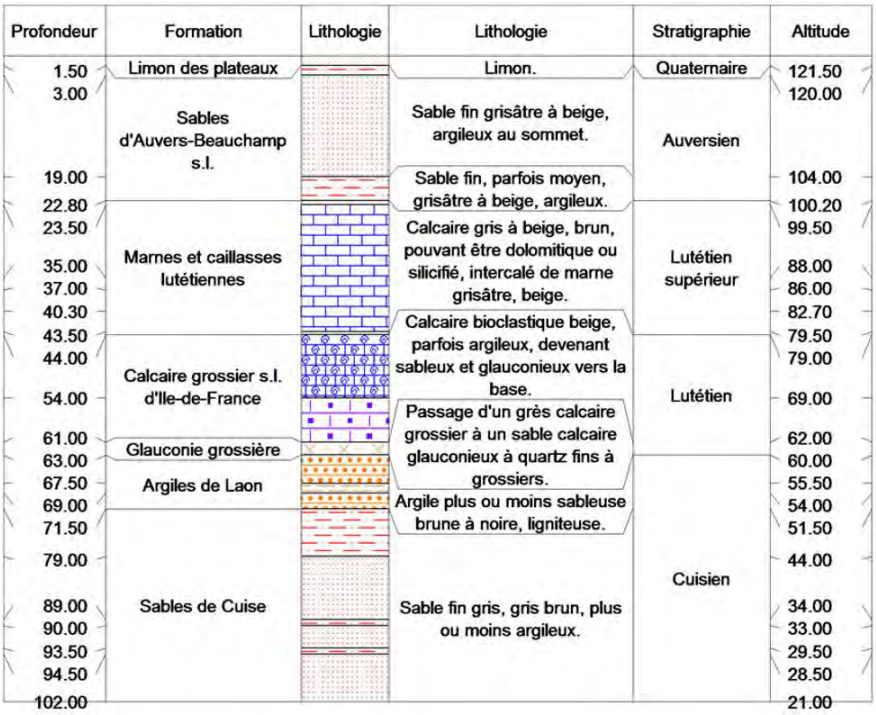


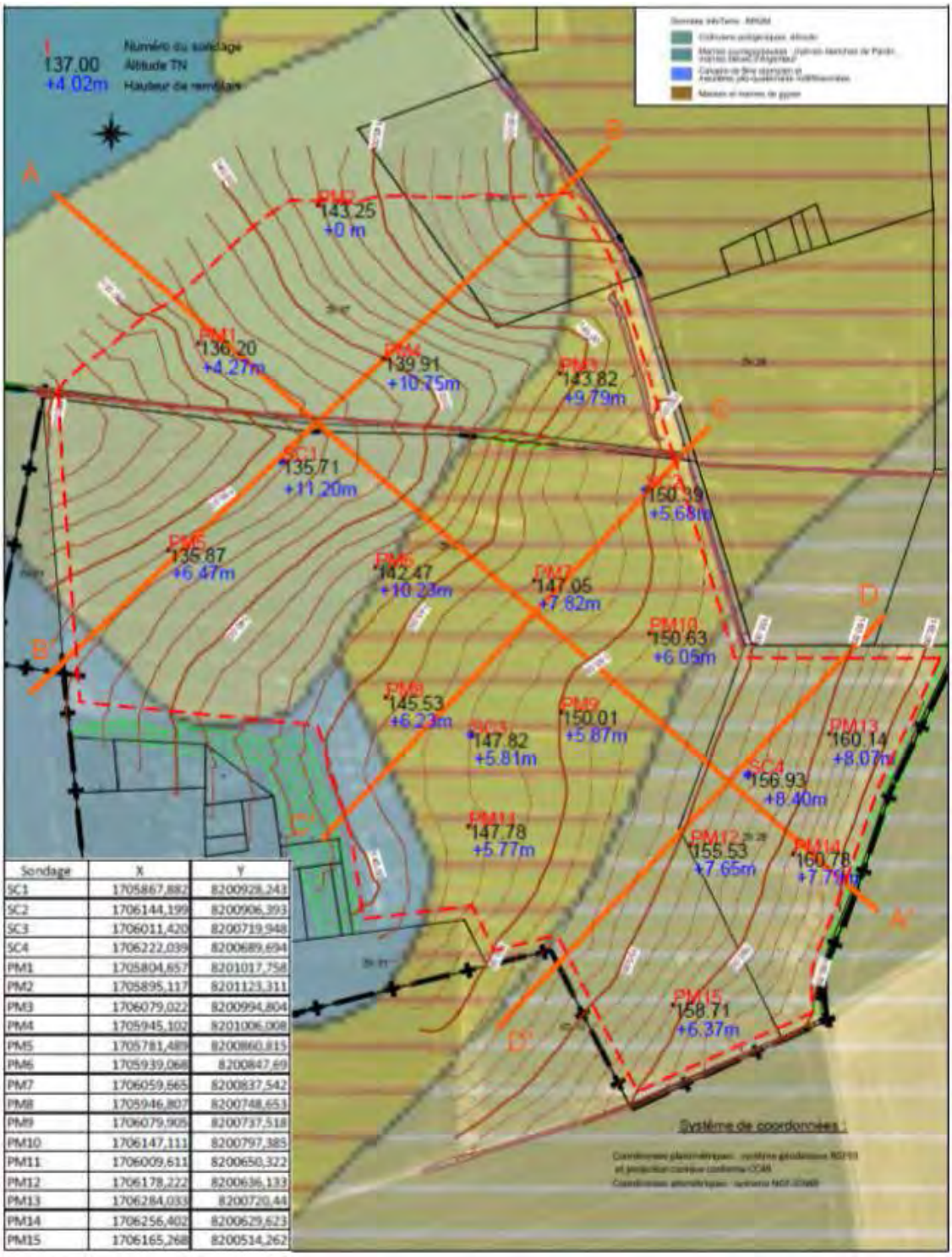
Figure 8 : Log stratigraphique validé du sondage BSS000LQAW (Source : Infoterre)

4.3.3 Données ROLAND

Les données ROLAND correspondent à la campagne de reconnaissance réalisée en deux temps :

- En septembre 2018 :
  - 15 fouilles à la pelle mécanique menées jusque 3 à 4 m de profondeur ;
  - 4 forages carottés de 10 m de profondeur ;
- En février 2019 :
  - 2 sondages carottés supplémentaires (SC4 jusque 25,5 m, SC5 jusque 33 m) visant à atteindre les formations gypsifères du Bartonien. Le sondage SC4* correspondant à la seconde campagne.

La localisation des sondages est fournie sur les Figure 10 et Figure 9.



Sondage	X	Y
SC1	1705867,882	8200928,243
SC2	1706144,199	8200906,393
SC3	1706011,420	8200719,948
SC4	1706222,039	8200689,694
PM1	1705804,657	8201017,758
PM2	1705895,117	8201123,311
PM3	1706079,022	8200994,804
PM4	1705945,102	8201006,008
PM5	1705781,489	8200860,815
PM6	1705939,068	8200847,69
PM7	1706059,565	8200837,542
PM8	1705946,807	8200748,653
PM9	1706079,905	8200737,518
PM10	1706147,111	8200797,385
PM11	1706009,611	8200650,322
PM12	1706178,222	8200636,133
PM13	1706284,033	8200720,44
PM14	1706256,402	8200629,623
PM15	1706165,268	8200514,262

Figure 9 : Localisation des sondages réalisés en septembre 2018 (Rapport ANTEA GROUP, Source Eiffage)

Figure 10 : Localisation des sondages réalisés en février 2019 (Rapport ANTEA GROUP, Source Eiffage)

Il est indiqué dans le rapport ANTEA GROUP que « *les investigations sur site ont permis d'identifier, sous une épaisseur de terre végétale, les formations suivantes :*

- ***Limons des plateaux (LP)** : formation de recouvrement rencontrée au centre et au sud de la zone d'étude (fouilles PM3, PM5, PM6, PM7, PM9, PM10, PM11, PM12, PM13, PM15 et SC1 à 4). Epaisseur de 1 m environ (épaisseur maximale de 3,5 m sur PM5, nord-ouest du site) ;*
- ***Argile résiduelle à meulières (RM)** : formation rencontrée (parfois sous forme de passée argileuse) au centre et au sud du site d'étude (SC2, SC3, SC4, PM2, PM3, PM7, PM8, PM9, PM11, PM12, PM13, PM14 et PM15). Argile de nature très plastique et indurée. Epaisseur moyenne de 1,5 à 2 m ;*
- ***Marnes gypsifères (Bartonien supérieur – e7)** : formation rencontrée au centre et au sud de la zone de projet de façon plus ou moins marquée (SC2, SC3, SC4, SC4*, PM6, PM7, PM8, PM9, PM10, PM11, PM12, PM13, PM14 et PM15). Les deux sous-étages de cet étage sont rencontrés au droit du site :*
  - ***Marnes supra-gypseuses (e7b)** : identifiées au sud du site sous la forme des Marnes blanches de Pantin ;*
  - ***Masses et marnes du gypse (e7a)** : identifiées à l'est de la partie centrale (ton brunâtre plus prononcé) ;*

- ***Bartonien moyen (Marinésien)*** *: formation rencontrée uniquement au nord du site d'étude (fouilles PM1, PM2, PM3, PM4, PM5 et SC1). Alternance de bancs marneux +/- argileux et de calcaire tendre +/- altéré. Recoupé jusque 10 m au droit de SC1.*

La seconde campagne de reconnaissance a permis de recouper les masses gypsifères sur le sondage SC4 mais pas sur le SC5* ».

4.3.4 Avis du BRGM

Le lien entre les données utilisées pour la caractérisation géologique et la géométrie des formations définissant les couches du modèle (Figure 21 du rapport) n'est pas clair et mérite d'être plus explicité. Notamment les formations du gypse et marnes supra-gypseuses, pourtant identifiées sur la carte, dans les fouilles et dans le sondage BSS000LQAV (en rouge ci-dessous), ainsi que la Glauconie grossière identifiée dans les sondages BSS000LQAW et BSSLQAV (en orange ci-dessous) ne sont finalement pas reprises dans la pile lithologique du modèle. Aucune explication n'est fournie justifiant ce choix.

Pour rappel, ci-dessous, les formations identifiées pour chaque type de données :

Carte géologique sur le site, formations affleurantes :
- Colluvions d'argiles à meulières
- RM/e7b Argiles à meulières sur Marnes supra-gypseuses
- RM/e7a Argiles à meulières sur Formation du gypse
- RM/e6b Argiles à meulières sur calcaire et marnes

Fouilles et sondage carotté :
- Limon des plateaux
- Argile à meulière
- Marnes gypsifères

Sondage BSS000LQAW :
- Limon des plateaux
- Sable d'Auvers Beauchamps
- Marnes et Caillasses
- Calcaire Grossier
- Glauconie grossière
- Argile de Laon

Sondage BSS000LQAV :
- Limon de plateaux
- Marnes et masses du gypse
- Calcaire de Saint Ouen
- Sable de Mortefontaine
- Sable d'Auvers Beauchamps

- Marnes et Caillasses
- Calcaire Grossier
- Glauconie grossière
- Argile de Laon

Figure 21 modèle :

- Argile à Meulière
- Calcaire de St-Ouen
- Sable d'Auvers
- Marnes et Caillasses
- Calcaire lutétien
- Argile de Laon

D'autre part, aucune information n'est précisément fournie concernant le choix des épaisseurs des couches du modèle. En particulier, les coupes des fouilles réalisées sur le site ne sont pas intégrées au rapport. Il est simplement mentionné p. 23 que « *pour les besoins de la modélisation, les formations sous-jacentes aux calcaires de Saint-Ouen seront intégrées à la modélisation, jusqu'au toit des argiles de Laon. La succession lithologique sera basée sur le log du sondage BSS000LQAW, donné ci-après* ».

Remarque 2 :

Une coupe géologique conceptuelle (dans l'axe du modèle) doit être apportée avec les profondeurs et les épaisseurs des couches ainsi que des éléments de justification, notamment sur les choix de considérer certaines formations et pas d'autres (en particulier au niveau des Limons des plateaux et des Argiles à meulières).

Par ailleurs, on notera que le Nota p.23 mentionne une annexe dans le rapport « La Ciry de Novembre 2018 » non référencé.

4.4. CONTEXTE HYDROLOGIQUE

Les fiches climatologiques de Passy-en-Valois (02) et Roissy (95) de Météo France (cf Annexe 1) ont été utilisées pour définir la pluviométrie de la zone autour du site.

4.4.1 Avis du BRGM

Le BRGM confirme bien la valeur de 727,6 mm/an notifiée dans la fiche de Passy-en-Valois (cf. Annexe 1). Toutefois, la pluviométrie de Roissy de 693,6 mm et les données de l'évapotranspiration de 852,9 mm/an (cf. Annexe 1) ne sont pas mentionnées dans le rapport et ne permettent pas d'apprécier la valeur de 215 mm/an retenue pour la pluie efficace.

Remarque 3 :

Des éléments précis du calcul de la pluie efficace retenue doivent être indiqués.

D'autre part, le flux calculé en fond de casiers (obtenu en convertissant la pluie efficace de 215 mm/an en m/s) n'est pas de $6{,}7.10^{-9}$ m/s mais de $6{,}82.10^{-9}$ m/s.

Remarque 4 :

Il convient de confirmer que l'erreur commise lors de la conversion de la pluie efficace n'a pas d'impact sur le calcul.

4.5. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

La nappe identifiée comme cible vis-à-vis d'un éventuel impact de la zone de stockage est celle du Lutétien.

La carte piézométrique de cette nappe en période de hautes eaux en 2014 (cf. Figure 11) et figurant dans le document expertisé, montre, au droit du site, un écoulement NE-SO dirigé vers la Marne avec un gradient de 3 pour mille. Au droit du site, la cote est estimée à 56 m NGF, soit environ entre 75 et 112 m sous le niveau du sol.

Figure 11 : Carte piézométrique de la nappe du Lutétien en période de hautes eaux en 2014 (Source : SIGES Seine-Normandie)

Deux forages ont été identifiés à proximité du site et en aval hydrogéologique : l'ouvrage BSS000LPVT exploité et considéré comme potentiellement impacté par le site de stockage et l'ouvrage BSS000LPZJ, non renseigné en terme d'état.

4.5.1 Avis du BRGM

La nappe identifiée comme cible de la zone de stockage est celle du Lutétien qui est effectivement cartographiée par la SIGES Seine-Normandie. Les aquifères cités appartiennent bien tous à la même masse d'eau de l'Eocène du bassin versant de l'Ourcq (HG105).

Aucune présence d'eau n'a été notifiée dans les sondages et fouilles établis par ROLAND (d'une profondeur maximale de 33 m). Néanmoins, l'observation par le BRGM des logs hydrogéologiques dans BDLISA (Base de Donnée des Limites des Systèmes Aquifères) permet d'identifier une entité aquifère localisée à proximité du site dans les calcaires de Brie du Rupélien et située au-dessus de la nappe du Lutétien (Figure 12).

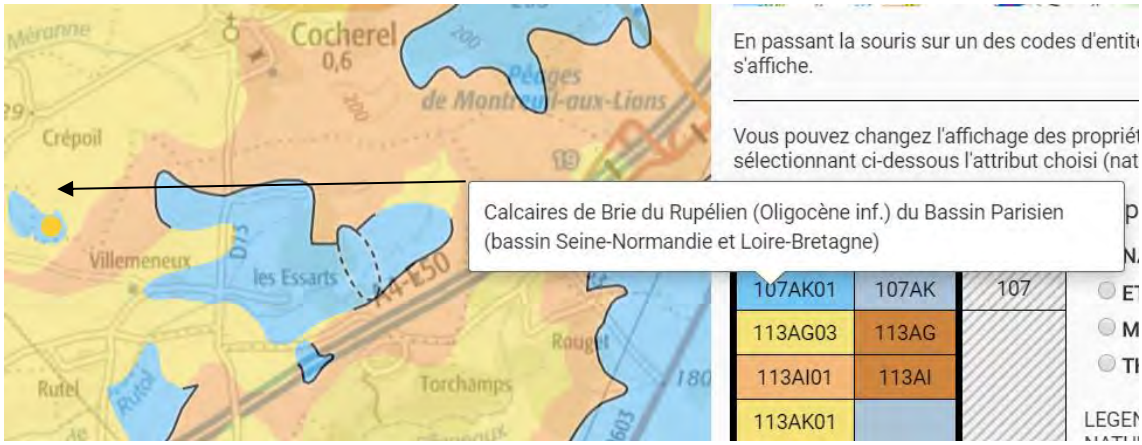


Figure 12 : Log hydrogéologique de BDLISA situé au droit du point Orange sur la carte et localisé dans une entité aquifère des calcaires de Brie

De plus, l'étude ANTEA GROUP a mis en évidence la présence, dans un rayon de 3 km autour du site, de 2 points d'eau recensés dans la BSS et montrant la présence d'eau dans des niveaux supérieurs aux calcaires du Lutétien (les sables de Beauchamp pour le point BSS000LPZJ et les marnes vertes du Sannoisien pour le point BSS000LPZT).

Remarque 5 :

La présence de la nappe du Lutétien au droit du site est attestée mais l'absence d'une nappe plus superficielle reste à démontrer.

D'autre part, il convient également de préciser pourquoi l'ouvrage BSS000LPVT n'a pas été étudié et choisi comme cible du modèle.

Note :

Il est indiqué dans le tableau 2 du rapport ANTEA GROUP que l'ouvrage BSS000LPVT capte les sables de Cuise alors que la consultation de la fiche BSS indique que cet ouvrage capte les calcaires du Lutétien. Cela est à vérifier et à corriger le cas échéant.

4.6. COMPOSITION GEOCHIMIQUE DES EAUX

ANTEA GROUP mentionne dans le rapport que « *les campagnes de reconnaissances réalisées sur site n'ont pas permis d'obtenir d'informations sur la qualité des eaux souterraines* » et préconise pour se faire que : « *pour la phase d'exploitation, il est conseillé de prévoir a minima la réalisation d'un piézomètre en amont hydrogéologique et de deux piézomètres en aval hydrogéologique du site pour pouvoir analyser la qualité des eaux* ».

4.6.1 Avis du BRGM

Comme proposé par ANTEA GROUP, le BRGM confirme le besoin, pour la phase d'exploitation, de prévoir a minima la réalisation d'un piézomètre en amont hydrogéologique et de deux piézomètres en aval hydrogéologique du site pour pouvoir analyser la qualité des eaux.

Le BRGM confirme également le choix de prendre une concentration initiale dans la nappe égale à 50% de la valeur seuil retenue afin de maintenir une position sécuritaire vis-à-vis de la qualité des eaux souterraines.

Le rappel sur les normes de qualité des eaux souterraines par l'arrêté du 2 Juillet 2012 permet de bien situer les objectifs de préservations qualitatifs des masses d'eau potentiellement impactées. Les concentrations des éléments sont correctement mentionnées et rappelées.

4.7. PERMEABILITE DES TERRAINS

Les données de perméabilités analysées et utilisées sont issues :

- des essais de perméabilité sur les échantillons prélevés dans les sondages SC4* et SC5 (mesures de perméabilité à l'appareil triaxal conformément à la norme CEN-ISO TS 17892-11 - Essai à charge constante), cf. Figure 13 ci-dessous :

Sondage / Profondeur de l'essai	Nature des matériaux	Résultats
SC4* / 1 à 2 m	Argiles plastiques brun-beige	$1{,}78.10^{-11}$ m/s
SC4* / 2 à 3 m	Argile plastique brun beige	$5{,}41.10^{-12}$ m/s
SC5 / 1 à 2 m	Argile silteuse brun beige	$1{,}93.10^{-10}$ m/s
SC5 / 2 à 3 m	Marne beige à vert pâle	$6{,}78.10^{-11}$ m/s

Figure 13 : Tests de perméabilité sur les sondages carottés SC4 et SC5*

- du document de référence « Géologie et géotechnique de la région parisienne », chapitre 29, établi par George FILLIAT et Christian DUVAUCHELLE, en 1981 », cf. Figure 14 ci-dessous :

Formation	Données FILLIAT
Argiles à meulière	Essais de perméabilité ROLAND : 1.10^{-10} m/s
Calcaire de Saint-Ouen	$10^{-6}/10^{-8}$ m/s
Sables d'Auvers-Beauchamp	$10^{-4}/10^{-5}$ en tête $10^{-6}/10^{-7}$ dans les niveaux sablo-argileux de base
Marnes et caillasses lutétiennes	10^{-4} m/s dans les parties rocheuses fissurées 10^{-8} m/s dans les marnes supérieures pouvant constituer localement un horizon étanche
Calcaire grossier du Lutétien	10^{-4} à 10^{-6} m/s dans les horizons de tête 10^{-7} à 10^{-8} m/s dans les horizons inférieurs
Argiles de Laon	10^{-7} m/s - Base du modèle

Figure 14 : Perméabilités issues du rapport Filliat et Duchauvelle, 1981.

Il est dit p. 34 que « sur la base de ces données et de tests de sensibilité », les perméabilités du tableau suivant (cf. Figure 15) ont été retenues pour la modélisation :

Formation	Perméabilité retenues
Argiles à meulière	1.10^{-10} m/s
Calcaire de Saint-Ouen	1.10^{-6} m/s
Sables d'Auvers-Beauchamp	1.10^{-5} m/s
Marnes et caillasses lutétiennes	1.10^{-8} m/s
Calcaire grossier du Lutétien	10^{-6} m/s
Argiles de Laon	10^{-7} m/s

Figure 15 : Perméabilités retenues pour la modélisation numérique

4.7.1 Avis du BRGM

Les valeurs choisies pour le modèle portent à questionnement car le choix des valeurs (qui ne sont pas toujours majorantes) n'est pas justifié. Par exemple, une valeur de 1.0 10^{-10} m/s est retenue pour les Argiles à meulière alors qu'une valeur de 1.93 10^{-10}m/s a été mesurée sur les échantillons issus de SC5 (dans une argile silteuse entre 1 et 2 m de profondeur). Ce choix est important car il conditionne directement le flux d'entrée de la pluviométrie (les autres formations sous-jacentes étant plus perméables).

La perméabilité des Sables d'Auvers-Beauchamp est mesurée à $10^{-4}/10^{-5}$ m/s, la valeur retenue est 1.10^{-5} m/s. De la même, la perméabilité des Marnes et caillasses varie de 10^{-4} à 10^{-8} m/s, la valeur retenue est de 1.10^{-8} m/s.

Remarque 6 :

Le choix des valeurs de perméabilité retenues est à justifier pour chacune des formations géologiques modélisées.

De plus, la nature des tests de sensibilité (mentionnés p. 34) utilisés pour le choix de ces valeurs de perméabilité est à préciser.

Note :
Les essais de perméabilité n'ont pas pu être réalisés sur les échantillons prélevés dans les sondages SC4* et SC5 en septembre 2018, comme mentionné dans le texte p. 32, car ces sondages ont été réalisés en février 2019 (comme indiqué en p. 20). Ce point est à vérifier et à modifier le cas échéant.

4.8. FOND GEOCHIMIQUE DES SOLS

Il est indiqué dans le rapport ANTEA GROUP (p. 35) que :

« L'analyse du fond géochimique des sols met en évidence une surconcentration d'origine naturelle pour les sulfates à hauteur de 15 500 mg/kg de MS au maximum. Dans ce contexte, le seuil d'acceptation des sulfates peut être rehaussé, sans modélisation hydrodispersive, à hauteur de :

- *3 000 mg/kg de MS, pour l'accueil de déchets inertes.*
- *15 150 mg/kg de MS (valeur moyenne retenue) pour les terres sans pollution d'origine anthropique et présentant des surconcentrations d'origine naturelle ».*

Le BRGM indique que le potentiel de relargage des formations naturellement présentes au droit de l'installation de stockage n'est pas un critère qui permet de juger de la nature des matériaux susceptibles d'être acceptés au droit de cette installation. En d'autres termes, le milieu peut contribuer naturellement à apporter une certaine quantité de sulfates dans les eaux souterraines mais ce n'est pas une raison suffisante pour considérer que l'installation de stockage peut y contribuer également à la même hauteur. Le critère de comparaison au fond géochimique, évoqué à l'article 6 de l'arrêté du 12 décembre 2014, est à comprendre dans le sens que, si les teneurs (sur bruts et non sur éluats) dans les matériaux entrants sont supérieures à celles des matériaux naturellement présents, alors le remblaiement n'est pas possible. Le respect de ce critère n'a aujourd'hui pas de caractère obligatoire dans le cadre des installations de stockage de déchets inertes.

Remarque 7 :

Indépendamment de la correspondance des déchets avec le fond géochimique local, la vérification de l'absence d'impact sur la ressource en eau est un critère qu'il convient de vérifier absolument. La rehausse du seuil d'acceptation des sulfates est donc à justifier sur la base d'une modélisation hydrodispersive comme pour les autres paramètres.

5. Modélisation

Les calculs ont été réalisés avec les logiciels en éléments finis SEEP/W et C/TRAN édités par GEOSLOPE International (version 7.23.). Les simulations ont été effectuées en régime permanent pour les écoulements hydrodynamiques et en régime transitoire pour le transport des substances.

Le schéma conceptuel proposé est le suivant :

- **Source** : Déchets Inertes dont les concentrations des paramètres ciblés par l'annexe II de l'Arrêté Ministériel sont égales à 3 fois les valeurs limites + Matériaux issus des travaux d'aménagement du Grand Paris;
- **Vecteur** : Infiltration des substances en fond de la zone de stockage des Déchets Inertes sous l'effet des précipitations météoriques,
- **Cible** : La nappe de l'aquifère du Lutétien, captée par un piézomètre fictif situé au niveau de la limite du stockage.

5.1. MODELISATION HYDRODYNAMIQUE

La coupe retenue pour la réalisation de l'étude se situe au niveau de la partie nord du site où les calcaires sont à l'affleurement. L'axe de la coupe correspond à l'orientation Est-Ouest des écoulements de la nappe du Lutétien sous-jacente (Figure 16).

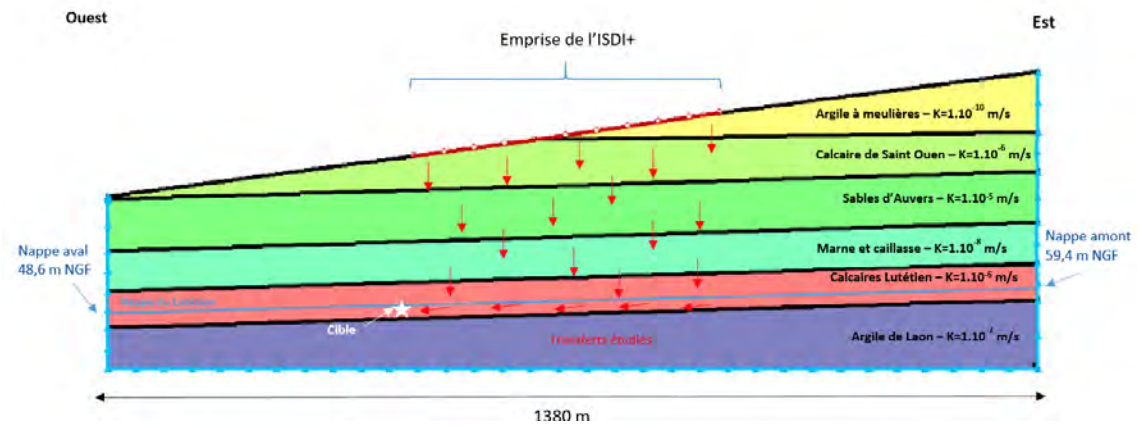


Figure 16 : Modèle conceptuel utilisé pour les modélisations (Rapport ANTEA)

L'extension horizontale, de 1480 m orienté Est-Ouest, comprend :

- la zone de stockage de 480 m ;
- des extensions de 500 ml en amont et en aval de la zone de stockage.

Verticalement, au droit du site, l'altitude de la surface du modèle varie entre 132,6 et 155,3 m NGF. Une épaisseur d'argiles de Laon a été modélisée jusqu'à la cote 21 m NGF.

Les charges hydrauliques suivantes ont été imposées : 59,4 m NGF et 48,6 m NGF respectivement à l'amont et à l'aval du modèle.

Les écoulements obtenus avec la modélisation SEEP/W sont présentés sur la Figure 17.

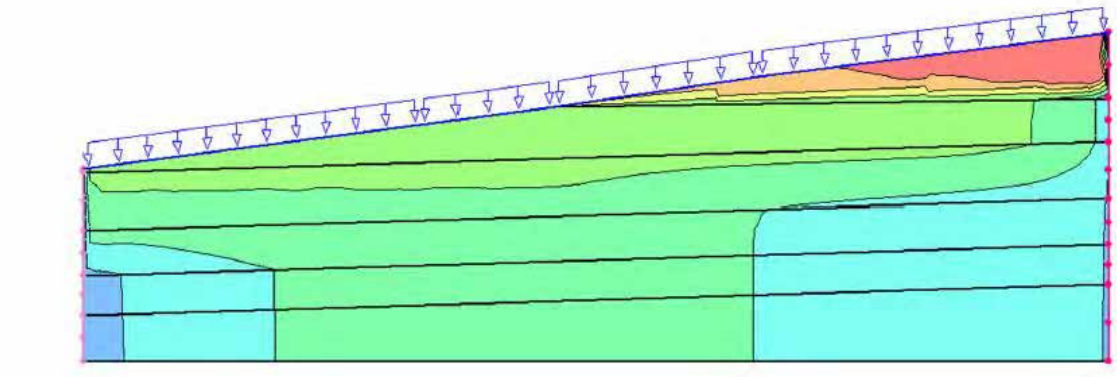


Figure 17 : Isovaleurs de charges hydrauliques et écoulements de la nappe de la craie - Résultats du modèle SEEP/W (Rapport ANTEA)

5.1.1 Avis du BRGM

Le modèle présenté et les justifications des valeurs utilisées sont très sommaires. Beaucoup d'interrogations subsistent concernant plusieurs choix.

Les processus simulés ne sont pas clairement explicités. A priori, le système non-saturé (formations sus-jacentes à la nappe du Lutétien) est simulé par un système saturé. Aucune notion de courbe de rétention des matériaux n'est mentionnée pour justifier ce choix.

Remarque 8 :

Il conviendra de justifier la modélisation des formations sus-jacentes à l'aquifère du Lutétien par un système saturé, et d'évaluer l'impact de ce choix sur les résultats.

La Figure 22 du rapport ANTEA GROUP (Figure 17 du présent rapport) qui présente les résultats du modèle hydrodynamique montre la présence d'effets de bords aux limites amont et aval du modèle. Il serait pertinent de discuter l'influence des dimensions du modèle (extension de 500 m en amont et aval de la zone de stockage) sur les résultats de la simulation. Il est également nécessaire de préciser le choix des valeurs des conditions aux limites du modèle.

Remarque 9 :

Il conviendra d'évaluer l'influence des dimensions du modèle sur les résultats de la simulation (effets de bord).

Remarque 10 :

La manière dont ont été estimées les valeurs des conditions limites imposées (59,4m et 48,6 m respectivement en amont et aval du modèle) est à préciser.

Note :

Une incohérence apparait dans le texte concernant la valeur du gradient hydraulique: 3 pour mille en page 28 et 1% en page 39. Ce point est à vérifier et à modifier le cas échéant.

Il est difficile de juger de la pertinence des écoulements simulés car la figure 22 du rapport ANTEA GROUP (« Isovaleurs de charges hydrauliques et écoulements de la nappe de la craie - Résultats du modèle SEEP/W ») ne montre aucune valeur chiffrée. Il est donc nécessaire d'indiquer, sur cette figure, les valeurs des isopièzes, les lignes de courant associées et de préciser la vitesse des flux.

De plus, un bilan hydraulique (entrées/sorties) de l'ensemble du modèle est à présenter afin de juger de la bonne convergence des calculs et de la pertinence des résultats obtenus.

Remarque 11 :

Il conviendra de compléter la Figure 22 avec les valeurs des isopièzes, les lignes de courants et la vitesse des flux.

Remarque 12 :

Il est nécessaire, pour démontrer la bonne cohérence des calculs, de réaliser un bilan hydraulique de l'ensemble du modèle.

5.2. MODELISATION HYDRODISPERSIVE

5.2.1 Paramètres d'entrée

Le modèle numérique est construit selon une coupe verticale le long de l'écoulement de la nappe tel que représenté en Figure 18.

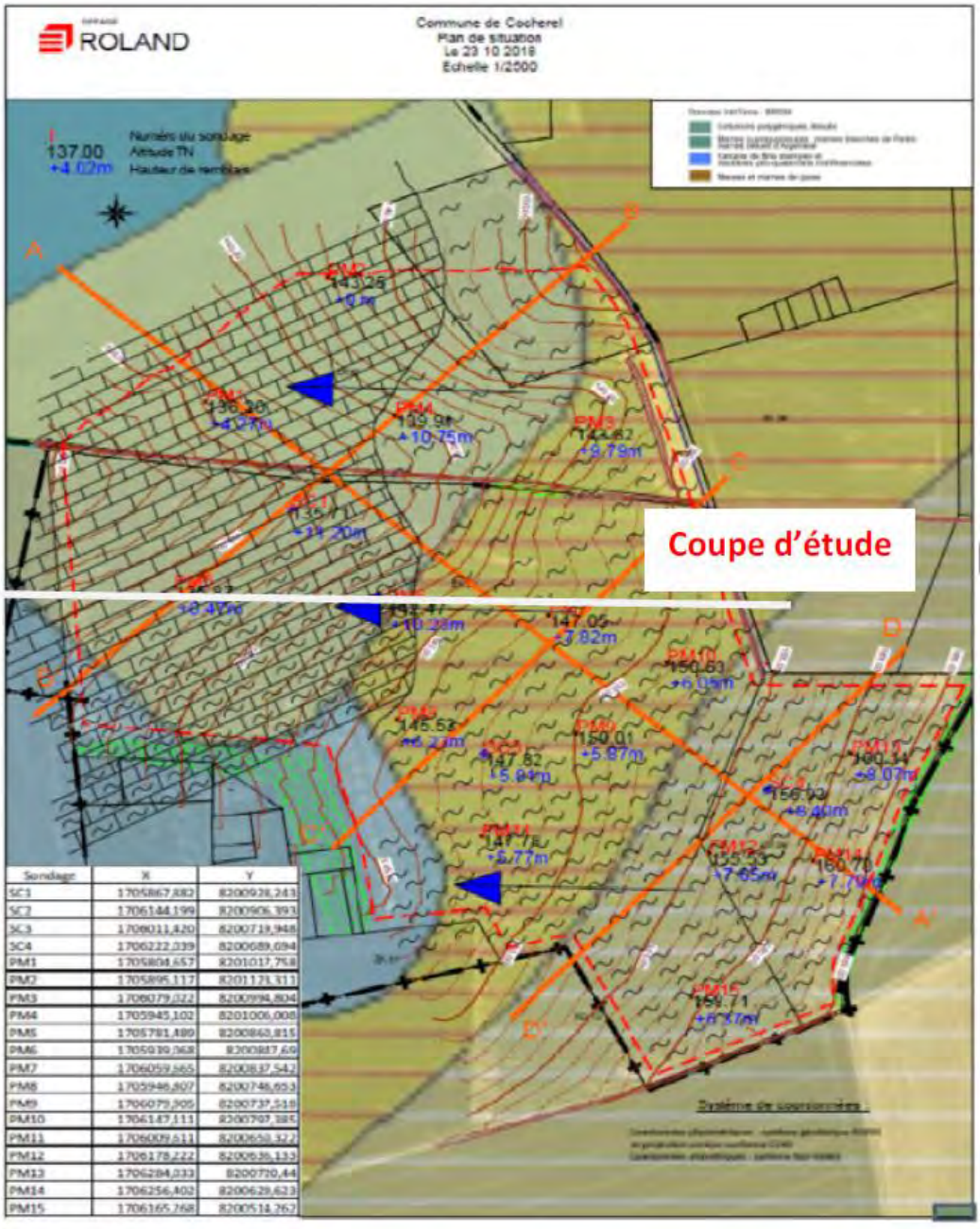


Figure 18 : Localisation de la coupe d'étude retenue

Les phénomènes pris en compte dans le transport des polluants sont l'adsorption et la dispersion. L'adsorption est considérée en tenant compte d'un coefficient de retard propre à chaque polluant.

Avis du BRGM

La géométrie en coupe verticale du modèle conduit à faire un choix pour l'emprise du site en surface. Le choix retenu est celui de l'emprise du site dans le sens des écoulements. Ce choix n'apparaît pas le plus majorant car il réduit l'emprise en surface du site dont la longueur est maximale selon l'axe A-A' de la figure 11 du rapport ANTEA GROUP).

Remarque 13 :

Des éléments sont à fournir pour justifier le choix de l'emprise du site dans le modèle et pour préciser l'impact de ce choix sur les résultats du modèle.

Certains paramètres nécessaires comme données d'entrée à la modélisation ne sont ni indiqués ni référencés, sur le terrain ou en laboratoire.

Remarque 14 :

Il est donc demandé de fournir des informations (valeurs et justifications) sur les paramètres suivants :

- **la teneur en eau,**
- **les valeurs du coefficient de partage carbone organique/eau (Koc) et de la fraction de carbone organique (foc) utilisés dans le calcul du coefficient de partage Liquide / Solide (Kd) du phénol,**
- **la dispersivité,**
- **la tortuosité (si utilisée), et**
- **la porosité.**

5.2.2 Conditions aux limites

Deux types de matériaux étant susceptibles d'être reçus au droit de l'installation de stockage, deux types de concentrations ont été considérés comme concentrations sources :

- Concentrations dans la limite d'un facteur 3 pour les déchets relevant de l'Annexe II de l'arrêté ministériel du 12 décembre 2014 ;

PARAMÈTRE	VALEUR LIMITE À RESPECTER exprimée en mg/kg de matière sèche	
Adaptation	**Annexe II de l'AM du 12/12/2014**	**Déblais présentant des teneurs égales à 3fois le seuil de l'AM**
As	0,5	1,5
Ba	20	60
Cd	0,04	0,12
Cr total	0,5	1,5
Cu	2	6
Hg	0,01	0,03
Mo	0,5	1,5
Ni	0,4	1,2
Pb	0,5	1,5
Sb	0,06	0,18
Se	0,1	0,3
Zn	4	12
Chlorure (1)	800	2 400
Fluorure	10	30
Sulfate (1)	1 000 (2)	3 000 (2)
Indice phénol	1	3
COT (carbone organique total) sur éluat (3)	500	500*
FS (fraction soluble) (1)	4 000	12 000

Figure 19 : Paramètres à analyser lors du test de lixiviation et valeurs limites à respecter avec et sans adaptation sur les seuils fixés par l'annexe II de l'AM du 12/12/2014 (Source : rapport ANTEA GROUP)

- Concentrations au-delà du facteur 3 pour les déchets relevant de l'Annexe I du même AM et sur lesquels des analyses ont été réalisées (futurs déblais du Grand Paris, analysés par la SGP).

PARAMÈTRE	Annexe II AM 12/12/2014	Seuils Terres présentant des surconcentrations d'origine naturelle		
	Mg/kg	Facteur	Mg/kg	Mg/L
Cadmium Cd	0,04	12,5	**0,5**	0,05
Chrome total Cr	0,5	7,68	**3,84**	0,384
Mercure Hg	0,01	20	**0,2**	0,02
Molybdène Mo	0,5	5	**2,5**	0,25
Antimoine Sb	0,06	10	**0,6**	0,06
Sélénium Se	0,1	37	**3,7**	0,37
Fluorure	10	4,8	**48**	4,8
Sulfate	1000	18,6	**18 600**	1 860

Figure 20 : « Concentration représentatives hautes des sols naturels » identifiées par la SGP (Source : rapport ANTEA GROUP)

La durée d'application de la concentration source est prise égale à 10 ans (exploitation du site) et 5 ans (décroissance progressive de la concentration à la source) en considérant qu'à l'issue de l'exploitation, les infiltrations dans le massif seront limitées grâce à i) la topographie du remblai et ii) la mise en place d'une couverture sur les casiers de déchets inertes (30 cm d'argile du site et 30 cm de terre végétale).

Avis du BRGM

Remarque 15 :

Conformément au guide d'orientation sur l'acceptation des déblais et terres excavées de la DRIEE (version 2 de septembre 2018), les dispositions particulières pour les déchets de l'annexe 1 de l'arrêté du 12 décembre 2014 s'appliquent lorsque les analyses réalisées sur ces déchets démontrent l'absence de contamination anthropique. Cette démonstration n'apparait pas dans le document expertisé. Elle devra donc être réalisée et montrer que les différentes activités anthropiques pouvant avoir lieu lors de la production du déchet ne sont pas susceptibles de l'avoir contaminé. Dans ce cadre, la nature des produits utilisés (boues, bentonites, …) lors de la foration des formations souterraines et leur impact éventuel sur l'environnement devront être clairement présentés.

Les résultats de caractérisation des matériaux dont plusieurs paramètres dépassent de plus d'un facteur 3 les seuils de l'annexe II de l'AM du 12/12/2014 sont utilisées comme données d'entrée dans les modélisations réalisées. Toutefois, l'origine et la nature de ces données semblent incertaines. Il est en effet indiqué dans le rapport ANTEA GROUP (p. 43) que :

« A défaut d'indication, il a été considéré que les concentrations communiquées par la SGP sont issues d'essais de lixiviation par bâchée unique selon la norme NF EN 12457-2 avec rapport Liquide/Solide de 10 (dans le cas de l'essai statique, 100 (cent) g de déchets sont mis en contact avec 1 (un) litre d'eau.

A notre connaissance, ces concentrations :

- *Correspondent au 95eme centile (95% des valeurs inférieures aux concentrations communiquées) ;*
- *Ne prennent pas en compte les additifs utilisés lors du procédé d'extraction et les traitements de type « chaulage » éventuellement appliqués sur ces déblais. Il existe très peu de données à ce sujet excepté une étude faite par la RATP, qui n'aurait pas mis en avant d'influence importante de ces additifs sur les concentrations ».*

Par ailleurs, pour certains éléments, les concentrations sont différentes de celles fournies par la SGP à l'exploitant dans le cadre d'une demande de rehausse de seuil au droit d'une autre installation de stockage. Dans le rapport ANTEA GROUP (tableau 13), les concentrations sont :

- plus, voire beaucoup plus élevées pour le mercure et le sélénium ;

- moins élevées pour le molybdène et le fluor ;
- identiques tous pour les autres paramètres.

Remarque 16 :

Pour les matériaux dont plusieurs paramètres dépassent de plus d'un facteur 3 les seuils de l'annexe II de l'AM du 12/12/2014, l'origine et la nature des concentrations d'entrée utilisées dans le modèle hydrodispersif sont à consolider.

Le caractère représentatif et majorant vis-à-vis de l'impact sur l'environnement de ces concentrations devra également être démontré.

Remarque 17 :

La durée d'application de la concentration source, prise égale à 10 ans (exploitation du site) et 5 ans (décroissance progressive de la concentration à la source), pose question. En effet, a priori, en l'absence d'autres éléments que ceux fournis par les tests de lixiviation, il n'est pas possible de connaitre la cinétique de relargage des différents éléments. Par ailleurs, même en présence d'une couverture sur les casiers comme celle proposée dans le rapport ANTEA GROUP, le flux vertical traversant les déchets ne peut pas être considéré comme nul.

Le choix de la condition limite est très important puisqu'il conditionne la manière dont est modélisé l'apport des terres dépassant les critères de l'arrêté du 12 décembre 2014.

Des arguments justifiant le choix de la durée pendant laquelle la condition limite du modèle de transport est imposée (10 ans avec une concentration constante puis 5 ans avec une concentration décroissante) sont à apporter. Si les arguments ne sont pas suffisants, la condition limite devra être revue.

5.2.3 Point cible

Le schéma conceptuel du modèle pour déterminer l'impact environnemental du site considère la cible comme « la nappe de l'aquifère du Lutétien, captée par un piézomètre fictif situé au niveau de la limite du stockage » (Figure 21).

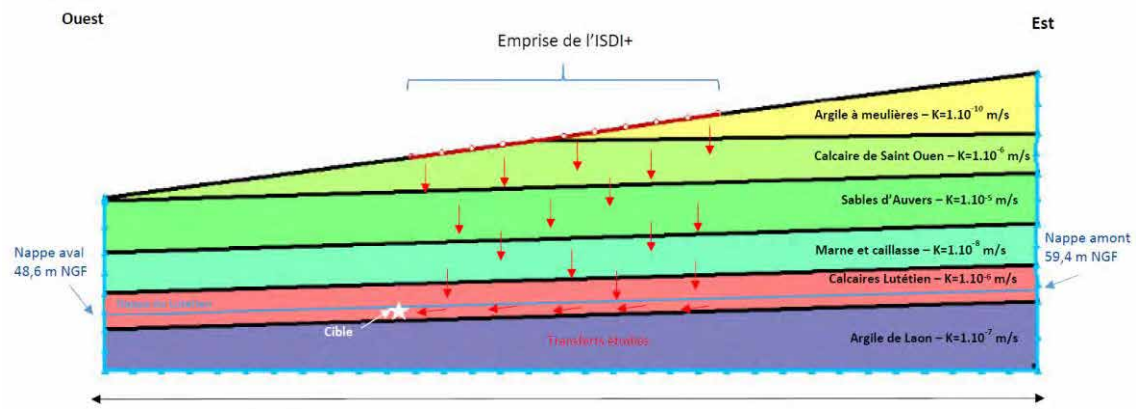


Figure 21 : Point cible choisi pour les modélisations hydrodispersives

Avis du BRGM

Remarque 18 :

Bien que le choix d'utiliser un point cible à seulement 10 m en aval du site soit majorant, il est également nécessaire de justifier que la position verticale de la cible retenue (uniquement dans la couche des calcaires du Lutétien) est également majorante. Il est donc important d'illustrer correctement le fait que le panache du soluté percole bien verticalement de la surface jusqu'à la nappe sans passer au-dessus de la cible via les calcaires de Saint-Ouen ou les sables d'Auvers beaucoup plus perméables.

D'autre part, il est également important d'illustrer la migration des éléments à plus long terme (et pas seulement au pas de temps correspondant à la concentration maximale au point de mesure cible, comme sur la figure 24 du rapport ANTEA GROUP), et notamment d'illustrer i) que ces éléments se diluent et baissent en concentration sans impacter d'autres cibles à l'aval comme l'ouvrage BSS000LPVT et ii) que ces éléments ne « tombent » pas au fond du modèle vers les nappes sous-jacentes.

Il est donc demandé d'apporter des illustrations complémentaires commentées et permettant d'analyser le chemin et la vitesse de migration des composants depuis la source jusqu'à la cible et de justifier qu'il n'y a pas de fuites latérales au-dessus ou en dessous de la cible.

5.2.4 Résultat des simulations

Rehausse des seuils « Facteur 3 »

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après (Figure 22).

	Concentration maximale			Facteur	Caval Modélisée	Cnappe C initiale dans la nappe	Cnappe + Caval modélisée	Valeur seuil Eaux humaines
	Annexe II	Concentration appliquée						
	mg/kg	mg/kg	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Arsenic As	0,5	1,5	0,15	3	0,0075	0,005	≈0,012	0,01
Baryum Ba	20	60	6	3	0,3	0,35	≈0,65	0,70
Cadmium Cd	0,04	0,12	0,012	3	6.10^{-4}	0,0015	≈0,002	0,003
Chrome total Cr	0,5	1,5	0,15	3	0,0075	0,025	≈0,032	0,05
Cuivre Cu	2	6	0,6	3	0,03	1	≈1	2
Mercure Hg	0,01	0,03	0,003	3	$1,5.10^{-4}$	0,0005	$\approx 6,5.10^{-4}$	0,001
Molybdène Mo	0,5	1,5	0,15	3	0,0075	0,035	≈0,042	0,07
Nickel Ni	0,4	1,2	0,12	3	0,006	0,01	≈0,016	0,02
Plomb Pb	0,5	1,5	0,15	3	0,0075	0,005	≈0,012	0,01
Antimoine Sb	0,06	0,18	0,018	3	9.10^{-4}	0,0025	≈0,0034	0,005
Sélénium Se	0,1	0,3	0,03	3	0,0015	0,005	≈0,0065	0,01
Zinc	4	12	1,2	3	0,06	1,5	≈1,6	3
Chlorure	800	2400	240	3	12	125	≈137	250
Fluorure	10	30	3	3	0,15	0,75	≈0,9	1,5
Sulfate	1000	3000	300	3		Non modélisé		250
Indice phénol	1	3	0,3	3	0,015	0,05	≈0,065	0,1

Figure 22 : Synthèse des résultats des modélisations réalisées – Rehausse des seuils « Facteur 3 » (Source : rapport ANTEA GROUP)

Il est constaté que la rehausse des seuils d'un facteur 3 est possible pour l'ensemble des paramètres sauf l'arsenic et le plomb. Pour ces deux substances, aucune rehausse du seuil d'acceptabilité n'est demandée.

Rehausse des seuils « Au-delà du facteur 3 »

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après (Figure 23).

	« Concentration représentative haute des sols naturels » Concentration appliquée		Facteur	Caval Modélisée	Cnappe C initiale dans la nappe	Cnappe + Caval modélisée	Valeur seuil Eaux humaines
	mg/kg	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Cadmium Cd	0,50	0,05	12,5	0,0025	0,0015	≈0,004	0,003
Chrome total Cr	3,84	0,384	7,68	0,019	0,025	≈0,044	0,05
Mercure Hg	0,20	0,02	20,0	0,001	0,0005	≈0,0015	0,001
Molybdène Mo	2,50	0,25	5,0	0,012	0,035	≈0,047	0,07
Antimoine Sb	0,60	0,06	10,0	0,003	0,0025	≈0,0055	0,005
Sélénium Se	3,70	0,37	37,0	0,018	0,005	≈0,023	0,01
Fluorure	48	4,8	4,8	0,24	0,75	≈1,0	1,5
Sulfate	18 600	1 860	18,6	94	125	≈219	250

Figure 23 : Synthèse des résultats des modélisations réalisées – Rehausse des seuils « Au-delà du facteur 3 » (Source : rapport ANTEA GROUP)

Il est constaté que :

- Pour les sulfates, un stockage au-delà du seuil rencontré lors du contexte géochimique est possible ;

- L'accueil de terres présentant des surconcentrations d'origine naturelle n'est pas possible pour les « concentrations représentatives hautes » en cadmium, mercure, antimoine et sélénium.

Pour ces 4 dernières substances, des calculs ont été menés pour définir la concentration maximale telle que la concentration calculée est égale à la valeur seuil. Les résultats obtenus pour ces substances sont intégrés dans le tableau précédent :

	« Concentration représentative haute des sols naturels » Concentration maximale admissible		Facteur	Caval Modélisée	Cnappe C initiale dans la nappe	Cnappe + Caval modélisée	Valeur seuil Eaux humaines
	mg/kg	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Cadmium Cd	**0,30**	**0,03**	**7,5**	**0,0015**	**0,0015**	**≈0,003**	**0,003**
Chrome total Cr	3,84	0,384	7,68	0,019	0,025	≈0,044	0,05
Mercure Hg	**0,10**	**0,01**	**10,0**	**0,0005**	**0,0005**	**≈0,001**	**0,001**
Molybdène Mo	2,50	0,25	5,0	0,012	0,035	≈0,047	0,07
Antimoine Sb	**0,50**	**0,05**	**8,3**	**0,0025**	**0,0025**	**≈0,005**	**0,005**
Sélénium Se	**1,00**	**0,1**	**10,0**	**0,005**	**0,005**	**≈0,01**	**0,01**
Fluorure	48	4,8	4,8	0,24	0,75	≈1,0	1,5
Sulfate	18 600	1 860	18,6	94	125	≈219	250

Figure 24 : Synthèse des résultats des modélisations réalisées – Seuils SGP et seuils maximum admissibles (Source : rapport ANTEA GROUP)

Les résultats des modélisations hydrodispersives sont illustrés par une figure correspondant au panache de l'Antimoine au pas de temps correspondant la concentration maximale au point de mesure cible (Figure 25).

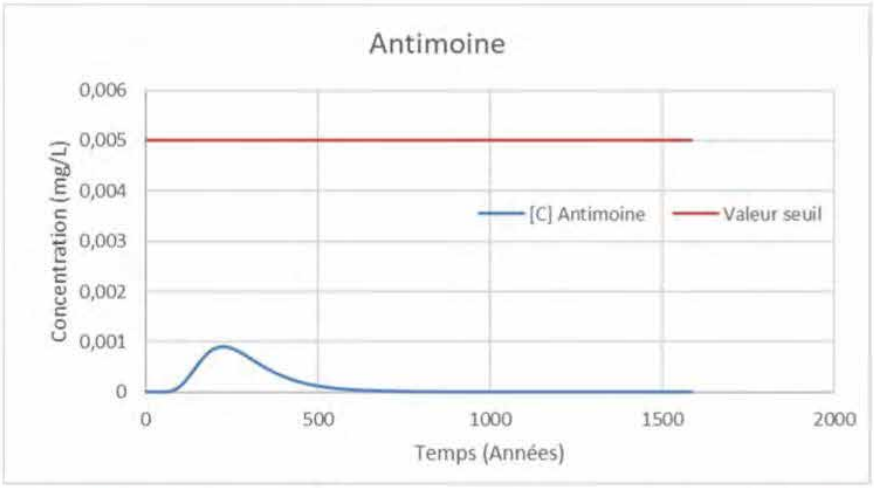


Figure 23 : Evolution temporelle de la concentration en Arsenic au niveau du piézomètre fictif

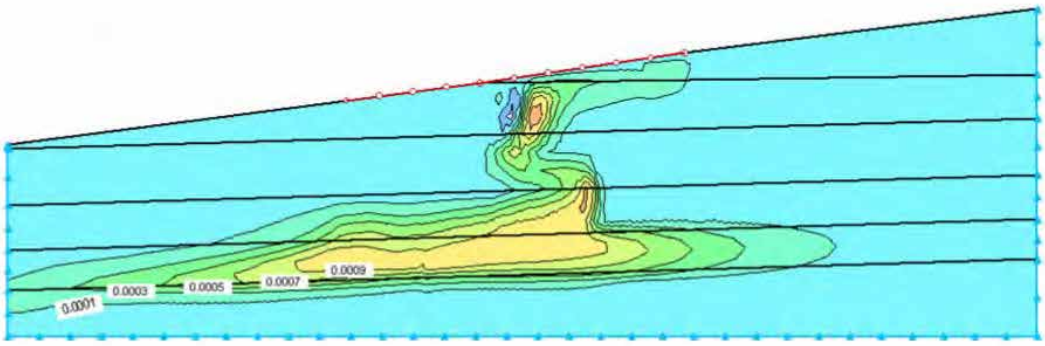


Figure 24 : Résultats de la modélisation hydrodispersive pour le cas de l'arsenic - Modèle CTRAN/W - Spatialisation de la concentration au pic

Figure 25 : Exemple de résultat de simulation hydrodispersive pour l'Antimoine (Source : rapport ANTEA GROUP)

Avis du BRGM

Globalement, l'analyse des résultats est beaucoup trop succincte et ne permet pas d'appréhender avec certitude le comportement des éléments transportés. Plusieurs questions subsistent et des précisions complémentaires sont à ajouter à l'analyse.

- **Rehausse des seuils « Facteur 3 »**

<u>Remarque 19 :</u>

Les valeurs de concentrations des colonnes « Concentration à la source (mg/l) » des tableaux 16 et 17 du rapport ANTEA GROUP sont exactement identiques, pour un même élément, alors que les matériaux considérés sont différents. Il est demandé de vérifier qu'il s'agit bien d'une erreur de saisie et de rectifier le cas échéant.

Remarque 20 :

Dans le tableau 18 du rapport ANTEA GROUP (Figure 22 du présent rapport), les concentrations calculées (Cnappe + Caval modélisée) sont présentées en vert si elles sont inférieures à la valeur seuil. Cette analyse mériterait un degré de précision supplémentaire pour mettre en évidence les concentrations proches du seuil retenu.

Dans le cadre de l'évaluation de l'état des lieux des nappes pour la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), la valeur de 75 % du seuil est retenue par les agences de l'eau pour demander la mise en place de mesures nécessaires à l'inversion de tendance (à la hausse dans ce cas). Il est donc recommandé d'afficher en orange, dans le tableau 18 du rapport ANTEA GROUP (Figure 22 du présent rapport), les valeurs comprises entre 75% et 100% (non inclus) de la valeur seuil considérée afin d'illustrer cette zone d'alerte pour les concentrations simulées.

- **Rehausse des seuils « Au-delà du facteur 3 »**

Remarque 21 :

Dans le tableau 19 du rapport ANTEA GROUP (Figure 23 du présent rapport), les concentrations calculées (Cnappe + Caval modélisée) sont présentées en vert si elles sont inférieures à la valeur seuil et en rouge si elles supérieures à cette même valeur seuil.

Comme pour la remarque précédente, il est recommandé d'identifier en orange les concentrations comprises entre 75% et 100% (non inclus) du seuil, dans le tableau 19 du rapport ANTEA GROUP (Figure 23 du présent rapport).

Remarque 22 :

Dans le tableau 20 du rapport ANTEA GROUP (Figure 24 du présent rapport), la concentration retenue pour 4 substances (cadmium, mercure, antimoine et sélénium) est la concentration maximale telle que la concentration calculée est strictement égale à la valeur seuil. Or, il apparaît plus raisonnable de garder une marge de sécurité au vue des incertitudes sur les résultats censés être décrits dans la section 7.5 du rapport ANTEA GROUP.

Il est recommandé d'apporter des éléments critiques sur les résultats du tableau 20 du rapport ANTEA GROUP (« Synthèse des résultats des modélisations réalisées – Seuils SGP et seuils maximum admissibles »).

5.3. DISCUSSION DES INCERTITUDES

La discussion des incertitudes consiste en une justification du caractère majorant des hypothèses retenues lors des différentes étapes de l'évaluation de l'impact :

- La définition du modèle conceptuel ;
- Le choix des substances étudiées et leurs propriétés hydrodispersives ;
- L'évaluation des concentrations au niveau de la cible étudiée.

5.3.1 Avis du BRGM

Cette partie du rapport est particulièrement peu renseignée et mérite un travail concret d'analyse de sensibilité des paramètres, et une véritable caractérisation des niveaux d'incertitudes sur les paramètres considérés, notamment lorsqu'on essaie d'évaluer les taux maximums admissibles pour les déchets.

Remarque 23 :

Il est nécessaire de réaliser une étude de sensibilité du modèle pour évaluer l'influence des paramètres de modélisation sur le calcul et ainsi apporter une caractérisation chiffrée du niveau d'incertitudes des résultats fournis.

Note :

On notera que cette partie contient une erreur référant aux stations météorologiques de Lorient, Vannes et Bignan qui ne sont en aucun cas concernées par cette étude.

5.4. CONCLUSIONS

Les valeurs à respecter pour les matériaux entrants sont présentés dans les tableaux 27 et 28 du rapport ANTEA GROUP.

	Facteur retenu par rapport à l'annexe II	Valeur limite à respecter (mg/kg)
Arsenic	1	0,5
Baryum	3	60
Cadmium	3	0,12
Chrome total	3	1,5
Cuivre	3	6
Mercure	3	0,03
Molybdène	3	1,5
Nickel	3	1,2
Plomb	1	0,5
Antimoine	3	0,18
Sélénium	3	0,3
Zinc	3	12
Chlorure	3	2 400 ou sans limite si Fraction soluble < 12 000
Fluorure	3	30
Sulfate (*)	3	3 000 ou sans limites si Fraction soluble < 12 000
Indice phénol	3	3
Fraction soluble		12 000 ou sans limite si Chlorure < 2400 ET Sulfate < 3000

Tableau 27 : Valeurs à respecter pour le remblaiement en déchets inertes

	Facteur retenu par rapport à l'annexe II	Valeur limite à respecter (mg/kg)
Arsenic	1	0,5
Baryum	3	60
Cadmium	**7,5**	0,**3**
Chrome total	**7,68**	**3,84**
Cuivre	3	6
Mercure	**10,0**	0,**1**
Molybdène	**5,0**	**2**,5
Nickel	3	1,2
Plomb	1	0,5
Antimoine	**8,3**	0,**5**
Sélénium	**10,0**	**1**,0
Zinc	3	12
Chlorure	3	2 400 ou sans limite si Fraction soluble < 27 600
Fluorure	**4,8**	**48**
Sulfate	**18,6**	**18 600 ou sans limite si Fraction soluble < 27 600**
Indice phénol	3	3
Fraction soluble (**)	**6,89**	**27 600 ou sans limite si Chlorure < 2400 ET Sulfate < 18 600**

Tableau 28 : Valeurs à respecter pour le remblaiement avec des terres non polluées mais présentant des surconcentrations d'origine naturelle

Figure 26 : Tableaux 27 et 28 du rapport ANTEA GROUP

5.4.1 Avis du BRGM

Les tableaux de présentation des valeurs à respecter pour les matériaux entrants (tableaux 27 et 28 du rapport ANTEA GROUP) font apparaitre les termes « sans limite si […] » dans la colonne « valeur limite à respecter », pour plusieurs paramètres (les chlorures, les sulfates et la fraction soluble). Cela semble vouloir signifier qu'une

concentration très élevée, non chiffrée, sera possiblement retenue comme critère d'acceptation des matériaux dans l'installation de stockage pour ces paramètres.

Remarque 24 :

Le BRGM rappelle que l'arrêté du 12 décembre 2014 offre effectivement la possibilité, pour ces 3 paramètres (les chlorures, les sulfates et la fraction soluble), de dépasser les valeurs limites mais que cela est possible moyennant la démonstration que la valeur retenue permet de préserver la qualité de l'environnement. En l'état, la démonstration n'apparait pas dans le rapport ANTEA GROUP et les termes « sans limite si […] » n'ont pas de sens dans ces tableaux. Des valeurs seuils sont donc à proposer et la démonstration que ces valeurs sont compatibles avec la préservation de l'environnement est à apporter.

6. Conclusions

L'expertise du BRGM a consisté à détecter, dans le document soumis à l'expertise, eu égard à la réglementation en vigueur et aux règles de l'art, ce qui est conforme, ce qui manque et les incertitudes du dossier. Toutes les remarques formulées sont regroupées sous forme de tableau en Annexe 2 et les principales conclusions de l'expertise du dossier sont rappelées dans les paragraphes suivants.

6.1. AVIS DU BRGM SUITE A L'ANALYSE DU DOSSIER INITIAL

Contexte morphologique, géologique, hydrologique et hydrogéologique

La caractérisation du contexte naturel du site permet de comprendre l'environnement dans lequel s'inscrit l'installation de stockage. Néanmoins des précisions sont à apporter sur les choix des lithologies retenues et de la géométrie considérée. La construction d'un modèle conceptuel argumenté permettrait d'apporter des justifications sur les paramètres utilisés (épaisseur des couches, pendage, lithologie, orientation du modèle, …). Le choix d'une seule cible située 10 m à l'aval du modèle peut paraître effectivement majorant au regard de l'ouvrage exploité situé à environ 3 km et identifié comme cible potentielle (BSS000LPVT). Néanmoins, ce choix ne permet pas de tenir compte du risque de migration du panache au-dessus de la nappe dans la zone non-saturée via les calcaires de Saint-Ouen ou les sables d'Auvers.

Evaluation de l'impact par modélisation

L'approche de l'évaluation de l'impact par modélisation ne peut être considérée comme suffisante, car de nombreux points critiques sont manquants ou non suffisamment explicités :

- Concernant la modélisation hydrodynamique :
  - Les choix de simulation de la zone non saturée ;
  - La sélection de plusieurs paramètres d'entrée, notamment les conditions limites et les valeurs de perméabilité ;
  - L'analyse des résultats de simulation ;
  - Un bilan hydrique ;
- Concernant la modélisation hydrodispersive :
  - La définition de la durée pendant laquelle la condition limite du modèle a été imposée ;
  - La démonstration de l'absence de contamination anthropique des déchets ;
  - La démonstration du caractère représentatif et majorant vis-à-vis de l'impact sur l'environnement des concentrations retenues comme données d'entrée dans le modèle ;
  - La sélection de plusieurs paramètres d'entrée, notamment les porosités et les coefficients de dispersivité ;
  - L'analyse des résultats de simulation ;
- La discussion sur les incertitudes (sur la géométrie du modèle, la position verticale de la cible considérée, les paramètres d'entrée du modèle, …).

6.2. AVIS DU BRGM SUITE AUX REPONSES APPORTEES AUX REMARQUES FORMULEES PAR LE BRGM (VERSIONS C ET D DU RAPPORT ANTEA GROUP)

La plupart des remarques formulées par le BRGM ont été prises en compte et les réponses aux demandes d'éclaircissement et d'approfondissement ont été apportées dans les différentes versions du rapport produit par ANTEA GROUP[1].

L'évaluation de l'impact sur les eaux souterraines a été réalisée par modélisation avec le choix de plusieurs hypothèses majorantes (notamment la localisation de la cible de l'impact calculé à 10 m de la limite aval du site et la comparaison des concentrations calculées avec les valeurs réglementaires ou de gestion relatives aux eaux destinées à la consommation humaine). Toutefois, les réponses apportées à plusieurs remarques formulées par le BRGM n'apparaissent pas satisfaisantes. Le tableau présenté en Annexe 2 précise, remarque par remarque, l'avis du BRGM. Les principaux points sont les suivants :

- Des éléments restent à apporter sur 2 paramètres d'entrée du modèle pour juger de la robustesse des calculs :
    - La teneur en eau : Une gamme de valeurs est donnée pour l'ensemble du modèle mais le détail par couche n'est pas précisé ;
    - La dispersivité : Aucune valeur n'est donnée alors qu'il s'agit d'un paramètre important d'un modèle hydrodispersif comme celui réalisé.
- La sensibilité des paramètres suivants reste à présenter :
    - La durée pendant laquelle les concentrations du terme source décroissent après la mise en place de la couverture (durée considérée égale à 5 ans dans le modèle) ;
    - La teneur en eau des différentes couches ;
    - La dispersivité.
- Les valeurs de rehausse des valeurs seuils sont à reprendre pour les chlorures et les sulfates, conformément à l'avis formulé par le BRGM à la remarque 24, car ces valeurs ne peuvent pas être « sans limite » comme proposé par ANTEA GROUP.
- Les résultats du modèle 1bis ont été utilisés pour définir les valeurs de rehausse. Or il apparait que ce modèle n'est pas satisfaisant sur différents points. Le BRGM recommande d'utiliser les résultats du modèle 2, plus satisfaisant et légèrement plus sécuritaire, pour définir ces valeurs.

[1] La dernière version du rapport ANTEA GROUP est la suivante : Site de Cocherel (77) Etude hydrodispersive évaluant l'impact du remblaiement avec des matériaux de classe 3+ (Rapport n°A99526/version D – 16 décembre 2019)

6.3. AVIS DU BRGM SUITE AUX REPONSES APPORTEES AUX REMARQUES FORMULEES PAR LE BRGM (VERSIONS E ET F DU RAPPORT ANTEA GROUP)

L'ensemble des remarques formulées par le BRGM ont été prises en compte et les réponses aux demandes d'éclaircissement et d'approfondissement ont été apportées dans les différentes versions du rapport produit par ANTEA GROUP. Ces éléments permettent donc de valider la pertinence des résultats des modélisations et la validité des valeurs seuils proposées.

Le BRGM émet les recommandations suivantes :

- **Le pétitionnaire s'engagera à mettre en œuvre une couche de drainage dans le dispositif de couverture de l'installation de stockage ;**
- **Il est recommandé de réaliser un piézomètre dans l'aquifère des sables de Beauchamp afin de vérifier l'absence de nappe dans ces formations ;**
- **Le pétitionnaire s'engagera à suivre la qualité des eaux souterraines conformément à la norme NF X31-615, a minima au droit de 3 piézomètres (un ouvrage en amont et deux ouvrages en aval hydraulique de l'installation de stockage) et au moins 2 fois par an (en période de hautes eaux et de basses eaux). La réalisation de tout nouveau piézomètre sera à réaliser conformément à la norme NF X31-614. L'aquifère concerné par ce suivi est celui des calcaires du Lutétien sauf si la présence d'une nappe est observée dans les sables de Beauchamp ;**
- **Les résultats du suivi de la qualité des eaux souterraines seront à comparer aux résultats de la modélisation. En cas d'écart entre ces résultats, le pétitionnaire s'engagera à en informer l'administration et à mettre en œuvre, si besoin, les actions correctives nécessaires ;**
- **Le cadre fourni par le guide d'orientation (version 2 de septembre 2018) sur l'acceptation des déblais et terres excavées de la DRIEE (« ces mesures démontrent l'absence de contamination anthropique mais révèlent néanmoins une surconcentration d'origine naturelle ») devra être respecté.**

Annexe 1

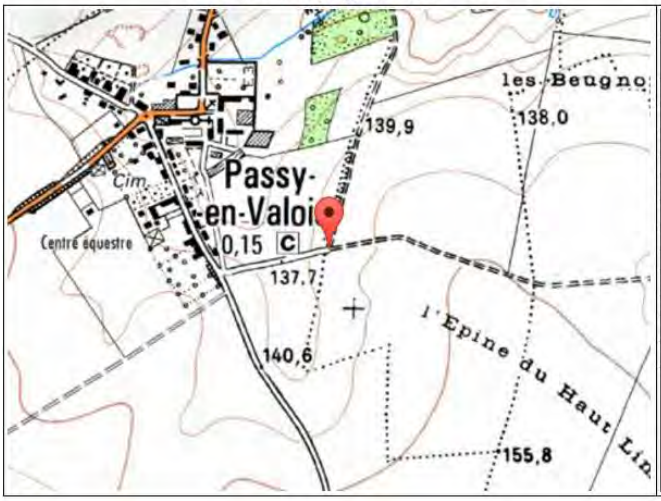
Extrait des fiches climatologique de Passy en Valois (02) et Roissy

METEO FRANCE

Editée le 11/12/2017
Données du 11/12/2017 à 11:53 UTC

02594001
PASSY EN VALOIS
EPINE DU HAUT-LIMON

Emplacement du poste, plan au 1:13542



LOCALISATION	
Département:	AISNE(02)
Commune:	PASSY-EN-VALOIS
Lieu-dit:	EPINE DU HAUT-LIMON
Latitude:	49°09'55" Nord
Longitude:	3°11'59" Est
Date localisation:	01/04/2014
Altitude:	141 m
Date d'ouverture:	01/05/1987
Date de fermeture:	01/03/2015

FICHE CLIMATOLOGIQUE

Statistiques 1981−2010 et records

PASSY EN VALOIS (02)

Indicatif : 02594001, alt : 141m, lat : 49°09'54"N, lon : 03°11'54

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
La température la plus élevée (°C)	Records établis sur la période du 01-06-1987 au 28-02-2015												
	15.2	18.6	22.9	27.5	30.8	34.8	35.9	39.4	32.5	27.7	19.8	16.3	**39.4**
Date	05-1999	14-1998	29-1989	25-2007	27-2005	27-2011	19-2006	12-2003	05-2013	01-2011	01-2014	07-2000	**2003**
Température maximale (moyenne en °C)	Statistiques établies sur la période 1987-2010												
	6.3	7.6	11.4	14.7	19	21.6	24.4	24.5	20.2	15.4	9.4	6	**15.1**
Température moyenne (moyenne en °C)	Statistiques établies sur la période 1987-2010												
	3.9	4.4	7.3	9.6	13.6	16.1	18.5	18.5	15	11.4	6.5	3.7	**10.7**
Température minimale (moyenne en °C)	Statistiques établies sur la période 1987-2010												
	1.4	1.3	3.2	4.6	8.3	10.7	12.6	12.5	9.9	7.4	3.7	1.5	**6.5**
La température la plus basse (°C)	Records établis sur la période du 01-06-1987 au 28-02-2015												
	−14.9	−13.6	−9.9	−5.4	−0.9	1.6	4.9	3.9	0.3	−5.4	−10.3	−11.5	**−14.9**
Date	01-1997	07-1991	13-2013	08-2003	05-1996	04-1991	11-1993	26-1993	27-1990	28-2003	24-1998	29-1996	**1997**
Nombre moyen de jours avec	Statistiques établies sur la période 1987-2010												
Tx >= 30°C	.	.	.	.	0.1	1.0	3.6	3.4	0.1	.	.	.	**8.1**
Tx >= 25°C	.	.	.	0.5	3.2	6.9	13.2	13.1	3.3	0.2	.	.	**40.3**
Tx <= 0°C	1.9	1.2	0.0	.	.	.	.	.	.	.	0.4	2.6	**6.2**
Tn <= 0°C	11.3	10.6	7.0	3.2	0.1	.	.	.	.	1.5	6.0	12.1	**51.7**
Tn <= −5°C	2.7	1.6	0.2	0.1	.	.	.	.	.	0.0	0.8	2.4	**7.7**
Tn <= −10°C	0.3	0.2	.	.	.	.	.	.	.	.	0.0	0.2	**0.7**
Tn : Température minimale, Tx : Température maximale													
La hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm)	Records établis sur la période du 01-06-1987 au 28-02-2015												
	33.2	31	36.2	21.4	35.8	30.4	43.2	58.2	30	47.8	22	31.6	**58.2**
Date	11-1993	27-1990	18-2002	07-1998	06-2006	30-1988	07-2000	15-2010	20-2014	28-1990	08-2010	18-1999	**2010**
Hauteur de précipitations (moyenne en mm)	Statistiques établies sur la période 1987-2010												
	63.1	55.9	57.1	50.7	60.8	56.1	65.9	64	52.7	65	60.5	75.8	**727.6**

METEO FRANCE

Editée le 11/09/2019
Données du 11/09/2019 à 16:10 UTC

95527001
ROISSY
CHARLES DE GAULLE AEROPORT

Emplacement du poste, plan au 1:13542

LOCALISATION	
Département:	VAL-D OISE(95)
Commune:	ROISSY-EN-FRANCE
Lieu-dit:	CHARLES DE GAULLE AEROPORT
Latitude:	49°00'55" Nord
Longitude:	2°32'04" Est
Date localisation:	17/04/2008
Altitude:	108 m
Date d'ouverture:	01/01/1974
Date de fermeture:	Ouvert

Statistiques 1981-2010 et records

ROISSY (95)

Indicatif : 95527001, alt : 108m, lat : 49°00'54"N, lon : 02°32'00"

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
La température la plus élevée (°C)													
	16	20.5	23.5	28.6	31.9	36.5	41.4	39	32.5	28.9	21.2	17.3	**41.4**
Date	27-2003	27-2019	27-1989	30-2018	27-2005	27-2011	25-2019	12-2003	13-2016	01-2011	08-2015	16-1989	**2019**
Température maximale (moyenne en °C)													
	6.6	7.7	11.6	14.9	18.9	22	24.7	24.6	20.7	16	10.3	7	**15.5**
Température moyenne (moyenne en °C)													
	4.2	4.7	7.9	10.5	14.3	17.3	19.7	19.5	16.2	12.4	7.6	4.7	**11.6**
Température minimale (moyenne en °C)													
	1.8	1.7	4.2	6.1	9.8	12.6	14.6	14.5	11.8	8.9	4.9	2.4	**7.8**
La température la plus basse (°C)													
	-17.8	-12.4	-9.1	-3.9	0.3	2.6	7.3	6.1	2.4	-3.1	-8.1	-10.6	**-17.8**
Date	17-1985	07-1991	13-2013	12-1986	03-1981	01-1975	15-1977	25-1980	18-1977	30-1985	23-1998	29-1988	**1985**
Nombre moyen de jours avec													
Tx >= 30°C	.	.	.	.	0.2	1.4	3.8	3.5	0.3	.	.	.	**9.2**
Tx >= 25°C	.	.	.	0.7	3.5	7.8	14.2	12.7	4.0	0.4	.	.	**43.3**
Tx <= 0°C	2.5	1.3	0.0	.	.	.	.	.	.	.	0.4	1.4	**5.6**
Tn <= 0°C	10.3	9.6	4.6	1.2	.	.	.	.	.	0.4	4.5	9.7	**40.3**
Tn <= -5°C	2.8	1.7	0.1	.	.	.	.	.	.	.	0.4	1.1	**6.1**
Tn <= -10°C	0.6	0.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0.0	**0.8**
Tn : Température minimale, Tx : Température maximale													
La hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm)													
	39.6	26.2	34.9	31	42.4	50.4	53.2	63.6	40.7	49.6	29	37	**63.6**
Date	11-1993	14-1990	13-1980	29-2007	18-1978	11-2018	01-1986	24-1987	13-1975	28-1980	15-1975	06-1988	**1987**
Hauteur de précipitations (moyenne en mm)													
	58	46	55.8	52	65.9	57.2	61.2	51.8	53.8	67.9	56.5	67.5	**693.6**
Nombre moyen de jours avec													
Rr >= 1 mm	11.2	9.6	11.0	9.5	10.5	8.6	8.0	7.9	8.6	10.2	10.2	11.4	**116.8**
Rr >= 5 mm	4.2	2.9	3.9	3.6	4.5	4.0	4.0	3.2	3.9	4.8	4.2	5.2	**48.4**
Rr >= 10 mm	1.3	0.9	1.1	1.4	1.9	1.7	1.7	1.6	1.8	1.9	1.3	1.9	**18.4**
Rr : Hauteur quotidienne de précipitations													

Statistiques 1981-2010 et records

ROISSY (95)

Indicatif : 95527001, alt : 108m, lat : 49°00'54"N, lon : 02°32'00"

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Degrés Jours Unifiés (moyenne en °C)													
	428.1	374.4	312.6	225.4	123.1	52.7	15.8	16.6	68.1	175.2	311.8	412.2	**2516.0**
Rayonnement global (moyenne en J/cm²)													
Données non disponibles													
Durée d'insolation (moyenne en heures)													
Données non disponibles													
Nombre moyen de jours avec fraction d'insolation													
Données non disponibles													
Evapotranspiration potentielle (ETP Penman moyenne en mm)													
	16.3	23.3	54.5	87.3	118.2	133.6	144.8	125.7	77.9	41.4	17.3	12.6	**852.9**
La rafale maximale de vent (m/s)													Records établis sur la période du 01-01-1974 au 02-03-2010
	39	41	32	30	28	27.6	31	29	28	33	36	40	**41.0**
Date	25-1993	03-1990	04-1998	04-1994	13-2007	19-2013	02-2000	20-1992	07-1995	16-1987	27-1983	26-1999	**1990**
Vitesse du vent moyenné sur 10 mn (moyenne en m/s)													
	5.1	4.9	4.8	4.6	4.2	3.8	3.8	3.6	3.9	4.4	4.4	4.8	**4.4**
Nombre moyen de jours avec rafales													
>= 16 m/s	8.9	6.7	7.9	6.3	4.4	3.2	3.5	2.9	3.6	5.7	5.4	7.3	**65.9**
>= 28 m/s	0.5	0.4	0.1	0.1	0.0	.	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0.3	**1.7**
16 m/s = 58 km/h, 28 m/s = 100 km/h													
Nombre moyen de jours avec													
Brouillard	6.3	4.5	2.2	1.2	1.1	1.1	0.8	1.3	2.3	4.4	6.2	7.3	**38.6**
Orage	0.4	0.5	0.9	2.1	3.6	3.5	4.0	3.2	1.4	1.0	0.3	0.4	**21.2**
Grêle	0.1	0.2	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	**2.2**
Neige	3.7	4.7	2.1	0.8	0.0	.	.	.	.	.	1.2	3.0	**15.6**

— : donnée manquante . : donnée égale à 0

Ces statistiques sont établies sur la période 1981-2010 sauf pour les paramètres suivants : ETP (2001-2010)

Annexe 2

Tableau de synthèse des remarques du tiers expert et des réponses du pétitionnaire

Les remarques formulées dans la colonne « Remarque » du tableau suivant ont été formulées suite à l'examen du document de ANTEA GROUP.

N°	Volet concerné	Remarque	Réponse de l'exploitant	Avis du tiers-expert
1	Contexte morphologique	Des éléments complémentaires de vérifications permettant de s'assurer de la stabilité des terrains envisagés (présence de cavités) doivent être apportés.	Paragraphe 5.2.3. « Aléa cavité »	Le diagnostic issu du rapport BRGM fourni en annexe conclut à un aléa *modéré*. Néanmoins ANTEA ne se positionne pas sur cette conclusion. Il faudra donc un avis sur ce point sachant qu'une recommandation semble nécessaire pour palier à ce risque non nul de mouvement de terrain de la zone pouvant potentiellement impacter l'intégrité du site à court ou moyen terme.
2	Contexte géologique	Une coupe géologique conceptuelle (dans l'axe du modèle) doit être apportée avec les profondeurs et les épaisseurs des couches ainsi que des éléments de justification, notamment sur les choix de considérer certaines formations et pas d'autres (en particulier au niveau des Limons des plateaux et des Argiles à meulières).	Paragraphe 6.2.3 « Justification de la succession lithologique »	Les explications fournies en 6.2.4 (et non 6.2.3) sont claires et cohérentes sur la justification des épaisseurs et les choix retenus.
3	Contexte hydrologique	Des éléments précis du calcul de la pluie efficace retenue doivent être indiqués.	Détail du calcul au 5.3. et prise en compte dans les calculs de la pluviométrie 4 rectifiée	Les explications fournies sont pertinentes.
4		Il convient de confirmer que l'erreur commise lors de la conversion de la pluie efficace n'a pas d'impact sur le calcul.		Il est bien constaté que l'erreur n'a pas d'influence sur les calculs.
5	Contexte hydrogéologique	La présence de la nappe du Lutétien au droit du site est attestée mais l'absence d'une nappe plus superficielle reste à démontrer. D'autre part, il convient également de préciser pourquoi l'ouvrage BSS000LPVT n'a pas été étudié et choisi comme cible du modèle.	Paragraphe 6.2.3. « Localisation du point de mesure »	Etant donnée la présence, dans un rayon de moins de 2 km autour du site, d'un point d'eau (point BSS000LPZ) recensé dans la Banque de données du sous-sol et montrant la présence d'eau dans un niveau supérieur aux calcaires du Lutétien (les sables de Beauchamp), il est recommandé de réaliser un piézomètre dans l'aquifère des sables de Beauchamp pour vérifier l'absence de nappe dans ces formations.
6	Perméabilité des terrains	Le choix des valeurs de perméabilité retenues est à justifier pour chacune des formations géologiques modélisées. De plus, la nature des tests de sensibilité (mentionnés p. 34) utilisés pour le choix de ces valeurs de perméabilité est à préciser.	Paragraphe 6.2.5 « justification des perméabilités retenues »	Les justification apportées en 6.2.5 sont acceptées.
7	Fond géochimique des sols	Indépendamment de la correspondance des déchets avec le fond géochimique local, la vérification de l'absence d'impact sur la ressource en eau est un critère qu'il convient de vérifier absolument. La rehausse du seuil d'acceptation des sulfates est donc à justifier sur la base d'une modélisation hydrodispersive comme pour les autres paramètres.	Résultats du calcul dans le tableau 21 (p60)	Les calculs ont effectivement été menés pour les sulfates.
8	Modélisation hydrodynamique	Il conviendra de justifier la modélisation des formations sus-jacentes à l'aquifère du Lutétien par un système saturé, et d'évaluer l'impact de ce choix sur les résultats.	Paragraphes 6.2.3. « Localisation du point de mesure » et 6.2.5 « justification des perméabilités retenues »	Les explications fournies en 6.1 répondent à la question posée.
9		Il conviendra d'évaluer l'influence des dimensions du modèle sur les résultats de la simulation (effets de bord).	Paragraphe 6.2.6. « Conditions limites »	Les explications fournies en 6.2.6 ne répondent pas aux problèmes des effets de bord constatés dans les modèle 1 et 1bis et les explications fournies en 8.1.1 ne sont pas claires. Toutefois, le modèle 2 (réalisé pour répondre à une des remarques BRGM) ne présente pas d'effets de bord. Etant que le BRGM recommande d'utiliser ce modèle 2 pour définir les valeurs seuils (cf. Remarque n°18), la présente remarque n'a plus lieu d'être.
10		La manière dont ont été estimées les valeurs des conditions limites imposées (59,4m et 48,6 m respectivement en amont et aval du modèle) est à préciser.	Détaillé au 6.2.3. Prise en compte d'un gradient de 3‰ (erreur sur la version B)	Les explications sont bien fournies en 6.2.3.
11		Il conviendra de compléter la Figure 22 avec les valeurs des isopièzes, les lignes de courants et la vitesse des flux.	Paragraphes 8.1.1. et 8.2.1.	Remarque prise en compte.
12		Il est nécessaire, pour démontrer la bonne cohérence des calculs, de réaliser un bilan hydraulique de l'ensemble du modèle.	Résultats donnés p 59 et 67	Les valeurs calculées du bilan hydraulique sont bien fournies.

N°	Volet concerné	Remarque	Réponse de l'exploitant	Avis du tiers-expert
13	Modélisation hydrodispersive – Paramètres d'entrée	Des éléments sont à fournir pour justifier le choix de l'emprise du site dans le modèle et pour préciser l'impact de ce choix sur les résultats du modèle.	Paragraphe 6.2.2 « Justification de la coupe retenue et extension du modèle »	Les arguments fournis sont satisfaisants.
14		Il est donc demandé de fournir des informations (valeurs et justifications) sur les paramètres suivants : • la teneur en eau, • les valeurs du coefficient de partage carbone organique/eau (Koc) et de la fraction de carbone organique (foc) utilisés dans le calcul du coefficient de partage Liquide / Solide (Kd) du phénol, • la dispersivité, • la tortuosité (si utilisée), et • la porosité.	Paragraphes 6.1 « Logiciel utilisé » et 7.2.3 « Coefficient de partage liquide – solide de la substance » (tortuosité non utilisée)	Les éléments sont fournis.
15		Conformément au guide d'orientation sur l'acceptation des déblais et terres excavées de la DRIEE (version 2 de septembre 2018), les dispositions particulières pour les déchets de l'annexe 1 de l'arrêté du 12 décembre 2014 s'appliquent lorsque les analyses réalisées sur ces déchets démontrent l'absence de contamination anthropique. Cette démonstration n'apparait pas dans le document expertisé. Elle devra donc être réalisée et montrer que les différentes activités anthropiques pouvant avoir lieu lors de la production du déchet ne sont pas susceptibles de l'avoir contaminé. Dans ce cadre, la nature des produits utilisés (boues, bentonites, …) lors de la foration des formations souterraines et leur impact éventuel sur l'environnement devront être clairement présentés.	Paragraphe 2.3 « Acceptation des déchets sur le site d'étude »	Il est indiqué dans le rapport ANTEA : *« On rappelle que pour cette catégorie de matériaux, une justification concernant l'absence de contamination anthropique devra être apportée préalablement au stockage.* *On précise également que si des lots de boues de tunneliers devaient être stockés sur site, une étude spécifique serait menée pour juger de leur acceptabilité ».* Le pétitionnaire devra s'engager à réaliser ces études.
16	Modélisation hydrodispersive – Conditions aux limites	Pour les matériaux dont plusieurs paramètres dépassent de plus d'un facteur 3 les seuils de l'annexe II de l'AM du 12/12/2014, l'origine et la nature des concentrations d'entrée utilisées dans le modèle hydrodispersif sont à consolider. Le caractère représentatif et majorant vis-à-vis de l'impact sur l'environnement de ces concentrations devra également être démontré.	Paragraphe 7.2.1.2 « Rehausse des seuils au-delà du Facteur 3 » (p54)	Conformément à la procédure d'admission des déchets de la société Roland (présentée en Figure 1 du rapport ANTEA), le pétitionnaire s'engagera à vérifier que les déchets acceptés sur site satisfont bien les critères de qualité (en termes de valeurs seuils) calculés dans l'étude d'ANTEA.
17		Des arguments justifiant le choix de la durée pendant laquelle la condition limite du modèle de transport est imposée (10 ans avec une concentration constante puis 5 ans avec une concentration décroissante) sont à apporter. Si les arguments ne sont pas suffisants, la condition limite devra être revue.	Paragraphe 7.2.2 « Durée d'application de la concentration »	Pour que l'argument de flux entrant nul une fois l'exploitation terminée reste valable, la présence d'une couche de drainage correctement dimensionnée est impérative car c'est elle qui assure l'essentiel des performances du système. Le pétitionnaire devra donc s'engager à mettre en œuvre une couche de drainage dans le dispositif de couverture de l'installation de stockage.
18	Modélisation hydrodispersive – Point cible	Il est donc demandé d'apporter des illustrations complémentaires commentées et permettant d'analyser le chemin et la vitesse de migration des composants depuis la source jusqu'à la cible et de justifier qu'il n'y a pas de fuites latérales au-dessus ou en dessous de la cible.	Paragraphes 8.1.2 et 8.2.2.	Plusieurs remarques concernant les résultats du modèle 1bis : • Les Fig. 29 à 34 ne font pas apparaitre le point cible mais celui-ci semble se situer au-dessous du panache. Il semble donc bien y avoir des fuites au-dessus de la cible. • Les valeurs des concentrations ne sont pas indiquées. Par ailleurs, les figures faisant référence à l'Arsenic alors que la figure 28 présente l'Antimoine, les temps de concentration maximum sont différents entre la figure 28 et les figures 29 à 34. Les résultats sont donc difficiles à analyser. • La simulation des écoulements n'est pas représentative de la réalité (effets de bord, présence d'un dôme piézométrique et niveaux d'eau supérieurs à ceux observés) Le modèle 2 apparait plus satisfaisant sur les différents points ci-dessus. De plus, les résultats sont légèrement plus sécuritaires. Il est donc recommandé de définir les valeurs seuils d'acceptation des terres sur les résultats de ce modèle (et non sur ceux du modèle 1bis).

N°	Volet concerné	Remarque	Réponse de l'exploitant	Avis du tiers-expert
				Cette recommandation a bien été suivie dans la dernière version du rapport ANTEA GROUP.
19	Modélisation hydrodispersive – Résultats des simulations	Les valeurs de concentrations des colonnes « Concentration à la source (mg/l) » des tableaux 16 et 17 du rapport ANTEA GROUP sont exactement identiques, pour un même élément, alors que les matériaux considérés sont différents. Il est demandé de vérifier qu'il s'agit bien d'une erreur de saisie et de rectifier le cas échéant.	Tableau 24 corrigé	Remarque effectivement prise en compte.
20		Il est recommandé d'afficher en orange, dans le tableau 18 du rapport ANTEA GROUP (Figure 22 du présent rapport), les valeurs comprises entre 75% et 100% (non inclus) de la valeur seuil considérée.	Tableaux 23 et 28	Remarque effectivement prise en compte.
21		Comme pour la remarque précédente, il est recommandé d'identifier en orange les concentrations comprises entre 75% et 100% (non inclus) du seuil, dans le tableau 19 du rapport ANTEA GROUP (Figure 23 du présent rapport).		Remarque effectivement prise en compte.
22		Il est recommandé d'apporter des éléments critiques sur les résultats du tableau 20 du rapport ANTEA GROUP (« Synthèse des résultats des modélisations réalisées – Seuils SGP et seuils maximum admissibles »).	Paragraphe 8.1.3.2.	Les valeurs seuils sont à recalculer sur la base des résultats du modèle 2. Cette recommandation a bien été suivie dans la dernière version du rapport ANTEA GROUP.
23	Modélisation hydrodispersive – Discussions des incertitudes	Il est nécessaire de réaliser une étude de sensibilité du modèle pour évaluer l'influence des paramètres de modélisation sur le calcul et ainsi apporter une caractérisation chiffrée du niveau d'incertitudes des résultats fournis.	Cf Modèle 2	Remarque pris en compte.
24	Modélisation hydrodispersive – Conclusions	Le BRGM rappelle que l'arrêté du 12 décembre 2014 offre effectivement la possibilité, pour ces 3 paramètres (les chlorures, les sulfates et la fraction soluble), de dépasser les valeurs limites mais que cela est possible moyennant la démonstration que la valeur retenue permet de préserver la qualité de l'environnement. En l'état, la démonstration n'apparait pas dans le rapport ANTEA GROUP et les termes « sans limite si […] » n'ont pas de sens dans ces tableaux. Des valeurs seuils sont donc à proposer et la démonstration que ces valeurs sont compatibles avec la préservation de l'environnement est à apporter.	Paragraphe 8.1.3.3.	Remarque pris en compte.

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tel. : 02 38 64 34 34

Direction Régionale Ile-de-France
Tour Mirabeau - 39-43, quai André Citroën
75 739 Paris Cedex 15 – France
Tél. : 01 40 58 89 17

Annexe 5 : Etude de stabilité de la digue périphérique (ANTEA Group)

Rapport

ISDI + de Cocherel (77)

Etude de stabilité de la digue périphérique

Rapport n°A111201/version C – 08 octobre 2021

Projet suivi par Mathilde TERNISIEN – 06.21.05.21.02 – mathilde.ternisien@anteagroup.com

Fiche signalétique

ISDI+ de Cocherel (77)

Etude de stabilité de la digue périphérique

CLIENT	SITE
Roland	
1563 avenue d'Antibes BP 50119 45201 MONTARGIS Cedex	COCHEREL (77)
Fabrice GERVAIS Responsable Développement Recyclage et Valorisation 06 11 27 01 75	

RAPPORT D'ANTEA GROUP	
Responsable du projet	Mathilde TERNISIEN
Interlocuteur commercial	Thierry PIRRION / Mathilde TERNISIEN
Implantation chargée du suivi du projet	Implantation de Lille 03.20.43.25.55 secretariat.lille-fr@anteagroup.com
Rapport n°	A111201 – version B
Version n°	version C
Votre commande et date	Commande n° C502802084 en date du 02/06/2021
Projet n°	IDFA210582

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	TERNISIEN	Ingénieur d'étude	Juin 2021	
Approbation	DUCOIN	Supérieur / Sachant	Juin 2021	

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A	04/06/2021	27	3	Version initiale
B	07/06/2021	27	3	Reprise à la suite des remarques client
C	08/10/2021	29	4	Ajout d'un encart p 21 et 22

Sommaire

1. Introduction 5
1.1. Contexte 5
1.2. Documents utilisés 5
2. Contexte général 6
2.1. Situation géographique 6
2.2. Description du projet 7
2.3. Contexte géologique et hydrogéologique 8
2.3.1. Géologie 8
2.3.2. Hydrogéologie 12
2.4. Aléas géotechniques 12
2.4.1. Aléa retrait gonflement des argiles 12
2.4.2. Aléa remontée de nappe 13
2.4.3. Aléa sismique 13
3. Justification de l'ouvrage 15
3.1. Généralités 15
3.2. Etude de stabilité 15
3.2.1. Méthodes et logiciel 15
3.2.2. Hypothèses de calculs 15
3.2.3. Résultats des calculs de stabilité 20
3.3. Vérification du non-poinçonnement 23
3.4. Recommandations constructives 26
4. Conclusion 28

Table des figures

Figure 1 : Localisation du site d'étude (Source : Infoterre – Echelle non respectée) 6
Figure 2 : Vue en plan du projet d'ISDI - Source : Eiffage Roland (Echelle non conservée) 7
Figure 3 : Extrait de la carte géologique de Meaux (Source : Infoterre - Echelle non conservée) 8
Figure 4 : Zoom sur l'emprise du site d'étude sur fond de carte géologique (Source : Infoterre) 8
Figure 5 : Légende de la carte géologique de Meaux (n°155) 9
Figure 6 : Localisation des sondages réalisés en septembre 2018 (Source : Eiffage Roland) 10
Figure 7 : Localisation des sondages réalisés en février 2019 (Source : Eiffage Roland) 11
Figure 8 : Carte de l'aléa retrait gonflement des argiles 12
Figure 9 : Cartographie de l'aléa remontée de nappe 13
Figure 10 : Implantation de la zone d'étude sur le zonage sismique en vigueur au 1er mai 2011 14
Figure 11 : Plan des coupes retenues pour l'étude de stabilité 16
Figure 12 : Coupe 1 modélisée – Situation long terme – Parement externe 18
Figure 13 : Coupe 1 modélisée – Situation court terme – Parement interne (ISDI vide) 19
Figure 14 : Coupe 2 modélisée – Situation long terme – Parement externe 19

Figure 15 : Coupe 2 modélisée – Situation court terme – Parement interne (ISDI vide)..... 19
Figure 16 : Vue de la mise en œuvre des boues de tunneliers sur l'ISDI+ de Préfontaines (45) – Source : Roland TP (1/4)..... 22
Figure 17 : Vue de la mise en œuvre des boues de tunneliers sur l'ISDI+ de Préfontaines (45) – Source : Roland TP (4/4)..... 22
Figure 18 : Valeurs de Pl et E_M dans les limons des plateaux – Source : G. Filliat – Unité des Pl : 10^5 Pa 25
Figure 19 : Valeurs de Pl et E_M dans les meulières de Montmorency– Source : G. Filliat – Unité des Pl : 10^5 Pa..... 26
Figure 20 : Valeurs de Pl et E_M dans les glaises vertes – Source : G. Filliat – Unité des Pl : 10^5 Pa 26

Table des tableaux

Tableau 1 : Coupe de sol retenue pour le profil 1..... 17
Tableau 2 : Coupe de sol retenus pour le profil 2 17
Tableau 3 : Caractéristiques géotechniques des matériaux 17
Tableau 4 : Résultats des calculs Talren 20
Tableau 5 : Résultats des calculs Talren – étude de sensibilité sur les caractéristiques mécaniques des matériaux ISDI 21

Table des annexes

Annexe I : Vue en plan et coupes du projet
Annexe II : Logs des sondages SC2 et SC4
Annexe III : Résultats Talren
Annexe IV : Résultats Talren – étude de sensibilité

1. Introduction

1.1. Contexte

La société **ROLAND** développe actuellement un projet de création d'une Installation de Stockage de Déchets Inertes Plus (ISDI +) sur la commune de Cocherel (77).

Dans ce cadre, Antea Group a réalisé pour la société ROLAND, une étude de justification de l'acceptabilité du projet vis-à-vis des eaux souterraines. Cette étude, dont la dernière édition (réf A99526 version G) est datée de septembre 2020, comprend notamment une étude du contexte géologique et hydrogéologique du secteur étudié et une modélisation hydrodispersive.

Depuis, le projet a été déposé auprès des services de l'état qui demande une étude complémentaire sur la stabilité de la digue périphérique.

Le présent rapport correspond à cette étude de stabilité et comprend :
- Le contexte géologique et hydrogéologique du site d'implantation ;
- Le contexte géotechnique du site étudié ;
- Les calculs de stabilité des digues périphériques de l'ouvrage ;
- Des recommandations constructives.

Ce rapport est indissociable de ses annexes.

1.2. Documents utilisés

Pour la réalisation de cette étude, les documents suivants ont été utilisés :
- Plan topographique du terrain naturel, datant du 14/03/2018 - format dwg ;
- Plan du projet, datant de 17/06/2019 – format dwg ;
- Coupes de 4 profils le long de la digue périphérique – format pdf.

Par ailleurs, Antea Group a été missionné en 2019 pour la réalisation d'une étude hydrodispersive visant à justifier de l'impact acceptable de ce projet de stockage vis-à-vis des eaux souterraines (référencée A99526 Version G de septembre 2020). A cette occasion, les contextes géologiques, hydrogéologiques et hydrauliques du site ont été étudié sur la base des documents fournis et des données disponibles (bases de données Infoterre, SIGES…). Le présent rapport s'appuie en partie sur ces éléments (notamment les coupes des sondages carottés réalisés par Roland en 2018).

2. Contexte général

2.1. Situation géographique

Le projet d'aménagement de l'ISDI + est localisé dans le département de la Seine et Marne (77), sur la commune de Cocherel. Le secteur d'étude est repris sur la figure suivante et correspond à l'emprise au sol des parcelles ZK28, ZK29, ZK34, ZK35 et ZK67.

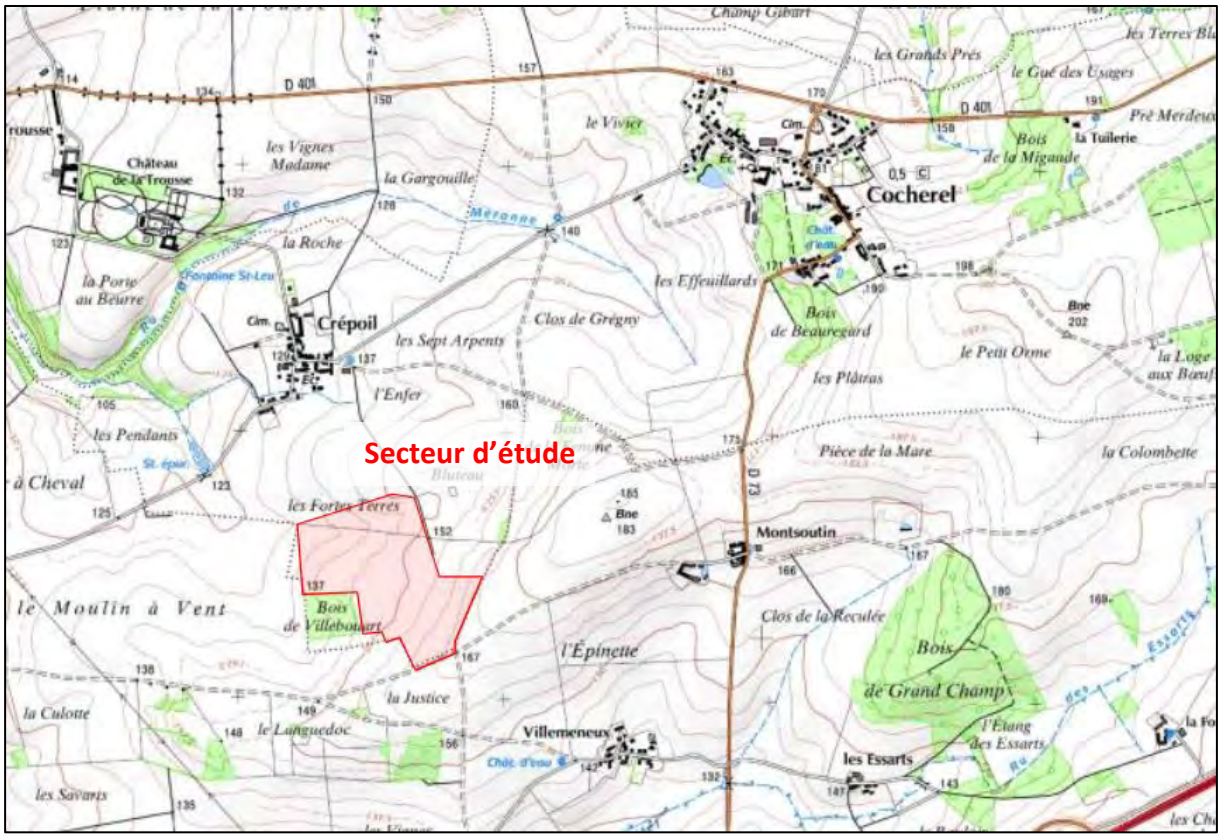


Figure 1 : Localisation du site d'étude (Source : Infoterre – Echelle non respectée)

Le site est desservi depuis l'ouest par un chemin de terre communal relié à la rue Merranne. A terme, un chemin sera également créé au nord-est du site pour rejoindre le chemin communal Femme Morte.

Dans l'état actuel, la topographie du site est comprise entre 135 m NGF et 160 m NGF. Le point bas est situé au niveau de nord-ouest du site, tandis que le point haut est situé au sud-est.

L'emprise du secteur d'étude est actuellement occupée par des parcelles agricoles en exploitation.

2.2. Description du projet

Le plan suivant présente le projet d'ISDI.

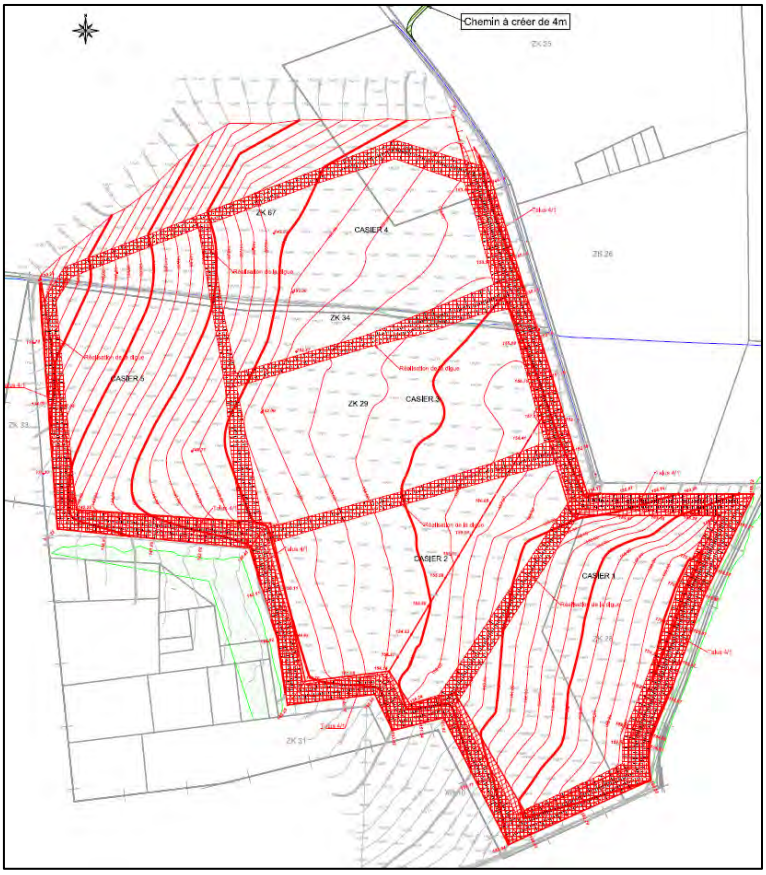


Figure 2 : Vue en plan du projet d'ISDI - Source : Eiffage Roland (Echelle non conservée)

Ce projet prévoit :

- Le stockage de **1 600 000 m³** de déchets inertes, accueillis pendant **10 ans** ;
- Une division de l'exploitation selon **5 casiers** séparés par des diguettes de 2 m de haut ;
- Au droit des casiers 4 et 5, en lien avec la géologie présentant un marno-calcaire affleurant, dans cette zone, une **épaisseur de 60 cm d'argile** sera mise en œuvre avec une **perméabilité de 1.10^{-9} m/s**. Les argiles mises en œuvre seront issues du site, notamment d'un décaissement prévu au niveau des casiers 1 à 3 (décaissement maximum d'environ 3 m au niveau du sud-est du site) ;
- La digue périphérique du projet sera également réalisée à l'aide des argiles du site ;
- La **couverture** des déchets inertes **à l'avancement** ;
- La restitution de l'emprise en parcelles agricoles à l'issue de l'exploitation.

Le point haut du projet fini (après mise en œuvre de la couverture finale) est fixé à 170,57 m NGF et est situé au sud-est du site. La hauteur maximale de stockage est de l'ordre de 14 m. Le modelé final présentera une pente de 2 % à 10 % vers le nord-est.

Le modelé est conçu de manière à rattraper le terrain naturel au nord du site. Sur les pourtours est, sud et ouest une digue périphérique sera mise en place selon les caractéristiques suivantes : H = 5 m et Pente = 25%.

2.3. Contexte géologique et hydrogéologique

Ces données sont en partie reprises du rapport A99526 rédigé par Antea Group en 2020.

2.3.1. Géologie

Le site est situé à 75 km environ de Paris et appartient donc au grand ensemble du Bassin parisien, au droit de formations tertiaires de l'Eocène.

Le contexte géologique est étudié en première approche à l'aide de la carte géologique au 1/50 000 de Meaux (n°155) présenté par la figure suivante :

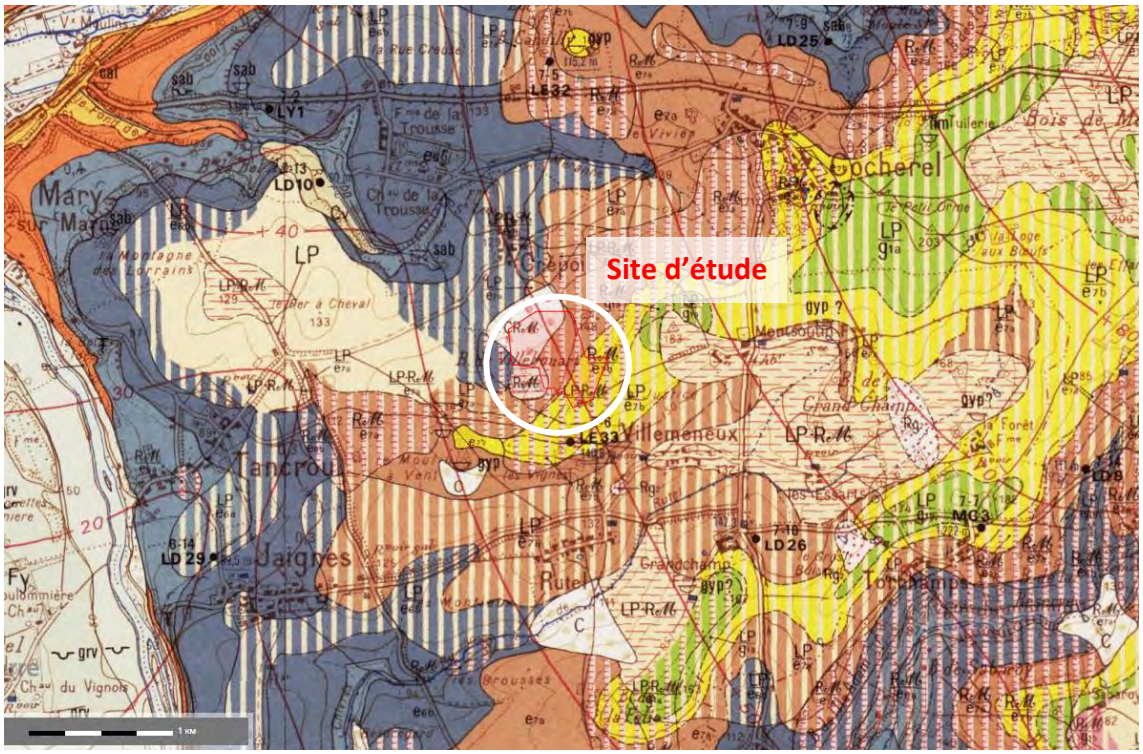


Figure 3 : Extrait de la carte géologique de Meaux (Source : Infoterre - Echelle non conservée)

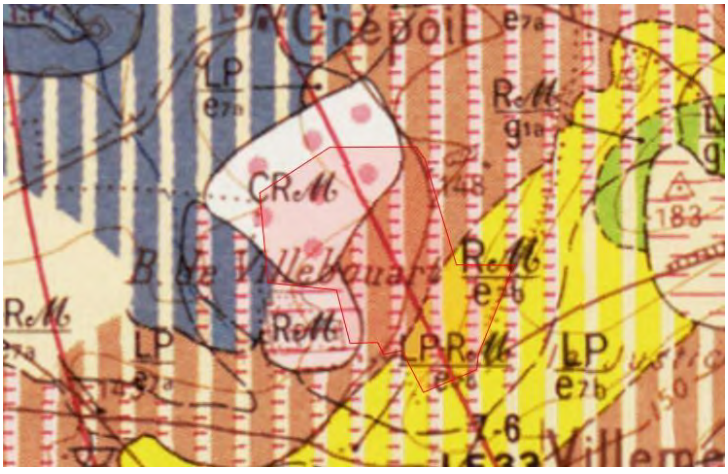


Figure 4 : Zoom sur l'emprise du site d'étude sur fond de carte géologique (Source : Infoterre)

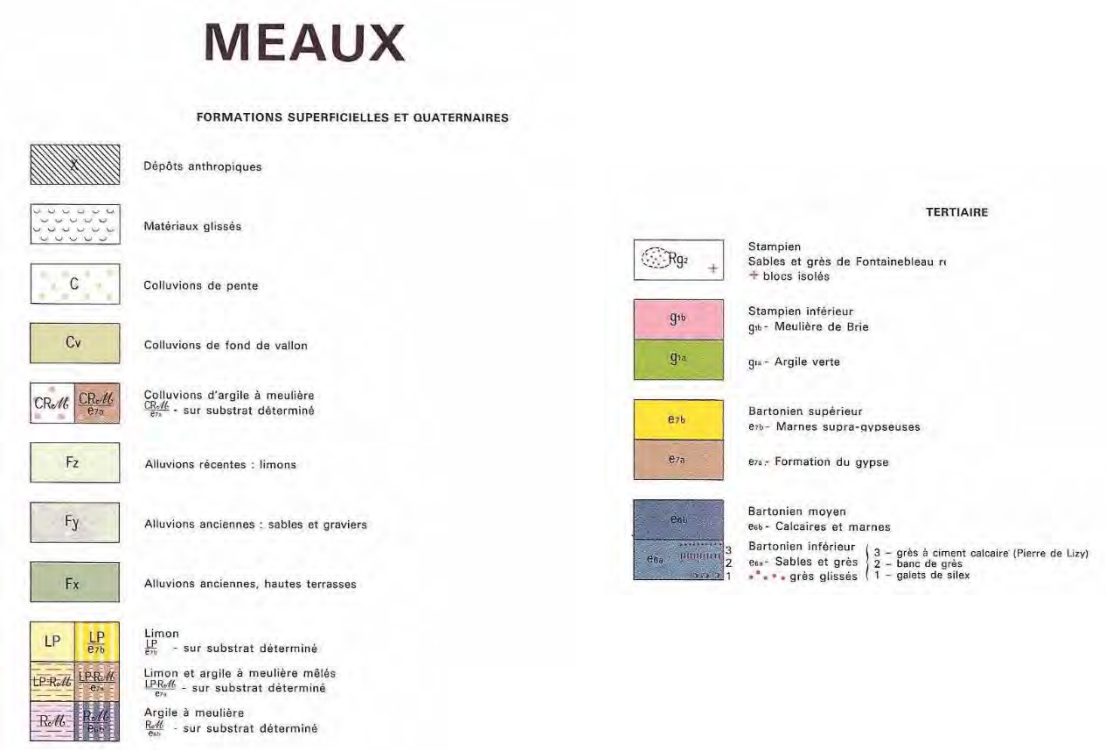


Figure 5 : Légende de la carte géologique de Meaux (n°155)

Le site d'étude est situé en rive droite de la Marne, à proximité de la confluence avec l'Ourcq, sur des terrains éocènes recouverts de formations superficielles quaternaires. Les formations tertiaires de la carte montrent une alternance de niveaux marneux à passées évaporitiques et de niveaux calcaires. La Marne a incisé ces formations et déposé ses alluvions limoneuses/graveleuses.

Au droit du projet, les formations recoupées en surface sont les suivantes :

- CR*M* : Colluvions d'argiles à meulière ;
- R*M* : Argiles à meulière ;
- R*M*/e7b : Argile à meulière sur Marnes supra-gypseuses ;
- R*M*/e7a : Argile à meulière sur Formation du gypse ;
- R*M*/e6b : Argile à meulière sur calcaire et marnes.

Ces dépôts éocènes ont une structure monoclinale orientée vers l'Ouest.

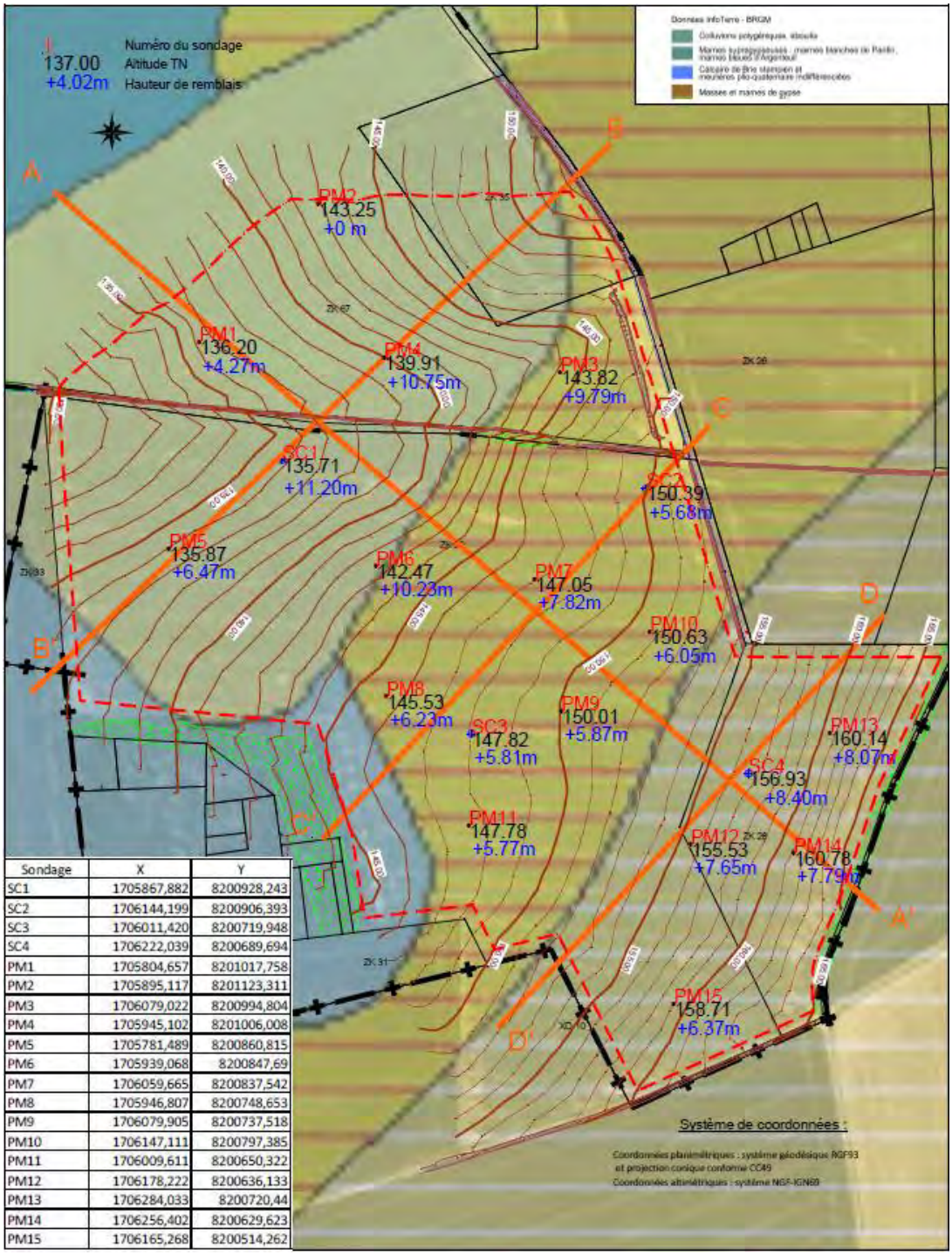
Au niveau du terrain naturel, les formations affleurantes correspondent aux masses et marnes du gypses et aux calcaires de Saint-Ouen.

Dans le cadre du développement du projet de stockage, des investigations géotechniques ont été menées par ROLAND. Le programme de la campagne de reconnaissances, réalisée en deux temps, est détaillé ci-après :

- Septembre 2018 :
  - 15 fouilles à la pelle mécanique, PM1 à PM15, menées jusque 3 à 4 m de profondeur ;
  - 4 forages carottés de 10 m de profondeur (SC1 à SC4).
- Février 2019 : réalisation de 2 sondages carottés supplémentaires (SC4* jusque 25,5 m, SC5 jusque 33m) visant à atteindre les formations gypsifères du Bartonien.

** Le sondage SC4 de la seconde campagne de reconnaissance sera noté SC4* dans cette étude pour le différencier du sondage SC4 réalisé en septembre 2018.*

Les figures suivantes présentent la localisation des sondages.



Sondage	X	Y
SC1	1705867,882	8200928,243
SC2	1706144,199	8200906,393
SC3	1706011,420	8200719,948
SC4	1706222,039	8200689,694
PM1	1705804,657	8201017,758
PM2	1705895,117	8201123,311
PM3	1706079,022	8200994,804
PM4	1705945,102	8201006,008
PM5	1705781,489	8200860,815
PM6	1705939,068	8200847,69
PM7	1706059,665	8200837,542
PM8	1705946,807	8200748,653
PM9	1706079,905	8200737,518
PM10	1706147,111	8200797,385
PM11	1706009,611	8200650,322
PM12	1706178,222	8200636,133
PM13	1706284,033	8200720,44
PM14	1706256,402	8200629,623
PM15	1706165,268	8200514,262

Figure 6 : Localisation des sondages réalisés en septembre 2018 (Source : Eiffage Roland)

Figure 7 : Localisation des sondages réalisés en février 2019 (Source : Eiffage Roland)

En cohérence avec les informations de la carte géologique, les investigations sur site ont permis d'identifier, sous une épaisseur de terre végétale, les formations suivantes :

- **Limons des plateaux** (LP) : formation de recouvrement rencontrée au centre et au sud de la zone d'étude (fouilles PM3, PM5, PM6, PM7, PM9, PM10, PM11, PM12, PM13, PM15 et SC1 à 4). Epaisseur de 1 m environ (épaisseur maximale de 3,5 m sur PM5, nord-ouest du site) ;

- **Argile résiduelle à meulières** (RM) : formation rencontrée (parfois sous forme de passée argileuse) au centre et au sud du site d'étude (SC2, SC3, SC4, PM2, PM3, PM7, PM8, PM9, PM11, PM12, PM13, PM14 et PM15). Argile de nature très plastique et indurée. Epaisseur moyenne de 1,5 à 2 m ;

- **Marnes gypsifères** (Bartonien supérieur – e7) : formation rencontrée au centre et au sud de la zone de projet de façon plus ou moins marquée (SC2, SC3, SC4, SC4*, PM6, PM7, PM8, PM9, PM10, PM11, PM12, PM13, PM14 et PM15). Les deux sous-étages de cette formation sont rencontrés au droit du site :
    - **Marnes supra-gypseuses** (e7b) : identifiées au sud du site sous la forme des Marnes blanches de Pantin ;
    - **Masses et marnes du gypse** (e7a) : identifiées à l'est de la partie centrale (ton brunâtre plus prononcé).

- **Bartonien moyen** (Marinésien) : formation rencontrée uniquement au nord du site d'étude (fouilles PM1, PM2, PM3, PM4, PM5 et SC1). Alternance de bancs marneux +/- argileux et de calcaire tendre +/- altéré. Recoupé jusque 10 m au droit de SC1.

La seconde campagne de reconnaissance a permis de recouper les masses gypsifères sur le sondage SC4*, mais pas sur le SC5.

2.3.2. Hydrogéologie

La notice de la carte géologique de Meaux (n°155) liste les niveaux aquifères présents au droit du site d'étude. Dans le cadre de notre étude de stabilité, on se concentre sur les premiers niveaux aquifères, décrit tel que suit :

« Les formations superficielles trop peu épaisses, généralement déboisées, ne conservent que peu de temps les eaux météoriques qu'elles perdent par évaporation ou évapotranspiration. […]

Un second niveau apparait au toit des marnes intercalées dans les formations gypseuses (e7) ; le débit de ces sources est également faible.

De petites nappes locales peuvent s'installer également sur les lits argileux de la partie inférieure du Marinésien. »

Au regard de ces éléments, nous ne retiendrons pas de niveau d'eau pour la réalisation de l'étude de stabilité.

2.4. Aléas géotechniques

2.4.1. Aléa retrait gonflement des argiles

D'après les données du BRGM issues du site www.georisques.gouv.fr, la zone d'étude est localisée en zone d'aléa **fort** vis-à-vis du phénomène de retrait gonflement des argiles pour les ouvrages superficiels.

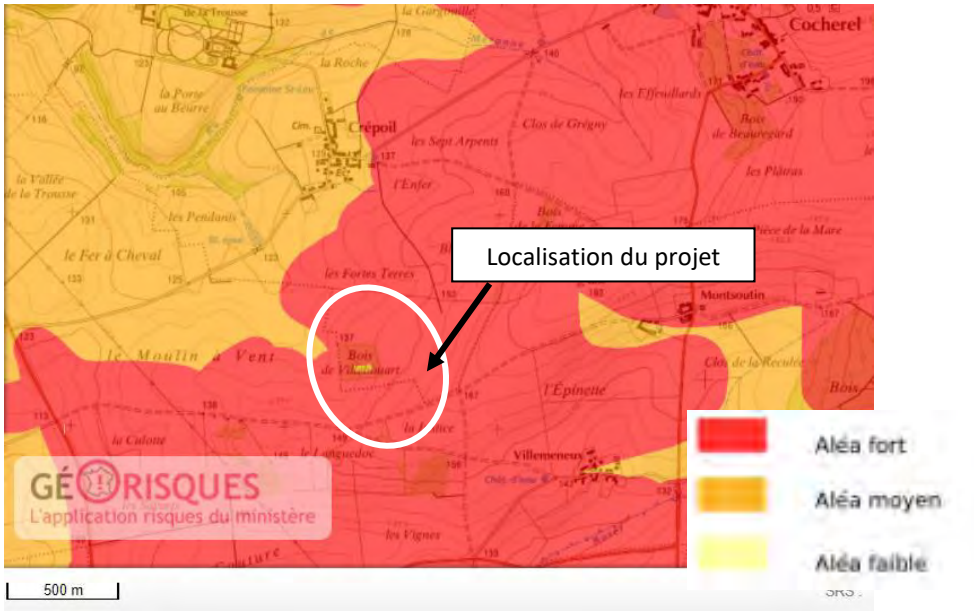


Figure 8 : Carte de l'aléa retrait gonflement des argiles

Compte tenu de la nature de l'ouvrage (digue et remblai) cet aléa n'impactera pas le projet.

2.4.2. Aléa remontée de nappe

D'après les données du BRGM issues du site Infoterre, le projet étudié n'est pas situé dans une zone sujette aux débordements de nappe.

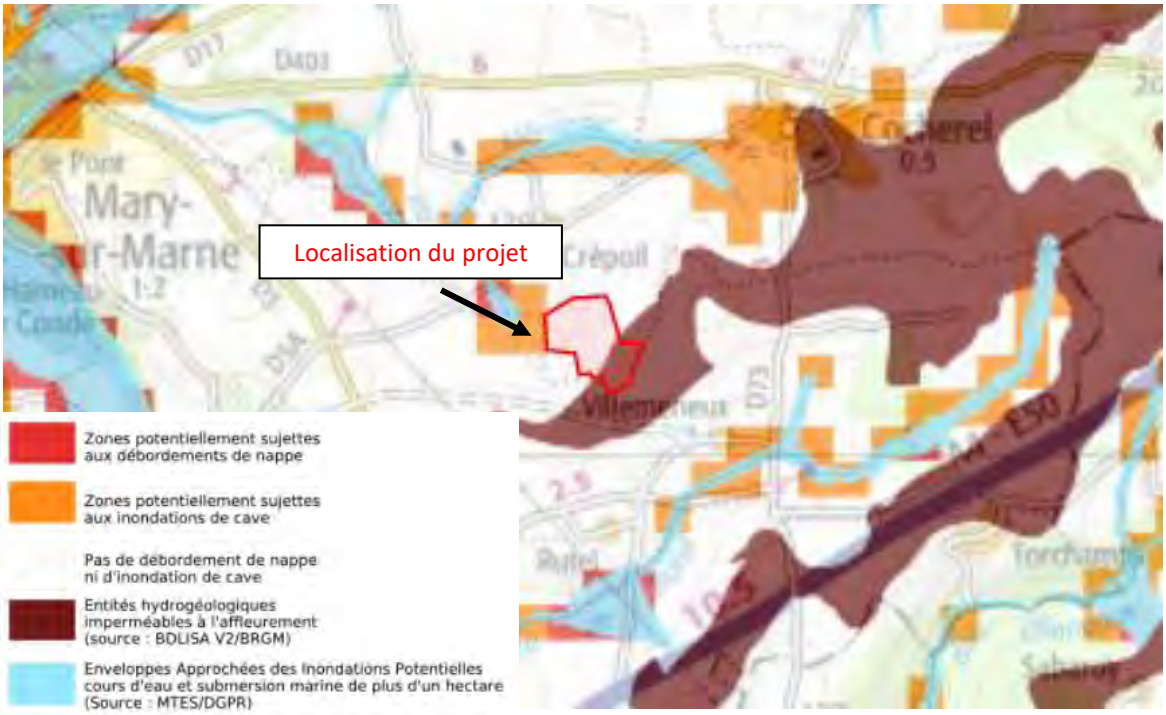


Figure 9 : Cartographie de l'aléa remontée de nappe

2.4.3. Aléa sismique

La commune de Cocherel est classée en zone de sismicité 1 (aléa TRÈS FAIBLE) selon le zonage réglementaire en vigueur (décret n°2010-1254 et 2010-1255 du 22/10/2010).

L'accélération sismique de référence est égale à 0,4 m/s². La figure 10 présente un extrait de la carte de l'aléa sismique régional.

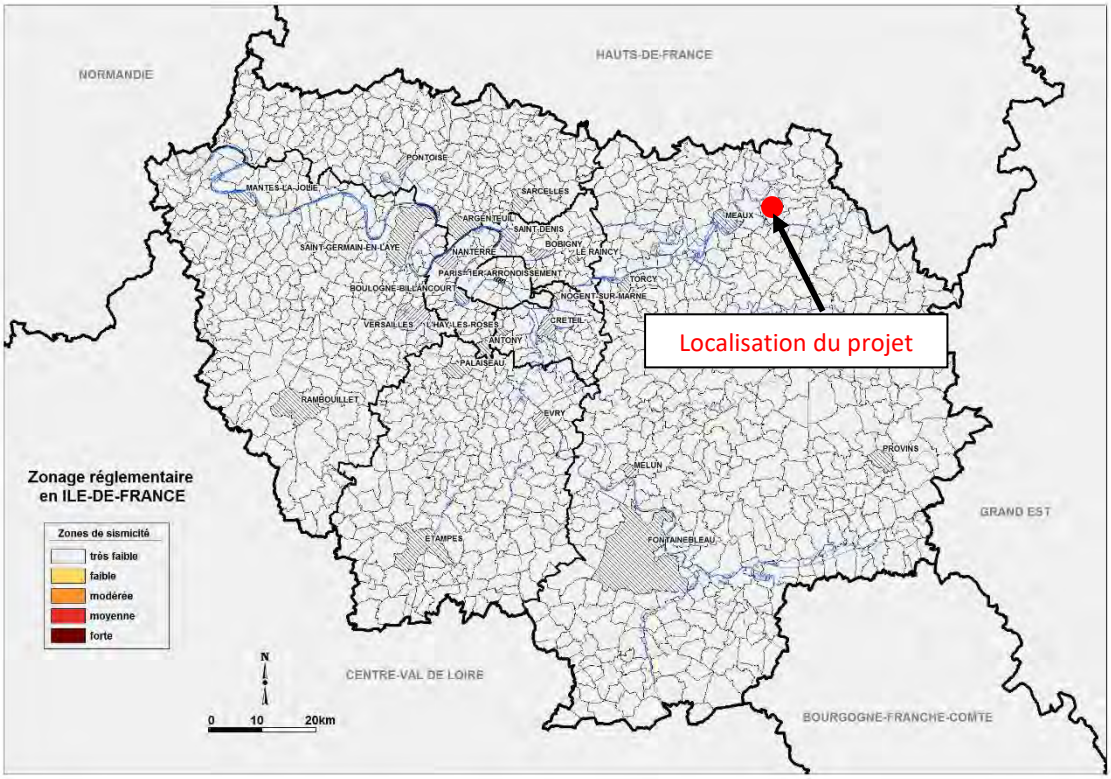


Figure 10 : Implantation de la zone d'étude sur le zonage sismique en vigueur au 1er mai 2011

Au regard de la lithologie au droit du site, les sols concernés sont de classe sismique S1 (dépôts contenant au moins 10 m d'argiles molles et plastiques).

Au vu de la nature des terrains d'assise et de l'ouvrage étudié, sans ouvrage ou construction à proximité, le risque de liquéfaction de ces matériaux peut être négligé.

3. Justification de l'ouvrage

3.1. Généralités

Pour justifier la conception de la digue et du modelé du massif de déchets inertes, les vérifications suivantes ont été réalisées :

- Etude de la stabilité de l'ouvrage ;
- Vérification au non-poinçonnement des sols d'assise de la digue, de manière à valider le projet de montée du remblai.

Le détail de ces justifications est donné dans les paragraphes suivants.

3.2. Etude de stabilité

3.2.1. Méthodes et logiciel

Les calculs de stabilité ont été menés à l'aide du logiciel TALREN v. 5.2., en utilisant la méthode de Bishop (surfaces de ruptures circulaires).

Sur une surface potentielle de glissement, le coefficient de sécurité, noté Γmin, est calculé comme le rapport des efforts résistants (résistance au cisaillement du sol, renforcements…) sur les efforts moteurs (poids des terrains, écoulement de l'eau dans le sol…).

Le coefficient de sécurité de l'ouvrage est donné par la surface la plus critique (FS minimal).

Selon la méthode traditionnelle (source : Fondations ouvrages en terre – G. Philipponnat et B. Hubert), en considérant des coefficients de sécurité partiels pris égaux à 1, la stabilité de l'ouvrage considéré est dite satisfaisante si :

- Fondamental - long terme : Fs ≥ 1,5
- Phase provisoire / Sismique : Fs ≥ 1,2

3.2.2. Hypothèses de calculs

3.2.2.1. Profils de calculs retenus

Dans le cadre de ce projet, la géométrie de la digue périphérique est homogène sur la quasi-totalité de son tracé. Elle respecte les critères suivants :

- Hauteur : 5m ;
- Pente : 25%

Localement, la digue est moins haute, sur le linéaire de la digue ouest du casier 5.

La stabilité de la digue périphérique est étudiée sur la base de 2 coupes n°1 et n°2 fournies par ROLAND. La coupe 1 est située au niveau du point haut du stockage (170,57 m NGF, soit 3,3 m au-dessus de la digue périphérique) et correspond donc au profil le plus défavorable. La coupe 2 est située dans le linéaire du talus Est, surplombée par environ 3,1 m de matériaux inertes, elle correspond à une situation courante de la digue périphérique.

Les profils étudiés sont localisés sur la figure suivante.

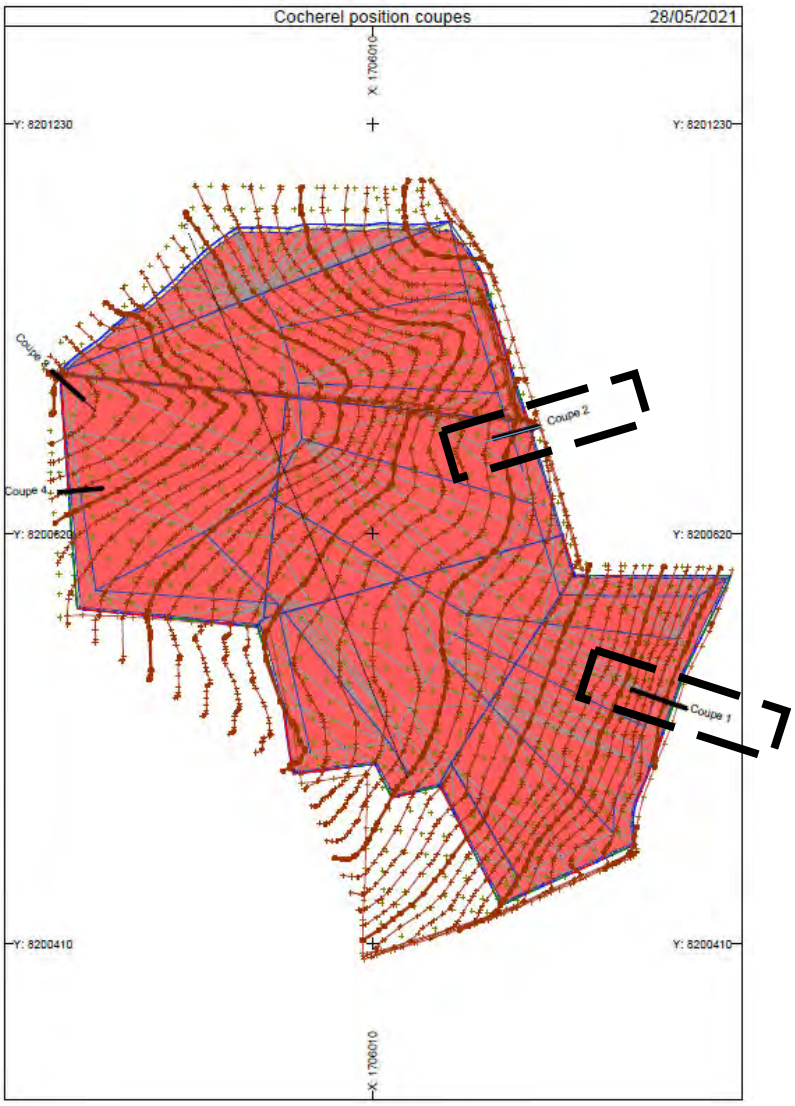


Figure 11 : Plan des coupes retenues pour l'étude de stabilité

Le plan du site et les coupes 1 et 2 étudiées sont fournies en annexe 1.

En lien avec les investigations réalisées par Roland et présentées sur la figure 6 (localisation des sondages réalisés en septembre 2018), les coupes géotechniques des profils retenus seront basées sur :

- Le sondage SC4 pour la coupe 1 ;
- Le sondage SC2 pour la coupe 2.

Les logs de ces deux sondages sont fournis en Annexe II.

En lien avec les données de la carte géologique, les horizons recoupés par les sondages sont :

- Les limons des plateaux ;
- Les Argiles à Meulières ;
- Les Marnes supragypseuses.

La notice de la carte géologique permet d'estimer l'épaisseur totale des marnes du Ludien (Bartonien supérieur – e7) à 30 m minimum, réparties comme suit :

- 20 à 25 m pour les Masses et Marnes du gypse (e7a) ;
- 10 m pour les Marnes supragypseuses (e7b).

Cette formation est considérée comme le substratum géotechnique du site ; les horizons sous-jacents ne seront pas modélisés.

Les modèles géotechniques retenus sont présentés ci-après :

Coupe 1 (basée sur SC4)	Epaisseur (m)
Limon brun argileux	1,4
Argiles	2,6
Marnes	> 6,4

Tableau 1 : Coupe de sol retenue pour le profil 1

Coupe 2 (basée sur SC2)	Epaisseur (m)
Limon brun argileux	0,8
Argiles	2,2
Marnes	> 7,4

Tableau 2 : Coupe de sol retenus pour le profil 2

Pour rappel, les horizons du secteur d'étude présentent un pendage d'environ 1% vers le sud-ouest. En surface, le pendage des couches a été pris parallèle au terrain naturel, celui-ci devant s'adoucir plus en profondeur.

3.2.2.2. Caractéristiques géotechniques retenues

Par soucis de simplification, la couverture en argile et terre végétale ne sera pas modélisée.

Les investigations réalisées sur site (sondages carottés et fouilles à la pelle mécanique) ne fournissent pas de données relatives aux caractéristiques mécaniques des matériaux en place. Les valeurs retenues dans le cadre de cette étude sont donc issues de la bibliographie (FILLIAT) et du retour d'expérience Antea Group (projet d'ISD dans l'Aisne dans les mêmes formations).

Les caractéristiques géotechniques des matériaux modélisés sous Talren sont reprises dans le tableau suivant :

Matériau	Poids volumique γh (kN/m^3)	Cohésion c' (kPa)	Angle de Frottement φ' (°)
Limon brun argileux	18	5	25
Argiles	18	10	25
Marnes	18	5	20
Argiles recompactées (digue)	18	10	25
Matériaux ISDI	18	5	25

Tableau 3 : Caractéristiques géotechniques des matériaux

Nota : Afin de confirmer les hypothèses prises dans le cadre de cette étude, les formations suivantes devront donc être caractérisées (masse volumique, cohésion et angle de frottement) :

- Limons des plateaux ;
- Argiles ;
- Marnes ;
- Argiles recompactées pour les digues ;
- Matériaux de remblaiement ISDI.

3.2.2.3. Niveau d'eau

De manière sécuritaire, il a été pris en compte un niveau d'eau dans les matériaux stockés.
Sur les figures suivantes, la continuité de la nappe dans les horizons en place n'est pas représentative de la réalité mais est nécessaire d'un point de vue calculatoire (pas de niveau de nappe dans les niveaux superficiels du site) : ce choix est sécuritaire.

3.2.2.4. Conditions sismiques

Le projet s'implante dans une zone de sismicité très faible, les calculs en condition sismique ne sont pas nécessaires.

3.2.2.5. Situations calculées

Les calculs seront menés de manière à vérifier :

- pour le parement externe : les stabilités internes et générales à long terme (Fs ≥ 1,5) ;
- pour la parement interne : les stabilités internes et générales à court terme (Fs ≥ 1,3), situation durant laquelle la digue est construite, les terrains en place décaissés, mais les matériaux inertes non encore mis en œuvre.

Les figures suivantes reprennent la géométrie des profils étudiés :

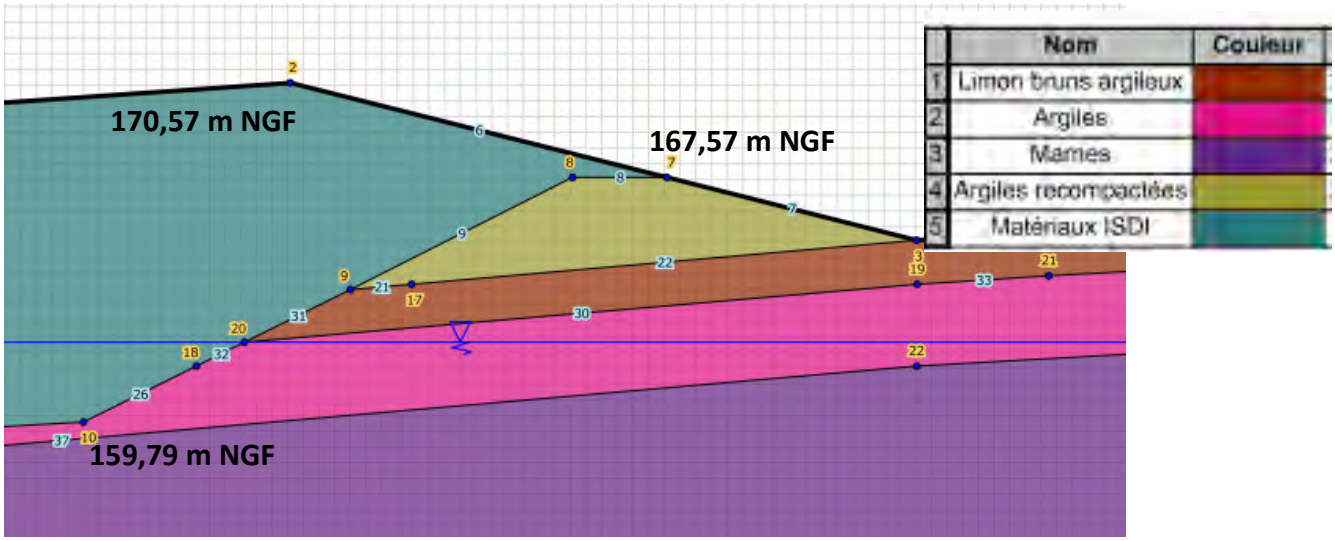


Figure 12 : Coupe 1 modélisée – Situation long terme – Parement externe

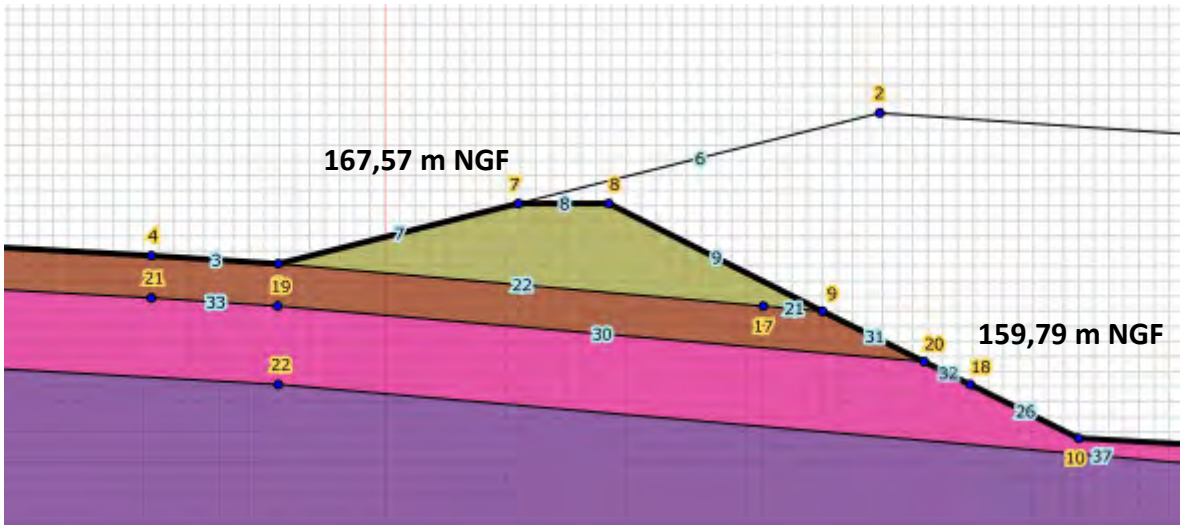


Figure 13 : Coupe 1 modélisée – Situation court terme – Parement interne (ISDI vide)

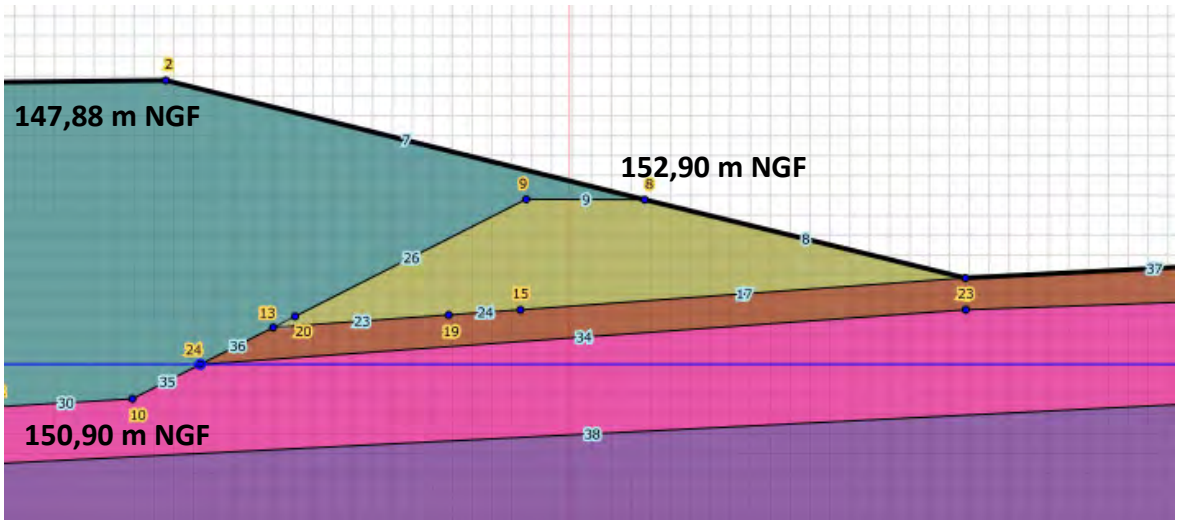


Figure 14 : Coupe 2 modélisée – Situation long terme – Parement externe

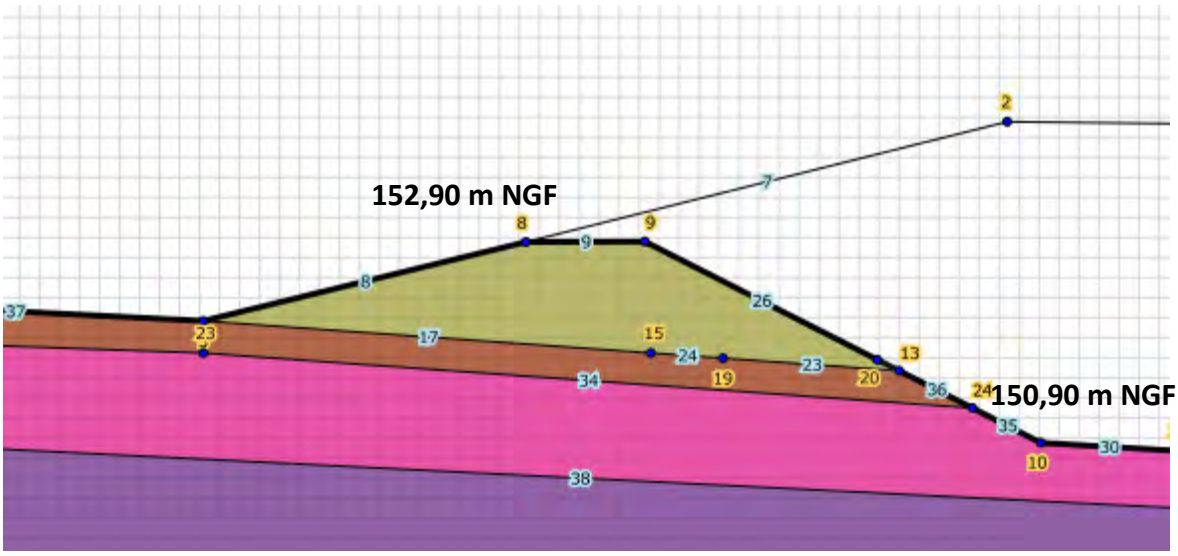


Figure 15 : Coupe 2 modélisée – Situation court terme – Parement interne (ISDI vide)

3.2.3. Résultats des calculs de stabilité

Les résultats des calculs effectués sous Talren sont résumés dans le tableau suivant :

Profil étudié		Coupe 1	Coupe 2
Situation étudiée		Stabilité générale (STR) Parement externe	
Situation finale Parement externe Long terme (Fs ≥ 1,5)	Stabilité interne	3,22	3,25
	Stabilité générale	2,89	2,90
Situation transitoire Parement interne Court terme (Fs ≥ 1,3)	Stabilité interne	2,81	2,82
	Stabilité générale	1,52	1,99

Tableau 4 : Résultats des calculs Talren

L'ensemble des résultats Talren sont fournis en *annexe III.*

En situation finale et en situation court terme, la digue périphérique et le massif de déchets inertes présentent une stabilité satisfaisante.

Il conviendra de vérifier en phase étude de projet, que les caractéristiques des matériaux (marnes et argiles mises à nu, argiles du site recompactées pour les digues, …) sont conformes avec les hypothèses prises dans les calculs, notamment sur la base d'essais en laboratoire (identifications GTR, essais de cisaillement).

Une attention particulière sera portée à la formation des marnes supra-gypseuses connues pour être sujettes à glissements de terrains. Ces glissements, dirigés vers l'intérieur des casiers pourraient constitués un inconvénient pour l'exploitation, mais n'impacteront pas la périphérie extérieure de la digue.

Réponses aux demandes de la DREAL formulées en septembre 2021

Rappel de la demande (extrait du courrier de la DREAL)

Dans l'annexe 5 relative à l'étude de stabilité de la digue périphérique, datée de juin 2021, il convient de justifier que les caractéristiques géotechniques des déchets inertes mentionnées en page 17, ainsi que les hypothèses prises en compte dans cette étude, correspondent aux déchets inertes qui seront stockés sur le site, notamment les boues de tunneliers.

Réponse

Les hypothèses de caractéristiques mécaniques des déchets inertes ont été calquées sur les valeurs courantes retenues pour des matériaux limono-argileux (c = 5 kPa ; φ' = 25°). Cette hypothèse permet d'appréhender l'accueil sur site de matériaux terreux issus de chantiers.

Concernant les boues de tunneliers identifiées comme gisement, nous avons consulter la littérature scientifique pour identifier les retours d'expériences disponibles. Sans résultats probants, nous avons choisi de réaliser une étude de sensibilité sur les valeurs de cohésion (c') et de frottement (φ') de ces matériaux. Respectivement, les valeurs de cohésion et de frottement testées sont comprises entre 0,5 kPa et 2 kPa et entre 15 et 20°. Les caractéristiques mécaniques testées sont donc plus faibles que celles retenues dans les calculs initiaux.

Les résultats de cette étude de sensibilité (résultats Talren) sont disponibles en Annexe 4. Le tableau de synthèse est repris ci-après.

Situation	Paramètres mécaniques pour les matériaux ISDI	Coupe 1 – Parement externe	Coupe 2 – Parement externe
Stabilité interne	c'= 0,5 kPa Φ'= 15°	1,39 (<1,5)	1,32 (<1,5)
	c'= 1 kPa Φ'= 15°	1,60	1,50
	c'= 2 kPa Φ'= 15°	1,84	1,89
	c'= 0,5 kPa Φ'= 20°	1,79	1,72
	c'=2 kPa Φ'=20°	2,42	2,21
Stabilité générale	c'= 0,5 kPa Φ'= 15°	1,39 (<1,5)	1,32 (<1,5)
	c'= 1 kPa Φ'= 15°	1,60	1,50
	c'= 2 kPa Φ'= 15°	1,84	1,89
	c'= 0,5 kPa Φ'= 20°	1,79	1,72
	c'=2 kPa Φ'=20°	2,42	2,21

Tableau 5 : Résultats des calculs Talren – étude de sensibilité sur les caractéristiques mécaniques des matériaux ISDI

Logiquement, les coefficients de sécurité obtenus sont plus faibles que ceux obtenus sur les calculs initiaux (calculs initiaux plus sécuritaires). Ces calculs permettent également d'identifier les caractéristiques mécaniques minimales que devront respecter les déchets inertes (et notamment les boues de tunneliers) : au-delà d'une cohésion c = 1 kPa et d'un angle de frottement φ' = 15°, le stockage est stable. Ce couple de caractéristiques apparait comme très faible par rapport aux caractéristiques des matériaux naturels.

Par ailleurs, concernant les boues de tunneliers identifiées comme gisement, on note que la société ROLAND TP a déjà eu l'occasion de mettre en œuvre ces matériaux sur son ISDI+ de Préfontaines (45). Les clichés suivants permettent de visualiser le caractère « pâteux » et non liquide de ces matériaux.

Sur la base des clichés suivants, les boues semblent s'apparenter à un matériau argileux (matériaux présentant classiquement des caractéristiques mécaniques supérieures à celle calculées ci-avant).

Figure 16 : Vue de la mise en œuvre des boues de tunneliers sur l'ISDI+ de Préfontaines (45) – Source : Roland TP (1/4)

Figure 17 : Vue de la mise en œuvre des boues de tunneliers sur l'ISDI+ de Préfontaines (45) – Source : Roland TP (4/4)

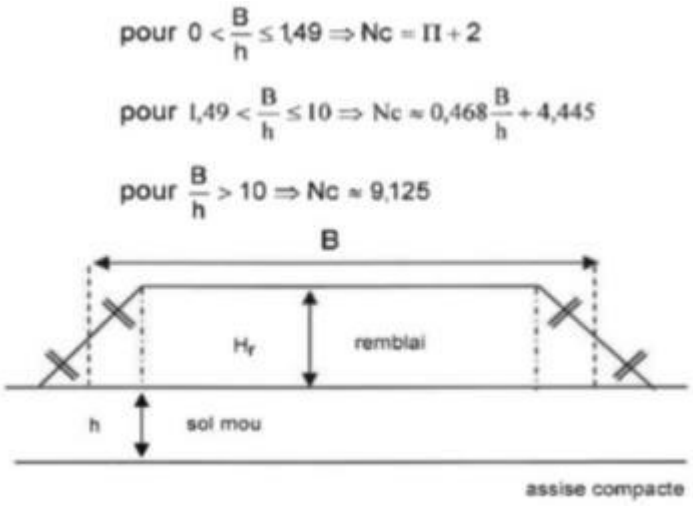
3.3. Vérification du non-poinçonnement

Dans le cas d'un remblai sur sol cohérent mou, la méthode de vérification du non-poinçonnement est rattachée à la justification du non-poinçonnement pour des semelles superficielles ancrées dans un bicouche. Dans notre cas d'étude, les formules utilisées sont celles considérant un substratum rigide sous les formations plus molles (limons et argiles). L'équation à résoudre est la suivante :

$$\frac{q_u}{q} > \gamma_{R,d;v} * \gamma_{R;v}$$

Avec :

- q_u =contrainte effective des sols, calculée selon la méthode de Mandel et Salençon, soit $q_u = q_0 + C_u * N_c$;
  avec :
  - q_0 : la contrainte effective minimale au niveau de la fondation (en kPa).Dans notre cas de figure, q_0 = 0 kPa, le remblai s'implantant au niveau du terrain naturel (pas de déblais) ;
  - Nc : le coefficient de capacité portante (sans unité) ;
    Pour l'estimation de Nc, 2 méthodes de calcul ont été réalisées et la valeur la plus faible sera retenue dans le calcul. Les deux méthodes de calculs évoquées sont décrites ci-dessous :
    Méthode 1 : Nc fonction de B et h, selon les indications du schéma suivant :



Méthode 2 : $Nc = 4 + 0{,}5 * \frac{B}{h}$

Le calcul de vérification au non-poinçonnement est réalisé au niveau de la coupe 1 qui présente une épaisseur totale de terrains meubles (limons et argiles) plus élevée : 4 m, contre 3,2 m sur la coupe 2 basée sur le SC4.

Dans notre cas de figure, on retient donc :

h = 4 m ;

B = 10,5 m (piste de 3 m, largeur en pied de 18 m).

D'où :

B/h = 2,62.

Par calcul de Nc, on obtient donc :

Méthode 1 : Nc = 0,468*2,62+4,445 = 5,67

Méthode 2 : Nc = 5,31

Pour la suite des calculs, on retient Nc = 5,31.

- Cu : la cohésion non drainée du sol.
  En l'absence d'essais de cisaillement court terme, la cohésion non drainée Cu des formations superficielles lâches (limons +/- argileux et/ou sableux …) peut être estimée à partir de la corrélation de AMAR & JEZEQUEL, citée par AMAR & al. [AMAR, 1991] :

$$C_u \approx \frac{Pl}{5,5} \text{ lorsque Pl} < 0,3 \text{ MPa} \; ; \; C_u \approx \frac{Pl}{10} + 0,025 \text{ lorsque Pl} > 0,3 \text{ MPa}$$

  Dans notre cas de figure, les calculs seront menés de manière à déterminer la valeur minimale de pl ou de Cu admissible pour vérifier le non-poinçonnement des sols d'assise de la digue. Des essais géotechniques complémentaires devront être réalisés pour s'assurer que les terrains en place présentent des caractéristiques minimales calculées ci-dessous.

- q = charge appliquée par le remblai sur le sol d'assise, calculée selon la formule $q = \gamma_r * H_r$; avec :
  - Hr = hauteur du remblai (en m) ;
  - γ_r = densité du remblai (en kN/m^3) ;
    Dans notre cas de figure, on obtient donc q = 18 * 3 m = 54 kPa (sur la coupe 1, hauteur de la digue mesurée à 2,91 m arrondi à 3 m pour le calcul).

- $\gamma_{R,d,v}$ = coefficient de modèle (sans unité) $\gamma_{R,d,v}$ = 1,4 ;
- $\gamma_{R,v}$ = facteur partiel permettant de déterminer la valeur caractéristique (sans unité). Dans notre cas, prise en compte d'une situation ELU combinaison fondamentale, $\gamma_{R,v}$ = 1,2.

Comme précisé précédemment, sans données de Cu ou de Pl* sur les formations sous-jacentes, le calcul de la vérification au non-poinçonnement a été inversé de manière à déterminer la valeur minimale de Cu ou de Pl* à respecter pour satisfaire la condition de non-poinçonnement.
Ce calcul est mené sur la formule de calcul de Cu la plus défavorable.

$$\frac{q_u}{q} > \gamma_{R,d;v} * \gamma_{R;v}$$

$$\frac{q_0 + C_u * N_c}{\gamma_r * H_r} > \gamma_{R,d;v} * \gamma_{R;v}$$

D'où, en considérant la formule suivante pour l'estimation de Cu :

$$C_u \approx \frac{Pl}{5,5} \text{ lorsque Pl} < 0,3 \text{ MPa}$$

$$\frac{q_0 + \frac{pl}{5,5} * N_c}{\gamma_r * H_r} > \gamma_{R,d;v} * \gamma_{R;v}$$

$$pl > \frac{5{,}5\left[(\gamma_{R,d;v} * \gamma_{R;v} * \gamma_r * H_r) - q_0\right]}{N_c}$$

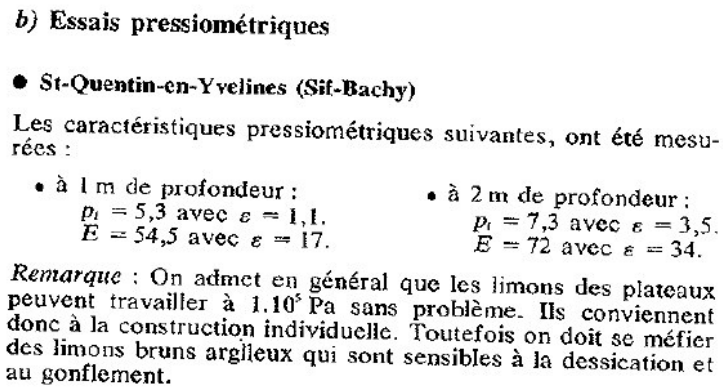
$$pl > \frac{5{,}5[(1{,}2 * 1{,}4 * 18 * 3) - 0]}{5{,}31} = 93\ kPa$$

$$pl > 0{,}1\ MPa$$
Ou
$$Cu = 18\ kPa$$

Les valeurs minimales de Pl ou de Cu à avoir pour respecter la condition de non-poinçonnement des sols, sont faibles. Compte tenu de la nature des terrains sous-jacents ces valeurs devraient être atteintes.

A titre d'information, dans l'ouvrage de référence « La pratique des sols et des fondations » (rédigé par G. FILLIAT), dont le chapitre 29 liste les données de caractérisation disponibles pour les formations du bassin parisien, on trouve notamment :

- une fiche relative aux limons des plateaux, dont la synthèse des essais pressiométriques réalisés dans cette couche est reprise ci-après :



b) **Essais pressiométriques**

● **St-Quentin-en-Yvelines (Sif-Bachy)**

Les caractéristiques pressiométriques suivantes, ont été mesurées :

• à 1 m de profondeur :
$p_l = 5{,}3$ avec $\varepsilon = 1{,}1$.
$E = 54{,}5$ avec $\varepsilon = 17$.

• à 2 m de profondeur :
$p_l = 7{,}3$ avec $\varepsilon = 3{,}5$.
$E = 72$ avec $\varepsilon = 34$.

Remarque : On admet en général que les limons des plateaux peuvent travailler à 1.10^5 Pa sans problème. Ils conviennent donc à la construction individuelle. Toutefois on doit se méfier des limons bruns argileux qui sont sensibles à la dessication et au gonflement.

Figure 18 : Valeurs de Pl et E_M dans les limons des plateaux – Source : G. Filliat – Unité des Pl : 10^5 Pa

- deux fiches relatives aux meulières de Montmorency et aux glaises vertes, dont les faciès se rapprochent des argiles à meulière présentent sur site. La synthèse des essais pressiométriques réalisés dans ces couches est reprise ci-après

b) **Essais pressiométriques.**

● **St-Quentin-en-Yvelines (SIF-Bachy).**

Les argiles et meulières sont affleurantes sous les limons. Les morceaux de meulières sont noyés dans une matrice sablo-argileuse. On notera les caractéristiques relativement élevées bien que la formation soit en affleurement et qu'elle n'ait pas été chargée depuis son dépôt.

Résultats d'ensemble

La répartition des p_l et des E est bimodale sur le site étudié.

Pressions limites.

Un premier maximum se situe vers $13 \cdot 10^5$ Pa (45 % des valeurs à $13 \pm 3 \cdot 10^5$ Pa) ; il intègre vraisemblablement les zones à prédominance d'argile.

Un second maximum se situe à $30 \cdot 10^5$ Pa et correspondrait aux zones à dominante rocheuse, donc riche en meulière. La médiane se fixe aux environs de $20 \cdot 10^5$ Pa.

Modules de déformation.

Pour la première de 100 à $180 \cdot 10^5$ Pa (47 % des valeurs) ; pour la seconde de 300 à $450 \cdot 10^5$ Pa avec échelonnement discontinu au-delà, ceci jusqu'à plus de $1000 \cdot 10^5$ Pa, traduisant une proportion croissante en blocs de meulière.

Figure 19 : Valeurs de Pl et E_M dans les meulières de Montmorency– Source : G. Filliat – Unité des Pl : 10^5 Pa

b) **Essais pressiométriques**

— Ex. 1. *Tigery* (*SIF-Bachy*). Zone superficielle. Position de versant.
— Ex. 2. *Evry-Ville nouvelle* (*SIF-Bachy*). Zone semi-profonde (12 à 17 mètres).

Caractéristiques moyennes sur les deux premiers mètres de l'horizon (en 10^5 Pa) : $\overline{p_l} = 12 \quad \overline{E} = 60$.

Caractéristiques moyennes au-delà des deux premiers mètres :

$$\overline{p_l} = 28 \quad \overline{E} = 350 .$$

Figure 20 : Valeurs de Pl et E_M dans les glaises vertes – Source : G. Filliat – Unité des Pl : 10^5 Pa

L'ensemble des Pl disponibles dans cet ouvrage semble montrer que les valeurs usuelles dans ces formations sont supérieures à celles estimées dans le calcul précédent. Nous pouvons donc estimer, en première approche, que la justification du non-poinçonnement des sols d'assises de la digue périphérique du stockage est vérifiée.

Il conviendra toutefois de vérifier ces hypothèses par la réalisation d'un sondage pressiométrique ou la réalisation d'un essai de cisaillement à court terme en laboratoire dans les formations d'assise de la digue périphérique du projet.

3.4. Recommandations constructives

Dans le cadre des opérations de déblais/remblais visant à constituer la digue périphérique à base des argiles du site, le réemploi de celles-ci devra être conforme aux règles de l'art et notamment aux spécifications du GTR.

Concernant les marnes supra-gypseuses connues pour être sujettes à glissements de terrains, il conviendra de limiter leur temps d'exposition de celles-ci aux intempéries et d'adapter le plan d'exploitation de manière à les recouvrir au plus vite.

En cas de rencontre de venue d'eau dans les talus en déblai du projet, des éperons drainants seront à réaliser, avec un exutoire pérenne de ceux-ci.

Des essais géotechniques complémentaires (sondages pressiométriques et essais en laboratoire) seront nécessaires pour valider les hypothèses retenues dans ce rapport.

Les fonds de casier seront pentés de manière à pouvoir permettre une bonne gestion des eaux sur la durée de l'exploitation. Chaque casier sera couvert à l'issue de son exploitation de manière à limiter les infiltrations.

4. Conclusion

La société ROLAND a missionné Antea Group pour la réalisation d'une étude de stabilité de la digue périphérique de la future installation de stockage de déchets inertes de Cocherel (77).

L'étude a été réalisée sur la base de notre connaissance du site et en considérant que les digues seront constituées des argiles du site recompactées.

Les calculs présentés dans ce rapport (vérification du non-poinçonnement et étude de stabilité) permettent de justifier l'ouvrage conçu par ROLAND.

Des essais géotechniques complémentaires (sondages pressiométriques et essais en laboratoire) seront nécessaires pour valider les hypothèses retenues dans ce rapport.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : https://www.anteagroup.fr/fr/annexes

ANNEXES

Annexe I : Vue en plan et coupes du projet

Annexe II : Logs des sondages SC2 et SC4

Annexe III : Résultats Talren

Annexe IV : Résultats Talren – étude de sensibilité

Annexe I : **Vue en plan et coupes du projet**

Données fournies par Roland

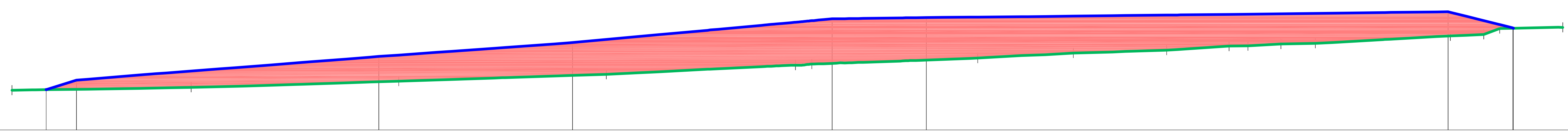
EIFFAGE
ROLAND

Commune de cocherel
Projet D
Le 16 04 2018
Echelle 1/2500

COUPE A-A'

Echelle X : 1/1500
Echelle Z : 1/1500

Plan Comp : 120.00



Terrain

Z	132.32	133.19	135.12	137.25	140.07	140.41	142.27	143.84	144.74	145.99	146.09	146.64	146.87	149.19	149.61	151.43	151.83
D	0.00	55.45	119.66	183.87	242.38	247.45	298.76	328.33	357.17	376.49	382.31	392.54	403.20	444.98	455.28	460.23	479.74

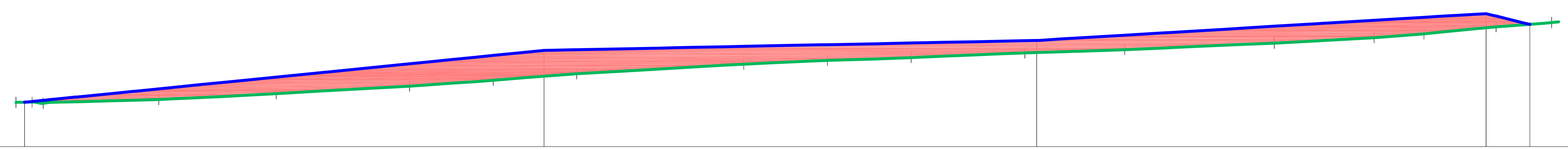
Terrain partial distances: 55.45, 64.21, 64.21, 58.51, 51.31, 29.57, 28.83, 19.32, 10.23, 10.66, 41.78, 10.31, 19.51

Projet

Z	132.46	135.45	142.79	147.09	154.46	154.88	156.66	151.66
D	10.59	20.00	113.50	173.43	253.74	282.88	444.26	464.26

Projet partial distances: 93.50, 59.93, 80.31, 29.14, 161.38, 20.00

COUPE B-B'



Echelle X : 1/2500
Echelle Z : 1/2500

Plan Comp : 110.00

Terrain

D	Z
0.00	130.63
7.50	130.76
12.72	130.23
66.75	131.94
121.57	134.72
183.78	138.26
222.80	140.98
261.81	144.01
339.83	148.45
378.84	150.24
417.85	151.56
470.98	153.73
517.57	155.28
587.45	158.32
634.04	160.87
657.33	162.64
690.93	165.97
716.88	167.93

Terrain partial distances: 54.03, 54.81, 62.22, 39.01, 39.01, 78.02, 39.01, 39.01, 53.13, 46.59, 69.88, 46.59, 23.29, 33.60, 25.95

Projet

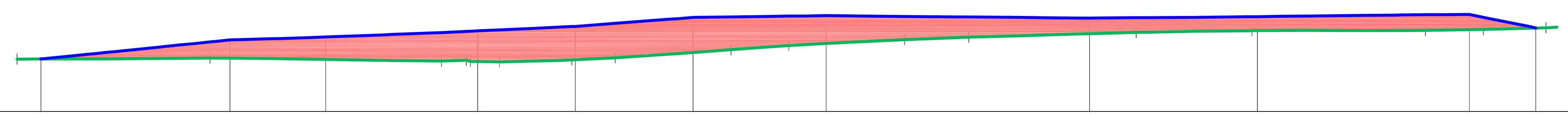
D	Z
4.05	130.71
246.52	154.95
476.54	159.55
686.30	172.11
706.72	167.04

Projet partial distances: 242.28, 230.02, 206.92, 20.43

COUPE C-C'

Echelle X : 1/2000
Echelle Z : 1/2000

Plan Comp : 120.00



Terrain

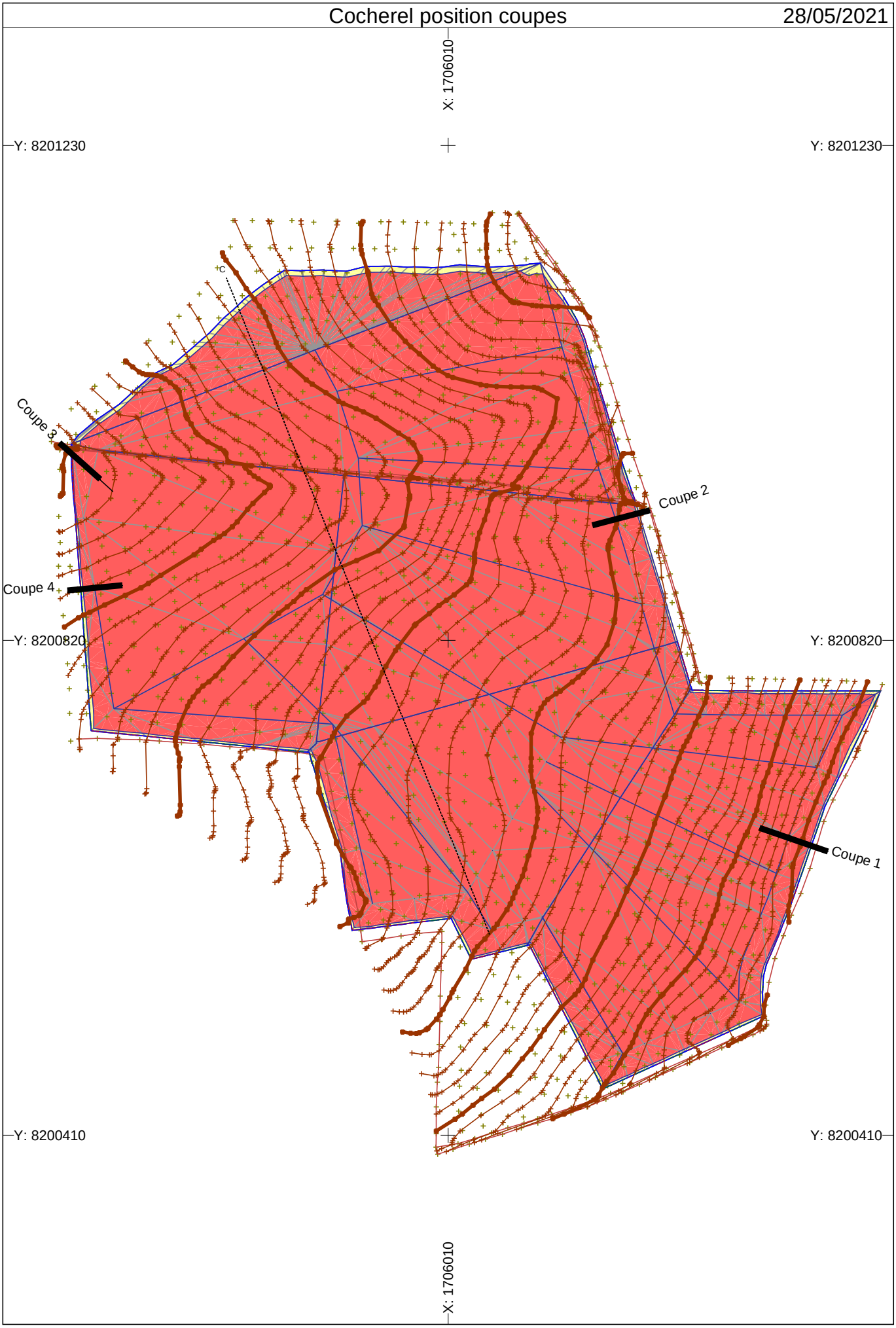
Z	139.51	139.93	138.81	139.12	138.66	138.52	139.27	140.04	143.05	144.61	146.79	147.69	149.47	150.13	150.25	150.58	151.22
D	0.00	71.81	158.00	167.25	168.73	179.55	206.48	222.64	265.74	287.29	330.39	354.24	416.58	459.68	524.32	545.87	569.17

Partial distances (Terrain D): 71.81, 86.19, 26.94, 16.16, 43.10, 21.55, 43.10, 23.86, 62.34, 43.10, 64.64, 21.55, 23.30

Projet

Z	139.55	146.68	147.75	150.04	151.72	155.06	155.72	154.80	155.37	156.22	151.09
D	8.87	79.25	114.90	171.44	207.77	251.60	301.14	399.18	461.71	540.65	565.38

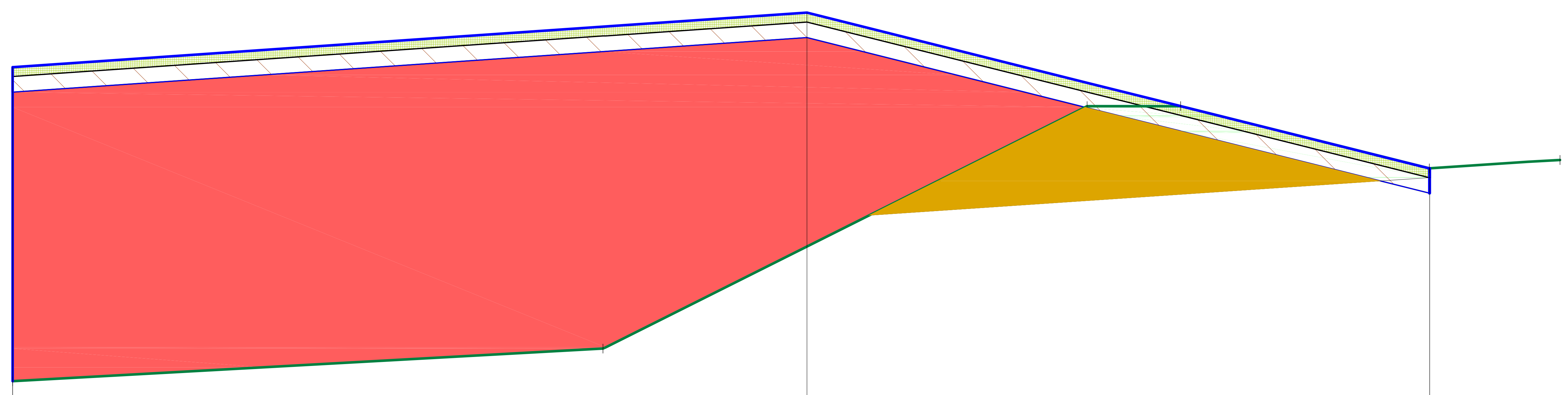
Partial distances (Projet D): 70.38, 35.65, 56.54, 36.33, 43.83, 49.54, 98.04, 62.53, 78.94, 24.73


Cocherel position coupes
28/05/2021
X: 1706010
Y: 8201230
Y: 8201230
Coupe 3
Coupe 2
Coupe 4
Y: 8200820
Y: 8200820
Coupe 1
Y: 8200410
Y: 8200410
X: 1706010

Coupe 1

Légende décaissement :

- Terre Végétale
- Argile



Echelle X : 1/150
Echelle Z : 1/150

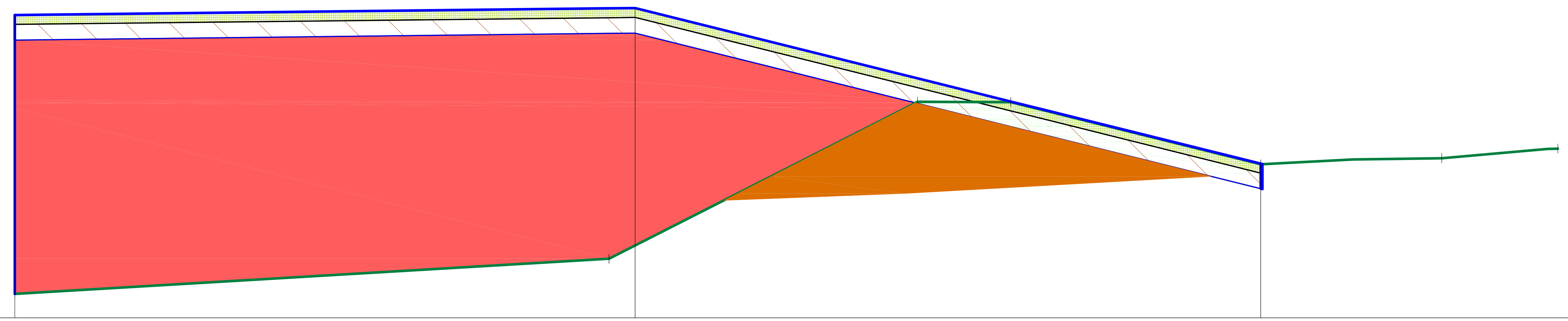
Plan Comp : 157.00

Fond casier	Z	158.74		159.79				167.57		167.57		165.57		165.84
	D	0.00		18.96				34.51		37.51		45.50		49.70
			18.96		15.55				3.00		7.99		4.20	
Projet	Z	168.82				170.57						165.57 / 165.57		
	D	0.00				25.51						45.51 / 45.51		
			25.51				20.00							
Pentes plates-formes			6.86%											
Pentes terrain														

Coupe 2

Légende décaissement :

- Terre Végétale
- Argile



Echelle X : 1/150
Echelle Z : 1/150

Plan Comp : 146.00

Fond casier

Z	146.76	147.88	152.90	152.89	150.90	151.09	151.40
D	0.00	18.98	28.83	31.81	39.78	45.56	49.27
Distances partielles		18.98	9.85	2.98	7.98	5.78	3.71

Projet

Z	155.67	155.89	150.92
D	0.00	19.81	39.78
Distances partielles		19.81	19.97

Pentes plates-formes

1.12%	-24.89%

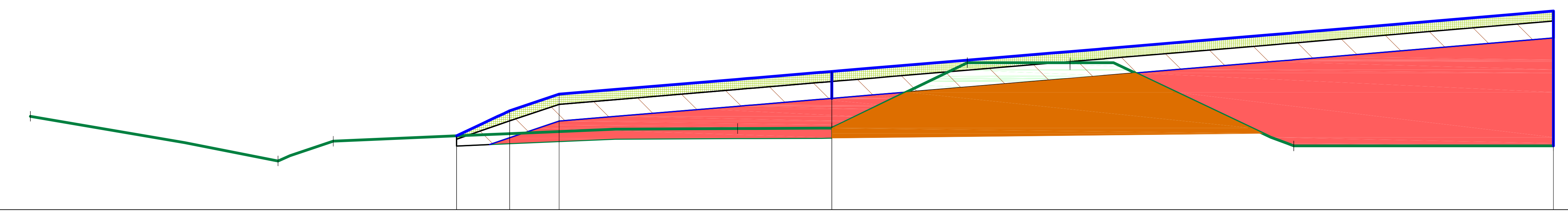
Pentes terrain

Mensura Genius

Coupe 3

Légende décaissement :

- Terre Végétale
- Argile



Echelle X : 1/150
Echelle Z : 1/150

Plan Comp : 128.00

Fond casier

Z : 130.78 – 129.45 – 130.04 – 130.42 – 130.43 – 132.37 – 132.37 – 132.37 – 129.90 – 129.90

D : 0.00 – 7.35 – 8.98 – 20.98 – 23.77 – 27.79 – 30.84 – 32.13 – 37.48 – 45.18

Distances partielles : 7.35 – 1.63 – 12.00 – 2.79 – 4.02 – 3.05 – 1.29 – 5.35 – 7.70

Projet

Z : 130.20 – 130.94 – 131.44 – 132.11 – 133.91

D : 12.64 – 14.21 – 15.68 – 23.77 – 45.18

Distances partielles : 1.57 – 1.47 – 8.09 – 21.40

Pentes plates-formes

47.30% – -20.80% – 8.36% – 8.38%

Pentes terrain

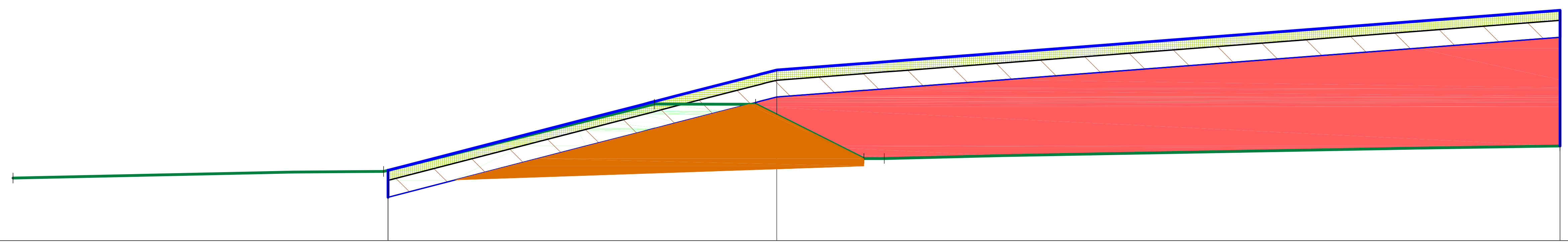
-18.09% – 35.97% – 0.63% – 0.44% – 48.40% – 0.00% – 0.00% – -46.28% – 0.00%

Mensura Genius

Coupe 4

Légende décaissement :

- Terre Végétale
- Argile



Echelle X : 1/150
Echelle Z : 1/150

Plan Comp : 132.00

Fond casier	Z	133.86	134.05		136.05	136.05		134.44	134.43	134.81
	D	0.00	10.99		19.02	22.02		25.24	25.84	45.89
	(distances)	10.99		8.03	3.00	3.22			20.05	
Projet	Z		134.08 / 134.08				137.06			138.83
	D		11.12				22.66			45.89
	(distances)			11.53				23.23		
Pentes plates-formes				25.80%				7.64%		
Pentes terrain								.14%		

Mensura Genius

Annexe II : **Logs des sondages SC2 et SC4**

Extraits du rapport « Etude n° LA_CIRY-18-0154 » - Eiffage 2018

EIFFAGE

Laboratoire Central Ciry
Section Terrassement

FICHE DE SONDAGE

CHANTIER : **Cocherel - Reconnaissance fond géochimique**

DATE : 01/10/2018

Sondage N° : **SC 2**

Matériel de sondage : Foreuse Comacchio GEO 305

Opérateur : ALTHEA

Hauteur de remblai : **+ 5,68 m**

Coordonnées : X $_{RGF93-CC49}$ = 1706144,199
Y $_{RGF93-CC49}$ = 8200906,393
Z $_{NGF-IGN69}$ = 150,39

Prof.	Niv. d'eau	COUPE LITHOLOGIQUE	Echantillon	NATURE DU TERRAIN	Formation gypsifère supposée	Taux de récupération (%)	PHOTO
0,00				Terre végétale			
				Limon brun argileux		100	
1,00			x				
2,00			x	Argile beige verdâtre plastique		95	
						100	
3,00			x				
						100	
4,00			x				
				Marne brunâtre plastique		100	
5,00			x	*niveau à passée marne blanchâtre à jaunâtre*			
6,00						100	
						100	
7,00			x				
8,00				Marne brunâtre à jaunâtre indurée		100	
						95	
9,00							
						100	
10,00			x				
AV						100	
10,50							
11,00							
12,00							

Observations: Formation géologique : Masses et marnes de Gypse

EIFFAGE

Laboratoire Central Ciry
Section Terrassement

FICHE DE SONDAGE

CHANTIER : **Cocherel - Reconnaissance fond géochimique**

DATE : 02/10/2018

Sondage N° : **SC 4**

Matériel de sondage : Foreuse Comacchio GEO 305

Opérateur : ALTHEA

Hauteur de remblai : **+ 8,40 m**

Coordonnées : X $_{RGF93-CC49}$ = 1706222,039
Y $_{RGF93-CC49}$ = 8200689,694
Z $_{NGF-IGN69}$ = 156,93

Prof.	Niv. d'eau	COUPE LITHOLOGIQUE	Echantillon	NATURE DU TERRAIN	Formation gypsifère supposée	Taux de récupération (%)	PHOTO
0,00				Terre végétale		95	
1,00			x	Limon brun argileux		100	
2,00			x	Argile limoneuse beige brune plastique		100	
3,00			x			100	
4,00			x	Argile beige plastique verdâtre		100	
5,00			x			100	
6,00						100	
7,00			x	Marne beige indurée		100	
8,00						100	
9,00						100	
10,00			x			100	
AV 10,50						100	
11,00							
12,00							

Observations: Formation géologique : Marnes supragypseuses

Annexe III : **Résultats Talren**

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 1

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,141	168,820	2	34,591	170,570	3	54,530	165,570	4	58,748	165,840	5	80,000	167,000	6	0,000	168,180
7	46,576	167,570	8	43,576	167,570	9	36,500	164,000	10	28,000	159,790	11	9,110	158,740	12	0,000	158,272
13	80,000	165,600	15	80,000	163,000	17	38,454	164,170	18	31,594	161,570	19	54,554	164,170	20	33,127	162,329
21	58,748	164,440	22	54,541	161,570	23	0,000	156,841									

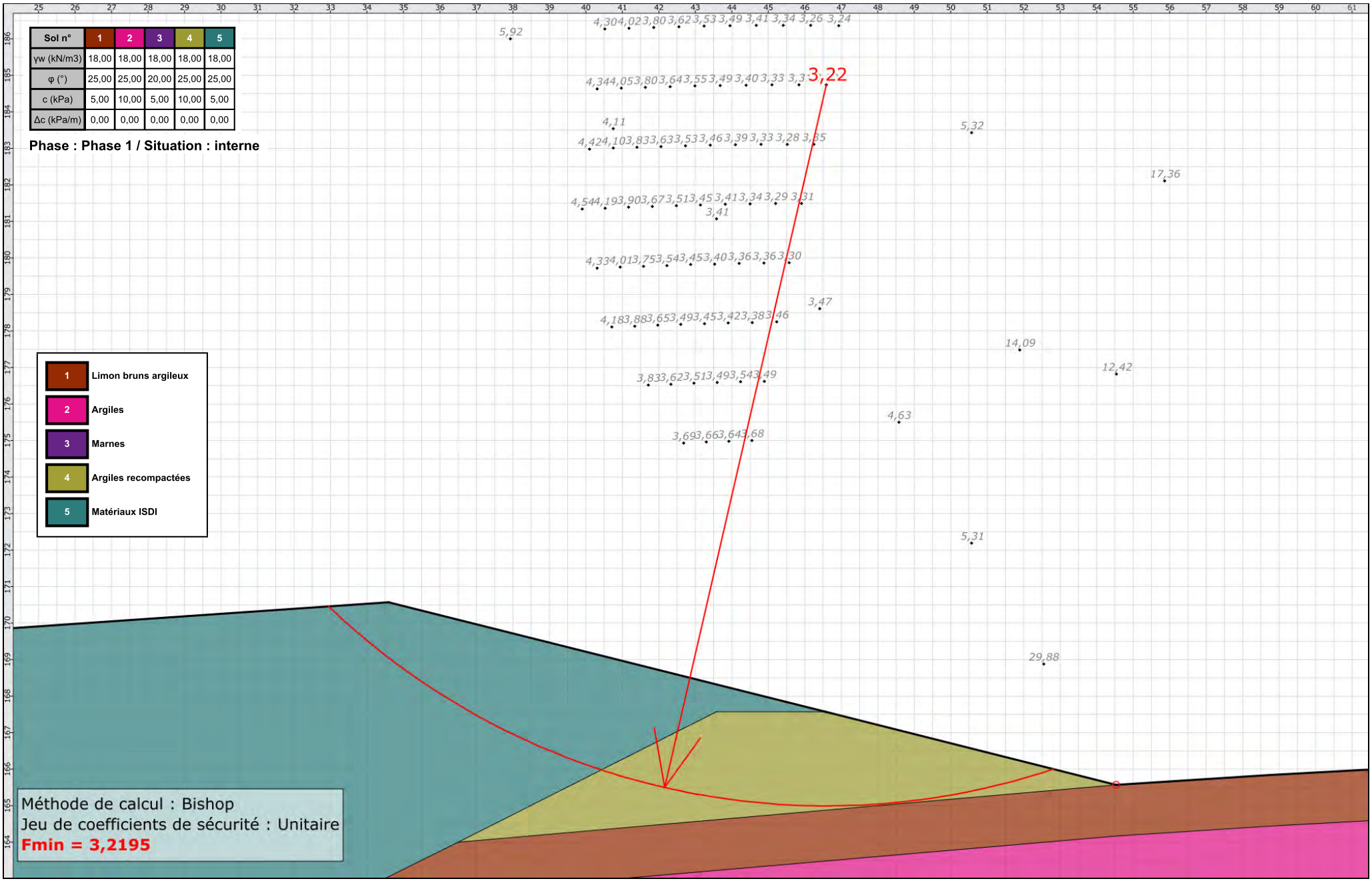
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	3	3	4	4	4	5	5	1	6	6	2	7	7	3	7	8	7	8
9	8	9	11	10	11	12	11	12	21	9	17	22	3	17	26	10	18	30	19	20
31	9	20	32	18	20	33	19	21	34	21	13	36	15	22	37	22	23			

Echelle 1:140

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	5,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

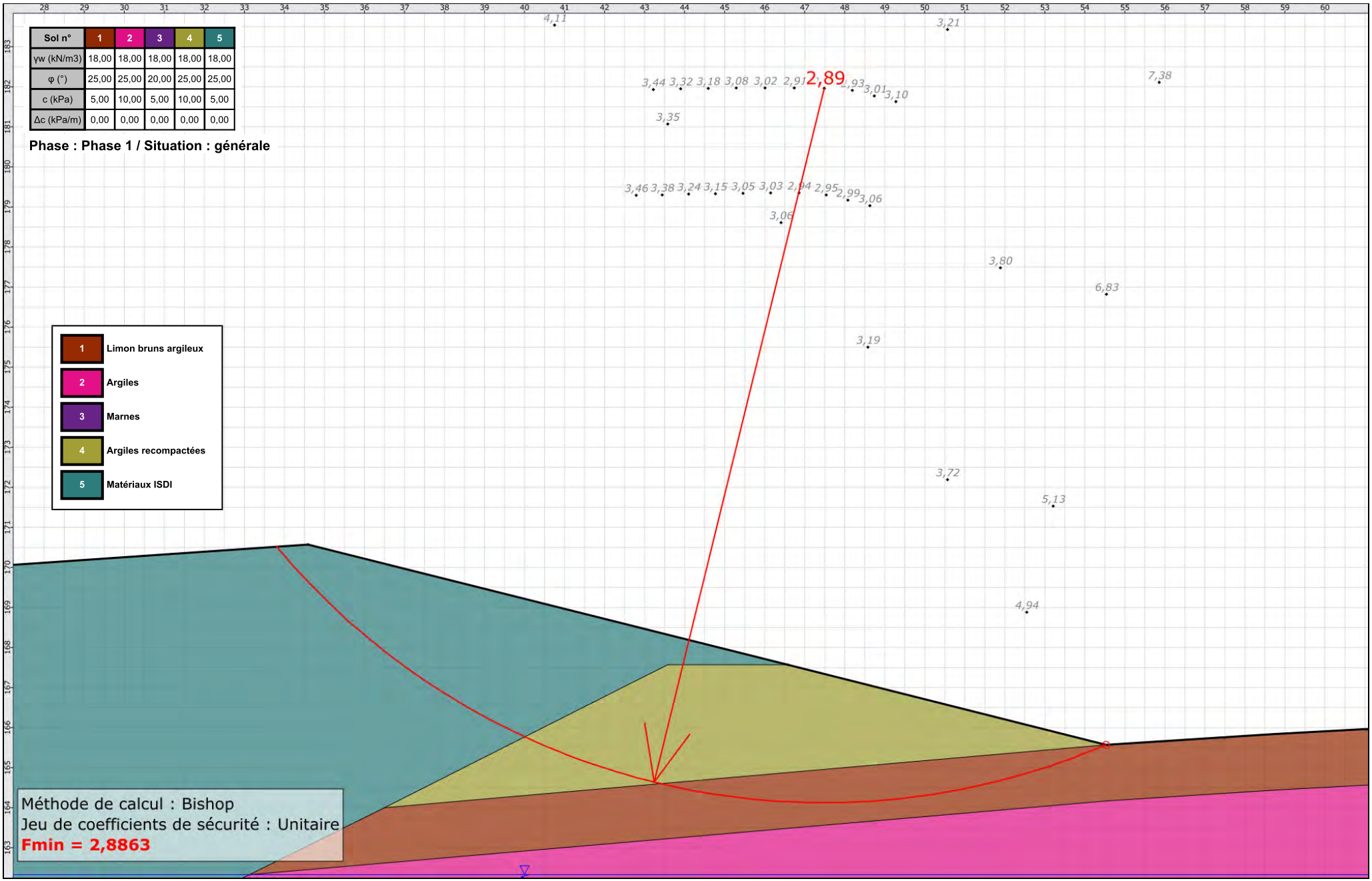
Phase : Phase 1 / Situation : interne



Echelle 1:127

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	5,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 7 juin 2021 11:43:58
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 1

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 1

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	-9,141	168,820	2	-34,591	170,570	3	-54,530	165,570	4	-58,748	165,840	5	-80,000	167,000	6	-0,000	168,180
7	-46,576	167,570	8	-43,576	167,570	9	-36,500	164,000	10	-28,000	159,790	11	-9,110	158,740	12	-0,000	158,272
13	-80,000	165,600	15	-80,000	163,000	17	-38,454	164,170	18	-31,594	161,570	19	-54,554	164,170	20	-33,127	162,329
21	-58,748	164,440	22	-54,541	161,570	23	-0,000	156,841									

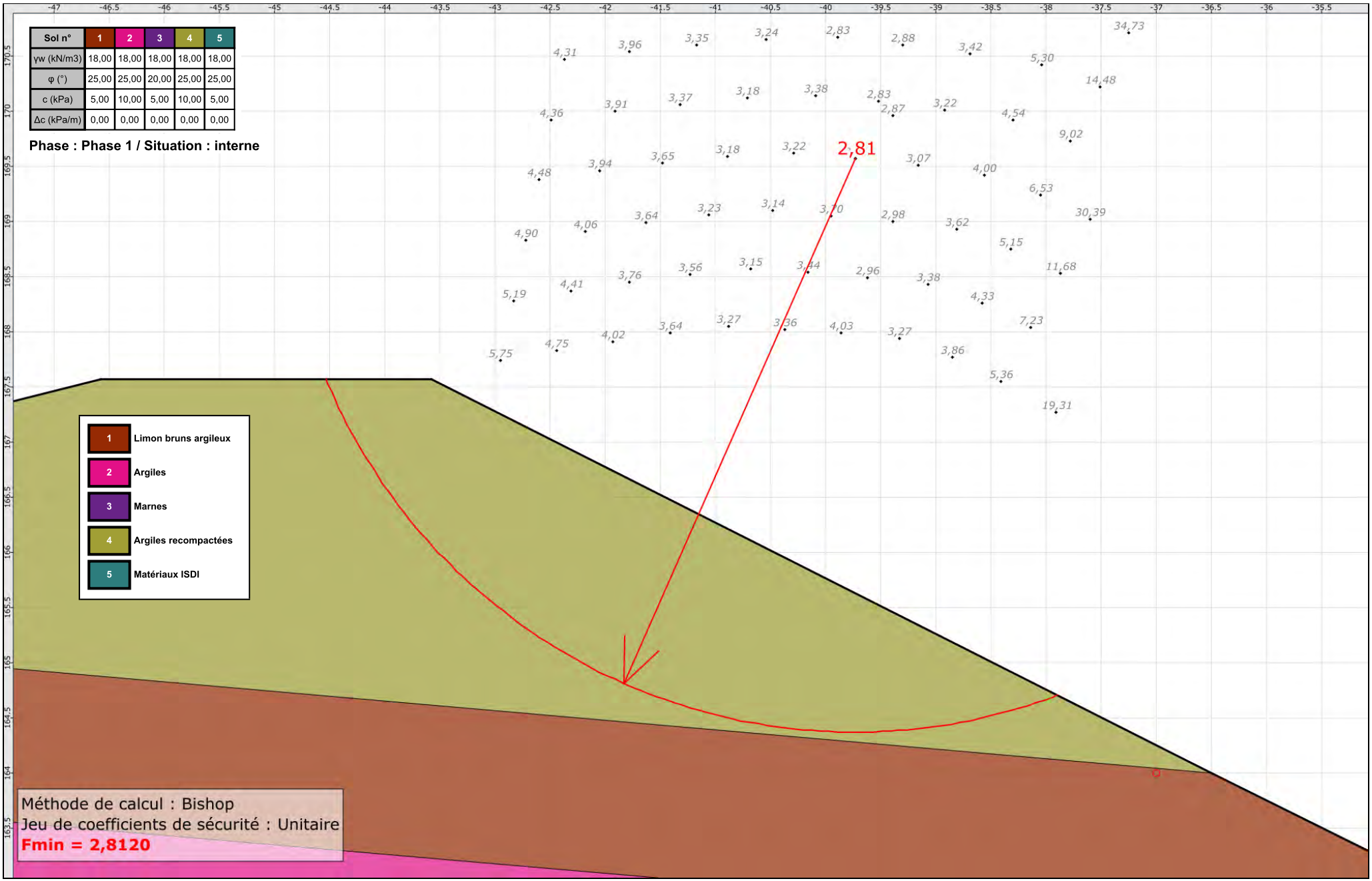
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	3	3	4	4	4	5	5	1	6	6	2	7	7	3	7	8	7	8
9	8	9	11	10	11	12	11	12	21	9	17	22	3	17	26	10	18	30	19	20
31	9	20	32	18	20	33	19	21	34	21	13	36	15	22	37	22	23			

Echelle 1:46

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	5,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : interne



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.9

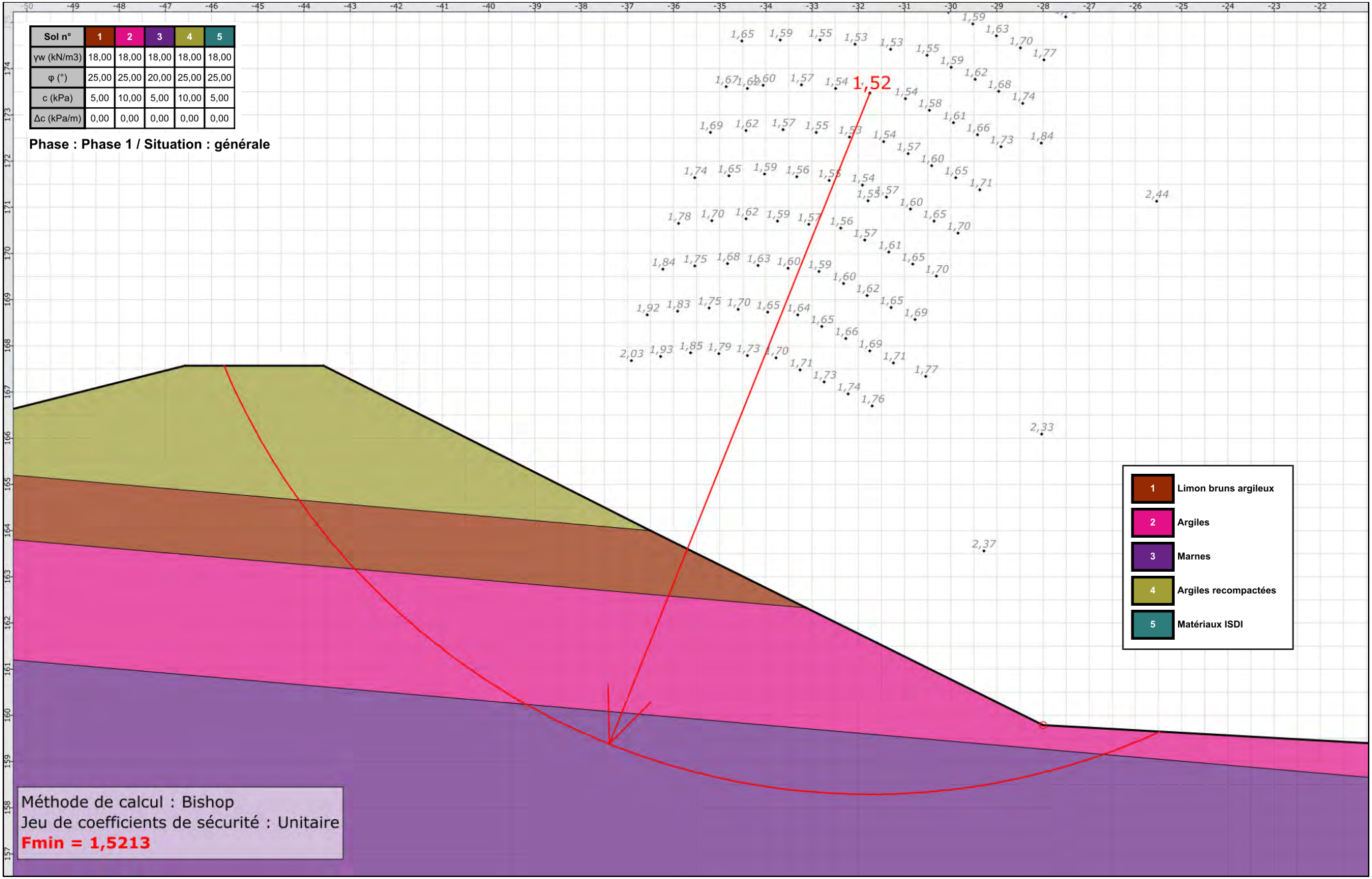
Imprimé le : 7 juin 2021 11:46:13
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 1

Echelle 1:110

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	5,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 7 juin 2021 11:46:13
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 1

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 2

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

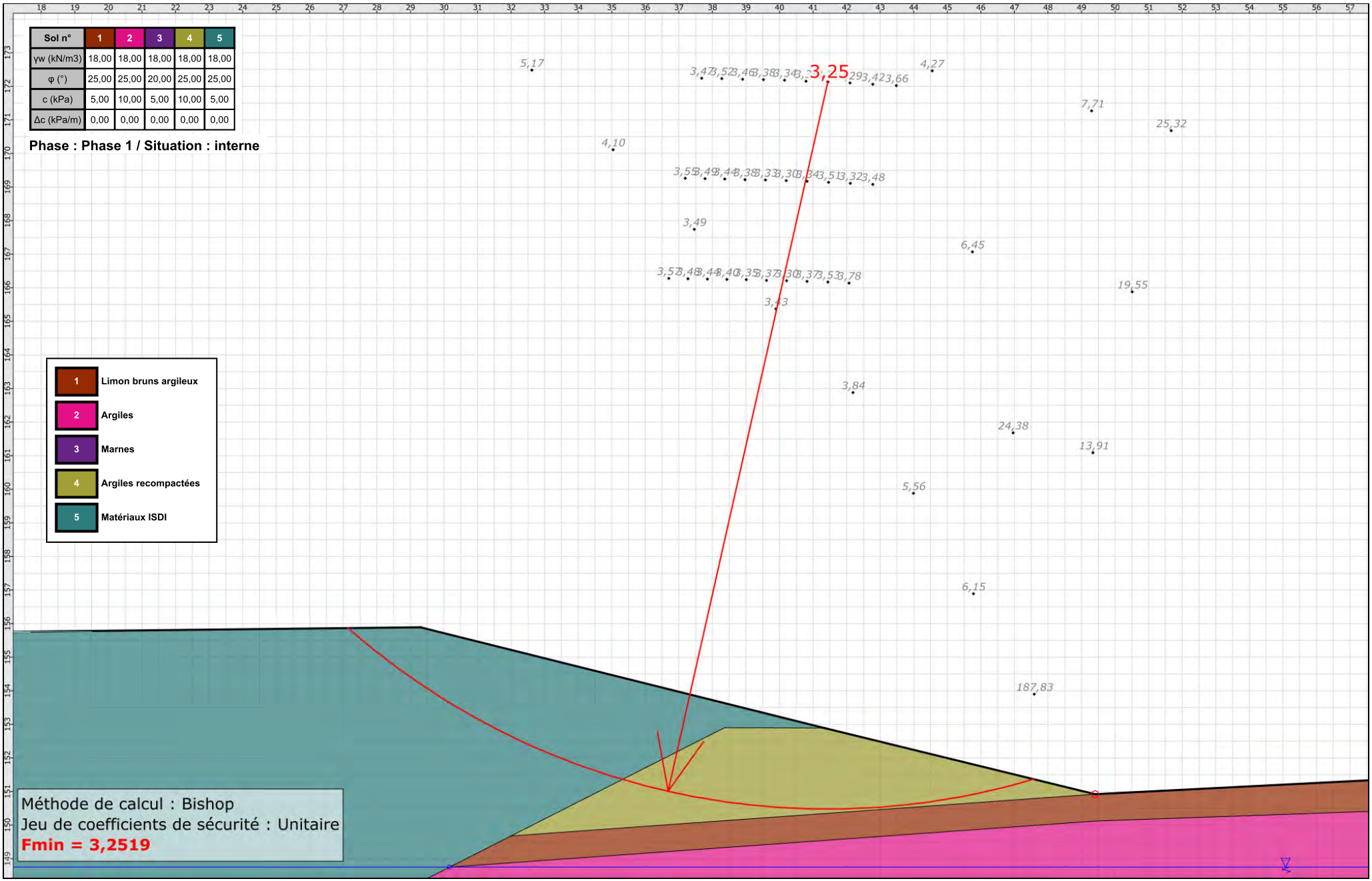
	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,405	155,670	2	29,299	155,890	3	49,405	150,920	5	58,862	151,400	6	80,000	152,000	7	0,000	155,500
8	41,339	152,890	9	38,359	152,900	10	28,456	147,880	11	9,395	146,760	12	0,000	146,590	13	32,000	149,677
14	80,000	151,200	15	38,214	150,121	16	80,000	149,000	17	22,336	147,520	18	0,000	149,634	19	36,410	149,992
20	32,547	149,954	21	0,000	147,434	22	25,065	147,681	23	49,410	150,120	24	30,166	148,747	25	0,000	145,000

Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	5	5	6	6	1	7	7	2	8	8	3	8	9	8	9	12	11	12
17	3	15	20	11	17	23	19	13	24	19	15	26	20	9	27	20	13	30	22	10
31	22	17	32	14	23	34	23	24	35	10	24	36	13	24	37	3	5	38	16	25

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	5,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

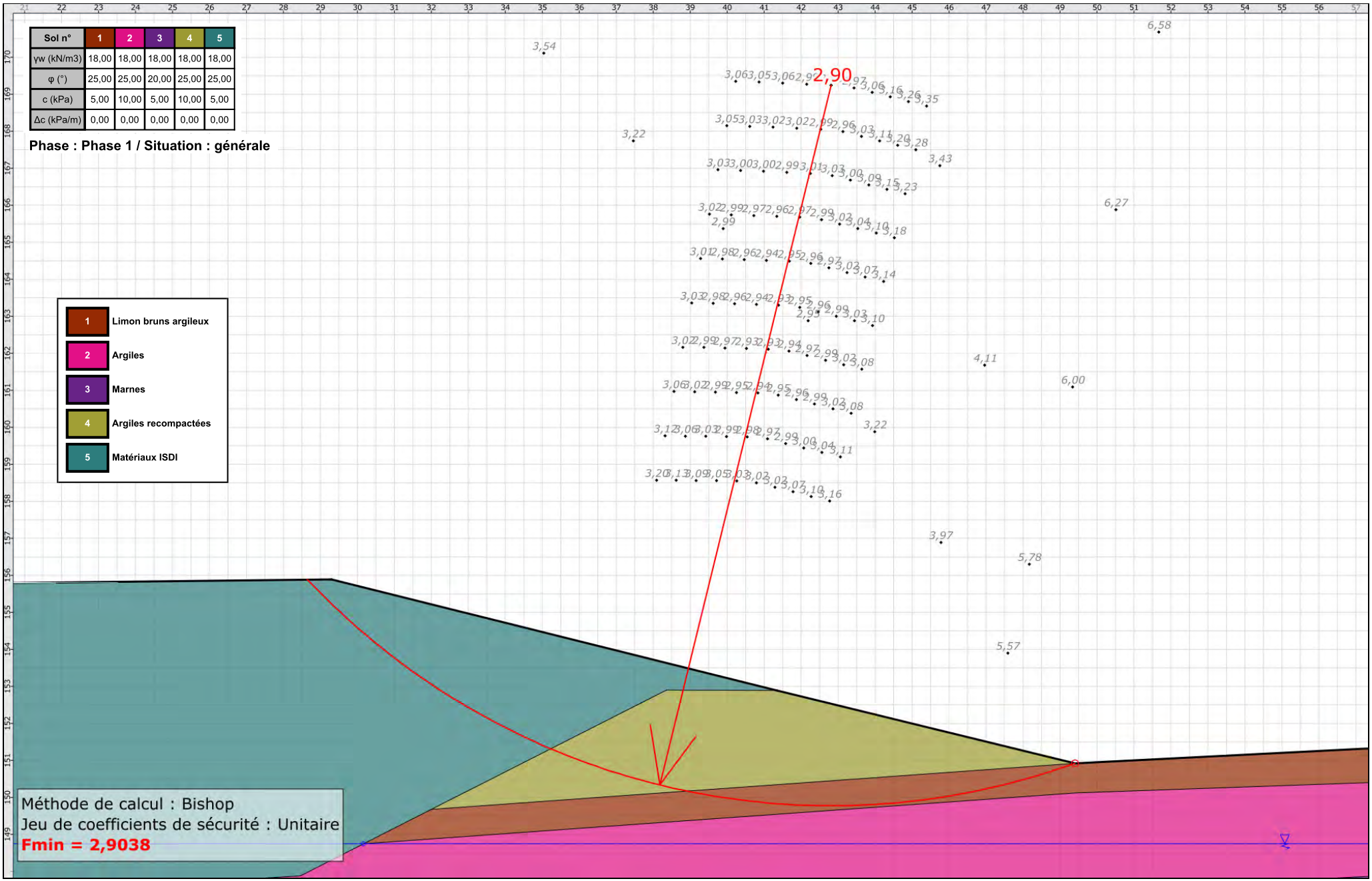
Phase : Phase 1 / Situation : interne



Echelle 1:138

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	5,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.9

Imprimé le : 7 juin 2021 11:45:13
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 2

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 2

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	-9,405	155,670	2	-29,299	155,890	3	-49,405	150,920	5	-58,862	151,400	6	-80,000	152,000	7	-0,000	155,500
8	-41,339	152,890	9	-38,359	152,900	10	-28,456	147,880	11	-9,395	146,760	12	-0,000	146,590	13	-32,000	149,677
14	-80,000	151,200	15	-38,214	150,121	16	-80,000	149,000	17	-22,336	147,520	18	-0,000	149,634	19	-36,410	149,992
20	-32,547	149,954	21	-0,000	147,434	22	-25,065	147,681	23	-49,410	150,120	24	-30,166	148,747	25	-0,000	145,000

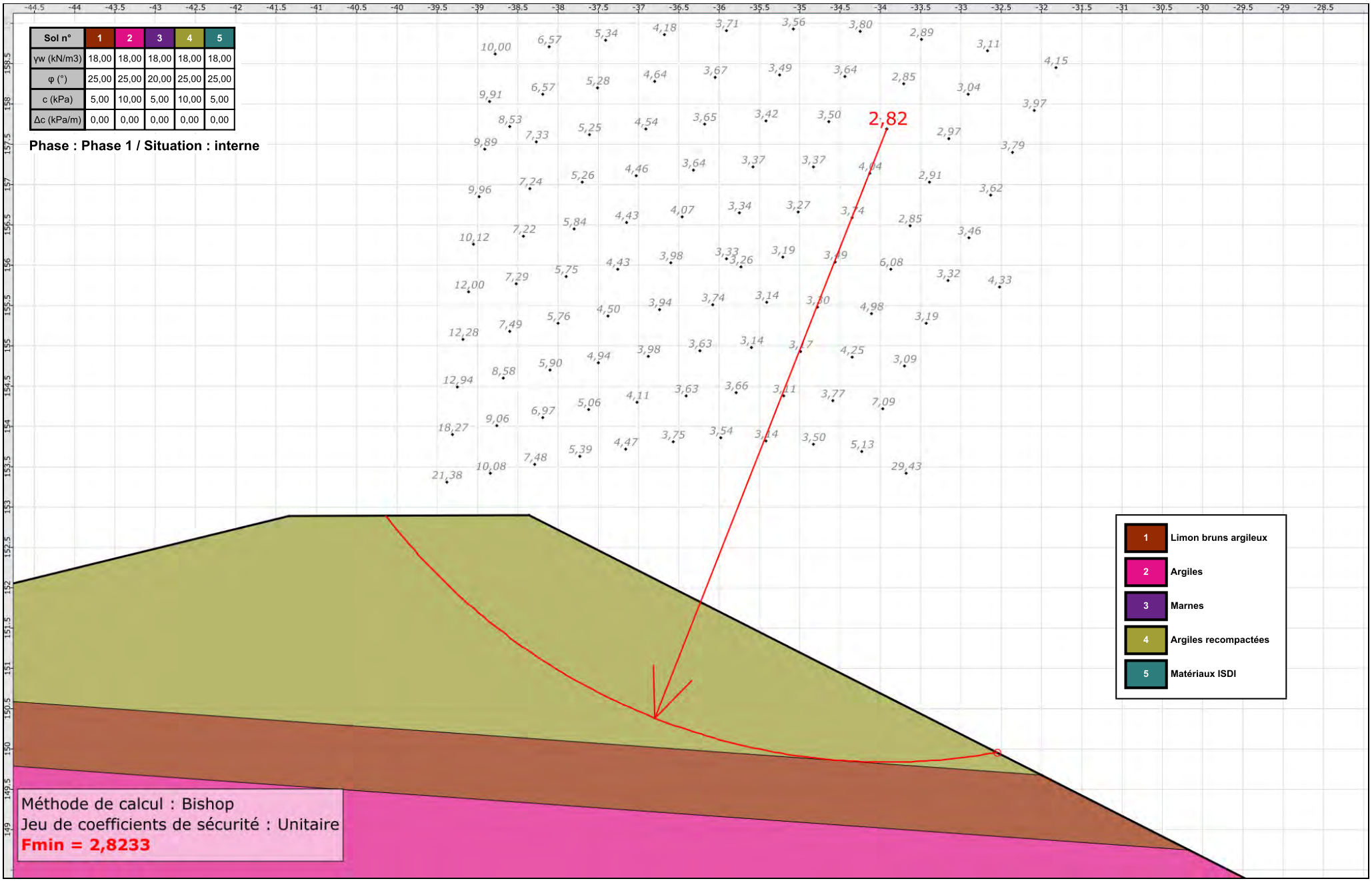
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	5	5	6	6	1	7	7	2	8	8	3	8	9	8	9	12	11	12
17	3	15	20	11	17	23	19	13	24	19	15	26	20	9	27	20	13	30	22	10
31	22	17	32	14	23	34	23	24	35	10	24	36	13	24	37	3	5	38	16	25

Echelle 1:63

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	5,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : interne



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.9

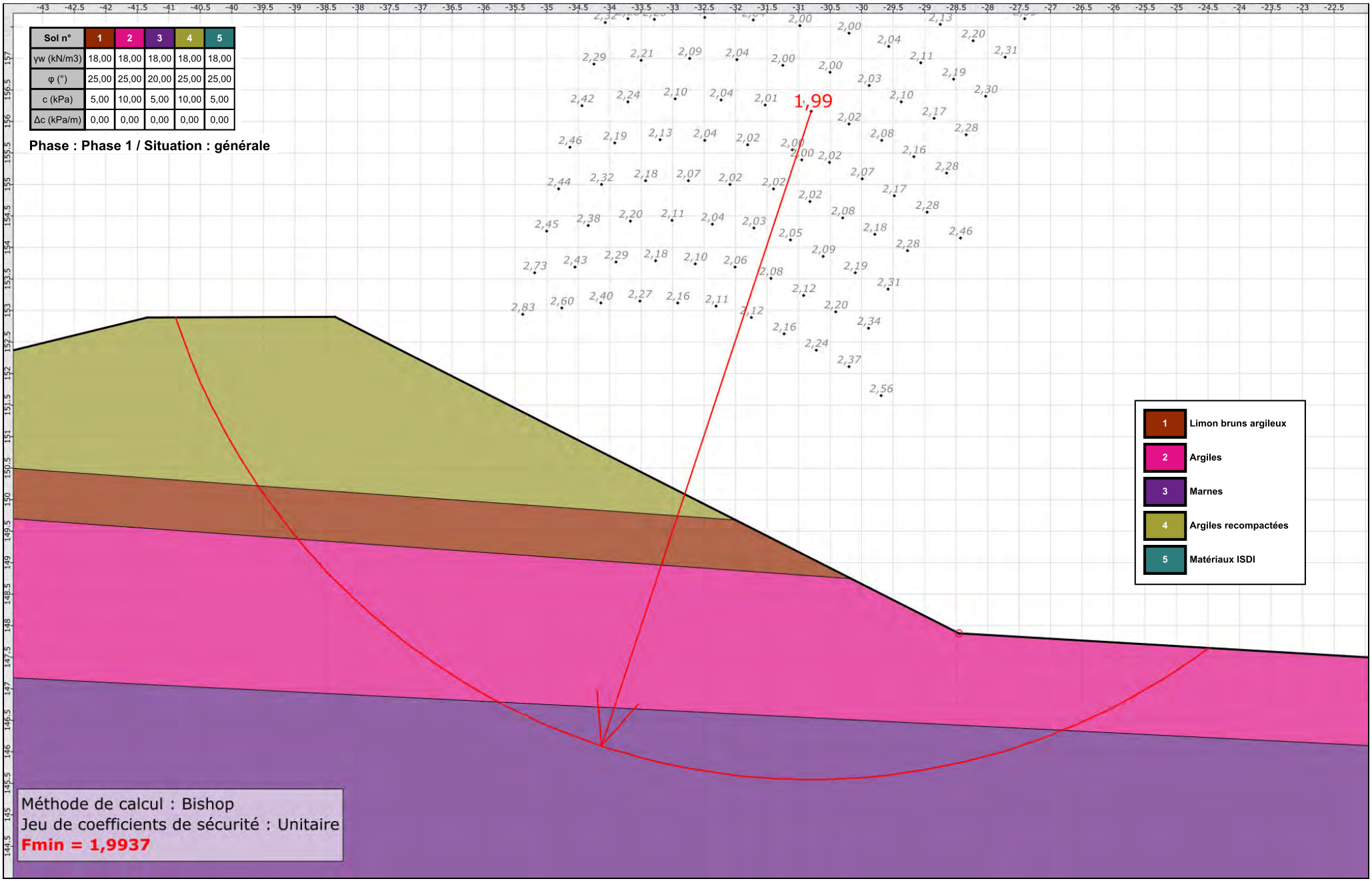
Imprimé le : 7 juin 2021 11:47:03
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 2

Echelle 1:81

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	25,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	5,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



Annexe IV : **Résultats Talren – étude de sensibilité**

Etude de sensibilité

Caractéristiques mécaniques des matériaux ISDI

Résultat de l'étude de sensibilité sur la stabilité du parement externe de la digue périphérique

Situation	Paramètres mécaniques pour les matériaux ISDI	Coupe 1 – Parement externe	Coupe 2 – Parement externe
Stabilité interne	**c'= 0,5 kPa Φ'= 15°**	1,39 (<1,5)	1,32 (<1,5)
	c'= 1 kPa Φ'= 15°	1,60	1,50
	c'= 2 kPa Φ'= 15°	1,84	1,89
	c'= 0,5 kPa Φ'= 20°	1,79	1,72
	c'=2 kPa Φ'=20°	2,42	2,21
Stabilité générale	**c'= 0,5 kPa Φ'= 15°**	1,39 (<1,5)	1,32 (<1,5)
	c'= 1 kPa Φ'= 15°	1,60	1,50
	c'= 2 kPa Φ'= 15°	1,84	1,89
	c'= 0,5 kPa Φ'= 20°	1,79	1,72
	c'=2 kPa Φ'=20°	2,42	2,21

Caractéristiques mécaniques des matériaux ISDI

C’= 0,5 kPa

Φ’= 15°

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 1

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	15,00	0,5	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,141	168,820	2	34,591	170,570	3	54,530	165,570	4	58,748	165,840	5	80,000	167,000	6	0,000	168,180
7	46,576	167,570	8	43,576	167,570	9	36,500	164,000	10	28,000	159,790	11	9,110	158,740	12	0,000	158,272
13	80,000	165,600	15	80,000	163,000	17	38,454	164,170	18	31,594	161,570	19	54,554	164,170	20	33,127	162,329
21	58,748	164,440	22	54,541	161,570	23	0,000	156,841									

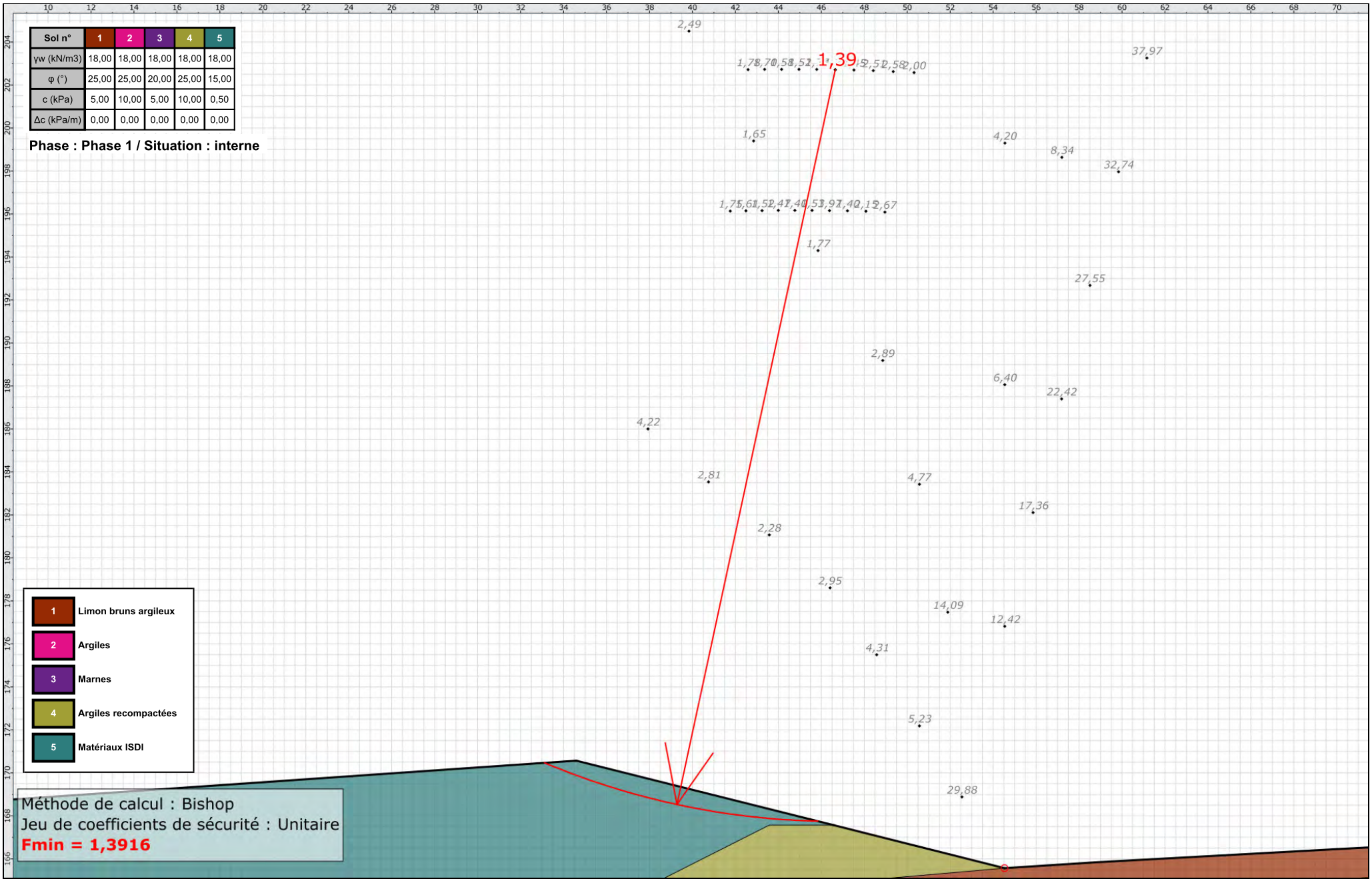
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	3	3	4	4	4	5	5	1	6	6	2	7	7	3	7	8	7	8
9	8	9	11	10	11	12	11	12	21	9	17	22	3	17	26	10	18	30	19	20
31	9	20	32	18	20	33	19	21	34	21	13	36	15	22	37	22	23			

Echelle 1:237

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	0,50
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

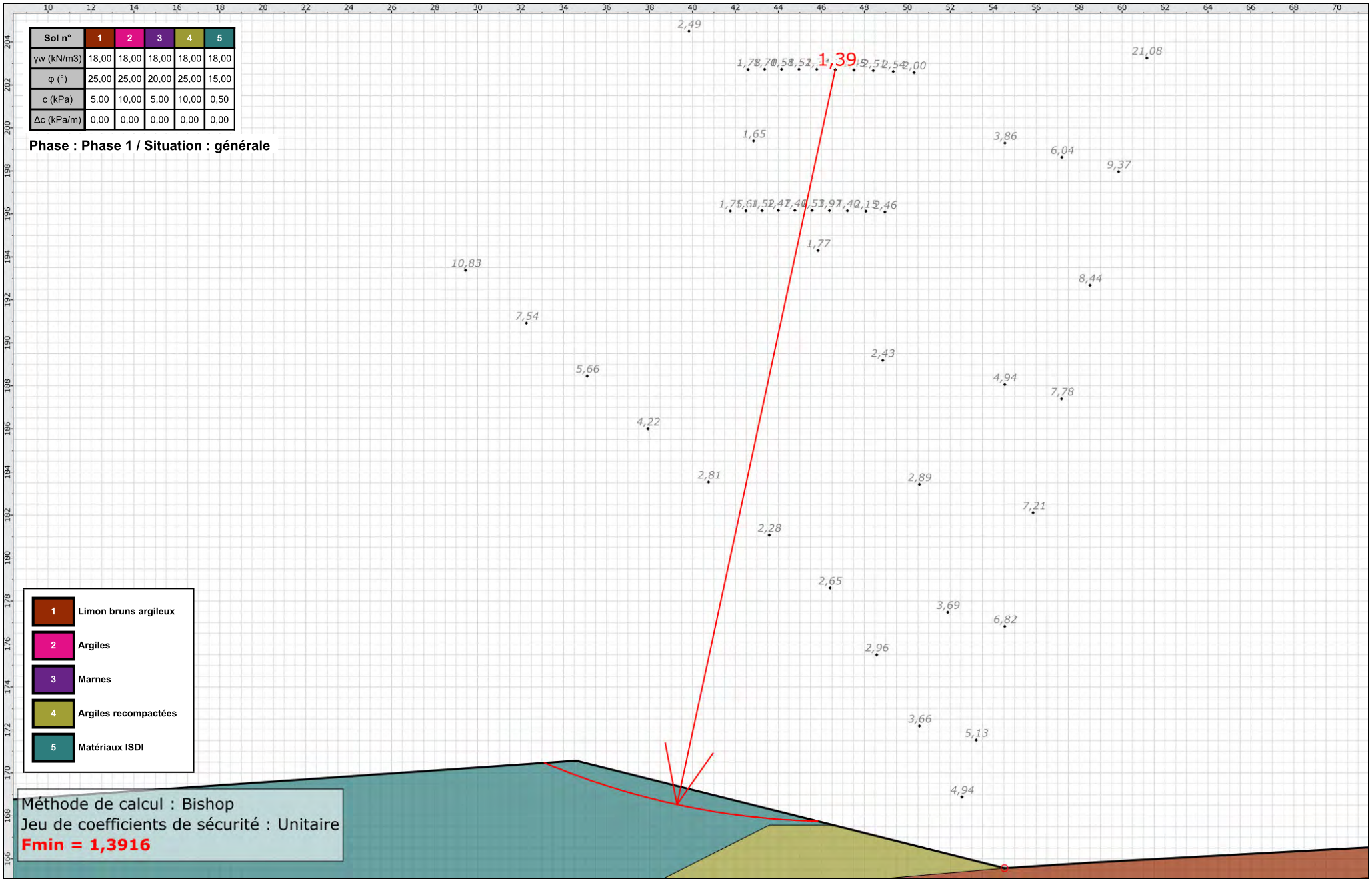
Phase : Phase 1 / Situation : interne



Echelle 1:237

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	0,50
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 8 oct. 2021 14:59:41
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 1

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 2

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	15,00	0,5	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,405	155,670	2	29,299	155,890	3	49,405	150,920	5	58,862	151,400	6	80,000	152,000	7	0,000	155,500
8	41,339	152,890	9	38,359	152,900	10	28,456	147,880	11	9,395	146,760	12	0,000	146,590	13	32,000	149,677
14	80,000	151,200	15	38,214	150,121	16	80,000	149,000	17	22,336	147,520	18	0,000	149,634	19	36,410	149,992
20	32,547	149,954	21	0,000	147,434	22	25,065	147,681	23	49,410	150,120	24	30,166	148,747	25	0,000	145,000

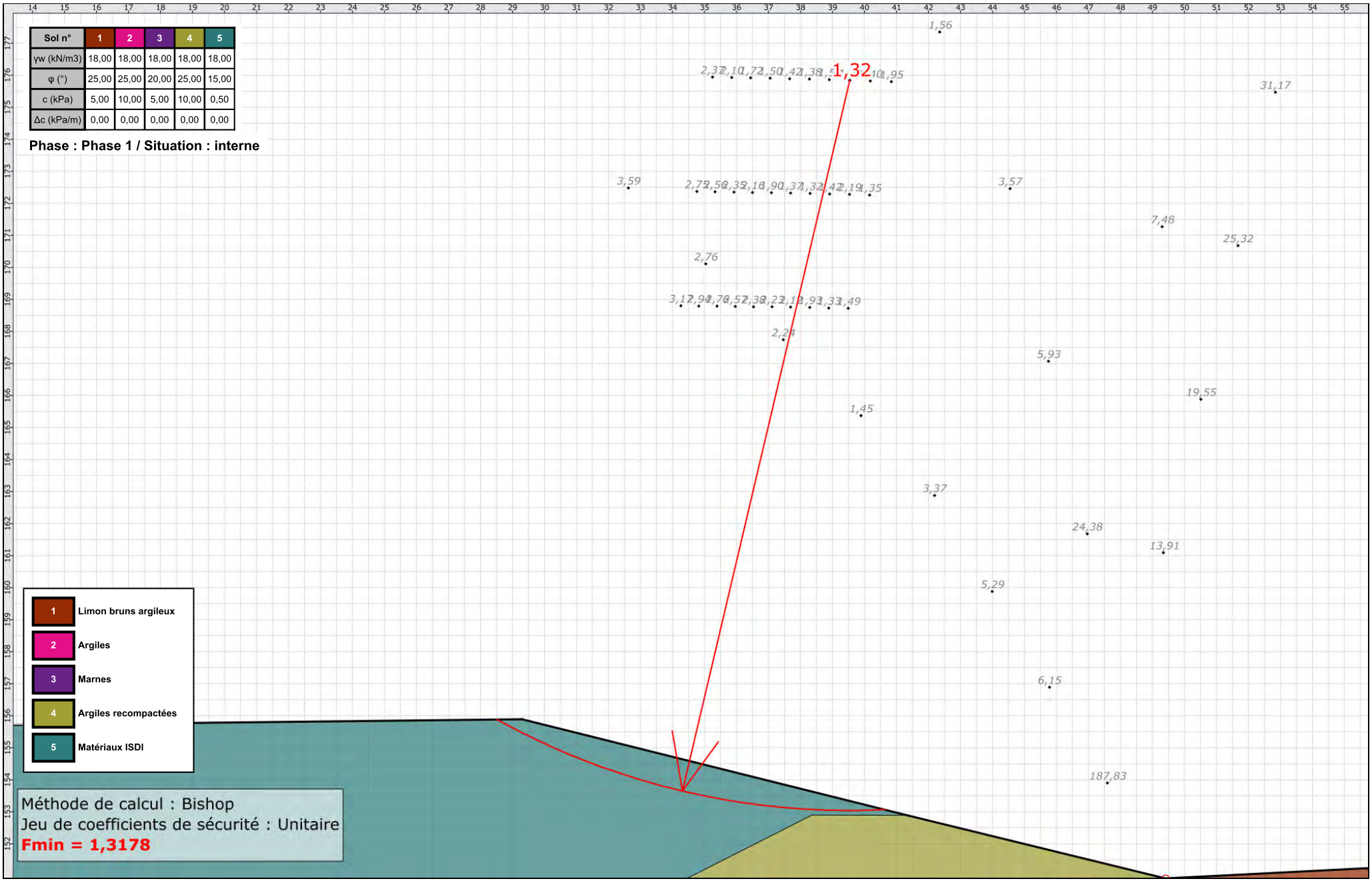
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	5	5	6	6	1	7	7	2	8	8	3	8	9	8	9	12	11	12
17	3	15	20	11	17	23	19	13	24	19	15	26	20	9	27	20	13	30	22	10
31	22	17	32	14	23	34	23	24	35	10	24	36	13	24	37	3	5	38	16	25

Echelle 1:159

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	0,50
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

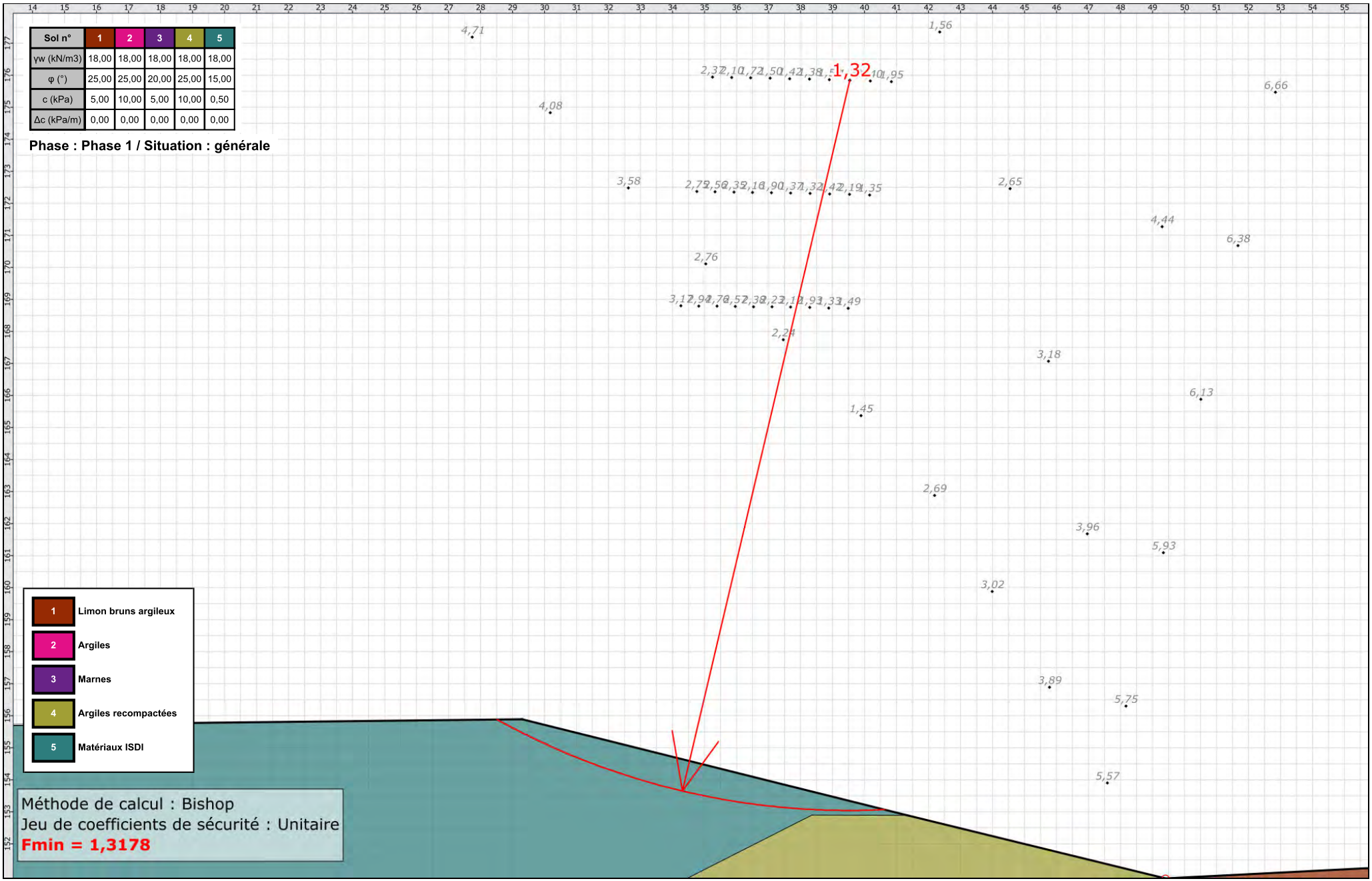
Phase : Phase 1 / Situation : interne



Echelle 1:159

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	0,50
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 8 oct. 2021 15:18:44
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 2

Caractéristiques mécaniques des matériaux ISDI

C’= 1 kPa

Φ’= 15°

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 1

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	15,00	1,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,141	168,820	2	34,591	170,570	3	54,530	165,570	4	58,748	165,840	5	80,000	167,000	6	0,000	168,180
7	46,576	167,570	8	43,576	167,570	9	36,500	164,000	10	28,000	159,790	11	9,110	158,740	12	0,000	158,272
13	80,000	165,600	15	80,000	163,000	17	38,454	164,170	18	31,594	161,570	19	54,554	164,170	20	33,127	162,329
21	58,748	164,440	22	54,541	161,570	23	0,000	156,841									

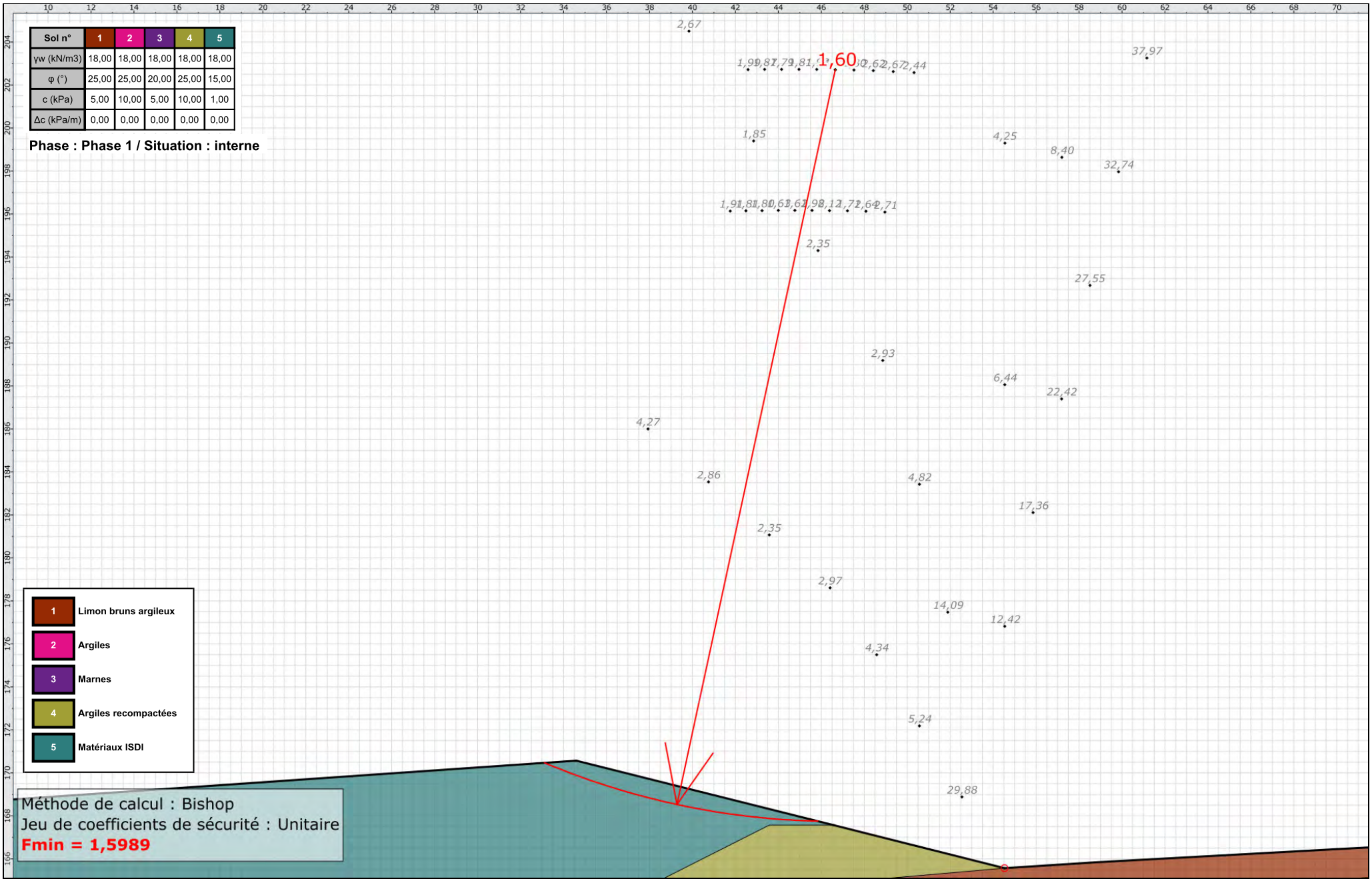
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	3	3	4	4	4	5	5	1	6	6	2	7	7	3	7	8	7	8
9	8	9	11	10	11	12	11	12	21	9	17	22	3	17	26	10	18	30	19	20
31	9	20	32	18	20	33	19	21	34	21	13	36	15	22	37	22	23			

Echelle 1:237

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	1,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : interne



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.10

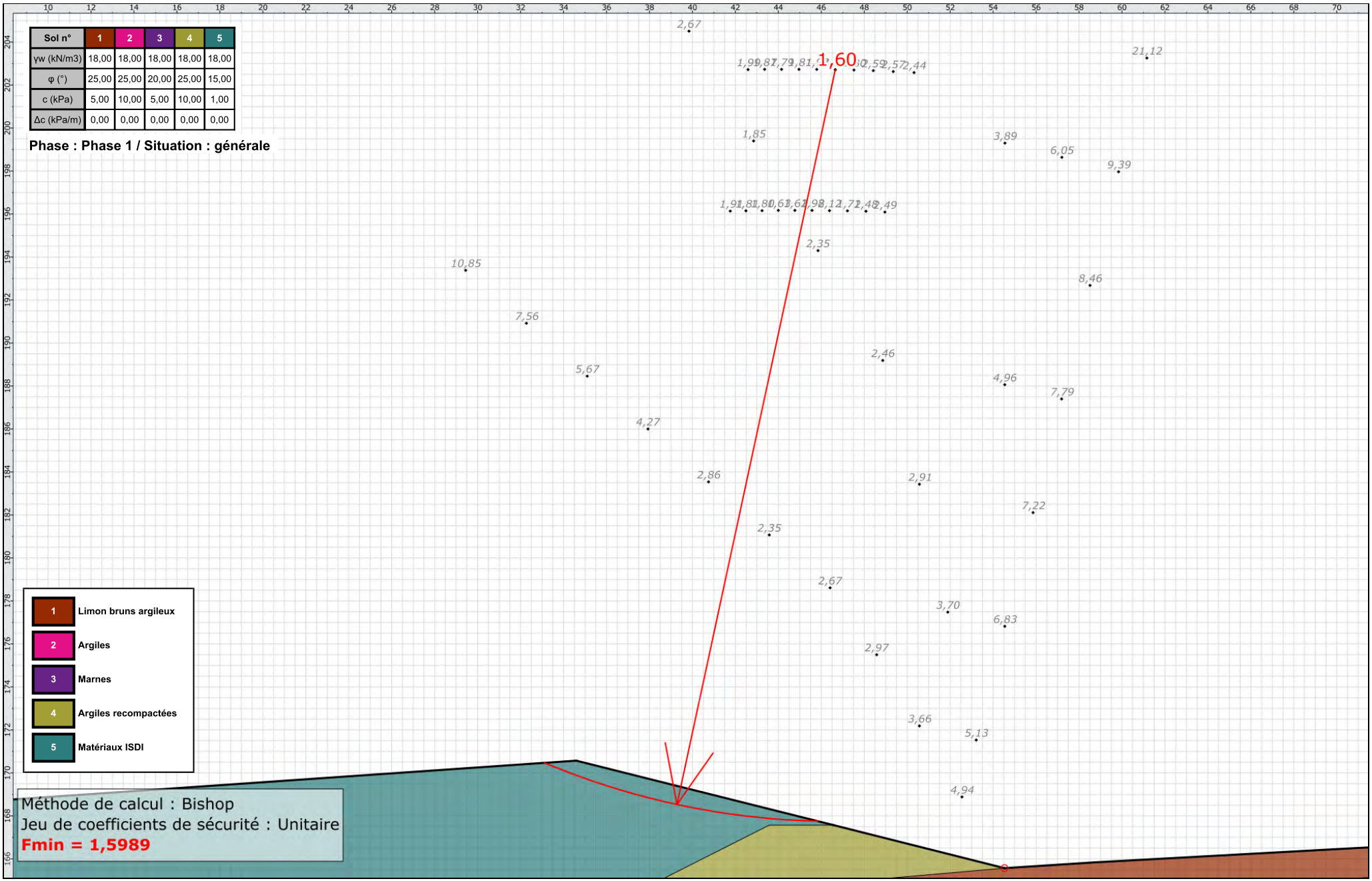
Imprimé le : 8 oct. 2021 15:25:26
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 1

Echelle 1:237

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	1,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 8 oct. 2021 15:25:26
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 1

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 2

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	90,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	15,00	1,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,405	155,670	2	29,299	155,890	3	49,405	150,920	5	58,862	151,400	6	80,000	152,000	7	0,000	155,500
8	41,339	152,890	9	38,359	152,900	10	28,456	147,880	11	9,395	146,760	12	0,000	146,590	13	32,000	149,677
14	80,000	151,200	15	38,214	150,121	16	80,000	149,000	17	22,336	147,520	18	0,000	149,634	19	36,410	149,992
20	32,547	149,954	21	0,000	147,434	22	25,065	147,681	23	49,410	150,120	24	30,166	148,747	25	0,000	145,000

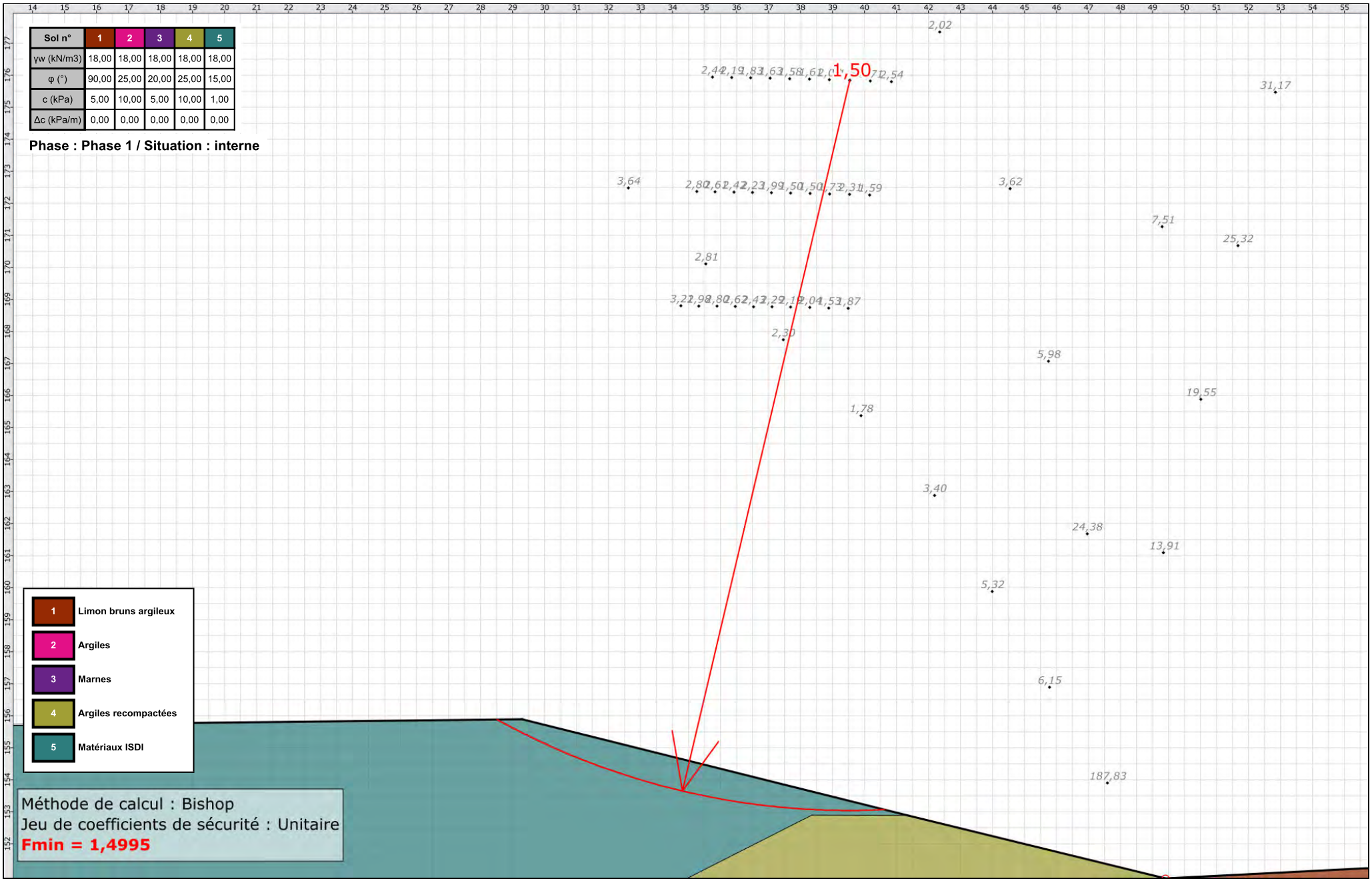
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	5	5	6	6	1	7	7	2	8	8	3	8	9	8	9	12	11	12
17	3	15	20	11	17	23	19	13	24	19	15	26	20	9	27	20	13	30	22	10
31	22	17	32	14	23	34	23	24	35	10	24	36	13	24	37	3	5	38	16	25

Echelle 1:159

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	90,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	1,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : interne



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.10

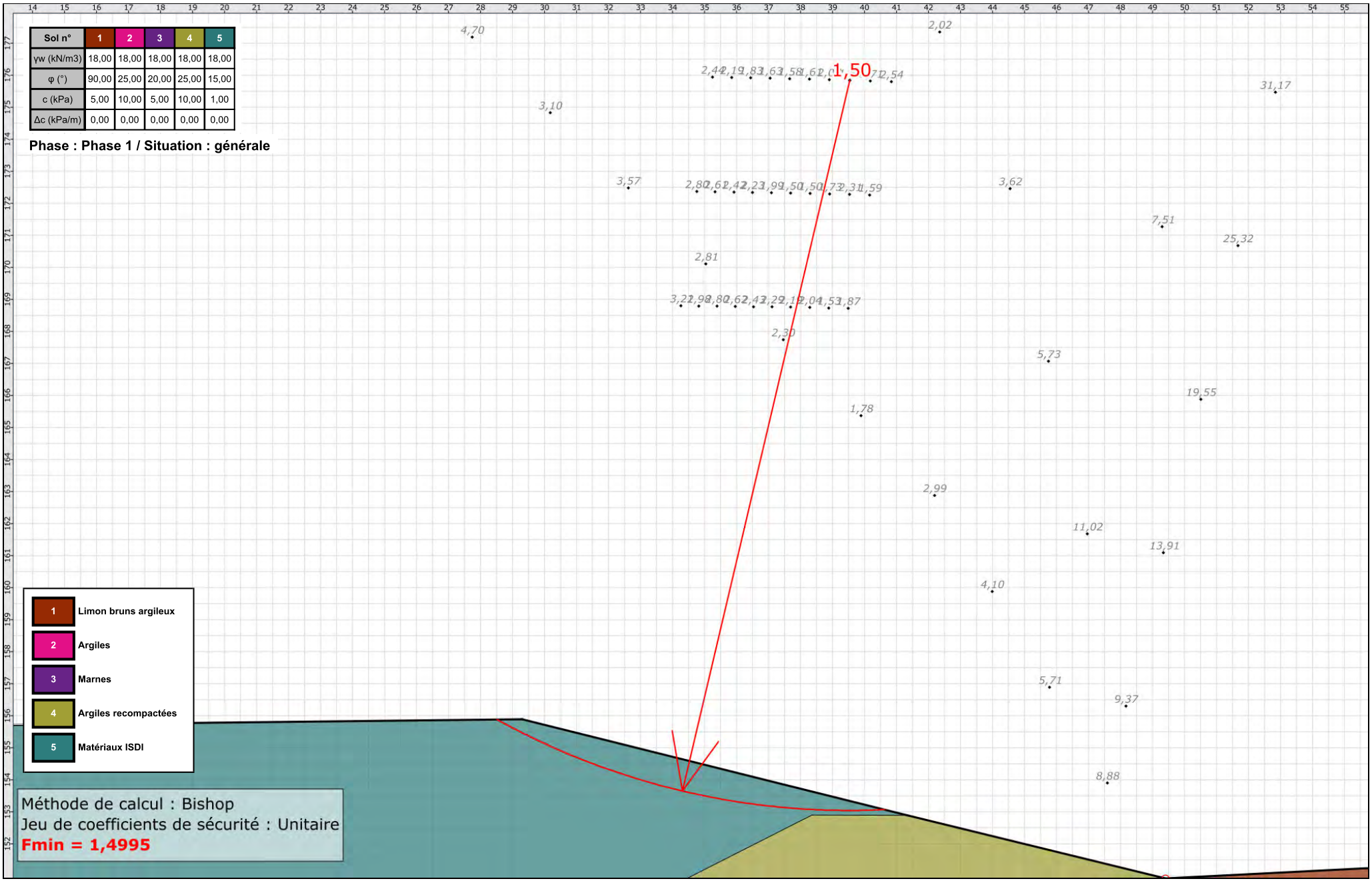
Imprimé le : 8 oct. 2021 15:23:31
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 2

Echelle 1:159

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	90,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	1,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 8 oct. 2021 15:23:31
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 2

Caractéristiques mécaniques des matériaux ISDI

C’= 2 kPa

Φ’= 15°

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 1

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	15,00	2,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,141	168,820	2	34,591	170,570	3	54,530	165,570	4	58,748	165,840	5	80,000	167,000	6	0,000	168,180
7	46,576	167,570	8	43,576	167,570	9	36,500	164,000	10	28,000	159,790	11	9,110	158,740	12	0,000	158,272
13	80,000	165,600	15	80,000	163,000	17	38,454	164,170	18	31,594	161,570	19	54,554	164,170	20	33,127	162,329
21	58,748	164,440	22	54,541	161,570	23	0,000	156,841									

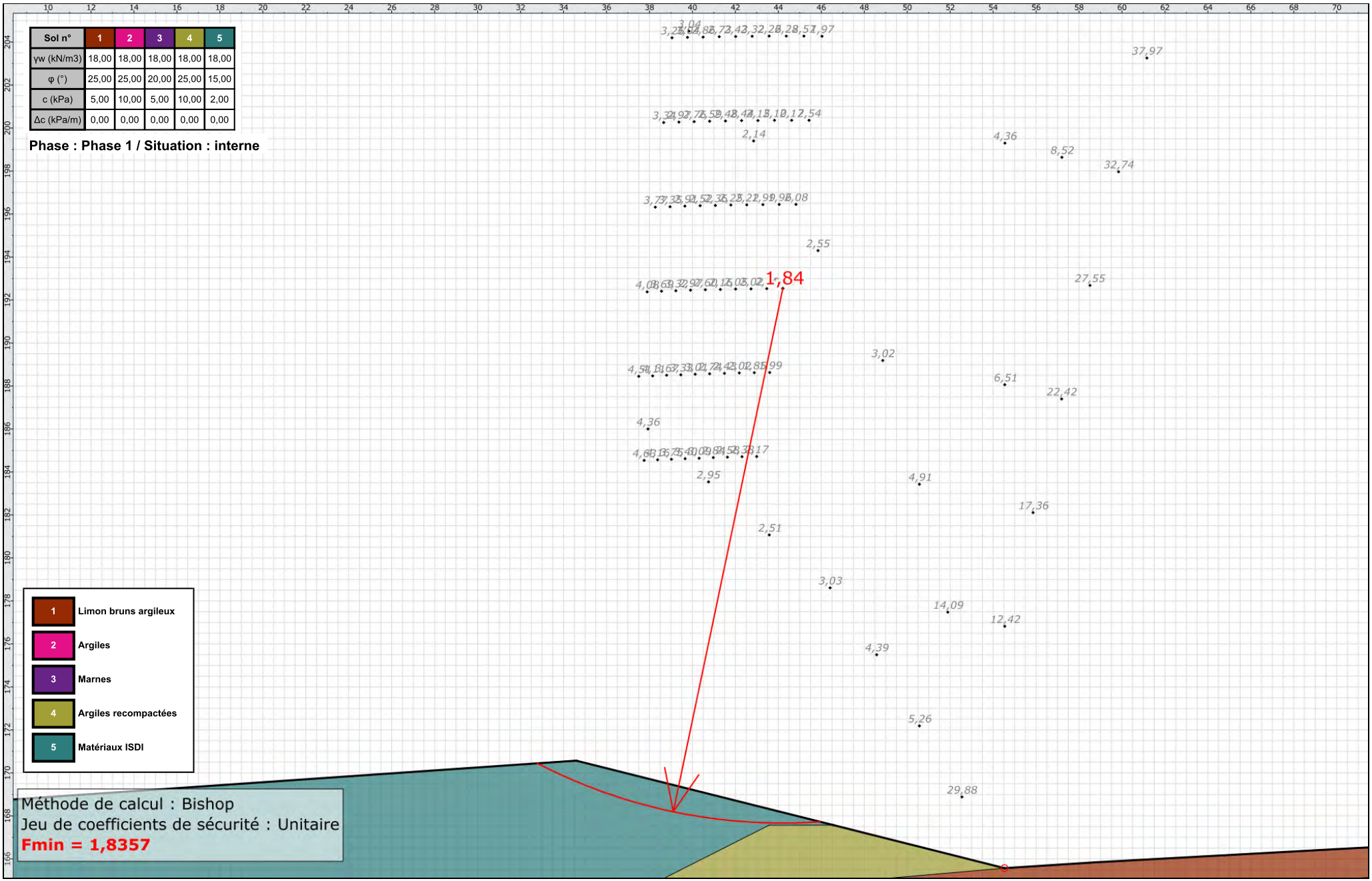
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	3	3	4	4	4	5	5	1	6	6	2	7	7	3	7	8	7	8
9	8	9	11	10	11	12	11	12	21	9	17	22	3	17	26	10	18	30	19	20
31	9	20	32	18	20	33	19	21	34	21	13	36	15	22	37	22	23			

Echelle 1:237

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : interne



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.10

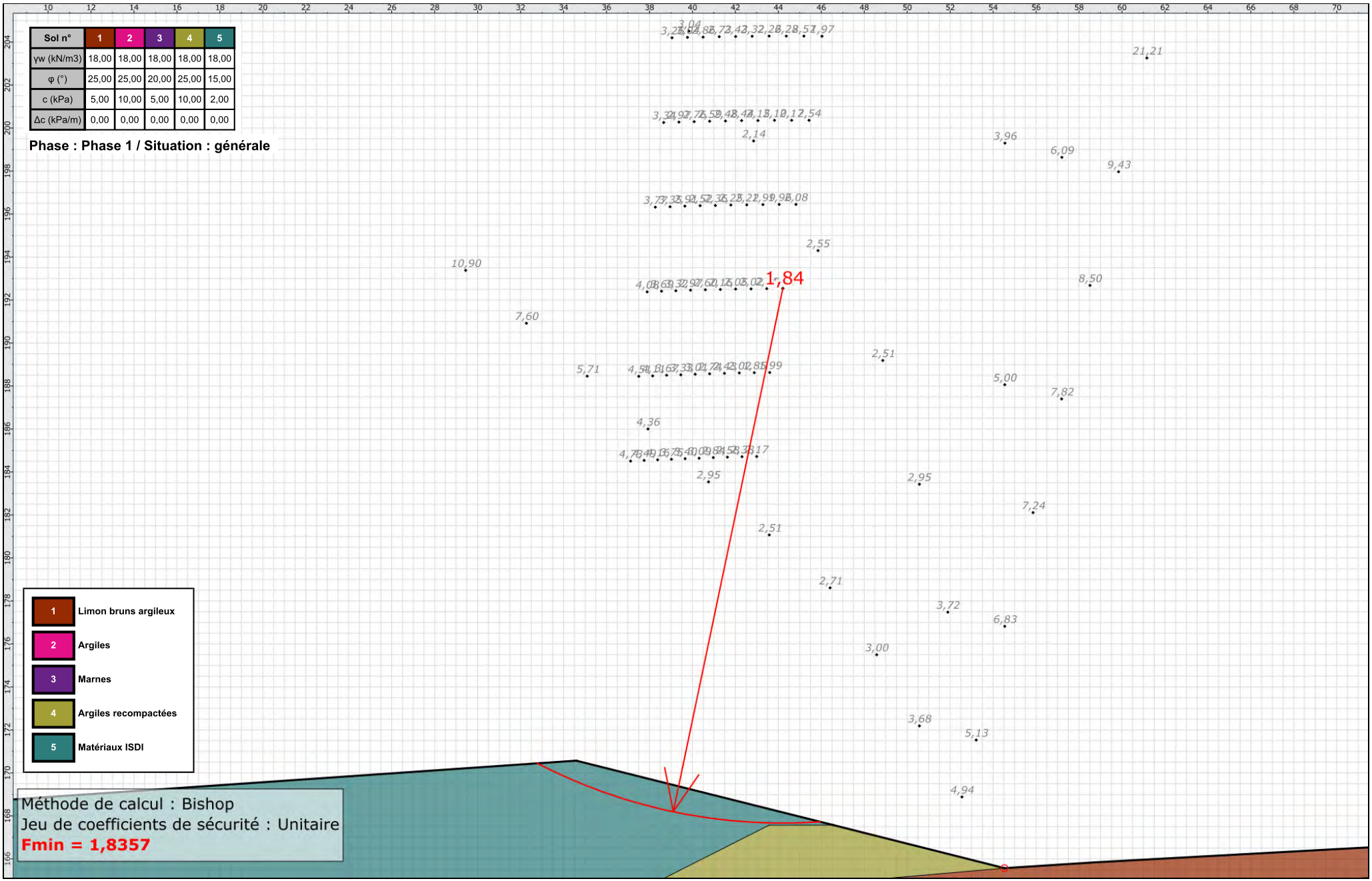
Imprimé le : 8 oct. 2021 15:01:45
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 1

Echelle 1:237

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 2

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	15,00	2,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,405	155,670	2	29,299	155,890	3	49,405	150,920	5	58,862	151,400	6	80,000	152,000	7	0,000	155,500
8	41,339	152,890	9	38,359	152,900	10	28,456	147,880	11	9,395	146,760	12	0,000	146,590	13	32,000	149,677
14	80,000	151,200	15	38,214	150,121	16	80,000	149,000	17	22,336	147,520	18	0,000	149,634	19	36,410	149,992
20	32,547	149,954	21	0,000	147,434	22	25,065	147,681	23	49,410	150,120	24	30,166	148,747	25	0,000	145,000

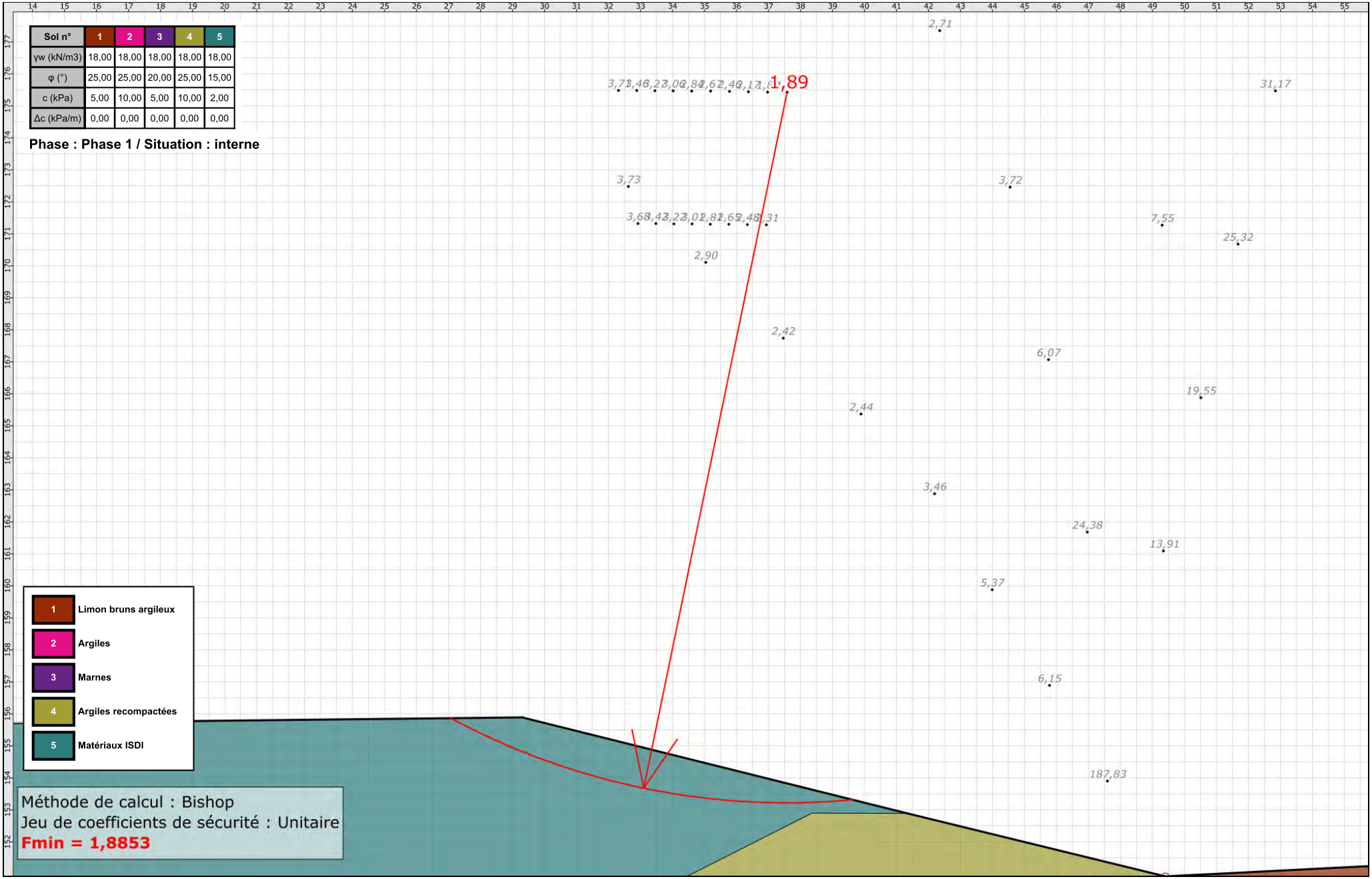
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	5	5	6	6	1	7	7	2	8	8	3	8	9	8	9	12	11	12
17	3	15	20	11	17	23	19	13	24	19	15	26	20	9	27	20	13	30	22	10
31	22	17	32	14	23	34	23	24	35	10	24	36	13	24	37	3	5	38	16	25

Echelle 1:159

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

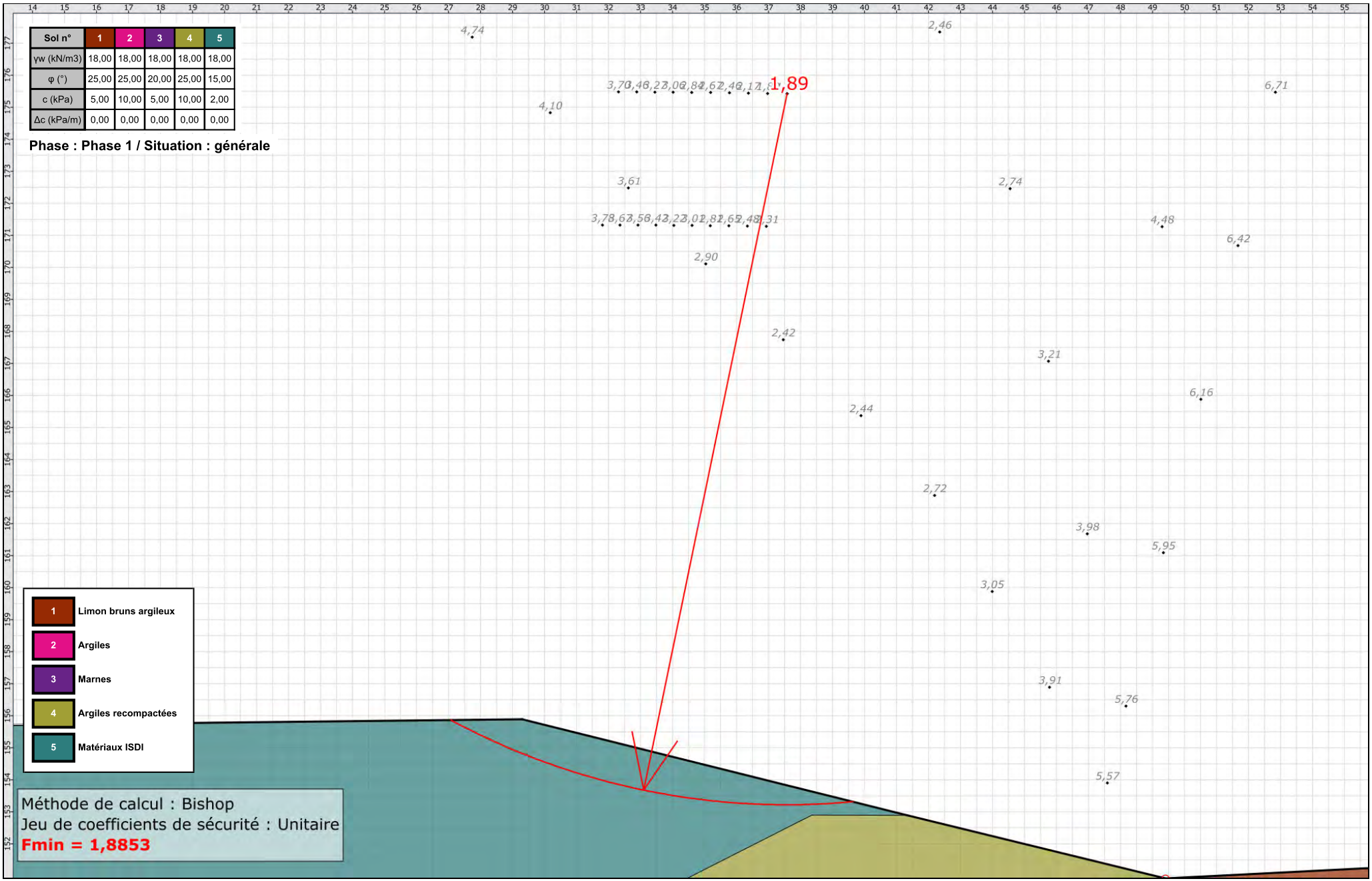
Phase : Phase 1 / Situation : interne



Echelle 1:159

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	15,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



Caractéristiques mécaniques des matériaux ISDI

C’= 0,5 kPa

Φ’= 20°

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 1

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	20,00	0,5	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,141	168,820	2	34,591	170,570	3	54,530	165,570	4	58,748	165,840	5	80,000	167,000	6	0,000	168,180
7	46,576	167,570	8	43,576	167,570	9	36,500	164,000	10	28,000	159,790	11	9,110	158,740	12	0,000	158,272
13	80,000	165,600	15	80,000	163,000	17	38,454	164,170	18	31,594	161,570	19	54,554	164,170	20	33,127	162,329
21	58,748	164,440	22	54,541	161,570	23	0,000	156,841									

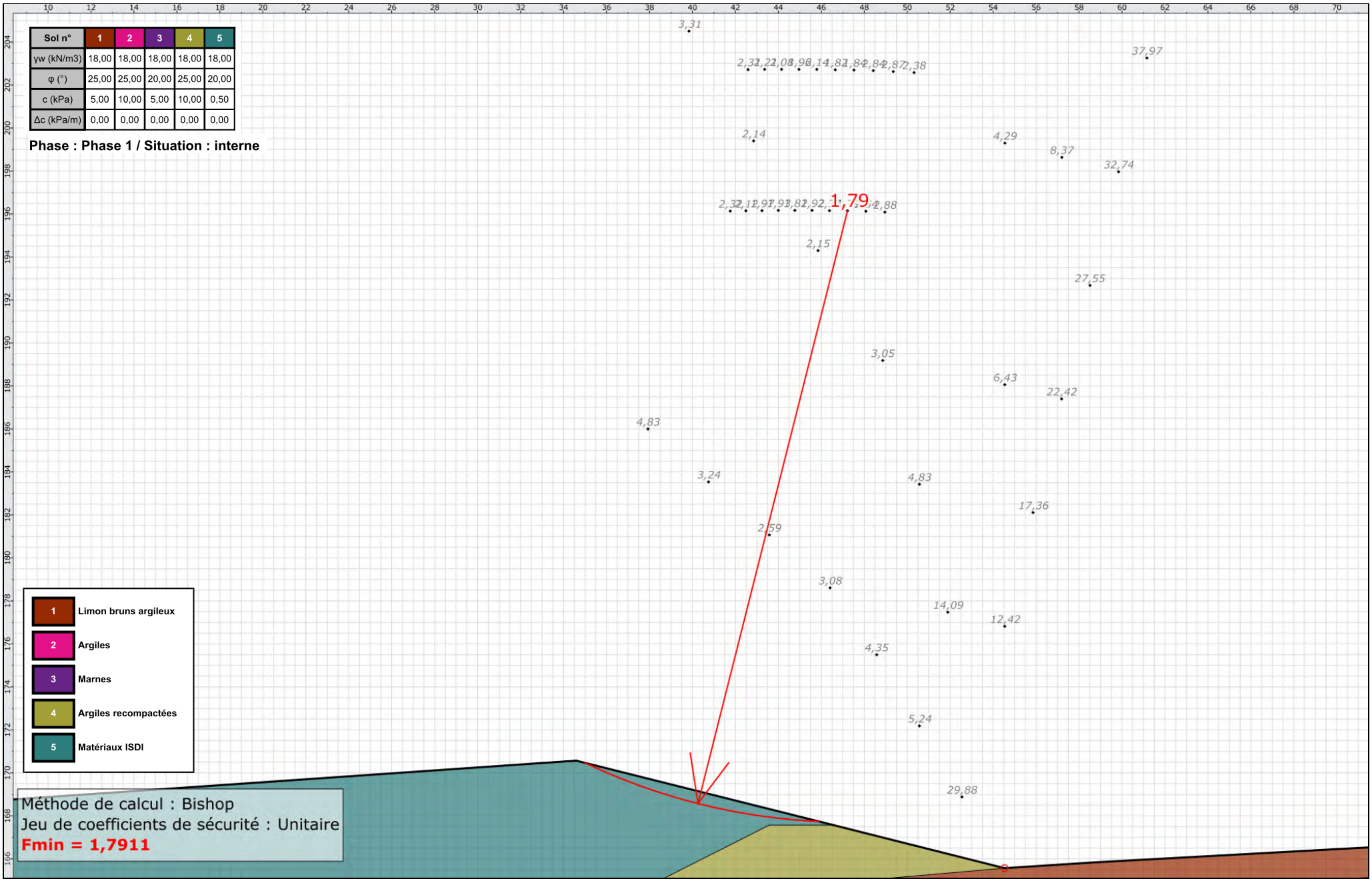
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	3	3	4	4	4	5	5	1	6	6	2	7	7	3	7	8	7	8
9	8	9	11	10	11	12	11	12	21	9	17	22	3	17	26	10	18	30	19	20
31	9	20	32	18	20	33	19	21	34	21	13	36	15	22	37	22	23			

Echelle 1:237

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	20,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	0,50
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : interne



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.10

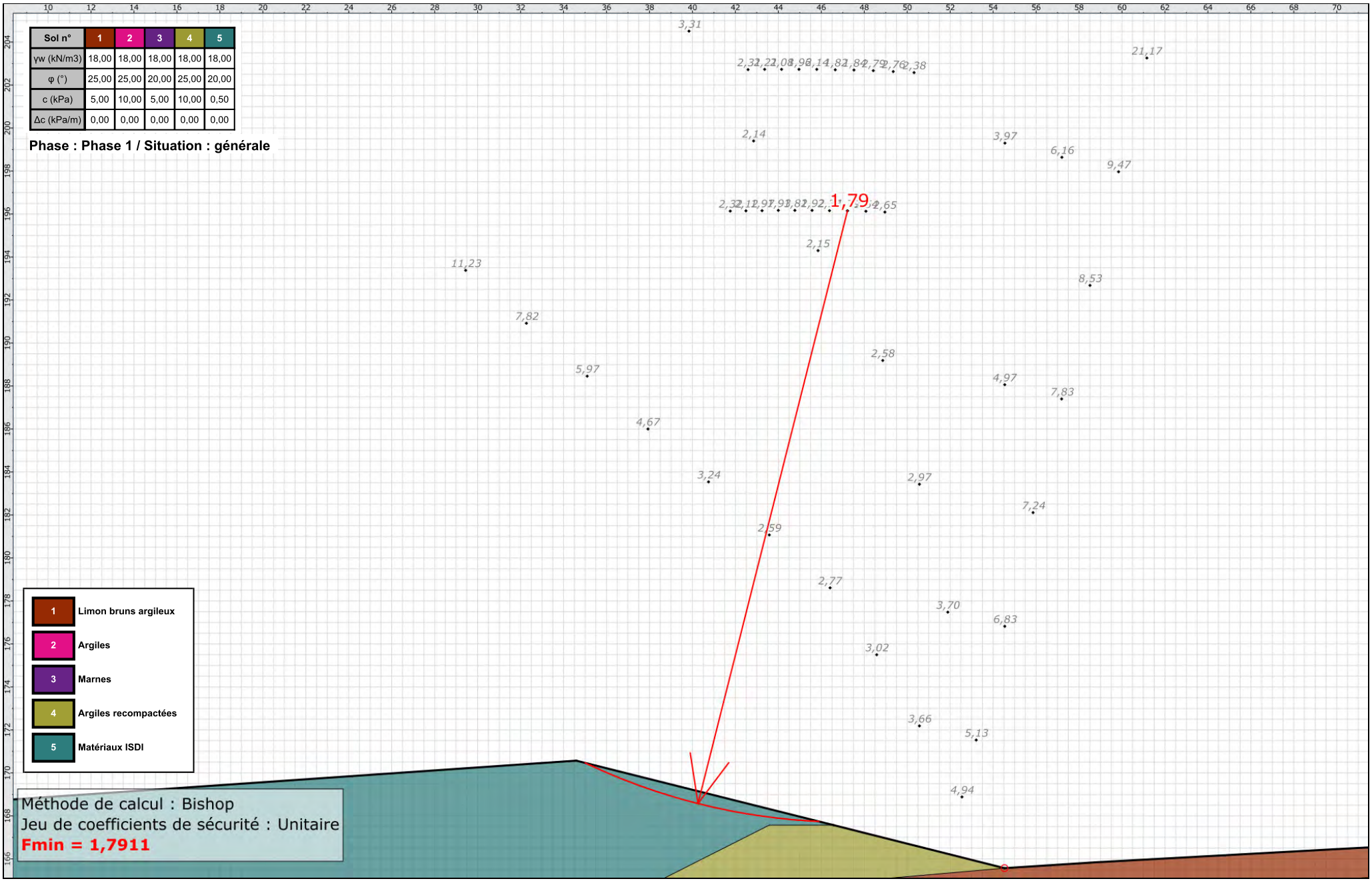
Imprimé le : 8 oct. 2021 15:02:38
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 1

Echelle 1:237

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	20,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	0,50
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 8 oct. 2021 15:02:39
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 1

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 2

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	20,00	0,5	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,405	155,670	2	29,299	155,890	3	49,405	150,920	5	58,862	151,400	6	80,000	152,000	7	0,000	155,500
8	41,339	152,890	9	38,359	152,900	10	28,456	147,880	11	9,395	146,760	12	0,000	146,590	13	32,000	149,677
14	80,000	151,200	15	38,214	150,121	16	80,000	149,000	17	22,336	147,520	18	0,000	149,634	19	36,410	149,992
20	32,547	149,954	21	0,000	147,434	22	25,065	147,681	23	49,410	150,120	24	30,166	148,747	25	0,000	145,000

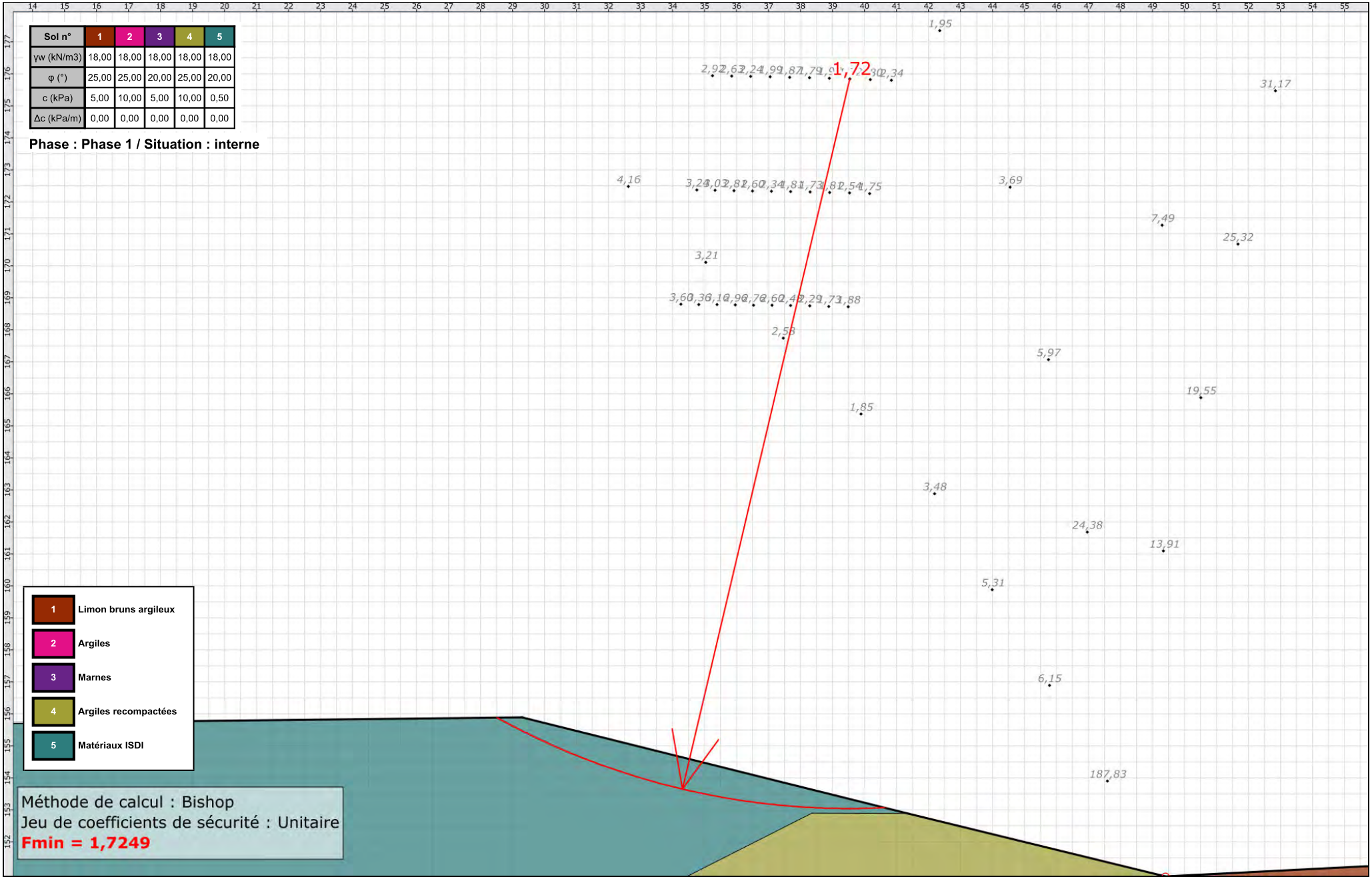
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	5	5	6	6	1	7	7	2	8	8	3	8	9	8	9	12	11	12
17	3	15	20	11	17	23	19	13	24	19	15	26	20	9	27	20	13	30	22	10
31	22	17	32	14	23	34	23	24	35	10	24	36	13	24	37	3	5	38	16	25

Echelle 1:159

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	20,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	0,50
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

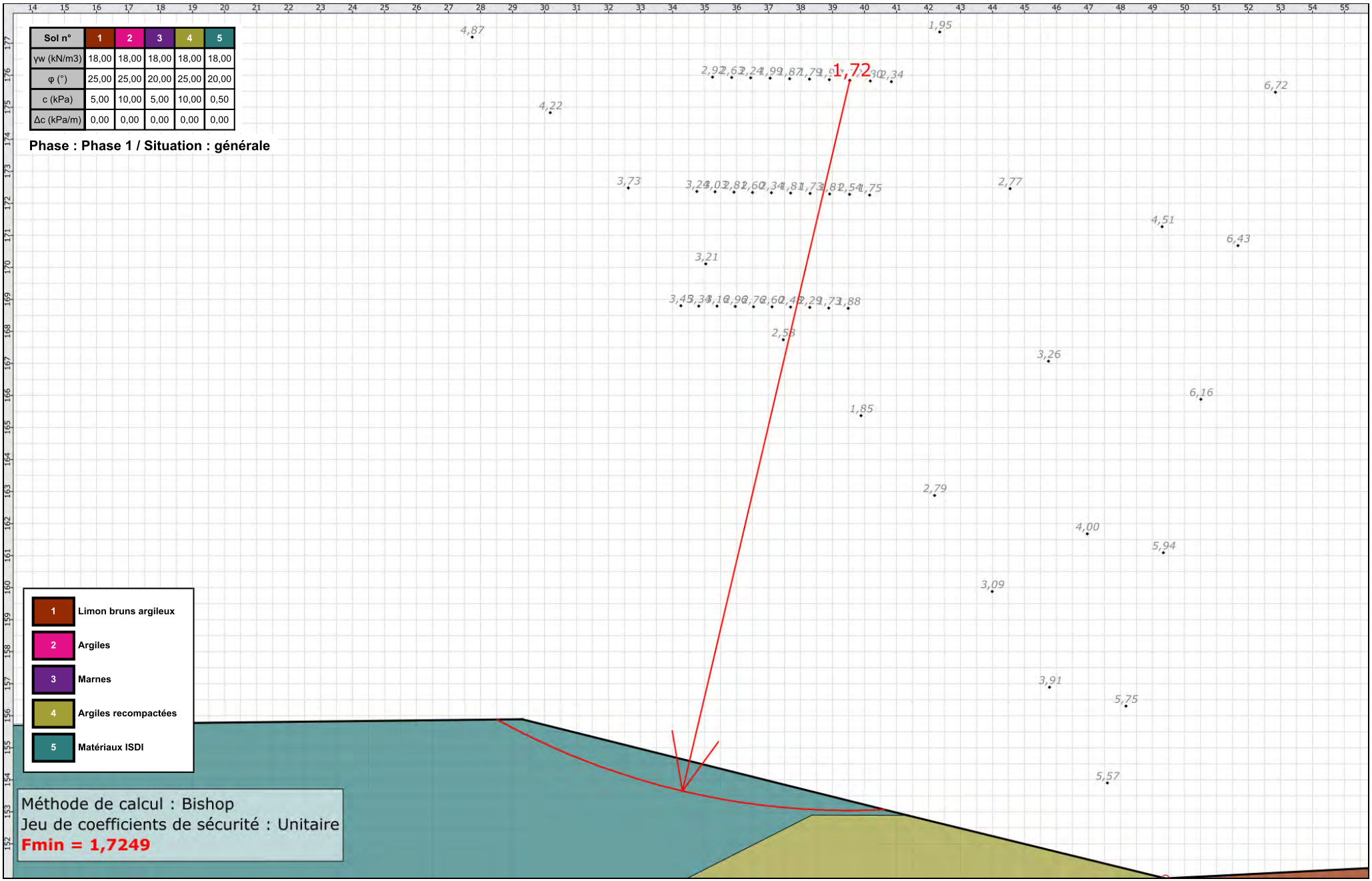
Phase : Phase 1 / Situation : interne



Echelle 1:159

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	20,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	0,50
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



Caractéristiques mécaniques des matériaux ISDI

C’= 2 kPa

Φ’= 20°

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 1

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	20,00	2,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,141	168,820	2	34,591	170,570	3	54,530	165,570	4	58,748	165,840	5	80,000	167,000	6	0,000	168,180
7	46,576	167,570	8	43,576	167,570	9	36,500	164,000	10	28,000	159,790	11	9,110	158,740	12	0,000	158,272
13	80,000	165,600	15	80,000	163,000	17	38,454	164,170	18	31,594	161,570	19	54,554	164,170	20	33,127	162,329
21	58,748	164,440	22	54,541	161,570	23	0,000	156,841									

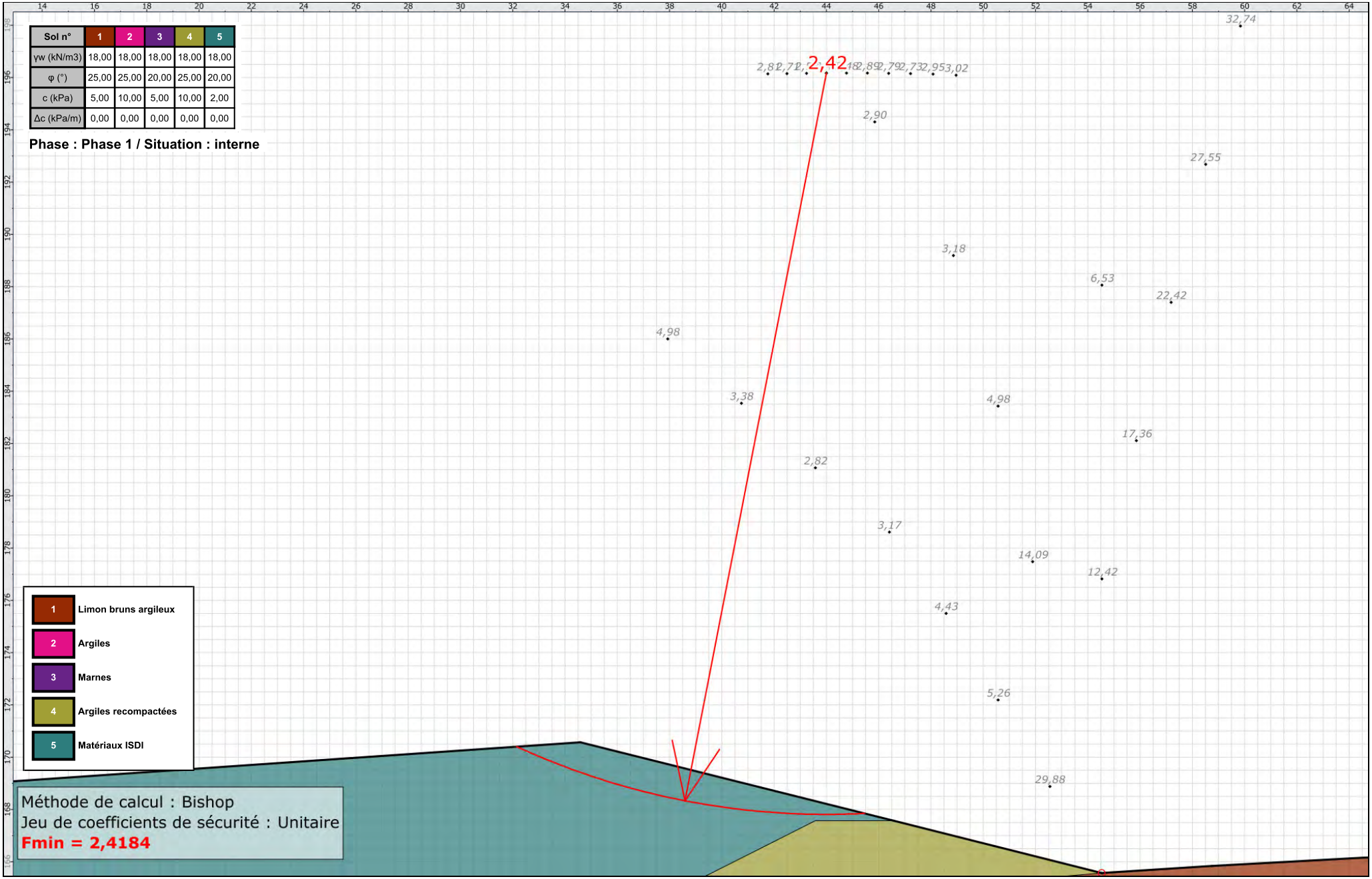
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	3	3	4	4	4	5	5	1	6	6	2	7	7	3	7	8	7	8
9	8	9	11	10	11	12	11	12	21	9	17	22	3	17	26	10	18	30	19	20
31	9	20	32	18	20	33	19	21	34	21	13	36	15	22	37	22	23			

Echelle 1:195

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	20,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

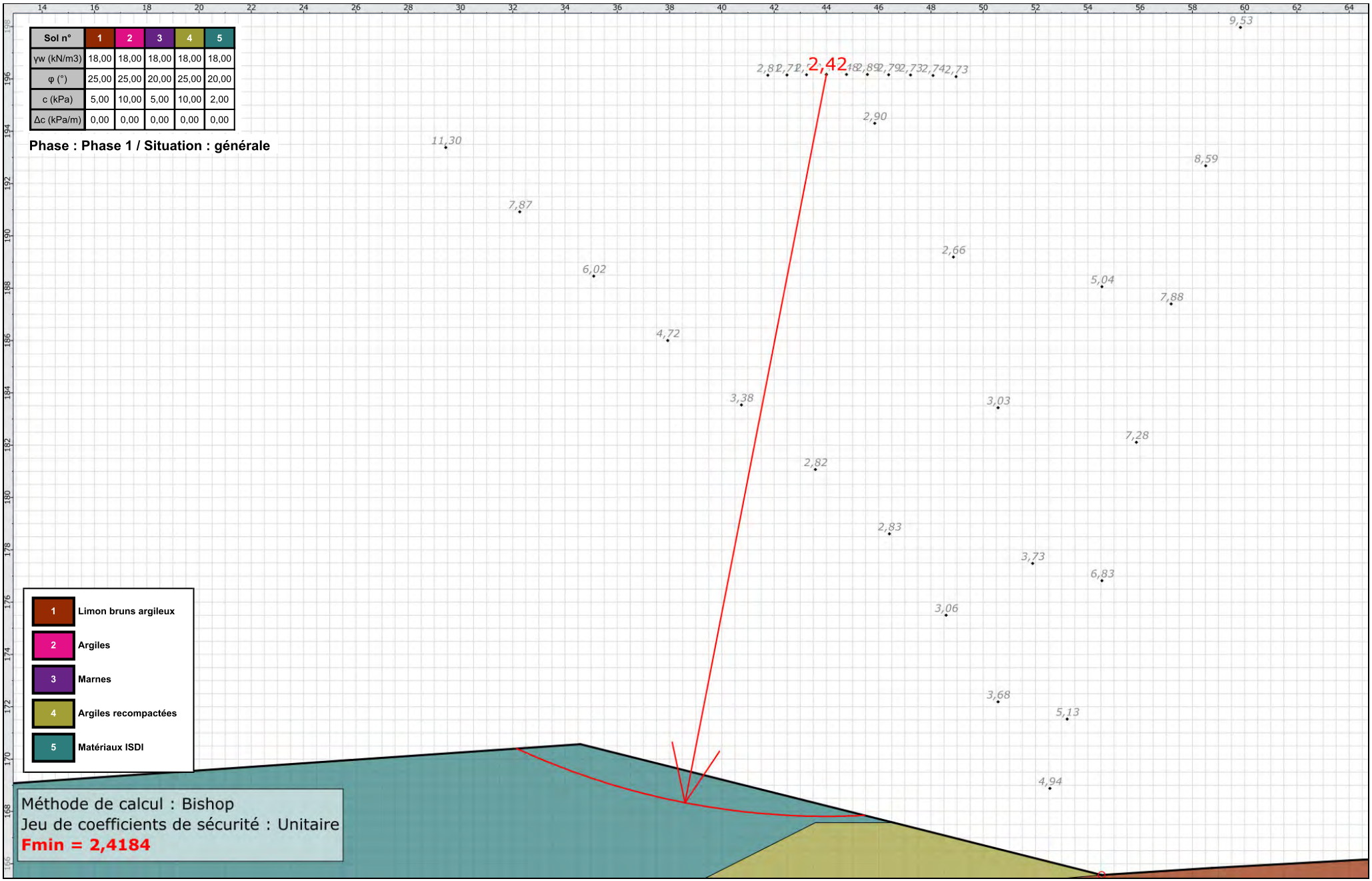
Phase : Phase 1 / Situation : interne



Echelle 1:195

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	20,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



terrasol
setec

Talren v5
v5.2.10

Imprimé le : 8 oct. 2021 15:12:35
Calcul réalisé par : ANTEA GROUP

Projet : Coupe 1

Données du projet

Numéro d'affaire : IDFA210582

Titre du calcul : Coupe 2

Lieu : Cocherel (77)

Commentaires : N/A

Système d'unités : kN, kPa, kN/m3

γw : 10.0

Couches de sol

	Nom	Couleur	γ	φ	c	Δc	qs clous	pl	KsB	Anisotropie	Favorable	Coefficients de sécurité spécifiques
1	Limon bruns argileux		18,0	25,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
2	Argiles		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
3	Marnes		18,0	20,00	5,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
4	Argiles recompactées		18,0	25,00	10,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non
5	Matériaux ISDI		18,0	20,00	2,0	0,0	-	-	-	Non	Non	Non

Couches de sol (cont.)

	Nom	Couleur	Γγ	Γc	Γtan(φ)	Type de cohésion	Courbe
1	Limon bruns argileux		-	-	-	Effective	Linéaire
2	Argiles		-	-	-	Effective	Linéaire
3	Marnes		-	-	-	Effective	Linéaire
4	Argiles recompactées		-	-	-	Effective	Linéaire
5	Matériaux ISDI		-	-	-	Effective	Linéaire

Points

	X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y		X	Y
1	9,405	155,670	2	29,299	155,890	3	49,405	150,920	5	58,862	151,400	6	80,000	152,000	7	0,000	155,500
8	41,339	152,890	9	38,359	152,900	10	28,456	147,880	11	9,395	146,760	12	0,000	146,590	13	32,000	149,677
14	80,000	151,200	15	38,214	150,121	16	80,000	149,000	17	22,336	147,520	18	0,000	149,634	19	36,410	149,992
20	32,547	149,954	21	0,000	147,434	22	25,065	147,681	23	49,410	150,120	24	30,166	148,747	25	0,000	145,000

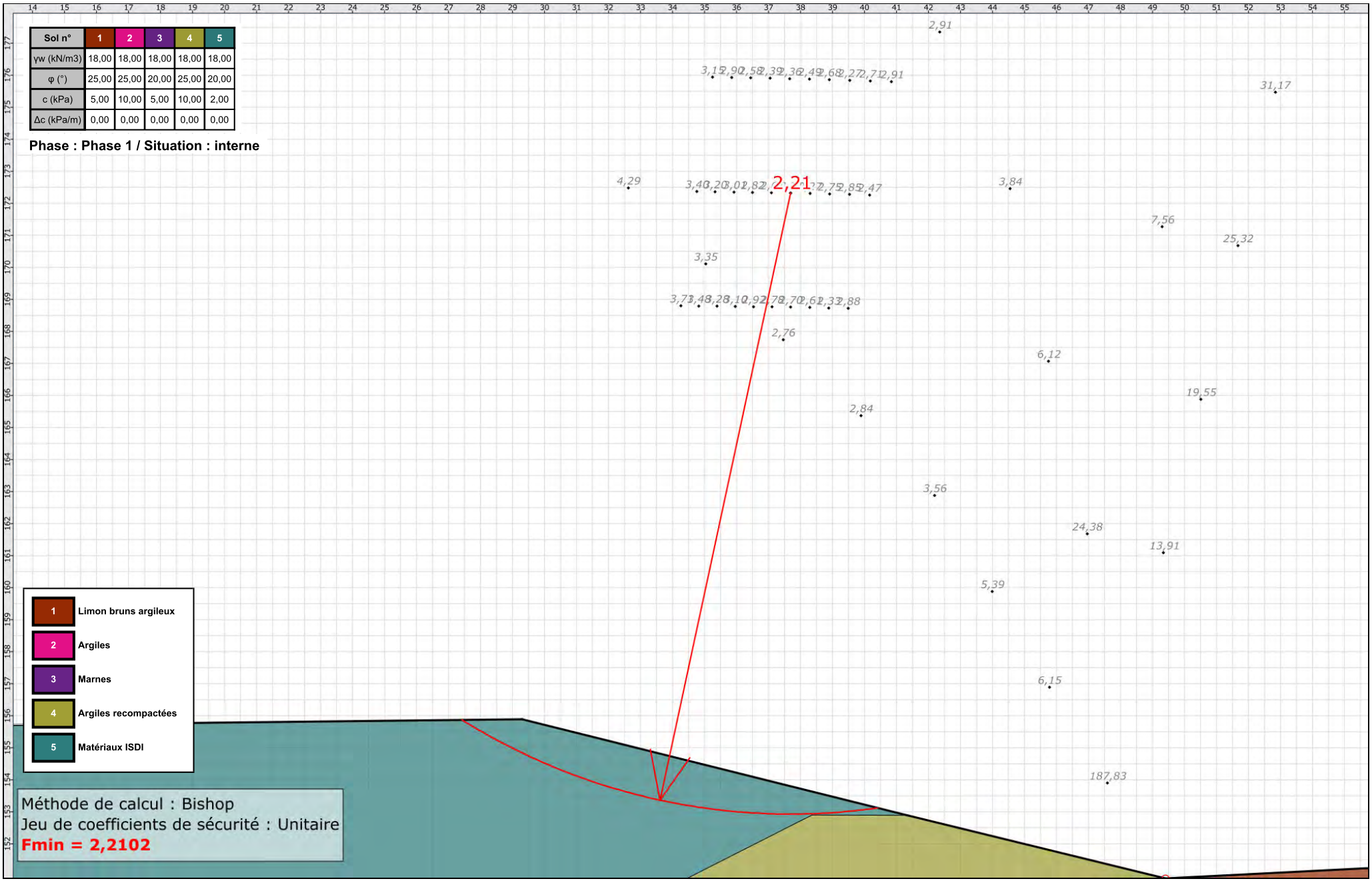
Segments

	Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2		Point 1	Point 2
1	1	2	5	5	6	6	1	7	7	2	8	8	3	8	9	8	9	12	11	12
17	3	15	20	11	17	23	19	13	24	19	15	26	20	9	27	20	13	30	22	10
31	22	17	32	14	23	34	23	24	35	10	24	36	13	24	37	3	5	38	16	25

Echelle 1:159

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	20,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

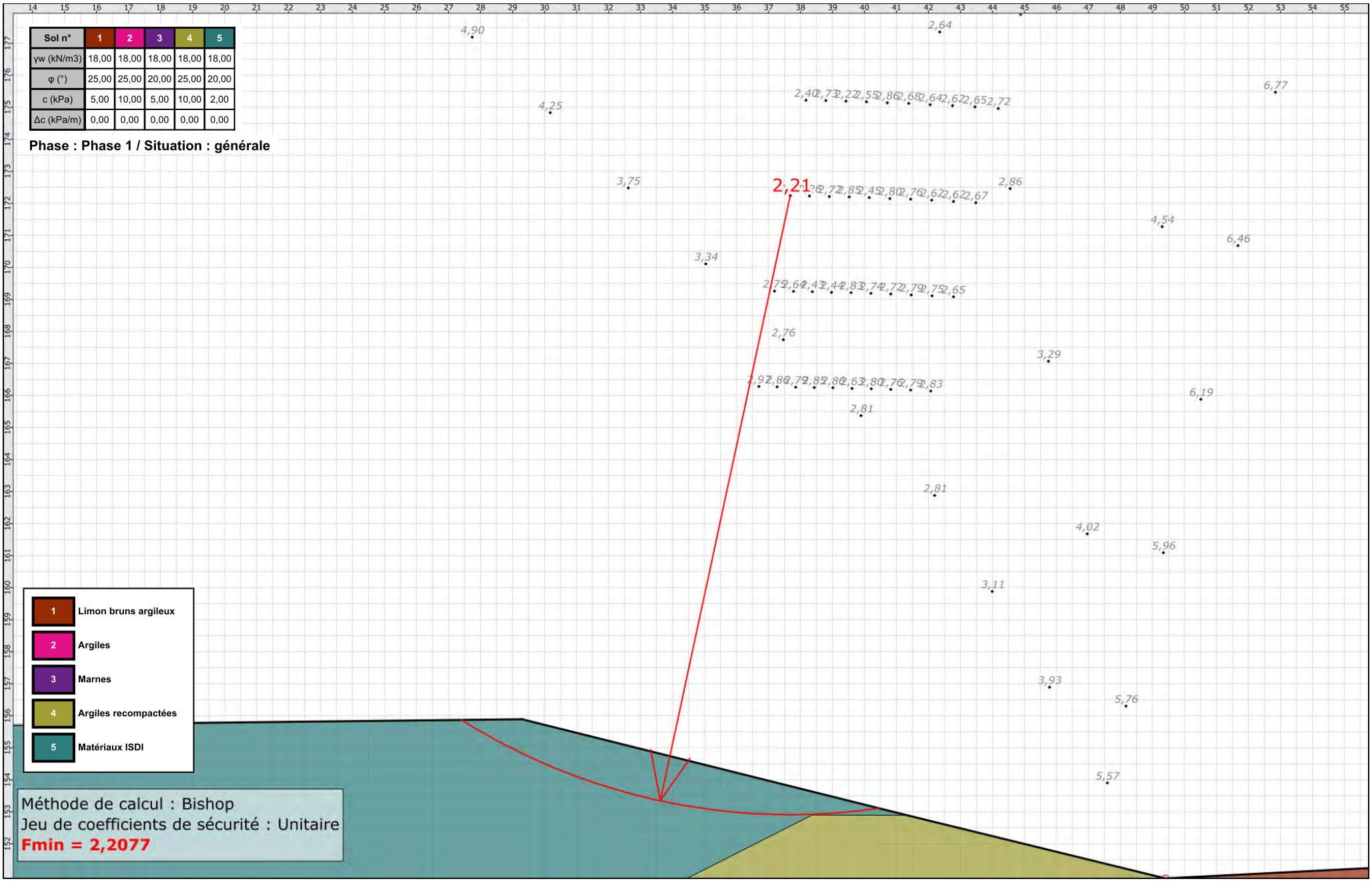
Phase : Phase 1 / Situation : interne



Echelle 1:159

Sol n°	1	2	3	4	5
γw (kN/m3)	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
φ (°)	25,00	25,00	20,00	25,00	20,00
c (kPa)	5,00	10,00	5,00	10,00	2,00
Δc (kPa/m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Phase : Phase 1 / Situation : générale



Acteur majeur de l'ingénierie de l'environnement
et de la valorisation des territoires

Mesure

Air ambiant
Air intérieur
Exposition professionnelle
Eau
Pollution atmosphérique

Environnement

Due diligence et conseil stratégique
Sites et sols pollués
Travaux de dépollution
Dossiers réglementaires

Eau

Traitement des effluents industriels
Eau ressource et géothermies
Eau potable et assainissement
Aménagement hydraulique

Data

Systèmes d'information et data management
Solutions pour le data management environnemental

Infrastructures

Déconstruction et désamiantage
Géotechnique
Fondations et terrassements
Ouvrages et structures
Risques naturels
Déchets et valorisation

Aménagement du territoire

Projet urbain
L'environnement au cœur des stratégies et projets
Stratégie territoriale et planification

Références :

Portées communiquées sur demande

www.lne.fr