

Pièces justificatives

## ANNEXE 3 - Pièce 1

---

Courriers de demande de déviation des réseaux auprès  
des exploitants

Demande de déviation et d'utilisation du réseau  
d'irrigation de la Saphir



**Adresse siège social :**

18 rue Jean Cocteau  
97480 SAINT-JOSEPH

**Adresse de correspondance :**

2 rue des Pamplémousses  
97429 PETITE-ILE

**Monsieur Le Directeur de la SAPHIR**

4 route Ligne Paradis  
BP 157  
97454 Saint-Pierre

Lettre RAR n°2C 090 480 2344 8

**Objet :** Demande de déplacement de conduites et d'une borne d'irrigation.

Monsieur,

Je soussigné M. Fabrice VALROMEX, de nationalité française, agissant en tant que Directeur de la société PREFABLOC AGRÉGATS SARL, dont le siège social est situé 18 rue Jean COCTEAU sur la commune de Saint-Joseph, réalise actuellement une demande d'autorisation d'exploiter une carrière sur la commune de Saint-André, au lieu-dit « Patelin ».

L'emprise du projet concerne 16 parcelles cadastrées section BC n°58, 60, 61, 81, 142, 269, 270, 273, 274, 275, 276 et AZ 934, 935, 936, 937, 938. La zone en extraction (en jaune sur la carte ci-après) représentera une surface d'environ 22,95 ha. Cette surface sera exploitée par la technique des carreaux glissants qui limitera la zone ouverte à 9,5 ha maximum.

Actuellement, plusieurs conduites d'irrigation et une borne d'alimentation sont situées sur la zone en extraction à l'ouest et à l'est du site. Ces équipements devront être déplacés afin de permettre l'exploitation du projet. Après remise en état des terrains, la borne devra être repositionnée sur son emplacement initial.

Le déplacement du réseau d'irrigation devra être réalisé avant la suppression des conduites d'origines, afin de limiter les temps de coupure d'alimentation en eau et de ne pas pénaliser les agriculteurs. Ces déplacements pourront faire l'objet de conventions de servitudes passées entre les propriétaires des parcelles et la SAPHIR dès que les emplacements des nouveaux réseaux seront validés.

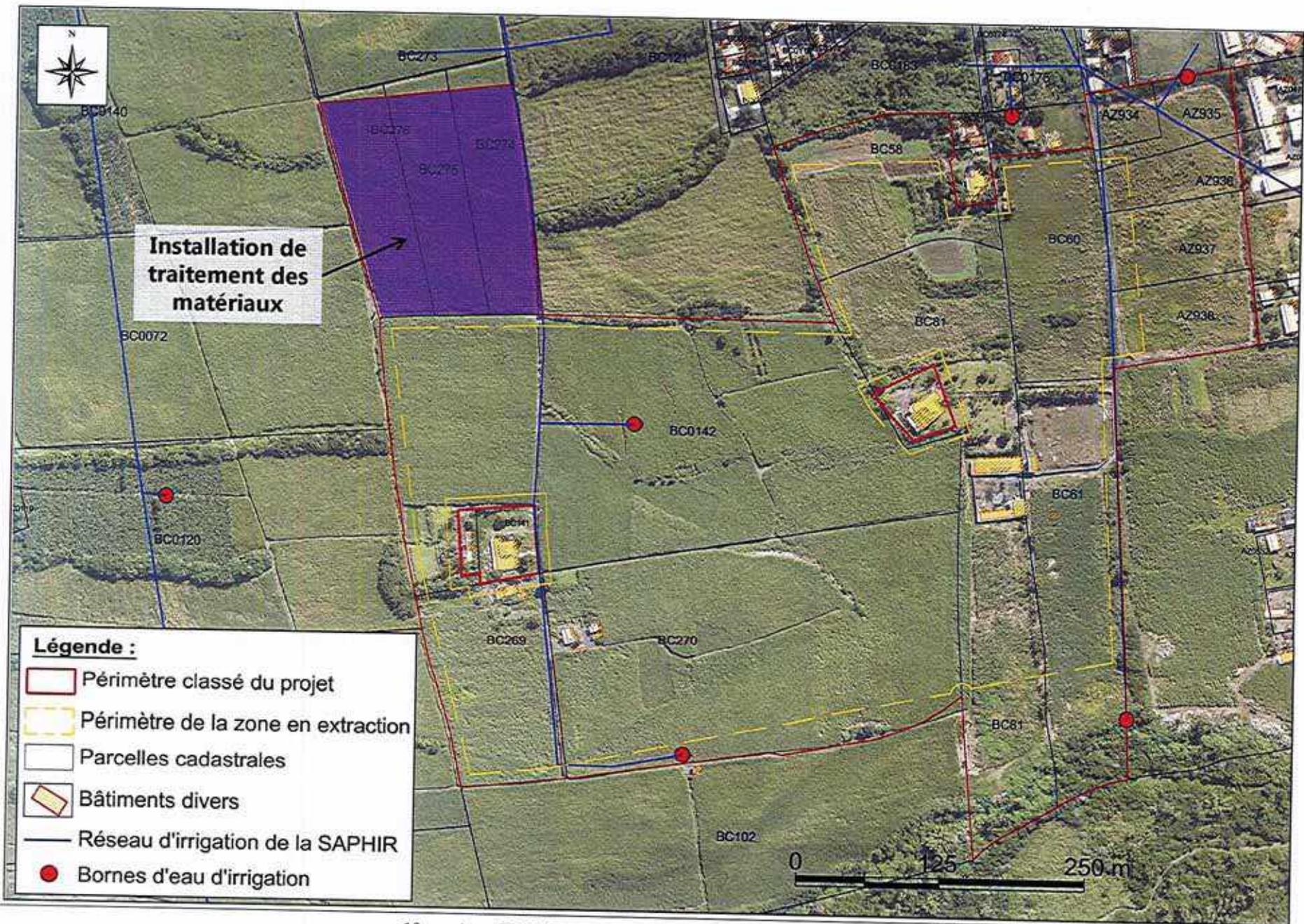
Par le présent courrier, nous vous demandons d'étudier la possibilité de déplacer le réseau d'irrigation concerné par la surface en extraction.

Je vous serais obligé de bien vouloir trouver ci-après une carte représentant la localisation du projet ainsi que les conduites et la borne d'irrigation concernées.

Je vous prie de croire, Monsieur, en l'expression de ma haute considération.

Fait à Saint-Joseph, le 25 mars 2019

Fabrice VALROMEX  
Directeur



18, rue Jean COCTEAU - ZAC des Grègues - 97480 SAINT-JOSEPH,  
 Tél +262 (0)262 56 56 56  
 SARL au capital de 248 000 €  
 RCS ST PIERRE TGI 402 304 299 - N°95 B 326



**Adresse siège social :**

18 rue Jean Cocteau  
97480 SAINT-JOSEPH

**Adresse de correspondance :**

2 rue des Pamplemousses  
97429 PETITE-ILE

**Monsieur Le Directeur de la SAPHIR**

4 route Ligne Paradis  
BP 157  
97454 Saint-Pierre

Lettre RAR n° 2C 090 480 2943 A

**Objet :** Demande d'alimentation en eau d'irrigation.

Monsieur,

Je soussigné M. Fabrice VALROMEX, de nationalité française, agissant en tant que Directeur de la société PREFABLOC AGREGATS SARL, dont le siège social est situé 18 rue Jean COCTEAU sur la commune de Saint-Joseph, réalise actuellement une demande d'autorisation d'exploiter une carrière sur la commune de Saint-André, au lieu-dit « Patelin ».

L'emprise du projet concerne 16 parcelles cadastrées section BC n°58, 60, 61, 81, 142, 269, 270, 273, 274, 275, 276 et AZ 934, 935, 936, 937, 938.

Ces parcelles se situent en partie dans le schéma départemental des carrières, repris lui-même dans le SAR et le SMVM. Ces documents préconisent de traiter les matériaux dans les espaces carrière afin de limiter les impacts environnementaux liés au transport.

Le projet sera composé d'une installation :

- d'extraction (soumise à autorisation au titre de la rubrique 2510-1),
- de traitement (soumise à enregistrement au titre de la rubrique 2515-1a)
- de transit (soumise à enregistrement au titre de la rubrique 2517-1).

La valorisation des matériaux nécessitera l'utilisation d'eau. Cette dernière contribuera aussi à la propreté et à la maîtrise de l'envol des poussières sur le site (arrosage des pistes, rampe d'arrosage dans les concasseurs et cribles, etc.).

Le volume d'eau consommé par le projet est présenté dans le tableau suivant :

Poste de consommation	Consommation par jour (m <sup>3</sup> )	Nombre de jours de fonctionnement	Consommation par an (en m <sup>3</sup> ) (caudalites x durée x nombre de jours)
Sanitaires	0,6	240	144
Lavage des engins	1		240
Arrosage des pistes et stocks	84		20 160
Installation de lavage des matériaux	68,4 (+2 x 684 m <sup>3</sup> par an pour remplissage)		17 784
<b>Total</b>			<b>38 328</b>

Par le présent courrier, nous vous demandons l'autorisation de se connecter au réseau d'irrigation afin d'alimenter l'installation pour un débit maximum d'environ 39 000 m<sup>3</sup> par an.

Je vous serais obligé de bien vouloir trouver ci-après une carte représentant la localisation du projet et l'emplacement du réseau d'irrigation.

Dans l'attente de votre réponse, je reste disponible afin de vous fournir si nécessaire toute information complémentaire.

Je vous prie de croire, Monsieur, à l'expression de ma haute considération.

Fait à Saint-Joseph, le 25 mars 2019

Fabrice VALROMEX

Directeur

**PREFABLOC AGREGATS**

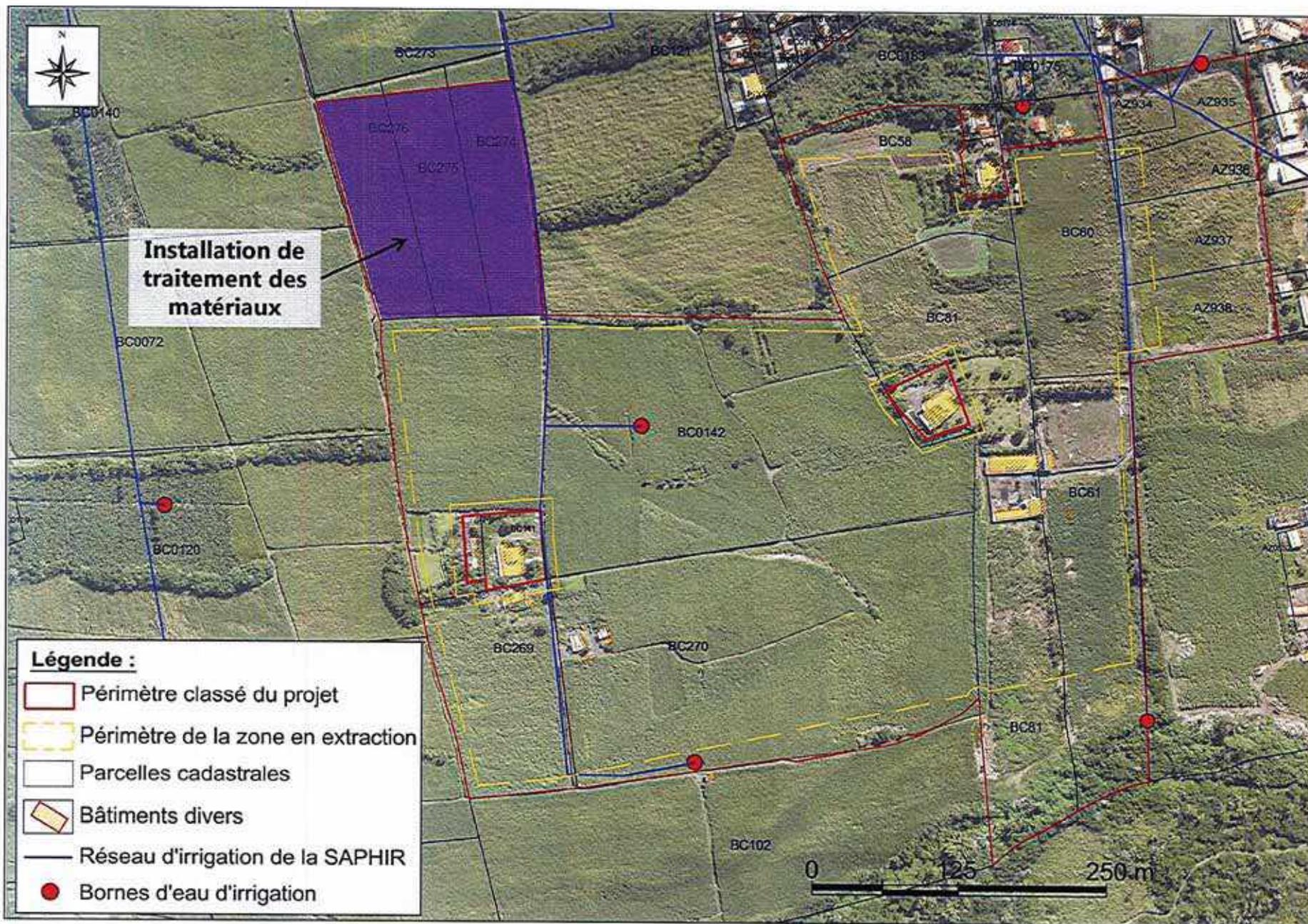
2, Rue des Pamplemousses

97429 PETITE-ILE

Tél: 0262 56 56 56

Fax: 0262 56 03 06

SIRET: 402 304 299 00033



18, rue Jean COCTEAU - ZAC des Grègues - 97480 SAINT-JOSEPH,  
 Tél +262 (0)262 56 56 56  
 SARL au capital de 248 000 €  
 RCS ST PIERRE TGI 402 304 299 - N°95 B 326

Demande de déviation du réseau d'électricité d'EDF



**Adresse siège social :**

18 rue Jean Cocteau  
97480 SAINT-JOSEPH

**Adresse de correspondance :**

2 rue des Pamplemousses  
97429 PETITE-ILE

**EDF Service Opérateur Réseaux**

Rue Charles Darwin  
ZAC 2000  
97829 Le Port CEDEX

**Lettre RAR n°**

**Objet :** Demande de déplacement de lignes électriques aériennes.

Monsieur,

Je soussigné M. Fabrice VALROMEX, de nationalité française, agissant en tant que Directeur de la société PREFABLOC AGREGATS SARL, dont le siège social est situé 18 rue Jean COCTEAU sur la commune de Saint-Joseph, réalise actuellement une demande d'autorisation d'exploiter une carrière sur la commune de Saint-André, au lieu-dit « Patelin ».

L'emprise du projet concerne 16 parcelles cadastrées section BC n°58, 60, 61, 81, 142, 269, 270, 273, 274, 275, 276 et AZ 934, 935, 936, 937, 938. La zone en extraction (en jaune sur la carte ci-après) représentera une surface d'environ 22,95 ha. Cette surface sera exploitée par la technique des carreaux glissants qui limitera la zone ouverte à 9,5 ha maximum.

Actuellement, plusieurs une ligne aérienne HTA avec 2 supports et une ligne BT avec 8 supports sont situées sur la zone en extraction à l'ouest et à l'est du site. Ces équipements devront être déplacés afin de permettre l'exploitation du projet.

Par ailleurs, l'installation de traitement des matériaux située sur les parcelles BC n°274, 275 et 276 sera concernée par deux lignes aériennes HTA et un support. Il sera également nécessaire de déplacer ces équipements.

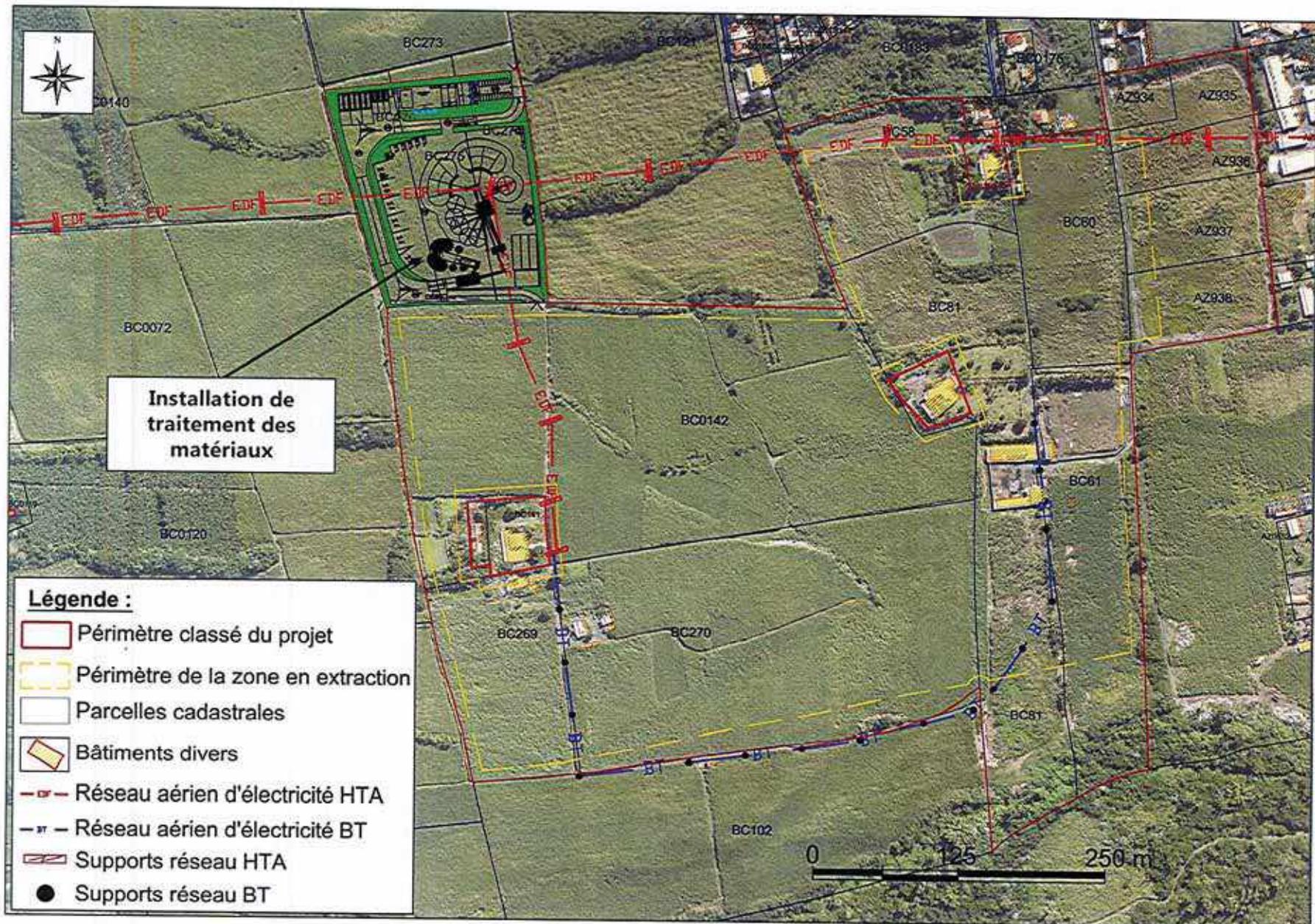
Le déplacement du réseau électrique devra être réalisé avant la suppression des lignes d'origines, afin de limiter les temps de coupure d'alimentation en électricité et de ne pas pénaliser les habitants, les éventuelles sociétés et les agriculteurs sur la zone.

Par le présent courrier, nous vous demandons d'étudier la possibilité de déplacer le réseau électrique moyenne tension et basse tension concerné par le projet.

Je vous serais obligé de bien vouloir trouver ci-après une carte représentant la localisation du projet et les réseaux électriques sur le secteur, ainsi que plusieurs coupes de l'installation de traitement.

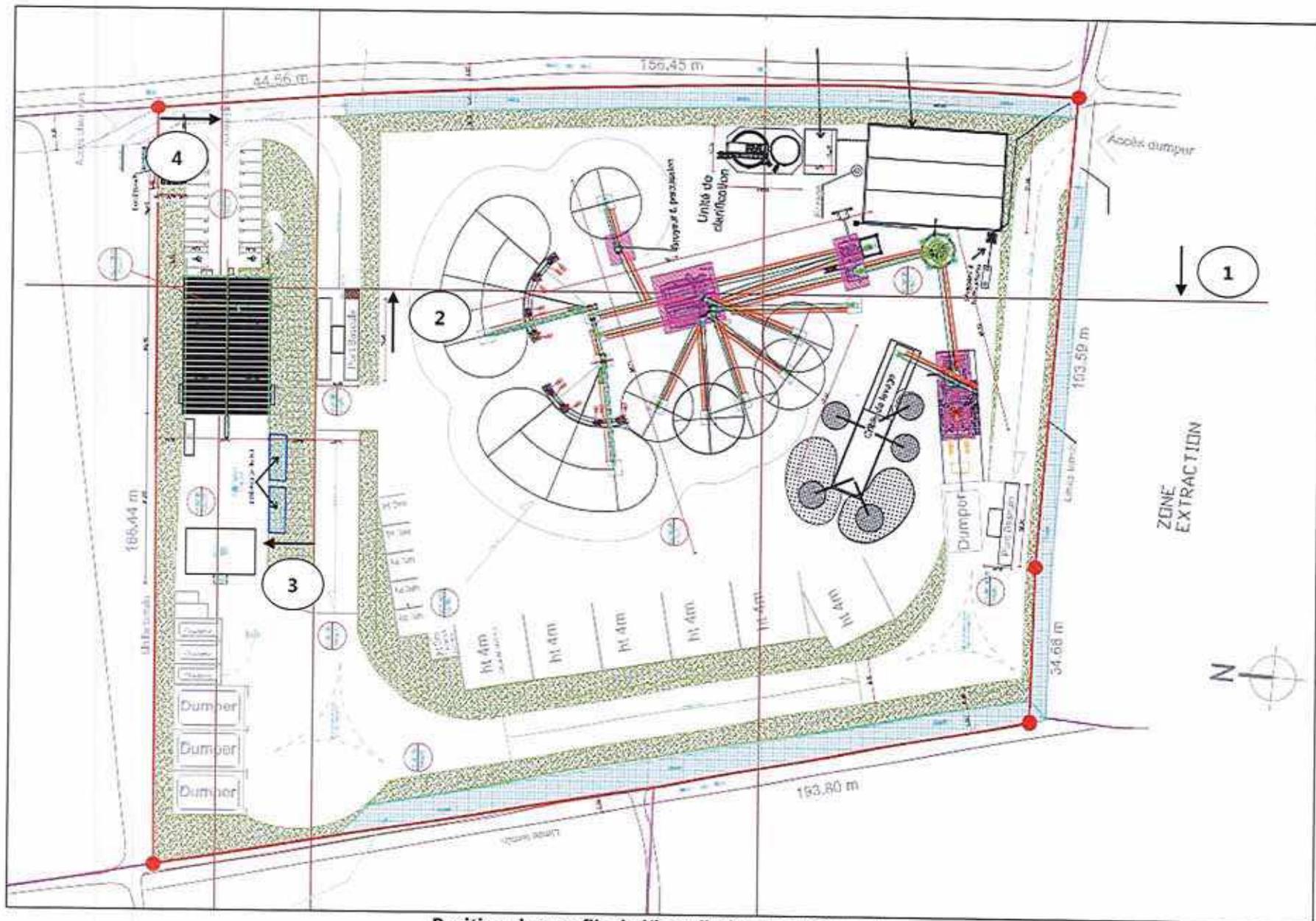
Je vous prie de croire, Monsieur, en l'expression de ma haute considération.

Fait à Saint-Joseph le 25 mars 2019  
**PREFABLOC AGREGATS**  
Fabrice Valromex  
2 rue des Pamplemousses  
97429 PETITE-ILE  
Directeur  
Tél 0262 56 56 56  
Fax 0262 56 03 06  
SIRET 402 304 299 00033



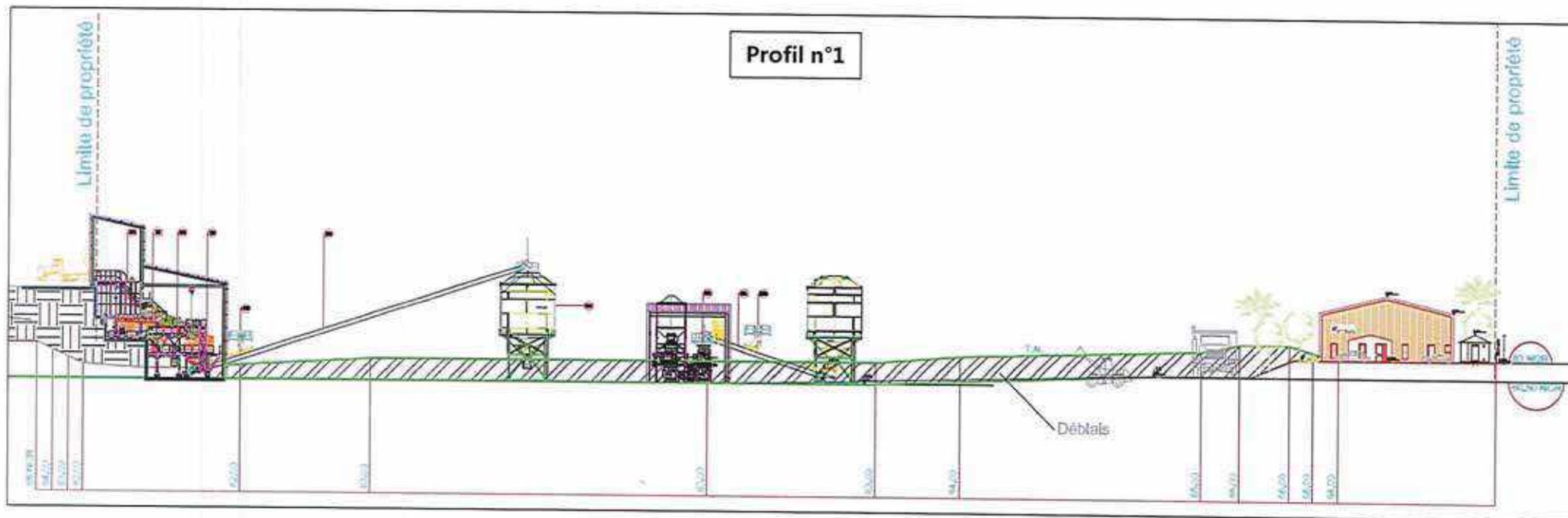
**Positionnement du projet par rapport au réseau électrique**

18, rue Jean COCTEAU - ZAC des Grègues - 97480 SAINT-JOSEPH,  
 Tél +262 (0)262 56 56 56  
 SARL au capital de 248 000 €  
 RCS ST PIERRE TGI 402 304 299 - N°95 B 326

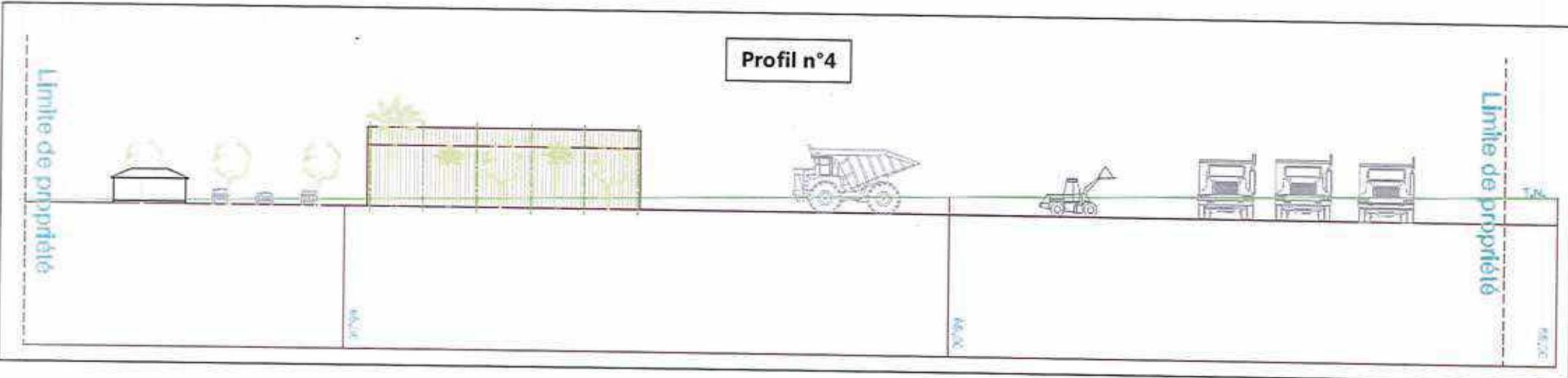
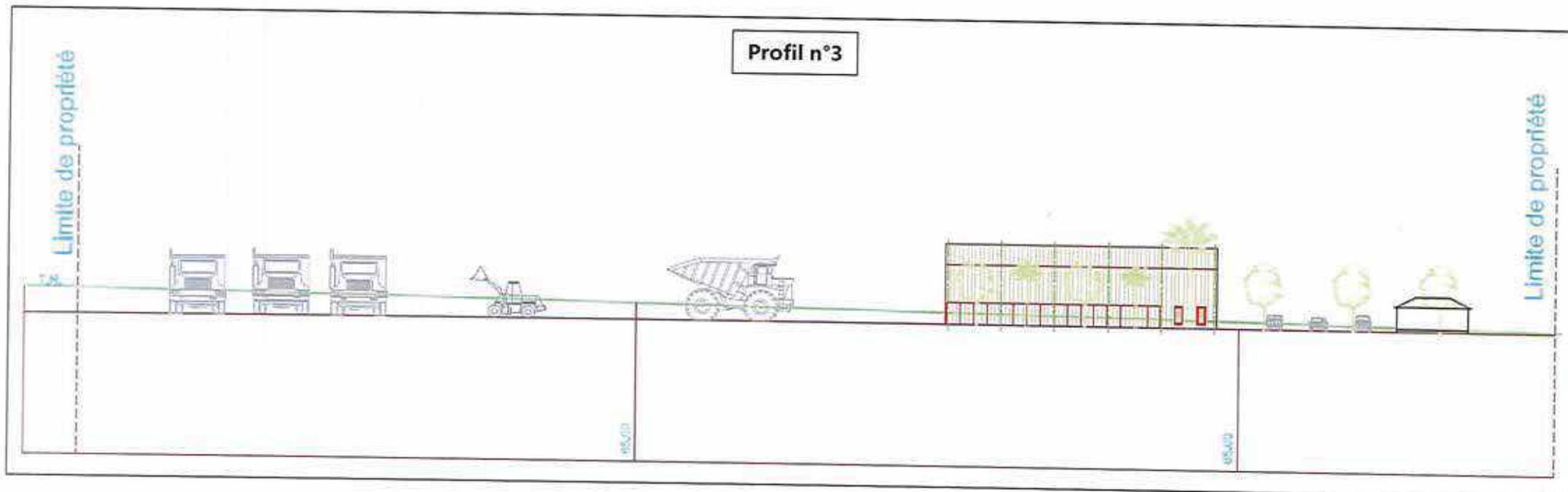


**Position des profils de l'installation de traitement**

18, rue Jean COCTEAU - ZAC des Grègues - 97480 SAINT-JOSEPH,  
 Tél +262 (0)262 56 56 56  
 SARL au capital de 248 000 €  
 RCS ST PIERRE TGI 402 304 299 - N°95 B 326



18, rue Jean COCTEAU - ZAC des Grègues - 97480 SAINT-JOSEPH,  
 Tél +262 (0)262 56 56 56  
 SARL au capital de 248 000 €  
 RCS ST PIERRE TGI 402 304 299 - N°95 B 326

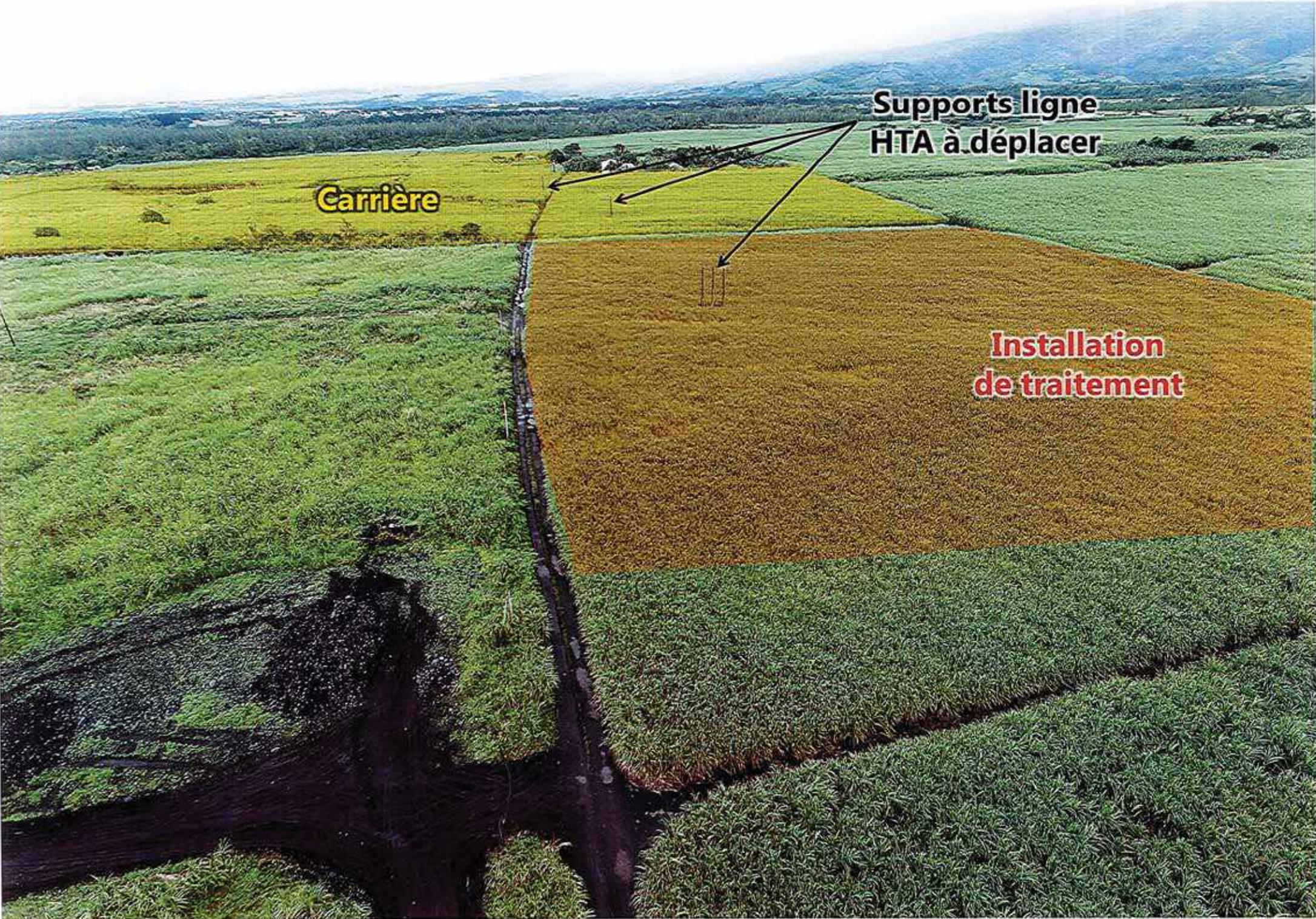


18, rue Jean COCTEAU - ZAC des Grègues - 97480 SAINT-JOSEPH,  
 Tél +262 (0)262 56 56 56  
 SARL au capital de 248 000 €  
 RCS ST PIERRE TGI 402 304 299 - N°95 B 326

**Supports ligne  
BT à déplacer**

**Carrière**

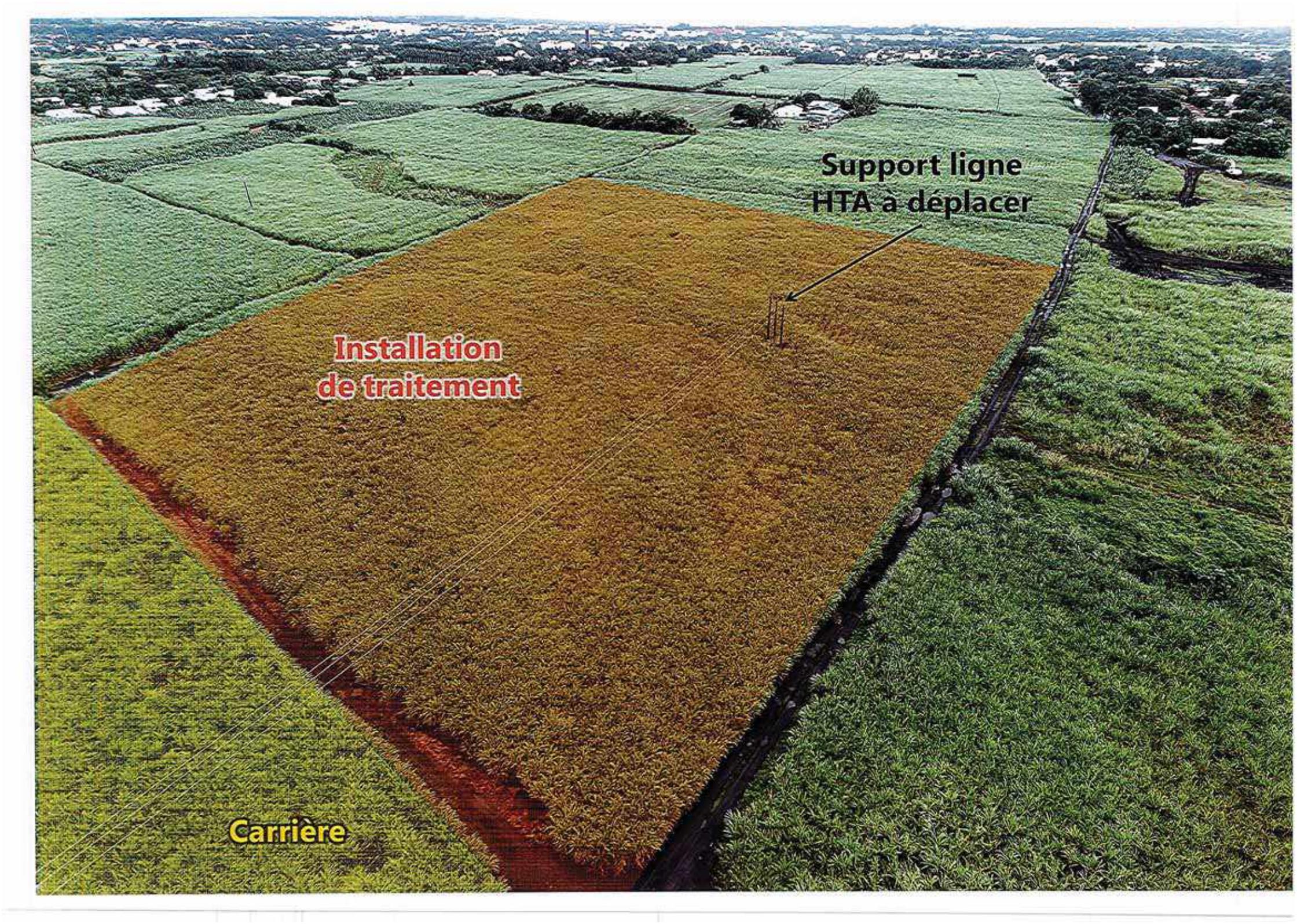




**Carrière**

**Supports ligne  
HTA à déplacer**

**Installation  
de traitement**



**Installation  
de traitement**

**Support ligne  
HTA à déplacer**

**Carrière**

## ANNEXE 3 - Pièce 2

---

Rapport sur l'acceptabilité des Sous-Produits de Combustion (SPC) de Charbon en remblaiement de carrière - société ALBIOMA (2015)



**ALBIOMA**

NOTRE NATURE EST PLEINE D'ÉNERGIE

## **ACCEPTABILITE DES SPC DE CHARBON EN REMBLAIEMENT DE CARRIERES**

*SPC : Sous-Produits de Combustion, ALBIOMA BOIS ROUGE ET  
ALBIOMA LE GOL*

02/11/2015

ALBIOMA  
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 2 144 782,06 €  
TOUR OPUS<sup>4</sup>  
77 ESPLANADE DU GÉNÉRAL DE GAULLE, LA DÉFENSE 9  
92081 PARIS LA DÉFENSE  
775 067 530 RCS MANTERRE

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1.</b>	<b>OBJET .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>CADRE REGLEMENTAIRE.....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>PROCESSUS DE PRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
3.1.	PRESENTATION DES SITES DE PRODUCTION.....	6
3.2.	FONCTIONNEMENT DES CENTRALES.....	7
3.3.	LA GÉNERATION DES SPC.....	9
<b>4.</b>	<b>CARACTERISATION.....</b>	<b>11</b>
4.1.	CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE.....	11
4.2.	STABILITE BIOLOGIQUE AEROBIE ET ANAEROBIE DE LA FRACTION CARBONÉE .....	14
4.3.	ECOTOXICITE.....	15
<b>5.</b>	<b>BILAN DE L'ACCEPTABILITE EN REMBLAIEMENT DE CARRIERE.....</b>	<b>16</b>
<b>6.</b>	<b>ANNEXE 1 : ANALYSE DE COBALT ET DE VANADIUM.....</b>	<b>17</b>
<b>7.</b>	<b>ANNEXE 2 : ANALYSES DE SULFURE .....</b>	<b>18</b>
<b>8.</b>	<b>ANNEXE 3 : STABILITE DE LA FRACTION CARBONÉE.....</b>	<b>19</b>
<b>9.</b>	<b>ANNEXE 4 : ECOTOXICOLOGIE DES SPC.....</b>	<b>20</b>

# 1. OBJET

L'acceptabilité des matériaux de remblai en carrière est régie par l'arrêté du 22 septembre 1994. Ce document permet de détailler l'ensemble des éléments qui ont permis de juger de l'acceptabilité des Sous-produits de combustion d'ALBIOMA en tant que remblais dans es carrières.

## 2. CADRE REGLEMENTAIRE

L'utilisation de matériaux en réaménagement de carrière est régie par l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994<sup>1</sup>. C'est ce texte qui a servi de référence pour juger de l'acceptabilité des sous-produits de combustion de charbon dans cette filière.

L'arrêté susvisé fixe les prescriptions applicables :

- aux exploitations de carrières qui relèvent du régime d'autorisation (rubrique 2510 de la nomenclature des installations classées), à l'exception des affouillements du sol ;
- aux installations de premier traitement des matériaux de carrières (broyage, concassage, criblage, nettoyage, etc., opérations correspondant à la rubrique 2515 de la nomenclature des installations classées) qui sont implantées dans une carrière ou en dehors et qui relèvent du régime de l'autorisation ;
- aux installations de stockage de déchets inertes et des terres non polluées issues de l'exploitation de la carrière et des installations de traitement.

On retrouve à l'Article 12 les modalités de remblayage (Art.12.3.) :

*« Le remblayage des carrières est géré de manière à assurer la stabilité physique des terrains remblayés. Il ne doit pas nuire à la qualité du sol, compte tenu du contexte géochimique local, ainsi qu'à la qualité et au bon écoulement des eaux.*

*Lorsque le remblayage est réalisé avec apport de matériaux extérieurs (déblais de terrassements, matériaux de démolition...), ceux-ci doivent être préalablement triés de manière à garantir l'utilisation des seuls matériaux inertes. Lorsque les matériaux extérieurs sont des déchets, seuls les déchets inertes peuvent être admis dans l'installation. [...]*

*Les apports extérieurs sont accompagnés d'un bordereau de suivi qui indique leur provenance, leur destination, leurs quantités, leurs caractéristiques et les moyens de transport utilisés et qui atteste la conformité des matériaux à leur destination.*

*L'exploitant tient à jour un registre sur lequel sont répertoriés la provenance, les quantités, les caractéristiques des matériaux et les moyens de transport utilisés ainsi qu'un plan topographique permettant de localiser les zones de remblais correspondant aux données figurant sur le registre. »*

La définition de déchet inerte est précisée dans L'annexe I du même arrêté

### **Déchets inertes :**

1. *Sont considérés comme déchets inertes, au sens de cet arrêté, les déchets répondant, à court terme comme à long terme, à l'ensemble des critères suivants :*
  - *les déchets ne sont susceptibles de subir aucune désintégration ou dissolution significative, ni aucune autre modification significative, de nature à produire des effets néfastes sur l'environnement ou la santé humaine ;*
  - *les déchets présentent une teneur maximale en soufre sous forme de sulfure de 0,1 %, ou les déchets présentent une teneur maximale en soufre sous forme de sulfure de 1 % et le ratio de neutralisation, défini comme le rapport du potentiel de*

<sup>1</sup> Arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières (NOR: ENV9430348A), Version consolidée au 02 novembre 2015

*neutralisation au potentiel de génération d'acide et déterminé au moyen d'un essai statique prEN 15875, est supérieur à 3 ;*

- *les déchets ne présentent **aucun risque d'auto combustion** et ne sont pas inflammables ;*
  - *la teneur des déchets, y compris celle des particules fines isolées, en substances potentiellement dangereuses pour l'environnement ou la santé humaine, et particulièrement en certains composés de **As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V et Zn**, est suffisamment faible pour que le risque soit négligeable pour la santé humaine et pour l'environnement, tant à court terme qu'à long terme. Sont considérées à cet égard comme suffisamment faibles pour que le risque soit négligeable pour la santé humaine et pour l'environnement les teneurs ne dépassant pas les seuils fixés au niveau national pour les sites considérés comme non pollués, ou les niveaux de fond naturels nationaux pertinents ;*
  - *les déchets **sont pratiquement exempts de produits**, utilisés pour l'extraction ou pour le traitement, qui sont susceptibles de nuire à l'environnement ou à la santé humaine.*
2. *Des déchets peuvent être considérés comme inertes sans qu'il soit procédé à des essais spécifiques dès lors qu'il peut être démontré à l'autorité compétente, sur la base des informations existantes ou de procédures ou schémas validés, que les critères définis au paragraphe 1 ont été pris en compte de façon satisfaisante et qu'ils sont respectés.*

## 3. PROCESSUS DE PRODUCTION

### 3.1. PRESENTATION DES SITES DE PRODUCTION

L'activité d'énergéticien du Groupe contribue directement à la fourniture d'un service essentiel pour les populations locales. Par le biais de ces deux sites thermique, ALBIOMA produit une part substantielle de l'électricité consommée à la Réunion (54%). Le parc thermique d'ALBIOMA Réunion se compose de 6 tranches de production pouvant fonctionner à la bagasse et au charbon.

**ALBIOMA BOIS ROUGE :** Situation géographique : commune de Saint André, région Nord-Est de l'île de la Réunion, lieudit Bois Rouge.



Figure 1 : ALBIOMA BOIS ROUGE

ABR 1	2 chaudières identiques mixtes charbon / biomasse (bagasse) de puissance thermique unitaire en fonctionnement charbon de 101 MWth et de 116 MWth en fonctionnement bagasse
ABR 2	1 chaudière mixte charbon/biomasse (bagasse) de puissance thermique unitaire en fonctionnement charbon de 143.8 MWth et de 135 MWth en fonctionnement bagasse

**ALBIOMA LE GOL** : Situation géographique : commune de Saint Louis, région sud de l'île de la Réunion ; proche de l'ancienne route nationale au lieu-dit le Gol.

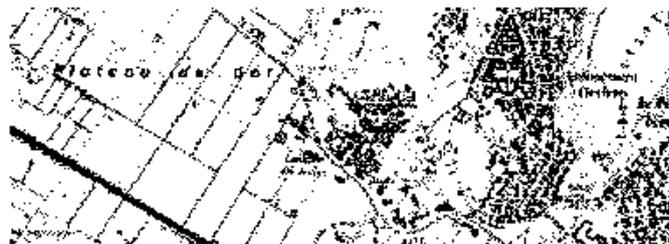


Figure 2 : ALBIOMA Le Gol

ALG A	2 chaudières identiques mixtes charbon / biomasse (bagasse) de puissance thermique unitaire en fonctionnement charbon de 103 MWth et de 128 MWth en fonctionnement bagasse
ALG B	1 chaudière mixte charbon/biomasse (bagasse) de puissance thermique unitaire en fonctionnement charbon de 163MWth et de 132 MWth en fonctionnement bagasse

### 3.2. FONCTIONNEMENT DES CENTRALES

La bagasse est un résidu de l'activité des sucreries traitant des cannes à sucre. Elle constitue une biomasse dotée d'une puissance calorifique permettant de l'utiliser avantageusement comme combustible dans les processus industriels. Les régions retenues par le Groupe pour mettre en place ses unités de production bicomcombustibles se prêtent particulièrement bien à l'emploi de cette technique en raison de la présence sur place de sucreries de cannes, générant d'importants volumes de bagasse sur leurs sites d'implantation.

Cette bagasse est disponible pendant les périodes de récolte de la canne («campagnes sucrières») qui durent généralement cinq mois par an (2<sup>ème</sup> semestre de l'année).

Parvenant à la centrale par des convoyeurs reliant cette centrale à la sucrerie contigüe, la bagasse est ensuite brûlée dans des chaudières produisant de la vapeur à haute pression et haute température. La vapeur ainsi produite actionne un groupe turbo-alternateur générant de l'électricité.

Lorsqu'il n'y a pas de bagasse disponible, la chaudière est alimentée par un autre combustible ; actuellement du charbon. Les centrales bicomcombustibles que le Groupe a construites peuvent fonctionner indifféremment avec les deux sources d'énergie, soit successivement soit en même temps, et basculer automatiquement d'un mode à un autre sans que la fourniture d'électricité au réseau soit perturbée. Le caractère bicomcombustible des centrales, et le recours par elles à un combustible de remplacement de la bagasse, en dehors des campagnes sucrières, conditionnent l'utilisation de la

bagasse en la viabilisant sur le plan économique, grâce à la possibilité de faire fonctionner l'usine de production électrique à longueur d'année.

Le second combustible utilisé est ainsi, en même temps que le complément de la bagasse, le vecteur indispensable à sa valorisation, car les centrales ne seraient pas rentables si elles ne devaient fonctionner que pendant les campagnes sucrières.

S'il est possible d'obtenir l'acheminement à la centrale de quantités importantes de déchets verts ou d'autres biomasses que la bagasse, ces ressources peuvent être utilisées à due concurrence en lieu et place de charbon.

Les centrales d'ALBIOMA Réunion consomment uniquement du charbon en provenance d'Afrique du sud. L'acheminement de cette matière première s'effectue par bateau.

Ci-dessous le bilan des quantités de combustibles utilisés en 2013 :

	<b>Bagasse (tonnes)</b>	<b>Charbon (tonnes)</b>
<b>ALBIOMA BOIS ROUGE</b>	253 665	341 015
<b>ALBIOMA LE GOL</b>	254 050	340 144

Tableau 1 : Répartition des combustibles en 2013

Le « Spreader Stoker » est le système de combustion utilisé. Il est constitué :

- D'un système d'alimentation et de dosage du combustible spécifique à chaque type de combustible en fonction de sa granulométrie, de sa propension à s'enchevêtrer, voûter, coller, ou inversement à s'écouler très facilement ;
- D'un système de projection de combustible dans la chambre de combustion qui peut fonctionner sur deux principes différents : soit une projection mécanique utilisée pour le charbon, soit une projection pneumatique utilisée pour les combustibles biomasses ;
- D'une grille de combustion qui retient le combustible en fin de combustion et évacue les scories.

La biomasse dont la quantité est dosée dans des alimentateurs est projetée de façon pneumatique sur la grille tournante et répartie de façon homogène afin d'assurer une combustion complète et régulière. Celle-ci s'effectue en grande partie en suspension, et autorise des variations de charges importantes.

En cas de combustion alternative de charbon, celui-ci est dosé dans des alimentateurs différents et projeté mécaniquement sur la grille, optimisant ainsi le temps de combustion en fonction de la granulométrie du charbon. Les cendres s'accumulent sur la grille et sont évacués par différents moyens selon le type de grille.

Le « Spreader Stoker » est capable de fonctionner sur une large plage d'utilisations et permet de faire varier facilement la puissance. Le principe de combustion est homogène dans le temps.

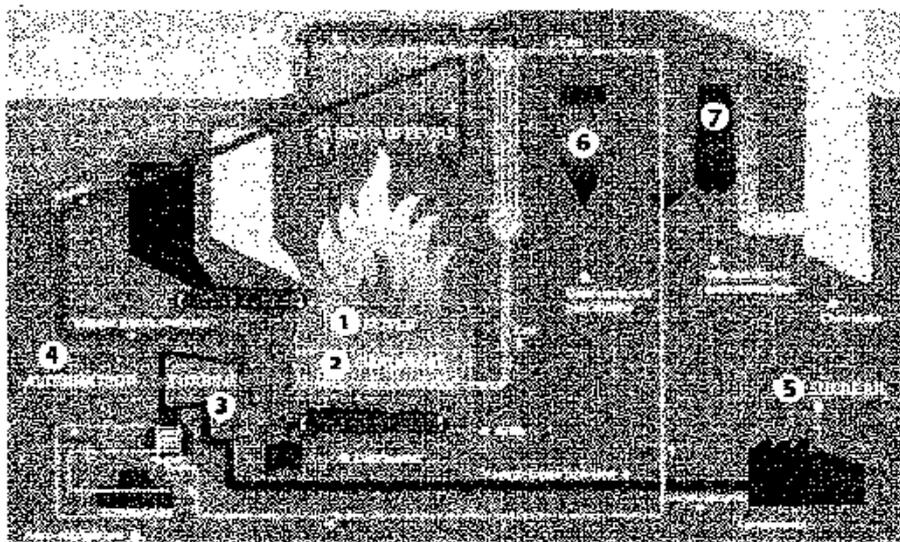


Figure 3 : Fonctionnement d'une centrale bi-combustibles (ALBIOMA)

### 3.3. LA GENERATION DES SPC

La transformation du combustible (bagasse ou charbon) à l'intérieur des centrales thermiques est assez simple. Le combustible est pulvérisé dans les chaudières où il est transformé par combustion en énergie calorifique, en fumée et en sous-produits de combustion.

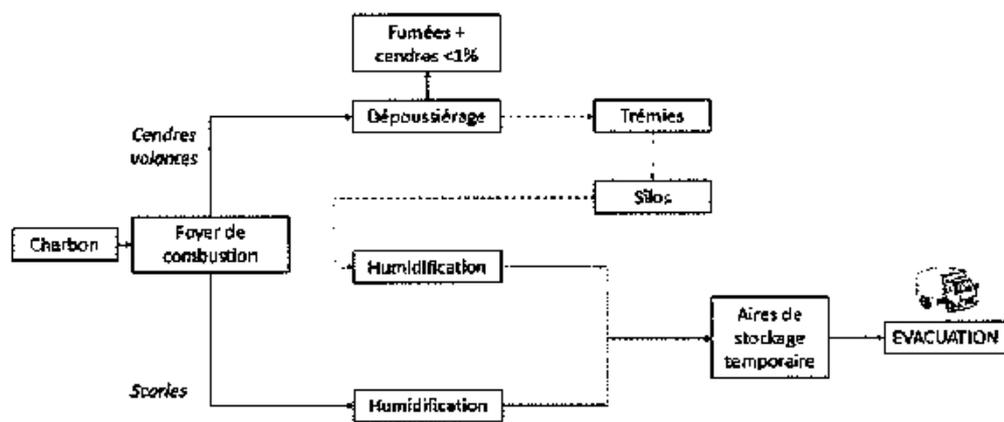


Figure 4: Combustion du charbon

Les scories sont recueillies sous le foyer de combustion tandis que les cendres volantes (cendres fines) sont captées dans les fumées et récupérées dans les trémies des dépoussiéreurs.

Les scories sont, immergées refroidies grâce à de l'eau. Elles sont ensuite généralement entreposées humides sur des zones de stockage à l'air libre en attente de leur valorisation. L'acheminement est effectué par bandes transporteuses.

Les cendres volantes recueillies par des trémies sous les dépoussiéreurs sont entreposées dans des silos en attente de leur valorisation. L'acheminement vers les silos est effectué par voie pneumatique. Elles sont reprises directement des silos dans les camions qui les expédient vers les différentes filières d'utilisation. Pour faire face à l'inadéquation entre production et demande, on peut être amené à stocker temporairement les cendres avant valorisation.



Légende – type de SPC :

..... Pulvérisé —> Humidifié

Figure 5- Schéma de génération et d'évacuation des sous-produits de combustion

**>> Aucun composé chimique n'intervient dans le processus de production des sous-produits de combustion.**

## 4. CARACTERISATION

### 4.1. CARACTERISATION PHYSICO-CHEMIQUE

Les sous-produits de combustion du charbon se composent essentiellement d'oxydes de silice, d'aluminium, de fer et de calcium. Ils contiennent par ailleurs du carbone sous forme de charbon imbrûlé, et de l'ordre de 0.5% de métaux à l'état de trace.

Les technologies de bi-combustion bagasse-charbon, mises en œuvre dans les centrales d'ALBIOMA à la Réunion, confèrent aux sous-produits de combustion des taux d'imbrûlés de 20 à 25%, plus élevés que ceux des cendres issues des technologies à charbon pulvérisé généralement utilisées.

La composition moyenne élémentaire des sous-produits de combustion de charbon d'ALBIOMA à la Réunion est visualisée ci-après.

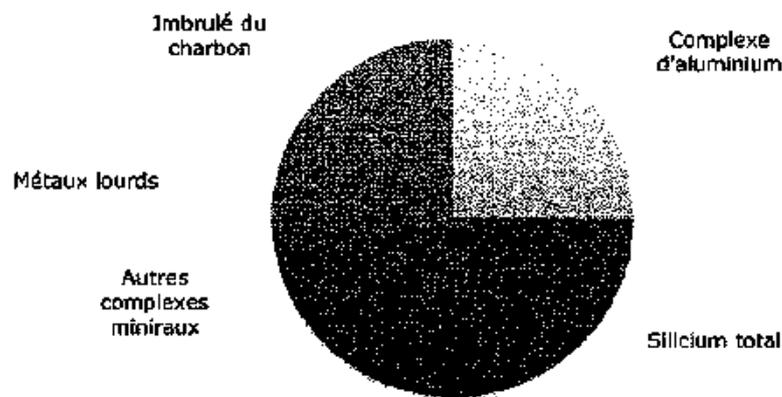


Figure 6.4 : Composition moyenne élémentaire des SPC de charbon d'ALBIOMA

À la suite d'une série d'analyses menées sur le comportement à la lixiviation de différents scénarios (cendres et scories seules ou en mélanges, cendres additivées, petit et de grand volumes, périodes de temps de 48 heures à un an), il a été décidé de ne retenir que le mélange à parts égales des deux composants. Outre la qualité et la répétabilité des résultats obtenus, ce scénario présente l'intérêt de correspondre aux proportions cendres/scories réellement générées par les centrales.

L'examen du comportement dans le temps de ces mélanges à la lixiviation, montre que la réaction pouzzolanique des cendres et scories humides, telles qu'issues des installations, se produit très rapidement. Il est ainsi possible de se baser sur les mesures à 48 heures pour caractériser les sous-produits au regard des différentes filières de stockage et de valorisation qui seront étudiées.

Ainsi pour le « Mélange 50-50 » les teneurs garanties des paramètres lixiviables et de contenu total sont présentés ci-dessous

Paramètres lixiviables	Teneurs garanties (mg/kg/sec)
Arsenic	< 0,5
Baryum	< 20
Cadmium	< 0,04
Chrome total	< 0,5
Cuivre	< 2
Mercuré	< 0,01
Molybdène	< 1,5
Nickel	< 0,4
Plomb	< 0,5
Antimoine	< 0,06
Sélénium	< 0,1
Zinc	< 4
Chlorure (1)	< 800
Sulfate (1)	< 6000
Fluorures	< 10
Indice phénols	< 1
COT sur éluât	< 500
FS (fraction soluble) (1)	< 4 000
Paramètres lixiviables	Teneurs garanties (mg/kg/sec)
COT sur brut	< 400 000
BTEX	< limite de quantification
PCB	< limite de quantification
Hydrocarbures	< limite de quantification
HAP	< limite de quantification

(1) le déchet respecte soit les valeurs associées au chlorure et au sulfate, soit celle associée à la fraction soluble

Tableau 2 : teneur garanties dans le mélange inerte 50% Conifres 50%Coir le

>> Ces teneurs garanties ont permis d'aboutir à l'acceptation de ce « mélange 50-50 » mûré en stockage au sein de l'installation de stockage de déchets inertes de Pierrefonds.

Les composés de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, et Zn sont présents à de faibles teneurs.

Bien que ne donnant pas de seuil quantitatif, l'arrêté du 22 septembre 1994 donne une liste de métaux lourds, dans laquelle figure également le Cobalt et le Vanadium qui ne sont pas dans la liste des métaux associés à l'acceptabilité en Installation de stockage de déchets inertes (ISDI). À la demande de la DEAL, des tests de lixiviation ont été pratiqués sur ces deux métaux qui ne montrent aucune mobilité (Cf. tableau en annexe 1).

Paramètres lixiviables	Teneurs garanties (mg/kg/sec)
Cobalt	< Limite de quantification
Vanadium	< 1

Tableau 3 : teneur garanties dans le mélange inertes 50% Cendres 50% Scorie

Un seul critère quantitatif porte sur une teneur maximale en soufre sous forme de sulfures de 0,1%. Plusieurs mesures ont été réalisées, celles-ci montrent des teneurs en sulfures dans une fourchette de 0,00051 à 0,0094%. Il est à noter que les conditions oxydantes de la combustion du charbon laissaient prévoir une absence de soufre sous forme de sulfures. (Bulletin d'analyse en annexe 2).

## 4.2. STABILITE BIOLOGIQUE AEROBIE ET ANAEROBIE DE LA TRACTION CARBONNEE

Les analyses de contenu total font apparaître une concentration moyenne en Carbone Organique Total de 400 000 mg/kg sur sec en moyenne. Cette concentration est liée aux imbrûlés de nos procédés de combustion. Les SPC, en raison de leur nature essentiellement minérale, ne sont pas susceptibles de se désintégrer ni de subir des modifications significatives, de nature à produire des effets néfastes sur l'environnement ou la santé humaine. De plus, le tableau 2 montre que le COT n'est pas mobilisable. En effet les concentrations mesurées sont systématiquement inférieure aux limites de quantification. Bien que ce carbone ne soit pas lixiviables, il est apparu utile de s'assurer de l'absence de toute possibilité de mobilisation par dégradation biologique. À cet effet, INSAVALOR a été sollicitée pour évaluer de risque de bio mobilité du carbone contenu dans les cendres et scories. Cette étude a été réalisée sous la direction de Pascale NAQUIN, Co-directrice de la division POLDEN d'INSAVALOR et référent bio-déchets de PROVADEMSE. Les résultats de cette étude sont détaillés en annexe 3.

Les essais de caractérisation de la stabilité biologique ont été réalisés sur les matrices suivantes :

- Un échantillon de scories de charbon de fraîche production,
- Un échantillon de scories de charbon mûré,
- Un échantillon de cendres de charbon de fraîche production,
- Un échantillon de cendres de charbon mûrées,
- Un échantillon de scories de charbon de fraîche production lixivié,
- Un échantillon de cendres de charbon de fraîche production lixivié.

L'étude montre que les cendres et scories ne présentent pas de teneur détectable (> 1% MS) en Carbone Organique Total et que les traces de Carbone dissous par lixiviation sont en très grande majorité constituées de carbone minéral (carbonates, hydrogénocarbonates). La caractérisation a montré également que la méthode de détermination de la teneur en matière organique par calcination à 550°C (utilisée par SOCOR) pouvait être biaisée du fait de la présence (majoritaire par rapport à la matière organique) de minéraux hydratés comme la chaux. Enfin les résultats de cette étude montrent également l'absence d'activité biologique (et donc de bio mobilisation des éléments carbonés) en condition anaérobie et aérobie. – Activité biologique aérobie (Demande Biologique en Oxygène) : les résultats montrent que cette consommation est inférieure à la limite de quantification (5mg O2/g MS). – Activité biologique anaérobie (Potentiel Bio Méthanogène) : les résultats montrent que la production de méthane est systématiquement inférieure à celle du témoin inoculum.

### 4.3. ECOTOXICITE

Des échantillons représentatifs de sous-produits de combustion d'ALBIOMA ont fait l'objet d'une caractérisation écotoxicologique afin de positionner ces SPC vis-à-vis de la propriété de danger H14 des déchets (danger pour l'environnement). Cette caractérisation ne visait pas à remettre en cause le statut de déchet non dangereux de ces cendres mais d'identifier la sensibilité de certains organismes de l'environnement vis-à-vis des matériaux testés (cette étude est présentée en annexe 4).

L'étude a porté sur les échantillons suivants :

- Échantillon 1 : cendres de charbon pulvérisé mûrées
- Échantillon 2 : formulation de cendres et scorie mûrées
- Échantillon 3 : formulation de cendres de charbon pulvérisé mûrées (96%) et de chaux (4%)

L'écotoxicité des trois échantillons d'ALBIOMA a été examinée au regard du critère de danger H14 : la procédure du ministère chargé de l'environnement 1998 (MATE 1998) et l'étude ADEME - INERIS 2000 (INERIS 2000) pour les seuils de classement de toxicité chronique.

Dans cette procédure qui repose sur la mise en œuvre d'une batterie d'essais combinant des essais aigus et chroniques avec des organismes aquatiques et terrestres de différents niveaux trophiques, les valeurs de référence permettant de différencier un déchet dangereux d'un déchet non dangereux sont :

- pour les essais de toxicité aiguë (aquatiques et terrestres) :  $CE50 \leq 10\%$ , c'est-à-dire qu'un déchet sera considéré comme dangereux si la concentration qui provoque 50% d'inhibition avec un des essais de toxicité aiguë est inférieure ou égale à 10% ;
- pour les essais de toxicité chronique (aquatiques) :  $CE20 \leq 1\%$ , c'est-à-dire qu'un déchet sera considéré comme dangereux si la concentration qui provoque 20% d'inhibition avec un des essais de toxicité chronique est inférieure ou égale à 1%.

**>> L'étude conclue qu'aucune inhibition n'a été observée sur les organismes témoins aquatiques et terrestres. L'ensemble des éléments constituant les cendres et scories de charbon, n'a donc aucun effet écotoxicologique à court terme (effet aiguë) ou à long terme (chronique).**

## 5. BILAN DE L'ACCEPTABILITE EN REMBLAIEMENT DE CARRIERE

Au vu des exigences de l'Arrêté ministériel du 22 septembre 1994, les mélanges 50/50 de cendres et scories de charbon des centrales de la Réunion peuvent être utilisés en remblaiement de carrière.

Ce bilan est par ailleurs confirmé par courrier de la DEAL le 20/03/2015, extrait ci-dessous :

### 4. Caractérisation des déchets en tant que matériau de remblais de carrières- admissibilité en carrières (application de l'arrêté ministériel du 23 septembre 1994)

La caractérisation des déchets de charbon (mélange 50/50 de scories et cendres volantes de charbon, hors déchets issus de ALG-B, maturés 48 heures) permet d'aboutir à la conclusion que les déchets peuvent être considérés comme des matériaux de remblais de carrières, sous réserve du respect des arrêtés préfectoraux propres à chaque carrière.

## **6. ANNEXE 1 : ANALYSE DE COBALT ET DE VANADIUM**

28/05/2014

ALBIOMA

Résultats des campagnes d'analyses de lixiviation du Cobalt et du Vanadium sur des mélanges 50/50 à 48h00

ID SOND	ID ALBIOMA	TEMPS DE MATURATION	PRODUITS	DATE RECEPTION	COBALT (mg/kg)	VANADIUM (mg/g)
SOC1403-687	L1-002 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,97
SOC1403-697	L1-003 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,98
SOC1403-710	L1-002 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,47
SOC1403-711	L1-003 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,41
SOC1403-712	L1-004 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,44
SOC1403-713	L1-005 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,51
SOC1403-714	L2-001 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,45
SOC1403-715	L2-002 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,42
SOC1403-716	L2-003 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,4
SOC1403-717	L2-004 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,46
SOC1403-718	L2-004 (50-50 M)	48H00	50% CV / 50% SC MASSIQUE	10/03/2014	0,005	0,37

## **7. ANNEXE 2 : ANALYSES DE SULFURE**



## Rapport d'analyse

Albioma  
TEXIER Pierre  
22 Place des Vosges  
Imm. Le Monge - Défense 5  
F-92400 COURBEVOIE

Page 1 sur 4

Votre nom de Projet : Machefer et cendres volantes  
Votre référence de Projet : 20130917  
Référence du rapport ALcontrol : 11932939, version: 1

Rotterdam, 25-09-2013

Cher(e) Madame/ Monsieur,

Veillez trouver ci-joint les résultats des analyses effectuées en laboratoire pour votre projet 20130917.  
Le rapport reprend les descriptions des échantillons, le nom de projet et les analyses que vous avez indiqués sur le bon de commande. Les résultats rapportés se réfèrent uniquement aux échantillons analysés.

Ce rapport est constitué de 4 pages dont chromatogrammes si prévus, références normatives, informations sur les échantillons. Dans le cas d'une version 2 ou plus élevée, toute version antérieure n'est pas valable. Toutes les pages font partie intégrante de ce rapport, et seule une reproduction de l'ensemble du rapport est autorisée.

En cas de questions et/ou remarques concernant ce rapport, nous vous prions de contacter notre Service Client.

Toutes les analyses, à l'exception des analyses sous-traitées, sont réalisées par ALcontrol Laboratoires, Steenhouwerstraat 16, Rotterdam, Pays Bas.

Veillez recevoir, Madame/ Monsieur, l'expression de nos cordiales salutations.



R. van Duin  
Laboratory Manager



ALBIOMA  
TEXIER Pierre

Rapport d'analyse

Page 2 sur 4

Projet Machefer et cendres volantes  
Référence du projet 20130917  
Réf. du rapport 11932939 - 1

Date de commande 23-09-2013  
Date de début 23-09-2013  
Rapport du 25-09-2013

Code	Matrice	Réf. échantillon
001	Divers (compact)	Cendres Volantes ABR2 16/09/2013
002	Divers (compact)	Scories ABR2 16/09/2013
003	Divers (compact)	Cendres Volantes ALGB 16/09/2013
004	Divers (compact)	Scories ALGB 16/09/2013

Analyse	Unité	Q	001	002	003	004
matière sèche	% massique		77.6	66.5	99.9	62.2
<b>COMPOSES INORGANIQUES</b>						
sulfures totaux	mg/kg MS		<94 <sup>(1)</sup>	21	<75 <sup>(1)</sup>	<51 <sup>(1)</sup>

Paraphé :



ALBIOMA  
TEXIER Pierre

Rapport d'analyse

Page 3 sur 4

Projet Machefer et cendres volantes  
Référence du projet 20130917  
Réf. du rapport 11932939 - 1

Date de commande 23-09-2013  
Date de début 23-09-2013  
Rapport du 26-09-2013

---

Commentaire

---

- 1 Limite de quantification élevée en raison d'une dilution nécessaire.
- 2 Limite de quantification élevée en raison d'une faible matière sèche.

Paraphe :



ALBIOMA  
TEXIER Pierre

### Rapport d'analyse

Page 4 sur 4

Projet Machefer et cendres volantes  
Référence du projet 20130917  
Réf. du rapport 11932939 - 1

Date de commande 23-09-2013  
Date de début 23-09-2013  
Rapport du 26-09-2013

Analyse	Matrice	Référence normative
matière sèche	Divers (compact)	Conforme à NEN-ISO 11465
sulfures totaux	Divers (compact)	Méthode interne

Code	Code barres	Date de réception	Date prélèvement	Flaconnage
001	Y4363249	23-09-2013	23-09-2013	ALC201 Date de prélèvement théorique
002	Y4363248	23-09-2013	23-09-2013	ALC201 Date de prélèvement théorique
003	Y4363247	23-09-2013	23-09-2013	ALC201 Date de prélèvement théorique
004	Y4363246	23-09-2013	23-09-2013	ALC201 Date de prélèvement théorique

Paraphe : 

## **8. ANNEXE 3 : STABILITE DE LA FRACTION CARBONEE**



**PROVADEMSE**

Procédés, Program, Valorisation, Dépollution  
Matières Premières, Secondaires, Effluents et Énergie

PLATEFORME D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE  
RHONE-ALPES

## **Etude de la stabilité biologique aérobie et anaérobie de la fraction carbonée de résidus de combustion de charbon**

Etude réalisée à la demande

d'ALBIOMA

9 Septembre 2013

Référence : PN-EV/C095 RF

**Auteurs de ce rapport :**

**Pascale NAQUIN** *Co-Directrice de la division POLDEN d'INSAVALOR*

*Référente biodéchets et recyclage de PROVADEMSE*

**Emmanuel VERNUS** *Co-Directeur de la division POLDEN d'INSAVALOR*

*Responsable de l'offre PROVADEMSE - Site Lyon*

**INSAVALOR s.a.**

66, boulevard Niels Bohr – BP 52132 – 69603 Villeurbanne Cedex (France)

Société anonyme capital 380 000 euros régie par les art. 118 à 150 de la loi du 24.07.1966, RCS Lyon B 345 038  
244

## **Contexte de l'étude**

Dans le cadre d'une collaboration entre la société ALBIOMA et SOFIES, la plate-forme PROVADEMSE a été sollicitée pour apporter plusieurs éléments permettant d'étayer les différentes hypothèses de valorisation de résidus de combustion de charbon produits par ALBIOMA. D'après les analyses précédemment réalisées, le contenu total en carbone de ces résidus serait supérieur aux normes réglementaires pour l'admission de déchets en installation de stockage de déchets inertes. La vérification de la stabilité biologique de cette fraction carbonée est un préalable permettant de vérifier la possibilité ou non d'émettre des produits de dégradation biologique à partir de ce carbone organique total. C'est l'objet de cette première phase du programme proposée par PROVADEMSE.

## **Matériaux testés**

Les essais de caractérisation de la stabilité biologique ont été réalisés sur les matrices suivantes :

- Un échantillon de mâchefer de charbon de fraîche production ;
- Un échantillon de mâchefer de charbon mûré ;
- Un échantillon de cendres de charbon de fraîche production ;
- Un échantillon de cendres de charbon mûrées ;
- Un échantillon de mâchefer de charbon de fraîche production lixivié (selon le protocole NF EN 12457-2) ;
- Un échantillon de cendres de charbon de fraîche production lixivié (selon le protocole NF EN 12457-2) ;

Dans les deux derniers cas, les essais ont été effectués sur des échantillons dont une partie de la fraction soluble a été éliminée par lixiviation afin de lever une éventuelle inhibition liée à la présence d'éléments chimiques perturbateurs du fonctionnement biologique (sels, métaux lourds,...).

## **Caractérisations effectuées**

Les caractéristiques déterminées pour ces différentes matrices ont porté sur :

- La teneur en matière sèche,
- La teneur en matière organique totale,
- La biodégradabilité aérobie (DBO),
- Le potentiel biométhanogène.

En complément de ces caractérisations, objets de la commande d'ALBIOMA, ont été réalisés :

- une analyse complète des fractions minérale et organique du carbone total dissous dans l'éluat du mâchefer frais lixivié ;
- une analyse complète des fractions minérale et organique du carbone total dissous dans l'éluat de la cendre fraîche lixiviée.
- Une analyse de la teneur en Carbone Organique Total de l'échantillon de mâchefer frais ;
- Une analyse de la teneur en Carbone Organique Total de l'échantillon de mâchefer mûré ;
- Une analyse de la teneur en Carbone Organique Total de l'échantillon de cendres fraîches ;
- Une analyse de la teneur en Carbone Organique Total de l'échantillon de cendres mûrées ;
- Une analyse de la teneur en Carbone Organique Total de l'échantillon de mâchefer frais lixivié ;
- Une analyse de la teneur en Carbone Organique Total de l'échantillon de cendres fraîches lixiviées.

INSAVALOR s.a.

66, boulevard Niels Bohr – BP 52132 – 69603 Villeurbanne Cedex (France)

Société anonyme capital 380 000 euros régie par les art. 118 à 150 de la loi du 24.07.1966, RCS Lyon B 345 038 244

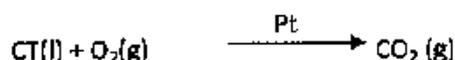
## Protocoles

### Matière sèche et Matière Organique Totale

La teneur en MS est déduite de la teneur en eau résiduelle mesurée par perte de masse d'un échantillon après passage en étuve à 105°C jusqu'à masse constante. La teneur en MOT est déterminée par mesure de la perte de masse de l'échantillon sec lors de sa calcination à 550 °C dans un four à moufle pendant 4 heures (différence entre la masse de matière sèche et la masse de matière minérale restante après calcination – taux de cendres).

### Carbone Total et Carbone Organique Total d'un échantillon liquide

Pour déterminer la teneur en Carbone Total d'un échantillon liquide, un microvolume de l'échantillon liquide est injecté dans un four à 680°C rempli de billes de catalyseur de Pt. Le four est traversé par un flux d'oxygène qui permet la combustion du carbone présent dans l'échantillon selon la réaction :



Le CO<sub>2</sub> gazeux obtenu est entraîné par le flux d'oxygène et amené jusqu'à une cellule Infra-Rouge qui permet la mesure du CO<sub>2</sub> directement proportionnel à la quantité de carbone total initial. Par comparaison avec une droite d'étalonnage, on obtient la quantité en mg/L de CT.

Pour la mesure du COT (= Carbone Total – Carbone Minéral), on ajoute à l'échantillon quelques gouttes d'acide orthophosphorique concentré afin de transformer le carbone minéral (TIC) en CO<sub>2</sub> dissous. Celui-ci est éliminé de la solution par un dégazage à l'azote ou à l'hélium. L'échantillon exempt de TIC est ensuite analysé avec le module liquide. Le module liquide permet de couvrir une large gamme de concentration sans toutefois pouvoir analyser avec une bonne précision les faibles valeurs (1ppm). La précision des mesures est de 10%.

### Carbone Total et Carbone Organique Total d'un échantillon solide

L'analyse du CT dans un échantillon solide s'effectue par combustion dans un four à 950 °C en présence d'un catalyseur (Zr) et d'un flux d'O<sub>2</sub>. Une faible masse d'échantillon (<100 mg) est pesée et introduite dans le four par l'intermédiaire d'une nacelle et d'une tige de quartz.

Le CO<sub>2</sub> gazeux obtenu est détecté par une cellule Infra-Rouge. La mesure du COT dans un échantillon solide s'effectue après attaque acide (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5%) ce qui permet d'éliminer le carbone minéral sous forme de CO<sub>2</sub> gazeux. Après séchage, l'échantillon attaqué est analysé comme pour le CT.

On obtient une analyse en mg de Carbone qui rapportée à la masse pesée permet de déterminer le % de carbone dans l'échantillon.

Le module solide est limité dans sa gamme d'étalonnage. Le système ne peut pas analyser plus de 8 mg de carbone. La précision sur les mesures est de 5%.

### Activité biologique aérobie (Demande Biologique en Oxygène)

Les essais de mesure de DBO sont réalisés dans des jarres de respirométrie OXITOP™ – WTW<sup>®</sup>. Un dispositif de mesure de la pression permet d'évaluer la consommation d'oxygène, le dioxyde de carbone étant piégé par de la soude (NaOH) ou de la potasse (KOH). Les essais sont effectués en milieu liquide, sous agitation, sur quelques dizaines de grammes de matière (la quantité dépend de la teneur en MOT des échantillons) après ajout d'un milieu nutritif et d'un inoculum microbien (boue activée de station d'épuration). Les flacons sont placés à 20°C. La consommation d'O<sub>2</sub> est suivie pendant 1 mois. La DBO est exprimée en mg O<sub>2</sub> par gramme de Matière Sèche (mg O<sub>2</sub> .g<sup>-1</sup> MS). Chaque essai est fait en triplicat + témoins inoculum (avec et sans ajout de glucose). L'incertitude sur la mesure est de l'ordre de 4%, hors représentativité de la prise d'essai.

La photographie suivante présente le matériel utilisé. Les essais DBO sont réalisés dans des flacons en verre brun d'environ 500 mL.

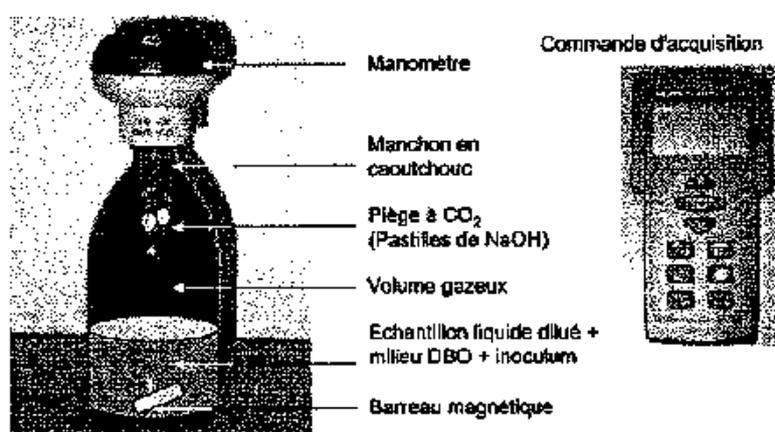


Figure 1 – Dispositif d'essai pour détermination de la DBO sur échantillons solides

### Activité biologique anaérobie (Potentiel BioMéthano-gène)

Les essais d'évaluation de la biodégradabilité anaérobie ou potentiel biométhano-gène (PBM) sont effectués dans des flacons en verre, hermétiquement fermés afin de garantir une parfaite étanchéité aux gaz, placés à 35°C. La production de biogaz est suivie pendant 45 jours par un relevé continu du volume de méthane produit, le CO<sub>2</sub> étant dissous dans de la soude. Les essais sont faits dans des flacons de 0,5 litre, sur quelques g de MOT. On ajoute un milieu nutritif minéral et un ensemencement microbien (boue digérée de station d'épuration). Chaque essai est fait en triplicat + témoins inoculum (avec et sans ajout de glucose). L'incertitude sur la mesure est de l'ordre de 10%, hors représentativité de la prise d'essai.

Les résultats sont exprimés en normaux litres de méthane par kg de MS et de MOT.

INSAVALOR s.a.

68, boulevard Niels Bohr – BP 52132 – 69603 Villeurbanne Cedex (France)

Société anonyme capital 360 000 euros régie par les art. 118 à 150 de la loi du 24.07.1966, RCS Lyon B 345 038 244

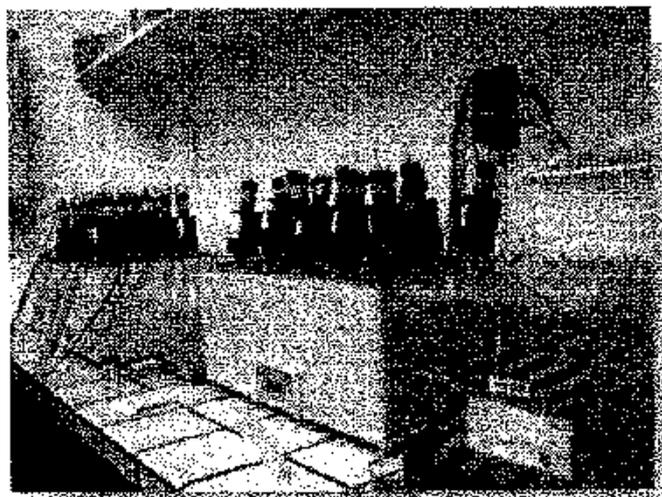


Figure 2 – Dispositif d'essai pour détermination du potentiel biométhanoène

## Résultats

Teneurs en Matière sèche et Matière Organique Totale

La teneur en matière sèche des échantillons testés de mâchefers et de cendres est reportée dans le tableau suivant :

Echantillon	Matière sèche
Mâchefer frais	73,5%
Mâchefer mûré	82,1%
Cendre fraîche	72,7%
Cendre mûrée	67,6%
Mâchefer frais lixivé	99,4%
Cendre fraîche lixivée	79,1%

Tableau 1 – Teneur en matière sèche des échantillons testés

La teneur en matière organique totale des échantillons de mâchefer et de cendre de fraîche production et après maturation ainsi que des échantillons de mâchefer et de cendre lixiviés est reportée dans le tableau suivant :

Echantillon	Matière organique totale
Mâchefer frais	10,2%
Mâchefer mûré	16,6%
Cendre fraîche	17,9%
Cendre mûrée	24,8%
Mâchefer lixivé	12,2%
Cendre lixivée	19,3%

Tableau 2 – Teneur en matière organique totale des échantillons testés

INSAVALOR s.a.

66, boulevard Niels Bohr – BP 52132 – 69603 Villeurbanne Cedex (France)

Société anonyme capital 360 000 euros régie par les art. 118 à 150 de la loi du 24.07.1966, RCS Lyon B 345 038 244

Ces résultats montrent que les échantillons testés contiennent de l'ordre de 20 à 30% d'eau (fraction de masse éliminée à 105°C) et que la masse supplémentaire éliminée par calcination à 550°C représente de 10% à 17% pour les mâchefers et de 18% à 25% pour les cendres.

On peut noter que cette fraction, assimilée par convention à la Matière Organique Totale, est systématiquement supérieure après maturation, la différence étant de 6 à 7%. Cette observation est peu compatible avec l'hypothèse d'une teneur en matière organique biologiquement dégradable dans ces cendres et mâchefers.

Il convient également de préciser que l'hydratation de certains minéraux (la chaux en particulier), apparaissant progressivement durant la maturation, peut être à l'origine d'une fraction massique qui ne peut être éliminée qu'à une température comprise entre 105°C et 550°C. Cette hypothèse est cohérente avec l'observation d'une « MOT » supérieure après maturation.

#### Teneurs en Carbone Total et Carbone Organique Total des éluats

Les résultats de détermination du Carbone Total (CT), du Carbone Inorganique Total (CIT) et du Carbone Organique Dissous (COD) dans les éluats de mâchefer frais lixivié et de cendre fraîche lixiviée sont présentés dans le tableau suivant :

Echantillon	Carbone Total (CT)	Carbone Inorganique Total (CIT)	Carbone Organique Dissous (COD)
Limite de Quantification	5,000	1,000	5,000
Cendre fraîche lixiviée	18,00	19,40	<LD
Mâchefer frais lixivié	31,20	27,80	3,40

*Le carbone organique dissous est déduit de la mesure du carbone total et du carbone inorganique*

*Le CIT est négligé dans le calcul du COD s'il est inférieur à l'incertitude sur le CT*

*Précision : 5% (10% sur les valeurs en gras)*

Tableau 3 – Teneur en carbone total, carbone inorganique total et carbone organique dissous des éluats de cendre fraîche et de mâchefer frais

Ces résultats montrent que la fraction soluble du carbone total est très faible et qu'elle est essentiellement constituée de formes minérales (carbonates, hydrogénocarbonates, ...), la teneur en carbone organique dissous étant inférieure à la limite de quantification.

#### Teneurs en Carbone Total et Carbone Organique Total d'un échantillon solide

Les résultats de détermination du Carbone Organique Total (COT) des différents échantillons de cendres et mâchefers testés sont présentés dans le tableau suivant :

Echantillon	COT (%)
Mâchefer frais	< LD
Mâchefer mûré	< LD
Cendre fraîche	< LD
Cendre mûrée	< LD
Mâchefer frais lixivié	< LD
Cendre fraîche lixiviée	< LD

Tableau 4 – Teneur en carbone organique total des échantillons de cendres et de mâchefers testés

Ces résultats montrent qu'aucun échantillon ne présente une teneur en Carbone Organique Total supérieure ou égale à 1% soit 10 000 mg/kg MS.

INSAVALOR s.a.

66, boulevard Niels Bohr – BP 52132 – 69603 Villeurbanne Cedex (France)

Société anonyme capital 380 000 euros régie par les art. 118 à 150 de la loi du 24.07.1966, RCS Lyon B 345 038 244

## Activité biologique aérobie (Demande Biologique en Oxygène)

Les résultats du suivi de la consommation d'oxygène par les six différents échantillons testés après 9 jours et 32 jours d'incubation sont présentés dans le tableau suivant :

Échantillon (g MS)	Durée d'incubation (jours)	Durée d'incubation (jours)
Mâchefer Frais 1	4,25	3,73
Mâchefer Frais 2	3,44	3,95
Mâchefer Frais 3	2,89	3,40
Mâchefer mûré 1	3,87	4,97
Mâchefer mûré 2	1,48	2,17
Mâchefer mûré 3	1,49	2,64
Mâchefer Frais Lixivié 1	0,82	0,46
Mâchefer Frais Lixivié 2	-0,09	-0,66
Mâchefer Frais Lixivié 3	-0,09	1,40
Cendre Fraîche 1	2,69	1,92
Cendre Fraîche 2	1,68	1,42
Cendre Fraîche 3	0,39	0,65
Cendre Mûrée 1	3,42	2,60
Cendre Mûrée 2	2,90	2,07
Cendre Mûrée 3	2,65	1,82
Cendre Fraîche Lixiviée 1	1,55	0,12
Cendre Fraîche Lixiviée 2	1,31	3,70
Cendre Fraîche Lixiviée 3	1,53	0,82
Témoin Glucose	1031,51	1292,23

Tableau 5 – Consommation d'oxygène des échantillons de cendres et de mâchefer testés en 9 et 32 jours d'incubation

Ces résultats montrent que cette consommation est inférieure à la limite de quantification (5mg O<sub>2</sub>/g MS) alors que le témoin glucose atteste de la bonne qualité de l'inoculum (consommation supérieure à 1000 mg d'O<sub>2</sub>/g glucose).

### Activité biologique anaérobie (Potentiel BioMéthanoène)

Les résultats du suivi de la production de méthane par les six différents échantillons testés après 48 jours d'incubation sont présentés dans le tableau suivant :

Production de méthane (Nml/échantillon/gMS)	Durée d'incubation 48 jours
Mâchefer Frais 1	9,15
Mâchefer Frais 2	9,06
Mâchefer Frais 3	9,16
Mâchefer mûré 1	7,19
Mâchefer mûré 2	7,37
Mâchefer mûré 3	7,17
Mâchefer Frais Lixivié 1	6,54
Mâchefer Frais Lixivié 2	6,35
Mâchefer Frais Lixivié 3	6,46
Cendre Fraîche 1	6,14
Cendre Fraîche 2	6,42
Cendre Fraîche 3	6,43
Cendre Mûrée 1	8,00
Cendre Mûrée 2	7,73
Cendre Mûrée 3	7,93
Cendre Fraîche Lixiviée 1	7,49
Cendre Fraîche Lixiviée 2	7,37
Cendre Fraîche Lixiviée 3	7,54
Témoin Glucose	309,75

Tableau 6 – Production de méthane des échantillons de cendres et de mâchefers testés en 48 jours d'incubation

Ces résultats montrent que la production de méthane est systématiquement inférieure à celle du témoin inoculum (70 Nml/g MS) alors que le témoin glucose atteste de la bonne qualité de l'inoculum (production supérieure à 300 Nml/g glucose).

## Conclusion

L'ensemble de ces résultats montre que les cendres et mâchefers étudiés ne présentent pas de teneur détectable (> 1% MS) en Carbone Organique Total et que les traces de Carbone dissous par lixiviation sont en très grande majorité constituées de carbone minéral (carbonates, hydrogénocarbonates).

La caractérisation a montré également que la méthode de détermination de la teneur en matière organique par calcination à 550°C pouvait être biaisée du fait de la présence (majoritaire par rapport à la matière organique) de minéraux hydratés comme la chaux.

Enfin l'incubation en conditions aérobie et anaérobie des différents échantillons n'a permis de déceler aucune activité biologique liée aux échantillons.

INSAVALOR s.a.

66, boulevard Niels Bohr – BP 52132 – 69603 Villeurbanne Cedex (France)

Société anonyme capital 380 000 euros régie par les art. 118 à 150 de la loi du 24.07.1966, RCS Lyon B 345 038 244

## 9. ANNEXE 4 : ECOTOXICOLOGIE DES SPC



**PROVADEMSE**

Processés Propres Valorisation Dépollution  
Matériaux Précurseurs Secondaires Efficacité et Energie

PLATEFORME D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE RHONE-ALPES

**Etude de caractérisation de résidus de  
combustion de charbon en vue de leur  
valorisation en technique routière et en  
scénario de reprofilage de sol  
- volet écotoxicologie -**

***Rapport rédigé à la demande de  
ALBIOMA***

janvier 2014

ref : CB/C109/RF-écotox

**Auteur de ce rapport :**

***Christine Bazin***      ***Chef de projet de la division POLDEN d'INSAVALOR  
Responsable Impacts & Milieux PROVADEMSE – Site Lyon***

INSAVALOR s.a.

66, boulevard Niels Bohr – BP 52132 – 69603 Villeurbanne Cedex (France)

Société anonyme capital 380 000 euros régie par les art. 118 à 150 de la loi du 24.07.1966, RCS Lyon B 345 038 244

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>CARACTERISATION DES PROPRIETES ECOTOXIQUES DE CENDRES</b>	<b>58</b>
<b>1.1.</b>	<b><i>ECHANTILLONS ETUDIES</i></b>	<b>58</b>
<b>1.2.</b>	<b><i>POINT SUR LES VALEURS DE REFERENCES POUR LE CRITERE H14</i></b>	<b>18</b>
<b>1.3.</b>	<b><i>PROTOCOLE EXPERIMENTAL SUIVI</i></b>	<b>18</b>
<b>2.</b>	<b>RESULTATS DE LA MISE EN ŒUVRE DU CRITERE H14</b>	<b>60</b>
<b>2.1.</b>	<b><i>MESURES ANNEXES</i></b>	<b>60</b>
<b>2.2.</b>	<b><i>ESSAI D'INHIBITION DE LA MOBILITE DU CRUSTACE DAPHNIA MAGNA</i></b>	<b>61</b>
<b>2.3.</b>	<b><i>ESSAI D'INHIBITION DE LA LUMINESCENCE DE LA BACTERIE VIBRIO FISHERI</i></b>	<b>62</b>
<b>2.4.</b>	<b><i>ESSAI D'INHIBITION DE LA CROISSANCE DE L'ALGUE PSEUDOKIRCHNERIELLA SUBCAPITATA</i></b>	<b>63</b>
<b>2.5.</b>	<b><i>ESSAI D'INHIBITION DE LA REPRODUCTION DE ROTIFERES BRACHIONUS CALYCIFLORUS</i></b>	<b>64</b>
<b>2.6.</b>	<b><i>ESSAI D'INHIBITION DE LA GERMINATION ET DE LA CROISSANCE DE SEMENCES VEGETALES - ESSAI EN MICROPLAQUES</i></b>	<b>65</b>
<b>2.7.</b>	<b><i>ESSAI SURVIE DES VERS DE TERRE EISENIA FETIDA</i></b>	<b>67</b>
<b>3.</b>	<b>CONCLUSIONS SUR LE DANGER DES CENDRES AU REGARD DU CRITERE H14</b>	<b>68</b>
<b>3.1.</b>	<b><i>CENDRE DE CHARBON PULVERISE ALGA MATUREES (C1)</i></b>	<b>68</b>
<b>3.2.</b>	<b><i>FORMULATION DE CENDRES ET MACHEFERS ALGA MATURES (C2)</i></b>	<b>21</b>
<b>3.3.</b>	<b><i>FORMULATION DE CENDRES DE CHARBON PULVERISE ALGA MATUREES (96%) ET DE CHAUX (4%) (C3)</i></b>	<b>22</b>

## **2. Caractérisation des propriétés écotoxiques de cendres**

### **2.1. Echantillons étudiés**

Un échantillon représentatif de chacun des matériaux testés (fourni par ALBIOMA) a fait l'objet d'une caractérisation écotoxicologique afin de positionner ces cendres vis-à-vis de la propriété de danger H14 des déchets (danger pour l'environnement). Cette caractérisation ne vise pas à remettre en cause le statut de déchet non dangereux de ces cendres mais à identifier la sensibilité de certains organismes de l'environnement vis-à-vis des matériaux testés.

L'étude porte sur les échantillons suivants :

- ✓ Echantillon 1 : cendres de charbon pulvérisé ALGA mûrées
- ✓ Echantillon 2 : formulation de cendres et mâchefers ALGA mûrés
- ✓ Echantillon 3 : formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA mûrées (96%) et de chaux (4%)

### **2.2. Point sur les valeurs de références pour le critère H14**

Pour caractériser les déchets potentiellement dangereux au regard du critère H14, le Ministère chargé de l'environnement (MATE) a défini en janvier 1998 une procédure d'évaluation du danger intrinsèque du déchet sur les écosystèmes aquatiques et sur les écosystèmes terrestres, basée sur la procédure européenne élaborée par POLDEN en 1994 pour la Commission Européenne. A ce jour, ce document n'a pas encore fait l'objet d'un Arrêté d'application du Décret relatif à la classification des déchets. Une étude complémentaire menée, à la demande de l'ADEME, par l'INERIS en 2000 a conduit à valider l'approche développée et à modifier le seuil de classement proposé pour les essais de toxicité chronique.

C'est sur la base de ces deux documents que l'écotoxicité des trois cendres d'ALBIOMA a été examinée au regard du critère de danger H14 : la procédure du ministère chargé de l'environnement 1998 (MATE 1998) et l'étude ADEME – INERIS 2000 (INERIS 2000) pour les seuils de classement de toxicité chronique.

Dans cette procédure qui repose sur la mise en œuvre d'une batterie d'essais combinant des essais aigus et chroniques avec des organismes aquatiques et terrestres de différents niveaux trophiques, les valeurs de référence permettant de différencier un déchet dangereux d'un déchet non dangereux sont :

- ✓ pour les essais de toxicité aiguë (aquatiques et terrestres) :  $CE50 \leq 10\%$ , c'est-à-dire qu'un déchet sera considéré comme dangereux si la concentration qui provoque 50% d'inhibition avec un des essais de toxicité aiguë est inférieure ou égale à 10% ;
- ✓ pour les essais de toxicité chronique (aquatiques) :  $CE20 \leq 1\%$ , c'est-à-dire qu'un déchet sera considéré comme dangereux si la concentration qui provoque 20% d'inhibition avec un des essais de toxicité chronique est inférieure ou égale à 1%.

### **2.3. Protocole expérimental suivi**

Pour caractériser le niveau de toxicité des cendres d'ALBIOMA vis-à-vis des organismes aquatiques, les essais suivants ont été réalisés sur un éluat obtenu au moyen de l'essai de lixiviation NF EN 12457-2 (ratio de 100 g/litre), sans ajustement du pH, et filtré à 0,45 µm, conformément au protocole du MATE 1998 :

- l'inhibition de la luminescence de la bactérie *Vibrio fischeri* (NF EN ISO 11348-2) en 15 et 30 minutes - essai de toxicité aiguë
- l'inhibition de la mobilité du crustacé *Daphnia magna* (NF EN ISO 6341) en 24 et 48 heures - essai de toxicité aiguë
- l'inhibition de la croissance de populations d'algues vertes unicellulaires *Pseudokirchneriella subcapitata* (NF T90-375) en 72h - essai de toxicité chronique
- l'inhibition de la reproduction du rotifère *Brachionus calyciflorus* (NF ISO 20686) en 48h - essai de toxicité chronique

Pour caractériser le niveau de toxicité des cendres vis-à-vis des organismes terrestres, les essais suivants ont été réalisés :

- l'inhibition de la germination et de la croissance des racines de végétaux supérieurs en microplaques et en 72h (protocole fournisseur) - essai de toxicité aiguë
- la létalité vis-à-vis de vers de terre *Eisenia fetida* (PR NF ISO 11268-1) en 14 jours - essai de toxicité aiguë

Pour cette étude, dans une volonté d'optimisation technique et économique de la démarche d'évaluation du critère H14 (faisabilité technique, quantités nécessaires, durée d'essais, coûts), il a été retenu de tester la toxicité des cendres et de leurs éluats selon un protocole de screening, uniquement à la concentration correspondant à la valeur de référence (démarche dite d'essais aux seuils). Dans ce cas, les valeurs de références sont formulées de la façon suivante :

- ✓ avec les essais de toxicité aiguë : un déchet sera considéré comme dangereux si le pourcentage d'inhibition observé à la concentration 10% est supérieur ou égal à 50%
- ✓ avec les essais de toxicité chronique : un déchet sera considéré comme dangereux si le pourcentage d'inhibition observé à la concentration 1% est supérieur ou égal à 20%

Dans cette démarche de screening, si les niveaux d'inhibitions observés sont significativement différents des valeurs de référence, le résultat est validé comme tel. Si les niveaux d'inhibitions observés sont proches des valeurs de référence, un essai complet avec une gamme de dilutions permettant d'obtenir une CE20 ou une CE50 est réalisé. Pour consolider la démarche, l'essai d'inhibition de la mobilité de *D. magna* complet (avec détermination de la CE50) est réalisé systématiquement.

Les résultats obtenus avec cette batterie de bioessais aux seuils en vue de caractériser les cendres au regard de la propriété de danger H14 sont présentés ci-après.

Les conclusions sur la dangerosité du déchet au regard du critère H14 sont formulées, sous réserve que l'échantillon reçu au laboratoire soit représentatif du gisement de déchet.

On notera que pour pouvoir se prononcer sur la dangerosité d'un déchet, l'ensemble de la batterie d'essais doit être prise en compte. C'est-à-dire qu'une réponse positive avec un seul des organismes est suffisante pour qualifier le déchet de dangereux.

### 3. Résultats de la mise en œuvre du critère H14

L'échantillonnage primaire (sur site) a été réalisé par ALBIOMA de façon à réaliser des échantillons représentatifs. Trois échantillons primaires ont été constitués et transmis à PROVADEMSE. Les essais d'écotoxicologie ont été réalisés à partir de sous échantillons des échantillons primaires homogénéisés.

#### 3.1. Mesures annexes

La teneur en eau des cendres a été mesurée, les valeurs obtenues sont récapitulées dans le tableau ci-dessous.

Echantillon	code	siccité	humidité
cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées	C 1	76,55 %	23,45 %
formulation de cendres et mâchefers ALGA maturés	C 2	77,90 %	22,10 %
formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées et de chaux	C 3	71,86 %	28,14 %

Tableau 22 - siccité / teneur en eau des cendres

Le pH et la conductivité des cendres brutes ainsi que ceux des éluats obtenus par lixiviation NF EN 12457-2 (ratio 100 g/l) ont été mesurés. Les valeurs obtenues sont récapitulées dans les tableaux ci-dessous.

Echantillon	code	pH	conductivité
cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées	C 1	8,48	486 µS/cm
formulation de cendres et mâchefers ALGA maturés	C 2	8,63	2 160 µS/cm
formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées et de chaux	C 3	8,31	1 272 µS/cm

Tableau 23 - pH / conductivité des cendres (ratio 1/5)

Les éluats des cendres ont été réalisés le 22 octobre 2013.

Echantillon	code	pH	conductivité
éluat des cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées	EC 1	8,68	1 276 µS/cm
éluat de la formulation de cendres et mâchefers ALGA maturés	EC 2	8,71	753 µS/cm
éluat de la formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées et de chaux	EC 3	10,66	568 µS/cm

Tableau 24 - pH / conductivité des éluats de cendres (ratio 1/10)

### 3.2. Essai d'inhibition de la mobilité du crustacé *Daphnia magna*



Cet essai permet d'évaluer la toxicité aiguë d'un éluat de déchet. Il est effectué selon la norme NF EN ISO 6341, avec des daphnies (crustacés aquatiques) issues de l'élevage du laboratoire et âgées de moins de 24h.

Dans les conditions standardisées, l'essai est réalisé sur une gamme de 5 à 10 dilutions de l'éluat non filtré dans le milieu de référence (eau synthétique) parallèlement à un lot témoin sans éluat. L'essai se déroule dans des tubes à essais, à température ambiante ( $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ), avec quatre répétitions de 5 daphnies par concentration. On détermine la concentration qui, en 24h et en 48 heures, immobilise 50% des daphnies (CE50 24h et CE50 48h).

Avec cet essai, selon les valeurs de référence de la procédure MATE 98, un déchet sera considéré comme dangereux si la CE50 48h de son éluat est inférieure ou égale à 10%, ou, formulé autrement, si la dilution de 10% provoque une inhibition de la mobilité des daphnies supérieure ou égale à 50%.

Les résultats des essais complets d'inhibition de la mobilité de *D. magna* en 24h et 48h sont présentés dans le tableau suivant :

Essai complet <i>D. magna</i>		Inhibition de la mobilité CE50	Valeur de référence
éluat des cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées (EC1)	24h	> 90 %	10 %
	48h	> 90 %	
éluat de la formulation de cendres et mâchefers ALGA maturés (EC2)	24h	> 90 %	
	48h	> 90 %	
éluat de la formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées et de chaux (EC3)	24h	> 90 %	
	48h	> 90 %	

Tableau 25 - Résultats de l'essai *D. magna* pour les éluats non filtrés et valeur de référence de classement de déchets dangereux au regard du critère H14 (projet MATE 1998 & INERIS 2000)

Ces résultats montrent que, pour la daphnie, le contact avec les éluats de cendres obtenu selon l'essai de lixiviation NF EN 12457-2 avec un ratio de 100 g/litre, ne génère pas de toxicité aiguë quantifiable. En effet, toutes les CE50 obtenues sont supérieures à 50%, valeur de référence qui caractériserait un déchet dangereux selon la procédure du ministère chargé de l'environnement 1998 (MATE 1998) pour les essais de toxicité aiguë.

**Aucune des cendres étudiées ne pourrait donc être qualifiée de déchet dangereux avec l'essai *D. magna*.**

Dans la démarche de screening - réalisée avec cet essai pour information complémentaire, l'essai est réalisé uniquement pour une dilution de l'éluat à 10% (dite "concentration seuil").

Les résultats des essais réalisés à la concentration seuil pour les essais de toxicité aiguë (10%) sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Essai à la concentration seuil <i>D. magna</i>		Inhibition de la mobilité à 10 %	Valeur de référence
éluat des cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées (EC1)	24h	0 %	50 %
	48h	0 %	
éluat de la formulation de cendres et mâchefers ALGA maturés (EC2)	24h	0 %	
	48h	0 %	
éluat de la formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées et de chaux (EC3)	24h	0 %	
	48h	0 %	

Tableau 26– Pourcentages d'inhibition de la mobilité de *D. magna* obtenus à la concentration seuil de classement de déchets dangereux au regard du critère H14 (projet MATE 1998 & INERIS 2000)

A la concentration de 10% de l'éluat dans du milieu témoin, on n'observe aucune inhibition de la mobilité des daphnies supérieure à 50%, ce qui confirme les informations issues des essais complets présentés ci-dessus.

### 3.3. Essai d'inhibition de la luminescence de la bactérie *Vibrio fischeri*<sup>2</sup>



Cet essai permet d'évaluer la toxicité aiguë d'un éluat de déchet après filtration à 0,45 µm. Il est effectué selon la norme NF EN ISO 11348-2 (NF T 90-320). L'essai est réalisé avec des bactéries luminescentes lyophilisées du commerce. Il se déroule dans une enceinte climatisée à 15°C. Les bactéries sont mises au contact d'une gamme de dilutions de l'échantillon pendant 15 et 30 minutes. L'effet inhibiteur de chaque dilution de l'éluat sur les bactéries est mesuré à l'aide d'un photomultiplicateur. Les dilutions sont réalisées avec du milieu de référence (eau distillée salée à 20 g NaCl/l) qui sert aussi pour les lots témoins sans éluat. En fin d'essai, on détermine la concentration de l'éluat qui, après 15 et 30 minutes de contact, provoque une diminution de 50% la luminescence émise naturellement par les suspensions bactériennes (CE50 30 min).

Avec cet essai aigu, selon les valeurs de référence de la procédure MATE 98, un déchet sera considéré comme dangereux si la CE50 est inférieure ou égale à 10%, ou formulé autrement, si la dilution de 10% des éluats dans le milieu témoin provoque une inhibition de la luminescence des bactéries supérieure ou égale à 50%.

Dans la démarche de screening, l'essai est réalisé uniquement pour une dilution de l'éluat à 10%. Les résultats de l'essai d'inhibition de la luminescence de *V. fischeri* à la concentration seuil sont présentés dans le tableau suivant :

<sup>2</sup> Cet essai est aussi connu sous le nom d'essai Microtox®, du nom de l'appareil de mesure

Essai à la concentration seuil <i>V. fisheri</i>		Inhibition de la luminescence à 10 %	Valeur de référence
éluat des cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées (EC1)	15 mn	0 %	50 %
	30 mn	0 %	
éluat de la formulation de cendres et mâchefers ALGA maturés (EC2)	15 mn	0 %	
	30 mn	0 %	
éluat de la formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées et de chaux (EC3)	15 mn	0 %	
	30 mn	0 %	

Tableau 27 – Pourcentages d'inhibition de la luminescence obtenus avec l'essai *V. fisheri* à la concentration seuil de classement de déchets dangereux au regard du critère H14 (projet MATE 1998 & INERIS 2000)

A la concentration de 10% des éluats dans du milieu témoin, on n'observe aucune inhibition de la luminescence bactérienne en 15 et 30 minutes. Les réponses sont donc significativement inférieures à 50%, valeur de référence qui caractériserait un déchet dangereux selon la procédure du ministère chargé de l'environnement 1998 (MATE 1998) pour les essais de toxicité aiguë.

Aucune des cendres étudiées ne pourrait donc être qualifiée de déchet dangereux avec l'essai *V. fisheri*.

### 3.4. Essai d'inhibition de la croissance de l'algue *Pseudokirchneriella subcapitata*



Cet essai permet d'évaluer la toxicité chronique d'un éluat vis-à-vis d'un organisme aquatique végétal.

Il est effectué selon la norme NF T 90-375. L'essai est réalisé avec des algues vertes planctoniques unicellulaires *Pseudokirchneriella subcapitata* (de souches CCAP 278/4) cultivées au laboratoire, à partir d'une préculture âgée de 2 à 4 jours. L'essai est réalisé sur une gamme de 5 à 10 dilutions de l'éluat dans le milieu de référence (eau synthétique standardisée), 3 réplicats, parallèlement à un lot témoin sans éluat (6 réplicats). L'essai est réalisé en triplicat, à une température de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , sous l'éclairage de lampes fluorescences blanches (4-7 W), qui fournissent un éclairement continu de 60-90  $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ .

On détermine la CE20 72h, concentration qui inhibe la croissance algale de 20% par rapport au témoin après 72h d'incubation.

Avec cet essai chronique, selon les valeurs de référence de la procédure MATE 98, un déchet sera considéré comme dangereux si la CE20 de son éluat est inférieure ou égale à 1% ou, formulé autrement, si la dilution de 1% de l'éluat dans le milieu témoin provoque une inhibition de la croissance des algues supérieure ou égale à 20%.

Les résultats de l'essai d'inhibition de la croissance algale en 72h sont présentés dans le tableau suivant :

Essai à la concentration seuil <i>P. subcapitata</i>	Inhibition de la croissance à 1 %	Valeur de référence
éluat des cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées (EC1)	0 %	20 %
éluat de la formulation de cendres et mâchefers ALGA maturées (EC2)	0 %	
éluat de la formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées et de chaux (EC3)	0 %	

Tableau 28 – Pourcentages d'inhibition de la croissance de *P. subcapitata* à la concentration seuil de classement de déchets dangereux au regard du critère H14 (projet MATE 1998 & INERIS 2000)

A la concentration de 1% des éluats dans du milieu témoin, on n'observe aucune inhibition de la croissance des algues en 72 heures. Les réponses sont donc significativement inférieures à 20%, valeur de référence qui caractériserait un déchet dangereux selon la procédure du ministère chargé de l'environnement 1998 (MATE 1998) pour les essais de toxicité chronique.

**Aucune des cendres étudiées ne pourrait donc être qualifiée de déchet dangereux avec l'essai chronique *P. subcapitata*.**

### 3.5. Essai d'inhibition de la reproduction de rotifères *Brachionus calyciflorus*



Cet essai permet d'évaluer la toxicité chronique d'un éluat vis-à-vis d'un organisme aquatique animal. Il est effectué selon la norme NF T 90-377.

L'essai est réalisé avec des organismes provenant d'œufs de résistances du commerce, exposés individuellement à une gamme de cinq dilutions de l'éluat pendant 48 heures. L'essai est réalisé en microplaques. Il comprend huit réplicats par dilution et un lot témoin sans éluat. En début d'essai, un seul organisme âgé d'environ deux heures est introduit dans chaque puits. L'incubation se fait à 25°C ± 1°C, à l'obscurité, dans une atmosphère saturée en humidité.

L'essai est statique, sans renouvellement de milieu, l'alimentation des organismes est assurée en début d'essai. En fin d'essai, les organismes présents dans chaque puits sont dénombrés.

Cet essai ne fait pas partie de la liste des essais chroniques de la procédure MATE 98 car il n'existait pas à cette époque. Il est retenu en remplacement de l'essai *Ceriodaphnia dubia*.

Avec cet essai chronique, un déchet sera considéré comme dangereux si la CE20 de son éluat est inférieure ou égale à 1% ou, formulé autrement, si la dilution de 1% de l'éluat dans du milieu témoin provoque une inhibition de la croissance de la population de rotifères supérieure ou égale à 20%.

Les résultats de l'essai d'inhibition de la croissance d'une population de *Brachionus calyciflorus* en 48h sont présentés dans le tableau suivant :

Essai à la concentration seuil <i>B. calyciflorus</i>	Inhibition de la reproduction à 1 %	Valeur de référence
éluat des cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées (EC1)	0 %	20 %
éluat de la formulation de cendres et mâchefers ALGA maturés (EC2)	0 %	
éluat de la formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées et de chaux (EC3)	0 %	

Tableau 29 - Pourcentages d'inhibition de la reproduction de *B. calyciflorus* et valeur de référence de classement de déchets dangereux au regard du critère H14 (projet MATE 1998 & INERIS 2000)

A la concentration de 1% des éluats dans du milieu témoin, on n'observe aucune inhibition de la reproduction des rotifères en 48 heures. Les réponses sont donc significativement inférieures à 20%, valeur de référence qui caractériserait un déchet dangereux selon la procédure du ministère chargé de l'environnement 1998 (MATE 1998) pour les essais de toxicité chronique.

Aucune des cendres étudiées ne pourrait donc être qualifiée de déchet dangereux avec l'essai chronique *B. calyciflorus*.

### 3.6. Essai d'inhibition de la germination et de la croissance de semences végétales - essai en microplaques



L'essai d'inhibition de la germination et de la croissance des racines de semences végétales en microplaques permet d'évaluer la toxicité aiguë de déchets vis-à-vis de végétaux terrestres. Cet essai est effectué en microplaques, en suivant le protocole du fabricant. Le support de culture témoin est le "sol" de référence ISO<sup>3</sup>) humidifié avec de l'eau du réseau déchlorée par aération douce. La gamme de dilutions des cendres est réalisée avec ce sol ISO. Les semences sont déposées à la

<sup>3</sup> Le "sol" ISO est réalisé en mélangeant (pourcentages en masses sèches) : 10 de tourbe de sphaigne finement moulue - 20% de kaolin - 70% de sable de Fontainebleau) et en ajustant le pH à 6,0 ± 0,5 avec du CaCO<sub>3</sub>

surface du substrat de culture. Les plaques sont fermées par un couvercle et placées à l'obscurité à  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant une durée de 72 heures.

Ce protocole d'essai, validé par de nombreuses études et en cours de normalisation à l'ISO, est différent de celui de la procédure MATE 98 car il n'existait pas à cette époque. Il a été retenu pour cette étude en remplacement de l'essai en pots pour ses nombreux avantages, et particulièrement :

- diminution des quantités de déchet nécessaires (500 g au lieu de 15 à 25 kg)
- diminution de la durée de l'essai (72 heures au lieu de 4 semaines)
- allègement du suivi (aucun suivi au lieu d'arrosages réguliers pendant 4 à 5 semaines)
- allègement des lectures (mesures directes ou par analyse d'image au lieu des opérations de récolte, lavage, conditionnement, pesées, séchage au four 24h, pesées)
- diminution du taux d'occupation des enceintes climatisées

Deux espèces de semences végétales ont été retenues :

- o le blé tendre : *Triticum aestivum* - graminée
- o le radis noir : *Raphanus sativus* - crucifère

Pour chaque espèce végétale, et chaque condition, on réalise quatre réplicats de 10 semences chacun.

Le nombre de semences germées et la longueur des racines sont mesurés après 72h d'incubation à l'obscurité. On détermine, pour chacune des espèces, le pourcentage d'inhibition de la germination et le pourcentage d'inhibition de la croissance racinaire par rapport aux lots témoins.

Avec cet essai aigu, un déchet sera considéré comme dangereux si la CE50 pour la germination et/ou pour la croissance des racines d'une des deux semences testées est inférieure ou égale à 10%, ou formulé autrement, si la dilution de 10% du déchet dans le sol ISO provoque une inhibition de la germination des semences et/ou de la croissance des racines supérieure ou égale à 50%.

Dans la démarche de screening, l'essai est réalisé uniquement pour à la dilution de 10%.

Les résultats des essais d'inhibition de la germination et de la croissance racinaire sont présentés dans le tableau suivant.

Essai à la concentration seuil végétaux en microplaques	espèces	Inhibition à la concentration de 1%		Valeur de référence
		germination	croissance racinaire	
cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées (C1)	<i>T. aestivum</i>	0 %	0 %	50%
	<i>R. sativus</i>	0 %	0 %	
formulation de cendres et mâchefers ALGA maturés (C2)	<i>T. aestivum</i>	0 %	0 %	
	<i>R. sativus</i>	0 %	0 %	
formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées et de chaux (C3)	<i>T. aestivum</i>	0 %	0 %	
	<i>R. sativus</i>	0 %	0 %	

Tableau 30 – Résultats de l'essai d'inhibition de la germination et de la croissance racinaire de végétaux et valeur de référence de classement de déchets dangereux au regard du critère H14 (projet MATE 1998 & INERIS 2000)

A la concentration de 10% des cendres dans du sol témoin, on n'observe aucune inhibition de la germination ni de la croissance des racines en 72 heures pour les deux semences retenues (blé et radis noir). Les réponses sont donc significativement inférieures à 50%, valeur de référence qui caractériserait un déchet dangereux selon la procédure du ministère chargé de l'environnement 1998 (MATE 1998) pour les essais de toxicité aiguë.

**Aucune des cendres étudiées ne pourrait donc être qualifiée de déchet dangereux avec les essais végétaux en microplaques.**

### 3.7. Essai survie des vers de terre *Eisenia fetida*



L'essai consiste à évaluer la mortalité des vers après deux semaines de contact avec le déchet. Il est réalisé selon la norme NF ISO 11268-1. Les organismes utilisés sont des vers adultes issus de l'élevage du laboratoire, âgés d'au moins deux mois, munis d'un clitellum et dont la masse est comprise entre 300 à 600 mg.

Une gamme de 5 dilutions des cendres dans le substrat de référence (sol ISO - voir composition plus haut) a été réalisée parallèlement à un témoin sans cendres. L'essai se déroule en bacs, avec quatre répliqués de 10 vers par dilution. La durée d'exposition est de 2 semaines pendant lesquelles les vers ne sont pas nourris. Après 14 jours d'incubation, on détermine le pourcentage de mortalité des vers par rapport au lot témoin.

Avec cet essai aigu, un déchet sera considéré comme dangereux si la CL50 pour les vers de terre est inférieure ou égale à 10%, ou formulé autrement, si la dilution de 10% du déchet dans le sol ISO provoque une des vers supérieure ou égale à 50%.

**Dans la démarche de screening, l'essai est réalisé uniquement pour à la dilution de 10%.**

Les résultats de l'essai de survie du vers de terre *Eisenia fetida* en 14 jours sont présentés dans le tableau suivant :

Essai à la concentration seuil <i>E. fetida</i>	mortalité en 14j à 10 %	Valeur de référence
cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées (C1)	0 %	50 %
formulation de cendres et mâchefers ALGA maturés (C2)	0 %	
formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA maturées et de chaux (C3)	0 %	

Tableau 31 – Résultats de l'essai *E. fetida* pour la cendre et valeur de référence de classement de déchets dangereux au regard du critère H14 (projet MATE 1998 & INERIS 2000)

A la concentration de 10% des cendres dans du sol témoin, on n'observe aucune mortalité de vers de terre (*Eisenia fetida*) en 14 jours. Les réponses sont donc significativement inférieures à 50%, valeur de référence qui caractériserait un déchet dangereux selon la procédure du ministère chargé de l'environnement 1998 (MATE 1998) pour les essais de toxicité aiguë.

**Aucune des cendres étudiées ne pourrait donc être qualifiée de déchet dangereux avec l'essai *Eisenia fetida*.**

#### **4. Conclusions sur le danger des cendres au regard du critère H14**

Les résultats de la batterie d'essais de screening mise en œuvre pour évaluer l'écotoxicité des cendres ALBIOMA au regard du critère de danger H14 selon la procédure du ministère chargé de l'environnement 1998 (MATE 1998) sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Pour chaque essai, le positionnement "déchet dangereux" / "déchet non dangereux" correspond aux concentrations de référence de la démarche MATE 98 complétée par l'étude ADEME – INERIS 2000 pour le seuil de classement de toxicité chronique.

##### **4.1. cendre de charbon pulvérisé ALGA mûrées (C1)**

matrice	organisme	inhibition	valeur de référence	Conclusion
éluat 1/10	<i>D. magna</i> 24h	0 %	50%	non dangereux
éluat 1/10	<i>V. fischeri</i> 15 min 30 min	0 % 0 %	50%	non dangereux
éluat 1/10	<i>B. calyciflorus</i> 48h	0 %	20 %	non dangereux
éluat 1/10	<i>P. subcapitata</i> 72h	0 %	20 %	non dangereux
cendre	<i>T. aestivum</i> (blé) germination	0 %	50%	non dangereux
cendre	<i>R. sativus</i> (radis) germination	0 %	50%	non dangereux
cendre	<i>T. aestivum</i> (blé) racines	0 %	50%	non dangereux
cendre	<i>R. sativus</i> (radis) racines	0 %	50%	non dangereux
cendre	<i>E. fetida</i> 14j	0 %	50%	non dangereux

**Tableau 32 – Inhibitions obtenues avec les cendres de charbon pulvérisé ALGA mûrées (C1) au regard du critère H14 et conclusions (projet MATE 1998 & INERIS 2000)**

Les cendres de charbon pulvérisé ALGA mûrées (échantillon C1) ne pourraient pas être qualifiées de déchet dangereux au titre du critère H14 (projet MATE 98 / INERIS 2000).

#### **4.2. formulation de cendres et mâchefers ALGA mûrés (C2)**

matrice	organisme	Inhibition	valeur de référence	Conclusion
éluat 1/10	<i>D. magna</i> 24h	0 %	50%	non dangereux
éluat 1/10	<i>V. fischeri</i> 15 min 30 min	0 % 0 %	50%	non dangereux
éluat 1/10	<i>B. calyciflorus</i> 48h	0 %	20 %	non dangereux
éluat 1/10	<i>P. subcapitata</i> 72h	0 %	20 %	non dangereux
endre	<i>T. aestivum</i> (blé) germination	0 %	50%	non dangereux
endre	<i>R. sativus</i> (radis) germination	0 %	50%	non dangereux
endre	<i>T. aestivum</i> (blé) racines	0 %	50%	non dangereux
endre	<i>R. sativus</i> (radis) racines	0 %	50%	non dangereux
endre	<i>E. fetida</i> 14j	0 %	50%	non dangereux

**Tableau 33 – Inhibitions obtenues avec la formulation de cendres et mâchefers ALGA mûrés (C2) au regard du critère H14 et conclusions (projet MATE 1998 & INERIS 2000)**

La formulation de cendres et mâchefers ALGA mûrés (échantillon C2) ne pourrait pas être qualifiée de déchet dangereux au titre du critère H14 (projet MATE 98 / INERIS 2000).

**4.3. formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA mûrées  
(96%) et de chaux (4%) (C3)**

matrice	organisme	inhibition	valeur de référence	Conclusion
éluat 1/10	<i>D. magna</i> 24h	0 %	50%	non dangereux
éluat 1/10	<i>V. fischeri</i> 15 min 30 min	0 % 0 %	50%	non dangereux
éluat 1/10	<i>B. calyciflorus</i> 48h	0 %	20 %	non dangereux
éluat 1/10	<i>P. subcapitata</i> 72h	0 %	20 %	non dangereux
cendre	<i>T. aestivum</i> (blé) germination	0 %	50%	non dangereux
cendre	<i>R. sativus</i> (radis) germination	0 %	50%	non dangereux
cendre	<i>T. aestivum</i> (blé) racines	0 %	50%	non dangereux
cendre	<i>R. sativus</i> (radis) racines	0 %	50%	non dangereux
cendre	<i>E. fetida</i> 14j	0 %	50%	non dangereux

Tableau 34 – Inhibitions obtenues avec la formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA mûrées et de chaux (C3) au regard du critère H14 et conclusions (projet MATE 1998 & INERIS 2000)

La formulation de cendres de charbon pulvérisé ALGA mûrées (96%) et de chaux (4%) (échantillon C3) ne pourrait pas être qualifiée de déchet dangereux au titre du critère H14 (projet MATE 98 / INERIS 2000).

## ANNEXE 3 - Pièce 3

---

Procédure d'acceptation des déchets inertes sur le site  
de la carrière de PREFABLOC AGREGATS

## Procédure de mise en Remblai

### 1. Réception des matériaux

L'accès à la zone de remblai est intégré au plan de circulation efficace sur le site et les camions sont guidés par un fléchage vers le point de réception et de contrôle des matériaux d'apport.

Un panneau, visible à l'entrée du site, indique les conditions d'acceptation des matériaux, en particulier que seuls les matériaux réputés « inertes » (dans le contexte hydrogéologique du site à remblayer) sont autorisés et précise la liste des matériaux admissibles sous réserves des vérifications envisagées.

#### 1.1 Matériaux autorisés

Les matériaux autorisés sont :

- les matériaux extraits issus du site d'extraction ;
- les matériaux de type argileux ;
- les matériaux naturels, sables, graviers, blocs rocheux, résultant des travaux publics tels que terrassement, et n'étant pas fait l'objet d'une quelconque contamination au cours de ces travaux ;
- les déchets très issus du secteur du bâtiment (construction, démolition et réhabilitation), tels que : mortier, béton cellulaire, rebas de ciment, briques (sauf briques réfractaires), tuiles, pierres, parpaings agglomérés, céramiques, carrelages, sanitaires, verre, enduits à base de bitume, déchets de minéraux. Ces matériaux ne doivent pas contenir de plâtre et ne doivent pas être contaminés par une quelconque activité.

#### 1.2 Matériaux interdits

Tous les matériaux autres que ceux listés dans l'annexe préfectorale d'autorisation seront systématiquement refusés et retournés à celui qui est à leur origine.

Les matériaux suivants, notamment, sont interdits (liste non exhaustive) :

- les matériaux provenant d'une installation industrielle (ICPE) et n'ayant pas fait l'objet d'analyses et d'une caractérisation adaptée prouvant qu'ils sont aptes à servir de remblais dans une carrière, en eau ou non, ou un plan d'eau ;
- les terres suspectées ou considérées polluées à l'occasion de leur réception sur le site ;

- les déchets industriels spéciaux (DIS) et les déchets dangereux, comme par exemple les sous-produits générés par les activités de la métallurgie ;

- les briques réfractaires ;

- les déchets industriels banals (DIB) ;

- les matériaux putrescibles et fermentescibles tels que bois (matière organique inférieure à 5%, papiers, cartons, déchets verts, cendres ménagères) ;

- les matières synthétiques tels que caoutchouc, plastiques, résines, aérial que les métaux, quels qu'ils soient en dehors des métaux ferreux liés au béton ;

- les matériaux solubles tels que les plâtres ;

- les enduits à base de goudrons, y compris ceux résultant du démantèlement d'une chaudière de tourie ;

- les déchets non refroidis ;

- les déchets susceptibles de s'enflammer spontanément et les explosifs ;

- les matériaux non pelliculés, tels que liquides, effluents, produit de vidange, boues ne résultant pas du criblage mécanique des matériaux extraits du site lui-même.

### 2. Contrôle du bordereau de suivi des matériaux

A l'arrivée du camion le responsable de l'acceptation des matériaux contrôlera la conformité du bordereau de suivi des matériaux (modèle T2-2000 du GPEM) et le complètera si nécessaire.

L'entreprise autorisée à remblayer le site doit refuser tout chargement dont l'origine ou la nature ne garantit pas son aptitude au site. Une personne habilitée pour cette mission devra avoir autorité pour refuser un chargement dès lors que celui-ci ne sera pas conforme au bordereau de suivi ou que l'observation visuelle et olfactive aura constaté des matériaux non autorisés.

### 3. Création d'un bordereau

En l'absence de bordereau le responsable de l'acceptation des matériaux créera un bordereau T2-2000.

### 4. Archivage des bordereaux

Le bordereau sera numéroté (numérotation interne au site à remblayer) et archivé dans un classeur spécifique.

#### 5. Contrôle visuel et objectif dans le camion

Avant de procéder au déchargement, le responsable de l'acceptation des matériaux contrôlera visuellement et efficacement le chargement.

#### 6. Refus des matériaux

Si les matériaux ne sont pas conformes aux règles d'acceptation, le responsable refusera les matériaux, complètera le bordereau de suivi des matériaux destinés à l'archivage, à l'entreprise et au maître d'ouvrage. Il renseignera le registre des réceptions en précisant la nature du refus.

#### 7. Remoi des matériaux

Le responsable demandera au chauffeur du camion de quitter la courbe et de ramener les matériaux à leur point d'origine.

#### 8. Vidage en zone d'attente

Si les matériaux semblent conformes aux règles d'acceptation, le responsable autorisera le chauffeur à vider ses matériaux sur la zone d'attente désignée et lui demandera d'attendre les résultats du dernier contrôle avant de l'autoriser à quitter le site.

#### 9. Contrôle visuel et objectif sur la zone d'attente

Le responsable contrôlera visuellement et efficacement les matériaux sur la zone d'attente.

#### 10. Tri des matériaux sur la zone d'attente

Si les matériaux sont conformes aux règles d'acceptation mais contiennent des éléments physiques indésirables que l'on peut trier manuellement, le responsable procédera à ce tri.

#### 11. Rechargement des matériaux

Si les matériaux non acceptables ne peuvent être triés manuellement ou sont trop abondants, le responsable les fera recharger dans le camion et les refusera. Il complètera le bordereau de suivi des matériaux destinés à l'archivage, à l'entreprise et au maître d'ouvrage. Il renseignera le registre des réceptions en précisant la nature du refus.

#### 12. Evacuations des déchets en bennes spécifiques ou dans les camions d'apport

Les éléments physiques indésirables (en faible quantité) issus du tri manuel seront stockés dans des bennes spécifiques pour chaque type de déchets et cela est possible sur le site de stockage. Les déchets recueillis (bois, plastiques, emballages, ...) seront ensuite dirigés vers des installations d'élimination adaptées régulièrement autorisées. Dans le cas contraire ils seront rechargés dans les camions apportant les rebuts et gérés par leur propriétaire.

#### 13. Registre des réceptions

L'exploitant du site tient en permanence à jour un registre des réceptions qui précisera :

- la date et l'heure de réception des matériaux ;
- le numéro (interne au site) du bordereau de suivi dûment rempli ;
- la quantité (m<sup>3</sup>, tonnes) de chaque livraison ;
- le numéro d'immatriculation du véhicule ;
- la nature du chantier d'origine (démolition ou terrassement) ;
- les types de matériaux et leurs caractéristiques ;
- les références du lieu de remblaiement (parcelle cadastrale) ;
- les réserves ayant provoqué un refus éventuel ;
- les remarques éventuelles.

#### 14. Autorisation du départ camion

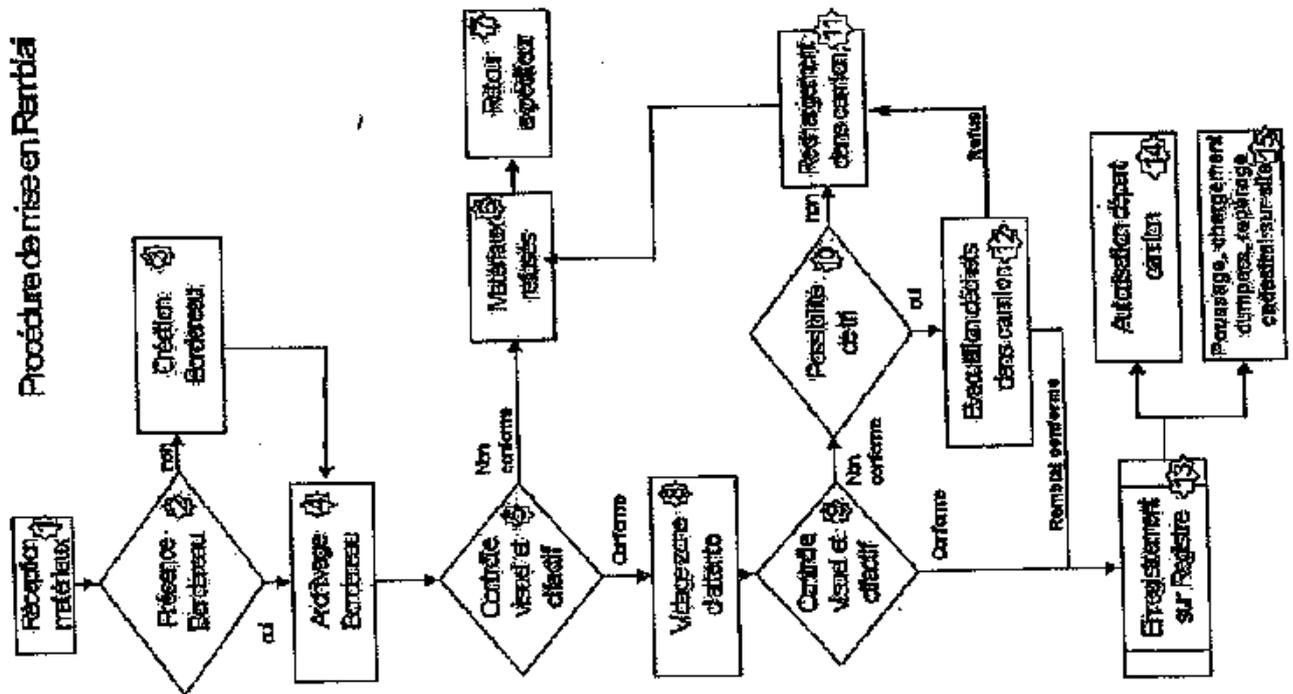
Si les matériaux déchargés sont déclarés acceptables, le responsable autorise alors le chauffeur à quitter le site.

#### 15. Remblaiement du site

Les matériaux déchargés sur la zone d'attente sont alors poussés sur le tas de chargement des dumpers.

La zone de remblaiement est tenue à jour. Emplacement positionné sur un plan cadastral.

# Procédure de mise en Rembali



## ANNEXE 3 - Pièce 4

---

Convention d'apport de déchets inertes pour le  
remblaiement de la carrière du Chemin Patelin

# Convention d'apport de déchets inertes et de terres de terrassement

**Objet de la présente convention :** Apport de matériaux inertes dans le cadre de la remise en état d'une carrière

La présente convention a pour objet l'apport de terres, gravats et déchets inertes dans le cadre du remblaiement du projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGATS. Le Projet est situé à Saint-André (97440) au lieu-dit Chemin Patelin, Parcelles BC 58, 60, 61, 81, 142, 216, 269, 270 et AZ 934 à 938.



## Engagement :

Je soussigné M. CHECKMANIN Pierre représentant légal de la société ALL IN TRANSPORT, sise Appt 2 - 20 B, rue Mahatma Gandhi 97419 LA POSSESSION - T. 0693 94 94 33, SIRET 798 256 905 00018 - APE 4941 B

m'engage à apporter des terres de terrassement, déblais et déchets inertes du BTP dans le cadre du réaménagement de la carrière qui sera située sur les parcelles susmentionnées et exploitée par la société PREFABLOC AGREGATS pour un volume annuel de 8000 m<sup>3</sup>.

Ces déblais proviendront de mon activité professionnelle du BTP.

Fait à St-André Le 07/10/2018

Pour faire valoir ce que de droit :

## Le porteur de projet :

Monsieur Fabrice VALROMEX,  
Directeur de la société PREFABLOC AGREGATS

Signature

## L'apporteur :

Signature et cachet

**ALL IN TRANSPORT**

Appt 2 - 20 B, rue Mahatma Gandhi  
97419 LA POSSESSION - T. 0693 94 94 33  
SIRET 798 256 905 00018 - APE 4941 B

# Convention d'apport de déchets inertes et de terres de terrassement

**Objet de la présente convention :** Apport de matériaux inertes dans le cadre de la remise en état d'une carrière

La présente convention a pour objet l'apport de terres, gravats et déchets inertes dans le cadre du remblaiement du projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGATS. Le Projet est situé à Saint-André (97440) au lieu-dit Chemin Patelin, Parcelles BC 58, 60, 61, 81, 142, 216, 269, 270 et AZ 934 à 938.



**Engagement :**

Je soussigné M. CHECKIMANIN Sébastien SARL TRANSPORT CHECKIMANIN la  
société SARL Transport Checkimaninoise 24 Che Souprayen - 97419 La Possession  
Tél : 0692 44 55 50  
Siret : 818 960 478 00019 - APE : 4941B

m'engage à apporter des terres de terrassement, déblais et déchets inertes du BTP dans le cadre du réaménagement de la carrière qui sera située sur les parcelles susmentionnées et exploitée par la société PREFABLOC AGREGATS pour un volume annuel de 24 000 m<sup>3</sup>.

Ces déblais proviendront de mon activité professionnelle du BTP.

Fait à St-André

Le 07/09/2018

Pour faire valoir ce que de droit :

Le porteur de projet :

Monsieur Fabrice VALROMEX,  
Directeur de la société PREFABLOC AGREGATS

Signature

L'apporteur :

Signature et cachet

**SARL TRANSPORT CHECKIMANIN**  
24 Che Souprayen - 97419 La Possession  
Tél : 0692 44 55 50  
Siret : 818 960 478 00019 - APE : 4941B

# Convention d'apport de déchets inertes et de terres de terrassement

**Objet de la présente convention :** Apport de matériaux inertes dans le cadre de la remise en état d'une carrière

La présente convention a pour objet l'apport de terres, gravats et déchets inertes dans le cadre du remblaiement du projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGATS. Le Projet est situé à Saint-André (97440) au lieu-dit Chemin Patelin, Parcelles BC 58, 60, 61, 81, 142, 216, 269, 270 et AZ 934 à 938.



**Engagement :**

Je soussigné M. MUSSARD Jean Francis, représentant légal de la société STLM, sise STLM

Société Transport Location Mussard  
27 Chemin Gazet-les-bas - 97437 Saint Anne  
GSM : 0993 83 607 68 - 0692 32 29 88  
Siret : 822 229 720 00013 - APE : 4941A

m'engage à apporter des terres de terrassement, déblais et déchets inertes dans le cadre du réaménagement de la carrière qui sera située sur les parcelles susmentionnées et exploitée par la société PREFABLOC AGREGATS pour un volume annuel de 20 000 m<sup>3</sup>.

Ces déblais proviendront de mon activité professionnelle du BTP.

Fait à St André

Le 2/04/18

Pour faire valoir ce que de droit :

Le porteur de projet :

Monsieur Fabrice VALROMEX,  
Directeur de la société PREFABLOC AGREGATS

Signature

L'apporteur :

Signature et cachet

**STLM**  
Société Transport Location Mussard  
27 Chemin Gazet-les-bas - 97437 Saint Anne  
GSM : 0692 32 29 88  
Siret : 822 229 720 00013 - APE : 4941A

# Convention d'apport de déchets inertes et de terres de terrassement

**Objet de la présente convention :** Apport de matériaux inertes dans le cadre de la remise en état d'une carrière

Le projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGATS situé à Saint-André (97440) au lieu-dit Chemin Patelin, Parcelles BC 58, 60, 61, 81, 142, 216, 269, 270 et AZ 934 à 938 prévoit une activité d'accueil de matériaux inertes du BTP sur son site. Cette activité permettra de valoriser une partie des matériaux via son installation de traitement et d'utiliser le reste pour le remblaiement de la carrière.



Cette plateforme répond à un besoin des entreprises locales qui manquent de solutions concernant la gestion de ces matériaux, qui par ailleurs, est une obligation réglementaire.

La présente convention a pour objet l'apport de terres, gravats et déchets inertes dans le cadre du remblaiement du projet de la carrière

**Engagement :**

Je soussigné M. PERIANIN ERIC ..... représentant  
légal de la société EIRL PERIANIN ERIC .....  
sise 2 Bis cité ALBIUS .....

m'engage à apporter des terres de terrassement, déblais et déchets inertes du BTP dans le cadre du réaménagement de la carrière qui sera située sur les parcelles susmentionnées et exploitée par la société PREFABLOC AGREGATS pour un volume annuel de 65,000 .....m3

Ces déblais proviendront de mon activité professionnelle du BTP.  
Fait à S<sup>te</sup> SUZANNE ..... Le 91 MAI 2018 .....

Pour faire valoir ce que de droit :

Le porteur de projet :  
Monsieur Fabrice VALROMEX,  
Directeur de la société PREFABLOC AGREGATS

Signature

L'apporteur :  
**EIRL TRANSPORTS PERIANIN ERIC**  
Signature et cachet Edmond Albius  
97441 SAINTE-SUZANNE  
Tél : 0692 86 14 96  
SIRET : 385 053 814 00021  
Email : perianineric@orange.fr

# Convention d'apport de déchets inertes et de terres de terrassement

Objet de la présente convention : Apport de matériaux inertes dans le cadre de la remise en état d'une carrière

Le projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGATS situé à Saint-André (97440) au lieu-dit Chemin Patelin, Parcelles BC 58, 60, 61, 81, 142, 216, 269, 270 et AZ 934 à 938 prévoit une activité d'accueil et de recyclage de matériaux inertes du BTP sur son site. Cette activité permettra de valoriser une partie des matériaux via son installation de traitement et d'utiliser le reste pour le remblaiement de la carrière.



Cette plateforme répond à un besoin des entreprises locales qui manquent de solutions concernant la gestion de ces matériaux, qui par ailleurs, est une obligation réglementaire.

La présente convention a pour objet l'apport de terres, gravats et déchets inertes dans le cadre du remblaiement du projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGATS.

Engagement :

Je soussigné M. SETTANIA Bernard, représentant  
légal de la société S.N.T.P.C,  
sise 160 chemin Patelin

m'engage à apporter des terres de terrassement, déblais et déchets inertes du BTP dans le cadre du réaménagement de la carrière qui sera située sur les parcelles susmentionnées et exploitée par la société PREFABLOC AGREGATS pour un volume annuel de 10000 m<sup>3</sup>.

Ces déblais proviendront de mon activité professionnelle du BTP.

Fait à Saint-André Le 02/05/18

Pour faire valoir ce que de droit :

Le porteur de projet :

Monsieur Fabrice VALROMEX,  
Directeur de la société PREFABLOC AGREGATS

L'apporteur :

  
**S.N.T.P.C**  
278 ruelle Camailon  
97440 Saint André  
Gsm : 0693 133 463  
Siret : 487 519 753 00015 - APE : 452A

# Convention d'apport de déchets inertes et de terres de terrassement

**Objet de la présente convention :** Apport de matériaux inertes dans le cadre de la remise en état d'une carrière

Le projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGATS situé à Saint-André (97440) au lieu-dit Chemin Patelin, Parcelles BC 58, 60, 61, 81, 142, 216, 269, 270 et AZ 934 à 938 prévoit une activité d'accueil de matériaux inertes du BTP sur son site. Cette activité permettra de valoriser une partie des matériaux via son installation de traitement et d'utiliser le reste pour le remblaiement de la carrière.



Cette plateforme répond à un besoin des entreprises locales qui manquent de solutions concernant la gestion de ces matériaux, qui par ailleurs, est une obligation réglementaire.

La présente convention a pour objet l'apport de terres, gravats et déchets inertes dans le cadre du remblaiement du projet de la carrière

**Engagement :**

Je soussigné M..... DELORME Jacques....., représentant  
légal de la société..... SNRL DELTRIA.....  
sise..... 9, Rue des Lilas B.P. 158 97412 Bras Pannon.....

m'engage à apporter des terres de terrassement, déblais et déchets inertes du BTP dans le cadre du réaménagement de la carrière qui sera située sur les parcelles susmentionnées et exploitée par la société PREFABLOC AGREGATS pour un volume annuel de..... 30 000.....m<sup>3</sup>

Ces déblais proviendront de mon activité professionnelle du BTP.

Fait à ..... Bras Pannon..... Le..... 11/05/2018.....

Pour faire valoir ce que de droit :

**Le porteur de projet :**

Monsieur Fabrice VALROMEX,  
Directeur de la société PREFABLOC AGREGATS

Signature

**L'apporteur :**

Signature et cachet

# Convention d'apport de déchets inertes et de terres de terrassement

**Objet de la présente convention :** Apport de matériaux inertes dans le cadre de la remise en état d'une carrière

Le projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGATS situé à Saint-André (97440) au lieu-dit Chemin Patelin, Parcelles BC 58, 60, 61, 81, 142, 216, 269, 270 et AZ 934 à 938 prévoit une activité d'accueil de matériaux inertes du BTP sur son site. Cette activité permettra de valoriser une partie des matériaux via son installation de traitement et d'utiliser le reste pour le remblaiement de la carrière.



Cette plateforme répond à un besoin des entreprises locales qui manquent de solutions concernant la gestion de ces matériaux, qui par ailleurs, est une obligation réglementaire.

La présente convention a pour objet l'apport de terres, gravats et déchets inertes dans le cadre du remblaiement du projet de la carrière

**Engagement :**

Je soussigné M<sup>r</sup> NARAYANAM EAC, représentant  
légal de la société SARL 2NV  
sise 11 Rue Michel Commins La Mare 97438 Ste Marie

m'engage à apporter des terres de terrassement, déblais et déchets inertes du BTP dans le cadre du réaménagement de la carrière qui sera située sur les parcelles susmentionnées et exploitée par la société PREFABLOC AGRÉGATS pour un volume annuel de 100 000 m<sup>3</sup>

Ces déblais proviendront de mon activité professionnelle du BTP.

Fait à Ste Marie Le .....

Pour faire valoir ce que de droit :

**Le porteur de projet :**

Monsieur Fabrice VALROMEX,  
Directeur de la société PREFABLOC AGREGATS

Signature

**L'apporteur :**

  
Signature **SARL 2NV**  
11 Rue Michel Commins La Mare  
97438 Ste Marie  
Siret : 504 352 782 00016  
Tél : 0692 02 92 04

# Convention d'apport de déchets inertes et de terres de terrassement

**Objet de la présente convention :** Apport de matériaux inertes dans le cadre de la remise en état d'une carrière

Le projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGATS situé à Saint-André (97440) au lieu-dit Chemin Patelin, Parcelles BC 58, 60, 61, 81, 142, 216, 269, 270 et AZ 934 à 938 prévoit une activité d'accueil de matériaux inertes du BTP sur son site. Cette activité permettra de valoriser une partie des matériaux via son installation de traitement et d'utiliser le reste pour le remblaiement de la carrière.



Cette plateforme répond à un besoin des entreprises locales qui manquent de solutions concernant la gestion de ces matériaux, qui par ailleurs, est une obligation réglementaire.

La présente convention a pour objet l'apport de terres, gravats et déchets inertes dans le cadre du remblaiement du projet de la carrière

**Engagement :**

Je soussigné M. HARDETA Jean Paul, représentant  
légal de la société BTP,  
sise S. André

m'engage à apporter des terres de terrassement, déblais et déchets inertes du BTP dans le cadre du réaménagement de la carrière qui sera située sur les parcelles susmentionnées et exploitée par la société PREFABLOC AGRÉGATS pour un volume annuel de 2000 m<sup>3</sup>

Ces déblais proviendront de mon activité professionnelle du BTP.

Fait à S. André Le 11 Mai 2013

Pour faire valoir ce que de droit :

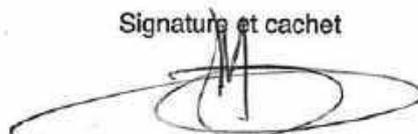
Le porteur de projet :

Monsieur Fabrice VALROMEX,  
Directeur de la société PREFABLOC AGREGATS

Signature

L'apporteur :

Signature et cachet



## ANNEXE 3 - Pièce 5

---

Résultats des analyses de sol, agronomiques et test de  
lixiviation (2018)

## Résultats des analyses agronomiques (AUREA 2018)

RAPPORT D'ESSAIS N° 11230172

**DEMANDEUR / PRESCRIPTEUR**

**SARL EMC2 ENVIRONNEMENT**  
476 rue Deschanets  
97440 SAINT ANDRE

**DESTINATAIRE**

**PREFABLOC AGREGATS**  
18 RUE JEAN COCTEAU  
97480 SAINT-JOSEPH

**PARCELLE**

N° ilot :

Référence **CARRIERE DU CHEMIN PATELIN**

Surface

X/Long

Y/Lat

Coordonnées GPS

Technicien : VIARD GAUDIN Erwann

**CARACTERISTIQUES DU SOL**

Type de sol	LIMON ARGILLO SABLEUX		
Densité apparente (T/m3)	1.3	Sol (profondeur)	Superficiel
Masse du sol (T/ha)	2300	Pierrosité	Très élevée
Profondeur de prélèvement (cm)	25 cm	Réserve en eau Facilement Utilisable (RFU) estimée sur la profondeur de prélèvement	33 mm
Sol / Sous-sol			

**N° RAPPORT**

11230172

Date de prélèvement	23/04/2018
Date de réception	30/04/2018
Date de début de l'essai	30/04/2018
Date d'édition	17/05/2018
Préleveur	
N° bon de commande	NR

**ETAT PHYSIQUE**

**Granulométrie (pour mille)**

Argiles (< 2 µm) :	<b>100</b>
Limons fins (2 à 20 µm) :	<b>190</b>
Limons grossiers (20 à 50 µm) :	<b>99</b>
Sables fins (50 à 200 µm) :	<b>162</b>
Sables grossiers (200 à 2000 µm) :	<b>449</b>

(granulométrie sans décarbonatation)

Sol non battant  
Porosité élevée

Texture selon le triangle GEPPA :

Indice de battance : **0.4**  
Indice de porosité : **4.5**  
Refus (%) : **30%**



**ETAT ORGANIQUE**

* Matière organique (%) <sup>(1)</sup>	8.1	2.2	Elevé
--	-----	-----	-------

<sup>(1)</sup> MO=carb.org × 1.72 Incertitude : ± 0.67

souhaitable

* Azote total (%) :	<b>0.316</b>	Incertitude : ± 0.015
---------------------	--------------	-----------------------

Rapport C/N	14.9	8-12	Elevé
-------------	------	------	-------

Décomposition de la MO : Rapide Lente souhaitable

Estimation du coefficient k2 (%) :	<b>0.76</b>
Estimation de l'azote minéralisable en kg/ha :	<b>56 kg/ha</b>
Estimation des pertes annuelles en MO :	<b>1429 kg/ha</b>
Stock minimal souhaitable en MO :	<b>51 t/ha</b>
Stock en matières organiques (MO) :	<b>187 t/ha</b>
Potentiel biologique : Faible	<b>66</b>

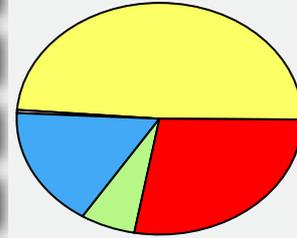
Rapport C/N élevé, décomposition lente et difficile de la matière organique.



**STATUT ACIDO-BASIQUE**

	Faible		Elevé	Incertitude
* pH eau		6.7		± 0.075
* pH KCl	5.3			± 0.077
* Calcaire total (g/kg)	<1			---
Calcaire Actif (g/kg)				---
* CaO (g/kg)	3.29			± 0.260
* CEC Metson cmol+/kg (=meq/100g)		24.2		± 1.7

**Taux d'occupation de la CEC (%)**



**Taux de saturation S/CEC (%) <sup>(2)</sup> :**

Actuel : 72.5  
Optimal : >95

<sup>(2)</sup> S = Somme des cations échangeables

**POTENTIEL NUTRITIF**

**Éléments majeurs assimilables ou échangeables**

Eléments	faible	Elevé	Incertitude	Souhaitable
* P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg) <i>Méthode Joret Hébert</i>		1.231	± 0.045	0.10 à 0.16
* P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg) <i>Méthode Olsen</i>			---	
* K <sub>2</sub> O (g/kg)		0.611	± 0.029	0.25 à 0.45
* MgO (g/kg)		0.882	± 0.052	0.14 à 0.23

K / Mg : 0.29  
Souhaitable : 0.80

K<sub>2</sub>O / MgO : 0.7  
Souhaitable : 1.9

**Oligo-éléments (unité mg/kg)**

	Risque de déficit	Risque d'excès	Incertitude	Référence
*Bore soluble			---	
Manganèse échangeable			---	
Cuivre échangeable			---	
*Cuivre EDTA			---	
*Manganèse EDTA			---	
*Fer EDTA			---	
*Zinc EDTA			---	

**Autres résultats et calculs**

	Incertitude	Souhaitable
Conductivité (mS/cm)	---	
Nickel DTPA	---	
*Sodium (Na <sub>2</sub> O g/kg)	0.031 ± 0.006	< 0.1
Potentiel REDOX (mV)	---	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Dyer (g/kg)	---	
Sulfates (mg/kg)	---	
P2O5 total (% MS)	---	

**Éléments traces métalliques totaux**

valeurs limites réglementaires selon Arrêté du 8 janvier 1998				
Teneur (mg/kg)	Incertitude	Valeur limite réglementaire	Appr.	
*Cadmium (Cd)	---	---	---	---
*Chrome (Cr)	---	---	---	---
*Cuivre (Cu)	---	---	---	---
*Mercure (Hg)	---	---	---	---
*Nickel (Ni)	---	---	---	---
*Plomb (Pb)	---	---	---	---
*Zinc (Zn)	---	---	---	---
Sélénium (Se)	---	---	---	---
Aluminium (Al)	---	---	---	---
Arsenic (As)	---	---	---	---
Bore (B)	---	---	---	---
Fer (Fe)	---	---	---	---
Cobalt (Co)	---	---	---	---
Manganèse (Mn)	---	---	---	---
Molybdène (Mo)	---	---	---	---



# CONSEILS DE FERTILISATION

N° RAPPORT

11230172

Référence

CARRIERE DU CHEMIN PATELIN

## DESTINATAIRE

PREFABLOC AGREGATS

18 RUE JEAN COCTEAU

97480 SAINT-JOSEPH

## HISTORIQUE DE FERTILISATION

	Culture	Rdt	Résidus	Apport Minéral		Apport Organique
				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Antéprécédent	CANNE A	120	Enf ouïs	OUI	OUI	OUI
Précédent	CANNE A	120	Enf ouïs	OUI	OUI	OUI
Nombre d'années sans apport P :		0		Nombre d'années sans apport K :		0

## LA MÉTHODE COMIFER

Elle a pour double objectif d'assurer une alimentation non limitante des cultures et de préserver la fertilité P et K du sol à moyen terme.

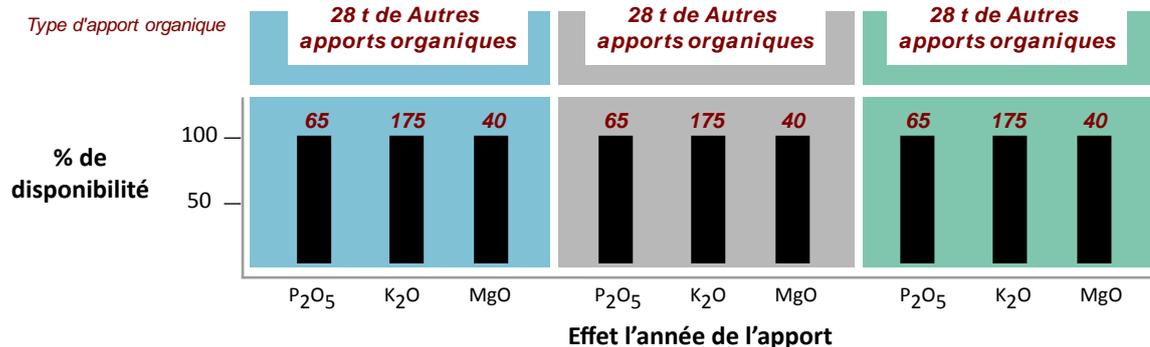
La définition de la dose P et K selon la méthode COMIFER dépend de 4 critères de raisonnement.

- **L'exigence des cultures** : différente du besoin (quantité prélevée), l'exigence traduit la sensibilité de la culture au facteur limitant qu'est la teneur du sol.
- **La teneur du sol en P et K** : son interprétation varie selon le type de sol et l'exigence de la culture. L'interprétation affichée dans le pavé « potentiel nutritif » est celle de la culture la plus exigeante des 3 prévues.
- **Le passé récent de fertilisation** : plus l'apport de fertilisants minéraux ou organiques est récent, plus la situation est favorable à la nutrition des cultures et la dose peut être réduite.
- **Les résidus de culture du précédent** : si les résidus du précédent sont ramassés, une majoration de dose sera appliquée pour compenser les éléments P et K exportés.

## MILIEU NUTRITIF ET ENVIRONNEMENTAL

	CANNE A SUCRE 130 T Enf ouïs	CANNE A SUCRE 130 T Enf ouïs	CANNE A SUCRE 130 T Enf ouïs	Objectif de la fertilisation
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Apport en Kg/ha Exigence culture	Impasse possible Elevée	Impasse possible Elevée	Impasse possible Elevée	
Apport en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> par le produit organique	65	65	65	
K <sub>2</sub> O Apport en Kg/ha Exigence culture	235 Elevée	235 Elevée	235 Elevée	
Apport en K <sub>2</sub> O par le produit organique	175	175	175	
MgO Apport en Kg/ha Exigence culture	Impasse possible Moyenne	Impasse possible Moyenne	Impasse possible Moyenne	
Apport en MgO par le produit organique	40	40	40	
Chaulage Apport conseillé en unités de valeur neutralisante	300	300	300	

## APPORTS ORGANIQUES ENVISAGES



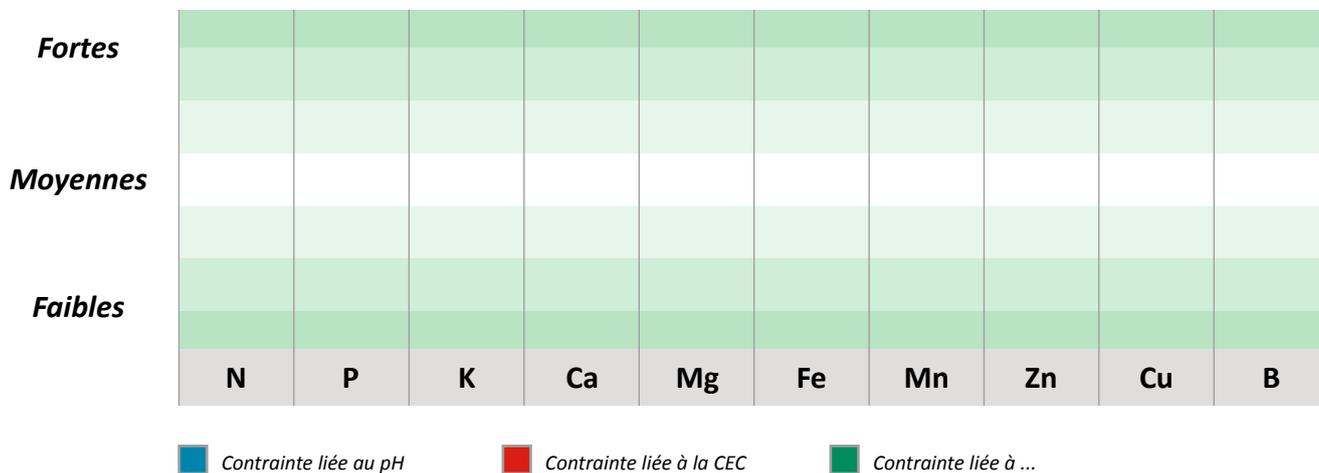
- Les apports en P, K et Mg par le produit organique sont affichés en fonction du % de disponibilité de l'élément dans le produit.

- L'étiquette au dessus de l'histogramme est l'estimation de la quantité disponible en kg/ha.

- Les apports par les produits organiques ne sont pas pris en compte dans les conseils ci-dessus.



**CONTRAINTES DU SOL SUR LA NUTRITION**



**COMMENTAIRES DE VOTRE TECHNICIEN**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Résultats du test de lixiviation (Eurofins 2018)

**EMC2 ENVIRONNEMENT**  
**Monsieur Erwann VIARD GAUDIN**  
 476 rue deschanets  
 97440 SAINT ANDRE - ILE DE LA REUNION

---

## RAPPORT D'ANALYSE

---

**Dossier N° : 18E045328**

Version du : 11/05/2018

N° de rapport d'analyse : AR-18-LK-060585-01

Date de réception : 02/05/2018

Référence Dossier : N° Projet : 001

Nom Projet : Carrière Chemin Patelin

Nom Commande : Test lixiviation sur sol - Patelin

Référence Commande :

Coordinateur de projet client : Andréa Golfier / [AndreaGolfier@eurofins.com](mailto:AndreaGolfier@eurofins.com) / +33 3 88 02 33 86

N° Ech	Matrice	Référence échantillon
001	Sol (SOL)	001

**RAPPORT D'ANALYSE**
**Dossier N° : 18E045328**

Version du : 11/05/2018

N° de rapport d'analyse : AR-18-LK-060585-01

Date de réception : 02/05/2018

Référence Dossier : N° Projet : 001

Nom Projet : Carrière Chemin Patelin

Nom Commande : Test lixiviation sur sol - Patelin

Référence Commande :

N° Echantillon

**001**

Référence client :

**001**

Matrice :

**SOL**

Date de prélèvement :

Date de début d'analyse :

03/05/2018

**Préparation Physico-Chimique**

LS896 : <b>Matière sèche</b>	% P.B.	*	67.6
XXS07 : <b>Refus Pondéral à 2 mm</b>	% P.B.	*	<1.00
XXS06 : <b>Séchage à 40°C</b>		*	-

**Indices de pollution**

LS08X : <b>Carbone Organique Total (COT)</b>	mg/kg MS	*	82800
--	----------	---	-------

**Hydrocarbures totaux**

LS919 : <b>Hydrocarbures totaux (4 tranches) (C10-C40)</b>			
Indice Hydrocarbures (C10-C40)	mg/kg MS	*	<15.0
HCT (nC10 - nC16) (Calcul)	mg/kg MS		<4.00
HCT (>nC16 - nC22) (Calcul)	mg/kg MS		<4.00
HCT (>nC22 - nC30) (Calcul)	mg/kg MS		<4.00
HCT (>nC30 - nC40) (Calcul)	mg/kg MS		<4.00

**Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs)**

LSA33 : <b>Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAPs)</b>			
Naphtalène	mg/kg MS		0.066
Acénaphthylène	mg/kg MS		<0.05
Acénaphthène	mg/kg MS		<0.05
Fluorène	mg/kg MS		<0.05
Phénanthrène	mg/kg MS		<0.05
Anthracène	mg/kg MS		<0.05
Fluoranthène	mg/kg MS		<0.05
Pyrène	mg/kg MS		<0.05
Benzo(a)-anthracène	mg/kg MS		<0.05
Chrysène	mg/kg MS		<0.05
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg MS		<0.05
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg MS		<0.05
Benzo(a)pyrène	mg/kg MS		<0.05
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg MS		<0.05
Benzo(ghi)Pérylène	mg/kg MS		<0.05
Indeno (1,2,3-cd) Pyrène	mg/kg MS		<0.05
Somme des HAP	mg/kg MS		0.066

**Polychlorobiphényles (PCBs)**

## RAPPORT D'ANALYSE

**Dossier N° : 18E045328**

Version du : 11/05/2018

N° de rapport d'analyse : AR-18-LK-060585-01

Date de réception : 02/05/2018

Référence Dossier : N° Projet : 001

Nom Projet : Carrière Chemin Patelin

Nom Commande : Test lixiviation sur sol - Patelin

Référence Commande :

N° Echantillon

**001**

Référence client :

**001**

Matrice :

**SOL**

Date de prélèvement :

Date de début d'analyse :

03/05/2018

### Polychlorobiphényles (PCBs)

**LSA42 : PCB congénères réglementaires (7)**

PCB 28	mg/kg MS	*	<0.01
PCB 52	mg/kg MS	*	<0.01
PCB 101	mg/kg MS	*	<0.01
PCB 118	mg/kg MS	*	<0.01
PCB 138	mg/kg MS	*	<0.01
PCB 153	mg/kg MS	*	<0.01
PCB 180	mg/kg MS	*	<0.01
SOMME PCB (7)	mg/kg MS		<0.01

### Composés Volatils

LS0XU : <b>Benzène</b>	mg/kg MS	*	<0.05
LS0Y4 : <b>Toluène</b>	mg/kg MS	*	<0.05
LS0XW : <b>Ethylbenzène</b>	mg/kg MS	*	<0.05
LS0Y6 : <b>o-Xylène</b>	mg/kg MS	*	<0.05
LS0Y5 : <b>m+p-Xylène</b>	mg/kg MS	*	<0.05
LS0IK : <b>Somme des BTEX</b>	mg/kg MS		<0.0500

### Lixiviation

**LSA36 : Lixiviation 1x24 heures**

Lixiviation 1x24 heures		*	Fait
Refus pondéral à 4 mm	% P.B.	*	11.1

**XXS4D : Pesée échantillon lixiviation**

Volume	ml	*	240
Masse	g	*	24.4

### Analyses immédiates sur éluat

**LSQ13 : Mesure du pH sur éluat**

pH (Potentiel d'Hydrogène)		*	7.7
Température de mesure du pH	°C		21

**LSQ02 : Conductivité à 25°C sur éluat**

Conductivité corrigée automatiquement à 25°C	µS/cm	*	171
Température de mesure de la conductivité	°C		20.9

**LSM46 : Résidu sec à 105°C (Fraction soluble) sur éluat**

Résidus secs à 105 °C	mg/kg MS	*	2700
Résidus secs à 105°C (calcul)	% MS	*	0.3

## RAPPORT D'ANALYSE

**Dossier N° : 18E045328**

Version du : 11/05/2018

N° de rapport d'analyse : AR-18-LK-060585-01

Date de réception : 02/05/2018

Référence Dossier : N° Projet : 001

Nom Projet : Carrière Chemin Patelin

Nom Commande : Test lixiviation sur sol - Patelin

Référence Commande :

N° Echantillon

**001**

Référence client :

**001**

Matrice :

**SOL**

Date de prélèvement :

Date de début d'analyse :

03/05/2018

### Indices de pollution sur éluat

LSM68 : <b>Carbone Organique par oxydation (COT) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	62
LS04Y : <b>Chlorures sur éluat</b>	mg/kg MS	*	55.0
LSN71 : <b>Fluorures sur éluat</b>	mg/kg MS	*	<5.08
LS04Z : <b>Sulfate (SO4) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	170
LSM90 : <b>Indice phénol sur éluat</b>	mg/kg MS	*	<0.51

### Métaux sur éluat

LSM04 : <b>Arsenic (As) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	<0.20
LSM05 : <b>Baryum (Ba) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	0.93
LSM11 : <b>Chrome (Cr) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	<0.10
LSM13 : <b>Cuivre (Cu) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	<0.20
LSN26 : <b>Molybdène (Mo) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	0.101
LSM20 : <b>Nickel (Ni) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	<0.10
LSM22 : <b>Plomb (Pb) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	<0.10
LSM35 : <b>Zinc (Zn) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	0.21
LS04W : <b>Mercure (Hg) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	<0.001
LSM97 : <b>Antimoine (Sb) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	0.007
LSN05 : <b>Cadmium (Cd) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	0.003
LSN41 : <b>Sélénium (Se) sur éluat</b>	mg/kg MS	*	<0.01

D : détecté / ND : non détecté

Observations	N° Ech	Réf client
Lixiviation : Conformément aux exigences de la norme NF EN 12457-2, votre échantillonnage n'a pas permis de fournir les 2kg requis au laboratoire.	(001)	001

---

**RAPPORT D'ANALYSE**

---

**Dossier N° : 18E045328**

Version du : 11/05/2018

N° de rapport d'analyse : AR-18-LK-060585-01

Date de réception : 02/05/2018

Référence Dossier : N° Projet : 001

Nom Projet : Carrière Chemin Patelin

Nom Commande : Test lixiviation sur sol - Patelin

Référence Commande :

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 8 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai.

Seules certaines prestations rapportées dans ce document sont couvertes par l'accréditation. Elles sont identifiées par le symbole \*.

L'information relative au seuil de détection d'un paramètre n'est pas couverte par l'accréditation Cofrac.

Les résultats précédés du signe < correspondent aux limites de quantification, elles sont la responsabilité du laboratoire et fonction de la matrice.

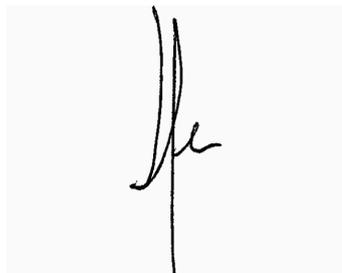
Tous les éléments de traçabilité sont disponibles sur demande.

Pour les résultats issus d'une sous-traitance, les rapports émis par des laboratoires accrédités sont disponibles sur demande.

Laboratoire agréé par le ministre chargé de l'environnement - se reporter à la liste des laboratoires sur le site internet de gestion des agréments du ministère chargé de l'environnement : <http://www.labeau.ecologie.gouv.fr>

Laboratoire agréé pour la réalisation des prélèvements et des analyses terrains et/ou des analyses des paramètres du contrôle sanitaire des eaux – portée détaillée de l'agrément disponible sur demande.

Laboratoire agréé par le ministre chargé des installations classées conformément à l'arrêté du 11 Mars 2010. Mention des types d'analyses pour lesquels l'agrément a été délivré sur : [www.eurofins.fr](http://www.eurofins.fr) ou disponible sur demande.



Mathieu Hubner  
Coordinateur de Projets Clients

## Annexe technique

**Dossier N° : 18E045328**

N° de rapport d'analyse : AR-18-LK-060585-01

Emetteur :

Commande EOL : 006-10514-332916

Nom projet : Carrière Chemin Patelin

Référence commande :

**Sol**

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Unité	Prestation réalisée sur le site de :
LS04W	Mercuré (Hg) sur éluat	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2 / NF EN 16192	0.001	mg/kg MS	Eurofins Analyse pour l'Environnement France
LS04Y	Chlorures sur éluat	Spectrophotométrie (UV/VIS) [Spectrométrie visible automatisée] - NF EN 16192 - NF ISO 15923-1	10	mg/kg MS	
LS04Z	Sulfate (SO4) sur éluat		50	mg/kg MS	
LS08X	Carbone Organique Total (COT)	Combustion [sèche] - NF ISO 10694	1000	mg/kg MS	
LS0IK	Somme des BTEX	Calcul - Calcul		mg/kg MS	
LS0XU	Benzène	HS - GC/MS [Extraction méthanolique] - NF EN ISO 22155 (sol) ou Méthode interne (boue, séd)	0.05	mg/kg MS	
LS0XW	Ethylbenzène		0.05	mg/kg MS	
LS0Y4	Toluène		0.05	mg/kg MS	
LS0Y5	m+p-Xylène		0.05	mg/kg MS	
LS0Y6	o-Xylène		0.05	mg/kg MS	
LS896	Matière sèche	Gravimétrie - NF ISO 11465	0.1	% P.B.	
LS919	Hydrocarbures totaux (4 tranches) (C10-C40)  Indice Hydrocarbures (C10-C40) HCT (nC10 - nC16) (Calcul) HCT (>nC16 - nC22) (Calcul) HCT (>nC22 - nC30) (Calcul) HCT (>nC30 - nC40) (Calcul)	GC/FID [Extraction Hexane / Acétone] - NF EN ISO 16703 (Sols) - NF EN 14039 (Boue, Sédiments)	15	mg/kg MS mg/kg MS mg/kg MS mg/kg MS mg/kg MS	
LSA33	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (16 HAPs)  Naphthalène Acénaphthylène Acénaphthène Fluorène Phénanthrène Anthracène Fluoranthène Pyrène Benzo-(a)-anthracène Chrysène Benzo(b)fluoranthène Benzo(k)fluoranthène Benzo(a)pyrène Dibenzo(a,h)anthracène Benzo(ghi)Pérylène Indeno (1,2,3-cd) Pyrène Somme des HAP	GC/MS/MS [Extraction Hexane / Acétone] - NF ISO 18287 (Sols) - XP X 33-012 (boue, sédiment)	0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05	mg/kg MS mg/kg MS	
LSA36	Lixiviation 1x24 heures  Lixiviation 1x24 heures Refus pondéral à 4 mm	Lixiviation [Ratio L/S = 10 l/kg - Broyage par concasseur à mâchoires] - NF EN 12457-2	0.1	% P.B.	
LSA42	PCB congénères réglementaires (7)  PCB 28 PCB 52	GC/MS/MS [Extraction Hexane / Acétone] - NF EN 16167 (Sols) - XP X 33-012 (boue, sédiment)	0.01 0.01	mg/kg MS mg/kg MS	

## Annexe technique

**Dossier N° : 18E045328**

N° de rapport d'analyse : AR-18-LK-060585-01

Emetteur :

Commande EOL : 006-10514-332916

Nom projet : Carrière Chemin Patelin

Référence commande :

### Sol

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Unité	Prestation réalisée sur le site de :
	PCB 101		0.01	mg/kg MS	
	PCB 118		0.01	mg/kg MS	
	PCB 138		0.01	mg/kg MS	
	PCB 153		0.01	mg/kg MS	
	PCB 180		0.01	mg/kg MS	
	SOMME PCB (7)			mg/kg MS	
LSM04	Arsenic (As) sur éluat	ICP/AES - NF EN ISO 11885 / NF EN 16192	0.2	mg/kg MS	
LSM05	Baryum (Ba) sur éluat		0.1	mg/kg MS	
LSM11	Chrome (Cr) sur éluat		0.1	mg/kg MS	
LSM13	Cuivre (Cu) sur éluat		0.2	mg/kg MS	
LSM20	Nickel (Ni) sur éluat		0.1	mg/kg MS	
LSM22	Plomb (Pb) sur éluat		0.1	mg/kg MS	
LSM35	Zinc (Zn) sur éluat		0.2	mg/kg MS	
LSM46	Résidu sec à 105°C (Fraction soluble) sur éluat Résidus secs à 105 °C Résidus secs à 105°C (calcul)	Gravimétrie - NF T 90-029 / NF EN 16192	2000	mg/kg MS	
			0.2	% MS	
LSM68	Carbone Organique par oxydation (COT) sur éluat	Spectrophotométrie (IR) [Oxydation à chaud en milieu acide] - NF EN 16192 - NF EN 1484 - Adaptée de NF EN 1484 (hors Sol)	50	mg/kg MS	
LSM90	Indice phénol sur éluat	Flux continu - NF EN ISO 14402 (adaptée sur sédiment, boue) - NF EN 16192	0.5	mg/kg MS	
LSM97	Antimoine (Sb) sur éluat	ICP/MS - NF EN ISO 17294-2 / NF EN 16192	0.002	mg/kg MS	
LSN05	Cadmium (Cd) sur éluat		0.002	mg/kg MS	
LSN26	Molybdène (Mo) sur éluat		0.01	mg/kg MS	
LSN41	Sélénium (Se) sur éluat		0.01	mg/kg MS	
LSN71	Fluorures sur éluat	Electrométrie [Potentiometrie] - NF T 90-004 (adaptée sur sédiment, boue) - NF EN 16192	5	mg/kg MS	
LSQ02	Conductivité à 25°C sur éluat  Conductivité corrigée automatiquement à 25°C Température de mesure de la conductivité	Potentiométrie [Méthode à la sonde] - NF EN 27888 / NF EN 16192		µS/cm	
				°C	
LSQ13	Mesure du pH sur éluat pH (Potentiel d'Hydrogène) Température de mesure du pH	Potentiométrie - NF EN ISO 10523 / NF EN 16192		°C	
XXS06	Séchage à 40°C	Séchage - NF ISO 11464			
XXS07	Refus Pondéral à 2 mm	Gravimétrie - NF ISO 11464	1	% P.B.	
XXS4D	Pesée échantillon lixiviation Volume Masse	Gravimétrie -		ml	
				g	

## Annexe de traçabilité des échantillons

*Cette traçabilité recense les flaconnages des échantillons scannés dans EOL sur le terrain avant envoi au laboratoire*

**Dossier N° : 18E045328**

N° de rapport d'analyse : AR-18-LK-060585-01

Emetteur :

Commande EOL : 006-10514-332916

Nom projet : N° Projet : 001

Référence commande :

Carrière Chemin Patelin

Nom Commande : Test lixiviation sur sol - Patelin

### Sol

Référence Eurofins	Référence Client	Date&Heure Prélèvement	Code-barre	Nom flacon
18E045328-001	001			

## ANNEXE 3 - Pièce 6

---

Résultats des tests de perméabilité réalisés sur des Sous-Produits de Combustion enfouis au sein d'un niveau d'alluvions et compactés (SEGC, 2018)

**SEGC**

LABORATOIRE D'ANALYSE ET DE CONTRÔLE  
Géologie - Géotechnique - Hydrogéologie - Assainissement - Environnement - Matériaux

**DÉPARTEMENT DE LA RÉUNION**

**COMMUNE DE PETITE ILE**

**PERMEABILITE  
SOUS-PRODUITS DE COMBUSTION  
(CENDRES VOLANTES + SCORIES)**

---

**PREFABLOC**

---

**ESSAIS LABORATOIRE**



AVRIL 2018

DOSSIER N°5569 – RAPPORT N°28 008

Affaire suivie par B. LEFEU et B. QUERE

# SOMMAIRE

1. CADRE DE L'ETUDE.....	1
2. DONNEES PREALABLES.....	1
3. PROTOCOLE D'ESSAI.....	1
4. RESULTATS DE L'ESSAI .....	2
4.1. Teneur en eau et analyse granulométrique.....	2
4.2. Essai Proctor normal .....	2
4.3. Essai de perméabilité.....	2
5. CONCLUSION.....	3

## 1. CADRE DE L'ETUDE

A la demande du Bureau d'Etudes EMC2 et pour le compte de la société PREFABLOC, le laboratoire SEGC a procédé à des essais en laboratoire visant à déterminer la perméabilité de sous-produits de combustion (cendres volantes + scories).

*Date d'essai : semaine 16/2018 (du 16 au 20 avril 2018)*

## 2. DONNEES PREALABLES

Les matériaux objets des essais ont été prélevés par ALBIOMA Bois Rouge.

Les échantillons contiennent des éléments solides (des scories) de diamètre pouvant atteindre 35mm (voir photo ci-dessous).



## 3. PROTOCOLE D'ESSAI

Compte tenu de la présence d'éléments solides de  $\varnothing > 5\text{mm}$ , une mesure de la teneur en eau et une analyse granulométrique ont été nécessaires.

Un essai Proctor normal a ensuite été réalisé, avec les caractéristiques suivantes : mise en œuvre de 3 couches de 5cm et compactage en 25 coups au moyen de la dame de 3.2kg. A l'issue de cet essai, la teneur en eau optimale est déterminée.

Le matériau est alors réhydraté pour atteindre cette teneur en eau optimale.

Puis le matériau est mis en œuvre, dans le « gros » moule Proctor ( $\varnothing 25\text{cm}$ , hauteur 20cm), avec les caractéristiques suivantes : 2 couches de 10 cm, compactage en 22 coups au moyen de la dame de 15kg. La hauteur finale du matériau compacté au sein du moule est de 9,8 cm.



Le moule et son contenu sont alors disposés sur un matériau drainant (en l'occurrence des matériaux non compactés), un géotextile étant positionné à l'interface cendres volantes / matériaux drainants.

De l'eau est ajoutée jusqu'à ce que le matériau testé soit saturé. Une fois cette saturation obtenue, l'essai d'infiltration peut débuter.

De l'eau est versée dans le moule jusqu'à une cote mesurée et enregistrée ( $a_1$ ). On note alors l'horaire initial de prise de mesure,  $t_i$ . Après un laps de temps ( $\Delta t$ ), on relève le niveau d'eau ( $a_2$ ) ainsi que l'horaire final ( $t_f$ ).

Le volume d'eau « manquant » sur l'intervalle de temps  $\Delta t$  permet de calculer la valeur de perméabilité du sol testé.

Lors de cette campagne d'essais, 2 tests de perméabilité ont été réalisés sur le même échantillon de matériau compacté et saturé en eau.

## 4. RESULTATS DE L'ESSAI

### 4.1. Teneur en eau et analyse granulométrique

Les résultats des essais de teneur en eau et analyse granulométrique sont présentés en [annexe 1](#).

### 4.2. Essai Proctor normal

Les résultats de l'essai de Proctor normal déterminant la teneur en eau optimale sont présentés en [annexe 2](#).

### 4.3. Essai de perméabilité

Les essais de perméabilités réalisés en laboratoire offrent les résultats suivants :

Nom de l'essai	K1	K2
Surface d'infiltration concernée par l'essai	49062,5 mm <sup>2</sup>	
Durée de la mesure	3,5 h	1,62 h
Volume d'eau infiltré	1226562,5 mm <sup>3</sup>	490625 mm <sup>3</sup>
Perméabilité	1,98.10 <sup>-6</sup> m/s	1,71.10 <sup>-6</sup> m/s
	7 mm/h	6 mm/h

Les perméabilités mesurées dans les sous-produits de combustion correspondent à un sol « très peu perméable » ( $K < 15$  mm/h), au sens de la norme NF DTU 64.1 du 10/08/2013.

Les résultats des essais de perméabilité réalisés sont présentés en [annexe 3](#).

## 5. CONCLUSION

D'après les résultats de l'étude, les sous-produits de combustion sont de « très faible perméabilité », comprise entre 6 et 7 mm/h, et ne sont donc **pas propices à l'infiltration des eaux pluviales**.

D'après l'expérience de SEGC et les données de perméabilité moyennes récoltées à La Réunion sur les essais qu'elle a pu mener, la perméabilité dans les alluvions sablo-limoneuses est estimée aux alentours de 150 mm/h.

Une poche de sous-produits de combustion enfouie au sein d'un niveau d'alluvions et compactées par la circulation d'engins en surface **diviserait donc par plus de 20 fois la perméabilité du milieu naturel**.

Fait à Saint Paul le 23 avril 2018

Co-rédigé par

Le Responsable du Laboratoire

&

Le chargé d'études eau / sol /  
environnement

Benoit LEFEU

**SEGC**

Sarl au capital de 100 000 Euros  
8 av. Rivière des Galets  
CAMBAIE - 97460 SAINT PAUL  
Tél. 0262 45 50 17 - Fax. 0262 22 50 01  
SIRET 399 172 733 00020  
RC 94 B 598 / APE : 731 Z

Benoit QUERE

**SEGC**

Sarl au capital de 100 000 Euros  
8 av. Rivière des Galets  
CAMBAIE - 97460 SAINT PAUL  
Tél. 0262 45 50 17 - Fax. 0262 22 50 01  
SIRET 399 172 733 00020  
RC 94 B 598 / APE : 731 Z

**ANNEXE N°1 :**

**RAPPORT D'ESSAI**

**TENEUR EN EAU**  
**ANALYSE**  
**GRANULOMETRIQUE**

**SEGC**

LABORATOIRE D'ANALYSE ET DE CONTRÔLE  
Géologie - Géotechnique - Hydrogéologie - Assainissement - Environnement - Matériaux

**Analyse granulométrique par tamisage (NF P94-056 de 03/96)**

**N : 27 976**

Dossier n° :	D 5569	Producteur :	/
Ech. n° :	E 3706	Date de prél. :	09/04/2018      Technicien : S.B.
Client :	PREFABLOC	Date de récep. :	09/04/2018
Chantier :	STOCK ALBIOMA SAINT LOUIS	Date d'essai :	10/04 au 18/04/2018
Nature :	Cendres	Lieu de prél. :	/      Prof : /

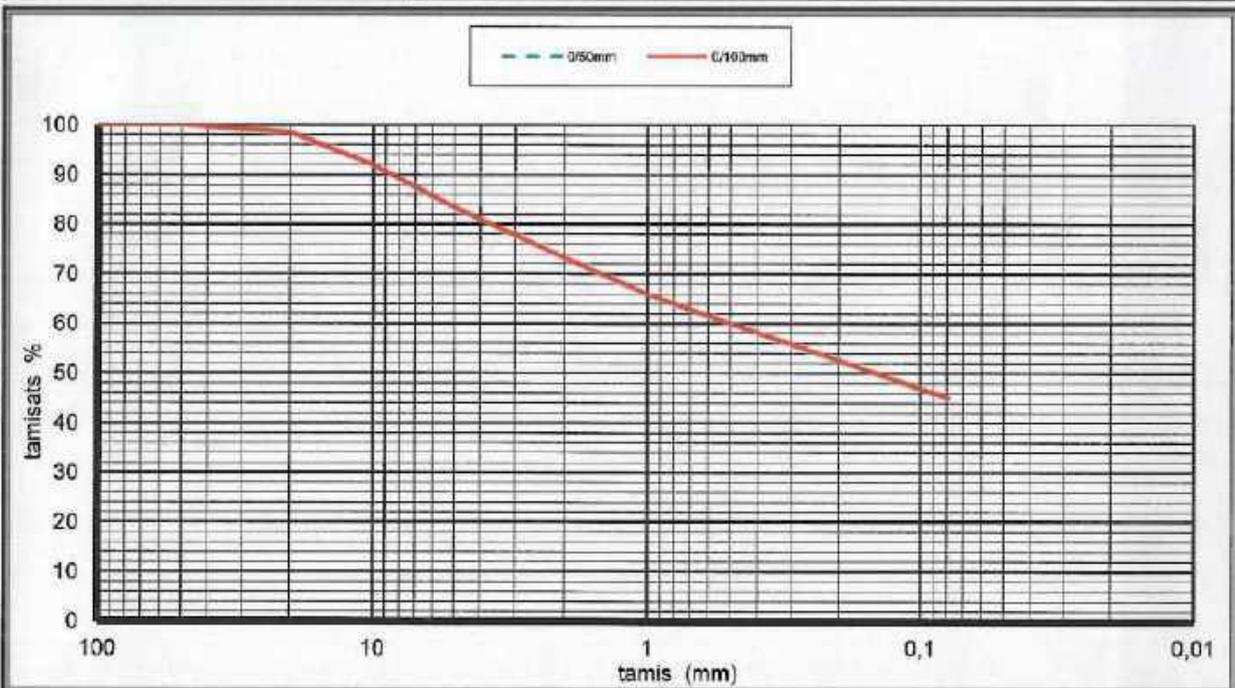
maille (mm)	100	80	60	20	10	5	2	1	0,5	0,08
0/100mm	100	100	100	98,6	91,9	83,4	73,2	65,9	60,0	45,1
0/50mm			100	98,6	91,9	83,4	73,2	65,9	60,0	45,1

**Caractéristiques du sol :**

**Classification GTR :**

w% = 47,3 (NF P 94-050)  
 VBS = (NF P 94-068)  
 OPN = 1,01 T/m<sup>3</sup> (NF P 94-093)  
 W<sub>OPN</sub> = 36,5 % (NF P 94-093)

γ<sub>s</sub> = 2,10 Mesurée  
 L.A = (NF EN 1097-2)  
 M.D.E = (NF EN 1097-1)



**Observations :**

L'Adjoint au Responsable Laboratoire  
Yohven VENCATAPILLAY

*Yohven*

**ANNEXE N°2 :**

**RAPPORT D'ESSAI**

**ESSAI PROCTOR NORMAL**

**SEGC**  
 LABORATOIRE D'ANALYSE ET DE CONTRÔLE  
 Géologie - Géotechnique - Hydrogéologie - Assainissement - Environnement - Matériaux

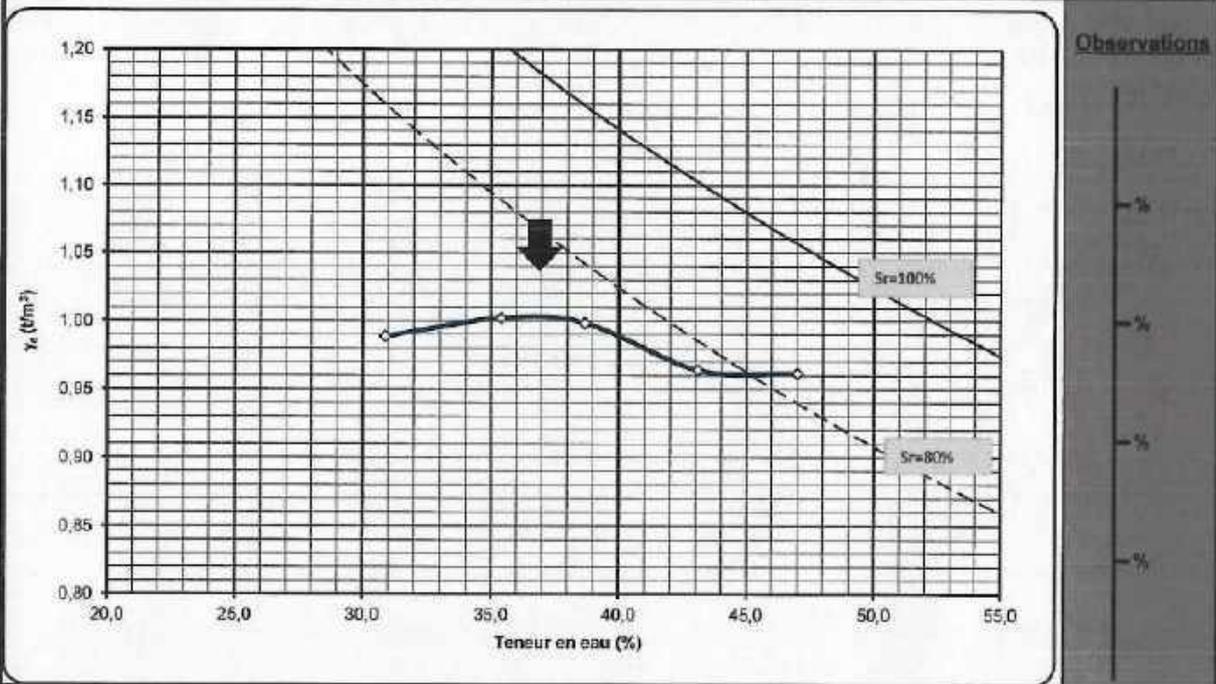
**Essai Proctor**  
 (NF P 94-093 de 10/14)

N : 27 977

N° dossier	: 5569	Provenance	: STOCK ALBIOMA				
N° échantillon	: E3706	Lieu préf.	: /				
Client	: PREFABLOC	Date préf.	: 09/04/2018				
Chantier	: STOCK ALBIOMA	Type d'essai	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>NORMAL</td><td>MOBIELE</td></tr><tr><td>PROCTOR</td><td>CBR</td></tr></table>	NORMAL	MOBIELE	PROCTOR	CBR
NORMAL	MOBIELE						
PROCTOR	CBR						
Nature échantillon	<b>Cendres</b>	Type de moule					

Refus à 20 mm (%) :	1,4	Masse volumique grains (t/m³):	2,10 <i>(mesurée)</i>
---------------------	-----	--------------------------------	-----------------------

Teneur en eau naturel :	46,9 % (0/20 mm)	Masse volumique optimum (t/m³) :	$\rho_{d,OPN} = 1,00$
Teneur en eau optimale :	37,0 % (0/20 mm)		
Teneur en eau corrigée :	<b>36,5 % (0/Dmax)</b>	Masse volumique corrigée (t/m³) :	$\rho_{d,OPN} = 1,01$



Observations

— %

— %

— %

— %

Commentaires :

L'Adjoint au Responsable Laboratoire  
 Yohwon VENCATAPILLAY  
*Yohwon*

**ANNEXE N°3 :**

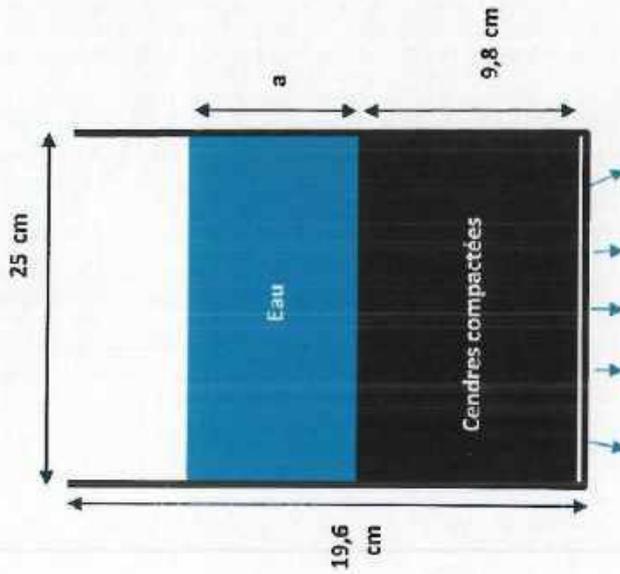
**FICHE DE CALCULS**

**TESTS DE PERMEABILITE**

PERMEABILITE CENDRES VOLANTES

PREFABLOC

ESSAIS LABORATOIRE



Date	t	a	Veau
18/04/2018	15:10:00	9	4415,625 cm <sup>3</sup> → 4415625 mm <sup>3</sup>
18/04/2018	18:40:00	6,5	3189,0625 cm <sup>3</sup> → 3189062,5 mm <sup>3</sup>
$\Delta$	03:30:00	2,5	1226,5625 cm <sup>3</sup> → 1226562,5 mm <sup>3</sup>

Soit 1226562,5 mm<sup>3</sup> infiltré en 3,50 heures sur une surface d'infiltration de 49062,5 mm<sup>2</sup>  
 Donc une perméabilité de 7,142857143 mm/h  
 soit 1,98E-06 m/s

Date	t	a	Veau
20/04/2018	08:58:00	3,8	1864,375 cm <sup>3</sup> → 1864375 mm <sup>3</sup>
20/04/2018	10:35:00	2,8	1373,75 cm <sup>3</sup> → 1373750 mm <sup>3</sup>
$\Delta$	01:37:00	1	490,625 cm <sup>3</sup> → 490625 mm <sup>3</sup>

Soit 490625 mm<sup>3</sup> infiltré en 1,62 heures sur une surface d'infiltration de 49062,5 mm<sup>2</sup>  
 Donc une perméabilité de 6,172839506 mm/h  
 soit 1,71E-06 m/s

SEGC / LABORATOIRE / BL / D5569 / N28008 / 2018

## ANNEXE 3 - Pièce 7

Calcul du volume à mettre en rétention (Procédure D9A)

Tableau 3 – Détermination du débit requis

DESCRIPTION SOMMAIRE DU RISQUE (...)				
CRITERE	COEFFICIENTS ADDITIONNELS	COEFFICIENTS RETENUS POUR LE CALCUL		COMMENTAIRES
		Activité	Stockage	
<b>HAUTEUR DE STOCKAGE <sup>(1)</sup></b> - Jusqu'à 3 m - Jusqu'à 8 m - Jusqu'à 12m - Au-delà de 12m	0 + 0,1 + 0,2 + 0,5	0	0	
<b>TYPE DE CONSTRUCTION <sup>(2)</sup></b> - ossature stable au feu ≥ 1 heure - ossature stable au feu ≥ 30 minutes - ossature stable au feu < 30 minutes	- 0,1 0 + 0,1	0	0	
<b>TYPES D'INTERVENTIONS INTERNES</b> - accueil 24H/24 (présence permanente à l'entrée) - DAI généralisée reportée 24H/24 7J/7 en télésurveillance ou au poste de secours 24 H/24 lorsqu'il existe, avec des consignes d'appels. - service de sécurité incendie 24h/24 avec moyens appropriés équipe de seconde intervention, en mesure d'intervenir 24h/24)	- 0,1 - 0,1 - 0,3 *	-0,1	-0,1	
<b>Σ coefficients</b>		-0,1	-0,1	
<b>1+ Σ coefficients</b>		0,9	0,9	
<b>Surface de référence (S en m<sup>2</sup>)</b>		865	60	
<b><math>Q_i = 30 \times \frac{S}{500} \times (1 + \Sigma \text{Coef})</math> <sup>(3)</sup></b>		66,11	3,24	
<b>Catégorie de risque <sup>(4)</sup></b> Risque 1 : Q1 = Qi x 1 Risque 2 : Q2 = Qi x 1,5 Risque 3 : Q3 = Qi x 2		66,11	3,24	
<b>Risque sprinklé <sup>(5)</sup> : Q1, Q2 ou Q3 ÷ 2</b>				
<b>DEBIT REQUIS <sup>(6) (7)</sup> (Q en m<sup>3</sup>/h)</b>		49,95	⇒ 60 m <sup>3</sup> /h	

<sup>(1)</sup> Sans autre précision, la hauteur de stockage doit être considérée comme étant égale à la hauteur du bâtiment moins 1 m (cas des bâtiments de stockage).  
<sup>(2)</sup> Pour ce coefficient, ne pas tenir compte du sprinkleur.  
<sup>(3)</sup> Qi : débit intermédiaire du calcul en m<sup>3</sup>/h.  
<sup>(4)</sup> La catégorie de risque est fonction du classement des activités et stockages (voir annexe 1).  
<sup>(5)</sup> Un risque est considéré comme sprinklé si :  
 - protection autonome, complète et dimensionnée en fonction de la nature du stockage et de l'activité réellement présente en exploitation, en fonction des règles de l'art et des référentiels existants ;  
 - installation entretenue et vérifiée régulièrement ;  
 - installation en service en permanence.  
<sup>(6)</sup> Aucun débit ne peut être inférieur à 60 m<sup>3</sup>/h.  
<sup>(7)</sup> La quantité d'eau nécessaire sur le réseau sous pression (cf. § 5 alinéa 5) doit être distribuée par des hydrants situés à moins de 100 m des entrées de chacune des cellules du bâtiment et distants entre eux de 150 m maximum.  
 \* Si ce coefficient est retenu, ne pas prendre en compte celui de l'accueil 24h/24.

**2.2 TABLEAU DE CALCUL DU VOLUME À METTRE EN RÉTENTION**

Besoins pour la lutte extérieure		Résultat document D9 : (Besoins x 2 heures au minimum)	120
		+	+
Moyens de lutte intérieure contre l'incendie	Sprinkleurs	volume réserve intégrale de la source principale ou besoins x durée théorique maxi de fonctionnement	0
		+	+
	Rideau d'eau	besoins x 90 mn	0
		+	+
	RIA	A négliger	0,00
		+	+
	Mousse HF et MF	Débit de solution moussante x temps de noyage (en gal. 15-25 mn)	0
		+	+
	Brouillard d'eau et autres systèmes	Débit x temps de fonctionnement requis	0
		+	+
Volumes d'eau liés aux intempéries		10 l/m <sup>2</sup> de surface de drainage	1250
		+	+
Présence stock de liquides		20% du volume contenu dans le local contenant le plus grand volume	4
		-	-
Volume total de liquide à mettre en rétention			136,5

=> 137 m<sup>3</sup>

## Etudes techniques indépendantes

## ANNEXE 4 - Pièce 1

---

Compte-rendu des sondages carottés réalisées en 2011  
(GINGER CEBTP)

*Vous aider à construire l'avenir*

INGENIERIE EUROPE

GROUPE



GINGER CEBTP

**NOVEMBRE 2011**

Dossier : IRE2.B.90072

## **INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES**

**HOLCIM**

**Projet de Carrière - Carottages**

**Saint André**

**Agence de La Réunion**  
ZA Ravine à Marquet  
Rue Antanifotsy  
97419 LA POSSESSION

Téléphone : 02.62.49.49.01  
Télécopie : 02.62.49.83.57  
Email : [cebtp.lareunion@gingergroupe.com](mailto:cebtp.lareunion@gingergroupe.com)

<i>HOLCIM</i> <b>PROJET DE CARRIERE - CAROTTAGES</b> Saint André RAPPORT - Investigations géotechniques							
Dossier : IRE2.B.90072		Réf. rapport : IRE2.B.90072- 001			Contrat : IRE2.B.0013		
Indice	Date	Chargé d'affaire	Visa	Vérifié par	Visa	Contenu	Observations
1	23/11/11	Camille CHAGNON		Gaëtan BARBARIN		8 pages 3 annexes	

A compter du paiement intégral de la mission, le client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser à condition de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui y figurent et notamment les conditions de validité et d'application du rapport.

## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>PLANS DE SITUATION .....</b>	<b>4</b>
1.1	Extrait de carte IGN .....	4
1.2	Image aérienne .....	4
<b>2</b>	<b>CONTEXTE DE L'ETUDE.....</b>	<b>5</b>
2.1	Données générales.....	5
2.1.1	Généralités .....	5
2.1.2	Documents communiqués .....	5
2.2	Description du site .....	5
2.3	Mission GINGER CEBTP .....	6
<b>3</b>	<b>INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES.....</b>	<b>7</b>
3.1	Implantation et nivellement .....	7
3.2	Sondages, essais et mesures in situ .....	7
3.2.1	Investigations in situ.....	7
3.2.2	Synthèse des investigations .....	8
3.2.3	Piézométrie.....	8

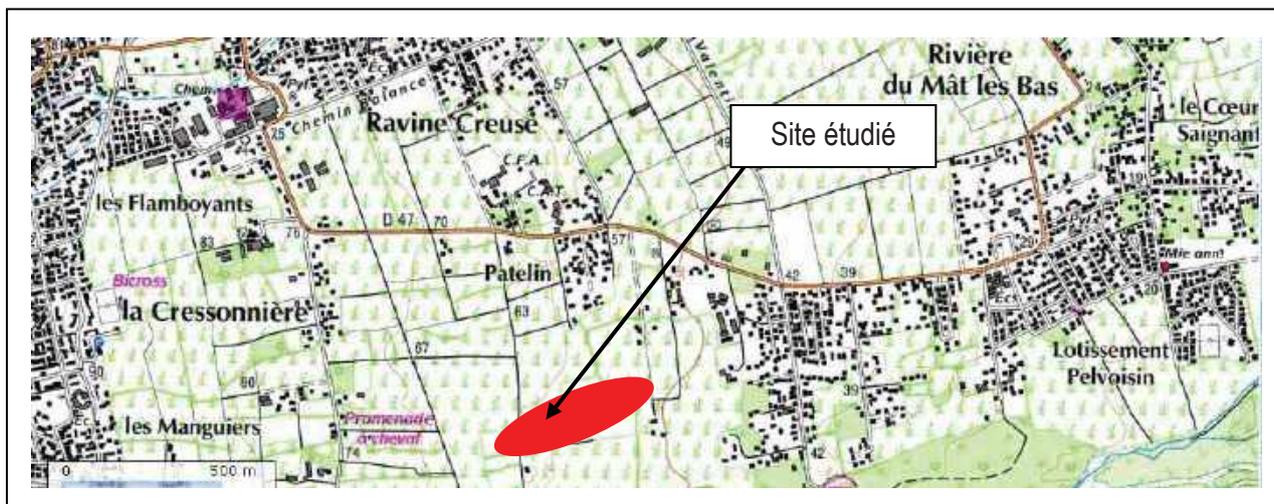
**ANNEXE 1 – NOTES GENERALES SUR LES MISSIONS GEOTECHNIQUES**

**ANNEXE 2 – PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES**

**ANNEXE 3 – SONDAGES CAROTTES**

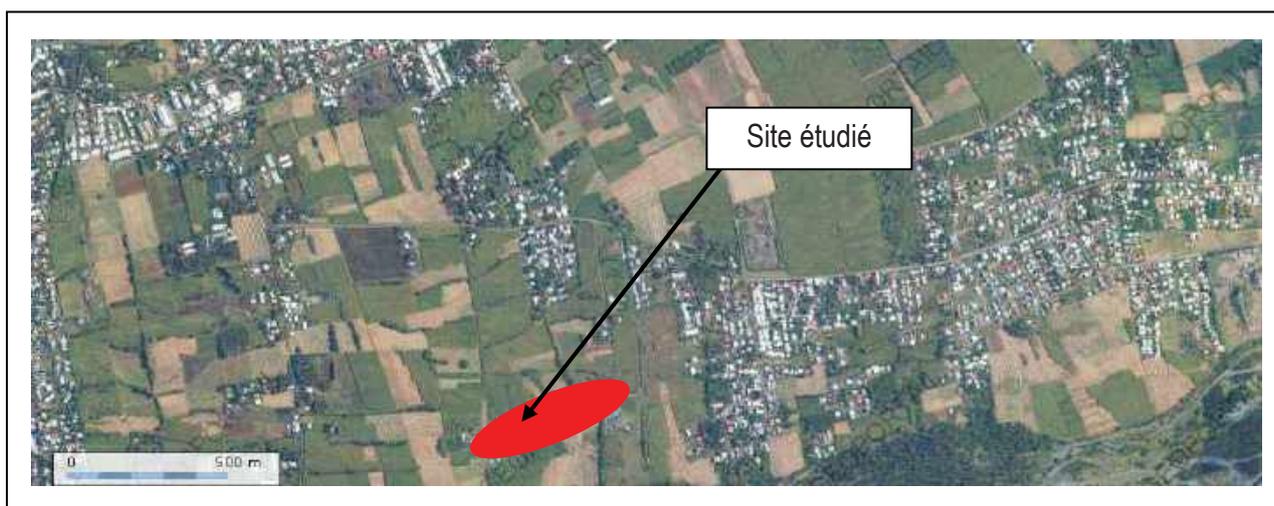
## 1 PLANS DE SITUATION

### 1.1 Extrait de carte IGN



Source : [www.geoportail.fr](http://www.geoportail.fr)

### 1.2 Image aérienne



Source : [www.geoportail.fr](http://www.geoportail.fr)

## 2 CONTEXTE DE L'ETUDE

### 2.1 Données générales

#### 2.1.1 Généralités

Nom de l'opération : Projet de Carrière - Carottages  
Localisation / adresse : chemin Patelin – Ravine Creuse  
Commune : Saint André  
Code postal : 97440  
Demandeur et client de la mission : HOLCIM

#### 2.1.2 Documents communiqués

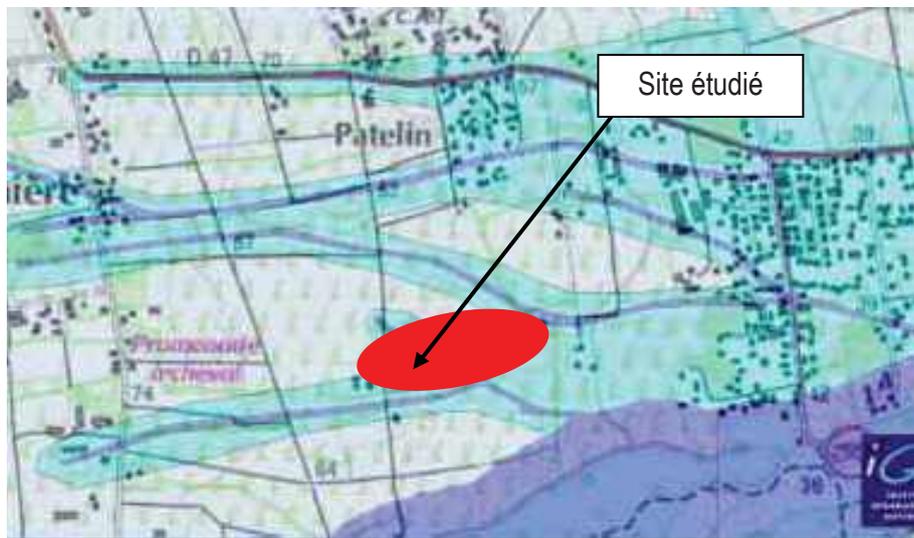
N°	Document	Origine / référence
1	Rapport géophysique IDDOI	Réf. RE 11033-4 / 03/08/11

### 2.2 Description du site

Le terrain concerné par les investigations se situe sur le territoire de la commune de Saint André, dans le secteur de Ravine Creuse, dans les champs de cannes au Sud du chemin Patelin. D'après la carte IGN de Saint Benoit Saint André, l'attitude du secteur varie entre 55 et 65 m NGR.

D'après notre expérience locale et le feuillet 2 de la carte géologique de La Réunion à l'échelle 1/50000, le site serait constitué des Alluvions Fluviales Anciennes (Fy2) constituées de sables, graviers, galets et blocs de basalte.

Le Plan de Prévention des Risques (PPR) vis-à-vis des inondations de la commune de Saint André est actuellement en phase de porté à connaissance et indique que le site étudié se situe ponctuellement en zone d'aléa moyen à fort vis-à-vis des inondations.



Les données piézométriques fournies par l'office de l'eau (forage de la Ravine Creuse n°2) indiquent la présence de la nappe entre 14 et 29 m NGR.

### **2.3 Mission GINGER CEBTP**

La mission de GINGER CEBTP est conforme au contrat n° IRE9.B0013.

Il s'agit d'une Investigations géotechniques selon la norme AFNOR NF P 94-500 de décembre 2006 sur les missions d'ingénierie géotechnique.

La mission comprend, conformément au contrat, les prestations suivantes :

- Procéder à l'exécution de sondages, d'essais et de mesures géotechniques selon un programme défini par GINGER CEBTP.
- Décrire les faciès géologiques du site au droit des sondages.
- Fournir la coupe des sondages, les résultats des essais et des mesures.
- Rédiger un compte rendu en 3 exemplaires dont 1 numérisé.

### 3 INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

Les moyens de reconnaissance et d'essais ont été définis par le maître d'ouvrage lors de la consultation. Ces investigations ont toutes été réalisées.

#### 3.1 Implantation et nivellement

L'implantation des sondages et essais in situ figure sur le plan d'implantation joint en annexe 2. L'altitude des têtes de sondages correspond au niveau du terrain naturel au moment des investigations. En l'absence de plan topographique du site, l'altitude des sondages n'a pas pu être recalée en altimétrie.

#### 3.2 Sondages, essais et mesures in situ

##### 3.2.1 Investigations in situ

Les sondages carottés ont été réalisés en octobre 2011 sur le site Saint André et ont été réalisés à l'aide de carottiers à câble type PQ.

Le fluide de forage utilisé est de l'eau additionnée au polycol (produit biodégradable).

Type de sondage	Quantité	Noms	Prof. / TN
<b>Sondage carotté</b> en diamètre 85 mm	2	SC1 SC2	40.0 m 45.0 m

Les résultats sont présentés en annexe, où l'on trouvera les coupes de sol comprenant :

- Description : nature, état, fissuration, couleur,
- Le pourcentage de récupération.

### 3.2.2 Synthèse des investigations

La réalisation des sondages carottés SC1 et SC2 ont permis d'identifier la présence sur toute la hauteur des sondages des Alluvions Fluviales Anciennes.

Elles sont composées en majorité de niveaux constitués de galets et de blocs de basalte dont le diamètre varie de 50 à plus de 450 mm. Ils présentent une matrice sableuse grise dont les éléments sont fins à grossiers. Ponctuellement, cette matrice devient rare. Les galets et blocs de basalte sont de nature hétérogènes, massifs à vacuolaires, aphyriques ou à phénocristaux de feldspaths. Localement, des zones à dominantes de sables grossiers contenant des galets et blocs de basalte sont présentes. Ces zones sont présentes entre 28.0 et 32.0 m au droit du sondage SC1 et entre 0.75 et 4.1 m et 11.6 et 19.0 m au droit du sondage SC2.

Ponctuellement, des poches de sables limoneux très fins à très rares blocs ont été détectées. Elles ont été détectées entre 7.4 et 8.8 m de profondeur et 34.1 et 34.9 m / terrain naturel actuel au droit du sondage SC1. On les trouve entre 11.0 et 11.6 m et 20.0 et 21.0 m / terrain naturel actuel au droit du sondage SC2.

### 3.2.3 Piézométrie

Les équipements suivants ont été mis en place :

Equipement piézométrique	Sondage de référence	Prof. / TN
Piézomètre définitif de type fermé avec capot métallique Norme NF P94-157-2	SC2	42.0 m

Les relevés des niveaux d'eau effectués ainsi que le détail des équipements mis en place sont indiqués sur les coupes de forage correspondantes.

Le dernier niveau d'eau relevé en date du 27/10/11 indique un niveau d'eau à 30.0 m de profondeur / terrain naturel actuel.

- FIN DU RAPPORT -

## ***ANNEXE 1 – NOTES GENERALES SUR LES MISSIONS GEOTECHNIQUES***

- Classification des missions types d'ingénierie géotechnique,
- Schéma d'enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique.

## EXTRAIT DE LA NORME AFNOR SUR LES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE

### CLASSIFICATION DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE TYPES



*L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique doit suivre les étapes d'élaboration et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géologiques. Chaque mission s'appuie sur des investigations géotechniques spécifiques définies au chapitre 7. Il appartient au maître d'ouvrage de veiller à la réalisation successive de toutes ces missions par une ingénierie géotechnique.*

#### ETAPE 1 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES PREALABLES (G1)

Ces missions excluent toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre d'une mission d'étude géotechnique de projet (étape 2).

*Elles sont normalement à la charge du maître d'ouvrage.*

##### ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRELIMINAIRE DE SITE (G11)

*Elle est nécessaire au stade d'une étude préliminaire ou d'esquisse et permet une première identification des risques géologiques d'un site.*

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants ;
- Définir si nécessaire, un programme d'investigations géotechniques, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats ;
- Fournir un rapport avec un modèle géologique préliminaire, certains principes généraux d'adaptation d'un projet au site et une première identification des risques.

##### ÉTUDE GÉOTECHNIQUE D'AVANT PROJET (G12)

*Elle est nécessaire au stade d'avant projet et permet de réduire les risques majeurs.*

- Définir un programme d'investigations géotechniques détaillé, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats ;
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, certains principes généraux de construction (notamment terrassements, soutèvements, fondations, risques de déformation des terrains, dispositions générales vis-à-vis des nappes et avoisinants).

*Cette étude sera obligatoirement complétée lors de l'étude géotechnique de projet (étape 2).*

#### ETAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE PROJET (G2)

*Elle est nécessaire pour définir le projet des ouvrages géotechniques et permet de réduire les risques importants. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage et doit être intégrée à la mission de maîtrise d'œuvre générale.*

##### Phase Projet :

- Définir un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats ;
- Fournir les notes techniques donnant les méthodes d'exécution retenues pour les ouvrages géotechniques (notamment terrassements, soutèvements, fondations, dispositions vis-à-vis des nappes et avoisinants), certaines notes de calcul de dimensionnement niveau projet ;
- Fournir une approche des quantités / délais / coûts d'exécution de ces ouvrages géotechniques et une identification des risques géologiques résiduels.

##### Phase Assistance aux Contrats de Travaux :

- Établir les documents nécessaires à la consultation des entreprises pour l'exécution des ouvrages géotechniques (plans, notices techniques, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel) ;
- Assister le client pour la sélection des entreprises et l'analyse technique des offres.

#### ETAPE 3 : EXECUTION DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES

##### ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

*Elle permet de réduire les risques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures d'adaptation ou d'optimisation. Elle est normalement à la charge de l'entrepreneur.*

##### Phase Etude

- Définir si nécessaire un programme d'investigations géotechniques complémentaire, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats ;
- Etudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment validation des hypothèses géotechniques, définition et dimensionnement (calculs justificatifs), méthodes et conditions d'exécution (phasages, suivis, contrôles, auscultations et valeurs seuils associées, dispositions constructives complémentaires éventuelles).

##### Phase Suivi

- Suivre le programme d'auscultation et l'exécution des ouvrages géotechniques, déclencher si nécessaire les dispositions constructives prédéfinies en phase Etude ;
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des excavations et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (en assurer le suivi et l'exploitation des résultats) ;
- Participer à l'établissement du dossier de fin de travaux et des recommandations de maintenance des ouvrages géotechniques.

##### SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

*Elle permet de vérifier la conformité de l'étude et suivi géotechniques d'exécution aux objectifs du projet. Elle est normalement à la charge du maître d'ouvrage.*

##### Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Avis sur l'étude géotechnique d'exécution, sur les adaptations ou optimisations potentielles des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, sur le programme d'auscultation et les valeurs seuils associées ;

##### Phase Supervision du suivi d'exécution

- Avis, par interventions ponctuelles sur le chantier, sur le contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur, sur le comportement observé de l'ouvrage et des avoisinants concernés et sur l'adaptation ou l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur.

*Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder à une étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques.*

#### DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)

*Il a pour objet d'étudier de façon strictement limitative un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques dans le cadre d'une mission ponctuelle.*

- Définir si nécessaire, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats ;
- Etudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, rabattement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans d'autres éléments géotechniques.

*Des études géotechniques de projet et/ou d'exécution, suivi et supervision doivent être réalisées ultérieurement conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique si ce diagnostic conduit à modifier ou réaliser des travaux.*



## ***ANNEXE 2 – PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES***



# PROJET DE CARRIÈRE - CAROTTAGES

chemin Patelin  
97440 SAINT ANDRE

## IMPLANTATION DES SONDAGES

Date : octobre 2011

Echelle : /

N° dossier : IRE9.B.90072



### Légende



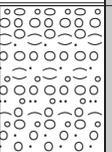
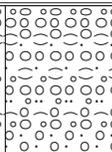
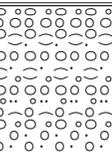
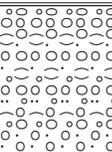
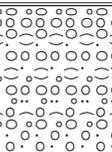
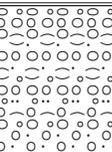
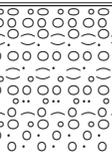
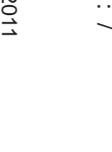
Sondages carottés

### **ANNEXE 3 – SONDAGES CAROTTES**

- Coupes détaillées des sols,
- Photographies des caisses à carotte.

Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 27/09/11

Prof. (m)	Outils	Tubage	COUPE	Prof NGR	Description des sols	% de récup.	R.Q.D %	Echant.	Résultats d'essais ou observations
1	Carottier type PW et PQ 146T6	Tubage 146 mm		0.70	Alluvions - Galets et blocs de basalte (Ø 20 à 70 mm) à matrice sablo-limoneuse marron grise	100			
					Alluvions - Gros blocs de basalte aphyritiques (Ø 100 à 300 mm) à matrice de sable moyen gris	100			
2	Carottier type PW et PQ 146T6	Tubage 146 mm		2.00		100			
						100			
3	Carottier type PW et PQ 146T6	Tubage 146 mm				100			
						100			
4	Carottier type PW et PQ 146T6	Tubage 146 mm				100			
						100			
5	Carottier type PW et PQ 146T6	Tubage 146 mm				100			
						100			
6	Carottier type PW et PQ 146T6	Tubage 146 mm				100			
						100			
7	Carottier type PW et PQ 146T6	Tubage 146 mm		7.40		90			
						90			
8	Carottier type PW et PQ 146T6	Tubage 146 mm				80			
						80			
9	Carottier type PW et PQ 146T6	Tubage 146 mm				80			
						80			
10	Carottier type PW et PQ 146T6	Tubage 146 mm				60			
						60			

Sondeuse: PUNTEL

Observations : /

... SUITE en PAGE 2

Niveau d'eau à 29 m.  
niveau relevé le 07/10/11







Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 27/09/11

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.35 du 13/07/2011 -- [ DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Prof. (m)	Outils	Tubage	COUPE	Prof	NGR	Description des sols	% de récup.	R.Q.D %	Echant.	Résultats d'essais ou observations
31				32.00		Alluvions - Sable grossier gris à petits galets et blocs de basalte (Ø 10 à 50 mm)	60			
32				32.00		Alluvions - Galets et blocs de basalte grossiers massifs ou vacuolaires aphyriques ou à phénocristaux de de feldspaths (Ø 150 à 500) à matrice de sable limoneux marron gris	70			
33				34.10		Alluvions - Galets et blocs de basalte grossiers massifs ou vacuolaires aphyriques ou à phénocristaux de de feldspaths (Ø 150 à 500) à matrice de sable limoneux marron gris	90			
34				34.10		Limons sableux très fin (vase) gris marron sans blocs	100			
35				34.90		Limons sableux très fin (vase) gris marron sans blocs	50			
36				34.90		Limons sableux très fin (vase) gris marron sans blocs	95			
37				34.90		Limons sableux très fin (vase) gris marron sans blocs	90			
38				34.90		Limons sableux très fin (vase) gris marron sans blocs	100			
39				34.90		Limons sableux très fin (vase) gris marron sans blocs	100			
40				40.00		[ Arrêt du sondage ]	100			

Sondeuse: PUNTEL

Observations : /

Niveau d'eau à 29 m.  
niveau relevé le 07/10/11



SC1





















Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 12/10/11

Prof. (m)	Outils	Tubage	COUPE	Prof NGR	Description des sols	% de récup.	R.Q.D	Echant.	équipement Piezo et observations
							%		
1	Carottier PW 1			0.75 4.10 5.00	Terre végétale sablo-limoneuse marron grise à galets et blocs	100			bouche à clé en tête du Piezo sur massif de scellement, gravillons drainants, autour du tube
2					Alluvions - Sable gris grossier à galets et blocs de basalte variés (Ø 100 à 250 mm)	100			
3					Alluvions - Galets et blocs de basalte massifs ou vacuolaires aphyriques ou à phénocristaux de feldspaths (Ø10 à 280) à matrice de sable moyen gris	100			
4					Alluvions - Graviers (Ø 5 à 10 mm) et gros blocs de basalte massifs ou vacuolaires aphyriques ou à phénocristaux de feldspaths (Ø50 à 500 mm) à matrice sableuse grise	100			
5						100			
6						100			
7						100			
8						100			
9						100			
10						100			

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.35 du 13/07/2011 -- [DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011]

Sondeuse: PUNTEL

Observations : /

... SUITE en PAGE 2

Niveau d'eau à 30 m.  
niveau relevé le 27/10/11



Ech.Prof: 1/50°

date travaux: 12/10/11

Prof. (m)	Outils	Tubage	COUPE	Prof NGR	Description des sols	% de récup.	R.Q.D	Echant.	équipement Piezo et observations
							%		
21				21.00	Alluvions - Sable limoneux très fin gris marron à quelques galets et blocs (Ø 10 à 150)	95			
22						100			
23					Alluvions - Galets et blocs de basalte massifs ou vacuolaires aphyriques ou à phénocristaux de feldspaths (Ø150à 250 mm) à matrice sablo-limoneuse fine à grossière grise	100			
24						95			
25						100			
26				26.00		95			
27						95			
28					Alluvions - Galets et blocs de basalte massifs ou vacuolaires aphyriques ou à phénocristaux de feldspaths (Ø10 à 400 mm) à matrice de sable grossier et graviers grise	100			
29						95			
30						95			

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.35 du 13/07/2011 -- [ DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Sondeuse: PUNTEL

Observations : /

... SUITE en PAGE 4

Niveau d'eau à 30 m.  
niveau relevé le 27/10/11







SC2























PROJET de Carrière  
St André Chemin Patefon  
SC 2  
Prof: D. 44 a 45m

## ANNEXE 4 - Pièce 2

---

Rapport des prospections par tomographie de résistivité électrique du sol réalisées sur le site en 2011 (IDDOI)



# PROJET D'EXPLOITATION DE CARRIERE CHEMIN PATELIN A RAVINE CREUSE

## PANNEAUX ELECTRIQUES (TOMOGRAPHIE ELECTRIQUE 2D)

<b>CLIENT</b>	
<b>Nom :</b>	HOLCIM REUNION
<b>Adresse :</b>	LE PORT
<b>Contact :</b>	M.GERARD et DEGRAIN
<b>Tél. :</b>	02 62 42 81 14
<b>Date(s) Intervention :</b>	1 <sup>er</sup> et 2 Août 2011
<b>N° Devis :</b>	11033a
<b>N° Commande</b>	Bon pour acceptation du 04/08/2011
<b>MATERIEL</b>	
<b>Resistivimètre :</b>	SYSCAL JUNIOR IRIS INSTRUMENT
<b>Electrodes :</b>	72 IRIS INSTRUMENT
<b>Logiciel :</b>	RES 2D INV

<b>DOCUMENT N° Do 11033</b>					
<b>Indice</b>	<b>Date</b>	<b>Etabli par</b>	<b>Vérifié par</b>	<b>Nb pages</b>	<b>Modifications Observations</b>
A	03/08/2011	C.RIVIERE	P. JOLION	8	1ere version



# SOMMAIRE

I – INTRODUCTION.....	2
II – CADRE ET METHODE D’ETUDE .....	3
II.1 - But et organisation de la reconnaissance.....	3
II.2 – Contexte géologique .....	3
II.3 – Documents remis .....	3
II.4 – Documents de référence .....	4
II.5 – Documents bibliographiques .....	4
III - DONNEES DE LA RECONNAISSANCE.....	5
III.1 – Implantation des panneaux électriques.....	5
III.2 – Présentation des résultats .....	5
IV - CONCLUSION.....	6
ANNEXES .....	8



<b>HOLCIM</b>	<b>PROJET D'EXPLOITATION DE CARRIERE CHEMIN PATELIN A RAVINE CREUSE</b>	Référence rapport : Do 11033A
Dossier : RE 11033/4		Page 2 sur 8

## I – INTRODUCTION

A la demande de la société **HOLCIM**, dans le cadre d'un projet d'exploitation de carrière à Saint André, le bureau d'étude **INGENIERIE DU DIAGNOSTIC O.I.** a réalisé une campagne géophysique par panneaux électriques (tomographie électrique 2D) sur **le site de Ravine Creuse, Chemin Patelin.**

Les sondages par méthode électrique permettent de fournir, dans un contexte géologique favorable :

- des indications sur la nature du sous-sol, notamment les contacts entre les différents horizons géologiques en place lorsque ceux-ci présentent des contrastes de résistivité marqués,
- la cote du toit du niveau aquifère supérieur.

Cette campagne a pour but de déterminer l'extension de l'horizon alluvionnaire superficiel et son homogénéité.

Notre intervention sur site a été réalisée les 1<sup>er</sup> et 2 Août 2011 par temps sec, juste après un événement pluviométrique non négligeable, qui a fortement humidifié les matériaux de surface.

<b>HOLCIM</b>	<b>PROJET D'EXPLOITATION DE CARRIERE CHEMIN PATELIN A RAVINE CREUSE</b>	Référence rapport : Do 11033A
Dossier : RE 11033/4		Page 3 sur 8

## II – CADRE ET METHODE D'ETUDE

### **II.1 - But et organisation de la reconnaissance**

L'objectif de la mission est de mettre en évidence les différentes couches de résistivités électriques du sous sol au droit des dispositifs mis en œuvre.

Pour ce faire, deux panneaux électriques ont été réalisés à l'aide d'un résistivimètre SYSCAL JUNIOR.

Les panneaux P1 et P2, ont une longueur de 355m chacun. Ils ont été réalisés avec une flûte de 72 électrodes, espacées tous les 5m pour atteindre une profondeur d'investigation demandée de 35m environ.

Supposant une stratigraphie et un pendage des structures géologiques subhorizontales, les panneaux ont été réalisés par la méthode Wenner- Schlumberger. Traités à l'aide du logiciel RES2DINV, ces dispositifs donneront des coupes du terrain ausculté sous forme de pseudo sections, modèles géologiques calculant les résistivités vraies des différentes couches de terrain à partir des résistivités mesurées ou apparentes.

Les panneaux ont été positionnés le long des cultures de canne en exploitation, sur le bas coté des pistes.

Une géolocalisation GPS a été effectuée au point d'origine de chaque ligne. Les coordonnées sont fournies en RGR92 UTM40S. La précision est de l'ordre de 5m.

L'ensemble des reconnaissances a fait l'objet d'un suivi en continu par un ingénieur géophysicien.

La topographie, dans le secteur d'étude, est plane.

### **II.2 – Contexte géologique**

La carte géologique, dans le secteur d'étude, décrit les formations suivantes :

- Dépôts alluvionnaires anciens **Fy**. Ces dépôts sont constitués de sable fins à grossiers, de graviers, et de galets avec des produits fins assez abondants (argile, silts).

Les affleurements superficiels observés sur la parcelle étudiée sont des alluvions anciennes.

### **II.3 – Documents remis**

Proposition d'implantation des panneaux électriques sur photo satellite google fournie par EMC2

<b>HOLCIM</b>	<b>PROJET D'EXPLOITATION DE CARRIERE CHEMIN PATELIN A RAVINE CREUSE</b>	Référence rapport : Do 11033A
Dossier : RE 11033/4		Page 4 sur 8

#### **II.4 – Documents de référence**

En l'absence de normes spécifiques et de modes opératoires officiels, il sera fait référence au document intitulé : « Géophysique appliquée – code de bonne pratique » édité par BRGM/CGG/CPGF/LCPC sous l'égide de l'AGAP et en particulier à la fiche 92.1 ELE 01.

Les spécifications minimales décrites dans ce code de bonne pratique ont été respectées.

#### **II.5 – Documents bibliographiques**

Une recherche sur le site du BRGM Infoterre a permis de référencer quelques sondages à proximité de la zone d'étude. Ces sondages ont fait l'objet de recherches d'information dans la banque du sous sol du BRGM.

Les documents et logs de sondages disponibles fournissent des informations sur la géologie du site et la profondeur de la nappe. La référence du sondage qui a été consulté est:

-12273 X 0011/F/RE

Le log géologique met en évidence une épaisseur d'alluvions grossières plus ou moins limoneuses sur 37m d'épaisseur environ.

Le toit de la nappe superficielle a été rencontré à 48.50m de profondeur.

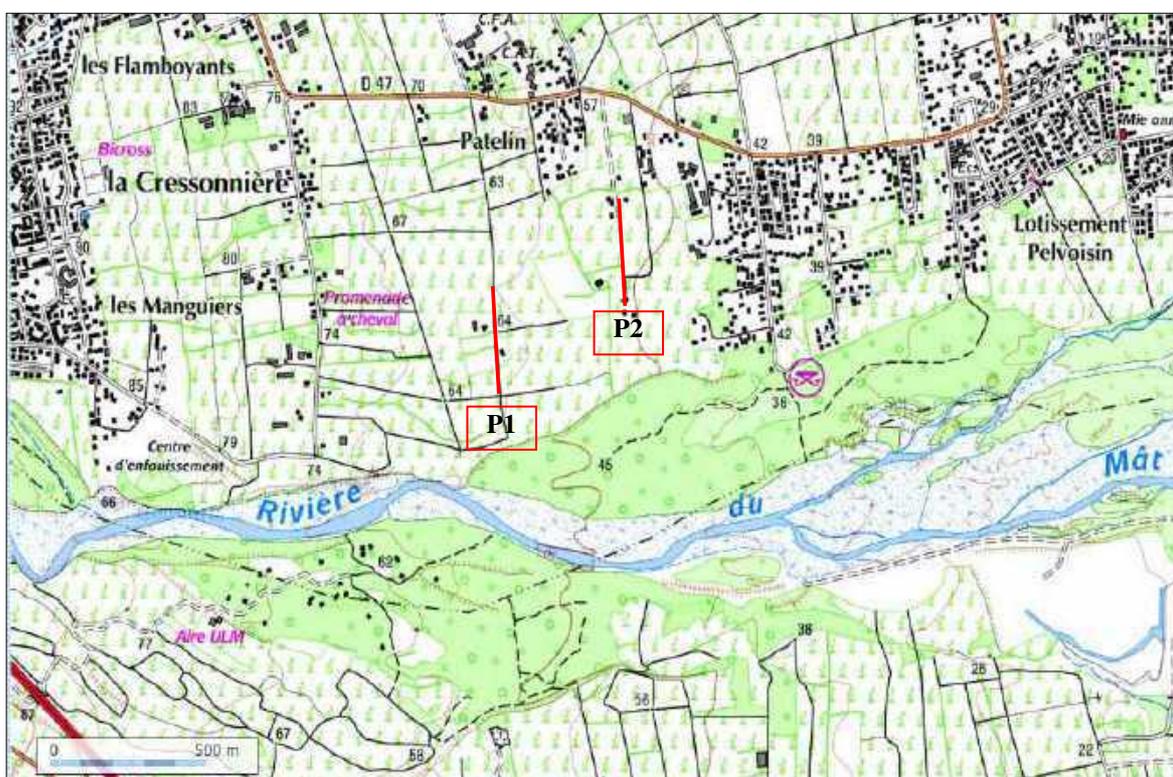
Les données piézométriques dans le secteur d'étude, récoltées sur le site de l'ORE mettent en évidence une nappe de base qui fluctue entre 17.5 et 26.9m NGR.

<b>HOLCIM</b>	<b>PROJET D'EXPLOITATION DE CARRIERE CHEMIN PATELIN A RAVINE CREUSE</b>	Référence rapport : Do 11033A
Dossier : RE 11033/4		Page 5 sur 8

### III - DONNEES DE LA RECONNAISSANCE

#### III.1 – Implantation des panneaux électriques

Chaque panneau électrique a été implanté selon les directives du bureau d'étude **EMC2**.  
En l'absence de plan topographique d'ensemble de la parcelle, les 2 panneaux ont été implantés sur photo satellite Google earth, fournie en annexe 1.  
Ces panneaux ont été positionnés de sorte qu'ils aient la même orientation (électrode 1 toujours vers la rivière du Mat).



coordonnées de départ des lignes électriques

<b>RGR92 UTM40S</b>	<b>X (+/-5m)</b>	<b>Y (+/-5m)</b>
P1	362137	7679541
P2	362616	7679862

#### III.2 – Présentation des résultats

Les panneaux électriques obtenus par inversion (RES2INV) sont fournis en annexe. Les abscisses correspondent à la distance le long du profil en mètre ; les ordonnées, à la cote NGR en mètre.

Ils représentent une coupe du terrain à l'aplomb du linéaire d'électrodes. Il s'agit d'une représentation du sous sol en 2D, caractérisant ses paramètres de résistivité. Les valeurs de

<b>HOLCIM</b>	<b>PROJET D'EXPLOITATION DE CARRIERE CHEMIN PATELIN A RAVINE CREUSE</b>	Référence rapport : Do 11033A
Dossier : RE 11033/4		Page 6 sur 8

résistivité sont exprimées par une échelle de couleur allant du bleu représentant les matériaux conducteurs au rouge/violet correspondant aux matériaux résistants.

Les résistivités dans les alluvions sont influencées par la granulométrie des matériaux (prédominance de blocs ou galets) et par la nature et la quantité des fines constituant la matrice (sables grossiers, sables fin ou parfois limons fins). Plus il y a d'éléments fins, plus les matériaux sont sensibles à l'eau et donc conducteurs.

Il est communément admis qu'une nappe d'eau douce présente des résistivités comprises entre 5 et 100 ohms.m selon la nature du réservoir.

### **Panneau électrique n°1 :**

Ce panneau a été réalisé à la cote 65m NGR. Il met en évidence trois niveaux de résistivité distincts.

- **Niveau 1 (entre 65m et 55m NGR) :** Résistivité moyenne de 1100 ohm.m. Ce niveau de résistivité assez homogène met en évidence une couche alluvionnaire superficielle constituée de matériaux assez grossiers peu sensibles à la rétention d'eau.
- **Niveau 2 (entre 55m et 25m NGR) :** Résistivité moyenne de 300/400 ohm.m. Les résistivités de ce niveau s'étalent de manière hétérogène de 100 ohm.m à 600 ohm.m. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer une telle hétérogénéité : pollutions agricoles (NPK), hétérogénéité granulométrique des alluvions, intercalation de lahar ou poches argileuses...).  
D'après les données géologiques disponibles, le modèle le plus probable serait une couche de grave alluvionnaire constituée de poches argileuses qui correspondraient aux cellules conductrices.
- **Niveau 3 (au-delà de 25m NGR) :** Résistivité moyenne de 100 ohm.m. Ce niveau très conducteur correspondrait aux mêmes alluvions sous nappe.

### **Panneau électrique n°2 :**

Ce panneau a été réalisé à la cote 54m NGR. Il met en évidence deux niveaux de résistivité distincts.

- **Niveau 1 (entre 54m et 30m NGR) :** Résistivité moyenne de 1200 ohm.m. Ce niveau de résistivité assez homogène mettrait en évidence une couche alluvionnaire superficielle constituée de matériaux assez grossiers peu sensibles à la rétention d'eau.
- **Niveau 2 (entre 30 et 15m NGR) :** Résistivité moyenne de 150 ohm.m. Ce niveau très conducteur correspondrait aux alluvions sous le niveau de la nappe.

A x= 220m, la présence d'un puit en béton a occasionné une perturbation de la tomographie de 220 à 355m. Cette zone a donc été volontairement soustraite lors du traitement des données.

## **IV - CONCLUSION**

Le contexte géologique semble favorable aux investigations par méthode électrique (couches géologiques relativement tabulaires et contraste de résistivité entre faciès bien marqué). Ce constat est confirmé par d'excellents pourcentages d'erreur RMS.

<b>HOLCIM</b>	<b>PROJET D'EXPLOITATION DE CARRIERE CHEMIN PATELIN A RAVINE CREUSE</b>	Référence rapport : Do 11033A
Dossier : RE 11033/4		Page 7 sur 8

Les mesures électriques réalisées mettent en évidence une diminution progressive des résistivités avec la profondeur qui peut s'expliquer à la fois par le passage des alluvions sous nappe et par une prédominance générale en profondeur de matériaux alluvionnaires plus fins (sable et limons).

Les résistivités en surface sont fortes et témoignent de matériaux généralement très grossiers (forte prédominance de blocs et galets). La puissance de ce faciès est beaucoup plus importante sur le panneau n°2 plus éloigné du lit de la rivière.

N'ayant aucun sondage d'étalonnage à disposition pour cette étude, il est recommandé de réaliser une campagne de forages afin d'établir la nature réelle du sous-sol au droit des mesures électriques réalisées, et corréler les observations des sondages avec les mesures électriques obtenues.

Une fois la campagne de sondage destructif réalisée, une reprise des interprétations pourra être effectuée.

Cette mission a atteint ses objectifs dans les limites des possibilités de la méthode utilisée.

LE GERANT

P. JOLION

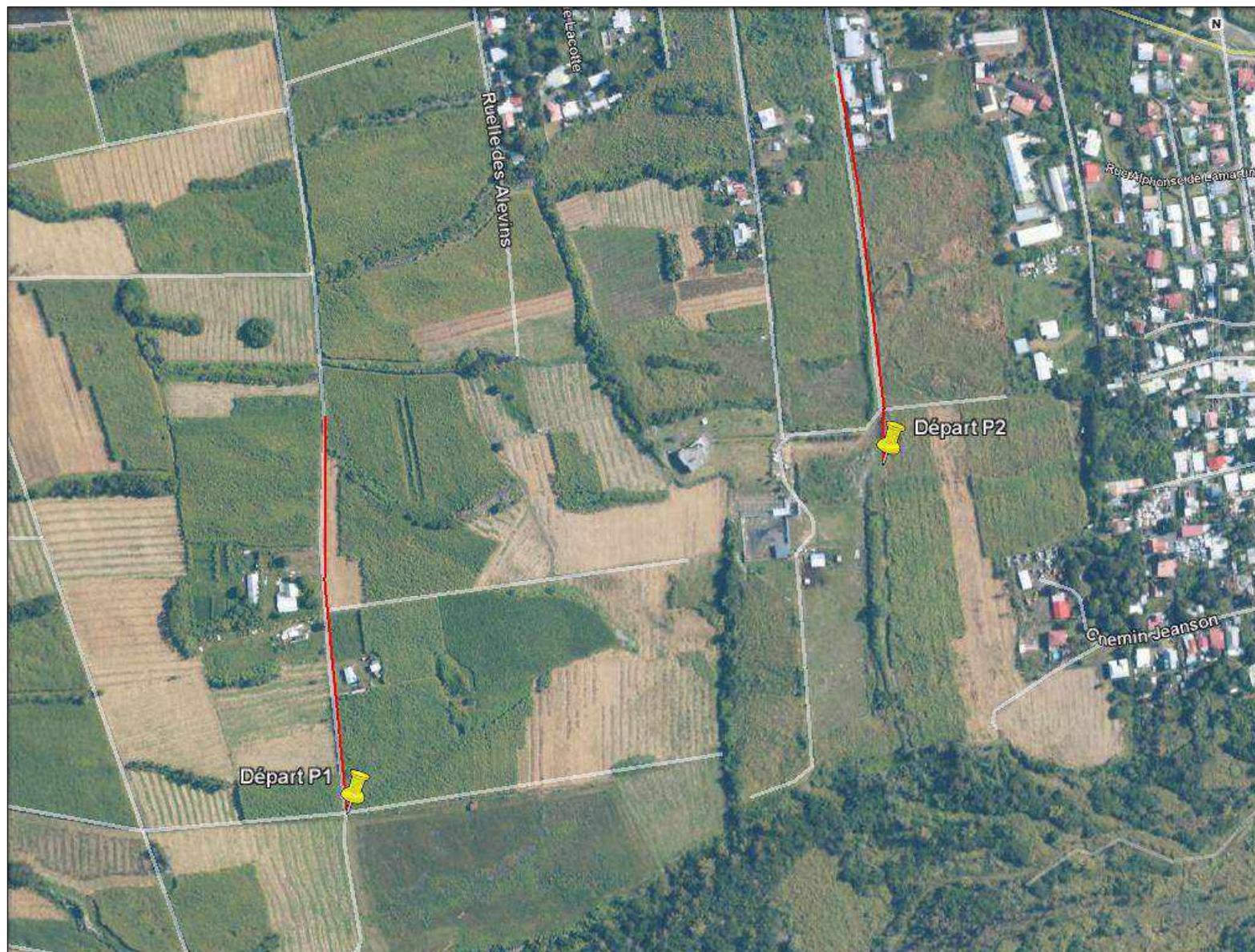
<b>HOLCIM</b>	<b>PROJET D'EXPLOITATION DE CARRIERE CHEMIN PATELIN A RAVINE CREUSE</b>	Référence rapport : Do 11033A
Dossier : RE 11033/4		Page 8 sur 8

## ANNEXES

- ANNEXE 1 : Implantation des panneaux électriques
- ANNEXE 2 : Panneau électrique n°1
- ANNEXE 3 : Panneau électrique n°2



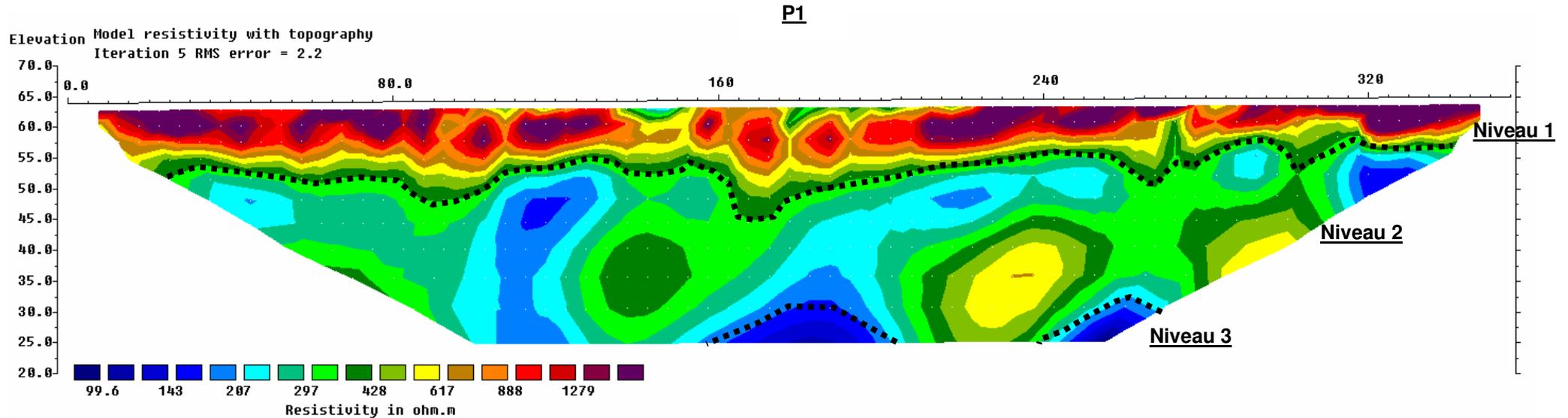
**LOCALISATION DES PANNEAUX ELECTRIQUES**





**PANNEAU ELECTRIQUE N°1**

**Coté Rivière du Mat**



Unit Electrode Spacing = 5.00 m.

Horizontal scale is 19.14 pixels per unit spacing  
 Vertical exaggeration in model section display = 1.50  
 First electrode is located at 0.0 m.  
 Last electrode is located at 355.0 m.

**Niveau 1:** Résistivité moyenne de 1100 ohm.m

**Niveau 2:** Résistivité moyenne de 300/400 ohm.m

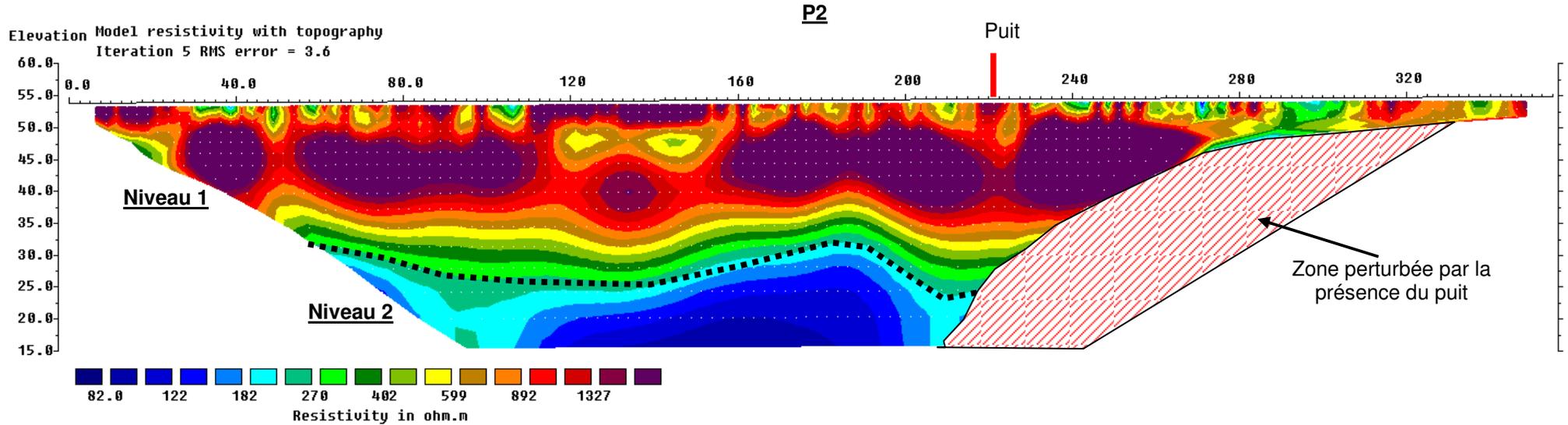
**Niveau 3:** Résistivité moyenne de 100 ohm.m

RGR92 UTM40S	X	Y
Départ	362137	7679541



**PANNEAU ELECTRIQUE N°2**

**Coté Rivière du Mat**



Horizontal scale is 9.57 pixels per unit spacing  
 Vertical exaggeration in model section display = 1.50  
 First electrode is located at 0.0 m.  
 Last electrode is located at 355.0 m.

**Niveau 1:** Résistivité moyenne de 1200 ohm.m

**Niveau 2:** Résistivité comprises entre 150 ohm.m

RGR92 UTM40S	X	Y
Départ	362616	7679862

## ANNEXE 4 - Pièce 3

---

Diagnostic géologique et hydrogéologique du site du  
projet de la carrière de la société PREFABLOC AGREGATS  
par ANTEA Group (2017)



# Carrière de Saint André – étude hydrogéologique



Antea Group  
66 bis rue Eugène Delouise  
97419 La Possession



# Sommaire

1	Contexte du site.....	6
2	Contexte géologique.....	7
2.1	Contexte géologique général.....	7
2.2	Coupes de forages disponibles.....	9
3	Contexte hydrogéologique.....	12
3.1	Les aquifères identifiés.....	12
3.2	Données de piézométries disponibles.....	14
3.3	Données de références hydrogéologiques au droit du site.....	18
3.4	Détermination des niveaux de nappes de références.....	20
3.5	Forages AEP exploités dans le secteur.....	23

## Liste des figures :

Figure 1	: Localisation de l'emprise du projet.....	6
Figure 2	: Périmètre maîtrisé et emprise du projet d'extraction.....	7
Figure 3	: Extrait de la carte géologique (source : BRGM).....	8
Figure 4	: Localisation des ouvrages implantés à proximité de la zone d'étude (source : BSS) .....	10
Figure 5	: Localisation des sondages carotté SC1 et SC2 sur le site d'étude.....	12
Figure 6	: Localisation des principaux ouvrages suivis du secteur (source : BSS et OLE).....	15
Figure 7	: Evolution piézométrique comparée des nappes superficielles sur les forages S2 et Ravine Creuse n°1 (source : OLE).....	16
Figure 8	: Evolution piézométrique comparée des nappes inférieures sur les forages de Bengalis, Paniandy, P14-Champ Borne n°2 et Ravine Creuse n°2 (source : OLE).....	17
Figure 9	: Evolution piézométrique comparée des ouvrages Ravine Creuse n°1 (diminué de 25 m) et n°2.....	18
Figure 10	: Implantation du piézomètre SC2 en aval hydraulique de la zone de projet.....	19
Figure 11	: Suivi piézométrique au droit du site – piézomètre carrière SC2.....	20



Figure 12 : Chronique de données piézométriques des ouvrages S2 rivière du Mât, Ravine Creuse n°1 et du piézomètre carrière (SC2)..... 21  
Figure 13 : Profil en long et hauteurs de nappes établies au droit du site ..... 23  
Figure 14 : Forages AEP du secteur et périmètres de protection associés (source : ARS) ..... 24

Liste des tableaux:

Tableau 1 : Forages disposant d'informations géologiques et hydrogéologiques ..... 10  
Tableau 2 : Définition des cotes de hautes, moyenne et basses eaux au droit de la zone de projet ..... 22

Liste des annexes:

Annexe 1 : Coupes géologiques et techniques des forages référencés dans la zone d'étude (source BSS) - Bengalis (n°12272X0064), Dioré (n°12272X0053), Ravine Creuse (n°12273X0011), Paniandy (n°12273X0010), S2 Rivière du Mât (n°12273X0014), P14 Champ Borne 1 (n°12273X0012) et 2 (n°12273X0009)



## Préambule

La SARL PREFABLOC AGREGATS souhaite exploiter une carrière de matériaux alluvionnaire sur la commune de Saint André, au lieu-dit « Chemin Patelin ».

Dans le cadre de son projet d'exploitation, la SARL PREFABLOC AGREGAT souhaite disposer d'une étude hydrogéologique afin de satisfaire deux objectifs :

- ✓ Valider les cotes de fond de fouille ;
- ✓ Envisager un ouvrage d'exploitation des eaux souterraines sur le site.

Aussi la SARL PREFABLOC AGREGATS a demandé à Antea Group une assistance pour :

- ✓ la réalisation d'une étude hydrogéologique,
- ✓ la définition optimale du positionnement d'un forage et de ses caractéristiques techniques,
- ✓ la définition des impacts du prélèvement sur les ouvrages voisins (rabattement, biseau salé, qualité, quantité, etc...) et la réalisation du document d'incidence.

Le présent document constitue la synthèse géologique et hydrogéologique au droit du site. Il fait le bilan des données de piézométrie disponible dans le secteur dont l'interprétation permet d'aboutir à la détermination des niveaux de nappes.



# 1 Contexte du site

Le projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGA est situé sur la commune de Saint André, au lieu-dit « Chemin Patelin », à l'est du quartier la Cressonnière.

La localisation du projet est présentée sur la figure suivante. L'emprise du projet d'extraction est mentionnée sur la Figure 2.

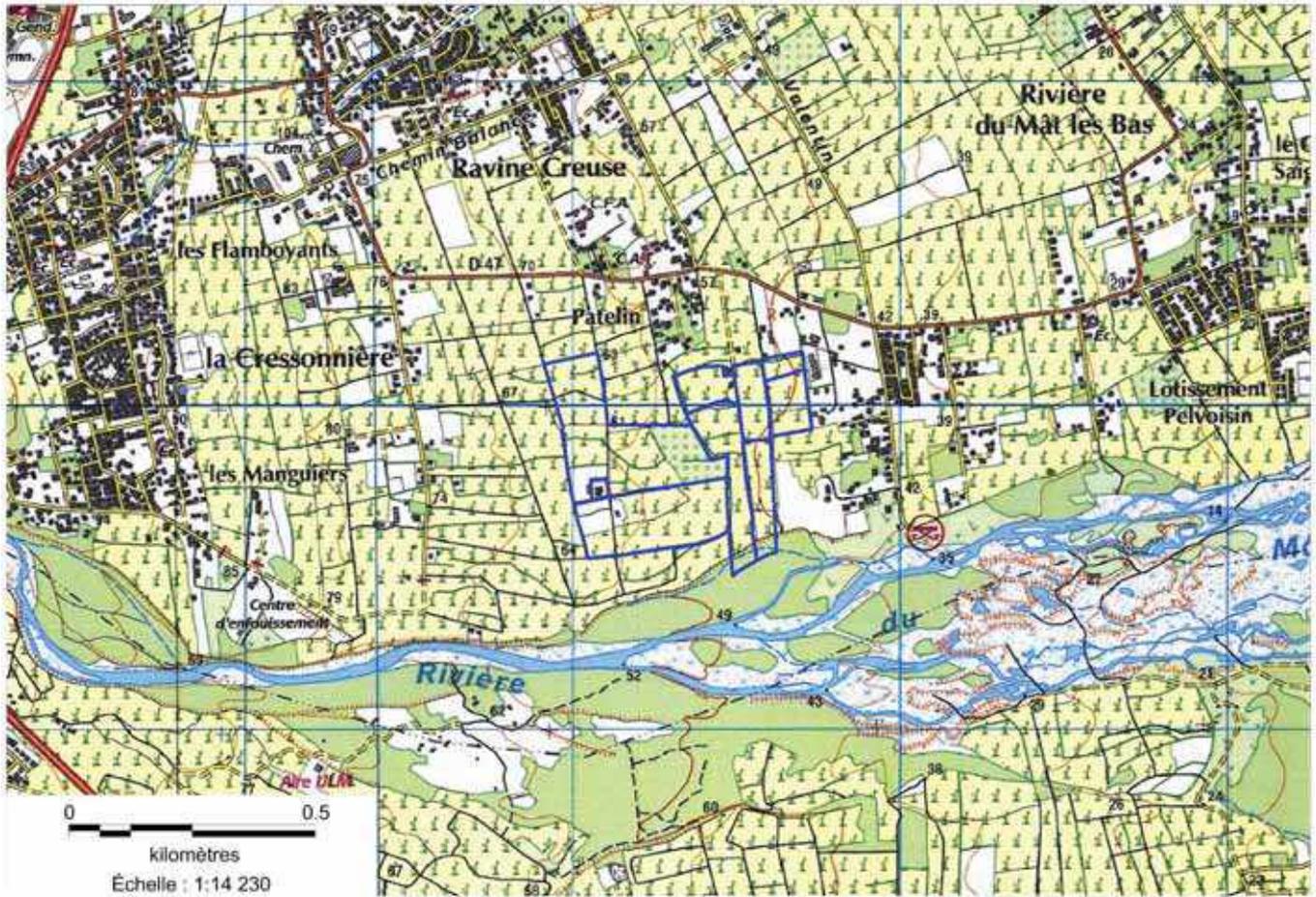


Figure 1 : Localisation de l'emprise du projet





Figure 2 : Périmètre maîtrisé et emprise du projet d'extraction

## 2 Contexte géologique

### 2.1 Contexte géologique général

Les informations issues de la carte géologique du BRGM (Billard 1/5000<sup>ème</sup>) indiquent que les formations présentes à l’affleurement dans le secteur d’étude sont constituées par des alluvions détritiques grossières anciennes qui se sont accumulées pour former le cône de déjection de la rivière du Mât.

Le produit du démantèlement et de l’érosion des cirques, canalisé par les gorges d’écoulement de la rivière du Mât (exutoire de Salazie) sont venus s’accumuler au pied des reliefs pour former un épais et vaste cône alluvionnaire.

**Ces alluvions** fluviales **anciennes** sont constituées d’éléments polygéniques (basaltes, trachytes, brèches, tufs...), subarrondis, plus ou moins altérés et emballés dans une matrice argilo-sableuse.

Au sud de la zone d’étude, le lit actuel de la rivière du Mat est marqué par la présence d’un placage d’alluvions plus récentes également composées de sable, galets et blocs d’origines polygéniques.



A l'ouest au niveau des reliefs, on observe la présence :

- des formations basaltiques anciennes de phase III et II du Piton des Neiges mises en place entre 2 100 000 ans et 430 000 ans (Billard, 1976) lors de la phase d'activité II du Piton des Neiges,
- des formations basaltiques et ponctuellement des tufs indifférenciés en épandage de phase IV du Piton des Neiges mis en place entre 230 000 ans et 70 000 ans.

Ces formations basaltiques s'ensouvent sous le recouvrement alluvionnaire de la plaine.



Figure 3 : Extrait de la carte géologique (source : BRGM)

**Les basaltes anciens**, à l'origine de l'édification d'un volcan-bouclier primitif (Rocher, 1980) forment l'ossature des reliefs. Ils affleurent en bordure du cône alluvial de la rivière du Mât.

Ces terrains forment généralement un empilement tabulaire, puissant (plusieurs centaines de mètres), monotone et homogène en grand, de séquences métriques à plurimétriques de bancs de lave massive et de scories. Les faciès laviques dominants sont des basaltes aphyriques ou à olivine et des océanites, qui montrent communément des traces de zéolitisation. Dans cet ensemble peuvent localement s'intercaler de petites passées conglomératiques, témoins de phénomènes érosifs de faible ampleur, ou des cônes épais de scories et lapilli ponceux, témoins de phases éruptives sporadiques.



A la mise en place de ces formations succède une longue période de calme éruptif (entre 430 000 ans et 350 000 ans) caractérisée par d'intenses phénomènes d'érosion et d'altération météorique sous climat tropical. Ces phénomènes vont modeler un relief très accidenté au toit de ce substratum basaltique avec notamment le creusement de ravines profondes.

C'est pendant cette période que se forme le proto-cirque de Bélouve (ancêtre du cirque de Salazie) et que ce dépose le cône alluvionnaire de la rivière du Mat, réceptacle du produit du démantèlement et de l'érosion des cirques.

Des coulées boueuses de 15 à 20 m d'épaisseur sont venues s'intercaler dans les alluvions anciennes. Ces coulées, très faiblement perméables, sont constituées d'une matrice argilo-silteuse et de fragment de roches hétérogènes.

On note également la présence de coulée de **laves récentes** qui se sont mises en place lors de l'édification d'un strato-volcan «jeune» au cœur du volcan-bouclier érodé (Rocher, 1980). Discordantes sur le substratum basaltique ancien, elles recouvrent largement la planèze en comblant vallées et dépressions. Ces laves sont également régulièrement trouvées sous la forme de **petites coulées de vallées interstratifiées** dans les dépôts fluviatiles.

On considère généralement que cet ensemble est constitué d'un empilement de coulées volcaniques (épaisses jusqu'à plusieurs dizaines de mètres en comblement de paléo vallée) à pendage de 5° à 20° vers le Nord-est. Les coulées sont massives, fluides et sombres, et peuvent alterner avec des niveaux pyroclastiques à tufs. Ces formations, généralement peu altérées, sont localement recoupées par des sills et/ou dykes.

La zone de projet est située sur le cône alluvionnaire de la rivière du Mat, constitué d'une épaisseur conséquente d'alluvions grossières, au sien duquel on trouve des intercalations de coulées de boue et de laves récentes faiblement perméables. Le tout repose sur un substratum basaltique ancien et profond qui s'ennoie sous les alluvions en direction de l'océan.

## 2.2 Coupes de forages disponibles

L'inventaire des informations disponibles et exploitables en Banque de données du sous-sol (BSS) fait état de plusieurs forages implantés dans le secteur d'étude.





Figure 4 : Localisation des ouvrages implantés à proximité de la zone d'étude (source : BSS)

Ouvrage	N° BSS	Profondeur foré (m)	Profondeur foré (m NGR)	Profondeur toit substratum basaltique / m sol
Forage ravine Creuse	12273X0011	139	-69	116 m
S2 rivière du Mât	12273X0014	30	+10,34	-
Forage Paniandy 1	12273X0010	280	-197	121 m
P14 Champ Borne n°1	12273X0012	30	-5,6	-
Forage Bengalis	12272X0064	198	-90	167 m
Forage Dioré	12272X0130	280	-128	-

Tableau 1 : Forages disposant d'informations géologiques et hydrogéologiques

Les coupes géologiques des ouvrages relevées lors de la foration sont présentées en annexe 1 de ce document. Ces coupes originelles donnent des informations sur la puissance et la nature des formations géologiques rencontrées au droit des ouvrages lors de leur réalisation. Dans le secteur d'étude, le cône alluvionnaire de la rivière du Mât est composé d'une épaisse succession de formations alluvionnaires grossières anciennes, surmontant un substratum basaltique ancien altéré, puis sain (interprétés comme appartenant à la phase II).

Le substratum basaltique ancien est rencontré à 167 m de profondeur (-59 m NGR) sur le forage de Bengalis (n°12272X0064) et à 121 m (-38 m NGR) sur le forage de Paniandy (n°12273X0010). Il n'a pas été atteint sur les forages de Dioré (n°12272X0053 profond de 250



m), ni sur le sondage S2 Rivière du Mât (n°12273X0014 profond de 30 m) et sur le forage P14 Champ Borne (n°12273X0012, profond également de 30 m), où l'on observe que des alluvions récentes de la rivière du Mât.

Plus au nord, le substratum basaltique du forage de Ravine Creuse (n°12273X0011), rencontré à 116 m (-45 m NGR) de profondeur est composé de bancs de basaltes compacts, légèrement vacuolaires interprété comme appartenant à la phase III du Piton des Neiges.

En 2000, la commune de Bras Panon a fait réaliser, à proximité du forage Paniandy 1, un forage profond de gros diamètre (forage Paniandy 2) qui s'est avéré infructueux (sec).

Suite à cet échec, le BRGM a réalisé une « Etude géostructurale du cône alluvial de la rivière du Mât dans le secteur de Bras Panon – Rapport 54235-FR » dans le but de comprendre l'origine ce résultat négatif et de définir les sites potentiellement favorables à la réalisation de futurs ouvrages.

Dans le cadre de cette étude, le BRGM a procédé à une réinterprétation et une analyse fines des coupes des forages de Dioré, Paniandy et Bengalis.

La réinterprétation et l'analyse fine de ces coupes ont permis d'améliorer la compréhension de la structure géologique et hydrogéologique de la partie méridionale du cône alluvionnaire de la rivière du Mât.

La réinterprétation des coupes lithologiques de ces forages profonds a permis de confirmer la complexité de la structure et de la morphologie du cône alluvionnaire en profondeur, caractérisée dans le secteur par une succession d'alluvions récentes intercalées de coulées de laves récentes, surmontant des alluvions anciennes intercalées de coulées boueuses et un substratum basaltique altéré puis sain.

En 2011, deux sondages carottés (SC1 et SC2) ont été réalisés au droit du projet de carrière. L'analyse des coupes de forages a mis en évidence la présence d'alluvions fluviatiles anciennes grossières sur toute la profondeur investiguée (40 m pour SC1 et 45 m pour SC2).





Figure 5 : Localisation des sondages carottés SC1 et SC2 sur le site d'étude

Les formations rencontrées au droit du site sont constituées par une alternance de niveau de sable, galets et blocs de basaltes de nature polygénique et dont la taille peut atteindre 45 cm. Ces niveaux d'alluvions sont intercalés avec des passages plus fins, sablo-limoneux. Le sondage SC2 a été conservé et équipé en piézomètre de suivi de la nappe superficielle.

## 3 Contexte hydrogéologique

### 3.1 Les aquifères identifiés

Le secteur d'étude appartient au « domaine littoral » de l'Île de La Réunion (Join. 1991). En grand masse, sur l'ensemble du secteur, il existe deux aquifères selon les schémas habituellement reconnus :

- un aquifère supérieur et multicouche, à nappes libres contenues dans les formations alluviales de subsurface déposées par la rivière du Mât. Cet aquifère est principalement alimenté par l'infiltration des eaux météoriques sur la plaine et à l'amont à travers les formations basaltiques diaclasés. L'eau circule ensuite au toit des terrains faiblement perméables (pyroclastes, tufs, ignimbrites, coulées de laves récentes) en direction de la mer.
- un aquifère inférieur, qui contient une nappe inférieure, contenu soit dans le substratum basaltique ancien peu altéré (cas du forage de Paniandy), soit dans un



réservoir mixte constitué du substratum basaltique et des alluvions anciennes le surmontant (cas des forages de Dioré et Bengalis). Cet aquifère profond est alimenté par l'intermédiaire des infiltrations des eaux météoriques au niveau des zones d'affleurement des basaltes fracturés à l'amont sur la planèze, mais également à partir des infiltrations en rivière et ravine. Cette nappe est piégée sous des niveaux d'alluvions argileuses faiblement perméables ou d'altération de basaltes anciens. Elle s'écoule en direction de la mer.

Ces deux aquifères sont séparés par des niveaux alluvionnaires argileux et peu perméables, dans lesquels peuvent localement s'intercaler des coulées boueuses conglomératiques et des coulées de laves récentes pratiquement imperméables.

- **Aquifère supérieur :**

L'aquifère supérieur est identifié sur le forage de Bengalis entre 43 et 58 m de profondeur. Les alluvions grossières récentes et perméables sont le siège d'une nappe d'eau douce libre. Le niveau piézométrique de cette nappe se situerait vers -45,2 m/sol soit (+63,2 m NGR). Cet aquifère se retrouve sur le forage de Paniandy 2, entre 25 et 66 m de profondeur, toujours au sein des alluvions récentes perméables.

Un aquifère supérieur à nappe captive est rencontré sur la forge de Paniandy entre 96 et 121 m de profondeur. Le niveau statique se trouve vers 33 m de profondeur (+50 m NGR). Il est localisé dans les niveaux d'alluvions anciennes et grossières, au toit des basaltes altérés.

Un aquifère supérieur à nappe libre est rencontré entre 72 et 172 m de profondeur sur le forage de Dioré. Le niveau statique est à 71 m de profondeur (+79 m NGR). Il est composé d'un réservoir mixte entre les laves récentes massives et diaclasées et les alluvions récentes sous-jacentes. La base de cet aquifère est constitué du toit des alluvions anciennes indurées.

Concernant le forage Ravine Creuse, situé en rive gauche de la rivière du Mât, une nappe supérieure captive est localisée dans les alluvions entre 48 et 64 m /sol, et séparée de la nappe inférieure par la présence d'une coulée boueuse imperméable, localisée entre 64 et 78 m. Le niveau statique de cette nappe supérieure est localisé vers 13 m/sol (+57 m NGR).

Un aquifère supérieur à nappe libre est également localisé au droit du sondage S2, au sein des alluvions récentes grossières (bloc, galet, gravier et sable) et perméable de la plaine entre 9 et 30 m de profondeur (fond de l'ouvrage). Le niveau de statique de cette nappe s'est stabilisé à 9 m/sol (+31 m NGR) en fin de foration.

Cette nappe supérieure libre n'est pas exploitée dans le secteur et en l'absence de tests hydrauliques, nous disposons de peu de données sur les capacités de production et sur les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère supérieur développé dans les alluvions grossières. Le rapport de forage (Billard, Février 1992) du forage Ravine Creuse indique toutefois que l'aquifère supérieur présente une perméabilité intéressante.

De même le rapport de forage du sondage S2 Rivière du Mat conclut sur une transmissivité



intéressante de l'aquifère au droit de l'ouvrage et à un contexte intéressant pour l'exploitation de la nappe superficielle.

- **Aquifère inférieur :**

L'aquifère inférieur, siège de la nappe inférieure captive, est localisé sur le forage de Bengalis au sein des basaltes massifs, légèrement fracturés (entre 179 et 198 m de profondeur) et au sein des alluvions anciennes le surmontant (entre 119 et 179 m). Le niveau piézométrique de cette nappe s'établit en fin de foration à 88 m/sol (+19,7 m NGR).

Au droit du forage de Dioré, les alluvions anciennes, rencontrée entre 157 et 279 m apparaissent très argileuses jusqu'à 204 m de profondeur. Entre 204 et 279 m elles deviennent plus propres et renferment une nappe captive, isolé de l'aquifère supérieur à nappe libre par un horizon très argileux. Le niveau piézométrique mesurée en fin de foration sur le forage de Dioré est de 133 m/sol (+18,7 m NGR).

Le forage de Paniandy capte un aquifère inférieur développé dans les basaltes massifs et fracturés (entre 193 et 280 m de profondeur). Le niveau statique de cette nappe relevé en fin de foration est de 69,5 m/sol (+13,4 m NGR).

Le forage de Ravine Creuse est caractérisé par la présence d'un aquifère inférieur développé dans les formations basaltiques (Phase III entre 116 et 139 m de profondeur) surmontées d'alluvions très peu productives. Le niveau statique de cette nappe, mesuré en fin de foration était de 46,3 m/sol (+20 m NGR).

L'aquifère inférieur, exploité pour l'AEP par les forages Dioré et Ravine Creuse, présente de très bonnes capacités de production et une eau de bonne qualité. Les paramètres hydrodynamiques calculés au niveau des forages de Dioré, Bengalis et Paniandy donnent des transmissivités de l'ordre de  $8 \cdot 10^{-3}$  à  $3 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ . Les débits d'exploitation déterminés à l'issue des pompages d'essais étaient de 350 m<sup>3</sup>/h sur le forage Dioré, de 370 m<sup>3</sup>/h sur le forage de Bengalis, et de 450 m<sup>3</sup>/h sur le forage de Paniandy.

## 3.2 Données de piézométries disponibles

Du fait la complexité et de l'hétérogénéité des formations constituent ces réservoirs, la notion d'aquifère est complétée sur ce secteur par la notion « d'unité de comportement piézométrique homogène » qui permet d'approcher des unités hydrogéologiques, basé sur la piézométrie plutôt que sur la continuité lithologique.

Des données de piézométries sont disponibles sur les forages du secteur, dans le cadre du suivi réalisé par l'Office de L'Eau de la Réunion.



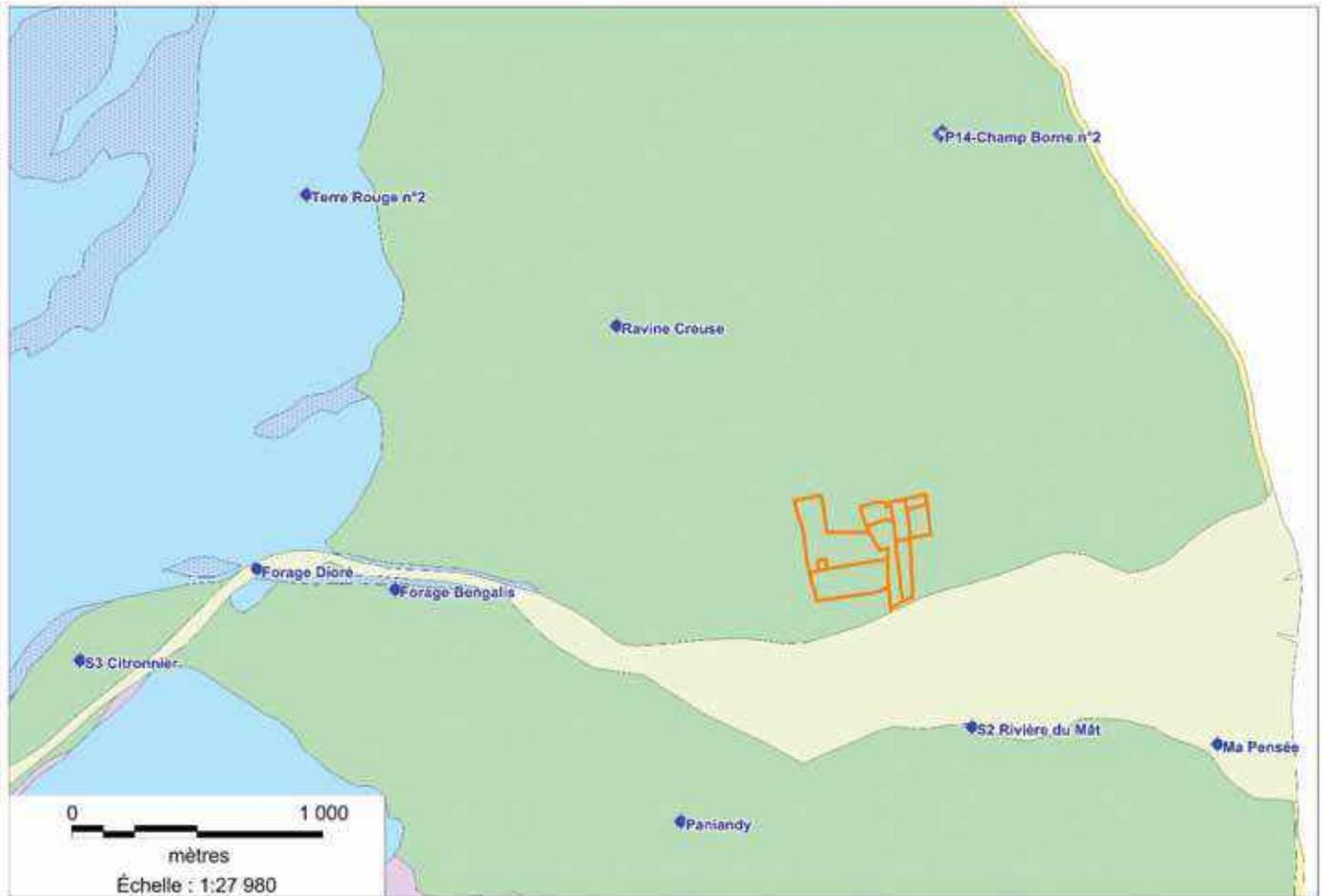


Figure 6 : Localisation des principaux ouvrages suivis du secteur (source : BSS et OLE)

- **Nappes supérieures :**

Les données de piézométries disponibles sur les nappes supérieures captées au droit des forages S2 rivière du Mât (n°12273X0014) et Pz1 Ravine Creuse (n°12273X0011) sont présentées sur la figure suivante.



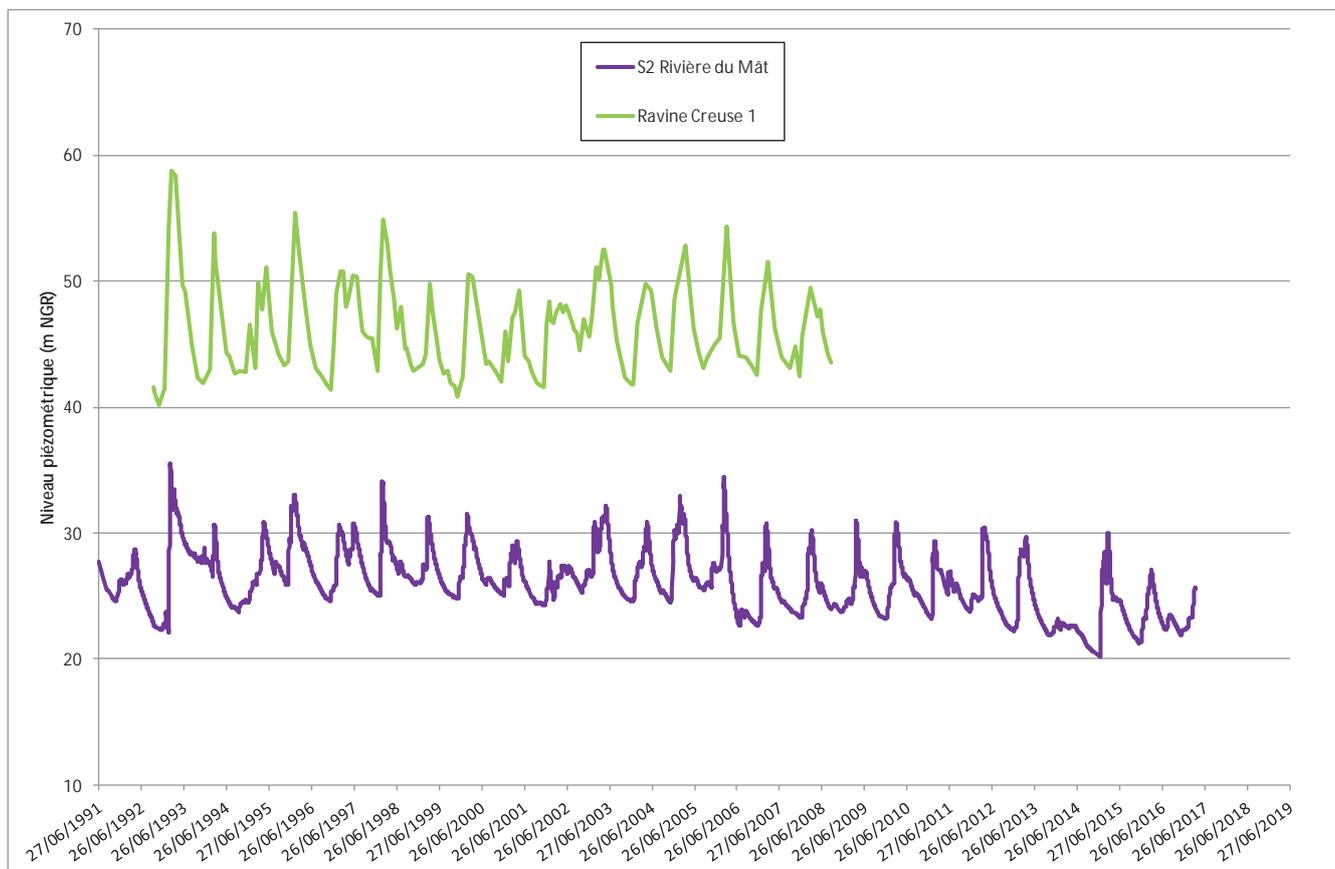


Figure 7 : Evolution piézométrique comparée des nappes superficielles sur les forages S2 et Ravine Creuse n°1 (source : OLE)

L'évolution piézométrique comparée sur les deux ouvrages montre un comportement similaire de cette nappe superficielle marqué par des variations piézométriques synchrones et de grandes amplitudes (de 10 à 15 m sur Ravine Creuse, et de 10 m sur S2). Les réactions sont toutefois plus rapides sur S2 rivière du Mât.

Les nappes développées dans les alluvions superficielles présentent une bonne réactivité aux cycles de précipitations bien marqués et reproductibles.

Pour autant, la continuité hydraulique entre ces ouvrages n'est pas avérée, et ils pourraient constituer des systèmes indépendants.

Le S2 (n°1227X0014) est en relation avec un sous écoulement alimenté par les infiltrations de la rivière du Mât, ce qui semble peu probable pour celui de Ravine Creuse (n°12273X0011).

- **Nappes inférieures :**

Les données de piézométries disponibles sur les nappes inférieures captées au droit des forages de Bengalis (n°12272X0064), Paniandy (n°12273X0010), P14-Champ Borne n°2 (n°12273X0012) et Ravine Creuse n°2 (n°12273X0011) sont présentées sur la graphique suivant.



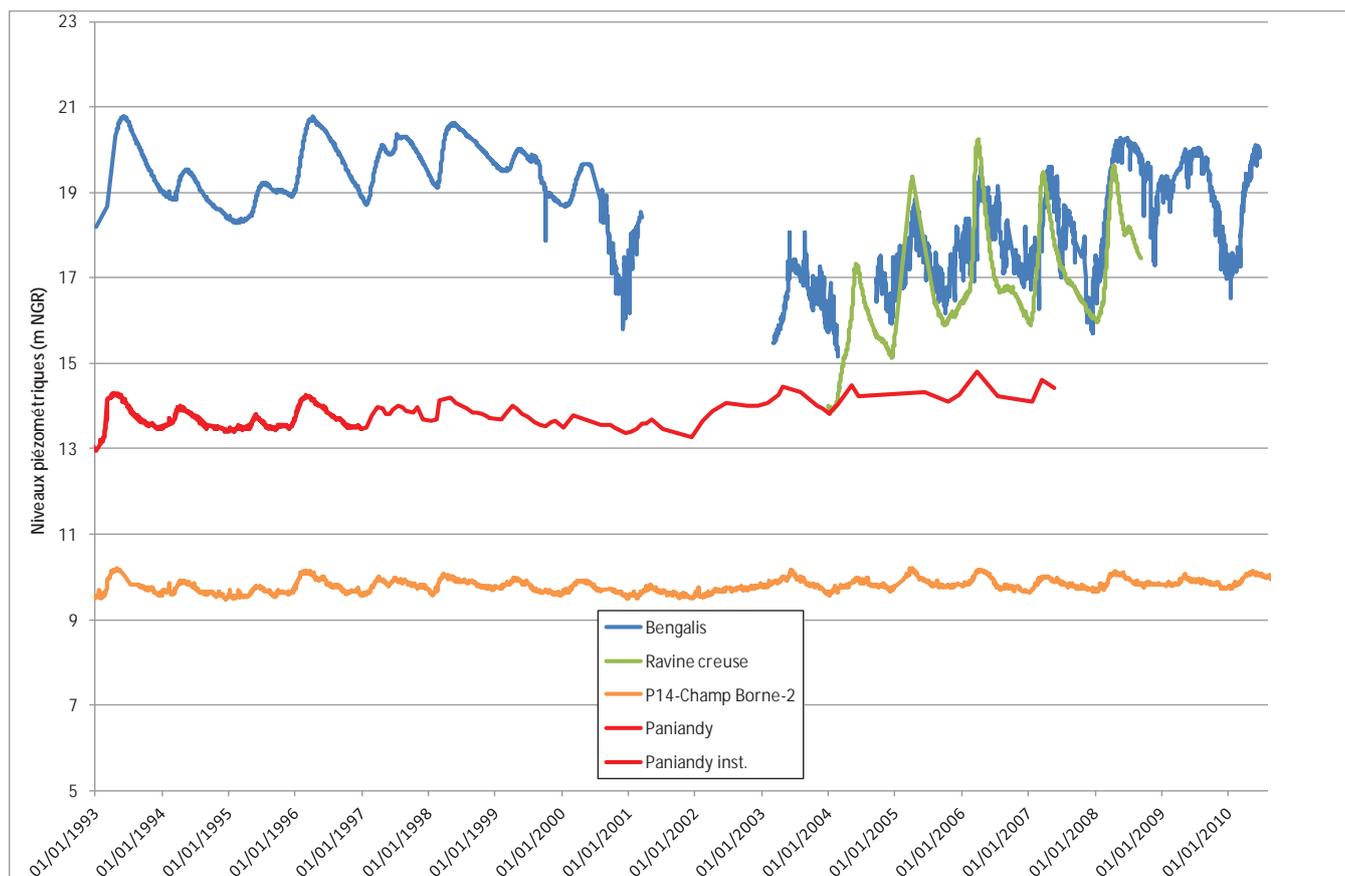


Figure 8 : Evolution piézométrique comparée des nappes inférieures sur les forages de Bengalis, Paniandy, P14-Champ Borne n°2 et Ravine Creuse n°2 (source : OLE)

L'analyse du comportement piézométrique de la nappe inférieure permet de distinguer plusieurs comportements :

- Le forage de Bengalis présente des variations piézométriques amorties, caractéristiques d'une nappe profonde, avec des amplitudes de variations interannuelle de l'ordre de 1,5 à 2 m. A partir de l'année 2000, l'influence de la mise en exploitation du forage de Dioré se fait bien sentir sur la piézométrie de la nappe au droit de Bengalis.
- Les forages de Paniandy et P14-Champ Borne n°2 présentent des évolutions similaires en variation et en amplitude (proche du mètre). L'évolution piézométrique amortie est également caractéristique du comportement d'une nappe profonde. Ces deux ouvrages présentent toutefois un comportement piézométrique différent de celui de Bengalis, marqué par des variations moins importantes et des décalages dans le temps.
- Le forage profond de Ravine Creuse n°2 est marqué par des variations de grande amplitude (proche de 7 m) et un profil piézométrique qui ne montre pas de similitude avec les autres ouvrages. Les fortes variations piézométriques observées sont difficilement assimilables au fonctionnement d'une nappe profonde.

Le graphique suivant présente l'évolution comparée de la piézométrie enregistrée au niveau des forages de Ravine Creuse n°1 (court) et de Ravine Creuse n°2 (long). Pour une meilleure lisibilité la piézométrie du forage Ravine Creuse n°1 a été diminué de 25 m.



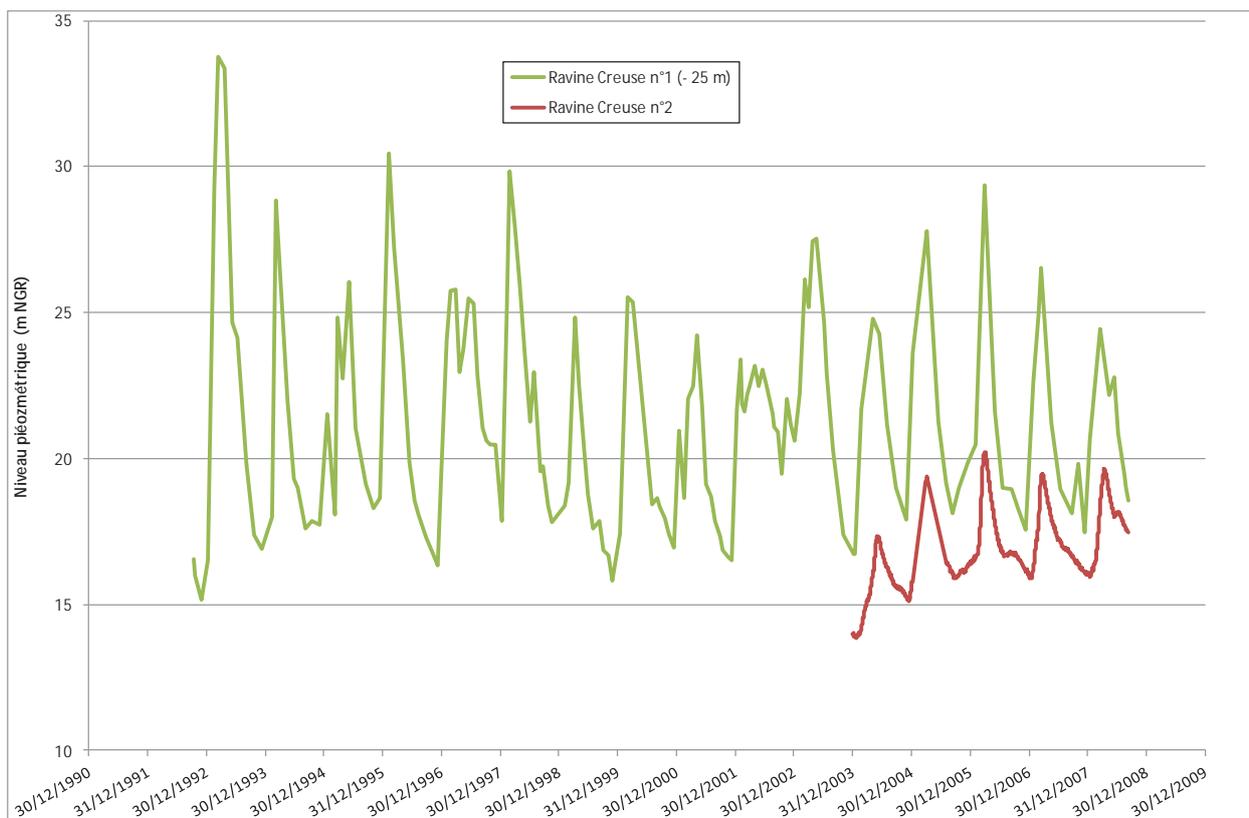


Figure 9 : Evolution piézométrique comparée des ouvrages Ravine Creuse n°1 (diminué de 25 m) et n°2

La nappe inférieure développée dans les alluvions faiblement perméables et les basaltes de phase III au droit du forage de Ravine Creuse présente un comportement similaire à la nappe superficielle développée dans les alluvions, malgré l'existence d'une coulée boueuses imperméable qui isole ces deux niveaux.

L'aquifère volcanique du forage de ravine Creuse semble être déconnecté de la nappe inférieure, identifiée sur les forages de Bengalis, Paniandy et P14-Champ Borne. La nappe inférieure du forage de Ravine Creuse semble bénéficier d'une réalimentation particulière (drainance, axe de circulation préférentiel ?).

### 3.3 Données de références hydrogéologiques au droit du site

Le piézomètre SC2 implanté à l'aval hydraulique du projet (cf. Figure 10) fait l'objet d'un suivi piézométrique manuelle depuis juin 2014. La fréquence des mesures était mensuelle sur la période juin 2014-décembre 2015, puis hebdomadaire sur la période 2016-2017.



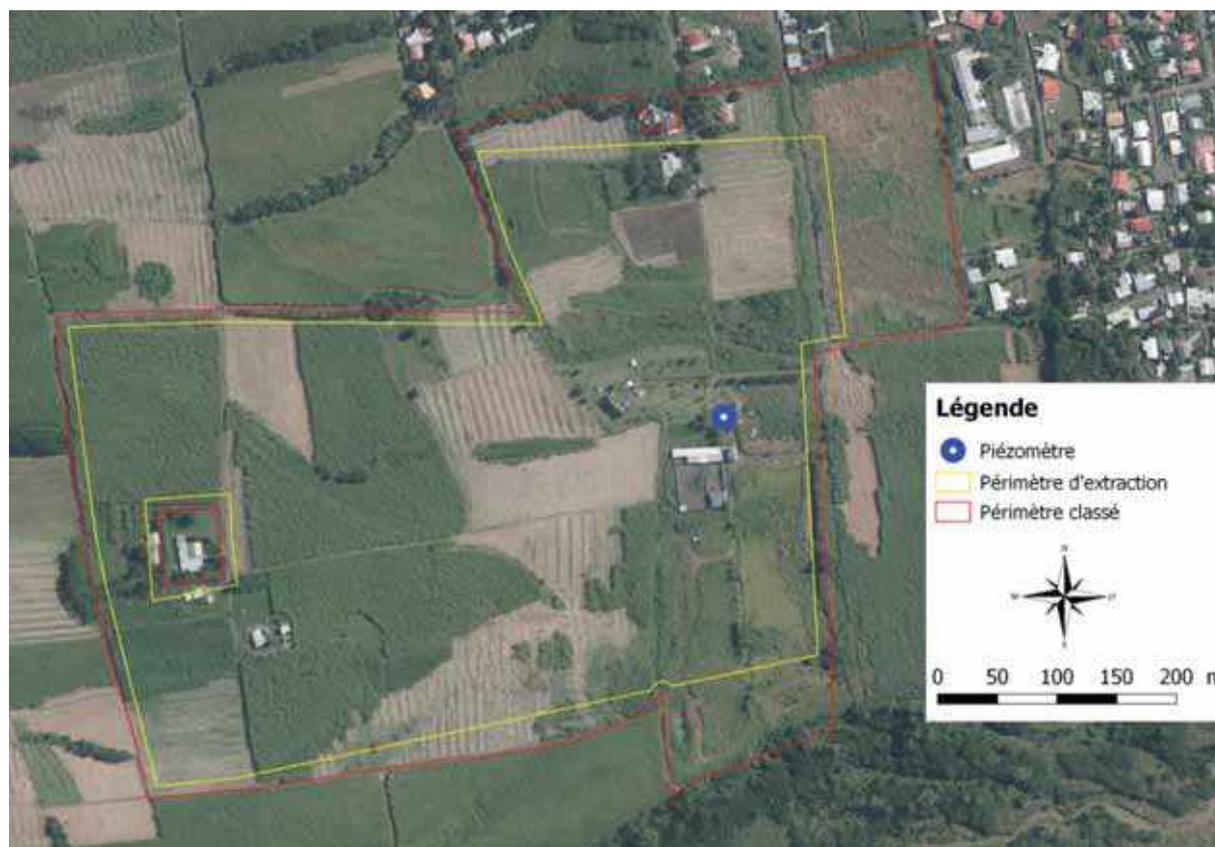


Figure 10 : Implantation du piézomètre SC2 en aval hydraulique de la zone de projet

L'évolution piézométrique de la nappe superficielle au droit du site, comparée au régime de précipitation mensuelles enregistrées sur la station de Gillot Aéroport est présentée sur la Figure 11.

Sur la période d'observation (juin 2014 à avril 2017) les variations piézométriques montrent :

- Que la nappe présente des variations comprises entre 20,56 m NGR à l'étiage (décembre 2014) et 28,46 m NGR en période de hautes eaux (février 2015), soit une amplitude de variation piézométrique d'environ 8 m avec une moyenne à 24,33 m NGR.
- Que les variations piézométriques sont relativement bien corrélées au régime de précipitations, avec un flux d'alimentation qui semble maximum directement après les pluies (influence de la rivière du Mât ?) et entretenu dans le temps par les infiltrations sur la plaine et une alimentation d'origine plus lointaine. Le fonctionnement de cette nappe superficielle est caractéristique du fonctionnement des nappes alluvionnaires à proximité des cours d'eau à la Réunion.



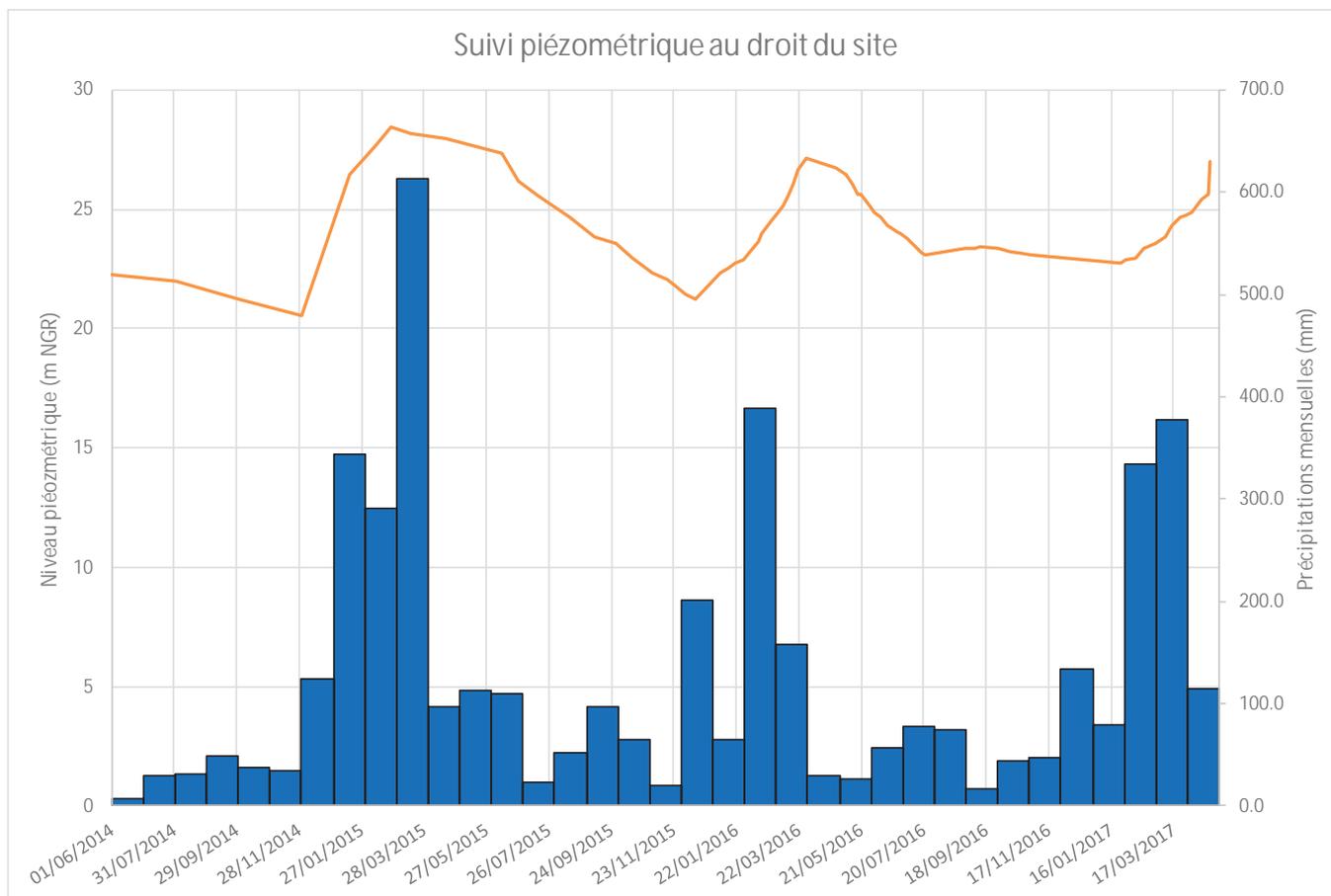


Figure 11 : Suivi piézométrique au droit du site – piézomètre carrière SC2

### 3.4 Détermination des niveaux de nappes de références

Les historiques de mesures piézométriques sont peu étendus à la Réunion et il est difficile de définir une occurrence statistique des niveaux (décennale, centennale). Aussi, nous retiendrons les dénominations suivantes :

- ✓ Niveau de basses eaux,
- ✓ Niveau de nappe moyenne,
- ✓ Niveau de hautes eaux,
- ✓ Niveau de hautes eaux exceptionnelles.

La méthodologie retenue pour déterminer les niveaux de référence au droit du site, vise à comparer les données disponibles au droit du site avec celles de piézomètres de référence les plus proches, puis d'extrapoler les cotes en rapport avec des événements caractérisés sur les ouvrages de référence disposant de données.

Le suivi réalisé sur le piézomètre SC2 peut être comparé aux données des ouvrages S2 Rivière du Mât et Ravine Creuse n°1 qui disposent de chroniques de données pluriannuelles étendues des variations de la nappe superficielle des alluvions. Ces ouvrages sont utilisés comme ouvrages de références pour la définition des cycles hydrogéologiques de références.



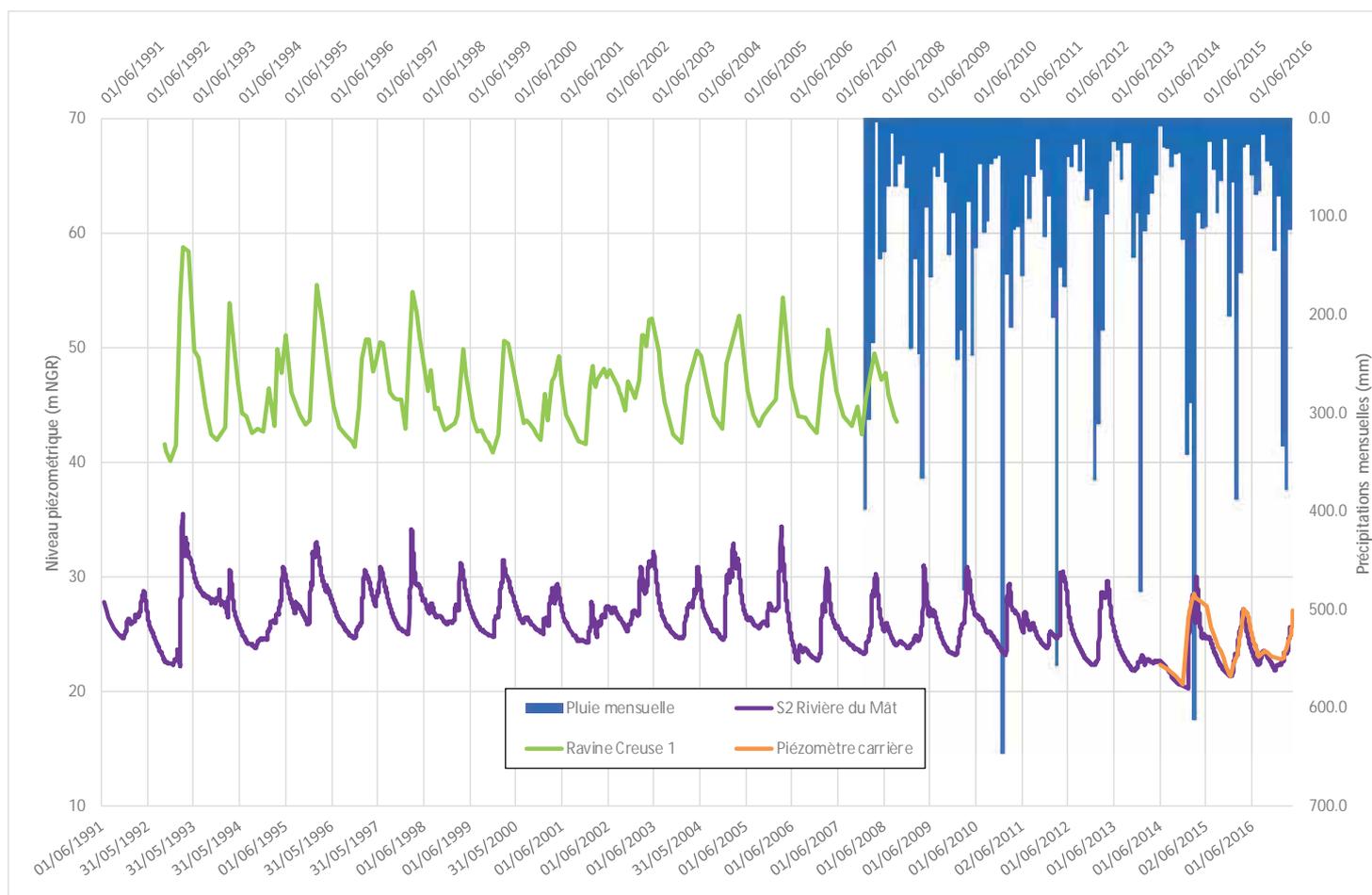


Figure 12 : Chronique de données piézométriques des ouvrages S2 rivière du Mât, Ravine Creuse n°1 et du piézomètre carrière (SC2)

L'analyse des variations piézométriques montre que la nappe au piézomètre SC2 présente un comportement identique à celui observé dans le piézomètre S2 Rivière du Mât. Le léger décalage observé est simplement dû au fait que le piézomètre S2 fait l'objet d'un suivi en continu et SC2 d'un suivi manuel hebdomadaire.

Par extrapolation des battements de la nappe observée au droit du piézomètre S2 Rivière du Mât, il est possible d'évaluer les niveaux de hautes et basses eaux sur le piézomètre SC2, en fonction des cycles hydrologiques.

L'analyse de la chronique piézométrique de l'ouvrage S2 rivière du Mât montre que :

- Entre son état de basses eaux extrême 20,18 m NGR en 2014, et son état de hautes eaux extrême 35,5 m NGR en 1993 (cyclone Colina), le piézomètre S2 présente une amplitude de variations piézométriques de l'ordre de 15,32 m ;
- La cote 30 m NGR est pratiquement atteinte chaque année (18 fois sur 25 années de suivi : 1992-2016) ;
- La cote 34 m NGR n'est atteinte que 3 fois (1993, 1998 et 2006) sur les 25 années de suivi, et la cote 35 m NGR, une seule fois.



En conséquence, à ce jour, sur la base des données présentées dans ce rapport, nous en concluons que pour une occurrence que l'on peut qualifier de décennale, les niveaux de nappe au droit du piézomètre SC2 seraient de l'ordre de :

- période de basses eaux : environ 20,00 m NGR ;
- période de hautes eaux : environ 31,00 m NGR ;
- période de hautes eaux exceptionnelles : environ 35,00 m NGR.

Ainsi, on peut considérer qu'au droit du piézomètre SC2 :

- la cote de 30 m NGR est atteinte tous les ans lors d'un événement pluvieux important ;
- le niveau de hautes eaux exceptionnelles est d'environ 35,00 m NGR et il se produit une fois tous les 10 ans.

Sur la base du comportement hydrogéologique de la nappe superficielle, on peut ainsi estimer qu'en cas d'évènement majeur, le niveau de 35 m NGR puisse être atteint, voire dépassé.

De manière générale, les niveaux piézométriques hauts observés ont une durée faible, inférieure à 15 jours.

Concernant le secteur amont de la zone de projet, les informations piézométriques disponibles au niveau des sondages carottés SC1 et SC2 de 2011 indiquent que les piézomètres étaient espacés de 455 m.

En 2011, le sondage SC1 a relevé le toit de la nappe à une profondeur de 29 m/TN pour une altitude de 63,5 m NGR et le piézomètre SC2 à une profondeur de 30 m pour une altitude de 54,72 m NGR.

Sur la base de ces informations, la nappe superficielle semble présenter le même pendage que le terrain naturel dans ce secteur, soit une pente calculée de 2%. L'écoulement de la nappe s'effectue du sud-ouest vers le nord-est, en direction de l'océan.

Il est ainsi possible par extrapolation de définir les cotes de hautes, moyennes et basses eaux dans le secteur amont de la parcelle, au droit du sondage SC1.

Ces données sont résumées dans le tableau suivant et sur le profil en long, en Figure 13 :

Sondage	SC1 amont	SC2 aval
Cote terrain naturel (m NGR)	63,5 m	54,72 m
Cote hautes eaux exceptionnelles (m NGR)	44 m	35 m
Cote hautes eaux (m NGR)	40 m	31m
Cote de basses eaux (m NGR)	29 m	20 m

Tableau 2 : Définition des cotes de hautes, moyenne et basses eaux au droit de la zone de projet



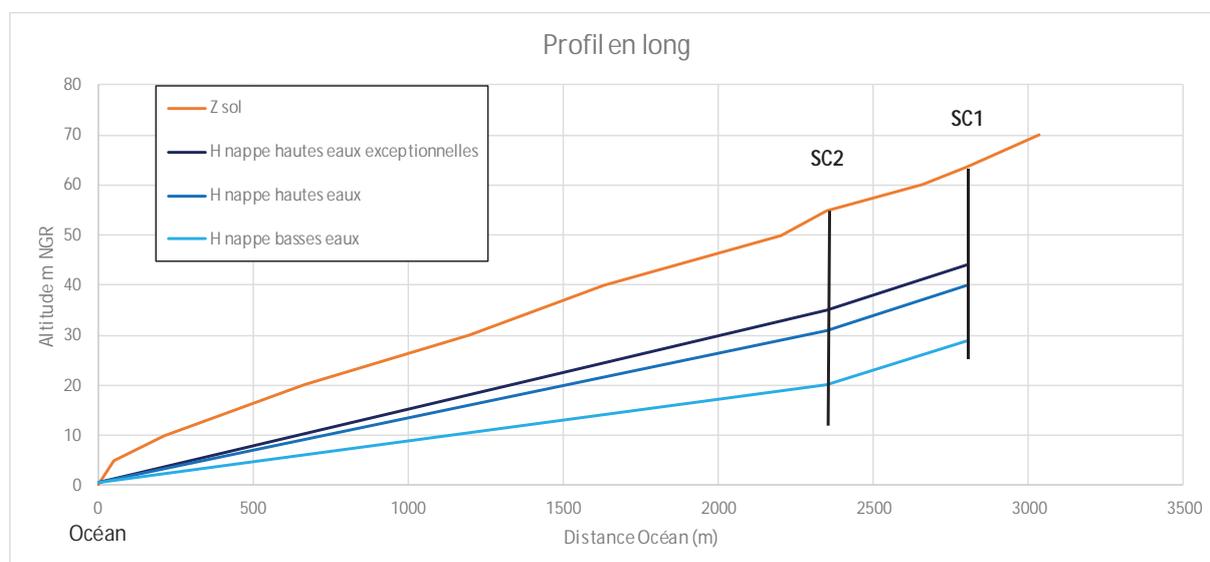


Figure 13 : Profil en long et hauteurs de nappes établies au droit du site

La détermination des côtes de plus hautes eaux au droit du projet de carrière permet de définir et d'optimiser les côtes d'exploitation (fond de fouille). Les côtes de fond d'extraction seront positionnées au-dessus des côtes de plus hautes définies dans le cadre de cette étude, en prenant une marge de sécurité permettant d'envisager une exploitation hors d'eau en toute sécurité.

### 3.5 Forages AEP exploités dans le secteur

L'inventaire des forages et puits exploités pour un usage AEP (source : ARS) dans le secteur fait état de trois ouvrages : le forage de Ravine Creuse, situé au nord du bourg de Saint-André, à 2 km de la zone de projet, le forage de Dioré situé en rive gauche de la rivière du Mât, à 3,2 km à l'ouest de la zone de projet, et le forage de Terre Rouge à 4 km au nord-ouest. Les périmètres de protection de ces ouvrages sont présentés sur la figure suivante.

A noter que le forage S2 Rivière du Mât situé à 1 km au sud de la zone de projet n'est plus exploité depuis l'année 2000.

L'ensemble des ouvrages AEP du secteur sont situés en amont hydraulique de la zone de projet. Ils exploitent une nappe profonde déconnectée de la nappe superficielle présente au droit de la zone de projet.



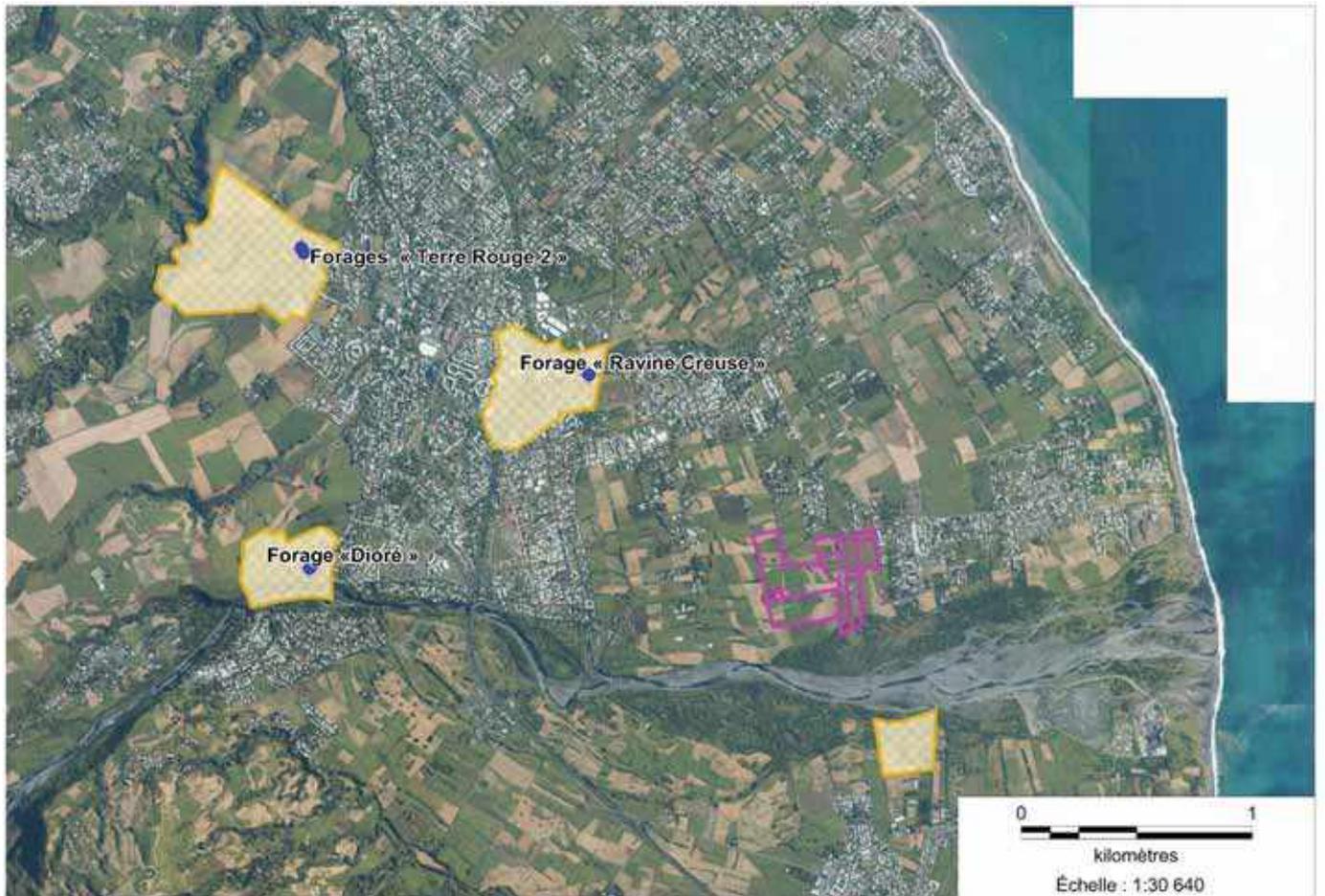


Figure 14 : Forages AEP du secteur et périmètres de protection associés (source : ARS)





# ANNEXES



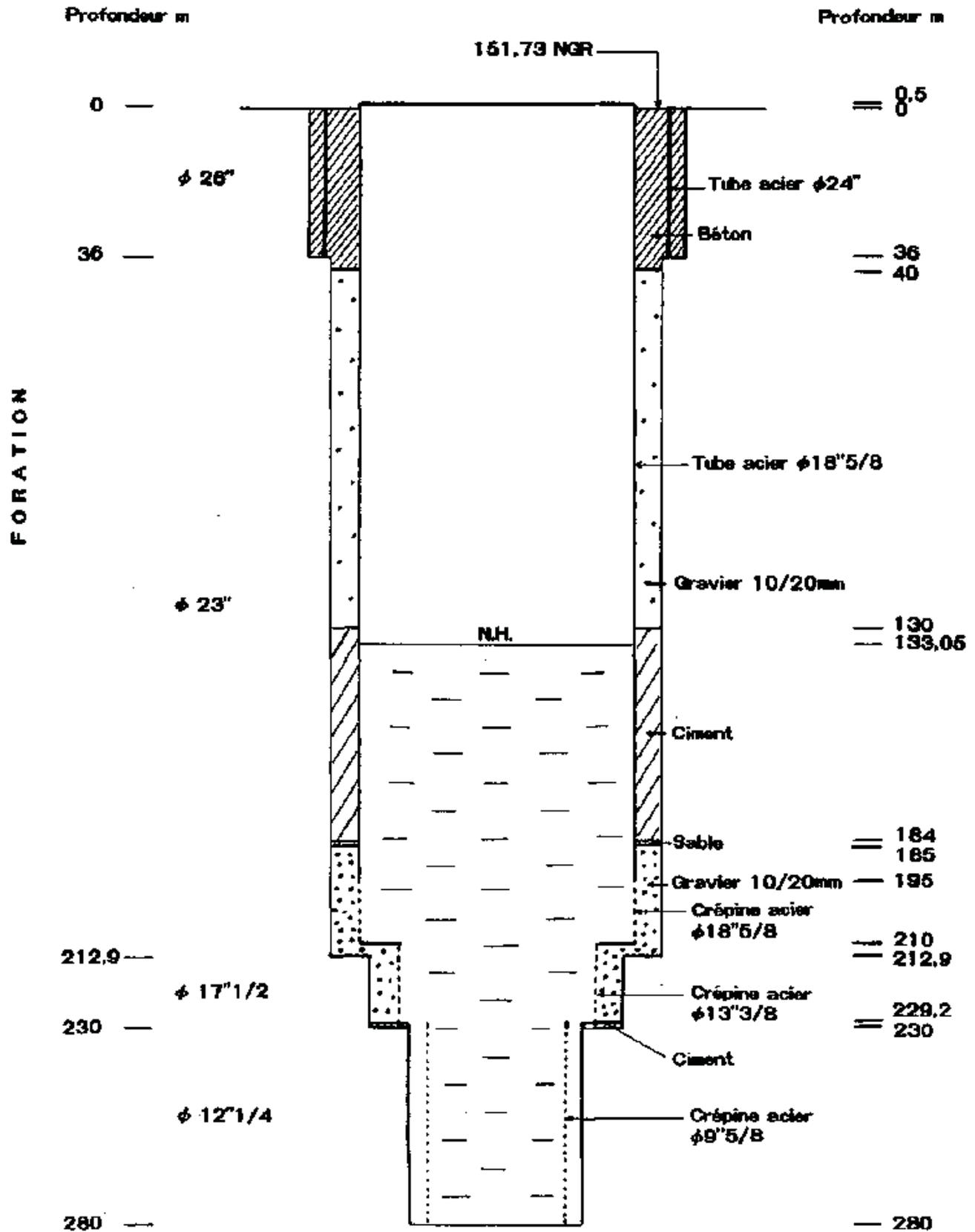
**Annexe I : Coupes géologiques et techniques des forages référencés dans la zone d'étude (source BSS) - Bengalis (n°12272X0064), Dioré (n°12272X0053), Ravine Creuse (n°12273X0011), Paniandy (n°12273X0010), S2 Rivière du Mât (n°12273X0014), P14 Champ Borne 1 (n°12273X0012) et 2 (n°12273X0009)**





# FORAGE DIURE-COUCHE TECHNIQUE

1227 - 2X - 0130



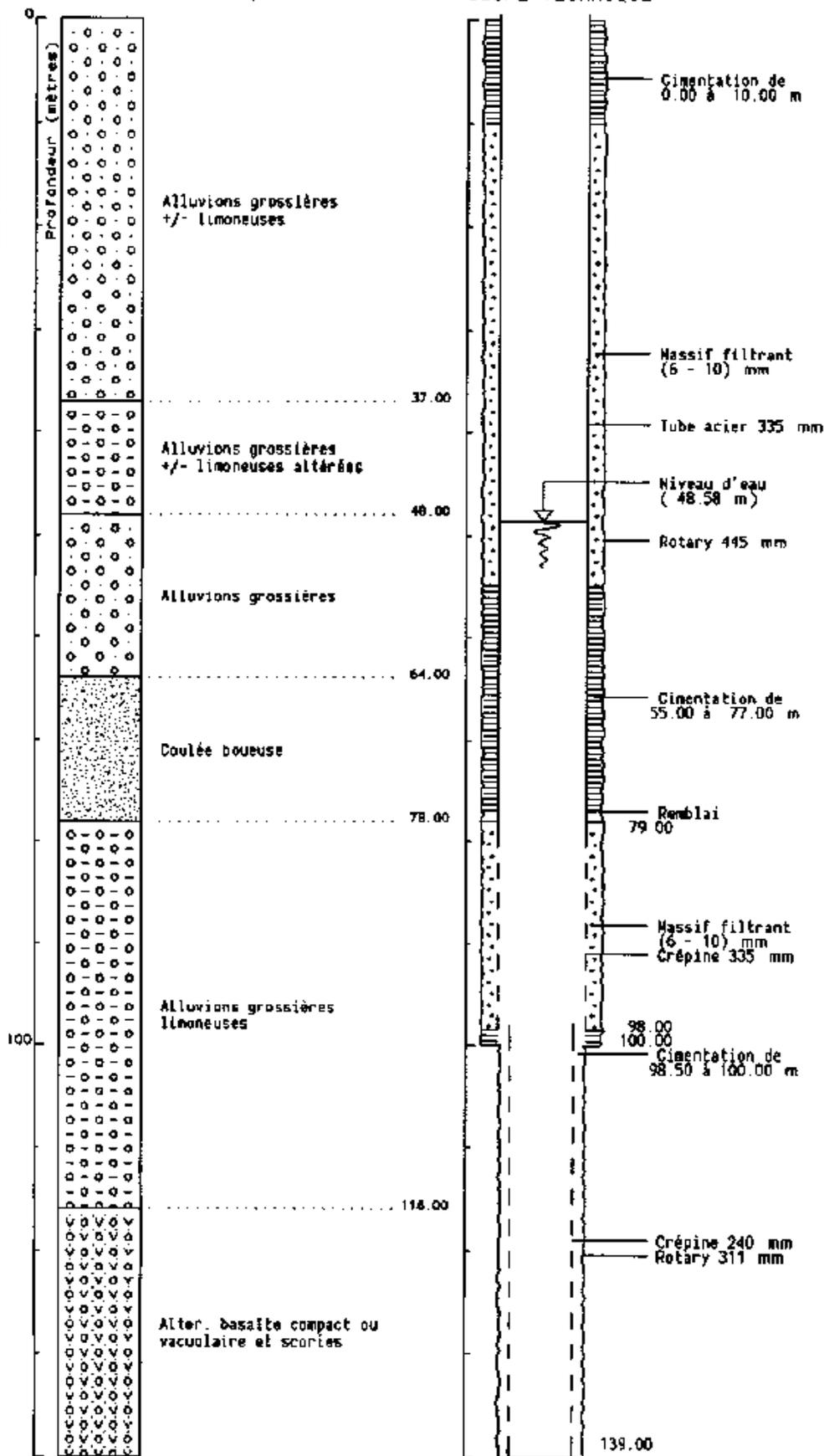
12273X0011/F/Re

Département : REUNION  
Commune : SAINT ANDRE

N° classement : 1227-3X-0011  
Désignation : F R CREU

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 26/11/91  
Fin : 07/02/92

LOCALISATION

X : 173.942 km  
Y : 68.194 km  
Z sol : 70.38 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 48.58 m  
Rep/sol : 0.00 m  
Z rep. : 70.38 m  
Cote : 21.80 m piézo

SGR Océan Indien

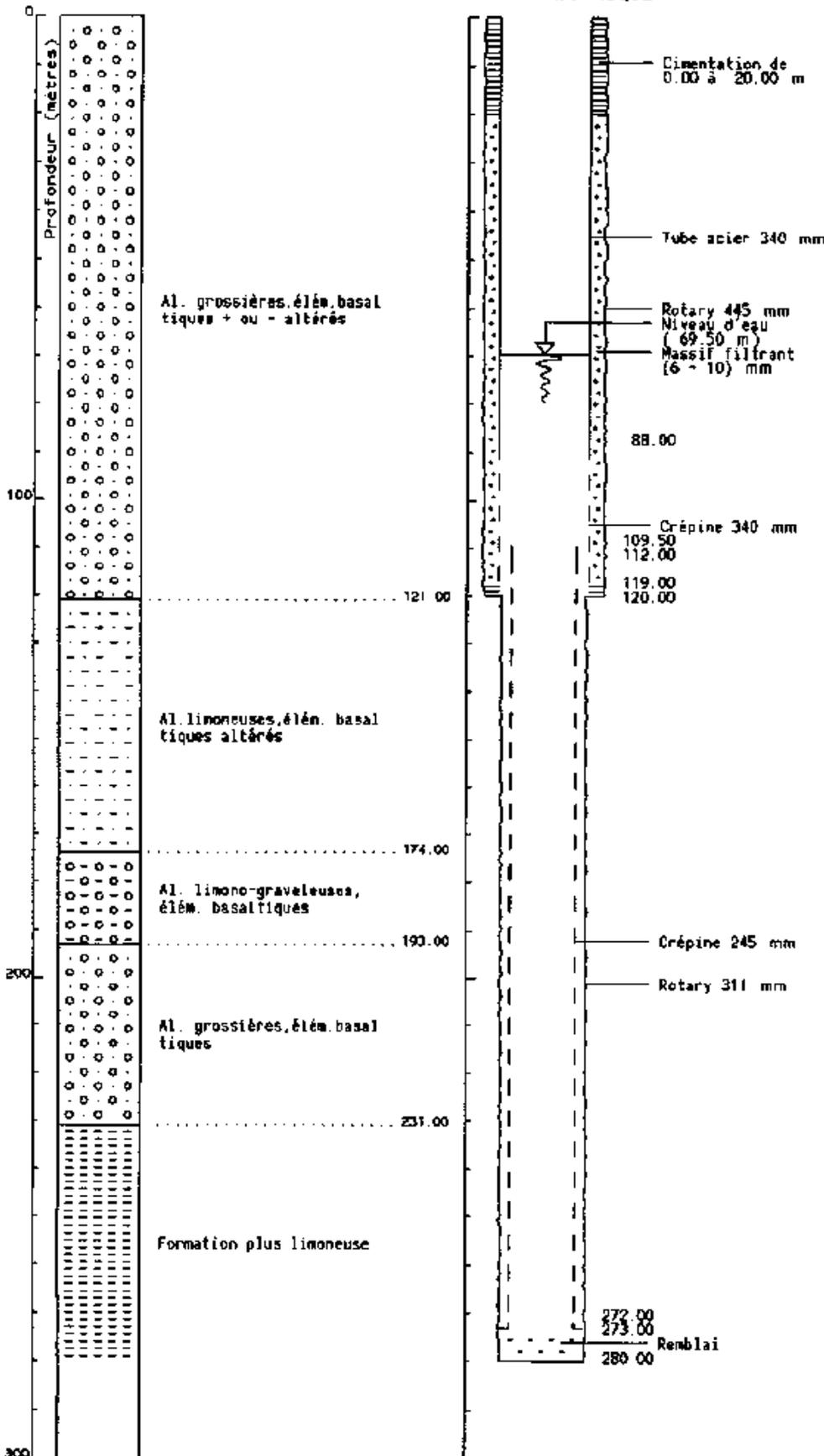
12273X0010 / F / RC

Département : REUNION  
Commune : BRAS-PANON

N° classement : 1227-3X-0010  
Désignation : EPania

COUPE LITHOLOGIQUE

COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 19/08/91

Fin : 25/11/91

LOCALISATION

X : 174.296 km

Y : 65.200 km

Z sol : 82.92 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 69.50 m

Rep/sol : 0.50 m

Z rep. : 83.42 m

Cote : 13.42 m piézo

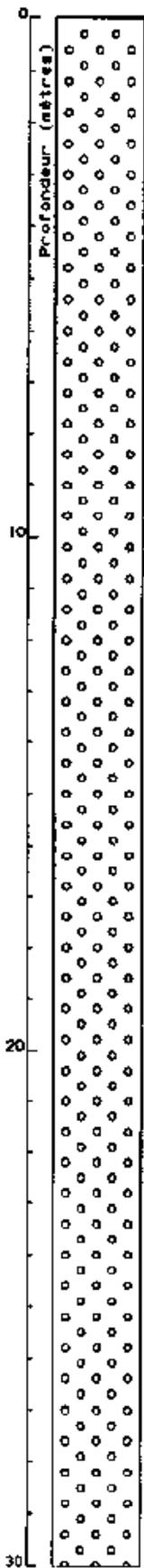
SGR Océan Indien

12273X0014/S2/RC

Département : REUNION  
Commune : BRAS PANON

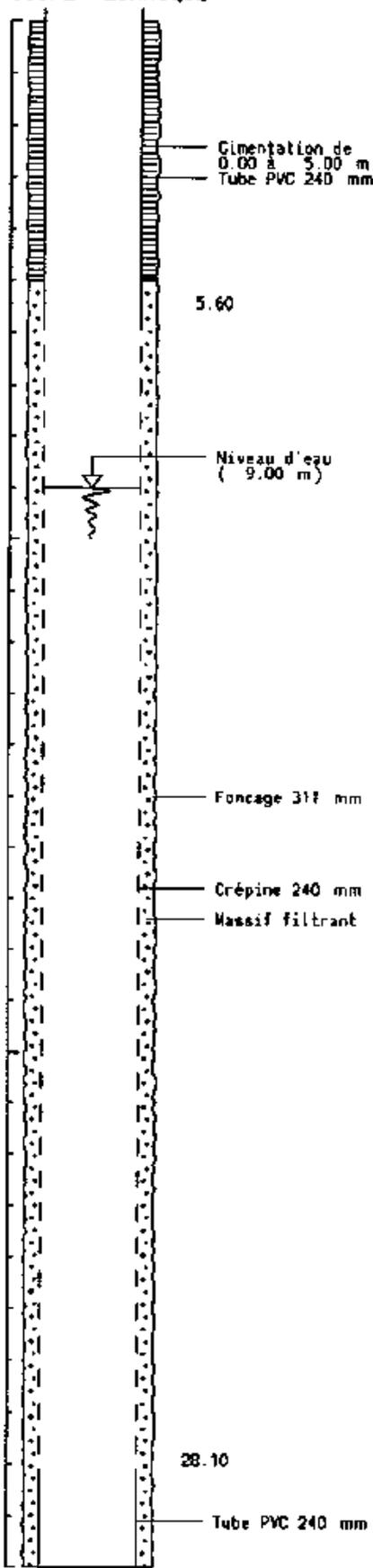
N° classement : 1227-3X-0014  
Désignation : S2

COUPE LITHOLOGIQUE



Alluvions : blocs, galets  
graviers et sable

COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 10/04/91  
Fin : 06/05/91

LOCALISATION

X : 176.045 km  
Y : 65.756 km  
Z sol : 40.34 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 9.00 m  
Rep/sol : 0.00 m  
Z rep. : 40.34 m  
Date : 31.34 m  
piézo

POMPAGE D'ESSAI

Date : 06/05/91  
Durée : 23.5 h  
Débit : 196.0 m<sup>3</sup>/h  
Rabat. : 6.75 m

PARAMETRE(S)  
HYDRODYNAMIQUE(S)

T : 3.0 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s

PARAMETRES  
PHYSICO-CHEMIS

Temp. : 21.2 °C  
Cond. : 253µS/cm  
Résidu : 169 mg/l  
sec



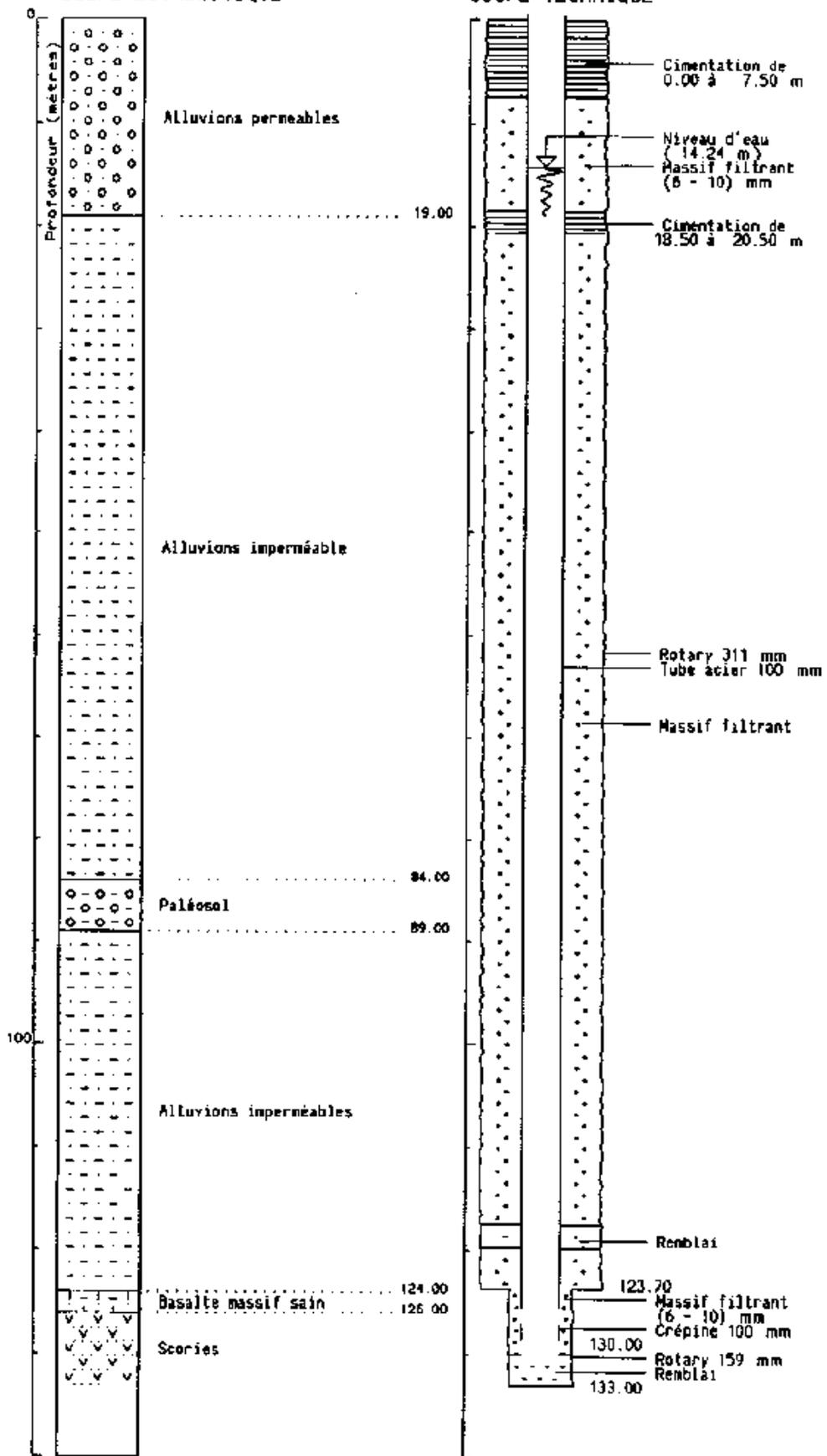
# 12273X0009 / P14 / RC

Département : REUNION  
Commune : SAINT ANDRE

N° classement : 1227-3X-0009  
Designation : P 14

### COUPE LITHOLOGIQUE

### COUPE TECHNIQUE



### DATE(S) D'EXECUTION

Début : 04/12/89  
Fin : 31/03/90

### LOCALISATION

X : 175.905 km  
Y : 69.345 km  
Z sol : 23.67 m

### PIEZOMETRIE

NS/sol : 14.24 m  
Rep/sol : 0.00 m  
Z rep : 23.67 m  
Cote : 9.43 m  
piézo



  
antea<sup>®</sup>group

## ANNEXE 4 - Pièce 4

---

Diagnostic géotechnique sur la stabilité des talus  
envisagés lors de l'exploitation (SIOL PIX, 2017)

**Projet de carrière sur la commune  
de Saint-André  
à l'embouchure  
de la Rivière du Mât**



SOILPIX  
10 chemin Smith  
97410 Saint-Pierre  
La Réunion

Gsm : (0692) 61 49 30  
E-mail : soilpix@yahoo.fr

Siret 49382872700021  
APE 7112B

Dossier n° :	RE17C44G0
Client :	PREFABLOC AGRÉGATS 18 RUE JEAN COCTEAU 97480 SAINT-JOSEPH M. Fabrice VALROMEX GSM: 0692871928
Date :	Version 1 du 27 Juin 2017 1 <sup>er</sup> Document
Rapport d'étude établi par :	Jani GJOKA

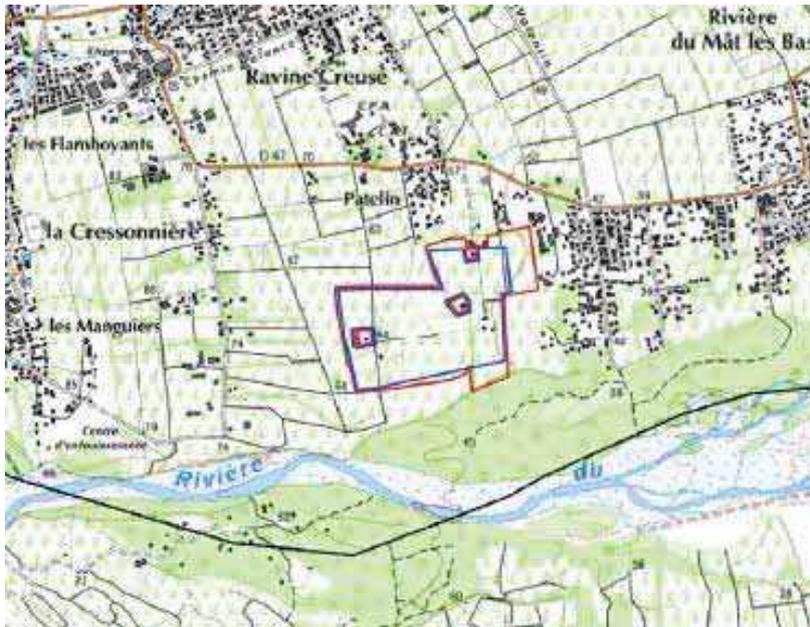
**Table des matières**

<b><i>I- INTRODUCTION.....</i></b>	<b><i>3</i></b>
I-1 Objet de cette note de calcul.....	3
I-2 Données existantes .....	5
I-3 Contexte géologique et hydrogéologique général.....	6
I-4 Topographie.....	7
I-5 Fonctionnement hydraulique .....	8
I-6 Hydrologie .....	8
<b><i>II- ÉLÉMENTS AYANT UN IMPACT SUR LES PENTES D'EXCAVATION .....</i></b>	<b><i>9</i></b>
II-1 Structure géologique générale.....	9
II-2 Discontinuités lithologiques .....	10
II-3 Stratifications et failles.....	11
II-4 Circulations d'eau.....	11
II-5 Propriétés des sols .....	11
II-6 Conditions externes .....	12
II-6.1 Sismicité .....	12
II-6.2 Surcharges en crête.....	12
<b><i>III – JUSTIFICATION DES PENTES D'EXCAVATION .....</i></b>	<b><i>13</i></b>
III-1 Talus à pente globale de 69° à banquettes de 6 m avec front de taille vertical et risbermes de 3 m	13
III-2 Talus à pente globale de 62° à banquettes de 12 m à front de taille de 72° et risbermes de 5 m .....	15
<b><i>IV CONCLUSIONS.....</i></b>	<b><i>18</i></b>

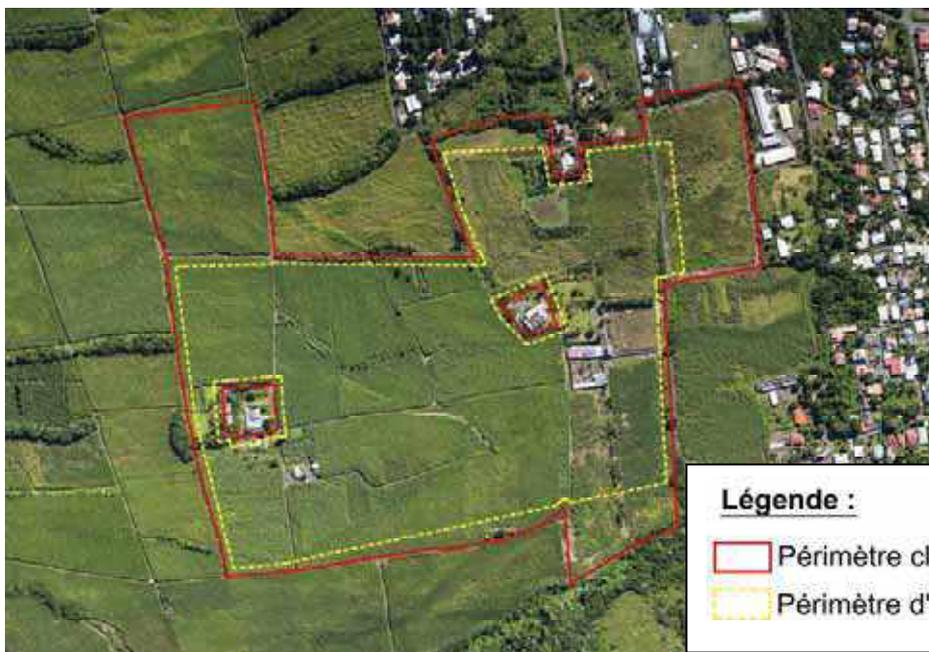
## I- INTRODUCTION

### I-1 Objet de cette note de calcul

À la demande de PRÉFABLOC AGRÉGATS et dans le cadre d'un projet de carrière à la Rivière du Mât les Bas, Soilpix a réalisé une étude de la stabilité des talus en phase exploitation.



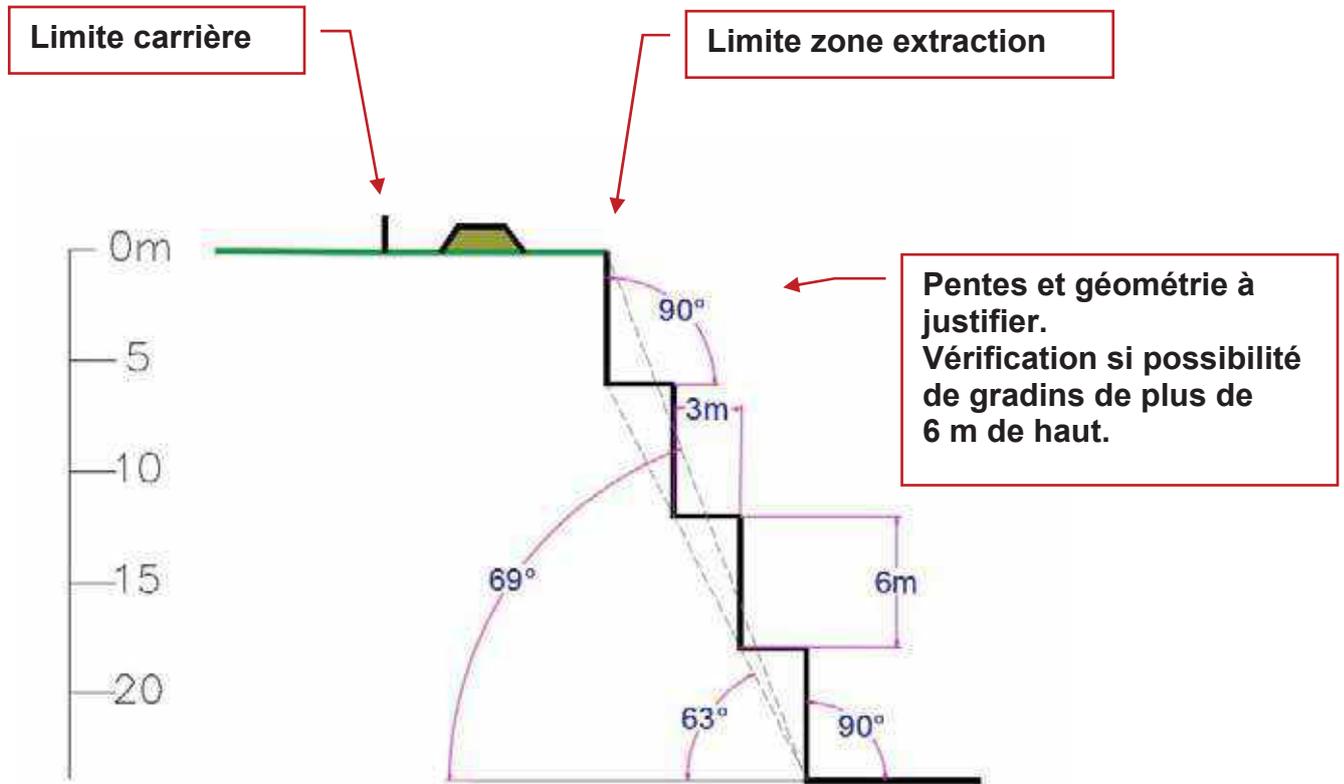
Plan de situation de la carrière



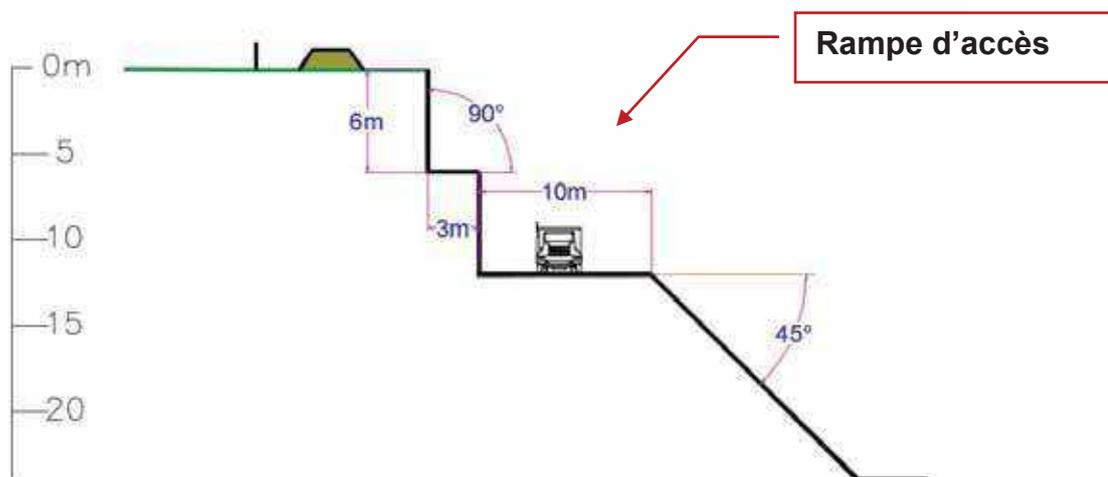
Périmètre d'extraction

Il s'agit d'une note de calcul géotechnique pour la justification aux grands glissements des pentes d'excavation.

La stabilité de la géométrie d'excavation suivante sera étudiée :



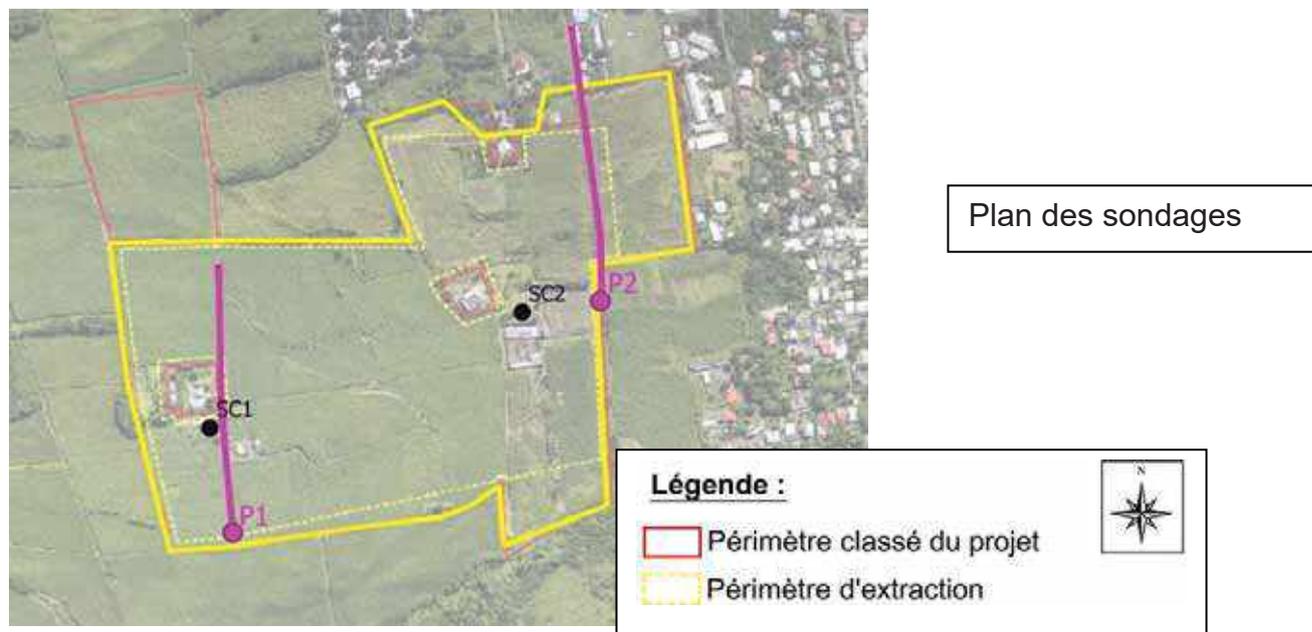
Vérification des caractéristiques des talus en pied de rampe avec optimisation de la consommation des matériaux



## I-2 Données existantes

Le site a fait l'objet de deux sondages carottés profonds et de deux lignes de panneaux électriques (prospection géophysique).

Les sondages carottés réalisés en octobre 2011 (SC1 et SC2) ont eu une profondeur d'environ 40 m.



Il n'y a pas de carrière similaire à proximité. Il s'agit cependant d'une carrière sur un site alluvionnaire (alluvions torrentielles anciennes) et il existe à la Réunion un certain nombre de zones d'extractions sur des formations de ce type.

Ayant participé à des reconnaissances géotechniques sur un certain nombre de ces carrières, nous allons utiliser le retour d'expérience de la phase calcul et exploitation sur ces carrières.

Études similaires :

Avril 2014 : PROJET DE CARRIÈRE SORECO SUR PIERREFONDS  
ÉTUDE GÉOTECHNIQUE SUR LA STABILITÉ DES TALUS EN PHASE EXTRACTION  
ÉTUDE DE LA GÉOMÉTRIE DES PENTES DE LA CARRIÈRE EXISTANTE

Avril 2013 : CARRIÈRE ALLUVIONNAIRE SAM À SAINTE-ANNE - CALCULS DE STABILITÉ EN GRAND EN PHASE EXPLOITATION ET EN PHASE REMISE EN ÉTAT

Mai 2013 et Mai 2017 : CARRIÈRE SUR LA PLAINE DEFAUD. ÉTUDE GÉOTECHNIQUE SUR LA STABILITÉ DES TALUS EN PHASE EXTRACTION. SUIVI GÉOTECHNIQUE D'EXÉCUTION

Nous avons également consulté les documents suivants :

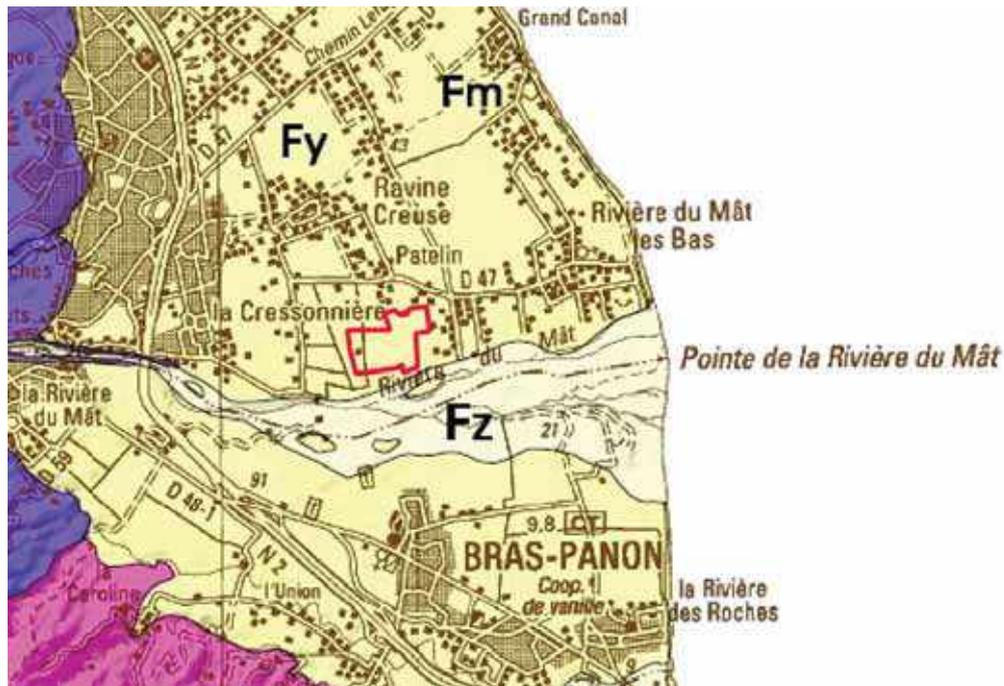
BRGM/RP-54235-FR Janvier 2006 : Étude géostructurale du cône alluvial de la Rivière du Mât et de son substratum dans le secteur de Paniandy/Bras-Panon Rapport final  
BRGMIRP-54445-FR Mars 2006 : Caractéristiques géomorphologiques du lit de la Rivière du Mât entre le pont de l'Escalier et le littoral Rapport final

### I-3 Contexte géologique et hydrogéologique général

D'un point de vue géologique, le site se trouve dans le complexe alluvionnaire ancien de la Rivière du Mât.

Ce complexe s'étend depuis Cambuston jusqu'à Bras-Panon. Il s'est édifié à partir des apports en provenance du cirque de Salazie mais aussi des nombreuses ravines issues des planèzes avoisinantes.

La puissance des alluvions torrentielles est de l'ordre de la centaine de mètres. On notera la possibilité d'existence de coulées boueuses, indurées et interstratifiées dans les alluvions.



#### Formations superficielles

##### Dépôts alluviaux

**Fz** Alluvions récentes

**Fy** Alluvions anciennes

##### Dépôts littoraux et marins

**D** Sables et galets de plage

**Fm** Alluvions fluvio-marines

**Db** Sables dunaires basaltiques

**R** Récifs coralliens

##### Dépôts gravitaires

**E** Dépôts de glissements en masse, de coulées de débris, éboulis

Les coulées boueuses sont interprétées comme des dépôts de coulées de débris de type lahar liés à l'agrandissement du cirque de Salazie.

Ces dépôts, largement érodés, s'observent à l'affleurement dans le lit de la Rivière du Mât ou, interstratifiés dans les alluvions anciennes. Leur puissance apparente n'excède pas 15 m à 20 m dans la zone d'étude.

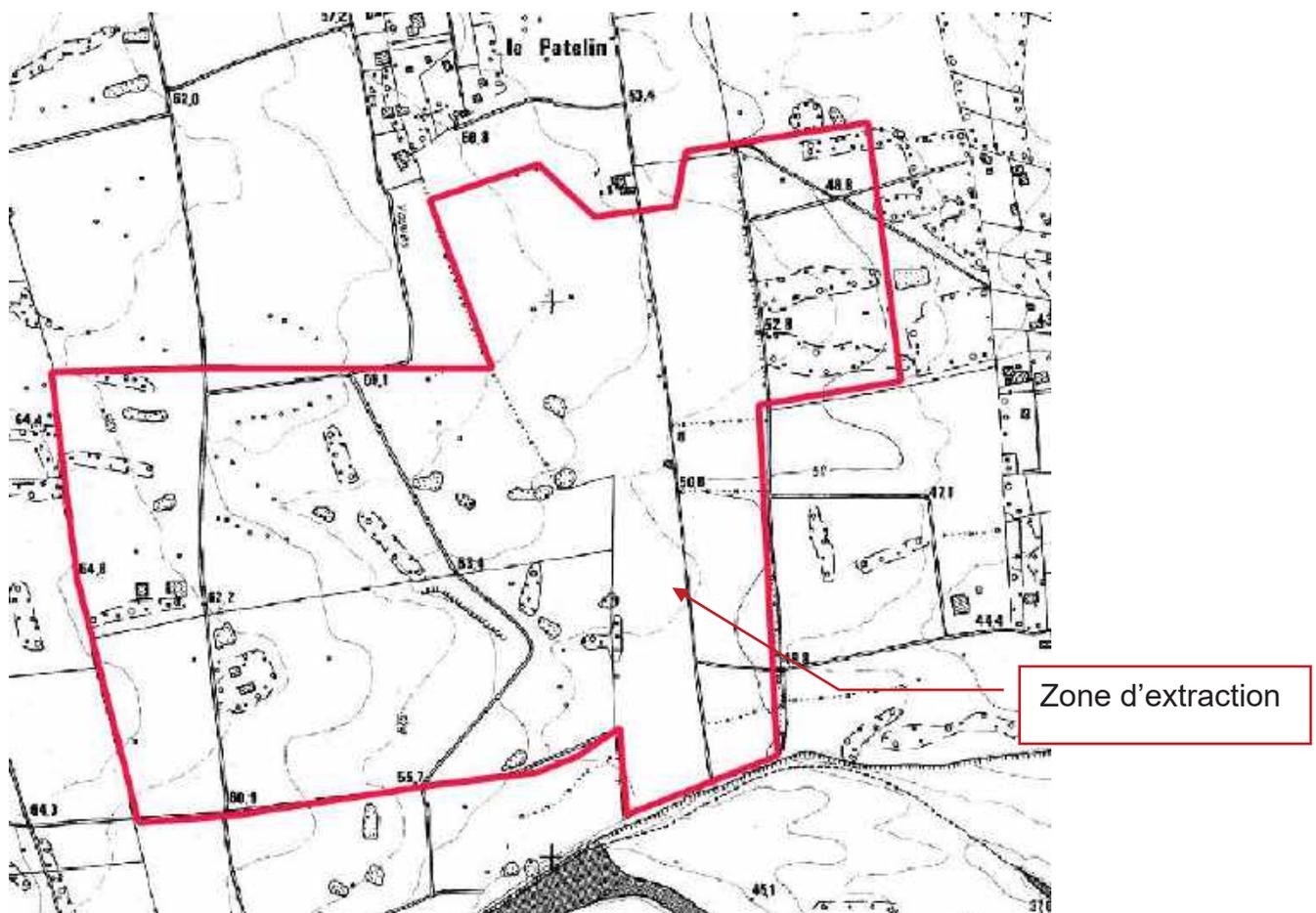
Les coulées boueuses sont constituées d'une matrice argilo-silteuse brunâtre souvent partiellement indurée. Elles renferment de nombreux fragments rocheux polygéniques (basaltes, trachytes, brèches, tufs, etc.), très hétérométriques (graviers à blocs pouvant atteindre plusieurs mètres de diamètre).

#### ***I-4 Topographie***

La zone d'extraction est calée entre les cotes 65 et 50 m NGR, soit un dénivelé d'environ 15 m entre les deux extrémités de la zone.

En termes de pentes, on est situé à 2 % dans la moyenne des pentes du complexe alluvionnaire.

La zone est traversée par de nombreux chenaux et mini talwegs, mais aussi par un talweg assez important qui draine une partie des eaux pluviales en provenance de la Cressonnière.



### I-5 Fonctionnement hydraulique

Le projet se situe à l'intérieur du bassin versant le Mât lequel s'étend jusqu'à la Cressonnière. Les eaux pluviales dans ce bassin versant sont drainées par les nombreux talwegs de la plaine alluviale.

Ces aspects hydrauliques sont traités dans un dossier spécial. Cette note de calcul géotechnique considère que les problèmes liés aux écoulements sont tous pris en considération dans le projet.

### I-6 Hydrologie

Le sondage SC2 a été équipé d'un piézomètre et il a fait l'objet d'un suivi piézométrique.

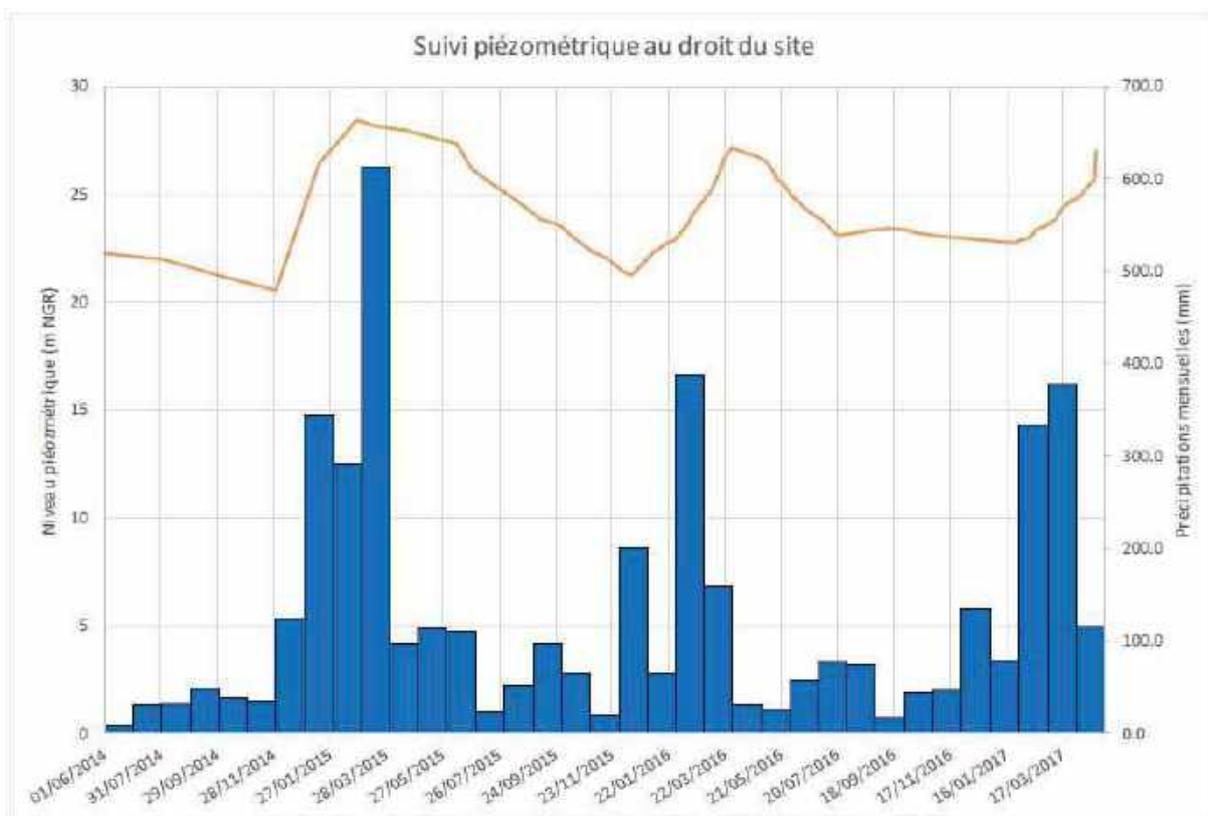


Figure 11 : Suivi piézométrique au droit du site – piézomètre carrière SC2

Du relevé il s'agit d'une cote approximative des plus hautes eaux (relevés sur 3 ans) à 26,0 m NGR environ.

## II- ÉLÉMENTS AYANT UN IMPACT SUR LES PENTES D'EXCAVATION

### *II-1 Structure géologique générale*

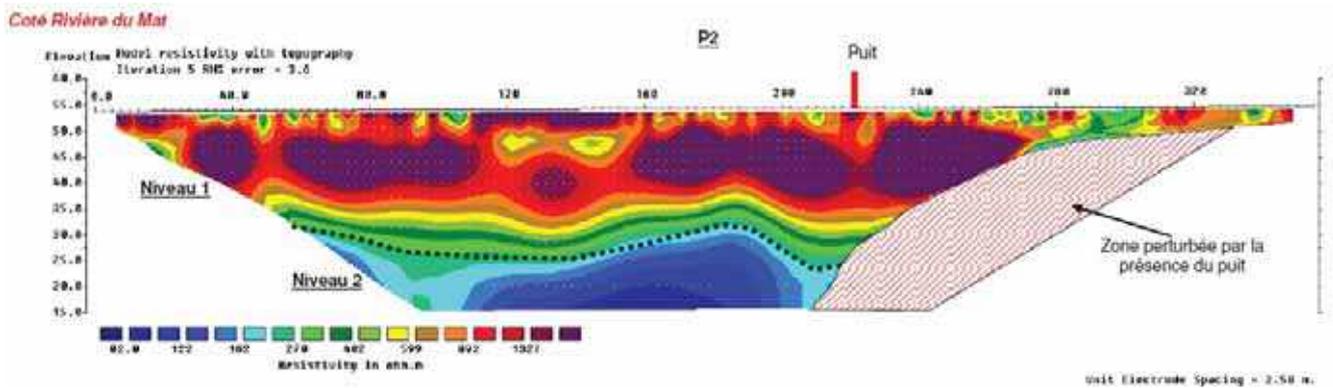
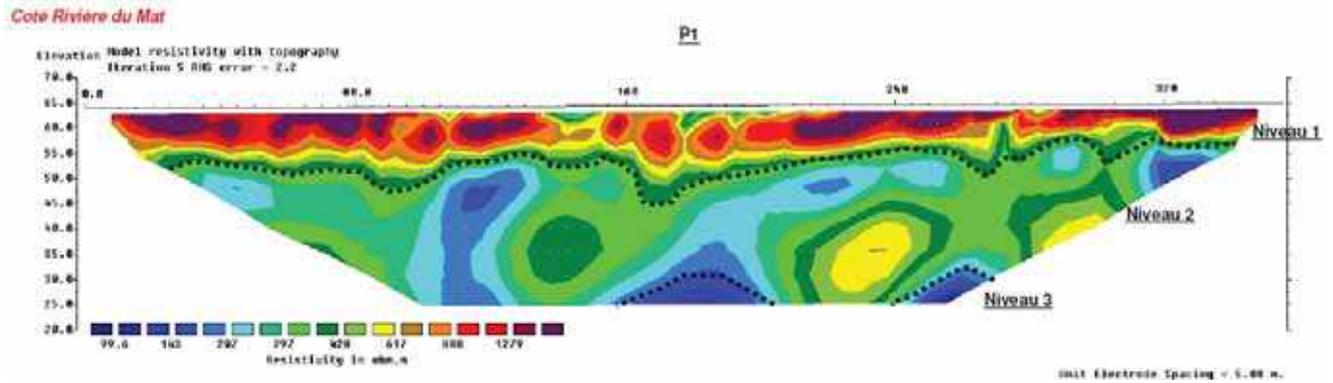
On est en présence de formations alluvionnaires très épaisses, homogènes à l'échelle de l'excavation. Ces alluvions sont constituées de galets et de blocs basaltiques avec une matrice sablo-graveleuse de sable grossier.

De par son ancienneté, cette formation est assez compacte et peut être aussi cimentée par un liant sablo-silteux.

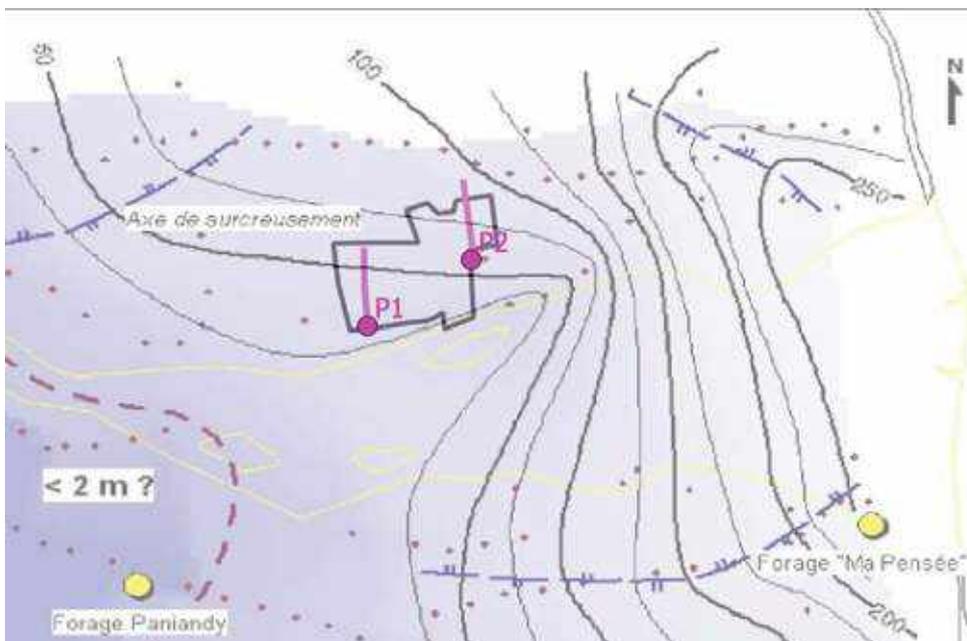


## II-2 Discontinuités lithologiques

Les panneaux électriques montrent deux épisodes alluvionnaires superposés



La carte du substratum basaltique de la reconnaissance BRGM par microgravimétrie montre des basaltes près de la cote 25 m NGR sur le côté sud du projet de carrière.



### ***II-3 Stratifications et failles***

Les terrains rencontrés ne sont pas concernés par ces phénomènes.

### ***II-4 Circulations d'eau***

Après de fortes pluies, il existe la possibilité de circulations d'eaux ponctuelles par-dessus des niveaux alluvionnaires cimentés.

### ***II-5 Propriétés des sols***

Les alluvions moyennement compactes sont constituées de galets et blocs basaltiques avec une matrice sablo-graveleuse de sable grossier.

Il est très difficile de réaliser des prélèvements intacts pour la détermination au laboratoire des caractéristiques intrinsèques pour ce type de matériaux.

Nous avons choisi une méthode empirique pour établir la résistance au cisaillement.

Il s'agit de l'étude amont (*back analysis*) des pentes sur les carrières existantes sur le même type de formation lithologique (carrière Plaine Défaud, carrière Soreco, carrière SAM à Sainte Anne).

Pour cette étude, un seul paramètre de résistance peut être utilisé. Nous avons choisi le frottement.

Une méthode pratique pour estimer le frottement est de mesurer les pentes de petits éboulis coniques colluvionnaires et les éboulis éparpillés des débris lâches qui ont érodé de la face des pentes et qui sont juste en équilibre et à l'angle statique de repos. L'angle de repos représente l'angle minimum de frottement interne pour ces matériaux avec une cohésion à zéro.



*Éboulis coniques au pied des pentes alluvionnaires*

Nos centaines de mesures combinées (à l'inclinomètre et à l'altimètre GPS de précision) nous ont permis d'observer un angle avoisinant les 35° pour les formations alluvionnaires de la Réunion.

Nous avons ensuite utilisé un programme informatique comme STABLE (*Slope Stability Analysis* de MZ Associates Ltd) pour estimer la valeur de cohésion en supposant que les pentes d'exploitation actuelles (mesurée avec une précision centimétrique en Z) sont en équilibre et avec un facteur de sécurité de 1,0.

Formation	Angle Pente (°)	Hauteur (m)	Cohésion Calculée (kPa)	Angle de frottement (°)	Densité (Kn/m3).	Sismicité	Coeff. Sécurité
Alluvions	75	9.5	20	35	22	OUI	1.06
Alluvions	80	8.9	20	35	22	OUI	1
Alluvions	80	7	20	35	22	OUI	1.23

*Exemple de pentes étudiées*

Nous retenons donc les caractéristiques intrinsèques modérées suivantes pour les alluvions :

- Cohésion apparente :  $c' = 20$  kPa
- Angle de frottement :  $\phi' = 35^\circ$
- Poids volumique :  $\gamma = 22$  kN/m<sup>3</sup>

## **II-6 Conditions externes**

### **II-6.1 Sismicité**

La nouvelle réglementation sismique nationale (entrée en vigueur à compter du 1<sup>er</sup> mai 2011) classe l'île de la Réunion en zone 2 dite de faible sismicité alors qu'elle était jusqu'à présent considérée comme de sismicité nulle.

L'accélération sismique sera prise en compte dans les calculs (Coefficient d'accélération 0.05).

### **II-6.2 Surcharges en crête**

La pose de déblais en grande masse en crête ne sera pas prise en compte dans nos calculs pour la stabilité globale de la pente.

### III – JUSTIFICATION DES PENTES D’EXCAVATION

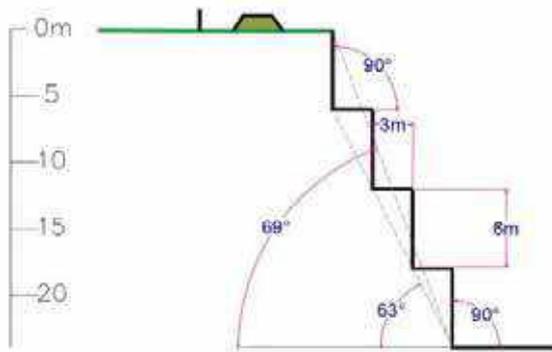
La stabilité des pentes sera évaluée en se basant sur un calcul de facteur de sécurité au glissement établi à l'aide de modèles 2D.

Nous avons utilisé le programme informatique STABLE Slope Stability Analysis de MZ Associates Ltd.

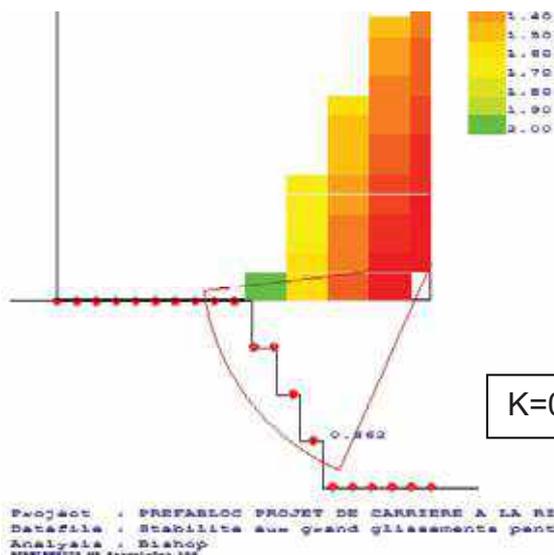
On considérera que les talus sont toujours stables si le coefficient de sécurité global est supérieur à 1.0.

#### **III-1 Talus à pente globale de 69° à banquettes de 6 m avec front de taille vertical et risbermes de 3 m**

Pour un modèle géologique exclusivement alluvionnaire, la sécurité de ces pentes ressort à 0.86, donc non satisfaisante pour justifier la pente globale de ce type de talus pendant la période d'exploitation.



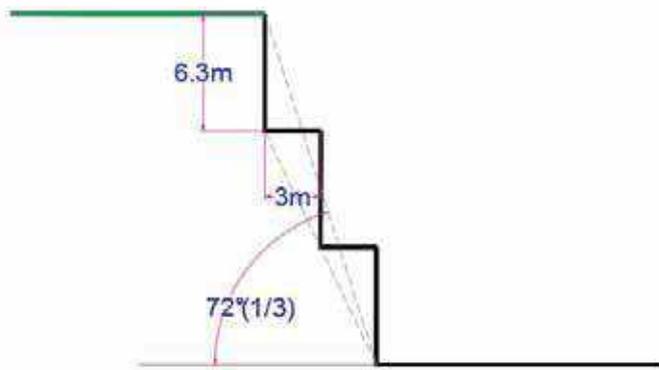
Géométrie du talus haut de 24m



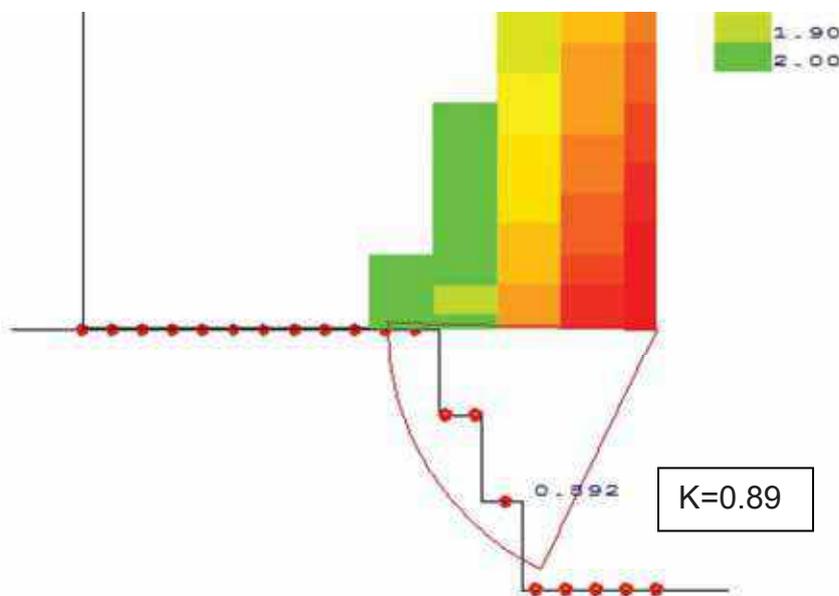
Résultat du calcul

K=0.86

Résultat : Pente instable



Géométrie du talus haut de 19m



Résultat du calcul

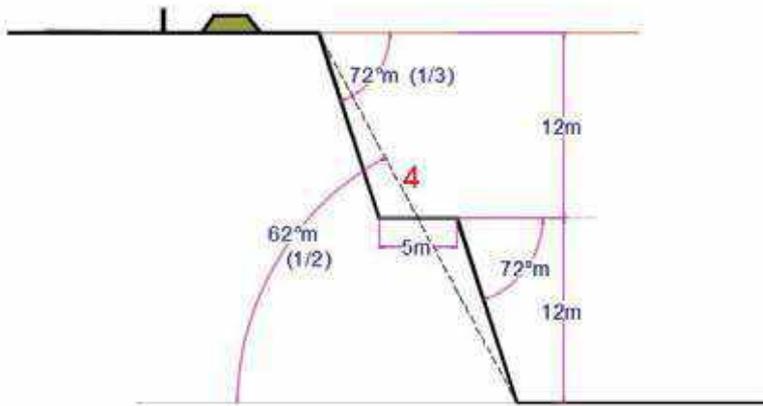
K=0.89

Project : PREFABLOC PROJET DE CARRIERE A LA RIVIERE DU MAT LES BAS  
 Datafile : F1b Stabilite aux grand glissements pente de 69 H19m  
 Analysis : Bishop  
 STABILITE DE ASSOLETES 100

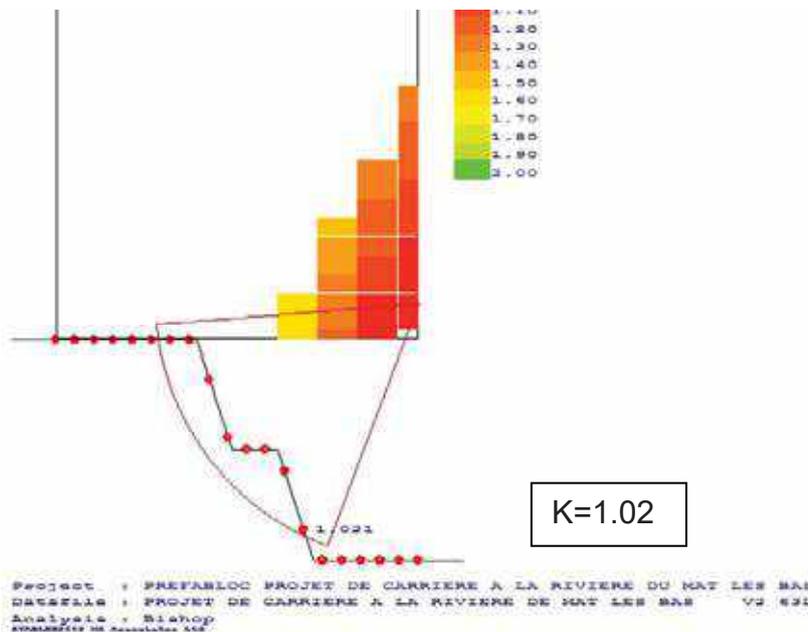
Résultat : Pente instable

**III-2 Talus à pente globale de 62°(1/2) à banquettes de 12 m à front de taille de 72° et risbermes de 5 m**

La face des fronts de taille n'est plus verticale mais à 72°. La risberme est prise à 5 m vue la taille des blocs pouvant chuter et le phénomène de de destructuration de l'extrémité de la risberme (les alluvions, malgré la cimentation apparente ne sont pas une roche)



Géométrie du talus

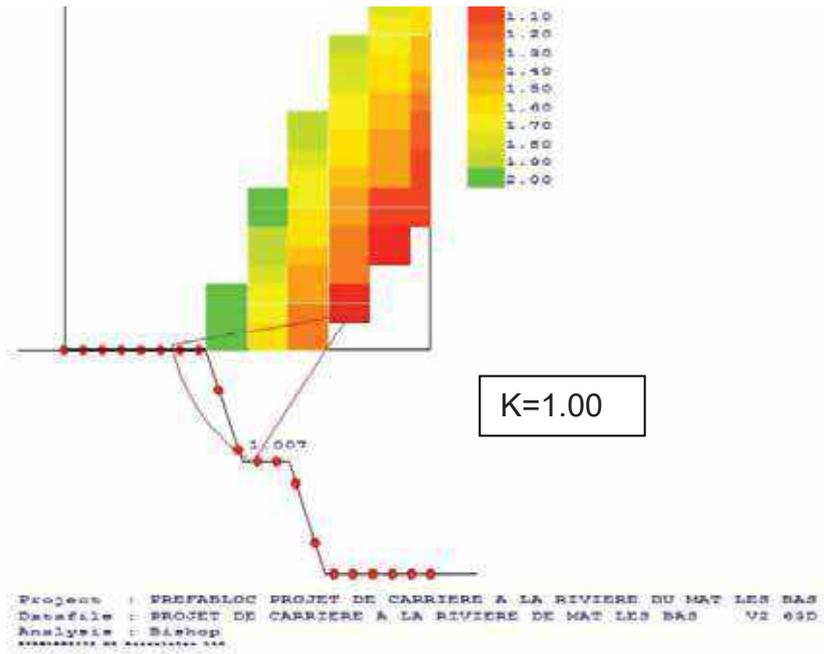


Résultat du calcul

K=1.02

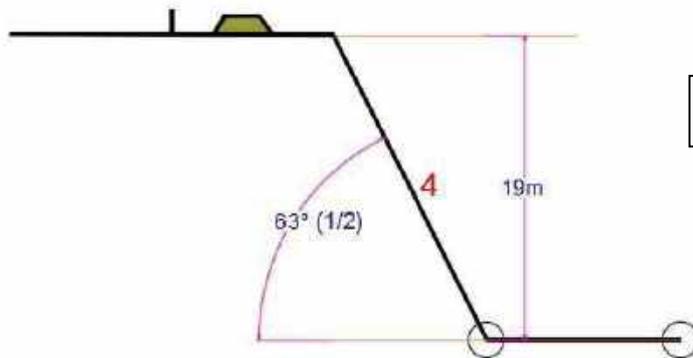
Résultat : Pente stable

Project : PREFABLOC PROJET DE CARRIERE A LA RIVIERE DU MAT LES BAS  
 Datefile : PROJET DE CARRIERE A LA RIVIERE DE MAT LES BAS V2 63D  
 Analysis : Bishop  
 Stabilite des pentes 6/26/17

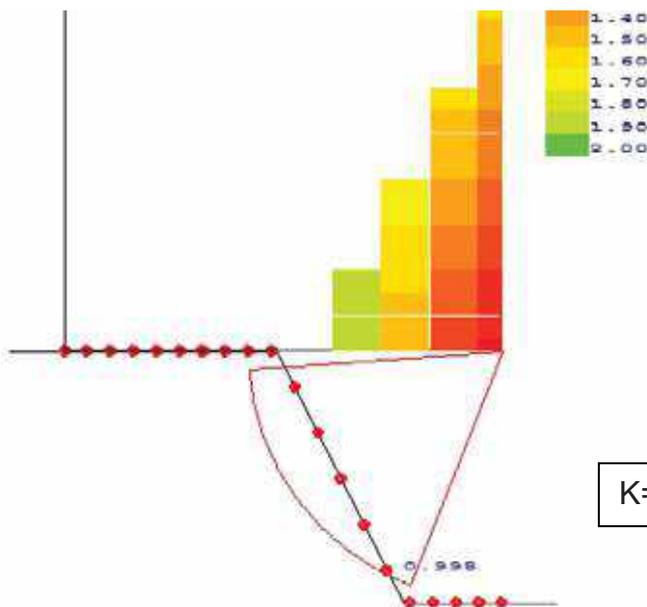


Résultat : Pente stable

Sur une hauteur de 19m sans redents la stabilité des pentes aux grand glissement est montrév ci-dessous :



Géométrie du talus hauteur de 19m



Résultat du calcul

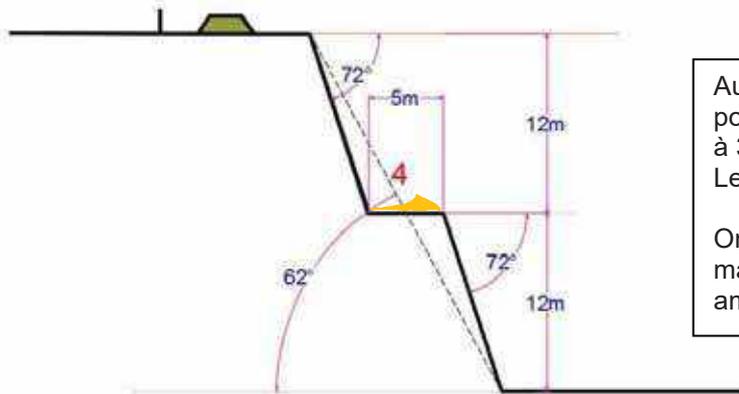
K=0.998

Résultat : Pente stable

#### IV CONCLUSIONS

Les banquettes à gradins verticaux de 6 m de haut, soit une pente globale de  $69^\circ$  proche de  $1/3$  ne peut être justifiée avec les valeurs intrinsèques retenues pour cette étude (alluvions avec cohésion apparente de 20 Kpa et angle de frottement interne de  $35^\circ$ ).

La pente la plus optimale ressortie est la suivante :



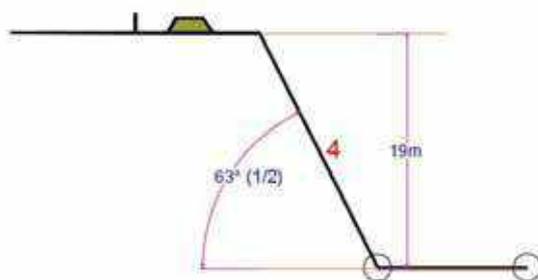
Au pied des talus, pour stopper les blocs pouvant chuter, les merlons auront des faces à  $35^\circ$  (angle de frottement des matériaux). Leur hauteur sera d'au moins 50 cm.

On laissera toujours une couche de 20 cm de matériaux remaniés en pied de talus pour amortir la chute des blocs.

La face des gradins sera à  $1/3$  ( $72^\circ$ ).

Les risbermes ont été choisies à 5 m pour pouvoir y placer en toute sécurité des merlons servant à contrer la chute de blocs de la paroi.

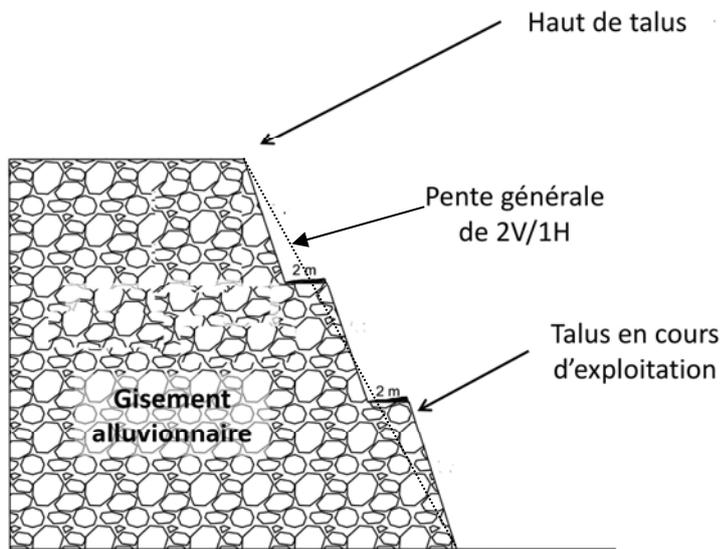
La hauteur des gradins peut être de 12 m. Sur une hauteur de 19m la pente de  $1/2$  est vérifié pour une géométrie sans redent.



Sur une hauteur de 19m la pente de  $1/2$  est vérifié pour une géométrie sans redent.

Des pièges à blocs seront toutefois posé au pied du talus.

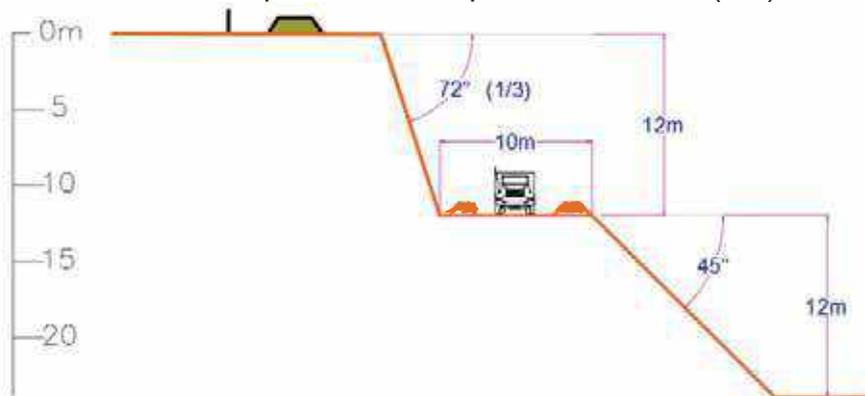
La chute des blocs peut être aussi ralenti par un ou deux mini redents toute en gardant une pente globale à 1 pour 2 (figure ci-dessous).



Pour une meilleure efficacité les redents peuvent avoir une légère pente vers l'intérieur du talus et comporter une mince couche remaniée de sable graveleux pour amortir la chute des cailloux et blocs.

La pente de 62° correspond à une pente globale de 1/2 (base/hauteur) et elle est conforme aux pentes adoptées par les autres exploitations sur des sites alluvionnaires similaires.

La rampe d'accès sera de 10 m de large avec des merlons pièges à blocs et les pentes en amont de cette rampe ne devront pas excéder 72° (1/3).



L'implication d'un géotechnicien dans l'ensemble des étapes de la réalisation des pentes dans le cadre de la surveillance d'exécution des travaux est conseillée pour permettre de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises dans la mission d'étude.

## ANNEXE 4 - Pièce 5

---

Document 1 : Etude hydraulique relative à la gestion des eaux de ruissellement sur le projet de la carrière de la société PREFABLOC AGREGATS (Cabinet HYDRETUDES, 2017)

Document 2 : Note hydraulique relative à la gestion des eaux pluviales sur la plateforme de traitement des matériaux du projet de carrière de la société PREFABLOC AGREGATS (Cabinet HYDRETUDES, 2017)

Document 1 : Etude hydraulique relative à la gestion  
des eaux de ruissellement sur le projet de la carrière de  
la société PREFABLOC AGREGATS (Cabinet HYDRETUDES,  
2017)

**PREFABLOC**

2 rue des pamplemousses

**97429 Petite Ile**



# Etude hydraulique pour le dossier d'autorisation de la carrière chemin Patelin à Saint André



**Etude hydraulique**

Réf. RE15-016

Juin 2017

## SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Réf. RE15-016

Etude : Etude hydraulique pour le dossier d'autorisation de la carrière chemin Patelin à Saint André

Phase : Etude

Date de remise : 28-06-2017

Version : 2.0

Statut du document : définitif

Propriétaire du document : PREFABLOC

Diffusion : EMC<sup>2</sup>

Chef de projet : Mathieu COLLART

Rédacteur : Mathieu COLLART

Vérificateur : Clément THOMAS



**ISO 9001-2008**  
**ISO 14001-2004**



*Liberté • Égalité • Fraternité*  
**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**

**Agrément Diques – Barrages**

*Arrêté du 13 juin 2014 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques*



Ingénierie de l'eau - Maîtrise d'œuvre

Résidence les Kréolis - 8-10 rue Axel Dorseuil - 97410 SAINT PIERRE

Tél : 02-62-96 82 45 - Fax : 02-62 32 69 05 - email : contact-reunion@hydrétudes.com

## SOMMAIRE

PREAMBULE .....	6
0. INTRODUCTION.....	6
1. DONNEES ET MOYENS UTILISES .....	6
2. CONTEXTE DU SITE D'ETUDE .....	7
2.1. Localisation du projet .....	7
2.1. Ouvrages hydrauliques .....	8
3. SITUATION VIS-A-VIS DES DOCUMENTS CADRES.....	9
3.1. Le PPRi de Saint André .....	9
3.2. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux : .....	11
3.2.1. La réglementation.....	11
3.2.2. Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) ..	11
3.3. Le Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau.....	16
3.4. Schéma Directeur des Eaux Pluviales (SDEP) .....	17
4. ANALYSE DES ENJEUX.....	19
5. SCENARII ETUDIES .....	20
6. DEFINITION DES OUVRAGES .....	21
HYDROLOGIE .....	23
7. DETERMINATION DES DEBITS PROJETS .....	23
7.1. Obtention du hyetogramme de projet .....	23
7.2. Débit de projet Des bassins versants amont .....	25
7.3. Débit de projet de la Rivière du Mât.....	27
7.4. Débit de projet des ouvrages hydrauliques après remise en état du site.....	29
7.4.1. Caractéristiques des bassins versants .....	30
7.4.2. Résultats en termes de débits de projet.....	30
GEOMORPHOLOGIE .....	31
HYDRAULIQUE.....	32
8. MODELISATION MATHEMATIQUE DES ECOULEMENTS.....	32
8.1. Mise en œuvre du modèle et présentation du logiciel Infoworks ICM .....	32
8.1.1. Module 2D .....	32
8.1.2. Intérêt.....	32
8.1.3. Moteur hydraulique 2D.....	33
8.1.4. Mailleur 2D .....	33
8.2. Hypothèses de calcul et limites du modèle.....	34

8.3.	Description des scénarii modélisés .....	36
8.4.	Construction et architecture du modèle 2D .....	38
8.5.	Conditions aux limites .....	39
8.6.	Calage du modèle .....	39
9.	ANALYSE DES ECOULEMENTS .....	40
9.1.	Scénario 1 : Etat initial.....	40
9.1.1.	Introduction .....	40
9.1.2.	Résultats.....	40
9.1.3.	Analyse des écoulements .....	42
9.1.3.1.	Analyse générale.....	42
9.1.3.2.	Zoom sur les points particuliers .....	42
9.1.4.	Comparaison des résultats avec le PPRi en vigueur .....	46
9.2.	Scénario 2 : Remise en état .....	47
9.2.1.	Introduction .....	47
9.2.2.	Résultats.....	47
9.2.3.	Analyse des écoulements .....	49
9.2.3.1.	Analyse générale.....	49
9.2.3.2.	Zoom sur les points particuliers .....	49
	CONCLUSION .....	54

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Objectifs fixés pour les masses d'eau concernées par le projet (SDAGE).....	14
Tableau 2 : Caractéristiques des ouvrages hydrauliques après remise en état .....	22
Tableau 2: Estimation des pluies journalières en fonction de l'altitude (PGRI – SOGREAH 2011).....	24
Tableau 4 : caractéristiques des bassins versants amont .....	25
Tableau 5: Caractéristiques hydromorphologiques des bassins versants des ouvrages hydrauliques.....	30
Tableau 6 - Débits centennaux des bassins versants des ouvrages après remise en état	30

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du projet (EMC2, 2015) .....	7
Figure 2 : Localisation et caractéristiques des ouvrages hydrauliques au droit du projet (EMC2, 2015) .....	8
Figure 3 : Situation du projet vis à vis du PPR en vigueur .....	10
Figure 4 : Localisation du projet par rapport aux masses d'eaux côtières identifiées dans le SDAGE .....	13
Figure 5 : Localisation du projet par rapport aux aquifères identifiés dans le SDAGE .....	13
Figure 6 : Carte relative aux objectifs d'état global des masses d'eau au niveau du projet (Source : SDAGE Réunion .....	14
Figure 7 : Carte relative aux objectifs d'état global des masses d'eau au niveau du projet (Source : SDAGE Réunion).....	16
Figure 8 : bassins versants des ouvrages existants dirigés vers la Rivière du Mât (SAFEGE, 2006).....	17
Figure 9 : Analyse des enjeux .....	19
Figure 10 : cartographie des ouvrages après remise en état .....	21
Figure 11 : Hyétogramme de projet (occurrence 100 ans) .....	24
Figure 12 : Bassins versants amont de la zone modélisée .....	25
Figure 8 : Débits de projet des deux bassins versants amont .....	26
Figure 14 : hydrogramme unitaire Q100 BV1 .....	26
Figure 15 : hydrogramme unitaire Q100 BV2.....	26
Figure 16: Bassin versant de la Rivière du Mât à son exutoire en mer .....	27
Figure 17: Hydrogramme unitaire d'une crue centennale de la Rivière du Mât à son embouchure .....	28
Figure 18 : cartographie des bassins versants en phase 1C.....	29

Figure 19: Géomorphologie de la Rivière du Mât sur le secteur d'étude (Etude hydrogéomorphologique de la Rivière du Mât, BRGM, 2008) ..... 31

Figure 20 : Importance des éléments constituant la modélisation hydraulique ..... 34

Figure 21 : Vue 3D du MNT à l'état initial ..... 36

Figure 22 : Vue 3D du MNT après remise en état du site ..... 37

Figure 23 : Architecture du modèle hydraulique 2D ..... 38

Figure 24 : Hauteurs maximales atteintes en m – Crue centennale à l'état initial ..... 40

Figure 25 : Vitesses maximales atteintes en m/s – Crue centennale à l'état initial ..... 41

Figure 27 : Zoom sur les hauteurs d'eau (en m) au droit du chemin Patelin à l'état initial 43

Figure 28 : zoom sur les vitesses (en m/s) au droit des parcelles projet ..... 44

Figure 29 : Zoom sur les hauteurs d'eau (en m) au droit des parcelles projet ..... 45

Figure 30 : Comparaison du zonage PPRI en vigueur (à gauche) avec les résultats de la modélisation 2D (à droite) ..... 46

Figure 31 : Hauteurs maximales atteintes en m – Crue centennale après remise en état 47

Figure 32 : Vitesses maximales atteintes en m/s – Crue centennale après remise en état ..... 48

Figure 33 : zoom sur les vitesses (en m/s) au droit des parcelles projet ..... 50

Figure 34 : Zoom sur les hauteurs d'eau (en m) au droit des parcelles projet ..... 51

Figure 35 : Comparaison de l'aléa inondation à l'état initial (à gauche) et après remis en état (à droite) à partir des modélisations 2D ..... 52

## PREAMBULE

### 0. INTRODUCTION

Dans le cadre de la réalisation de son dossier d'autorisation pour un projet de carrière à Saint André, PREFABLOC souhaite une étude hydraulique pour quantifier les impacts du projet sur le ruissellement.

Il est ainsi demandé une mission d'étude hydraulique, visant à :

- Caractériser l'état initial de la crue centennale de la Rivière du Mât combinée au ruissellement urbain au droit du projet ;
- Déterminer les impacts éventuels du projet après remise en état sur les paramètres des écoulements (hauteur, vitesse, emprise du champ d'expansion).

Le présent rapport s'attache à présenter la méthodologie et les résultats de cette étude.

### 1. DONNEES ET MOYENS UTILISES

Pour la réalisation de la présente étude, nous avons recueilli, analysé et utilisé les données et outils suivants :

- MNT de l'état initial au droit de la future carrière, EMC2, 2015
- MNT « projet » de la remise en état du site, EMC2, 2017
- Plan de Prévention des Risques Inondation de la Commune de Saint André, ARTELIA, 2014
- Litto 3D 1m et 5m,
- Orthophotographies IGN HD 2012.

## 2. CONTEXTE DU SITE D'ETUDE

### 2.1. LOCALISATION DU PROJET

Le site du projet est localisé sur la commune de Saint André, en rive gauche de la Rivière du Mât.

Il est borné :

- Au nord par le chemin Patelin (RD47) ;
- Au sud par la Rivière du Mât ;
- A l'ouest par le chemin Canal Moreau ;
- A l'est par le chemin Jeanson.

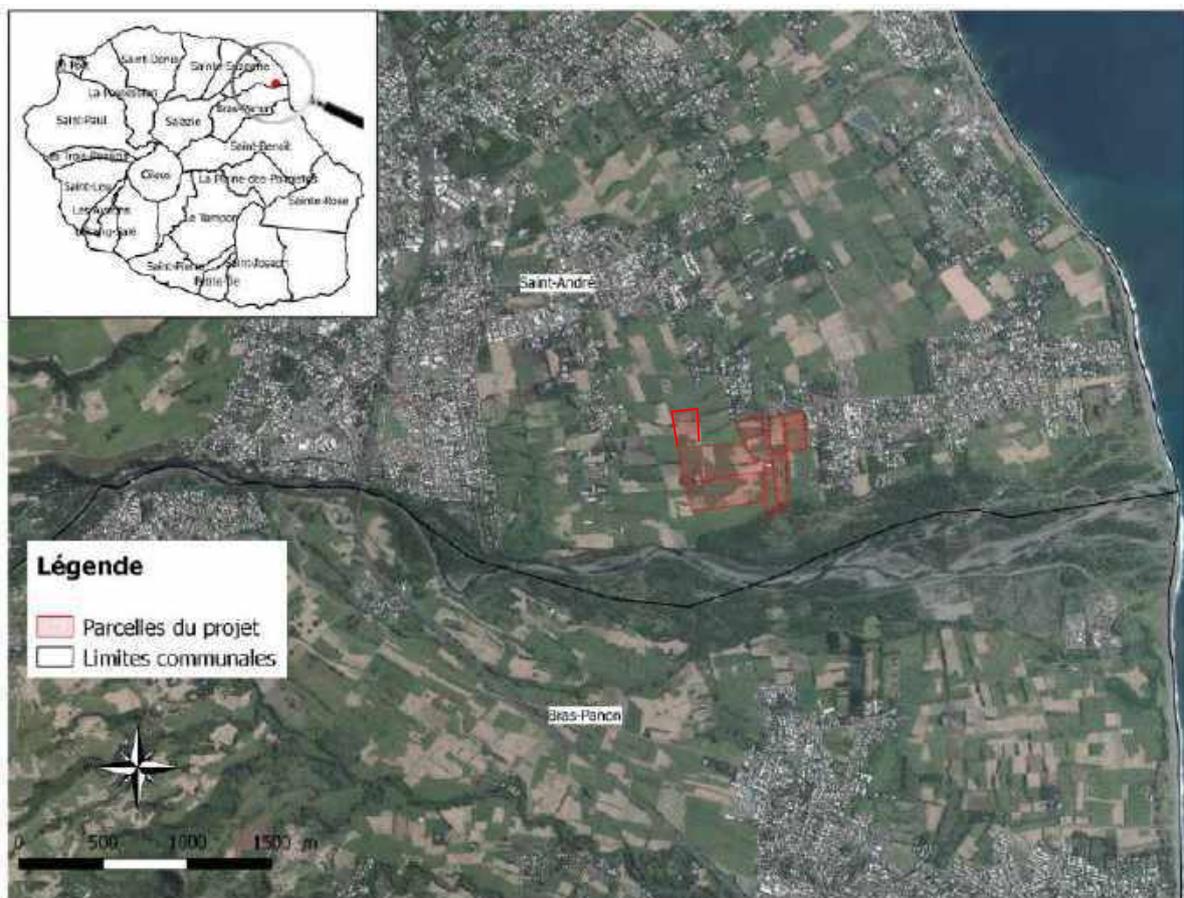


Figure 1 : Localisation du projet (EMC2, 2015)

## 2.1. OUVRAGES HYDRAULIQUES

Les ouvrages hydrauliques à proximité des parcelles de projet ont été recensés sur le terrain par EMC2 (juillet 2015).

La figure page suivante récapitule les caractéristiques de ces ouvrages.

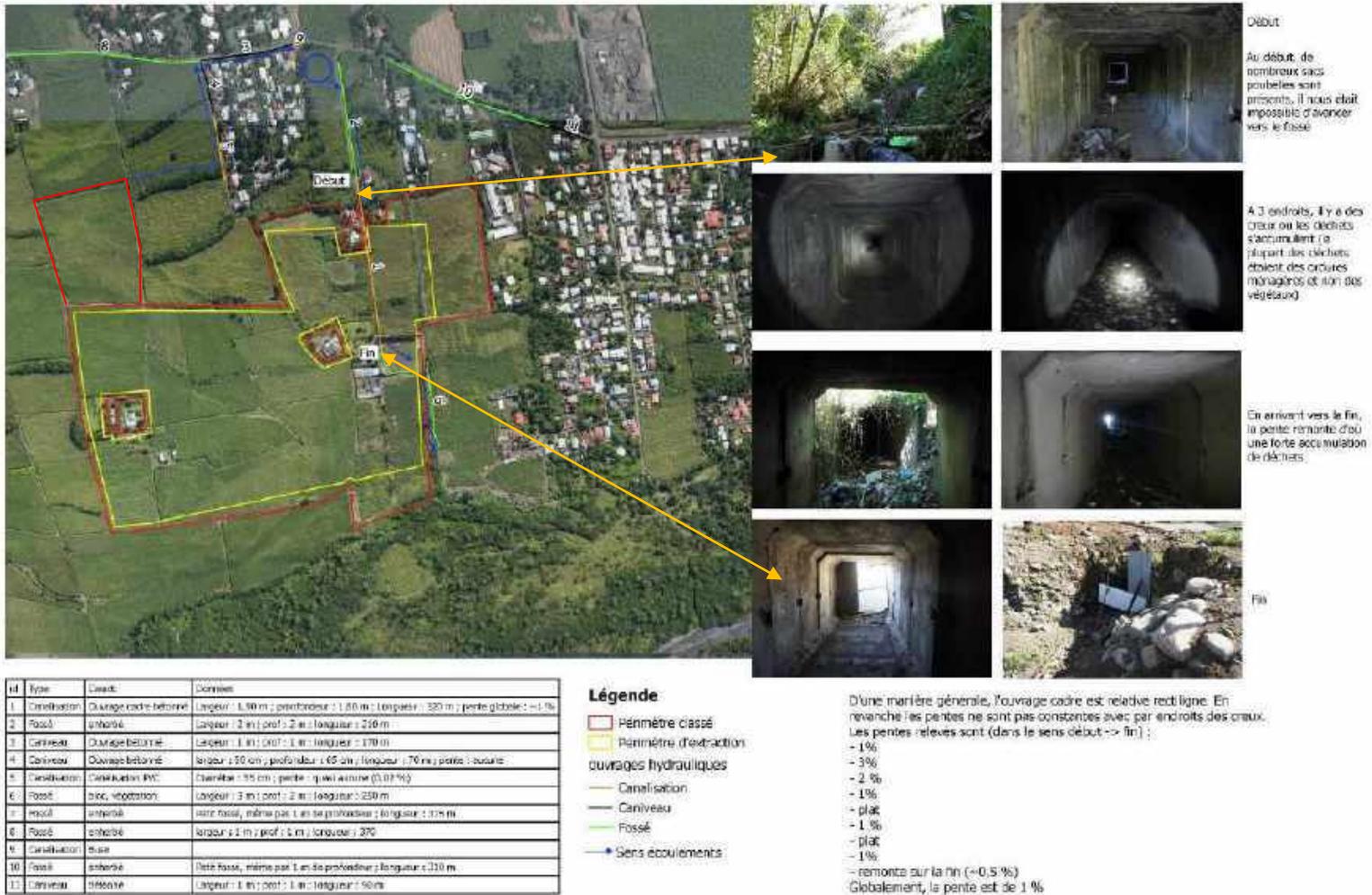


Figure 2 : Localisation et caractéristiques des ouvrages hydrauliques au droit du projet (EMC2, 2015)

Ainsi, les écoulements du chemin Patelin sont rejetés directement dans une patûre (entre les ouvrages 9 et 2) après avoir transités par des ouvrages de dimensions 1mx1m (ouvrages 8 et 3) positionnés de part et d'autre du chemin Patelin.

Un fossé collecteur (n°2) qui est connecté en aval avec un dalot bétonné de dimensions 1,90mx1.90m sont censés récupérer ces eaux de ruissellement pour les envoyer dans la Rivière du Mât.

Cependant, les pentes de ces deux ouvrages étant très faibles, on peut supposer que leur capacité réelle à drainer toutes les eaux provenant de l'amont est réduite.

### 3. SITUATION VIS-A-VIS DES DOCUMENTS CADRES

L'analyse ci-après résumant la situation du projet vis-à-vis des documents cadres relatifs à la gestion des eaux pluviales et des inondations a été en partie réalisée par le bureau EMC2.

#### 3.1. LE PPRI DE SAINT ANDRE

Le Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles relatif aux phénomènes d'inondation de la commune de Saint-André a été approuvé par Arrêté n°3843 du 25 juin 2014.

Le PPRI est un document valant servitude d'utilité publique, et doit être annexé au POS / PLU.

Le projet est inclus en totalité dans le bassin versant de la plaine alluviale de la Rivière du Mât (planche suivante).

Le PPRI de la commune de Saint-André ne prévoit que des « zones de danger » ou zones « exposées aux risques ». Les différentes sous zones réglementées sont identifiées par un code composé :

- D'une lettre correspondant au type de zone concerné (R : en zone rouge, B en zone bleue) ;
- D'une ou plusieurs lettres représentant l'aléa indicées par un chiffre représentant le niveau d'intensité de l'aléa correspondant au(x) type(s) d'aléas se rattachant à la zone considérée. Les niveaux d'aléa sont définis comme suit :

1 = fort

2 = moyen

3 = faible

**La majeure partie du projet se situe en zone bleue sauf la partie Sud du projet qui se situe en zone rouge** (planche suivante).

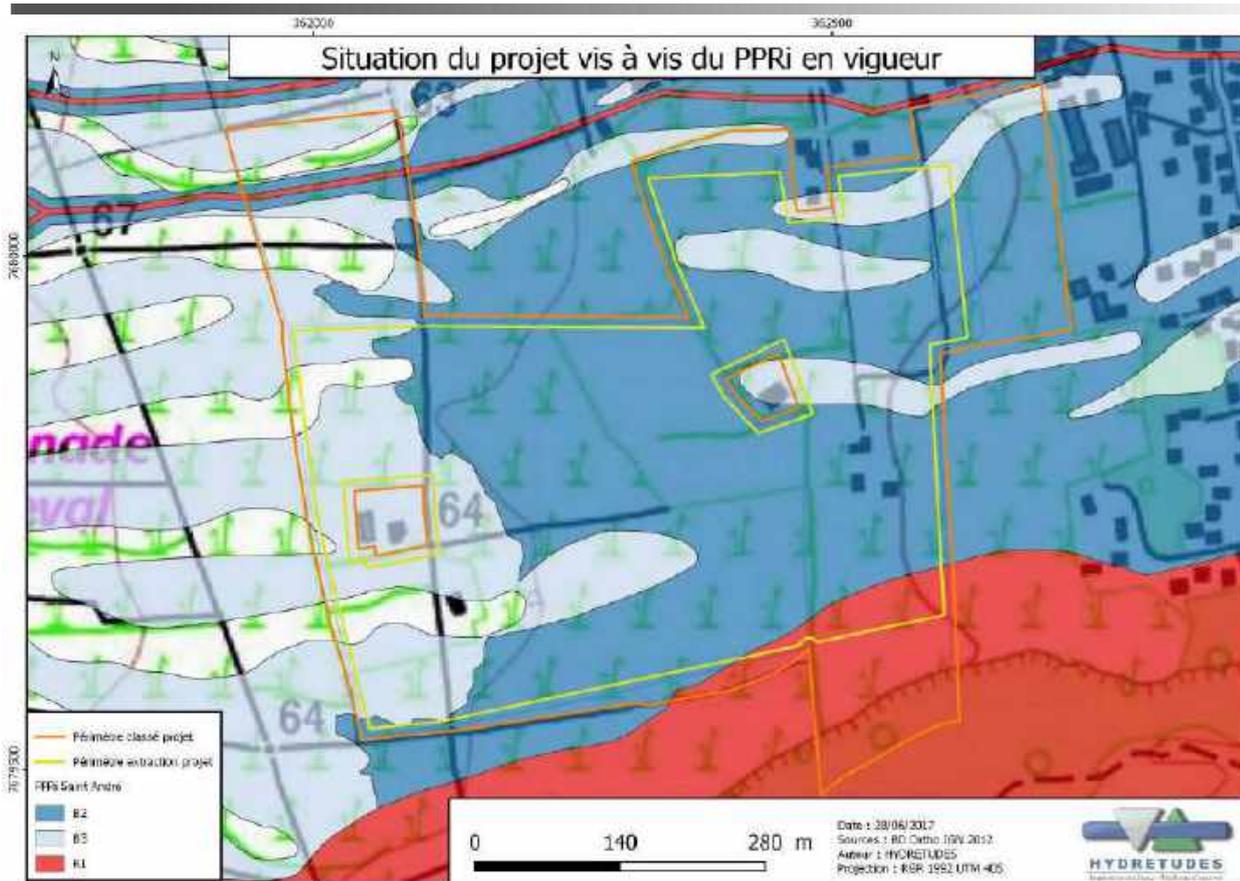


Figure 3 : Situation du projet vis à vis du PPR en vigueur

Dans ces zones sont autorisées « les carrières et extraction de matériaux dans le respect des réglementations en vigueur (législation carrière), sous réserve qu’une étude d’impact intègre la gestion des risques ».

La présente étude hydraulique 2D a pour but de vérifier le zonage présenté ci-dessus mais surtout d’identifier les contraintes hydrauliques existantes et les impacts éventuels du projet après remise en état sur la dynamique des écoulements du secteur.

## **3.2. SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX :**

### **3.2.1. La réglementation**

Le livre II, titre I<sup>er</sup> du Code de l'environnement et son article L. 214-7 précise que les installations soumises à autorisation ou à déclaration en application du titre I<sup>er</sup> du livre V sont soumises aux dispositions des articles L.211-1, L.212-1 à L.212-7, L.214-8, L.216-6 et L.216-13. Les mesures individuelles et réglementaires prises en application du titre I<sup>er</sup> du livre V fixent les règles applicables aux installations classées ayant un impact sur le milieu aquatique, notamment en ce qui concerne leurs rejets et prélèvements.

Les articles 212-1 à 212-7 sont relatifs au SDAGE et aux SAGES. De ce fait, l'autorisation délivrée doit être compatible avec le SDAGE et le SAGE Sud.

### **3.2.2. Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE)**

Le SDAGE du bassin Réunion a été approuvé par arrêté préfectoral n°09-3220/SG/DRCTCV du 7 décembre 2009, puis publié au JORF du 17 décembre 2009.

La directive 2000/60/CE du Parlement Européen et du Conseil du 23 octobre 2000 vise à établir un cadre pour la gestion et la protection des eaux. Elle a fixé des objectifs ambitieux pour la préservation et la restauration de l'état des eaux superficielles (continentales et côtières) et souterraines d'ici 2015.

Le Directive Cadre sur l'Eau (DCE) vise à atteindre un bon état écologique et chimique des milieux aquatiques avec :

- La non dégradation des milieux,
- La suppression des substances dangereuses,
- L'équilibre entre les prélèvements et le renouvellement des eaux.

Des objectifs de qualité ont été déterminés pour chaque masse d'eau en se basant sur :

- L'évaluation des pressions actuelles (nature et intensité),
- Les tendances prévisibles à la hausse ou à la baisse,
- Le risque de non atteinte du bon état en 2015 qui en découle (risque, absence de risque, doute),
- Les dires d'experts.

Ces objectifs s'appliquent à l'ensemble des milieux aquatiques : cours d'eau, eaux souterraines, eaux côtières... dans le respect du principe d'unicité de la ressource en eau et d'interdépendance des milieux. Par pragmatisme, la Directive institue des possibilités de dérogations à l'objectif général de bon état, soit par report du délai (2 fois 6 ans maximum), soit par adoption d'un objectif moins contraignant dans certains cas particuliers. Ces dérogations doivent être justifiées :

- Soit par des raisons d'ordre économique (coût disproportionné) ;
- Soit par des raisons techniques (délai de construction des ouvrages, temps de migration des polluants, etc.) ;
- Soit par des usages existants qu'on ne peut remettre en cause et qui ont un impact tel que l'objectif de « bon état » ne pourra être atteint (notion de masse d'eau fortement modifiée).

A partir de l'ensemble des enjeux prioritaires et des objectifs environnementaux, les Orientations Fondamentales qui structurent le SDAGE, ont été dégagées :

1. Gérer durablement la ressource en eau dans le respect des milieux aquatiques et des usages ;
2. Assurer à la population, de façon continue, la distribution d'une eau potable de qualité ;
3. Lutter contre les pollutions ;
4. Réduire les risques liés aux inondations ;
5. Favoriser un financement juste et équilibré de la politique de l'eau, notamment au travers d'une meilleure application du principe pollueur-payeur et du principe de récupération des coûts liés à son utilisation ;
6. Préserver, restaurer et gérer les milieux aquatiques continentaux et côtiers ;
7. Renforcer la gouvernance et faciliter l'accès à l'information dans le domaine de l'eau.

Ces orientations fondamentales permettent d'établir les plans de gestion et le programme de mesures permettant d'atteindre les objectifs fixés (dont le bon état des eaux).

L'article 11 de la DCE, transposé en droit français par la loi n°2004-338 du 24 avril 2004 et par le décret n°2005-475 du 16 mai 2005 prescrit l'élaboration, dans chaque bassin hydrographique, d'un programme de mesures constitué d'actions concrètes. Ce programme de mesures doit comprendre :

- Des « mesures de base » qui sont les exigences minimales à respecter,
- Des « mesures complémentaires » qu'il est nécessaire d'ajouter aux précédentes pour atteindre les objectifs environnementaux prescrits par la DCE.

Pour les masses d'eau superficielles et côtières, l'état général est déterminé par la plus mauvaise valeur de son état chimique et de son état écologique. Pour les eaux souterraines, l'expression générale de l'état est déterminée par la plus mauvaise valeur de son état quantitatif et de son état chimique.

L'état chimique défini dans la DCE pour les eaux de surface se réfère à une liste de 41 substances définies au niveau européen et jugées particulièrement préoccupantes.

**Le site projeté est concerné par la masse d'eau côtière Sainte-Rose – Sainte-Suzanne : FR LC 3 et la rivière du Mât aval : FR LR 08 (planches 2 et 4) et par**

**l'aquifère de Saint-André – Bras-Panon - Salazie : FR LO 003 (planche 3).**

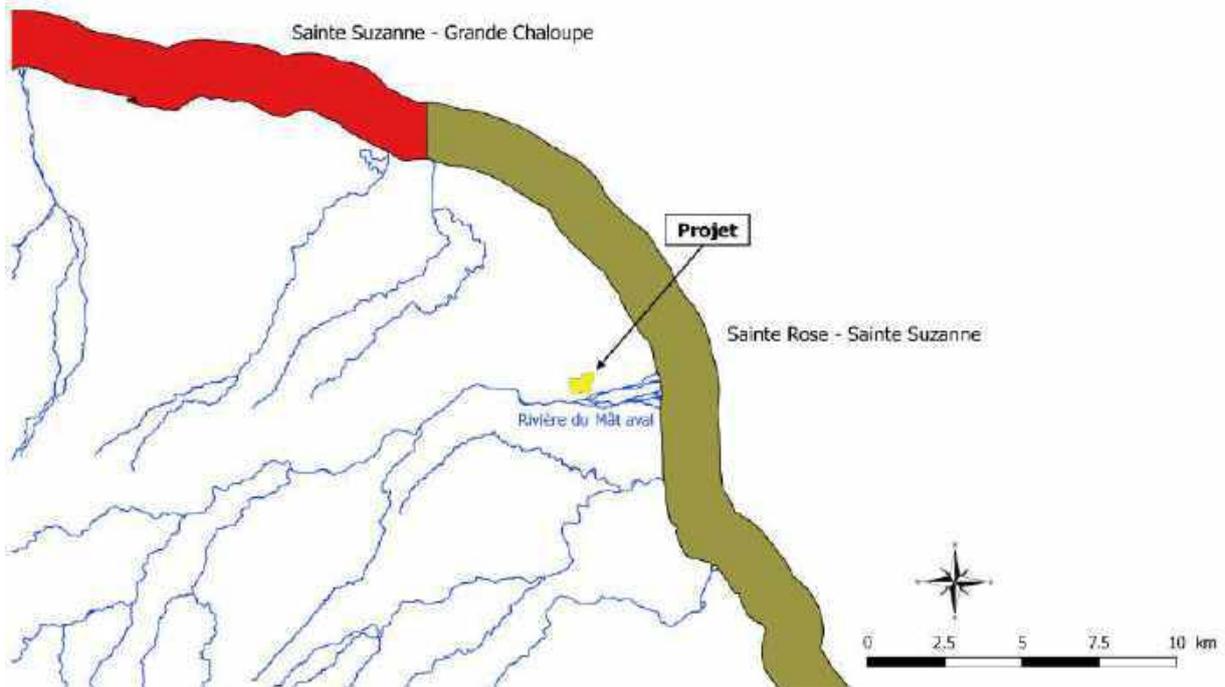


Figure 4 : Localisation du projet par rapport aux masses d’eaux côtières identifiées dans le SDAGE

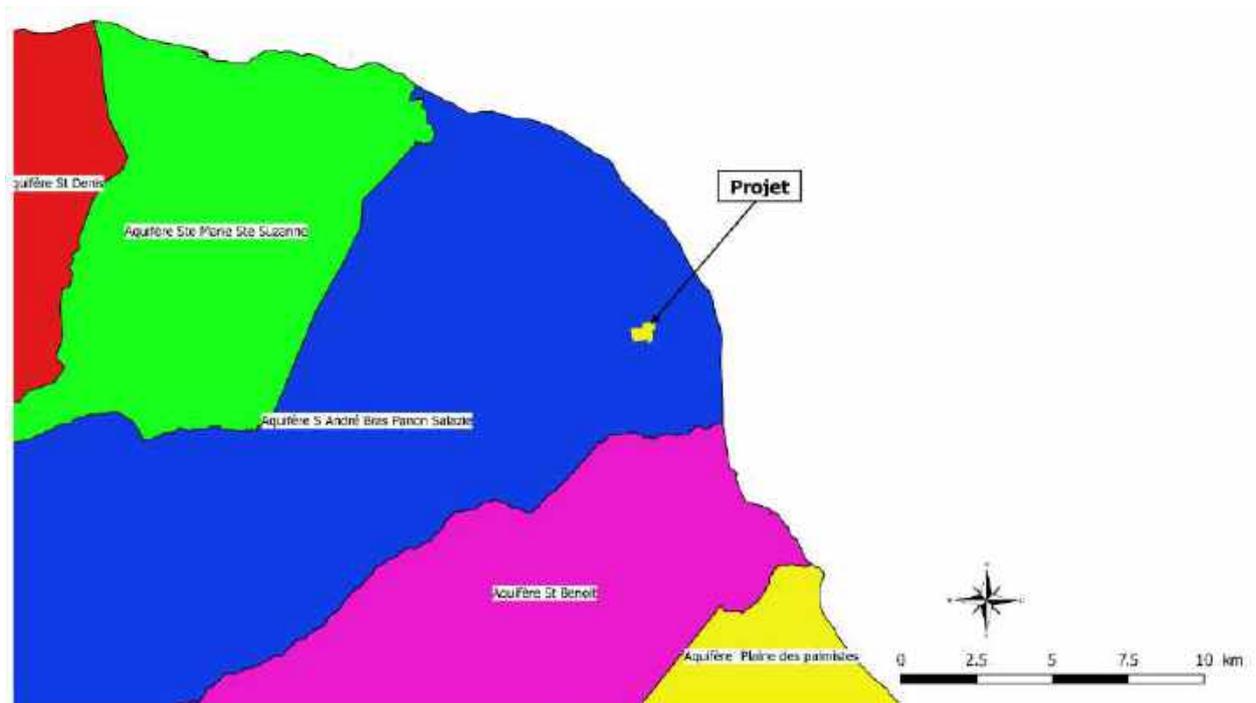


Figure 5 : Localisation du projet par rapport aux aquifères identifiés dans le SDAGE

Pour ces masses d’eau, le SDAGE fixe les objectifs présentés ci-après et conformes à l’arrêté ministériel du 17 mars 2006 :

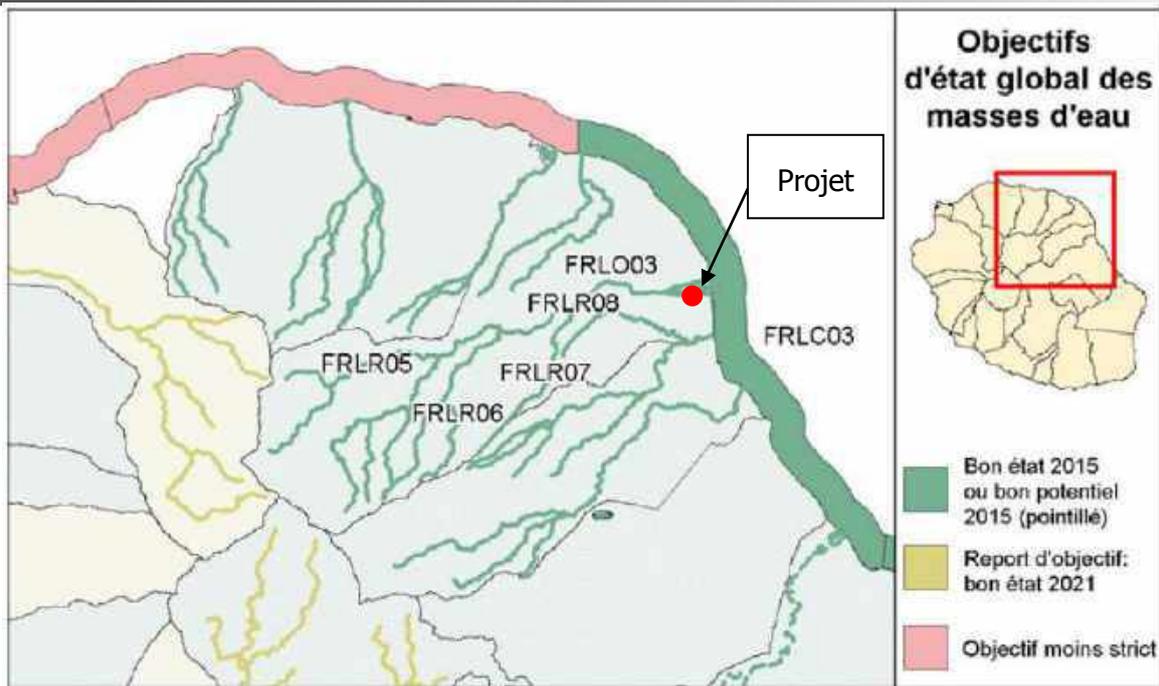


Figure 6 : Carte relative aux objectifs d'état global des masses d'eau au niveau du projet (Source : SDAGE Réunion)

Nom de la masse d'eau	Type de masse d'eau	Objectifs d'état proposés				
		Global	Chimique	Ecologique	Paramètres faisant l'objet d'une adaptation	Motivations des choix
<b>Rivière du Mât aval : FRLR08</b>	Cours d'eau	BE 2015	BE 2015	BE 2015	-	-
<b>Sainte-Rose – Sainte-Suzanne : FRLC3</b>	Eau côtière	BE 2015	BE 2015	BE 2015	-	-
<b>Aquifère Saint-André – Bras-Panon – Salazie : FRL003</b>	Eau souterraine	BE 2015	BE 2015	BE 2015	-	-

Tableau 1 : Objectifs fixés pour les masses d'eau concernées par le projet (SDAGE)

Après vérification de la localisation du projet par rapport aux masses d'eau et autres éléments inclus dans le SDAGE 2009, le périmètre du site n'est pas affecté par des prescriptions particulières. Néanmoins, l'orientation 6.6.2 précise que :

« Les extractions de matériaux en lit majeur relèvent de la réglementation sur les

*installations classées pour la protection de l'environnement depuis la loi 93-3 du 4 janvier 1993 relative aux carrières (le schéma départemental des carrières prévu par l'article L. 515-3 du code de l'environnement, sera rendu compatible avec le SDAGE dans un délai de 3 ans). Les services de l'Etat vérifient que l'étude d'impact requise avant autorisation d'extraction, démontre, entre autres, que l'exploitation est compatible avec les objectifs de bon état des masses d'eau (qualité des eaux -turbidité-, fonctionnement hydraulique des milieux et écosystèmes). L'acte administratif d'autorisation précise le programme de suivi environnemental de l'exploitation. »*

**L'installation est située juste à côté du lit majeur, en plaine alluviale. Néanmoins, elle respectera les normes de rejet de la DCE, conformément aux mesures du SDAGE.** Des mesures seront prises pour éviter toute pollution chronique ou accidentelle des eaux de surface et souterraines. En outre, afin de coordonner l'installation avec les orientations du SDAGE et de remplir les objectifs de bonne qualité des eaux, l'exploitant s'engage à n'utiliser aucun produit phytosanitaire sur le site et ses abords pour le défrichage des parcelles et l'entretien des espaces naturels qui seront créés (cf. Etude d'impact).

### 3.3. LE SCHEMA D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DE L'EAU

Le SAGE de l'Est de la Réunion a été approuvé par arrêté n°2013-2176/SG/DRCTCV le 21 novembre 2013. Il regroupe les communes de Bras-Panon, la Plaine-des-Palmistes, Saint-André, Saint-Benoît, Sainte-Rose, Salazie et Sainte-Suzanne (*pour partie*).

Le SAGE s'appuie sur trois problématiques fortes :

- L'amélioration de la distribution et de la qualité de l'eau à destination de la population, qui demeure un problème important ;
- La gestion et la protection des milieux aquatiques remarquables, qui sont nombreux dans cette région ;
- La prévention des risques naturels et la protection des zones habitées.

Dans son rapport d'évaluation environnementale, le SAGE identifie l'espace-carrière Patelin comme zone possible d'extraction (planche 5). Néanmoins, il précise que ces espaces peuvent « avoir des impacts non négligeables sur les ruissellements et le lessivage des sols ». C'est pourquoi, **l'étude d'impact étudiera particulièrement les conséquences que peut avoir le projet sur les volumes, la morphologie, la piézométrie, les échanges entre les nappes ou encore la qualité des eaux superficielles et souterraines.**

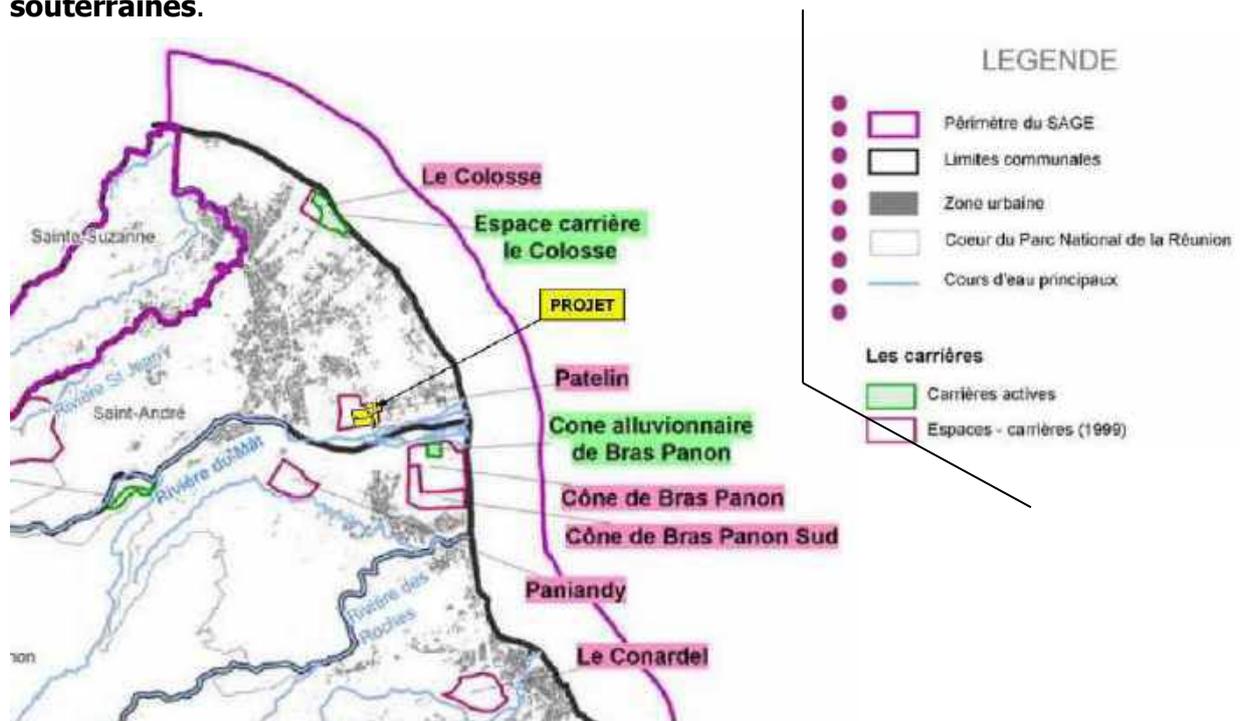


Figure 7 : Carte relative aux objectifs d'état global des masses d'eau au niveau du projet (Source : SDAGE Réunion)

### 3.4. SCHEMA DIRECTEUR DES EAUX PLUVIALES (SDEP)

Le SDEP de la commune, réalisé en 2006 par le bureau d'études SAFEGE, a permis un recensement du réseau EP de Saint André.

Au droit du secteur d'étude, aucun réseau EP n'est recensé, comme le montre la figure ci-dessous :

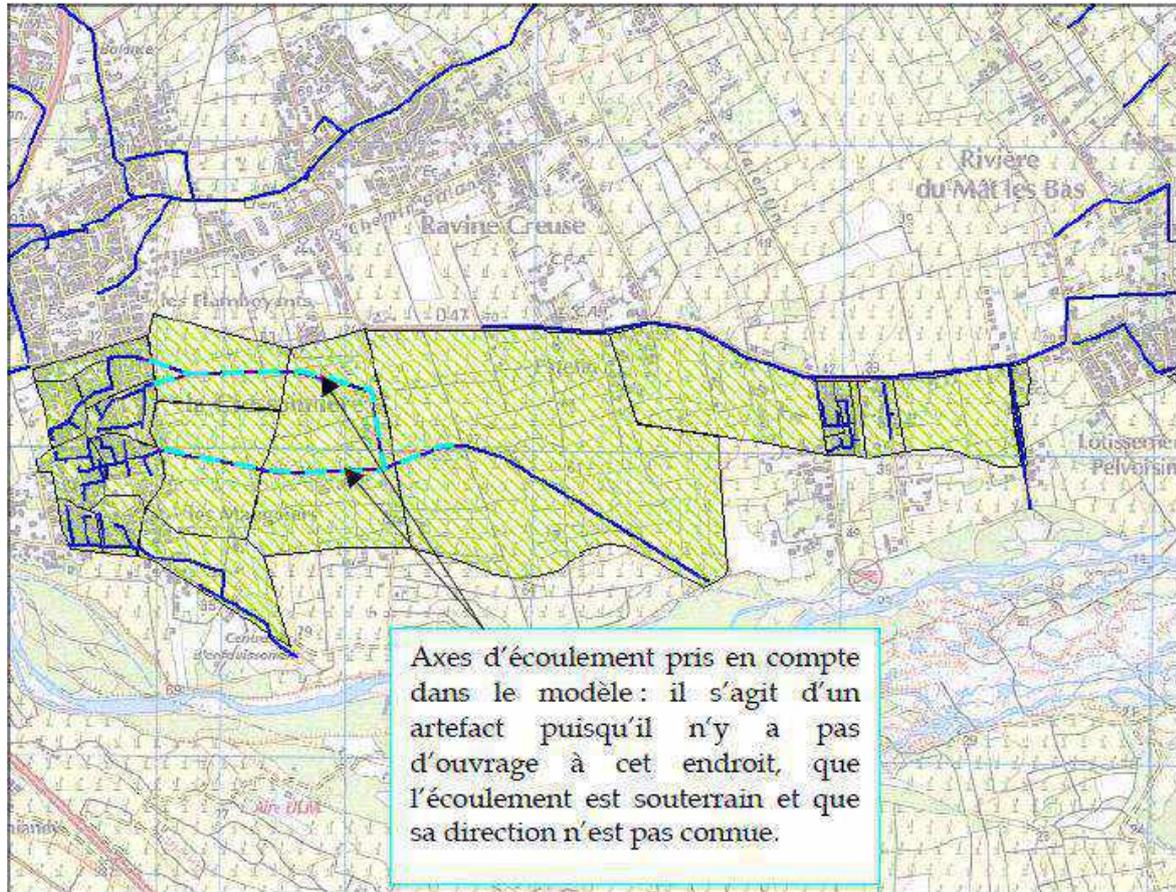


Figure 8 : bassins versants des ouvrages existants dirigés vers la Rivière du Mât (SAFEGE, 2006)

L'étude décrit le secteur comme suit :

« Sur ce secteur, les principaux désordres sont relatés sur le lotissement Jeanson notamment à cause de résurgence. Par ailleurs, le réseau pluvial du lotissement Jeanson a un exutoire dirigé dans la friche et ne permet pas une évacuation efficace des eaux pluviales.

Pour résoudre ce dysfonctionnement, il est prévu dans le programme des renforcements d'améliorer cet exutoire en utilisant un tracé le long du chemin Bédère Maillot (renforcements numérotés 3 et 4 sur la carte des renforcements proposées en Annexe 4).

Cependant, si d'autres constructions devaient être construites sur la partie amont du bassin versant avec de la voirie, on pourrait craindre un risque d'accentuer les résurgences et donc d'augmenter l'écoulement superficiel en aval.

---

Sur ce secteur, situé à proximité de la Rivière du Mât, on pourra regarder l'opportunité de construire des ouvrages d'évacuation vers la rivière. Ce type de solution doit être mis en balance avec la solution de compensation de l'imperméabilisation notamment pour les aménagements soumis à autorisation dans le cadre de la loi sur l'eau (imperméabilisation supérieure à 5ha). »

Après vérification sur le terrain et auprès des services techniques, aucun réseau EP n'est présent en amont de la zone d'étude (tirés bleu clairs sur la figure 3).

Les eaux ruissellent donc sur le terrain naturel jusqu'à la Rivière du Mât.

## 4. ANALYSE DES ENJEUX

Au vu de la localisation du périmètre d'extraction, plusieurs zones habitées sont concernées par les écoulements traversant le projet, comme le montre la figure ci-dessous :

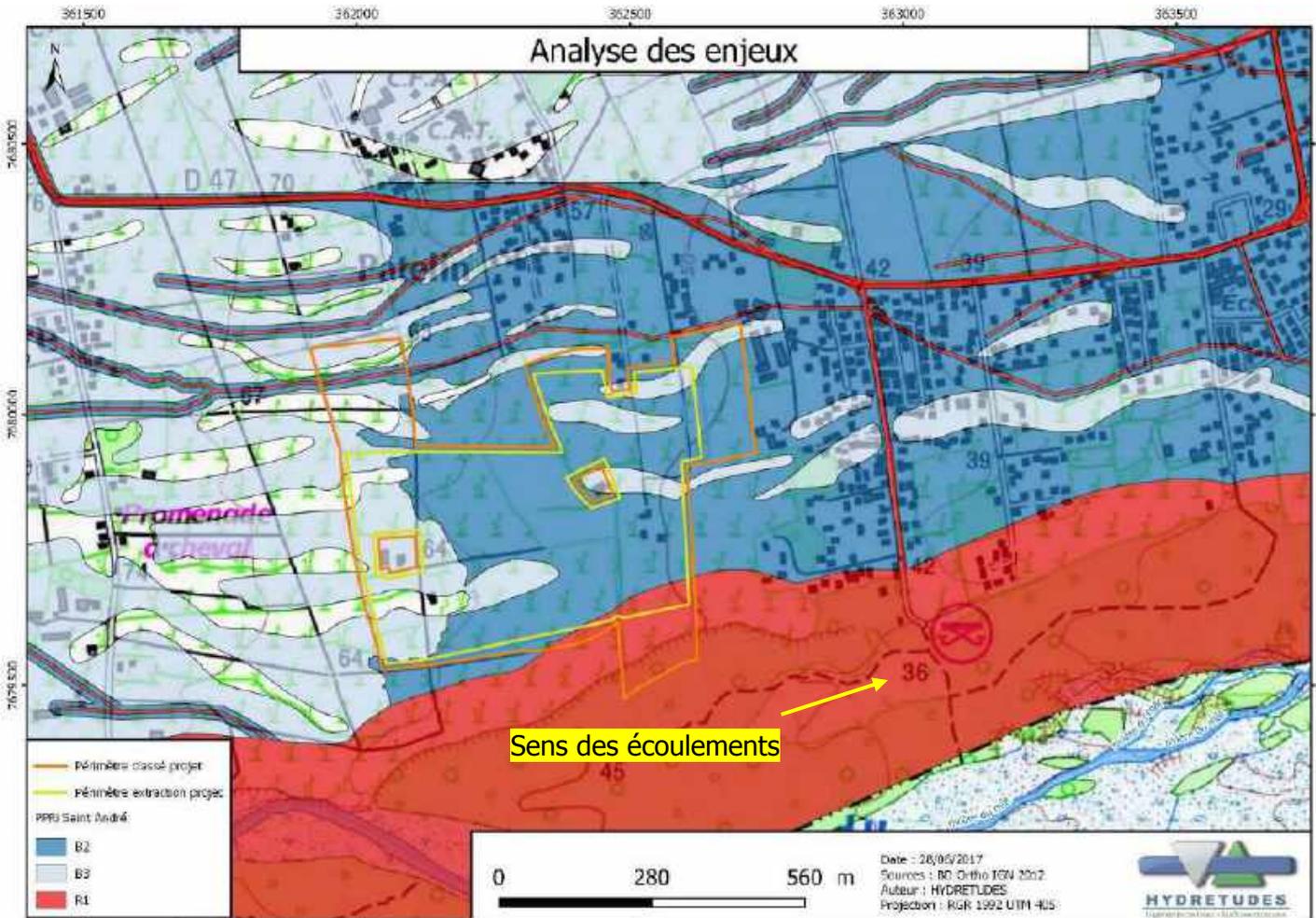


Figure 9 : Analyse des enjeux

La première zone à enjeux se situe au nord du périmètre d'extraction, au droit du chemin Patelin, où des écoulements (classés R1 et B2) traversent une zone habitée.

La deuxième zone à enjeux se situe à l'est du périmètre d'extraction, puisque l'ensemble des habitations depuis la rue Jeanson jusqu'à la mer sont concernés par une partie des écoulements traversant le projet en amont (zones B2, B3 et R1).

## 5. SCENARII ETUDIES

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, plusieurs phases ont été modélisées, à savoir :

- **L'état initial** : cette modélisation permet d'une part de mieux cerner les ruissellements interceptés par le projet afin de positionner et dimensionner les ouvrages hydrauliques, et d'autre part d'avoir une base afin de quantifier les impacts du projet sur les écoulements ;
- **La remise en état** : elle correspond à la remise en état du site après exploitation. Cette modélisation permet d'analyser les impacts hydrauliques du projet par rapport à l'état initial.

**La compatibilité avec le PPRI devant être étudiée, les modélisations de ces scénarii ont été réalisées pour une période de retour centennale.**

## 6. DEFINITION DES OUVRAGES

Le chapitre ci-dessous traite du dimensionnement hydraulique des ouvrages de gestion des eaux pluviales du site en phase remise en état.

La gestion des eaux de ruissellement après remise en état du site se fera tel qu'indiqué sur la figure ci-dessous :

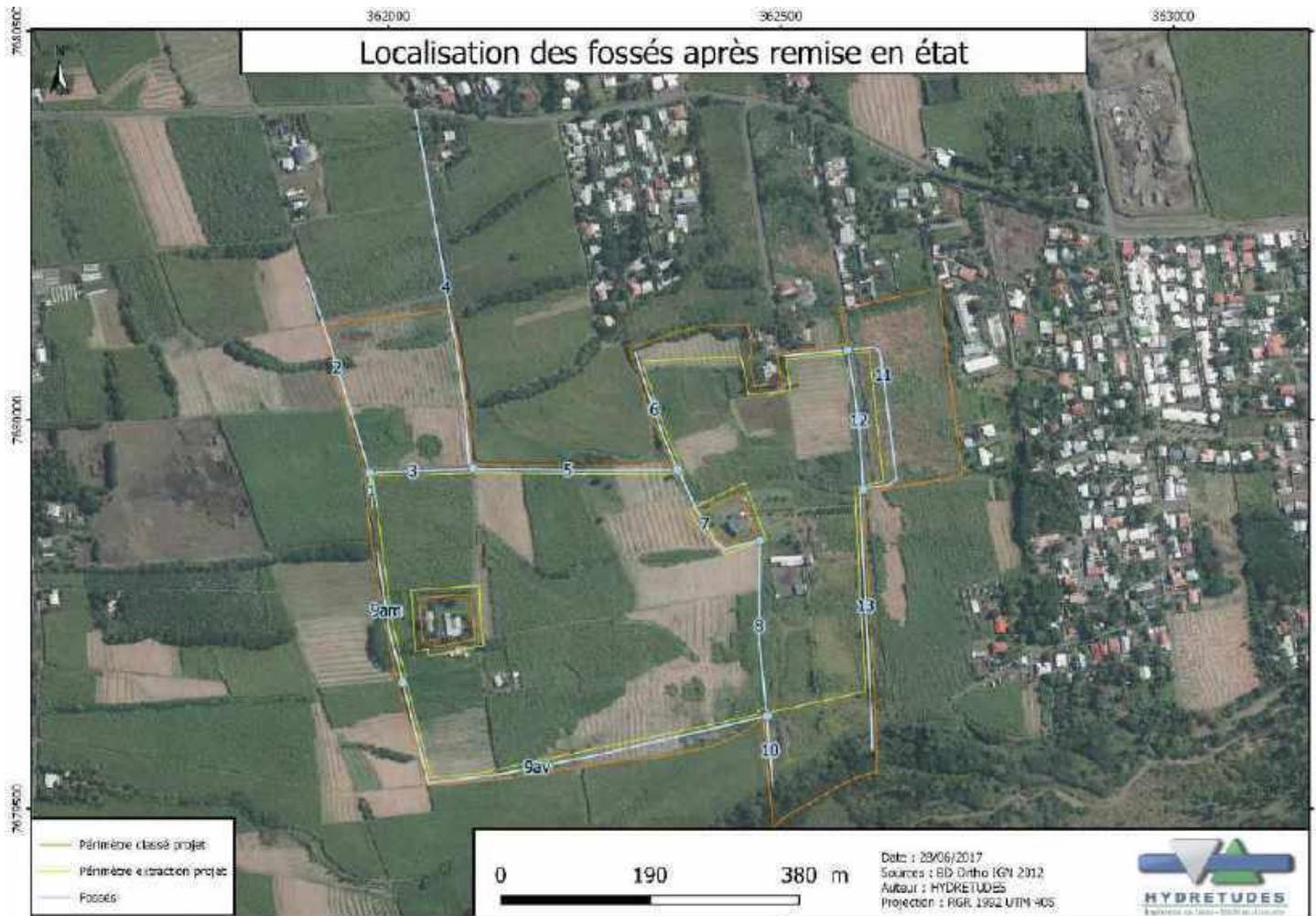


Figure 10 : cartographie des ouvrages après remise en état

Le système est composé de fossés permettant de collecter l'ensemble du ruissellement en amont immédiat du périmètre d'extraction :

- Les fossés 1 à 10 drainent la partie amont du site avant de se rejeter dans la rivière du Mât ;
- Les fossés 11 à 13 drainent la partie aval jusqu'à la rivière du Mât.

Les ouvrages de gestion des eaux pluviales ont été pré dimensionnés, pour une période de retour centennale, selon la méthode de Manning-Strickler. Les coefficients de rugosité indiqués dans le « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » (DEAL, 2012) ont été utilisés dans ces calculs.

Ce pré dimensionnement a par la suite été vérifié par modélisation.

Les dimensions de ces ouvrages sont résumées dans le tableau ci-dessous<sup>3</sup> :

Caractéristiques des fossés après remise en état									
Ouvrage	Q100 (m³/s)	Longueur (m)	Pente minimum de l'ouvrage (%)	Materiau	Base (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Capacité (m³/s)	Fruit berges
1	13,1	45	0,5	Terre	1,50	6,00	1,50	14,10	3H/2V
2	12,9	263	0,5	Terre	1,50	7,00	1,75	15,30	3H/2V
3	25,3	131	3,0	Enrochements liés	1,00	5,00	2,00	38,80	U
4	5,3	467	0,5	Terre	1,00	5,50	1,50	11,70	3H/2V
5	28,1	262	0,6	Enrochements liés	5,00	5,00	2,00	33,20	1H/1V
6	1,3	161	0,5	Terre	0,50	3,50	1,00	3,60	3H/2V
7	31,0	168	1,5	Terre	1,50	7,50	2,00	45,90	3H/2V
8	31,0	225	1,0	Terre	1,50	7,50	2,00	37,50	3H/2V
9am	2,6	170	0,5	Terre	0,50	2,50	1,00	3,70	1H/1V
9av	3,3	570	1,7	Terre	0,5	3,50	1,00	9,90	3H/2V
10	33,9	89	1,5	Terre	1,50	7,50	2,00	45,90	3H/2V
11	5,5	335	0,5	Enrochements liés	1,00	4,00	1,00	7,20	1H/1V
12	5,5	180	0,5	Enrochements liés	1,00	4,00	1,00	7,20	1H/1V
13	5,3	317	0,5	Enrochements liés	1,00	5,00	1,25	11,70	3H/2V

Tableau 2 : Caractéristiques des ouvrages hydrauliques après remise en état

<sup>3</sup> Les bassins versants propres à chaque ouvrage et les débits Q100 indiqués sont présentés chapitre suivant

## HYDROLOGIE

### 7. DETERMINATION DES DEBITS PROJETS

Le projet étant soumis essentiellement à un aléa de type « Ruissellement urbain », le choix a été fait de modéliser une pluie homogène d'occurrence centennale sur l'ensemble de la zone d'étude.

Cependant, la modélisation d'une pluie homogène étant très lourde, il n'a pas été possible de modéliser tout le bassin versant amont de la zone projet. Ainsi, le débit Q100 arrivant en amont de la zone d'étude a été injecté au modèle.

De plus, la crue centennale de la Rivière du Mât a été couplé au modèle afin d'apporter une connaissance globale du contexte hydraulique de la zone.

#### 7.1. OBTENTION DU HYETOGRAMME DE PROJET

Le hyétogramme d'entrée choisi (intensité de la pluie en fonction du temps), correspondant à un événement pluvieux d'intensité centennale, est celui obtenu dans l'étude PGRI du bassin versant de la Grande Rivière Saint Jean.

Ce hyétogramme, fictif, a été construit à partir de l'analyse des hyétogrammes de 7 crues historiques obtenus à la station pluviométrique de Menciol (181m NGR) par Météo France.

La station de Menciol est située à Saint André et est donc caractéristique du régime hydrologique du projet.

Comme indiqué dans le PGRI, ses caractéristiques sont :

- Durée de pluie de 12h ;
- Temps de montée deux fois plus rapide que le temps de descente ;
- Période de retour définit selon les courbes IDF (Intensité-Durée-Fréquence) de la station de Menciol, ici centennale.

Afin de prendre en compte la différence d'altitude entre la station et le projet (paramètre ayant une influence sur l'intensité pluviométrique), un coefficient d'altitude a été appliqué à ce hyétogramme.

Pour ce faire, des relations pour l'estimation de la pluie journalière en fonction de l'altitude pour différentes périodes de retour ont été établies par l'étude PGRI.

L'altitude médiane a été utilisée pour la détermination du coefficient d'altitude à appliquer au hyétogramme issu de la station de Menciol (181 m NGR).

Ce coefficient d'altitude correspondent au ratio des valeurs de pluie journalières données par les formules ci-dessous, appliquées à l'altitude médiane du bassin versant étudié et rapporté à celle de de la station de Menciol dont l'altitude est 181 m NGR ( $Z < 260\text{m NGR}$ ).

Temps de retour	Relation retenue pour l'estimation de la pluie journalière en fonction de l'altitude (z en m NGR)		
	z < 260 m NGR	260 < z < 555 m NGR	z > 555 m NGR
P <sub>j50</sub>	$P_j = 0,386 z + 316$	$P_j = 0,198 z + 365$	$P_j = 0,793 z + 35$
<b>P<sub>j100</sub></b>	<b><math>P_j = 0,425 z + 348</math></b>	<b><math>P_j = 0,218 z + 402</math></b>	<b><math>P_j = 0,920 z + 13</math></b>
P <sub>j200</sub>	$P_j = 0,464 z + 380$	$P_j = 0,237 z + 439$	$P_j = 1,046 z - 10$

Tableau 3: Estimation des pluies journalières en fonction de l'altitude (PGRI – SOGREAH 2011)

Le hyétogramme de période de retour 100 ans obtenu après application du coefficient d'altitude (=0.9) est présenté ci-dessous :

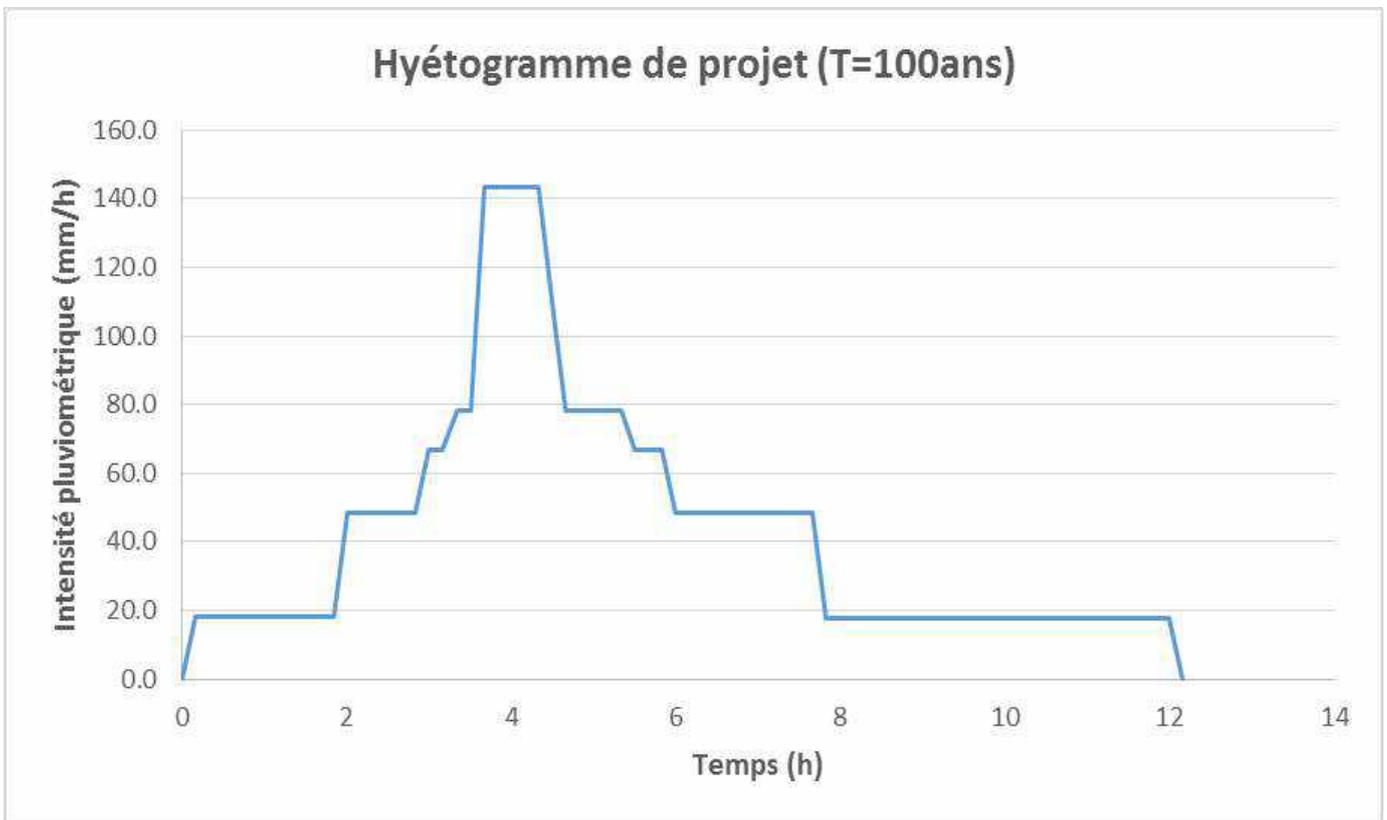


Figure 11 : Hyétogramme de projet (occurrence 100 ans)

## 7.2. DÉBIT DE PROJET DES BASSINS VERSANTS AMONT

Les bassins versants amont de la zone d'étude sont illustrés sur la figure ci-dessous:



Figure 12 : Bassins versants amont de la zone modélisée

Les caractéristiques de ces deux bassins versants sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Nom Bassin Versant	Surface (ha)	Longueur BV (m)	Alt max (m)	Alt min (m)	Pente moyenne (%)	Alt moyenne pondérée (m)	Périmètre (km)
BV 1	68	1400	105	75	2.14	90	3.50
BV 2	14	700	90	75	2.14	82.5	1.70

Tableau 4 : caractéristiques des bassins versants amont

Conformément au « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » (DEAL, 2012), la méthode rationnelle a été utilisée pour calculer le débit de projet de ces bassins versants.

Nom Bassin Versant	Temps de concentration (min)	Coefficient de ruissellement	Débites Q100 (m <sup>3</sup> /s)
BV 1	47.6	0.9	18.9
BV 2	28.3	0.9	4.6

Figure 13 : Débits de projet des deux bassins versants amont

Afin de modéliser les écoulements d'une pluie d'intensité centennale sur ces deux bassins versants, les deux hydrogrammes unitaires (1Tc en montée, 2Tc en décro) suivants ont été construits :

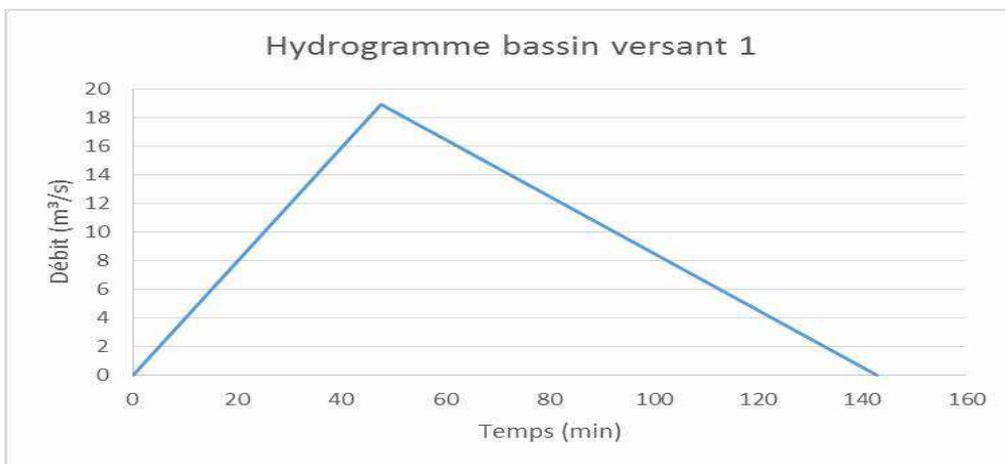


Figure 14 : hydrogramme unitaire Q100 BV1

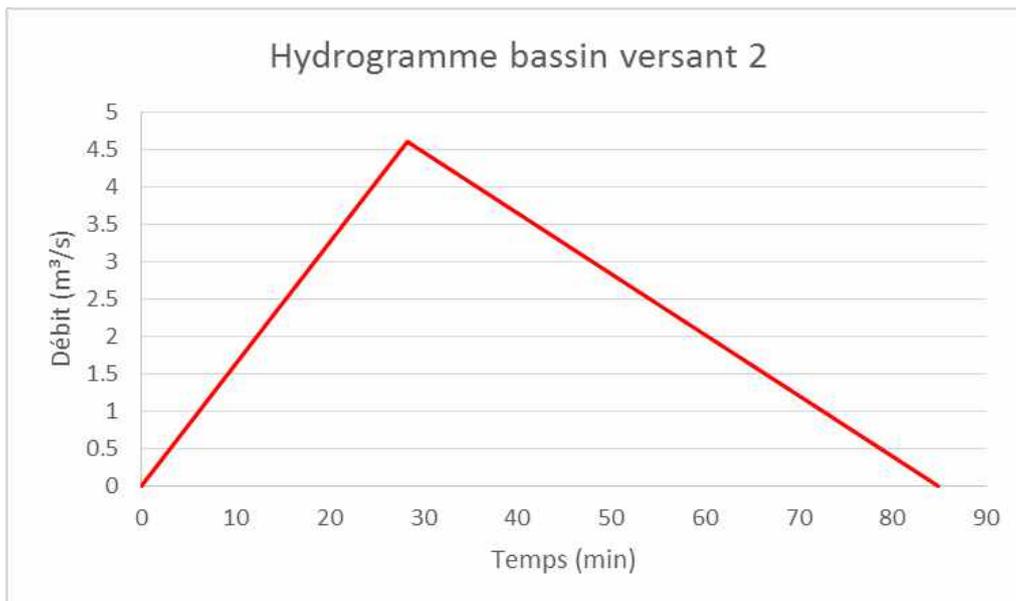


Figure 15 : hydrogramme unitaire Q100 BV2

### 7.3. DÉBIT DE PROJET DE LA RIVIÈRE DU MÂT

Le bassin versant de la Rivière du Mât à son exutoire en mer est illustré sur la figure ci-dessous:

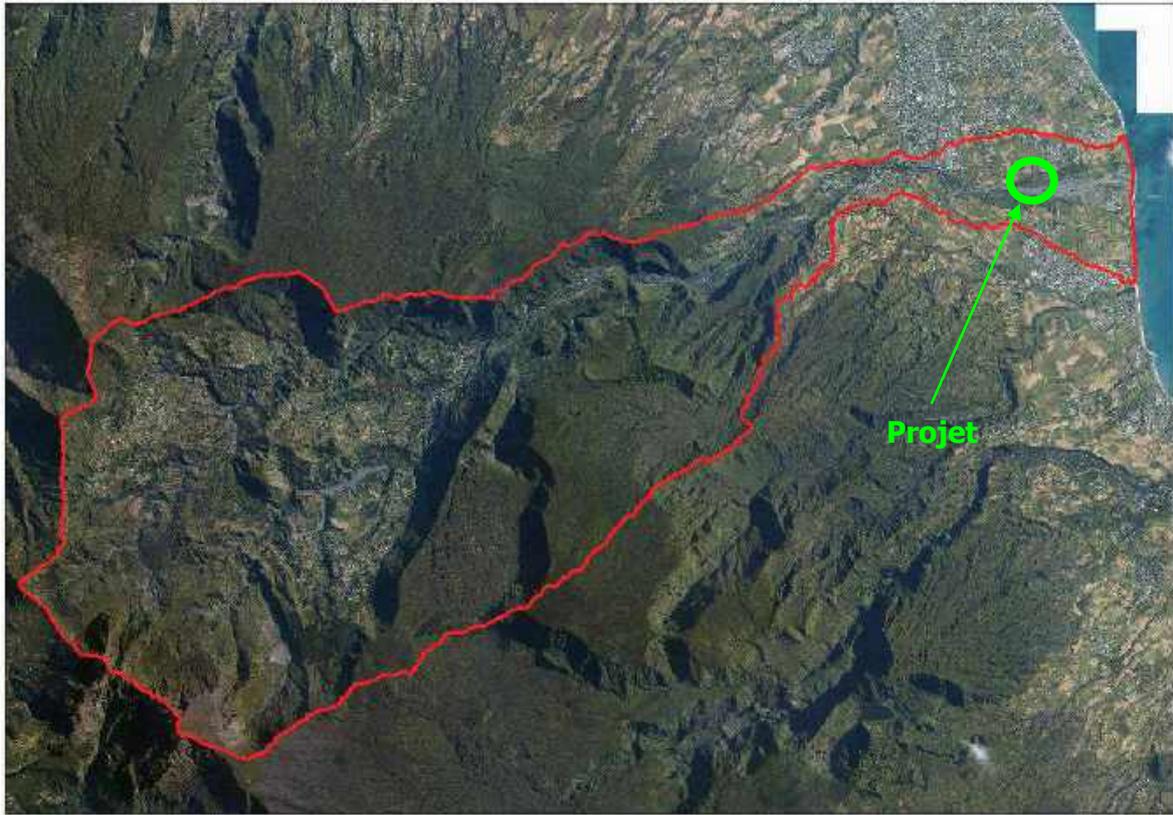


Figure 16: Bassin versant de la Rivière du Mât à son exutoire en mer

Le rapport du BRGM, intitulé "Etude hydrogéomorphologique de la Rivière du Mât et solutions de gestion", de Juin 2008, dans sa partie numérotée 3/5 : "Analyse pluviométrique et hydrologique", détermine les caractéristiques hydrologiques suivantes du bassin versant de la Rivière du Mât:

- Temps de concentration de 4h à l'exutoire;
- Débit décennal Q10 de 1635 m<sup>3</sup>/s environ;
- Débit centennal Q100, compris entre 2865 et 3300 m<sup>3</sup>/s.

Afin de modéliser les écoulements d'une crue centennale de la Rivière du Mât dans sa partie aval (entre la RN et l'océan), nous retiendrons l'évènement hydrologique suivant:

- **Crue centennale** d'un débit de **3300<sup>3</sup>/s** (hypothèse haute),
- **Temps de concentration 4h**;
- **Hydrogramme unitaire** (de type triangulaire et de durée 3 fois le temps de concentration du bassin versant considéré (1Tc en montée, 2Tc en décrue))

L'hydrogramme unitaire conçu est présenté sur la figure ci-dessous:

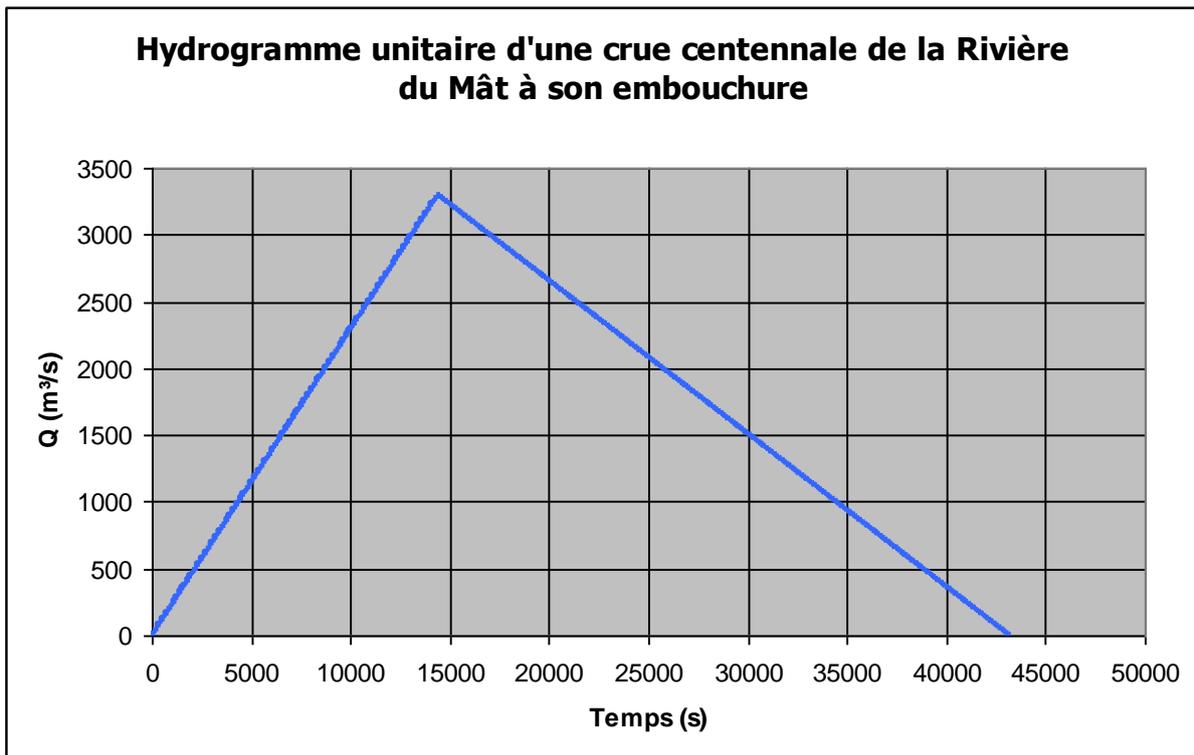


Figure 17: Hydrogramme unitaire d'une crue centennale de la Rivière du Mât à son embouchure

### 7.4. DÉBIT DE PROJET DES OUVRAGES HYDRAULIQUES APRÈS REMISE EN ÉTAT DU SITE

Les bassins versants des ouvrages hydrauliques après ont été tracés à partir des courbes de niveaux du MNT projet et sont représentés sur la figure ci-dessous :

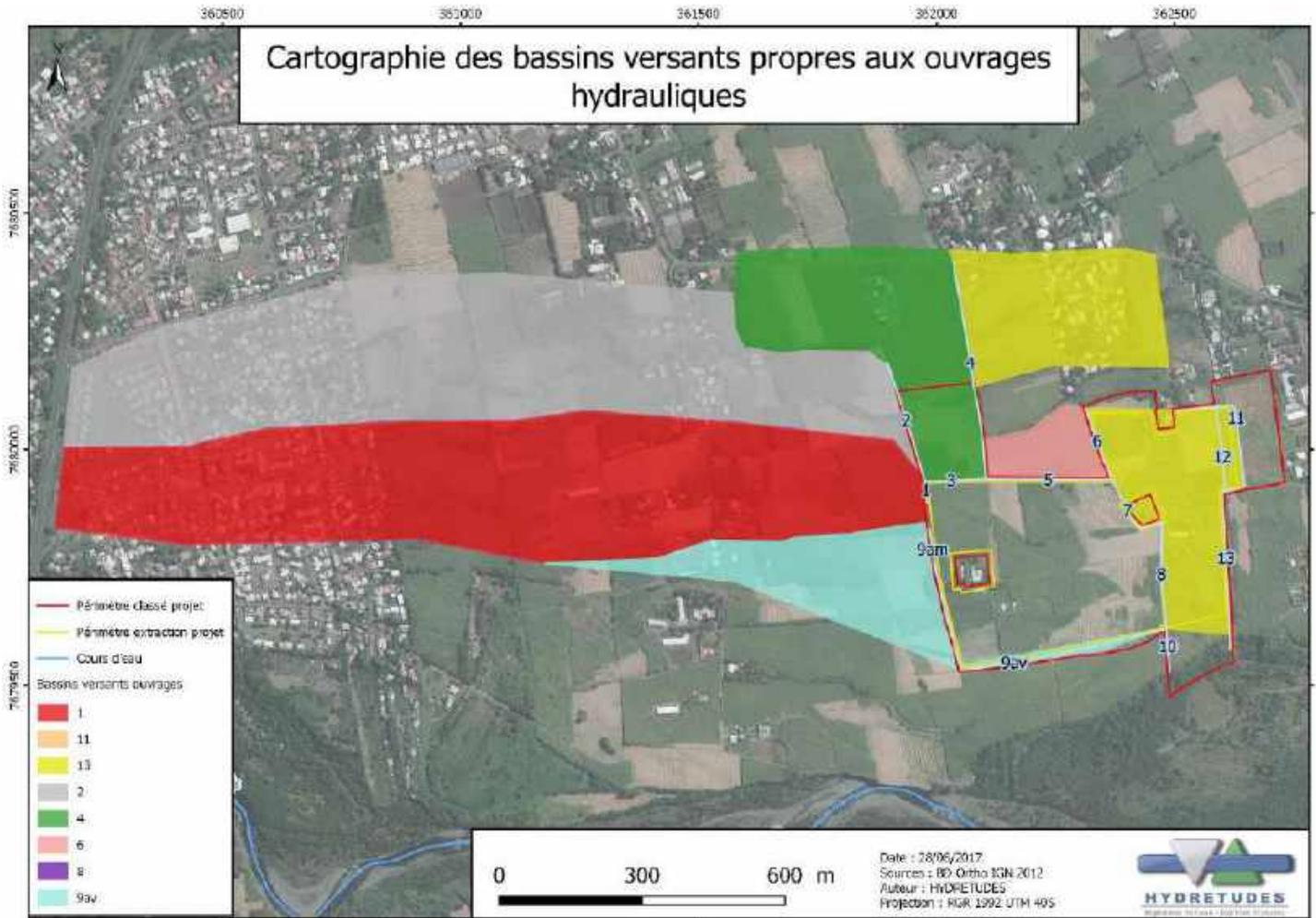


Figure 18 : cartographie des bassins versants en phase 1C

### 7.4.1. Caractéristiques des bassins versants

Les caractéristiques des bassins versants sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Bassin Versant	Surface (km <sup>2</sup> )	Surface (ha)	Longueur du BV (m)	Alt max (m)	Alt min (m)	Pente moyenne (%)	Périmètre (km)
BV1	0,446	44,56	1800	105	65	2,2	3,97
BV2	0,452	45,20	2000	105	65	2,0	4,14
BV3	0,898	89,78	2135	105	61	2,1	4,65
BV4	0,146	14,56	800	76	61	1,9	1,85
BV5	1,040	104,00	2400	105	52	2,2	5,38
BV6	0,029	2,94	300	62	59	1,0	0,74
BV7	1,234	123,44	2800	105	52	1,9	6,09
BV8	1,234	123,44	2800	105	52	1,9	6,09
BV92am	0,070	7,00	850	85	62	2,7	1,85
BV9av	0,105	10,47	1400	85	52	2,4	3,00
BV10	1,344	134,39	2850	105	51	1,9	6,00
BV11	0,155	15,48	440	59	52	1,6	2,30
BV12	0,155	15,48	440	59	52	1,6	2,30
BV13	0,203	20,34	740	52	50	0,3	2,91

Tableau 5: Caractéristiques hydromorphologiques des bassins versants des ouvrages hydrauliques

### 7.4.2. Résultats en termes de débits de projet

Les débits centennaux des bassins versants ont été calculés selon la méthode présentée précédemment. Ils sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Bassin Versant	Q100 i (m <sup>3</sup> /s)
BV1	13,1
BV2	13,0
BV3	25,3
BV4	5,3
BV5	28,1
BV6	1,3
BV7	31,0
BV8	31,0
BV92am	2,6
BV9av	3,3
BV10	33,9
BV11	5,5
BV12	5,5
BV13	5,3

Tableau 6 - Débits centennaux des bassins versants des ouvrages après remise en état

## GEOMORPHOLOGIE

Le contexte géomorphologique de la Rivière du Mât dans le secteur d'étude est de type cône de déjection alluvial.

Les formations en place sont décrites sur la figure ci-dessous, extraite de l'étude réalisée par le BRGM en 2008 et intitulée: "*Etude hydrogéomorphologique de la Rivière du Mât*".

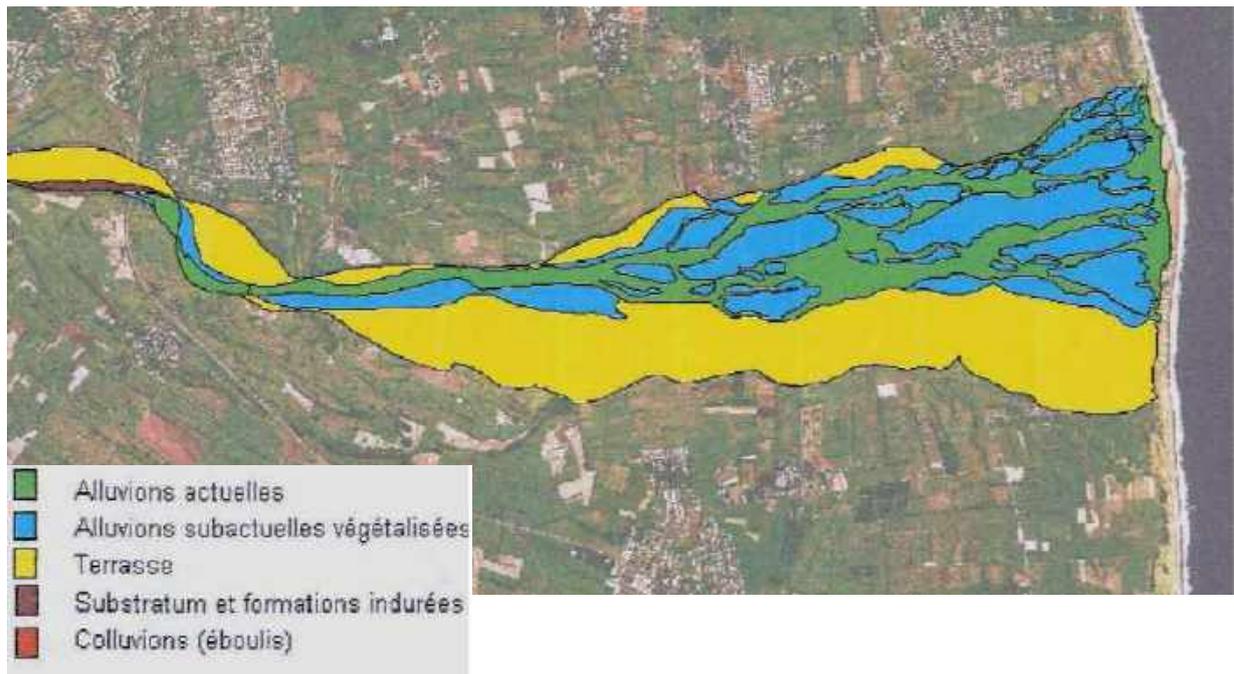


Figure 19: Géomorphologie de la Rivière du Mât sur le secteur d'étude (*Etude hydrogéomorphologique de la Rivière du Mât, BRGM, 2008*)

## HYDRAULIQUE

### 8. MODELISATION MATHEMATIQUE DES ECOULEMENTS

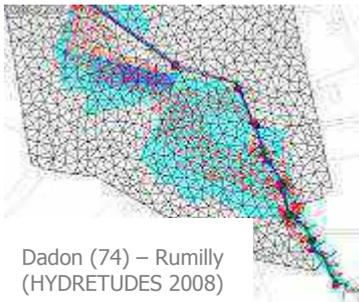
#### 8.1. MISE EN ŒUVRE DU MODELE ET PRESENTATION DU LOGICIEL INFOWORKS ICM

##### 8.1.1. Module 2D

InfoWorks 2D est un module intégré au sein du logiciel InfoWorks ICM pour la modélisation des cours d'eau.

##### 8.1.2. Intérêt

L'Analyse de l'extension des zones inondables potentielles et la définition des caractéristiques hydrauliques comme la profondeur et la vitesse des écoulements est un problème complexe, en particulier dans les zones urbaines et /ou endiguées où les infrastructures peuvent réduire les inondations dans certaines zones, tout en les augmentant dans d'autres.



Les simulations en 1D peuvent très bien fournir des informations concernant les débits et les profondeurs d'écoulement sur les plaines d'inondation. C'est une méthode rapide et efficace pour déterminer l'extension maximale du champ d'expansion des crues, mais elle se fonde sur des hypothèses relatives sur le sens des écoulements. Les simulations 1D sont également limitées lorsque des informations détaillées sur les vitesses de ces écoulements sont nécessaires dans des configurations particulières, fortement influencés par les obstructions causées par les infrastructures telles que les routes et les bâtiments.

Dans ce cadre, les simulations en 2D sont mieux adaptées à la modélisation des écoulements pour des géométries complexes telles que les zones urbaines, des digues, des intersections de routes et autres infrastructures de transport et les terrains où les directions des écoulements sont difficiles à prévoir. Les modélisations en 2D nécessitent des données topographiques nombreuses et sont coûteuses en temps de calcul.

La modélisation des événements complexes avec précision et efficacité exige un modèle à la fois 1D et 2D. Le logiciel Infoworks ICM combine à la fois un moteur 1D et 2D. Le modèle combine des éléments unidimensionnels et bidimensionnels.

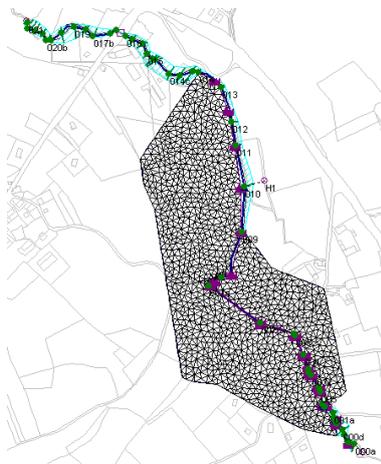
L'utilisation de la simulation 1D permet d'identifier les zones où les inondations se produisent. Une fois que les zones d'intérêt, touchées par les débordements sont identifiées, il est possible de construire le modèle 2D et en utilisant le calcul combinant le 1D et 2D, de déterminer la direction et les hauteurs des écoulements sur le lit majeur.

### 8.1.3. Moteur hydraulique 2D

Infoworks 2D utilise des algorithmes performants basés sur une méthode type volumes finis pour résoudre l'équation complète de St-Venant utilisant le solveur de Riemann particulièrement adapté aux régimes hydrauliques rapidement variés tels que ceux à travers les rues escarpées, les carrefours et ceux qui sont associés aux submersions de digues.

Les moteurs 1D et 2D tournent en même temps permettant l'échange d'eau entre les modèles à chaque pas de temps. Les échanges se font au niveau des déversements (spills).

### 8.1.4. Maillage 2D



L'espace est discrétisé sous forme d'un maillage non structuré. Le module 2D d'InfoWorks est basé sur un maillage de surface, donnant un maximum de flexibilité pour le modéleur et en veillant à ce que le système soit inspiré de la topographie du site d'étude de façon aussi précise que possible.

Cette souplesse dans le maillage augmente le nombre de types d'écoulement que l'on peut modéliser.

Un certain nombre de types de maillage peuvent être utilisés et combinés dans un modèle :



Maillage triangulaire non structuré qui est la meilleure solution pour l'analyse des écoulements complexes ;



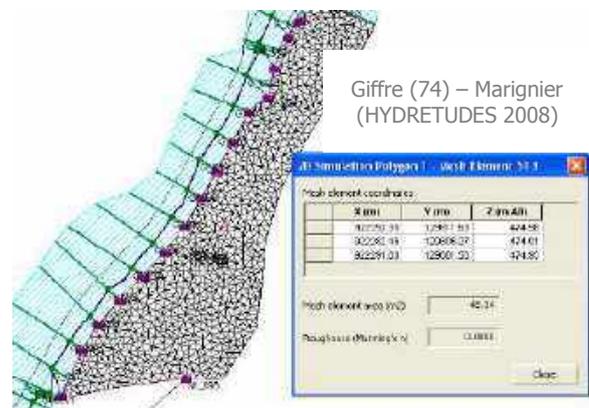
Maillage dans les zones présentant un intérêt particulier; maillage quadrangulaire non structuré qui est apte à modéliser les écoulements canalisés;



Maillage rectangulaire en vue de simplifier les modes d'écoulement.

Les spécifications de la maille peuvent varier selon les secteurs du modèle, permettant une excellente résolution autour des zones d'intérêt tout en utilisant une résolution plus faible pour les régions moins importantes. Le générateur de maillage peut également inclure des vides (bâtiments), des murs, de préciser la rugosité des zones individuelles. Ce point est crucial pour simuler avec précision les circulations d'eau autour des bâtiments, sur les routes et dans les zones de terrain ouvert, comme les champs.

Les données nécessaires pour générer le modèle de maillage peuvent être importées à partir des couches de fond, de modèle numérique ou des caractéristiques d'un réseau 1D.



## 8.2. HYPOTHESES DE CALCUL ET LIMITES DU MODELE

La modélisation hydraulique permet de comprendre la cinétique d'un épisode pluvieux sur un secteur donné et d'estimer les paramètres tels que les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulements en chaque point de calcul et pour chaque pas de temps.

Cet outil est basé sur plusieurs éléments. Le diagramme ci-dessous résume l'importance de chacun de ces éléments sur la précision des résultats d'une modélisation :

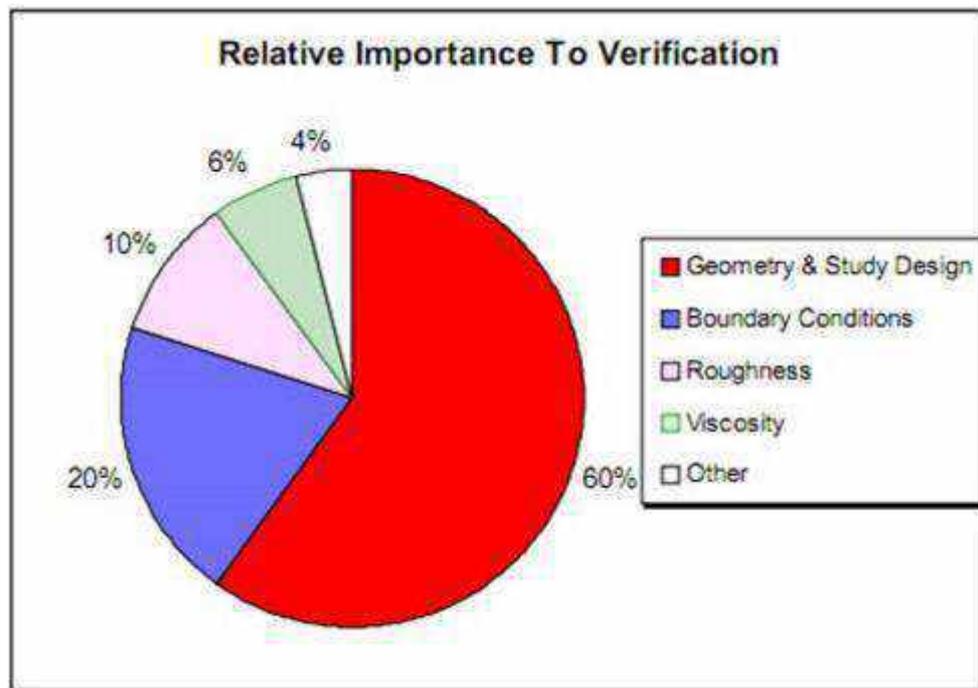


Figure 20 : Importance des éléments constituant la modélisation hydraulique

L'élément prédominant avec 60% est donc la topographie (traduit par un Modèle Numérique de Terrain).

Ensuite, les conditions hydrauliques du modèle représentent 1/5<sup>ème</sup> de la précision du modèle (débits, pluies, hauteur de mer, ...).

Le dernier cinquième est composé des rugosités et autres éléments secondaires.

Concernant les présentes modélisations, le MNT de l'état initial a été obtenu par levé photogrammétrique (2015). La précision de ce type de levé sur des zones peu végétalisées est en générale très bonne.

Les MNT utilisés pour la phase remise en état a été créé à partir des MNT projet, qui sont censés représenter au mieux la topographie du terrain.

Ce paramètre prépondérant est donc vraisemblablement fiable pour les modélisations de cette étude. Malgré cela, un MNT ne peut pas représenter parfaitement le terrain naturel et des imprécisions sont toujours observées.

Les autres éléments de la modélisation (pluie, débit, rugosité, ...) ont été déterminés à partir des méthodes en vigueur à la Réunion.

Outre ces éléments pouvant être source d'imprécision dans les résultats, il convient de rappeler les limites de la modélisation hydraulique :

- Le MNT est non dynamique, ce qui implique que les phénomènes d'érosions et de transports solides ne peuvent être pris en compte dans les résultats. Ces phénomènes peuvent engendrer d'importants dysfonctionnements tels que l'obstruction d'ouvrages ou la déstabilisation de talus. **Il convient donc de mettre tous les moyens en œuvre pour s'en prémunir ;**
- La pluie sur l'ensemble du bassin versant est considérée comme homogène, ce qui au vu des bassins versants étudiés est vraisemblable ;
- Les éléments tels que les buses ou les dalots ne peuvent être modélisés en 2D. Des liaisons en 1D 2D sont donc réalisées dans le modèle, ce qui peut engendrer des anomalies dans leurs fonctionnements. Cet aspect reste toutefois contrôlé et corrigé si nécessaire.

### 8.3. DESCRIPTION DES SCENARII MODELISES

Deux scénarii ont été modélisés afin d'étudier les conséquences du projet sur les conditions d'écoulements du site.

- **Scénario 1 : Etat Initial + Q100**

La crue centennale de la Rivière du Mât couplé aux ruissellements urbains au droit de la future carrière pour la même période de retour (100 ans) à l'état initial a été modélisée afin d'étudier les paramètres d'écoulements au droit du projet de PREFABLOC.

La topographie actuelle du site et les ouvrages hydrauliques et routiers existants ont été intégrés.

La figure ci-dessous illustre la topographie (Modèle Numérique de Terrain) du site à l'état initial. Cette illustration est issue du modèle mathématique 2D des écoulements produit par HYDRETUDES :



*Figure 21 : Vue 3D du MNT à l'état initial*

• **Scénario 2 : Remise en état + Q100**

La crue centennale de la Rivière du Mât couplé aux ruissellements urbains au droit de la future carrière pour la même période de retour (100 ans) à l'état initial a été modélisée afin d'étudier les paramètres d'écoulements au droit du projet de PREFABLOC.

La topographie future du site après remise en état et les ouvrages hydrauliques et routiers envisagés ont été intégrés.

La figure ci-dessous illustre la topographie (Modèle Numérique de Terrain) du site à l'état initial. Cette illustration est issue du modèle mathématique 2D des écoulements produit par HYDRETUDES :



*Figure 22 : Vue 3D du MNT après remise en état du site*

### 8.4. CONSTRUCTION ET ARCHITECTURE DU MODELE 2D

Pour les besoins spécifiques du projet, nous avons choisi de réaliser un modèle hydraulique totalement en 2D, afin d'y déterminer les champs de hauteurs et de vitesses d'écoulement (valeur, direction). Cette modélisation inclue le ruissellement urbain sur l'ensemble de la zone modélisée.

Ci-dessous est représentée l'architecture du modèle :

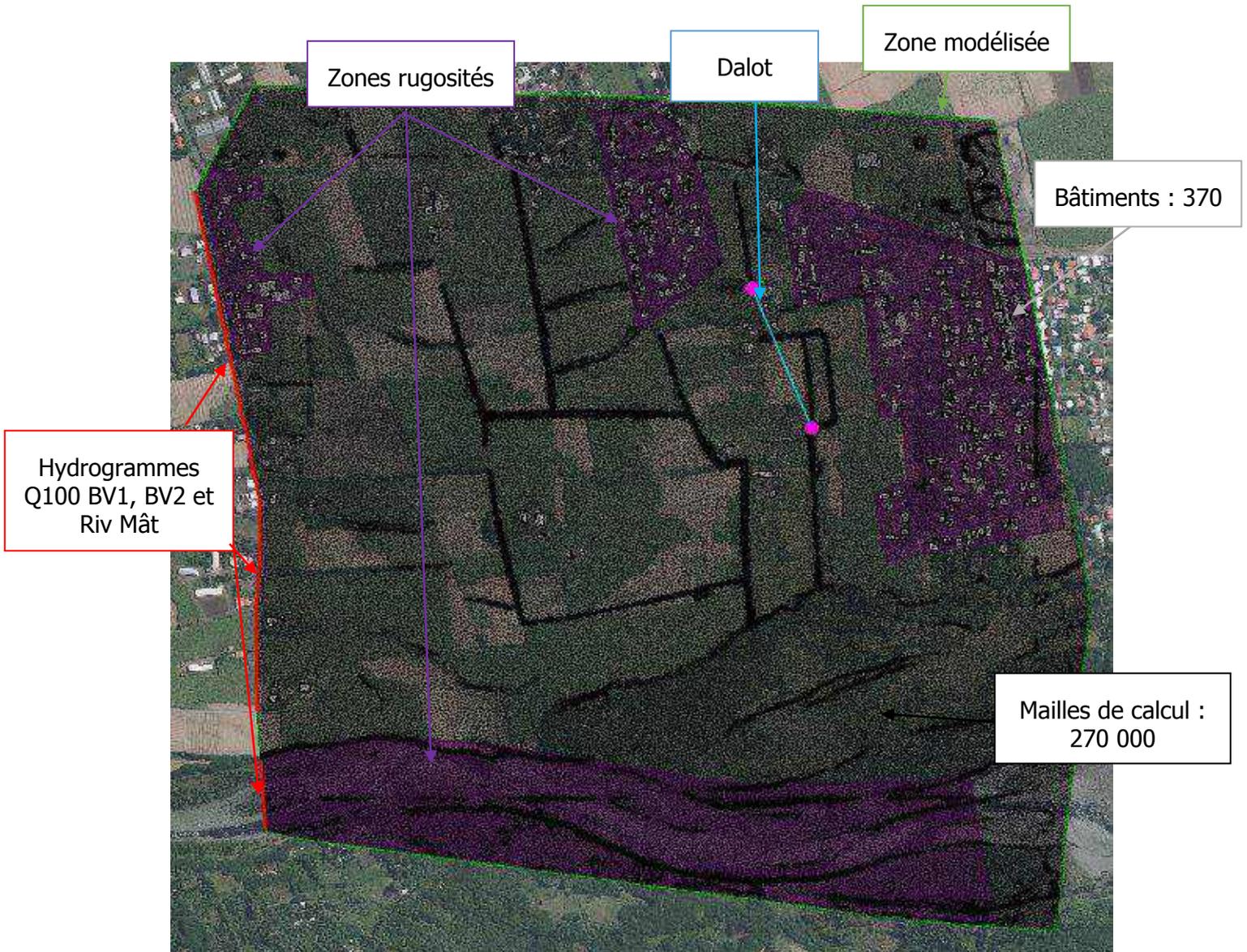


Figure 23 : Architecture du modèle hydraulique 2D

## 8.5. CONDITIONS AUX LIMITES

### - Débit :

L'hydrogramme de la crue centennale de la Rivière du Mât a été intégré comme condition limite amont de la Rivière du Mât

Les hydrogrammes des bassins versants amont ont été intégrés en amont de la zone modélisée (cf. figure page précédente)

### - Pluie :

Le hyétogramme de la pluie d'intensité centennale adapté à la localisation du projet a été intégré de telle sorte que chaque maille du modèle reçoive la pluie de façon homogène.

### - Conditions aux limites :

Une condition de type hauteur normale a été appliquée à l'extrémité aval du modèle, permettant les transferts d'eau en sortie du modèle.

## 8.6. CALAGE DU MODELE

Les coefficients de Manning utilisés dans le modèle, ont été déterminés à la suite d'observations de terrain et avec l'expérience de notre bureau d'étude dans la modélisation mathématique d'écoulements.

Les résultats du modèle (H, V) ont été analysés en recoupant les valeurs avec la topographie existante (MNT, visite in situ, ...) afin de vérifier leur validité avant d'éventuelle nouvelle itération de calcul.

## 9. ANALYSE DES ECOULEMENTS

### 9.1. SCENARIO 1 : ETAT INITIAL

#### 9.1.1. Introduction

La simulations de la crue centennale de la Rivière du Mât combiné au ruissellement urbain au droit du projet PREFABLOC à l'état initial, générée par un évènement pluvieux de période de retour centennale et de durée trois fois le temps de concentration du bassin versant, ont permis de mettre en évidence les paramètres caractéristiques des écoulements induits.

#### 9.1.2. Résultats

Les figures ci-après illustrent l'étendue de la zone d'expansion de la crue centennale de la Rivière du Mât ainsi du ruissellement urbain de la zone d'étude à l'état initial résultant de la modélisation mathématique 2D:

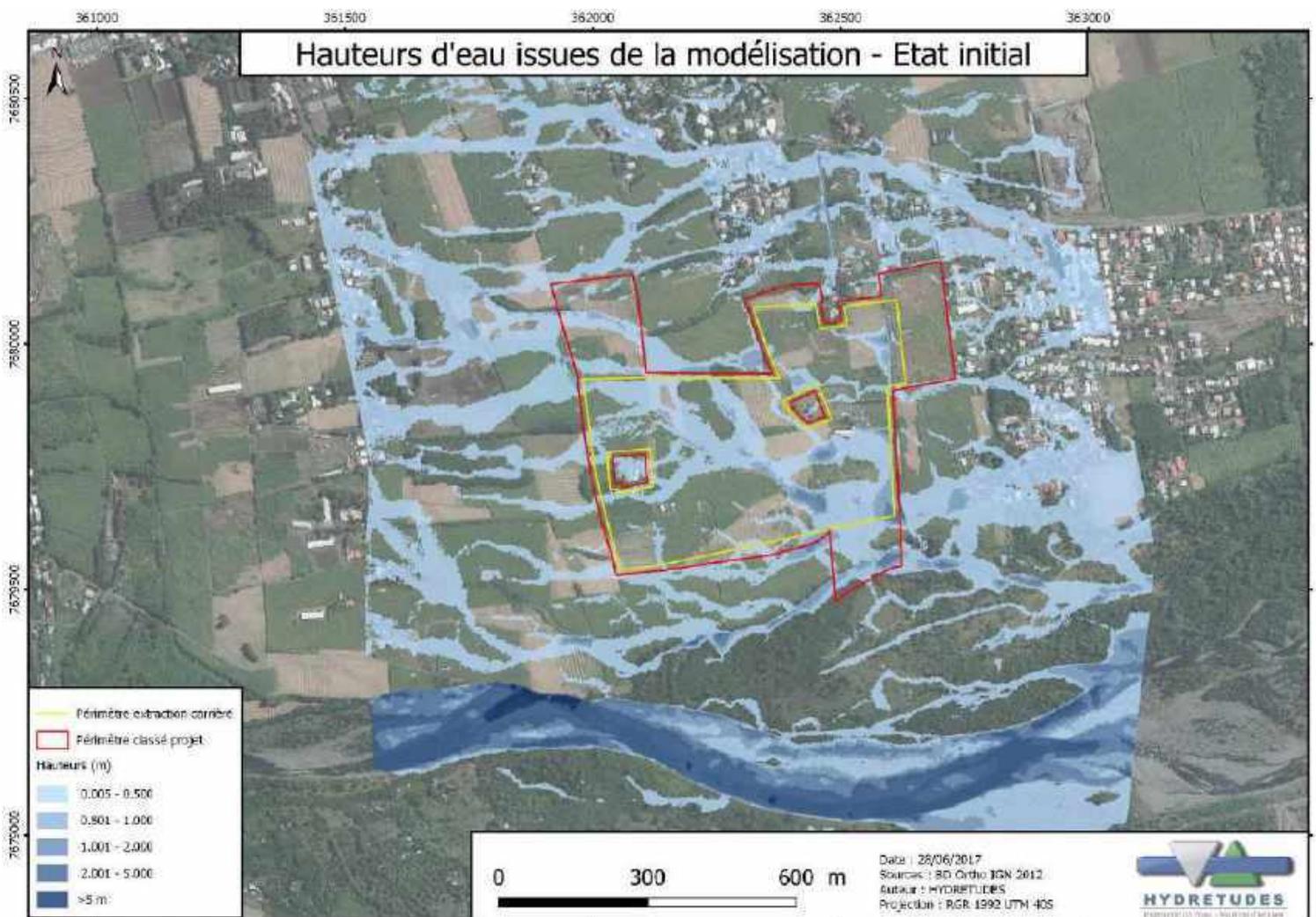


Figure 24 : Hauteurs maximales atteintes en m – Crue centennale à l'état initial

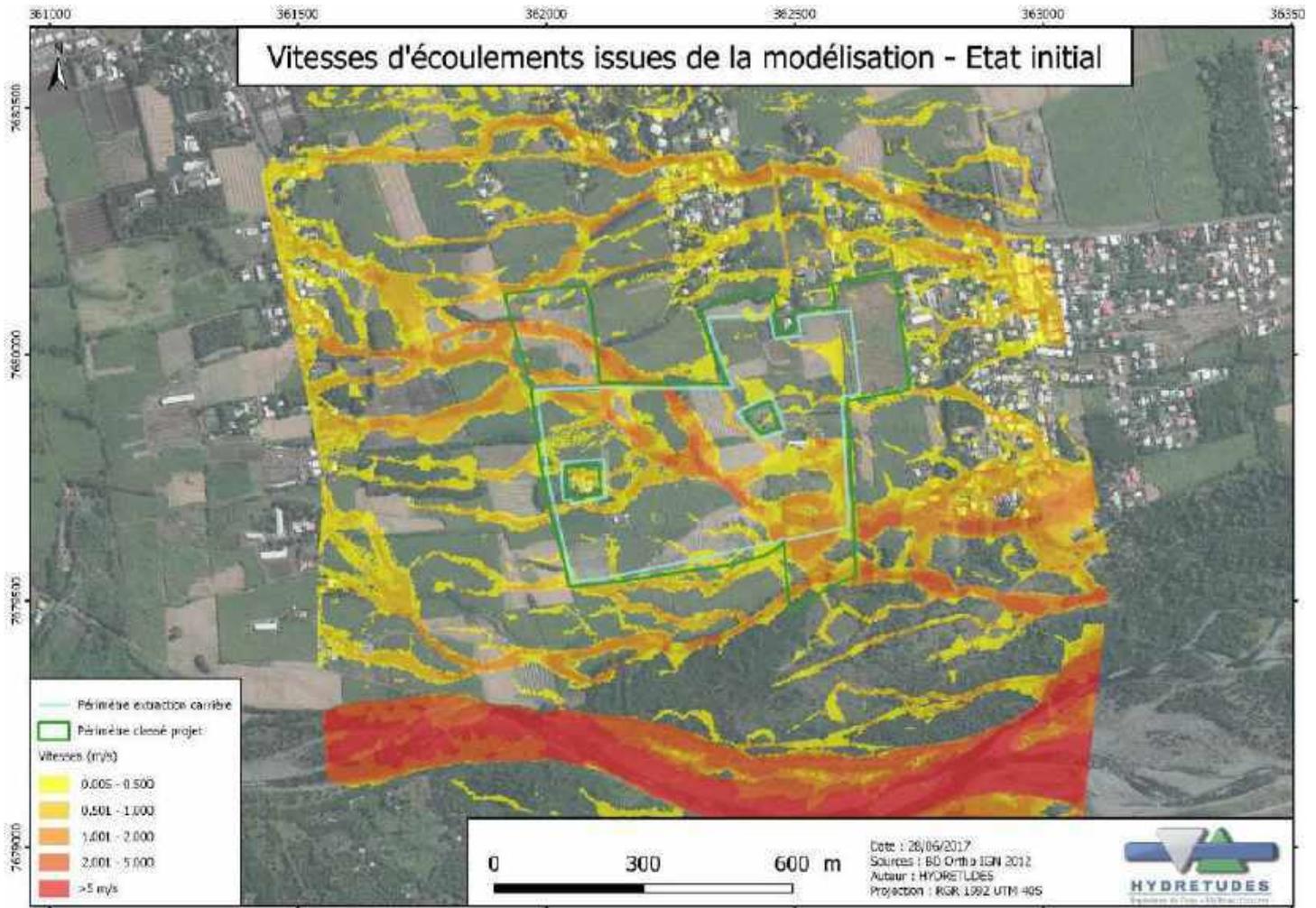


Figure 25 : Vitesses maximales atteintes en m/s – Crue centennale à l'état initial

### 9.1.3. Analyse des écoulements

#### 9.1.3.1. Analyse générale

Les résultats des modélisations d'une crue centennale dans la configuration actuelle du site (état dit initial), sont représentés et analysés sur les figures ci-avant.

L'analyse générale de ces résultats montrent que :

- Plusieurs axes d'écoulements de type « ruissellement urbain » sont observés sur la zone d'étude. Les nombreux andains présents dans la zone orientent les écoulements ;
- Les hauteurs d'eau dans ces axes d'écoulements sont globalement très faibles (entre 1 et 10cm)
- Les vitesses d'écoulements, comprises en moyenne entre 0.1 et 1m/s sont également faibles
- Un axe d'écoulement majeur traversant le projet est constaté avec des hauteurs et vitesses plus élevées ( $h \sim 30\text{cm}$  et  $v \sim 2\text{m/s}$ )
- La Rivière du Mât ne déborde pas en rive gauche. Un front de débordement est constaté en rive droite qui retourne dans la rivière quelques centaines de mètres plus en aval<sup>4</sup>

#### 9.1.3.2. Zoom sur les points particuliers

Certains points particuliers sont à mettre en évidence :

- Les ouvrages hydrauliques à proximité du chemin Patelin

Comme constaté sur le terrain, les eaux de ruissellement du Chemin Patelin se déversent dans une patûre, créant un axe d'écoulement aux vitesses importantes ( $\sim 1.3\text{m/s}$ ).

Le fossé en contrebas censé récupérer ces écoulements n'est pas suffisant du fait de sa pente trop faible (à fortiori l'ouvrage cadre en aval de ce fossé ne l'est pas non plus).

La majeure partie du ruissellement n'est donc pas renvoyée vers la Rivière du Mât et deux fronts de débordements sont donc observés en aval du fossé, comme le montre la figure page suivante.

Les vitesses restent légèrement supérieures à 1m/s, contrairement aux hauteurs qui sont en moyenne comprises entre 0.2 et 0.5m ( $\sim 1\text{m}$  d'eau dans le fossé).

---

<sup>4</sup> Cette affirmation se base sur une modélisation globale de la Rivière du Mât qui a été réalisée par HYDRETTUDES en 2015.

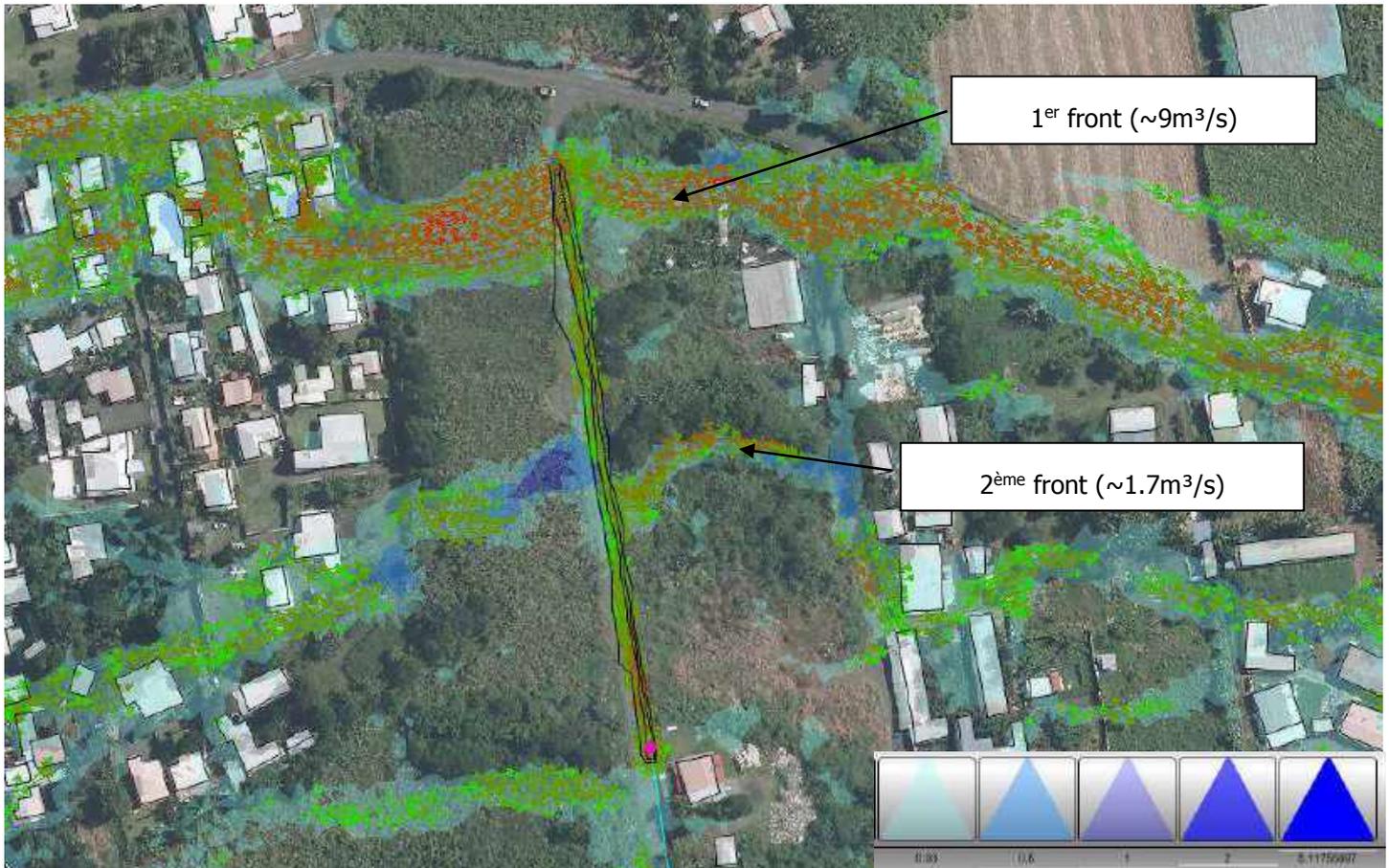


Figure 26 : Zoom sur les hauteurs d'eau (en m) au droit du chemin Patelin à l'état initial

- Les parcelles projet

Les parcelles du projet sont traversées par l'axe d'écoulement principal de la zone d'étude (or Rivière du Mât). Cet axe traverse la secteur d'étude à des vitesses comprises entre 0.7m/s et 1.5m/s avec une hauteur d'eau moyenne de 40cm, avec 4 zones de dépression où les hauteurs sont supérieures au mètre.

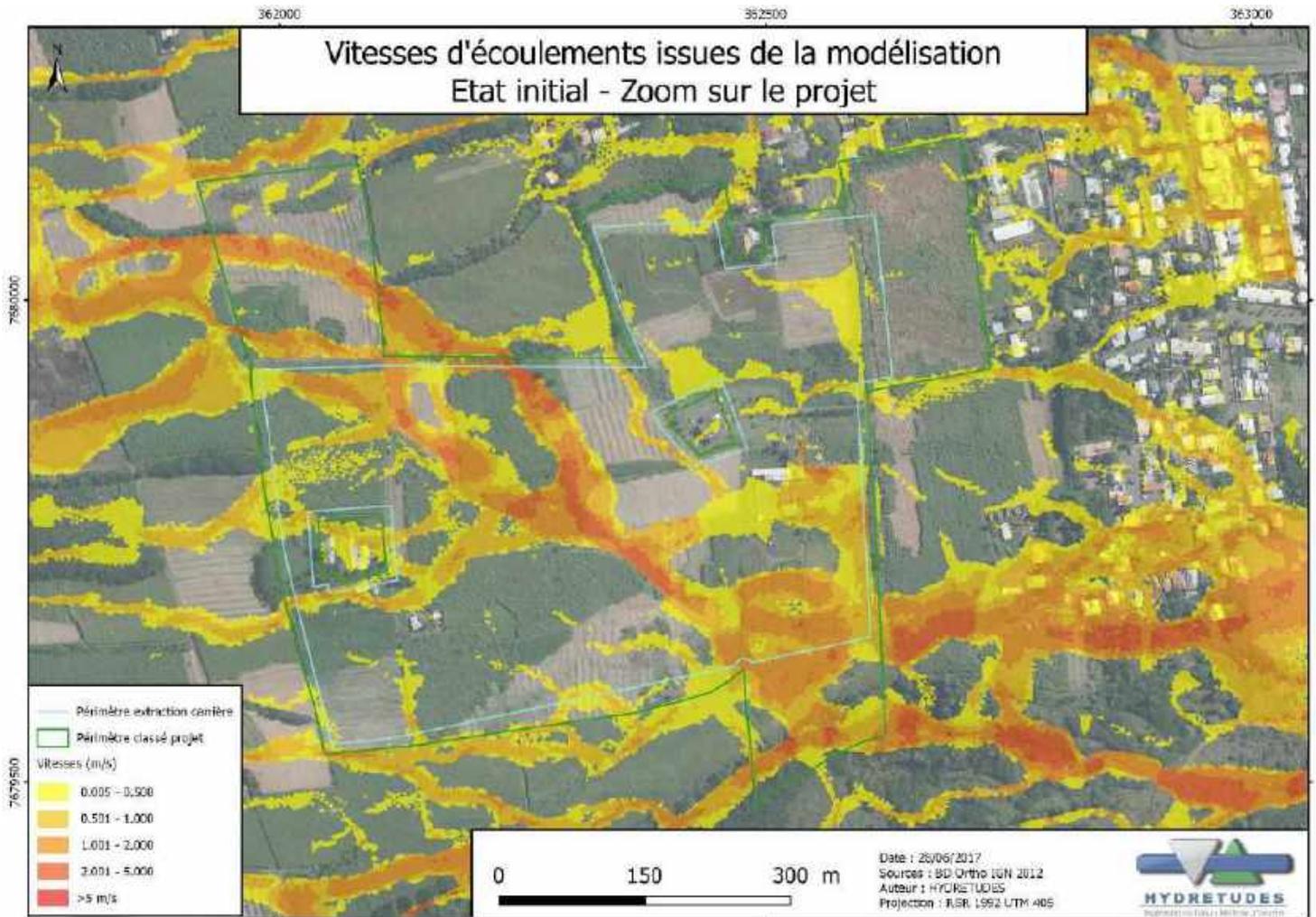


Figure 27 : zoom sur les vitesses (en m/s) au droit des parcelles projet

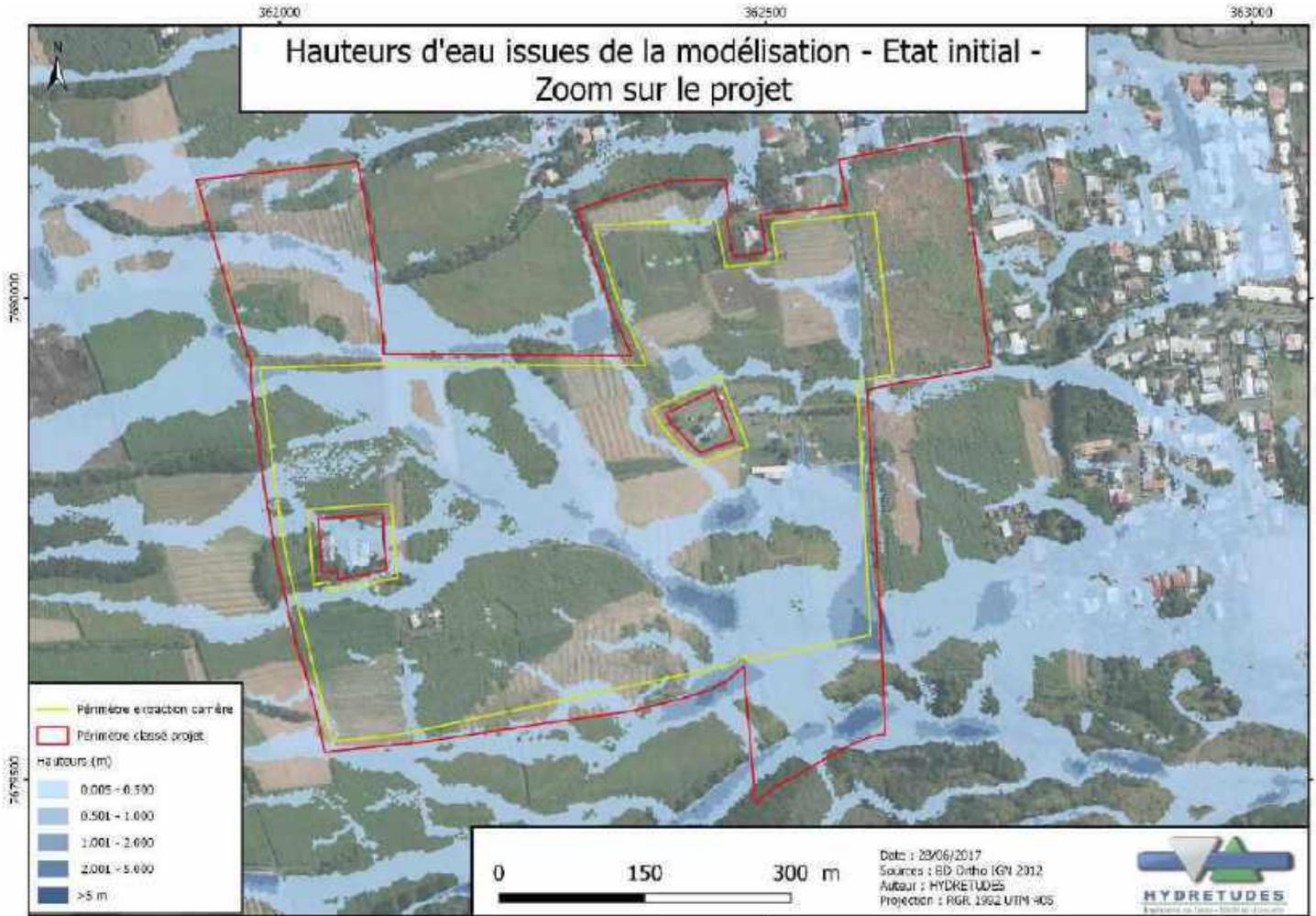


Figure 28 : Zoom sur les hauteurs d'eau (en m) au droit des parcelles projet

### 9.1.4. Comparaison des résultats avec le PPRi en vigueur

Les figures ci-dessous permettent de comparer les résultats obtenus par la présente modélisation hydraulique 2D au droit du projet, l'aléa inondation issu du PPRi et le zonage réglementaire approuvé du PPR (25 juin 2014).

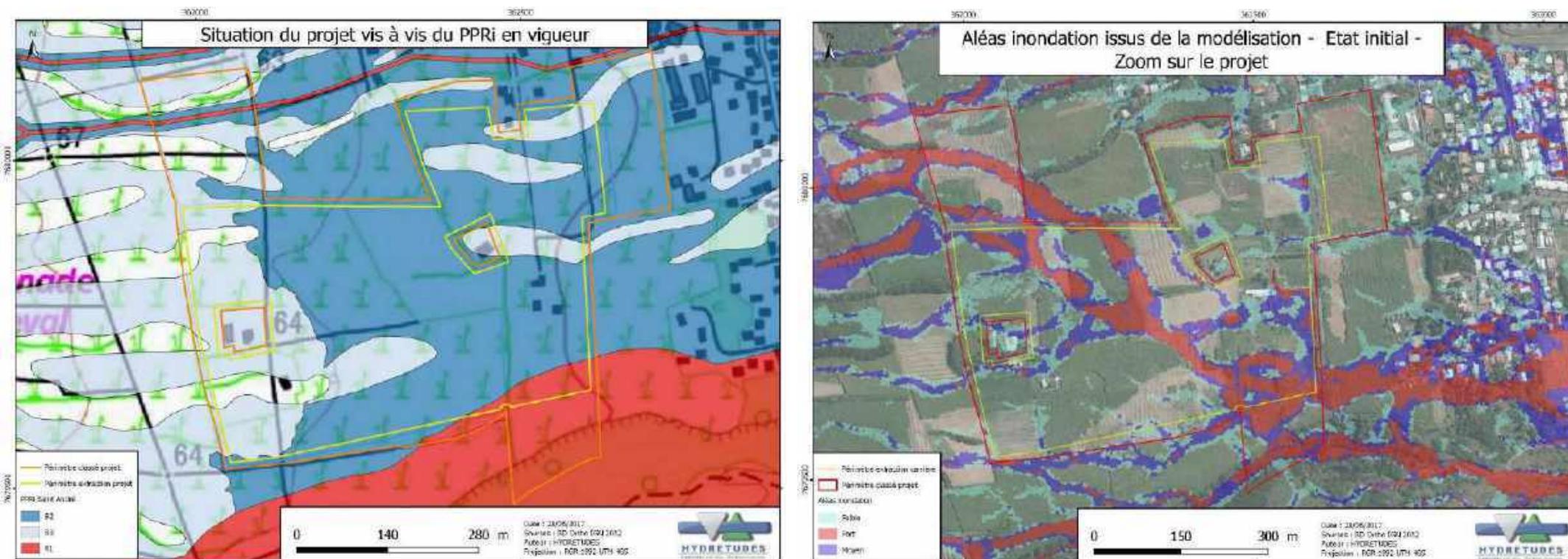


Figure 29 : Comparaison du zonage PPRi en vigueur (à gauche) avec les résultats de la modélisation 2D (à droite)

## 9.2. SCENARIO 2 : REMISE EN ETAT

### 9.2.1. Introduction

La simulations de la crue centennale de la Rivière du Mât combiné au ruissellement urbain au droit du projet PREFABLOC après remise en état du site, générée par un évènement pluvieux de période de retour centennale et de durée trois fois le temps de concentration du bassin versant, ont permis de mettre en évidence les paramètres caractéristiques des écoulements induits.

### 9.2.2. Résultats

Les figures ci-après illustrent l'étendue de la zone d'expansion de la crue centennale de la Rivière du Mât ainsi du ruissellement urbain de la zone d'étude après remise en état résultant de la modélisation mathématique 2D:

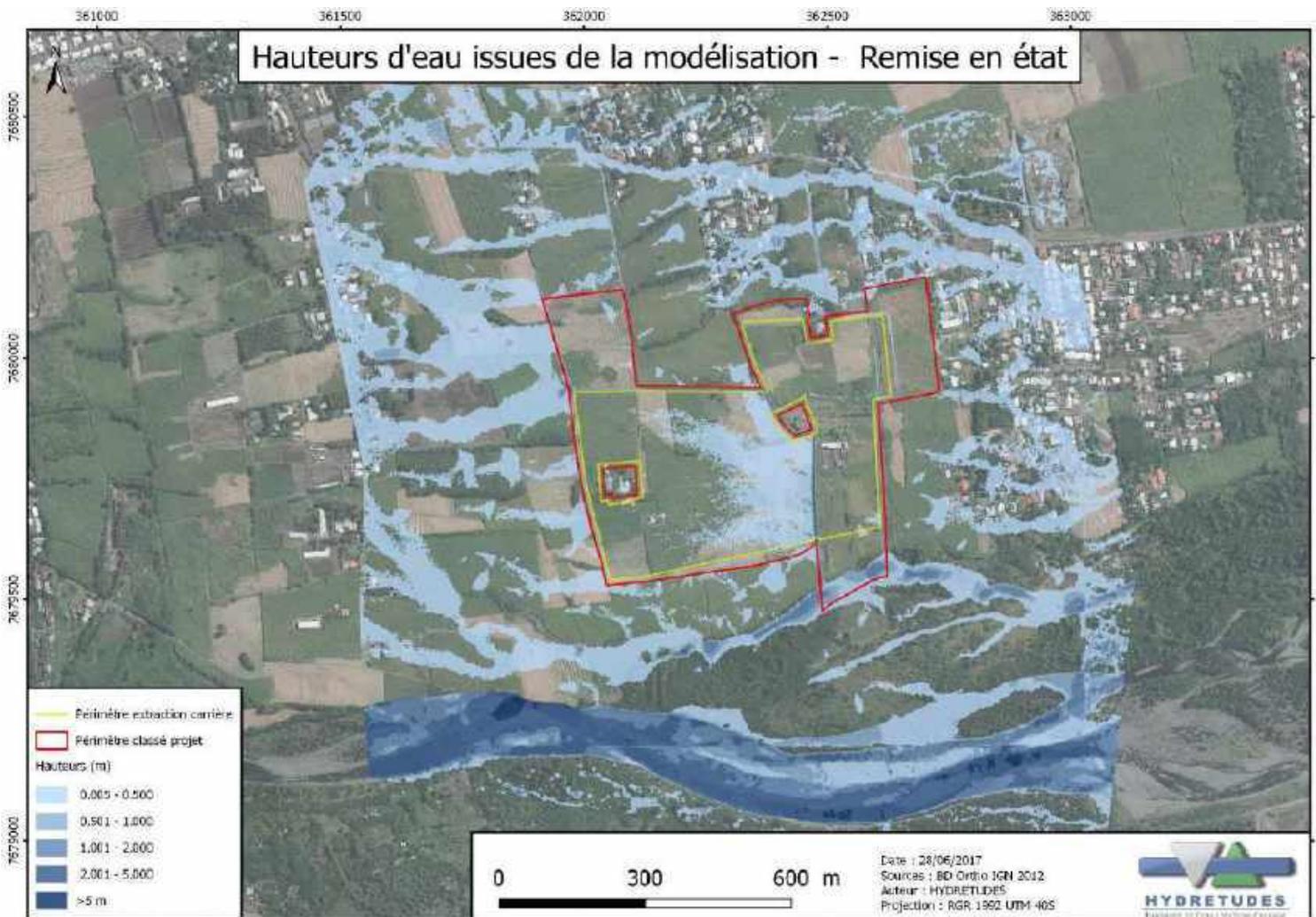


Figure 30 : Hauteurs maximales atteintes en m – Crue centennale après remise en état

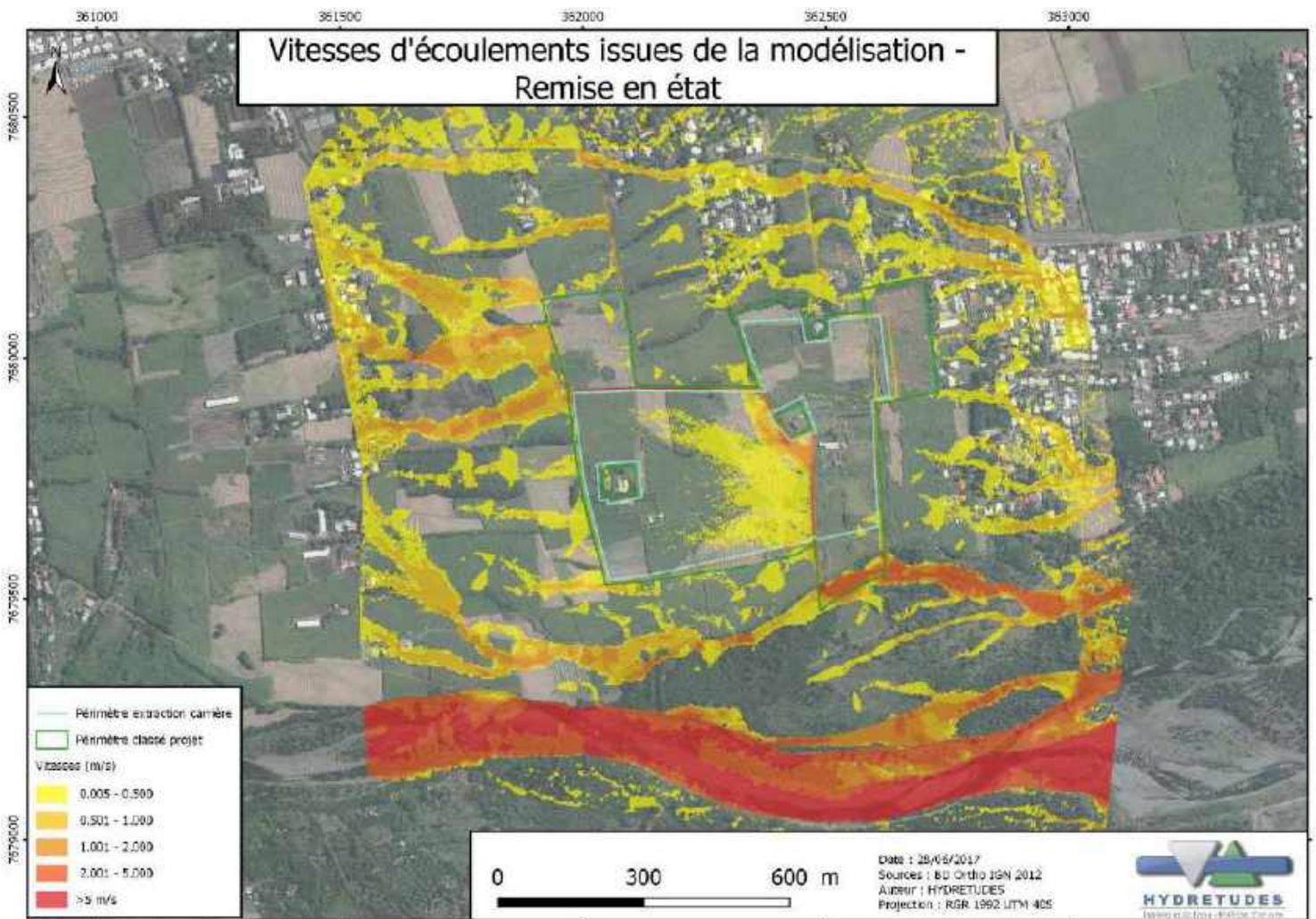


Figure 31 : Vitesses maximales atteintes en m/s – Crue centennale après remise en état

### 9.2.3. Analyse des écoulements

#### 9.2.3.1. Analyse générale

Les résultats des modélisations d'une crue centennale dans la configuration après remise en état du site, sont représentés et analysés sur les figures ci-avant.

L'analyse générale de ces résultats montrent que :

- Les ouvrages hydrauliques mis en place à la périphérie du projet pour la remise en état du site permettent de drainer l'intégralité du ruissellement intercepté par le projet ;
- Les ouvrages hydrauliques mis en place à l'intérieur du site (n°7, n°8 et n°13) permettent de drainer l'ensemble des eaux de ruissellement propre au site.
- Aucun débordement n'est visible dans ces fossés jusqu'à leurs rejets dans la rivière du Mât ;
- Les écoulements en aval du projet sont moins importants qu'à l'état initial.

#### 9.2.3.2. Zoom sur les points particuliers

Certains points particuliers sont à mettre en évidence :

- Les ouvrages hydrauliques à proximité du chemin Patelin

Les fossés n°2 et n°4 permettent d'intercepter une partie du bassin versant du fossé sous dimensionné existant en aval, ce qui diminue fortement les débordements de celui-ci vers les habitations (-80% du débit sur le 1<sup>er</sup> front, -65% du débit sur le deuxième front).

Ces fossés permettent également de diminuer les écoulements traversant les habitations à proximité de la RD27.

- Les parcelles projet

Les fossés à la périphérie du projet permettent de drainer l'ensemble du ruissellement extérieur au projet jusqu'à la rivière du Mât.

En effet, l'axe d'écoulement principal traversant le projet à l'état initial est intégralement intercepté par les fossés.

Les différents fossés à l'intérieur du site drainent ainsi que des bassins versants très restreints, ce qui permet de diminuer les vitesses et les hauteurs d'eau.

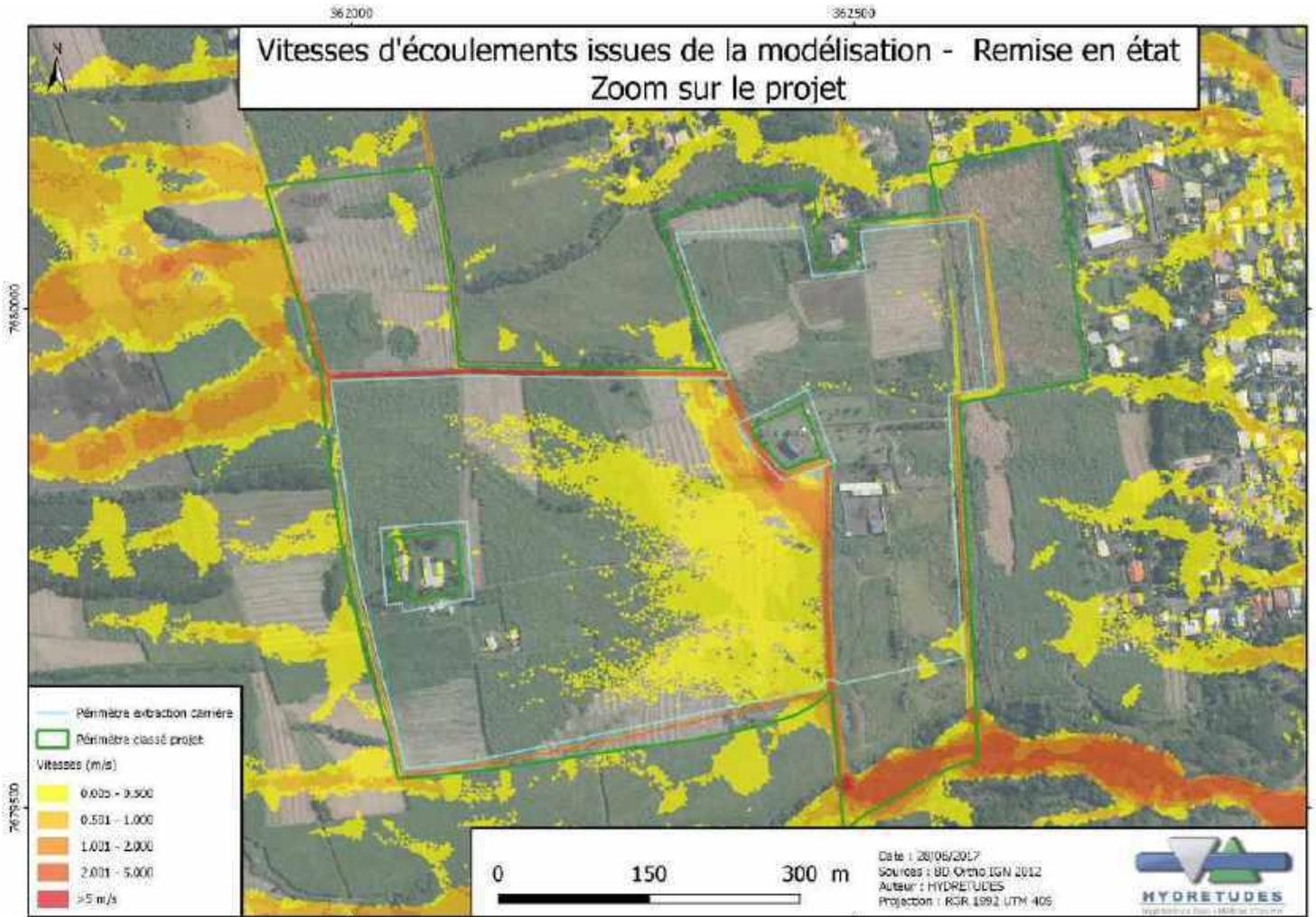


Figure 32 : zoom sur les vitesses (en m/s) au droit des parcelles projet

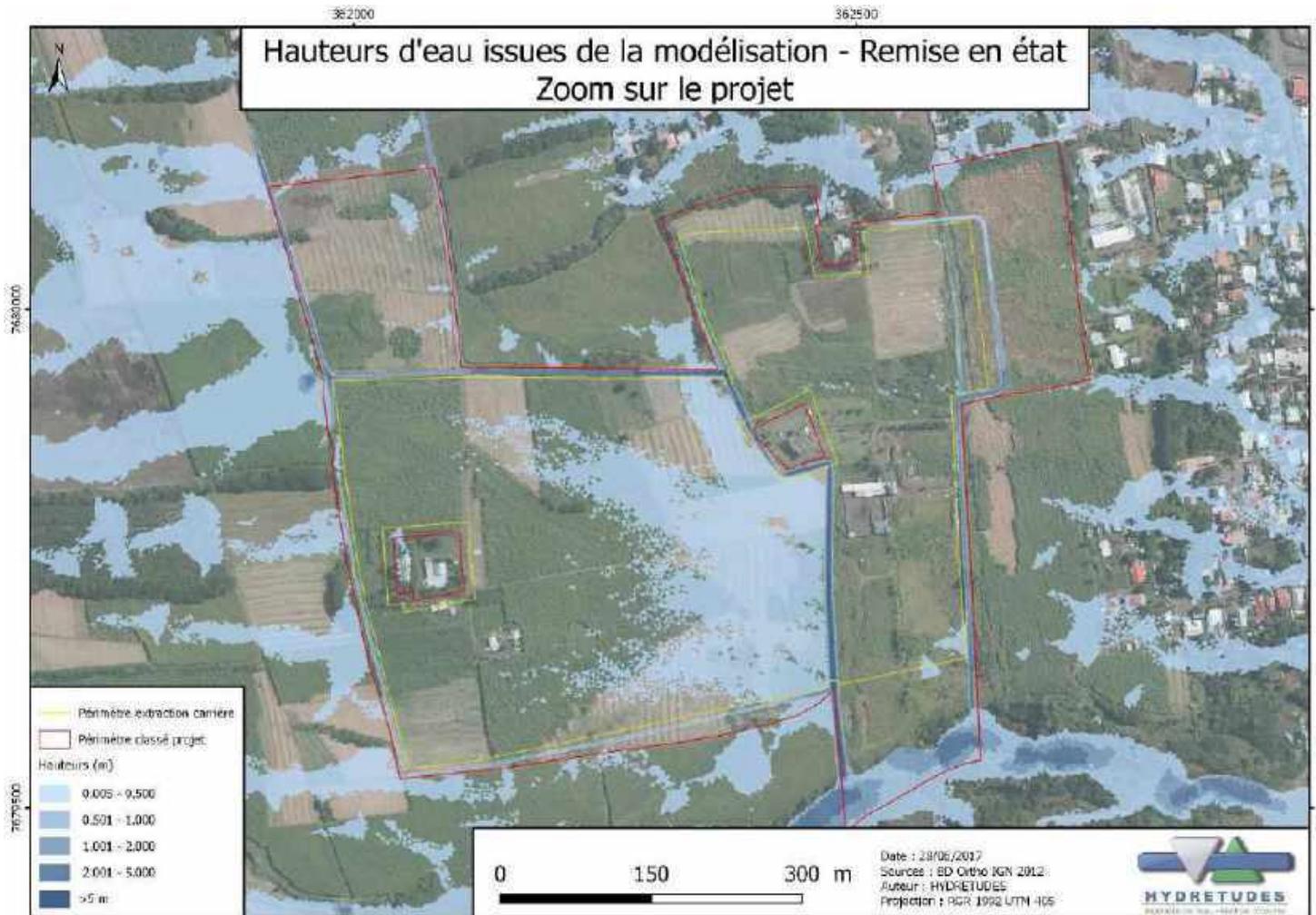


Figure 33 : Zoom sur les hauteurs d'eau (en m) au droit des parcelles projet

- Les habitations en aval

Comme expliqué précédemment, le projet après remise en état permet d'intercepter les bassins versants à l'état initial en amont des habitations et de rejeter les écoulements dans la rivière du Mât en amont de celles-ci.

Ainsi, les écoulements traversant le quartier en aval du projet sont très fortement diminués en terme de débits ( $27\text{m}^3/\text{s}$  au global à l'état initial contre  $2\text{m}^3/\text{s}$  après remise en état), de zones inondables (cf. figures chapitres précédents) et de hauteurs / vitesses.

Ces impacts positifs du projet sur les enjeux du secteur peuvent être observés après comparaison des aléas entre l'état initial et l'état remise en état :

Etude hydraulique PREFABLOC

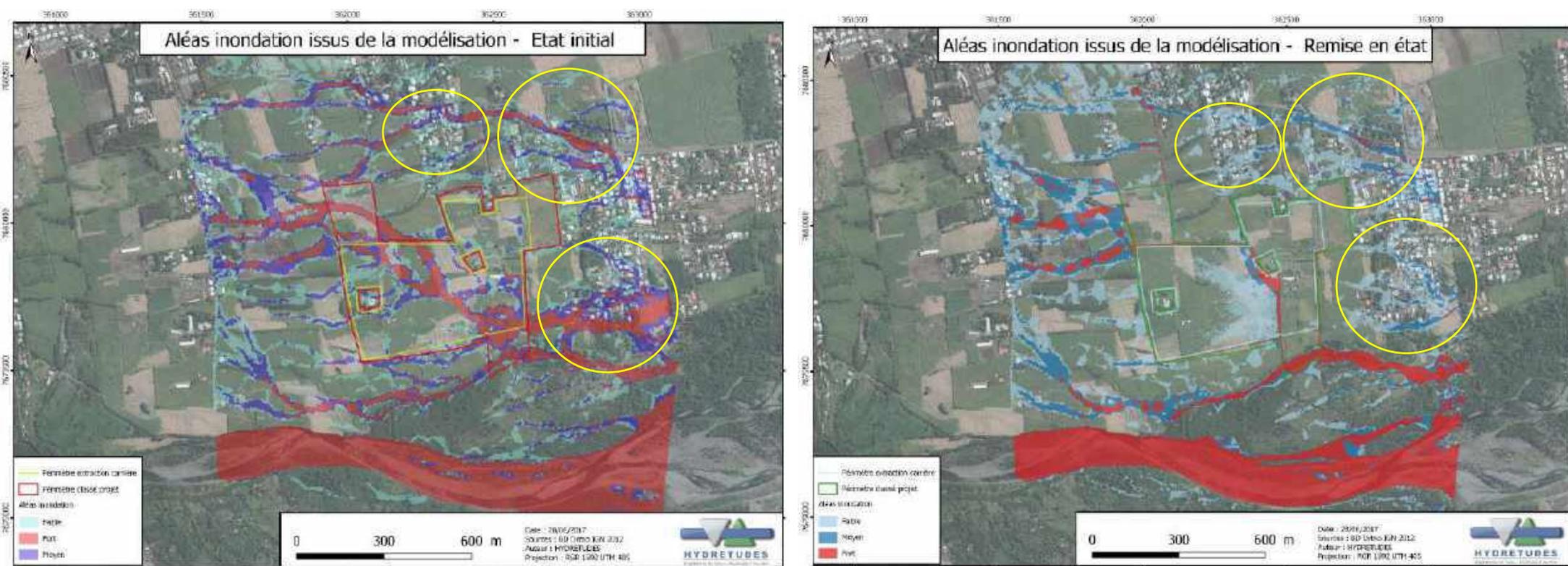


Figure 34 : Comparaison de l'aléa inondation à l'état initial (à gauche) et après remis en état (à droite) à partir des modélisations 2D

## CONCLUSION

Cette étude hydraulique intègre des **modélisations 2D complètes des écoulements** de la zone d'étude à l'état actuel et après remise en état (réalisées à l'aide du logiciel Infoworks ICM 7.0), intégrant la Rivière du Mât.

Cet outil a permis d'apporter une **précision accrue** dans le calcul des paramètres hydrauliques (hauteur et vitesse) permettant de caractériser les écoulements au droit du projet PREFABLOC en **crue centennale**.

Les résultats de cette modélisation hydraulique ont pu être comparés à ceux issus du PPR.

Cette étude permet notamment de tirer les conclusions suivantes :

1. Les résultats de la modélisation hydraulique 2D diffèrent du zonage aléa inondation dans la localisation des axes d'écoulement principaux (notamment celui traversant les parcelles du projet) ainsi que par le degré de l'aléa (généralement plus élevé dans le zonage inondation). On ne retrouve cependant pas les axes d'écoulement dans le zonage réglementaire du PPR en vigueur puisque la majeure partie des parcelles du projet sont soumis à un aléa moyen ;
2. La remise en état du site et la mise en place des fossés périphériques permettent d'intercepter la majorité du bassin versant des habitations en aval du site, ce qui diminue très fortement le risque inondation au droit de ces zones urbaines.

Le projet est donc compatible avec le PPRi en vigueur puisqu'il n'aggrave pas après remise en état le risque inondation par rapport à l'état initial. Son impact est au contraire positif puisqu'il diminue les débits, la zone inondable et les paramètres hauteurs/vitesses sur toutes les zones à enjeux concernées par le projet.

Document 2 : Note hydraulique relative à la gestion des  
eaux pluviales sur la plateforme de traitement des  
matériaux du projet de carrière de la société PREFBLOC  
AGREGATS (Cabinet HYDRETUDES, 2017)

**PREFABLOC**

2 rue des pamplemousses

**97429 Petite Ile**



# Etude hydraulique pour le dossier d'autorisation de la carrière chemin Patelin à Saint André



**Note hydraulique**

Réf. RE15-016

Juillet 2017

## SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Réf. RE15-016

Etude : Note hydraulique pour le dossier d'autorisation de la carrière chemin Patelin à Saint André

Phase : Etude

Date de remise : 07-07-2017

Version : 1.1

Statut du document : définitif

Propriétaire du document : PREFABLOC

Diffusion : EMC<sup>2</sup>, PREFABLOC

Chef de projet : Mathieu COLLART

Rédacteur : Mathieu COLLART

Vérificateur : Clément THOMAS



**ISO 9001-2008**  
**ISO 14001-2004**



*Liberté • Égalité • Fraternité*  
**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**

**Agrément Diques – Barrages**

*Arrêté du 13 juin 2014 portant agrément d'organismes intervenant pour la sécurité des ouvrages hydrauliques*



Ingénierie de l'eau - Maîtrise d'œuvre

Résidence les Kréolis - 8-10 rue Axel Dorseuil - 97410 SAINT PIERRE  
Tél : 02-62-96 82 45 - Fax : 02-62 32 69 05 - email : contact-reunion@hydrétudes.com

## SOMMAIRE

PREAMBULE .....	4
0. INTRODUCTION.....	4
1. DONNEES ET MOYENS UTILISES .....	4
2. CONTEXTE DU SITE D'ETUDE .....	5
2.1. Localisation du projet .....	5
2.2. Zoom sur les installations.....	6
3. DIMENSIONNEMENT DU BASSIN DE RETENTION / DECANTATION .....	7
3.1. Hypothèses de dimensionnement .....	7
3.2. Hydrologie.....	9
3.2.1. Caractéristiques morphologiques des bassins versants .....	9
3.2.2. Détermination des temps de concentration .....	9
3.2.3. Détermination de la pluie de projet .....	9
3.2.3.1. Méthode employée.....	9
3.2.3.2. Coefficients de Montana utilisés.....	10
3.2.4. Détermination des coefficients de ruissellement .....	11
3.2.5. Résultats en termes de débits de projet.....	11
3.3. Calcul des volumes à stocker.....	13
4. AMENAGEMENT DU BASSIN DE RETENTION / DECANTATION .....	15
4.1. Synoptique .....	15
4.2. Efficacité du bassin de décantation .....	15
4.3. Dimensionnement du bassin de décantation .....	16
4.3.1.1. Principe de fonctionnement.....	16
4.3.1.2. Méthodologie et résultats.....	17
4.4. Dimensionnement des séparateurs à hydrocarbures .....	20
4.5. Entretien .....	20
ANNEXE .....	21

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Tableau de synthèse des caractéristiques morphologiques du bassin versant ..	9
Tableau 2: Coefficients de Montana en fonction de la zone pluviométrique simplifiée (Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion, DEAL, 2012) .....	10
Tableau 3: Coefficients de ruissellement unitaires utilisés .....	11
Tableau 4: Calcul des débits du BV étudié .....	12
Tableau 5 : Performances des ouvrages sur la pollution chronique .....	18

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du projet (EMC2, 2015) .....	5
Figure 2 : Plan des installations en phase exploitation .....	6
Figure 3 : Caractéristiques des particules à sédimenter.....	8
Figure 4 : Zonage pluviométrique simplifié (Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion, DEAL, 2012).....	10
Figure 5 : Détails du calcul du volume à stocker dans le bassin de décantation par la méthode des Pluies .....	14
Figure 6 : schéma de principe d'un bassin de rétention / décantation (« Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion », DEAL, 2012) .....	15
Figure 7 : efficacité pour l'interception des MES des ouvrages de décantation en fonction du volume de stockage par hectare imperméabilisé (DEAL, 2012) .....	15
Figure 8 : Schéma du principe de la décantation des particules.....	16
Figure 9 : Formule de la vitesse de chute de la particule.....	17
Figure 10 : Formule de la surface minimale du bassin de décantation .....	18
Figure 11 : capacités minimales des séparateurs à hydrocarbures .....	20

## PREAMBULE

### 0. INTRODUCTION

Dans le cadre de la réalisation de son dossier d'autorisation pour un projet de carrière à Saint André, PREFABLOC a réalisé une étude hydraulique pour quantifier les impacts du projet sur le ruissellement.

Cette mission a permis de :

- Caractériser l'état initial de la crue centennale de la Rivière du Mât combinée au ruissellement urbain au droit du projet ;
- Déterminer les impacts éventuels du projet après remise en état sur les paramètres des écoulements (hauteur, vitesse, emprise du champ d'expansion).

Afin de respecter la réglementation en vigueur (Code de l'Environnement), un bassin de rétention / décantation doit être mis en place lors de la phase exploitation pour traiter les écoulements des installations.

Le présent rapport s'attache à dimensionner le système à mettre en place.

### 1. DONNEES ET MOYENS UTILISES

Pour la réalisation de la présente étude, nous avons recueilli, analysé et utilisé les données et outils suivants :

- MNT de l'état initial au droit de la future carrière, EMC2, 2015
- Plan des installations en phase exploitation, EMC2, 2017
- Litto 3D 1m et 5m,
- Orthophotographies IGN HD 2012.



## 2.2. ZOOM SUR LES INSTALLATIONS

Les installations seront positionnées sur la parcelle au nord du projet (cf figure page précédente).

Ces installations comprennent :

- Ø une dalle béton : 775 m<sup>2</sup> (étanche).
- Ø Voiries : 10 210 m<sup>2</sup> + une piste descendante des Dumpers de 780 m<sup>2</sup> soit 10 990 m<sup>2</sup> (semi-étanche).
- Ø une aire de stockage des granulats et installation de traitement : 11 410 m<sup>2</sup> (perméable)
- Des espaces verts, talus, fossés et bâtiments administratifs ~ 7 600 m<sup>2</sup>
- 2 séparateurs à hydrocarbures

La figure ci-dessous présente le plan de ces installations :

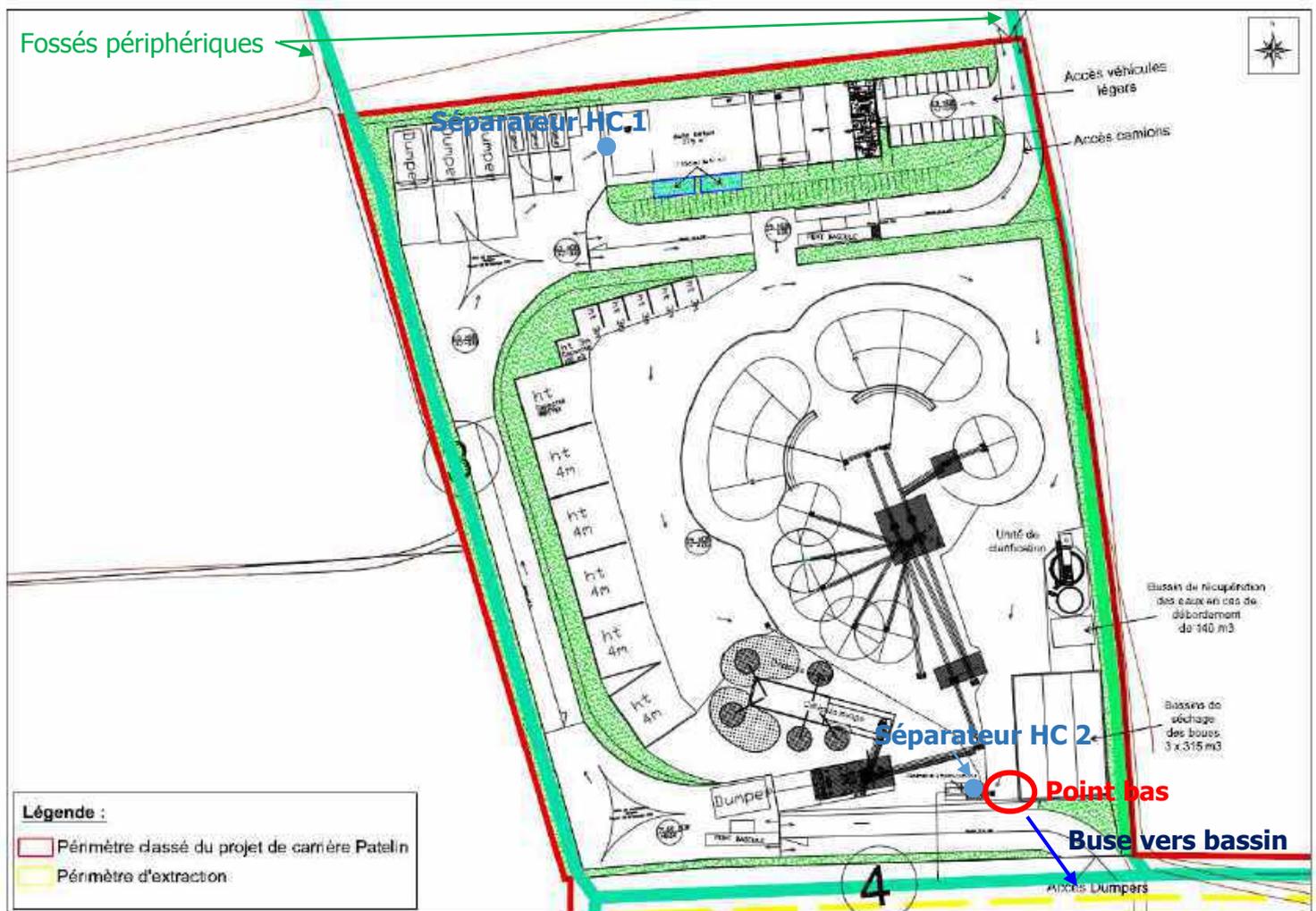


Figure 2 : Plan des installations en phase exploitation

Les fossés périphériques permettront d'une part d'isoler les installations des écoulements extérieurs et d'autre part de servir de point de rejet aux écoulements intérieurs (après traitement des pollutions).

Cette gestion permet de minimiser et de maîtriser les volumes d'eau susceptibles de contenir des pollutions liés à l'activité du site, qui seront traités séparément via des séparateurs à hydrocarbures et un bassin de décantation.

### 3. DIMENSIONNEMENT DU BASSIN DE RETENTION / DECANTATION

#### 3.1. HYPOTHESES DE DIMENSIONNEMENT

Le bassin qui sera mis en place en aval des installations aura un double rôle :

- Un rôle de rétention : l'imperméabilisation partielle (voiries) ou totale (dalle béton) des sols engendrera un débit supplémentaire en phase exploitation par rapport à l'état initial. Le Code de l'Environnement impose un rejet égal au maximum au débit à l'état initial. Un volume de rétention doit donc être prévu pour contenir temporairement le surplus dû à l'imperméabilisation temporaire des sols.
- Un rôle de décantation : traitement des MES et pollutions contenues dans les eaux de ruissellement des surfaces susceptibles d'en produire (voiries + dalles béton)

Conformément à la réglementation en vigueur (norme NF EN 752), le bassin de rétention / décantation sera dimensionné pour une **période de retour décennale (Q10)**.

La technique de traitement des eaux de ruissellement choisie pour ce site est une décantation des particules. Les ouvrages de décantation sont de type longitudinal, son fonctionnement est de type statique (vitesse faible) permettant une décantation diffuse des particules.

En l'absence de données d'entrées (notamment la concentration de MEST<sup>1</sup>), les bassins de décantation ont été dimensionnés pour une taille maximale de particules à décanter.

Ainsi, le choix a été fait de décanter toutes les particules de diamètre supérieur à 0.02 mm, correspondant à du limon moyen.

Note : La taille de la particule de référence à décanter pour les eaux pluviales est de 0.05mm (limon grossier)

---

<sup>1</sup> MEST : *Matières en Suspension Totales*

Note hydraulique PREFABLOC

Type de particule	Diamètre des particules à sédimenter (mm)	Masse volumique réelle (kg/m <sup>3</sup> )	Vitesse de sédimentation (Goldman, 1986) (Vp en m/s)	Temps de sédimentation sur 1 mètre de colonne d'eau	Vitesse d'entraînement (Ve en m/s)
Sable grossier	0.5	2700	0.058	17 secondes	0.37
Sable moyen	0.2	2681	0.020	50 secondes	0.23
Sable fin	0.1	2665	0.007	2 minutes	0.16
Limon grossier	0.05	2650	0.0019	9 minutes	0.11
Limon moyen	0.02	2633	0.00029	57 minutes	0.07
Limon fin	0.01	2617	0.000073	3.8 heures	0.05
Limon très fin	0.005	2600	0.000018	15.4 heures	0.04
Argile	0.002	2325	1.80531E-06	6.4 jours	0.02

Figure 3 : Caractéristiques des particules à sédimenter

## 3.2. HYDROLOGIE

Les fossés périphériques isolant le site des écoulements extérieurs, seuls les écoulements propres à la surface des installations sont à étudiés.

De plus, les eaux propres des espaces verts, talus, toitures du bâtiment administratif et hangar seront dirigées vers les fossés ou vers les champs de cannes en cas de saturation des sols. Ces surfaces sont donc soustraites du bassin versant alimentant le bassin.

### 3.2.1. Caractéristiques morphologiques des bassins versants

Le tableau ci-dessous détaille les caractéristiques morphologiques des bassins versants projet:

Bassin Versant	Surface (km <sup>2</sup> )	Surface (ha)	Longueur du BV (m)	Alt max (m)	Alt min (m)	Pente moyenne (%)	Périmètre (km)
Installations	0,023	2,30	1335,00	63,00	58,00	0,37	0,70

Tableau 1: Tableau de synthèse des caractéristiques morphologiques du bassin versant

### 3.2.2. Détermination des temps de concentration

Le temps de concentration correspond au temps que met le ruissellement d'une averse pour parvenir à l'exutoire depuis le point du bassin le plus éloigné.

Le temps de concentration a pu être calculé à partir des caractéristiques morphologiques du bassin versant.

Les formules préconisées dans le Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion (DEAL, 2012) ont été utilisées. La moyenne des formules de RICHARDS, KIRPICH 2 et des rectangles équivalents a été calculée et utilisée pour les calculs de débits.

Ainsi, le temps de concentration du bassin versant est de 29min.

### 3.2.3. Détermination de la pluie de projet

#### 3.2.3.1. Méthode employée

Les pluies qui génèrent les plus forts débits sur ce type de bassin versant (bassin versant pluvial de pentes modérées à fortes) sont de courtes durées (inférieures à 1 h) et de fortes intensités.

La méthode du « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » (2012) de la DEAL a été utilisée dans la présente étude pour déterminer les pluies de projet.

Il s'agit dans un premier temps de déterminer les coefficients de Montana, selon un zonage pluviométrique simplifié :

Commune	Zonage pluviométrique (altitude en m)					
	0 100	100 250	250 500	500 1000	1000 1600	1600 3071
Sainte-Marie	1	2	2	3	4	4
Saint-Denis	1	2	2	3	4	4
Le Port	1	1				
La Possession Bas	1	1	1	2	2	
La Possession Mafate				3	3	3
Saint-Paul	1	1	1	2	2	3
Trois Bassins	1	1	1	2	2	3
Saint-Leu	1	1	1	2	2	3
Les Avirons	1	1	1	2	2	3
L'Etang-Salé	1	1	1	2	2	3
Claos			3	3	3	3
Saint-Louis	1	1	1	2	2	3
L'Entre-Deux		1	1	2	3	4
Saint-Pierre	1	1	1	2	3	4
Le Tampon			1	2	3	4
Petite Ile	1	1	2	2	3	4
Saint-Joseph	2	2	3	3	4	5
Saint-Philippe	3	3	4	4	5	5
Sainte-Rose	3	3	4	4	5	5
Saint-Benoît (Sud RN 3)	3	3	3	4	4	5
La Plaine des Palmistes				4	4	5
Saint-Benoît (Nord RN 3)	3	3	3	4	5	5
Bras-Panon	2	3	3	4	5	5
Salazie			5	5	5	5
Saint-André	2	3	3	3		
Sainte-Suzanne (Est Riv)	2	3	3	3	4	
Sainte-Suzanne (Ouest Riv)	2	2	3	3	4	

Figure 4 : Zonage pluviométrique simplifié (Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion, DEAL, 2012)

D'après ce zonage, les bassins versants de l'étude se situent en zone 2 (Saint André – altitude entre 0 et 100m).

### 3.2.3.2. Coefficients de Montana utilisés

Zone	Coefficient A	Coefficient B
1	60	+ 0,33
2	72	+ 0,33
3	85	+ 0,33
4	100	+ 0,33
5	130	+ 0,33

Tableau 2: Coefficients de Montana en fonction de la zone pluviométrique simplifiée (Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion, DEAL, 2012)

### 3.2.4. Détermination des coefficients de ruissellement

Le tableau ci-dessous détaille les valeurs des coefficients de ruissellement unitaires en fonction de la classe de perméabilité des sols et du type d'occupation du sol.

	Coefficient de ruissellement unitaire
Terrain imperméable	1
Terrain peu perméable	0,7
T. semi perméable	0,5

Tableau 3: Coefficients de ruissellement unitaires utilisés

Au vu de l'occupation du sol sur les bassins versants, un coefficient de ruissellement de **0.5** a été choisi pour l'état initial.

Une analyse SIG des surfaces imperméabilisées a été réalisée afin de déterminer le coefficient de ruissellement de l'état projet. Un coefficient de 1 a été affecté aux surfaces imperméabilisées (dalle béton), 0.7 aux surfaces peu perméables (voiries) et 0.5 aux surfaces perméables (aires de stockages).

Le coefficient de ruissellement de l'état « projet » est égal à **0.61**.

### 3.2.5. Résultats en termes de débits de projet

Les débits de projet ont été déterminés par application de la méthode rationnelle, dont la formule est la suivante :

$$Q_T = \frac{C_T \times I \times S}{6}$$

Avec :

*Q(T) : débit de pointe de période de retour T de l'hydrogramme en m<sup>3</sup>/s,*

*C(T) : coefficient de ruissellement pour la pluie de période de retour T,*

*S : surface du bassin versant en ha,*

*I : intensité de l'averse en mm/mn issue des coefficients de Montana.*

Ainsi, les débits issus des bassins versants selon une période de retour de 10 ans sont les suivants :

Bassin Versant	Q10 i (m <sup>3</sup> /s)	Q10 p (m <sup>3</sup> /s)	ΔQ10 (m <sup>3</sup> /s)
Installations	0,29	0,36	0,07

*Tableau 4: Calcul des débits du BV étudié*

L'imperméabilisation du bassin versant due aux installations augmente le débit de pointe de période de retour 10 ans de **70 L/s**.

Les **fiches standards** du « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » résumant l'analyse hydrologique des bassins versants sont présentées en *Annexe*.

### 3.3. CALCUL DES VOLUMES A STOCKER

Conformément aux indications du « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » (DEAL, 2012), la méthode des pluies a été utilisée pour déterminer les volumes à stocker dans le bassin de rétention / décantation.

Ce volume est calculé selon la formule suivante :

$$V = 10 \times \Delta h_{max} \times S_a$$

Où :  $V$  est le volume à stocker

$\Delta h_{max}$  est la différence maximale entre les hauteurs d'eau précipitées et les hauteurs d'eau évacuées en fonction du temps

$S_a$  est la surface active du ruissellement qui correspond au produit de la surface totale du bassin versant drainé avec le coefficient du ruissellement.

$$h(t) = a \times t^{1-b}$$

Où :  $h(t)$  est la hauteur d'eau précipitée (en mm)

$a$  et  $b$  sont les coefficients de Montana (secteur 1)

$t$  le temps (en min)

Le coefficient de ruissellement état projet pour le calcul de la surface active est égal à 0.61.

Le graphique représentant la différence entre les courbes des hauteurs d'eau précipitées lors d'une crue décennale à l'état projet et des hauteurs d'eau évacuées (débit de fuite fixé au débit initial décennal) est présenté ci-dessous :

DONNEES DE CALCUL POUR BASSIN		
Débit de fuite (m3/s)		<b>0,290</b>
Surface bassin versant(ha)		<b>2,30</b>
Coefficient de ruissellement projet		<b>0,61</b>
Coefficient a (mm/mn)*		<b>4,63</b>
Coefficient b		<b>0,33</b>
Surface active(ha)		1,40
Débit de fuite spécifique (mm/mn)		1,24

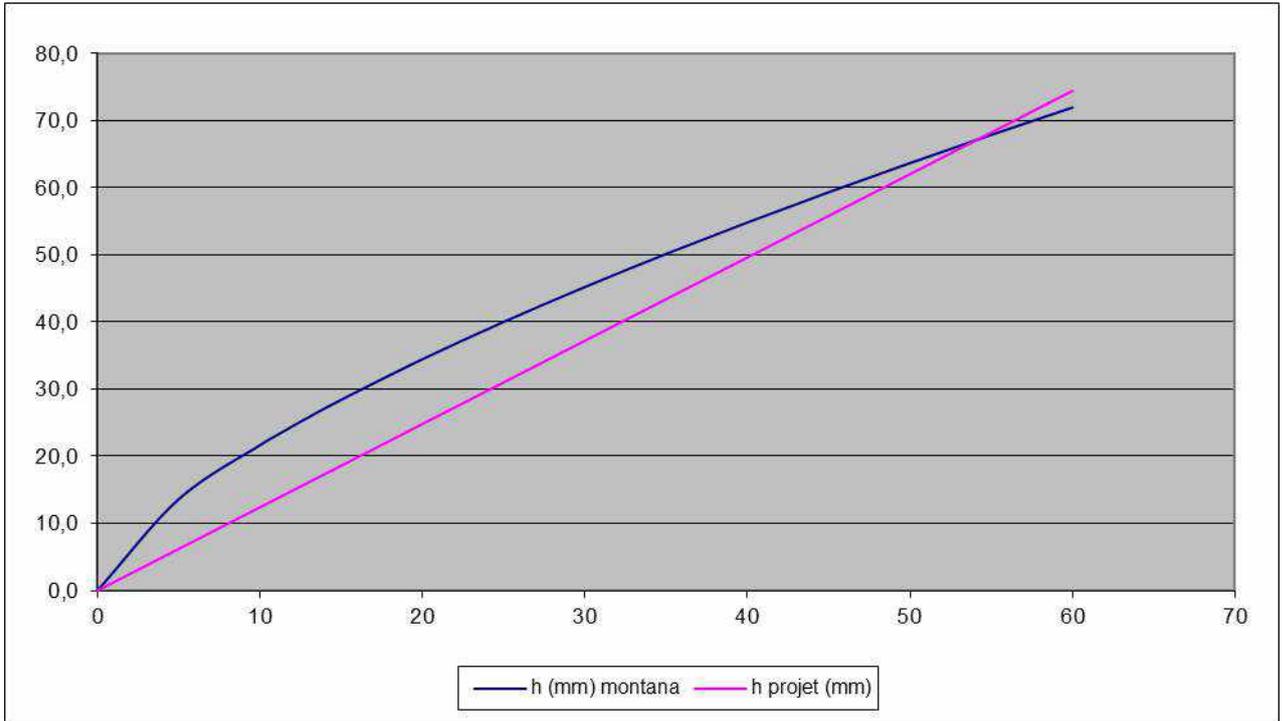


Figure 5 : Détails du calcul du volume à stocker dans le bassin de décantation par la méthode des Pluies

**Un bassin de rétention de 138m<sup>3</sup> est donc nécessaire pour gérer les débits supplémentaires dus à l'imperméabilisation des sols.**

## 4. AMENAGEMENT DU BASSIN DE RETENTION / DECANTATION

### 4.1. SYNOPTIQUE

Une buse de capacité égale au débit décennal projet ( $0.36\text{m}^3/\text{s}$ ) sera mis en place en aval du séparateur à hydrocarbures (point bas du site des installations) jusqu'au bassin (exemple : buse PVC DN500 avec une pente de 0.5%).

Afin de rejeter un débit dans le milieu récepteur égal au débit avant imperméabilisation, un exutoire (buse ou ajutage) sera mis en place avec une capacité maximale de  $0.29\text{m}^3/\text{s}$  (exemple : buse PVC DN400 avec une pente de 1%).



Figure 6 : schéma de principe d'un bassin de rétention / décantation (« Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion », DEAL, 2012)

Si la buse en entrée du bassin a une capacité supérieure au débit décennal projet, une surverse devra être mise en place afin d'évacuer le volume excédentaire.

### 4.2. EFFICACITE DU BASSIN DE DECANTATION

Le « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » (DEAL, 2012) permet de définir une efficacité théorique des ouvrages de rétention/décantation.

Volume de stockage (m <sup>3</sup> /ha)	% intercepté de la masse M produite annuellement	% intercepté de la masse produite à l'occasion des événements critiques	FRÉQUENCE DES REJETS RÉSIDUELS NB/AN	
			Rejets moyens (M x 1 % < rejets < M x 5 %)	Gros rejets (≥ M x 5 %)
20	36 à 56	5 à 10	4 à 14	2 à 4
50	57 à 77	13 à 29	2 à 10	1 à 3
100	74 à 92	26 à 74	2 à 4	1 à 2
200	88 à 100	68 à 100	1 à 3	0 à 1

Figure 7 : efficacité pour l'interception des MES des ouvrages de décantation en fonction du volume de stockage par hectare imperméabilisé (DEAL, 2012)

Le bassin de décantation aura un volume utile de 138 m<sup>3</sup> pour une surface de 2.3ha dont 0.08ha imperméabilisé (dalle béton) et 1.1ha semi perméable (voiries).

Le tableau ci-dessus définit le pourcentage de MES intercepté par hectare imperméabilisé.

**Même en prenant en compte les voiries (semi perméable et non imperméable) en plus de la surface réellement imperméabilisée (dalle béton), le volume du bassin permettra donc d'intercepter au moins 90% de la masse de MES produite annuellement.**

### 4.3. DIMENSIONNEMENT DU BASSIN DE DECANTATION

#### 4.3.1.1. Principe de fonctionnement

Dans les ouvrages de décantation statique, les particules en suspension dans un liquide au repos sont soumises à deux forces :

- la force motrice qui est la pesanteur
- la force de résistance due à la viscosité et l'inertie

La résultante de ces forces va entraîner l'apparition d'une vitesse de sédimentation.

Ainsi dans un décanteur statique l'eau se déplace horizontalement tandis que les particules tombent verticalement. Les particules peuvent-être considérées comme éliminées lorsqu'elles touchent le radier. L'efficacité d'un décanteur dépend donc de sa surface et non de son volume.

Les étapes de fonctionnement sont les suivantes :

1. collecte des eaux de ruissellement par les fossés et drainages vers l'ouvrage,
2. tranquillisation et injection du flux dans le regard de tranquillisation,
3. décantation des particules dans le bassin,
4. Surverse si période de retour > période de retour de dimensionnement

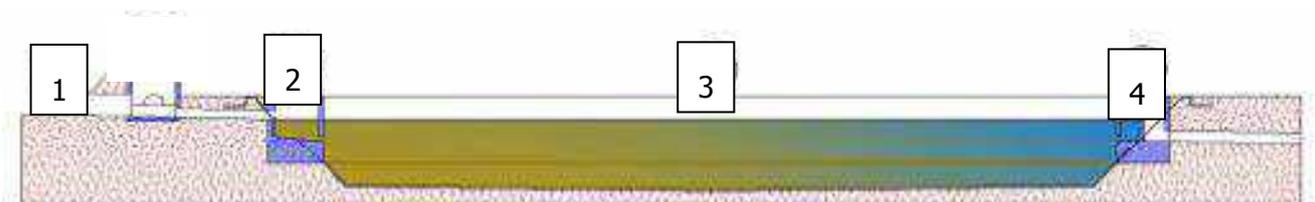


Figure 8 : Schéma du principe de la décantation des particules

L'évacuation des matières décantées pourra s'effectuer par hydro-cureuse, à la pelle ou au chargeur.

#### 4.3.1.2. Méthodologie et résultats

Le tableau ci-dessous présente les différents paramètres utilisés pour le calcul de la vitesse de chute des particules les plus petites à décanter :

La première étape consiste à déterminer la vitesse de chute de la particule dans le bassin de décantation. Cette vitesse se calcule grâce à l'équation suivante :

$$V_p = \frac{[g \times (\rho_p - \rho_e) \times d^2]}{[18 \times h]}$$

Où

- V<sub>p</sub>** : Vitesse de chute verticale de la particule (m/s)
- g** : Accélération de la pesanteur (9.81 m/s<sup>2</sup>)
- ρ<sub>p</sub>** : Masse volumique réelle de la particule (kg/m<sup>3</sup>)
- ρ<sub>e</sub>** : Masse volumique de l'eau (1000 kg/m<sup>3</sup>)
- d** : Diamètre des particules à sédimenter (m)
- h** : Viscosité dynamique de l'eau à 4° C (0.0016 Pa.s)

Figure 9 : Formule de la vitesse de chute de la particule

Dans le présent cas, la masse volumique réelle de la particule (limon moyen) est égale à 2633 kg/m<sup>3</sup> et son diamètre est égale à 0.01mm.

Ainsi, la vitesse de chute de la particule est égale à **0.0002 m/s (0.8 m/h)**.

Le « Guide sur les modalités de gestion des eaux pluviales à la Réunion » (DEAL, 2012) permet de définir un taux d'abattement des pollutions par rapport à la vitesse de décantation dans le bassin :

**TABEAU 4.8 : PERFORMANCES DES OUVRAGES SUR LA POLLUTION CHRONIQUE**

Ouvrage de traitement	Taux d'abattement en %			
	MES	DCO	Cu, Cd, Zn	Ho et HAP
Bassin de décantation avec vitesse de sédimentation en m/h				
1	85	75	80	65
3	70	65	70	45
5	60	55	60	40
Fossé enherbé (longueur minimale 100 m, sans infiltration et avec une pente nulle)	65	50	65	50
Filtre à sable	90	75	90	95

Tableau 5 : Performances des ouvrages sur la pollution chronique

La deuxième étape consiste à déterminer la surface minimale du bassin de décantation  $A_s$  via la formule suivante :

$$A_s = \frac{\theta \times Q}{V_p}$$

Où

- $A_s$  : Surface minimale du bassin en eau ( $m^2$ )
- $Q$  : Débit d'évacuation ( $m^3/s$ ) correspondant à 5% du débit de pointe de récurrence 10 ans
- $\theta$  : Facteur d'ajustement lié aux turbulences ( $\theta$  prend la valeur de 1, 1.2 ou 1.5 selon l'importance des turbulences dans le bassin de sédimentation)
- $V_p$  : Vitesse de sédimentation ( $m/s$ )

Figure 10 : Formule de la surface minimale du bassin de décantation

**La surface minimale du bassin devra être de 97m<sup>2</sup>.**

---

La conception de l'ouvrage sera faite de manière à favoriser la décantation des eaux. Les principes d'implantation suivants permettent d'optimiser le fonctionnement du bassin :

- Rapport longueur/largeur entre 3 et 6,
- Rapport hauteur/longueur entre 1/35 et 1/20
- Positions diamétralement opposées de l'entrée et de la sortie de l'ouvrage,
- Arrivée à faible vitesse.

Le bassin de décantation, de forme trapézoïdale, pourra avoir les dimensions suivantes :

- Largeur en pied : 1.5m
- Fruit des talus : 3H/2V
- Hauteur : 1.5m
- Largeur en tête : 6m
- Longueur : 30m

Ce bassin, de pente nulle, a un volume utile de 169m<sup>3</sup>, respectant largement les besoins de rétention.

Les dimensions du bassin peuvent être adaptées, dès lors qu'elles respectent les ratios décrites ci-dessus et que le volume utile du bassin est au minimum de 138m<sup>3</sup>.

#### 4.4. DIMENSIONNEMENT DES SEPARATEURS A HYDROCARBURES

Deux séparateurs à hydrocarbures seront installés sur la zone des installations, avant rejet dans le bassin de décantation (cf. figure 2).

Ces séparateurs auront pour objectif de traiter le **premier ruissellement lors d'une averse**, qui contient la majorité des pollutions fixées sur les matières en suspension.

Ainsi, ils seront dimensionnés pour traiter un débit égal à **20% du débit de pointe de période de retour décennale**.

Le débit décennal du bassin versant « projet » a été défini selon la méthode présentée au chapitre « Hydrologie ».

Ce débit (Q10) est égal à 0.36m<sup>3</sup>/s à l'état projet.

Un calcul des surfaces drainées par chaque séparateur a été réalisé. Un ratio de ces surfaces avec la surface globale a été calculés afin d'obtenir le débit décennal entrant de chaque séparateur.

Le tableau ci-dessous résume les capacités des séparateurs à hydrocarbures nécessaires afin de traiter les premiers ruissellements (20% du débit Q10) :

Séparateurs à hydrocarbures	Capacités minimales (en L/s)
1 (dalle béton)	2 L/s
2 (aval installations)	72 L/s

Figure 11 : capacités minimales des séparateurs à hydrocarbures

#### 4.5. ENTRETIEN

Au vu de la nature du site (présence importante de granulats), les ouvrages (regards, buses, décanteur) seront très vite obstrués.

Il est donc essentiel de prévoir en **entretien régulier** (même rudimentaire) de ceux-ci afin de ne pas diminuer leur capacité hydraulique lors de fortes pluies.

## ANNEXE

Fiche standard de résultats - HYDROLOGIE					
<b>Commune :</b>	<b>Nom du projet :</b>			<b>Date :</b>	
Saint André	DDAE Chemin Patelin			juil-17	
CARACTERISTIQUES GENERALES					
Nature du point de rejet (nature, réseau, infiltration,...) :	Reseau				
Surface du projet en ha :	2,30				
Nom du bassin versant :	Installations				
Surface du bassin versant (ha) :	2,30				
Surface du projet + surface du bassin versant intercepté (ha) :	2,30				
Zone Météorologique	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Pourcentage du BV (%)	-	100	-	-	-
PARAMETRES D'ENTREE					
Longueur du chemin hydraulique le plus long (m):	1335				
Pente moyenne le long de ce chemin (%) :	0,37				
Coefficient d'allongement :	8,80				
Temps de concentration (min)	Passini	Ridchards	Kirpich2	Rectangles equivalents	<b>Moyenne</b>
	-	52,5	13,6	19,9	28,7
OBJECTIF DE PERFORMANCE DES OUVRAGES					
Période de retour à prendre en compte :	10 ans				
Coefficient de ruissellement (décennal) :	0,500				
Coefficient de ruissellement (centennal) :	0,90				
Coefficient(s) de Montana :	<b>a</b>			<b>b</b>	
	72			0,33	
Méthode de calcul débits :	Méthode rationnelle				
Ooccurence	<b>Q2</b>	<b>Q5</b>	<b>Q10</b>	<b>Q30</b>	<b>Q100</b>
Valeurs débits (m <sup>3</sup> /s) - Etat initial (Qi)	0,21	0,26	0,29	0,35	0,75
Valeurs débits (m <sup>3</sup> /s) - Etat projet (Qp)	0,25	0,31	0,36	0,43	0,75
$\Delta Q = Qp - Qi$	0,05	0,06	0,07	0,08	0,00