

2021_CT2_414

OBJET : Environnement, cadre de vie, développement durable, déchets et cycle de l'eau - Collecte et traitement des déchets - Approbation d'une convention pluriannuelle de recherche et développement avec le BRGM pour améliorer la connaissance des circulations d'eaux souterraines sur l'Installation de Stockage des Déchets non Dangereux de l'Arbois

Le 30 septembre 2021, le Conseil de Territoire du Pays d'Aix s'est réuni en session ordinaire à la Salle polyvalente Reine Jeanne à Ventabren, sur la convocation qui lui a été adressée par Madame le Président du Territoire le 23 septembre 2021, conformément à l'article L.5211-1 du Code général des collectivités territoriales.

Etaient Présents : AMAR Daniel – AMIEL Michel – ARDHUIN Philippe – BARRET Guy – BONFILLON CHIAVASSA Béatrice – BOULAN Michel – BRAMOULLÉ Gérard – BUCHAUT Romain – CHARRIN Philippe – CHAUVIN Pascal – CIOT Jean-David – CONTÉ Marie-Ange – CRISTIANI Georges – DELAVET Christian – DESVIGNES Vincent – DI CARO Sylvaine – FREGEAC Olivier – GARCIN Eric – GOURNES Jean-Pascal – GRANIER Hervé – GRUVEL Jean-Christophe – GUINIERI Frédéric – HUBERT Claudie – JOISSAINS Sophie – KLEIN Philippe – LANGUILLE Vincent – MALLIÉ Richard – MARTIN Régis – MERCIER Arnaud – MORBELLI Pascale – PENA Marc – PETEL Anne-Laurence – ROVARINO Isabelle – RUIZ Michel – TAULAN Francis – VENTRON Amapola – VINCENT Jean-Louis

Etai(en)t excusé(es) avec pouvoir donné conformément aux dispositions de l'article L. 2121-20 du Code général des collectivités territoriales : BENKACI Moussa donne pouvoir à TAULAN Francis – BURLE Christian donne pouvoir à GRUVEL Jean-Christophe – CANAL Jean-Louis donne pouvoir à CRISTIANI Georges – CESARI Martine donne pouvoir à GOURNES Jean-Pascal – DAGORNE Robert donne pouvoir à BRAMOULLÉ Gérard – FERNANDEZ Stéphanie donne pouvoir à TAULAN Francis – FILIPPI Claude donne pouvoir à BRAMOULLÉ Gérard – GACHON Loïc donne pouvoir à AMAR Daniel – GERARD Jacky donne pouvoir à BARRET Guy – JOISSAINS MASINI Maryse donne pouvoir à JOISSAINS Sophie – PELLENC Roger donne pouvoir à CONTÉ Marie-Ange – POUSSARDIN Fabrice donne pouvoir à BUCHAUT Romain – SERRUS Jean-Pierre donne pouvoir à VENTRON Amapola – SICARD-DESNUELLE Marie-Pierre donne pouvoir à DI CARO Sylvaine – ZERKANI-RAYNAL Karima donne pouvoir à JOISSAINS Sophie

Etai(en)t excusé(es) sans pouvoir : BIANCO Kayané – CORNO Jean-François – PAOLI Stéphane – RAMOND Bernard – SANNA Valérie – SLISSA Monique

Secrétaire de séance : LANGUILLE Vincent

Rapporteur Guy BARRET donne lecture du rapport ci-joint.

RAPPORT AU CONSEIL DE TERRITOIRE DU PAYS D'AIX

Environnement, cadre de vie, développement durable, déchets et cycle de l'eau Collecte et traitement des déchets

■ Séance du 30 Septembre 2021

06_3_12

■ Approbation d'une convention pluriannuelle de recherche et développement avec le BRGM pour améliorer la connaissance des circulations d'eaux souterraines sur l'Installation de Stockage des Déchets non Dangereux de l'Arbois

Madame le Président soumet au Conseil de Territoire le rapport suivant :

Les services du Territoire du Pays d'Aix ont été confrontés début 2021 à une pollution par des lixiviats avérée en aval du site, nécessitant d'améliorer leur connaissance des circulations d'eaux souterraines sur le site. Pour ce faire, une première étude géophysique a été menée par le Bureau de Recherche et de Géologie Minière (BRGM) sur le site de l'Arbois à l'aval des casiers déchets et des ouvrages techniques de gestion des lixiviats, au début de l'année 2021. Sur la base de 4 profils de tomographie de résistivité, cinq zones présentant des anomalies ont été identifiées et positionnées.

Compte tenu des résultats de cette expertise, il est important de poursuivre les investigations réalisées autour et sous les déchets situés sous les casiers afin d'améliorer la connaissance des circulations d'eaux souterraines et notamment clarifier les origines des anomalies rencontrées.

Le BRGM est un établissement public de recherche qui est aussi chargé d'une mission d'appui aux politiques publiques dans le domaine des sciences de la Terre et en particulier sur les pollutions anthropiques et leur transfert dans les sols, il mène des actions de recherche partenariale avec des collectivités, des filières industrielles, des entreprises de toutes tailles. Il propose des solutions novatrices pour la gestion des sols et du sous-sol, des matières premières, des ressources en eau, de la prévention des risques naturels et environnementaux. Ces actions concernent globalement trois principaux domaines: Énergie & Ressources minérales ; Eau et Environnement ; Infrastructures et Aménagement.

Compte tenu du contexte du réseau hydrogéologique local au fonctionnement complexe, et de la multiplicité des activités présentes sur l'ISDnD de l'Arbois, la caractérisation et l'identification de ces anomalies est particulièrement ardue et présente à la fois un réel intérêt scientifique et pratique pour le Territoire du Pays d'Aix.

Métropole Aix - Marseille - Provence

Compte tenu de la nouveauté et la complexité du sujet, il est proposé de confier par convention, au BRGM, la réalisation d'un programme de recherche et de développement partagé avec le Territoire du Pays d'Aix, relatif à l'amélioration de la détection des pollutions par méthodes géophysiques.

Ce programme sera cadré par une convention dans laquelle les parties établissent en commun le programme qui répond à leurs besoins respectifs et cofinancent les actions réalisées.

La durée prévisionnelle de réalisation du programme est de 24 mois à compter de l'entrée en vigueur de la convention.

Le montant du programme est fixé à 210 000 Euros Hors Taxes. Le BRGM cofinance le budget du programme, dans le cadre de ses actions de service public.

Le montant du programme fait l'objet de la répartition financière suivante :

ORGANISMES	TAUX	MONTANT HT
Financement externe		
BRGM	20 %	42 000 euros
Autofinancement		
Métropole Aix-Marseille-Provence	80 %	168 000 euros
TOTAL	100 %	210 000 euros

Telles sont les raisons qui nous incitent à proposer au Conseil de Territoire de prendre la délibération ci-après :

Le Conseil de Territoire du Pays d'Aix,

Vu

- Le Code général des collectivités territoriales ;
- La loi n°2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles ;
- La loi n°2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République ;
- La délibération n°FBPA 054-9156/20/CM du Conseil de la Métropole du 17 décembre 2020 portant délégation de compétences du Conseil de la Métropole au Conseil de Territoire du Pays d'Aix ;
- L'avis de la Commission de Territoire Environnement, déchets et cycle de l'eau du 22 septembre 2021.

Où le rapport ci-dessus,

Entendues les conclusions du Commissaire Rapporteur,

Considérant

- Qu'il convient d'approuver la signature de la convention et la réalisation du programme d'investigations et des dépenses associées.

Métropole Aix-Marseille-Provence

Délibère

Article 1 :

Est approuvée la convention pluriannuelle de recherche et développement avec le BRGM pour améliorer la connaissance des circulations d'eaux souterraines sur l'ISDnD de l'Arbois, pour un montant estimé de 210 000 €HT (soit 231 000 € TTC) dont 168 000 €HT à la charge de la Métropole et 42 000 € HT financés par le BRGM.

Article 2 :

Madame le Président du Territoire du Pays d'Aix, ou son représentant, est autorisé à signer tous documents relatifs à l'exécution de cette délibération.

Article 3 :

Les crédits nécessaires sont inscrits en section de fonctionnement sur le sur Budget Annexe du Service Public d'Élimination des Déchets Territoire du Pays d'Aix - Territoire du Pays d'Aix Fonction : 7213 Nature : 617.

Répartition des crédits nécessaires sur les 2 années :

96 364 € pour l'année 2022

84 436 € pour l'année 2023

**CONVENTION DE RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT
PARTAGÉS RELATIVE
à l'amélioration de la détection des pollutions de
lixiviats de décharge par méthodes géophysiques-
cas de l'ISDND de l'Arbois**

ENTRE

Le **BRGM**, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, établissement public industriel et commercial, immatriculé au Registre du Commerce et des Sociétés d'Orléans sous le numéro 582 056 149 (SIRET 582 056 149 00120), dont le siège se trouve 3, avenue Claude-Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 02, représenté par Jean-Marc Mompelat, directeur des Actions Territoriales, ayant tous pouvoirs à cet effet,

Ci-après désigné par le « **BRGM** »,

D'une part,

ET

La Métropole Aix-Marseille-Provence, dont le siège est 58 Boulevard Charles Livon 13007 MARSEILLE, (SIRET 200 054 807 00017), agissant par le Conseil de Territoire du Pays d'Aix et représentée par Madame le Président du Territoire ou son représentant,

Ci-après désignée par « **AMP** »,

D'autre part,

Le BRGM et AMP étant ci-après désignés individuellement et/ou collectivement par la (les) « Partie(s) ».

VU,

- le décret n° 59-1205 du 23 octobre 1959 modifié relatif à l'organisation administrative et financière du BRGM ;
- le décret du 22 décembre 1967 portant regroupement du service de la carte géologique et du BRGM ;
- le Contrat d'objectifs et de performance Etat-BRGM 2018-2022 ;
- les orientations de service public du BRGM pour l'année 2021, adoptées par le « Comité National d'Orientations du Service public » le 19 mai 2020 et approuvées par le Conseil d'Administration du 25 juin 2020.

RAPPEL,

- le BRGM est un établissement public de recherche qui est aussi chargé d'une mission d'appui aux politiques publiques de collecte, de capitalisation et de diffusion des connaissances, dans le domaine des sciences de la Terre et en particulier sur les pollutions anthropiques et leur transfert dans les sols ;
- il mène des actions de recherche partenariale avec des collectivités, des filières industrielles, des entreprises de toutes tailles. Il propose des solutions novatrices pour la gestion des sols et du sous-sol, des matières premières, des ressources en eau, de la prévention des risques naturels et environnementaux. Ces actions concernent globalement trois principaux domaines: Energie & Ressources minérales ; Eau et Environnement ; Infrastructures et Aménagement ;
- AMP, par son Pôle Service à la Population, a en charge l'exploitation de l'ISDND de l'Arbois à Aix-en-Provence. Une pollution par des lixiviats de décharge avérée en aval du site requiert des investigations pour en améliorer la connaissance (extension du panache polluant, ses origines géographiques dans la mesure du possible) ;
- Le BRGM est impliqué dans plusieurs projets de recherche incluant la géophysique focalisés sur l'étude des polluants, leur comportement physique, et les processus de remédiation dans différents milieux. La caractérisation de cette pollution à l'Arbois présente un réel intérêt scientifique pour l'amélioration de la connaissance de ce type d'objet ;
- le BRGM et AMP ont décidé d'un commun accord de mener un programme de recherche et de développements partagés, tel que visé à l'article 4.1 infra, concernant l'amélioration de la détection des pollutions de lixiviats de décharge par méthodes géophysiques - cas de l'ISDND de l'Arbois, ci-après désigné par « le Programme » ;
- aussi, le BRGM et AMP ont décidé par la présente convention, ci-après désignée par « la Convention », de fixer les termes et conditions par lesquels ils s'associent afin de réaliser le Programme ;
- les Parties ont établi en commun le Programme qui répond à leurs besoins respectifs. Elles en exploiteront les résultats chacune pour son propre compte ;
- en outre, compte tenu du fait que (i) les Parties cofinancent le Programme et que (ii) la propriété des résultats issus du Programme, ci-après désignés par « les Résultats », sera partagée entre elles, la Convention est soumise aux dispositions de l'article L2512-5 du Code de la commande publique.

CECI ETANT RAPPELÉ, IL EST ARRÊTÉ ET CONVENU CE QUI SUIT :

ARTICLE 1. OBJET

La Convention a pour objet de définir les termes et conditions dans lesquels le BRGM et AMP s'engagent à réaliser le Programme.

ARTICLE 2. DURÉE

La Convention entre en vigueur à compter de la date de signature par la dernière des Parties et expirera lors de la réception du dernier paiement tel que prévu à l'article 8 infra.

ARTICLE 3. DOCUMENTS CONTRACTUELS

Sont également considérés comme étant des documents contractuels faisant partie de la Convention, les pièces suivantes, citées par ordre de prééminence :

- le présent document ;
- Annexe A1 : Programme ;
- Annexe A2 : annexe financière.

Les annexes précédentes forment un tout indissociable avec le présent document. En cas de contradiction entre les articles du présent document et les dispositions contenues dans les annexes précédentes, les articles du présent document prévaudront.

Le Programme reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

ARTICLE 4. OBLIGATIONS DU BRGM

4.1. PROGRAMME D'ACTION

Le BRGM s'engage à réaliser, dans le respect des règles de l'art, les tâches prévues pour la réalisation du Programme, conformément aux dispositions des Annexes A1 et A2.

La durée prévisionnelle de réalisation du Programme est de **24 mois** à compter de l'entrée en vigueur de la Convention.

4.2. LIVRABLES

Conformément au Programme visé à l'Annexe A1, le BRGM s'engage à remettre à AMP les livrables suivants :

- Rapport1 à l'issue de la campagne 1 (phase 1 et phase 2)
- Rapport2 à l'issue de la campagne 2 (phase 3)
- Rapport3 à l'issue de la campagne 3 (phase 4)

AMP s'engage à valider chaque rapport dans un délai de 4 semaines maximum. Au-delà, le rapport sera considéré comme définitif.

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

4.3. OBLIGATIONS DE MOYENS

Il est rappelé que le contenu des documents visés à l'article 4.2 supra résulte de l'interprétation d'informations objectives ponctuelles et non systématiques (sondages, observations visuelles, analyses, mesures, ...), en fonction de l'état de la science et de la connaissance à un moment donné. Aussi, le BRGM est soumis par convention expresse à une obligation de moyens étant tenu au seul respect du Programme et des règles de l'art.

AMP s'engage à informer de cette limite de responsabilité tous tiers sous-utilisateurs éventuels des informations contenues dans les documents et se portera garant du BRGM en cas de recours exercé par l'un ou plusieurs d'entre eux et fondé sur une inexactitude, erreur ou omission dans le contenu des documents, sous réserve de l'absence de faute prouvée du BRGM.

4.4. FINANCEMENT

Le BRGM s'engage à participer au financement du Programme pour la part qui lui revient dans les conditions exposées à l'article 7 infra, sur la Subvention pour Charge de Service Public (SCSP) qui lui est attribuée par le Ministère chargé de la Recherche (Programme 172).

ARTICLE 5. OBLIGATIONS DE AMP

AMP s'engage à communiquer au BRGM toutes les données, informations et études qui sont en sa possession, et qui sont utiles à la réalisation du Programme. AMP garantit le BRGM de toute action relative aux droits de propriété desdites données, informations et études mises à sa disposition.

AMP s'engage à faciliter l'accès du BRGM aux informations détenues par ses soins, relatifs au Programme ou par tous tiers à la Convention.

AMP s'engage à participer au financement du Programme pour la part qui lui revient dans les conditions exposées à l'article 7 infra.

Le cas échéant, AMP s'engage à transmettre au BRGM dans les meilleurs délais le bon de commande relatif à cette Convention afin que cela ne fasse pas obstacle au processus de facturation.

ARTICLE 6. NOTIFICATION ET ÉLECTION DE DOMICILE

Toute notification faite au titre de la Convention est considérée comme valablement faite si elle est effectuée par écrit aux adresses suivantes :

Pour le BRGM : Jean-Louis LAMBEAUX Chef de Projet 117 av de luminy 13276 Marseille Tel : 04.91.17.74.62 E-mail : jl.lambeaux@brgm.fr	Pour AMP Territoire du Pays d'Aix Hotel Boadès 8 pl. Jeanne d'Arc CS 40868 13626 Aix-en-Provence Tel : E-mail :
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Accusé de réception en préfecture
043-200064807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Tout changement d'adresse devra être notifié dans les meilleurs délais.

ARTICLE 7. FINANCEMENT DU PROGRAMME

7.1. MONTANT

Le montant du Programme est fixé à 210 000 Euros Hors Taxes.

Le montant global de la Convention pourra être actualisé par avenant permettant une nouvelle programmation d'opérations.

Nota : Le programme prévoit un **jalon de « go/nogo »** à l'issue de la phase 2. En cas de « nogo » (arrêt) décidé par les Parties, les montants finaux à financer par AMP (80%) et le BRGM (20%) correspondront aux sommes engagées pour réaliser les phase 1 et phase 2 soit 91 000 Euros Hors Taxes (72 800 € part AMP).

7.2. RÉPARTITION

Le montant du Programme fait l'objet de la répartition financière suivante sur les montants définis dans l'Annexe A2 soit un total de 210 000 € HT :

- **pour le BRGM, 20 % du montant Hors Taxes soit 42 000 € HT ;**
- **pour AMP, 80 % du montant Hors Taxes soit 168 000 € HT.**

Le montant ci-dessus est indiqué Hors Taxes, la TVA au taux légal en vigueur au moment de la facturation étant en sus du prix.

Le BRGM cofinance le budget du Programme, dans le cadre de ses actions de service public.

ARTICLE 8. FACTURATION ET PAIEMENT

8.1. FACTURATION

Le BRGM étant tenu de réaliser le Programme, la part du montant lui revenant ne donnera lieu à aucune facturation.

Il sera facturé à AMP la part du montant visé à l'article 7.2 supra.

Les références nécessaires au dépôt de la facture dématérialisée dans le portail Chorus Pro sont :

- Identifiant Chorus de **XX: XXX XXX XXX XXXXX** (SIRET ou autre)
- Si service de l'Etat : code service exécutant :
- Si nécessaire numéro de service :
- N° d'engagement juridique :
- Si à la date de signature l'ensemble des éléments n'est pas encore connu, alors AMP s'engage à faire parvenir les éléments au BRGM dans un délai maximum de huit jours à compter de la date de signature.

Les factures seront libellées à l'adresse suivante :

Métropole Aix-Marseille-Provence
CT2
38 Boulevard Charles Livon
13007 MARSEILLE

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

Les versements seront effectués par AMP, au nom de l'Agent Comptable du BRGM, sur présentation de factures émises par BRGM et selon le cas accompagnées des documents précisés dans l'échéancier ci-dessous :

- 10 % du montant à la signature, soit 16 800€ HT, soit 20 160 Euros Toutes Taxes Comprises ;
- Le montant solde à l'issue de la phase 2, soit 56 000 € HT, soit 67 200 Euros Toutes Taxes Comprises.
- Le montant de la phase 3, soit 42 400 € HT, soit 50 880 Euros Toutes Taxes Comprises.
- Le solde à l'issue de la phase 4, soit 52 800 € HT, soit 63 360 Euros Toutes Taxes Comprises.

Le taux de TVA en vigueur à la signature de la Convention est de 20 %. Toute modification du taux de TVA applicable, intervenant durant la période d'exécution de la Convention, sera répercutée dès la première échéance de facturation suivant la date d'entrée en vigueur du nouveau taux.

8.2. PAIEMENT

Les versements seront effectués par AMP, par virement bancaire dans un délai de trente (30) jours calendaires à compter de leur date d'émission augmenté de deux (2) jours ouvrés, à l'ordre de BRGM, sur présentation de factures émises par BRGM, au compte ouvert à :

TRESOR PUBLIC
Trésorerie générale du Loiret,
4 pl du Martroi, Orléans
Code Banque 10071
Code Guichet : 45000
Compte N° 00001000034
Clé : RIB 92
IBAN : FR7610071450000000100003492

À défaut de paiement intégral à la date prévue pour leur règlement, les sommes restant dues seront majorées de plein droit, sans qu'il soit besoin d'une mise en demeure préalable ou d'un rappel, de pénalités de retard dont le taux annuel est fixé au taux directeur de la Banque centrale européenne (BCE) augmenté de huit points. Ces pénalités s'appliqueront sur le montant toutes taxes comprises de la créance et seront exigibles à compter du jour suivant la date de règlement inscrite sur la facture, jusqu'à la date de mise à disposition des fonds par AMP.

ARTICLE 9. PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

9.1. DROITS ET OBLIGATION DE L'AUTEUR

9.1.1. Droits de l'auteur

Dans l'hypothèse où les Résultats relèvent du droit d'auteur, le BRGM est l'auteur des Résultats, et notamment des livrables visés à son article 4.2 supra.

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

Le BRGM est titulaire des droits visés aux articles L. 111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle, à savoir des droits patrimoniaux et moraux.

9.1.2. Garantie

Le BRGM garantit qu'il est titulaire des droits de propriété intellectuelle nécessaires à l'exécution de la Convention.

9.2. CESSION DES DROITS D'AUTEUR

9.2.1. Co-titularité des droits patrimoniaux

Le BRGM cède à AMP les droits patrimoniaux qu'il détient sur les livrables visés à l'article 4.2 supra et sur tous les Résultats relevant du droit d'auteur de sorte qu'à l'issue de l'exécution de la Convention, les Parties en seront co-titulaires et AMP pourra notamment, sans l'autorisation du BRGM mais sous sa responsabilité exclusive :

- reproduire les documents sur tous supports connus et inconnus, quel que soit le nombre d'exemplaires ;
- représenter les livrables visés à l'article 4.2 supra pour tout type d'usage ;
- adapter, par perfectionnements, corrections, simplifications, adjonctions, intégration à des systèmes préexistants ou à créer, transcrire dans un autre langage informatique ou dans une autre langue et créer des œuvres dérivées pour ses besoins propres.

Cette cession est faite à titre gracieux pour le monde entier et pour une durée égale à la durée des droits du BRGM.

9.2.2. Droits moraux du BRGM

Par application des articles L. 121-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle, AMP s'engage à respecter les droits moraux du BRGM sur les livrables visés à l'article 4.2 supra, et notamment à citer le BRGM en qualité d'auteur, sur chacune des reproductions ou représentations.

ARTICLE 10. DIFFUSION DES RÉSULTATS

10.1. PRINCIPE

Les Parties s'engagent à divulguer auprès du public le plus large les livrables visés à l'article 4.2 supra et tous les Résultats, selon les modalités de leur choix. Il est rappelé que le BRGM, dans le cadre de sa mission d'appui aux politiques publiques, pourra mettre les Résultats à disposition du public, notamment par le moyen de son site Internet.

AMP s'engage en outre à citer le BRGM en qualité d'auteur, sur chacun des documents produits, présentations ou communications faites sur le Programme.

De manière réciproque, le BRGM s'engage à citer AMP comme partenaire sur chacun des documents produits, présentations ou communications faites sur le Programme.

Dans le cas d'un intérêt commercial des Résultats au bénéfice de tiers, les Parties conviendront des conditions dans lesquelles cette commercialisation sera assurée.

Si une ou plusieurs inventions apparaissent au cours et/ou à l'occasion de l'exécution de la Convention, les Parties conviendront des conditions dans lesquelles cette commercialisation sera assurée.

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
N° 2021-0307
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

Convention, le BRGM en informera aussitôt AMP et les Parties conviendront de dispositions à prendre pour assurer le dépôt et la défense de toute demande de brevet correspondant, ainsi que la prise en charge des frais associés.

10.2. EXCEPTIONS

La diffusion visée à l'article 10.1 supra sera interdite dans les cas suivants :

- l'interdiction résulte d'obligations légales ou réglementaires ou du respect du droit des tiers ;
- une Partie a notifié à l'autre Partie son intention de restreindre la diffusion d'une information et l'autre Partie a accepté de manière expresse.

ARTICLE 11. CESSION, TRANSFERT

La Convention est conclue *intuitu personae*, les Parties s'engageant mutuellement en considération de leur identité respective.

Aucune des Parties ne peut sans l'accord écrit préalable de l'autre Partie, céder tout ou partie de ses droits ou obligations découlant de la Convention à des tiers.

ARTICLE 12. RESPONSABILITÉ

Chaque Partie est responsable, tant pendant l'exécution de la Convention, des prestations et/ou travaux qu'après leur achèvement et/ou leur réception, de tous dommages, à l'exception d'éventuelles conséquences immatérielles, qu'elle-même, son personnel, son matériel, fournisseurs et/ou prestataires de service, pourraient causer à l'autre Partie dans la limite du montant du financement apporté par chacun et visé à l'article 7.2 supra.

ARTICLE 13. ASSURANCES

Chaque Partie, devra, en tant que de besoin souscrire et maintenir en cours de validité les polices d'assurance nécessaires pour garantir les éventuels dommages aux biens ou aux personnes qui pourraient survenir dans le cadre de l'exécution de la Convention.

ARTICLE 14. RÉSILIATION

En cas de non-respect par l'une ou l'autre des Parties d'une obligation inscrite dans la Convention, celle-ci pourra être résiliée de plein droit par la partie victime de ce non-respect à l'expiration d'un délai de trois (3) mois suivant l'envoi d'une lettre recommandée avec accusé de réception valant mise en demeure.

L'exercice de cette faculté de résiliation est non rétroactif, ne produit d'effet que pour l'avenir et ne dispense pas la Partie défaillante de remplir les obligations contractées jusqu'à la date de prise d'effet de la résiliation et ce, sous réserve des dommages éventuellement subis par la Partie plaignante du fait de la résiliation anticipée de la présente Convention.

En cas de résiliation anticipée de la Convention, le BRGM présentera à AMP un compte rendu détaillé et un bilan financier sur la base desquels AMP versera au BRGM les sommes dues au prorata des actions qui auront effectivement été réalisées.

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

ARTICLE 15. DROIT APPLICABLE ET RÈGLEMENT DES LITIGES

La Convention est régie par la loi française.

Tout différend portant sur la validité, l'interprétation et/ou l'exécution de la Convention fera l'objet d'un règlement amiable entre les Parties. En cas d'impossibilité pour les Parties de parvenir à un accord amiable dans un délai de trois (3) semaines suivant sa notification, le différend sera soumis aux tribunaux administratifs compétents.

Fait à Marseille, en deux (2) exemplaires,
Le --/--/--

Pour le BRGM
Jean-Marc Mompelat

Pour AMP

Directeur des Actions Territoriales

ANNEXE A1 : PROGRAMME

1. Contexte

La Direction du Traitement des Déchets de la Métropole Aix-Marseille-Provence a sollicité le BRGM afin de proposer une méthode de détection d'un panache de lixiviat provenant de l'ISDnD de l'Arbois à Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône).

Depuis quelques semaines des écoulements d'eaux très chargées (vraisemblablement des lixiviats de décharge) sont observés au toit d'une barre calcaire surplombant un vallon, au sud de la décharge de l'Arbois.

Un premier diagnostic d'ANTEA (A62932/B) situe les écoulements à la cote 195 m NGF. La base de la décharge (bassin B3) est à la cote 201 m NGF environ. La cote de la base des 2 bassins de récupération des lixiviats et eaux pluviales situés en aval dans le vallon est à la cote 198.5 m NGF environ (Figure 1).

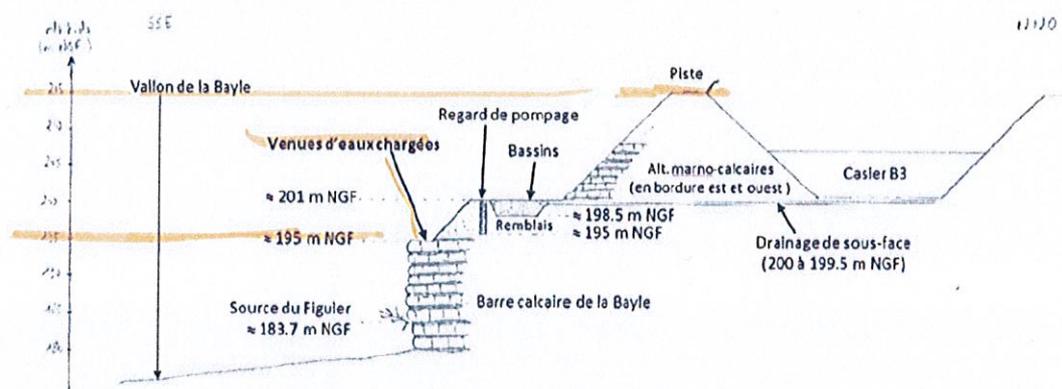


Figure 1 : schéma de principe (d'après rapport d'ANTEA A62932/B)

Une source intermittente dite source du Figuier a été identifiée au milieu de la barre calcaire, à la cote 183.7m NGF.

Le cote du vallon est d'environ 175 à 180m.

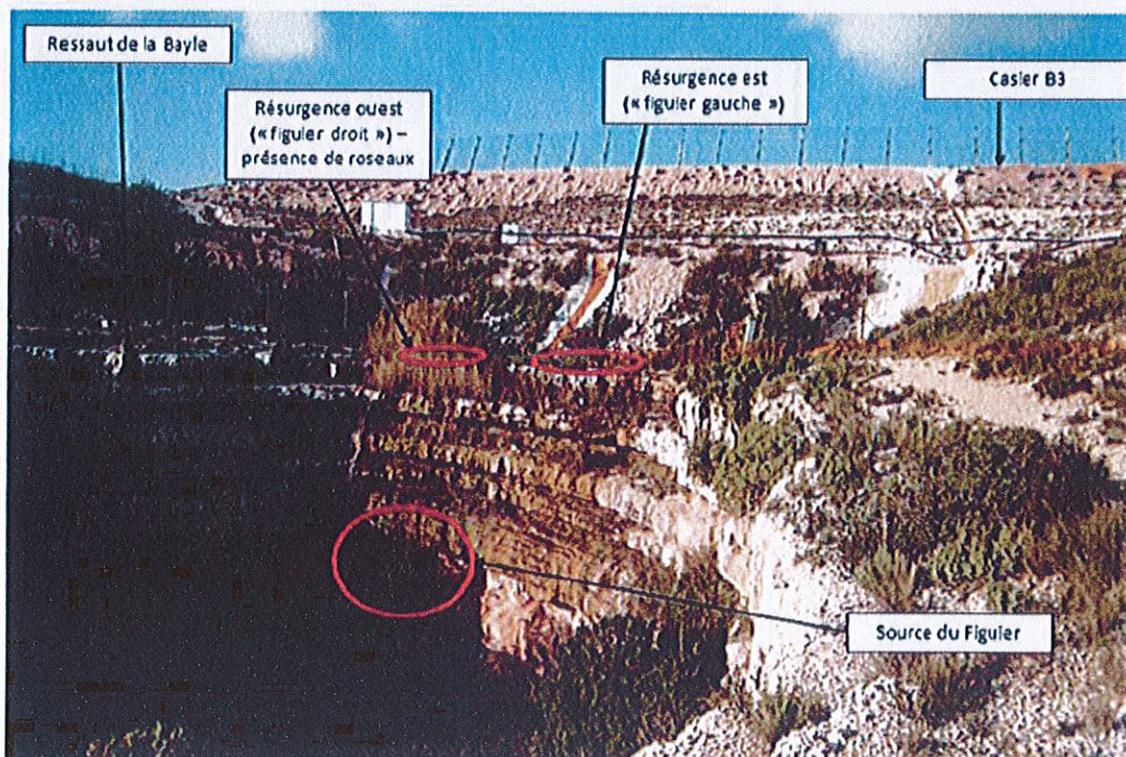
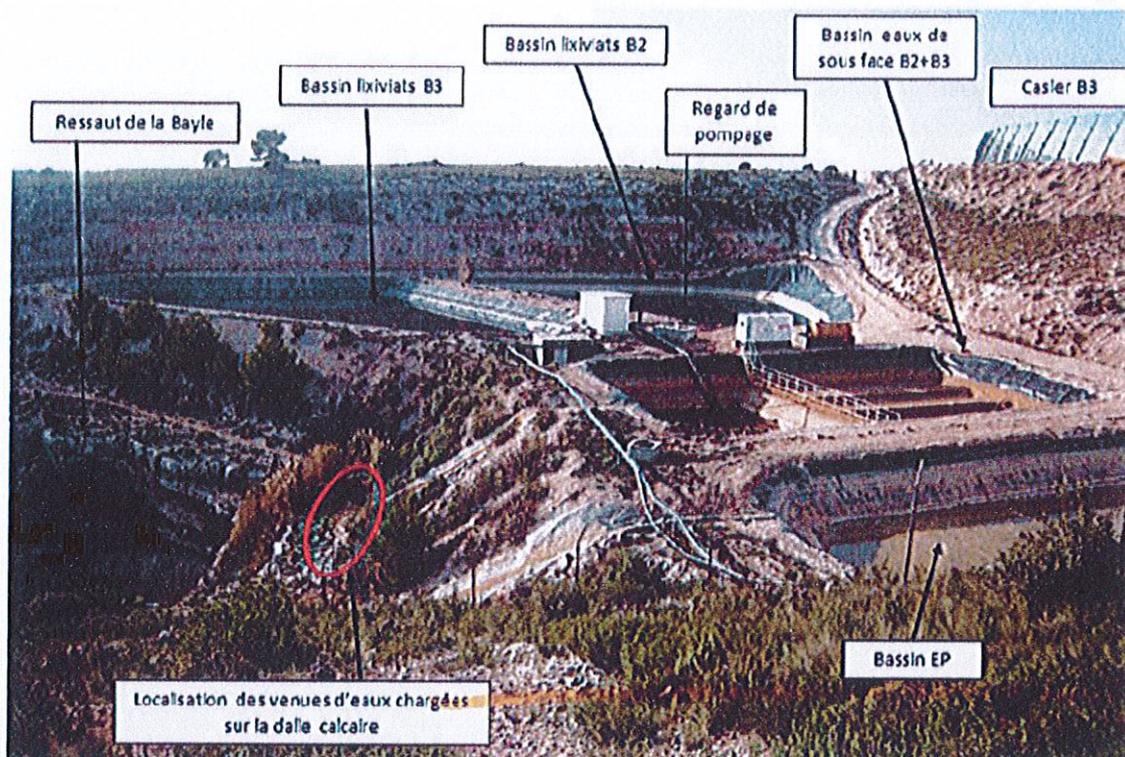


Figure 2 : Photos illustrant l'environnement industriel et la situation des écoulements de lixiviat

Une première étude géophysique a été menée par le BRGM sur le site de l'Arbois à l'aval des bassins en février/ mars 2021. Sur la base de 4 profils de tomographie de résistivité, cinq zones présentant des résistivités anormalement faibles ont été identifiées et positionnées. Le Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021-CT2-414-DE
Date de réimpression : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

rapport d'étude BRGM/RP70579 présente les recommandations de cette étude qui visent à contrôler les anomalies géophysiques par sondage et analyses des matériaux dans les sondages.

À la suite de cette étude, la Direction du Traitement des Déchets de la Métropole Aix-Marseille-Provence souhaite poursuivre les investigations géophysiques autour et sous les casiers B2 et B3 situés au sud de l'ISDnD qui présentent potentiellement des fuites à leur base.

2. Les méthodes géophysiques proposées

a. Tomographie de résistivité électrique 2D et 3D

La méthode de détection du panache de lixiviat est la méthode géophysique appelée Tomographie de Résistivité Électrique (TRE, ou Electrical Resistivity Tomography, en anglais - ERT). Cette méthode est décrite en détail en annexe 1.

Le résultat de la méthode TRE est une coupe verticale 2D ou un bloc 3D de distribution de la résistivité électrique.

La méthode TRE est sensible aux variations de conductivité électrique¹ des milieux géologiques. La conductivité électrique du milieu σ est directement proportionnelle à la conductivité du liquide interstitiel (eau et/ou lixiviat) σ_w , et s'exprime par la loi d'Archie :

$$\sigma = \sigma_w \phi^m S_w^n$$

Où ϕ est la porosité du milieu, S_w est la saturation du milieu, m est le facteur de cimentation et n est une constante proche de 2.

Les variations de conductivité de l'eau porale σ_w sont donc directement mesurées par la méthode TRE.

La [Figure 3](#) présente un exemple d'une étude de détection d'un panache de lixiviats provenant d'un stockage de résidus de traitement industriel. La [Figure 4](#) présente une coupe de résistivité en aval de la décharge montrant l'extension du panache de pollution.

¹ La conductivité électrique, exprimée en mS/m (milli-Siemens par mètre) est l'inverse de la résistivité électrique, exprimée en Ohm.m.
Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

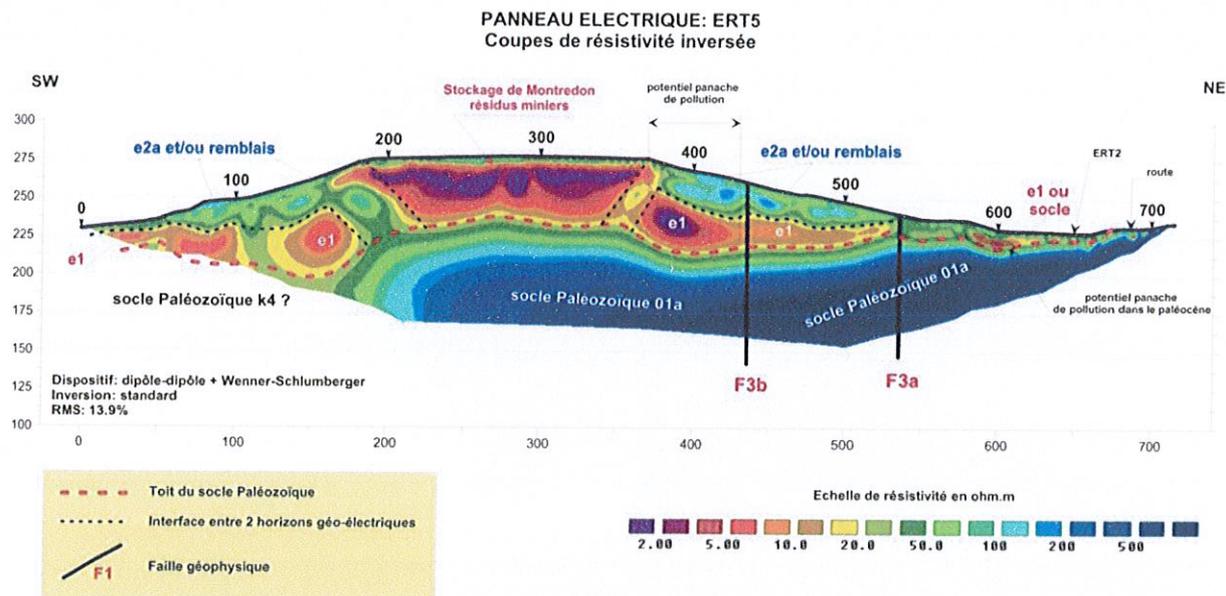


Figure 3 : Coupe de résistivité au droit d'une alvéole de stockage de déchets industriels. On observe un écoulement conducteur (e1) à la base du stockage.

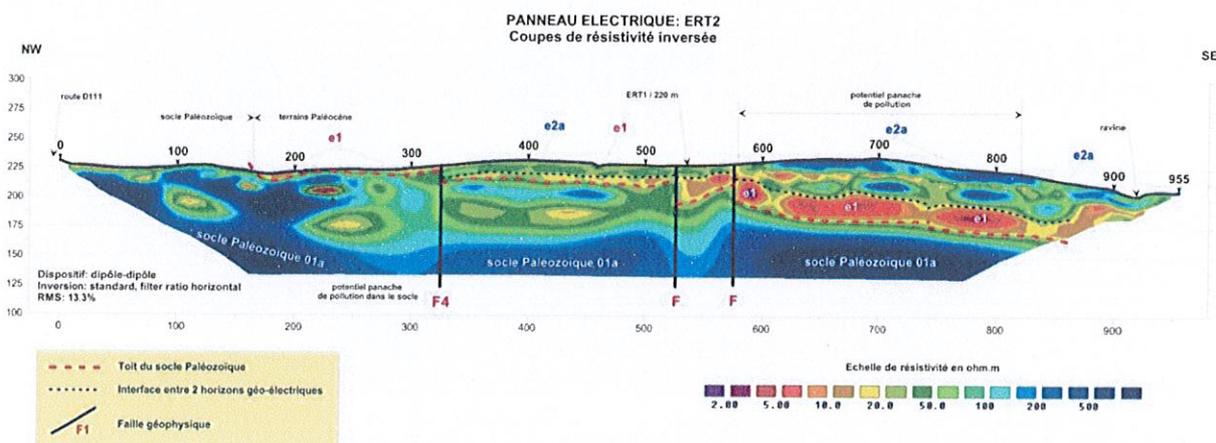


Figure 4 : exemple de TRE en aval de la décharge présentée en Figure 3. L'anomalie conductrice e1 est le panache de pollution.

Cette technique peut également être menée en **3 dimensions en positionnant les électrodes suivant une géométrie permettant de reconstruire un bloc 3D** de résistivité au droit des électrodes.

Dans le cas présent, il n'est pas possible d'implanter des électrodes au-dessus des bassins parce que ces derniers sont soit en activité, soit sont recouverts d'un géotextile ou d'une géomembrane isolante.

Afin de contourner ces difficultés, le BRGM propose d'installer des électrodes autour de chaque bassin, et de mesurer les résistivités apparentes sur des quadripôles dont les électrodes sont situées de part et d'autre d'un bassin. Autrement dit, pour un dipôle d'injection situé sur un côté du bassin, nous allons balayer l'ensemble des dipôles de potentiel situés sur les 3 autres côtés.

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

L'exemple de la Figure 5 montre les résultats d'une tomographie de résistivité 3D autour d'un lotissement dans le Nord de la France affecté par une pollution du sous-sol. Les électrodes symbolisées en bleu autour du lotissement ont servi tour à tour d'électrodes d'injection de courant et d'électrodes de mesures de potentiel.

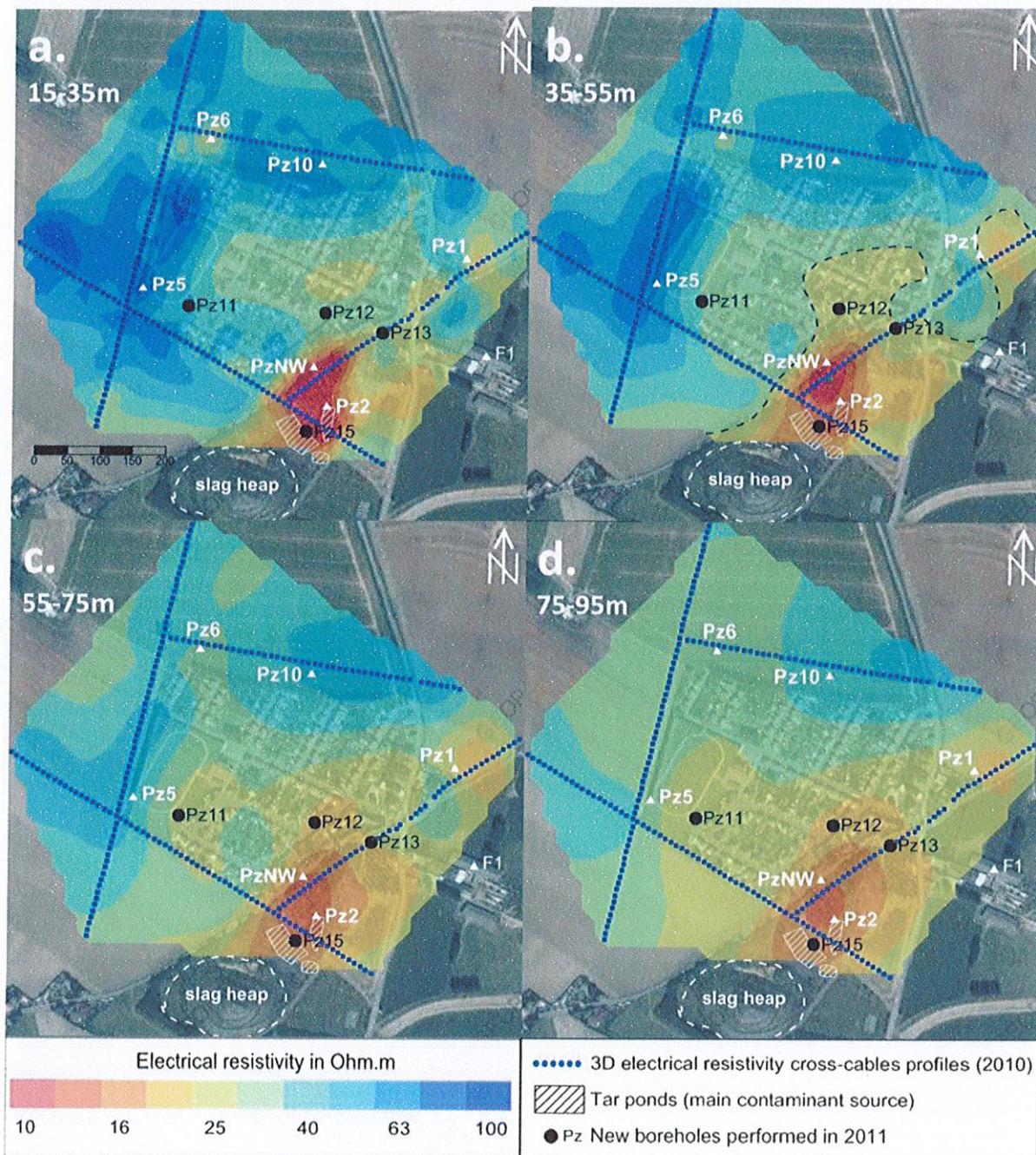


Figure 5 : Exemple d'une tomographie de résistivité 3D obtenue autour d'un lotissement dans le Nord. Les 4 figures représentent la distribution de résistivité à une profondeur déterminée (vues en coupes horizontales à 15/35 m, 35/55 m, 55/75 m et 75/95m).

b. Mise-à-la-masse

À titre expérimental, le BRGM propose de tester une méthode qui pourrait être utile dans un tel contexte : la mise-à-la-masse.

La configuration proposée par le BRGM consiste à injecter un courant électrique grâce à une électrode plongée dans un puits de lixiviat située sur la bassin B3. L'autre électrode de courant est positionnée à plus de 500 m en dehors de l'ISDnD. Le potentiel électrique est mesuré à l'aide d'une série d'électrodes positionnées autour, en dehors du bassin. En théorie, si le bassin est parfaitement isolé de l'encaissant géologique par la membrane isolante, et s'il n'y a pas de fuite de lixiviat vers l'extérieur du bassin, le potentiel électrique en dehors du bassin devrait être nul à très faible. En revanche, si des lignes de courant électriques peuvent sortir du bassin et engendrer un champ électrique autour du bassin, cela n'est possible que si une fuite de lixiviat conduit le courant électrique à travers la membrane (Figure 6).

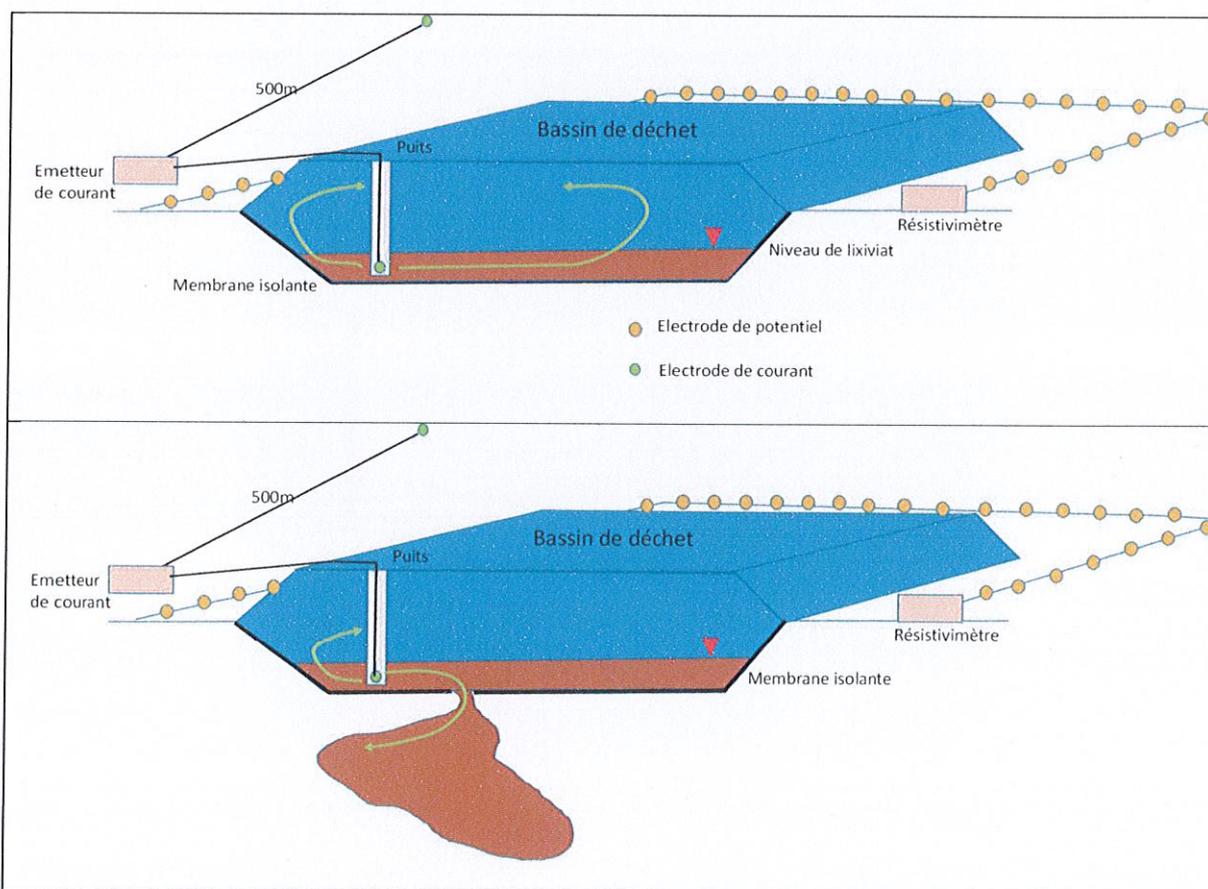


Figure 6 : Schéma de la mise-à-la-masse dans un contexte de bassin contenant des lixiviats. En haut, sans fuite à la base de l'alvéole, en bas avec une fuite.

c. Méthode alternative

Les méthodes électromagnétiques (EM) auraient pu permettre de contourner cette configuration de tomographie 3D avec les électrodes autour des bassins, car elles sont insensibles aux membranes isolantes.

En théorie il est possible de mesurer la distribution verticale de résistivité sous chaque bassin à partir de mesures réalisées au-dessus des déchets. Mais ces méthodes ont été écartées car

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

la réponse EM de l'énorme masse de déchets très conducteurs va masquer la réponse d'un éventuel panache de lixiviat sous les bassins.

À ce stade, le BRGM ne propose donc pas de méthode alternative.

3. Secteur d'étude

Le secteur d'étude se situe au niveau des alvéoles (Figure 7) :

- Anciennes décharge Nord et Sud
- Les alvéoles B1, B2 et B3.

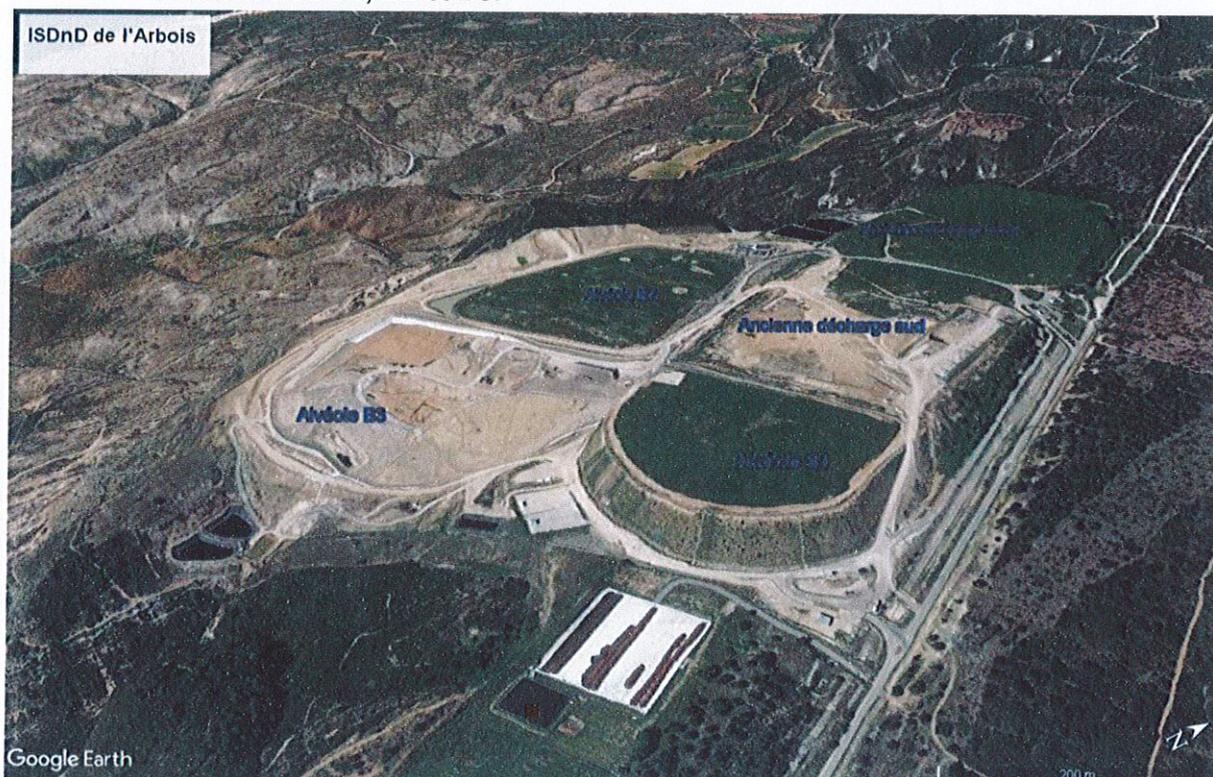


Figure 7 : Vue générale sur l'ISDnD de l'Arbois

4. Contenu détaillé du programme du BRGM

L'objectif est de détecter des panaches de lixiviat sous et à l'aval des bassins de stockage des déchets.

Afin d'atteindre la base du vallon situé à la cote 180 à 175 m NGF, une profondeur d'investigation de 40 m est nécessaire (par rapport à la cote 215 m NGF correspondant aux pistes autour des alvéoles). L'objectif est donc d'atteindre la cote 175 m NGF *a minima*.

Le projet est découpé en 5 phases :

1. **Phase 1** : Choix des configurations de mesure par modélisation numérique
2. **Phase 2** : Campagne de mesure #1 : mise en œuvre sur l'alvéole B3.
3. **Go-NoGo** pour la poursuite du projet selon qualité des 1^{er} résultats

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

4. **Phase 3** : Campagne #2 : Adaptation du protocole et mise en œuvre sur les alvéoles B1 et B2 ;
5. **Phase 4** : Campagne #2 : mise en œuvre sur les anciennes décharges Nord et Sud.

Phase 1 : Modélisation et choix des configurations de mesures

Dans un premier temps, des simulations numériques des méthodes décrites en phase 2 sont proposées avant toutes mesures de terrain.

Ces modélisations numériques ont pour objectifs de définir la sensibilité de cette méthodologie d'acquisition 3D en fonction de différents scénarios :

- Présence d'un panache de lixiviat, avec modification de la position et volume du panache ;
- Influence de la topographie du tas de déchets dans l'alvéole ;
- Influence de la topographie du terrain naturel autour de l'alvéole.

En outre, ces modélisations permettront de définir les bonnes configurations de mesure (position des câbles et électrodes, choix des quadripôles de mesure) en fonction des différents scénarios.

Phase 2 : Campagne de mesures géophysiques #1 sur l'alvéole B3

a. Mesures géophysiques

Les investigations géophysiques décrites ci-après pourront être modifiées et adaptées en fonction des résultats des modélisations.

Trois types d'investigation sont envisagées afin de contraindre au mieux le modèle 3D de résistivité :

1. 3 profils de tomographies de résistivité électrique 2D ([Figure 8](#)) :
 - C'est la technique classique d'acquisition avec les électrodes en ligne.
 - La configuration de mesure est le dipôle-dipôle. 96 électrodes espacées de 5 m seront déployées sur chaque profil (soit une longueur respectivement de 475 m). Cette configuration permet d'atteindre une profondeur d'investigation de 30 à 60 m, ce qui est suffisant pour atteindre la cote prévue.
 - Profil ERT6 : longueur de 950 m, le long de la route au Nord de B1 et B3
 - Profil ERT7 : longueur 475 m, longe la clôture à l'Ouest
 - Profil ERT8 : longueur 475 m, le long de la route entre B2 et B3.
2. 1 dispositif d'acquisition de tomographie de résistivité 3D autour du bassin B3 ([Figure 9](#)) :
 - 2 dispositifs de 950 m composés de 96 électrodes espacées de 10m ;

- Les dispositifs de recouvrement partiellement afin de ne pas perdre en résolution sur les extrémités des dispositifs ;
 - Afin d'obtenir des quadripôles traversant l'alvéole sur le dispositif B3-2 (en jaune sur la Figure 9), des dipôles d'injection seront disposés à l'ouest du bassin B3 (le long du profil ERT6). Ces points d'injection seront réalisés avec un émetteur indépendant type VIP4000 d'Iris Instruments.
3. 1 dispositif de mise-à-la-masse, en injectant le courant électrique dans un des écoulements sortant du B3, et en mesurant les potentiels électriques autour du bassin.



Figure 8 : Positionnement des profils de Tomographie de Résistivité Électrique 2D autour des bassins B2 et B3 de l'ISDnD de l'Arbois



Figure 9 : Positionnement des profils de Tomographie de Résistivité Électrique 3D autour du bassin B3 de l'ISDnD de l'Arbois

b. Traitement des données et rapport #1

Les profils 2D seront traités et interprétés individuellement.

Les dispositifs 3D seront inversés avec le logiciel BERT avec l'ensemble des données (2D et 3D) en y intégrant les données des profils ERT1 et ERT2 acquises en février 2021.

L'intégration de l'ensemble de ces mesures vont améliorer les contraintes latérales en dehors de la zone d'investigation. Le résultat (bloc 3D de résistivité) sera interprété avec un objectif d'identifier les écoulements de lixiviat sous le bassin B3.

Les données de mise-à-la-masse seront traitées et interprétées indépendamment de la tomographie 3D.

À l'issue de la mission, le BRGM remettra un rapport d'étude (**Rapport #1**), dans les deux mois suivant le retour de mission. Il inclura notamment :

- Déroulement de la mission
- Contexte géologique général
- Un descriptif des méthodes utilisées
- La présentation de la campagne de mesures géophysiques
 - Tomographies 2D et 3D
 - Mise-à-la-masse

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

- Interprétation et conclusions
- Recommandations

Jalon : Go-NoGo sur la poursuite du projet

À l'issue de cette première campagne, le rapport final établira la qualité de la méthodologie proposée en phase 2.

Une réunion dans les locaux de la métropole d'Aix-Marseille décidera de la poursuite du projet sur la base de ce rapport :

- Qualité des résultats ;
- Sensibilité de la méthodologie à détecter des anomalies de conductivité sous les alvéoles ;
- Confrontation de ces résultats géophysiques suite à d'éventuels sondages de contrôle.

Les phases 3 et 4 sont donc indiquées à ce stade à titre informatif et ne **seront engagées que si les conclusions de la réunion orientent vers la poursuivre du programme.**

Phase 3 : Campagne de mesures géophysiques #2 sur l'alvéole B1 et B2

Des travaux similaires à la phase 2 seront engagés sur les alvéoles B1 et B2 (Figure 10) :

- 2 Tomographies de résistivité 3D autour de B1 et B2
- 4 Tomographies de résistivité 2D en amont et aval de B1 et B2 afin de compléter les tomographies 3D et contraindre les inversions (ERT 9 à ERT12)
- 2 mise-à-la-masse à adapter en fonction des résultats obtenus sur l'alvéole B3 .



Figure 10 : Positionnement des profils de Tomographie de Résistivité Électrique 3D autour des bassins B1 et B2 de l'ISDnD de l'Arbois

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

Un rapport (Rapport 2) sera rédigé à l'issue de cette campagne #2 de géophysique.

Phase 4 : Campagne de mesures géophysiques #3 sur les décharges Nord et Sud

Enfin, une dernière campagne de mesures sera entreprise autour des anciennes décharges Nord et Sud. Ces casiers de stockage ne sont pas construits suivant les mêmes procédures et a priori sans aucun dispositif de type géomembrane. Par ailleurs, les terrains ne sont pas remaniés depuis de nombreuses années et sont stables.

Il est donc possible de réaliser des tomographies de résistivité 2D directement sur les alvéoles. 6 profils (ERT 13 à ERT18) sont programmés pour cette troisième campagne de géophysique (Figure 11) :

- Espacement de 50 m entre profils ;
- Longueur de 950 m (96 électrodes espacées de 10m)

Une inversion 3D de cet ensemble de mesures sera réalisée à l'aide du logiciel BERT ou RES3DINV.

Un rapport final (Rapport 3) rendra compte des résultats obtenus au cours de la troisième campagne géophysique.



Figure 11 : Positionnement des profils de Tomographie de Résistivité Électrique 3D autour des bassins B1 et B2 de l'ISDnD de l'Arbois

5. Livrables

Trois (3) rapports seront effectués à l'issue de chaque campagne géophysique :

- Rapport1 à l'issue de la campagne 1 (phase 2)
- Rapport2 à l'issue de la campagne 2 (phase 3)
- Rapport3 à l'issue de la campagne 3 (phase 4)

6. Personnel BRGM

Le personnel sera composé de 5 intervenants :

- Jean-Christophe GOURRY, ingénieur géophysicien expérimenté (25 ans d'expérience) spécialiste des méthodes électriques et des diagnostics de Sites et Sols Pollués. Coordinateur scientifique du programme.
- Pauline KESSOURI, ingénieure géophysicienne (10 ans d'expérience) spécialiste de modélisations numériques en méthodes électriques.
- Florent BEAUBOIS et Luigi ARDITO, techniciens géophysiciens, expérimentés, spécialiste des méthodes électriques.
- Jean-Louis LAMBEAUX, ingénieur-expert géosciences et risques de l'environnement (24 ans d'expérience) - direction régionale PACA du BRGM (Marseille) - Chef de projet du programme.

7. Matériel géophysique

Les équipements mis en œuvre sur cette étude sont :

- 1 Résistivimètre Syscal Pro Switch 96 (Iris Instruments) avec mode « receiver only »
- 1 Émetteur de courant VIP 4000 (Iris Instruments) + groupe électrogène 7.5 kVA
- 6 flutes avec inter-électrodes de 5 m
- 12 flutes avec inter-électrodes de 10 m
- 192 électrodes métalliques
- GPS différentiel centimétrique GEO7X de Trimble

Petit matériel : jalonettes pour positionner les électrodes, bidon d'eau salée et bentonite salée pour améliorer les résistances de contact.

8. Calendrier de réalisation prévisionnel

		Mois 1	Mois 2	Mois 3	Mois 4	Mois 5	Mois 6	Mois 7	Mois 8	Mois 9	Mois 10	Mois 11	Mois 12	Mois 13	Mois 14	Mois 15	Mois 16	Mois 17	Mois 18	
Tâche 1	Modélisation																			
Tâche 2	Campagne de mesures																			
	Traitement et rapport																			
Go-NoGO																				
Tâche 3	Campagne de mesures																			
	Traitement et rapport																			
Tâche 4	Campagne de mesures																			
	Traitement et rapport																			

Le calendrier s'étalera sur 24 mois en tenant compte des délais de lancement des opérations et de validation (non figurés ci-dessus).

9. Obligations du partenaire

Pour la bonne réalisation de cette prestation de services, AMP s'engage :

- à faire parvenir dans les meilleurs délais une copie de la documentation nécessaire à sa disposition : cartes, plans, historique du site, ;
- à assurer l'organisation nécessaire à la réalisation de la mission du BRGM ;
- à obtenir les autorisations de libre circulation sur l'ensemble des zones investiguées.

10. Limites des méthodes

Les profils ont été implantés d'après des images GoogleEarth, et après la visite préalable d'avril 2021. Néanmoins, l'environnement industriel de l'ISDnD, et notamment la présence de grillage métallique, de tuyaux métalliques enterrés et autres infrastructures métalliques peut générer des artefacts de mesure. Aussi les profils seront repositionnés au mieux par le responsable de mission. Malgré toutes les précautions, il pourra subsister des anomalies liées à ces infrastructures-parasites.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Annexe 1 : la Tomographie de Résistivité Electrique

La tomographie de résistivité électrique ou panneau électrique

Le principe de la tomographie de résistivité électrique

La tomographie de résistivité électrique (ERT pour Electrical Resistivity Tomography en anglais) est une méthode géophysique permettant d'obtenir la distribution de la résistivité électrique des matériaux (roches ou structures) en profondeur (2D et 3D selon le dispositif d'acquisition mis en place et les procédés d'inversion/modélisation appliqué) à partir de mesures de potentiel électrique en surface. Les termes «panneau électrique» ou «tomographie électrique» sont utilisés pour qualifier une prospection électrique (initialement basée sur quatre électrodes) automatisée le long d'un profil multi-électrodes (2D) ou sur une surface (3D). Ce type d'acquisition présente l'avantage de fournir des résultats fiables en 2D ou 3D, et d'être rapidement mis en œuvre.

Le principe de base de la prospection électrique est d'injecter dans le sol un courant électrique d'intensité I entre deux électrodes A et B et de mesurer la différence de potentiel ΔV induite entre une autre paire d'électrodes M et N (Figure 12).

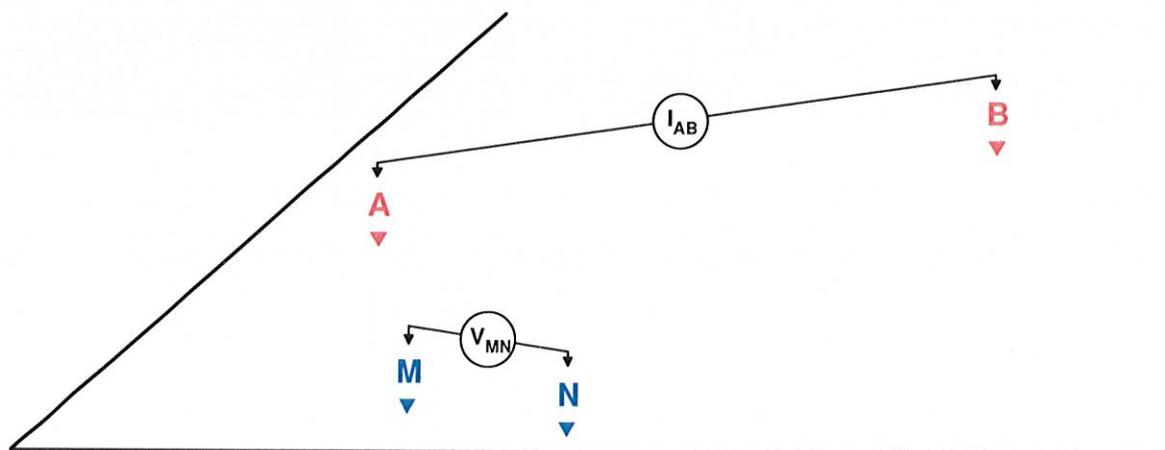


Figure 12 : Principe de la mesure en courant électrique continu

A partir de la valeur du courant injecté I , de la mesure de la différence de potentiel ΔV et de l'écartement entre les différentes électrodes, on peut déterminer la **résistivité électrique apparente** du sous-sol sur base de la loi d'Ohm :

utilisés, certains dispositifs sont également plus rapides (dipôle-dipôle) à acquérir que d'autres (Schlumberger) grâce à des acquisitions multi-voies (plusieurs mesures de ΔV pour une injection de courant).

Pour la configuration Wenner, par exemple, la profondeur d'investigation est estimée égale à la moitié du plus grand écartement utilisé entre deux électrodes successives mais elle peut varier suivant la nature des terrains et leur résistivité. L'écartement entre électrodes détermine donc la profondeur d'investigation ainsi que les résolutions horizontale et verticale. Par rapport aux autres configurations, le dispositif Wenner rend les structures plus facilement reconnaissables sur la pseudo-section.

D'une manière générale, la mise en œuvre d'au moins deux configurations d'électrodes permet dans la plupart des contextes de mieux appréhender la géométrie des différents corps en présence. Ci-dessous sont présentées trois configurations souvent mises en œuvre avec les équipements automatisés actuels.

Le dispositif dipôle-dipôle donne une très bonne résolution des terrains de subsurface et pour les discontinuités verticales. Dans cette configuration, le rapport signal/bruit décroît rapidement et la profondeur d'investigation se réduit également (**Figure 14**).

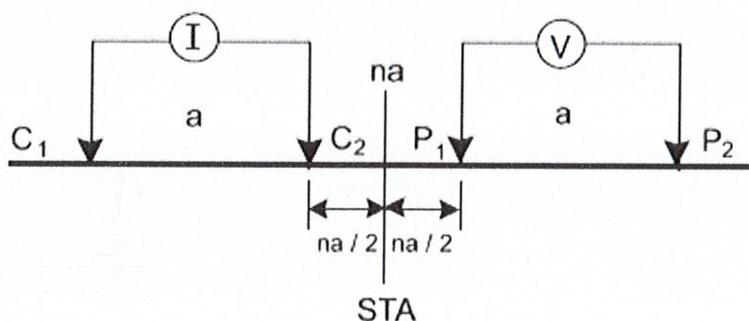


Figure 14 : Configuration dipôle-dipôle

Le dispositif Schlumberger est plus intégrant et, de ce fait, plus sensible aux effets latéraux par rapport au profil de mesure. La résolution au niveau des horizons de sub-surface est moins bonne et celle des structures plus globale. Son intérêt majeur est la profondeur d'investigation atteinte (de l'ordre de 80m pour un dispositif de 500 m de long) grâce à un meilleur rapport signal/bruit (**Figure 15**).

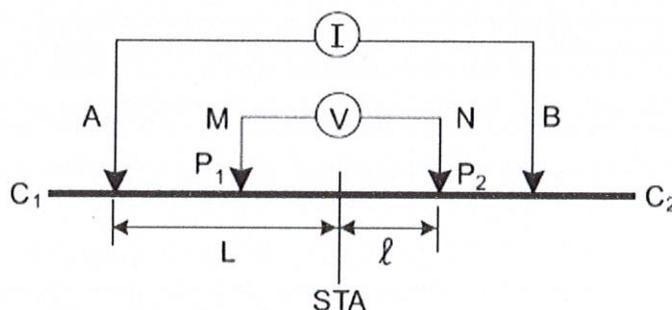


Figure 15 : Configuration de Schlumberger

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Le **dispositif Wenner** est un dispositif présentant la particularité d'avoir trois espacements identiques entre les quatre électrodes. Avec ce dispositif, les résistivités apparentes sont moins affectées par les variations latérales superficielles (**Figure 16**).

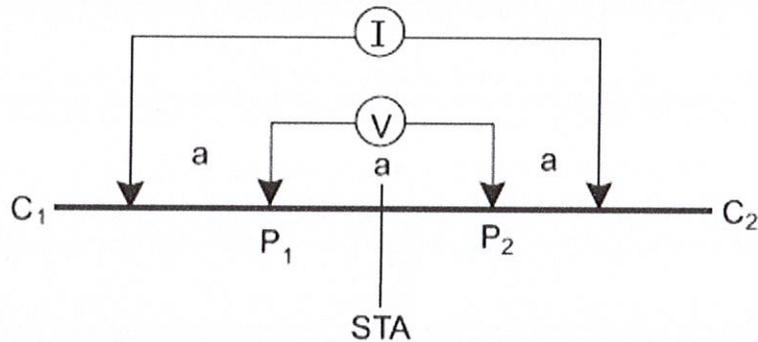


Figure 16 : Configuration de Wenner

Construction d'une pseudo-section de résistivité apparente

Après filtrage des données brutes de résistivité apparente (mesurées sur le terrain) sur la base de critère de qualité, de courant émis ou de potentiel mesuré (logiciels Iris Instruments et X2ipi), celles-ci sont agencées de manière à obtenir une coupe (pseudo-section) de résistivité apparente du sous-sol. Cette dernière est construite (automatiquement) en reportant la valeur de la résistivité apparente mesurée au centre du dispositif et à une pseudo-profondeur dépendant de l'écartement entre les électrodes. Cette représentation conduit à une image pour laquelle les valeurs de résistivité (puisqu'apparentes) et celles de profondeur ne sont pas correctes (**Figure 17**).

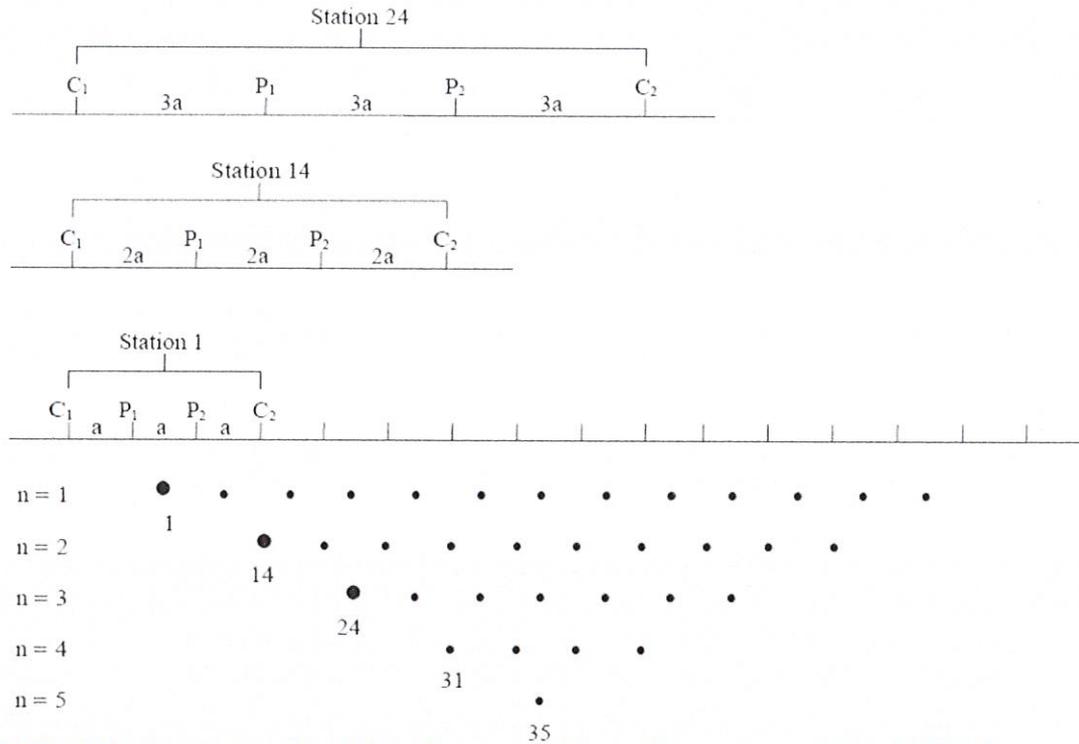


Figure 17 : Principe de construction d'une pseudo-section pour un dispositif Wenner

Traitement et inversion des données

Afin d'obtenir une image quantitative représentant les variations de résistivité réelle (et non apparente) en fonction de la vraie profondeur, il est nécessaire d'inverser la pseudo-section (**Figure 18**). Cette étape est réalisée à l'aide du logiciel Res2DInv (Loke & Barker). Cette inversion des données est réalisée suivant un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section de résistivités apparentes mesurées et une pseudo-section recalculée à partir d'un modèle de résistivité électrique. Ce modèle est modifié à chaque itération jusqu'à ce que les données mesurées et calculées atteignent une concordance acceptable ou jusqu'à ce qu'aucune nouvelle amélioration ne soit possible. Afin de prendre en compte les morphologies rencontrées, la topographie de chaque profil est incluse lors de l'inversion (**Figure 19**).

Détection de pollutions de lixiviats par méthodes géophysiques - ISDND de l'Arbois

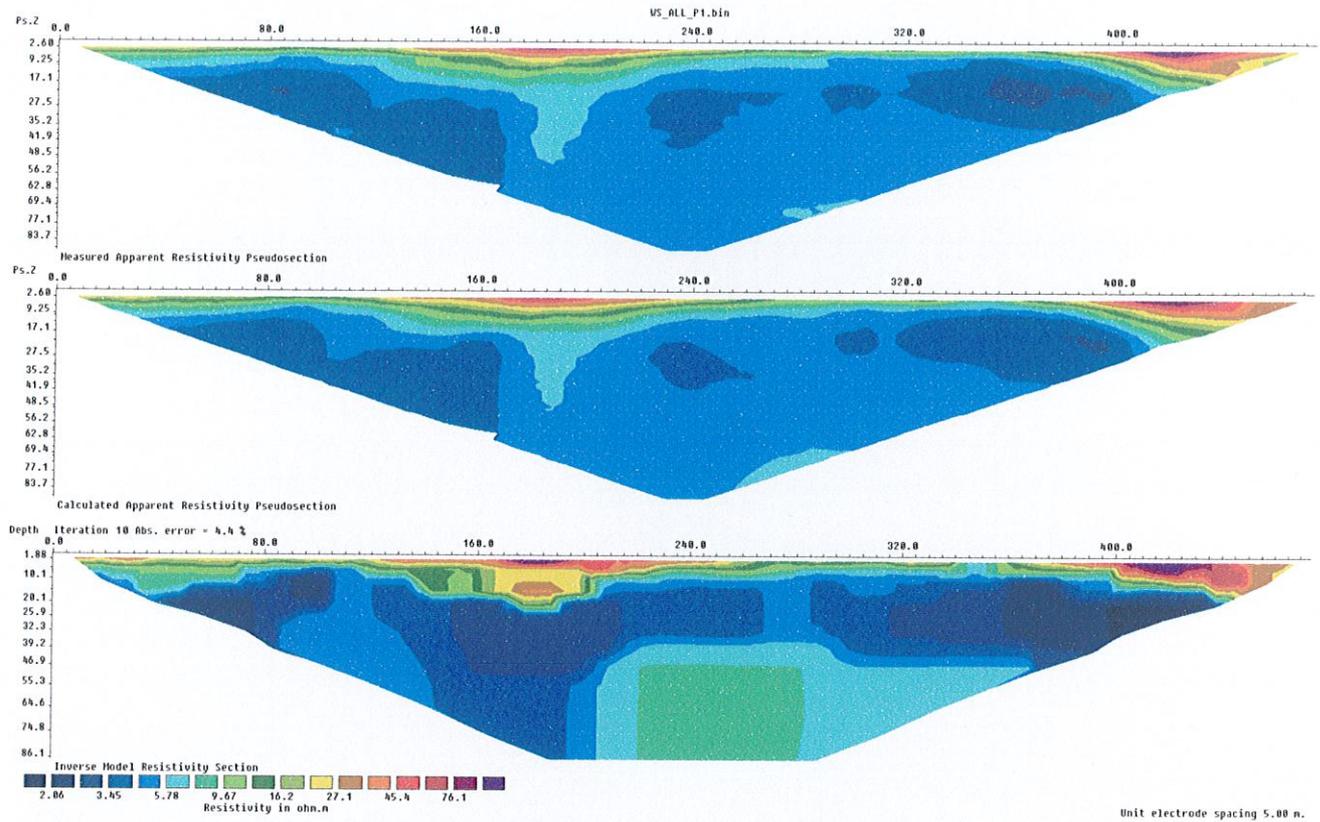


Figure 18 : Résultats complets (en images) d'une inversion. En haut la pseudo-section de résistivité apparente mesurées. En bas, le modèle de résistivité issu de l'inversion. Au centre, la pseudo-section de résistivité calculée sur la base du modèle de résistivité. L'erreur (RMS) constitue la différence entre les deux premières pseudo-sections (ici 4.4%).

La pseudosection de résistivité « vraie » (illustration du bas de la **Figure 18**), résultat de l'inversion, sera ensuite utilisée pour l'interprétation. Elle fournit des informations quantitatives permettant de caractériser l'origine des différentes anomalies mises en évidence : résistivité, géométrie des horizons, profondeur, pendage. Les résultats de l'inversion sont présentés sous forme d'une coupe (section) semblable à celle de résistivité apparente présentant la distribution des résistivités calculées le long du profil en fonction de la profondeur. Cela pour les différentes configurations d'acquisition choisies.

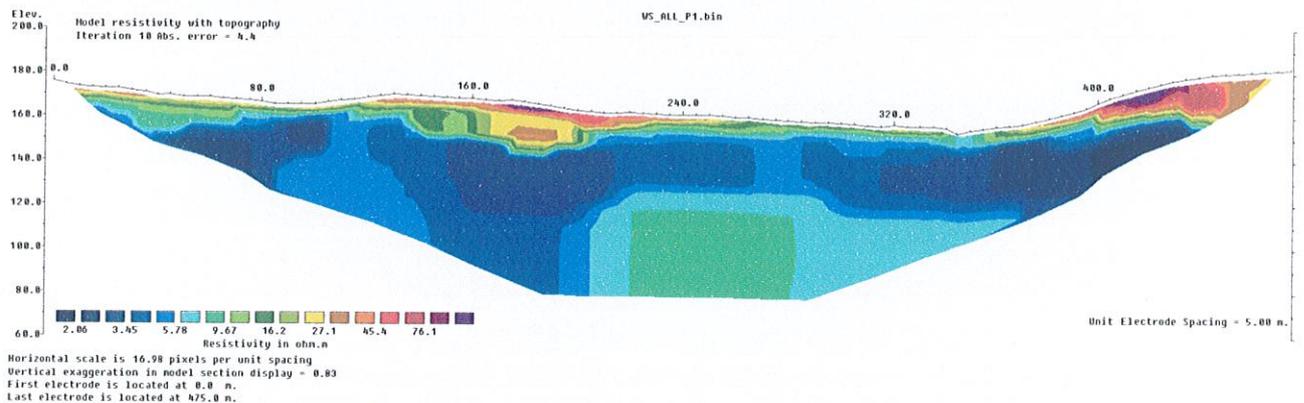


Figure 19 : Résultat de l'inversion de la figure 7 avec la topographie.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception en préfecture : 14/10/2021

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Détection de pollutions de lixiviats par méthodes géophysiques - ISDND de l'Arbois

Pour chaque cas, des paramètres d'inversion sont choisis de manière à optimiser la réponse du modèle en incluant une information « à priori ».

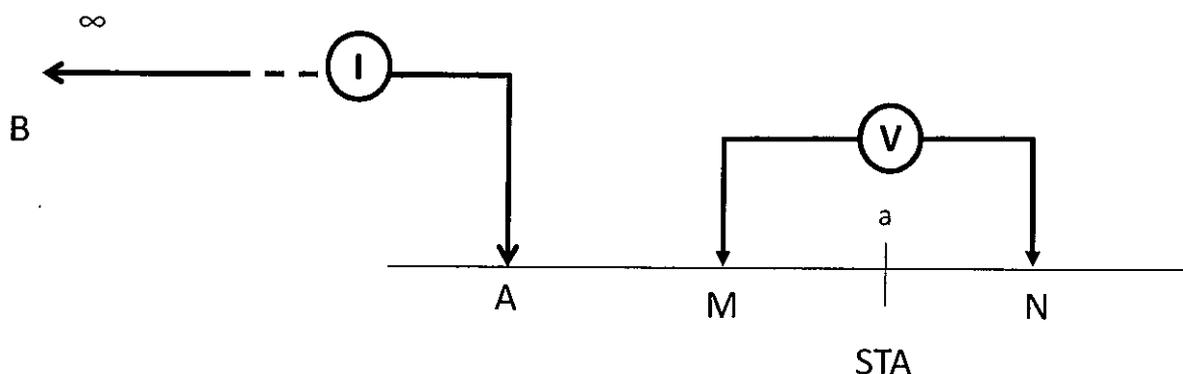
Quelles que soient les performances des algorithmes de convergence, en l'absence d'étalonnage (résistivité étalonnée, profondeur des interfaces géoélectriques) les paramètres fournis par l'inversion ne sont pas définis de manière univoque (il y a plusieurs solutions satisfaisant au même jeu de données) et sont soumis à des principes d'équivalence. Cette indétermination ne peut être évaluée qu'en testant différentes solutions ou en contraignant l'inversion au moyen de paramètres (résistivités, épaisseurs, profondeurs) obtenus par d'autres moyens (autre méthode géophysique, diagraphies, forages, observations de terrain).

Applications

→ La tomographie électrique s'applique d'une manière générale à caractériser les milieux présentant un contraste de résistivité par rapport à leur environnement dans les limites de la résolution de la méthode. La résistivité du sous-sol dépend de sa teneur en fluide, de la résistivité de ce fluide et de sa minéralogie (en particulier de sa teneur en argile). Le paramètre résistivité est ainsi généralement un bon descripteur de la géologie et un bon indicateur des propriétés hydrogéologiques du sous-sol.

→ La tomographie électrique proche surface (< 100m) s'applique globalement à toutes les sciences environnementales dans des domaines divers et variés.

- Hydrogéologie (géométrie et qualité des aquifères), profondeur du substratum, identification d'invasions salines en milieu côtier
- Géologie : identification de contact géologique ou tectonique
- Environnement : suivi de panache de contamination dans le sol ou dans un aquifère
- Risques naturels : délimitation de la base de glissements de terrain
- Dans le domaine minier (souvent associée à des mesures de polarisation provoquée (PP)), pour mettre en évidence des corps minéralisés
- En archéologie pour l'identification de structures enterrées
- Risques naturels : recherche de cavité en proche surface
- Géotechnique : qualité de fondations
- Volcanologie : identification des zones de fortes altérations hydrothermales



ANNEXE A2 : ANNEXE FINANCIÈRE

Tâches	Montant (€ HT)
Phase 1 Simulation et choix des configurations de mesure	14 500
Phase 2 Campagne de mesures géophysiques comprenant la réalisation des tomographies 2D et 3D de résistivité, ainsi que la mise-à-la-masse sur l'alvéole B3. Réunion Go-NoGo	76 500
Phase 3 Campagne de mesures géophysiques comprenant la réalisation des tomographies 2D et 3D de résistivité, ainsi que la mise-à-la-masse sur les alvéoles B1 et B2	53 000
Phase 4 Campagne de mesures géophysiques comprenant la réalisation des tomographies 2D et 3D de résistivité, sur les anciennes décharges Nord et Sud	66 000
Total HT	210 000
Part BRGM (€ HT) – 20%	42 000
Part AMP (€ HT) – 80%	168 000
TVA AMP (20 %)	33 600
Montant AMP TTC EN €	201 600

Ce document reste la propriété du BRGM et ne saurait être utilisé en dehors du cadre contractuel pour lequel il a été rédigé.

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de publication en ligne : 14/10/2021

OBJET : Environnement, cadre de vie, développement durable, déchets et cycle de l'eau - Collecte et traitement des déchets - Approbation d'une convention pluriannuelle de recherche et développement avec le BRGM pour améliorer la connaissance des circulations d'eaux souterraines sur l'Installation de Stockage des Déchets non Dangereux de l'Arbois

Vote sur le rapport

Inscrits	58
Votants	52
Abstentions	0
Blancs et nuls	0
Suffrages exprimés	52
Majorité absolue	27
Pour	52
Contre	0
Ne prennent pas part au vote	0

Etai(en)t présent(s) et ont voté contre :

Néant

Etai(en)t excusé(s) et ont voté contre :

Néant

Etai(en)t présent(s) et se sont abstenus :

Néant

Etai(en)t excusé(s) et se sont abstenus :

Néant

Après en avoir délibéré, le Conseil de Territoire adopte à l'unanimité le rapport ci-joint et le transforme en délibération.

Ont signé le Président et les membres du Conseil de Territoire présents
Maryse JOISSAINS MASINI

Signé, le 13 OCT. 2021

Accusé de réception en préfecture
013-200054807-20210930-2021_CT2_414-DE
Date de télétransmission : 14/10/2021
Date de réception préfecture : 14/10/2021