



Appui à la Police de l'Eau

Projet Soyuz – Avis sur l'impact de la réalisation du carneau sur le fonctionnement hydrogéologique de la Savane de Malmanoury

BRGM/RP-53444-FR

novembre 2004



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document public

Appui à la Police de l'Eau

Projet Soyuz – Avis sur l'impact de la réalisation du carneau sur le fonctionnement hydrogéologique de la Savane de Malmanoury

BRGM/RP-53444-FR
Novembre 2004

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2004 PSP04GUY01

Ph. Weng

Mots clés : aquifère, Guyane, hydrogéologie, impact, rabattement

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Weng, Ph., (2004) – Appui à la Police de l'Eau. Projet Soyuz - Avis sur l'impact de la réalisation du carneau sur le fonctionnement hydrogéologique de la Savane de Malmanoury. Rapport BRGM RP-53444-FR, 14 p., 1 ann.

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

1 RÉFÉRENCES

Cette note fait suite à une demande d'appui à la police de l'eau émanant de la Direction de l'Agriculture et des Forêts (DAF) de Guyane (5249/DAF/SEF/NR/oa) du 7 octobre 2004. En réponse, la proposition du BRGM a été faite et transmise le 8 octobre 2004. La DAF de Guyane a approuvé cette proposition le 13 octobre 2004.

2 CONTEXTE

Dans le cadre de sa mission d'appui aux services en charge de l'application des règles de Police de l'Eau, le brgm a été sollicité par la DAF de Guyane afin de donner un avis sur l'impact hydrogéologique de la réalisation d'un carneau sur le fonctionnement hydrogéologique de la savane de Malmanoury. La réalisation de ce carneau fait partie intégrante du projet Soyuz, qui sera situé à environ 27 km au Nord-Ouest de Kourou.

Cet avis est fondé sur les données présentées dans le « Dossier de demande d'autorisation visé par l'article 2 du décret N°93-742 du 29 mars 1993, Projet Soyuz » rédigé par le CNES en Juin 2004 et présenté sous la référence CGS-ES-SSS-7929-CNES, complété de modélisations hydrodynamiques réalisées à l'aide du code de calcul MARTHE du BRGM. La rédaction de cette note a fait l'objet d'échanges avec un représentant de la DAF, lors d'une visite de terrain et d'une réunion de travail le 28 octobre dernier.

3 LOCALISATION ET DESCRIPTION DU PROJET GLOBAL

Les installations du projet Soyuz seront implantées sur le terrain du Centre Spatial Guyanais (CSG), au Nord/Nord-Ouest de la crique Malmanoury, entre la route de l'Espace et le cordon littoral. L'ensemble du projet Soyuz sera édifié sur une zone basse et plane, d'altitude proche de +3 mNGG, située entre la route de l'espace, la crique Malmanoury, et la roche Dégonde. La zone du projet Soyuz sera située au Nord des Savanes de Malmanoury et au Sud des Pripris Dégonde et Pripris Balata (commune de Sinnamary)

L'emprise au sol du projet sera d'environ 130 ha, comprise entre les longitudes 296 133 m et 297 012 m et les latitudes 585 207 m et 586 684 m (coordonnées Lambert)

4 DESCRIPTION DU FUTUR CARNEAU

Le carneau (site d'un banc d'essai des moteurs de fusée) sera creusé dans la partie Nord du futur site Soyuz. Le pétitionnaire prévoit une **excavation carrée d'environ 140 m de côté et d'un maximum de 24 m de profondeur**, soit jusqu'à la cote -21 m NGG environ (la forme finale du carneau n'est pas totalement arrêtée à ce jour). Les parois du carneau seront inclinées de 15° à 45°, la partie la plus profonde du carneau sera donc un rectangle d'environ 20 m par 30 m.

Durant la phase de travaux, le pétitionnaire prévoit une mise hors d'eau du chantier par une **évacuation des eaux de précipitations (directes et ruisselantes) ainsi que des eaux souterraines** qui se déverseront dans le carneau suite à la mise à nu de terrains potentiellement aquifères. Cette évacuation sera réalisée à l'aide d'une **pompe dont le débit maximum sera de 84 m³/min**, et les eaux évacuées seront rejetées dans une petite crique située à proximité du site.

Après la phase de travaux concernant le carneau *stricto sensu*, et dans le cadre de mesures d'atténuations, il est prévu de créer, autour du carneau, un coffrage permettant d'isoler l'ouvrage des eaux de vidange des aquifères potentiellement contenus dans les formations superficielles. Cet équipement devrait être constitué **d'une paroi mince en béton, ancré dans le rocher sain sur toute la hauteur des terrains meubles** dont l'épaisseur varie entre 5 et 15 m au droit du projet (cf. dossier du pétitionnaire page 22/179). La paroi serait implantée à 50 m environ en périphérie du carneau et formerait ainsi un carré de 240 m de coté.

Les informations décrites ci-dessus sont celles issues de l'analyse du dossier du pétitionnaire (voir notamment chap. 7.4, page 90/179 du dossier du pétitionnaire), qui laissent à penser que **le carneau sera creusé avant la mise en place de l'enceinte étanche**. Un échange téléphonique (04/11/2004) avec le pétitionnaire ne m'a pas permis de lever le doute sur la programmation des différentes phases de travaux. Ainsi, **sous réserve d'avoir bien compris les éléments exposés dans le dossier du pétitionnaire**, la suite de mon analyse portera sur les impacts attendus en phase de « creusement du carneau » (impacts temporaires) puis en phase « d'atténuation des impacts pour les eaux souterraines » (impacts permanents).

5 CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE ATTENDU

Les données synthétisées ci-après sont issues, pour la grande majorité d'entre elles, du rapport du pétitionnaire. Ils sont complétés si besoin par des éléments de connaissance du BRGM quant au fonctionnement hydrogéologique de ces aquifères.

5.1 Géologie (cf. dossier du pétitionnaire pages 31 et 32/179)

Les données géologiques sont issues de la bibliographie (cartes géologiques du BRGM) et de sondages géologiques et géotechniques réalisés par la société Fugro au second semestre 2003.

La coupe type retenue au niveau du site Soyuz est la suivante :

- Terre végétale ;
- Argile bariolée rouge et grise ou sables argileux (pour les zones les plus au Sud) ;
- Argile silteuse, sableuse à graveleuse jaune à grise ;
- Couches d'altération du Granite (argiles sableuses verdâtres, argiles sableuses ocre à jaunâtre, rocher altéré et blocs) ;
- Granite sain.

Il n'est pas précisé quelle peut être l'épaisseur des différentes couches, cependant les sondages réalisés par la société Fugro permettent d'avancer que, sur la future zone de lancement et du carneau, l'épaisseur des terrains sédimentaires varie entre 2.80 m et 19.60 m. De plus, sur le site du banc d'essai des propulseurs à poudre destiné au programme Ariane 5 (BEAP, situé à une dizaine de kilomètres du site Soyuz), l'épaisseur de la zone de socle altéré était de 3 à 5 m.

5.2 Hydrogéologie (cf. dossier du pétitionnaire pages 34 et 36/179)

Dans le secteur du futur site Soyuz, **très peu de données concernant les aquifères**, leur délimitation et leurs caractéristiques hydrodynamiques (conductivités hydrauliques, emmagasinement, niveaux piézométriques etc) sont disponibles. Les données présentées par le pétitionnaire sont plutôt des généralités concernant les aquifères rencontrés en domaine guyanais littoral.

Ainsi, dans un rayon de 100 km autour du site Soyuz, quatre types d'aquifères sont susceptibles d'être présents :

les sables superficiels : d'une perméabilité de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-5} m/s, et d'épaisseur de l'ordre de 6 à 7 m maximum. La surface piézométrique de cet aquifère est située à environ 1 à 2 m sous la surface du sol en saison sèche et présente un battement saisonnier de l'ordre de 1 à 2 m ;

les formations détritiques de base : leur perméabilité peut être de 10^{-2} à 10^{-3} m/s et leur épaisseur peut être de 3 m au maximum (cette formation n'a pas été reconnue par les sondages géotechniques sur le site) ;

les formations d'altération du socle : elles peuvent présenter des valeurs de perméabilité élevées, de l'ordre de 10^{-3} m/s dans la partie la plus perméable des altérites. Leur épaisseur n'est pas connue sur le site Soyuz, mais est de l'ordre de 3 à 5 m sur le BEAP ;

les formations de socle : ce type d'aquifère présente des perméabilités de fractures (et non de milieu poreux) dont quelques mesures ont été réalisées sur le site du BEAP. Sur 39 tests réalisés, 5 ont présenté des perméabilités comprises entre 10^{-4} et $2 \cdot 10^{-7}$ m/s.

Sur la base de cette description et des données issues des mesures géologiques et géotechniques, le **pétitionnaire présente un modèle hydrogéologique du site en deux couches**, l'une concernant un aquifère superficiel issu des formations sédimentaires, l'autre concernant un aquifère plus profond, potentiellement présent dans la partie altérée du socle granitique. **Ce modèle conceptuel est judicieux** car les variations de faciès des dépôts sédimentaires, la discontinuité des lentilles sableuses et argileuses susceptibles d'être présentes sur ce site rendent difficile l'étude de trois ou quatre niveaux aquifères distincts (qui auraient chacun leurs niveaux piézométriques, leurs sens de circulation, leur gradients de charge et leurs conductivités hydrauliques).

Pour la partie superficielle, le pétitionnaire estime qu'il est difficile d'identifier un seul aquifère continu qui recouperait toutes les formations superficielles en présence. L'aquifère superficiel (libre) serait constitué d'un empilement de petits aquifères discontinus, contenus dans les terrains les plus sableux (matrice à dominante argilo-silteuse). **Les écoulements y seraient globalement orientés vers le Nord** (soit vers l'océan) et localement vers les zones topographiques basses.

Sur la base de données issues de sondages réalisés par la société Fugro, les niveaux piézométriques en période de hautes eaux seraient de -1 m environ par rapport au terrain naturel (dans la zone Nord). En période de basses eaux, ces niveaux se situeraient à des profondeurs de -2 m à -4 m par rapport au terrain naturel. Le battement saisonnier de la nappe de surface pourrait ainsi être de l'ordre de 3 m au maximum. Lors de ma visite de terrain le 28 octobre 2004, j'ai pu constater un niveau de nappe situé à environ 1.50 m de profondeur, dans un trou creusé à la pelleuse (à environ 800 m au Nord de la route de l'espace, au niveau des travaux actuels de décapage des horizons supérieurs du site).

Pour la partie aquifère plus profonde située dans les horizons d'altération du socle granitique, le pétitionnaire avance que celui-ci peut être plus productif que l'aquifère superficiel, et que cette formation peut être alimentée à la fois par drainance descendante et par les écoulements latéraux. Sur le site de Soyuz, la zone du futur carneau ne serait pas une zone d'accumulation (des eaux issues de l'aquifère) mais une zone amont, donc traversée par les écoulements souterrains. Il n'est cependant donné aucune précision quant à des directions d'écoulement dans cet aquifère. Il est aussi précisé que cet aquifère peut être captif, ce qui est souvent le cas dans ce type de configuration hydrogéologique. Par analogie avec le site du BEAP, le socle sain serait, quant à lui, quasi imperméable.

6 ANALYSE DES IMPACTS SUR LES EAUX SOUTERRAINES PAR LE PÉTITIONNAIRE (CF. DOSSIER DU PÉTITIONNAIRE PAGES 81 ET 82/179) / MESURES D'ATTÉNUATION PROPOSÉES

6.1 Impacts attendus pour les eaux souterraines

Trois types d'impacts concernant les eaux souterraines sont évoqués par le pétitionnaire, ils sont liés :

- à la mise à nu d'aquifère lors du creusement des purges et du carneau ;
- à la mise en place de remblais au tassement des terrains sous les infrastructures ;
- à la potentialité de pollution par déversement accidentel d'hydrocarbures.

Pour l'aquifère superficiel :

Durant la phase de creusement du carneau, **le pétitionnaire prévoit qu'il est impossible d'évaluer exactement les débits** (s'écoulant dans le carneau) en raison de l'absence de données (étendue de l'aquifère, perméabilité, piézométrie...). Cependant, le pétitionnaire indique que les **aquifères contenus dans les formations superficielles vont se vider presque totalement en raison de leur réserves limitées**. Cependant, le pétitionnaire indique aussi que, suite au creusement du carneau, **« le rayon d'action (cône de rabattement) dans ces aquifères sera vraisemblablement limité (<50 m) »**.

Il m'est difficile de comprendre le sens de cette assertion, ni même le fondement de ces propos. **N'y a-t-il pas contradiction à évoquer d'une part la vidange presque totale des aquifères superficiels et, d'autre part, à avancer que le rayon d'action dans ces aquifères sera inférieur à 50 m ?**

Si des données complémentaires ou des travaux hydrogéologiques complémentaires permettant d'étayer ces propos existent, il conviendrait de les verser au dossier du pétitionnaire. En leur absence et en l'état actuel du dossier, des données quantifiées concernant l'ampleur d'un cône de rabattement ne peuvent être évoquées.

Pour l'aquifère plus profond contenu dans les altérites :

Certaines données quantitatives ont visiblement été acquises sur le site et utilisées pour les besoins de l'étude, mais **ne sont pas fournies dans le dossier** du pétitionnaire. Ces données permettent au pétitionnaire d'avancer que la nappe des altérites est captive, et que sa perméabilité est de 10^{-3} m/s. Ainsi, sur la base des données acquises par la société Fugro, en tenant compte d'une erreur d'un facteur 10 sur le calcul des perméabilités, les débits d'eau souterraine captés par le carneau pourraient être de 7.5 m³/min à 75 m³/min. Cette dernière valeur a, entre autres, conduit le pétitionnaire à dimensionner la pompe de refoulement du carneau.

6.2 Mesures d'atténuation proposées

Pour ce qui concerne les eaux souterraines, les mesures d'atténuation et d'évaluation des impacts résiduels proposés par le pétitionnaire sont les suivantes :

- des remblais seront mis en place rapidement dans les tranchées destinées aux purges, afin de réduire les débits collectés par celles-ci ;
- il est prévu de construire un mur mince en béton, ancré dans la roche saine et sur la hauteur des formations sus-jacentes (5 m environ), sur tout le pourtour du carneau. Ce mur permettra d'éviter la vidange des eaux dans l'excavation. Les niveaux piézométriques et donc l'état des réserves potentielles ne seront alors plus affectés par le rayon d'action du carneau ;
- aucun stockage d'hydrocarbures ne sera possible dans un rayon de 35 m des purges et du carneau ;
- un dispositif de suivi de la nappe (piézomètres) sera maintenu afin de contrôler les niveaux piézométriques. Un pompage d'essai sera réalisé pour définir les caractéristiques de l'aquifère périphérique au socle selon les modalités de l'art.9 de l'arrêté du 11/09/2003.

Le pétitionnaire conclut que l'impact résiduel sur les eaux souterraines sera donc faible, direct et temporaire.

7 REMARQUES ET PROPOSITIONS D' ACTIONS DANS LE CADRE DE L' APPUI AUX SERVICES DE L'ÉTAT EN CHARGE DE LA POLICE DE L'EAU

Pour ce qui concerne le creusement du carneau et compte tenu des éléments présentés dans le dossier du pétitionnaire, deux types d'impacts seront très probablement rencontrés : **(i) un impact temporaire durant la phase de travaux liés au creusement du carneau s.s. qui peut conduire à une forte chute du niveau piézométrique**, notamment dans l'aquifère supérieur, jusqu'à une distance non quantifiée du carneau ; et **(ii) un impact permanent lié à la mise en place de la mesure d'atténuation (mise en place d'une paroi en béton étanche autour du carneau sur toute l'épaisseur des terrains sédimentaires) qui conduira la modification des directions d'écoulements souterrains** et à une augmentation du niveau de nappe en amont hydraulique de l'enceinte du carneau ainsi qu'à une diminution du niveau de nappe en aval hydraulique de celle-ci.

Ces deux types d'impacts, **s'ils sont a priori prévisibles qualitativement, ne sont cependant pas quantifiables** à partir du dossier fourni par le pétitionnaire. Aucune donnée hydrogéologique (niveaux piézométriques raccordés au NGG, conductivités hydrauliques, emmagasinement ou stockage spécifique) propre au futur site Soyuz n'est fournie par le pétitionnaire.

Dans le cadre des mesures d'atténuation, **il est proposé de mettre en place un dispositif de suivi des niveaux piézométriques ainsi qu'un pompage d'essai destiné à définir les caractéristiques de l'aquifère périphérique au socle**. A mon sens, **il eut été préférable de mettre en place ce type d'équipement piézométrique, à la fois dans l'aquifère des formations sédimentaires supérieures et dans l'aquifère des altérites sous-jacentes, en préalable à l'étude d'impact**. Cela aurait permis d'appréhender les sens de circulation des eaux souterraines, les gradients de charge hydraulique, ainsi que les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères. **Ces éléments auraient ainsi pu permettre de quantifier l'impact** (rabattement, rayon d'influence, effets transitoires etc) du creusement du carneau et de la mise en place de la paroi étanche destinée à éviter la vidange des aquifères supérieurs dans le carneau. **Ces éléments préalables auraient aussi pu permettre de préciser davantage le volume d'eau qui s'écoulera dans le carneau**.

En l'absence de données hydrodynamiques propres au site de Soyuz, le pétitionnaire propose tout de même des gammes de valeurs de conductivités hydrauliques qui devraient être rencontrées sur le site (10^{-3} à 10^{-5} m/s pour l'aquifère superficiel par exemple), ainsi que les épaisseurs attendues des différentes formations géologiques. **Ces données, ainsi que le modèle conceptuel de sous-sol présenté dans le dossier du pétitionnaire aurait pu être utilisé relativement facilement pour servir de base à une modélisation hydrodynamique** permettant d'appréhender, de manière quantitative, les impacts, sur les eaux souterraines, des travaux projetés.

7.1 Impacts transitoires durant la phase de travaux (creusement du carneau), apport d'une modélisation en régime transitoire :

Afin de tester quels peuvent être le rayon d'influence et les rabattements dans l'aquifère supérieur, j'ai réalisé une modélisation hydrodynamique conceptuelle, simulant la vidange progressive d'un aquifère libre sous différentes conditions de conductivité hydrauliques et d'emménagement libre.

Les conditions de modélisation proposées sont les suivantes :

- un maillage régulier 10 m*10 m sur une surface totale de 3000 m par 3000 m dont le centre serait la position du futur carneau ;
- une topographie plane d'altitude +3 mNGG, et un substratum à -7 m, qui pourrait correspondre à la base des formations aquifères superficielles (un aquifère d'épaisseur de l'ordre de 10 m) ;
- des conditions aux limites Nord et Sud en charge hydraulique imposée, avec un gradient de 0.67 pour mille, les écoulements se faisant globalement du Sud vers le Nord (simulant des écoulements de la route de l'espace vers l'océan) ;
- une mise à nu de l'aquifère jusqu'à sa base (-7 m NGG) sur toute la surface du carneau qui correspond alors à une charge imposée ;
- un suivi dans le temps de l'évolution de la distribution des charges hydrauliques, 10 pas de temps de 10 jours chacun ont été choisis pour la modélisation en régime transitoire (soit une simulation de l'évolution des niveaux piézométriques durant 100 jours).

Les simulations ont été réalisées en régime transitoire, en considérant que le milieu souterrain est homogène et isotrope, à défaut de données plus pertinentes ce modèle conceptuel permet de tester la sensibilité d'un aquifère à une vidange brutale.

Quatre simulations ont été réalisées sous différentes conditions de conductivités hydrauliques (K) et d'emménagement libre (Eli) selon les couples suivants ($K=10^{-3}$ m/s ; Eli=0.2) ; ($K=10^{-3}$ m/s ; Eli=0.1) ; ($K=10^{-5}$ m/s ; Eli=0.2) et ($K=10^{-5}$ m/s ; Eli=0.1).

Ainsi, la gamme de conductivités hydrauliques fournies par le pétitionnaire pour les aquifères supérieurs a été testée (10^{-3} à 10^{-5} m/s). Les emménagements libres testés sont ceux que l'on peut trouver pour ce type de milieu silto-sableux et correspondent à 10 à 20% de porosité efficace, étant entendu que la porosité efficace la plus faible est la plus préjudiciable en termes de rabattement de nappe.

Sur l'ensemble des simulations réalisées, seules sont présentés ici les résultats concernant les impacts les plus forts ($K=10^{-3}$ m/s ; Eli=0.1) et les moins forts ($K=10^{-5}$ m/s ; Eli=0.2) sur les rabattements (voir Tableau 1)

Tableau 1 : Synthèse des résultats de la modélisation en régime transitoire

	Impact très fort	Impact faible
Pas de temps	K=10⁻³ m/s ; Eli=0.1	K=10⁻⁵ m/s ; Eli=0.2
N°1=10 jours	Rabattement >1 m dans un rayon de 200 m autour du carneau Rabattement >2 m dans un rayon de 50 m autour du carneau	Négligeable
N°2=50 jours	Rabattement >1 m dans un rayon de 400 m autour du carneau Rabattement >2 m dans un rayon de 200 m autour du carneau	Rabattement >1 m dans un rayon de 15 à 20 m autour du carneau
N°3=100 jours	Rabattement >1 m dans un rayon de 600 m autour du carneau Rabattement >2 m dans un rayon de 250 m autour du carneau	Rabattement >1 m dans un rayon de 40 à 50 m autour du carneau

J'attire ici l'attention des lecteurs de cette note sur le fait qu'il peut paraître paradoxal de générer un rayon d'impact plus important dans des terrains présentant des conductivités hydrauliques plus importantes. J'insiste cependant sur le fait que je n'ai pas, ici, simulé de pompage au niveau du carneau, mais simplement la vidange d'un aquifère suite à sa mise à nu, générant ainsi un potentiel imposé proche de la base de cet aquifère. L'équation qui régit la réorganisation des charges hydrauliques de manière cylindrique autour du carneau est celle de la diffusivité décrite ci-après pour un cas cylindrique :

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{K}{S} \frac{\partial^2 H}{\partial r^2}$$

avec H : charge hydraulique [L]

K : conductivité hydraulique [L.T⁻¹]

S : emmagasinement (libre ici) [-]

r : distance à la perturbation (au carneau dans notre cas) [L]

On comprend donc que, toutes choses étant égales par ailleurs, le facteur clé pour appréhender le rabattement est le rapport K/S, 200 fois plus important dans le cas « Impact très fort » que dans le cas « Impact faible ».

Les simulations réalisées ici font apparaître une très large gamme d'impact sur l'aquifère superficiel (en termes de rabattement) que l'on pourrait beaucoup mieux contraindre en se donnant les moyens d'acquérir les paramètres hydrodynamiques de cette nappe en certains points du futur site Soyuz.

- **Si les terrains présentent des conductivités hydrauliques proches de 10^{-5} m/s, l'impact sera très limité à quelques dizaines de mètres autour du carneau, et affectera une surface de même taille que celle contenue à l'intérieur de l'enceinte étanche ;**
- **dans le cas où les terrains seraient de nature plus perméable (10^{-3} m/s), l'impact pourrait atteindre quelques centaines de mètres autour du carneau et pourrait conduire à une forte baisse du niveau piézométrique autour de celui-ci. Il est évident que, dans ces conditions, l'écosystème végétal de la savane environnante pourrait s'en trouver affecté.**

Les différentes modélisations étant conceptuelles, le pas de temps choisi (10 jours) et le nombre de pas de temps (10) sont, bien évidemment, **destinés à illustrer les rabattements potentiels sous différents conditions hydrodynamiques.**

Une information plus précise sur le temps estimé entre le creusement du carneau et la mise en place de la mesure d'atténuation (enceinte carrée de 240 m de coté, étanche jusqu'à la roche saine) serait souhaitable pour affiner la quantification de l'impact sur les eaux souterraines.

7.2 Impacts permanent suite à la mise en place de l'enceinte étanche, apport d'une modélisation en régime permanent

Faute de données quantifiées sur le sous-sol du futur site Soyuz, je propose un modèle conceptuel de nappe, et de tester sur ce modèle l'impact d'une étanchéification sur les sens d'écoulements et les niveaux piézométriques environnants.

Les conditions de modélisation proposées ici sont les suivantes :

- un maillage régulier 10 m*10 m sur une surface totale de 3000 m par 3000 m dont le centre serait la position du futur carneau ;
- une topographie plane d'altitude +3 mNGG, et un substratum à -21 m, qui doit constituer la limite « basse » pour le socle sain imperméable ;
- des conditions aux limites Nord et Sud en charge hydraulique imposée, avec un gradient de 0.67 pour mille, les écoulements se faisant globalement du Sud vers le Nord (simulant des écoulements de la route de l'espace vers l'océan) ;
- une étanchéification sur une surface carrée de 240 m de coté, au centre du maillage ;
- la modélisation est réalisée en régime permanent.

L'objectif de mon intervention dans le cadre de l'Appui à la Police de l'eau n'étant pas de fournir une modélisation très détaillée de ce secteur, prenant en compte les différentes couches aquifères etc..., **j'ai construit ce modèle conceptuel sous forme d'une seule couche pour laquelle j'ai testé différentes conductivités hydrauliques (10^{-3} à 10^{-7} m/s), qui pourraient être les conductivités hydrauliques équivalentes d'un modèle multi-couches.**

Les résultats obtenus mettent en évidence différents points :

- **il y a très peu de différences en termes d'impacts sur les niveaux de nappe pour les différentes conductivités hydrauliques simulées ;**
- **après étanchéification, les écoulements souterrains vont contourner l'enceinte du carneau et conduire à une augmentation du niveau de nappe en amont hydraulique de celle-ci et à une baisse du niveau de nappe en aval de celle-ci ;**
- **les variations de niveaux de nappe induites par cette étanchéification devraient être minimales (inférieurs à 15 à 20 cm).**

En termes de modification des niveaux aquifères par rapport à l'état initial du site, l'impact de la mise en place de l'enceinte étanche sera donc permanent mais négligeable.

8 CONCLUSIONS

A la lecture du rapport CSG-ES-SSS-7929-CNES relatif au projet Soyuz, et sous réserve d'avoir bien compris le déroulement des différents travaux projetés, l'impact des travaux de mise en place du carneau sur les eaux souterraines seront de deux types **(i) transitoire durant la phase de creusement du carneau, négligeable ou très important selon les conductivités hydrauliques des aquifères ; (ii) permanent mais négligeable lors de la mise en place de la mesure d'atténuation.**

Afin de réduire l'impact du creusement du carneau sur les niveaux aquifères environnants plusieurs solutions sont envisageables dont :

- **inverser l'ordre des opérations en mettant en place l'enceinte étanche au préalable au creusement du carneau.** J'ignore la faisabilité de cette opération car le dynamitage de la zone de socle sain (durant le creusement) pourrait alors endommager la paroi étanche ;
- **réduire au maximum le temps entre le creusement du carneau et la mise en place de la paroi étanche.**

Quelle que soit la manière dont seront conduits les travaux, **la mesure d'atténuation proposée par le pétitionnaire et qui consiste à mettre en place cette paroi étanche autour du carneau est indispensable pour éviter la vidange des aquifères superficiels.** La mise en place de cette paroi étanche n'aura qu'un impact négligeable sur les niveaux aquifères à proximité du carneau.

La mise en place des piézomètres (chap. 7.4.5 ; page 90/179 du dossier du pétitionnaire) **devrait être réalisée bien avant le début des travaux** de manière à mieux connaître (i) les directions d'écoulements souterrains ; (ii) les conductivités hydrauliques du sous-sol ; (iii) les variations latérales de faciès dans l'aquifère superficiel.

Ces éléments permettraient au pétitionnaire de quantifier précisément l'impact attendu en termes de rabattement lors du creusement du carneau ainsi que lors du creusement des différentes tranchées. De plus, **une augmentation de la connaissance des caractéristiques hydrodynamiques** préalablement au début des travaux **permettrait au pétitionnaire de mieux dimensionner le volume d'eau à évacuer des tranchées et du carneau.**

Le dernier point sur lequel un complément pourrait être apporté concerne celui de la forte variabilité des terrains sédimentaires. Les sondages géotechniques réalisés en 2003 ont apporté de premiers éléments quant à la variabilité de faciès des terrains superficiels, mais d'autres outils pourraient être utilisés pour comprendre avec précision la structure 3D du sous-sol dans la zone du futur carneau. **Il pourrait s'agir de panneaux électriques 2D dans différentes directions de l'espace, ainsi que de mesures électromagnétiques (EM31 par exemple)** qui permettraient d'affiner la connaissance de la profondeur du socle sain sur la zone de travaux et de mieux contraindre, dans les trois directions de l'espace, la qualité des terrains sédimentaires (sables, silts, argiles).

La **connaissance précise de la structure du sous-sol préalablement au creusement du carneau** (dont la structure finale n'est pas encore arrêtée) permettrait de **mieux appréhender la phase de travaux et de réduire les risques de complication de ceux-ci.**

Philippe WENG
Hydrogéologue – Chef de projet

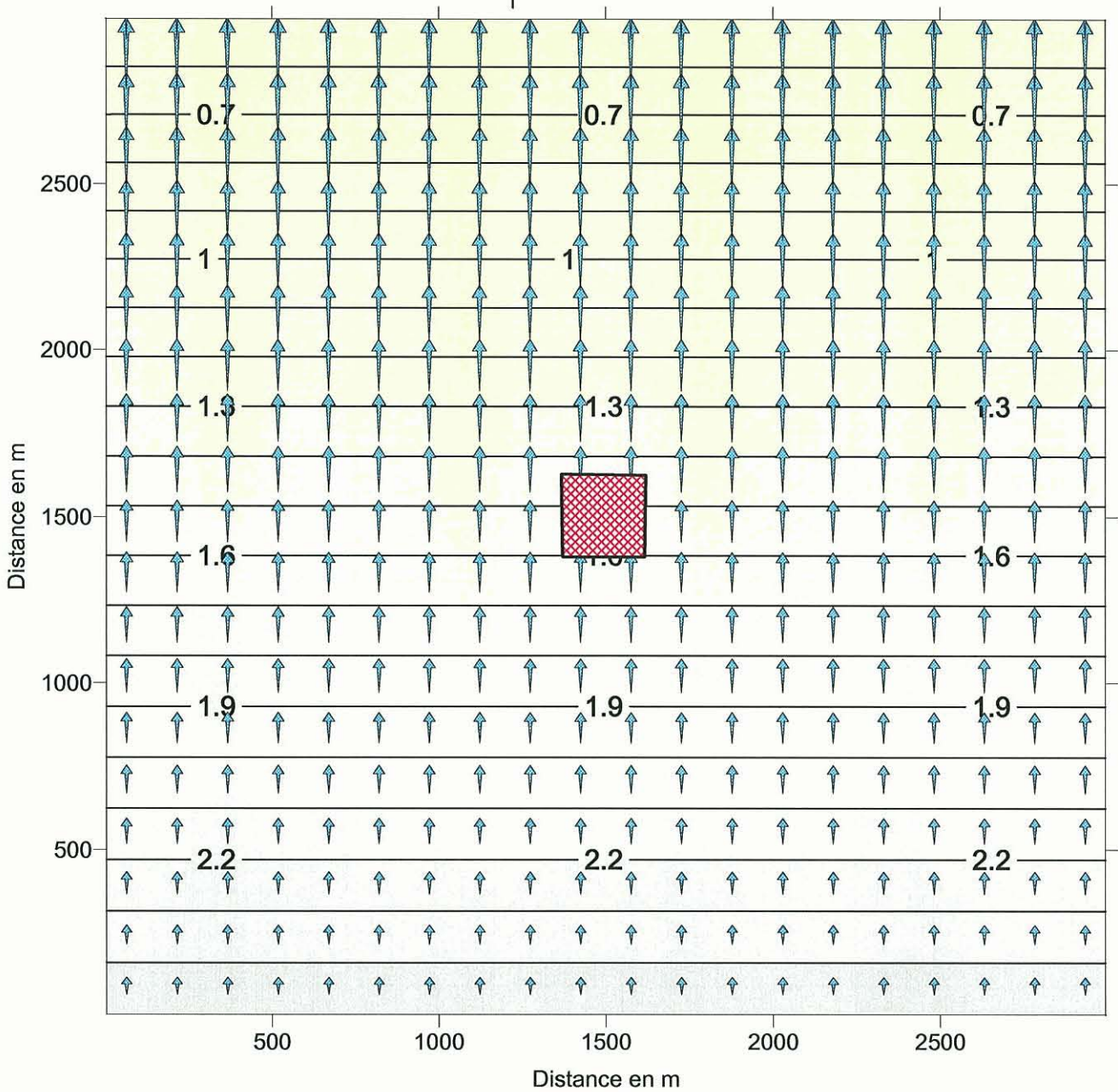
Annexe au rapport RP-53444-FR

Planche photographique du site, travaux de décapage



Modélisation en régime permanent

↑
Vers l'océan

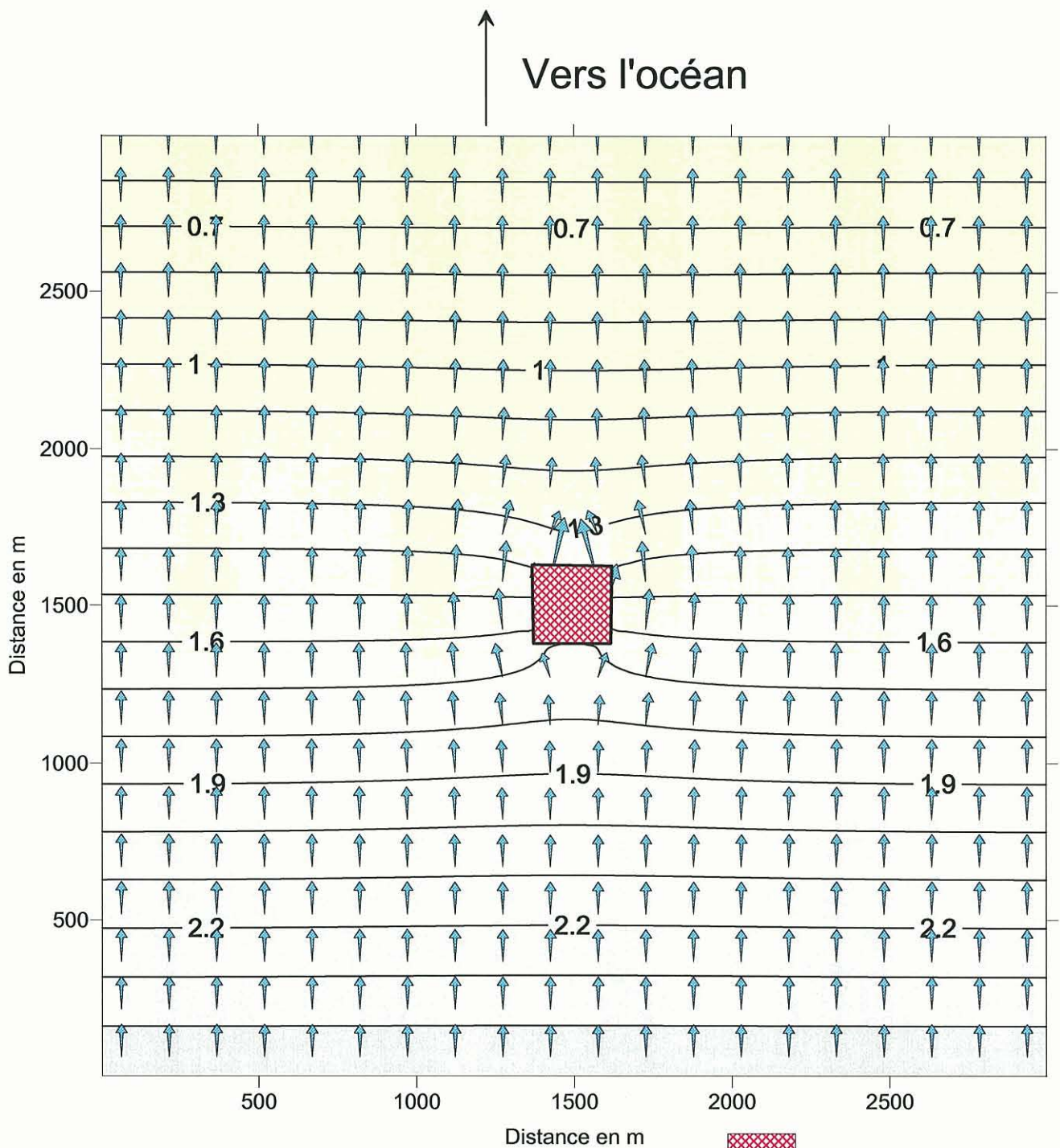


Modèle conceptuel d'écoulements avant mise en place de l'enceinte étanche

Gradient de charge hydraulique = 0.67 pour mille



= enceinte du futur carneau

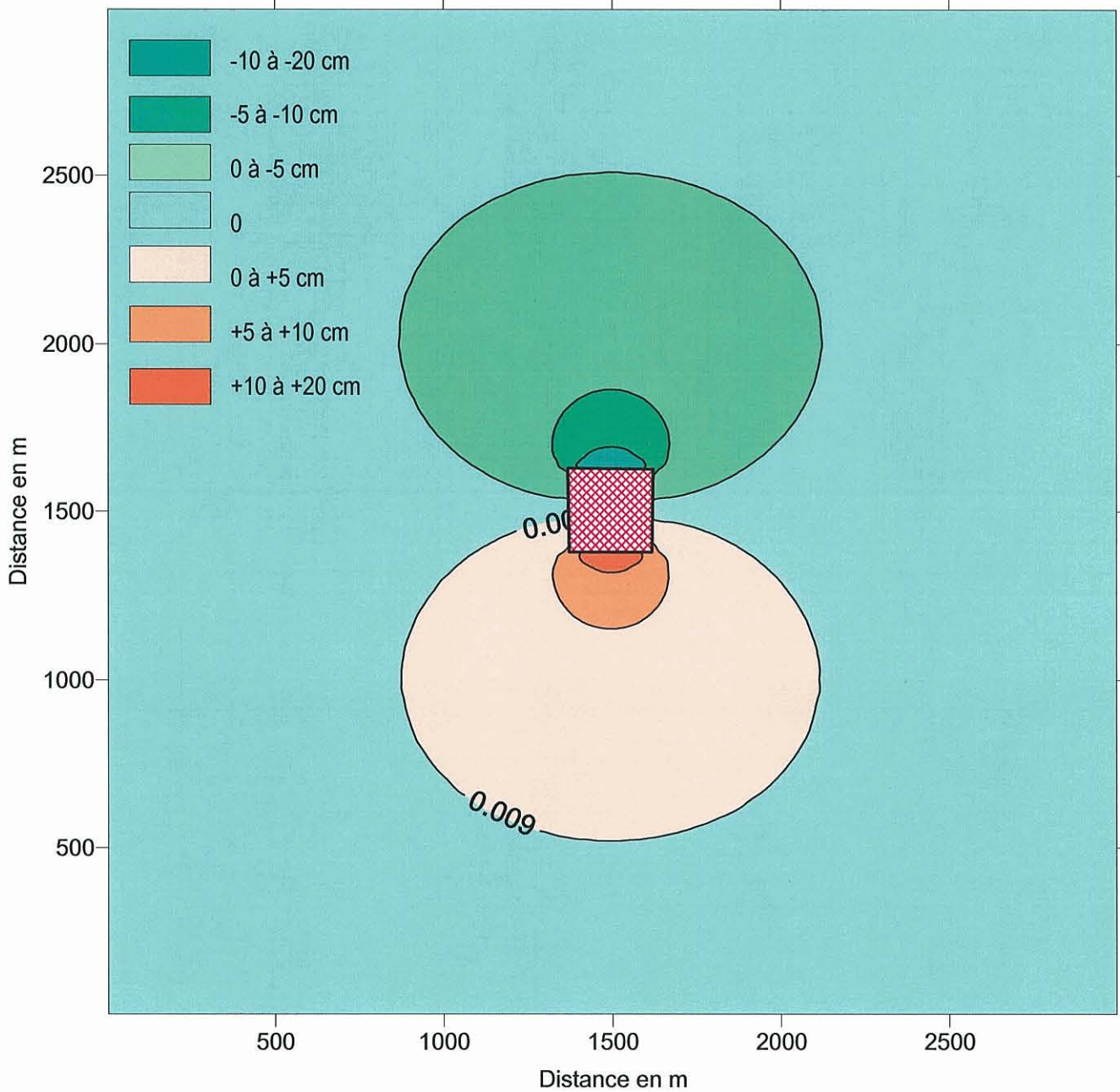


Résultats de simulation en régime permanent
 $K_{\text{terrains}} = 10^{-3} \text{ m/s}$
 Gradient de charge hydraulique = 0.67 pour mille

 = enceinte du carneau

On constate que la mise en place d'un élément imperméable entraîne une modification des lignes d'écoulement à proximité immédiate de la barrière étanche, les lignes d'écoulement contournent le centre du dispositif.

Vers l'océan

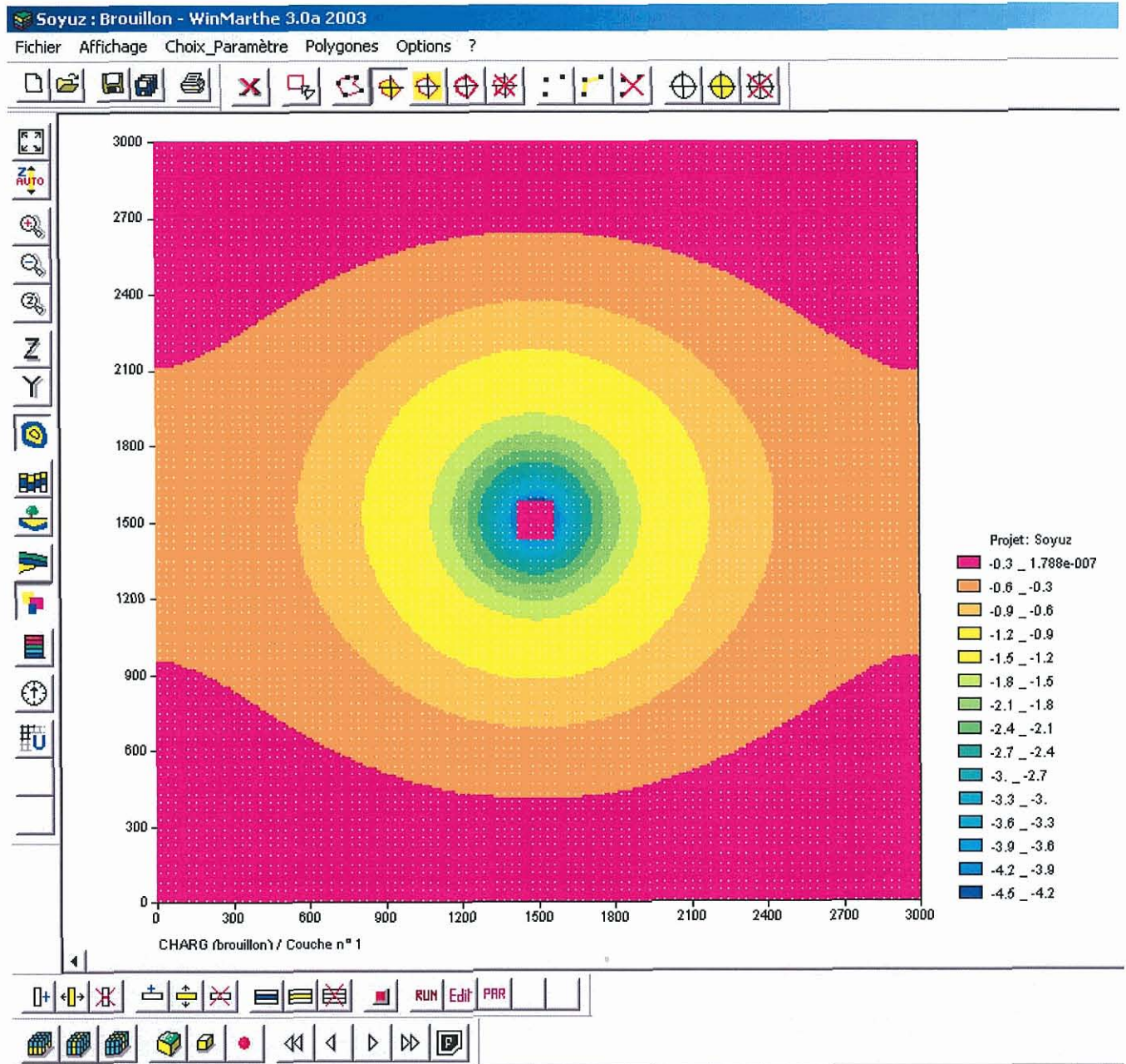


Simulation en régime permanent selon le scénario suivant:
K terrains = 10^{-3} m/s
Gradient de charge hydraulique = 0.67 pour mille

Modifications de la position de la nappe par rapport à la situation initiale, ces variations avant et après étanchéification de l'enceinte du carneau sont très faibles (maximum 20 cm) et affectent une zone très limitée.

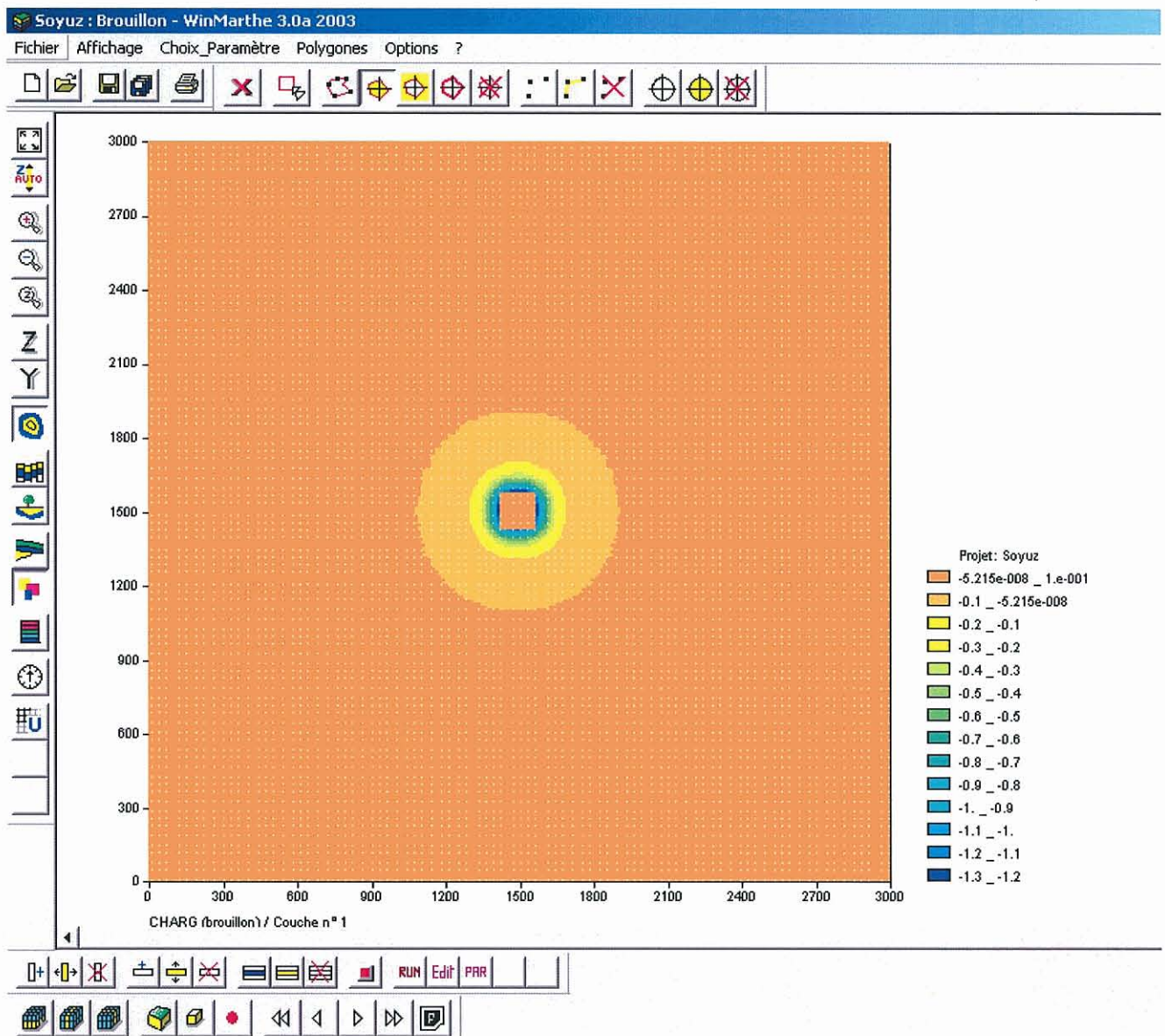
Modélisation en régime transitoire

Mise à nu et vidange de l'aquifère superficiel, baisse du niveau de la nappe après 100 jours de simulation. $K=10^{-3}$ m/s et $S=0.1$.



Modélisation en régime transitoire

Mise à nu et vidange de l'aquifère superficiel, baisse du niveau de la nappe après 100 jours de simulation. $K=10^{-5}$ m/s et $S=0.2$.





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Guyane
Domaine de Suzini, Route de Montabo
BP 552
97333 - Cayenne cedex 2 - France
Tél. : 05 94 30 06 24