



HAL
open science

Modélisation des écoulements de gaz dans le système taille/arrière-taille

Zbigniew Pokryszka, Christian Tauziède, Rémy Bouet, André Carrau,
Pierre-Marie Dupond

► **To cite this version:**

Zbigniew Pokryszka, Christian Tauziède, Rémy Bouet, André Carrau, Pierre-Marie Dupond. Modélisation des écoulements de gaz dans le système taille/arrière-taille. Journée technique CdF, Jun 1995, Hombourg-Haut, France. ineris-00971936

HAL Id: ineris-00971936

<https://ineris.hal.science/ineris-00971936>

Submitted on 3 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**MODELISATION DES ECOULEMENTS DES GAZ
DANS LE SYSTEME TAILLE/ARRIERE-TAILLE**

**Z. POKRYSZKA, C. TAUZIEDE, R. BOUET, A. CARRAU
INERIS**

**P.M. DUPOND
HBL - CCA**

1. OBJECTIFS ET PROGRAMME DE RECHERCHE

Le dégagement grisouteux reste toujours un des freins les plus importants de la production des tailles aux Houillères du Bassin de Lorraine, ceci malgré des débits d'air importants (30 à 40 m³/s) et un fort taux de captage (pouvant dans certains cas atteindre 70 %).

En effet, le système d'exploitation par longues tailles rabattantes foudroyées, le plus utilisé dans le Bassin, pose le problème particulier de la dilution du grisou dans la partie terminale de la taille et au carrefour de la taille avec la voie de retour.

On applique diverses méthodes afin de lutter contre ce phénomène et d'éviter l'existence de teneurs en CH₄ supérieures à la limite réglementaire dans l'atmosphère de chantiers.

Un groupe de méthodes a comme objectif principal de repousser ou maintenir le front de fortes teneurs en grisou dans l'arrière-taille et éviter la présence de celles-ci à proximité des équipements de taille (le système aspirant par exemple).

Ces moyens ne sont efficaces que dans certaines conditions favorables et ne sont donc pas universellement utilisables. Leur emploi est souvent limité soit par les conditions particulières d'exploitation, soit simplement par le fait que les dégagements de grisou sont trop importants.

D'autres méthodes consistent à capter une partie de grisou à la source avant qu'il n'atteigne l'atmosphère des chantiers.

Il existe plusieurs techniques et formes de captage. Il se donc pose un problème du choix d'une variante la plus adaptée et la plus efficace dans une configuration d'exploitation donnée ; ceci en termes de type, nombre et position d'ouvrages de captage, ainsi que de débits à appliquer sur chaque l'ouvrage.

L'autre phénomène qui perturbe l'avancement des chantiers est la combustion spontanée du charbon restant dans l'arrière-taille. Le moyen de lutte contre ce phénomène consiste en l'injection d'azote dans l'arrière-taille. Néanmoins, cette pratique reste relativement empirique en termes de choix des points d'injection comme des débits mis en oeuvre.

Il est évident que les phénomènes décrits ci-dessus et l'efficacité de moyens de la lutte contre ceux ci sont directement liés aux caractéristiques des écoulements de l'ensemble des gaz dans le système taille/arrière-taille (air, méthane, azote).

Diverses études expérimentales menées dans le passé ont permis de préciser de façon plus ou moins fiable et complète les échanges de grisou et d'air entre la taille et l'arrière-taille. Par contre, les écoulements gazeux dans l'arrière-taille proprement dite restent encore relativement peu appréhendés en termes de circuits comme de débits.

Pour cette raison, il est apparu nécessaire d'améliorer notre connaissance des circulations de gaz dans l'arrière-taille afin de pouvoir optimiser la mise en oeuvre des moyens existants de lutte contre le dégagement grisouteux et l'auto-échauffement du charbon, ainsi que de rechercher d'autres moyens éventuels.

Ainsi donc, une meilleure connaissance de ces circulations permettrait :

- par exemple de dimensionner de manière plus optimale les moyens de captage de grisou, afin d'en accroître encore l'efficacité et donc notamment de diminuer la part de grisou émise vers l'aérage et in fine au carrefour taille/voie de retour d'air,
- d'identifier les configurations géométriques d'exploitation les plus susceptibles d'éviter les hétérogénéités de grisou au carrefour taille-voie de retour,
- enfin, mieux combattre les combustions spontanées par la mise en oeuvre des injections d'azote plus efficaces car plus ciblées, donc finalement plus économiques.

Du fait que la mise en oeuvre des expérimentations directes dans l'arrière-taille est très difficile et très coûteuse (de par l'inaccessibilité de cette zone), il s'est avéré impossible de réaliser des mesures en nombre suffisant pour permettre de se faire une idée réaliste des écoulements dans l'arrière-taille.

Le choix à donc porté sur les techniques de modélisation des écoulements gazeux dans le milieu poreux, en sachant que l'utilisation de ces techniques nécessite un calage suffisant à partir de données expérimentales.

Un vaste projet de recherche cofinancé par CdF et la CECA a donc été entrepris par l'INERIS en 1990. Cette recherche comporte les trois volets suivants :

- la modélisation numérique sur ordinateur. Ce travail est réalisé au moyen de codes généraux résolvant les équations de mécanique des fluides (Computational Fluid Dynamics, ou CFD),
- la modélisation physique au moyen de maquettes à échelle réduite. Cette partie de recherche est réalisée à l'Institute of Occupational Medicine (IOM) à Edimbourg (Grande-Bretagne).

- des mesures dans les chantiers qui servent à fournir les données nécessaires pour le développement des modèles et à caler la modélisation tant physique que numérique.

Ces trois parties sont menées en parallèle et ce travail simultané permet une autre forme de calage ou validation des modèles par l'intercomparaison des résultats obtenus. De même, un échange des résultats entre les trois parties du projet rend plus facile la résolution des difficultés théoriques et techniques rencontrées au cours du développement des modèles, donc in fine accélère l'avancement des travaux de recherche.

2. MESURES DANS DES CHANTIERS

Afin de fournir des données réelles nécessaires pour la validation et le calage des modèles physiques développés, différentes expérimentations ont été entreprises dans les chantiers d'exploitation aux Houillères du Bassin de Lorraine.

Plutôt que d'effectuer des mesures ponctuelles dans l'arrière-taille, nous avons pris le parti de réaliser des expérimentations ayant pour objectif la caractérisation globale de l'arrière-taille du double point de vue des circuits empruntés par les mélanges gazeux et des temps de transit. On a utilisé à cet effet la technique bien connue du traçage gazeux.

Trois types d'essais ont été réalisés :

- des expérimentations dites de type 1 qui consistent à émettre le gaz traceur dans la taille à proximité de l'extrémité d'entrée d'air (en aval de la zone d'entrée d'air dans l'arrière-taille) et à prélever des échantillons d'air dans différentes sections de la taille et de la voie de retour. La mesure de la décroissance de la teneur en gaz traceur et de l'augmentation concomitante de la teneur en méthane permet d'identifier et de quantifier les flux de gaz (air et CH₄) sortant de l'arrière-taille vers l'atmosphère de la taille, surtout au droit de l'ancienne voie de retour et dans la partie terminale de la taille. Le principe de l'expérimentation de type 1 est montré à la figure 1.
- des expérimentations dites de type 2 qui consistent à émettre du gaz traceur dans la voie d'entrée d'air (loin de la taille) sous forme d'un créneau (un débit stable pendant un temps donné) et à suivre l'évolution de la concentration en gaz traceur dans la voie de retour d'air pour obtenir la réponse du système taille/arrière-taille (voir figure 2). La forme de la courbe de réponse caractérise les circulations d'air dans l'arrière-taille. Il est possible d'évaluer à partir de cette courbe la valeur du flux total d'air circulant dans l'arrière-taille ainsi que d'apprécier globalement le temps de transit le long de ce circuit.
- des expérimentations dites de type 3 qui ont pour but de qualifier et quantifier les circulations de gaz dans l'arrière-taille et en particulier de définir la cartographie des écoulements dans l'arrière-taille, ainsi que d'estimer des vitesses de ces écoulements. Le principe de l'expérimentation consiste à injecter du gaz traceur en un point situé dans le foudroyage près de la voie d'entrée d'air et à suivre le cheminement de ce gaz traceur dans l'arrière-taille et ses sorties vers la taille. La figure 3 présente les principes de cette expérimentation.

On a répété dans un même chantier des expérimentations d'un même type pour évaluer l'influence éventuelle de l'avancement de la taille, c'est-à-dire de la longueur de la zone foudroyée en arrière-taille sur les résultats. Par ailleurs, la réalisation d'expérimentations identiques dans des chantiers différents, et notamment avec des modes d'aéragé différents,

permet d'apprécier les différences fondamentales dans les écoulements qui se produisent en arrière-taille (Tauziède et al., 1994).

En même temps que des expérimentations au gaz traceur on a relevé des paramètres classiques d'exploitation des tailles étudiées tels que le débit total d'air, la teneur en méthane à l'entrée et dans le retour d'air, le débit de captage et la teneur en méthane dans le gaz capté, etc...

Jusqu'à ce jour, on a réalisé plus de 40 expérimentations dans divers chantiers. Les résultats de ces expérimentations ont été déjà en partie présentés (Tauziède et al., 1994). Ils apportent un nombre important d'informations pratiques sur les écoulements des gaz et les échanges entre la taille et l'arrière-taille.

Les résultats obtenus dans la taille Dora 1 Sud à l'U.E. Reumaux, qui a été choisie pour servir de calage à la modélisation numérique et à la modélisation physique sur la maquette à l'échelle au 1/70ème, sont synthétisés dans le tableau 1. Ces résultats constituent une base de données permettant de réaliser un calage des modèles développés.

3. PRINCIPES DE MODELISATION

Les phénomènes à décrire par la modélisation étant assez complexes, il a été décidé dans une première étape de simplifier les modèles développés.

Ainsi, les modèles prennent en compte la nature des écoulements dans la taille et l'arrière-taille ainsi que le phénomène de diffusion des gaz. De même, certains paramètres comme la porosité, la perméabilité de l'arrière-taille et la répartition spatiale du flux d'arrivée du méthane ont été définies de façon aussi réaliste que possible. Ces paramètres font d'ailleurs l'objet des ajustements au cours du calage des modèles.

En contrepartie, pour des questions de simplification, on a choisi de travailler en deux dimensions (le problème à résoudre est théoriquement à trois dimensions). Les divers phénomènes qui influencent les écoulements ont été également négligés car très complexes (échanges thermiques entre les terrains et les gaz qui circulent, action entre l'oxygène de l'air et le charbon, rôle de la vapeur d'eau...). La faisabilité de l'introduction de certains de ces paramètres dans le modèle sera étudiée dans le cadre d'un autre projet de recherche menée par l'INERIS depuis début 1995 : "Modélisation des écoulements de gaz dans la taille et l'arrière-taille - Prise en compte des effets thermiques".

Les aspects théoriques de la modélisation ont été décrits en détail par Tauziède et al. (1993) ainsi que par Jones et Lowrie (1992; 1993).

3.1 Modélisation physique

La modélisation physique est réalisée au moyen de maquettes à échelle réduite. Ce travail a été confié à l'Institute of Occupational Medicine (IOM) à Edimbourg (Grande-Bretagne).

Une partie du programme des travaux consiste en la conception, la construction et la validation d'une maquette réduite à l'échelle du 1/70ème. Cette maquette est destinée à modéliser la globalité des écoulements dans le système taille/arrière-taille.

Selon la conception retenue, la maquette au 1/70ème représente la taille et une partie de l'arrière-taille (environ 300 m depuis la ligne de démarrage). Il a été également décidé que la

maquette soit ultérieurement validée sur le cas concret d'une taille. La taille retenue est celle de Dora 1 Sud à l'U.E. Reumaux. Les paramètres géométriques choisis pour la maquette correspondent donc aux dimensions de cette taille (à savoir : la longueur de 210 m et l'ouverture de 3,5 m). Ce sont d'ailleurs des dimensions classiques pour les tailles des Houillères du Bassin de Lorraine. La photo 1 montre une vue générale de la maquette à l'échelle du 1/70ème.

Les travaux de conception et de fabrication de la maquette à l'échelle du 1/70ème ont été réalisés dans la période de février 1993 à juin 1994. Les caractéristiques et les détails de construction de cette maquette ont été décrits par Jones et Lowrie (1992 ; 1995)

3.2 Modélisation numérique

Comme cela a été dit, on a utilisé un code de calcul CFD pour réaliser la modélisation numérique. L'ensemble de programmes en question s'appelle PHOENICS. On décrit la géométrie du problème, on introduit les équations du problème à résoudre et on donne au système les conditions aux limites et différentes données. Celui-ci résout le problème numériquement par la méthode des éléments finis, et en principe (en fonction d'un bon choix des paramètres du calcul numérique) converge vers une solution.

Les modalités pratiques de la modélisation numérique ont été déjà présentées en détail (Tauziède et al., 1993 ; 1994).

4. CALAGE DES MODELES

Après avoir terminé la phase de construction de la maquette, il importait de valider et caler les deux modèles développés en parallèle. Comme le chantier de référence pour servir de calage à la modélisation c'est la taille Dora 1 Sud à l'U.E. Reumaux qui a été choisie.

Les opérations de validation et de calage des modèles sont conduites en deux temps :

- premièrement, on vérifie que des données invariables telles que le débit total d'air, le débit de captage éventuel, le débit total de méthane (*), la géométrie, etc... sont conformes aux valeurs correspondantes observées dans le chantier de référence,
- deuxièmement, on cale le modèle sur les données expérimentales. Cette opération consiste en un ajustement progressif des différents paramètres (par exemple la porosité, la répartition spatiale du flux de méthane et de la perméabilité etc...) jusqu'à ce que l'on retrouve les résultats expérimentaux obtenus sur le chantier de référence.

En pratique, un premier calage a été réalisé sur l'ordinateur où les modifications progressives des paramètres comme la perméabilité, le flux de méthane et leurs répartitions spatiales sont beaucoup plus simples et moins coûteuses. Les valeurs optimales de paramètres du modèle ainsi déterminées ont été ensuite transférées vers la maquette où, à tour de rôle, la pertinence des résultats numériques a été vérifiée dans les configurations plus faciles à simuler.

Ainsi, cette comparaison respective des paramètres observés dans le triangle "maquette - modèle numérique - mesures dans des chantiers" a permis une amélioration progressive des résultats et un calage satisfaisant des modèles développés.

(*) Dans la maquette, le méthane est remplacé par le SF₆. On utilisait alors de l'hélium pour servir de gaz traceur et représenter le SF₆ employé lors des expérimentations dans les chantiers.

4.1 Eléments retenus pour le calage

Les données expérimentales retenues comme éléments de calage de la maquette sont les suivantes :

- les résultats des expérimentations du type 1, et plus particulièrement :
 - le profil longitudinal de la concentration de méthane dans la taille.
 - le profil longitudinal du débit d'air dans la taille.
- les résultats des expérimentations de type 2 (la forme du signal de réponse du système taille/arrière-taille).
- les résultats des expérimentations de type 3 et plus précisément les profils de concentration de gaz traceur observés dans les chambres de captage, dans le cul-de-sac et dans le retour d'air.
- les résultats de synthèse des expérimentations au gaz traceur :
 - les vitesses moyennes d'écoulement dans l'arrière-taille,
 - la part du débit d'air déviée dans l'arrière-taille.
- les concentrations de méthane dans le retour d'air et dans le captage.

4.2 Calage de la maquette au 1/70ème

Préalablement, le débit total de "méthane" (SF_6), le débit de captage, le débit d'air et la répartition du débit d'air total entre la taille et l'arrière-taille ont été ajustés directement sur la maquette afin d'être conformes aux essais effectués dans le chantier avant d'aller plus avant dans la modélisation. Ces paramètres ont été suivis en continu pendant toute la durée des essais de validation.

Ensuite, des expérimentations au gaz traceur des trois types décrits précédemment ont été réalisées sur la maquette. Ces expérimentations ont consisté en une reproduction des essais au gaz traceur effectués dans la taille réelle de référence Dora 1 Sud (cf. § 4.1).

Bien évidemment, les paramètres caractéristiques des essais en question (débit de gaz traceur, durée d'injection, dimensions géométriques, etc...) ont été modifiés selon les facteurs de similitude propres à chacun d'eux.

Comme cela a été dit, dans la maquette, le SF_6 remplaçant le méthane, on a utilisé de l'hélium pour servir de gaz traceur. Contrairement aux essais dans une taille réelle, les prélèvements et les analyses de concentrations de gaz traceur ont été réalisés en continu, car la technique le permet.

Parallèlement aux expérimentations au gaz traceur, des prélèvements systématiques et des analyses de la concentration de "méthane" ont été effectués dans le retour d'air et dans le

captage. Ceci pour vérifier la conformité des concentrations sur la maquette avec celles observées dans le chantier de référence.

Un premier test de calage de la maquette a été réalisé en juin 1994. Malheureusement, il a montré des écarts trop importants entre les mesures in situ et les calculs numériques (Pokryszka, 1995).

L'analyse des données a permis d'identifier une trop grande "séparation aéraulique" entre la taille et l'arrière-taille. De même, les mesures ont mis en évidence des circulations parasites dans l'arrière-taille. Ceci a été confirmé lors de l'ouverture de la maquette en août où l'on a constaté des vides en partie haute suite au tassement des produits granulaires de remplissage. Cet aspect montre une grande sensibilité de la maquette au réglage de petits points de détail.

A la suite de cet essai, certaines modifications ont été apportées sur la maquette. Elles ont consisté, entre autres, en une amélioration de son étanchéité et en des corrections de son remplissage.

Après avoir effectué les modifications nécessaires de la maquette, un deuxième test de calage a été réalisé en décembre 1994. Les nouveaux essais ont montré, cette fois, que les caractéristiques des écoulements sont assez proches, à ce stade, des éléments obtenus expérimentalement, à savoir :

- la teneur moyenne en "méthane" le long de la partie terminale évolue en assez bonne conformité avec les mesures réalisées lors de l'expérimentation de type 1 (figure 4),
- il en est de même pour le profil longitudinal du débit d'air dans la taille (figure 5),
- la courbe d'évolution de la teneur en gaz traceur dans la voie de retour résultant des mesures sur la maquette est très similaire aux courbes obtenues par les expérimentations de type 2 (figure 6),
- les courbes d'évolution de la teneur en gaz traceur observées lors de l'expérimentation de type 3 dans les chambres de captage et dans le cul-de-sac sont très similaires (en terme de valeurs observées et de temps de transit) aux courbes obtenues expérimentalement dans la taille Dora 1 Sud (figures 7, 8 et 9). Les écarts observés dans le temps de transit du gaz traceur sont de l'ordre de 50% en relatif par rapport aux données expérimentales, ce qui est tout à fait acceptable à cette échelle de modélisation,
- les vitesses d'écoulement dans l'arrière-taille de la maquette sont compatibles avec les valeurs déduites des expérimentations dans la taille de référence. La figure 10 montre les estimations de la vitesse dans l'axe du panneau pour la situation de juin 1992,
- le taux de fuite d'air par l'arrière-taille observé sur la maquette est de 18 % du débit total et est conforme aux mesures dans la taille réelle (12 à 19 %),
- les teneurs en "méthane" dans le captage sur la chambre n° 1 (environ 65 %) et dans le retour d'air (1,7 %) sont cohérentes avec les valeurs réellement mesurées (respectivement $75 \% \pm 5 \%$ et $1,7 \% \pm 0,1 \%$).

4.3 Calage du modèle numérique

Préalablement au calage sur les données réelles, on avait réalisé une validation qualitative du modèle (Tauziède et al., 1993). Ces tests, qui ont constitué une première vérification de

l'aptitude du modèle à reproduire qualitativement des effets modélisés, ont donné des résultats tout à fait corrects et cohérents avec les phénomènes réels.

On a ensuite entamé le véritable calage du modèle et de ses paramètres sur le cas de Dora 1 Sud dans les positions du 23/06/92 et du 09/09/92, soit après respectivement environ 200 et 300 m d'avancement cumulé. Le maillage a été réalisé pour pouvoir passer facilement d'une position de la taille à l'autre, ce calage sur deux cas de figure donnant une solidité plus grande au modèle.

Pour la raison de simplification, les calculs de calage ont été effectués, dans un premier temps, en faisant varier seulement la répartition du flux de méthane et de la perméabilité de l'arrière-taille. L'influence de la porosité, considérée initialement comme quasiment constante dans toute l'arrière-taille, n'a pas été explorée. Les calculs de calage dans cette configuration ont donné des résultats seulement partiellement satisfaisants avec des différences notables par rapport aux données réelles au niveau des temps de transit.

Les paramètres correspondant à la répartition du flux de méthane et de la perméabilité obtenue par le modèle numérique ont alors été appliqués sur la maquette et un premier essai de calage a été effectué qui donnait de meilleurs résultats. Ceci a permis de mettre en évidence une influence assez importante de la porosité de l'arrière-taille, cette dernière étant variable sur la maquette en fonction de la distance par rapport à la taille.

Un retour direct de cette expérience, qui s'est traduit par l'introduction dans le modèle numérique d'une porosité variable et conforme à celle de la maquette, nous a permis d'obtenir des résultats beaucoup plus satisfaisants. Ainsi, les résultats de calage du modèle numérique dans la position de la taille de juin 1992 sont les suivants :

- la teneur en méthane le long de la partie terminale évolue en très bonne conformité avec les mesures réalisées lors de l'expérimentation de type 1 (figure 4),
- le profil longitudinal du débit d'air dans la taille est conforme aux données réelles (figure 5),
- la courbe d'évolution de la teneur en gaz traceur dans la voie de retour, résultant des mesures sur la maquette, est quasiment identique aux courbes obtenues par les expérimentations de type 2 (figure 6),
- les courbes d'évolution de la teneur en gaz traceur observées lors de l'expérimentation de type 3 dans la chambre de captage n°2 et dans le cul-de-sac sont très similaires (en termes de valeurs observées et de temps de transit) aux courbes obtenues expérimentalement dans la taille Dora 1 Sud (figures 7 et 8). Un seul écart est observé dans le temps de transit du gaz traceur entre le point d'émission et la chambre de captage n°1 (figure 9). Cet écart de l'ordre de 50% en relatif par rapport aux données expérimentales est acceptable en pratique et n'est pas a priori très important du point de vue de la précision souhaitée de la modélisation,
- les vitesses d'écoulement dans l'arrière-taille de la maquette sont conformes aux valeurs déduites des expérimentations dans la taille de référence (figure 10),
- le taux de fuite d'air par l'arrière-taille calculé par le modèle numérique est de 12 % du débit total, très proche du taux de 14% mesuré dans la taille réelle en juin 1992 (voir tableau 1),
- les teneurs en méthane dans le captage sur la chambre n° 1 (65 %) et dans le retour d'air (1,7 %) sont, soit proches, soit égales aux valeurs réellement mesurées (respectivement $75 \% \pm 5 \%$ et $1,7 \% \pm 0,1 \%$).

Un deuxième calage du modèle numérique sur le cas de Dora 1 Sud dans la position de septembre 1992, soit après 300 m d'avancement cumulé, a également donné des résultats satisfaisants sur l'ensemble des éléments retenus pour réaliser cette opération de validation.

4.4 Conclusion du calage des modèles

Les essais de validation et de calage effectués sur la maquette à l'échelle du 1/70ème et sur le modèle numérique ont montré que les caractéristiques des écoulements simulés par ces deux modèles sont très similaires à celles observées dans une taille réelle de référence (Dora 1 Sud). De même, il est possible de constater une très bonne conformité des résultats obtenus respectivement par ces deux techniques ce qui permet de donner encore plus de confiance à la validité des modèles développés.

La maquette au 1/70ème et le modèle numérique peuvent être ainsi considérés comme calés sur un cas pratique et prêts à être exploités dans des conditions similaires à cette configuration.

Il est également à noter que cette étape de validation a bien confirmé les avantages d'un développement en parallèle de deux modèles. Il a été possible par exemple de bénéficier des expériences acquises sur chacune des voies et de résoudre plus facilement certains problèmes.

5. EXEMPLES DE SIMULATION

Après avoir réalisé avec succès, le calage des modèles développés, un certain nombre de simulations ont été réalisées sur le cas de la taille Dora 1 Sud. Ces simulations avaient pour objet de vérifier l'aptitude des modèles à montrer en pratique les effets de modifications de certains paramètres sensibles pour l'exploitation d'une taille, à savoir :

- la position et le débit de captage sur chambre (s),
- la position et le débit d'injection d'azote.

5.1 Simulation numérique

Les simulations sur l'ordinateur consistent à introduire dans le modèle fixé sur une configuration donnée de la taille, les paramètres intrinsèques (perméabilité, porosité, flux de méthane et leurs répartitions) définis lors de la phase de calage. Ensuite, on réalise les calculs en faisant varier les paramètres dont on souhaite examiner l'influence (débit ou position du captage par exemple).

Le produit direct de ces calculs est représenté, dans un premier temps, par les cartographies des concentrations des gaz qui circulent dans l'ensemble taille/arrière-taille (air, méthane, azote injectée, etc...). A titre d'exemple, on montre à la figure 11 une cartographie des concentrations d'azote obtenue lors des simulations de différentes variantes d'inertisation de l'arrière-taille.

Les cartographies en question sont elles-mêmes une source importante d'informations pratiques sur les écoulements des gaz dans l'arrière-taille, mais il est également possible d'en tirer des conclusions de nature plus générale.

Les simulations présentées ici ont été réalisées pour la position de la taille de juin 1992. Les caractéristiques principales de la configuration examinée sont montrées dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	Unité	Valeur
Longueur de la taille	m	240
Profondeur de l'arrière-taille	m	210
Pendage	degrés	20
Débit total d'air	m ³ /s	32
Flux total de méthane	m ³ /s	0,75

Les résultats de simulations décrits ci-après représentent seulement une partie choisie arbitrairement de nombreux calculs effectués.

5.1.1. Simulation de différentes variantes de captage sur chambre(s)

On présente ici les simulations de captage réalisées pour trois variantes :

- captage sur une chambre située dans l'ancienne voie de tête à 200 m du front de la taille (chambre 1),
- captage sur une chambre située à 100 m de la taille (chambre 2),
- captage simultané sur deux chambres, une première à 200 m et une deuxième à 100 m.

Les débits totaux (bruts) de captage ont été appliqués dans les calculs pour 6 variantes (valeur 0; 0,15; 0,3; 0,45; 0,6; 1,2 et 2,4 m³/s). Dans le cas du captage sur deux chambres, le débit pris pour chacune des chambres correspondait à la moitié du débit total. L'influence des débits les plus forts, qu'on utilise en réalité très rarement, a été étudiée pour examiner l'évolution de paramètres dans les conditions extrêmes.

Ces paramètres calculés, retenus pour une analyse ultérieure sont les suivants :

- teneur en CH₄ dans le captage,
- débit net de captage,
- teneur en CH₄ dans le retour d'air,
- teneur maximale en CH₄ à l'interface arrière-taille/cul-de-sac.

La figure 12 présente l'évolution des paramètres concernés en fonction du débit total obtenue pour le cas de captage sur une chambre située à 200 m. On constate que l'allure générale des courbes correspondant à la teneur en CH₄ et au débit net de captage est très similaire à l'évolution de ces deux paramètres observés lors d'expérimentations in situ sur les sources de captage (Pokryszka et al., 1994).

Si l'on s'intéresse aux effets d'augmentation du débit total de captage, on constate que ceux-ci sont, pour l'ensemble des paramètres observés, beaucoup plus sensibles pour les débits les plus faibles. Par exemple une augmentation du débit de captage de 0 à 0,6 m³/s entraîne une baisse de la teneur maximale en CH₄ dans le cul-de-sac de 5% à 3 %, soit 2 %, contre 1 % seulement si on passe du débit brut de 0,6 m³/s à celui de 1,2 m³/s.

Ce phénomène, d'un effet moins que proportionnel à la suite d'une augmentation du débit total, montre bien un intérêt limité de l'application des débits très forts sur une chambre isolée dans l'arrière-taille. Pour deux autres variantes de captage examinées, les tendances dans l'évolution des paramètres sont sensiblement les mêmes.

Pour le captage simultané sur deux chambres, on remarque pourtant la présence d'une interaction assez importante entre ces deux ouvrages de captage. Elle se traduit par une différence entre les teneurs en CH_4 observées dans chacun de ces ouvrages de captage, les débits bruts étant égaux par ailleurs (figure 13). En effet, pour l'ensemble des débits examinés, les teneurs observées dans la chambre située à 100 m (chambre 2) sont nettement inférieures à celles dans la chambre 2 à 200 m. Cette observation est en très bonne concordance avec les données réelles provenant de captage simultané sur deux chambres dans la taille Dora 1 Sud en septembre 1992 (figure 14).

Une synthèse des résultats de trois variantes de captage est donnée sur les figures 15 et 16. On peut y constater qu'une chambre aménagée à 100 m de la taille permet d'assurer les teneurs de captage plus fortes que dans les deux autres options. On note que le captage sur une chambre installée au carrefour de l'ancien montage et de l'ancienne voie de tête donne les résultats les moins intéressants.

S'il s'agit des débits nets de captage, les tendances sont les mêmes mais les différences entre les trois variantes de captage ne sont pas aussi significatives.

Elles sont par contre assez nettes, si l'on compare les effets sur les teneurs en CH_4 dans le retour d'air et à l'interface arrière-taille/cul-de-sac. Il s'avère cette fois que le captage sur une chambre installée dans la zone la plus proche à la taille donne, dans la configuration géométrique étudiée de l'arrière-taille, des résultats a priori plus intéressants qu'un captage au fond de l'arrière-taille. Un captage simultané sur deux chambres donne des effets intermédiaires entre les deux cas précédents.

5.1.2. Simulation de l'injection d'azote

Des injections d'azote ont été simulées dans la position de la taille de juin 1992. Le but de ces simulations était d'étudier l'influence du débit d'injection et de la position du point d'insufflation sur l'efficacité d'inertisation de l'arrière-taille. Dans tous les cas simulés, le point d'injection était situé dans la partie basse de l'arrière-taille au droit de la voie de base (figure 17).

Les valeurs appliquées dans les calculs ont été les suivantes :

- pour le débit d'azote : 0,3 ; 0,6 ; 1,2 et 1,8 m^3/s .
- pour la distance point injection/taille : 25, 50, 75 et 95 m.

Les calculs ont été réalisés avec le captage de 0,3 m^3/s (débit brut) sur une chambre installée dans l'ancienne voie de tête sur la ligne de démarrage. Cette situation correspond exactement aux conditions réelles de la taille Dora 1 Sud en juin 1992.

Parmi les différents résultats obtenus, on a choisi de ne présenter ici que les résultats concernant les deux problèmes les plus intéressants du point de vue pratique : l'efficacité d'inertisation de l'arrière-taille et le dégagement de CH_4 de l'arrière-taille vers l'atmosphère du chantier.

Pour les besoins de quantification de ces deux aspects, on a choisi de caractériser le premier par la profondeur de pénétration de l'oxygène dans l'arrière-taille. Cette profondeur s'exprime par la distance maximale entre la taille et la ligne d'isovaleur 1% d'oxygène. Le deuxième est caractérisé par la teneur maximale à l'interface cul-de-sac/arrière-taille, comme pour les simulations de captage.

Concernant la pénétration de l'arrière-taille par l'air, les résultats sont donnés à la figure 17 où l'on présente l'évolution de la distance taille/front de 1 % d'oxygène en fonction du débit d'azote et de la position du point d'injection. Ils montrent que dans la configuration étudiée, il existe un débit minimum critique indispensable pour pouvoir inertiser totalement l'arrière-taille. Ce débit est situé entre 0,3 et 0,6 m³/s (soit 1080 à 2160 m³/h).

En effet, les calculs montrent qu'un débit d'injection de 0,3 m³/s est insuffisant pour inertiser totalement l'arrière-taille. Le front de 1% d'oxygène pénètre l'arrière-taille dans ce cas jusqu'à un minimum de 140 m (figure 17). Par contre, si le débit est égal ou supérieur à 0,6 m³/s, la pénétration du front de 1% d'oxygène est limitée à 50 à 60m maximum. On note également que l'effet final d'inertisation est dans ce cas pratiquement le même quel que soit le débit (en régime permanent).

S'agissant de l'influence de la position du point d'injection, les simulations montrent que pour les débits d'injection supérieurs au débit critique (donc $\geq 0,6$ m³/s), l'effet d'inertisation est quasiment identique pour des injections réalisées à des distances dans l'arrière-taille situées dans une fourchette de 25 à 95 m.

L'ensemble des résultats ci-dessus est présenté à la figure 18 sous la forme d'un graphe en 3D, ce qui permet d'illustrer simultanément l'influence des deux paramètres ayant varié lors des calculs.

Concernant l'évolution du deuxième paramètre analysant la teneur maximale en CH₄ dans le cul-de-sac, les calculs montrent que celle-ci diminue quasiment proportionnellement au débit d'azote, ce qui s'explique facilement par l'effet de dilution (voir figure 19). Par contre, la position du point d'insufflation ne semble pas avoir une influence très significative sur les échanges de CH₄ entre l'arrière-taille et l'atmosphère du chantier.

REFERENCES

JONES A.D., LOWRIE S.J.R., 1992

Feasibility of using small scale models to study the circulation of gas in French longwall retreat coalfaces. IOM Final report n° P. 613/92/2.

JONES A.D., LOWRIE S.J.R., 1993

Applications of aerodynamic scale model simulations to predicting the accumulation of methane gas and airborne pollutants in modern coal mines. IOM Final report CEC Research Project 7262/32/229/08.

JONES A.D., LOWRIE S.J.R., 1995

Construction and validation of models for a study of the circulation of gas in the waste of French longwall retreat coalfaces. IOM Final report n° TM/95/04.

TAUZIEDE C., MOUILLEAU Y., BOUET R., 1993

Modélisation des circulations de gaz dans la zone de foudroyage des tailles rabattantes. 25ème Conférence Internationale des Instituts de Recherche sur la Sécurité dans les Mines, Pretoria. Afrique du Sud.

TAUZIEDE C., POKRYSZKA Z., BOUET R., JONES A.D., 1994

Écoulement des gaz dans la zone de foudroyage des tailles rabattantes. Journée d'exposés des résultats des recherches de l'INERIS à CdF à Hombourg-Haut le 2 juin 1994.

POKRYSZKA Z., MARION C., LOUAPRE J.-C., 1994

Conduite de captage. Rapport final d'étude INERIS réf. SSE-ZPo/BS 25EP04/R09.

POKRYSZKA Z., 1995

Résultats des tests de calage de la maquette d'une taille rabattante à l'échelle du 1/70ème. Compte-rendu INERIS réf. SSE-ZPo/BS 23EP03/R07 du 23 février 1995.

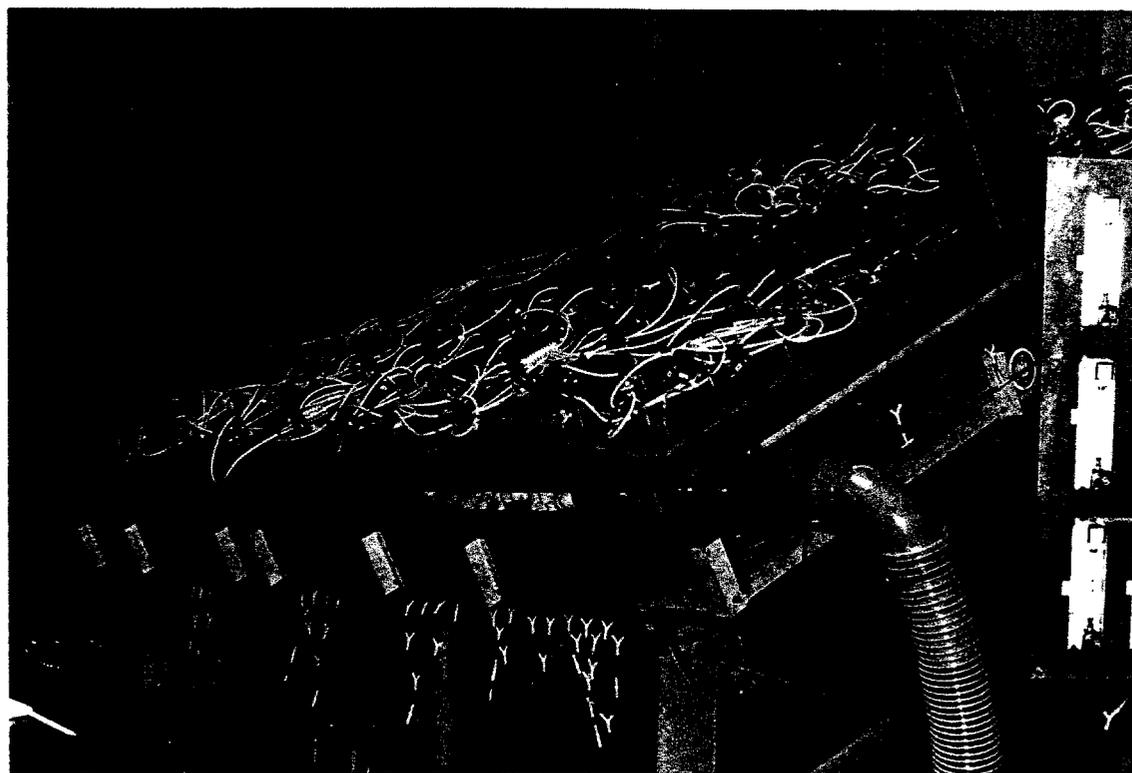
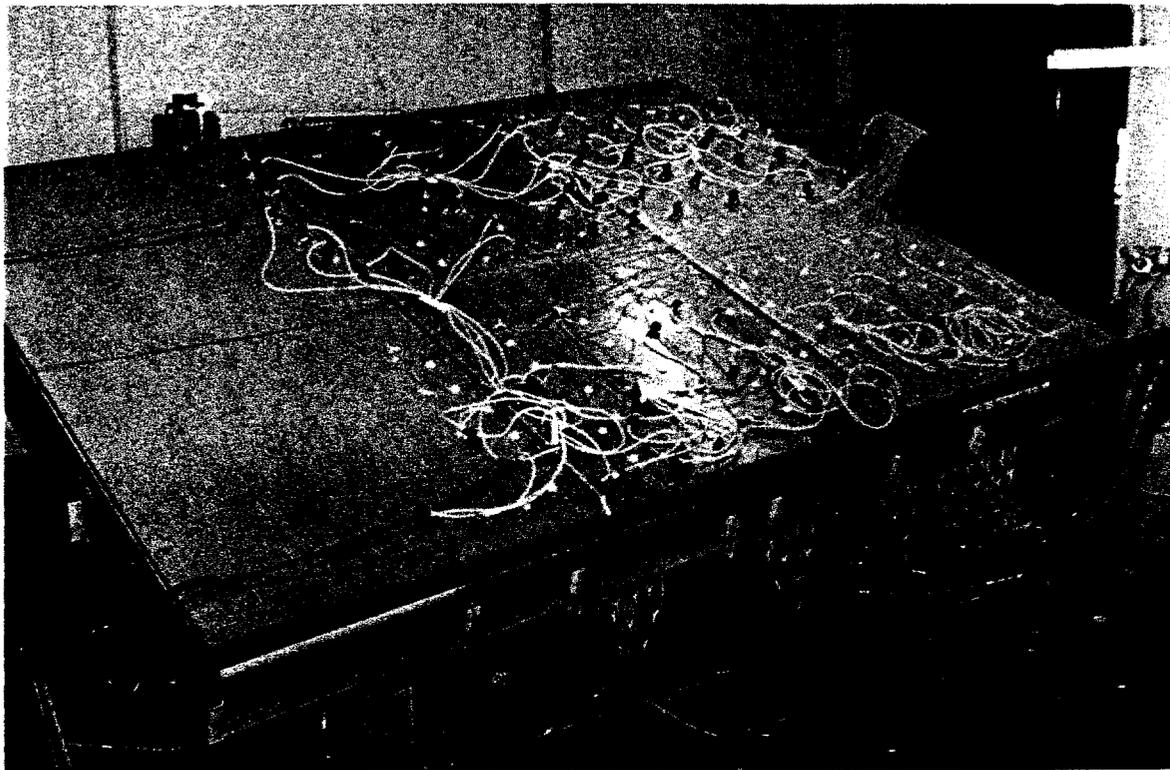
CIRCULATION DE GAZ DANS L'ARRIERE-TAILLE
Eléments acquis lors des expérimentations réalisées dans la taille DORA 1 SUD à l'U.E. Reunaux

CARACTERISTIQUES DE LA TAILLE		Démarrage			Longueur du front		Ouverture		Pendage		Aérage		Captage	
		Date		D'AIR TOTAL		D'ARRIÈRE-TAILLE		METHANE		METHANE		METHANE		METHANE
		02/92		~ 240 m	~ 3,0 m	~ 22°	montant	Chambre 1	Chambre 2	Voie de fête	Voie de fête	Sondages au toit	dans la voie de fête	

RESULTATS DES EXPERIMENTATIONS

TYPE D'ESSAI	Date	AVANCEMENT CUMULE		DEBIT D'AIR TOTAL	REPARTITION DU DEBIT D'AIR		SORTIE DES GAZ DE L'ARRIERE-TAILLE				DEBIT DE METHANE (hors captage)	TEMPS DE CIRCULATION DE SF6 DANS AERAGE	TEMPS D'ARRIVEE DE SF6 AU POINT DE PRELEVEMENT		CAPTAGE			
		Tête	Pied		Taille	Arrière taille	Taille	Cul-de-sac	Taille	Cul-de-sac			Emplacement	Temps t	Ouvrage	Debit brut	Teneur en CH4	
		m	m		m ³ /s	%	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s			minutes	minutes	m ³ /s	%		
1	02/04/92	50	65	33,0	85	15	4,0	1,0	0,20	0,26	0,55	40	chambre 1	t ~ 90	trous au toit	0,048	90	
2	08/04/92	60	80	36,5	88	12						60	chambre 1	t ~ 90	chambre 1	trous au toit	0,083	20
2	20/05/92	127	150	32,6	81	19					0,62	43	chambre 1	150 < t < 330	chambre 1	trous au toit	-	20
1	11/06/92	166	185	~ 31,5	~ 81	~ 19	6,0	~ 0,5	0,35	0,15	0,55	48	trous au toit	t < 340	chambre 2	trous au toit	0,056	85
2	23/06/92	195	225	31,5	86	14	40 m		70 m		0,55	3120	trous au toit (série 5)	t < 35	chambre 1	trous au toit	0,306	36
3	08/07/92	215	260	~ 32,5							0,44	48	chambre 1	t ~ 500	chambre 1	trous au toit	0,056	75
2	26/08/92	260	350	36,7	~ 88	~ 12					0,65	48	cul-de-sac	t < 525	chambre 2	trous au toit	0,214	64
3	09/09/92	290	385	~ 34,0							0,61	> 1630	trous au toit	210 < t < 395	cul-de-sac	trous au toit	0,022	74
													trous au toit	t < 48	chambre 1	trous au toit	0,350	80
													chambre 1	t ~ 2700	chambre 1	trous au toit	0,024	73
													cul-de-sac	t ~ 600	chambre 2	trous au toit	0,219	64
													cul-de-sac	310 t < 370	cul-de-sac	trous au toit	0,267	80
																	0,025	40
																		62

Tableau 1



Photos 1 et 2. Vue générale de la maquette d'une taille à l'échelle au 1/70ème

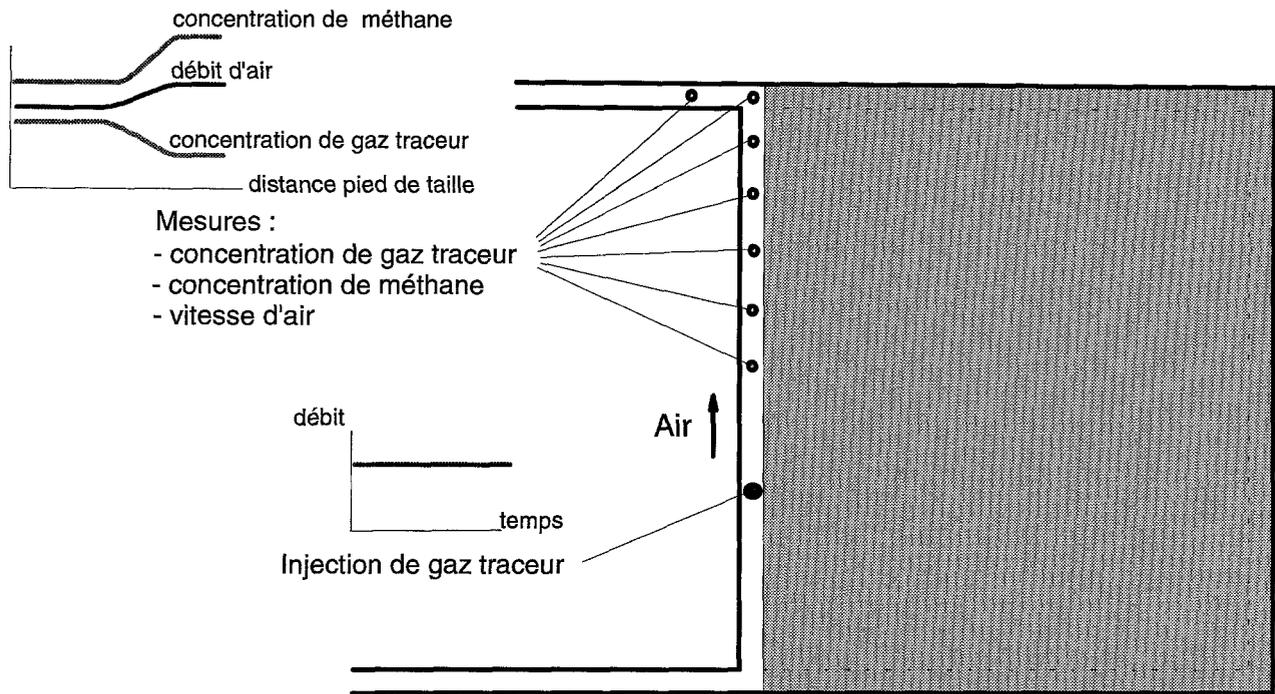


Figure 1. Principe de l'expérimentation au gaz traceur de type 1

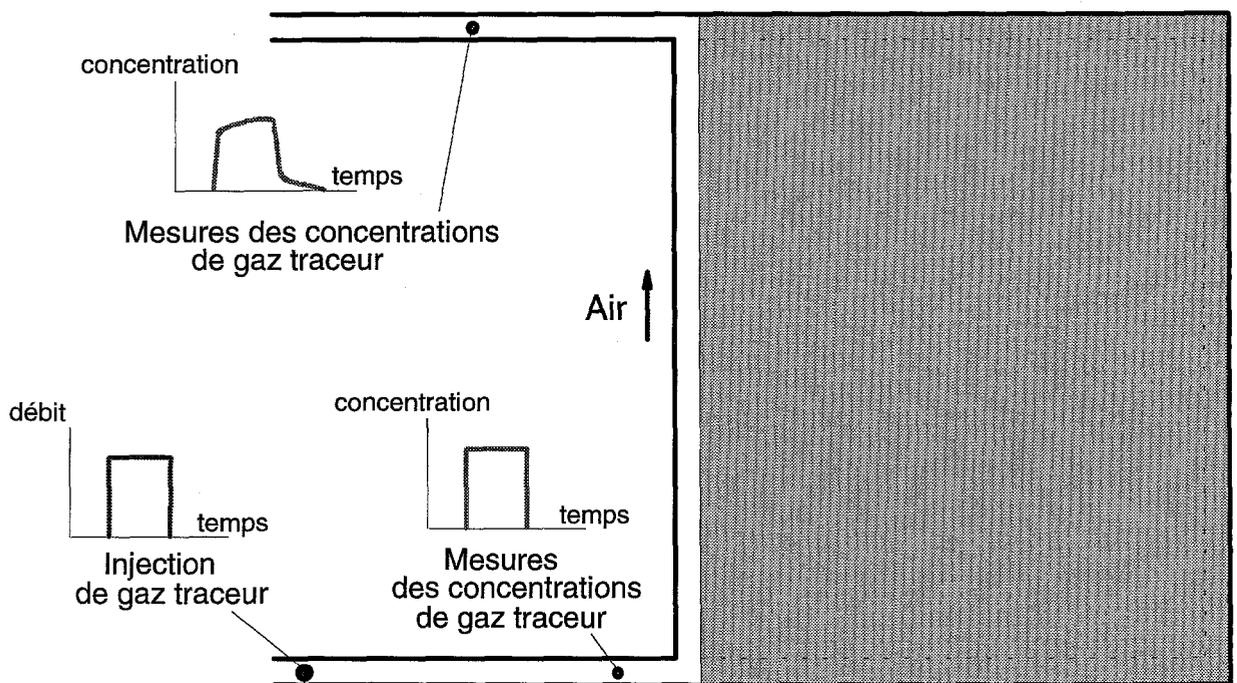


Figure 2. Principe de l'expérimentation au gaz traceur de type 2

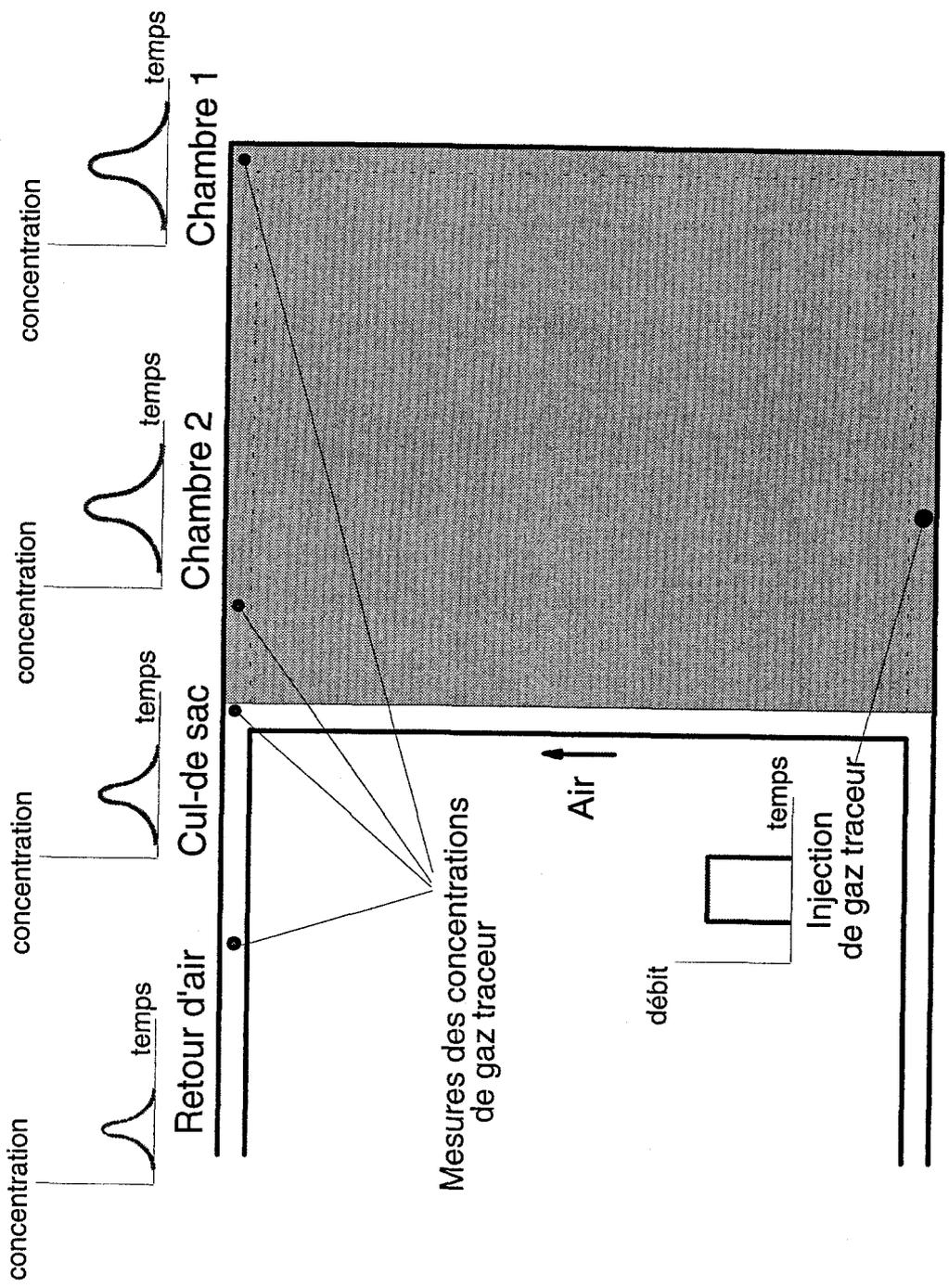
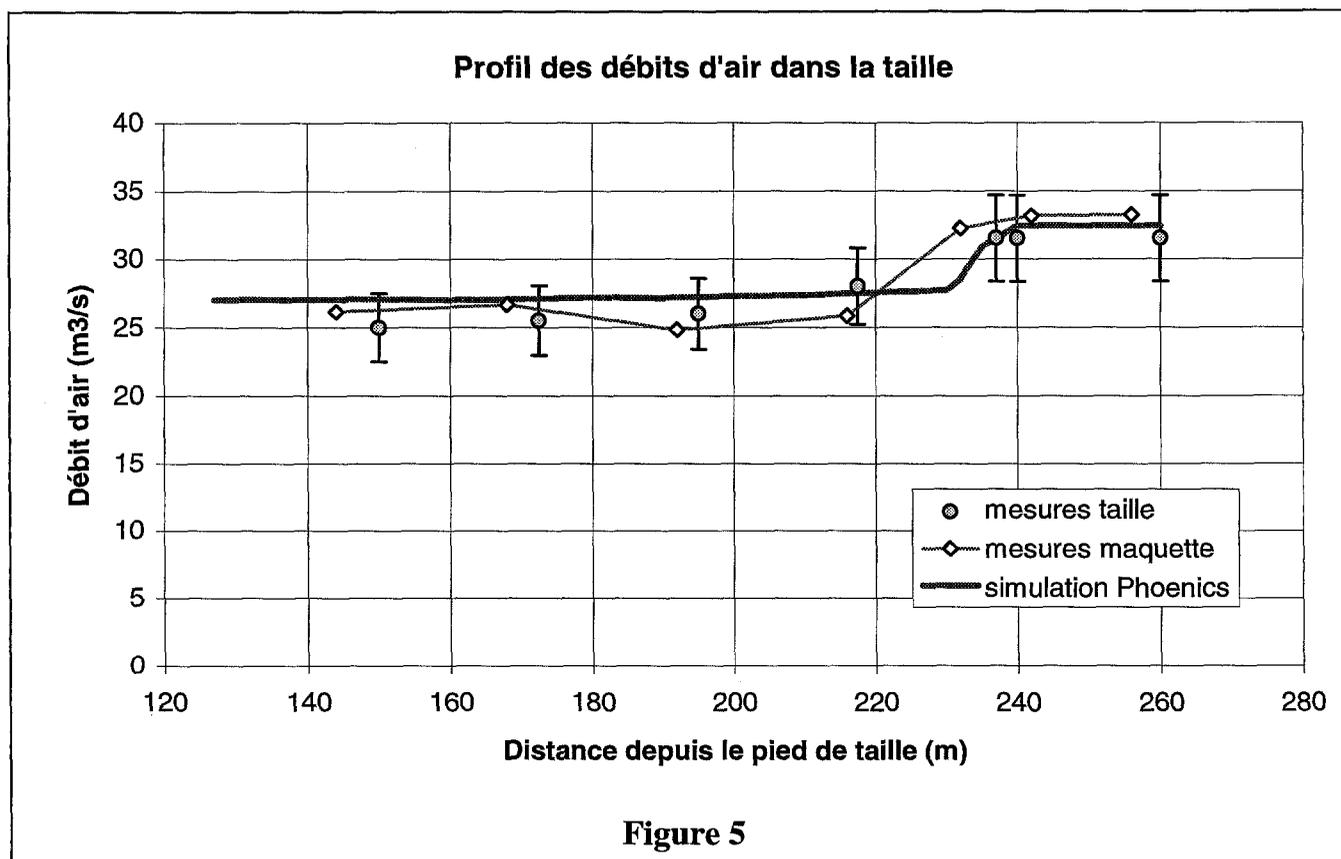
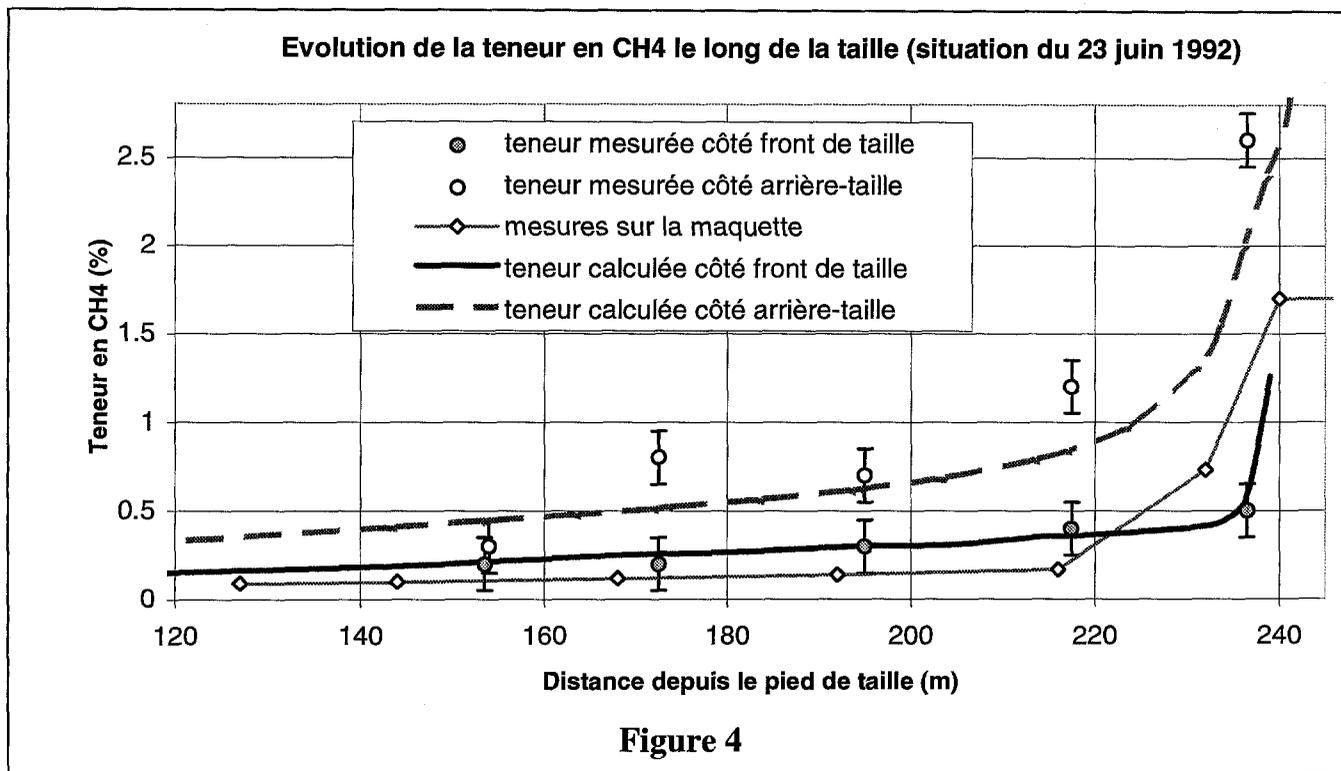


Figure 3. Principe de l'expérimentation au gaz traceur de type 3

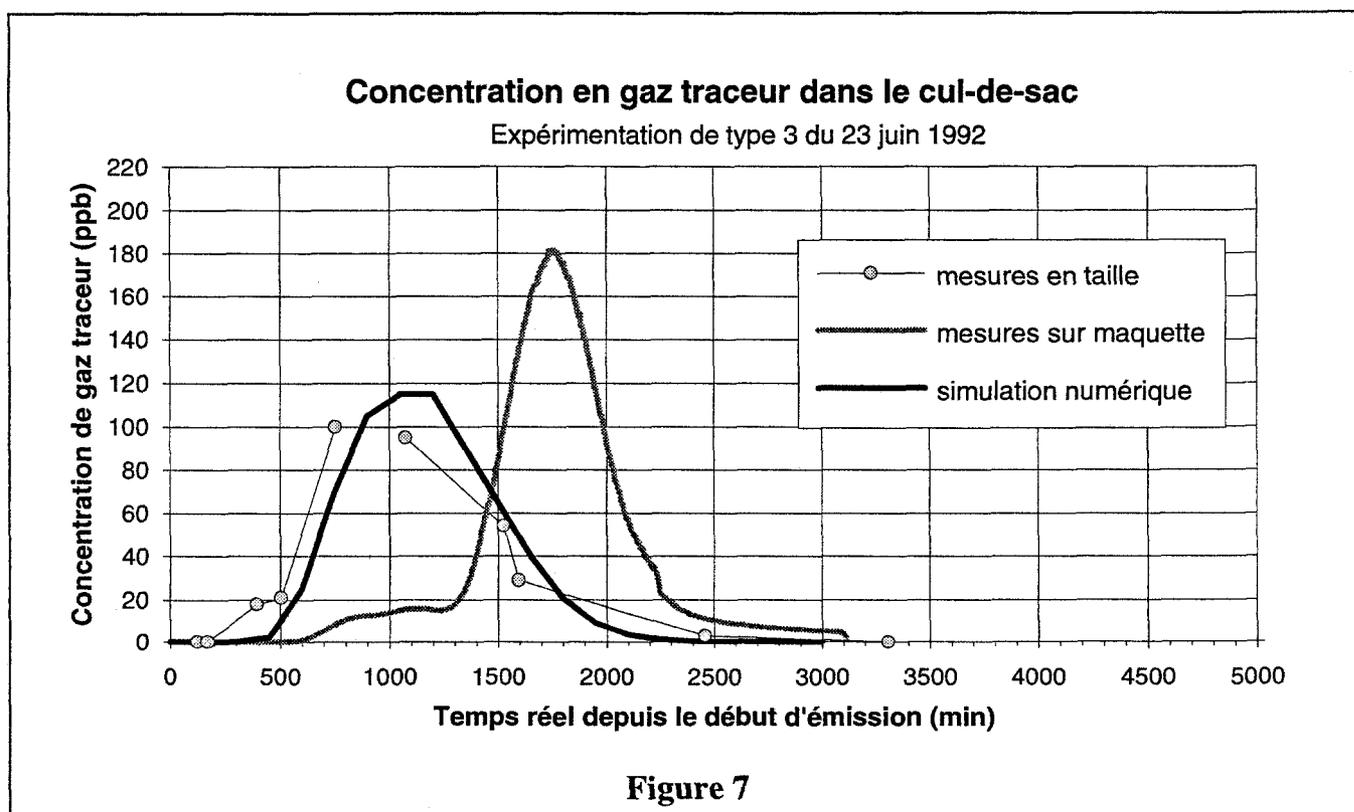
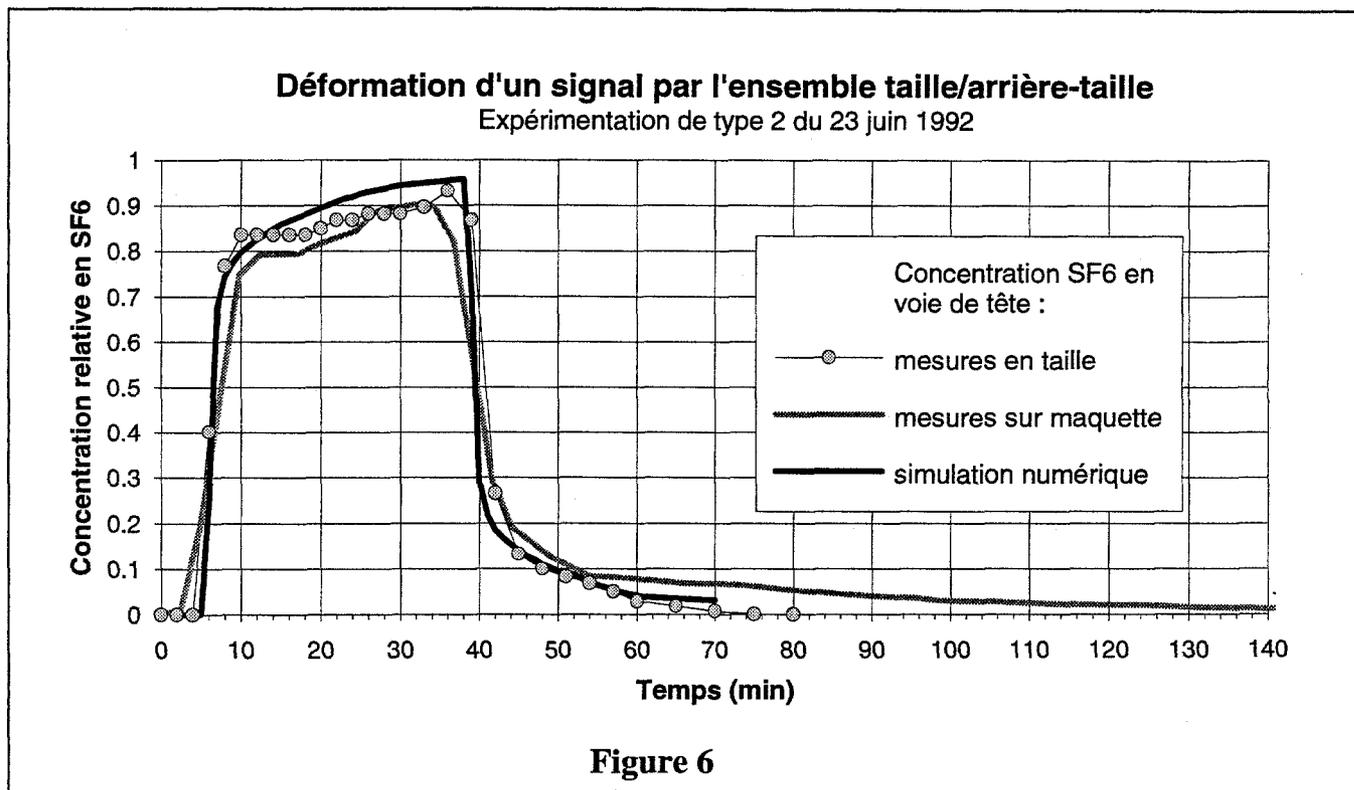
Résultats du calage des modèles sur le cas de la taille Dora 1 Sud

Comparaison entre les mesures au fond, les mesures sur la maquette 1/70 et la simulation numérique - expérimentation de type 1



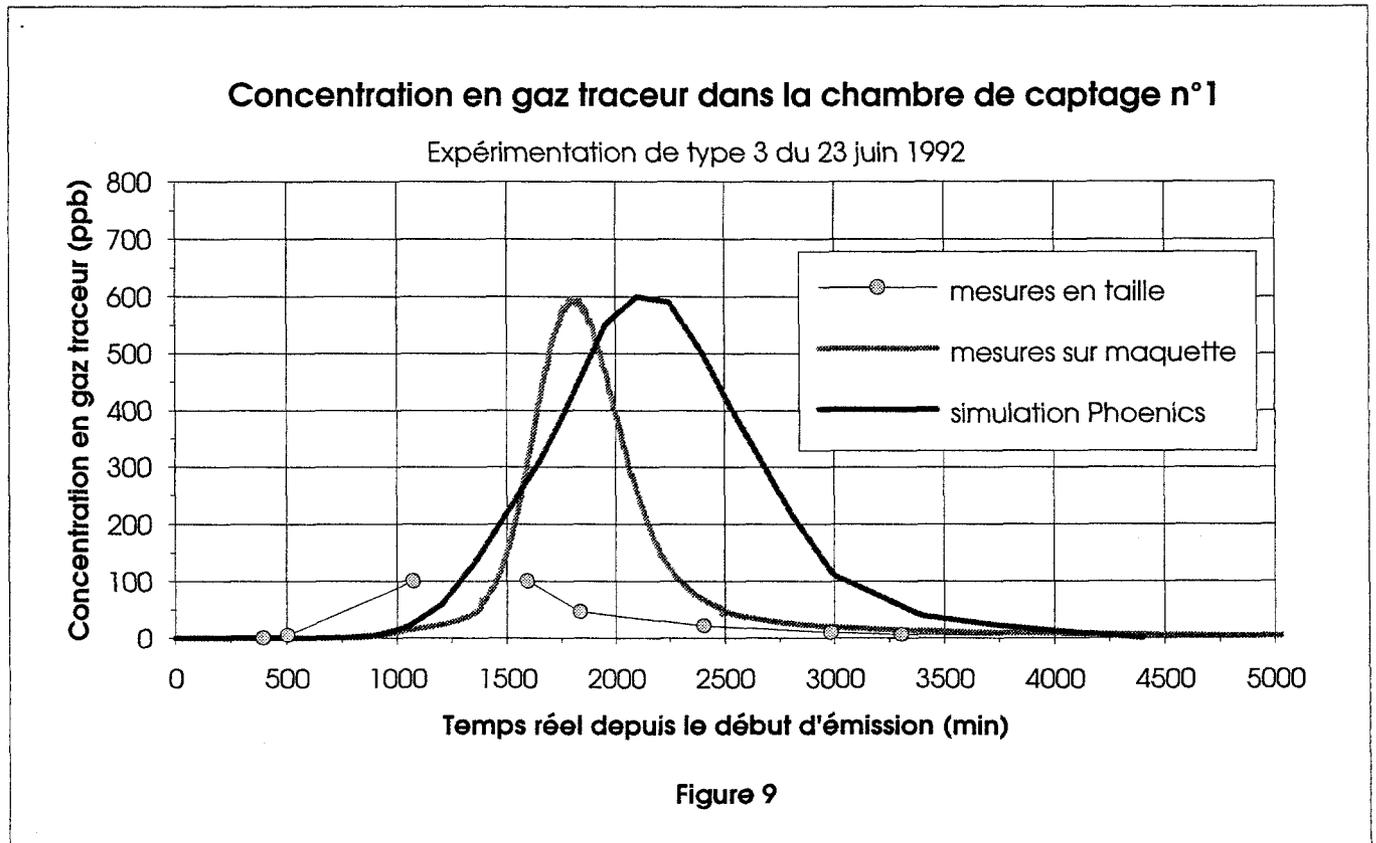
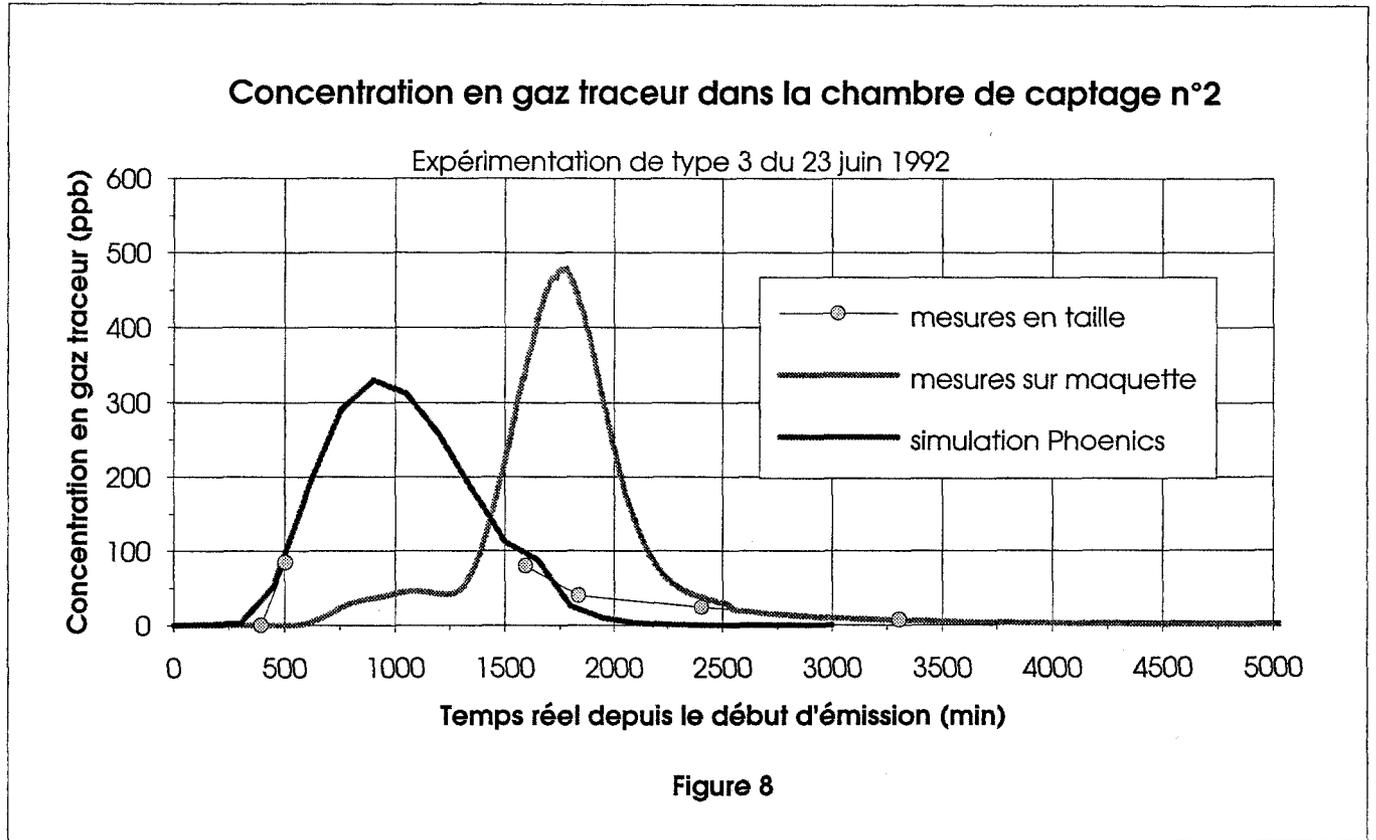
Résultats du calage des modèles sur le cas de la taille Dora 1 Sud

Comparaison entre les mesures au fond, les mesures sur la maquette 1/70 et la simulation numérique



Résultats du calage des modèles sur le cas de la taille Dora 1 Sud

Comparaison entre les mesures au fond, les mesures sur la maquette 1/70 et la simulation numérique - expérimentation de type 3



Dora 1 Sud - Evolution de la vitesse d'écoulements dans l'axe du panneau
(situation du juin 1992)

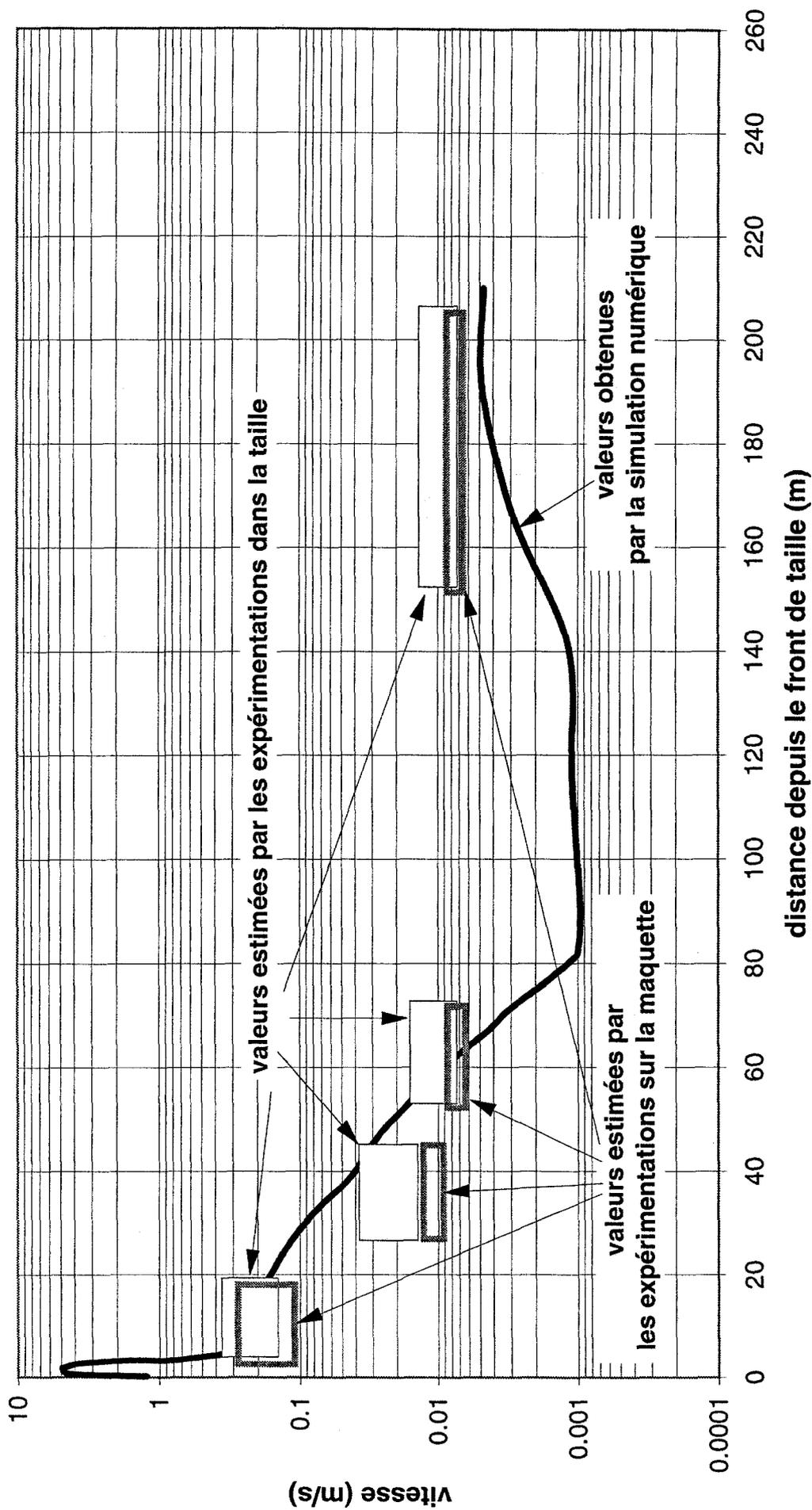
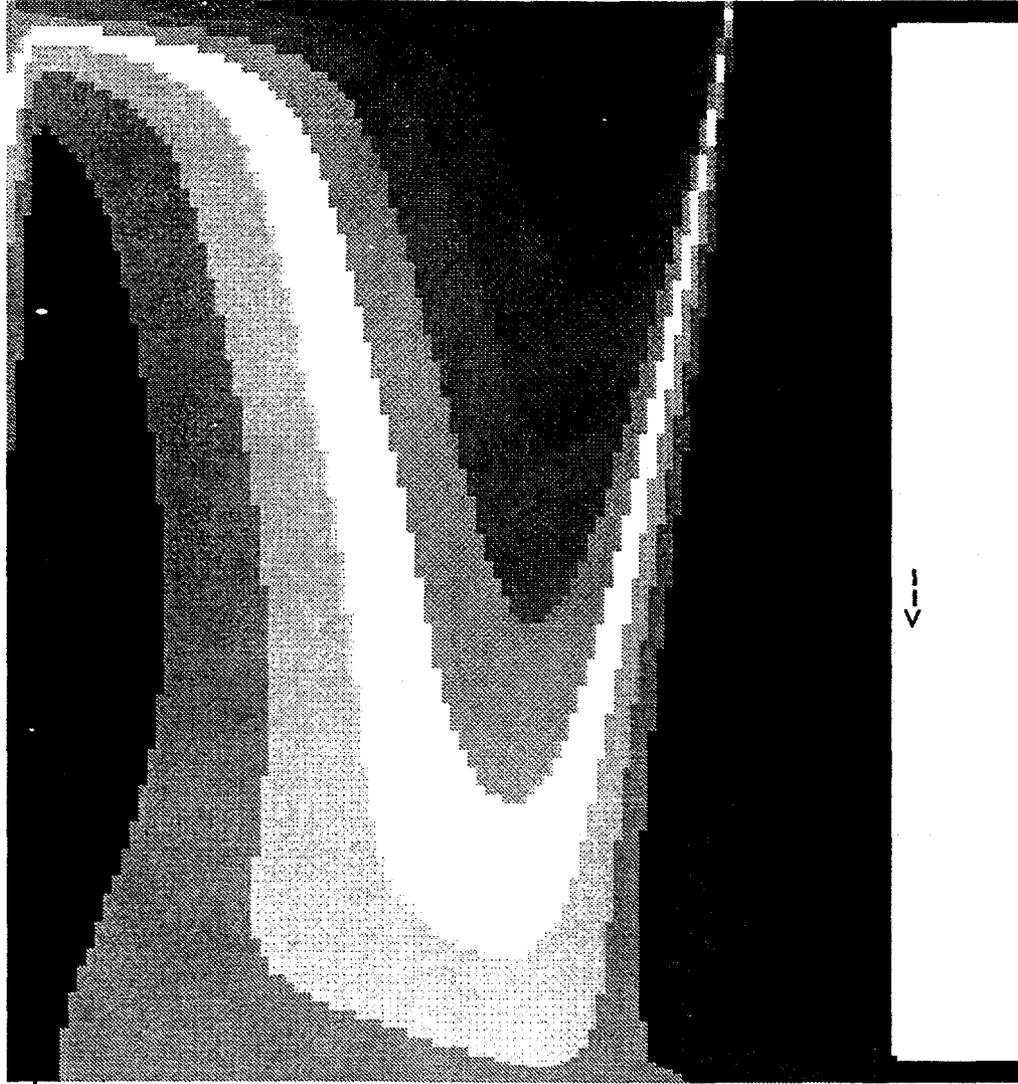


Figure 10

concentration d'azote

210 m

captage <--
0.3 m3/s



N2
<-- injection
0.3 m3/s

<--

SIMULATION DORA - 23 juin 1992 injection 50 m



PHOTON

N2

C8

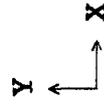
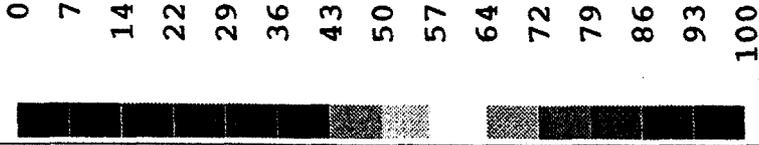


Figure 11

Simulation numérique PHOENICS - Influence du débit de captage
Captage sur une chambre à 200m dans l'arrière-taille

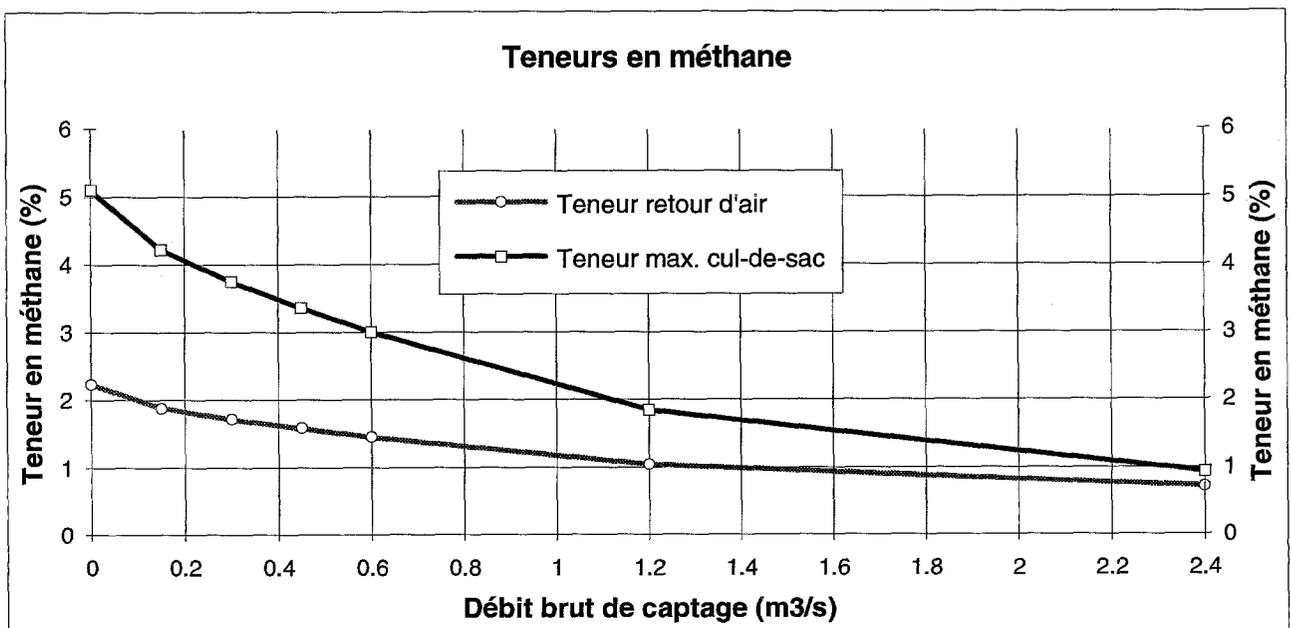
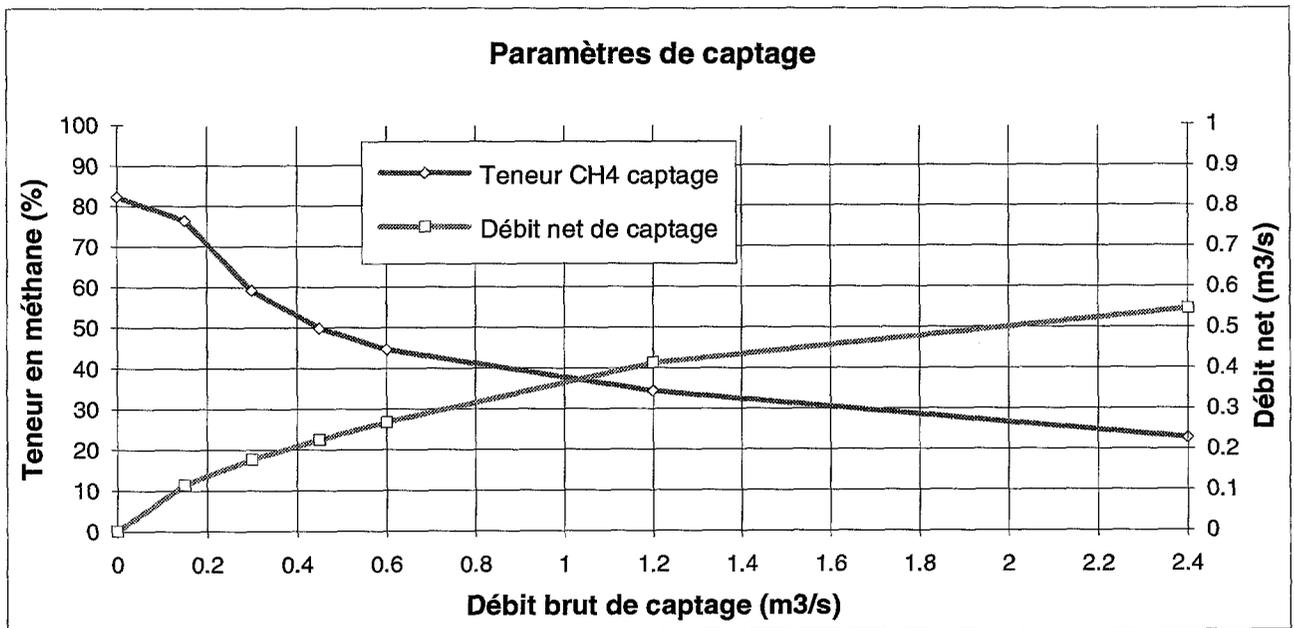
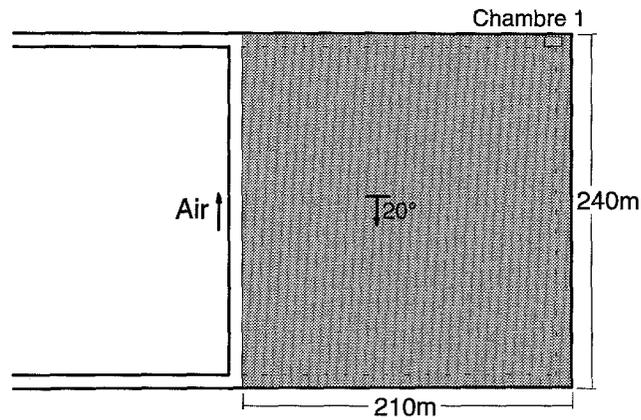
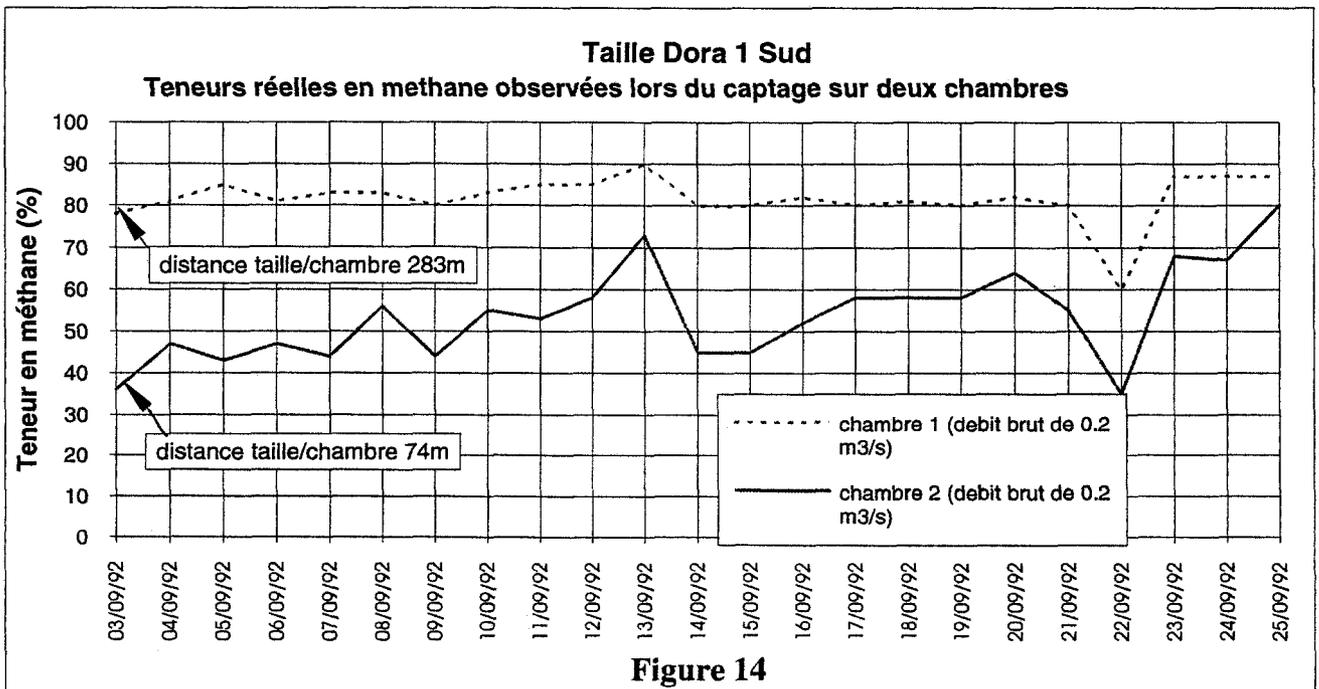
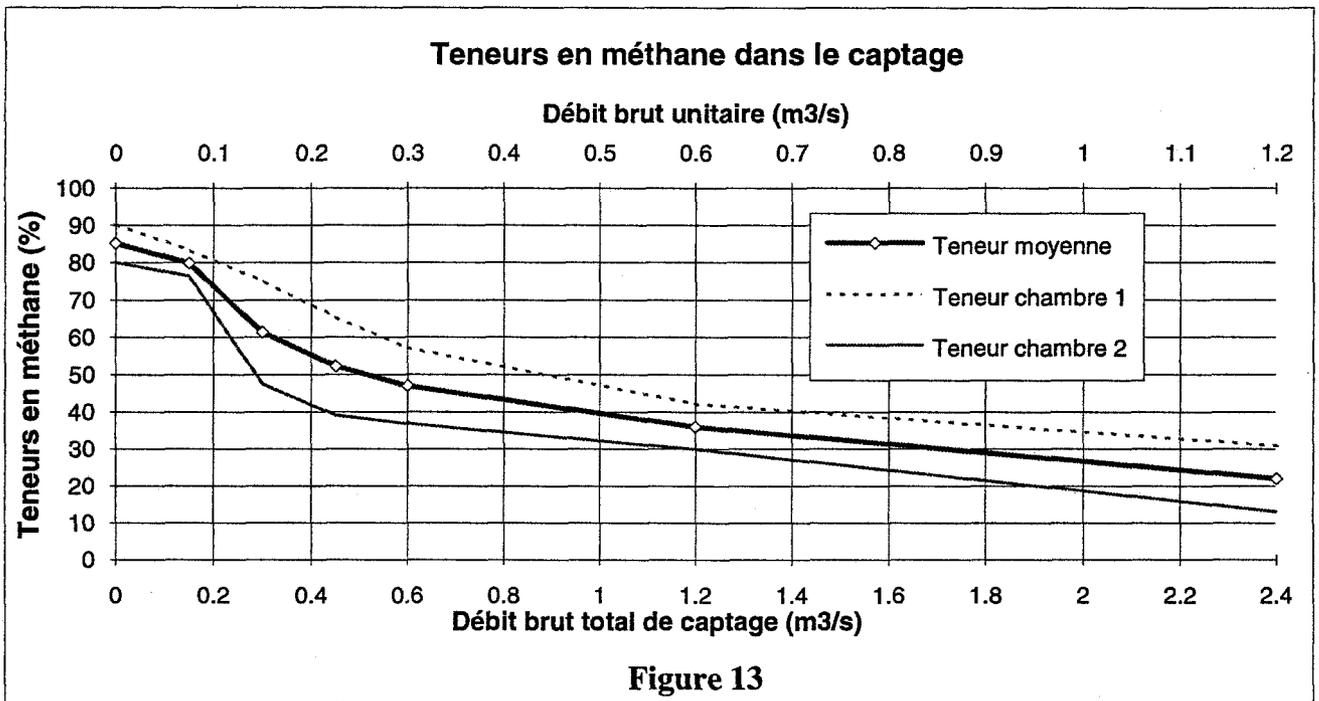
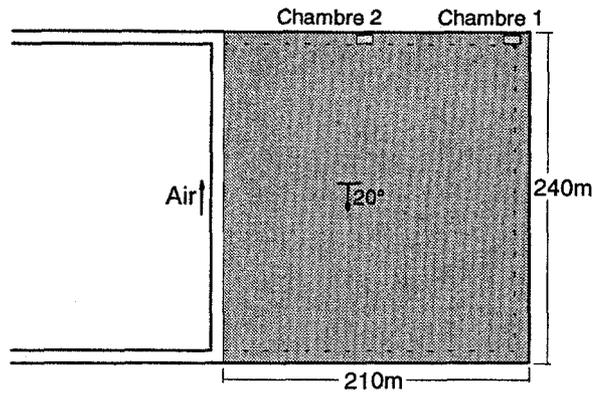


Figure 12

Simulation numérique PHOENICS - Influence du débit de captage
Paramètres de captage sur deux chambres à 100 et 200m
 (Débits bruts égaux)



Simulation numérique PHOENICS - Influence du débit de captage
Comparaison : captage sur chambre(s) à 100m ; 200m ; 100m et 200m

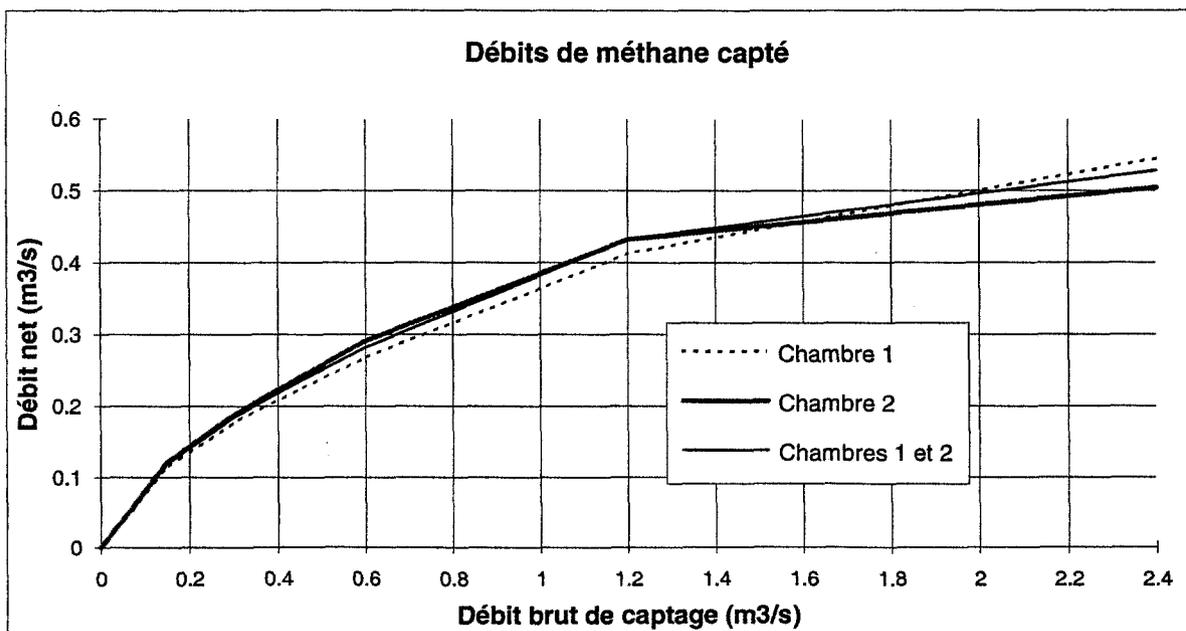
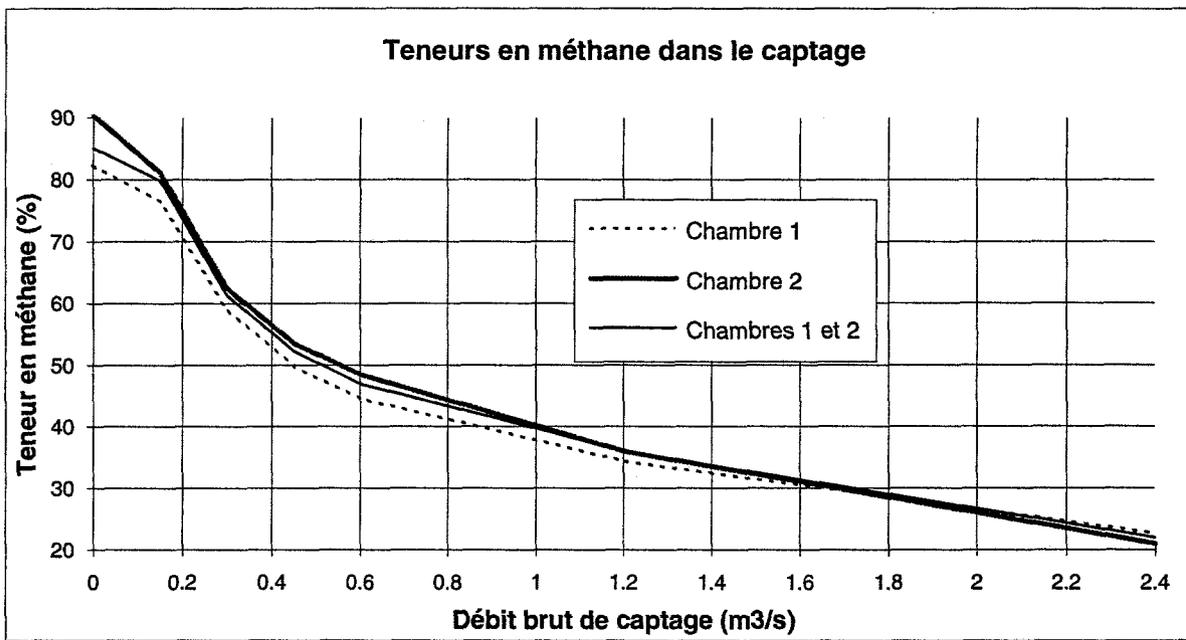
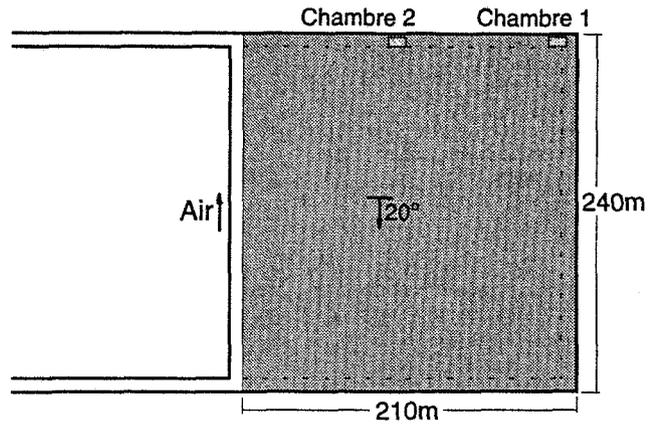


Figure 15

Simulation numérique PHOENICS - Influence du débit de captage
Comparaison : captage sur chambre(s) à 100m ; 200m ; 100m et 200m

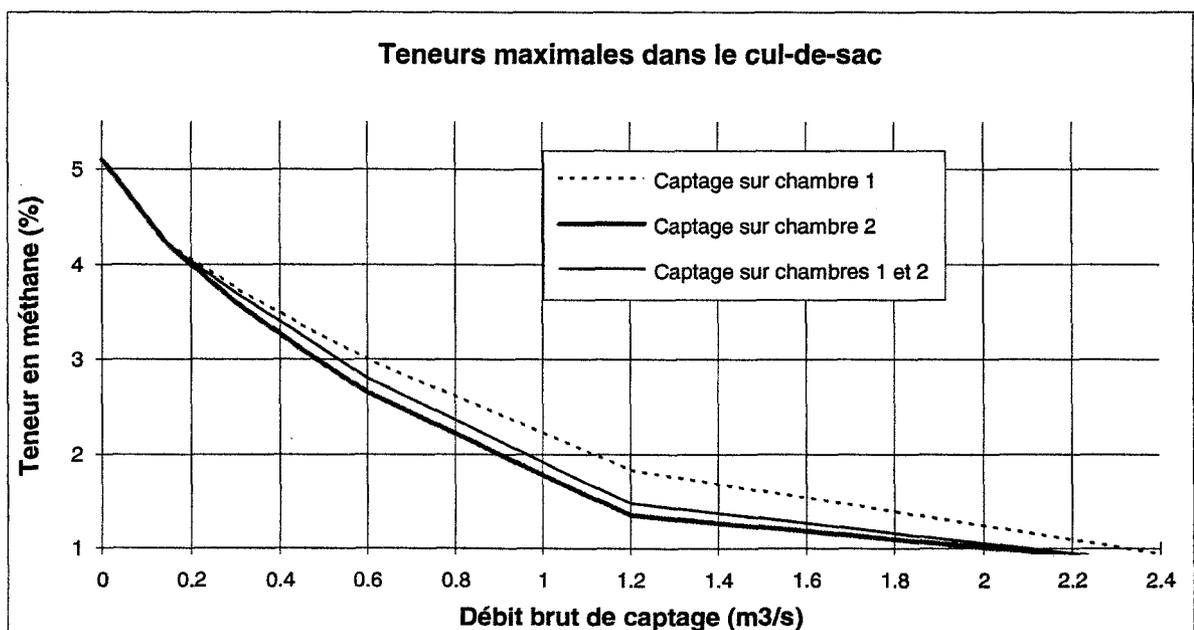
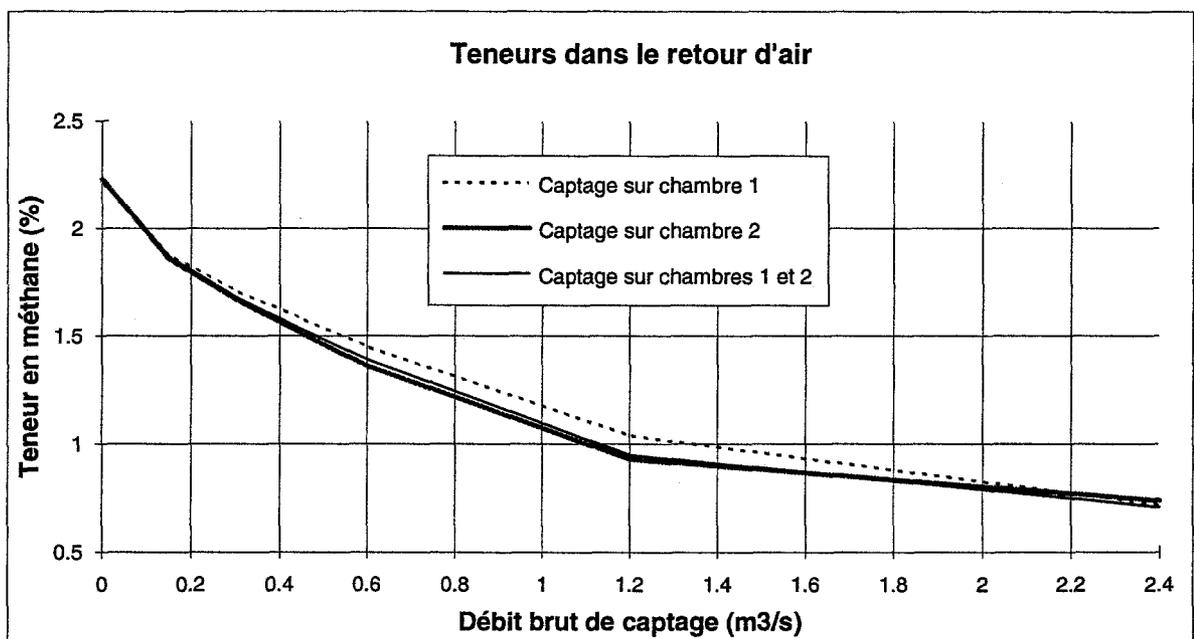
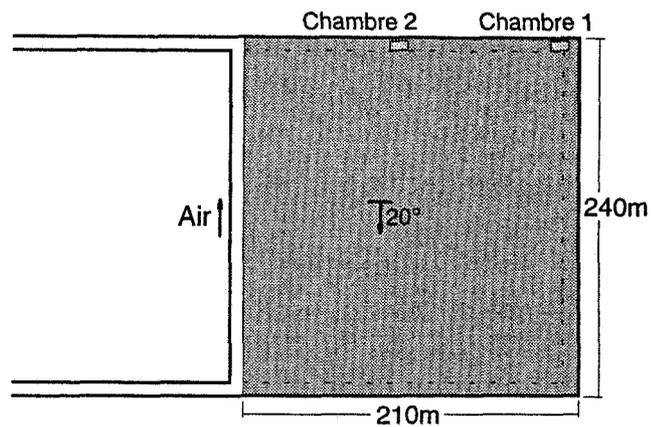
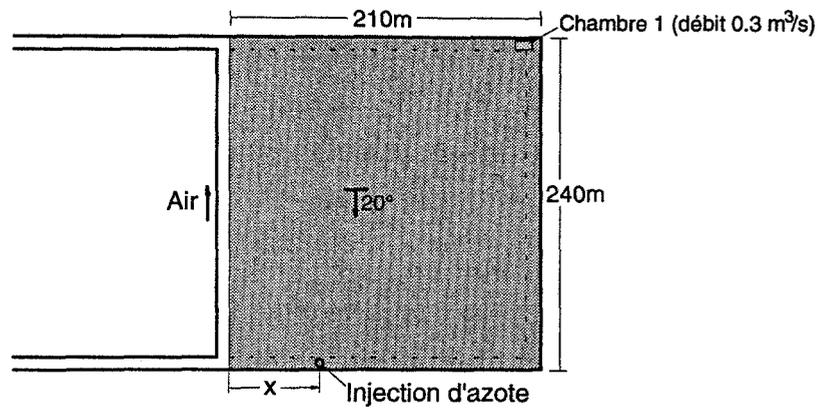


Figure 16

Simulation numérique PHOENICS - Inertisation par l'injection d'azote
Influence du débit et de la position d'injection



Pénétration de l'oxygène dans l'arrière-taille
 (distance taille/front de 1% d'oxygène)

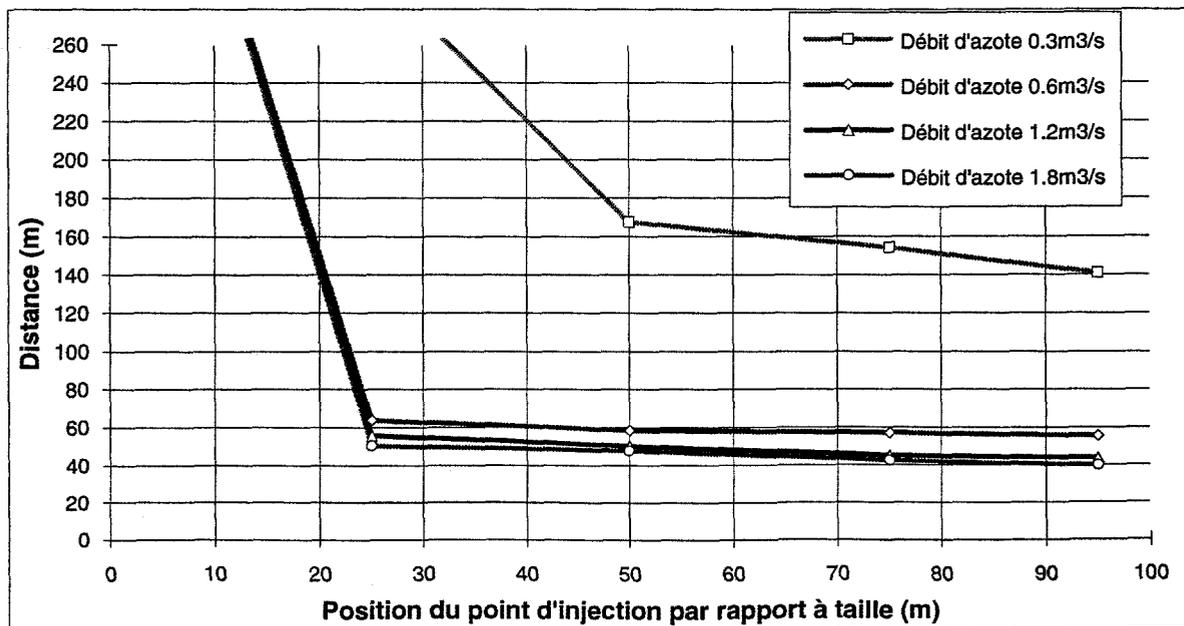
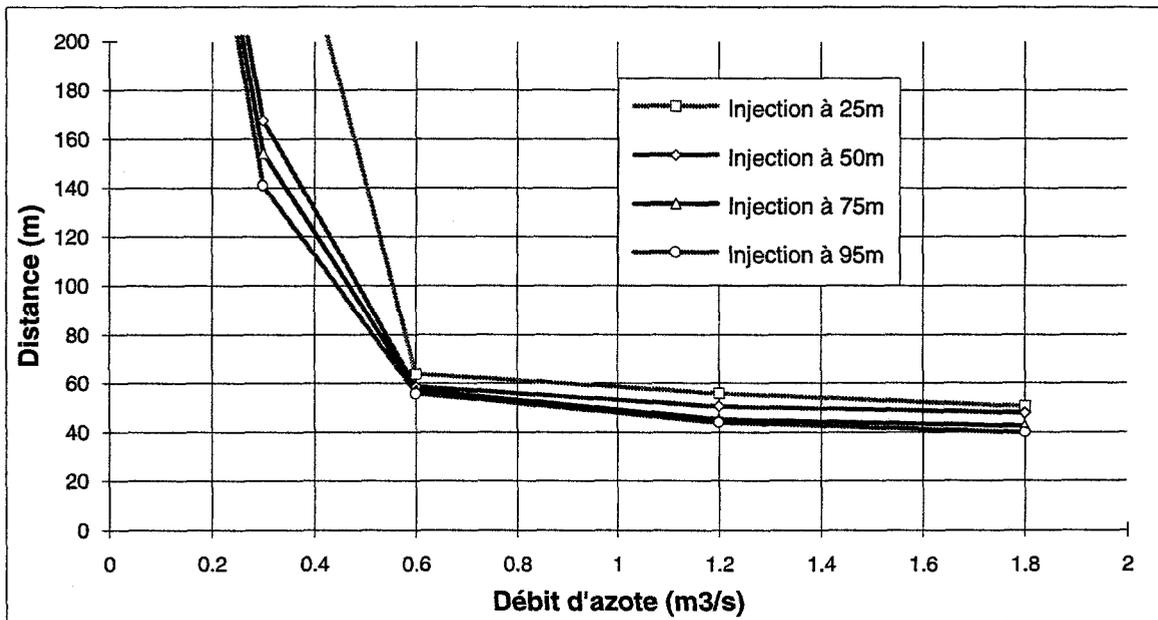


Figure 17

Simulation numérique PHOENICS - Inertisation par l'injection d'azote
Influence du débit et de la position d'injection

Pénétration d'air dans l'arrière-taille

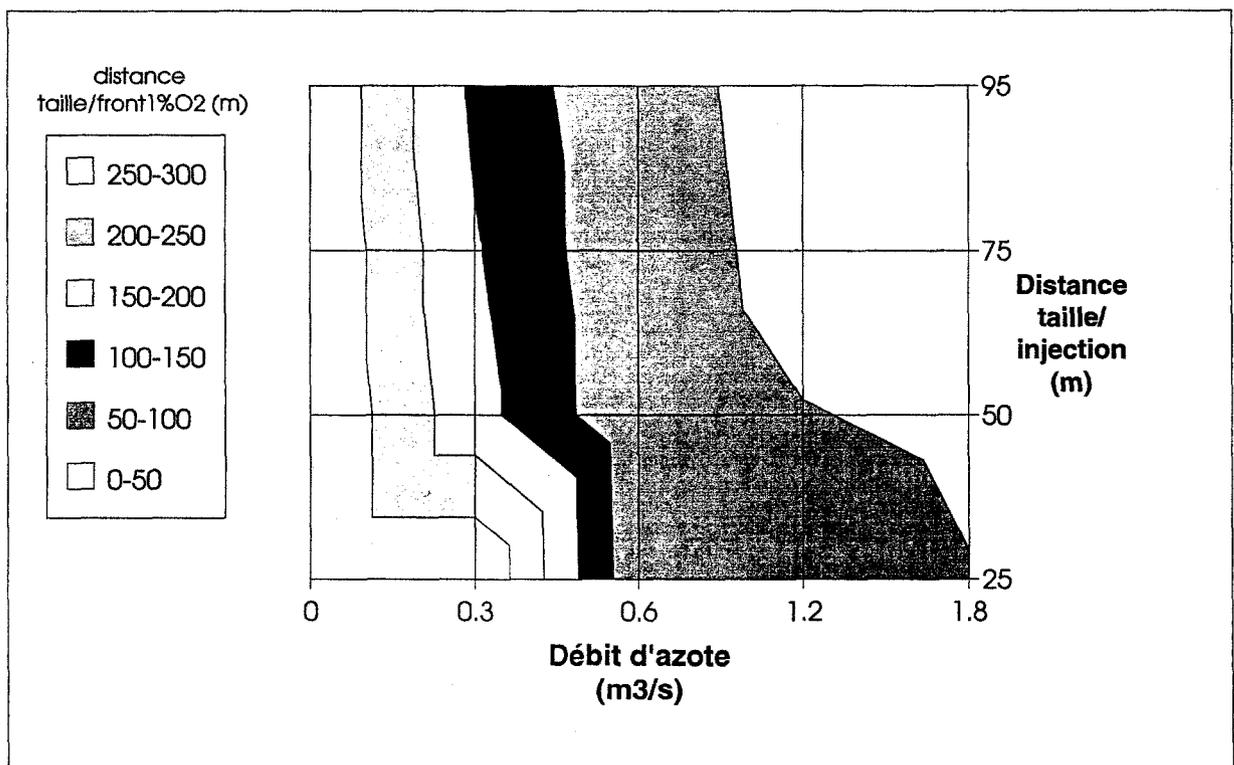
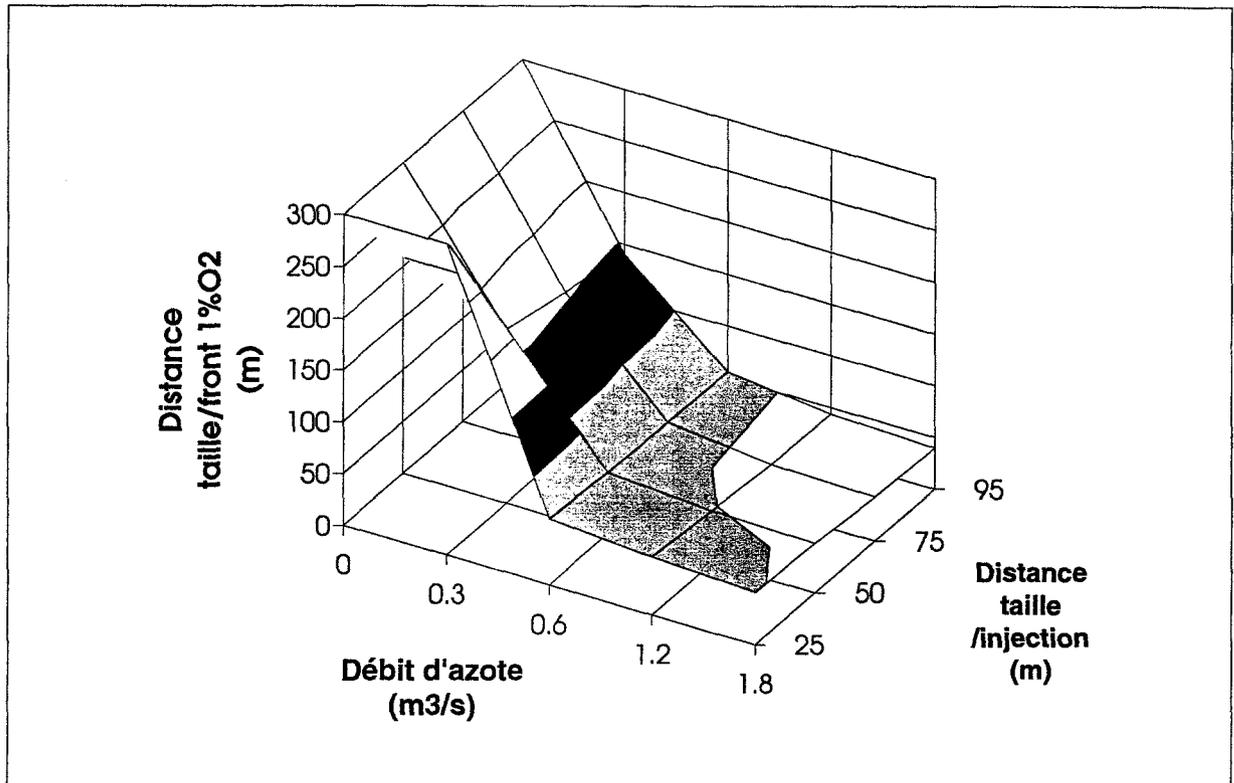


Figure 18

Simulation numérique PHOENICS - Inertisation par l'injection d'azote
Influence du débit et de la position d'injection

Teneur maximale en méthane dans le cul-de-sac

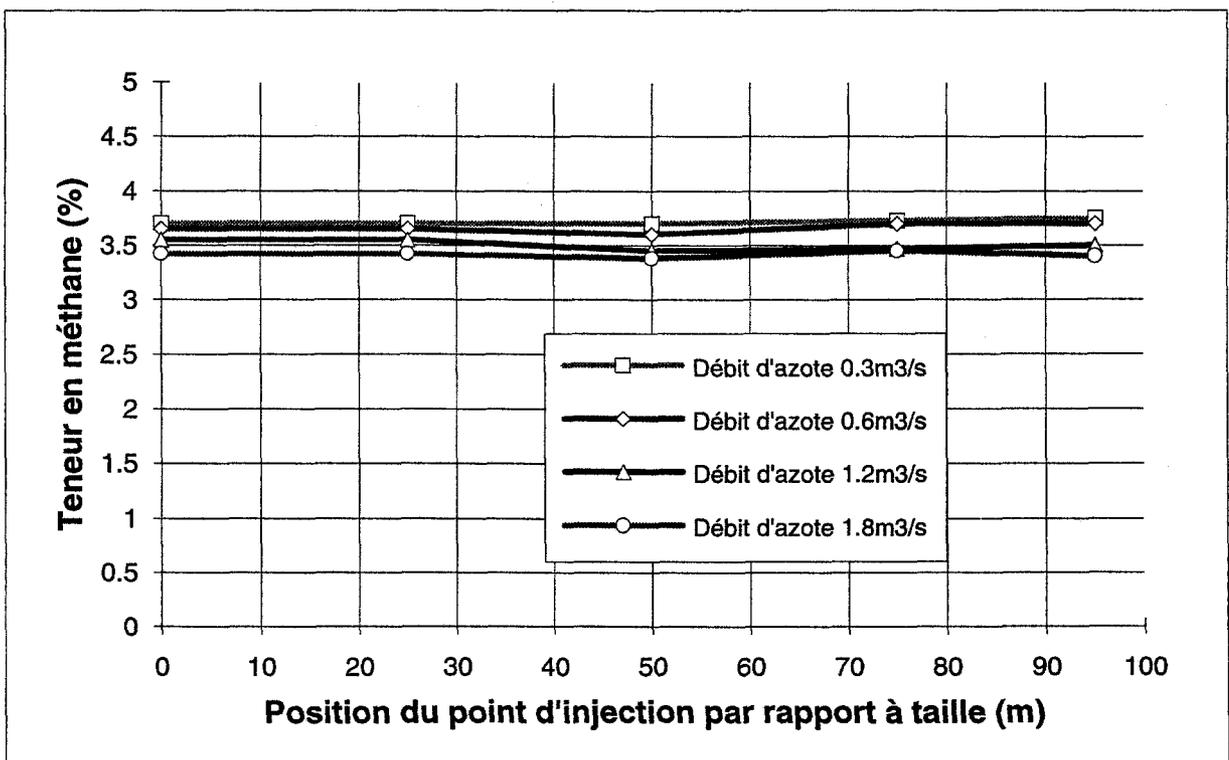
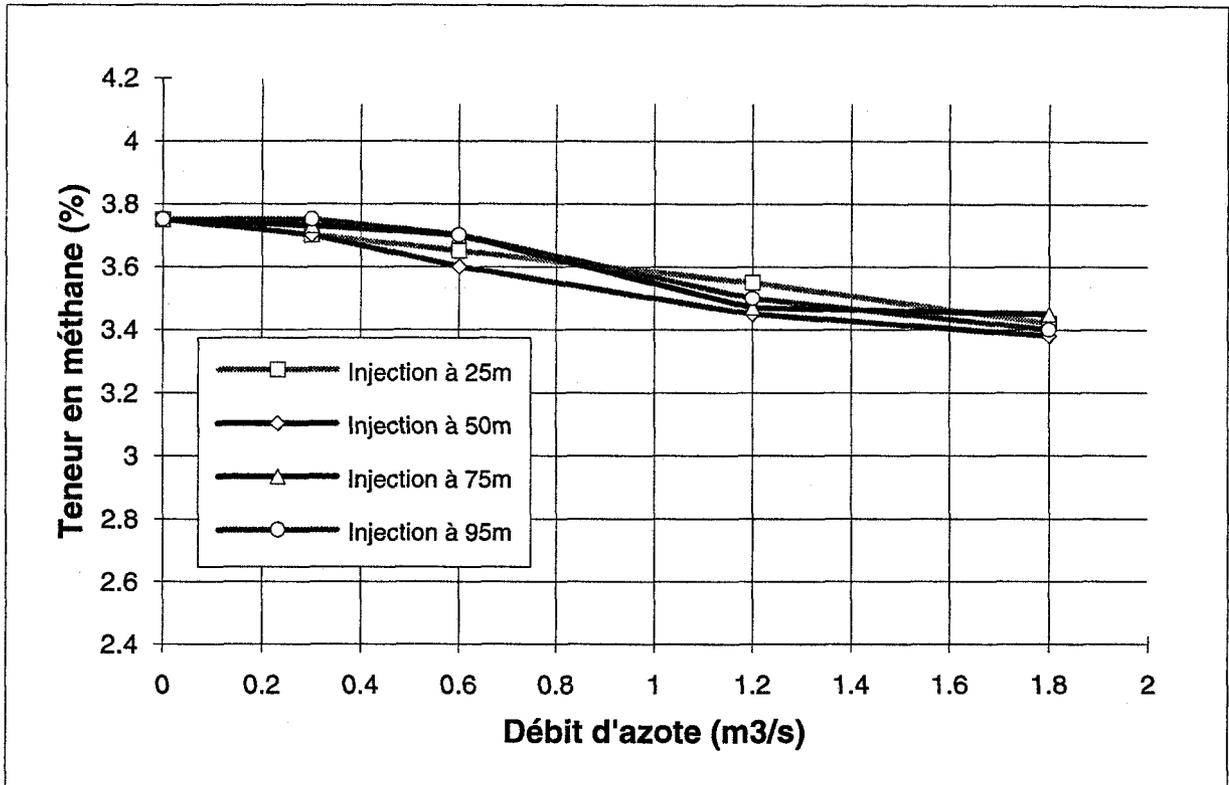


Figure 19