



Application de la modélisation numérique à l'optimisation de l'inertisation à l'azote

Zbigniew Pokryszka, Christian Tauziède, Rémy Bouet, André Carrau

► **To cite this version:**

Zbigniew Pokryszka, Christian Tauziède, Rémy Bouet, André Carrau. Application de la modélisation numérique à l'optimisation de l'inertisation à l'azote. Journée technique CdF, Jun 1996, Saint-Etienne, France. pp.1-16. ineris-00971971

HAL Id: ineris-00971971

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00971971>

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.

**Journée technique CdF
Saint-Etienne, le 5 juin 1996**

Application de la modélisation numérique à l'optimisation de l'inertisation à l'azote

Zbigniew POKRYSZKA, Christian TAUZIÈDE

Rémi BOUET, André CARRAU

*Institut National de l'Environnement Industriel
et des Risques (INERIS)*

1. OBJECTIFS DE LA MODELISATION

La combustion spontanée du charbon et les feux dans l'arrière-taille sont à l'origine de risques très graves dans les chantiers d'exploitation. En dehors des conséquences très importantes sur le plan humain, ces événements peuvent avoir pour effet l'arrêt, parfois définitif, des tailles concernées entraînant des pertes de production et dans certains cas d'équipements.

Les moyens de lutte les plus utilisés contre ces phénomènes consistent à réaliser des injections d'azote dans l'arrière-taille.

Malgré une expérience importante dans l'utilisation de cette technique, son application pratique reste relativement empirique quant au choix de la variante la plus adaptée et la plus efficace dans une configuration d'exploitation donnée; ceci en termes de type, nombre et position des ouvrages d'injection d'azote, comme de débits à mettre en oeuvre.

Dans le but d'améliorer les connaissances dans le domaine concerné, une recherche est réalisée depuis quelques années. Elle consiste à modéliser les écoulements de gaz dans le foudroyage des **tailles rabattantes de Lorraine**, ceci avec pour objectifs précis :

- de rechercher les valeurs optimales des paramètres pour les injections d'azote destinées à prévenir ou lutter contre les échauffements;
- d'améliorer le captage du grisou en prenant en compte le risque de la combustion spontanée du charbon dans l'arrière-taille.

Bien que cette recherche se poursuive toujours, un certain nombre de résultats sont déjà acquis et présentés ici de manière synthétique de façon à servir d'aide à la décision pour les ingénieurs d'exploitation.

Ces connaissances ne sont pas exhaustives et seront complétées et/ou révisées au fur et à mesure de l'avancement du projet de recherche.

2. GENERALITES SUR LES ECOULEMENTS DE GAZ EN ARRIERE-TAILLE DES TAILLES RABATTANTES FOUROYEES EN AERAGE MONTANT

Afin de fournir des données réelles nécessaires pour la validation et le calage de la modélisation, de nombreuses expérimentations différentes ont été entreprises dans les chantiers d'exploitation aux Houillères du Bassin de Lorraine, notamment par l'emploi de gaz traceur. Les résultats de ces expérimentations ont été déjà en partie présentés (Tauziède et al., 1994, Pokryszka et al., 1995a, 1995b). Les expérimentations permettent de créer une base des données nécessaires et apportent en outre un nombre important d'informations pratiques sur les écoulements des gaz et les échanges entre la taille et l'arrière-taille.

Les résultats de ces expérimentations, confirmés par des modélisations sur ordinateur et sur maquettes à échelle réduite, ont montré que ^[*] :

- l'air entrant par la voie de base est dévié pour une partie dans le foudroyage, qui constitue un milieu poreux (figure 1). Le **taux de fuites**, rapport entre le débit passant par l'arrière-taille et le débit total du quartier, peut varier de manière importante d'une taille à l'autre.
- une analyse faite sur les relations entre les taux de fuites d'air et les paramètres caractéristiques des tailles traitées a montré qu'il est difficile de trouver une influence significative des paramètres principaux tels que l'ouverture de la taille, la longueur du front d'exploitation ou le débit total d'air (voir figures 2 et 3). Il semble que l'élément prépondérant l'influençant soit la composition stratigraphique du toit, jouant sur la façon dont se fait le foudroyage et dont celui-ci se recompacte lorsque la taille s'éloigne. L'état des contraintes mécaniques autour du chantier est aussi déterminant, car il agit sur la vitesse et l'amplitude du recompactage du foudroyage. Le traitement des anciennes voies joue également un rôle qui n'a toutefois pas encore été étudié.

On a mesuré ainsi des taux de fuites de l'ordre de :

- 15 % pour Dora 1 Sud 686/756 (débit d'air total 32-35 m³/s),
 - 20-25 % pour Frieda 5 Sud 873/960 (débit d'air 22-35 m³/s),
 - 35 % pour Anna Nord 930/1036 (débit d'air 15-20 m³/s) ;
- le taux de fuite n'évolue pratiquement pas avec l'avancement de la taille (figure 4);
 - les écoulements se font selon des circuits parallèles à la taille, partant du pied et aboutissant en tête (figure 1). Lorsque des ouvrages de captage sont actifs près de l'ancienne voie de tête, les écoulements sont déviés vers eux sur de grandes distances sans que les ordres de grandeur de vitesses soient notablement modifiés (à l'exception toutefois des zones très proches des ouvrages) ;
 - la majeure partie de l'air circulant dans l'arrière-taille passe dans la zone la plus proche de la taille où le foudroyage est plus poreux. Cette zone se translate avec l'avancement de la taille. Les anciennes voies d'accompagnement et le montage de démarrage sont un circuit privilégié de circulation de l'air, mais d'importance relative toutefois. Au-delà d'une longueur d'avancement de la taille de l'ordre de 100 m à 150 m, ce rôle est presque négligeable ;
 - pour une taille ayant avancé de 250 m par exemple, les **vitesses d'écoulement** de l'air dans le vieux ont les ordres de grandeur suivants (figure 5) :
 - 10 à 30 cm/s dans les 20 à 30 premiers mètres derrière la taille,

^[*] On se limite ici à ce seul cas qui représente la quasi-totalité des tailles lorraines.

- 2 à 10 cm/s dans les 30 mètres au-delà,
 - de l'ordre du cm/s dans la zone entre 50 à 80 m en arrière-taille,
 - de l'ordre du mm/s au-delà.
- les temps de transit de l'air par l'arrière-taille varient ainsi de l'ordre d'un quart d'heure à proximité de la taille à plusieurs dizaines d'heures dans des zones éloignées de l'arrière-taille;
- une partie seulement de l'air dévié dans le vieux (20 à 30 %) ressort au droit de l'ancienne voie de tête, alors que le reste (70 à 80 %) ressort sur la partie terminale de la taille (60 à 80 m). Le grisou, lui, sort du vieux dans des proportions différentes : environ moitié par le cul-de-sac de l'ancienne voie de tête et moitié par la partie terminale de la taille. Ceci explique pourquoi les teneurs en grisou sont plus élevées au droit du cul-de-sac.

3. RAPPELS SUR LES PRINCIPES DE LA MODELISATION

Le modèle de calcul est basé sur l'utilisation d'un code standard de mécanique des fluides ("CFD package"), ici PHOENICS, dans lequel on a introduit les équations pertinentes pour représenter les phénomènes en jeu. Pour modéliser un cas concret, il faut réaliser un certain nombre d'opérations, tout en admettant, cela va de soi, des simplifications. Ainsi, il faut :

- décrire la géométrie et les caractéristiques intrinsèques du chantier. Celui-ci est représenté par un maillage. Chaque maille est l'objet d'un calcul élémentaire représentant les échanges avec les mailles voisines. Ceux-ci dépendent des flux entrants et sortants et des caractéristiques intrinsèques des milieux représentés : porosité et perméabilité pour l'arrière-taille et résistance pour les galeries et la taille.

Le modèle est seulement bidimensionnel, par simplification et du fait des variations spatiales des paramètres précédents déjà difficiles à appréhender dans ces conditions. Il faut de ce fait considérer, dans les données introduites et dans les résultats obtenus, que les variables en un point de l'espace à deux dimensions sont une résultante des valeurs le long de la direction manquante (la perpendiculaire au plan de la veine) ;

- décrire les conditions aux limites. Cette partie de travail est plus simple, s'agissant des débits entrants d'air, de grisou et éventuellement d'azote, des débits sortants (captage), ainsi que de la pression atmosphérique à l'entrée du système. Une difficulté réside toutefois dans la description de la répartition du flux de méthane ;
- ajuster les valeurs des paramètres : porosité, perméabilité, flux de méthane en tout point de l'espace. Cette opération de calage du modèle se fait en comparant les résultats des calculs (teneurs en différents gaz, vitesses, direction et sens d'écoulements et par conséquent temps de transit entre un point et un autre) aux données disponibles. Celles-ci consistent au moins en des valeurs de teneurs en différents gaz en un certain nombre de points (retour d'air, captage...). On peut disposer également d'informations globales que peuvent apporter des essais spécifiques au gaz traceur : débits de fuite en arrière-taille, temps de transit...

L'ajustement des paramètres est fait par itérations successives (guidées par l'intuition, la connaissance de la sensibilité du modèle et également la connaissance minière) jusqu'à ce que les écarts observés soient considérés comme acceptables.

Le modèle est ensuite disponible pour réaliser des simulations de cas ou simplement pour étudier la sensibilité d'un résultat à la variation d'un paramètre dont la valeur véritable est difficile à apprécier.

Pour plus de détails sur les principes et les modalités de cette modélisation, on se référera utilement au rapport final du projet de recherche CECA, intitulé “Modélisation des circulations de gaz en taille rabattante”, objet de la convention n° 7220/03/277 (Pokryszka et al., 1995b). Les aspects théoriques de la modélisation ont aussi été décrits en détail par Tauziède et al. (1993).

4. RECHERCHE DES PARAMETRES OPTIMAUX POUR L'INJECTION D'AZOTE

4.1. Simulations réalisées

Les simulations numériques 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 (ici, la position et le débit d'injection d'azote).

Des injections d'azote ont été simulées sur les cas de deux tailles Dora 1 Sud et Frieda 5 Sud, exploitées en 1992 à l'U.E. Reumaux. Pour Dora 1 Sud les simulations ont été effectuées dans deux positions distinctes de la taille correspondant respectivement aux avancements cumulés de 210 m (situation de juin 1992) et 340 m (situation de septembre 1992). Le cas de la taille Frieda 5 Sud à été simulé dans la situation correspondant à l'avancement cumulé de 230 m (situation de décembre 1992).

Les calculs ont été réalisés avec le captage correspondant aux conditions réelles des tailles analysées. Les caractéristiques principales des configurations examinées sont montrées dans le tableau ci-dessous :

Taille		DORA 1 SUD		FRIEDA 5 SUD
Paramètre	Unité	Situation de juin 1992	Situation de septembre 1992	Situation de décembre 1992
Longueur de la taille	m	240	240	190
Avancement cumulé	m	210	340	230
Pendage	degrés	20	20	28
Débit total d'air	m ³ /s	32	34	33
Flux total de méthane	m ³ /s	0,75	0,90	0.40
Débit de captage dans l'arrière-taille	m ³ /s	0,3 (chambre 1)	2 x 0,2 (chambres 1 et 2)	0

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 de l'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.

Les valeurs appliquées dans les calculs ont été les suivantes :

- pour le débit d'azote : 0,3 ; 0,6 ; 1,2 et 1,8 m³/s ;
- pour la distance point injection/taille : 15, 25, 50, 75 et 95 m.

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 de l'inertisation de l'arrière-taille ainsi que l'influence des injections d'azote sur le dégagement de CH₄ de l'arrière-taille vers l'atmosphère du chantier et vers les ouvrages de captage.

4.2. Efficacité de l'inertisation de l'arrière-taille

En vue de caractériser l'efficacité de l'inertisation de l'arrière-taille, on a choisi comme paramètre la profondeur de pénétration de l'oxygène dans la zone foudroyée. Cette profondeur s'exprime (arbitrairement) par la distance maximale entre la taille et la ligne d'isovaleur 1 % d'oxygène dans le foudroyage.

L'ensemble des résultats obtenus pour la taille Dora 1 Sud dans deux situations d'avancement de la taille est donné respectivement aux figures 6 et 7 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. Ces résultats montrent que, quelle que soit la longueur du foudroyage, **il existe des valeurs limites** de deux paramètres principaux, à savoir : la distance entre la taille et le point d'insufflation ainsi que le débit d'injection d'azote. Ces valeurs limites s'avèrent quasiment identiques pour deux positions de la taille étudiée et sont de 25 m environ pour la distance et de 0,3 à 0,6 m³/s (soit 1080 à 2160 m³/h) pour le débit.

Pour pouvoir assurer une inertisation efficace, **les paramètres utilisés doivent être supérieurs à ces valeurs limites**. Dans le cas contraire, il n'est pas possible d'inertiser complètement la zone de foudroyage, comme le montrent les cartographies de la teneur en oxygène dans l'arrière-taille présentées à la figure 8.

En effet, les calculs révèlent 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. 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 60 m 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'azote supérieurs au débit critique (donc > 0,3 m³/s), l'effet de l'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 ainsi obtenu a permis d'établir une représentation synthétique sous la forme d'abaques, montrant la position approximative du front d'oxygène pénétrant l'arrière-taille en fonction de deux paramètres variables : le débit d'azote et la distance entre la taille et le point d'insufflation (figure 10a).

Concernant la taille Frieda 5 Sud, les résultats des simulations réalisées montrent les tendances similaires à celles observées sur le cas de Dora 1 Sud (figures 9 et 10b). On note néanmoins quelques différences significatives :

- premièrement, il est pratiquement impossible d'inertiser l'arrière-taille de manière à réduire à moins de 60 m la largeur de la zone pénétrée par l'oxygène derrière la taille;
- deuxièmement, les valeurs limites du débit d'azote et de la distance du point d'insufflation à la taille sont plus élevées que celles définies pour Dora 1 Sud, bien qu'il n'y ait aucun captage appliqué dans l'arrière-taille de Frieda 5 Sud. En effet, ces valeurs limites s'élèvent respectivement à 50 m environ pour la distance et 0,45 m³/s pour le débit.

L'explication de ces résultats réside dans la différence des taux de fuites d'air dans l'arrière-taille. Ce taux étant plus important dans le cas de Frieda 5 Sud, le flux d'air relativement fort circule plus loin dans la zone immédiate du foudroyage imposant une distance taille/point d'insufflation plus grande pour éviter la dilution de l'azote "à la source". En même temps, pour remplacer une quantité plus importante d'air circulant dans l'ensemble de l'arrière-taille, il est nécessaire d'utiliser un débit équivalent, donc plus grand.

4.3. Influence de l'inertisation sur l'émission de méthane

L'influence de l'inertisation par l'injection d'azote sur l'émission de méthane est caractérisée par l'évolution des teneurs en méthane dans le retour d'air et dans le captage.

Concernant l'évolution de la teneur en CH₄ dans le retour d'air en fonction du débit d'azote, les calculs montrent que celle-ci diminue quasiment proportionnellement au débit d'azote injecté, ce qui s'explique facilement par l'effet de dilution.

Par contre, on observe une augmentation, légère mais sensible néanmoins, des teneurs en méthane en déplaçant la position du point d'insufflation vers l'arrière taille. Cette tendance s'explique par une circulation d'azote de plus en plus importante dans les parties profondes de l'arrière-taille et par un remplacement progressif de méthane par l'azote dans le mélange gazeux capté par les ouvrages de captage (voir figure 11).

Par conséquent, le débit net de méthane capté a une tendance à la baisse, ce qui se traduit par une quantité plus importante de méthane sortant de l'arrière-taille vers l'aéragé.

Ceci démontre alors que dans le cas de l'inertisation d'une arrière-taille soumise parallèlement à un captage de grisou important, il est préférable d'éviter l'insufflation d'azote trop loin dans l'arrière-taille

5. SYNTHÈSE

Une identification des paramètres optimaux d'inertisation préalable au démarrage de la taille est possible. Il faut tout d'abord, en raisonnant par analogie avec des tailles anciennes, identifier le taux prévisible de fuite d'air dans l'arrière-taille. On essaiera pour ce faire de situer la taille à exploiter par comparaison aux tailles où l'on a déjà mesuré ce taux, en considérant principalement la façon dont le foudroyage et le recomptage de l'arrière-taille se feront. Le taux de fuite estimé permettra de dimensionner, lors du projet, les modalités de l'injection éventuelle d'azote.

Dans un deuxième temps, après le démarrage de la taille, on réalisera des essais spécifiques au gaz traceur pour mesurer le taux de fuite effectif et situer la taille en question par rapport aux cas déjà analysés. Il peut d'ailleurs être utile de répéter ces mesures un peu plus tard pour confirmation.

Les principes à appliquer en vue de réduire au minimum l'étendue de la zone où l'oxygène de l'air est présent, sont les suivants :

- **il convient de réaliser l'injection d'azote en amont d'aéragé de la zone à inertiser.** Pour les tailles avec un aéragé montant, le point d'insufflation doit être situé dans l'ancienne voie de base ;
- **l'injection doit être faite avec un débit minimum et à une distance minimum de la taille de façon à ce que l'azote ne soit pas dilué “ à la source ”** par l'air circulant dans la zone de l'arrière-taille proche. L'ordre de grandeur des débits d'azote à mettre en oeuvre pour les tailles avec un débit total d'air de 30 à 35 m³/s est le suivant :
 - pour un taux de fuite de 15 % environ (cas de Dora 1 Sud), pour ne laisser qu'une zone de moins de 60 m non-inertisée ou mal inertisée à l'arrière immédiat de la taille, il faut injecter un débit de 0,71 m³/s (2500 m³/h) à 40 m de la taille ;
 - pour un taux de fuite de 20 à 25 % (cas de Frieda 5 Sud), il faut, pour le même résultat, injecter 6500 m³/h à 40 m de la taille ou encore 4700 m³/h à 100 m de la taille. Si l'on se contente d'une zone non-inertisée de 80 m de large, une injection de 1800 m³/h à 60 m ou bien de 4300 m³/h à 40 m suffira.

- pour un débit choisi, l'injection doit être faite autant que possible à la distance optimale ci-dessus. Une **injection pratiquée plus en arrière donnerait une inertisation pratiquement aussi efficace**. Toutefois, elle aurait pour **effet de remplacer le méthane par de l'azote** et diminuerait de ce fait la teneur en grisou du captage, en augmentant par conséquent la teneur en grisou dans le retour d'air de la taille.

En règle générale, les valeurs-guides ci-dessus devraient ainsi permettre une première approximation du problème à résoudre. Pour les cas complexes, l'idéal serait d'effectuer une modélisation numérique de la taille tenant compte de toutes ces conditions (géométriques, d'aérage, de captage effectif, etc.).

6. REMARQUE

Il convient de remarquer que les résultats et les propositions présentés ci-dessus ne sont que des recommandations et ne constituent en aucun cas des règles universelles. Si l'on peut accorder un crédit certain aux indications qualitatives et aux tendances générales, les valeurs numériques des distances et débits des injections à mettre en oeuvre doivent constituer, faute de mieux, une base de départ. Il est clair qu'elles seront à adapter en fonction des résultats obtenus et notamment en fonction des mesures de la composition du gaz dans tous les points de l'arrière-taille où l'on aura accès.

Par ailleurs, cette phase d'exploitation du modèle développé nous a permis de dire que la modélisation numérique constitue, en conjonction avec les expérimentations dans les chantiers réels, un outil bien adapté pour améliorer notre connaissance des écoulements dans l'arrière-taille. Plus particulièrement, ils peuvent permettre aux exploitants de perfectionner les différents procédés et techniques de lutte contre les auto-échauffements.

7. REFERENCES

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

Modélisation des circulations de gaz dans la zone de foudroyage des tailles rabattantes. 25^{ème} 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., DUPOND P.-M., TAUZIEDE C., BOUET R., CARRAU A., 1995a

Modélisation des écoulements des gaz dans le système taille/arrière-taille. Journée technique de CdF à Hombourg-Haut le 7 juin 1995.

POKRYSZKA Z., TAUZIEDE C., BOUET R., CARRAU A., MARION C., MOUILLEAU Y., 1995b

Modélisation des circulations de gaz en taille rabattante. Rapport final du projet de recherche CECA, convention n° 7220/03/277.