

<p><b>Optimisation de l'inertisation de l'arrière-taille à l'azote</b></p> <p><b>Modélisation numérique</b></p>
---

**Zbigniew POKRYSZKA, André CARRAU, Christian TAUZIÈDE,**  
*Institut National de l'Environnement Industriel  
et des Risques (INERIS)*

## **1. OBJECTIFS DE LA MODELISATION**

---

Au cours des dernières années un certain nombre d'auto-échauffements et de feux d'arrière-tailles se sont déclarés dans les chantiers des HBL et HBCM. Ces événements ont eu pour conséquence l'arrêt, parfois définitif, des tailles concernées entraînant des pertes de production sensibles et parfois d'équipements. Dans certains cas, les feux ont provoqué l'inflammation du grisou dans l'arrière-taille, heureusement sans conséquences graves sur le plan humain.

Malgré une longue et intense expérience pratique, l'utilisation des moyens de lutte contre ces phénomènes reste relativement empirique quant au choix de la variante la plus adaptée et la plus efficace dans une configuration d'exploitation donnée.

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 :

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

Cette recherche a déjà permis d'acquérir un certain nombre de résultats pratiques. Ils sont 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. RECHERCHE DES PARAMETRES OPTIMAUX POUR L'INJECTION D'AZOTE

### 2.1. Simulations réalisées

Les simulations numériques consistent à introduire dans le modèle fixé sur une configuration géométrique donnée de la taille les paramètres intrinsèques correspondants à un cas concret. Ces paramètres (perméabilité, porosité, flux de méthane ...) et leur répartition sont définis lors de la phase de calage du modèle sur les données expérimentales, obtenues par des mesures in situ. 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). 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).

Des injections d'azote ont été simulées sur les cas de trois chantiers choisis de manière à ce que leur niveau respectif de taux de fuite d'air par le foudroyage soit différent.

Ainsi, ces chantiers peuvent être classés dans l'ordre de perméabilité de leur arrière-taille :

- cas A : Dora 1 Sud - arrière-taille peu perméable (taux de fuite de 15 %) ;
- cas B : Frieda 5 Sud - arrière-taille moyennement perméable (taux de fuite de 20 %) ;
- cas C : Veine 1 - arrière-taille très perméable (taux de fuite de 30 %).

Les calculs ont été réalisés avec le captage nul et en respectant le même niveau approximativement du débit total d'air entrant dans le quartier, fixé à environ 35 m<sup>3</sup>/s. Les caractéristiques principales des configurations examinées sont montrées dans le tableau 1 ci-dessous :

**Tableau 1 : Caractéristiques des tailles étudiées**

Taille étudiée		A) DORA 1 SUD	B) FRIEDA 5 SUD	C) VEINE 1
Paramètre	Unité	juin - sept. 1992	nov. 1992 - janv. 1993	nov. 1995 - mars 1996
Taux de fuite d'air	%	15	20	30
Débit total d'air	m <sup>3</sup> /s	32 à 35	33	35
Longueur de la taille	m	240	190	220
Ouverture	m	3,5	3,5	4,1
Avancement cumulé	m	200 à 340	200 à 300	300 à 500
Pendage	degrés	20	28	27
Flux total de méthane	m <sup>3</sup> /s	0,7 à 0,9	0,4 à 0,5	0,4 à 0,8
Débit de captage dans l'arrière-taille	m <sup>3</sup> /s	0	0	0

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 situées dans les limites suivantes :

- pour le débit d'azote : de 0,2 à 1,8 m<sup>3</sup>/s ;
- pour la distance point injection/taille : de 15 à 100 m.

Ainsi, les simulations faites avec différentes combinaisons du couple « débit d'azote - position du point d'insufflation » ont permis d'étudier l'influence de ces deux paramètres sur l'efficacité de l'inertisation de l'arrière-taille. Les résultats de ces simulations ont déjà été en partie présentés (Tauziède et al., 1994,1997, Pokryszka et al., 1995a, 1995b, 1996, 1997). Est présentée ici une synthèse de ces résultats, complétée par des simulations faites récemment.

En parallèle, une série de simulation a été faite, destinée à étudier l'influence du débit d'aéragé et du captage de grisou dans l'arrière-taille sur l'inertisation.

## 2.2. 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-critère 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. Le schéma de principe de ce critère est montré à la figure 1.

L'ensemble des résultats obtenus pour les trois cas étudiés est donné aux figures 2, 3 et 4 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 qu'**il existe des valeurs limites** des deux paramètres étudiés, à savoir : la distance entre la taille et le point d'insufflation ainsi que le débit d'injection d'azote.

Pour pouvoir assurer une inertisation efficace, **les paramètres utilisés doivent être simultanément supérieurs à ces valeurs limites**. Dans le cas contraire, il n'est pas possible d'empêcher la circulation d'air dans les parties éloignées de l'arrière-taille et d'inertiser complètement cette zone du foudroyage. Les valeurs pratiques des limites en question, obtenues pour trois cas étudiés, sont données dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Valeurs limites des paramètres d'injection d'azote (tailles sans captage, débit d'aéragé de 35 m<sup>3</sup>/s)**

Paramètres de l'injection d'azote	Unité	Taille A Taux de fuite d'air de 15%	Taille B Taux de fuite d'air de 20%	Taille C Taux de fuite d'air de 30%
Débit d'azote	m <sup>3</sup> /s	0,2	0,3	0,4
Distance entre la taille et le point d'injection	m	25	50	60

Il faut remarquer que les **caractéristiques de l'insufflation doivent toujours être considérées en terme de couple débit/position**, car l'efficacité de l'inertisation est simultanément liée à ces deux paramètres.

A titre d'exemple, pour une taille A avec le taux de fuite le plus faible (15%), les calculs révèlent qu'un débit d'injection inférieur à 0,2 m<sup>3</sup>/s est insuffisant pour inertiser l'arrière-taille (figure 2). Indépendamment de la position du point d'injection, le front de 1 % d'oxygène pénètre dans l'arrière-taille, dans ce cas, jusqu'à un minimum de 80 m. Par contre, si ce débit est égal ou supérieur à 0,3 m<sup>3</sup>/s, la pénétration du front de 1 % d'oxygène est limitée à 70 m maximum, à condition de situer l'injection à des distances dans l'arrière-taille supérieures à 25 m. On note également que l'efficacité finale d'inertisation est dans ce cas pratiquement la même, quel que soit le débit (en régime permanent).

S'agissant de l'influence particulière de la position du point d'injection, les simulations montrent que pour les débits d'azote supérieurs au débit critique (donc > 0,2 m<sup>3</sup>/s), l'efficacité de l'inertisation est quasiment identique pour des injections réalisées à des distances dans l'arrière-taille supérieures à 25 m.

Notons aussi que, quels que soient le débit et la position d'injection, il est pratiquement impossible d'inertiser l'arrière-taille de manière à réduire à moins de 40 m la largeur de la zone derrière la taille pénétrée par l'oxygène.

Concernant les tailles avec des taux de fuite plus élevés, les résultats des simulations réalisées montrent des tendances similaires à celles observées sur le cas précédent (figures 3 et 4). On note néanmoins quelques différences significatives :

- premièrement, la largeur de la zone pratiquement impossible à inertiser est plus importante. Elle est de 55 m pour la taille avec un taux de fuite de 20 %, et d'environ 70 m pour celle avec un taux de fuite de 30 % ;
- deuxièmement, pour atteindre le même effet d'inertisation, les valeurs du débit d'azote et de la distance du point d'insufflation à la taille sont respectivement plus élevées que celles définies pour le premier cas. La figure 5 montre une comparaison des paramètres d'inertisation pour trois niveaux du taux de fuite.

L'explication de ces résultats réside dans les différences entre les quantités d'air fuyant par l'arrière-taille. Le taux de fuite étant plus important dans les cas des tailles B et C, entraîne un flux d'air proportionnellement plus fort et circulant plus loin dans la zone immédiate du foudroyage, imposant ainsi 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 d'azote équivalent, donc plus grand.

L'ensemble des résultats ainsi obtenus a permis d'établir une représentation synthétique sous forme d'abaque montrant, pour trois niveaux du taux de fuite d'air, 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 6). Rappelons qu'il s'agit ici des cas de chantiers sans aucun captage appliqué dans l'arrière-taille.

### **2.3. Influence du débit d'air (cas d'une arrière-taille très perméable)**

Les simulations faites avec différents niveaux du débit total d'air entrant dans le quartier ont permis d'étudier l'influence de ce paramètre sur l'efficacité de l'inertisation de l'arrière-taille à l'azote. Ces simulations ont été réalisées sur le cas de la taille avec un foudroyage très perméable (Veine 1) et en faisant varier le débit d'air sur deux niveaux : 35 et 50 m<sup>3</sup>/s.

Ainsi, elles montrent qu'une augmentation du débit total d'air (donc aussi de la quantité d'air déviée dans l'arrière-taille) est défavorable à un bon fonctionnement des injections d'azote. Cette influence se manifeste de la manière suivante (voir figures 7 et 8) :

- la zone de l'arrière-taille pratiquement impossible à inertiser devient plus large. Elle est de 70 m environ pour le débit d'air de 35 m<sup>3</sup>/s et atteint de 90 m, si le débit est de 50 m<sup>3</sup>/s ;
- les valeurs minimales des paramètres caractéristiques (débit d'azote et distance entre la taille et le point d'insufflation) permettant une inertisation efficace sont également plus élevées, si le débit d'air est plus grand.

Concernant le débit d'azote, il est pratiquement nécessaire de le doubler pratiquement pour compenser l'effet d'augmentation du débit d'air (figure 8a). En effet, pour une injection réalisée à 80 m derrière la taille, le débit minimal assurant une bonne inertisation évolue de 0,3 m<sup>3</sup>/s à 0,6 m<sup>3</sup>/s, lorsque le débit d'air augmente.

Pour une injection d'azote réalisée avec un débit donné, par exemple 0,6 m<sup>3</sup>/s (voir figure 8b), la distance minimale à respecter augmente sensiblement. Elle évolue de 60 à 80 m, si le débit d'air passe de 35 m<sup>3</sup>/s à 50 m<sup>3</sup>/s.

Par ailleurs, des résultats d'inertisation obtenus dans ce dernier cas, mesurés par la largeur de la zone mal inertisée, seront toujours moins bons, quelle que soit la distance d'injection.

Pour conclure, en augmentant le débit total d'air dans une taille, il est nécessaire de réviser à la hausse les paramètres caractéristiques de l'injection d'azote dans l'arrière-taille.

### **2.4. Influence du captage (cas d'une arrière-taille peu perméable)**

Afin d'étudier l'influence d'un captage de grisou dans l'arrière-taille sur l'efficacité de l'inertisation à l'azote, les simulations ont été réalisées dans deux options du captage : un captage nul et un captage sur chambre(s) installé(s) dans l'ancienne voie de tête.

Ces deux options du captage ont été testées dans deux configurations géométriques de la taille étudiée, correspondant aux deux avancements cumulés différents de la taille : 210 m et 340 m.

Dans la première configuration, le captage était réalisé sur une seule chambre située dans la zone du démarrage (figure 9). Le débit de captage était de 0,3 m<sup>3</sup>/s. Dans la deuxième configuration, le grisou était capté par deux chambres, l'une installée dans la zone du démarrage et l'autre aménagée à 140 m de la taille. Le débit d'air total de captage était dans ce cas de 0,4 m<sup>3</sup>/s, réparti uniformément sur les deux chambres.

Pour l'ensemble des cas simulés, l'injection d'azote était située dans l'ancienne voie de base à 50 m derrière la ligne de foudroyage. Différents débits d'azote ont été testés, dans une fourchette de 0,3 à 1,8 m<sup>3</sup>/s.

Les résultats des simulations se sont avérés être similaires pour les deux configurations géométriques de la taille étudiée (figure 9). Ils montrent clairement que le captage joue défavorablement sur les effets d'inertisation. On remarque notamment :

- une agrandissement de la zone de l'arrière-taille impossible à inertiser, d'environ 40 m à presque 50 m ;
- une augmentation du débit minimal d'azote nécessaire pour assurer une inertisation efficace. En effet, ce débit évolue de 0,3 m<sup>3</sup>/s, dans le cas d'un captage nul, à 0,6 m<sup>3</sup>/s, si le captage est actif.

De manière générale, pour compenser l'influence du captage, il est nécessaire d'augmenter le débit d'azote injecté. Ce supplément de débit doit au moins compenser le débit de captage. Dans le cas précis de cette modélisation, le taux d'augmentation du débit d'azote doit être égal à 2.

Les cartographies des teneurs en oxygène dans l'arrière-taille montrent néanmoins que l'influence du captage est beaucoup plus sensible si le débit d'azote est inférieur ou égal au débit total de captage (figure 10). Elle devient moins importante et à la limite négligeable pour des débits d'azote plus grands.

### 3. SYNTHÈSE

---

La base des données créée grâce aux mesures in situ et aux simulations numériques permet une identification des paramètres optimaux d'inertisation pour une taille donnée. Il faut tout d'abord, en raisonnant par analogie avec des tailles anciennes, identifier le taux le plus probable de fuite d'air dans l'arrière-taille. On essaiera pour ce faire de situer la taille en question par comparaison aux tailles où l'on a déjà mesuré ce taux, en considérant principalement la façon dont le foudroyage et le recompactage de l'arrière-taille se réalisent. Le taux de fuite estimé permettra de dimensionner les modalités de l'injection éventuelle d'azote, en se référant aux cas typiques de tailles déjà modélisées.

Si les conditions le permettent, on réalisera des essais spécifiques au gaz traceur pour mesurer le taux de fuite effectif et mieux situer la taille en question par rapport aux cas de tailles de référence. 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'aérage de la zone à inertiser.** Pour les tailles avec un aérage montant, le point d'insufflation doit être situé dans l'ancienne voie de base ;
- une circulation importante d'air dans la zone du foudroyage proche de la taille rend cette zone pratiquement impossible à inertiser. La largeur de cette zone augmente pour les taux de fuite (et les débits d'air) plus grands. Pour les tailles avec un débit d'air total de 30 à 35 m<sup>3</sup>/s, la largeur approximative de cette zone est suivante :

- de 40 m, si le taux de fuite est de 15 % ;
  - de 55 m si le taux de fuite est de 20 % ;
  - de 70 m, si le taux de fuite est de 30 % ;
- **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 **captage dans l'arrière taille nul** et un **débit total d'air de 30 à 35 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s (2500 m<sup>3</sup>/h) à 40 m de la taille ;
  - pour un taux de fuite de 20 % (cas de Frieda 5 Sud), il faut pour le même résultat, injecter 1,8 m<sup>3</sup>/s (6500 m<sup>3</sup>/h) à 40 m de la taille ou encore 1,3 m<sup>3</sup>/s (4700 m<sup>3</sup>/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 0,5 m<sup>3</sup>/s (1800 m<sup>3</sup>/h) à 60 m ou bien de 1,2 m<sup>3</sup>/s (3400 m<sup>3</sup>/h) à 40 m suffira ;
  - pour un taux de fuite de 30 % (cas de Veine 1), pour limiter à environ 80 m la zone non inertisée à l'arrière immédiat de la taille, il faut injecter un débit de 1,15 m<sup>3</sup>/s (4200 m<sup>3</sup>/h) à 60 m de la taille ou encore 1,05 m<sup>3</sup>/s (3800 m<sup>3</sup>/h) à 100 m de la taille ;
- 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 ;
- **le temps d'insufflation doit être suffisamment long**, en sachant que le seul établissement du régime permanent des circulations des gaz peut durer plusieurs dizaines d'heures, compte tenu des vitesses d'écoulement dans les zones éloignées de l'arrière-taille qui sont de l'ordre de quelques mm/s seulement ;
- le captage de grisou dans l'arrière-taille joue défavorablement sur les effets de l'inertisation. Pour réduire son influence, il est nécessaire d'augmenter le débit d'azote injecté. D'une façon générale, cette augmentation doit **au moins compenser le débit brut de captage** ;
- en augmentant le débit total d'air dans une taille, il est nécessaire de réviser à la hausse les paramètres caractéristiques de l'injection d'azote dans l'arrière-taille. Un paramètre particulièrement sensible est, dans ce cas, le débit critique d'azote.

Il convient de remarquer que les résultats et les propositions présentés ci-dessus ne sont que des recommandations et ne peuvent constituer à l'étape actuelle 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.

En règle générale, les valeurs-guides ci-dessus devraient néanmoins 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.).

#### **4. REFERENCES**

---

*POKRYSZKA Z., DUPOND P.-M., TAUZIEDE C., BOUET R., CARRAU A., 1995*

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.

*POKRYSZKA Z., TAUZIEDE C., BOUET R., CARRAU A., 1996*

Application de la modélisation numérique à l'optimisation de l'inertisation à l'azote. Journée technique de CdF à Saint Etienne le 5 juin 1996.

*POKRYSZKA Z., TAUZIEDE C., BOUET R., CARRAU A., SARAUX E., 1997*

Application of numerical gas flows modelling to optimisation of nitrogen injections in the goaf, 27th International Conference on Safety in Mines Research Institutes, 20-22 February, New Delhi, India.

*TAUZIEDE C., POKRYSZKA Z., CARRAU A., SARAUX E., 1997*

Modelling of gas circulation in the goaf of retreat faces, 6th International Mine Ventilation Congress, 17-22 Mai 1997, Pittsburgh.