



n° 9951-3

Mine de BAZAILLES (54)

*Etude géomécanique, hydrologique
et géochimique
du réservoir de la Mine de Bazailles
(actualisée au 1er septembre 1984)*

L. DEMASSIEUX, R. HOUPERT, F. HOMAND

Institut National Polytechnique de Lorraine
CENTRE DE RECHERCHES EN MECANIQUE ET HYDRAULIQUE
DES SOLS ET DES ROCHES
Ecole Nationale Supérieure de Géologie Appliquée
et de Prospection Minière

Dans l'hypothèse où il serait nécessaire de compenser les débits évaporés par la future centrale de CHOOZ-B, la Région d'Equipement Paris d'Electricité de France et l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse ont demandé au Centre de Recherches en Mécanique et Hydraulique des Sols et des Roches de l'E.N.S.G., d'étudier la possibilité de constituer une réserve en amont de CHOOZ en utilisant une mine de fer abandonnée en voie d'ennoyage (Mine de Bazailles).

Le volume des vides créé dans le sous-sol par cette ancienne mine de fer est en effet d'un ordre de grandeur suffisant pour imaginer de l'utiliser comme réservoir de compensation.

Le volume total des vides actuels est estimé à 15,7 hm³ dont 11 hm³ sont garantis à terme : ce volume correspond à celui des vides stables à terme auquel s'ajoute le volume des vides intersticiels des zones instables et susceptibles de s'effondrer en tenant compte d'un foisonnement des matériaux.

Sur ces 11 hm³, seuls 9,7 hm³ doivent être considérés comme utiles dans la mesure où il ne sera sans doute pas possible d'implanter l'ouvrage de pompage au point le plus bas de l'exploitation.

La gestion la plus simple de ce réservoir consisterait à en forcer l'alimentation par prélèvement dans le réseau superficiel en période d'excédent, et à rejeter dans un des cours d'eau tributaires de la Meuse les débits nécessaires pour compenser les débits évaporés à CHOOZ dès que le débit de la Meuse tomberait en-dessous d'un seuil.

Sur le plan quantitatif, les premières simulations de gestion, avec une prise en rivière de 0,25, 0,5, 1, 2 et 3 m³/s sur la période 1967-1980 et avec l'hypothèse d'une réserve utile de 16 hm³, et une évaporation surévaluée (3,55 m³/s), ont conduit à des résultats tout à fait semblables.

Les simulations définitives ont été effectuées en fixant le débit maximum de prélèvement à 1 m³/s, une réserve utile ramenée à 9,7 hm³ et une évaporation plus réaliste (2,44 m³/s au maximum).

Pour des raisons techniques (alimentation gravitaire) ou financières (prélèvement à l'aval et refoulement), il nous paraît fondé de préconiser une prise en rivière limitée à 0,25 m³/s. Bien que cette hypothèse n'ait pas été testée, nous estimons qu'elle peut servir de base de discussion.

Le rejet en cours superficiel d'eau de mines chargées en sulfates et sodium ne devrait entraîner à CHOOZ que des teneurs limitées en ces éléments (respectivement 160 mg/l en SO_4 pendant 14 jours et 70 mg/l en sodium pendant 40 jours pour la période 1971-1980).

Sur le plan technique, le projet consisterait donc à :

- établir une prise soit sur la Pienne (alimentation gravitaire), soit sur la Crusnes à Pierrepont (avec refoulement), limitée à 0.25 m³/s ;*
- foncer un ou plusieurs puits au point bas de la Mine, au voisinage de la Pienne à Mercy-le-Bas, équipés d'un ou plusieurs groupes mobiles de pompes susceptibles de fournir un débit global de 2.44 m³/s et comprenant un dispositif de secours ;*
- foncer au point haut de la Mine (Laix) un évent ;*
- concevoir un dispositif mobile d'injection comprenant une conduite et une structure de dissipation d'énergie ;*
- mettre en place un dispositif de surveillance de la qualité des eaux rejetées.*

L'ensemble de l'investissement minimum à consentir serait de l'ordre de 20 MF (alimentation gravitaire) ou 25 MF (alimentation par refoulement), auxquels, dans ce cas seulement, il conviendrait d'ajouter 8 MF si le débit de prélèvement était porté à 1 m³/s. Dans ce cas, le dispositif d'exhaure comprendrait six puits en diamètre 1 m, équipés de 24 pompes de 400 m³/h.

Dans l'hypothèse où le dispositif d'exhaure serait constitué par un puits unique en diamètre 4 m, équipé de cinq pompes de 0.61 m³/s et d'une pompe de démarrage, l'investissement total se monterait à 58.0 MF avec une prise en rivière de 0.25 m³/s (même plus-value de 8 MF au cas où ce débit serait porté à 1 m³/s).

Ces prix s'entendent hors-taxes, aux conditions économiques au 1er janvier 1984 pour l'ensemble ; ils ne comprennent pas le coût des acquisitions foncières, le coût du génie civil de la station de pompage, le coût de mise en place et de mise en oeuvre des matériels mécaniques et électriques, ni celui des installations de surveillance de la qualité des eaux.

I - GENERALITES SUR LA MINE DE BAZAILLES

1.1 - Géologie

La mine marchande de Bazailles a été exploitée à partir de 1931, date du fonçage du puits d'extraction. La structure du gisement de cette concession est assez simple ; il s'agit d'une superposition de quatre horizons minéralisés, lenticulaires, se relayant vers l'est. Une seule lentille est exploitable à la fois ; le recouvrement varie de 90 à 185 m environ.

Le mur de chaque formation minéralisée est en général constitué d'argilites compactes, micacées, tandis que le toit montre une grande variabilité des faciès : arénites à shales argileux.

Le pendage général est nord-sud et les formations sont très modérément affectées par des accidents cassants (failles).

1.2 - Techniques d'exploitation

Après "traçage", l'exploitation a débuté par la méthode dit de "dépilage" ; le défruitement de 75 % conduit dans ce cas à un effondrement rapide du toit. En 1967, le dépilage est abandonné au profit du "traçage-élargissage" (défruitement 55 à 57 %). En 1981, un essai de "dépilage alterné" a été mené.

1.3 - Estimation du volume des vides

La connaissance du découpage de l'exploitation en "quartier", du taux de défruitement, de l'épaisseur des formations exploitées, permet d'estimer le volume des vides créés par l'exploitation. Dans cette situation, il n'a pas été tenu compte des zones "dépillées".

Méthodes d'exploitation	Surfaces (km ²)	Pourcentages des vides	Volumes des vides (hm ³)
Stots et traçage	7.621	40	8.750
Traçage-élargissage	3.975	55	5.971

La mine de Bazailles a été peu exploitée, ce qui explique la proportion élevée de la surface des "traçages", dont la stabilité est garantie à terme.

II - ETUDE GEOMECHANIQUE

Cette étude a été jugée nécessaire pour les zones exploitées en "traçage-élargissage", qui sont destinées à s'effondrer à plus ou moins long terme : notons cependant qu'un seul effondrement a été recensé à ce jour et encore dans une zone où le toit est réputé de mauvaise qualité.

II.1 - Reconnaissance effectuée

Une campagne restreinte de reconnaissance a été réalisée par sondages dans une zone exploitée en "traçage-élargissage", soit :

- un sondage au mur de 4,50 m
- un sondage au toit de 1,2 m
- trois sondages en piliers de 5 m

Par ailleurs, un ensemble de blocs de matériaux a été recueilli au voisinage de ce chantier.

II.2 - Caractérisation des formations

Les essais géomécaniques réalisés ...

- 115 essais de compression simple sur matériau saturé,
- 12 essais sous pression de confinement,
- 10 essais de traction,

... mettent en évidence une grande dispersion des caractéristiques physiques (porosité) et mécaniques des matériaux testés. Il a naturellement été tenu compte de cette dispersion dans l'établissement du critère de rupture.

Par ailleurs, des essais mécaniques sur des matériaux soumis à des cycles de saturation-désaturation, n'ont pas mis en évidence de modifications significatives de leurs propriétés mécaniques.

II.3 - Risques d'instabilité

Un examen des risques d'instabilité potentielle de l'ensemble de l'exploitation à l'aide de la théorie de "l'aire tributaire" permet de distinguer trois zones :

- zone des stots affaissables en l'état actuel, dont la profondeur est supérieure à 140 m ;
- zone des stots stables en l'état actuel, dont la profondeur est comprise entre 90 et 140 m ;
- zone de "traçage-élargissage" et "dépilage alterné" affaissables en l'état actuel quelle que soit leur profondeur.

11.4 - Modélisation

La modélisation en éléments finis a porté sur les zones exploitées en "traçage-élargissage" de façon à préciser les résultats obtenus par la méthode précédente et à analyser les mécanismes de rupture au toit.

Un premier modèle a été établi en admettant le milieu continu, l'élasticité linéaire, les déformations planes.

Un second modèle tient compte de l'hétérogénéité du toit (7 couches distinctes) et d'une fissuration des piliers sur 1,50 m.

Ces deux modèles sont limités horizontalement à 7,5 m sous le mur de l'excavation. La condition imposée est : déplacement vertical nul. Cette condition est arbitraire et l'influence sur la zone potentielle instable de conditions différentes devrait être regardée, dans le cadre d'une étude d'avant-projet.

En principe, la rupture s'effectuerait par traction au centre des galeries et par cisaillement le long des piliers, conduisant à la création de "cloches d'effondrement" d'environ 3,50 m. La rupture atteint le pilier (27 % plastifié) ; le mur se rompt sur 2,50 m de profondeur.

Les essais de compression simple réalisés en laboratoire fournissent un modèle de comportement du matériau plus élaboré que le simple comportement élastique pris en compte. Le recours à ces lois pourrait préciser, de façon plus réaliste, les conditions de la rupture et les dimensions des cloches d'effondrement.

La mise en eau de la Mine ne peut être simulée que par l'application d'une pression centrifuge normale s'exerçant aux parois du traçage et égale au poids de la colonne d'eau.

Ce modèle met en évidence une amélioration de la stabilité par le confinement qu'il simule ; cependant, on ne peut retenir ces résultats dans la mesure où cette pression de confinement s'atténuera par suite de la percolation des eaux à travers les matériaux dont il augmentera à terme la pression interstitielle.

Il est possible notamment en période de vidange rapide, que l'on puisse aboutir au décollement de dièdres instables aux parois des cloches.

II.5 - Conclusions

L'ensemble des travaux de synthèse documentaire et de modélisation en éléments finis montre que le maintien de la capacité de stockage des zones exploitées en traçage-élargissement ne peut être garanti à moyen terme. En effet, ces travaux ont montré que des ruptures du toit des traçages sont inévitables à terme.

Il n'est pas possible de préciser à quelle date l'ensemble des travaux en traçage-élargissement aura subi des effondrements du toit, mais il est à peu près certain que la mise en eau de la mine risque d'accélérer le processus, compte tenu de la nature argileuse et hétérogène des premiers bancs du toit.

Pour des traçages de 11 m de large, on peut estimer que la hauteur de la cloche d'effondrement du toit sera supérieure à 3 m. Le volume de matériau ainsi effondré devrait, compte tenu du foisonnement, remplir entièrement les cavités d'exploitation, et le seul volume de stockage encore disponible sera alors le vide interstitiel du matériau effondré.

Le volume des vides garanti stable est celui des stots à taux de défrètement réduit (à l'exception de FX8), soit environ 8 400 000 m³.

Le volume des vides résiduel, disponible après effondrement du toit dans les zones exploitées en traçage-élargissement, serait compris entre 2 700 000 et 4 700 000 m³ selon les valeurs retenues pour le coefficient de foisonnement (1.5 à 1.75) et le pourcentage des vides résiduel réellement accessible (0.25 à 0.75). Le volume total des vides disponibles est, en définitive, compris entre 11.1 et 13.1 hm³.

La stabilité de la surface à l'aplomb des zones exploitées par traçage-élargissement semble par contre assurée à moyen terme dans l'état actuel des matériaux. En effet, les cloches d'effondrement susceptibles de se former risquent peu d'atteindre la surface, et tous les calculs ont montré que les piliers ne sont plastifiés qu'à moins de 35 %, même avec des hypothèses de calcul pessimistes. L'expérience montre d'ailleurs que des quartiers de mines de fer de Lorraine, situés dans des conditions identiques, sont stables depuis de nombreuses années.

III - ETUDE HYDROLOGIQUE

III.1 - Etude quantitative

III.1.1 : Définition de l'ouvrage de "retenue"

L'ouvrage de retenue serait constitué par l'ensemble des vides de la Mine de Bazailles dont la retenue est garantie à terme (11.1 à 13.1 hm³). En fait, l'accès au point le plus bas de la mine n'étant pas garanti, nous avons tablé sur un volume utile de 9.7 hm³.

Cette retenue serait alimentée d'une part, par les venues naturelles (0.1 m³/s), d'autre part, à partir d'un prélèvement dans le réseau superficiel (Crusnes ou Pienne), assurant un remplissage gravitaire ou éventuellement forcé.

Le dispositif d'exhaure serait constitué par un puits (ø 4 m) ou plusieurs puits (ø 2 m ou ø 1 m) équipés de groupes de pompes assurant un débit total de 2.44 m³/s et comprenant en outre un groupe de secours et une pompe de démarrage (vidange du puits).

Le dispositif d'injection serait installé en début d'étiage après relevage d'un groupe de pompe. Il comprendrait une conduite et un dispositif brise-charge.

Enfin, l'aération de la mine serait assurée par un évent situé au point haut de l'exploitation.

III.1.2 : Contraintes

Le débit réservé sur la Crusnes à Pierrepont est fixé par l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse au niveau du débit d'étiage quinquennal (0.67 m³/s).

Le débit de prélèvement dans le réseau superficiel a été fixé à 1 m³/s.

L'étude a consisté à simuler la gestion de la réserve dans l'hypothèse où l'on compenserait l'évaporation des installations de refroidissement de la centrale de Chooz (2 ou 4 tranches) dès que le débit naturel de la Meuse tomberait au-dessous d'un seuil de "compensation". Nous avons retenu trois hypothèses de seuils de compensation : 17, 20 et 23 m³/s à l'amont de la centrale.

III.1.3 : Résultats des simulations

Un modèle de simulation de gestion de la réserve a été réalisé pour la période 1953-1980. Ce modèle utilise les débits observés de la Meuse à Chooz, les débits observés de la Crusnes et de la Chiers, ou reconstitués par régression avec les débits observés de la Meuse.

Les résultats des simulations définitives réalisées pour les hypothèses 2 et 4 tranches figurent au tableau ci-dessous :

Nombre de tranches	Seuil de compensation	Volume des défaillances (hm ³)	Jours de défaillances	Années défaillantes	Energie	
					Stockage (MWh)	Déstockage (MWh)
2	23	3.37	42	76	4 032	9 105
	20	0	0	-	1 718	3 852
	17	0	0	-	957	2 089
4	23	23.90	136	53-54-64-76	5 181	12 508
	20	8.64	50	76	2 084	4 832
	17	3.55	22	76	1 332	3 247

Dans l'hypothèse la plus défavorable du point de vue de la gestion (4 tranches, seuil de compensation fixés à 23 m³/s), les défaillances de ce système s'établissent à moins de 2 jours de défaillances pour 100 jours de simulation : encore faut-il noter le poids de l'année hydrologique 1976 qui représente une année exceptionnelle.

III.2 - Etude qualitative

III.2.1 : Remarques préliminaires

Il est connu, en Lorraine, que les eaux stockées dans les mines de fer abandonnées ont des teneurs en sulfates et en sodium qui peuvent atteindre respectivement 700-800 mg/l et 400 mg/l.

Le rejet de ces eaux dans les cours superficiels entraînera évidemment une augmentation des teneurs de ces éléments.

Or, tant la Chiers (à Montmédy) que la Meuse (à Charleville-Mézières) sont utilisées pour l'alimentation en eau potable. Il était donc utile d'examiner l'incidence des rejets à partir de la réserve de Bazailles sur la qualité des eaux de la Crusnes, de la Chiers et de la Meuse.

Pour cela, un modèle de simulation géochimique a été réalisé permettant, à partir d'un bilan massique en sulfates et en sodium, d'évaluer les incidences géochimiques du rejet à partir de Bazailles.

Les teneurs de référence des rivières sont celles observées par l'Agence Financière de Bassin Rhin-Meuse à HAM (Meuse) et CARIGNAN (Chiers) pour la période 1971-1980.

III.2.2 : Résultats

Dans les mêmes conditions hydrologiques que celles citées au paragraphe III.1.2, les simulations géochimiques ont montré que les teneurs limites en sulfates et sodium seraient les suivantes :

		MEUSE		CHIERS		CRUSNES
		Chooz	Charleville	Carignan	Montmédy	Pierrepont
SO ₄	Tranche	4	4	4	4	2
	Seuil de compensation	17	17	20	23	23
	Teneur * maximum	160	190	250	250	250
	Nombre de jours de dépassement	14	14	44	86	175
	Nombre de jours de dépassement pour 1000 j de simulation	3.8	3.8	12.0	23.5	47.9
Na	Tranche	4	4	4	4	4
	Seuil de compensation	20	17	23	23	23
	Teneur ** maximum	70	90	130	130	130
	Nombre de jours de dépassement	40	35	47	86	177
	Nombre de jours de dépassement pour 1000 j de simulation	10.9	9.6	12.9	23.5	48.5

III.3 - Etude économique

Le dimensionnement des ouvrages de prélèvement, de transfert, d'injection et de reprise en mine, et l'évaluation des coûts d'investissement à consentir ont été réalisés dans les conditions suivantes :

-
- * - La teneur maximum est fixée à 250 mg/l (référence de la directive C.E.E. pour les eaux potables). Lorsque ce seuil n'est pas atteint, les seuils 220 et à défaut 190 puis 160 mg/l, ont été utilisés.
 - ** - La teneur limite à respecter pour le sodium est de 175 mg/l dans les eaux potables 90 % du temps.

- le prélèvement en rivière est fixé à 0.25 m³/s[★], soit sur la Pienne à Mercy-le-Bas (alimentation gravitaire), soit sur la Crusnes à Pierrepont (alimentation forcée) ;

- la restitution des eaux s'effectuerait :

. soit à partir d'un puits unique de 4 m de diamètre, équipé d'un groupe de cinq pompes immergées de 0.61 m³/s dont une de secours, d'une pompe de démarrage ;

. soit à partir de deux puits de 2 m de diamètre, équipés l'un de trois et l'autre de deux pompes de 0.61 m³/s, chacune comportant également un groupe de démarrage ;

. soit enfin à partir de six puits de 1 m de diamètre, équipés en tout de 24 pompes de 400 m³/h dont deux serviraient de secours.

Les coûts d'investissement hors taxes, hors acquisitions foncières, hors coût du génie civil de la station de pompage, hors coût de mise en place et de mise en oeuvre des matériels mécaniques et électriques et hors coût de l'installation de surveillance de la qualité des eaux aux conditions économiques en vigueur au 1er janvier 1984, sont les suivants :

	1 puits φ 4 m	2 puits φ 2 m	6 puits φ 1 m
Prise en CRUSNES	57.6 (8.0)* (0.4)**	42.2 (8.0)* (0.4)**	24.5 (8.0)* (0.4)**
Prise en PIENNE	47.0 (0.4)**	40.1 (0.4)**	20.0 (0.4)*

(* : plus-value pour prise en Crusnes portée à 1 m³/s)
 (** : plus-value pour puits d'injection spécifique)

Coût (en MF) arrondi au .1 MF le plus proche.

(★) Comme il a été dit plus haut, la simulation de la gestion a été réalisée en fixant le prélèvement à 1 m³/s. Mais, des simulations antérieures, réalisées avec des volumes utiles et des évaporations surestimées, n'avaient pas montré d'influence du débit de prélèvement sur les défaillances de la période 1967-1980. Il est possible que ramener ce prélèvement à 0.25 m³/s induise des défaillances supplémentaires, notamment pour les années 1953 à 1955, par suite d'un remplissage incomplet de la réserve entre deux étiages sévères consécutifs. Ce point devrait être précisé.

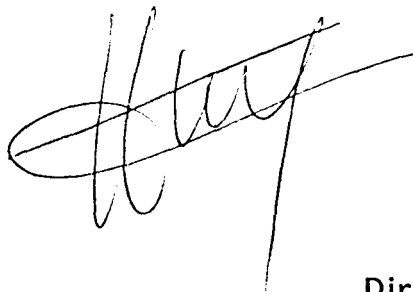
III.4 - Contraintes d'exploitation

Le système d'exploitation préconisé implique :

- l'entretien de la prise d'eau en rivière, c'est-à-dire le curage et le nettoyage du dégrilleur et du dispositif de dessablage, l'évacuation des déchets vers une décharge agréée ;
- le relevage périodique des groupes de pompages en fin de basses eaux, afin d'en assurer la maintenance et l'entretien préventif. Ce relevage permettra d'installer le dispositif d'injection dans le cas où les ouvrages seraient communs ;
- dans le cas où l'on réaliserait un forage d'injection spécifique, de relevage de la conduite et du (ou des) dispositifs brises-charge, afin d'en évaluer le degré d'usure et d'assurer le remplacement des éléments hors services ;
- la vidange et le curage des conduites de transfert si le choix se portait vers une prise sur la Crusnes ;
- la surveillance de la qualité des eaux rejetées.

Fait à Nancy, le 1er septembre 1984

F. HOMAND
Docteur en géologie



L. DEMASSIEUX
Ingénieur-Géologue



R. HOUPERT
Professeur
Directeur du C.R.M.H.S.R.

