



**HAL**  
open science

## Maîtrise de l'impact hydraulique, sur le bâti de surface, de l'ennoyage de mines arrêtées du bassin ferrifère lorrain (France)

Francis Wojtkowiak, Jean-Claude Baudron, Paul Cattaert, Georges Vassiliadis

### ► To cite this version:

Francis Wojtkowiak, Jean-Claude Baudron, Paul Cattaert, Georges Vassiliadis. Maîtrise de l'impact hydraulique, sur le bâti de surface, de l'ennoyage de mines arrêtées du bassin ferrifère lorrain (France). 9. Congrès International IAEG, Sep 2002, Durban, Afrique du Sud. pp.2410-2419. ineris-00972376

**HAL Id: ineris-00972376**

**<https://ineris.hal.science/ineris-00972376>**

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.

# MAITRISE DE L'IMPACT HYDRAULIQUE, SUR LE BATI DE SURFACE, DE L'ENNOYAGE DE MINES ARRETEES DU BASSIN FERRIFERE LORRAIN (FRANCE)

**Francis Wojtkowiak<sup>1</sup>, J. Claude Baubron<sup>2</sup>, Paul Cattaert<sup>3</sup> et Georges Vassiliadis<sup>4</sup>**

**ABSTRACT:** The cessation of underground mining in the Lorraine iron ore basin and the stop of the dewatering pumping have induced a quick rise of the flooding level in the mine reservoir. In a particular sector, where the outcrops meet the Orne valley, this caused an appreciable rise in the water table in the underlying alluvial deposits related to the river. Then, infiltrations of water into the cellars of some 60 dwelling houses located in the lower part of a town have been observed. In order to control the hydraulic impact on surface buildings of the flooding of underground mine workings, with a view to designing an effective and permanent system, a number of field studies and investigations were carried out. These studies have shown the necessity to create a new overflowing point of the mine water reservoir. For this purpose, inverse modelling of the hydrological system consisting of the mine reservoir, the alluvial deposits aquifer and the Orne river, and a 3D geological modelling of the existing mine workings have been developed. Original and new tools, completed by the inspection of the flooded mine with a remote operated vehicle, in order to illustrate and optimise the installation of the permanent gravity system necessary for lowering the water level in the mine reservoir, have been achieved. They have provided a satisfactory solution either technically or financially, even under the most severe hydrological conditions.

**RESUME:** La cessation de l'exploitation minière souterraine dans le bassin ferrifère lorrain et l'arrêt consécutif des pompages d'exhaure ont entraîné une remontée rapide du niveau d'ennoyage du réservoir minier et, dans un secteur particulier de la vallée de l'Orne, une hausse sensible de la cote piézométrique de la nappe alluviale. Des infiltrations d'eau ont alors été observées dans les sous-sols enterrés d'habitations situées en partie basse d'une agglomération. Afin de maîtriser, de façon pérenne, l'impact hydraulique de l'ennoyage des mines sur le bâti de surface, les études ont montré la nécessité de créer un nouveau point de débordement du réservoir minier. A ces fins, un modèle géologique et géométrique 3D, intégrant les ouvrages miniers existants dans le secteur étudié, et une modélisation inverse du système hydrologique « réservoir minier- nappe alluviale- rivière Orne » ont été notamment développés. La mise en œuvre de ces outils originaux, associée entre autres à une reconnaissance sous eau des ouvrages miniers, a permis de concevoir, d'optimiser l'implantation et de dimensionner un système de captage et d'évacuation gravitaire des eaux de mine pour l'abaissement du niveau d'ennoyage du réservoir.

## INTRODUCTION

Le bassin ferrifère lorrain est situé dans le quart nord-est de la France. Il s'étend à l'Ouest de la rivière Moselle, du Grand-duché du Luxembourg au Nord, jusqu'au Sud de l'agglomération de Nancy (Figure 1).

- 
1. Francis.Wojtkowiak@mines.u-nancy.fr, INERIS, LAEGO-Ecole des Mines de Nancy, F-54042 Nancy Cedex, France.
  2. Baubron@exchange.brgm.fr, BRGM, 1 avenue du Parc de Brabois, F-54500 Vandoeuvre-les-Nancy, France.
  3. PaulCattaert@industrie.gouv.fr. DRIRE Lorraine, 15 rue Claude Chappe, BP 5038, F-57071 Metz Cedex 3, France.
  4. Vassiliadis@hydra.setec.fr. HYDRATEC, Tour Gamma D, 58 quai de la Râpée, 75583 Paris Cedex 12, France
-

Le gisement de minerai de fer est d'origine sédimentaire, d'âge toarcien terminal et aalénien (Dogger). Le gisement affleure dans les escarpements qui bordent, à l'Ouest, la vallée de la Moselle et la plaine du Luxembourg, puis s'approfondit vers le Bassin Parisien avec un pendage moyen de l'ordre de 3 %. L'épaisseur de la formation ferrifère est en moyenne de 30 mètres mais elle peut dépasser localement 60 mètres. Elle repose sur des grès et calcarénites supraliasiques et est principalement constituée d'assises carbonatées à intercalations argilo-silteuses. Elle est surmontée par les formations bajociennes à dominante marneuse à la base, les marnes micacées de Chareennes, auxquelles succède une couverture à carbonates largement prépondérants (calcaires à polypiers et oolithe de Jaumont) avant le retour de faciès marneux bien développés, les marnes de Gravelotte (Figure 1).

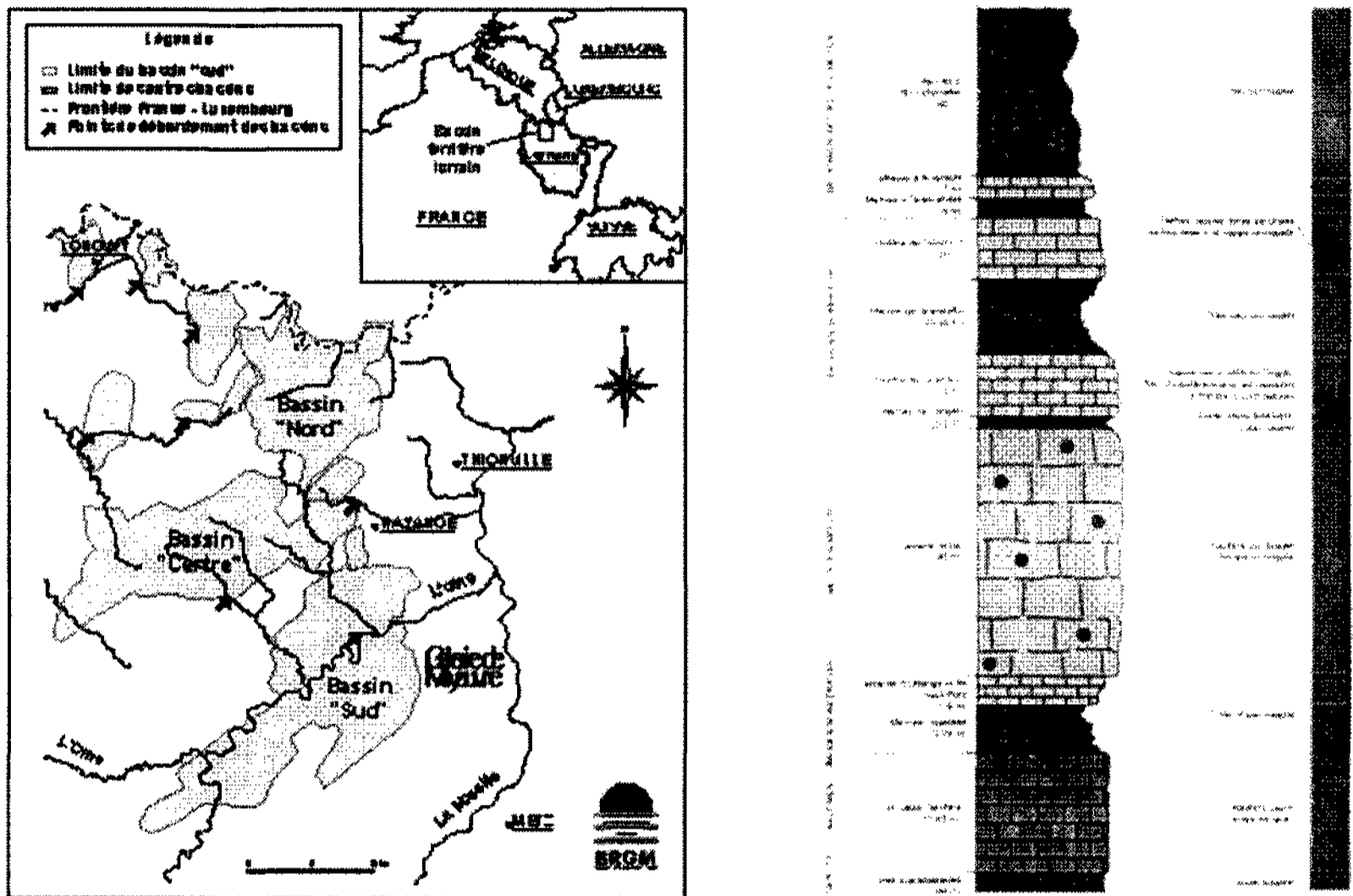


Figure 1 : Situation géographique de la partie septentrionale du bassin ferrifère lorrain et coupe stratigraphique du gisement.

Les couches de minerai exploitables sont au nombre de 12, certaines concessions ayant exploité simultanément jusqu'à 9 couches. En réalité, qu'il soit trop pauvre, trop profond ou réparti en couches trop minces, le minerai n'a été exploité, en général, que dans quelques couches (3 à 5) voire qu'une seule pour certaines mines. Au-dessus de la formation ferrifère, les terrains de recouvrement, appelés « morts-terrains », ont une épaisseur moyenne de 150 mètres, les exploitations les plus profondes étant situées à 250 mètres seulement au-dessous de la surface du sol (Tincelin, 1958). Plus de trois milliards de tonnes de minerai de fer ont été extraites du gisement lorrain. Son exploitation industrielle ne commença qu'après l'invention en 1877 du procédé sidérurgique Thomas-Gilchrist, qui permet de déphosphorer la minette lorraine. La dernière mine a arrêté son exploitation en juin 1997. Les exploitations ont été menées essentiellement par la méthode classique des chambres et piliers, sans ou avec dépilage, suivant la nécessité ou non d'éviter les affaissements du fait de l'occupation de la surface (zones urbanisées, infrastructures).

La cessation de l'exploitation minière souterraine dans le bassin ferrifère lorrain et, par voie de conséquence, l'arrêt des pompages d'exhaure ont entraîné une montée rapide du niveau d'ennoyage du réservoir minier. Ainsi après la cessation de l'exploitation en juin 1994 et l'arrêt des pompages d'exhaure au courant de l'année 1995 et au début de 1996, il aura fallu moins de trois ans pour que le réservoir minier, d'un volume estimé à près de 234 millions de m<sup>3</sup>, de la partie méridionale (dite bassin Sud) du bassin de

Longwy-Briey déborde par l'ancienne galerie minière de Moyeuve, préalablement aménagée à ces fins, le 28 octobre 1998. Ce débordement a été précédé, à partir du mois d'août, par des venues d'eau observées dans les sous-sols enterrés d'une soixantaine d'habitations situées dans la partie basse de l'agglomération de Moyeuve-Grande (département de la Moselle), traversée par la rivière Orne (Figure 1).

Cette communication présente les résultats des investigations et des études, qui ont été menées sur le bassin Sud, pour mieux comprendre et quantifier les phénomènes en jeu, puis pour concevoir, dimensionner et chiffrer le coût de réalisation d'un système de captage et d'évacuation gravitaire des eaux souterraines, efficace et pérenne, pour l'abaissement du niveau d'eau dans le réservoir minier.

## HYDROGEOLOGIE ET CONDITIONS HYDRAULIQUES D'ABAISSEMENT DU NIVEAU DANS LE RESERVOIR MINIER

La morphologie de la zone étudiée est marquée par la vallée encaissée de la rivière Orne, qui se jette à contre **pendage** dans la vallée de la Moselle, entaillant ainsi le relief de côtes caractéristiques des formations géologiques de l'Est du Bassin Parisien. La partie basse de la ville de Moyeuve-Grande, sujette aux infiltrations d'eau, est située en rive droite de l'Orne et occupe la face convexe d'une boucle de la rivière, soit une partie de la plaine alluviale du lit majeur (Figure 2). Le substratum de la zone inondée est constitué par la formation **ferrifère** aalénienne pour la partie amont, et par les grès et calcarénites supraliasiques (Toarcien) pour la partie aval, où il se situe respectivement à une cote variant de 167,2 à 165,2m. Des affleurements de la formation ferrifère en pied de versant partent d'anciennes galeries d'exploitation minières.

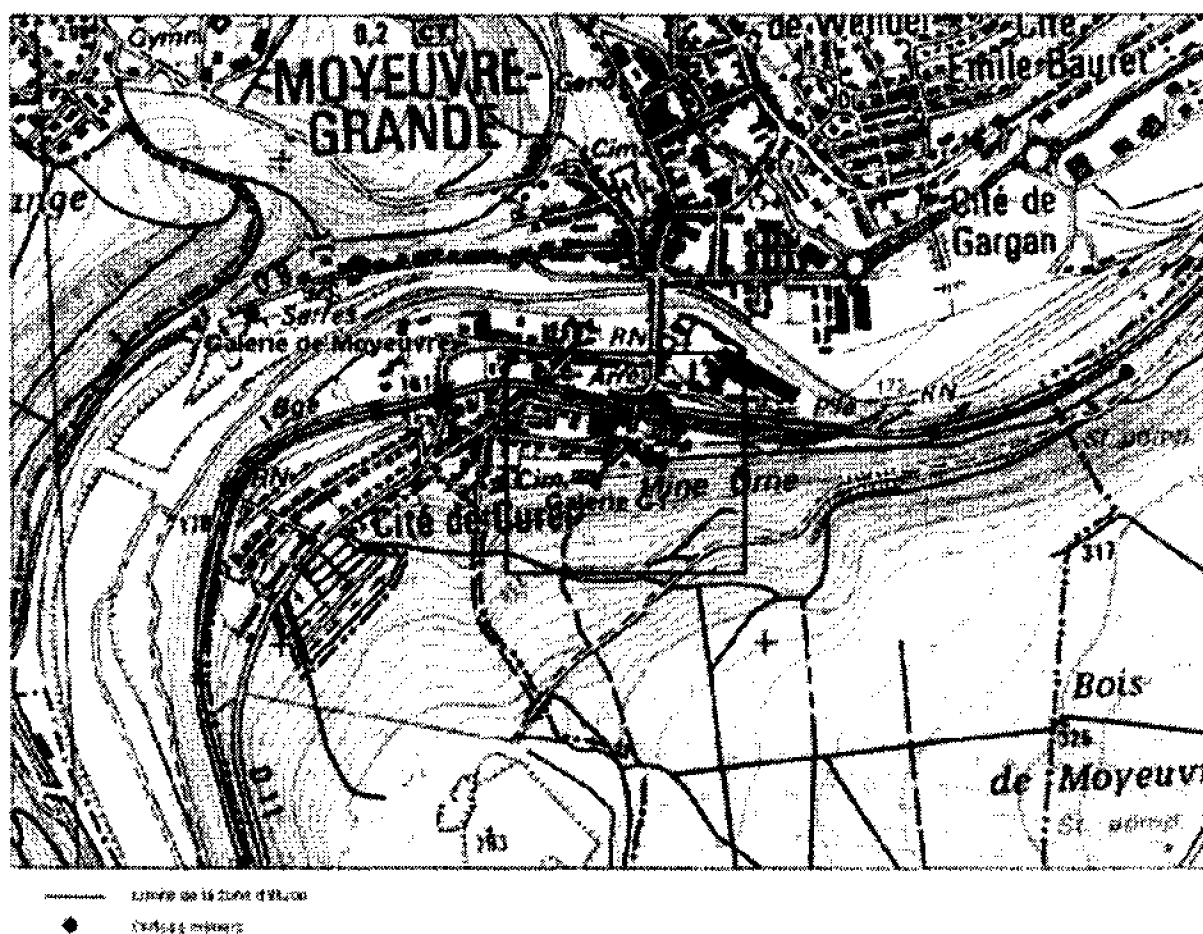


Figure 2 : Localisation du secteur d'étude dans l'agglomération de Moyeuve-Grande (Moselle).

Les formations de couverture sont représentées par des remblais artificiels de surface, de 0,5 m à 3,5 m d'épaisseur, des alluvions modernes argileuses de 0,5 m à 2,5 m d'épaisseur, et des alluvions modernes grossières d'une épaisseur de 0,9 m à 4,10 m, inversement proportionnelle à celle des alluvions argileuses. La cote du terrain naturel dans la vallée varie de 178 m à 172 m d'amont en aval du site.

L'alimentation de la nappe d'accompagnement de la rivière Orne, contenue dans ces formations alluviales, s'effectue principalement par percolation latérale et ascendante à partir de l'affleurement de la formation ferrifère qui constitue le soubassement de la colline située au sud de l'agglomération. Les travaux miniers sont donc en relation hydraulique avec la nappe alluviale. Ceci explique pourquoi l'ennoyage de ces travaux s'est également traduit par une hausse sensible de la cote piézométrique de la nappe alluviale et, par

voie de conséquence, par des infiltrations d'eau voire l'inondation du sous-sol enterré de certaines habitations de la partie basse de la ville. Le phénomène d'inondation de la plaine en période de crue de l'Orne s'en trouve de même aggravé car les exhaures minières induisaient aussi un rabattement de la nappe.

Huit puits de pompage à gros débit ont été réalisés dans le secteur affecté par la remontée du niveau piézométrique de la nappe alluviale, associés à la mise en place de pompes de surface individuelles dans chaque cave inondée. Mais cette mesure palliative de rabattement de nappe n'a pas permis de résoudre le problème de façon satisfaisante sur les plans technique et financier, et ce sur le long terme. Il est ainsi apparu que la mesure curative envisageable ne peut être que l'abaissement du niveau d'envoyage des anciens travaux miniers par la création d'un nouveau point de débordement du réservoir minier. D'autre part, les désordres constatés et la sensibilité du système hydrogéologique local mettent aussi en évidence la nécessité de sécuriser le débordement du bassin Sud, qui ne dispose actuellement que d'un seul exutoire par une ancienne galerie minière, la galerie de Moyeuivre (Figure 1), dont le risque d'effondrement à moyen ou à long terme ne peut pas être écarté. Les conditions hydrauliques d'abaissement du niveau d'eau dans ce réservoir prises en compte au terme de différentes études engagées depuis octobre 1998 sont les suivantes :

1. le seuil de débordement actuel du bassin Sud par la galerie de Moyeuivre-Grande, située en rive gauche de l'Orne, est à la cote 172,43 m (niveau piézométrique à l'étiage à 60 cm au-dessus du seuil ; niveau piézométrique moyen en hautes eaux à 1 m au-dessus du seuil). Le débit d'exhaure minimum de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$  correspond à un niveau d'eau dans le réservoir minier à la cote 172,72 m. Le débit maximum d'exhaure est de  $4,3 \text{ m}^3/\text{s}$  (cote 173,51 m) et peut atteindre ou dépasser  $7,0 \text{ m}^3/\text{s}$  (cote 173,80 m) pour un événement de période de retour 5 ans ;
2. la cote de crue centennale de l'Orne mesurée à Moyeuivre-Grande est de 174,04 m ;
3. le nouveau point de débordement doit permettre de ramener le niveau de l'eau dans le réservoir minier à une cote inférieure à 170,5 m, cote au-dessus de laquelle les caves les plus basses commencent à être inondées ;
4. compte tenu de la configuration du site, les eaux de mine captées par les ouvrages à créer devront être acheminées et rejetées en aval, dans la rivière Orne, à une cote qui ne peut pas être inférieure à 167,5 m.

D'autre part, les futurs ouvrages devront capter les eaux de mine à partir de travaux miniers abandonnés, mais encore et facilement accessibles, proches d'un point de rejet possible dans l'Orne, et dont on a l'assurance qu'ils communiquent avec l'ensemble du réservoir minier. Enfin, il est nécessaire, en période de hautes eaux de l'Orne, d'isoler le réservoir minier dès que l'Orne est susceptible de refouler dans le réservoir, son niveau étant alors plus bas que celui de l'Orne.

Afin de dimensionner les nouveaux ouvrages, il est nécessaire de disposer d'un outil d'analyse des données et de prévision permettant de répondre aux diverses questions posées à savoir : quels seront les débits de crue du futur point de débordement ? De quelle manière évoluera le niveau dans le réservoir minier en période de crue de l'Orne, lorsque le futur point de débordement sera fermé, puis réouvert ? Quel sera l'impact sur le niveau de la nappe alluviale ?

En raison de la complexité du système hydrologique à modéliser et du manque de données distribuées dans l'espace, l'approche choisie est la modélisation inverse des chroniques de données (pluie, niveaux, débits) et l'identification des réponses impulsionnelles du système dans différentes conditions : régime stationnaire et régime transitoire. Le code de calcul utilisé est celui du logiciel de traitement des séries de données chronologiques TEMPO développé par le BRGM (Pinault et al 1996 et 2001). La phase de reconstruction du modèle inverse du système hydrologique « réservoir minier - nappe alluviale - rivière Orne » a montré, par l'analyse des séries chronologiques existantes et par leur modélisation par des méthodes dérivées du traitement du signal, qu'il est possible de prévoir, avec une précision satisfaisante, le débit et le niveau de l'Orne au droit du futur seuil de débordement, ainsi que le débit de débordement et le niveau du réservoir minier, avec ou sans fermeture du futur ouvrage. De nombreuses simulations ont été effectuées sur différentes hypothèses de dimensionnement du futur ouvrage de débordement. Les hypothèses d'ouvrage de capacité inférieure à l'ouvrage actuel ont été rapidement éliminées car elles engendraient des durées de dépassement de la cote 170,5 m longues, supérieures à 1 mois et demi, dès la crue de période de retour  $\frac{1}{2}$ . L'hypothèse de dimensionnement finalement retenue correspond à un ouvrage de capacité supérieure à l'ouvrage actuel, avec un seuil de débordement fixé à 169 m, soit 3,43 m plus bas que le seuil actuel, pour un débit maximum de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , ce qui correspond à une lame d'eau au-dessus du seuil de 1,45 m.

Toutes les simulations confirment bien qu'il est nécessaire de prévoir un système de fermeture du futur ouvrage, empêchant ainsi les crues de l'Orne de pénétrer dans la mine, afin d'éviter, d'une part, l'invasion immédiate de la mine par les eaux de l'Orne, et donc une sur-cote très importante du niveau d'eau dans la mine, et, d'autre part, une contamination chronique des eaux du réservoir minier (Figure 3). Ceci sous-entend que l'on empêche également les crues de l'Orne de pénétrer dans la mine par la galerie actuelle. Pendant les périodes de fonctionnement du dispositif de fermeture de l'ouvrage de débordement, et jusqu'à la vidange totale du volume stocké pendant cette fermeture, la durée de dépassement de la cote 170,5 m est de 5 semaines, et la cote maximale atteinte est de 172,4 m pour la crue centennale. Après la vidange du volume stocké pendant la fermeture de l'ouvrage, le niveau du réservoir minier reste 30 à 50 cm en dessous de la cote 170,5 m, même en crue centennale.

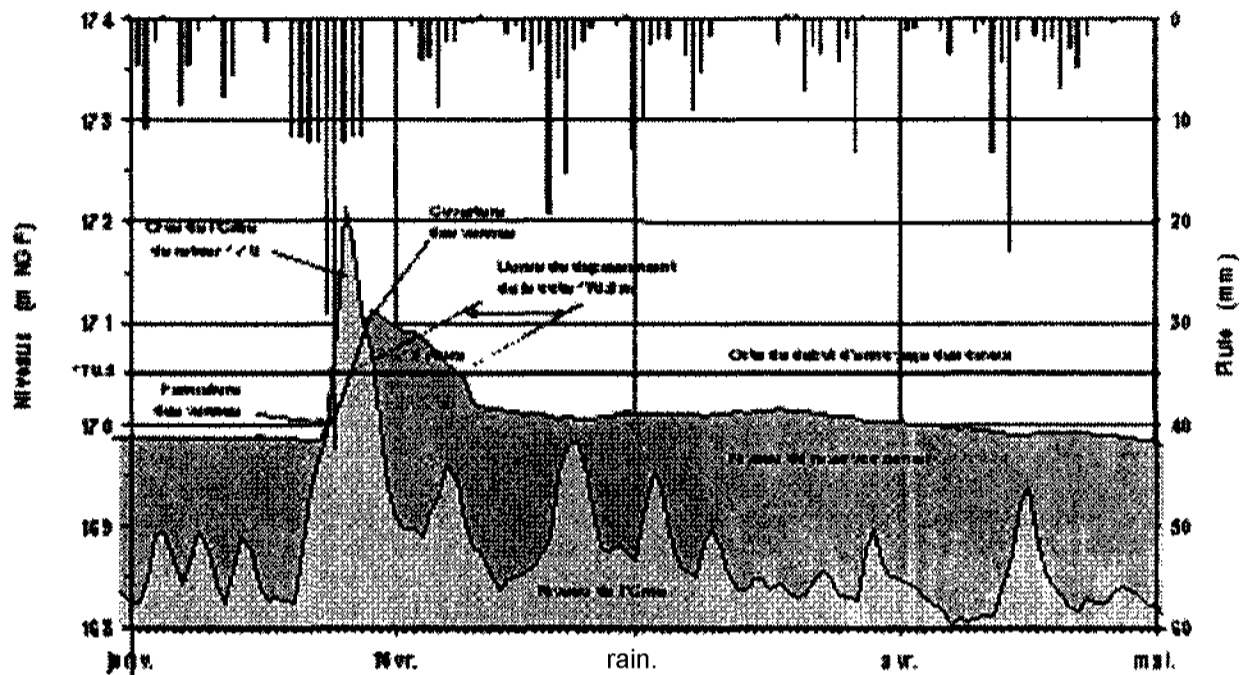


Figure 3 : Simulation des niveaux pour la crue décennale de l'Orne, pour un ouvrage de capacité supérieure à l'ouvrage actuel

## CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES EXISTANTS ET FUTURS

### Les travaux miniers souterrains

L'examen détaillé des plans d'exploitation de la mine Orne a permis d'identifier une ancienne galerie minière, débouchant en rive droite de l'Orne sur l'ancien carreau de mine et très accessible, une fois déblayés les remblais mis en place à la fermeture de la mine pour obturer l'entrée de la galerie. Celle-ci pénètre rapidement, avec une pente de l'ordre de 2 %, dans le réservoir minier (galerie au pendage) et est située à moins de 500 m en amont d'un point de rejet possible dans l'Orne. Cette ancienne galerie d'infrastructure minière, appelée galerie G1, pénètre en pied de coteau dans une couche de minerai de fer, la couche rouge, d'une épaisseur moyenne de 5,75 m, et est reliée à de nombreuses autres galeries d'infrastructure et aux travaux miniers qui se sont développés dans cette couche. Elle communique également, par l'intermédiaire d'une descenderie et d'un bure (ou d'une rampe), avec les travaux miniers réalisés dans la couche de minerai sous-jacente, la

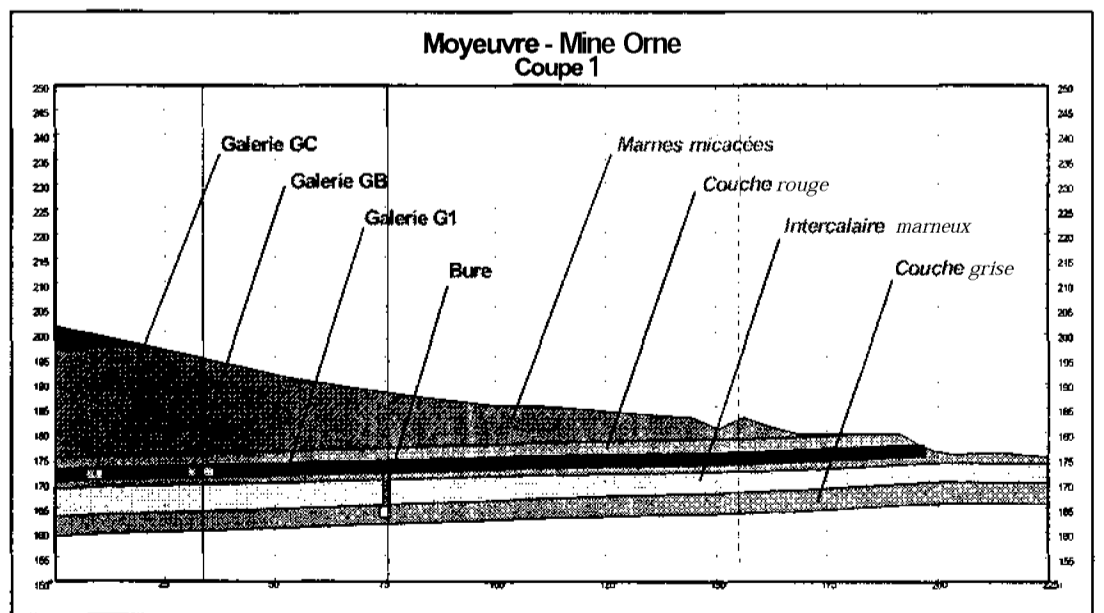


Figure 4 : Situation des ouvrages miniers existants suivant une coupe géologique NE-SW, parallèle à la galerie G1.

couche grise, d'une épaisseur de 3,5 m et séparée de la couche rouge par un intercalaire marneux de 6 m d'épaisseur moyenne (Figure 4).

Une reconnaissance de ces ouvrages miniers, en majeure partie ennoyés, a été faite à l'aide d'un véhicule sous-marin motorisé (Remote Operated Véhicule, ROV), porteur d'une caméra vidéo et équipé d'un sonar de navigation et de différents dispositifs de mesure (compas, sondeur de profondeur, capteur de pression...). Le pilotage du ROV est effectué via un ombilical coaxial à partir d'une régie de commande comportant, entre autres, un moniteur TV connecté à un magnétoscope. L'inspection vidéo s'est faite à partir de la galerie G1, préalablement et provisoirement mise en sécurité par boisage angle, et a permis de faire les constatations suivantes :

- la bonne tenue des galeries, de section rectangulaire, situées dans les couches ferrifères ;
- une stabilité moins bonne dans les marnes traversées par la descenderie, avec quelques zones de petits éboulements localisés;
- la bonne concordance avec les plans des galeries qui peuvent donc être considérés comme fiables ;
- l'absence de barrages à l'écoulement des eaux dans tous les ouvrages visités.

Par contre, il n'a pas été possible de pénétrer dans le bure (ou rampe) et ainsi de l'inspecter. Compte tenu des résultats de ces investigations sous eau, confrontés aux observations effectuées dans la partie hors d'eau de la galerie G1, deux cibles ont été retenues pour la réalisation de la galerie d'exhaure du réservoir à écoulement gravitaire : la galerie G1, au-delà du bure, qui draine l'ensemble de la couche rouge ; la descenderie et le bure qui interceptent une même galerie en liaison avec les travaux miniers en couche grise.

### **Les ouvrages futurs**

Le dimensionnement hydraulique et le calage des nouveaux ouvrages ont été faits à l'aide du modèle mathématique HYDRA d'Hydratée en simulant, pour différentes conditions hydrologiques et hydrogéologiques, les cotes de crue de l'Orne au point de rejet d'une part, et les lignes d'eau dans l'ouvrage projeté (galerie souterraine et chenal dans la plaine) d'autre part. Ce modèle devrait également servir à la gestion future de l'ouvrage.

### ***Les nouveaux ouvrages souterrains***

L'implantation des nouveaux ouvrages souterrains nécessite la meilleure connaissance possible, d'une part, des ouvrages et travaux miniers préexistants et, d'autre part, de la géologie du site ou, plus précisément, de la qualité des terrains susceptibles d'être rencontrés le long de leur futur tracé. Après une recherche documentaire effectuée dans la banque de données du sous-sol et les archives du BRGM ainsi qu'auprès de l'ancien exploitant minier, les informations recueillies ont permis de constituer un modèle numérique 3D, selon un parallélépipède de 400 m de côté et de 80 m de hauteur. Ce modèle a pour objectifs:

- de visualiser l'agencement des ouvrages miniers dans l'espace et de fixer un géoréférencement global dont l'incertitude est de l'ordre du mètre ;
- d'habiller le réseau souterrain avec les données géologiques interprétées, afin d'intégrer dans la résolution du problème les aspects géotechniques et hydrauliques qui en résultent ;
- de permettre la réalisation rapide de toutes les coupes ou représentations nécessaires à la conception du projet.

La réalisation, dans le cadre du projet, d'un levé topographique détaillé du secteur d'étude et l'interprétation de 2 nouveaux sondages carottés, effectués dans l'emprise du tracé probable de la future galerie d'exhaure, ont permis de recalibrer le modèle géométrique et géologique 3D, dont l'incertitude sur le géoréférencement global a ainsi été ramenée à 50 cm. Enfin, le tracé et les caractéristiques du projet de galerie résultant des études d'ingénierie ont été numérisés et incorporés dans la modélisation. Il en résulte l'édition de coupes géologiques comparatives avant et après travaux à l'échelle du 1/500<sup>ème</sup>, et des visualisations en écorché oblique du projet au regard du réseau de galeries et des travaux miniers du secteur concerné. Cette possibilité de visualisation des nouveaux ouvrages dans leur contexte géologique et minier s'est avérée aussi un excellent outil de communication et d'explication vis-à-vis des donneurs d'ordre, de l'Administration, des élus locaux et de la population concernée (Figure 5).

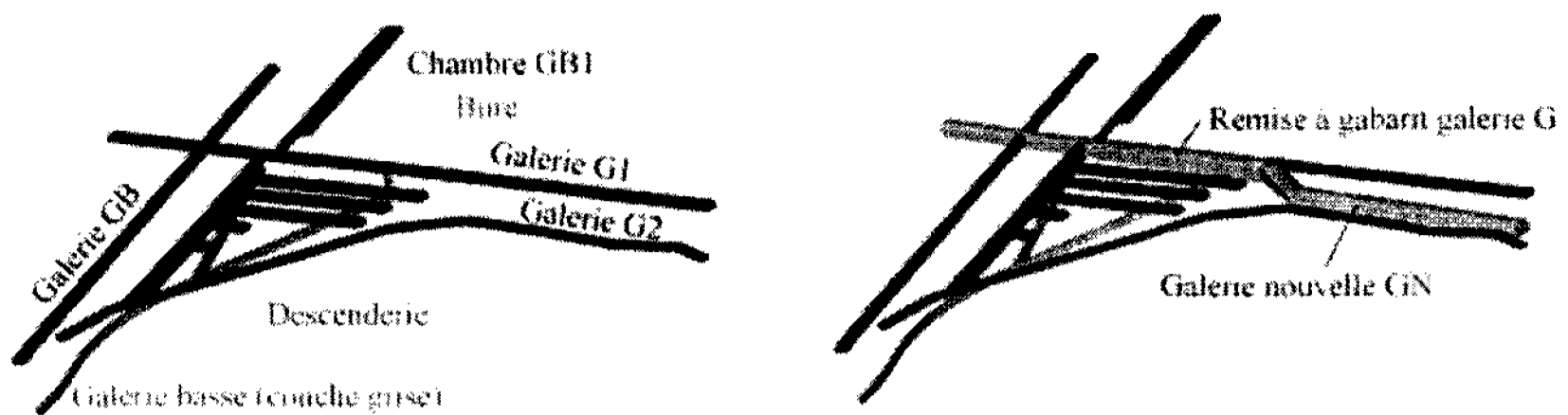


Figure 5 : Modélisation géométrique 3D des ouvrages miniers existants et des nouveaux ouvrages de captage et d'évacuation des eaux de mine.

Les futurs ouvrages souterrains comporteront une galerie principale de 230 m de long, un branchement vers la **descenderie** de 20 m de long et le renforcement, sur une dizaine de mètres de longueur, des galeries latérales intersectées par cette galerie principale. La réalisation de celle-ci consistera au creusement, à partir de la cote 168,33 m, c'est-à-dire dans la couche de marne intercalaire, d'une nouvelle galerie de 120 m de long, parallèle et à côté de la galerie **G1** qu'elle rejoint une vingtaine de mètres en deçà du bure, après un coude pour éviter l'ancienne chambre d'exploitation **GB1**. A partir de là, l'excavation se poursuit dans l'axe de la galerie **G1** par son élargissement et son approfondissement jusqu'à ce que le radier de la nouvelle galerie rejoigne celui de la galerie **G1** à la cote 168,79 m. Ceci lui confère une pente globale de l'ordre de 0,2 % en radier. La cote de la clé de voûte circulaire de la nouvelle galerie de drainage sera calée sur celle de la galerie **G1** existante sur 70 m de longueur environ. De ce fait, sa hauteur variera de 4,4 à 6,6 m pour une largeur excavée de 4,6 à 6,4 m, soit une section variant de 20 à 35 m<sup>2</sup> (Figure 6). L'excavation sera faite avec des moyens d'abattage mécaniques, compte tenu de la proximité d'ouvrages voisins sensibles (habitations et galeries minières), en attaque montante avec une faible pente. Différents profils en travers types sont prévus pour cette galerie en fonction de son environnement et de sa position par rapport aux ouvrages miniers existants. Tous permettent l'inscription du chenal hydraulique en partie basse et, sur un des piédroits, la mise en place d'une dalle béton armé en encorbellement pour le chemin de visite. Le revêtement comprendra : un soutènement immédiat et systématique de la voûte par boulonnage et, à la demande, en piédroit ; un soutènement définitif placé à l'avancement avec des cintres métalliques réticulés (espacement de 1,0 à 1,5 m) et béton projeté de 25 à 30 cm d'épaisseur, armé d'un treillis soudé ; en radier, 10 cm de béton de propreté armé d'un treillis soudé, et mise en place ultérieure du revêtement définitif en béton armé B30.

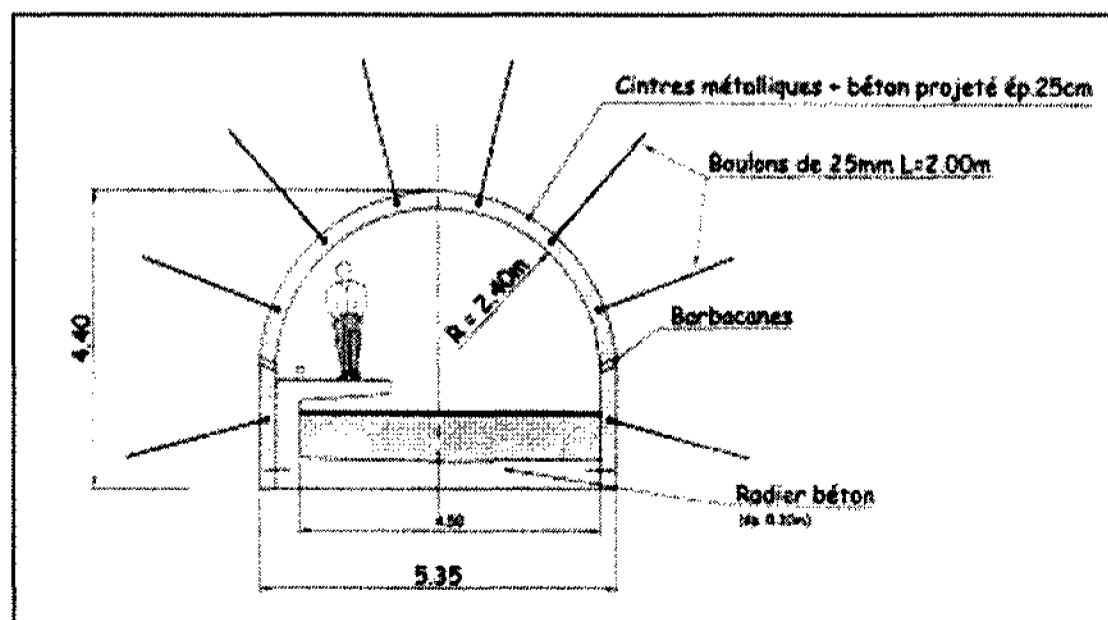


Figure 6 : Coupe type de la nouvelle galerie d'exhaure GN.



Une des principales difficultés qui sera rencontrée lors de la réalisation de cette galerie réside dans le fait que son radier est situé entre les cotes 168,0 et 168,4 m, alors que le niveau de l'eau dans le réservoir minier est à la cote moyenne 172,8 m à l'étiage, soit 5 à 6 m au-dessus. Pendant les travaux, le niveau d'eau devra donc être rabattu pour mettre hors d'eau le radier. Ce rabattement sera effectué nécessairement à l'étiage, par pompage direct dans le réservoir en procédant comme suit : réalisation, 10 m en deçà du bure, d'un bassin dans lequel seront installées deux pompes d'une capacité d'au moins 4 m<sup>3</sup>/s chacune, raccordées à deux conduites provisoires phi 800 placées en galerie jusqu'à l'extérieur ; mise en place d'un siphon dans le bure, s'il est utilisable, ou dans un puits blindé phi 1500 spécialement réalisé à ces fins depuis la surface, et débouchant dans la galerie en couche grise, à proximité immédiate du bure; après amorçage du siphon à l'aide d'une pompe à vide, vidange du réservoir par pompage à un débit continu d'au moins 4 m<sup>3</sup>/s. En admettant, sur la base des études hydrogéologiques, un débit d'alimentation de la nappe en période d'étiage de 1 m<sup>3</sup>/s, et une loi de capacité du réservoir minier de 2,21 Mm<sup>3</sup>/m, la vitesse attendue d'abaissement du niveau d'eau sera de 4 cm/jour, ce qui fait une durée de pompage de l'ordre d'un mois et demi pour vidanger le réservoir jusqu'à la cote 167,5 m. Les entreprises chargées de ces travaux auront ensuite une dizaine de jours pour déposer les deux pompes, poursuivre l'excavation jusqu'au bure, réaliser une fosse latérale au bure pour y installer une pompe d'une capacité de 2 m<sup>3</sup>/s, raccordée à une des conduites déjà en place dans la galerie. Les travaux pourront se poursuivre en maintenant le niveau d'eau dans le réservoir minier entre les cotes 167,5 et 168,0 m grâce à cette pompe. En période de hautes eaux, lorsque le débit d'exhaure à évacuer sera supérieur à 2 m<sup>3</sup>/s, le pompage sera arrêté et le radier de la galerie noyé. L'eau drainée sera évacuée gravitairement par la partie de la galerie excavée, son radier étant recouvert du béton de propreté prévu. Une fois tous les travaux de bétonnage de la galerie achevés, y compris de son radier, le pompage sera arrêté et tous les équipements associés déposés.

### *Les ouvrages de surface*

Le chenal de transit des eaux de mine en surface aura une longueur totale d'environ 470 m et comportera (Figure 7):

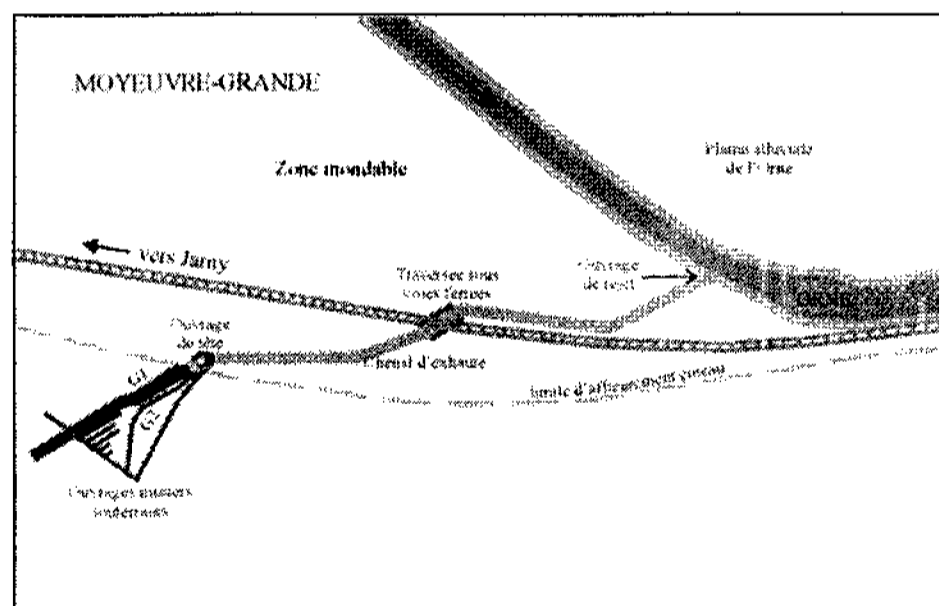


Figure 7 : Ouvrages de surface pour l'évacuation des eaux de mine dans la rivière Orne.

- le chenal proprement dit, réalisé en parois moulées dans la plaine alluviale de l'Orne et recouvert par une dalle en béton qui formera ainsi un cadre et assurera la stabilité de l'ouvrage. L'ensemble du chenal sera ensuite enterré afin d'en réduire l'impact visuel et d'éviter tout cheminement préférentiel en cas de crue débordante de l'Orne (Figure 8) ;
- un ouvrage amont, équipé de 2 vannes automatisées qui permettront d'isoler le réservoir minier en cas de crue de l'Orne. En phase d'exploitation, cet ouvrage sera associé à un bâtiment de contrôle (gestion des automatismes, centrale hydraulique pour les vannes, suivi de la piézométrie...) dans une aire clôturée où convergeront la sortie de la galerie G1 et la galerie d'exhaure ;
- un franchissement sous des voies ferrées de 44 m de longueur, creusé au tunnelier à pression d'air comprimé (phi extradors 3,30 m), et mise en place d'un revêtement en voussoirs béton préfabriqués

(phi intrados 2,90 m) clavés au terrain par injection de coulis de mortier. Suivant les prescriptions imposées par le concessionnaire, la réalisation de cet ouvrage doit se faire sans interruption du trafic ferroviaire ;

- un ouvrage de rejet dans l'Orne, équipé de grilles pour éviter l'intrusion d'objets flottants dans le chenal en période de crue notamment.

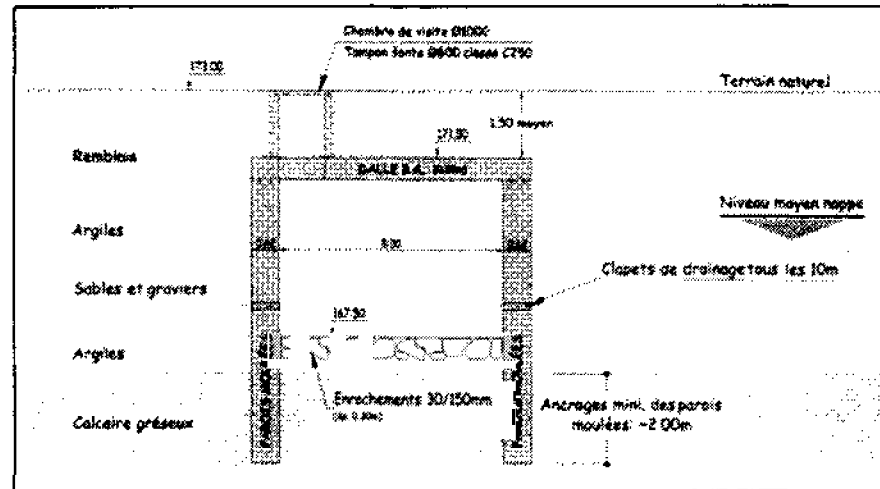


Figure 8 : Section type du chenal d'évacuation des eaux dans la rivière Orne

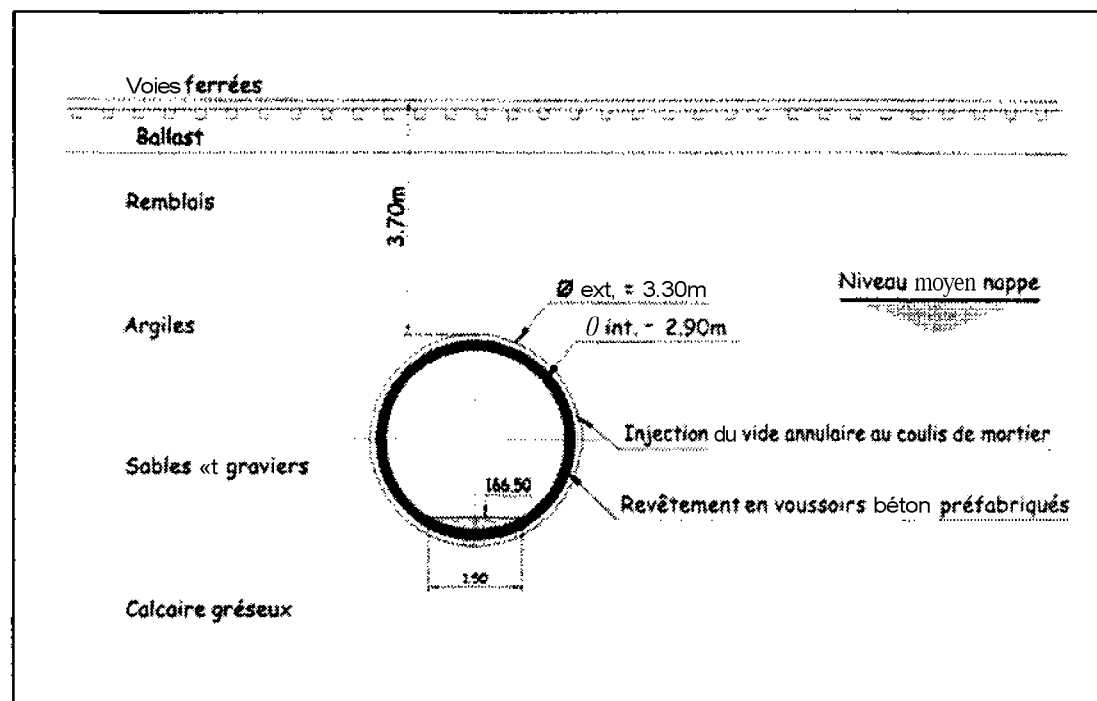


Figure 9 : Coupe de l'ouvrage sous voies ferrées

### Phasage et coût des travaux

La durée prévisionnelle de l'ensemble des travaux ainsi envisagés est de l'ordre de 24 mois. Les travaux souterrains doivent être réalisés en trois phases et durant les périodes d'étiage du réservoir minier, c'est-à-dire de mai à septembre-octobre, pendant lesquelles le réservoir est à une cote au plus égale à 172,8 m. La première phase comporte bien sûr des travaux préparatoires et des reconnaissances complémentaires, mais elle consiste surtout à excaver, en saison d'étiage, la nouvelle galerie et à agrandir la galerie G1 jusqu'à atteindre le bure. La deuxième phase correspond à la vidange du réservoir jusqu'à la cote 169,0 m avant la saison humide. La troisième phase correspond à la poursuite des travaux souterrains au-delà du bure, après l'abaissement du réservoir et, si nécessaire, au cours de la saison d'étiage suivante. Bien sûr, les travaux extérieurs débiteront, en priorité, par la réalisation du chenal d'exhaure pour être opérationnel au cours de la première phase des travaux souterrains. Les délais de réalisation des deux premières phases, respectivement évalués à 9 et 11 mois, conduisent à un démarrage des travaux au plus tard début novembre de l'année N. Ainsi, l'impact des travaux sur le niveau piézométrique de la nappe alluviale sera effectif dès le début d'octobre de l'année N+1.

Les travaux préparatoires ont débuté en juin 2001 et ont mis en évidence l'impossibilité de dégager les remblais du bure et, par conséquent, de l'équiper d'un siphon. Il a donc été décidé de mettre en œuvre la solution variante correspondant au puits blindé. Le coût total de l'ensemble des études et des travaux est évalué actuellement à un peu plus de 15 millions d'euros.

## CONCLUSION

La cessation de l'exploitation minière souterraine dans le bassin **ferrifère** lorrain et l'arrêt consécutif des pompages d'exhaure ont entraîné une remontée rapide du niveau d'envoyage du réservoir minier. Une hausse sensible de la cote piézométrique de la nappe alluviale de la vallée de l'Orne a alors été observée localement, associée à des infiltrations d'eau dans les sous-sols enterrés d'habitations situées en partie basse de l'agglomération de Moyeuvre-Grande (Moselle). Afin de mieux comprendre et de quantifier les phénomènes en jeu, plusieurs études et investigations sur le terrain ont été engagées. En particulier, une modélisation inverse du système hydrologique « réservoir minier -nappe alluviale -Orne » et un modèle géologique 3D, intégrant les ouvrages miniers existants, ont été développés. Ces outils nouveaux et originaux ont permis de concevoir, d'optimiser l'implantation et de **dimensionner** un système efficace et pérenne de captage et d'évacuation gravitaire des eaux souterraines, pour l'abaissement du niveau d'envoyage du réservoir minier, et de vérifier la faisabilité **technico-économique** des travaux à réaliser.

## REFERENCES

- Tincelin, E. (1958). Pressions et déformations de terrain dans les mines de fer de Lorraine. Mémoire de thèse de docteur-ingénieur de l'Université de Nancy, Jouve éditeurs, Paris, 283 p.
- Pinault, J.L., Baubron, J.C. (1996). Signal processing of soil gas radon, atmospheric pressure, moisture and soil temperature data : a new approach for radon concentration modeling. *Journal of geophysical research*, vol. 101, n° B2, pp. 3157-3171.
- Pinault, J.L., Plagnes, V., Aquilina, L., Bakalowicz, M. (2001). Inverse modeling of the hydrological and **hydrochemical** behavior of hydrosystems : characterization of karst system functioning. *Water Resources Research*, vol 37, n°8, pp 2191-2204, 2001.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les bureaux d'études **Coyne-et-Bellier** et **Ingerop-Est**, qui assurent conjointement la maîtrise d'œuvre des travaux décrits précédemment, de leur avoir fourni certaines des figures qui illustrent la présente communication.