

RAPPORT D'ÉTUDE

30/03/2006

INERIS-DRC-06-68920/DESP-R01a

**Exploitation de fer et stockage souterrain
d'hydrocarbures de May-sur-Orne (Calvados)**

**Phase aléa du Plan de Prévention des Risques
Miniers – Aléas environnementaux**

Exploitation de fer et stockage souterrain d'hydrocarbures de May-sur-Orne (Calvados)

Phase aléa du Plan de Prévention des Risques Miniers – Aléas environnementaux (contamination eaux souterraines, contamination eaux de surface, émanation de gaz)

Rapport final

May-sur-Orne (Calvados, 14)

GEODERIS OUEST

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

Cédric LOISEAU, Technicien Supérieur à la Direction des Risques Sols et Sous-sols

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction		Vérification		Approbation
NOM	K. BESNARD	F. QUIOT	Z. POKRYSZKA	O. BOUR	J. BUREAU
Qualité	Ingénieur à l'Unité ESEG Direction des Risques du Sol et du Sous-sol	Ingénieur à l'Unité DESP Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'Unité ESEG Direction des Risques du Sol et du Sous-sol	Ingénieur à l'Unité DESP Direction des Risques Chroniques	Responsable de l'Unité DESP Direction des Risques Chroniques
Visa					

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	9
2. PRINCIPES GÉNÉRAUX : PARTICULARITÉS DES ALÉAS ENVIRONNEMENTAUX.....	10
2.1 Présentation des phénomènes redoutés (d'après [2]).....	10
2.1.1 Présentation du contexte environnemental dans le domaine minier.....	10
2.1.2 Définitions : pollution et contamination	10
2.1.3 Sources de contaminations potentielles	11
2.1.4 Les milieux de transferts / vecteurs	11
2.1.5 Les cibles.....	12
2.1.6 Schéma conceptuel	12
2.2 Identification et définition des différents types d'aléas environnementaux ..	17
2.2.1 Phénomènes chroniques, impact et aléa environnementaux	17
2.2.2 Remarque relative aux phénomènes accidentels	18
3. ALÉAS « CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE » ET « CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES ».....	19
3.1 Description des phénomènes physico-chimiques à l'origine de la contamination des eaux	19
3.2 Principes d'évaluation des aléas « contamination des eaux de surface » et « contamination des eaux souterraines ».....	20
3.2.1 Définition de l'aléa	20
3.2.2 Critères d'évaluation de la contamination des cours d'eau du SEQ-Eau, et de la contamination des eaux souterraines du SEQ-Eaux souterraines ..	21
3.2.2.1 Les classes d'aptitude aux usages des systèmes d'évaluation de la qualité des cours d'eau (SEQ-Eau) et des aquifères (SEQ-Eaux souterraines)	21
3.2.2.2 Adaptation des systèmes SEQ-Eau et SEQ-Eaux souterraines à l'environnement minier	22
3.2.3 Principes d'évaluation et de cartographie des aléas « contamination des eaux de surface » et « contamination des eaux souterraines »	36
3.2.4 Remarques relatives à l'utilisation des SEQ	38
3.3 Evaluation et cartographie de l'aléa « contamination des eaux souterraines » sur le secteur de May-sur-Orne	40
3.3.1 Méthodologie proposée pour l'évaluation de l'aléa « contamination des eaux souterraines »	40

3.3.2	Evaluation de l'aléa « contamination des eaux souterraines » sur le secteur de May-sur-Orne	40
3.3.2.1	Bilan des données disponibles, évaluation des aléas « contamination des eaux souterraines » pour les différentes catégories d'eaux	40
3.3.2.1.1	Eaux du Jurassique	40
3.3.2.1.2	Eaux du Primaire	40
3.3.2.1.3	Eaux d'exhaure	49
3.3.3	Analyses complémentaires des eaux d'exhaure (février 2006).....	57
3.3.4	Remarque relative à l'état patrimonial des eaux souterraines	61
3.3.5	Cartographie de l'aléa « contamination des eaux souterraines ».....	62
3.3.6	Conclusion sur l'aléa « contamination des eaux souterraines »	63
3.4	Evaluation et cartographie de l'aléa « contamination des eaux de surface » sur le secteur de May-sur-Orne	63
3.4.1	Méthodologie proposée pour l'évaluation de l'aléa « contamination des eaux de surface »	63
3.4.2	Evaluation de l'aléa « contamination des eaux de surface »	63
3.4.2.1	Dilution des eaux d'exhaure dans l'Orne	63
3.4.2.2	Eaux superficielles de l'Orne	64
3.4.3	Cartographie de l'aléa « contamination des eaux de surface »	66
3.4.4	Conclusion sur l'aléa « contamination des eaux de surface »	66
4.	ALÉA « ÉMANATION DE GAZ »	66
4.1	Méthodologie pour l'évaluation de l'aléa lié au gaz	67
4.2	Etat d'envoyage des vides miniers	67
4.3	Intensité du phénomène	68
4.3.1	Nature du gaz dans les anciens travaux miniers.....	68
4.3.1.1	Gaz "classiques" (CO, CO ₂ , O ₂ , CH ₄ et H ₂ S)	68
4.3.1.2	Radon	69
4.3.2	Bilan sur l'intensité du phénomène	69
4.4	Prédisposition : facilité du gaz de pouvoir remonter en surface	70
4.4.1	A travers les roches de couverture	70
4.4.2	Ouvrages de communication	70
4.4.3	Moteurs de la migration du gaz. Premiers éléments.....	71
4.4.4	Bilan sur la prédisposition	71
4.5	Evaluation de l'aléa et limites du zonage.....	72
4.5.1	Gaz "classiques" (CO, CO ₂ , O ₂ , CH ₄ et H ₂ S).....	72
4.5.2	Radon	72

4.6	Propositions d'investigations	72
4.6.1	Stations de mesure en continu	73
4.6.2	Reconnaissance ponctuelle des teneurs en radon	73
5.	CONCLUSION.....	74
6.	LISTE DES RÉFÉRENCES.....	76
7.	LISTE DES ANNEXES	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Classes de qualité des cours d'eau et des aquifères définis dans le SEQ-Eau et dans le SEQ-Eaux souterraines.....	22
Tableau 2 : Seuils déterminant la classe d'aptitude aux POTENTIALITES BIOLOGIQUES des paramètres « miniers » et « hydrocarbures » (données sources du logiciel SEQ-Eau, version 1.13.08 du 3 juin 1999).....	25
Tableau 3 - Seuils déterminant la classe d'aptitude à la PRODUCTION D'EAU POTABLE des paramètres « miniers » et « hydrocarbures » (données sources du logiciel SEQ-Eau, version 1.13.08 du 3 juin 1999).....	28
Tableau 4 : Seuils déterminant la classe d'aptitude à L'IRRIGATION des paramètres « miniers » et « hydrocarbures » (données sources du logiciel SEQ-Eau, version 1.13.08 du 3 juin 1999).....	28
Tableau 5 : Seuils déterminant la classe d'aptitude à L'ABREUVAGE des paramètres « miniers » et « hydrocarbures » (données sources du logiciel SEQ-Eau, version 1.13.08 du 3 juin 1999).....	29
Tableau 6 : Seuils portant sur les paramètres « miniers » et « hydrocarbures » déterminant la classe d'aptitude à la PRODUCTION D'EAU POTABLE de l'eau souterraine.....	29
Tableau 7 : 1 ^{ère} partie des seuils portant sur les paramètres « miniers » et « hydrocarbures » déterminant la classe POTENTIALITES BIOLOGIQUES de l'eau souterraine(d'après SEQ-Eaux souterraines : rapport de présentation (version 0), mars 2002).....	31
Tableau 8 : 2 ^{ème} partie des seuils portant sur les paramètres « miniers » et « hydrocarbures » déterminant la classe POTENTIALITES BIOLOGIQUES de l'eau souterraine (d'après SEQ-Eaux souterraines : rapport de présentation (version 0), mars 2002).....	31
Tableau 9 : Seuils portant sur les paramètres « miniers » et « hydrocarbures » déterminant la classe ETAT PATRIMONIAL de l'eau souterraine (d'après SEQ-Eaux souterraines : rapport de présentation (version 0), mars 2002)...	35
Tableau 10 : Critères de classification des usages, fonctions possibles ou déconseillés, à l'aide des paramètres du SEQ-Eau	36
Tableau 11 : Principes de quantification des aléas « contamination des eaux de surface » et « contamination des eaux souterraines » à partir de la fonction potentialité biologique et des usages	37
Tableau 12 : Caractéristiques des critères d'écartement des usages et fonctions PRODUCTION D'EAU POTABLE, ABREUVAGE, IRRIGATION et POTENTIALITES BIOLOGIQUES	38
Tableau 13 : Valeurs-guides du fer et du manganèse pour la qualité des eaux de surface	39
Tableau 14 : Ouvrage Pz 31 - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer.....	42

Tableau 15 : Ouvrage Pz 10 - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer.....	46
Tableau 16 : Galerie B - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer.....	51
Tableau 17 : Galerie I - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer.....	55
Tableau 18 : Galerie B - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer.....	59
Tableau 19 : Galerie I - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer.....	60
Tableau 20 : Pz 31 - Etat patrimonial	61
Tableau 21 : Pz 10 - Etat patrimonial	62
Tableau 22 : Galerie B - Etat patrimonial.....	62
Tableau 23 : Galerie I - Etat patrimonial	62
Tableau 24 : Teneurs en fer et en manganèse mesurées sur des échantillons d'eau prélevés dans l'Orne en amont et en aval des exhaustes de la mine, le 18 février 1997 (cf. Annexe D , Tableau 32)	64
Tableau 25 - Tableau de détermination des classes d'aptitude de l'eau de l'Orne Amont à la biologie et aux usages, aléa à considérer	65
Tableau 26 - Tableau de détermination des classes d'aptitude de l'eau de l'Orne Aval à la biologie et aux usages, aléa à considérer.....	66
Tableau 27 : Niveau d'aléa lié au gaz en fonction de la prédisposition et de l'intensité du site à émettre du gaz de mine vers la surface	67

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma conceptuel présentant sur un secteur minier type les différentes sources de contamination, les transferts et les cibles, avec les usages potentiels des eaux et des sols pollués et les différentes voies d'exposition des personnes exposées aux risques sanitaires potentiels.....	14
Figure 2 : Schéma conceptuel présentant à May-sur-Orne les différentes sources de contamination, les transferts et les cibles, avec les usages potentiels des eaux et des sols pollués et les différentes voies d'exposition des personnes exposées aux risques sanitaires potentiels	16

1. INTRODUCTION

Après avoir fait l'objet d'une importante exploitation pour son minerai de fer dès la fin du XIX^{ème} siècle et jusqu'à 1968, la mine de May-sur-Orne, dans le Calvados, a été reconverti pour partie en lieu de stockage souterrain d'hydrocarbures (gasoil). Ce stockage a été exploité par la société GEOMINES-CAEN jusqu'en 1988, date de dépôt d'un dossier de demande d'abandon des travaux d'exploitation du stockage auprès du préfet du Calvados.

La DRIRE Basse-Normandie souhaite qu'un Plan de Prévention des Risques Miniers (PPRM) soit établi sur ce site et a demandé à GEODERIS, qui en a chargé l'INERIS, la réalisation des études préalables à la finalisation de celui-ci. Un premier rapport établissant la synthèse de l'ensemble des informations disponibles et des observations de terrain nécessaire à la réalisation du PPRM, a été réalisé en 2004 (rapport INERIS DRC-04-59017/DESP-R01, octobre 2004, [1]).

La synthèse réalisée sur le site de May-sur-Orne a permis d'évaluer les impacts environnementaux associés. Ceux-ci sont principalement liés à l'activité passée de stockage d'hydrocarbures, ainsi, **le présent rapport a pour objet la définition et la cartographie des aléas suivants :**

- ✓ **aléa « contamination des eaux souterraines » ;**
- ✓ **aléa « contamination des eaux de surface » ;**
- ✓ **aléa « émanation de gaz ».**

Signalons que dans le cadre de la définition de l'aléa « émanation de gaz », de nouvelles investigations, préconisées dans le rapport de phase informative, ont été menées au cours du premier semestre de l'année 2005.

2. PRINCIPES GÉNÉRAUX : PARTICULARITÉS DES ALÉAS ENVIRONNEMENTAUX

2.1 PRÉSENTATION DES PHÉNOMÈNES REDOUTÉS (D'APRÈS [2])

2.1.1 PRÉSENTATION DU CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL DANS LE DOMAINE MINIER

Dans le domaine minier, à l'**origine des nuisances** environnementales, se trouvent à la fois des facteurs naturels (géologiques, gîtologiques, minéralogiques, géochimiques ou biogéochimiques) ainsi que des facteurs anthropiques liés à l'exploitation ou au mode de traitement. Quelle que soit la qualité initiale du milieu naturel, ces derniers induisent des perturbations.

En effet, qu'il s'agisse du milieu naturel modifié par les travaux d'extraction ou du stockage d'importantes quantités de déchets solides, les conséquences des pratiques d'exploitation conduisent le plus souvent à des **instabilités physiques et chimiques durables dans le temps**. Celles-ci, à leur tour, peuvent exercer des **pressions sur les ressources naturelles, sur la biodiversité, provoquer la modification ou la dégradation d'écosystèmes et avoir des impacts au final sur la santé humaine**.

Un risque, pour les écosystèmes ou pour la santé humaine apparaît lorsque trois facteurs complémentaires, à savoir la présence d'une « **source** » dangereuse, d'un mode de « **transfert** », et d'une « **cible** » vulnérable ou sensible se trouvent réunis. Cette analyse est cohérente avec une démarche générale d'évaluation des risques.

Ce type d'analyse passe par l'établissement d'un schéma conceptuel dont l'objectif est, à partir de l'ensemble des connaissances acquises sur le site et de la dynamique des transferts qui pilotent l'extension des contaminations depuis les sources, d'approcher au mieux les impacts prévisionnels.

Pour chaque type de facteurs (sources, vecteurs, cibles), des critères et des paramètres techniques permettant de les caractériser, sont définis.

2.1.2 DÉFINITIONS : POLLUTION ET CONTAMINATION

Le guide de Gestion des sites potentiellement pollués du Ministère chargé de l'Environnement ([3]) propose les définitions suivantes concernant les termes « contamination » et « pollution » :

CONTAMINATION : Présence anormale d'une substance, de micro-organismes dans un milieu, un objet ou un être vivant. La notion de contamination est appliquée historiquement et dans l'ordre aux micro-organismes, puis aux substances radioactives.

POLLUTION : Introduction, directe ou indirecte, par l'activité humaine, de substances, préparations, de chaleur ou de bruit dans l'environnement, susceptibles de contribuer ou de causer :

✓ un danger pour la santé de l'homme ;

- ✓ des détériorations aux ressources biologiques, aux écosystèmes ou aux biens matériels ;
- ✓ une entrave à un usage légitime de l'environnement.

Notons que la définition de la contamination laisse la possibilité d'une source naturelle, alors que la pollution est signalée d'origine anthropique. Bien que la définition des aléas, ait pour objectif d'apprécier les aléas liés à l'activité minière et non pas ceux liés à la composition géologique naturelle du sol, il apparaît difficile de faire la distinction entre les deux. En effet, si de fortes teneurs en éléments métalliques sont identifiées dans un sol ou un cours d'eau, les données à disposition (telles que les analyses des sols et des eaux) ne permettent pas de différencier l'origine des éléments métalliques.

Ceci conduit à retenir la notion d'aléa « contamination » plutôt que celle d'aléa « pollution » qui serait trop réductrice. Néanmoins, dans le cadre de la présente étude on distinguera la contamination d'origine naturelle et/ou minière de la pollution potentielle liée au stockage d'hydrocarbures.

2.1.3 SOURCES DE CONTAMINATIONS POTENTIELLES

Les plus fréquentes **sources de contaminations** liées à l'activité minière sont les suivantes :

- ✓ les travaux et ouvrages d'exploitation, de reconnaissance et d'accès en surface et en souterrain ;
- ✓ les résidus miniers, tout produit ou dépôt qui résulte de la recherche et de l'exploitation minière ou du traitement du minerai ;
- ✓ des réactifs entrant dans les procédés de traitement que ce soit sous forme de réactifs de flottation ou réactifs entrant dans le processus de lixiviation et de précipitation des éléments dissous ;
- ✓ les anciennes exhaures et les émergences (exutoires naturels) après exploitation peuvent être considérées comme sources secondaires puisque leur contamination résulte du passage des eaux profondes dans les travaux miniers dans certaines conditions. Ces eaux sont à l'origine des phénomènes d'oxydation et de dissolution des minéraux, mais elles sont surtout le vecteur des contaminants vers la surface et les eaux souterraines.

Dans le cas de May-sur-Orne la définition des aléas doit aussi tenir compte d'une contamination potentielle du milieu du fait de l'utilisation d'une partie des galeries comme lieu de stockage d'hydrocarbures.

Chaque source est caractérisée par le potentiel danger des substances qu'elle libère, leur quantité, leur mobilité, et leur état physique.

2.1.4 LES MILIEUX DE TRANSFERTS / VECTEURS

Les **milieux de transfert ou les vecteurs** présents dans le domaine minier sont tout d'abord les eaux de surface et les eaux souterraines qui agissent par ravinement (pour les premières), et par dissolution ou échanges chimiques etc. L'air, pouvant véhiculer des poussières, est également considéré comme un

vecteur. L'homme au cours de manipulations, de déversements ou de mise en dépôt de déchets peut agir lui-même comme un vecteur.

L'intensité des transferts dépend :

- ✓ du potentiel de mobilisation de la source vers le milieu de transfert, fonction des précipitations annuelles, du potentiel d'inondation, du confinement de la source, etc ;
- ✓ du potentiel de transfert du milieu vers les cibles, fonction de la proximité de la nappe, de la perméabilité de la zone non saturée, de la perméabilité de l'aquifère, etc.

A partir d'un compartiment, le contaminant peut être transporté vers un autre compartiment, être transformé ou s'accumuler (précipitation, adsorption, bioconcentration, etc). La contamination peut concerner plusieurs milieux ou compartiments environnementaux avec lesquels les individus cibles sont susceptibles d'être en contact.

2.1.5 LES CIBLES

Les **cibles** habituellement désignées sont l'homme et plus généralement les écosystèmes terrestres et aquatiques (biotopes et organismes y vivant). Les populations cibles peuvent entrer en contact avec différents compartiments d'exposition. Sur un site minier, différents types de cibles peuvent être définis. Les compartiments d'exposition qui devraient intervenir, pour l'une ou l'autre des cibles, sont principalement : les eaux des rivières, les eaux des puits, les poissons, les sols, les fruits et légumes, l'air extérieur avec les poussières.

Notons que très souvent les notions de séquence et d'enchaînement de phénomènes, notamment au niveau des transferts, apparaissent dans le domaine de l'environnement minier. Par exemple, un dépôt de résidus considéré comme une source peut être traversé par des eaux superficielles venant polluer une nappe souterraine (phénomène de lixiviation). Celle-ci peut à son tour marquer chimiquement une émergence, et enfin polluer les sédiments d'un ruisseau dans lequel elle se déverse.

2.1.6 SCHÉMA CONCEPTUEL

La *Figure 1* est un schéma conceptuel qui présente, sur un secteur minier type, les différentes sources de contamination, les transferts de substances des sources vers les cibles potentielles (usages des eaux et des sols et voies d'exposition des personnes exposées aux risques sanitaires).

L'objectif d'un PPRM n'est pas de rechercher les usages avérés sur un site minier. Ainsi, le schéma conceptuel présenté ci-dessous a l'unique objectif de mettre en évidence les transferts envisageables entre les différents compartiments de l'environnement, et les voies d'exposition *a priori* possibles sur le site. En outre, la liste des cibles et des voies d'exposition envisagées sur ce schéma n'est pas exhaustive.

Dans le cas de May-sur-Orne deux remarques sont à considérer. D'une part, suite à la phase informative, la présence de dépôts de déchets miniers ou de résidus de traitement n'a pas été relevée. D'autre part, il est nécessaire de tenir compte de

l'activité de stockage d'hydrocarbures. La *Figure 2* présente un schéma conceptuel adapté.

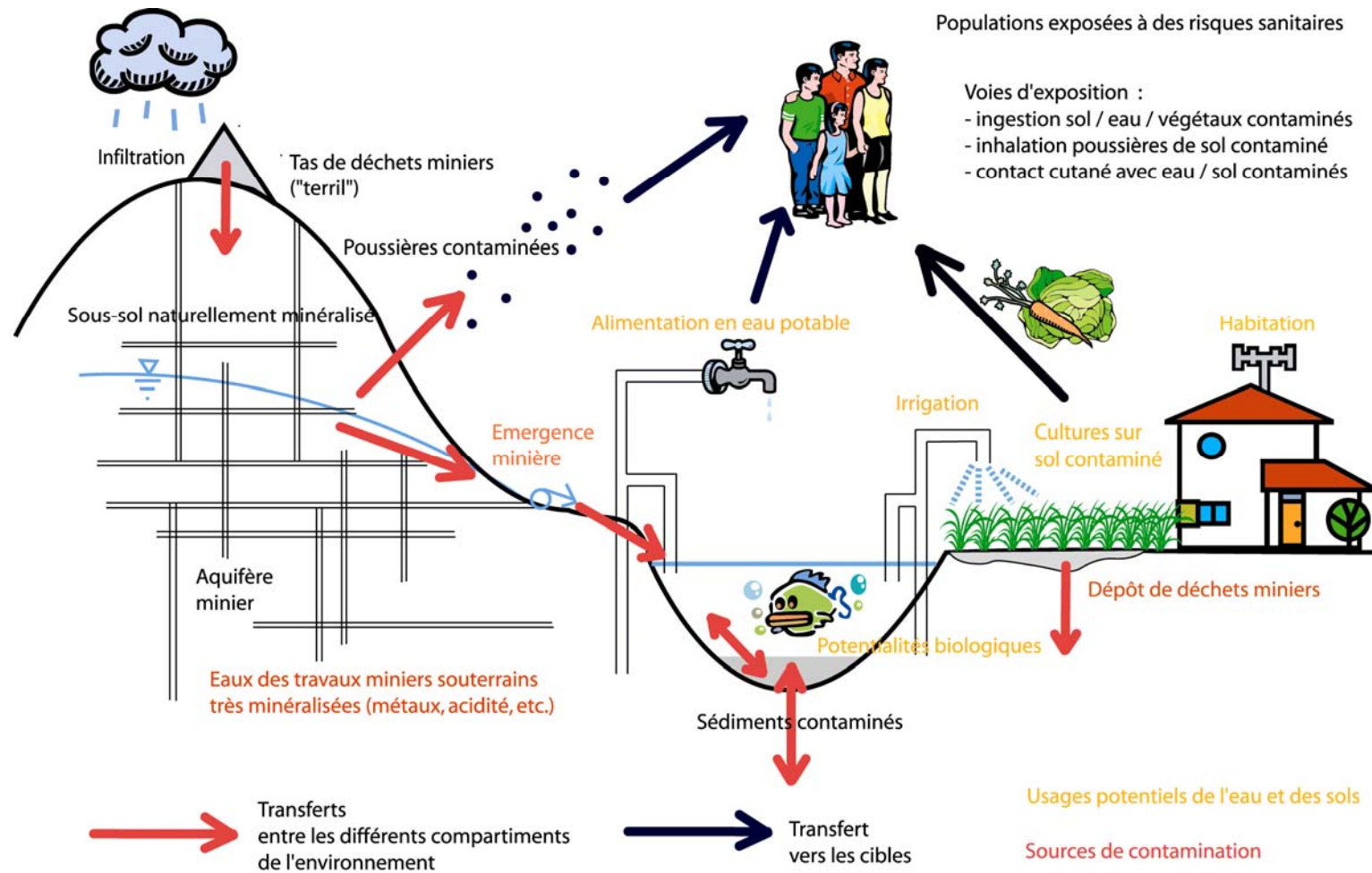


Figure 1 : Schéma conceptuel présentant sur un secteur minier type les différentes sources de contamination, les transferts et les cibles, avec les usages potentiels des eaux et des sols pollués et les différentes voies d'exposition des personnes exposées aux risques sanitaires potentiels

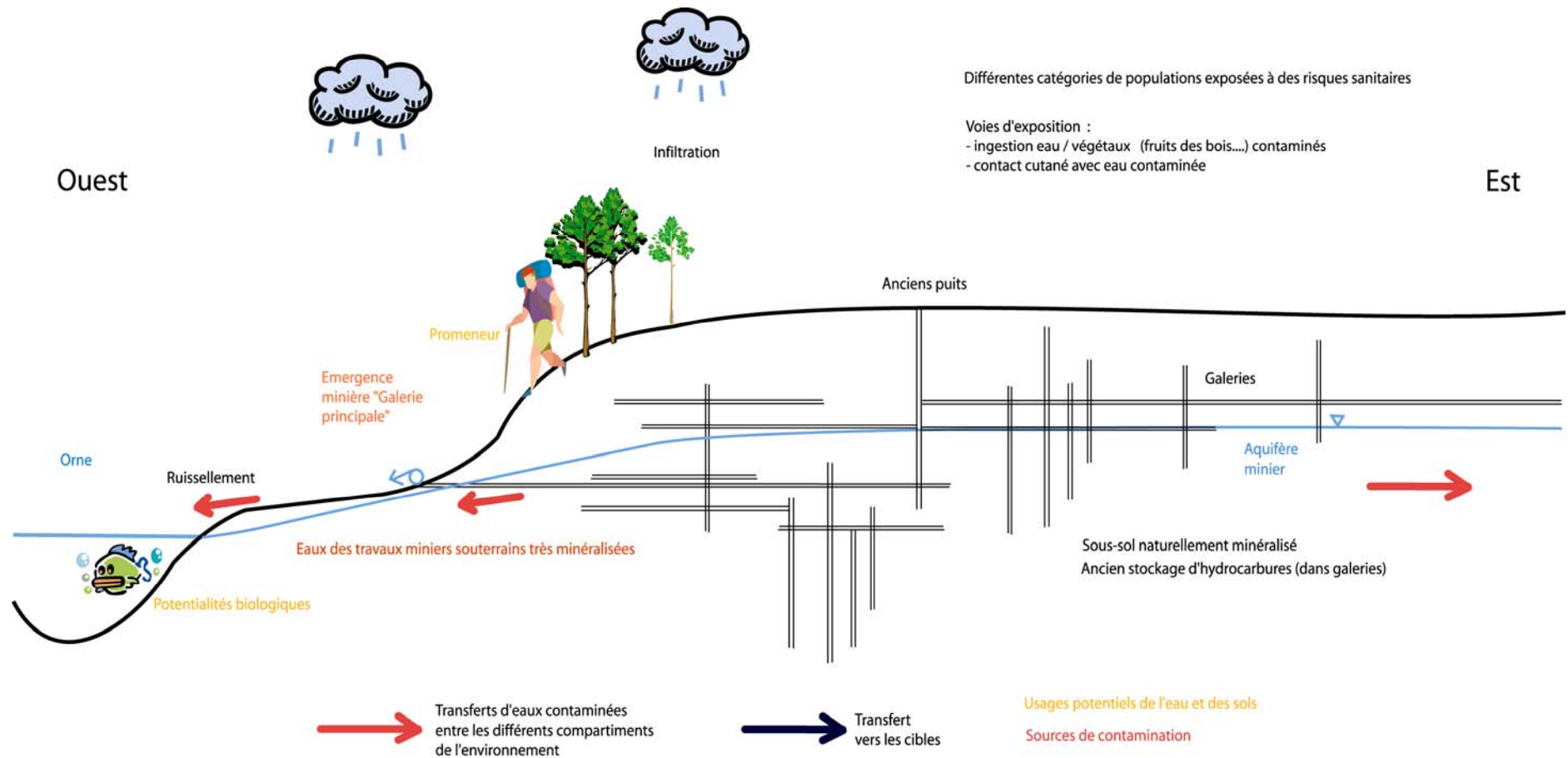


Figure 2 : Schéma conceptuel présentant à May-sur-Orne les différentes sources de contamination, les transferts et les cibles, avec les usages potentiels des eaux et des sols pollués et les différentes voies d'exposition des personnes exposées aux risques sanitaires potentiels

2.2 IDENTIFICATION ET DÉFINITION DES DIFFÉRENTS TYPES D'ALÉAS ENVIRONNEMENTAUX

Les données recueillies lors de la rédaction de la phase informative du PPRM de May-sur-Orne sont présentées sous forme d'annexes :

- ✓ Situation et contexte géologique : **Annexe A** ;
- ✓ Exploitation minière et stockage souterrain d'hydrocarbures : **Annexe B** ;
- ✓ Contexte hydrologique et hydrogéologique : **Annexe C** ;
- ✓ Qualité des eaux : **Annexe D** ;
- ✓ Qualité des sol : **Annexe E** ;
- ✓ Gaz : **Annexe F**.

Dans le contexte de **l'exploitation de fer et le stockage d'hydrocarbures de la mine de May-sur-Orne**, les impacts environnementaux peuvent être liés :

- ✓ **aux eaux de mine** s'infiltrant vers les nappes du Primaire et à leurs conséquences sur l'environnement en surface (drainage par l'Orne) ;
- ✓ **aux gaz**, dont la présence n'est pas à exclure.

Les différents types d'impacts environnementaux identifiés ci-dessus conduisent à distinguer deux catégories distinctes d'aléas sur le site de May-sur-Orne :

- ✓ Aléa « **contamination des eaux souterraines** » et « **contamination des eaux de surface** » ;
- ✓ Aléa « **émanation de gaz** ».

Rappelons qu'un aléa, en théorie, correspond à la probabilité d'occurrence qu'un phénomène donné se produise sur un site donné, au cours d'une période de référence, en atteignant une intensité qualifiable ou quantifiable. La caractérisation d'un aléa repose donc classiquement sur le **croisement de l'intensité prévisible du phénomène avec sa probabilité d'occurrence**.

$$\textit{Aléa} = \textit{Intensité du phénomène} \times \textit{probabilité d'occurrence}$$

2.2.1 PHÉNOMÈNES CHRONIQUES, IMPACT ET ALÉA ENVIRONNEMENTAUX

Dans le domaine environnemental, la plupart des phénomènes de contamination (des eaux, des sols ou des sédiments) sont de type **chronique**. Il s'agit de contaminations :

- ✓ potentielles (par exemple avant la fin de la remontée des eaux dans les travaux, donc avant l'apparition des émergences minières) ;
- ✓ avérées et non stabilisées (par exemple avant stabilisation des concentrations en contaminants dans les émergences minières) ;

- ✓ avérées et stabilisées (par exemple, pour les émergences minières, après une période de durée variable, les teneurs en contaminants dans les eaux se stabilisent en un palier).

La grandeur physique quantifiable qui peut permettre l'évaluation de l'intensité de tels phénomènes peut partir de la concentration des différents éléments chimiques dans les eaux des émergences minières, dans les eaux des cours d'eau et dans les sols. La quantification de l'intensité du phénomène peut passer par la comparaison des concentrations des substances avec des valeurs de référence. Pour les différents milieux atteints (eaux de surface, eaux souterraines, sols), les valeurs de référence qui seront privilégiées sont les valeurs permettant l'évaluation des impacts que peuvent occasionner les différents usages des milieux considérés.

Après cette première étape de classification de l'intensité d'une contamination, la définition de l'aléa est difficile à appréhender, du fait que les impacts environnementaux potentiels sont des phénomènes chroniques. La probabilité d'occurrence ou plutôt la sensibilité du site à voir se produire un phénomène donné, sera considérée comme égale à 1, mais seulement à condition que les situations hydrogéologiques (remontée de la nappe terminée et stabilisation du niveau) et hydrogéochimiques (stabilisation de la qualité de l'eau) soient stabilisées. Ce cas de figure, même si les données à disposition indiquent une stabilisation des paramètres sur plusieurs années ou dizaines d'années, ne peut toutefois jamais être considéré comme définitif.

Ensuite, si l'hypothèse d'une stabilisation est émise, un aléa « Environnement » sera ainsi défini uniquement par l'intensité d'un phénomène, donc par la concentration anormalement élevée de substances chimiques particulières dans l'environnement, et par l'impact potentiel qu'elles peuvent induire en fonction des usages potentiels de l'eau ou des sols.

Il est important de garder à l'esprit que la décision de considérer les phénomènes de pollution des eaux et des sols comme stabilisés au moment de l'élaboration du PPRM, et pour le futur, est prise du fait du manque de moyens techniques permettant actuellement de prévoir l'évolution des concentrations des éléments dans le futur. Il peut arriver que des concentrations stables pendant des années dans les eaux d'une émergence minière subissent des augmentations importantes et soudaines, dues à des phénomènes souterrains d'origines diverses.

Le volet Environnement d'un PPRM comporte donc des aléas évalués pour la situation en présence au moment où sont effectuées les analyses, et fait l'hypothèse que cette situation demeurera identique dans le futur, sans toutefois que l'évaluateur n'ait les moyens suffisants de le prévoir avec certitude (cf. 3.2.1).

2.2.2 REMARQUE RELATIVE AUX PHÉNOMÈNES ACCIDENTELS

Dans le cas où la présence d'un dépôt de stériles est avérée, il est possible d'envisager un impact environnemental lié à un glissement en masse de l'ouvrage. La conséquence de ce phénomène accidentel serait l'épandage en aval des matériaux constitutifs du dépôt. La **probabilité d'occurrence** de cet impact est égale à celle du glissement en masse du dépôt.

Sur le site minier de May-sur-Orne aucune zone de dépôt susceptible de provoquer une contamination n'a été identifiée (cf. **Annexe E**), ce type d'aléa ne sera donc pas considéré dans la présente étude.

3. ALÉAS « CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE » ET « CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES »

3.1 DESCRIPTION DES PHÉNOMÈNES PHYSICO-CHIMIQUES À L'ORIGINE DE LA CONTAMINATION DES EAUX

Dans le contexte de l'exploitation du fer et du stockage souterrain d'hydrocarbures de la mine de May-sur-Orne, les impacts environnementaux potentiels peuvent donc être liés **aux eaux de mine** et à leurs conséquences sur l'environnement.

Les vides générés par l'exploitation minière sont à l'origine d'une modification du contexte hydrogéologique local. En effet, les vides créés par l'exploitation induisent une fracturation à l'aplomb des travaux miniers. Les fractures sont ouvertes et jouent un rôle de drain, conférant ainsi au volume d'influence des travaux des coefficients de perméabilité bien plus élevés que ceux des secteurs vierges (« perméabilité en grand »). Les eaux peuvent donc s'infiltrer vers les travaux, rendant nécessaire, pendant l'exploitation, leur pompage ou leur évacuation gravitaire par galerie basse, lorsque la topographie le permet.

Après arrêt de l'exhaure minière, les zones d'influence de l'exploitation font l'objet d'un remplissage progressif par les eaux d'infiltration, aboutissant à la création d'une « nappe ». À terme, le trop-plein de la nappe entraîne l'apparition d'émergences généralement situées aux points bas du système.

La qualité des eaux « de mine » est variable dans le temps : pendant l'exploitation, le niveau de l'eau est maintenu à une cote constante. Le milieu est alors aéré, ce qui provoque l'oxydation des minerais au contact de l'air. Après arrêt de l'exhaure, une tranche de terrains se retrouve sous l'eau, ce qui entraîne une lixiviation des éléments oxydés rendus solubles sur des surfaces jusqu'alors non lessivées. Les concentrations en éléments solubles augmentent donc. Enfin, lorsque l'aquifère trouve un exutoire, la situation est à nouveau stabilisée. L'émergence évacue alors les eaux qui ont assuré un premier lessivage des terrains oxydés et baignés les travaux pendant parfois plusieurs années, et qui sont donc fortement chargées. Par la suite, le renouvellement de l'aquifère se poursuit et la minéralisation des eaux diminue progressivement. Les phénomènes d'oxydation ne se produisent plus que dans la tranche de battement de la nappe et maintiennent un niveau permanent en métaux lourds.

A May-sur-Orne le stockage d'hydrocarbures a pu constituer, à partir de 1972, une autre source de pollution potentielle des eaux souterraines puis des eaux de surface qu'il est nécessaire de considérer dans le cadre du PPRM.

En effet, d'après ([1]), **de mai 1972 à décembre 1988 ont transité dans la mine près de 20 000 000 m³ de gasoil**. Les vides utilisés pour le stockage étaient constitués par les galeries circulant à différents niveaux représentant 120 km et surtout par les chambres d'exploitation dont les dimensions atteignent pour certaines, jusqu'à 100 mètres de haut pour 80 mètres de large. Au cours du

stockage, l'huile a pu imprégner les parois pour constituer une potentielle source secondaire de pollution.

Rappels :

L'exploitation minière a été arrêtée en 1968 et la mine a ensuite été conservée en l'état, mais par la suite il a été envisagé d'utiliser les vides existants pour le stockage souterrain d'hydrocarbures. A partir de 1970 et jusqu'en 1975, des études préliminaires, des travaux d'aménagement et des essais de stockage/déstockage ont été mis en œuvre. Le principe de fonctionnement par compensation hydraulique a été retenu. Le flanc Nord constituait un réservoir de 1 500 000 m³ et le flanc Sud représentait une capacité de stockage de 3 500 000 m³.

La vidange du flanc Nord a commencé en juillet 1984. La vidange du flanc Sud a démarré en avril 1985 et les dernières livraisons d'hydrocarbures datent de 1988, les travaux de fermeture du stockage de May-sur-Orne ont débuté le 20 novembre 1989. Les deux flancs du stockage étant alors vidangés, le remplissage des vides miniers par l'eau de l'Orne a été effectué en deux étapes et a permis, par écrémage successifs, de récupérer les hydrocarbures piégés dans la géométrie de la mine. La période d'observation qui a suivi le remplissage final a eu lieu du 16 mars 1991 au 1^{er} février 1994 (date de déclaration d'achèvement des travaux).

3.2 PRINCIPES D'ÉVALUATION DES ALÉAS « CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE » ET « CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES »

3.2.1 DÉFINITION DE L'ALÉA

Les phénomènes affectant la qualité des eaux d'exhaure (paragraphe 3.1) montrent que l'intensité et la probabilité d'occurrence d'une contamination d'origine minière évoluent donc avec le temps.

Il est proposé que les aléas « contamination des eaux de surface » et « contamination des eaux souterraines » soient évalués sur la base d'un ensemble de phénomènes chroniques. De manière générale, si les phénomènes sont avérés et les paramètres analysés sur les eaux d'un site minier semblent stabilisés, la probabilité d'occurrence de la contamination est alors considérée comme égale à 1 et les aléas se traduisent directement par leur **intensité**. Celle-ci est évaluée par la concentration anormalement élevée de substances chimiques particulières dans l'environnement, et par l'impact potentiel qu'elles peuvent occasionner en fonction des usages potentiels de l'eau et/ou des sols. Ce cas de figure, même si les données à disposition indiquent une stabilisation des paramètres sur plusieurs années ou dizaines d'années, ne peut toutefois jamais être considéré comme définitif.

En effet, comme dit précédemment **le volet Environnement d'un PPRM comporte des aléas évalués pour la situation actuelle (au moment où sont effectuées les analyses) et fait l'hypothèse que cette situation demeurera identique dans le futur, sans toutefois que l'évaluateur ait, à l'heure actuelle, les moyens suffisants de le prévoir avec certitude.**

Si les situations hydrogéologique et hydrogéochimique ne sont pas stabilisées, la probabilité d'occurrence des phénomènes de contamination des eaux est

différente de 1, et il devient alors difficile d'évaluer l'aléa sur des phénomènes non avérés ou évolutifs.

A May-sur-Orne les concentrations des différents éléments chimiques d'origine minière et des substances organiques liées au stockage d'hydrocarbures sont probablement stabilisées, du fait du temps écoulé depuis l'apparition de l'écoulement dans les galeries de débordement (flanc nord et sud). Les aléas seront donc évalués sur l'hypothèse que la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines est stable dans le temps, depuis plusieurs années et le restera dans le futur. Dans ce cas, l'intensité de l'aléa, dont la méthodologie d'évaluation proposée sera explicitée dans les paragraphes suivants, sera le seul paramètre d'évaluation des aléas « contamination des eaux souterraines » et « contamination des eaux de surface ».

L'approche présentée ici n'est pas figée et fait l'objet actuellement d'une réflexion conjointe au sein d'un groupe de travail constitué du BRGM, de GEODERIS et de l'INERIS. Le PPRM de May-sur-Orne affiche donc un aléa calculé selon l'avancement de la méthodologie au moment de sa rédaction.

3.2.2 CRITÈRES D'ÉVALUATION DE LA CONTAMINATION DES COURS D'EAU DU SEQ-EAU, ET DE LA CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES DU SEQ-EAUX SOUTERRAINES

Il est proposé, dans l'objectif de quantifier l'intensité de l'aléa « contamination des eaux de surface » et l'intensité de l'aléa « contamination des eaux souterraines », d'utiliser le Système d'Évaluation de la Qualité des eaux (SEQ) ([4, 5 et 6]). Ce système présente l'intérêt d'être commun à tous les partenaires de l'eau et cohérent avec la proposition de la directive cadre européenne pour l'action communautaire dans le domaine de l'eau. Cette première étape permettra d'évaluer la qualité des eaux du secteur de May-sur-Orne pour différents usages potentiels et fonctions, pour les paramètres « miniers » et « hydrocarbures » (cf. 3.2.2.2). En fonction des résultats obtenus l'intensité de l'aléa contamination des eaux sera évaluée pour les eaux de surface et pour les eaux souterraines.

3.2.2.1 LES CLASSES D'APTITUDE AUX USAGES DES SYSTÈMES D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES COURS D'EAU (SEQ-EAU) ET DES AQUIFÈRES (SEQ-EAUX SOUTERRAINES)

Les systèmes SEQ-Eau ([4]) et SEQ-Eaux souterraines ([6]) définissent, pour un certain nombre de paramètres, des seuils d'aptitude d'un cours d'eau ou d'un aquifère à différents usages ainsi qu'à la biologie. Ces valeurs seuils permettent de qualifier la classe d'aptitude de l'eau pour chaque paramètre et pour différents usages ou fonctions. Les classes de qualité et le code couleur associé sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Classes de qualité des cours d'eau et des aquifères définis dans le SEQ-Eau et dans le SEQ-Eaux souterraines

Classe de qualité	Aptitude à des usages, à des fonctions et caractérisation de l'état patrimonial
Bleu	aptitude très bonne
Vert	aptitude bonne
Jaune	aptitude passable
Orange	aptitude mauvaise
Rouge	inaptitude ou aptitude très mauvaise

Les usages potentiels de l'eau de surface pris en compte dans le SEQ-Eau sont la **production d'eau potable**, les **loisirs aquatiques**, l'**aquaculture**, l'**irrigation**, l'**abreuvement**. Les **potentialités biologiques** sont prises en compte dans le SEQ-Eau, mais elles sont considérées comme une fonction et non pas comme un usage.

Les usages potentiels de l'eau souterraine pris en compte dans le SEQ-Eaux souterraines sont la **production d'eau potable**, l'**industrie-énergie**, l'**abreuvement** et l'**irrigation**. Les **potentialités biologiques** sont également définies ici pour pouvoir juger de l'influence éventuelle de la qualité des eaux souterraines sur la qualité des cours d'eau qu'elles peuvent alimenter. Les **potentialités biologiques** sont considérées comme une fonction et non pas comme un usage.

Enfin, un **état patrimonial** est introduit dans le SEQ-Eaux souterraines pour exprimer le degré de dégradation de l'eau du fait de la pression anthropique et ceci indépendamment de tout usage.

La classe d'aptitude globale du cours d'eau ou de l'aquifère pour chaque usage et pour l'aptitude à la biologie est déterminée par le paramètre le plus pénalisant. Si un paramètre indispensable fait défaut, l'aptitude de l'eau à l'usage ou à la fonction concernée ne peut pas être évaluée.

3.2.2.2 ADAPTATION DES SYSTÈMES SEQ-EAU ET SEQ-EAUX SOUTERRAINES À L'ENVIRONNEMENT MINIER

Il est proposé de quantifier l'intensité de la contamination des eaux en environnement minier selon les mêmes principes et avec les mêmes seuils que ceux des SEQ. Toutefois, quelques adaptations nécessaires sont présentées ci-dessous.

➤ Valeurs-guides des systèmes SEQ-Eau et SEQ-Eaux souterraines

Dans le cadre de l'adaptation des systèmes SEQ à l'environnement minier et à la méthodologie PPRM, seuls les paramètres « **miniers** », c'est-à-dire les **sulfates**, le **pH**, les **métaux** et **métalloïdes** sont pris en compte, car leur présence dans les eaux est directement liée à celle de travaux souterrains et/ou de déchets miniers exposés à l'oxydation et au lessivage.

Dans le cas de May-sur-Orne le stockage souterrain d'hydrocarbures implique également le prise en compte de paramètres supplémentaires, dits

« **hydrocarbures** ». Ces derniers sont liés aux micropolluants organiques (**Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)** et **BTEX**).

➤ **Choix des usages et fonctions adaptées**

Dans le cadre de l'application du système d'évaluation de la qualité des eaux à la définition des aléas certaines simplifications sont apportées. En effet, du fait du nombre de classes d'intensité de l'aléa « contamination des eaux » pris en compte, qui est de 5 (cf. Tableau 11), et de la méthodologie employée (cf. 3.2.3) seul 4 usages ou fonctions sont utilisés :

- ✓ La fonction **Potentialités biologiques**.
- ✓ L'usage **Production d'eau potable**.
- ✓ L'usage **abreuvement**.
- ✓ L'usage **irrigation**.

L'état patrimonial des eaux souterraines, directement dépendant des paramètres « hydrocarbures », sera considéré afin de donner une indication quant à l'impact ou au non impact du stockage d'hydrocarbures sur la qualité des eaux souterraines.


Les autres usages non pris en compte sont écartés pour les raisons suivantes :

- ✓ Pour les eaux souterraines, les **usages industriels et énergétiques** n'ont pas été pris en considération car ils sont jugés peu pertinents dans le cadre d'un PPRM. En effet, concernant les paramètres « miniers », la définition de ces usages ne s'appuie que sur le pH et les sulfates, qui sont regroupés au sein de l'altération « corrosion ».
- ✓ De la même manière, pour les eaux de surface, l'usage **aquaculture** est jugé peu pertinent dans le cadre d'un PPRM, seul le pH et trois métaux lourds étant considérés (déjà employés par ailleurs).
- ✓ Selon le système SEQ-Eau, les altérations « acidification », « minéralisation », « micropolluants minéraux sur eau brute » et « micropolluants organiques hors pesticides sur eau brute », regroupant les paramètres dits « miniers » et « hydrocarbures », n'interviennent pas dans l'évaluation de l'aptitude de l'eau d'une rivière aux loisirs et sports aquatiques. L'usage **loisirs aquatiques** n'est donc pas évalué spécifiquement dans le cadre du PPRM. Il peut être tout de même rapproché de l'usage Production d'eau potable, l'ingestion d'eau étant, en effet, l'une des principales voies d'exposition lors des loisirs aquatiques.

Lorsqu'elles existent les valeurs seuils pour les paramètres « miniers » et « hydrocarbures », déterminant le passage d'une classe d'aptitude à l'autre, sont présentées dans les tableaux suivants (*Tableau 2 à Tableau 5*) pour les eaux de surface, et *Tableau 6 à Tableau 8* pour les eaux souterraines).

Pour le SEQ-Eau les valeurs seuils s'entendent sur « eau brute », c'est-à-dire sur eau non filtrée.

Remarques :

- ✓ Dans les tableaux qui suivent, le motif  indique que le paramètre ne décrit pas la classe d'aptitude.
- ✓ Concernant l'altération par les micropolluants minéraux d'autres paramètres existents (nickel, aluminium...) ils ne sont pas tous présentés dans les tableaux mais ils sont utilisés dans la définition de l'aléa.

- **Eaux de surface (critères SEQ-Eau)**

*Tableau 2 : Seuils déterminant la classe d'aptitude aux POTENTIALITES
BIOLOGIQUES des paramètres « miniers » et « hydrocarbures »
(données sources du logiciel SEQ-Eau, version 1.13.08 du 3 juin 1999)*

Altérations	Paramètres	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Acidification	pH min	6,5	6	5,5	4,5	
	max	8,2	8,5	9	10	
Micropolluants minéraux sur eau brute	As (µg/L)	10	100	270	1800	
	Cd (µg/L)					
	Dureté<5°F	0,01	0,1	0,37	2,5	
	5°F<Dureté<20°F	0,04	0,37	1,3	8,7	
	Dureté>20°F	0,09	0,85	3	20	
	Cu (µg/L)					
	Dureté<5°F	0,17	1,7	2,5	7	
	5°F<Dureté<20°F	1	10	15	42	
	Dureté>20°F	2,7	27	40	110	
	Pb (µg/L)					
	Dureté<5°F	2,1	21	100	370	
	5°F<Dureté<20°F	5,2	52	250	930	
	Dureté>20°F	10	100	500	1900	
	Zn (µg/L)					
Dureté<5°F	2,3	23	52	190		
5°F<Dureté<20°F	4,3	43	98	350		
Dureté>20°F	14	140	330	1200		
Micropolluants organiques hors pesticides sur eau brute	Benzo(a) pyrène (mg/L)	0,005	0,05	5		
	Fluoranthène (mg/L)	0,004	0,04	4	28	
	Benzène (mg/L)	5	50	5000	13000	
	Toluène (mg/L)	100	1000	1500	9500	

Tableau 3 - Seuils déterminant la classe d'aptitude à la PRODUCTION D'EAU POTABLE des paramètres « miniers » et « hydrocarbures »
(données sources du logiciel SEQ-Eau, version 1.13.08 du 3 juin 1999)

<u>Altérations</u>	<u>Paramètres</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Acidification	pH min	6,5				
	pH max	9				
Minéralisation	Sulfates (mg/L)	250				
Micropolluants minéraux sur eau brute	As (µg/L)	10		100		
	Cd (µg/L)	5				
	Cu (µg/L)	2000	20000			
	Pb (µg/L)	10		50		
	Zn (µg/L)	5000				
Micropolluants organiques hors pesticides sur eau brute	Benzo(a) pyrène (mg/L)	0,01		0,1	0,2	
	Total HAP	0,1		0,3	1	
	Benzène (mg/L)	1		5	10	
	Toluène (mg/L)	700			1500	
	Total Xylènes	500				1000

Tableau 4 : Seuils déterminant la classe d'aptitude à L'IRRIGATION des paramètres « miniers » et « hydrocarbures »
(données sources du logiciel SEQ-Eau, version 1.13.08 du 3 juin 1999)

<u>Altérations</u>	<u>Paramètres</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Micropolluants minéraux sur eau brute	As (µg/L)	100		2000		
	Cd (µg/L)	10				
	Cu (µg/L)	200	1000	5000		
	Pb (µg/L)	200		2000		
	Zn (µg/L)	500				

Tableau 5 : Seuils déterminant la classe d'aptitude à L'ABREUVAGE des paramètres « miniers » et « hydrocarbures »
(données sources du logiciel SEQ-Eau, version 1.13.08 du 3 juin 1999)

<u>Altérations</u>	<u>Paramètres</u>	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Minéralisation	Sulfates (mg/L)	250		1000		
Micropolluants minéraux sur eau brute	As (µg/L)	50		500		
	Cd (µg/L)	5		20		
	Cu (µg/L)	500		5000		
	Pb (µg/L)	50		100		
	Zn (µg/L)	5000		50000		

- **Eaux souterraines (critères SEQ-Eau souterraine)**

Tableau 6 : Seuils portant sur les paramètres « miniers » et « hydrocarbures » déterminant la classe d'aptitude à la PRODUCTION D'EAU POTABLE de l'eau souterraine*

* (d'après [6] : SEQ-Eaux souterraines. Rapport de présentation (version 0), mars 2002). Pour l'EAU POTABLE, pour plus de clarté, le code de couleurs est modifié de façon à rester en cohérence avec l'ensemble des autres usages du SEQ.

Altérations	Paramètres	Bleu	Vert	Orange	Rouge
Fer et manganèse	Fe (µg/L)	50	200	10000	
	Mn (µg/L)	20	50	1000	
Minéralisation et salinité	pH min	6,5	8,5	5,5	5,5
	max	8,5	9	9	9,5
	Sulfates (mg/L)	25	250		
Micropolluants minéraux	As (µg/L)	5	10	100	
	Cd (µg/L)	1	5		
	Cu (µg/L)	100	200	4000	
	Pb (µg/L)	5	10	50	
	Zn (µg/L)	100	5000		
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	HAP somme (4) (µg/L)	0,05	0,1	1	
	Benzo(a)pyrène (µg/L)	0,005	0,01	0,2	
Micropolluants organiques (autres)	Benzène (µg/L)	0,5	1	10	

HAP (4) considérés : somme des concentrations en benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

Pour les usages IRRIGATION et ABREUVAGE (d'après [6]), les seuils définissant le passage d'une classe d'aptitude à l'autre sont, pour les eaux souterraines, identiques à ceux des eaux de surface (*Tableau 4* et *Tableau 5*).

Tableau 7 : 1^{ère} partie des seuils portant sur les paramètres « miniers » et « hydrocarbures » déterminant la classe POTENTIALITES BIOLOGIQUES de l'eau souterraine (d'après SEQ-Eaux souterraines : rapport de présentation (version 0), mars 2002)

Altérations	Paramètres	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Micropolluants minéraux	As (µg/L)	1	10	100	270	
	Cd (µg/L)					
	Dureté < 5°F	0,001	0,01	0,01	0,37	
	5°F < Dureté < 20°F	0,004	0,04	0,37	1,3	
	Dureté > 20°F	0,009	0,09	0,85	3	
	Cu (µg/L)					
	Dureté < 5°F	0,017	0,17	1,7	2,5	
	5°F < Dureté < 20°F	0,1	1	10	15	
	Dureté > 20°F	0,27	2,7	27	40	
	Pb (µg/L)					
	Dureté < 5°F	0,21	2,1	21	100	
	5°F < Dureté < 20°F	0,52	5,2	52	250	
	Dureté > 20°F	1	10	100	500	
	Zn (µg/L)					
	Dureté < 5°F	0,23	2,3	23	52	
	5°F < Dureté < 20°F	0,43	4,3	43	98	
Dureté > 20°F	1,4	14	140	330		

Tableau 8 : 2^{ème} partie des seuils portant sur les paramètres « miniers » et « hydrocarbures » déterminant la classe POTENTIALITES BIOLOGIQUES

*de l'eau souterraine (d'après SEQ-Eaux souterraines : rapport de
présentation (version 0), mars 2002)*

Altérations	Paramètres	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Benzo(a) pyrène (µg/L)	0,00003	0,0003	0,005	0,1	
	Dibenzo(a,h) anthracène (µg/L)	0,000006	0,00006	0,001	0,01	
	Acénaphène (µg/L)	0,07	0,7	10	160	
	Acénaphthylène (µg/L)	0,04	0,4	6	100	
	Anthracène (µg/L)	0,01	0,1	1	20	
	Benzo(a) anthracène (µg/L)	0,0005	0,005	0,1	1	
	Benzo(b) fluoranthène (µg/L)	0,0001	0,001	0,02	0,3	
	Benzo(ghi) pérylène (µg/L)	0,0003	0,003	0,04	0,6	
	Benzo(k) fluoranthène (µg/L)	0,0003	0,003	0,05	0,8	
	Chrysène (µg/L)	0,0006	0,006	0,1	1,5	
	Fluoranthène (µg/L)	0,002	0,02	0,4	6	
	Fluorène (µg/L)	0,03	0,3	5	77	
	Indéno(1,2,3-cd) pyrène (µg/L)	0,0002	0,002	0,02	0,4	
	Naphtalène (µg/L)	0,2	2	30	460	
	Phénanthrène (µg/L)	0,01	0,1	1,7	27	
Pyrène (µg/L)	0,002	0,02	0,4	6		
Micropolluants organiques (autres)	Benzène (µg/L)	0,5	5	50	5000	
	Toluène (µg/L)	10	100	1000	1500	

Comme vu précédemment l'état patrimonial permettra de valider les conclusions établies à partir des usages et de la fonction potentialités biologiques présentés ci-dessus.

Tableau 9 : Seuils portant sur les paramètres « miniers » et « hydrocarbures » déterminant la classe ETAT PATRIMONIAL de l'eau souterraine (d'après SEQ-Eaux souterraines : rapport de présentation (version 0), mars 2002)

Altérations	Paramètres	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	HAP somme (4) (µg/L)	0,05	0,25	0,5	2,5	
	Benzo(a) pyrène (µg/L)	0,001	0,005	0,01	0,05	
Micropolluants organiques (autres)	Benzène (µg/L)	0,5	2,5	5	25	

HAP (4) considérés : somme des concentrations en benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

➤ **Détermination de la classe d'aptitude des paramètres analysés aux différents usages, fonctions et à l'état patrimonial**

Sur un site minier, les analyses réalisées sur des prélèvements d'eaux prélevées en différents points des cours d'eau et des aquifères pendant plusieurs années fournissent une importante quantité de données pour les différents paramètres liés à la mine. Lorsque ces données sont disponibles et qu'elles mettent en évidence une stabilisation des paramètres dans le temps, leur **moyenne** peut être comparée aux valeurs seuils des systèmes SEQ-Eau et SEQ-Eaux souterraines. Dans le cas où peu de données sont disponibles, comme à May-sur-Orne, les **dernières analyses** en date sont considérées et sont comparées aux valeurs seuils des systèmes SEQ-Eau et SEQ-Eaux souterraines.

Cette comparaison permet alors de définir, pour chaque paramètre, puis pour chaque usage et fonction, l'appartenance à une classe de qualité.

La classe de qualité pour chaque paramètre mesuré est déterminée de façon sécuritaire. En effet, une valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante. De plus, lorsqu'elle est inférieure à la limite de détection des méthodes d'analyses chimiques, la valeur du paramètre qui sera prise en compte est la limite de détection elle-même, de façon à se placer dans le cas le plus déclassant.

➤ **Détermination de l'aptitude de l'eau analysée**

Chaque paramètre analysé fournit individuellement une classe d'aptitude pour chaque usage ou fonction. Parmi toutes les classes d'aptitude des paramètres pris

en compte, la plus pénalisante est retenue comme aptitude globale de l'eau pour cet usage ou cette fonction.

3.2.3 PRINCIPES D'ÉVALUATION ET DE CARTOGRAPHIE DES ALÉAS « CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE » ET « CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES »

Du fait du caractère chronique et stabilisé des phénomènes de contamination des eaux, l'aléa « contamination des eaux » du PPRM sera caractérisé uniquement par l'intensité de la contamination des eaux, qui sera lui-même évaluée à partir des seuls paramètres « miniers » et « hydrocarbures ».

Afin que l'intensité de l'aléa ait une signification en termes d'impacts potentiels pour les différents usages des eaux et pour la fonction potentialités biologiques, les classes d'intensité (au nombre de 5) sont définies sur la base de restrictions potentielles, à partir de l'aptitude de l'eau aux différents usages et à la biologie. Ainsi, un usage ou fonction, est déconseillé si l'aptitude de l'eau pour cet usage ou fonction est soit **mauvaise** (Orange), soit **très mauvaise** (Rouge), soit si l'eau est **inapte** à l'usage ou fonction considérée (Rouge) (*Tableau 10*).

Tableau 10 : Critères de classification des usages, fonctions possibles ou déconseillés, à l'aide des paramètres du SEQ-Eau

PPRM	Aptitude de l'eau à un usage, à une fonction	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise ou inaptitude
SEQ-Eau	Usage, fonction possible / déconseillé (au vu des paramètres miniers et hydrocarbures seulement)	Possible			Déconseillé	

Ensuite, chaque classe d'intensité est définie selon l'élimination ou la pratique possible de chaque usage ou fonction examinés individuellement : L'intensité sera nulle si aucun usage ou fonction n'est déconseillés, faible si l'usage ou fonction la plus sensible (potentialités biologiques) est déconseillés, moyenne si l'usage ou fonction la plus sensible après les potentialités biologiques (production d'eau

potable) est déconseillés, etc. Elle sera très forte si tous les usages ou fonctions sont déconseillés (*Tableau 11*).

Tableau 11 : Principes de quantification des aléas « contamination des eaux de surface » et « contamination des eaux souterraines » à partir de la fonction potentialité biologique et des usages

Intensité	Nulle	Faible	Moyenne	Forte	Très forte
Usages, fonctions* déconseillés (aptitude de l'eau mauvaise , très mauvaise ou inaptitude à l'usage, à la fonction)	Aucun usage potentiel ou fonction* déconseillé	Potentialités biologiques ou Production d'eau potable	Potentialités biologiques et Production d'eau potable	Potentialités biologiques et Production d'eau potable et Abreuvement ou Irrigation	Potentialités biologiques et Production d'eau potable et Abreuvement et Irrigation

* : potentialités biologiques

Le fait de restreindre un usage ou une fonction au vu des paramètres « miniers » et/ou « hydrocarbures » se justifie par un certain nombre de conséquences néfastes explicitées dans le tableau suivant (*Tableau 12*).

Tableau 12 : Caractéristiques des critères d'écartement des usages et fonctions
**PRODUCTION D'EAU POTABLE, ABREUVAGE, IRRIGATION et
 POTENTIALITES BIOLOGIQUES***

Usages, fonctions déconseillés	Potentialités biologiques	Production d'eau potable	Abreuvement	Irrigation
Causes	Risques d'effets létaux sur les espèces les plus sensibles ; diminution de l'abondance ou très grands risques d'effets létaux sur plusieurs espèces ; diminution de l'abondance et de la variété des espèces	Eau nécessitant un traitement complexe ou eau inapte à la production d'eau potable	Eau ne permettant que l'abreuvement des animaux matures ou eau inapte à l'abreuvement de tous les animaux d'élevage	Eau ne permettant que l'irrigation des plantes très tolérantes ou des sols alcalins ou neutres ou eau inapte à l'irrigation

A chaque classe d'intensité correspond une couleur (Tableau 11), qu'il ne faut pas confondre avec les couleurs des SEQ, qui sont utilisées pour noter la qualité des eaux.

Dans le cas d'un phénomène de contamination des eaux à **caractère chronique stabilisé**, ce qui est probablement le cas à May-sur-Orne (cf. 3.2.1), **l'aléa sera équivalent à l'intensité du phénomène**. Il est ainsi possible d'envisager une cartographie de l'aléa, en affectant une couleur donnée aux portions de rivières ou d'aquifères selon leur classe d'intensité.

3.2.4 REMARQUES RELATIVES À L'UTILISATION DES SEQ

- Selon les systèmes SEQ-Eau et SEQ-Eaux souterraines, les paramètres « miniers » et « hydrocarbures » ne suffisent pas à définir l'aptitude globale de l'eau à un usage. **L'aléa affiché ne peut en aucun cas être considéré comme équivalent à la qualité globale du cours d'eau ou de l'aquifère** car il ne s'appuie que sur ces paramètres « miniers » (métaux; métalloïdes, sulfates, pH) et « hydrocarbures » (HAP, benzène...). D'autres paramètres dont la qualité peut être très mauvaise selon le système SEQ (bactériologie, nitrates, par exemple), sont volontairement ignorés dans le cadre du PPRM. La consultation d'un PPRM n'apporte donc pas tous les éléments environnementaux nécessaires à la décision concernant l'usage futur d'un site

* (d'après SEQ-Eau (version 1) principes généraux, janvier 1999 [4] et SEQ-Eaux souterraines : rapport de présentation (version 0), mars 2002 [6])

ou d'un cours d'eau, mais lorsque la définition d'un aléa est liée à la restriction d'un usage cette information sera présentée explicitement dans les conclusions et reportée sur la carte d'aléa.

- Le fer (Fe) et le manganèse (Mn) ne sont pas pris en compte dans le SEQ-Eau actuel (ils existent dans le SEQ-Eaux souterraines pour l'usage Production d'eau potable, cf. *Tableau 6*), mais les teneurs mesurées, lorsqu'elles existent, seront néanmoins discutées relativement aux valeurs-guides (*Tableau 13*) proposées par l'ancienne version du SEQ-Eau, par les réglementations australiennes (1992) et canadiennes pour la qualité de l'environnement.

Tableau 13 : Valeurs-guides du fer et du manganèse pour la qualité des eaux de surface

		Fe (mg/l)	Mn (mg/l)
SEQ-Eau ¹	1A Eau de très bonne qualité	< 0,5	< 0,1
	1B Eau de bonne qualité	0,5 à 1	0,1 à 0,25
	2 Eau de qualité moyenne	1 à 1,5	0,25 à 0,5
	3 Eau de mauvaise qualité	> 1,5	> 0,5
	Hors – classe Eau de très mauvaise qualité		
Critères pour la protection de la vie aquatique d'eau douce	Australie (1992)	1	-
	Canada	0,3	-
Recommandations pour la qualité de l'eau d'irrigation	Australie (1992)	1	2
	Canada	5	0,2

¹ Depuis 1971, l'évaluation de la qualité des eaux s'appuyait sur une grille nationale prenant en compte des paramètres de qualité physico-chimique et un paramètre de qualité biologique. Sur cette base, les familles de qualité étaient réparties en 5 classes : 1A, 1B, 2, 3, Hors Classe.

3.3 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA « CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES » SUR LE SECTEUR DE MAY-SUR-ORNE

3.3.1 MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE POUR L'ÉVALUATION DE L'ALÉA « CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES »

Les principes de la méthodologie d'évaluation de l'aléa « contamination des eaux souterraines » proposée sont explicités dans le paragraphe 3.2.3. La contamination des eaux souterraines du secteur de May-sur-Orne est un phénomène chronique considéré comme stabilisé depuis un certain nombre d'années, les données analytiques utilisées sont postérieures au stockage d'hydrocarbures.

3.3.2 EVALUATION DE L'ALÉA « CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES » SUR LE SECTEUR DE MAY-SUR-ORNE

3.3.2.1 BILAN DES DONNÉES DISPONIBLES, ÉVALUATION DES ALÉAS « CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES » POUR LES DIFFÉRENTES CATÉGORIES D'EAUX

3.3.2.1.1 EAUX DU JURASSIQUE

L'aléa « contamination des eaux souterraines » des eaux de l'aquifère Jurassique ne peut être évalué en l'absence de données analytiques suffisantes. En effet, les dernières données disponibles (cf. **Annexe D**, Tableau 3) sont des valeurs moyennes mesurées entre mars 1991 et mars 1992, ces données (seulement sulfates, Fe et Mn) ne permettent pas de définir un aléa selon la méthode présentée précédemment car aucune information ne peut être utilisée pour définir l'aptitude à l'irrigation et celle à la biologie.

Cependant, la Figure 10 de l'**Annexe C** montre que la nappe du Jurassique alimente l'aquifère minier et les nappes du Primaire, dans ces conditions les eaux du Jurassique ne peuvent être contaminées (il est précisé dans cette même **Annexe C** que *la nappe du Jurassique, en charge par rapport aux nappes du Primaire, apparaît indépendante de la zone saturée du Primaire*).

3.3.2.1.2 EAUX DU PRIMAIRE

Les données utilisées sont celles résultant des investigations complémentaires menées par l'INERIS en juin 2004 (cf. **Annexe D**, Tableaux 9 à 13) sur l'ouvrage piézométrique Pz 31 (flanc nord) et sur l'ouvrage piézométrique Pz 10 (flanc sud). Ces deux piézomètres captent les eaux d'infiltration de la mine qui transitent vers l'Orne au travers des formations du Primaire.

Aucune donnée n'étant disponible concernant les carbonates, il a été décidé de se placer dans le cas le plus contraignant pour l'emploi du SEQ-Eaux souterraines avec : $\text{CaCO}_3 \leq 50 \text{ mg/L}$ (dureté faible) ou Titre Hydrotimétrique $\text{TH} \leq 5^\circ\text{F}$.

Les deux tableaux suivants présentent les résultats obtenus.

Les eaux souterraines des nappes du Primaire se caractérisent par un pH neutre (proche de 7) et par des teneurs en substances organiques (HAP, BTEX) très faibles.

Les concentrations en métaux lourds et en métalloïdes (éléments traces métalliques) sont elles aussi faibles (sauf pour le manganèse et pour le zinc), il apparaît également que **certaines concentrations sont inférieures aux limites de détection des méthodes d'analyse employées**, ce qui conduit à obtenir pour certains éléments, des résultats incompatibles avec la fonction potentialités biologiques ou un usage potentiel pour la production d'eau potable.

En effet, certaines analyses ne sont pas compatibles avec la méthodologie employée et les seuils requis par le SEQ car à l'époque de ces analyses (juin 2004) la comparaison avec les seuils du SEQ n'était pas réalisée dans le cadre de la phase aléa d'un PPRM.

Les résultats obtenus, en considérant les nombreuses incertitudes portant sur les limites de détection (Cd, Cr, Cu...), sont les suivants :

- ✓ Ouvrage Pz31 : Aléa **FAIBLE à MOYEN (flanc nord)**.
- ✓ Ouvrage Pz10 : Aléa **MOYEN (flanc sud)**.

Tableau 14 : Ouvrage Pz 31 - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer

PZ31 (Flanc Nord)	Teneurs	Potentialités biologiques	Production d'eau potable	Abreuvement	Irrigation
pH	6,82	X		X	X
Sulfates (mg/l)	57	X			X
As (µg/l)	< 10	?	?		
Cd (µg/l)	< 9	?	?	?	
Cr (µg/l)	< 7	?			
Cu (µg/l)	< 16	?			
Fe (µg/L)	< 24	X		X	X
Mn (µg/L)	214	X		X	X
Ni (µg/L)	< 9	?			
Pb (µg/L)	< 33	?	?		
Zn (µg/L)	< 25	?			
Se (µg/L)	< 10	X	?	?	
Naphtalène (µg/L)	0,151		X	X	X
Acénaphène (µg/L)	0,0005		X	X	X
Fluorène (µg/L)	0,0013		X	X	X
Phénanthrène (µg/L)	0,0042		X	X	X
Anthracène (µg/L)	0,0002		X	X	X
Fluoranthène (µg/L)	0,0011		X	X	X
Pyrène (µg/L)	< 0,0008		X	X	X
Benzo(a)anthracène (µg/L)	< 0,0002		X	X	X
Chrysène (µg/L)	0,0003		X	X	X
Benzo(b)fluoranthène (µg/L)	0,0003		X	X	X
Benzo(k)fluoranthène (µg/L)	0,0001		X	X	X
Benzo(a)pyrène (µg/L)	0,0002			X	X
Dibenzo(a,h)anthracène (µg/L)	< 0,000003		X	X	X
Benzo(g,h,i)perylène (µg/L)	< 0,00011		X	X	X
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène (µg/L)	< 0,00008		X	X	X
Somme des quatre (µg/L)	0,00059	X		X	X
Benzène (µg/L)	< 1,5	?	?	X	X
Toluène (µg/L)	< 1		X	X	X
Aptitudes		?	?	?	

Somme des quatre, HAP (4) considérés : somme des concentrations en benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

X : paramètre non pris en compte dans l'évaluation de l'aptitude de l'eau à cet usage.

? : valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante.

minimum		maximum
ALEA		ALEA
FAIBLE		MOYEN

Il est impossible de se prononcer avec assurance sur la qualité des eaux et donc sur l'aléa à partir des données relatives au piézomètre 31, en effet, la définition de l'aléa varie selon que l'on considère ou non que le seuil analytique atteint représente la teneur réelle de l'élément dans l'eau souterraine. Cette incertitude conduit à obtenir une « gamme de variation » de l'aléa et l'aléa qui caractérise les eaux souterraines du Primaire (flanc nord) peut s'échelonner de **FAIBLE** (fonction potentialités biologiques ou usage production d'eau potable déconseillés) à

MOYEN (fonction potentialités biologiques et usage production d'eau potable déconseillés).

Tableau 15 : Ouvrage Pz 10 - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer

PZ10 (Flanc Sud)	Teneurs	Potentialités biologiques	Production d'eau potable	Abreuvement	Irrigation
pH	7,08	X		X	X
Sulfates (mg/l)	66	X			X
As (µg/l)	< 10	?	?		
Cd (µg/l)	< 9	?	?	?	
Cr (µg/l)	< 7	?			
Cu (µg/l)	< 16	?			
Fe (µg/L)	< 24	X		X	X
Mn (µg/L)	225	X		X	X
Ni (µg/L)	< 9	?			
Pb (µg/L)	< 33	?	?		
Zn (µg/L)	42				
Se (µg/L)	< 10	X	?	?	
Naphtalène (µg/L)	0,138		X	X	X
Acénaphène (µg/L)	0,0002		X	X	X
Fluorène (µg/L)	0,0004		X	X	X
Phénanthrène (µg/L)	0,004		X	X	X
Anthracène (µg/L)	0,0001		X	X	X
Fluoranthène (µg/L)	0,001		X	X	X
Pyrène (µg/L)	< 0,0008		X	X	X
Benzo(a)anthracène (µg/L)	0,0003		X	X	X
Chrysène (µg/L)	0,0003		X	X	X
Benzo(b)fluoranthène (µg/L)	0,0001		X	X	X
Benzo(k)fluoranthène (µg/L)	0,0001		X	X	X
Benzo(a)pyrène (µg/L)	0,0001			X	X
Dibenzo(a,h)anthracène (µg/L)	< 0,000003		X	X	X
Benzo(g,h,i)perylène (µg/L)	< 0,00011		X	X	X
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène (µg/L)	< 0,00008		X	X	X
Somme des quatre (µg/L)	0,00039	X		X	X
Benzène (µg/L)	< 1,5	?	?	X	X
Toluène (µg/L)	< 1		X	X	X
Aptitudes		?	?	?	

Somme des quatre, HAP (4) considérés : somme des concentrations en benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

X : paramètre non pris en compte dans l'évaluation de l'aptitude de l'eau à cet usage.

? : valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante.

ALEA
MOYEN

3.3.2.1.3 EAUX D'EXHAURE

Les résultats analytiques utilisés, dans un premier temps, pour évaluer l'aléa « contamination des eaux souterraines » des eaux d'exhaure sont issus des investigations complémentaires menées par l'INERIS en juin 2004 (cf. **Annexe D**, Tableaux 23 à 27) au niveau de la galerie B (flanc nord) et de la galerie I (flanc sud).

De même que pour les eaux du Primaire, aucune donnée n'étant disponible concernant les carbonates, il a été décidé de se placer dans le cas le plus contraignant : $\text{CaCO}_3 \leq 50 \text{ mg/L}$ (dureté faible) ou Titre Hydrotimétrique TH $\leq 5^\circ\text{F}$.

Les deux tableaux suivants présentent les résultats obtenus.

Les teneurs observées sont sensiblement plus élevées que celles mesurées sur les eaux souterraines du Primaire, mais elles restent faibles (notamment HAP). Cet accroissement de certaines teneurs et du pH est vraisemblablement dû à l'origine de ces eaux, à savoir les galeries où les contaminants sont concentrés.

A partir de ces analyses les résultats obtenus en comparant les teneurs mesurées aux seuils du SEQ-Eaux souterraines sont les suivants :

- ✓ Galerie B : Aléa **FAIBLE** à **MOYEN (flanc nord)**.
- ✓ Galerie I : Aléa **NUL** à **MOYEN (flanc sud)**.

L'aléa qui caractérise les eaux d'exhaure s'échelonne de **NUL** à **MOYEN** (selon que l'on considère ou non que lorsque le seuil analytique est atteint celui-ci représente la teneur réelle).

De même que précédemment, pour ce qui concerne les eaux du Primaire (cf.3.3.2.1.2) il subsiste une incertitude concernant les concentrations de certains éléments ou substances. En conséquence, il a été décidé (par GEODERIS et l'INERIS) de réaliser une nouvelle campagne d'analyse des eaux d'exhaure afin de préciser l'aléa « contamination des eaux souterraines ». En effet, les eaux d'exhaure sont vraisemblablement celles où les contaminants sont les plus concentrés et c'est donc en précisant les teneurs dans ces eaux que le niveau d'aléa des eaux souterraines du secteur étudié sera lui même précisé.

Les résultats de ces investigations sont présentés au paragraphe suivant.

Tableau 16 : Galerie B - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer

Galerie B (Flanc Nord)	Teneurs	Potentialités biologiques	Production d'eau potable	Abreuvement	Irrigation
pH	7,38	X		X	X
Sulfates (mg/l)	11	X			X
As (µg/l)	< 10	?	?		
Cd (µg/l)	< 9	?	?	?	
Cr (µg/l)	< 7	?			
Cu (µg/l)	< 16	?			
Fe (µg/L)	< 24	X		X	X
Mn (µg/L)	95	X		X	X
Ni (µg/L)	< 9	?			
Pb (µg/L)	< 33	?	?		
Zn (µg/L)	< 25	?			
Se (µg/L)	< 10	X	?	?	
Naphtalène (µg/L)	0,078		X	X	X
Acénaphène (µg/L)	0,059		X	X	X
Fluorène (µg/L)	0,019		X	X	X
Phénanthrène (µg/L)	< 0,0001		X	X	X
Anthracène (µg/L)	0,0103		X	X	X
Fluoranthène (µg/L)	0,0204		X	X	X
Pyrène (µg/L)	0,021		X	X	X
Benzo(a)anthracène (µg/L)	0,0005		X	X	X
Chrysène (µg/L)	0,0004		X	X	X
Benzo(b)fluoranthène (µg/L)	0,0013		X	X	X
Benzo(k)fluoranthène (µg/L)	0,0006		X	X	X
Benzo(a)pyrène (µg/L)	0,0011			X	X
Dibenzo(a,h)anthracène (µg/L)	0,0002		X	X	X
Benzo(g,h,i)perylène (µg/L)	0,0007		X	X	X
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène (µg/L)	0,0007		X	X	X
Somme des quatre (µg/L)	0,0033	X		X	X
Benzène (µg/L)	< 1,5	?	?	X	X
Toluène (µg/L)	< 1		X	X	X
Aptitudes		?	?	?	

Somme des quatre, HAP (4) considérés : somme des concentrations en benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

X : paramètre non pris en compte dans l'évaluation de l'aptitude de l'eau à cet usage.

? : valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante.

minimum		maximum
ALEA		ALEA
FAIBLE		MOYEN

*Tableau 17 : Galerie I - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine
à la biologie et aux usages, aléa à considérer*

Galerie I (Flanc Sud)	Teneurs	Potentialités biologiques	Production d'eau potable	Abreuvement	Irrigation
pH	7,53	X		X	X
Sulfates (mg/l)	54	X			X
As (µg/l)	< 10	?	?		
Cd (µg/l)	< 9	?	?	?	
Cr (µg/l)	< 7	?			
Cu (µg/l)	< 16	?			
Fe (µg/L)	< 24	X		X	X
Mn (µg/L)	< 14	X		X	X
Ni (µg/L)	< 9	?			
Pb (µg/L)	< 33	?	?		
Zn (µg/L)	< 25	?			
Se (µg/L)	< 10	X	?	?	
Naphtalène (µg/L)	0,113		X	X	X
Acénaphène (µg/L)	0,0063		X	X	X
Fluoréne (µg/L)	0,0036		X	X	X
Phénanthrène (µg/L)	< 0,0003		X	X	X
Anthracène (µg/L)	0,001		X	X	X
Fluoranthène (µg/L)	0,0042		X	X	X
Pyrène (µg/L)	0,0034		X	X	X
Benzo(a)anthracène (µg/L)	0,0004		X	X	X
Chrysène (µg/L)	< 0,00002		X	X	X
Benzo(b)fluoranthène (µg/L)	< 0,00002		X	X	X
Benzo(k)fluoranthène (µg/L)	0,0001		X	X	X
Benzo(a)pyrène (µg/L)	0,0002			X	X
Dibenzo(a,h)anthracène (µg/L)	< 000003		X	X	X
Benzo(g,h,i)perylène (µg/L)	< 0,00011		X	X	X
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène (µg/L)	< 0,00008		X	X	X
Somme des quatre (µg/L)	0,00031	X		X	X
Benzène (µg/L)	< 1,5	?	?	X	X
Toluène (µg/L)	< 1		X	X	X
Aptitudes		?	?	?	

Somme des quatre, HAP (4) considérés : somme des concentrations en benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

X : paramètre non pris en compte dans l'évaluation de l'aptitude de l'eau à cet usage.

? : valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante.

minimum		maximum
ALEA		ALEA
NUL		MOYEN

3.3.3 ANALYSES COMPLÉMENTAIRES DES EAUX D'EXHAURE (FÉVRIER 2006)

Afin de palier au manque de précision des analyses menées en juin 2004, de nouveaux prélèvements et analyses ont été réalisés en février 2006, les résultats (bordereaux analytiques transmis par GEODERIS) sont fournis en fin d'**Annexe D**.

Les Tableaux suivants reprennent les concentrations mesurées pour les éléments et substances pour lesquelles les analyses de juin 2004 comportaient une incertitude (liée au seuil analytique considéré) : les éléments traces métalliques (métaux et métalloïdes) et les BTEX.

Les autres résultats relatifs aux produits analysés ne sont pas considérés car ils atteignent le seuil analytique (HAP) ou sont du même ordre de grandeur qu'en juin 2004, voire légèrement supérieurs (pH, Sulfates).

Au sujet du cuivre, il apparaît que le seuil analytique considéré en 2006 est nettement supérieur à celui des analyses de juin 2004 (30 µg/L au lieu de 16 µg/L), cet élément n'est donc pas pris en compte dans la détermination finale des aptitudes (il apparaît dans les Tableaux à titre indicatif).

Pour les galeries B et I le Titre Hydrotimétrique a été mesuré : TH > 20°F (dureté forte).

A partir de ces nouvelles analyses les résultats obtenus en comparant les teneurs mesurées aux seuils du SEQ-Eaux souterraines sont les suivants :

- ✓ Galerie B : Aléa **FAIBLE (flanc nord)**.
- ✓ Galerie I : Aléa **FAIBLE (flanc sud)**.

Tableau 18 : Galerie B - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer

Galerie B (Flanc Nord)	Teneurs	Potentialités biologiques	Production d'eau potable	Abreuvement	Irrigation
As (µg/l)	7		?		
Cd (µg/l)	< 0,5				
Cr (µg/l)	< 5				
Cu (µg/l)	< 30				
Fe (µg/L)	< 50	X		X	X
Mn (µg/L)	110	X		X	X
Ni (µg/L)	< 10		?		
Pb (µg/L)	< 5		?		
Zn (µg/L)	< 20				
Se (µg/L)	< 5	X	?		
Benzène (µg/L)	< 1		?	X	X
Toluène (µg/L)	< 5		X	X	X
Aptitudes					

X : paramètre non pris en compte dans l'évaluation de l'aptitude de l'eau à cet usage.

? : valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante.

ALEA
FAIBLE

Tableau 19 : Galerie I - Détermination des classes d'aptitudes de l'eau souterraine à la biologie et aux usages, aléa à considérer

Galerie I (Flanc Sud)	Teneurs	Potentialités biologiques	Production d'eau potable	Abreuvement	Irrigation
As (µg/l)	< 5		?		
Cd (µg/l)	< 0,5				
Cr (µg/l)	< 5				
Cu (µg/l)	< 30				
Fe (µg/L)	60	X		X	X
Mn (µg/L)	< 20	X	?	X	X
Ni (µg/L)	< 10		?		
Pb (µg/L)	< 5		?		
Zn (µg/L)	< 20				
Se (µg/L)	< 5	X	?		
Benzène (µg/L)	< 1		?	X	X
Toluène (µg/L)	< 5		X	X	X
Aptitudes					

X : paramètre non pris en compte dans l'évaluation de l'aptitude de l'eau à cet usage.

? : valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante.

ALEA
FAIBLE

3.3.4 REMARQUE RELATIVE À L'ÉTAT PATRIMONIAL DES EAUX SOUTERRAINES

L'état patrimonial permet d'apprécier le niveau de **pression anthropique sur une eau souterraine**, sans faire référence à un usage ou à une fonction quelconque. Il est considéré ici afin de donner une indication quant à l'impact ou le non-impact du stockage d'hydrocarbures sur la qualité des eaux souterraines (des nappes du Primaire et des eaux d'exhaure des galeries).

Les Tableaux 18 à 21 présentent les résultats obtenus pour les piézomètres Pz 31 et Pz 10 puis pour les eaux issues des galeries B et I (en considérant les analyses synchrones de juin 2004).

Sur l'ensemble des analyses la teneur en benzène est incertaine car le seuil analytique a été atteint (1,5 µg/L). Au vu de cette incertitude, du point de vue de la contamination des eaux par le stockage d'hydrocarbures le niveau de dégradation de l'eau souterraine peut être qualifié de la façon suivante :

- ✓ **Classe bleue - Eau dont la composition est naturelle ou "sub-naturelle"** pour le Pz 31, Pz 10 et la galerie I si l'on considère que la teneur de 1,5 µg/L n'est pas la concentration réelle de l'eau en benzène et qu'elle est inférieure à 0,5 µg/L (Classe bleue atteinte pour une teneur inférieure à 0,5 µg/L)
- ✓ **Classe verte - Eau de composition proche de l'état naturel, mais détection d'une contamination d'origine anthropique** pour le Pz 31, Pz 10 et la galerie I si l'on considère que la teneur de 1,5 µg/L est la concentration réelle de l'eau en benzène ou que celle-ci est supérieure à 0,5 µg/L. Les eaux issues de la galerie B révèlent l'existence d'une faible contamination (0,0011 µg/L en benzo(a)pyrène au lieu de 0,001 µg/L) – déjà évoquée au 3.3.2.1.3.

Ces résultats confirment que les eaux souterraines des formations du Primaire et celles issues des galeries semblent nullement ou peu contaminées par l'ancienne activité de stockage d'hydrocarbures.

Tableau 20 : Pz 31 - Etat patrimonial

PZ31 (Flanc Nord)	Teneurs	Etat Patrimonial
Benzo(a)pyrène (µg/L)	0,0002	
Somme des quatre (µg/L)	0,00059	
Benzène (µg/L)	< 1,5	?
Aptitudes		?

Somme des quatre, HAP (4) considérés : somme des concentrations en benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

? : valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante

Tableau 21 : Pz 10 - Etat patrimonial

PZ10 (Flanc Sud)	Teneurs	Etat Patrimonial
Benzo(a)pyrène (µg/L)	0,0001	
Somme des quatre (µg/L)	0,00039	
Benzène (µg/L)	< 1,5	?
Aptitudes		?

Somme des quatre, HAP (4) considérés : somme des concentrations en benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

? : valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante

Tableau 22 : Galerie B - Etat patrimonial

Galerie B (Flanc Nord)	Teneurs	Etat Patrimonial
Benzo(a)pyrène (µg/L)	0,0011	
Somme des quatre (µg/L)	0,0033	
Benzène (µg/L)	< 1,5	?
Aptitudes		?

Somme des quatre, HAP (4) considérés : somme des concentrations en benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

? : valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante

Tableau 23 : Galerie I - Etat patrimonial

Galerie I (Flanc Sud)	Teneurs	Etat Patrimonial
Benzo(a)pyrène (µg/L)	0,0002	
Somme des quatre (µg/L)	0,00031	
Benzène (µg/L)	< 1,5	?
Aptitudes		?

Somme des quatre, HAP (4) considérés : somme des concentrations en benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène.

? : valeur égale à un seuil implique le déclassement du paramètre dans la classe la plus pénalisante

3.3.5 CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA « CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES »

Au droit du site minier de May-sur-Orne, les formations hydrogéologiques présentes sont la nappe du Jurassique et les nappes du Primaire.

En ce qui concerne la nappe sus-jacente du Jurassique l'aléa « contamination des eaux souterraines » n'a pas pu être évalué du fait de l'absence de données exploitables. Cependant, la Figure 10 de l'**Annexe C** montre que la nappe du Jurassique alimente l'aquifère minier et les nappes du Primaire, dans ces conditions les eaux du Jurassique ne peuvent être contaminées (il est précisé dans cette même **Annexe C** que la nappe du Jurassique, en charge par rapport aux nappes du Primaire, apparaît indépendante de la zone saturée du Primaire).

Un aléa « contamination des eaux souterraines » FAIBLE à MOYEN (flanc nord) et MOYEN (flanc sud) a été déterminé pour les nappes du Primaire à partir de données obtenues sur des piézomètres drainant les eaux du Primaire (mais aussi celles s'infiltrant depuis l'aquifère Jurassique) qui traversent les galeries et rejoignent l'Orne. Cependant de nombreuses incertitudes subsistent du fait des seuils analytiques considérés et ces niveaux d'aléa ne peuvent être considérés.

L'aléa « contamination des eaux souterraines » évalué pour les eaux d'exhaure issues des galeries B (flanc nord) et I (flanc sud) est FAIBLE au vu des résultats des analyses complémentaires menées en février 2006.

Compte tenu du fait que les eaux d'exhaure sont, par rapport aux eaux du Primaire, celles où les contaminants sont les plus concentrés (eaux des galeries) et du fait des incertitudes portant sur les analyses de juin 2004 (eaux du Primaire et eaux d'exhaure), l'aléa **FAIBLE** est retenu.

Cet aléa est étendu à l'ensemble de l'aquifère minier (flanc nord et flanc sud) dont l'extension correspond à la superficie des travaux souterrains autour desquels une marge supplémentaire de l'ordre de 250 m est ajoutée (de part et d'autre), afin de prendre en compte la zone d'influence (au niveau des nappes du Primaire) hydrogéologique et hydrogéochimique (cf. **Annexe G**).

3.3.6 CONCLUSION SUR L'ALÉA « CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES »

Au vu des données disponibles les eaux souterraines (des formations Jurassique et Primaire) ne semblent pas impactées par les anciens travaux miniers et par le stockage d'hydrocarbures qui a suivi. **L'aléa « contamination des eaux souterraines » est définie au niveau des nappes du Primaire et des galeries, comme FAIBLE.**

3.4 EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA « CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE » SUR LE SECTEUR DE MAY-SUR-ORNE

3.4.1 MÉTHODOLOGIE PROPOSÉE POUR L'ÉVALUATION DE L'ALÉA « CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE »

Les principes de la méthodologie d'évaluation de l'aléa « contamination des eaux de surface » proposée sont explicités dans le paragraphe 3.2.3. La contamination des eaux de surface du secteur de May-sur-Orne est un phénomène chronique considéré comme stabilisé depuis un certain nombre d'années, les données analytiques utilisées sont postérieures au stockage d'hydrocarbures.

3.4.2 ÉVALUATION DE L'ALÉA « CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE »

3.4.2.1 DILUTION DES EAUX D'EXHAURE DANS L'ORNE

Les eaux d'exhaure (flanc nord et flanc sud) pour lesquels un aléa « contamination des eaux souterraines » FAIBLE a été déterminé pourraient induire une faible contamination des eaux de l'Orne.

Or un calcul de dilution a été réalisé au cours de la phase informative ([1]), le résultat de ce calcul est donné en **Annexe D**, dans le Tableau 20 (basé sur le débit d'étiage retenu comme caractéristique pour l'Orne, à savoir 8 056 m³/h).

Il apparaît que le rapport de dilution est de :

- ✓ 6/8056 (soit $7,5 \cdot 10^{-4}$) à l'exhaure du flanc nord ;
- ✓ 50/8056 (soit $6 \cdot 10^{-3}$) à l'exhaure du flanc sud.

Ces résultats, obtenus d'après les moyennes des débits mesurés sur 6 mois (de septembre 1991 à mars 1992), montrent que **la dilution des eaux souterraines issues des galeries B et I est importante**, dans ces conditions le rejet direct de ces eaux a peu d'impact sur la qualité d'ensemble de l'Orne et donc sur l'aléa « contamination des eaux de surface ».

3.4.2.2 EAUX SUPERFICIELLES DE L'ORNE

Les données analytiques utilisées sont le résultat de prélèvements d'eau effectués par la DDE du Calvados dans l'Orne en amont et en aval des exhaures de la mine en février 1997 (cf. **Annexe D**, Tableau 32).

Il n'est pas précisé si les analyses ont été effectuées sur eau brute (non filtrée) ou non. L'incertitude ne peut être levée, les données seront donc évaluées selon les critères du SEQ-Eau telles quelles.

Ces données sont incomplètes au vu de la méthodologie employée, car à l'exception du fer et du manganèse (cf. Tableau 24) il n'y a pas d'informations relatives aux métaux et métalloïdes, or ces derniers sont les seuls paramètres utilisés pour définir la classe de l'usage irrigation (cf. Tableau 4), en conséquence cet usage ne peut être défini et il n'est pas employé pour caractériser l'aléa « contamination des eaux de surface ».

Les concentrations mesurées en fer et en manganèse dans l'Orne sont présentées ci-dessous. Ces valeurs peuvent être comparées à celles données dans le Tableau 13.

Pour le fer, l'eau de l'Orne correspond à une eau de bonne qualité (1B). Seule, la valeur seuil du Canada est dépassée pour ce qui concerne la protection de la vie aquatique (0,58 ou 0,72 mg/L au lieu de 0,3 mg/L).

Pour le manganèse, les teneurs observées dans l'Orne sont toujours inférieures aux différents seuils présentés dans le Tableau 13.

Globalement, pour le fer et le manganèse, l'eau de l'Orne en amont et en aval des exhaures minières est donc d'une qualité acceptable.

*Tableau 24 : Teneurs en fer et en manganèse mesurées sur des échantillons d'eau prélevés dans l'Orne en amont et en aval des exhaures de la mine, le 18 février 1997 (cf. **Annexe D**, Tableau 32)*

	Orne amont	Orne aval
Fe (mg/L)	0,58	0,72
Mn (mg/L)	0,03	0,03

Les deux tableaux suivants présentent les résultats obtenus pour l'évaluation de l'aléa « contamination des eaux de surface ».

L'aléa qui caractérise les eaux de surface est estimé **NUL** (usage irrigation non pris en compte).

L'Orne en amont et en aval des exhaures des galeries B et I ne semble pas subir de contamination notable du fait des travaux miniers (paramètres « miniers ») et du stockage d'hydrocarbures (paramètres « hydrocarbures ») qui a suivi.

Tableau 25 - Tableau de détermination des classes d'aptitude de l'eau de l'Orne Amont à la biologie et aux usages, aléa à considérer

Orne amont	Teneurs	Potentialités biologiques	Production d'eau potable	Abreuvement	Irrigation
pH	7,71			X	X
Sulfates (mg/l)	33	X			X
Fluoranthène (µg/L)	0,015		X	X	X
Benzo(b)fluoranthène (µg/L)	< 0,01	X	X	X	X
Benzo(k)fluoranthène (µg/L)	< 0,01	X	X	X	X
Benzo(a)pyrène (µg/L)	< 0,01			X	X
Benzo(g,h,i)perylène (µg/L)	< 0,01	X	X	X	X
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	< 0,01	X	X	X	X
Aptitudes					?

ALEA
NUL

Tableau 26 - Tableau de détermination des classes d'aptitude de l'eau de l'Orne Aval à la biologie et aux usages, aléa à considérer

Orne aval	Teneurs	Potentialités biologiques	Production d'eau potable	Abreuvement	Irrigation
pH	7,59			X	X
Sulfates (mg/l)	34	X			X
Fluoranthène (µg/L)	0,03		X	X	X
Benzo(b)fluoranthène (µg/L)	< 0,01	X	X	X	X
Benzo(k)fluoranthène (µg/L)	< 0,01	X	X	X	X
Benzo(a)pyrène (µg/L)	< 0,01			X	X
Benzo(g,h,i)perylène (µg/L)	< 0,01	X	X	X	X
Indeno(1,2,3-c,d)pyrène	< 0,01	X	X	X	X
Aptitudes					?

ALEA
NUL

3.4.3 CARTOGRAPHIE DE L'ALÉA « CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE »

L'Orne est le principal cours d'eau identifié dans la zone d'étude c'est donc sur celui-ci que l'aléa « contamination des eaux de surface » a été évalué. **Cet aléa est NUL** (cf. Annexe G).

3.4.4 CONCLUSION SUR L'ALÉA « CONTAMINATION DES EAUX DE SURFACE »

Au vu des données disponibles les eaux de surface ne semblent pas impactées par les anciens travaux miniers et par le stockage d'hydrocarbures qui a suivi. **L'aléa « contamination des eaux de surface » est définie comme NUL.**

4. ALÉA « ÉMANATION DE GAZ ».

L'étude porte sur l'évaluation des aléas liés aux gaz, à travers les terrains de recouvrement et à travers les ouvrages de communication. Après un rappel de la méthodologie généralement utilisée pour l'évaluation de l'aléa, le cas de May sur Orne sera détaillé.

4.1 MÉTHODOLOGIE POUR L'ÉVALUATION DE L'ALÉA LIÉ AU GAZ

La procédure appliquée pour l'évaluation des aléas liés à la migration de gaz par les terrains de recouvrement et ouvrages de communication est basée sur les préconisations contenues dans le projet du Guide Méthodologique d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers élaboré en 2004 [2].

L'aléa gaz est établi en fonction de l'intensité du phénomène et de la prédisposition du milieu pour que ce phénomène se présente en surface. Cette liaison est présentée au tableau 25. Autant que faire se peut, en fonction de la disponibilité des données nous avons tenu compte de ce tableau pour établir le niveau d'aléa lié au gaz, après avoir évalué l'intensité et la prédisposition du site à émettre du gaz de mine vers la surface.

		PREDISPOSITION				
		Très peu sensible	Peu sensible	Sensible	Très sensible	Extrêmement sensible
INTENSITE	Très faible à faible	Nul à négligeable				
	Moyenne	Faible				
	Forte		Moyen			
	Très forte			Fort		Très fort

Tableau 27 : Niveau d'aléa lié au gaz en fonction de la prédisposition et de l'intensité du site à émettre du gaz de mine vers la surface

Intensité du phénomène

Pour déterminer cette intensité, il doit être tenu compte de la composition du gaz, de l'importance du flux gazeux potentiel et de sa répartition à la surface du sol lorsque ces éléments sont connus (cf. guide méthodologique désigné ci-avant).

Prédisposition

Les facteurs essentiels tels que la présence d'un réservoir constitué par les vides miniers ou par la porosité résiduelle, son alimentation en gaz et la possibilité d'accumulation et de migration de ces gaz, à des teneurs significatives, vers la surface sont examinés dans cette partie.

4.2 ETAT D'ENNOYAGE DES VIDES MINIERES

La dernière phase de remplissage des deux flancs de la mine par l'eau de l'Orne a été effectuée début 1991. Les cotes correspondant à un état d'équilibre stabilisé sont alors d'environ +14 m NGF pour le flanc Nord et +12,6 m NGF pour le flanc Sud. La très grande majorité des vides souterrains est ennoyée depuis cette date. Les zones de travaux non ennoyées sont figurés sur la carte informative présentée

en **Annexe 1** du rapport de la phase informative [1]. Ils correspondent à l'ensemble des vieux travaux miniers situés entre la surface et les galeries principales suivantes :

- ✓ galerie de niveau 1, flanc sud ;
- ✓ galerie de niveau B, flanc nord.

Nous avons effectué une estimation du volume des vides. A l'aide du logiciel MapInfo nous avons mesuré les longueurs des galeries de niveau 1 et de niveau B. Sur le flanc sud, nous avons pris comme hypothèses une hauteur moyenne des vieux travaux non ennoyés de 4 m, et un taux de défrètement de 0,7. Sur le flanc nord, nous avons estimé une hauteur moyenne de 16 m entre le niveau Jurassique et la galerie de niveau B et un taux de défrètement de 0,85. Nous obtenons des volumes de vides de 450 000 m³ pour le flanc sud et 490 000 m³ pour le flanc nord.

Concernant la situation hydrodynamique, le niveau d'eau étant stabilisé, des effets significatifs de "pistonage" de gaz par la remontée du niveau d'eau ne sont pas à craindre.

Par ailleurs, nous considérons que, dans le contexte étudié, seuls les travaux non ennoyés peuvent constituer une source d'émission de gaz vers la surface.

4.3 INTENSITÉ DU PHÉNOMÈNE

4.3.1 NATURE DU GAZ DANS LES ANCIENS TRAVAUX MINIERES

Compte tenu de la nature du gisement exploité et des roches encaissantes ainsi que du stockage d'hydrocarbures qui a suivi, on peut a priori envisager la présence d'hydrocarbures gazeux, de dioxyde de carbone, d'air désoxygéné, de sulfure d'hydrogène et de radon dans l'atmosphère des anciens travaux miniers.

4.3.1.1 GAZ "CLASSIQUES" (CO, CO₂, O₂, CH₄ ET H₂S)

Deux campagnes de mesures ont été effectuées lors de la visite des vieux travaux ([7] et [8]). Les mesures de teneurs en gaz "classiques" (à savoir CO, CO₂, O₂, CH₄ et H₂S), au niveau des galeries principales, montrent des modifications très limitées par rapport aux teneurs atmosphériques. Nous avons noté un léger enrichissement en CO₂ (jusqu'à 0,6% vol. maximum) et un très léger déficit en O₂ (minimum de 20% vol). Les valeurs mesurées présentent une relative homogénéité spatiale. Nous avons également décelé quelques petites poches d'air contenant un peu de méthane (0,2 à 0,4 % vol,) dans des endroits sans circulation d'air. L'atmosphère de la galerie nord semble toutefois moins ventilée que celle du flanc sud puisqu'on y retrouve une modification plus importante (bien que faible) des teneurs en gaz.

En résumé, ces mesures traduisent l'absence des gaz H₂S et CO dans les vides souterrains, une présence très limitée de CH₄ (dans de très faibles teneurs) ainsi qu'une légère désoxygénation et un léger enrichissement en CO₂ de l'atmosphère des vieux travaux.

Par ailleurs, lors de campagnes de relevés géotechniques en novembre et décembre 2005, les intervenants ont rencontré des poches de gaz appauvries en O₂ (~18% vol.) et enrichies en CO₂ (~2% vol.) dans la galerie du flanc Nord.

4.3.1.2 RADON

Une campagne de mesure de radon a été réalisée le 2 juin 2005 [9]. Dans la galerie dite du flanc sud, trois points fixes ont été évalués aux lieux dits : entrée, descente des 20 000 tonnes et descenderie d'Harcourt. Les trois points de mesure, dans la galerie dite du flanc nord, ont été effectués aux lieux dits : entrée, 50 m avant le puits n°3 et puits n°1. Ces mesures ont permis de montrer l'homogénéité spatiale et temporelle des valeurs mesurées dans chacune des galeries, autour de 30 kBq.m⁻³ pour celle du flanc sud, et autour de 10 kBq.m⁻³ pour celle du flanc nord.

Ces résultats montrent une présence très importante de radon dans les vides souterrains. Il faut noter que les valeurs obtenues sont le résultat de mesures ponctuelles qui ne permettent pas d'estimer une valeur moyenne annuelle d'activité volumique de radon-222 dans l'ouvrage souterrain visité. Toutefois, étant donné notre retour d'expérience dans certaines mines et carrières (mine de fer de Moyeuve-Grande (57), carrière de craie d'Estreux(59)) il nous paraît très improbable voire impossible, qu'avec de telles valeurs ponctuelles, la moyenne annuelle puisse être très différente du niveau constaté lors des investigations.

Soulignons que ces mesures ont été effectuées dans des emplacements relativement bien ventilés situés dans les galeries principales. Les valeurs observées d'activité volumique de radon sont donc vraisemblablement bien inférieures aux teneurs pouvant exister dans les vides post miniers plus proches de la surface, dont la ventilation est bien plus faible.

Par ailleurs, deux personnes de l'INERIS effectuant les campagnes de relevé géotechnique dans les travaux miniers étaient équipées de dosimètres individuels. Les doses internes cumulées par ces personnes sur seulement deux mois et demi sont de l'ordre de 2 mSv. Or, la réglementation française considère que les travailleurs sont exposés à un risque pour une limite d'exposition supérieure à 1mSv sur un an.

4.3.2 BILAN SUR L'INTENSITÉ DU PHÉNOMÈNE

D'après le guide méthodologique cité précédemment, l'intensité du phénomène est considérée comme "très limitée à limitée" pour les gaz "classiques", si les émissions contiennent :

- ✓ des gaz inflammables à des teneurs inférieures à la limite inférieure de l'inflammabilité (LIE), soit inférieures à 5 vol., pour le méthane ;
- ✓ des gaz asphyxiants, toxiques ou ionisants à des teneurs supérieures à la Teneur limite autorisée par la Réglementation en vigueur (soit un maximum de 1 % vol. pour le CO₂, de 50 ppm pour le CO, de 5 ppm pour le H₂S et un minimum de 19 % pour l'oxygène) mais ne pouvant entraîner qu'un impact faible et réversible (soit un minimum de 16% vol. pour l'oxygène et un maximum de 3 à 4% vol. pour le CO₂).

Etant donné les teneurs en ces gaz constatées lors des mesures *in situ*, l'intensité du phénomène retenue pour les gaz "classiques" est donc "très limitée à limitée" pour l'ensemble des vides post miniers non ennoyés.

Concernant le radon, l'intensité est considérée :

- ✓ comme faible, si les teneurs se situent entre 1000 et 10 000 Bq/m³ ;
- ✓ comme moyenne, si les teneurs sont supérieures à 10 000 Bq/m³.

L'intensité du phénomène retenue pour le radon est donc faible à moyenne pour l'ensemble des vides post miniers non ennoyés. Cette intensité pourrait être déterminée avec plus de précision par la réalisation de mesures plus exhaustives dans les vides miniers, complétées par des vérifications de la teneur en radon en surface, dans les endroits les plus exposés à la migration de gaz par les terrains de recouvrement.

4.4 PRÉDISPOSITION : FACILITÉ DU GAZ DE POUVOIR REMONTER EN SURFACE

4.4.1 A TRAVERS LES ROCHES DE COUVERTURE

Les réservoirs miniers sont recouverts de séries Jurassique tabulaires essentiellement calcaire. Elles forment une couverture peu épaisse au-dessus des zones non ennoyées, variant entre quelques mètres seulement (à l'ouest) et une cinquantaine de mètres, voire un peu plus (à l'est). L'observation des fronts et l'analyse des sondages carottés [10] montrent que ces terrains sont composés de bancs résistants en dessous de la partie supérieure, altérée et fracturée, épaisse d'une dizaine de mètres (entre 7 à 12 m, environ).

L'épaisseur des terrains de recouvrement des vides non ennoyés ne dépasse donc pas 50-60 mètres, ce qui est *a priori* trop peu pour s'opposer efficacement à une migration éventuelle de gaz vers la surface, surtout qu'une partie importante de cette couverture est fracturée.

Dans les endroits où l'épaisseur de recouvrement est inférieure à 10 m, tous les terrains constituant ce recouvrement peuvent alors être considérés comme fracturés et la migration de gaz est encore plus favorisée.

4.4.2 OUVRAGES DE COMMUNICATION

On notera, par ailleurs, que les ouvrages de communication entre le fond et le jour, tels que les puits, galeries et descenderies, constituent, de manière privilégiée, des possibilités de remontées de gaz vers la surface. Ce sont autant de points sensibles s'ils sont restés ouverts ou s'ils n'ont pas été obturés de manière étanche.

La mine de May-sur-Orne comprenait 24 accès aux travaux miniers depuis la surface. Sur ces 24 accès, 18 étaient destinés à l'exploitation (extraction, aérage ou cheminement du personnel) et les 6 autres étaient réservés à l'aérage et au contrôle durant le stockage d'hydrocarbures [10]. Cependant, dans le cadre du processus de fermeture du stockage souterrain d'hydrocarbures de May-sur-Orne, la société Géomines Caen a réalisé plusieurs types de travaux dont la fermeture des orifices débouchant en surface, comprenant les puits d'accès, les galeries horizontales, les descenderies ainsi que les ouvrages de petites dimensions (événements et piézomètres).

Par ailleurs, pour la phase de reconnaissance géotechnique, un certain nombre de sondages de reconnaissance ainsi que des galeries ont été réalisés récemment, mettant en relation directe la surface avec les vieux travaux non ennoyés.

4.4.3 MOTEURS DE LA MIGRATION DU GAZ. PREMIERS ÉLÉMENTS

L'exploitation du minerai de fer a été effectuée dans un synclinal dont le flanc nord est quasiment vertical, avec localement des stratigraphies légèrement inverses. Le flanc sud présente des pendages allant de 45° à l'ouest à 60° vers l'est.

Les vides miniers non ennoyés sont reliés à leur base à l'atmosphère extérieure par les galeries horizontales d'accès, galerie de niveau 1 pour le flanc sud et galerie de niveau B pour le flanc nord. Dans la partie supérieure, ces vides sont recouverts, comme nous l'avons mentionné, d'une série calcaire jurassique tubulaire, poreuse et plus ou moins fracturée.

Cette configuration est favorable au fonctionnement du tirage thermique comme moteur des écoulements de gaz. La différence de température entre l'extérieur et les vieux travaux génère alors un tirage naturel dont le sens dépend justement de cette différence de température. Lors des deux visites sur site, nous avons pu constater une inversion du sens des écoulements en fonction de la température extérieure. Ceci confirmerait une action importante du tirage thermique. Toutefois, nous ne disposons pas de données pour évaluer son intensité.

Le vent peut également être à l'origine de phénomènes dynamiques entraînant des émissions de gaz des vieux travaux vers la surface.

Par ailleurs, il est certain que les variations de la pression barométrique ont aussi un effet sur les circulations de gaz entre les vieux travaux et la surface. Cependant, avec les données disponibles actuellement, il nous est impossible d'évaluer le flux de gaz pouvant être généré par ce phénomène, phénomène en général moyennement fort mais continu.

4.4.4 BILAN SUR LA PRÉDISPOSITION

D'après les éléments des paragraphes précédents, la prédisposition du site à émettre du gaz du réservoir vers la surface à travers les terrains de recouvrement est donc sensible à très sensible.

4.5 EVALUATION DE L'ALÉA ET LIMITES DU ZONAGE

4.5.1 GAZ "CLASSIQUES" (CO, CO₂, O₂, CH₄ ET H₂S)

Nous avons vu que les teneurs en gaz "classiques" (à savoir CO, CO₂, O₂, CH₄ et H₂S) ne présentent pas de caractère dangereux.

Nous retenons donc un aléa nul à faible pour les gaz "classiques". Cet aléa n'est pas cartographié.

4.5.2 RADON

Concernant le radon, nous avons vu que sa teneur dans les galeries est très importante. Même si la mesure effectuée ne permet pas, a priori, de donner une valeur volumique annuelle exacte, nous pouvons dire avec certitude que celle-ci sera très probablement supérieure à 10000 Bq/m³ ce qui correspond à une intensité du phénomène moyenne.

Par ailleurs, nous avons souligné que les vieux travaux non ennoyés représentent un volume de vides relativement important. De plus, la couverture au-dessus des zones non ennoyées est trop peu épaisse pour s'opposer efficacement à une migration éventuelle de gaz vers la surface. De même les différents ouvrages mettant en communication les zones non ennoyées et la surface constituent des voies de circulation privilégiées.

Ainsi, compte tenu de l'intensité du phénomène définie comme moyenne pour l'ensemble des vieux travaux non ennoyés et de la prédisposition du site que nous pouvons définir comme sensible à très sensible, nous pouvons qualifier l'aléa radon de moyen.

La carte d'aléa relative à l'émission de gaz de mine en surface est présentée en **Annexe H**.

Le zonage de l'aléa lié aux travaux non ennoyés a été établi en prenant les règles adoptées pour l'aléa effondrement. La zone est délimitée en remontant verticalement depuis la tête de gisement vers la surface dans les bancs de calcaires sains puis en considérant un angle de 45° à une profondeur de 10 m correspondant à la zone des calcaires altérés. Une marge d'incertitude de 10 m a été retenue sur les deux flancs du bassin.

Pour les ouvrages débouchant au jour, ouverts ou avec une obturation non étanche, nous considérons que les sorties de gaz sont possibles à des teneurs significatives supérieures à 10 000 Bq/m³. Nous pouvons cependant supposer une dilution rapide de ce gaz dans l'atmosphère au-dessous de cette valeur limite, dans un rayon ne dépassant pas 15 m autour de l'ouvrage. L'aléa "radon" retenu dans ce cas serait alors faible à moyen.

PROPOSITIONS D'INVESTIGATIONS

Les résultats précédents montrent une présence importante de radon dans les travaux miniers de May-sur-Orne. La question qui se pose alors est "comment cela se traduit-il en terme d'émissions à la surface?". La question sous-jacente concerne le risque pour la population locale.

Nous proposons de réaliser en parallèle deux types d'investigations : une reconnaissance ponctuelle des émissions en radon dans les habitations au-

dessus des travaux miniers et des mesures en continu permettant une compréhension des mécanismes de circulation des gaz entre les travaux miniers et la surface.

4.6.1 STATIONS DE MESURE EN CONTINU

Nous proposons la mise en place de stations de mesure en continu dans les galeries principales afin de comprendre le mécanisme de circulation des gaz entre les travaux miniers et la surface. Il s'agira de préciser, confirmer ou infirmer l'hypothèse du tirage thermique comme moteur des écoulements. Les stations seront similaires à celles installées dans deux galeries de Moyeuve-Grande en Lorraine [11].

Outre comprendre le mécanisme de circulation des gaz entre les travaux miniers et la surface, les objectifs de ces mesures sont doubles :

- avoir une idée de l'intensité des phénomènes : faible émission tout au long de l'année ou alors saisonnalité avec des émissions fortes sur une période de l'année?
- améliorer la qualité des mesures faites par la suite : on connaîtra alors les zones susceptibles d'émettre le plus et donc les zones qu'il faudra contrôler plus particulièrement.

4.6.2 RECONNAISSANCE PONCTUELLE DES TENEURS EN RADON

En supposant, a priori, l'hypothèse du tirage thermique exacte, nous proposons d'effectuer une "photo instantanée" des émissions de radon. Il s'agira d'effectuer une série de mesures des teneurs en radon dans différents bâtiments situés au-dessus des travaux miniers.

Cette reconnaissance permettra éventuellement de préciser les suites à donner dans les endroits reconnus comme fortement émetteurs.

5. CONCLUSION

Sur le site minier de May-sur-Orne, les aléas environnementaux considérés dans le cadre de la mise en œuvre du PPRM sont les suivants :

- ✓ **aléa « contamination des eaux souterraines » ;**
- ✓ **aléa « contamination des eaux de surface » ;**
- ✓ **aléa « émanation de gaz ».**

Pour ce qui concerne les eaux, la définition et la cartographie des aléas environnementaux est confrontée à une difficulté particulière : la différenciation entre les apports liés à l'activité anthropique et ceux liés aux phénomènes d'érosion et de transport des éléments chimiques provenant des anomalies géochimiques naturelles. Dans le cas du cumul suspecté de ces apports, la part de la **contamination liée à l'action anthropique peut être difficilement quantifiée en terme d'impact sur les zones périphériques à l'activité minière**. Ainsi, pour les eaux de surface ou les eaux souterraines une minéralisation naturelle peut préexister à l'activité minière.

L'approche présentée ici n'est pas figée² et le PPRM de May-sur-Orne affiche un aléa évalué selon l'avancement de la méthodologie au moment de sa rédaction :

- ✓ **l'aléa « contamination des eaux souterraines », au niveau des nappes du Primaire et des galeries est définie comme FAIBLE.**
- ✓ **l'aléa « contamination des eaux de surface » est définie comme NUL au niveau de l'Orne.**

Les résultats obtenus confirment que les eaux souterraines des formations du Primaire et celles issues des galeries semblent **nullement ou peu contaminées** par l'ancienne activité de stockage d'hydrocarbures.

Concernant l'aléa relatif aux émanations de gaz, les campagnes de mesure sur site ont montré que les teneurs en gaz "classiques" (à savoir CO, CO₂, O₂, CH₄ et H₂S) ne présentaient pas de danger pour la sécurité ou la santé publique. Nous avons donc retenu **un aléa NUL pour les gaz "classiques" pour toute la zone considérée**. Cet aléa sera susceptible d'être reconsidéré en fonction des résultats obtenus lors des mesures en continu.

Cependant, la campagne de mesures effectuée a mis en évidence la présence importante de radon (a minima 10 kBq.m⁻³) dans les galeries non ennoyées. Compte tenu de l'intensité du phénomène définie comme moyenne pour l'ensemble des vieux travaux non ennoyés et de la prédisposition du site que nous

² La méthodologie d'évaluation et de cartographie des aléas environnementaux fait l'objet actuellement d'une réflexion conjointe au sein d'un groupe de travail regroupant le BRGM, GEODERIS et l'INERIS.

pouvons définir comme sensible à très sensible, nous pouvons **qualifier l'aléa radon de MOYEN.**

6. LISTE DES RÉFÉRENCES

- [1], Exploitation de fer et stockage souterrain d'hydrocarbures de May-sur-Orne (Calvados) – Collecte et synthèse des données disponibles, et analyses préliminaires en vue de la réalisation d'un Plan de Prévention des Risques Miniers – Volet Environnement. Rapport INERIS-DRC-04-59017/DESP-R01, 18 octobre 2004.
- [2], L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers. Guide méthodologique. Contribution de divers organismes (INERIS, BRGM, GEODERIS, ENSMP, IRSN, CSTB) sous la direction de l'INERIS. Rapport INERIS DRS-04-51198/R01Projet n°2, 30 juin 2004.
- [3], MATE, 2000. Ministère Français de l'Environnement. Gestion des sites (potentiellement) pollués : « Diagnostic initial – Evaluation Simplifiée des Risques » et « Diagnostic approfondi - Evaluation détaillée des risques » Version 2. BRGM Editions, mars 2000.
- [4], Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau - étude des agences de l'eau n°64, SEQ-Eau version 1, Principes généraux, janvier 2000.
- [5], Les outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau (SEQ) - étude des agences de l'eau n°72, Principes généraux, septembre 1999.
- [6], Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines - étude des agences de l'eau n°80, rapport de présentation, version 0, mars 2002.
- [7], Katia Besnard. Note relative à la campagne de mesures de gaz dans les zones de sondages et travaux miniers de May-sur-Orne les 12 et 13 avril 2005. INERIS-DRS-05-68920-R01 du 9/05/2005.
- [8], Katia Besnard. Note relative à la campagne de mesures de gaz dans la zone des travaux miniers de May-sur-Orne le 2 juin 2005. INERIS-DRS-05-68920-R02 du 9/06/2005.
- [9], Nathalie Michielsen, Sylvain Bondiguel. Mesure du radon-222 dans l'ancienne mine de fer de May-sur-Orne. Rapport IRSN DSU/SERAC/LPMA/05-12, Juillet 2005.
- [10], Tritsch, J-J. Delaunay, T. Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain sur le bassin minier de May-sur-Orne. Bassin ferrifère de Normandie. Communes de Maltot, Feuguerolles-Bully, Saint-André-sur-Orne, Saint-Martin-de-Fontenay, May-sur-Orne, Fontenay-le-Marmion, Rocquancourt et Saint-Aignan-de-Cramesnil (Calvados). Rapport INERIS référencé DRS-04-48514/R02 du 10 juin 2004.

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe A	Situation et contexte géologique	5 A4
Annexe B	Exploitation minière et stockage souterrain d'hydrocarbures	5 A4
Annexe C	Contexte hydrologique et hydrogéologique	22 A4
Annexe D	Qualité des eaux	50 A4
Annexe E	Qualité des sol	2 A4
Annexe F	Gaz	18 A4
Annexe G	Carte de l'aléa contamination des eaux souterraines et de surface	Hors texte
Annexe H	Carte de l'aléa Radon	Hors texte

ANNEXE A

SITUATION ET CONTEXTE GÉOLOGIQUE

1. Localisation et géologie	1
-----------------------------------	---

1. LOCALISATION ET GÉOLOGIE

Cette partie est réalisée d'après la phase informative du PPRM aléas mouvements de terrain sur le bassin minier de May-sur-Orne.

Le bassin ferrifère de May-sur-Orne se situe à environ 7 km au Sud de Caen, sur les communes de Maltot, Feuguerolles-Bully, Saint-André-sur-Orne, Saint-Martin-de-Fontenay, May-sur-Orne, Fontenay-le-Marmion, Rocquancourt et Saint-Aignant-de-Cramesnil (Figure 1).

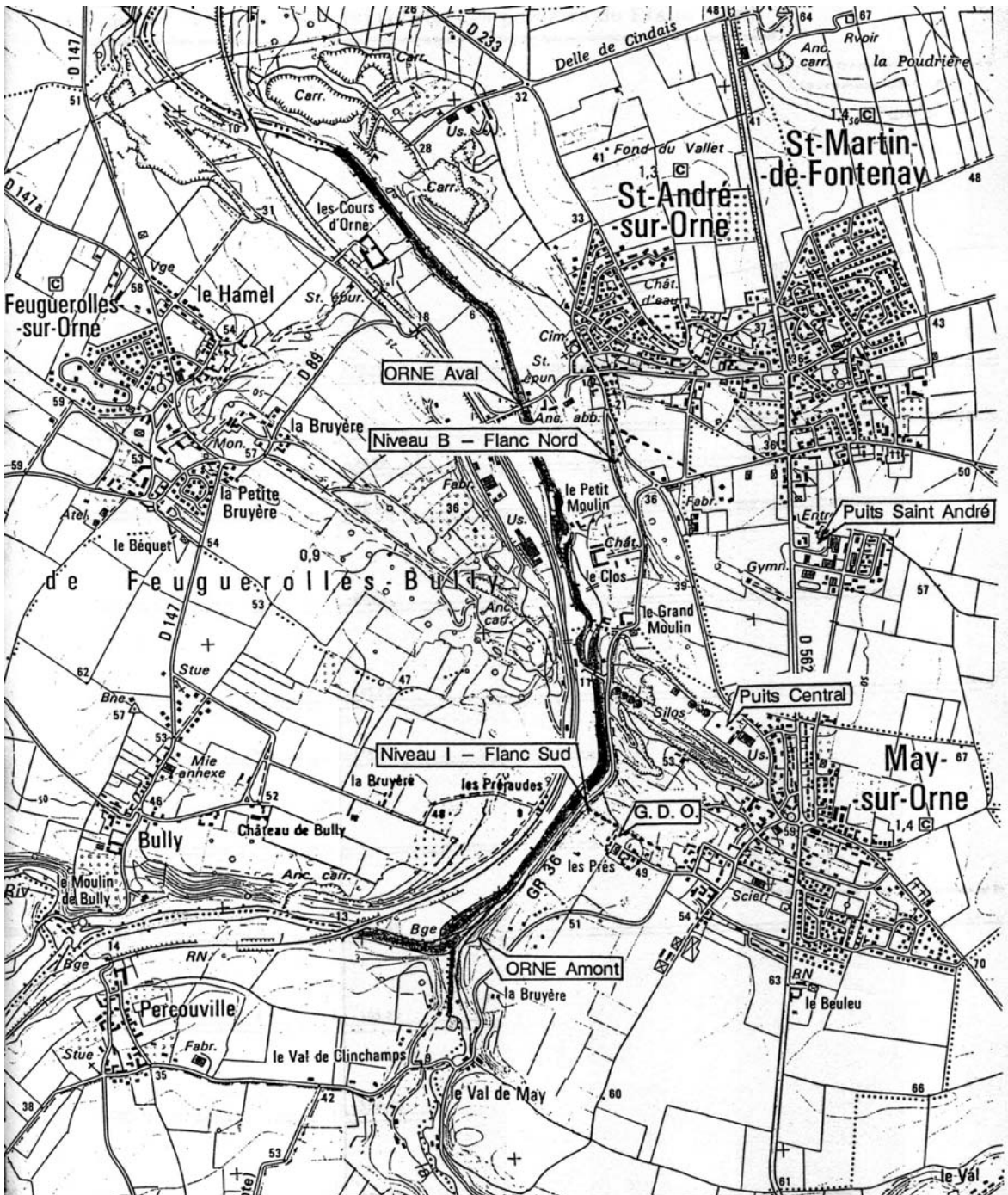


Figure 1 – Plan de localisation de la mine de May-sur-Orne (1 / 25 000)

L'ancienne mine de fer, d'une superficie de 20 km², est située dans le synclinal de May-sur-Orne (Figure 2).

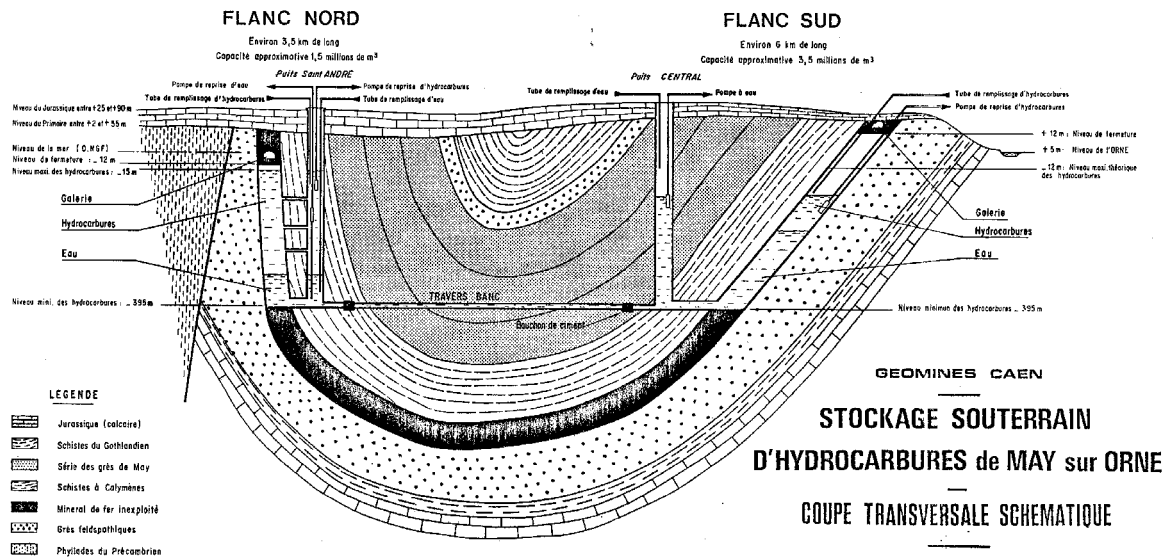


Figure 2 – Localisation des travaux miniers au sein du synclinal de May-sur-Orne

Le minerai de fer est un minerai oolithique carbonaté siliceux, à faciès hématitique, d'âge Ordovicien (Primaire). Cette formation est issue du démantèlement de la chaîne précambrienne, et a subi un métamorphisme thermodynamique résultant de la phase tectonique à l'origine des plissements (orogénèse hercynienne). Dans la région de May-sur-Orne, il s'intègre dans un massif (Figure 3) :

- dont le mur est constitué par des formations précambriennes (Briovérien) et cambriennes (schistes et grès feldspathiques) puis par une fine couche de Grès armoricains (environ 10 m),
- dont le toit est constitué par une succession de bancs de schistes (Schistes à Calymènes) et de grès (Grès de May). Plus précisément le toit est constitué par une alternance gréso-marneuse d'épaisseur décimétrique à métrique avant les schistes massifs.

ETAGES	FORMATIONS	LITHO	EPAISSEURS REELLES EN METRES			
			Travers-Banc	Puits Central	Affleurements ^(*)	
GOTHLANDIEN	Ludlow	Schistes à Graptolites			≈ 100	
	Wenlock	Calc. à Orthoceres de Feugueroilles				
	Valentien	Schistes à Fucoides			30	
ORDOVICIEN	Sup. Caradoc	Schistes gréseux à Trinucleus et Colliops		27	60 à 80	
		"Grand May"	> 70	120	110	
	Moy. Llandeilitien	Grès de May	7-8	3	≈ 250	≈ 260
		"Petit May"	90	> 200	90	95
		Grès ferrug.	28-34	33	45	
		Schistes à Calymènes	70-82	82	80	
Llanvirnien	Grès du toit minéral		> 10	> 50	75	
	Inf. ou Moy. Cambrien	Grès Feldspathiques			45	550 à 600
				450 à 600		

Figure 3 – Série stratigraphique du Primaire de May-sur-Orne

Ce massif primaire est plissé en un synclinal, le synclinal de May-sur-Orne, orienté globalement Est-Ouest (axe principal d'azimut 105° N) et dont les flancs sont redressés. Il s'agit d'un synclinal dissymétrique. Le flanc Nord est quasiment vertical et peut présenter localement des stratigraphies légèrement inverses. Son pendage varie de 85° à l'ouest du gisement à 90° vers l'est. Le flanc Sud présente des pendages allant de 45° à l'ouest à 60° vers l'est.

Une série argilo-calcaire du Jurassique inférieur (Lias) pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur, surmontée d'une série calcaire du Jurassique moyen (Bajocien et Bathonien) tabulaire recouvre, en stratigraphie discordante, les formations primaires du synclinal.

Le massif est découpé par deux types d'accidents :

- le premier, de direction longitudinale au synclinal, à pendage nord et au jeu inverse, affecte uniquement les formations primaires. Dans le secteur de May-sur-Orne, cinq failles ont été observées. Une d'entre elles affecte particulièrement le flanc Sud du gisement, dédoublant la couche de minéral en une partie chevauchée vers le sud, la « lèvre Sud », et une partie chevauchante au nord dite « lèvre Nord »,

- le second type d'accident, orienté Est-Ouest, à jeu dextre, est représenté par la faille de l'Orne, dont le rejet est de l'ordre de 100 m au niveau des travaux miniers.

La couche de minerai de fer, de 4 à 5 mètres d'épaisseur, se compose en moyenne de 42 % de fer et 15 % de silice sur trois niveaux :

- un niveau de sidérite,
- un niveau d'hématite oolithique d'environ 1 à 1,5 m d'épaisseur, appelé « minerai rouge » par les mineurs. Il comporte 45 à 50 % de fer pour 10 % de silice,
- un niveau très hétérogène contenant des plages de chlorite oxydée et de sidérite. Il s'agit du « minerai tacheté » des mineurs. Sa teneur en fer est comprise entre 35 et 38 % pour environ 18 % de silice.

ANNEXE B

EXPLOITATION MINIÈRE ET STOCKAGE SOUTERRAIN D'HYDROCARBURES

1. Historique de la mine.....	1
1.1 Exploitation du minerai de fer	1
1.2 Stockage souterrain d'hydrocarbures.....	3
1.3 La procédure d'abandon du stockage	5

1. HISTORIQUE DE LA MINE

1.1 EXPLOITATION DU MINERAI DE FER

L'exploitation du minerai de fer des deux flancs du synclinal de May-sur-Orne a débuté à la fin du XIX^{ème} siècle, en 1891. Initialement, les concessions de May-sur-Orne, de Saint-André-sur-Orne, de Bully et de Maltot confient la mise en valeur du minerai de fer du bassin à différents exploitants. La concession de May-sur-Orne a été amodiée le 5 mars 1905 à la Société Française de Recherches et d'Exploitation qui deviendra la Société des Mines et Produits Chimiques (SMPC). Avant la Première Guerre Mondiale, des industriels allemands ont participé au contrôle et contribué au développement des concessions de Saint-André-sur-Orne, de Bully et de Maltot. A l'approche de la guerre, la présence allemande a déclenché l'hostilité d'une grande partie de l'opinion. Dans ces conditions, les mines sous contrôle allemand ont été mises sous séquestre à la déclaration de la guerre. Après la fin de la guerre, la SMPC, qui exploitait May-sur-Orne, a acheté les biens allemands et a ainsi pris le contrôle de l'ensemble du bassin minier. Un décret du 9 août 1926 a muté officiellement au nom de la SMPC les concessions de Saint-André-sur-Orne, de Bully et de Maltot. L'exploitation a été assurée par cette société jusqu'en 1968, date d'arrêt des travaux miniers.

Les travaux miniers ont été réalisés jusqu'à une profondeur de 480 m sur 3,5 km pour le flanc Nord et 6 km pour le flanc Sud (Figure 4). Au départ, l'exploitation a été réalisée par la méthode des tailles chassantes, puis vers 1925, la méthode des chambres magasins a été adoptée avec différentes évolutions au cours du temps.

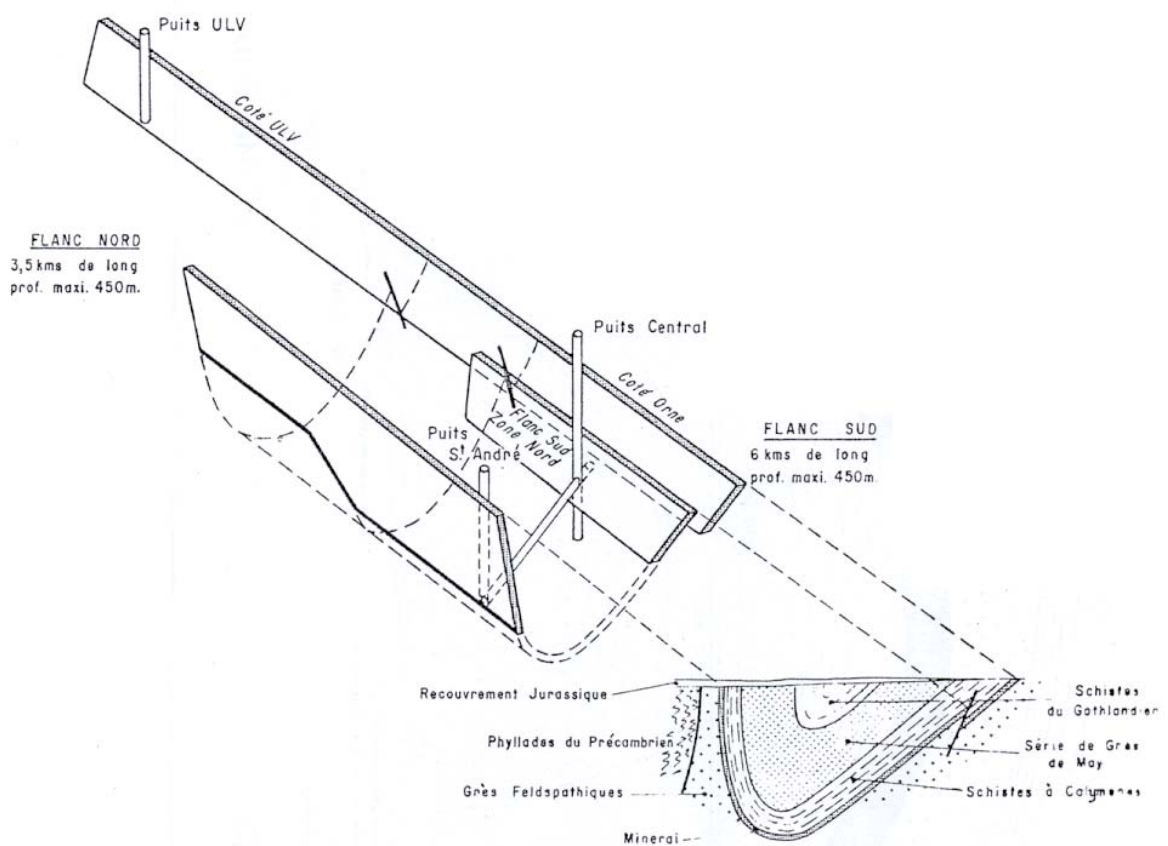


Figure 4 - Bloc diagramme de la mine de May-sur-Orne

La production annuelle moyenne était de 650 000 à 700 000 tonnes, avec un maximum voisin de 726 000 tonnes en 1955. Une partie du minerai était utilisée pour les hauts-fourneaux de Caen, mais tout au long de l'exploitation de la mine, la majeure partie était destinée à l'exportation et vendue à des usines allemandes, belges et anglaises. L'évolution de ces mines était donc étroitement dépendante de ces marchés.

Malgré une modernisation des techniques d'exploitation et d'importants licenciements menés à partir de 1956, la concurrence des minerais de fer brésiliens, mauritaniens et suédois dont le prix de revient était inférieur a conduit à la fermeture de la mine en 1968, après que les principaux clients belges et anglais eurent cessé leurs importations en provenance de May-sur-Orne.

L'arrêt de l'exploitation minière a alors laissé en place des vides représentant plusieurs millions de m³, constitués par les chambres d'exploitation et les galeries. Ces vides ont constitué l'opportunité d'une reconversion du site.

1.2 STOCKAGE SOUTERRAIN D'HYDROCARBURES

La mine a ensuite été conservée en l'état et, dans le cadre de la loi du 10 mars 1958 qui impose aux sociétés pétrolières de créer des stockages proportionnés à leur production, il a été envisagé d'utiliser les vides existants pour le stockage souterrain d'hydrocarbures. Un tel stockage devait permettre à l'économie française de faire face à :

- une pénurie momentanée des approvisionnements en cas de crise stratégique,
- aux besoins saisonniers pour subvenir à la consommation de la région caennaise et parisienne en hiver.

A partir de 1970, l'Institut Français du Pétrole (IFP) a alors réalisé des études préliminaires et lancé deux campagnes de forage de piézomètres profonds (atteignant les formations du Primaire) ou superficiels (dans le Jurassique), dont les niveaux ont été suivis par le BRGM. Le 13 octobre 1971 la société GEOSTOCK, qui a pris l'engagement de créer le stockage pour le compte de GEOMINES, fut autorisée par arrêté à aménager les mines de fer de May-sur-Orne en stockage souterrain d'hydrocarbures. Il s'agit alors d'une autorisation de création et d'essais valable pour 5 ans. En 1972, la décision est prise de convertir l'ancienne mine de fer en stockage souterrain d'hydrocarbures (fuel domestique) d'une capacité de 5 000 000 m³. Les premiers essais de remplissage (autorisés le 13/12/71) sont réalisés de 1972 à 1973. En 1973, un arrêté préfectoral confie à GEOSTOCK la gestion du stockage. Les travaux d'aménagement et des essais de stockage - déstockage ont été conduits jusqu'à fin 1975 dans le flanc Nord, et se sont prolongés pour le flanc Sud. Les principaux travaux ont porté sur le confortement des vides afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage et, en étroite collaboration avec l'administration, sur la définition des conditions d'exploitation, permettant de garantir l'étanchéité et la stabilité.

Considérant les résultats des essais sur le flanc Nord et de l'enquête publique qui a été menée, l'autorisation d'exploiter ce flanc en stockage de gasoil a été accordée par le décret ministériel du 26 décembre 1975. La société GEOMINES-CAEN succède alors à GEOSTOCK. L'autorisation d'exploiter le flanc Sud n'a été accordée que trois ans plus tard, le 3 janvier 1979. Ces deux décrets définissent notamment les périmètres de stockage et de protection et fixent les conditions

techniques d'exploitation du stockage de gasoil. Le principe de fonctionnement par compensation hydraulique est retenu : ce système, qui maintient les cavités pleines à un niveau constant, limite les variations de pressions journalières. Il nécessite des mouvements d'eau compensant les mouvements d'hydrocarbures.

Le flanc Nord constitue un réservoir de 1 500 000 m³ exploité par le puits principal de Saint-André, assurant les mouvements d'eau et de gasoil pour ce flanc. Le flanc Sud, d'une capacité de stockage de 3 500 000 m³, est exploité par la Grande Descenderie Ouest, permettant les mouvements de gasoil, et par le puits Central, gérant les mouvements d'eau. Les vides utilisés pour le stockage sont constitués par les galeries circulant à différents niveaux représentant 120 km et surtout par les chambres d'exploitation dont les dimensions atteignent pour certaines, jusqu'à 100 mètres de haut pour 80 mètres de large. Les chambres sont reliées aux galeries supérieures et inférieures par des cheminées (Figure 5).

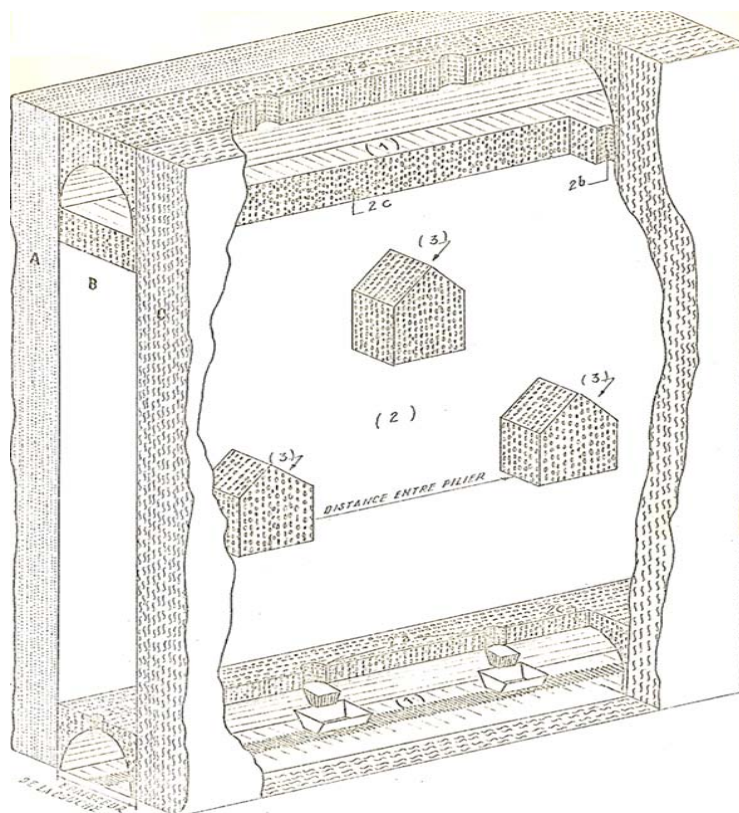


Figure 5 – Schéma d'une chambre d'exploitation

L'exploitation du stockage de May-sur-Orne a nécessité les installations suivantes :

- une salle de contrôle qui supervise les opérations,
- des derricks sur les trois puits,
- une station de prélèvement d'eau sur l'Orne,
- une station de pompage sur le port de Caen qui permet les mouvements d'hydrocarbures par les réseaux d'oléoducs TRAPIL ou par navire,
- une station de traitement des eaux extraites de la mine et des soutes à ballast des navires,

- des pipelines assurant les déplacements d'hydrocarbures et d'eau entre le puits central et la station de Caen.

De mai 1972 à décembre 1988 ont transité dans la mine près de 20 000 000 m³ de gasoil.

1.3 LA PROCÉDURE D'ABANDON DU STOCKAGE

La vidange du flanc Nord a commencé en juillet 1984. La vidange du flanc Sud a démarré en avril 1985, et son rythme a été accéléré suite à l'obtention d'une dérogation en 1987. Les dernières livraisons d'hydrocarbures datent de 1988, la décision d'abandon du stockage ayant été prise par les actionnaires suite à la levée de l'obligation de maintien des stocks stratégiques et en raison des coûts d'exploitation d'un tel stockage. Le 7 novembre 1988, la société GEOMINES-CAEN a déposé un dossier de demande d'abandon des travaux d'exploitation du stockage auprès du préfet du Calvados. Les travaux de fermeture du stockage de May-sur-Orne ont débuté le 20 novembre 1989. Les deux flancs du stockage étant alors vidangés, le remplissage des vides miniers par l'eau de l'Orne a été effectué en deux étapes et a permis, par écrémage successifs, de récupérer les hydrocarbures piégés dans la géométrie de la mine. A la suite du dossier de demande de fermeture du stockage déposé par GEOMINES-CAEN, l'arrêté du 15 novembre 1991 fixe les conditions techniques d'abandon du stockage. Les travaux de fermeture du stockage se sont achevés le 19 janvier 1994.

ANNEXE C

CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

1. Hydrologie du secteur.....	1
1.1 Données hydrologiques générales du secteur de May-sur-Orne	1
1.2 Influence du stockage d'hydrocarbures sur l'hydrologie du secteur	2
1.3 Influence de la fermeture du stockage sur l'hydrologie locale	2
2. Hydrogéologie	3
2.1 Les aquifères du secteur de May-sur-Orne	3
2.1.1 Caractéristiques des aquifères du secteur de May-sur-Orne	3
2.1.2 Le réseau de suivi piézométrique	4
2.2 Situation hydrogéologique antérieure au stockage d'hydrocarbures dans les cavités minières	7
2.3 Situation hydrogéologique pendant la période d'exploitation du stockage .	8
2.3.1 Mode de stockage	8
2.3.2 Répartition des hydrocarbures dans la mine	11
2.3.3 Impact hydrogéologique du stockage	13
2.3.4 Estimation des débits d'infiltration	15
2.3.5 Fonctionnement hydrogéologique pendant le stockage : bilan des relations entre les différents « réservoirs »	16
2.4 Situation hydrogéologique postérieure au stockage d'hydrocarbures dans les cavités minières	18
2.4.1 Travaux d'abandon du stockage.....	18
2.4.2 Impact hydrogéologique du remplissage final de la mine	19
2.4.3 Fonctionnement hydrogéologique après le stockage : bilan des relations entre les différents « réservoirs »	21

1. HYDROLOGIE DU SECTEUR

1.1 DONNÉES HYDROLOGIQUES GÉNÉRALES DU SECTEUR DE MAY-SUR-ORNE

Les données de cette partie hydrologique sont extraites du rapport de GEODERIS Ouest intitulé « Données relatives à l'hydrologie et à l'hydrogéologie du synclinal minier de May-sur-Orne (Calvados) ».

La topographie de surface montre un relief tabulaire en pente douce orientée globalement vers le nord dont l'altitude varie entre 100 m et 60 m à l'approche de Caen. Les deux cours d'eau présents sur le secteur, l'Orne (rivière d'orientation générale nord-sud s'écoulant de la cote +12 m à +5 m NGF sur le secteur) et son affluent de rive droite, la Laize, entaillent cette plaine calcaire.

Le débit moyen interannuel de l'Orne est de 22,6 m³/s avec un débit mensuel le plus bas de fréquence quinquennale (QMNA5) de 1,8 m³/s.

Le débit moyen interannuel de la Laize est de 0,77 m³/s avec un QMNA5 de 0,16 m³/s.

1.2 INFLUENCE DU STOCKAGE D'HYDROCARBURES SUR L'HYDROLOGIE DU SECTEUR

Reposant sur le principe de compensation hydraulique, le stockage de gasoil représentait un besoin en eau considérable lors des opérations de déstockage stratégique ou de déstockage saisonnier. Deux sources d'approvisionnement en eau étaient prévues :

- l'une sur l'Orne, située à hauteur de May-sur-Orne, au lieu dit « Les Carrières », d'une capacité de 1 500 m³/h,
- l'autre à Mondeville à la sortie de l'usine d'épuration des eaux usées de la ville de Caen, reliée à May-sur-Orne par un pipe-line en acier de 500 mm de diamètre.

La seconde source n'était utilisée que pour les mouvements d'hydrocarbures stratégiques en été, pendant la période d'étiage de l'Orne, ou en appoint de la première source. Il était également prévu qu'aucun prélèvement d'eau ne serait effectué en été, à l'exception de situations de crise internationale.

Inversement, en période de stockage d'hydrocarbures, principalement l'été, les rejets se faisaient dans l'Orne, en aval de Caen, ou dans le canal de Caen à la mer, sur demande de la Direction Départementale de l'Équipement. GEOMINES-CAEN met en avant le fait que ces rejets devaient permettre, si nécessaire, d'apporter de l'eau en période déficitaire. Le débit d'eau moyen évacué était de l'ordre de 1 200 m³ à 1 400 m³ par jour. Ces eaux correspondaient à l'eau de compensation pendant les périodes de stockage, auxquelles s'ajoutaient un rejet résiduel de 80 m³/h lorsque les installations étaient à l'arrêt, pour éviter que les eaux d'exhaure ne fassent monter le niveau du stockage.

1.3 INFLUENCE DE LA FERMETURE DU STOCKAGE SUR L'HYDROLOGIE LOCALE

La vidange totale de la mine a été très progressive puisqu'elle a duré de 1984 à décembre 1988. En revanche, le remplissage, effectué au moyen d'une pompe installée au bord de l'Orne, a été nettement plus rapide. Un débit moyen de 800 m³/h a été assuré par cette pompe pendant les deux phases de remplissage ; ainsi, 1/10^{ème} du débit de l'Orne a été acheminé vers le puits Saint-André. Un tel pompage n'a été effectué que lorsque le débit de l'Orne le permettait. Par exemple, entre la première phase et la seconde phase du remplissage de la mine, la période d'observation, initialement prévue pour durer trois mois, de janvier à mars 1990, a été prolongée jusqu'en décembre 1990.

2. HYDROGÉOLOGIE

2.1 LES AQUIFÈRES DU SECTEUR DE MAY-SUR-ORNE

2.1.1 CARACTÉRISTIQUES DES AQUIFÈRES DU SECTEUR DE MAY-SUR-ORNE

2.1.1.1 LA NAPPE DU JURASSIQUE

Les formations du Jurassique moyen comportent deux niveaux aquifères :

- la **nappe supérieure bathonienne** est libre, alimentée par infiltration des eaux météoriques. Il s'agit d'un aquifère homogène caractérisé par une transmissivité moyenne comprise entre 10^{-3} et 10^{-4} m²/s et un coefficient d'emmagasinement de 1 à $8 \cdot 10^{-4}$. Cette nappe du Bathonien constitue un aquifère important et est utilisée pour la production d'eau potable quand les teneurs en nitrates le permettent,
- la **nappe inférieure bajocienne** est alimentée par percolation à partir de la nappe du Bathonien. Sa perméabilité est très inférieure à celle de la nappe sus-jacente.

L'aquifère du Jurassique, regroupant ces deux niveaux, présente une épaisseur moyenne de 15 à 30 m, avec un maximum de 50 m au niveau de Rocquancourt, situé sur le flanc Sud de la mine. Cette aquifère est limité à l'ouest à 500 m de l'Orne et de la Laize.

La nappe du Jurassique présente, à partir de Cintheaux, un écoulement orienté globalement vers le Nord. Cette direction est toutefois modifiée (vers l'ouest) sous l'influence des vallées de l'Orne et de la Laize. La piézométrie de la nappe du Jurassique en décembre 1990 figure sur la carte informative.

Les formations du Jurassique ont été érodées au niveau de la vallée de l'Orne, et un certain nombre de sources de faible débit s'observe le long de la vallée, à la limite avec les formations primaires sous-jacentes. La faiblesse du débit de ces sources par rapport au débit de la nappe traduit une infiltration verticale de l'eau de la nappe du Jurassique vers les formations du Primaire.

En période de pluviométrie normale, la nappe fluctue suivant un cycle annuel avec un étiage en octobre-décembre et un niveau de hautes-eaux de janvier à mars. A Cintheaux, l'amplitude maximale interannuelle de la nappe du Jurassique est de 14 m pour un niveau moyen se situant à une trentaine de mètres sous le sol.

2.1.1.2 LES NAPPES DU PRIMAIRE

Au contraire de l'aquifère du Jurassique, les données hydrogéologiques relatives aux formations de Primaire sont rares. Ces formations sont globalement peu perméables (Grès feldspathiques) à imperméables (Schistes à Calymènes), à l'exception des Grès de May dans lesquels des arrivées d'eau (100 à 120 m³/h) ont été observées lors du forage du puits central. Les niveaux piézométriques dans les Schistes à Calymènes sont généralement inférieurs à ceux des Grès de May ou des Grès feldspathiques, du fait de leur faible perméabilité.

Les terrains sont caractérisés par une très faible porosité (<1 %) et une perméabilité faible (<10⁻⁷ m/s). En conséquence, à moins de tomber sur une fissure en charge, un puits dans le primaire aurait un débit quasi nul. Il ne s'agit donc pas réellement de formations aquifères. Un rapport de 1971 affirme qu'il n'a jamais été envisagé d'utiliser cette eau pour les populations.

La nappe du Jurassique, en charge par rapport aux nappes du Primaire, apparaît indépendante de la zone saturée du Primaire. L'alimentation des nappes du Primaire par le Jurassique s'effectue principalement à la faveur d'accidents tectoniques, de paléoreliefs ou encore, artificiellement, par les niveaux supérieurs de la mine. La communication hydraulique entre le Jurassique et le Primaire est, en effet, perturbée par la présence d'un écran faiblement perméable (argiles du Trias, marnes du Toarcien, matrice compacte du Primaire). Le premier recouvrement jurassique sur la surface de discordance du Primaire est constitué par les formations argilo-marneuses du Lias inférieur ou du Trias. Ces formations argileuses recouvrent quasi totalement les formations du Primaire au droit du flanc Nord de la mine. Le flanc Sud n'est, quant à lui, recouvert que très localement par ces formations. Ailleurs, les formations du Primaire sont recouvertes par la couverture bajocienne (calcaires oolithiques) et très localement bathonienne (pierre de Caen).

Les écarts de niveau entre la nappe du Jurassique et la nappe du Primaire sont les plus importants au droit du flanc Nord (10 à 15 m) où les formations du Primaire sont placées sous une couverture argilo-marneuse (Trias, Toarcien). En revanche, au flanc Sud, l'absence de recouvrement argilo-marneux tend à réduire les écarts de niveaux (1 à 10 m).

Les variations de la plupart des niveaux piézométriques du Primaire suivent les cycles saisonniers de pluviométrie, avec un retard par rapport aux variations observées dans le Jurassique. Par ailleurs, le niveau des nappes du Primaire présente des fluctuations plus grandes que le niveau de la nappe du Jurassique, du fait d'une différence de porosité.

La vallée de l'Orne constitue un axe de drainage pour les nappes du Primaire en été, mais l'hiver, l'Orne réalimente ces nappes.

La piézométrie de la nappe du primaire en septembre 1976 figure sur la carte informative.

2.1.2 LE RÉSEAU DE SUIVI PIÉZOMÉTRIQUE

S'ajoutant à l'aménagement localisé du réseau piézométrique régional, un dispositif d'auscultation rapprochée, spécifique à la surveillance hydrogéologique du stockage, a été installé par GEOSTOCK.

En 1970 et 1971, deux campagnes de forage de piézomètres profonds (Primaire) et superficiels (Jurassique) ont été réalisées. En 1970, les piézomètres de surveillance des nappes du Primaire sont réalisés soit au fond de la mine (15 piézomètres), soit à partir de la surface, à proximité immédiate des travaux miniers (6 piézomètres). Afin de densifier le réseau de mesure et de pouvoir tirer des conclusions plus fiables quant à l'hydrogéologie autour de la mine, une nouvelle campagne de forages à partir de la surface a eu lieu en 1971, conduisant à l'implantation de 37 autres forages de surveillance. Ce dispositif de 43

piézomètres de surface a, par la suite, été complété localement. L'ensemble de ces piézomètres a pu être localisé (coordonnées géographiques), à l'exception de trois d'entre eux (PZ 21, 22 et 23) situés sur la rive gauche de l'Orne.

Pendant l'exploitation, un suivi des niveaux piézométriques a été réalisé (mesures hebdomadaires jusqu'en 1983 puis mensuelles ou bimensuelles par la suite). Jusqu'en 1973, c'est le BRGM qui a assuré le suivi des niveaux dans ces piézomètres. De 1973 à 1978, période où le site était géré par GEOSTOCK, le BRGM a poursuivi les mesures piézométriques et a suivi la qualité des eaux souterraines. Par la suite, après la reprise du stockage par GEOMINES-CAEN, le BRGM n'a plus assuré que des mesures piézométriques trimestrielles.

Les piézomètres PZ31 (situé sur le flanc Nord) et PZ10 (situé sur flanc Sud), tous deux en rive droite de l'Orne et atteignant la formation des Schistes à Calymènes, présentent un intérêt particulier, car ils se trouvent sur le chemin des eaux d'infiltration de la mine vers l'Orne, transitant par les formations du Primaire. C'est la raison pour laquelle, lors du démantèlement du réseau piézométrique de GEOMINES-CAEN fixé, suite à la fermeture du stockage, par l'arrêté préfectoral du 15/11/91 à novembre 1992, ces deux piézomètres ont été préservés. La Figure 6 présente la localisation de PZ31 par rapport à l'Orne et aux vides miniers.

Par ailleurs, l'exploitant a mis en place tout un dispositif de surveillance des pressions visant à vérifier le confinement hydraulique de la masse d'hydrocarbures stockés. Ce dispositif a permis d'assurer, pendant toute la période de stockage, un suivi des pressions interstitielles dans les épontes par des cellules à corde vibrante (24 cellules sur le flanc Nord mises en place en 1971) et des pressions dans les masses liquides grâce à un tube en U et des dispositifs de bulle à bulle.

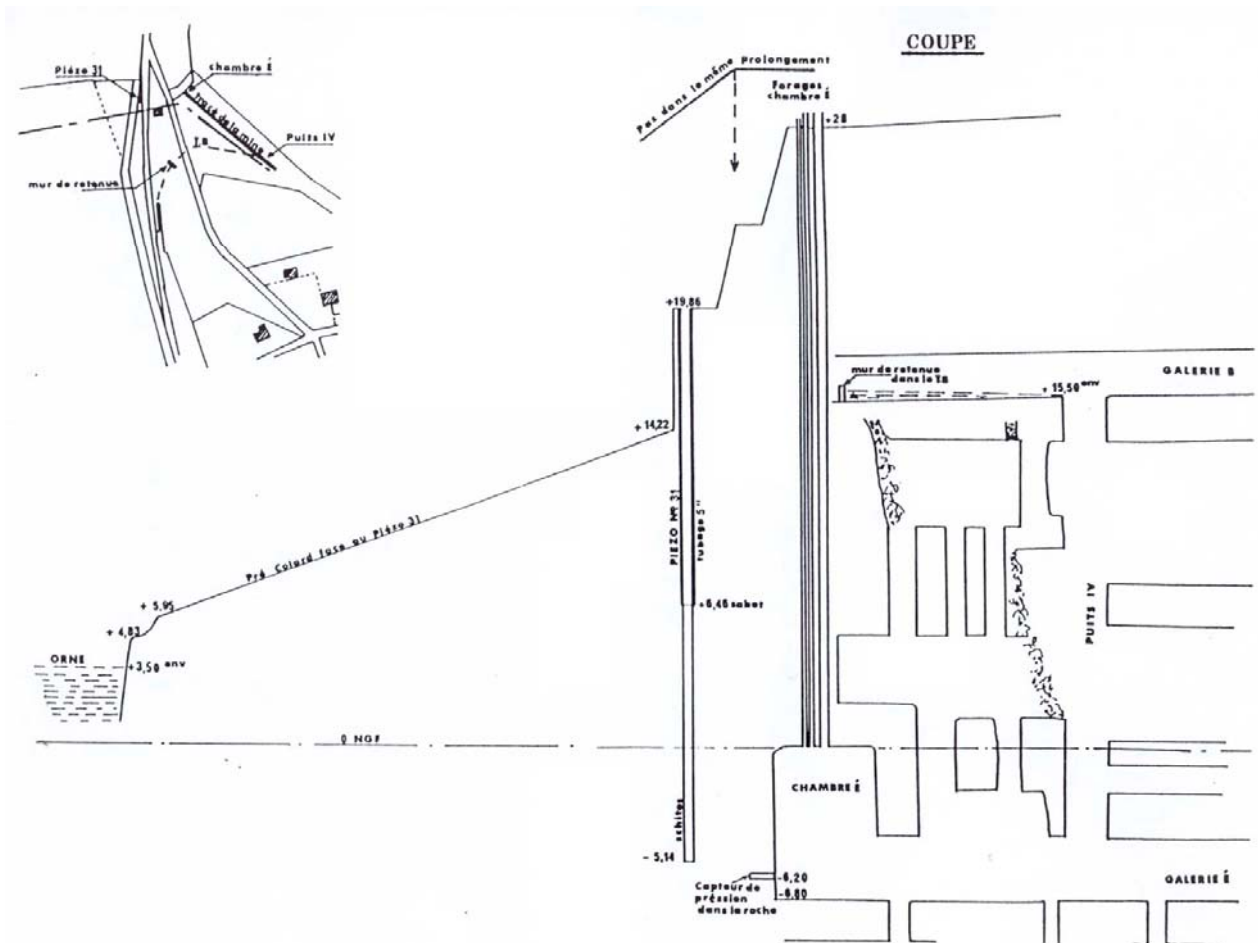


Figure 6 - Localisation du piézomètre PZ31, entre la mine et l'Orne

Tous les piézomètres, au nombre de 54, de section utile de 4" à 5", ont été sectionnés à un mètre de profondeur environ, obturés jusqu'à une profondeur de -10 m par du sable puis remplis de bentonite sur 2 m environ et d'un coulis de ciment sur 7 m environ. Le dernier mètre a été comblé par un remblai ordinaire compacté.

2.2 SITUATION HYDROGÉOLOGIQUE ANTÉRIEURE AU STOCKAGE D'HYDROCARBURES DANS LES CAVITÉS MINIÈRES

Pendant l'exploitation de la mine et pendant la période de reconversion de 1968 à 1972 qui a suivi la fermeture de la mine, les vides réalisés dans les terrains du Primaire très peu perméables ont eu un effet un drainage important de la zone saturée.

De plus, sous l'influence de l'exhaure de la mine, les roches situées à proximité de la mine se sont désaturées. En effet, le pompage d'exhaure avait été maintenu suite à la fermeture de la mine. En 1971, alors que la mine était abandonnée et que le stockage d'hydrocarbures n'avait pas encore commencé, le débit moyen que le pompage d'exhaure rejette à la surface était de 50 à 85 m³/h.

Les niveaux d'eau dans les formations du Primaire, suivis régulièrement de juin 1970 à avril 1971, sont toujours inférieurs à ceux du Jurassique. Le Jurassique alimente les formations sous-jacentes par percolation verticale, par les zones de plus grande perméabilité ; cette percolation est entretenue par le rabattement dû à la présence de la mine.

De plus, en 1971, GEOSTOCK prévoit que la surface libre du système du Primaire se situera toujours à une cote suffisamment élevée qui, étant supérieure au niveau des hydrocarbures stockés, garantira un écoulement d'eau orienté vers l'intérieur de la mine. Ainsi, il ne pourra pas y avoir d'évasion du gasoil stocké.

2.3 SITUATION HYDROGÉOLOGIQUE PENDANT LA PÉRIODE D'EXPLOITATION DU STOCKAGE

2.3.1 MODE DE STOCKAGE

L'exploitation du stockage a commencé par le remplissage en eau du flanc Nord en avril 1972 puis du flanc Sud en octobre 1972.

2.3.1.1 UN STOCKAGE PAR COMPENSATION HYDRAULIQUE

L'exploitation du stockage de gasoil a été réalisée en maintenant le niveau supérieur des hydrocarbures constant. La partie basse de la mine était remplie d'eau au-dessus de laquelle le gasoil, dont la densité est inférieure à celle de l'eau, flottait, constituant une phase surnageante. A chaque mouvement d'hydrocarbures était associé un mouvement d'eau de volume équivalent en sens inverse :

- en période de déstockage, l'eau de l'Orne, prélevée principalement grâce à une station de pompage et un siphon installé sur la rive droite de l'Orne, à hauteur de May-sur-Orne, était injectée,
- en période de stockage, l'eau était soutirée, envoyée par pipe-line jusqu'au dépôt pétrolier de Caen, traitée dans une station, puis rejetée dans l'Orne en aval de Caen ou dans le canal de Caen à la mer.

Ce mode de fonctionnement présente deux intérêts majeurs. D'une part, par comparaison avec un stockage sans compensation hydraulique, il conduit à limiter les variations de pression sur les parois de la mine pendant les mouvements de remplissage et de vidange, et de ce fait, ne remet pas en cause la stabilité de la mine. D'autre part, il limite les possibilités de brassage ou d'entraînement d'hydrocarbures.

Ainsi, les cotes suivantes (Tableau 1) ont été respectées.

	FLANC NORD	FLANC SUD
Niveau supérieur maximal atteint par le gasoil	-20 m NGF	-15 m NGF
Niveau supérieur maximal atteint par le gasoil (charge en équivalent d'eau)	-49 m NGF	-57 m NGF
Niveau inférieur minimal de l'interface eau / gasoil	-362,5 m NGF	-365 m NGF

Tableau 1 – Niveaux respectés lors de l'exploitation du stockage

Le niveau supérieur du gasoil n'a jamais dépassé, en équivalent eau, -49 m NGF dans le flanc Nord et -57 m NGF dans le flanc Sud.

2.3.1.2 ETANCHÉITÉ EN GRAND DU STOCKAGE

L'étanchéité du stockage est garantie par l'eau contenue dans les roches qui forment les parois du stockage. Le rôle du remplissage initial en eau du stockage (jusqu'aux $\frac{3}{4}$) est de remonter le niveau de saturation des roches à l'avance. Cette eau de saturation des parois intervient dans le confinement :

- par son action statique : une roche peut être perméable aux hydrocarbures quand elle est sèche et leur devenir imperméable quand elle contient même très peu d'eau,
- par son action dynamique : les hydrocarbures ne peuvent pas remonter des lignes de courant d'un écoulement d'eau, si cet écoulement répond à certains critères.

Ce critère d'étanchéité repose sur la connaissance des gradients hydrauliques autour de la mine, à partir desquels le niveau supérieur du stockage est déduit. Les critères d'étanchéité ont dû être revus au cours de l'exploitation du stockage avec l'évolution de la conjoncture pétrolière. Ainsi, en 1974 notamment, suite à la crise pétrolière de l'hiver 1973-1974, les hypothèses de déstockage sont rendues caduques et l'étude d'étanchéité doit être reprise.

La propagation des hydrocarbures dans les roches encaissantes peut se produire par infiltration, diffusion ou capillarité. Les deux campagnes de forages réalisées en 1970-1971 ont permis de vérifier que les épontes de la mine étaient uniformément saturées et que la pression exercée par l'eau souterraine est en tout point supérieure à la pression exercée par la colonne d'hydrocarbures. Le suivi de ces forages a confirmé l'existence d'une nappe stable, la nappe du Primaire, qui garantit l'étanchéité ; cette nappe par ailleurs, n'alimente pas la nappe du Jurassique, dont le niveau hydrostatique est supérieur, ce qui contribue à assurer sa protection contre une pollution accidentelle.

Tout au long du stockage, les nappes du Primaire ont toujours été en surpression par rapport aux hydrocarbures dans les cavités, ce qui préservait l'étanchéité vis-à-vis du produit stocké, par action dynamique des eaux de saturation des formations du Primaire. Le gasoil stocké est donc encaissé dans un « puits de potentiel hydrostatique », excluant l'infiltration des hydrocarbures hors du voisinage restreint de la mine.

Du fait de leur surpression par rapport au stockage au droit du site, les formations

du Primaire sont le siège d'écoulements orientés exclusivement vers la mine. Ainsi, lors du remplissage de la mine, il se forme un front d'hydrocarbures dans la partie désaturée des épontes qui sera progressivement repoussée vers la mine à mesure que l'équilibre des pressions s'établira. Ce phénomène se produira à chaque mouvement du niveau supérieur d'hydrocarbures. Dans les parties hautes de la mine, une migration des hydrocarbures pourrait se produire vers le haut, jusqu'à la nappe du Jurassique.

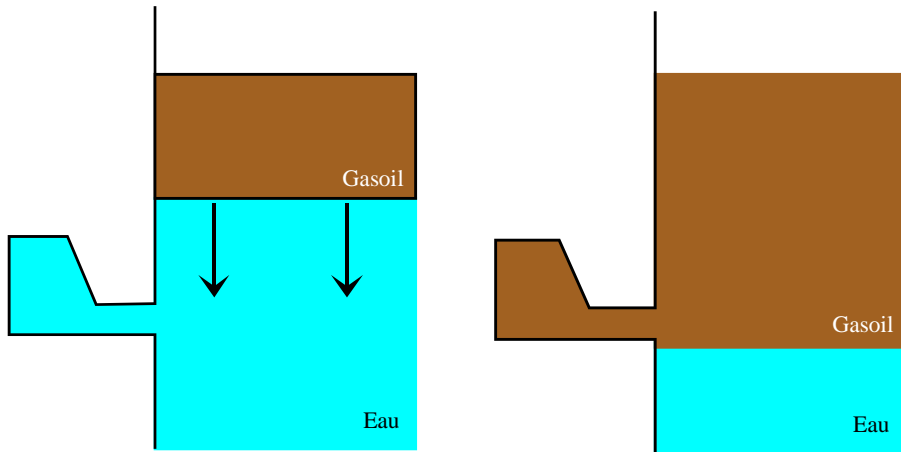
Par ailleurs, les risques de propagation des hydrocarbures vers les nappes du Primaire par diffusion ou capillarité sont également exclus.

2.3.1.3 CONDITIONS DE BLOCAGE DES PIÈGES PROFONDS

L'existence d'un gradient hydrostatique orienté favorablement assure l'étanchéité dynamique générale du réservoir. L'étanchéité locale du stockage (dans le cas où une faible quantité de gasoil se trouverait isolée de la nappe principale d'hydrocarbures, et serait soumise à des conditions de pression particulières) a été étudiée dans le détail avant que les conditions d'exploitation ne soient fixées par arrêté préfectoral. Cette situation serait consécutive à l'alimentation en gasoil de cavités aveugles, c'est-à-dire des galeries dont l'extrémité haute n'offrirait aucune communication avec la galerie horizontale du niveau supérieur, dans lesquelles le produit s'introduirait à la faveur d'une baisse de l'interface eau-hydrocarbures. La remontée de l'interface en période de déstockage piègerait les hydrocarbures contenus dans ces cavités en raison de leur densité et les placerait dans des conditions de **surpression par rapport à la masse du stockage**. Ces cavités constituent des **pièges profonds** (Figure 7). Les hydrocarbures qui y sont piégés étant soumis à des conditions de pression particulières, l'étanchéité du piège ne relève plus de la condition générale relative à la masse de produit stocké.

La présence de pièges profonds dans le flanc Sud a été plus problématique que dans le flanc Nord.

Dans le flanc Sud, les pièges les plus importants auraient commencé à être alimentés si l'interface eau-gasoil était passée sous la cote -270 m NGF. L'ensemble des pièges profonds ont donc été recensés et la surpression maximale pouvant être occasionnée dans ces pièges a été calculée. L'arrêté préfectoral précisant les conditions d'exploitation du flanc Sud n'a été pris qu'après vérification que cette surpression n'était pas de nature à contredire les critères généraux d'étanchéité du stockage, et en particulier à annuler la dépression du stockage par rapport à sa couverture hydraulique.

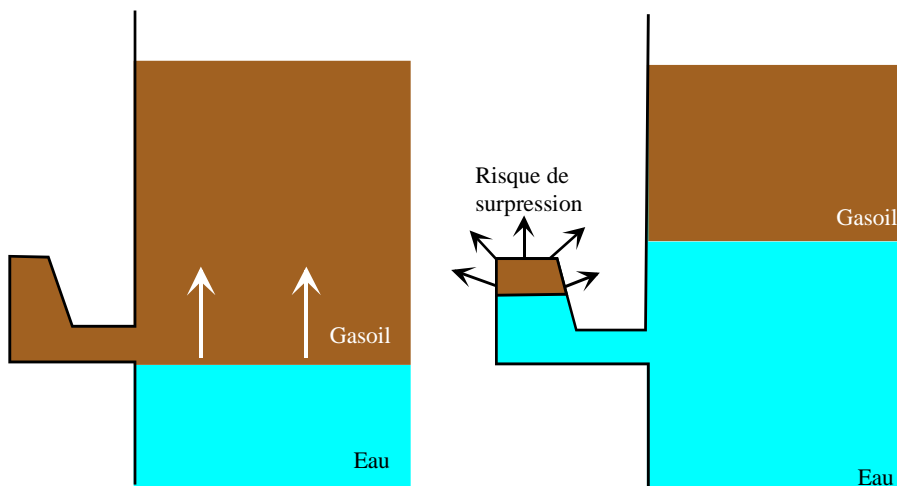


Introduction de gasoil et soutirage d'eau

ABAISEMENT DE L'INTERFACE EAU / GASOIL

PÉNÉTRATION DU GASOIL DANS LE PIÈGE

EN PÉRIODE DE STOCKAGE



Soutirage de gasoil et introduction d'eau

REMONTÉE DE L'INTERFACE EAU / GASOIL

PIÉGEAGE DU GASOIL

EN PÉRIODE DE DESTOCKAGE

Figure 7 – Piégeage de gasoil dans un piège profond

2.3.2 RÉPARTITION DES HYDROCARBURES DANS LA MINE

2.3.2.1 GÉOMÉTRIE DE LA MINE ET CIRCULATION DES HYDROCARBURES DANS LE STOCKAGE

L'exploitation d'hydrocarbures à niveau quasi constant, tant pour les opérations de stockage que de déstockage, suppose que la circulation horizontale des hydrocarbures puisse se faire librement à tous les niveaux. Or la topographie de la

mine fait apparaître une **division en chambres verticales** susceptible de poser problème.

Si lors du remplissage, le cheminement latéral des hydrocarbures est gêné par un obstacle (une cloison séparant deux chambres ou un banc de minerai non exploité), les hydrocarbures commenceront par remplir le premier vide, avant que l'obstacle ne soit franchi par en dessous et que les hydrocarbures ne commencent à remplir le second vide. Ainsi, un décalage entre les niveaux d'hydrocarbures dans les deux vides est créé. De la même façon, lors du déstockage, le niveau d'eau va remonter pour compenser les mouvements d'hydrocarbures. Quand il atteindra le pied des obstacles verticaux entre les chambres, les hydrocarbures de ces chambres seront piégés, isolés du reste du stockage, et leur niveau montera avec celui du stockage.

➤ *Géométrie*

La partie supérieure de la partie occidentale du flanc Sud est composée de deux lèvres séparées d'environ 50 m par une faille. Les deux lèvres communiquent par des galeries horizontales. En effet, pour éviter le piégeage d'un volume important d'hydrocarbures dans la lèvre Nord, 350 m de galeries ont été creusés mettant ainsi la lèvre Nord en parfaite communication avec la lèvre Sud.

Le puits d'exploitation de Saint-André et le puits Central sont reliés entre eux par la galerie de travers banc situé dans la partie inférieure de l'exploitation à -390 m qui fait le lien entre les deux flancs. Pendant l'exploitation minière, l'eau d'infiltration qui pénétrait dans la mine était rassemblée dans des galeries, les albraques, creusées sous le niveau d'exploitation de la mine.

Les conditions de circulation des hydrocarbures dépendent de la géométrie de la mine. A partir de la cote -50 m pour le flanc Nord et de -70 m pour le flanc Sud, les galeries circulent sans interruption des puits vers les extrémités. Au-dessus de ces niveaux, les galeries sont interrompues.

➤ *Niveaux d'exploitation*

En conséquence, le niveau d'eau maximum (niveau de l'interface eau-gasoil) dans le flanc Nord aurait été situé vers la cote -50 m, au plancher de la galerie G. Dans le flanc Sud, la galerie de circulation des hydrocarbures d'un bout à l'autre du flanc qui est la plus élevée est la galerie V, dont la cote est d'environ -70 m. Cette cote représente donc le niveau maximum de l'eau dans ce flanc.

Sur les deux flancs, les pompes à hydrocarbures ont été placées à la cote du niveau maximal de l'eau.

Le puits Central était trop loin de la couche exploitée pour être le lieu d'installation de la pompe à hydrocarbures du flanc Sud. Les mouvements d'hydrocarbures ont donc été effectués par la Grande Descenderie Ouest (GDO) qui communique avec tous les niveaux de la lèvre Sud et, par l'intermédiaire d'une descenderie installée dans la lèvre Nord, avec tous les niveaux de la lèvre Nord.

Des pompes situées dans le puits Saint-André assurent les mouvements d'hydrocarbures pour le flanc Nord.

2.3.2.2 TRAVAUX D'ISOLEMENT AVANT LE STOCKAGE

La galerie de travers-banc a été obturée à chaque extrémité par deux bouchons de façon à isoler les flancs Nord et Sud. Il est ainsi possible de remplir, à des niveaux différents, les deux flancs. Pour éviter le piégeage d'hydrocarbures dans le puits central, les galeries le mettant en communication avec la galerie inférieure du flanc Sud (niveau -392 m) sont obturées. En revanche, la partie inférieure du Puits Central est mise en communication avec l'albraque du flanc Sud, située à un niveau inférieur (-410 m), elle-même en liaison avec la galerie inférieure. De cette façon, il suffisait de maintenir le niveau supérieur d'hydrocarbures au-dessus de -410m pour ne pas introduire de gasoil dans le puits central.

Dans le flanc Nord, l'isolement du stockage s'est traduit par l'obturation de toutes les cheminées (au nombre de 70 environ) en communication avec la galerie E (cote -12 m). Dans le flanc Sud, l'isolement est réalisé par obturation de cheminées et de descenderies au niveau de la galerie I (cote +12 m). La zone effondrée de la Hogue, qui interrompt la galerie I sur 450 m, ne sera pas utilisée pour le stockage et les 4 galeries y menant sont obturées. Dès lors, les galeries E et I sont devenues des galeries de visite régulièrement utilisées pour effectuer des contrôles et inspections.

La zone de Bully est le prolongement vers l'ouest du flanc Sud, au delà de l'Orne. Cette zone avait initialement été exclue du stockage et isolée par fermeture des galeries de communication avec le reste du flanc Sud. Bien qu'en 1971, il fut envisagé de l'utiliser afin de gagner en volume de stockage, ce projet a été abandonné et le stockage d'hydrocarbures n'a pas dépassé l'Orne.

2.3.3 IMPACT HYDROGÉOLOGIQUE DU STOCKAGE

2.3.3.1 LA NAPPE DU JURASSIQUE

La nappe du Jurassique est principalement influencée par la pluviométrie. Les données piézométriques relevées entre 1971 et 1976 ne mettent en évidence aucune influence des variations de pression dans le stockage sur le niveau de cette nappe. En particulier, aucun signe de drainage n'est observé et les niveaux piézométriques mesurés sont stables.

Seule une légère augmentation du niveau traduit l'influence prépondérante de la pluviométrie en 1973 et 1974.

2.3.3.2 LES NAPPES DU PRIMAIRE

La saturation des terrains du Primaire avait été interrompue autour de la mine lors de son exploitation. Elle a été rétablie lors des premiers remplissages en eau de la mine et se trouve confirmée, dans le flanc Sud, par la persistance des venues d'eau et l'observation des niveaux piézométriques dans le Primaire.

Le remplissage de la mine en liquide a entraîné une remontée générale du niveau piézométrique des nappes du Primaire de quelques mètres à proximité des cavités. Le niveau supérieur de liquide dans la mine constitue le fond des zones de rabattement, engendrées par la présence de vides drainant les formations du Primaire. Ce niveau est monté jusqu'à -20 m NGF et -15 m NGF respectivement dans les flancs Nord et Sud.

Cependant, pendant l'exploitation du stockage, le suivi piézométrique au cours des événements de remplissage et de vidange a permis de constater que **les variations des nappes du Primaire ne sont pas affectées par l'évolution du niveau de produits en cavité.**

Dans le flanc Sud, les niveaux piézométriques de surface ne sont pas liés aux mouvements dans le stockage mais à la pluviométrie locale. Les épisodes de faible pluviométrie, tels que les sécheresses de 1972 et 1976, ont néanmoins peu marqué le comportement de ces niveaux qui se révèlent très stables dans l'ensemble. Seuls font exception les piézomètres 9, 29 et S2 présentant de fortes variations saisonnières. Ces variations s'expliqueraient par la position de ces forages au milieu de la pente hydraulique plongeant vers l'Orne ou la mine. Ce gradient hydraulique est sujet à des variations suivant les périodes de l'année (hautes ou basses eaux), ce qui provoque des fluctuations importantes sur les piézomètres en question. Ainsi, par exemple, après 1972 (qui fut une année très déficitaire), l'augmentation de la pluviométrie a entraîné le rapprochement vers la mine de la pente hydraulique associée à la dépression, englobant ainsi les piézomètres 9, 29 et S2 qui se trouvaient à mi-pente. Les niveaux mesurés dans ces trois piézomètres ont donc augmenté significativement à cette époque.

Les mesures piézométriques effectuées pendant les essais sur le flanc Nord mettent également en évidence l'absence totale de sensibilité du niveau des nappes aux variations de pression dans le stockage. En revanche, ce niveau est sensible à la pluviométrie.

D'une manière générale, la charge hydraulique de l'aquifère du Primaire varie dans le même sens que celle du Jurassique, avec un délai de 2 ou 3 mois. Ceci prouve que les nappes du Primaire sont alimentées par la nappe du Jurassique, elle-même directement influencée par la pluviométrie.

Le suivi piézométrique effectué par le BRGM pendant le stockage indique très clairement que **l'aquifère du Jurassique reste partout en surpression par rapport aux aquifères qui confinent le réservoir** (Grès de May, Schistes à Calymènes, minéral, Grès feldspathiques) et que les **écoulements convergeant en direction du stockage** interdisent toute fuite d'hydrocarbures.

En effet, les séries de mesures effectuées dans les forages en flûte de pan Jurassique-Primaire sur le flanc Nord et le flanc Sud montrent que le niveau de la nappe du Jurassique demeure supérieur à celui de la nappe du Primaire. Cette différence peut toutefois être très faible (<1 m) dans le flanc Sud au niveau de Rocquancourt. De plus, les niveaux dans les piézomètres de surface des deux flancs et le comportement des épontes face aux variations de pression dans le stockage confirment la surpression du Primaire par rapport au stockage et donc l'étanchéité du stockage. Les essais menés sur le flanc Sud jusqu'en 1977 ont également montré que le stockage souterrain est protégé par une couverture hydraulique minimale au niveau +5 m NGF qui est celui de l'Orne. Cette couverture est en fait bien supérieure au droit de la majeure partie du stockage (jusqu'à +49 m NGF).

L'Orne, dont le niveau sur le secteur se situe entre +2 et +6 m NGF, constitue un axe de drainage des nappes du Primaire. Le suivi des niveaux dans cette zone d'interaction entre les nappes du Primaire et l'Orne est effectué à partir du piézomètre 31 (Figure 8), et indique :

- que l'écoulement se produit des nappes vers l'Orne en période d'étiage,
- alors qu'au contraire, l'Orne alimente les nappes en hiver.

2.3.3.3 SCHÉMA HYDRAULIQUE DES AQUIFÈRES DE MAY-SUR-ORNE

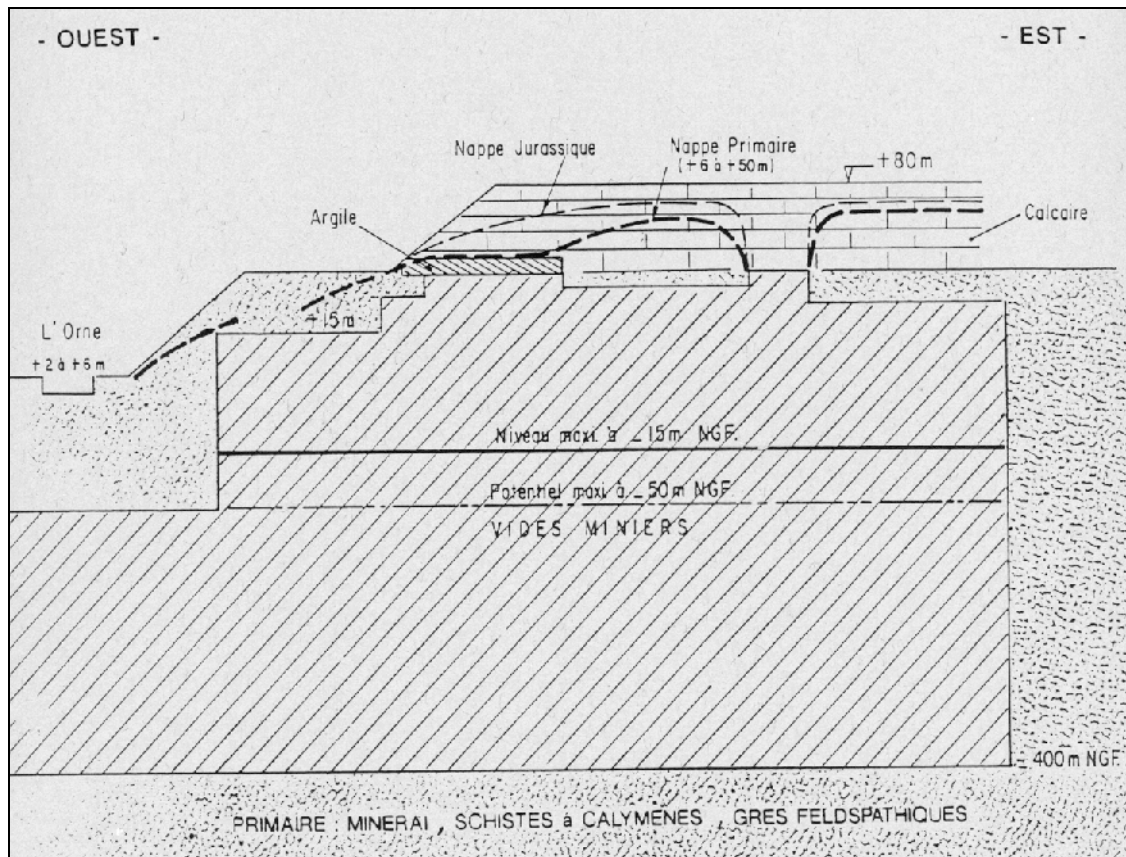


Figure 8 – Coupe longitudinale schématisée des aquifères de May-sur-Orne

2.3.4 ESTIMATION DES DÉBITS D'INFILTRATION

Sur les deux flancs, il n'a pu être décelé, tout au long de la vie du stockage, de relation entre le niveau de remplissage des flancs et les débits d'infiltration. Une évolution saisonnière des débits d'infiltration a néanmoins pu être notée. Les débits sont de l'ordre de 8 m³/h sur le flanc Nord et de 50 m³/h sur le flanc Sud.

Il y a accord entre le fait que le flanc Nord soit placé sous couverture argileuse du Toarcien et qu'il collecte les débits d'infiltration les plus faibles.

2.3.5 FONCTIONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE PENDANT LE STOCKAGE : BILAN DES RELATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTS « RÉSERVOIRS »

Dans l'environnement de la mine, les réservoirs d'eau sont :

- les nappes du jurassique et du Primaire pour les eaux souterraines,
- l'eau des cavités minières et l'eau d'exhaure,
- les eaux de surface et principalement l'Orne.

Le schéma suivant (Figure 9) décrit les relations entre les différents réservoirs d'eau à l'époque du stockage, c'est-à-dire après 1976, date de mise en fonctionnement de la prise d'eau de l'Orne pour la production d'eau potable à destination de la ville de Caen, et avant 1988, date de fin de la vidange de la mine et de la fin de la récupération des hydrocarbures.

SCHÉMA CONCEPTUEL DU STOCKAGE D'HYDROCARBURES DE MAY-SUR-ORNE PENDANT LE STOCKAGE

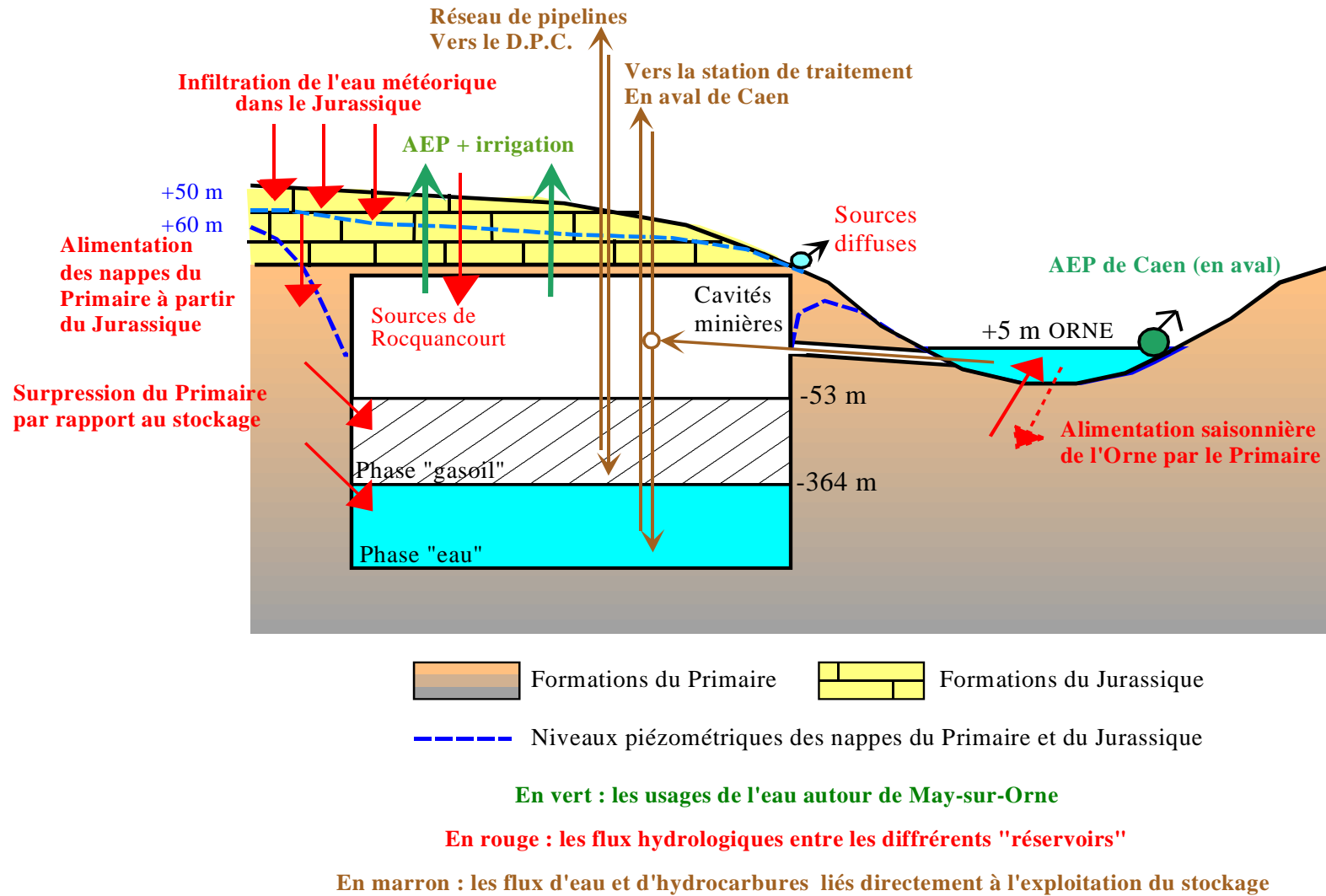


Figure 9 – Schéma de circulation hydraulique autour de la mine de May-sur-Orne pendant le stockage d'hydrocarbures

Ce schéma présente également les différents usages (explicités dans la partie « Qualité des eaux ») qui étaient faits de l'eau contenue dans les différents réservoirs entre 1976, date de mise en service du captage AEP de Louvigny, et 1988, date de fin du stockage. Il s'apparente donc à un schéma conceptuel car il comporte, en plus des informations relatives à la circulation hydraulique, des éléments permettant d'évaluer le risque pour la santé humaine induit par l'exposition aux milieux « eaux souterraines » et « eaux de surface » à l'époque du stockage.

2.4 SITUATION HYDROGÉOLOGIQUE POSTÉRIEURE AU STOCKAGE D'HYDROCARBURES DANS LES CAVITÉS MINIÈRES

2.4.1 TRAVAUX D'ABANDON DU STOCKAGE

De 1984 à décembre 1988, les cavités des flancs Nord et Sud de la mine de May-sur-Orne ont été **vidangées**. Après une période d'observation, les deux flancs ont été remplis avec de l'eau traitée au bisulfite de sodium au moyen d'une pompe installée au bord de l'Orne d'un débit de 800 m³/h. L'eau des sources de Rocquancourt et de Taraud traitée au bisulfite de sodium ainsi que les eaux d'infiltration ont également contribué au remplissage de la mine.

De mai 1989 à mars 1990, une **première phase de remplissage** a permis de remplir les cavités jusqu'aux cotes :

- -51 m NGF sur le flanc Nord (soit niveau G),
- -72 m NGF sur le flanc Sud (soit niveau V).

Les eaux des cavités étaient alors écrémées, tant au niveau G du flanc Nord qu'au niveau V du flanc Sud, de façon à éliminer la phase de gasoil surnageante. Suite à cette première phase de remplissage, une période d'observation s'est prolongée jusque la fin de l'année 1990, car le niveau de l'Orne ne permettait pas de commencer le pompage de l'eau de l'Orne pour le remplissage final.

La **dernière phase de remplissage** des deux flancs de la mine par l'eau de l'Orne, commencée début janvier 1991, s'est achevée le 14 mars 1991. Les cotes atteintes sont alors de +15 m NGF pour le flanc Nord et +12,6 m NGF pour le flanc Sud. D'après les estimations réalisées pendant l'exploitation, ces niveaux devaient correspondre à un état d'équilibre et être stables. Cette prédiction s'est avérée exacte sur le flanc Sud. En revanche le débit d'infiltration sur le flanc Nord avait été surestimé et ne permettait pas de soutenir un niveau de remplissage à +15 m. Après deux compléments de remplissage réalisés en avril, il a été décidé de suivre la relaxation naturelle du niveau de remplissage. L'équilibre s'est finalement établi à +13,6 m NGF, en octobre 1991. Par la suite ce niveau a fluctué autour de la cote +14 m NGF.

Les bassins de récupération situés aux extrémités des galeries B sur le flanc Nord et 1 sur le flanc Sud ont été dimensionnés sur la base des niveaux de remplissage initialement prévus. Les niveaux effectifs étant inférieurs ou égaux aux niveaux prédits, les rejets directs des eaux de mine dans l'Orne étaient limités aux situations exceptionnelles.

La période d'observation qui a suivi le remplissage final de la mine a eu lieu du 16 mars 1991 au 16 mars 1992.

2.4.2 IMPACT HYDROGÉOLOGIQUE DU REMPLISSAGE FINAL DE LA MINE

2.4.2.1 NAPPE DU JURASSIQUE

Au total, 54 piézomètres ont permis de suivre la surface piézométrique de la nappe du Jurassique pendant toute la phase d'exploitation et de fermeture du stockage.

De 1989 à 1991, les variations saisonnières du niveau piézométrique de cette nappe ont été de l'ordre de 3 à 4 mètres.

La nappe du Jurassique n'a pas été affectée par le remplissage en eau de la mine et les charges hydrauliques appliquées à la mine lors du remplissage n'ont pas entraîné de modification du sens d'écoulement naturel de la nappe du Jurassique vers les nappes du Primaire. L'aquifère du Jurassique présente en effet une piézométrie supérieure à celle des formations du Primaire.

Par ailleurs, les niveaux piézométriques des formations du Primaire sont restés plus élevés que les cotes de remplissage ultime de la mine dans la majeure partie de la mine et en particulier dans les zones situées sous recouvrement Jurassique.

Pour ces deux raisons, les écoulements de la mine vers les aquifères du Jurassique se sont avérés inexistantes.

2.4.2.2 NAPPES DU PRIMAIRE

Les niveaux des nappes du Primaire ont été suivis à partir de 37 piézomètres : 3 dans les Grès de May, 12 dans les Schistes à Calymènes, 2 dans le minerai et 20 dans les Grès feldspathiques.

➤ Débits des émergences minières

Afin d'éviter tout risque de contamination directe des eaux de l'Orne par les eaux issues de la mine, des bassins de récupération équipés de pompes ont été installés en amont des futurs points de rejet, c'est-à-dire dans les chambres situées à l'extrémité de la galerie B du flanc Nord et au niveau I* du flanc Sud. Lors de la période d'observation consécutive au remplissage final de la mine, les eaux d'émergence ont été récupérées et évacuées vers la station de traitement du Dépôt Pétrolier de Caen (D.P.C.)

Dans la galerie I* du flanc Sud, le débordement de la mine s'est effectué par la bouchure N°6 situé à +12,6 m NGF. De fin mars 1991 à fin septembre 1991, un débit moyen de 17,2 m³/h issu de cette émergence a été pompé de la mine et acheminé vers la station.

En revanche, le débit d'émergence de la galerie B du flanc Nord est très faible et le bassin de décantation qui s'y trouve est vide.

* Il s'agit du chiffre « un » en chiffre romain et non de la lettre « i » majuscule. En effet, les niveaux du flanc Sud sont référencés en chiffres romains et ceux du flanc Nord en lettres.

➤ *Percolation des eaux des cavités minières vers les nappes du Primaire*

Pour la plus grande partie de la mine, le niveau dans la mine reste inférieur à la piézométrie des formations du Primaire induisant ainsi un écoulement convergeant vers les vides existants. A l'exception de la cellule E du flanc Nord, les cellules de pression à corde vibrante installées aux niveaux inférieurs et à l'Est des flancs ont confirmé que la nappe du Primaire restait en surpression par rapport à la mine, et donc que les écoulements sont dirigés vers la mine.

Cependant à l'issue du remplissage final de la mine, certaines zones localisées sont le siège d'écoulements de la mine vers les formations du Primaire.

- Description du phénomène

Le remplissage des cavités, effectué dans le cadre de la fermeture du stockage jusqu'aux cotes +12,6 m NGF sur le flanc Sud et +15 m NGF sur le flanc Nord, a entraîné une **inversion du sens d'écoulement à proximité de l'Orne**. En effet, les nappes du Primaire, dont la charge est généralement supérieure à +15 m NGF, voit sa surface piézométrique s'infléchir jusqu'environ +5 m NGF à proximité de l'Orne, sous l'influence du drainage exercé par ce fleuve. Le remplissage en eau de la mine a donc conduit à la mise en charge de la mine par rapport aux formations du Primaire, induisant des écoulements de la mine, zone de haut potentiel, vers les terrains du Primaire, zones de bas potentiel.

La remontée du niveau des nappes du Primaire a été observée sur le flanc Nord, au niveau du piézomètre PZ31, à partir de février et mars 1991. Cette remontée du niveau piézométrique du Primaire s'est produite en deux étapes entre le 17 février et le 24 mars 1991. Les piézomètres 1, 31, N1, N2, 4, 5, et 6 ont également montré une tendance à la hausse. La cellule de pression de la chambre E a indiqué que le potentiel hydraulique dans la mine était supérieur à celui du Primaire depuis le 22 mars 1991. Par ailleurs, les teneurs en sulfates et nitrates observées sur PZ31 depuis le mois de mai 1991, qui tendent à se rapprocher des valeurs mesurées dans de l'eau de la mine, traduisent le passage dans les formations primaires, au niveau de ce piézomètre, d'écoulements provenant de la mine en direction de l'Orne.

Ce phénomène d'inversion du sens des écoulements entre la mine et les nappes du Primaire est également présent sur le flanc Sud et explique pourquoi le débit effectif d'émergence sur ce flanc (environ 18 m³/h) est largement inférieur au débit d'infiltration en provenance du Jurassique prévu (50-75 m³/h). Cependant, bien qu'il y ait nécessairement percolation des eaux de la mine vers le Primaire, les piézomètres situés dans les formations du Primaire sur le flanc Sud ne semblent pas affectés par le remplissage de la mine et le suivi de leur niveau piézométrique ne met pas en évidence une élévation telle que celle observée sur le flanc Nord.

Ainsi, les niveaux piézométriques, tout comme la différence entre les débits d'infiltration à partir du Jurassique et les débits d'émergence, prouvent **l'existence d'eaux de percolation à l'extrémité ouest de la mine vers les formations du Primaire**. Ces eaux, dont la trajectoire passe notamment par le piézomètre PZ31 sur le flanc Nord, ont comme exutoire final l'Orne.

- Débits mis en jeu

En juillet 1991, les débits d'eau qui s'infiltrèrent à partir des cavités vers les nappes du Primaire sont de l'ordre de 30 m³/h (soit 720 m³/j) sur le flanc Sud et 8 m³/h (soit 200 m³/j) sur le flanc Nord. Ainsi, pendant que la situation hydrostatique dans le flanc Nord n'était pas stabilisée, environ 920 m³ s'infiltraient quotidiennement vers le Primaire.

Cette situation a progressivement évolué vers un état d'équilibre naturel. Alors, en conséquence de la diminution du niveau hydrostatique dans les cavités du flanc Nord, **le débit de percolation des cavités vers la nappe du Primaire sur les deux flancs de la mine à diminué pour valoir environ 860 m³/h**, dont 140 m³/h proviennent des cavités du flanc Nord et 720 m³/h du flanc Sud.

Ces débits, calculés par différence entre un débit d'infiltration et un débit d'exhaure, sont probablement sur-estimés car le débit d'infiltration pris en compte a été déterminé pendant la phase d'exploitation, alors que le niveau dans la mine était beaucoup plus bas, et donc, que la différence de charge entre la mine et son environnement était plus importante. Cependant, l'essentiel du débit d'infiltration provient des anciens travaux et des zones fissurées supérieures, non exploitées pendant le stockage et qui sont restées à l'atmosphère en phase finale de l'abandon. De ce fait, on peut penser que la remontée finale du niveau dans les travaux n'aura qu'un effet limité sur le débit d'infiltration.

- Précautions prises

Ce phénomène avait été prévu par la société GEOMINES-CAEN qui, en 1990, a aménagé l'extrémité occidentale de la mine par :

- l'installation, au niveau E d'une pompe permettant de récupérer les éventuelles eaux contenant des hydrocarbures,
- et la mise en place une cellule de pression dans la galerie E du flanc Nord afin de contrôler la piézométrie des nappes du Primaire.

- Modélisation aux éléments finis

A partir des données de la cellule de pression située dans la chambre E de l'extrémité ouest du flanc et du suivi du piézomètre PZ31 encore plus à l'ouest, une modélisation aux éléments finis du flanc Nord, indique que l'inversion des écoulements en paroi de mine apparaît lorsque le niveau de l'eau est supérieur à +12,2 m NGF. La zone soumise à l'inversion du sens des écoulements reste relativement limitée pour un niveau dans la mine à +13,70 m NGF. Pour abaisser le niveau aux environs de +12 m et éviter cette inversion, il faudrait pomper environ 14 500 m³ et l'équivalent du débit d'infiltration sur ce flanc (8 m³/h).

Sur le flanc Sud, toujours selon les résultats de la modélisation, l'inversion théorique des écoulements s'annule pour un niveau de remplissage de +6,5 mNGF, à peu près égal au niveau de l'Orne. Pour abaisser le niveau de la mine à cette cote, il faudrait pomper environ 73 500 m³ et l'équivalent du débit d'infiltration sur ce flanc (30 m³/h).

2.4.3 FONCTIONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE APRÈS LE STOCKAGE : BILAN DES RELATIONS ENTRE LES DIFFÉRENTS « RÉSERVOIRS »

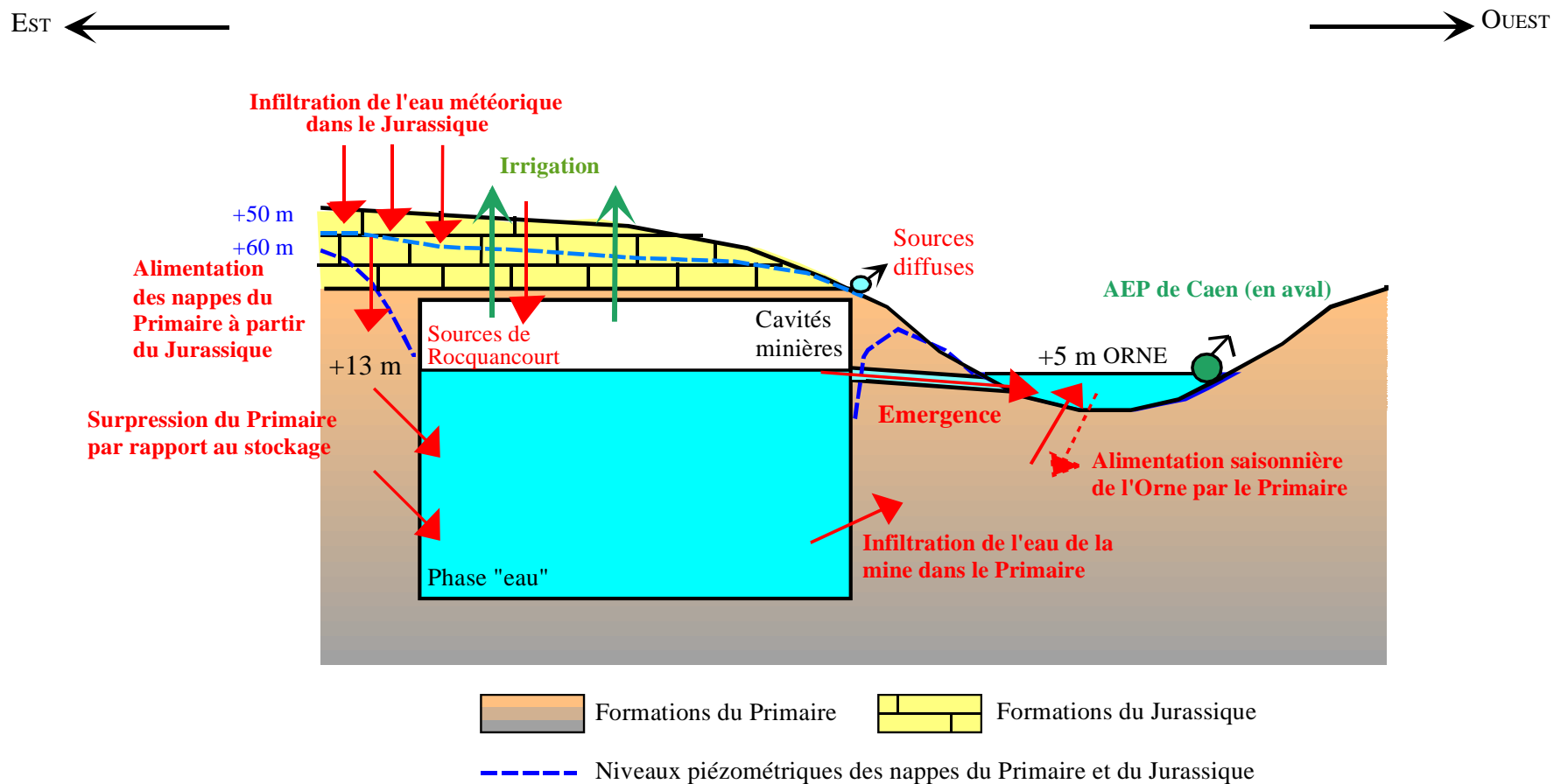
Dans l'environnement de la mine, les réservoirs d'eau sont :

- les nappes du jurassique et du Primaire pour les eaux souterraines,
- l'eau des cavités et des émergences minières,
- les eaux de surface et principalement l'Orne.

Le schéma suivant (Figure 10) décrit les relations entre les différents réservoirs d'eau postérieures à l'activité de stockage d'hydrocarbures qui a eu lieu sur le site, c'est-à-dire après mars 1991, date de fin des opérations de remplissage de la mine.

Ce schéma présente également les différents usages (explicités dans la partie « Qualité des eaux ») qui sont faits de l'eau contenue dans les différents réservoirs depuis 1991. Tout comme le schéma présenté dans la partie 2.3.5., celui-ci s'apparente à un schéma conceptuel car il comporte, en plus des informations relatives à la circulation hydraulique, des éléments permettant d'évaluer le risque pour la santé humaine induit par l'exposition aux milieux « eaux souterraines » et « eaux de surface » après l'époque du stockage.

SCHEMA CONCEPTUEL DU STOCKAGE D'HYDROCARBURES DE MAY-SUR-ORNE APRES LE STOCKAGE



En vert : les usages de l'eau autour de May-sur-Orne

En rouge : les flux hydrologiques entre les différents "réservoirs"

Figure 10 – Schéma de circulation hydraulique autour de la mine de May-sur-Orne après le stockage d'hydrocarbure

ANNEXE D

QUALITÉ DES EAUX

1. Qualité des eaux	1
1.1 Qualité des eaux souterraines hors aquifère minier	1
1.1.1 Qualité des eaux du Jurassique	1
1.1.2 Qualité des eaux du Primaire	6
1.2 Qualité des eaux dans la mine, des eaux d'exhaure et des émergences minières.....	15
1.2.1 Qualité des eaux pendant l'exploitation du stockage.....	15
1.2.2 Qualité des eaux pendant la fermeture du stockage (de janvier 1989 à mars 1992)	16
1.2.3 Qualité des eaux de la mine et des eaux d'exhaure postérieure au stockage (de mars 1992 à 2004).....	27
1.3 Qualité des eaux superficielles.....	33
1.3.1 Usages de l'eau de l'Orne	33
1.3.2 Qualité de l'Orne pendant l'exploitation du stockage.....	33
1.3.3 Qualité de l'Orne pendant la fermeture du stockage	35
1.3.4 Qualité de l'Orne postérieure au stockage	36

1. QUALITÉ DES EAUX

Dans le cadre de la phase informative de cette étude d'aléas, la qualité des eaux se définit par rapport à l'évaluation des concentrations d'un nombre restreint de substances. Ainsi, ne seront pris en compte que les paramètres en relation avec :

- l'activité minière : teneurs en fer et en manganèse,
- l'activité de stockage souterrain d'hydrocarbures : sulfates, hydrocarbures totaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques (H.A.P.), phénols et éventuellement carbone organique total (C.O.T.).

Ce chapitre n'a donc pas la vocation de décrire de façon exhaustive la qualité des eaux, mais uniquement d'effectuer un constat de l'impact qu'ont eu les activités minières et de stockage sur la qualité des eaux et de son évolution au cours du temps. Par exemple, l'eau de la nappe du Jurassique et de l'Orne sont anormalement chargées en nitrates, mais n'étant pas la conséquence des exploitations minières et de stockage, ce phénomène ne sera pas développé dans cette partie.

1.1 QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES HORS AQUIFÈRE MINIER

1.1.1 QUALITÉ DES EAUX DU JURASSIQUE

1.1.1.1 CHIMIE DES EAUX DE LA NAPPE DU JURASSIQUE

D'après le diagramme d'analyse d'eau de Schoeller-Berkaloff, les eaux de la nappe du Jurassique ont une composition assez constante du type bicarbonaté calcique. Le tableau 2 récapitule les caractéristiques de ces eaux.

Paramètres	Caractéristiques
Type	Eau bicarbonatée calcique
pH	7,2 < pH < 7,6
Concentration totale	< 600 mg/L
Conductivité	400 < conductivité < 700 μ S/cm

Tableau 2 – Caractéristiques chimiques des eaux de la nappe du Jurassique

1.1.1.2 EXPLOITATION DE L'EAU SOUTERRAINE DU JURASSIQUE

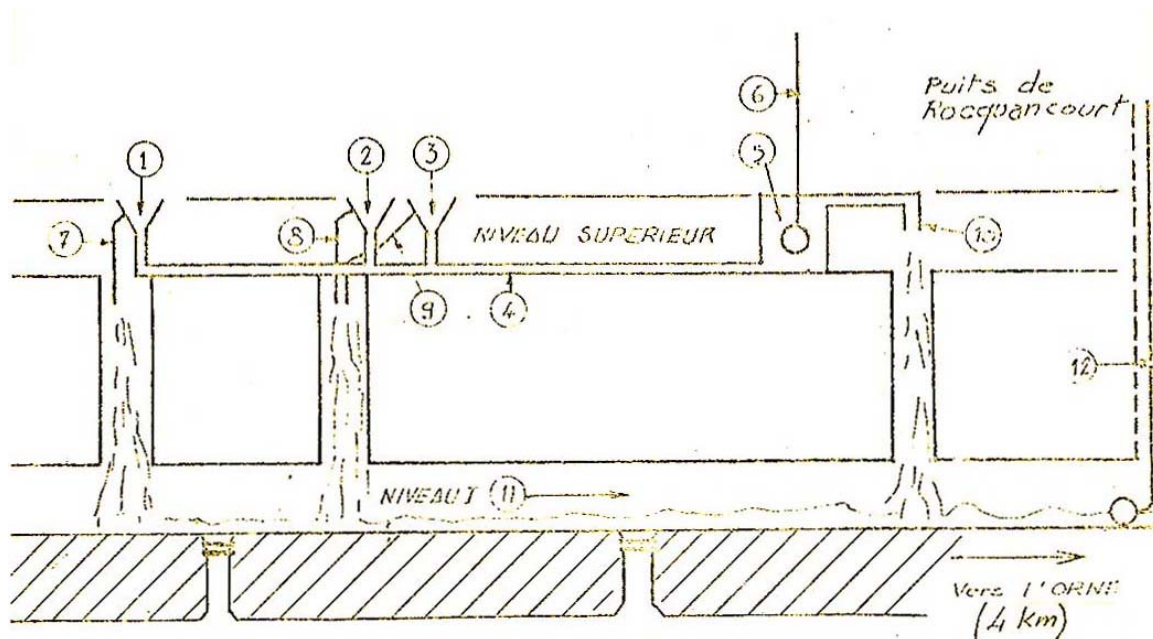
1.1.1.2.1 L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

➤ *Fonctionnement des sources de Rocquancourt*

Dans le flanc Sud, au dessus de la galerie I, se développe le niveau I. Dans ce niveau, dans la zone dite de Rocquancourt, un captage recueille dans des bâches en béton les eaux provenant de la nappe du Jurassique (infiltration de l'ordre de 8 000 m³/j). Cette origine des eaux du captage de Rocquancourt est confirmée par le diagramme d'analyse d'eau. L'eau est apparue brutalement à la limite entre le Jurassique et les terrains du Primaire lors du creusement des cheminées verticales dans le minerai en 1917.

Les équipements de captage d'eau sont situés au niveau des cheminées reliant les niveaux I et I supérieur. Ils sont constitués de grands entonnoirs. Une canalisation étanche ramène l'eau des captages jusqu'à la bêche de pompage (Figure 11). Là, une pompe prélève une partie de ces eaux et la dirige vers un réseau de canalisations alimentant notamment la région Caennaise.

L'autre partie se déverse sur le sol de la galerie et par des cheminées descend jusqu'à la galerie I. Cette eau de trop-plein s'écoule pour partie vers l'Orne, le reste pénétrant dans la mine et participant au débit d'exhaure (Figure 11).



Obturation des cheminées

LEGENDE

- 1.2.3 : Captage des sources
- 4 : Tuyau d'amenée $\phi 400$
- 5 : "Château d'eau"
- 6 : Tuyauterie de refoulement au jour
- 7.8.9 : Trop plein des baches $\phi 150$
- 10 : Trop plein du château d'eau $\phi 400$
- 11 : Cheminement des eaux non pompées vers l'ORNE par le niveau I
- 12 : Pompage de M^r Van der Mesch

NOTA : Les trop pleins 7.8.9 débitent en permanence, le trop plein 10 lorsqu'il n'y a pas pompage.

Figure 11 – Schéma de fonctionnement des sources de Rocquancourt

Dans le cadre des travaux d'isolement du stockage, GEOSTOCK a obturé le niveau supérieur du stockage de façon à augmenter la saturation en eau des parois dans les parties hautes du stockage et a ainsi contribué à augmenter les ressources en eau de la région.

➤ Usage de l'eau des sources de Rocquancourt

En 1955, les réserves d'eau de Rocquancourt ont été utilisées pour alimenter l'agglomération caennaise, en réaménageant l'ancien puits Taraud, reliant le niveau I à la surface. Le Syndicat intercommunal d'Exploitation des Eaux d'Exhaure de la Mine, créé en 1960, a été conçu pour alimenter deux syndicats

d'AEP ruraux (le syndicat d'AEP de la région de May-sur-Orne et de la région d'Ifs-Bourguebus) et la ville de Caen. Suite à une convention de février 1961 avec la SMPC, il utilise les trois captages dans le niveau I supérieur du flanc Sud. En 1971, les communes avoisinant la mine et la ville de Caen utilisent 4 000 à 5 000 m³/j de l'eau des « sources » de Rocquancourt.

La ville de Caen a cessé d'utiliser cette eau depuis que le taux de nitrate a dépassé le seuil de 50 mg/L. En mai 1990, ce captage souterrain ne contribue plus qu'à un tiers des approvisionnements en eau potable des deux syndicats d'AEP, les deux autres tiers étant constitué d'eau de l'Orne traitée par l'usine de Louvigny. A partir du mois de juillet 1990, les deux syndicats d'AEP ne s'y approvisionneront plus et le captage ne gardera son utilité qu'en cas de disette ou de catastrophe.

1.1.1.2.2 USAGE AGRICOLE

➤ *Puits de Rocquancourt*

En 1965, une autre installation de pompage est mise en place au puits de Rocquancourt et exploitée par une exploitation fruitière, la société « la Crête de Fontenay » (02/06/1965 pour une durée de 99 ans).

➤ *Puits Albert Taraud*

Le Puits de la descenderie Albert Taraud est situé à 800 m à l'ouest – nord-ouest du Puits de Rocquancourt. Une pompe y est installée dans la galerie I pour répondre aux besoins des sociétés locales de production de fruits et légumes.

➤ *Puits Blanc-Misseron*

Entre 1902 et 1909, dans un contexte de course pour l'extension vers l'Est de la mine de Saint-André, la société des ateliers Blanc-Misseron a réalisé un puits de mine au nord de l'église de Rocquancourt. Ce puits traversait 58 m de couverture calcaire du Jurassique. A partir de la cote +6,5 m, une longue galerie de 280 m fut percée vers le sud. Le minerai se trouvait en fait au nord, et la galerie est passée des Schistes à Calymènes dans les Grès de May, tournant le dos au minerai recherché. En 1911, un coup d'eau venu des morts-terrains (Jurassique), situés quelques mètres au-dessus de la galerie, mit fin au creusement et ennoya cette galerie. En 1990, un exploitant agricole, M. Brusnel, pompe dans cette réserve, indépendante des sources de Rocquancourt, pour irriguer.

A la fermeture du stockage, une convention de remise des installations a été signée en décembre 1993, entre GEOMINES et le syndicat d'exploitation des eaux pour le maintien de l'accès aux ressources dans les galeries de la mine par les puits Taraud et de Rocquancourt. Ces travaux ont été réalisés pendant l'exécution des travaux de fermeture du stockage.

1.1.1.3 QUALITÉ DE L'EAU DU JURASSIQUE PENDANT L'EXPLOITATION DU STOCKAGE

Lors de la création du stockage, le risque de pollution des eaux de la nappe du Jurassique exploitée pour la production d'eau potable de l'agglomération de Caen a constitué une préoccupation majeure. Deux garanties permettent de s'assurer qu'en aucun cas les hydrocarbures en migration depuis le stockage ne puissent contaminer cette ressource en eau. La première garantie est **l'étanchéité du stockage**, résidant dans la barrière de pression que les eaux du Primaire

entretiennent à sa périphérie. La seconde garantie résulte de la non-alimentation de la nappe du Jurassique par les nappes du Primaire. **La pression dans la nappe du Jurassique est supérieure à la pression des nappes du Primaire, de sorte que toute remontée des hydrocarbures jusqu'aux formations du Jurassique est impossible.**

L'arrêté préfectoral du 16 août 1983, fixant les règles d'exploitation du stockage, impose une surveillance piézométrique (niveaux et analyse chimique) trimestrielle des eaux du Jurassique par un laboratoire agréé par l'administration, en plus de contrôles mensuels effectués par GEOMINES-CAEN.

Ainsi, durant l'exploitation, tous les piézomètres de suivi du stockage ont fait l'objet de prélèvements trimestriels pour contrôler la présence d'hydrocarbures. **Toutes les analyses pour les hydrocarbures se sont révélées inférieures au seuil de détection analytique (0,1 mg/L).**

Par ailleurs, les eaux d'exhaure, issues du Jurassique et exploitées pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation d'une exploitation de fruits et légumes, proviennent de sources liées au percement de la nappe du Jurassique (cote +44 m NGF) et s'écoulent dans la galerie du niveau 1 (cote NGF +25 m au droit de Rocquancourt). Ainsi, compte tenu que la cote maximale atteinte par le stockage est de -15 m, il semble que ces eaux ne pouvaient être, à aucun moment, en contact direct avec les hydrocarbures.

Pour information, les eaux des nappes du Jurassique ont été analysées (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^-) à Fleury-sur-Orne en 1978 et au captage de Rocquancourt en 1979.

1.1.1.4 QUALITÉ DES EAUX DU JURASSIQUE PENDANT LA FERMETURE DU STOCKAGE

L'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991 fixe un certain nombre de conditions de fermeture du stockage visant à garantir la protection des nappes d'eau souterraine. En particulier, le réseau de piézomètres entourant le stockage est maintenu jusqu'en novembre 1992, et les observations et analyses de suivi du Jurassique, pratiquées lors de l'exploitation du stockage, sont poursuivies jusqu'à cette date sur les ouvrages suivants :

- flanc Nord : 4', 5' et 7',
- flanc Sud : 14' et 19'.

Au terme de cette période, l'ensemble des piézomètres de suivi du Jurassique a été obturé de façon à ne pas être, à l'avenir, à l'origine d'une pollution des eaux souterraines à partir de la surface du sol.

Les analyses effectuées sur les piézomètres de suivi du flanc Nord lors de la période d'observation annuelle suite au remplissage en eau de la mine, c'est-à-dire de mars 1991 à mars 1992, ont fourni les résultats suivants (Tableau 3).

	FLANC NORD			FLANC SUD	
	PZ4'	PZ5'	PZ7'	PZ14'	PZ19'
Sulfates (mg/L)	35,6	35,9	53,6	69	15,7
Hydrocarbures totaux (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fer total (mg/L)	5,3	18,9	13,6	5,2	2,8
Manganèse (mg/L)	0,26	0,52	0,61	0,34	0,16

Tableau 3 – Valeurs moyennes des paramètres miniers et liés au stockage relevés sur les piézomètres de suivi du Jurassique entre mars 1991 et mars 1992

1.1.2 QUALITÉ DES EAUX DU PRIMAIRE

1.1.2.1 CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES DES NAPPES DU PRIMAIRE

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff constitue la seule source d'informations relative à la qualité des eaux des nappes du Primaire antérieure au stockage d'hydrocarbures. Les trois analyses d'eau présentées sur ce diagramme indiquent des compositions chimiques hétérogènes au sein des formations du Primaire. Les données obtenues aux archives de la DRIRE Basse-Normandie n'ont pas permis d'identifier les points de prélèvement ayant permis la mise en évidence de ces caractéristiques. Les caractéristiques suivantes peuvent toutefois être notées (Tableau 4).

Paramètres	Caractéristiques
pH	> 7,5
Concentration totale	> 600 mg/L
Conductivité	600 < conductivité < 800 µS/cm

Tableau 4 – Caractéristiques chimiques des eaux du Primaire

Remarque : l'eau issue du travers-banc est chimiquement assez voisine de celle de l'ancien forage de Fleury-sur-Orne.

1.1.2.2 EXPLOITATION DES EAUX DU PRIMAIRE

La nappe du Primaire n'est pas exploitée. Ses paramètres hydrodynamiques sont tels que cette formation ne peut être qualifiée d'aquifère. Il ne s'agit pas d'une ressource future en eau potable clairement identifiée dans la région.

1.1.2.3 QUALITÉ DES EAUX DU PRIMAIRE PENDANT L'EXPLOITATION DU STOCKAGE

L'arrêté préfectoral du 16 août 1983, fixant les règles d'exploitation du stockage, impose une surveillance piézométrique (niveaux et analyse chimique) trimestrielle des eaux de saturation du Primaire par un laboratoire agréé par l'administration, en plus de contrôles mensuels effectués par GEOMINES-CAEN. Ainsi, de façon trimestrielle, une recherche d'hydrocarbures est effectuée sur l'ensemble du

dispositif piézométrique existant au droit du site sur les deux flancs du synclinal (à condition que le niveau d'eau soit suffisant).

Durant l'exploitation, toutes les analyses d'hydrocarbures effectuées sur les piézomètres de contrôle du Primaire se sont révélées inférieures au seuil de détection analytique (0,1 mg/L).

1.1.2.4 QUALITÉ PENDANT LA FERMETURE DU STOCKAGE

1.1.2.4.1 LE SUIVI DE LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

L'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991 maintient le réseau de piézomètres entourant le stockage jusqu'en novembre 1992, et les observations et analyses de suivi des nappes du Primaire pratiquées lors de l'exploitation du stockage sont poursuivies jusqu'à cette date sur les ouvrages suivants :

- flanc Nord : N2 ,1, 3 et 31,
- flanc Sud : S1, 10, 12, 14, 17, 19 et 23.

Au terme de cette période, le réseau piézométrique a été démantelé et les piézomètres autres que PZ10 et PZ31 ont été obturés de façon à ne pas être, à l'avenir, à l'origine d'une pollution des eaux souterraines à partir de la surface du sol.

A partir du 17 mars 1992, les mesures de surveillance imposées à GEOMINES-CAEN sont allégées.

1.1.2.4.2 RÉSULTATS DU SUIVI (TABLEAU 5)

		Hydrocarbures totaux (mg/L)	H.A.P.* (µg/L)	Sulfates (mg/L)	Fer (mg/L)	Manganèse (mg/L)
FLANC NORD	N2	<0,10	-	20,1	5,70	0,29
	PZ1	<0,10	-	62,3	11,7	0,30
	PZ3	A SEC				
	PZ31	<0,05	0,017	110,3	1,99	0,13
FLANC SUD	S1	<0,10	-	37,6	6,79	0,20
	PZ10	<0,10	-	68,6	3,57	0,19
	PZ12	<0,10	-	26,4	12,02	0,34
	PZ14	<0,10	-	74,4	15,79	0,32
	PZ17	<0,10	-	17,1	7,77	0,34
	PZ19	<0,10	-	11,3	2,81	0,16
	PZ23	<0,10	-	24,9	8,72	0,41
	PZ24	<0,10	-	13	16,4	0,41

Tableau 5 - Valeurs moyennes des paramètres miniers et liés au stockage relevés sur les piézomètres de suivi du Primaire entre mars 1991 et mars 1992

* somme des six HAP suivants : fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, indéno(1,2,3-c,d)pyrène

Au niveau du flanc Nord, les prédictions estimaient qu'il n'y aurait d'eau d'exhaure que si le niveau dans la mine remontait suite à des pluies diluviennes. Sinon, les eaux du trop-plein de la mine continueraient à s'infiltrer et à migrer très lentement vers l'Orne à travers les roches du Primaire. Le débit total d'infiltration de l'eau des cavités vers les formations du Primaire (860 m³/j) pourrait, si les eaux de la mine venaient à être polluées, être à l'origine d'une dégradation de la qualité des nappes du Primaire.

De juin 1991 à mars 1992, le piézomètre PZ31, situé entre l'extrémité ouest du flanc Nord et l'Orne, a été utilisé pour mesurer les différentes substances intéressantes liées à la circulation par infiltration des eaux d'exhaure. Les résultats de cette observation sont les suivants (Tableau 6) :

	Juin 1991	Mars 1992
Sulfates (mg/L)	68	137
Phénols (mg/L)	< 0,05	< 0,05
Hydrocarbures (mg/L)	< 0,05	< 0,05
H.A.P.* (µg/L)	0,041	0,026
Fer (mg/L)	2,7	2,05
Manganèse (mg/L)	0,14	0,09

Tableau 6 – Résultats du suivi des teneurs sur le piézomètre PZ31 pendant la période d'observation suite au remplissage final de la mine

* somme des six HAP suivants : fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, indéno(1,2,3-c,d)pyrène

Le passage dans les terrains du Primaire des eaux venant du stockage et allant vers l'Orne par infiltration se traduit, au niveau du piézomètre PZ31, par l'élévation des teneurs en sulfates. En effet, aux extrémités ouest des cavités, l'eau imbibant les formations du Primaire aura naturellement des caractéristiques tendant vers celles de l'eau contenue dans le stockage.

1.1.2.5 QUALITÉ DES EAUX DU PRIMAIRE POSTÉRIEURE AU STOCKAGE

1.1.2.5.1 SUIVI DE LA QUALITÉ DES EAUX DU PRIMAIRE DE MARS 1992 À AVRIL 1997

Le tableau suivant synthétise les résultats des analyses effectuées sur les piézomètres PZ10 et PZ31 depuis mars 1992 jusqu'à avril 1997. Les résultats des analyses de mars 1992 et juin 1993 sont extraits d'un document de la DRIRE du 30 juillet 1993 relatif à la fermeture du stockage. Les analyses réalisées de septembre 1993 à avril 1997 sont issues de rapports du BRGM, organisme qui a assuré la surveillance de PZ10 et PZ31 pendant cette période (Tableau 7 et 8).

Teneurs dans PZ 10	03/92	06/93	09/93	10/93	11/93	12/93	12/94	06/95	01/96	04/97
Hydrocarbures (mg/L)	< 0,1	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,3	0,3	< 0,1	0,3
Phénols (mg/L)	-	< 0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
6 HAP (µg/L)	< 0,1	< 0,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfates (mg/L)	71	54	72	66	64	68,5	80,3	89,6	93,5	78,5
Fer (mg/L)	1,86	2,6	3,15	1,55	2,7	10,35	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,03
Manganèse (mg/L)	0,1	0,42	0,45	0,62	1,37	0,21	0,3	0,27	0,37	0,42

Tableau 7 - Résultats des analyses d'eau récentes effectuées sur les eaux du piézomètre PZ10

Teneurs dans PZ 31	03/92	06/93	09/93	10/93	11/93	12/93	12/94	06/95	01/96	04/97
Hydrocarbures (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,4	0,1	< 0,1	0,3
Phénols(mg/L)	< 0,05	< 0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
6 HAP (µg/L)	0,026	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfates (mg/L)	137	89	92	84	80	79,6	58,6	72,8	62,6	43,3
Fer (mg/L)	2,05	4,7	5,2	3,7	4	4,1	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Manganèse (mg/L)	0,086	0,32	0,33	0,31	0,33	0,29	0,075	0,078	0,113	0,127

Tableau 8 - Résultats des analyses d'eau récentes effectuées sur les eaux du piézomètre PZ31

Etant donnée la localisation des piézomètres PZ10 et PZ31 sur le chemin des eaux d'infiltration de la mine vers l'Orne, il est judicieux de comparer les concentrations obtenues sur ces piézomètres avec les seuils fixés par l'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991, relatif à la qualité des eaux des émergences minières. Ces seuils auraient en effet très bien pu s'appliquer à la qualité des eaux dans ces deux piézomètres.

➤ Les hydrocarbures

Jusqu'en 1993, les hydrocarbures n'ont pas été détectés, ni quantifiés (limites de détection comprises entre 0,1 et 0,05 mg/L). En 1994, les deux piézomètres montraient des concentrations en hydrocarbures faibles (0,1 à 0,4 mg/L), nettement inférieures aux normes retenues par l'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991. En juin 1995, la concentration est restée la même sur le piézomètre PZ10, tandis que le piézomètre PZ31 est redevenu exempt de toute trace d'hydrocarbures. En janvier 1996, les deux piézomètres ne présentent plus d'hydrocarbures décelables. Cependant, les dernières mesures d'avril 1997 indiquent des teneurs en hydrocarbures du même ordre que celles obtenues en 1994-1995. Les légères variations en dents de scie des concentrations en hydrocarbures dans les deux piézomètres pourraient résulter de variations du niveau piézométrique, une remontée de ce dernier conduisant à la reprise d'hydrocarbures sur les parois par les eaux souterraines.

Cependant, la justification des variations observées en décembre 1994 pourrait passer par la prise en compte de certaines modifications des protocoles d'échantillonnage et d'analyse à partir de cette date :

- les prélèvements effectués après décembre 1994 sont réalisés suite à une période de pompage préalable, ce qui n'était pas précisé pour les résultats précédant cette date,
- les protocoles analytiques selon lesquelles les analyses des hydrocarbures totaux sont effectuées ont changé à partir de décembre 1994.

➤ Les sulfates

Les concentrations en sulfates sont en deçà des normes de rejet fixées par l'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991 (250 mg/L).

Au niveau de PZ10, la concentration en sulfates, en augmentation régulière de 1993 à 1996, amorce une légère diminution en chutant de 93,5 mg/L en 1996 à 78,5 mg/L en avril 1997. Sur le piézomètre PZ31, la concentration en sulfates diminue depuis septembre 1993 (à l'exception d'une légère remontée en juin 1995) et atteint, en avril 1997, une valeur de 43,3 mg/L.

➤ Le fer et le manganèse

Entre décembre 1993 et décembre 1994, les teneurs en fer ont chuté d'un facteur 100. Cette différence correspond à un changement d'opérateur avec indication de pompage préalable dans les piézomètres avant prise d'échantillon, ce qui n'était pas précisé pour les résultats précédents. Tout comme pour le changement significatif des concentrations en hydrocarbures constaté à cette date, ce changement de mode opératoire pourrait à lui seul expliquer la chute de la teneur en fer.

Ainsi, de décembre 1994 à avril 1997, les teneurs en fer mesurées sur les piézomètres PZ10 et PZ31 sont inférieures au seuil de détection de la méthode analytique employée, à l'exception de la mesure d'avril 1997 effectuée en PZ10 (0,03 mg/L).

Les concentrations en manganèse présentent une tendance à l'augmentation depuis 1995-1996, aboutissant en avril 1997 à 0,42 mg/L en PZ10 et 0,127 mg/L en PZ31. Les teneurs sont toujours plus élevées au niveau de PZ10 qu'au niveau de PZ31.

Investigations complémentaires menées par l'INERIS

Le 8 juin 2004, des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés au niveau des piézomètres PZ31 sur le flanc Nord et PZ10 sur le flanc Sud lors de la visite de terrain effectuée par l'INERIS. Les échantillons ont été analysés selon le programme analytique suivant :

- Pour les Hydrocarbures Totaux, analyse suivant la norme NF EN ISO 9377-2,
- Pour les 16 H.A.P. (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), analyse suivant la norme NF ISO 17993,
- Pour les B.T.E.X. et le naphthalène, analyse suivant la norme NF EN ISO 11423-1,
- Pour les sulfates, dosage selon la norme NF EN 10304,
- Pour les métaux, analyse (après filtration) suivant les normes NF EN ISO 885 (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) et NF EN ISO 15586 (As, Se).

Le contenu des bulletins analytiques de laboratoire est présenté et confronté aux normes de qualité fixées par l'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991 dans les tableaux suivants (Tableaux 9, 10, 11, 12, 13 et 14). Pour information, les normes supérieures de potabilité pour les paramètres considérés sont reportées.

	PZ 31 - Flanc Nord	PZ10 - Flanc Sud	Arrêté préfectoral du 15/11/91	Normes de potabilité - Décret 20/12/2001 annexe I-1
Hydrocarbures totaux	< LQ ¹	< LQ ¹	1 mg/L	0,01 mg/L

Tableau 9 - Résultats des analyses des Hydrocarbures totaux des échantillons prélevés sur PZ31 et PZ10 le 8 juin 2004

1 : « <LQ » = teneur comprise entre la limite de détection (0,03 mg/L) et la limite de quantification (0,1 mg/L)

		PZ 31 - Flanc Nord	PZ10 - Flanc Sud	Arrêté préfectoral du 15/11/91	Normes de potabilité - Décret 20/12/2001 annexe I-1
H.A.P. (µg/L)	Naphtalène	0,151	0,138	-	-
	Acénaphthène	0,0005	0,0002	-	-
	Fluorène	0,0013	0,0004	-	-
	Phénanthrène	0,0042	0,004	-	-
	Anthracène	0,0002	0,0001	-	-
	Fluoranthène (*)	0,0011	0,001	-	-
	Pyrène	< 0,0008	< 0,0008	-	-
	Benzo(a)anthracène	< 0,0002	0,0003	-	-
	Chrysène	0,0003	0,0003	-	-
	Benzo(b)fluoranthène (*)(**)	0,0003	0,0001	-	-
	Benzo(k)fluoranthène (*)(**)	0,0001	0,0001	-	-
	Benzo(a)pyrène (*)	0,0002	0,0001	-	0,01
	Dibenzo(a,h)anthracène	< 0,000003	< 0,000003	-	-
	Benzo(g,h,i)perylène (*)(**)	< 0,00011	< 0,00011	-	-
	Indeno(1,2,3-c,d)pyrène (*) (**)	< 0,00008	< 0,00008	-	-
	Somme des six (*)	0,00189	0,00149	1	-
Somme des quatre (**)	0,00059	0,00039	-	0,1	

Tableau 10 - Résultats des analyses des H.A.P. des échantillons prélevés sur PZ31 et PZ10 le 8 juin 2004

		PZ 31 - Flanc Nord	PZ10 - Flanc Sud	Normes de potabilité Décret 20/12/2001 annexe I-1
BTEX (µg/L)	Benzène	< 1,5	< 1,5	1
	Toluène	< 1	< 1	700
	Ethylbenzène	< 1,5	< 1,5	300
	Xylènes	< 3	< 3	500

Tableau 11 – Résultats des analyses des B.T.E.X. et le naphtalène des échantillons prélevés sur PZ31 et PZ10 le 8 juin 2004

Par ailleurs, une analyse qualitative des composés organiques « lourds » et « légers » a été réalisée sur des échantillons des galeries B et 1 par chromatographie et spectrométrie de masse (GC-MS). Les résultats figurent dans le tableau suivant.

Composés ciblés	PZ 31		PZ 10	
	« Légers »	« Lourds »	« Légers »	« Lourds »
Composés identifiés ↓				
Trichloroéthane	Nd	Non détectable	Nd	Non détectable
Trichloroéthylène	X		X	
Tétrachloroéthylène	Nd		Nd	
Hexane	X		Nd	
Diéthylphtalate	Nd	X	X	Nd
Propamoate de 2-méthyl-1,1-(1,1 diméthyl ethyl)-2-méthyl-1,3-propanediyle	Nd	Nd	X	Nd
Composés soufrés cycliques	Nd	Nd	Nd	Nd
Alkyls benzène	Nd	Trace	Nd	Nd
Alkyls naphtalène	Nd	Nd	Nd	Nd
Fond constitué d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques	Nd	X	Nd	X

Tableau 12 – Résultats de l'identification par GC-MS des composés organiques présents dans les eaux prélevées dans les piézomètres PZ31 et PZ10
« Nd » = non détecté « X » = détecté

La méthode analytique utilisée ne permet pas la quantification des substances.

	PZ 31 - Flanc Nord	PZ10 - Flanc Sud	Arrêté préfectoral du 15/11/91	Normes de potabilité Décret 20/12/2001 annexe I-1
Sulfates (mg/L)	57 +/- 1	66 +/- 1	250	250

Tableau 13 - Résultats des analyses des sulfates des échantillons prélevés sur PZ31 et PZ10 le 8 juin 2004

		PZ 31 - Flanc Nord	PZ10 - Flanc Sud	Objectif de qualité de l'Orne (classe 1B)	Normes de potabilité – Décret 20/12/2001 annexe I-1
METAUX (µg/L)	Arsenic	< 10	< 10	-	10
	Cadmium	< 9	< 9	-	5
	Chrome	< 7	< 7	-	50
	Cuivre	< 16	< 16	-	2000
	Fer	< 24	< 24	1000	200
	Manganèse	214 +/- 4	225 +/- 4	250	50
	Nickel	< 9	< 9	-	20
	Plomb	< 33	< 33	-	25
	Zinc	< 25	42 +/- 1	-	3000
	Sélénium	< 10	< 10	-	-

Tableau 14 - Résultats des analyses des métaux des échantillons prélevés sur PZ31 et PZ10 le 8 juin 2004

Synthèse des résultats analytiques du 8 juin 2004

Ces résultats mettent en évidence des **teneurs en hydrocarbures totaux comprises entre 0,03 et 0,1 mg/L.**

Les teneurs en **H.A.P.** sont **extrêmement faibles** et les **B.T.E.X.** **ne sont pas présents en quantités mesurables.** Les teneurs en H.A.P. et en B.T.E.X. respectent les seuils fixés par l'arrêté préfectoral du 15/11/91. Ces résultats sont par ailleurs conformes aux normes de potabilité des eaux. Une indétermination relative au benzène persiste car sa limite de détection (< 1,5 µg/L) est légèrement supérieure à la norme de potabilité (1 µg/L).

Les teneurs en hydrocarbures totaux (comprises entre 0,03 et 0,1 mg/l) ne peuvent s'expliquer par les composés analysés spécifiquement, qui sont les H.A.P. et les B.T.E.X. Les GC/MS effectués sur les échantillons d'eau des deux piézomètres laissent apparaître des composés non quantifiés dans le cadre de cette étude, qui peuvent expliquer les teneurs en HCT fournies. Ce sont pour les deux piézomètres des **hydrocarbures aliphatiques et aromatiques divers**, non différenciés par la méthode d'analyse. Au final, la teneur en hydrocarbures totaux est supérieure, au minimum, à trois fois la limite de potabilité.

Les **concentrations en sulfates**, toujours **inférieures aux seuils de qualité fixés par l'arrêté préfectoral du 15/11/91**, sont du même ordre de grandeur que celles observées lors de la dernière campagne d'analyses menée par le BRGM en 1997. Ces concentrations sont également inférieures aux normes de potabilité.

L'ensemble des analyses effectuées sur les eaux de PZ10 et PZ31 pour les métaux présente des résultats inférieurs aux limites de quantification des méthodes utilisées. **Seul le manganèse est présent en quantité mesurable**, et sa concentration dans les eaux du Primaire au niveau des deux piézomètres étudiés est de l'ordre de 0,220 mg/L. Cette valeur obtenue sur des eaux qui transitent de la mine vers l'Orne étant inférieure aux objectifs de qualité de l'Orne à ce niveau, ne peut pas influencer sur la classe de qualité du fleuve. A l'exception du manganèse, les concentrations en métaux obtenues ne contredisent pas les normes de potabilité. Seuls le cadmium, le chrome et le plomb ont des limites de quantification telles qu'elles ne permettent pas de situer les concentrations réelles par rapport aux seuils de potabilité.

1.2 QUALITÉ DES EAUX DANS LA MINE, DES EAUX D'EXHAURE ET DES ÉMERGENCES MINIÈRES

1.2.1 QUALITÉ DES EAUX PENDANT L'EXPLOITATION DU STOCKAGE

L'eau dans la mine est constituée, pour sa majeure partie, de l'eau de l'Orne non traitée prélevée au niveau de May-sur-Orne, et dans une moindre proportion, de l'eau d'infiltration des formations géologiques environnantes.

Afin de prévenir les problèmes liés à des activités microbiologiques, la mine a été traitée à l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) et les traverses en bois ont subi un traitement au bactéricide avant le noyage de la mine. Ce traitement préventif a présenté une efficacité certaine puisque durant les premières années d'exploitation, aucune activité microbiologique n'a été constatée.

Lors des opérations de stockage, les eaux extraites de la mine, dites « eaux d'exhaure », étaient conduites par pipeline jusqu'à la station de GEOMINES-CAEN située au port pétrolier de Caen. Cette station de traitement des eaux d'exhaure assurait la séparation des eaux polluées et des eaux épurées par passage dans des bacs successifs et permettait le rejet des eaux traitées seules de façon à réduire le risque de pollution de l'Orne. Les rejets étaient effectués soit dans l'Orne en aval de l'agglomération de Caen, soit dans le canal et pouvaient alors, sur demande de la Direction Départementale de l'Équipement, contribuer à l'alimenter en période d'étiage. L'arrêté préfectoral du 20 avril 1980 autorisait, jusqu'au 31 décembre 1984, le rejet des eaux extraites de la mine après passage dans la station de traitement de GEOMINES-CAEN dans l'Orne ou dans le canal de Caen à la mer. Sur demande de la société GEOMINES-CAEN, cette autorisation a été renouvelée conduisant à l'arrêté préfectoral du 5 juin 1985.

En 1982, suite à une activité bactérienne qui s'est développée dans le stockage, le ciel gazeux et les phases liquides eau et gasoil ont été pollués par le méthane. La production de méthane dans l'eau du stockage résulte du développement de bactéries méthanogènes, initialement contenue dans l'eau de l'Orne qui est injectée sans traitement lors du déstockage de gasoil. Le substrat permettant le développement bactérien est constitué des sédiments de l'Orne injectés avec

l'eau, des hydrocarbures dissous dans l'eau à l'interface avec le gasoil, des traverses en bois de la mine, etc. En réponse, l'eau de la mine a été traitée à l'eau de Javel afin de traiter la phase aqueuse du stockage.

La station de traitement des eaux d'exhaure située à Caen enregistrait de façon régulière la composition de l'eau d'entrée de façon à ne pas sous-doser ni sur-doser le traitement appliqué. Ces enregistrements auraient fourni des données relatives à la qualité des eaux dans la mine et des eaux d'exhaure. Malheureusement, ces enregistrements ne figurent pas parmi les archives disponibles à la DRIRE.

1.2.2 QUALITÉ DES EAUX PENDANT LA FERMETURE DU STOCKAGE (DE JANVIER 1989 À MARS 1992)

1.2.2.1 LES TRAVAUX SPÉCIFIQUES MIS EN ŒUVRE POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DE L'EAU DANS LA MINE ET LA QUALITÉ DES EAUX D'ÉMERGENCE

➤ *Récupération des pièges à hydrocarbures lors de la vidange de la mine*

Lors de l'exploitation du stockage, la géométrie des vides de la mine et les conditions d'exploitation engendraient le piégeage de volumes non récupérables de deux type :

- les pièges profonds,
- les pièges géométriques.

A la fermeture du stockage, des opérations de vidange ont permis de récupérer une grande partie de ces pièges. En effet, l'exploitation a été conduite de manière à permettre l'écoulement gravitaire de presque toutes les eaux vers la partie la plus basse de la mine où se trouve un bassin de récupération (l'albraque). Par conséquent, les pièges profonds ont été récupérés par vidange totale. De plus, lors de la vidange, des mouvements de balancement successifs ont permis de réduire l'épaisseur de la tranche de gasoil partout où une circulation horizontale a pu être mise en place. La récupération des pièges a eu lieu à différentes étapes de la vidange : en 1984, la récupération était effectuée par remontée des niveaux sur le flanc Nord et par balancements jusqu'à la galerie V sur le flanc Sud ; en 1985, la récupération des pièges du flanc Nord était effectuée par le niveau L. L'ensemble de ces opérations a permis de récupérer une partie des pièges géométriques. Cependant, dans la galerie V, un seuil empêchait les écoulements et créait un piège de gazole au-delà du seuil (à l'est) par rapport aux pompes dont seule une partie a pu être récupérée par balancement. La récupération du gasoil résiduel piégé à l'est a nécessité la création d'un forage en 1986 débouchant dans une chambre en son point bas, ce qui a permis le pompage et le transfert à l'ouest du seuil de l'eau et des hydrocarbures (Figure 12).

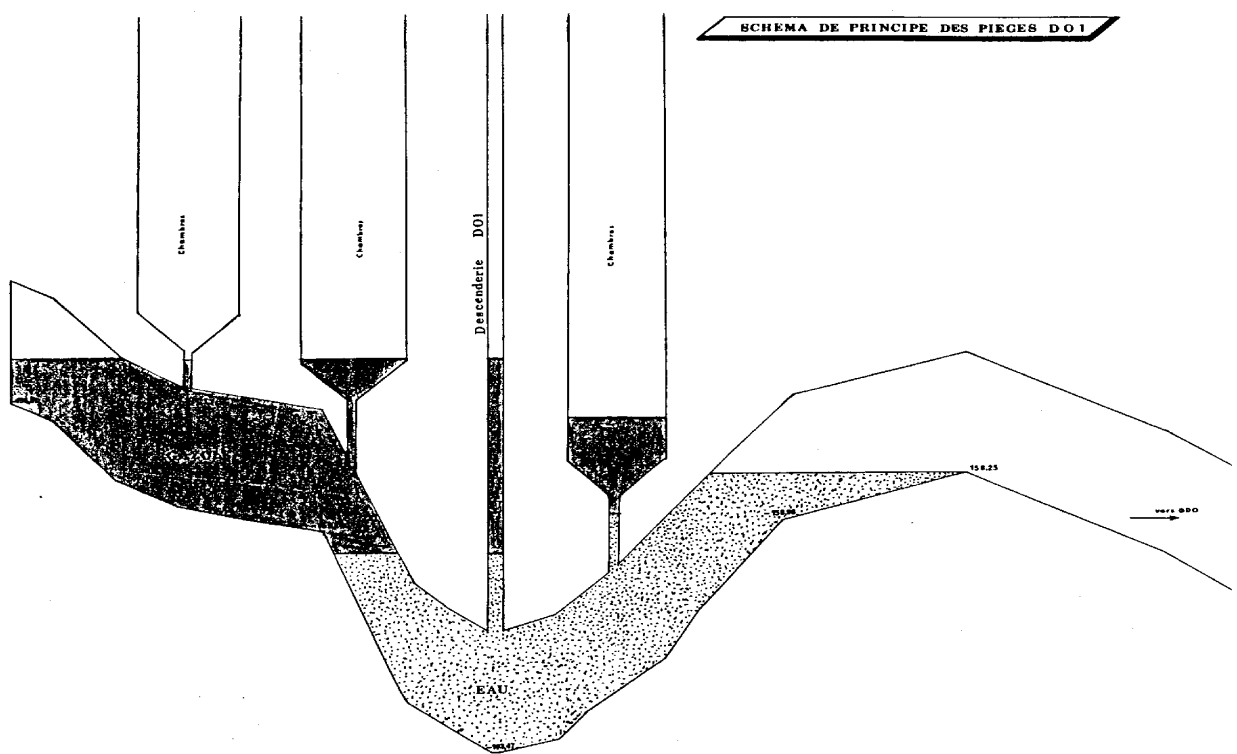


Figure 12 – Schéma de récupération du gazoil piégé à l'extrémité est du flanc Sud

Tous les produits récupérés étaient envoyés à la station de traitement de Caen.

➤ *Les opérations d'écumage pendant le remplissage*

Suite à la première phase de remplissage en eau de la mine, des opérations de remplissage et de pompage successives permettaient de récupérer des hydrocarbures piégés du fait de la géométrie des cavités. Les eaux

hydrocarburées récupérées étaient envoyées à la station de traitement de Caen et remplacées par de l'eau de l'Orne traitée au bisulfite. Ainsi, environ 251 400 m³ ont été écrémés sur le flanc Nord et 292 100 m³ sur le flanc Sud. Ces opérations d'écumage ont été interrompues début juin 1990.

De plus, l'exploitation du stockage de gasoil s'est faite à niveau constant, seule l'interface eau-gasoil variant avec les phases de stockage et de déstockage. Les hydrocarbures compris entre le niveau supérieur du gasoil et la cote minimale atteinte par l'interface eau-gasoil, qui n'avaient pas été récupérés lors de la vidange de la mine, ont vraisemblablement été remis en circulation lors du remplissage de la mine et écrémés.

En raison des travaux de récupération des hydrocarbures mis en œuvre et de la configuration de la mine, la possibilité d'une migration d'un volume important de gasoil resté bloqué dans un piège et provoquant une forte pollution est donc jugée improbable (avis de l'époque).

➤ *Le traitement de l'eau de l'Orne injectée*

L'eau de l'Orne injectée dans la mine était désoxygénée par du bisulfite de sodium dont la réaction avec l'oxygène est catalysée par du sulfate de cobalt. La désoxygénation de l'eau empêche la formation de produits d'oxydation du gasoil par un métabolisme aérobie et prive alors la méthanogenèse de nouvelles sources de substrats carbonés. Par ailleurs, la fourniture en ions sulfites, oxydables en sulfates, favorise la multiplication des bactéries sulfato-réductrices de l'Orne par rapport aux bactéries méthanogènes. Ainsi en limitant l'apport d'oxygène dissous dans l'eau, on évite la production de méthane en anaérobiose sous l'action d'une microflore méthanogène.

➤ *Les bassins de récupération*

GEOMINES a procédé à l'exécution de deux ouvrages de rejet des eaux de surverse permettant les prélèvements et les mesures de débit. Le premier, relatif au flanc Sud, a été réalisé en novembre et décembre 1989 et le second, relatif au flanc Nord, a été construit de fin janvier à début mars 1990. Ces deux ouvrages permettent une décantation des eaux éventuellement polluées, leur pompage en partie supérieure et une évacuation des eaux décantées en partie inférieure. Le fonctionnement de ces ouvrages est le suivant :

- en période de fonctionnement normal, des tubes munis de robinets-vannes, scellés en partie inférieure du barrage, permettent le rejet des eaux décantées vers l'Orne,
- en cas de pollution, les vannes sont fermées, provoquant la remontée de l'eau derrière le barrage et un débordement. Une cloison étanche, derrière le barrage, laisse passer les eaux décantées et retient les eaux potentiellement polluées, qui peuvent alors être pompées et évacuées.

Pendant les périodes d'observation suite au remplissage de la mine, les eaux d'exhaure sont systématiquement analysées et envoyées vers la station de traitement des eaux sur le port de Caen.

Par la suite, après août 1993, des canalisations reliant les regards de mesure en béton des barrages à l'Orne permettent les rejets directs dans l'Orne, la canalisation plongeant dans le fleuve.

- Ainsi, pour le flanc Sud, l'eau a débordé dans la galerie du niveau I à la cote +12,48 m NGF. Comme prévu, les eaux sont retenues par un barrage en béton armé situé à 125 m de l'entrée de la galerie du niveau 1, puis reprises par une pompe de 100 m³/h. Cette pompe refoule l'eau vers le puits de la grande descenderie (GDO) puis à la station de traitement de Caen. Ainsi, du 16 mars 1991 au 16 mars 1992, un débit moyen de 17 m³/h est constamment évacué vers la station,
- Pour le flanc Nord, les eaux sont retenues par un barrage en béton armé situé à une cinquantaine de mètres de l'entrée de la galerie du niveau B. Ces eaux sont alors pompées et refoulées au puits Saint-André puis vers la station de traitement de Caen. Or, lors du remplissage final de la mine, le niveau de débordement prévu pour ce flanc (+15,18 m NGF) n'a pas pu être maintenu et la cote d'eau s'est stabilisée à +13,65 m NGF. Contrairement aux prévisions, il n'y a donc pas eu d'émergence sur ce flanc.

Des pompes localisées dans la Grande descenderie, dans le puits central et le puits Saint-André peuvent abaisser le niveau dans le stockage et éviter le débordement des barrages.

1.2.2.2 LES OBJECTIFS DE QUALITÉ DES EAUX D'ÉMERGENCE : ARRÊTÉ DU 15 NOV. 1991

Le suivi effectué sur les eaux de la mine et des eaux d'exhaure doit permettre de vérifier l'absence d'impact du rejet de ces eaux sur la qualité des eaux de l'Orne. Or, depuis 1976, une station d'alimentation en eau potable de la ville de Caen se trouve située en aval des rejets futurs des eaux de mine, à Louvigny.

L'**arrêté préfectoral du 15 novembre 1991** relatif à la fermeture du stockage souterrain d'hydrocarbures de May-sur-Orne, qui définit notamment les mesures concernant la qualité des eaux d'émergence et leur rejet dans l'Orne, prend en compte cette situation. Il reprend, en effet, pour les eaux d'émergence, les **normes de qualité de l'eau brute destinée à la production d'eau potable** de l'annexe III du décret 89.3 du 3 janvier 1989 concernant les **sulfates**, les **hydrocarbures**, les **H.A.P.** et les **phénols**.

Ces normes sont complétées par les concentrations limites en **fer** et en **manganèse** liées au respect des **objectifs de qualité** des eaux de l'Orne sur le secteur allant du barrage de Grimbosq à l'amont de Caen. Ces concentrations limites correspondent à une classe de qualité 1B. Elles sont définies par l'annexe 1 de l'arrêté préfectoral du 29 mai 1984 relatif à l' « objectif de qualité des eaux superficielles du Calvados ».

Le tableau 15 fait le bilan de ces valeurs-seuils.

	Substance	Concentration limite
Selon le décret 89.3 du 3 janvier 1989 annexe III	Sulfates	250 mg/L
	Hydrocarbures	1 mg/L
	H.A.P.*	1 µg/L
	Phénols	0,1 mg/L
Selon les objectifs de qualité de l'Orne	Fer	1 mg/L

	Manganèse	0,25 mg/L
--	-----------	-----------

Tableau 15 – Normes et objectifs de qualité relatifs au rejets des eaux d'émergence du stockage dans l'Orne

** somme des six HAP suivants : fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, indéno(1,2,3-c,d)pyrène*

1.2.2.3 EVOLUTION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DANS LA MINE PENDANT LES TRAVAUX DE FERMETURE DU STOCKAGE

➤ *Qualité des eaux suite à la vidange complète de la mine : janvier - avril 1989*

A la fin de la vidange totale des deux flancs de la mine, une période d'observation a permis, au cours des mois de janvier, février et mars 1989, le contrôle de la qualité des eaux. Sur le flanc Sud de la mine, le gasoil a été presque totalement évacué lors de la vidange. En revanche, du gasoil pouvait encore être pompé dans l'albraque sur le flanc Nord. Une série d'injections et de pompages effectuée en avril 1989 (mouvements de balancement) ont permis d'éliminer ces hydrocarbures.

Cette période d'observation a conduit aux conclusions suivantes :

- L'observation des paramètres tels que la résistivité, le pH, l'azote total, l'oxygène dissous et la dureté calcique a montré qu'ils présentaient des caractéristiques acceptables et ne faisaient pas ressortir de variations importantes. Seul l'oxygène du flanc Sud a augmenté au moment de la mise à l'atmosphère de l'albraque,
- Les teneurs en fer sur le flanc Sud en particulier ont présenté une tendance à la diminution, par dilution avec l'eau d'infiltration des terrains de surface,
- Les fluctuations des paramètres liés à la teneur en matière organique étaient en relation avec les mouvements de balancement réalisés pour récupérer le gasoil,
- Les teneurs en hydrocarbures, la DCO et la DBO ne permettaient pas d'exclure une reprise lente de l'activité méthanogène. Il était donc souhaitable de mettre en œuvre un dispositif destiné à consommer la matière organique résiduelle en désoxygénant l'eau de remplissage issue de l'Orne par du bisulfite.

Les prélèvements effectués pendant le second semestre 1989 ont permis de mettre en évidence une population importante de sulfato-réducteurs (entre 10^5 et 10^6 bactéries/mL), ainsi que des bactéries dénitrifiantes (10^4 bactéries/mL). En revanche, les bactéries méthanogènes sont en nombre limité (100 à 1000 bactéries/mL).

➤ *Qualité des eaux dans la mine pendant le remplissage et les périodes d'observation associées : mai 1989 - juin 1991*

Depuis le début du remplissage en eau de la mine à la fin de la période d'observation qui a suivi la phase finale du remplissage (mai 1989 – juin 1991), les analyses suivantes sont régulièrement effectuées :

- Mensuellement : analyse bactériologique et chimique complète de prélèvements réalisés au Puits Central (niveau XII) ou Grande Descenderie Ouest pour le flanc Sud et au Puits Saint-André (niveau P) pour le flanc Nord,
- Tous les dix jours : analyse bactériologique et chimique complète de prélèvements réalisés à trois mètres sous le niveau supérieur de l'eau dans le Puits Central et le Puits Saint-André.

Pendant la première phase de remplissage et la période d'observation qui a suivi, la qualité des eaux dans la mine a été analysée suivant un programme conforme aux instructions de la DRIRE à partir de prélèvements réalisés au niveau du Puits Central et de la Grande Descenderie Ouest pour le flanc Sud, au niveau du Puits Saint-André pour le flanc Nord. Le tableau suivant fait le bilan de ces données, en relation directe avec l'activité minière et de stockage qu'a supporté le site (Tableau 16).

Paramètres analysés	Teneurs – Flanc Nord	Teneurs – Flanc Sud	Commentaires
Phénols	En général < 0,05 mg/L (l.d.)	En général < 0,05 mg/L (l.d.)	Des valeurs comprises entre 0,1 et 0,4 mg/L pour les phénols et entre 2 et 3 mg/L pour les HCT sont parfois mesurées et proviennent de la contamination des échantillonneurs lors du passage de l'interface.
Hydrocarbures totaux (HCT)	En général < 1 mg/L	En général < 1 mg/L	
H.A.P.	Teneur généralement inférieure au seuil de détection de chaque H.A.P. Le total des six H.A.P. analysés est toujours inférieur à 0,2 ppm.		-
Sulfates	Entre 200 et 280 mg/L	Entre 200 et 300 mg/L	Les sulfates résultent du traitement au bisulfite de l'eau injectée. Leur teneur pourrait diminuer sous l'action des bactéries sulfato-réductrices.
Fer total	Entre 10 et 30 mg/L	Entre 10 et 45 mg/L	Les teneurs élevées sont obtenues au niveau IX du flanc sud, où l'entraînement de rouille lors de l'échantillonnage est supposé.
Manganèse	Entre 1 et 3 mg/L	Entre 1 et 2,5 mg/L	-

Activité biologique	Mise en évidence d'une population importante de bactéries sulfato-réductrices (10^5 bactéries/mL) et d'une population de bactéries méthanogènes plus limitée (10^2 bactéries/mL) qui ne se développe pas.	L'activité méthanogène est pratiquement négligeable.
---------------------	---	--

Tableau 16 – Qualité des eaux de la mine suite au premier remplissage, pendant la période d'écrémages successifs et d'observation (entre janvier et mars 1990)

« Id » : limite de détection

La désoxygénation des eaux de l'Orne, assurée par oxydation catalytique des sulfites, est efficace puisque la teneur résiduelle en oxygène dissous a diminué jusqu'à 1 mg/L. C'est seulement cet oxygène dissous qui a participé à l'oxydation partielle des composés hydrocarbonés du gasoil, générant de la biomasse et des substrats carbonés, lesquels vont servir de base à la production bactérienne de méthane et de dioxyde de carbone. Le fait de ne plus avoir que 1 mg/L d'oxygène dissous ne peut entraîner la formation que de 0,5 mg/L de méthane. Sous l'influence des eaux d'infiltration, les teneurs en oxygène résiduelles sont un peu plus importantes dans le flanc Sud que le flanc Nord, sans pour autant que le comportement physico-chimique des deux flancs diffère. Le traitement de l'eau par le bisulfite mis en place favoriserait la précipitation du fer et empêcherait tout dégagement de méthane.

C'est le flanc Nord qui contenait l'eau la plus chargée en matière organique. Cependant, les teneurs moyennes en D.C.O. (50 mg/L) et en C.O.T. (20 mg/L) des eaux du flanc Nord déterminées en début d'année 1990 étaient raisonnables et ne pouvaient générer, au pire, que 12mg/L de méthane, valeur largement inférieure à la solubilité de ce gaz dans les conditions de stockage. Le flanc Sud, qui était le siège d'une activité microbiologique moins intense, ne contenait que 5 mg/L de carbone organique. Les analyses microbiologiques effectuées dans le puits Central et le dénombrement des micro-organismes présents ont révélé une activité biologique moins intense : 1000 bactéries sulfato-réductrices par mL et aucune bactérie méthanogène n'a été trouvée.

Par ailleurs, pendant cette période d'observation qui a été prolongée jusqu'à la fin de l'année 1990, deux visites de la mine (galerie du niveau I, galerie des visiteurs, galerie du niveau II puis galerie du niveau III sur le flanc Sud) ont eu lieu le 5 avril et le 20 septembre 1990. Les représentants de GEOMINES, GEOSTOCK, l'IFP, la DRIRE, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (etc.) ont vérifié l'état des roches, leur degré d'imprégnation par les hydrocarbures de façon à voir leur influence sur la qualité des eaux dans la mine et souterraines : ils ont constaté **l'absence de traces d'hydrocarbures sur les parois et l'impossibilité de localiser de visu le niveau maximum atteint par le gasoil en période de stockage**. Mais des analyses d'échantillons de roche effectuées par l'IFP ont montré que **l'huile a légèrement imprégné les parois et que les hydrocarbures qui y sont présents sont moins dégradés que ceux contenus dans les eaux. Une partie de l'huile pouvait donc migrer dans l'eau de remplissage mais les concentrations devaient rester faibles en raison des volumes mis en jeu et, de toute façon, décroître avec le temps.**

Pendant la phase de remplissage final de la mine et la période d'observation qui l'a suivi, la qualité des eaux dans la mine a été analysée suivant un programme conforme aux instructions de la DRIRE à partir de prélèvements réalisés au niveau de la Grande Descenderie Ouest pour le flanc Sud, au niveau du Puits Saint-André et de la chambre E pour le flanc Nord. Le tableau suivant fait le bilan de ces données, pour les paramètres en relation directe avec l'activité minière et de stockage qu'a supporté le site (Tableau 17).

Paramètres analysés	Teneurs – Flanc Nord	Teneurs - Flanc Sud
Phénols	< 0,05 mg/L (l.d.)	< 0,05 mg/L (l.d.)
Hydrocarbures totaux	< 0,05 mg/L	< 0,2 mg/L
H.A.P.	Le total des six H.A.P. analysés est toujours inférieur à 0,1 ppm.	Le total des six H.A.P. analysés est toujours inférieur à 0,2 ppm.
	Teneurs généralement inférieures au seuil de détection de chaque H.A.P.	
Sulfates	< 120 mg/L	< 150 mg/L
Fer + manganèse	Entre 10 et 15 mg/L	Environ 20 mg/L
Manganèse	Entre 1 et 2 mg/L	

Tableau 17 - Qualité des eaux de la mine pendant la période d'observation suite au remplissage final de la mine (entre mars et septembre 1991)

L'activité des bactéries sulfato-réductrices s'est traduite par une diminution des teneurs en sulfates, fer dissous, C.O.T.. Par ailleurs, la teneur en oxygène dissous dans l'eau contenue dans la mine, en surface comme en profondeur, était nettement inférieure à celle de l'Orne, preuve de l'efficacité du traitement au bisulfite de sodium.

➤ *Bilan sur la qualité des eaux dans la mine de janvier 1989 à juin 1991 (tableau 18)*

A titre purement informatif, les résultats du suivi de qualité des eaux de la mine de janvier 1989 à juin 1991 sont comparés aux concentrations limites fixées par l'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991 alors que celui-ci n'était alors pas sorti.

Les résultats indiquent que l'eau des cavités présente en général, des teneurs inférieures aux seuils admis pour « les eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine » (Décret n°89.3 du 03/01/89) et repris par l'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991.

Paramètres	Evolution		Limite fixée par l'arrêté préfectoral du 15/11/91	Commentaires
	FLANC NORD	FLANC SUD		
pH	JUSQU'À FIN 1989 : 7 < pH < 7,5 APRÈS CETTE DATE : pH ≈ 7		-	-
Sulfates	JUSQU'À MAI 1990 : augmentation jusqu'à 250 mg/L APRÈS CETTE DATE : stabilisation à 150 mg/L	JUSQU'À DECEMBRE 1989 : teneur < 100 mg/L APRÈS CETTE DATE : stabilisation vers 200 mg/L	250 mg/L (décret 89.3)	Ces teneurs sont dues à l'injection de bisulfite de sodium, se transformant en sulfate de sodium. Ces teneurs devraient diminuer par dilution par les eaux d'infiltration et sous l'action des bactéries sulfato-réductrices.
Phénols	Teneur < 0,05 mg/L (l.d.)		0,1 mg/L (décret 89.3)	-
Hydrocarbures totaux	EN GÉNÉRAL : teneur < 1 mg/L		1 mg/L (décret 89.3)	Selon GEOMINES, les teneurs importantes mesurées seraient dues à une contamination des échantillonneurs lors de la traversée du film de gazole résiduel dans le Puits Saint-André.
	JUSQU'À FIN 1989 : des teneurs importantes ont cependant été mesurées sur le flanc Nord.			
H.A.P.	EN GÉNÉRAL : teneur totale* < 0,2 µg/L teneur en chaque H.A.P. < seuil de détection		1 µg/L (décret 89.3)	-
	DE JUIN À SEPTEMBRE 1989 : des teneurs* entre 0,3 à 0,5 µg/L ont été mesurées sur le flanc Nord.	-		
Fer et manganèse	JUSQU'À FIN 1989 : 2 < [Fe] + [Mn] < 3 mg/L (dont 0,2 à 0,3 mg/L Mn) APRÈS CETTE DATE : 15 < [Fe] + [Mn] < 25 mg/L (dont 2 mg/L Mn)	JUSQU'À FIN 1989 : 2 < [Fe] + [Mn] < 3 mg/L (dont 0,2 à 0,3 mg/L Mn) APRÈS CETTE DATE : 30 < [Fe] + [Mn] < 40 mg/L (dont 1 à 2 mg/L Mn)	1,25 mg/L (objectif de qualité de l'Orne)	-
Carbone organique total	JUSQU'EN SEPTEMBRE 1990 : 50 < COT < 100 mg/L APRÈS CETTE DATE : 20 < COT < 40 mg/L	JUSQU'EN SEPTEMBRE 1990 : 10 < COT < 30 mg/L APRÈS CETTE DATE : 20 < COT < 40 mg/L	-	-

Tableau 18 – Evolution de la qualité des eaux dans la mine (paramètres liés à l'exploitation minière et de stockage) entre janvier 1989 et juin 1991

* somme des six HAP suivants : fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, indéno(1,2,3-c,d)pyrène

1.2.2.4 QUALITÉ DES EAUX D'ÉMERGENCE PENDANT LA PÉRIODE D'OBSERVATION SUITE AU REMPLISSAGE FINAL DE LA MINE (DU 16 MARS 1991 AU 16 MARS 1992)

Au cours de la période d'observation d'un an qui a suivi le remplissage final de la mine, du 16 mars 1991 au 16 mars 1992, le suivi analytique de la qualité des eaux d'émergence a été assuré par un organisme indépendant de GEOMINES-CAEN

et la totalité des eaux d'émergence a été évacuée vers la station de traitement des eaux du dépôt pétrolier de Caen.

Les prélèvements ont été réalisés aux futurs points de rejets effectifs des eaux d'émergence : dans la galerie I pour le flanc Sud et au puits IV de la galerie B pour le flanc Nord. Le tableau 19 donne les résultats des mesures effectuées du 16 mars 1991 au 16 mars 1992.

Substances analysées	Flanc Nord – Puits IV				Flanc Sud – Rejet niveau 1				Normes Arrêté du 15/11/91
	1	2	3	4	1	2	3	4	
Sulfates (mg/L)	212	117	104	212 le 16.3.91	226	170	142	232 le 17.3.91	< 250
Hydrocarbures (mg/L)	0,12	< 0,05	< 0,05	0,12 le 16.3.91	0,05	< 0,05	< 0,05	0,09 le 29.7.91	< 1
H.A.P.* (µg/L)	0	0,027	0,037	0,103 le 2.5.91	0,025	0,019	0,022	0,082 le 17.6.91	< 1
Phénols (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1

Tableau 19 - résultats des mesures de qualité des eaux (sulfates, hydrocarbures, H.A.P. et phénols) effectuées du 16 mars 1991 au 16 mars 1992 dans la galerie 1 pour le flanc Sud et au puits IV pour le flanc Nord

Le repère 1 représente le début de la période d'observation (16 mars 1991) ;

Le repère 2 représente le milieu de la période d'observation (30 septembre 1991) ;

Le repère 3 représente la fin de la période d'observation (16 mars 1992) ;

Le repère 4 représente la valeur de concentration la plus élevée sur l'ensemble de la période d'observation.

** somme des six HAP suivants : fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, indéno(1,2,3-c,d)pyrène*

Ces résultats d'analyse de l'eau d'exhaure sont complétés par des prélèvements de l'eau à l'intérieur de la mine effectués, sur le flanc Nord, dans les « cavités refoulement pompe » de la chambre E et du puits Saint-André et sur le flanc Sud, dans la « cavité refoulement pompe » GDO.

Les concentrations en sulfates, hydrocarbures, H.A.P. et phénols mesurées du 16 mars 1991 au 16 mars 1992 sont inférieures aux limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable. Sur le flanc Nord, on note une diminution des concentrations en sulfates, alors que les concentrations en bicarbonates augmentent, ce qui est cohérent avec la réduction du nombre de bactéries sulfato-réductrices (diminution de 10^3 à 10^2 bactéries/mL) observée. A cela s'ajoute la diminution de la flore aérobie qui passe de 10^3 - 10^4 à des valeurs inférieures à 100, entraînant un fléchissement très important des activités microbiennes. Les D.B.O. et C.O.T. semblent se stabiliser à des valeurs respectives de 5 mg/L et 20 mg/L qui ne présentent pas de risques quant à la production potentielle de méthane.

En revanche, les valeurs de concentration limite en fer et manganèse des objectifs de qualité de l'Orne portent sur les teneurs dans le cours d'eau. Il convient donc d'évaluer l'influence des concentrations mesurées dans les cavités sur les concentrations totales de l'Orne.

Le tableau 20 fournit les moyennes des mesures effectuées au cours des six derniers mois d'observation (de septembre 1991 à mars 1992), correspondant à la période la plus défavorable, ainsi que les concentrations moyennes sur un an en fer et manganèse de l'Orne. Puis ce tableau présente le calcul des teneurs prévisionnelles en ces deux éléments dans l'Orne en aval des rejets.

Concentrations mesurées				
Paramètres analysés	Flanc Nord	Flanc Sud	Orne en amont du rejet potentiel futur	Orne en aval du rejet potentiel futur
Fer (mg/L)	11,00	16,78	0,16	0,15
Manganèse (mg/L)	1,84	1,37	0,027	0,025
Fer+manganèse (mg/L)	12,84	18,15	0,187	0,175
Débit (m ³ /h)	6	50	8000	-
Calcul des contributions de chaque source aux concentrations dans l'Orne				
	Flanc Nord	Flanc Sud	Orne	TOTAL
Rapport de dilution	6/8056	50/8056	8000/8056	-
Fer (mg/L)	0,008	0,104	0,15	0,262
Manganèse (mg/L)	0,0014	0,0081	0,025	0,0345
Fer+manganèse (mg/L)	0,0096	0,1126	0,175	0,297
Concentrations maximales prévisionnelles dans l'Orne				
	Concentrations prévisionnelles dans l'Orne en aval des rejets		Objectif de qualité de l'Orne	
Fer (mg/L)	0,262		< 1 mg/L	
Manganèse (mg/L)	0,0345		< 0,25 mg/L	
Fer+manganèse (mg/L)	0,297		< 1,25 mg/L	

Tableau 20 – Evaluation de l'impact des concentrations en fer et manganèse dans les eaux d'exhaure sur les concentrations dans l'Orne

Les débits des flancs Nord et Sud sont les débits totaux, que les rejets dans l'Orne se fassent directement ou par infiltration. Le débit de l'Orne correspond au débit du fleuve retenu pour fixer les objectifs de qualité.

Depuis la fin de l'année 1989 jusqu'à mars 1992, les teneurs en fer et en manganèse diminuent grâce à l'injection de bisulfite.

Dans les calculs de dilution précédents, il n'a pas été tenu compte de l'effet favorable apporté par le mélange des eaux de la mine avec les eaux des sources de Rocquancourt, qui empruntent sur plus de 2 km la galerie en pente du niveau 1. D'après les résultats obtenus, même si ces concentrations restent élevées, **les teneurs en fer et en manganèse sont et resteront largement inférieures aux**

concentrations limites fixées pour les objectifs de qualité de l'eau de l'Orne sur le secteur (cf. paragraphe 5.2.2.2). Ainsi, le rejet direct des eaux d'exhaure de la mine dans l'Orne aura très peu d'impact sur la qualité d'ensemble de l'Orne qui, en tout état de cause, restera conforme aux dispositions de l'arrêté du 08/10/84.

1.2.3 QUALITÉ DES EAUX DE LA MINE ET DES EAUX D'EXHAURE POSTÉRIEURE AU STOCKAGE (DE MARS 1992 À 2004)

1.2.3.1 QUALITÉ DES EAUX

La période d'observation d'une année après la fin du remplissage de la mine s'est terminée le 16 mars 1992, et a été poursuivie par une surveillance allégée (mensuelle) des eaux dans les cavités et des eaux d'émergence de mars à octobre 1992. Les résultats figurent dans le tableau 21 ci-dessous.

	Flanc Nord	Flanc Sud	Arrêté du 15/11/91	
Sulfates (mg/L)	< 103	< 145	< 250	Limites s'appliquant aux eaux des émergences minières
Hydrocarbures (mg/L)	< 0,13	< 0,08	< 1	
H.A.P.* (µg/L)	< 0,03	< 0,03	< 1	
Phénols (mg/L)	< 0,05	< 0,05	< 0,1	
Fer (mg/L)	< 13,20	< 17	< 1	Limites s'appliquant à l'eau de l'Orne
Manganèse (mg/L)	< 1,9	< 1,3	< 0,25	

Tableau 21 - Résultats de la période de post-observation des eaux dans les cavités minières (mars – octobre 1992)

** somme des six HAP suivants : fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, indéno(1,2,3-c,d)pyrène*

De mars 1992 à juin 1993, les eaux des cavités et les eaux de surverse sont analysées mensuellement et les eaux d'émergence sont systématiquement évacuées vers la station de traitement. Le tableau 22 fait le bilan de cette surveillance.

	FLANC NORD						FLANC SUD					
	Chambre E			Puits Saint-André			Niveau 1			GDO		
	03/92	06/93	Δ (%)	03/92	06/93	Δ (%)	03/92	06/93	Δ (%)	03/92	06/93	Δ (%)
Sulfates (mg/L)	103	22	-79 %	90	17	-81 %	142	40	-71 %	145	38	-74 %
Hydrocarbures (mg/L)	< 0,05	< 0,05	0	< 0,05	< 0,05	0	< 0,05	< 0,05	0	< 0,05	< 0,05	0
H.A.P.* (µg/L)	0	0,025	-	0	0	0	0,022	0,021	4,5 %	< 0,022	< 0,021	0
Phénols (mg/L)	< 0,05	< 0,05	0	< 0,05	< 0,05	0	< 0,05	< 0,05	0	< 0,05	< 0,05	0
Fer (mg/L)	9	6,95	-23 %	11,1	11,8	6,3 %	14,4	12	-17 %	17	13,9	-18 %
Manganèse (mg/L)	1,81	1,40	-23 %	1,65	1,3	-22 %	1,23	0,79	-46 %	1,2	0,81	-33 %

Tableau 22 – Caractéristiques des eaux de la mine et des eaux d'émergence du stockage de May-sur-Orne en date du 30 juin 1993 (d'après document DRIRE)

** somme des six HAP suivants : fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, indéno(1,2,3-c,d)pyrène*

Les concentrations en sulfates, en hydrocarbures, en H.A.P. et en phénols sont inférieures aux seuils fixés par l'arrêté préfectoral du 15.11.91. Ces valeurs mettent, de plus, en évidence une tendance à la **diminution progressive de la concentration en sulfates** (par dilution grâce aux eaux d'infiltration venant du Jurassique et par réduction sous l'action de bactérie sulfato-réductrices). En revanche, **les teneurs en fer et en manganèse sont élevées**, ce qui est normal pour des eaux ayant transité dans une ancienne mine de fer. Ces teneurs, bien que variables, auraient tendance à diminuer dans les cavités de la mine. Au niveau du rejet, les concentrations en fer et en manganèse, du même ordre de grandeur que celles observées pendant la période annuelle d'observation qui a précédé (16 mars 1991-16 mars 1992), **ne sont pas susceptibles de conduire au dépassement des objectifs de qualité de l'Orne.**

Ainsi, du 16 mars 1991 au mois de juin 1993, la qualité de ces eaux satisfaisant aux normes fixées par l'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991, **la société GEOMINES-CAEN est autorisée, le 10 août 1993, à organiser leurs rejets naturels dans l'Orne.** Néanmoins, la surveillance de la qualité des eaux d'exhaure à la sortie des galeries 1 (flanc Nord) et B (flanc Sud) a été maintenue jusqu'à la date de déclaration d'achèvement des travaux, le 1^{er} février 1994.

A partir de septembre 1993, seuls les piézomètres PZ10 et PZ31 sont suivis pour la qualité des eaux souterraines, des eaux de mine et des eaux d'exhaure.

1.2.3.2 ACCESSIBILITÉ DES EAUX D'EXHAURE

Les teneurs en fer et en manganèse des eaux d'exhaure sont élevées, et certains usages de cette eaux pourraient présenter des effets nocifs pour la santé.

Depuis l'arrêté du 10 août 1993, les eaux de surverse des barrages des galeries B et I sont rejetées dans l'Orne, sous son niveau d'eau (photo en Figure 13).



Figure 13 – Photo du rejet des eaux de surverse du barrage de la galerie I du flanc Sud

De plus, l'entrée de ces deux galeries est constituée d'une porte blindée, scellée dans un mur en béton et dont les clés sont disponibles aux mairies de Saint André et de May-sur-Orne. Un peu plus loin, les galeries sont obturées par des murs en béton.

Ces travaux permettent de garantir qu'il ne peut y avoir d'utilisation directe des eaux d'exhaure (par exemple à des fins d'irrigation locale) qui ne soit connue.

1.2.3.3 INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES MENÉES PAR L'INERIS

Le 8 juin 2004, des échantillons d'eau de la mine ont été prélevés par l'INERIS au niveau de la galerie B du flanc Nord et de la galerie I du flanc Sud. Ces échantillons ont été analysés selon le même programme analytique que les échantillons d'eau des piézomètres PZ31 et PZ10. Les résultats de ces analyses sont présentés dans les tableaux 23, 24, 25, 26 et 27.

	Galerie B - Flanc Nord	Galerie I - Flanc Sud	Arrêté préfectoral du 15/11/91	Normes de potabilité Décret 20/12/2001 annexe I-1
Hydrocarbures totaux	< LQ ¹	< LQ ¹	1 mg/L	0,01 mg/L

Tableau 23 - Résultats des analyses des Hydrocarbures totaux des échantillons prélevés dans les galeries B et I le 8 juin 2004

1 : « <LQ » = teneur comprise entre la limite de détection (0,03 mg/L) et la limite de quantification (0,1 mg/L)

		Galerie B - Flanc Nord	Galerie 1 - Flanc Sud	Arrêté préfectoral du 15/11/91	Normes de potabilité Décret 20/12/2001 annexe I-1
H.A.P. (µg/L)	Naphtalène	0,078	0,113	-	-
	Acénaphthène	0,059	0,0063	-	-
	Fluorène	0,019	0,0036	-	-
	Phénanthrène	< 0,0001	< 0,0003	-	-
	Anthracène	0,0103 +/- 5%	0,001	-	-
	Fluoranthène (*)	0,0204 +/- 12%	0,0042	-	-
	Pyrène	0,021	0,0034	-	-
	Benzo(a)anthracène	0,0005	0,0004	-	-
	Chrysène	0,0004	< 0,00002	-	-
	Benzo(b)fluoranthène (*)(**)	0,0013	< 0,00002	-	-
	Benzo(k)fluoranthène (*)(**)	0,0006	0,0001	-	-
	Benzo(a)pyrène (*)	0,0011	0,0002	-	0,01
	Dibenzo(a,h)anthracène	0,0002	< 0,000003	-	-
	Benzo(g,h,i)perylène (*)(**)	0,0007	< 0,00011	-	-
	Indeno(1,2,3-c,d)pyrène (*) (**)	0,0007	< 0,00008	-	-
Somme des six (*)	0,0248	0,00471	1	-	
Somme des quatre (**)	0,0033	0,00031	-	0,1	

Tableau 24 - Résultats des analyses des H.A.P. des échantillons prélevés dans les galeries B et I le 8 juin 2004

		Galerie B - Flanc Nord	Galerie I - Flanc Sud	Normes de potabilité - Décret 20/12/2001 annexe I-1
BTEX (µg/L)	Benzène	< 1,5	< 1,5	1
	Toluène	< 1	< 1	700
	Ethylbenzène	< 1,5	< 1,5	300
	Xylènes	< 3	< 3	500

Tableau 25 – Résultats des analyses des B.T.E.X. et le naphtalène des échantillons prélevés dans les galeries B et I le 8 juin 2004

Par ailleurs, une analyse qualitative des composés organiques « lourds » et « légers » a été réalisée sur des échantillons des galeries B et I par chromatographie et spectrométrie de masse. Les composés, pour lesquels un X figure dans le Tableau 26, ont été détectés.

Composés ciblés	Galerie B		Galerie I	
	« Légers »	« Lourds »	« Légers »	« Lourds »
Composés identifiés ↓				
Trichloroéthane	Nd	Non détectable	X	Non détectable
Trichloroéthylène	Nd		X	
Tétrachloroéthylène	Nd		X	
Hexane	X		X	
Diéthylphtalate	Nd	Nd	Nd	Nd
Propamoate de 2-méthyl-1,1-(1,1 diméthyl ethyl)-2-méthyl-1,3-propanediyle	X	Nd	Nd	Nd
Composés soufrés cycliques	X	Nd	Nd	Nd
Alkyls benzène	X	Nd	Nd	Nd
Alkyls naphtalène	X	Nd	Nd	Nd
Fond constitué d'hydrocarbures aliphatiques et aromatiques	X	X	Nd	X

Tableau 26 – Résultats de l'identification des composés organiques présents dans les eaux des galeries B et I par GC-MS

« Nd » = non détecté

« X » = détecté

La méthode utilisée ne permet pas une quantification des substances.

	Galerie B - Flanc Nord	Galerie I - Flanc Sud	Arrêté préfectoral du 15/11/91	Normes de potabilité Décret 20/12/2001 annexe I-1
Sulfates (mg/L)	11 +/- 1	54 +/- 1	250	250

Tableau 27 - Résultats des analyses des sulfates des échantillons prélevés dans les galeries B et I le 8 juin 2004

		Galerie B - Flanc Nord	Galerie I - Flanc Sud	Objectif de qualité de l'Orne (classe 1B)	Normes de potabilité - Décret 20/12/2001 annexe I-1
MÉTAUX (µg/L)	Arsenic	< 10	< 10	-	10
	Cadmium	< 9	< 9	-	5
	Chrome	< 7	< 7	-	50
	Cuivre	< 16	< 16	-	2000
	Fer	< 24	< 24	1000	200
	Manganèse	95 +/- 3	<14	250	50
	Nickel	<9	<9	-	20
	Plomb	<33	<33	-	25
	Zinc	<25	<25	-	3000
	Sélénium	<10	<10	-	-

Tableau 28 - Résultats des analyses des métaux des échantillons prélevés dans les galeries B et I le 8 juin 2004

Synthèse des résultats analytiques du 8 juin 2004

Ces résultats mettent en évidence des **teneurs en hydrocarbures totaux comprises entre 0,03 et 0,1 mg/L.**

Les teneurs en **H.A.P.** sont **extrêmement faibles** et les **B.T.E.X.** **ne sont pas présents en quantités mesurables.** Les teneurs en H.A.P. et en B.T.E.X. respectent les seuils fixés par l'arrêté préfectoral du 15/11/91. Ces résultats sont par ailleurs conformes aux normes de potabilité des eaux. Une indétermination relative au benzène persiste car sa limite de détection (< 1,5 µg/L) est légèrement supérieure à la norme de potabilité (1 µg/L).

Les teneurs en hydrocarbures totaux (comprises entre 0,03 et 0,1 mg/l) ne peuvent s'expliquer par les composés analysés spécifiquement, qui sont les H.A.P. et les B.T.E.X. Les GC/MS effectués sur les échantillons d'eau des deux émergences laissent apparaître des composés non quantifiés dans le cadre de cette étude, qui peuvent expliquer les teneurs en HCT fournies. Ce sont pour les deux émergences des **hydrocarbures aliphatiques et aromatiques divers**, ainsi que pour la galerie B des **alkyls benzène et alkyls naphthalène**, non différenciés par la méthode d'analyse. Au final, la teneur en hydrocarbures totaux est supérieure, au minimum, à trois fois la limite de potabilité.

Les concentrations en sulfates sont du même ordre de grandeur que les dernières teneurs obtenues en 1993. Considérant l'absence d'analyses sur la période de 10 ans séparant ces derniers résultats et l'investigation menée par l'INERIS, on ne peut pas affirmer que les concentrations en sulfates n'ont pas suivi d'évolutions majeures au cours de cette période. Quoi qu'il en soit, **ces concentrations en sulfates satisfont très largement les prescriptions de l'arrêté préfectoral**

du 15/11/91, et étant approximativement du même ordre de grandeur que les concentrations observées dans l'Orne (environ 30mg/L), le débordement, à faible débit, de ces eaux dans l'Orne ne peut affecter significativement la qualité du cours d'eau. Ces concentrations sont de plus inférieures aux normes de potabilité.

Les concentrations de l'ensemble des métaux analysés, à l'exception du manganèse (0,095 mg/L dans la galerie B du flanc Nord), sont inférieures à leur limite de quantification. De plus, toujours à l'exception de la concentration en manganèse de la galerie B, la comparaison des résultats obtenus sur les métaux avec les normes de potabilité ne met en évidence aucun dépassement de ces normes, bien qu'il persiste certaines indéterminations (Pb, Cr, Cd) du fait de limites de quantification inadéquates. **Les teneurs en fer et en manganèse contenus dans les eaux d'exhaure satisfont d'eux-mêmes les objectifs de qualité de l'Orne**, il n'est donc plus nécessaire d'évoquer la faiblesse du débit de sortie des eaux de la mine pour justifier de leur non-impact sur la qualité des eaux de l'Orne.

1.3 QUALITÉ DES EAUX SUPERFICIELLES

Géographiquement, la Laize, affluent de l'Orne, se situe en amont hydraulique de la mine que ce soit vis-à-vis des nappes du Jurassique ou du Primaire. En revanche, les écoulements se produisant dans ces nappes sont très largement drainés par l'Orne, la mine se trouvant dans l'emprise du rabattement des nappes du Primaire par l'Orne. De plus, les émergences minières se situent dans la vallée de l'Orne, à l'exclusion de la Laize.

Pour ces raisons, seule l'Orne est concernée par un risque de pollution ayant pour origine le stockage d'hydrocarbures de la mine de May-sur-Orne.

1.3.1 USAGES DE L'EAU DE L'ORNE

A 4,5 kilomètres en aval de May-sur-Orne, un captage d'eau de l'Orne, le captage de Louvigny, a été mis en service en 1976 pour l'alimentation en eau potable. Il approvisionne toujours à l'heure actuelle le sud de l'agglomération caennaise.

L'utilisation de l'eau de l'Orne pour la **production d'eau potable** est à l'origine de la prise d'un certain nombre de précautions pendant le stockage et à sa fermeture.

1.3.2 QUALITÉ DE L'ORNE PENDANT L'EXPLOITATION DU STOCKAGE

1.3.2.1 IMPACT SUR LA QUALITÉ DE L'ORNE À MAY-SUR-ORNE

Le suivi de qualité de l'Orne, en amont et en aval du stockage (Figure 1), effectué sur la période de 1987-1988 par le laboratoire départemental de biologie et d'hygiène, indique pour toutes les mesures des **quantités de phénols inférieures à 0,05 mg/L, de détergents anioniques inférieures à 0,01 mg/L et d'hydrocarbures inférieures à 0,1 mg/L.**

1.3.2.2 IMPACT SUR LA QUALITÉ DE L'ORNE À CAEN

L'exploitation du stockage a induit un certain nombre de rejets :

- En période de stockage du gasoil, donc en été, les eaux de compensation hydraulique provenant des cavités de la mine, étaient évacuées de façon à maintenir le niveau supérieur du gasoil dans le stockage constant,

- Les eaux d'infiltration permanentes dans le stockage devaient également être évacuées afin d'éviter qu'elles ne fassent monter le niveau haut du stockage,
- En période de déstockage, principalement en hiver, les eaux salées des soutes à ballast des navires pétroliers venant charger des hydrocarbures du stockage devaient être évacuées. Elles présentaient des concentrations en hydrocarbures variables comprises entre 0 et 2 g/L dépendant des produits transportés auparavant par le bateau.

Le point de rejet, en aval de Caen et à proximité du lieu de rejet des eaux de la station d'épuration de la ville, s'est justifié par :

- une volonté de préserver la nappe phréatique de l'Orne en amont de Caen, nappe alimentée par l'Orne,
- le niveau de pollution dans cette zone portuaire qui était déjà, avant les rejets de GEOMINES-CAEN, très élevé (5 mg/L d'hydrocarbures en 1971).

La station de traitement de ces eaux avant rejet était implantée à proximité des dépôts de pétrole côtiers à Caen, entre l'Orne et le canal. Le traitement comprenait une phase de décantation, une phase de déshuilage et un traitement d'oxydation des produits organiques ou réducteurs solubles (en particulier les phénols) par de l'hypochlorite de soude, dont l'excès était réduit par du bisulfite de sodium. La qualité des eaux de sortie de la station (Tableau 29) respecte globalement les objectifs fixés lors de sa création et les prescriptions de l'arrêté préfectoral du 5 juin 1985.

Substances	Hydrocarbures	Chlore	Phénols	Bisulfite	Oxygène	Salinité	MES	DBO
Valeurs	< 5 mg/L	< 0,2 mg/L	< 0,1 mg/L	0	> 5 mg/L	Aucun déballastage cette année	< 30 mg/L	< 12 mg/L

Tableau 29 – Composition des eaux de rejet après traitement au cours de l'année 1973

Le rejet des eaux traitées s'effectuait dans l'Orne, et à la demande de l'équipement dans le canal.

Le tableau 30 présente les résultats des analyses effectuées par le laboratoire départemental de biologie et d'hygiène sur les eaux de rejet de la station de traitement de Caen pendant la période 1987-1988.

Substances	Hydrocarbures	Phénols	Bisulfite	Fer total	Oxygène	Conductivité	MES	DBO5
09/04/1987	0,24 mg/L	0,09 mg/L	< 1 mg/L	4,1mg/L	5,1 mg/L	1086 µS/cm	7 mg/L	8 mg/L
25/05/1987	< 0,2 mg/L	< 0,05 mg/L	< 1 mg/L	0,55 mg/L	1,8 mg/L	1642 µS/cm	3 mg/L	2,1 mg/L
20/04/1988	< 0,2 mg/L	< 0,05 mg/L	6,3 mg/L	2,22 mg/L	3,1 mg/L	1337 µS/cm	7 mg/L	4,5 mg/L

Tableau 30 – Analyses des eaux de rejet dans l’Orne de la station de traitement de Caen sur la période 1987-1988

1.3.3 QUALITÉ DE L’ORNE PENDANT LA FERMETURE DU STOCKAGE

Le tableau suivant (Tableau 31) présente les caractéristiques des différents paramètres en relation avec la mine et le stockage d’hydrocarbures qui ont été suivis lors des différentes étapes de la fermeture du stockage, entre janvier 1989 et juin 1991. Pendant cette période, l’eau de l’Orne a été prélevée en aval de la mine (Figure 1) et a subi des analyses chimiques et bactériologiques tous les dix jours. A titre informatif, les limites de qualité des eaux imposées par l’arrêté préfectoral du 15 novembre 1991 sont reportées : il s’agit des concentrations limites sur les eaux brutes destinées à la production d’eau pour la consommation humaine issues du décret N°89.3 du 03/01/89). Elles sont complétées par les objectifs de qualité de l’eau de l’Orne sur le tronçon entre les barrages de Grimbosq et l’amont de Caen.

Paramètres	Teneurs dans l'Orne De janvier 1989 à juin 1991	Teneurs dans l'Orne De mars 1991 à mars 1992	Limites de qualité des eaux imposées par l'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991
pH	7,5 < pH < 8,5 mais quelques valeurs ont dépassé 8,5 dans le premier semestre 1990	7,5 < pH < 8,5	-
Sulfates	25 < teneur < 30 mg/L	25 < teneur < 30 mg/L	≤ 250 mg/L
Phénols	< 0,05 mg/L (l.d.)	< 0,05 mg/L	≤ 0,1mg/L
Hydrocarbures totaux	Avant le 19 juillet 1989 : HC > 0,1 mg/L Après le 19 juillet 1989 : HC ≤ 0,05 mg/L en général avec quelques valeurs exceptionnelles de l'ordre de 0,13 mg/L	< 0,05 mg/L	≤ 1 mg/L
H.A.P.*	En général : teneur totale < 0,1 µg/L Quelques valeurs extrêmes à 0,25 µg/L	Teneur totale <0,1µg/L	≤1µg/L
Fer et manganèse	0,1 < teneur < 0,3 mg/L	0,1 < teneur < 0,3 mg/L	≤ 1,25 mg/L (objectif de qualité de l'eau de l'Orne)
Carbone Organique Total	2 < C.O.T. < 6 mg/L	2 < C.O.T < 6 mg/L	-

Tableau 31 – Evolution de la qualité des eaux de l'Orne (paramètres liés à l'exploitation minière et de stockage) pendant le remplissage de la mine et les périodes d'observations associées

** somme des six HAP suivants : fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène, indéno(1,2,3-c,d)pyrène*

1.3.4 QUALITÉ DE L'ORNE POSTÉRIEURE AU STOCKAGE

Le 10 août 1993, la société GEOMINES-CAEN a été autorisée à organiser le rejet dans l'Orne des eaux d'émergence minière. Depuis la fermeture du stockage jusqu'à présent, la qualité des eaux dans la mine et des eaux d'exhaure a été suivie de près et s'est avérée satisfaisante. La partie précédente (5.2.) a montré que le rejet de ces eaux dans l'Orne n'était pas de nature à entraîner un dépassement des objectifs de qualité de l'Orne énoncés dans l'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991.

De 1994 à 1996, l'eau de l'Orne a été analysée au niveau de la prise d'eau de Louvigny, utilisée pour la production d'eau potable. Ces analyses (document de la DDASS du Calvados daté du 04.03.97) montrent :

- une diminution des concentrations en fer de 0,9 mg/L en janvier 1994 à 0,2 mg/L en décembre 1996,
- une diminution des concentrations en H.A.P. allant jusqu'à leur absence à la fin de l'année 1996,
- une augmentation des concentrations en sulfates de 22 mg/L en janvier 1994 à 37 mg/L en décembre 1996.

L'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991 prévoyait, après la date effective de rejet dans l'Orne, le prélèvement et l'analyse d'échantillons d'eau de ce fleuve, en amont et en aval de l'exhaure. Le décret d'autorisation des rejets du 10 août 1993 confirme cette décision.

Des prélèvements d'eau ont été effectués par la D.D.E. du Calvados sur l'Orne, en amont et en aval des émergences de la mine, et leur analyse a fourni les résultats figurant dans le tableau 32. Les points de prélèvement « Orne amont » et « Orne aval » sont indiqués sur la Figure 1.

Paramètres mesurés	Analyse de l'eau de l'Orne du 18/02/97		Limites de qualité des eaux imposées par l'arrêté préfectoral du 15 novembre 1991
	Orne amont	Orne aval	
pH	7,71	7,59	-
Sulfates	33 mg/L	34 mg/L	≤ 250 mg/L
Phénols	< 0,05 mg/L	< 0,05 mg/L	≤ 0,1 mg/L
Hydrocarbures totaux	< 0,05 mg/L	< 0,05 mg/L	≤ 1mg/L
H.A.P. Fluoranthène Benzo(b)fluoranthène Benzo(k)fluoranthène Benzo(a)pyrène Benzo(g,h,i)pérylène Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,015 µg/L < 0,01µg/L < 0,01µg/L < 0,01µg/L < 0,01µg/L < 0,01µg/L	0,03 µg/L < 0,01µg/L < 0,01µg/L < 0,01µg/L < 0,01µg/L < 0,01µg/L	Teneur totale des six H.A.P. ≤ 1 µg/L
Fer total	0,58 mg/L	0,72 mg/L	≤ 1 mg/L
Manganèse	0,03 mg/L	0,03 mg/L	≤ 0 ,25 mg/L

Tableau 32 – Résultats analytiques obtenus sur des échantillons prélevés dans l'Orne, en amont et en aval des rejets de surverse de la mine, le 18 février 1997 (extrait d'un bulletin d'analyse à destination de la D.D.E. du Calvados)

Ces résultats de qualité de l'eau de l'Orne de février 1997 indiquent l'influence résiduelle très faible de l'activité passée de stockage d'hydrocarbures sur la qualité de l'Orne. Cependant, les concentrations en fer mesurées en amont et en

aval des émergences de la mine mettent en évidence un apport de fer significatif au niveau de ces rejets.

Depuis les dernières analyses effectuées sur les eaux de la mine en juin 1993 et sur les piézomètres PZ10 et PZ31 en avril 1997, le suivi de la qualité des eaux d'exhaure et de la nappe du Primaire n'est réalisé que de manière indirecte par un contrôle des eaux de l'Orne en amont de la prise d'eau de Louvigny. A ce jour, aucune anomalie imputable à la mine ou au stockage d'hydrocarbures n'a été mise en évidence.

ANNEXE E

QUALITÉ DES SOLS

1. QUALITÉ DES SOLS

Les installations de transport des hydrocarbures associées au stockage de May-sur-Orne sont constituées exclusivement de pipelines et de canalisations, et fonctionnent en circuit fermé (Figure 14). Il n'existe donc au droit du site aucune zone d'empotage / dépotage susceptible de provoquer une pollution des sols.

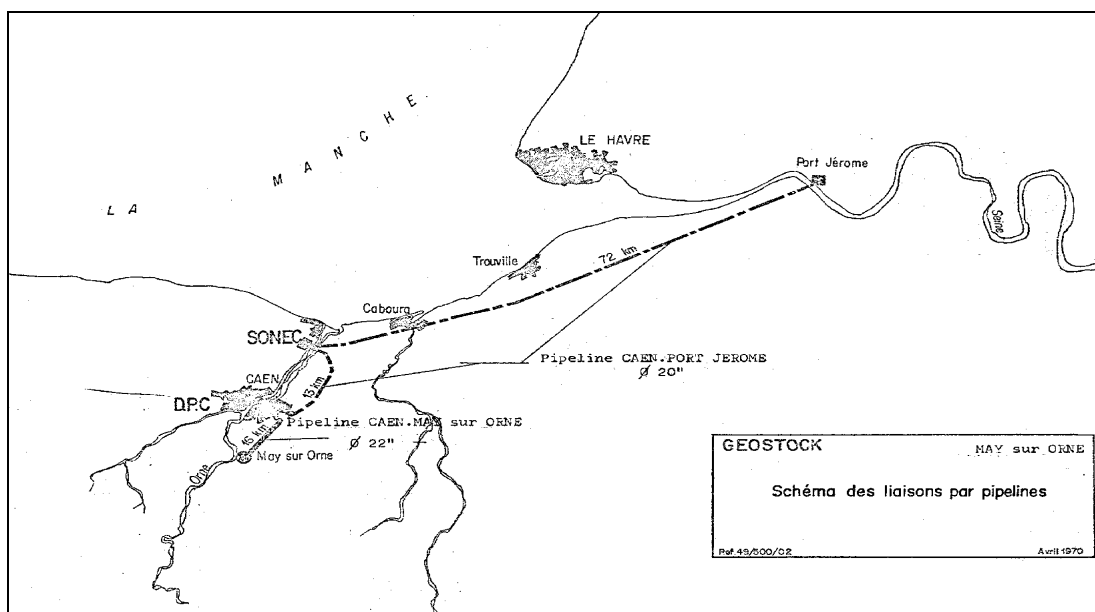


Figure 14 - Schéma des liaisons par pipelines

Les pompes à hydrocarbures immergées dans le stockage à la cote maximale de l'interface eau-gasoil permettent le déstockage en circuit fermé des hydrocarbures dans un réseau de pipelines. Les puits Saint André et de la Grande Descenderie Ouest sont reliés au puits central par des pipes. Du Puits Central de la mine de May part un pipeline (22") desservant Caen et son dépôt pétrolier (D.P.C.), puis un pipeline reliant Caen à Port Jérôme (20") permet de connecter le stockage de May-sur-Orne au réseau TRAPIL. C'est seulement au D.P.C. qu'existent des postes de chargement permettant de charger les bateaux, et éventuellement, les camions.

L'ensemble des tuyauteries de transport des hydrocarbures a été construit selon la législation propre aux pipelines à hydrocarbures liquéfiés. Au stade de la construction, la qualité des matériaux utilisés pour les tubes et la robinetterie ainsi que la nature intensive des contrôles effectués (y compris contrôle radiographique des soudures), ont fait que le réseau était peu sujet à des incidents. Puis, le suivi de l'installation a été tel que la moindre anomalie était détectée par un ensemble d'instruments de contrôle. Il était prévu, en 1971, que la disposition des installations de surface serait conforme aux réglementations : aires bétonnées,

écoulements vers un séparateur d'hydrocarbures avec possibilité de renvoi vers les cavités ou la station de traitement de Caen.

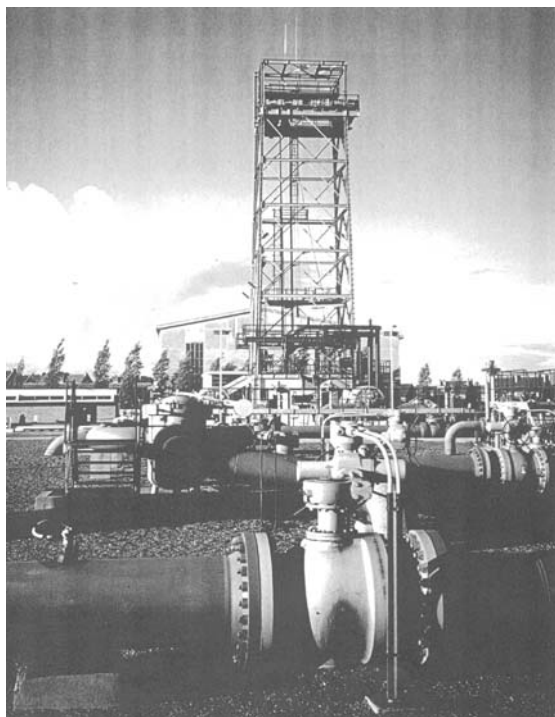


Figure 15 – Photo du puits central et des installations de transfert

Le dépôt de May-sur-Orne était sous surveillance permanente à partir de deux salles de contrôle, l'une à May-sur-Orne et l'autre à Caen, d'où étaient menées, en télécommande à distance, toutes les opérations d'exploitation.

Lors de la création de la colonne de stripping, suite à l'événement de pollution du gasoil par du méthane de 1982, une cuvette de rétention en béton, dont les joints d'étanchéité résistent aux hydrocarbures, a été mise en place pour maîtriser les risques de pollution accidentelle du sol par fuite de gasoil venant de la colonne. Cette cuvette était équipée d'un bassin de séparation eau/hydrocarbures relié au réseau d'eau pluviale et au réseau de récupération des hydrocarbures par lequel le gasoil perdu pouvait être renvoyé dans le stockage.

Au droit du site, il ne s'est produit aucune émission de poussières pouvant, par dépôt atmosphérique, engendrer une pollution des sols.

ANNEXE F

GAZ

1. Gaz.....	1
1.1 Rappel relatif au risque d'explosivité du mélange air – méthane.....	1
1.2 Qualité de l'atmosphère pendant le stockage d'hydrocarbures	3
1.2.1 Traitement préventif de la mine et de la phase « eau » du stockage....	3
1.2.2 L'événement de production bactérienne de méthane de 1982.....	3
1.3 Qualité de l'atmosphère pendant la fermeture du stockage (de janvier 1989 à mars 1992)	8
1.3.1 Période d'observation suite à la vidange du stockage.....	8
1.3.2 Remplissage en eau de la mine	9
1.3.3 Période d'observation annuelle du 16 mars 1991 au 16 mars 1992... ..	12
1.4 Qualité de l'atmosphère postérieure au stockage	12
1.4.1 Qualité de l'air de 1994 à 1998.....	13
1.4.2 Investigations menées par l'INERIS	15
1.4.3 Cas du radon.....	16
1.4.4 Carte informative relative à l'aléa « Gaz ».....	16
1.4.5 Investigations complémentaires	17

1. GAZ

1.1 RAPPEL RELATIF AU RISQUE D'EXPLOSIVITÉ DU MÉLANGE AIR – MÉTHANE

Les nombreux travaux de recherche ont permis d'établir le diagramme binaire O₂ - CH₄ délimitant la zone de mélange explosif. Il est présenté sur la Figure 16 ci-dessous. Le N₂ constitue le gaz de complément du mélange gazeux. Lorsqu'on se déplace sur la droite de mélange CH₄ / air pur (ligne AB), on recoupe deux fois la frontière délimitant la zone d'explosivité aux limites inférieure et supérieure d'explosivité.

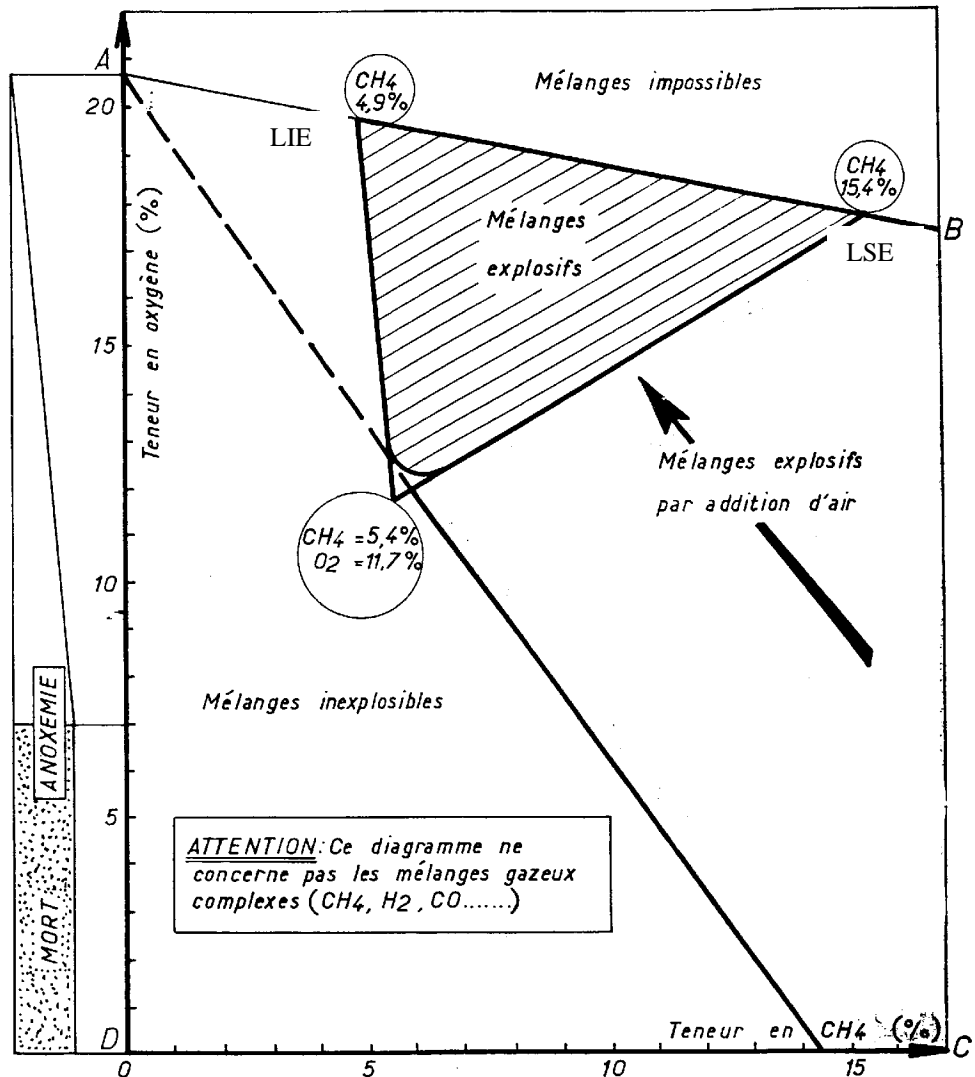


Figure 16 – Explosivité du méthane dans l'air pur (AB) ou dans l'air appauvri en oxygène (ABCD)

La concentration inférieure de la plage explosive, soit 5 % de CH₄ en volume, est appelée **Limite Inférieure d'Explosivité (LIE)**.

La concentration supérieure de la plage explosive, soit 15 % de CH₄ en volume, est appelée **Limite Supérieure d'Explosivité (LSE)**.

Ainsi, un mélange d'air pur et de méthane, contenant entre 5 et 15 % de méthane en volume, présente un danger d'inflammation en présence d'une source d'énergie (une flamme, une étincelle, etc.).

Les consignes de sécurité définies pour le site de stockage fixent à la moitié de la LIE, soit 2,5 % de CH₄ en volume, le seuil d'alerte nécessitant une intervention. En effet, l'arrêté préfectoral du 16 août 1983 décrète que si l'inflammabilité du ciel gazeux atteint 50 % de la LIE, l'exploitant devra arrêter tout mouvement d'hydrocarbures sur le flanc du stockage concerné, ventiler l'air du ciel gazeux de la cavité jusqu'à ce que la situation se rétablisse en tout point en dessous du seuil d'alerte.

1.2 QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE PENDANT LE STOCKAGE D'HYDROCARBURES

Le stockage a été confiné par la réalisation de travaux d'isolement. En particulier, les travaux d'obturation de l'ensemble des cheminées débouchant, à leur sommet, sur les galeries I et E des deux flancs constituent le toit du stockage et isolent le ciel gazeux du stockage des niveaux supérieurs.

Le réservoir du stockage de gasoil était à pression atmosphérique, car relié à l'atmosphère par l'intermédiaire de deux événements. Pour éliminer tout risque de diffusion d'odeurs de gasoil, il était prévu d'installer sur ces événements des filtres à charbon actif.

1.2.1 TRAITEMENT PRÉVENTIF DE LA MINE ET DE LA PHASE « EAU » DU STOCKAGE

Lors de la création du stockage de May-sur-Orne, les problèmes potentiels liés à des activités microbiologiques avaient fait l'objet d'études approfondies. Mais l'accent avait été plus particulièrement porté sur les possibilités de développement de bactéries à l'interface eau/gasoil se nourrissant à partir des hydrocarbures. Les phénomènes pouvant intervenir au sein de la phase aqueuse ou dans la phase atmosphérique avaient été moins étudiés.

Cependant, **avant l'ennoyage de la mine, les vides miniers avaient été traités à l'hypochlorite de sodium** (eau de Javel). Par la suite, la mine a été utilisée dans l'état où elle avait été abandonnée, les wagons et les rails étant toujours en place. L'eau de remplissage et de compensation des mouvements d'hydrocarbures provenait de l'Orne et ne subissait aucun traitement préalable. Les analyses datant de la mise en service du stockage (1972 à 1974) font état de la présence de bactéries sulfato-réductrices, de bactéries capables d'oxyder le gazole et de la présence de champignons cellulolytiques. Les bactéries sulfato-réductrices peuvent être responsables de la production de d'hydrogène sulfuré, ayant une action corrosive sur le fer et l'acier qui se traduit par la production d'hydrogène. La présence de cet hydrogène favorise la biosynthèse de méthane.

Le traitement préventif à l'eau de Javel a présenté une efficacité certaine puisque **durant les premières années d'exploitation, aucune activité microbiologique exceptionnelle n'a été constatée**, ce qui a amené à espacer les analyses de recherche. La première activité bactérienne notable s'est produite en 1978. La présence d'hydrocarbures aromatiques dans l'air a été mise en évidence, lors des examens de l'atmosphère de la mine effectués cette année-là. Ces aromatiques légers ne pré-existaient pas dans le gasoil introduit, ils seraient à attribuer à l'action de bactéries sur des molécules présentant un noyau aromatique lié à une chaîne paraffinique, la chaîne latérale étant métabolisée, mais pas le noyau.

Avant 1982, aucune installation fixe de surveillance de l'atmosphère vis-à-vis du risque d'inflammation n'existait.

1.2.2 L'ÉVÉNEMENT DE PRODUCTION BACTÉRIENNE DE MÉTHANE DE 1982

1.2.2.1 CHRONOLOGIE DE L'ÉVÉNEMENT

Le stockage de May-sur-Orne a subi, à la fin de l'année 1981 et au cours de l'année 1982, un phénomène de production de méthane qui dégradait la qualité du gasoil et entraînait des problèmes de sécurité.

En janvier 1982, différents centres de distribution d'hydrocarbures approvisionnés par GEOMINES signalaient des problèmes de moussage du produit pendant le chargement ou le dépotage de camions, bateaux ou wagons. La dernière semaine de février 1982, la société DAUPHIN informait GEOMINES que des gouttes de métal en fusion avaient provoqué des phénomènes de feux follets au niveau de la voie ferrée à proximité du puits ULV (Urbain Le Verrier) au milieu de l'entreprise. Le premier mars 1982, la société GEOMINES-CAEN recevait les résultats d'analyses des gaz préalablement demandées (Tableau 33) faisant état d'une teneur maximale en méthane de 35 % vol. sur le flanc Sud et 5 % vol. sur le flanc Nord. GEOMINES avertissait le jour même la Direction Interdépartementale de l'Industrie de Basse Normandie que le gasoil était contaminé par du méthane, le ciel du stockage révélant des teneurs élevées proches de la LIE dans le flanc Nord et supérieures à la LIE dans le flanc Sud.

		CH ₄ (% vol.)	CO ₂ (% vol.)
FLANC NORD	Bouchure 30 niveau A	4,4	5
	Bouchure 58	1	4,4
FLANC SUD	ULV	30	8
	Puits Harcourt	35	6,7
	GDO	8,3	6,2

Tableau 33 – Résultats de l'analyse par chromatographie en phase gazeuse le 1^{er} mars 1982

L'arrêt total des mouvements d'hydrocarbures a été décidé le 3 mars 1982 de manière à libérer le moins possible les gaz contenus dans le gasoil, à vérifier la présence en surface d'émanations pouvant provoquer un flash, et enfin à prendre un certain nombre de mesures visant à sauvegarder la sécurité publique (risque de fuite de méthane vers le jour), à assainir les conditions d'exploitation du stockage et assurer la protection des personnels qui en étaient chargés.

➤ *Flanc Nord*

Après l'arrêt total des mouvements sur le flanc Nord, le 3 mars 1982, le risque d'inflammation mesuré en différents points du ciel gazeux du flanc s'est avéré relativement faible. Les mouvements sur ce flanc ont donc repris dès le 5 mars. Par comparaison avec le flanc Sud, les faibles teneurs en méthane observées sur le flanc Nord s'expliquent par les mouvements plus récents effectués sur ce flanc et le stockage d'un volume important de gasoil durant l'été 1981 qui a joué le rôle de tampon absorbant une grande partie de la production de méthane.

➤ *Flanc Sud*

Les mesures effectuées après l'arrêt total des mouvements d'hydrocarbures début mars 1982 ont indiqué que l'atmosphère du ciel gazeux présentait des teneurs en méthane supérieures à la LSE. Toutes les entrées d'air ont été colmatées sauf aux deux extrémités du stockage. A l'ouest, la Grande Descenderie (GDO), et à l'est, le puits Urbain Le Verrier (ULV) ont été traités indépendamment. Les ouvertures situées dans la dalle du puits ULV à l'origine de la découverte du phénomène d'apparition de méthane, ont été obturées le 13 mars 1982 et une vanne y a été posée, après inertisation à l'azote.

1.2.2.2 LE PHÉNOMÈNE MICROBIOLOGIQUE

Le mécanisme peut être succinctement expliqué de la façon suivante : le stockage étant exploité par compensation hydraulique, le gasoil déstocké est remplacé par de l'eau pompée dans l'Orne. Celle-ci n'étant ni filtrée, ni traitée avant son injection dans le stockage, comportait des sédiments constitués d'une part de matière organique, et d'autre part d'une flore bactérienne susceptible de se développer sur ces matières organiques. Il a été établi que **le phénomène de production de méthane résultait du développement de bactéries à partir de l'eau de l'Orne**. En effet, une fois l'effet de la javélisation initiale du stockage passé, les bactéries ont pu se développer en anaérobiose conduisant à une production de méthane.

La production de méthane aurait été initiée par des impuretés apportées par l'eau de l'Orne, un milieu dans lequel la prolifération bactérienne peut se développer. En effet, considérant que le bassin versant de l'Orne est une zone d'élevage, il n'est pas étonnant que des bactéries méthanogènes (habituellement présentes dans la panse des ruminants, dans les rejets d'élevages d'animaux où elles produisent du biogaz) soient présentes dans l'eau de l'Orne.

La production de méthane par les micro-organismes est le fait d'un groupe restreint de bactéries appartenant essentiellement à quatre genres : methanococcus, methanobacterium, methanospirillum et methanosarcina.

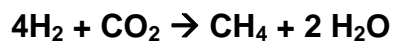
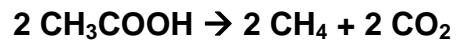
Au vu des quantités estimées de méthane produit, sa formation a été principalement générée à partir du gasoil stocké, les autres substrats carbonés à l'origine de cette production (matériaux ligno-cellulosiques dans la mine et matières organiques apportées par les eaux de ballast) étant présents en trop faibles quantités. En effet, un bilan de matière simple, effectué en supposant que les méthano-bactéries se soient développées à partir de la matière organique issue de l'Orne et accumulée entre le début du stockage et 1982, conduit à une production de méthane très largement inférieure (20 à 30 fois) aux quantités minimales de méthane que l'on peut estimer être présentes dans le stockage en mars 1982. Le gasoil dissous dans l'eau ou en contact avec la phase aqueuse, dont certains composés sont dégradables, intervient donc comme substrat dans la production bactérienne de méthane observée.

L'IFP explique la méthanisation de certains composés ligno-carbonés du gasoil par la succession des mécanismes biochimiques suivants :

- Une **première oxydation partielle dans des conditions d'aérobiose** qui conduit à la génération de biomasse, de gaz carbonique et de composés d'oxydation. Pour cette étape, les micro-organismes doivent disposer, en plus

d'une source de carbone, d'oxygène (dissous en phase aqueuse) et d'éléments minéraux,

- Ensuite, une **succession de réactions qui se déroulent dans des conditions d'anaérobiose** de plus en plus strictes et qui transforment la matière organique partiellement oxydée, solubilisée ou pseudosolubilisée en phase aqueuse (acides gras ou constituants de la biomasse après lyse des cellules de micro-organismes, protéines, lipides, polysaccharides), en acides volatils puis en méthane et en gaz carbonique. Ainsi, à titre d'exemple :



La production de méthane a été évaluée à 700 m³/j.

1.2.2.3 LES MOYENS CURATIFS MIS EN ŒUVRE

Face au problème de production de méthane, il a été nécessaire d'engager des actions sur trois points :

- traitement du gasoil déstocké,
- rétablissement et entretien d'une atmosphère non dangereuse dans la mine,
- lutte directe contre la formation du méthane.

➤ *Traitement du gasoil déstocké*

Suite à l'événement de méthanisation de début 1982, le gasoil contenu dans le stockage était pollué et sa commercialisation nécessitait un traitement. La quantité de méthane dissous a été estimée entre 0,1 et 0,5 Nm³/m³. Pendant le premier trimestre 1982, le gasoil était retraité à la raffinerie de Donges puis revendu comme conforme aux spécifications pétrolières. GEOMINES a décidé de créer son propre site de traitement : une **tour de dégazage du gasoil, dite de stripping**.

➤ *Traitement de l'atmosphère du stockage*

- Flanc Nord : simple aérage

A partir de début mai 1982, la saturation du gasoil étant atteinte, la concentration en méthane dans le ciel gazeux a augmenté, conduisant à l'atteinte du seuil d'alerte de 50 % de la LIE. Le stockage commencé a alors été stoppé et une **ventilation permanente** assurée, mais ces dispositions n'ont pas empêché d'atteindre des taux de 80 et 100 % de la LIE à l'extrémité est. La mise en œuvre de **moyens de ventilation complémentaires** a permis de repasser sous le seuil d'alerte et de reprendre le déstockage le 2 juin. La teneur en gaz inflammables dans l'air a chuté tout au long du déstockage, terminé le 25 juin. La reprise des opérations de stockage en juillet a fait chuter cette teneur en gaz inflammables, le gasoil jouant à nouveau le rôle de tampon. Puis la teneur en gaz inflammables est restée nulle jusqu'à mi-décembre, date de reprise du déstockage.

- Flanc Sud : inertisation à l'azote et balayage puissant à l'air

Afin de limiter les risques dus à la présence de méthane dans l'atmosphère du flanc Sud, les opérations suivantes ont été effectuées à partir de mars 1982 :

- une injection de gaz inerte, l'azote, dans le ciel gazeux du stockage (Première phase),
- un déplacement du gaz inerte par un balayage à l'air (Deuxième phase),
- après retour à des conditions normales, le maintien d'une ventilation forcée pour éviter toute nouvelle accumulation de gaz (Troisième phase).

➤ *Traitement de l'eau du stockage*

Suite à l'événement de méthanisation de fin 1981-début 1982, l'eau du stockage, siège du développement de l'activité microbienne méthanogène, a été traitée par javellisation, afin d'y supprimer le développement microbien. Ce traitement s'est présenté de façon différente sur les deux flancs :

- **Javellisation massive** dans le flanc Nord : la vidange quasi totale de l'eau simultanément à la campagne de stockage de 1982 a permis d'envisager un traitement massif vers décembre, puis la réintroduction de l'eau traitée,
- **Javellisation lente** : la vidange totale n'est pas envisageable compte tenu de la durée de déstockage. Le traitement a été effectué par javellisation en continu de l'eau provenant des sources de Rocquancourt.

L'éventuel excès de chlore des eaux extraites de la mine était traité par la station de Caen.

La vidange complète des cavités est un facteur important dans le traitement de la contamination. Elle permet en effet d'éliminer l'eau contaminée et de neutraliser les bactéries anaérobies par la présence d'oxygène dans le ciel gazeux.

1.2.2.4 PRISE EN COMPTE DE L'ÉVÉNEMENT DE 1982

➤ *Aspects administratifs*

L'arrêté préfectoral du 19 mars 1979 a été complété par des mesures propres à éviter le renouvellement du phénomène, d'assurer le suivi de l'atmosphère du ciel gazeux et des éléments en présence, l'eau et le gasoil.

L'arrêté préfectoral du 16 août 1983 décrète notamment que si le risque d'inflammation du ciel gazeux atteint 50 % de la LIE, l'exploitant devra arrêter tout mouvement d'hydrocarbures sur le flanc du stockage concerné, ventiler l'air du ciel gazeux de la cavité jusqu'à ce que la situation se rétablisse en tout point en dessous du seuil d'alerte. Les fréquences des **mesures à l'explosimètre** dans le ciel gazeux du stockage sont également définies dans cet arrêté. Le bon fonctionnement des événements est vérifié. Une **ventilation des galeries de visite** des deux flancs est prévue dès le risque d'inflammation atteint 50 % de la LIE ou si la teneur en oxygène est inférieure à 18 %. **L'eau de substitution des produits stockés doit être soumise à un traitement préalable** en vue de neutraliser le développement de micro-organismes méthanogènes dans le stockage, et il est prévu de prélever et d'analyser l'eau du stockage deux fois par an.

➤ *Nouvelles conditions d'aération*

Depuis 1982, le dispositif de ventilation comporte une injection d'air au puits ULV, le balayage d'est en ouest et le rejet à la GDO.

Or, considérant que la production de gaz ne s'arrêtera pas immédiatement malgré les mesures de traitement de l'eau prises, et qu'à l'avenir, une nouvelle pollution ne pouvait être exclue, un **dispositif de ventilation à fort débit** a été prévu. Ce projet de ventilation, consistant à ventiler la mine en deux secteurs indépendants, est et ouest, est proposé (1983).

Pour la partie ouest, de l'air, aspiré dans la galerie de visite était injecté par la bouchure 34 ou 17, circulait sans problème sous réserve que le niveau du stockage soit maintenu au-dessus de -30 m NGF puis était rejeté par la Grande Descenderie. Pour la partie est, l'air de la galerie de visite était injecté par la bouchure 39, et rejeté par un puits de ventilation situé à l'extrémité est du flanc Sud, qui a été créé en 1983. Le puits ULV a alors été refermé de façon étanche. Le nouveau schéma de circulation de l'air est présenté. Entre autres, deux ventilateurs ont été installés dans la galerie de visite.

Le secteur des sources de Rocquancourt a été totalement isolé de ces galeries, car une salle de pompe d'eau potable s'y trouve localisée.

L'inconvénient majeur de ce dispositif était l'incorporation d'une partie de la galerie de visite, en cul de sac, au ciel gazeux de la mine. En revanche, il permettait de multiplier au moins par deux le débit de ventilation antérieur.

1.3 QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE PENDANT LA FERMETURE DU STOCKAGE (DE JANVIER 1989 À MARS 1992)

Dans le cadre de la fermeture du stockage se posait le problème du traitement de la mine avant abandon, qui pouvait passer soit par une élimination des souches bactériennes par un traitement aux bactéricides, soit par une tentative d'élimination de la matière organique, par exemple, en provoquant une action contrôlée de bactéries.

1.3.1 PÉRIODE D'OBSERVATION SUITE À LA VIDANGE DU STOCKAGE

Alors que la mine était vidangée, en mars 1989, des opérations de lessivage des parois de la mine, menées par l'IFP, ont permis d'évaluer leur état de pollution. Les eaux de lessivage ont montré un enrichissement en carbonates (50 mg/L) et en sulfates (25 mg/L), une augmentation du C.O.T. (6 mg/L) et de la teneur en hydrocarbures (3,5 mg/L) telle que les valeurs restent malgré tout très faibles, une charge de matières en suspension constituée d'hydroxydes de fer et la présence de bactéries sulfato-réductrices.

Le contrôle de l'atmosphère était fait :

- mensuellement pour l'air présent dans le puits Saint-André et le puits Central ainsi qu'aux deux événements du flanc Sud et pour un événement du flanc Nord,
- tous les dix jours pour les bouchures et les événements des galeries 1 (flanc Sud) et E (flanc Nord).

Pendant la période d'observation qui a suivi la vidange complète de la mine, toutes les mesures concernant le méthane faites aux différents points de prélèvement des deux flancs ont toujours donné des valeurs comprises entre 0 % et 1 % de la LIE. La teneur en CO₂ dans le flanc Nord et les niveaux supérieurs du flanc Sud est restée comprise entre 2 et 3 %. Pendant cette période, l'albraque a été mise en communication avec l'atmosphère par la Grande Descenderie. La teneur en CO₂ des niveaux profonds du flanc Sud a donc diminué (de 8 à 3 %) et la teneur en oxygène augmenté (de 12 à 17 %). Pour l'O₂, des valeurs voisines de 20 % ont été mesurées que ce soit au niveau des événements ou des interfaces air/eau et les concentrations en azote sont voisines de 80 %.

1.3.2 REMPLISSAGE EN EAU DE LA MINE

1.3.2.1 TRAITEMENT PRÉVENTIF DE LA MÉTHANOGENÈSE

Pour éliminer l'activité bactérienne méthanogène et garantir qu'il n'y aurait plus de production de méthane lors de l'abandon du site, différentes solutions ont été étudiées :

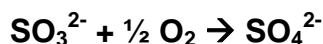
- Les traitements chimiques :
 - Un traitement à l'eau de Javel a rapidement été écarté du fait de sa faible durée de vie et de la difficulté d'évaluer la quantité de gasoil sur les parois, et donc la quantité d'eau de Javel nécessaire.
 - La possibilité d'un traitement par un bactéricide, dont la durée de vie est plus longue, a également été écartée car elle détruirait la flore bactérienne et non son substrat. Si cette destruction n'était pas totale, l'activité bactérienne reprendrait dès que l'efficacité du traitement aurait disparu.
- Les traitements bactériologiques :
 - L'idée consistait à augmenter l'activité anaérobie en ensemençant les sédiments et l'eau de remplissage, mais l'homogénéisation entre l'inoculat et les sédiments paraissait impossible.
 - Il a donc été envisagé un deuxième système consistant à n'initier la méthanisation accélérée qu'une fois la mine remplie d'eau, à collecter le CH₄ au niveau des galeries de visite et à le traiter pas des bactéries aérobies pour le transformer en CO₂.
 - Les sociétés BIOTECHNICA et BIOTRAITEMENT préconisaient la dégradation aérobie des matières organiques, plus rapide que la dégradation anaérobie envisagée jusqu'alors. Pendant la vidange, la ventilation par le dispositif qui était déjà en place aurait permis de favoriser le métabolisme de respiration et, au bout de six mois, le gasoil déposé sur les parois serait détruit par les bactéries aérobies, produisant du CO₂. Par la suite, l'eau de remplissage aurait été préalablement traitée pour détruire les matières organiques de l'Orne, puis aérée et éventuellement mélangée à un inoculat de bactéries aérobies. Or les travaux effectués par l'IFP ont montré que si la dégradation mise en évidence était effective, elle n'était pas complète et que les sous-produits de cette dégradation partielle étaient H₂O et CO₂ mais aussi des acides gras solubles qui, une fois le remplissage terminé, pouvaient être soit le substrat permettant une nouvelle méthanogenèse, soit un substrat pour les bactéries sulfato-

réductrices qui seraient alors en compétition avec les bactéries méthanogènes.

Pour éviter tout risque de redémarrage de la méthanogenèse lors du remplissage et du maintien de la mise sous eau, **il a été décidé d'inhiber les mécanismes biochimiques d'oxydation partielle des composés hydrocarbonés pouvant être encore présents à l'intérieur de la mine, qui nécessitent de l'oxygène dissous en phase aqueuse.** En procédant ainsi, on doit bloquer tout approvisionnement en substrat carboné de la flore anaérobie et spécialement des bactéries méthanogènes.

Dans la procédure d'abandon de la mine de May-sur-Orne sont prévues des mesures destinées à supprimer toute activité aérobie dans la mine et à consommer les matières organiques résiduelles, qu'elles proviennent de l'Orne ou des traces de gasoil.

L'eau de l'Orne utilisée pour le remplissage de la mine a donc été désoxygénée et, dans le même temps, la fermentation anaérobie de la matière organique résiduelle, au détriment de la fermentation méthanique, a été orientée vers un processus de réduction des sulfates, générateur de gaz carbonique et de sulfures (immobilisés sous forme de sulfures de fer). La désaération de l'eau a été assurée par **un traitement au bisulfite de sodium additionné d'un catalyseur à base de cobalt (CoSO₄, 5 H₂O).** Les sulfites réagissent avec l'oxygène pour former des sulfates, qui seront ensuite réduits par les bactéries sulfato-réductrices.



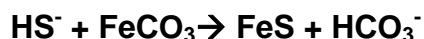
Par ailleurs une autre précaution, qui a été suivie tout au long du remplissage, consistait à interrompre le pompage de l'eau de l'Orne lorsque la qualité de celle-ci n'était pas suffisante, en particulier lorsque la teneur en C.O.T. dépassait 20 mg/L, afin d'éviter l'introduction dans la mine de matières organiques susceptibles d'être fermentées et de produire du méthane.

1.3.2.2 RÉSULTATS DES ANALYSES D'ATMOSPHÈRE PENDANT LE REMPLISSAGE DE LA MINE (MAI 1989 - MARS 1991)

➤ *Pendant la première phase de remplissage (mai 1989 – décembre 1989)*

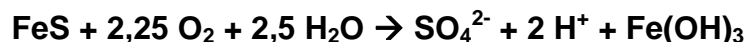
Pendant la première phase de remplissage, les mesures de qualité de l'air effectuées à l'aide d'un par un appareil portatif ou par chromatographie en phase gazeuse ont permis de démontrer l'absence de méthane, tandis que l'air s'est appauvri en oxygène et s'est enrichi en gaz carbonique dans des proportions relativement importantes. L'IFP explique ce phénomène de la façon suivante :

- L'activité sulfato-réductrice, importante au moment du stockage, conduit à la production de bicarbonates, de dioxyde de carbone et de sulfures d'hydrogène (HS⁻). Ces sulfures d'hydrogène réagissent alors avec le minerai, la sidérite (carbonate de fer), pour former du sulfure de fer (FeS₂) et des bicarbonates.



- La mine étant vidangée, l'oxygène de l'air oxyde les sulfures de fer en oxydes de fer (Fe(OH)₃), générant ainsi une acidification des eaux et une

augmentation de la teneur en sulfates. Cette acide réagit, à son tour, avec la sidérite pour conduire à une augmentation de la teneur en bicarbonates dans l'eau et de celle du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.



Ce modèle et les différents produits qu'il génère sont confirmés par les résultats des tests de lessivage des parois.

➤ *Suite au premier remplissage de la mine (période d'observation de janvier 1990 à mars 1990)*

Conformément aux instructions de la DRIRE, le contrôle de l'atmosphère a suivi le même protocole que celui observé pendant la période d'observation ayant suivi la vidange de la mine :

- Analyse mensuelle pour l'air interfacial au niveau des puits ainsi qu'aux deux événements du flanc Sud et un événement du flanc Nord,
- Analyse tous les dix jours pour les bouchures et les événements des galeries 1 (flanc Sud) et E (flanc Nord).

Les mesures effectuées par appareil portatif ou par chromatographie en phase gazeuse donnent les résultats présentés dans le tableau 34 qui suit.

	FLANC NORD	FLANC SUD
CH₄	Non détectable	Non détectable
CO₂	Entre 0,5 et 1,2 %	Entre 0,5 et 2,7 %
O₂	Entre 18,5 et 21 %	Entre 17,5 et 20,5 %

Tableau 34 – Résultats des analyses de l'atmosphère dans la mine effectuées de janvier 1990 à juin 1990

Ces mesures permettent de tirer les conclusions suivantes :

- La diminution sensible de la teneur en CO₂ accompagnée de l'augmentation du taux d'oxygène montre une baisse de l'activité aérobie consommatrice de produits hydrocarburés,
- La teneur non détectable en méthane permet de penser que, soit toute activité méthanogène est arrêtée, soit elle n'existe qu'à un niveau tel que le méthane produit est très inférieur à sa solubilité dans l'eau.

➤ *Bilan d'avril 1989 à avril 1991*

D'avril 1989 (fin de la vidange de la mine) à avril 1991 (fin du remplissage final de la mine), **la production de CO₂ a sensiblement diminué**, traduisant une baisse de l'activité aérobie consommatrice de produits hydrocarburés. De plus, **la teneur non détectable en méthane** permet de penser que, soit toute activité méthanogène est arrêtée, soit elle n'existe qu'à un niveau très inférieur à sa solubilité dans l'eau.

La **présence de CO₂** dans les galeries qui ne sont pas en communication avec les galeries de visite ne constitue pas un danger. Néanmoins, des contrôles réguliers

seront effectués ultérieurement dans les galeries de visite qui seront ventilées si nécessaire.

1.3.3 PÉRIODE D'OBSERVATION ANNUELLE DU 16 MARS 1991 AU 16 MARS 1992

Suite au remplissage final de la mine, une période d'observation d'une durée d'un an a été respectée, pendant laquelle les compositions de l'atmosphère et de l'eau dans la mine ont été suivies.

Les résultats de ce suivi sur le premier semestre d'observation sont présentés dans le tableau 35.

	FLANC NORD	FLANC SUD
CH₄	Non détectable	Non détectable
CO₂	Entre 0,0 et 0,5 %	Entre 0,0 et 4,1 % (les valeurs les plus grandes sont observées au puits Taraud)
O₂	Entre 19,5 et 21,0 %	Entre 15,0 et 21,0 %
N₂	Entre 79,7 et 83,0 %	Entre 79,4 et 81,7 %

Tableau 35 – Résultats des analyses de l'atmosphère dans la mine effectuées d'avril 1991 à mars 1992

Les mesures de qualité de l'eau de la mine et de l'atmosphère effectuées pendant cette période permettent de tirer les conclusions suivantes :

- l'efficacité du traitement de l'eau injectée par le bisulfite est confirmée par les très faibles teneurs en oxygène dissous,
- la **teneur non détectable en CH₄** (< 3 % de la LIE) permet de penser que **toute activité méthanogène est arrêtée**, ou qu'elle n'existe qu'à un niveau tel que le CH₄ éventuellement produit est très inférieur à sa solubilité dans l'eau,
- il subsiste toujours une activité aérobie consommatrice de produit hydrocarburé, notamment sur le flanc Sud. La **production de CO₂ s'est stabilisée** depuis la fin du remplissage,
- les C.O.T. mesurés restent faibles,
- les analyses d'atmosphère réalisées au puits de Verrières et au niveau B sur le flanc Nord, au puits Taraud et au niveau I sur le flanc Sud, indiquent un risque d'inflammation nul et une teneur en CO₂ qui diminue de façon sensible démontrant l'absence de méthane et le ralentissement, voire la disparition, de tout processus biochimique.

1.4 QUALITÉ DE L'ATMOSPHÈRE POSTÉRIEURE AU STOCKAGE

Un dispositif permettant la prise d'échantillons gazeux compris entre le plan d'eau et la voûte de la cavité dans les galeries I et B a été mis en place par GEOMINES-CAEN au moment de la fermeture du stockage, lorsque les galeries ont été murées au débouché dans les cavités de stockage et fermées par des portes

métalliques à leur débouché extérieur. Un long tube flexible (15 mètres de long et 6 mm de diamètre intérieur) met en communication l'atmosphère de la cavité et l'extérieur, proche de la porte d'entrée de la galerie. Le prélèvement de gaz par ce dispositif nécessite un pompage préalable, assurant que l'air prélevé est bien celui du ciel des cavités auxquelles le tuyau flexible est relié.

1.4.1 QUALITÉ DE L'AIR DE 1994 À 1998

1.4.1.1 PROTOCOLE ET RÉSULTATS DU SUIVI DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LA MINE

A la demande de la DRIRE Basse-Normandie, le BRGM a assuré le suivi de la qualité du ciel gazeux de l'ancien stockage de May-sur-Orne de décembre 1994 à mai 1998. Ce suivi a été réalisé à partir de deux méthodes de prélèvements et d'analyse :

- prélèvements par pompage sur le dispositif de GEOMINES constitué d'un tube de Rilsan, et analyse sur le terrain à l'aide d'un analyseur portable donnant les concentrations en CH₄, CO₂ et O₂ en pourcentage volumique,
- prélèvements d'ampoules à gaz directement dans l'atmosphère de la galerie, réalisés en y pénétrant, et analyse en laboratoire de ces échantillons gazeux par chromatographie.

Les mesures effectuées de décembre 1994 à mai 1998 par les tubes en place, après pompage, figurent dans le tableau suivant (Tableau 36).

	Sites de prélèvement	12/94	06/95	01/96	04/97	11/97	05/98	Air naturel
CH ₄	May-sur-Orne Galerie niveau I	0,0054	<0,0002	0,013	0,093	0,01	0,016	traces
	St-André-sur-Orne Galerie B	0,0077	0,014	0,0025	0,016	0,004	0,006	
CO ₂	May-sur-Orne Galerie niveau I	1,13	0,05	0,11	0,29	0,72	0,76	traces
	St-André-sur-Orne Galerie B	0,56	0,94	0,072	0,24	0,28	1,00	
O ₂	May-sur-Orne Galerie niveau I	21,1	20,4	20,5	20,5	20,30	19,90	20,5
	St-André-sur-Orne Galerie B	20,8	20,8	20,9	20,8	20,30	19,2	
N ₂	May-sur-Orne Galerie niveau I	76,4	77,3	78,4	77	77,4	78,3	78,5
	St-André-sur-Orne Galerie B	77,3	77,3	78,8	78,5	76,3	79,6	

Tableau 36 – Evolution des concentrations en CH₄, CO₂, O₂ et N₂ mesurées grâce aux tuyaux en Rilsan installés par GEOMINES dans les galeries I et B (en %)

Rappel : le seuil d'alerte pour la concentration en méthane est de 2,5%

1.4.1.2 COMMENTAIRE DES RÉSULTATS

1.4.1.2.1 LES MESURES LES PLUS RÉCENTES

Par comparaison avec la formule moyenne de l'air naturel, les mesures les plus récentes mettent en évidence la présence dans les deux galeries d'un **faible enrichissement en CO₂** (0,76 et 1 %), des **concentrations en CH₄ très faibles** (0,016 % au niveau I et 0,006 % au niveau B), des **concentrations en O₂ et N₂ proches de celles de l'air naturel**, à 1 % près.

1.4.1.2.2 UN ÉVÉNEMENT DE MÉTHANOGENÈSE

Constatant que les teneurs en méthane mesurées en avril 1997 dans le flanc Sud étaient 10 fois supérieures aux mesures antérieures, la surveillance du ciel gazeux des galeries de mine a été poursuivie jusqu'au deuxième trimestre de 1998.

Les concentrations mesurées par le tube flexible semblent être redevenues faibles en novembre 1997 et mai 1998. Or, lors de la visite de mai 1998, le détecteur portable indiquait 0,1 % de méthane à la première incursion dans la galerie I. De plus, les prélèvements directs dans la galerie I ont révélé 0,16 % de méthane au fond (à 125 m de l'entrée) et 0,37 % à mi-parcours (à 60m de l'entrée). Enfin, ces deux prélèvements confirment la concentration en méthane (0,27 %) mesurée en novembre 1997 en début de galerie. Deux hypothèses sont proposées pour rendre compte des concentrations en méthane plus importantes à mi-galerie qu'au fond : il pourrait exister, vers le point 60m, un petit stock d'hydrocarbures générateur de méthane par activité microbienne, ou bien une arrivée de méthane par un conduit latéral. Par ailleurs, la présence d'hydrocarbures saturés peut être notée sur le prélèvement réalisé au fond de la galerie ($1 \cdot 10^{-2}$ pour C₂H₆, $9 \cdot 10^{-3}$ pour C₃H₈, 1 à $7 \cdot 10^{-3}$ pour les autres hydrocarbures saturés), alors que ceux-ci se révèlent n'être présent qu'en très faibles quantités ($\leq 2 \cdot 10^{-4}$ pour tous les hydrocarbures saturés) dans les prélèvements effectués à mi-galerie, là où la teneur en méthane est la plus grande. L'origine de cette petite production de méthane reste inexplicée, et le rapport du BRGM relatif à ces mesures affirme qu'il serait souhaitable de favoriser l'aération de cette galerie, par exemple en ouvrant deux fenêtres grillagées dans la porte métallique qui ferme la galerie I.

Bien que les **teneurs en méthane mesurées en novembre 1997 et en mai 1998** dans la galerie I ne présentent pas de risque d'inflammation (la LIE est de 5 % de méthane), elles n'en sont pas moins **anormalement élevées**.

Afin de rechercher l'origine de cette anomalie, une visite de la mine a eu lieu en novembre 1998 : une odeur très nette de gasoil a été repérée dans la galerie I et le barrage de sécurité a été constaté rempli d'eau, car les vannes placées au pied du barrage pour permettre l'évacuation des eaux de surverse étaient obstruées par des boues. L'eau du barrage était jaunâtre, recouverte de mousses rougeâtres surnageantes. Des analyses chimiques ont été réalisées sur différents matériaux afin d'identifier la source du méthane (Tableau 37).

Novembre 98 – Galerie I – Flanc Sud			
Milieu analysé	Teneur en hydrocarbures	Activité microbienne	Observations
Eau du barrage	0,14 mg/L	Traces	-
Mousses surnageantes	525,4 mg/kg MS	Nombreuses bactéries ferrugineuses	17 % de matière volatile
Suintement du sol	11,5 mg/kg MS	?	Aucune odeur de gasoil sur les échantillons lors du prélèvement

Tableau 37 - Analyse de l'eau du barrage de la galerie I, des mousses surnageantes et de suintements du sol repérés en novembre 1998

Ces analyses indiquent que les eaux du barrage et les suintements rougeâtres ne peuvent être à l'origine de la production de méthane, du fait de concentrations en hydrocarbures et d'une activité bactérienne faibles. En revanche, **le méthane pourrait provenir des mousses surnageantes**. C'est pourquoi la DRIRE recommande en février 1999, de déboucher les vannes d'évacuation du barrage de la galerie 1. Cette recommandation a été appliquée en mai 1999, mais un ramonage tous les six mois est indispensable pour éviter un nouveau colmatage.

1.4.2 INVESTIGATIONS MENÉES PAR L'INERIS

Le 20 avril 2004, une odeur de gasoil était notée au niveau de la galerie I du flanc Sud, odeur qui n'a pas été ressentie à l'occasion de la visite suivante, le 8 juin 2004. Ces odeurs sont persistantes depuis plusieurs années.

Lors des visites à l'intérieur de la galerie B du flanc Nord et de la galerie I du flanc Sud effectuées le 8 juin 2004, l'air ambiant, analysé au moyen d'un analyseur portable, présentait les caractéristiques suivantes (Tableau 38) :

Composés analysés	Galerie B – Flanc Nord	Galerie 1 – Flanc Sud
Dioxygène (O ₂)	18,9 %	19,5 %
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1,04 %	0,98 %
Monoxyde de carbone (CO)	Nd (< 1 ppm)	3 ppm
Méthane (CH ₄)	Nd (< 0,01 %)	Nd (< 0,01 %)
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	Nd (< 1 ppm)	Nd (< 1 ppm)

Tableau 38 – Teneurs en dioxygène, en dioxyde de carbone et en monoxyde de carbone de l'air ambiant dans les galeries B et I le 8 juin 2004 (« Nd » : non détecté)

Ces données indiquent donc des teneurs en CH₄ nulles ou très faibles, et des teneurs en CO₂ de l'ordre de 1 % (on note un enrichissement en CO₂ par rapport aux teneurs atmosphériques qui sont de l'ordre de 0,035 %), au niveau des exutoires.

On ne dispose d'aucunes données pour les travaux miniers peu profonds non ennoyés. Or ces données sont nécessaires pour confirmer ces teneurs faibles dans le cadre de l'établissement de la carte d'aléas.

1.4.3 CAS DU RADON

La DDASS du Calvados a fourni à GEODERIS un certain nombre de mesures de radon effectuées entre 2000 et 2003 sur 3 communes affectées par les travaux miniers : Feuguerolles-Bully, May-sur-Orne, et Saint-André-sur-Orne. Les établissements scolaires qui ont été analysés dans le cadre de cette campagne sont tous situés hors de l'emprise des travaux miniers sauf le groupe scolaire de May-sur-Orne sous lequel les galeries se situent à plus de 300 m de profondeur (niveau XIII). A May-sur-Orne, les mesures se répartissent entre 22 et 174 Bq/m³ *.

Les données recueillies ne permettent pas de conclure sur la présence (ou l'absence) de radon dans les galeries supérieures de la mine et dans les sols sus-jacents.

GEODERIS souhaite donc, en l'absence de données localisées directement au droit des galeries minières, la réalisation de quelques mesures à l'intérieur de celles-ci afin de vérifier si les concentrations observées nécessitent, ou non, compte tenu des facteurs de dilution habituellement observés, de prescrire des recommandations pour réduire l'exposition dans les habitations et établissements recevant du public situés à proximité des travaux miniers. Les investigations proposées en conséquence par l'INERIS sont détaillées au paragraphe 1.4.5.

1.4.4 CARTE INFORMATIVE RELATIVE À L'ALÉA « GAZ »

La carte à l'échelle 1/5 000 présente la localisation des cavités non ennoyées proches de la surface, qui présentent une atmosphère mal connue actuellement.

La cartographie de ces zones prévoit latéralement une incertitude de 10 mètres de part et d'autre de l'axe de la galerie, correspondant à l'incertitude maximale de calage des travaux sur l'ortho-photoplan. Verticalement, une marge de 2 mètres sur le niveau d'ennoyage a été retenue (correspondant au final à une altitude de +10,5 m NGF pour le flanc sud et à une altitude de 11,5 m NGF pour le flanc nord), de manière à prendre en considération un éventuel battement de la nappe. Cette marge n'a pas d'effet sur la cartographie des zones ennoyées du flanc nord, qui présente un pendage vertical. La carte présente également la localisation des anciens puits et cheminées du secteur.

Le rapport INERIS-DRS-04-48514/R02, intitulé « Evaluation et cartographie des aléas mouvements de terrain sur le bassin minier de May-sur-Orne », présente l'inventaire des ouvrages débouchant au jour (puits et cheminées d'aérage) et leur état. Cet inventaire, effectué dans le cadre de la phase informative, recense 10 puits ayant servi à l'extraction ou à l'aérage.

D'après ce même rapport, les puits de forme circulaire ont un diamètre compris entre 1,5 et 5,5 m, pour une profondeur de quelques dizaines de mètres à 540 m

* Pour la gestion du risque lié au radon dans les établissements recevant du public, les pouvoirs publics ont retenu la valeur de 400 Bq/m³ comme objectif de précaution et celle de 1000 Bq/m³ comme seuil d'alerte, en valeur moyenne annuelle (source : www.irsn.fr)

(puits Central). Les cheminées d'aération sont apparemment nettement plus petites en diamètre (manque d'informations). Les puits d'accès de section rectangulaire sont très peu profonds (quelques mètres à une cinquantaine de mètres).

Des travaux de mise en sécurité ont été effectués dans le cadre de la procédure d'abandon et achevés en 1994 :

- 3 puits, parmi les plus importants, ont fait l'objet de travaux importants comprenant un traitement du sol par des injections de ciment et la pose de dalles en béton armé (puits de St-André, puits GDO, puits Central),
- 5 puits ont été obstrués par un bouchon en béton armé ou recouverts d'une dalle en béton armé (petit puits de St-André, Verrières, Harcourt, La Hogue et ULV),
- Les deux derniers puits (Rocquancourt et Taraud) ont été fermés¹ pour permettre l'exploitation des eaux. Ils sont toujours actuellement sous surveillance.

Il apparaît donc que l'obturation de ces ouvrages n'est pas prévue pour assurer une étanchéité suffisante au gaz. Des migrations d'atmosphères potentiellement dangereuses vers la surface peuvent se produire par ces orifices, ainsi qu'à travers les terrains eux-mêmes. En effet, les chantiers, chambres, galeries de niveau ou galeries d'accès (galerie de niveau B pour le flanc nord, galerie I et galeries tracées dans les morts terrains pour le flanc sud) sont situés sous un recouvrement dont la hauteur varie entre quelques mètres seulement (à l'ouest) et une cinquantaine de mètres, voire un peu plus (à l'est). L'épaisseur des terrains de recouvrement des vides non ennoyés ne dépasse donc pas 50-60 mètres, ce qui est *a priori* trop peu pour s'opposer efficacement à une migration éventuelle de gaz vers la surface.

1.4.5 INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES

Il est prévu que GEODERIS réalise dans un délai proche des sondages de reconnaissance complémentaires dans le but de fournir à l'administration des cartes de calage du fond par rapport au jour les plus précises possibles, et de connaître l'état des chambres d'exploitation sous ou à proximité des zones à enjeux.

Dans ce contexte, et du fait que les qualités actuelles des atmosphères des vides miniers non ennoyés sont très mal connues, l'INERIS prévoit d'utiliser ces sondages pour la mesure de la composition de l'atmosphère dans ces vides.

L'INERIS préconise en conséquence des analyses des atmosphères gazeuses dans l'ensemble des 44 zones de sondages prévues par GEODERIS. Ces sondages ont été localisés, dans un objectif d'évaluation des risques de mouvements de terrain, dans les zones à enjeux (habitations, infrastructures diverses). Les mesures de gaz (O₂, CO₂, CO, CH₄, H₂S, radon) devront être effectuées dans ces mêmes secteurs, à l'aide d'appareils portatifs, en se concentrant sur les secteurs *a priori* les plus confinés, aux endroits où les entrées d'air seraient les plus difficiles, c'est-à-dire à distance des ouvertures des galeries I et B, et à distance des ouvrages débouchant au jour. Les mesures devront être

¹ Le rapport ne précise pas le type de fermeture.

effectuées en périodes de dépression barométrique. Des sondages supplémentaires par rapport aux 44 zones de sondages prévus pour les reconnaissances géotechniques ne seront pas *a priori* nécessaires.