

(28)

MICA  
Environnement

I.S.P.S.

BALE - SUISSE

ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE  
DU CENTRE DE STOCKAGE DE STOCAMINE

WITTELSHEIM (HAUT RHIN)



Avril 2004  
n° 04 - 069

MICA Environnement  
4, rue de la République 34600 BEDARIEUX  
Tél : 04 67 23 33 66 – Fax : 04 67 23 33 60

# SOMMAIRE

<b>1 - CADRE GENERAL DE L'ETUDE.....</b>	<b>8</b>
1.1 - GENERALITES .....	8
1.2 - CONTEXTE PARTICULIER DU STOCKAGE DE STOCAMINE.....	9
1.3 - METHODOLOGIE DE L'ETUDE .....	9
<b>2 - BASE DE DONNEES .....</b>	<b>12</b>
2.1 - CADRE DES PLANS GENERES POUR L'ETUDE.....	12
2.2 - LOCALISATION DU SITE DE STOCKAGE DANS LE CONTEXTE DE L'EXPLOITATION DE LA POTASSE – EMPRISE DE L'ETUDE .....	13
2.3 - DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES .....	20
<b>3 - DESCRIPTION DES EXPLOITATIONS MINIERES ET DU STOCKAGE .....</b>	<b>22</b>
3.1 - LES MINES DE POTASSE D'ALSACE.....	23
3.1.1 - <i>Généralités, historique des méthodes d'exploitation</i> .....	23
3.1.1.1. Période allant du début de l'exploitation industrielle (1913) à la fin de la deuxième guerre (1945). 23	
3.1.1.2. Période allant de la fin de la guerre (1945) à l'année 1980 (35 ans) .....	25
3.1.1.3. Conclusions sur les méthodes d'exploitation utilisées aux M.D.P.A.....	26
3.1.2 - <i>La mine Amélie</i> .....	31
3.1.3 - <i>Tonnages extraits</i> .....	34
3.2 - STOCAMINE.....	36
3.2.1 - <i>Aménagement du stockage</i> .....	36
3.2.2 - <i>Exploitation du stockage</i> .....	38
3.3 - COMMUNICATIONS STOCAMINE – M.D.P.A.....	41
<b>4 - ETUDE GEOLOGIQUE.....</b>	<b>42</b>
4.1 - CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL .....	42
4.2 - STRATIGRAPHIE ET LITHOLOGIE DES TERRAINS DU BASSIN DE WITTELSHEIM .....	45
4.2.1 - <i>Les formations du substratum</i> .....	45
4.2.2 - <i>Les formations tertiaires</i> .....	46
4.2.2.1. L'Eocène.....	47
4.2.2.2. L'Oligocène.....	47
4.2.2.3. Le Plio – quaternaire .....	49
4.3 - PRESENTATION DE LA CARTE GEOLOGIQUE .....	52
4.4 - EVOLUTION TECTONIQUE DU BASSIN DE WITTELSHEIM .....	56
4.4.1 - <i>Tectonique cassante</i> .....	56
4.4.2 - <i>Le diapirisme</i> .....	61
4.5 - PRESENTATION DU BASSIN POTASSIQUE .....	62
4.5.1 - <i>Généralités</i> .....	62
4.5.2 - <i>Description</i> .....	62
4.6 - LES PUIITS DE MINE .....	67
4.6.1 - <i>Généralités</i> .....	67
4.6.2 - <i>Caractéristiques des puits en liaison directe avec le stockage</i> .....	68
4.6.2.1. Le Puits Joseph.....	69
4.6.2.2. Le Puits Else .....	70
4.6.2.3. Le Puits Amélie 1 .....	71
4.6.2.4. Le Puits Amélie 2 .....	72
4.6.2.5. Le Puits Max .....	73
4.6.3 - <i>Caractéristiques des puits sans liaison directe avec le stockage</i> .....	75
4.7 - LES SONDAGES .....	78
4.7.1 - <i>Généralités</i> .....	78
4.7.2 - <i>Rebouchage des sondages de recherche de Potasse</i> .....	78
4.7.2.1. Technique mise en œuvre avant 1913.....	79
4.7.2.2. Technique mise en œuvre en 1928 – 1929 .....	79
4.7.2.3. Technique mise en œuvre avant 1937 - 1939 .....	79
4.7.2.4. Technique mise en œuvre de 1947 à 1952 – 1953 .....	79
4.7.2.5. Technique mise en œuvre à partir de 1953.....	79

4.7.3 - Les sondages recoupés par les travaux miniers.....	80
4.7.3.1. Sondages de recherche de potasse.....	80
4.7.3.2. Sondages de recherche pétrolière.....	80
4.7.4 - Conclusions sur les sondages.....	81
<b>5 - ETUDE GEOTECHNIQUE.....</b>	<b>82</b>
5.1 - RECONNAISSANCE DE TERRAIN.....	82
5.1.1 - Cartographie des phénomènes de déformation dans le stockage.....	82
5.1.2 - Description des phénomènes de déformation observés dans le stockage.....	86
5.1.2.1. Les écaillages ou convergence horizontale.....	86
5.1.2.2. Déformation des toits.....	89
5.1.2.3. Les soufflages.....	89
5.2 - SYNTHÈSE DES MESURES DE CONVERGENCE AU FOND.....	93
5.3 - COMPORTEMENT MÉCANIQUE DU STOCKAGE ET DE LA MINE DE POTASSE – COMPORTEMENT A LONG TERME.....	97
5.3.1 - Loi de comportement des matériaux et caractéristiques géomécaniques.....	97
Loi de comportement du sel gemme et caractéristiques géomécaniques.....	97
5.3.2 - Comportement du stockage à long terme dans le cas où celui-ci reste sec – Vitesse de convergence (Modélisation de l'ENSMP).....	101
5.3.2.1. Principe de modélisation.....	101
5.3.2.2. Présentation des résultats – H = 2,80, S = 20 x 20, L = 5,50.....	103
5.3.2.3. Subsidence des terrains en surface.....	124
5.3.3 - Confrontation de la modélisation de l'ENSMP avec les mesures de convergence réalisées dans le stockage : Conclusion sur la convergence à long terme.....	125
5.3.4 - Comportement à long terme d'une voie de desserte au mur.....	128
5.3.5 - Risque de remontées de fissures jusqu'en surface – Explication du cas particulier de l'effondrement des toits dans le Bloc 25.....	131
<b>6 - ETUDE HYDROGÉOLOGIQUE.....</b>	<b>136</b>
6.1 - GÉNÉRALITÉS : RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE RÉGIONAL.....	136
6.2 - CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONAL.....	136
6.3 - LES AQUIFÈRES DU SECONDAIRE.....	137
6.4 - LES AQUIFÈRES DU TERTIAIRE.....	138
6.4.1 - Le Sannoisien (Zone salifère inférieure, moyenne et supérieure).....	138
6.4.2 - Le Stampien.....	139
6.4.3 - Le Chattien.....	139
6.4.4 - Conclusion sur les aquifères du tertiaire.....	140
6.5 - LA NAPPE DU QUATÉNAIRE.....	140
6.6 - HISTORIQUE DES VENUES D'EAU DANS LA MINE.....	143
6.6.1 - Venues d'eau superficielles.....	143
6.6.1.1. Venues d'eau chroniques par les puits.....	143
6.6.1.2. Venues d'eau accidentelles.....	144
6.6.2 - Venues d'eau profonde.....	144
6.6.3 - Caractéristiques physico-chimiques des venues d'eau dans la mine.....	145
6.6.3.1. Hydrochimie des ions majeurs.....	145
6.6.3.2. Teneurs en métaux et autres paramètres.....	147
6.6.3.3. Hydrochimie isotopique.....	148
<b>7 - VECTEURS D'ENTRÉES D'EAU DANS LA MINE.....</b>	<b>151</b>
7.1 - GÉOMÉTRIE DU GISEMENT ET DE L'EXPLOITATION.....	151
7.1.1 - Définition du Bloc-Hôte.....	151
7.1.2 - L'exploitation minière.....	153
7.1.3 - Estimation des vides résiduels dans la mine.....	156
7.1.3.1. Vides résiduels dans les couches exploitées.....	156
7.1.3.2. Vides résiduels dans les voies au mur.....	157
7.1.3.3. Vides résiduels dans StocaMine.....	160
7.1.3.4. Positionnement des vides miniers.....	160
7.2 - COMMUNICATIONS DU SITE STOCAMINE AVEC LES AUTRES MINES.....	161

7.3 - LES RELATIONS DE L'EXPLOITATION AVEC LE MILIEU EXTERIEUR .....	162
7.3.1 - Communications au travers des couches géologiques .....	162
7.3.2 - Communications par les sondages.....	162
7.3.3 - Communications par les puits d'exploitation.....	163
7.3.3.1. Puits ouverts de la mine Amélie.....	163
7.3.3.2. Bassin de Wittelsheim : Méthode de fermeture des puits aux M.D.P.A.....	164
7.3.3.3. Application à StocaMine.....	168
7.4 - SCENARIOS REALISTES D'ENNOYAGE DE LA MINE.....	169
7.4.1 - Estimation des entrées d'eau dans la mine Amélie (considérée comme isolée) .....	169
7.4.1.1. Entrées d'eau à court terme (avant la fermeture des puits) .....	169
7.4.1.2. Entrées d'eau à long terme (après la fermeture des puits) .....	170
7.4.1.3. Durée d'ennoyage de la mine Amélie considérée en système isolé.....	172
7.4.2 - Estimation des entrées d'eau dans l'ensemble du bassin de Wittelsheim.....	174
7.4.3 - Estimation de la durée de l'ennoyage du bassin de Wittelsheim.....	176
7.4.3.1. Durée de l'ennoyage .....	176
7.4.3.2. Conditions d'ennoyage.....	178
7.4.4 - Phénomène de mise en pression de l'atmosphère de la mine (bassin de Wittelsheim) .....	179
7.4.4.1. Quantification du volume d'air final sous pression.....	179
7.4.4.2. Evacuation des gaz sous pression.....	181
7.4.5 - Equilibre final du système.....	183
7.4.5.1. Equilibre final en considérant la mine Amélie comme un système isolé .....	183
7.4.5.2. Equilibre final en considérant les puits du Bassin de Wittelsheim .....	189
7.4.5.3. Influence des paramètres .....	200
7.4.5.4. Impact des dissolutions .....	201
7.4.5.5. Rôle de la température.....	205
7.4.5.6. Impact des eaux profondes du gisement sur l'aquifère alluvial .....	206
7.5 - SCENARIOS ACCIDENTELS.....	211
7.5.1 - Rupture d'un bouchon de puits et entrée brutale d'eau douce .....	211
7.5.1.1. Rupture d'un bouchon situé en amont du stockage.....	212
7.5.1.2. Rupture d'un bouchon situé en aval du stockage .....	214
7.5.2 - Forage atteignant l'aquifère secondaire artésien et remontée brutale d'eau douce .....	215
7.5.2.1. Cas des anciens sondages.....	215
7.5.2.2. Cas d'un nouveau sondage.....	216
7.5.3 - Expulsion d'air et de saumure par un forage recoupant les travaux miniers.....	218
7.5.3.1. Le forage perce la zone exondée sous pression de la partie haute de la mine Amélie .....	218
7.5.3.2. Le forage perce le stockage déjà ennoyé.....	219
7.5.3.3. Conclusions et recommandations.....	219
7.5.4 - Entrée d'eau douce par un forage recoupant le stockage .....	220
7.5.4.1. Estimation des débits .....	220
7.5.4.2. Conséquences de l'intrusion d'eau douce.....	221
7.5.5 - Altération de l'étanchéité du barrage du Travers Banc T (TBT).....	222
7.5.6 - Failles et séismes .....	223
<b>8 - PRECONISATIONS POUR LA FERMETURE DES PUIITS ET LE CONFINEMENT DU STOCKAGE.....</b>	<b>224</b>
8.1 - CAS DU MAINTIEN DES PRODUITS AU FOND .....	224
8.1.1 - Préconisations pour la fermeture des puits.....	224
8.1.1.1. Mode de fermeture ultra sécuritaire des puits en amont du stockage .....	227
8.1.2 - Préconisations pour le confinement du stockage .....	230
8.1.2.1. Modalités de l'ennoyage du stockage .....	230
8.1.2.2. Modalités de mise en œuvre du confinement du stockage .....	234
8.1.3 - Conséquences des travaux de confinement sur les flux d'eau dans la mine à l'ennoyage et en régime à l'état final.....	237
8.1.3.1. Conséquences au cours de l'ennoyage du stockage.....	240
8.1.3.2. Conséquences une fois l'équilibre hydrodynamique atteint .....	242
8.1.4 - Alternative pour le remblayage des puits Amélie 1 et Amélie 2 .....	243
8.2 - CAS DU DESTOCKAGE DES PRODUITS HORS BLOC 15 .....	244
8.2.1 - Préconisations pour la fermeture des puits.....	244
8.2.2 - Préconisations pour le confinement du bloc 15.....	244
8.2.2.1. Généralités .....	244
8.2.2.2. Modalités de réalisation du confinement du bloc 15.....	245
8.2.3 - Conséquences sur les flux d'eau.....	245

<b>9 - CONCLUSIONS.....</b>	<b>248</b>
9.1 - CONTEXTE GENERAL .....	248
9.1.1 - <i>Ennoyage de la mine</i> .....	248
9.1.2 - <i>Durée de l'ennoyage</i> .....	248
9.1.3 - <i>Equilibre final</i> .....	249
9.2 - EVALUATION DES FLUX DANS LA MINE : FONCTIONNEMENT DU SYSTEME .....	249
9.2.1 - <i>Phase de remplissage de la mine</i> .....	249
9.2.2 - <i>Equilibre final</i> .....	250
9.3 - DISCUSSION .....	252
9.3.1 - <i>Les certitudes</i> .....	252
9.3.2 - <i>Les incertitudes et leur degré de fiabilité</i> .....	253
9.3.2.1. Perméabilité des cendres volantes .....	253
9.3.2.2. Confinement du stockage.....	254
9.3.2.3. Etablissement d'une circulation d'eau dans la mine .....	254
9.4 - VALIDITE DU MODELE .....	256
9.5 - RESUME DES HYPOTHESES PRISES EN COMPTE .....	257

## LISTE DES DOCUMENTS

Carte de situation du Stockage de StocaMine sur fond de carte IGN au 1 : 25 000	Document n°04.069 / 1	En annexe
Extrait de la carte de situation du Stockage de StocaMine sur fond de carte IGN au 1 : 25 000	Document n°04.069 / 2	Dans le texte
Carte du bassin potassique au 1 : 25 000 et dénomination des quartiers	Document n°04.069 / 3	En annexe
Extrait de la carte du bassin potassique au 1 : 25 000 et dénomination des quartiers	Document n°04.069 / 4	Dans le texte
Légende du plan des travaux miniers des M.D.P.A.	Document n°04.069 / 5	Dans le texte
Plan de l'emprise de l'étude au 1 : 50 000	Document n°04.069 / 6	Dans le texte
Coupe Nord-Sud de localisation du site de stockage	Document n°04.069 / 7	Dans le texte
Coupe Est-Ouest de localisation du site de stockage	Document n°04.069 / 8	Dans le texte
Liste des documents consultés pour l'étude	Document n°04.069 / 9	Dans le texte
Schéma des méthodes d'exploitation Piliers tournés/Stossbau chassant montant	Document n°04.069 / 10	Dans le texte
Schéma des méthodes d'exploitation Longues tailles avec tir sur havage	Document n°04.069 / 11	Dans le texte
Schéma des méthodes d'exploitation Longues tailles, chambres et piliers havage intégral	Document n°04.069 / 12	Dans le texte
Schéma des méthodes d'exploitation Etat des vides et de la fissuration à très long terme	Document n°04.069 / 13	Dans le texte
Plan des travaux miniers de la mine Amélie au 1 : 5000	Document n°04.069 / 14	En annexe
Extrait du plan des travaux miniers de la mine Amélie au 1 : 5000	Document n°04.069 / 15	Dans le texte
Vue d'une taille par havage intégral photo M.D.P.A.	Document n°04.069 / 16	Dans le texte
Tableau des tonnages extraits aux M.D.P.A.	Document n°04.069 / 17	Dans le texte
Extrait du plan des travaux miniers de la mine Amélie au 1 : 5000 – Secteur de StocaMine	Document n°04.069 / 18	Dans le texte
Photographies de l'allée centrale de desserte et d'une allée de stockage	Document n°04.069 / 19	Dans le texte
Photographie de disposition des déchets dans les allées de stockage	Document n°04.069 / 20	Dans le texte
Extrait de la carte géologique au 1 : 1 000 000 de la France	Document n°04.069 / 21	Dans le texte
Coupe géologique du sondage de Soultz et correspondances lithostratigraphiques	Document n°04.069 / 22	Dans le texte
Tableau des correspondances stratigraphiques dans les terrains Oligocène	Document n°04.069 / 23	Dans le texte
Carte géologique de la région de Mulhouse – Extrait de la carte géologique au 1 : 50 000 du Service Géologique National, agrandi au 1 : 25 000	Document n°04.069 / 24	En annexe
Extrait de la carte géologique au 1 : 50 000 du Service Géologique National	Document n°04.069 / 25	Dans le texte
Carte géologique M.D.P.A. au 1 : 25 000 du bassin potassique	Document n°04.069 / 26	En annexe
Extrait de la carte géologique M.D.P.A. au 1 : 25 000 du bassin potassique	Document n°04.069 / 27	Dans le texte

Carte structurale schématique de l'Alsace Méridionale au 1 : 50 000 (extrait de la notice de la carte géologique, feuille de Thann)	Document n°04.069 / 28	Dans le texte
Coupe géologique Nord/Sud	Document n°04.069 / 29	Dans le texte
Coupe géologique Est/Ouest n° 1	Document n°04.069 / 30	Dans le texte
Coupe géologique Est/Ouest n° 2	Document n°04.069 / 31	Dans le texte
Plan général des travaux miniers du bassin potassique au 1 : 25 000	Document n°04.069 / 32 (Voir Document n°04.069/ 5)	En annexe
Extrait du plan général des travaux miniers du bassin potassique au 1 : 25 000	Document n°04.069 / 33	Dans le texte
Carte des isohypses du mur de la couche inférieure de potasse au 1 : 25 000	Document n°04.069 / 34	En annexe
Extrait de la carte des isohypses du mur de la couche inférieure de potasse au 1 : 25 000	Document n°04.069 / 35	Dans le texte
Bloc diagramme de la topographie de la couche inférieure de potasse	Document n°04.069 / 36	Dans le texte
Coupes géologiques des puits de la mine Amélie au 1 : 1 000	Document n°04.069 / 37	En annexe
Coupes géologiques des puits du Nord du bassin de Wittelsheim au 1 : 1 000	Document n°04.069 / 38	En annexe
Tableaux des caractéristiques des puits remblayés aux M.D.P.A.	Document n°04.069 / 39	Dans le texte
Puits du bassin de Wittelsheim : position des cuvelages étanches et des bouchons de suies	Document n°04.069 / 40	Dans le texte
Tableau de recensement des sondages de prospection minière ou pétrolière dans le bassin de Wittelsheim	Document n°04.069 / 41	En annexe
Plan des sondages de prospection minière ou pétrolière dans le bassin de Wittelsheim au 1 : 25 000	Document n°04.069 / 42	En annexe
Plan de l'état des lieux – Février 2004 au 1 : 1 000	Document n°04.069 / 43	En annexe
Légende du plan de l'état des lieux	Document n°04.069 / 44	Dans le texte
Extrait du plan de l'état des lieux – Février 2004 au 1 : 1 000	Document n°04.069 / 45	Dans le texte
Photographies des écaillages	Document n°04.069 / 46	Dans le texte
Croquis de terrain des écaillages	Document n°04.069 / 47	Dans le texte
Photographies de la déformation des toits	Document n°04.069 / 48	Dans le texte
Photographies des soufflages	Document n°04.069 / 49	Dans le texte
Courbes des iso-vitesses de convergence horizontales au 1 : 2 500	Document n°04.069 / 50	Dans le texte
Courbes des iso-vitesses de convergence verticales au 1 : 2 500	Document n°04.069 / 51	Dans le texte
Figures 1 à 22	Document n°04.069 / 52	En annexe
Figures de 102 à 118	Document n°04.069 / 53	Dans le texte
Courbe de convergence dans le stockage de l'ENSMP	Document n°04.069 / 54	Dans le texte
Convergence des voies de desserte au mur Figures 126 et 131 de l'ENSMP	Document n°04.069 / 55	Dans le texte
Diagramme des champs de déplacement	Document n°04.069 / 56	Dans le texte
Diagramme déformation du maillage	Document n°04.069 / 57	Dans le texte

Diagramme des remontées de fissures	Document n°04.069 / 58	Dans le texte
Coupe stratigraphique simplifiée et position des différents aquifères à la verticale de StocaMine	Document n°04.069 / 59	Dans le texte
Diagramme des analyses d'eau d'exhaure du bassin minier de Wittelsheim	Document n°04.069 / 60	Dans le texte
Disposition du stockage de StocaMine vis-à-vis des travaux miniers au 1 : 50 000	Document n°04.069 / 61	Dans le texte
Graphe de l'évolution de la compaction des terrains décomprimés après foudroyage	Document n°04.069 / 62	Dans le texte
Schéma de principe du remblayage des puits aux MDPAs	Document n°04.069 / 63	Dans le texte
Graphe de la durée de l'ennoyage de la mine Amélie en considérant un débit de 200 m <sup>3</sup> /mois	Document n°04.069 / 64	Dans le texte
Débites de percolation au travers des bouchons des puits du Nord du bassin de Wittelsheim	Document n°04.069 / 65	Dans le texte
Evolution de l'ennoyage du bassin de Wittelsheim en considérant un débit de 1 800 m <sup>3</sup> /mois	Document n°04.069 / 66	Dans le texte
Schéma du système hydraulique de la mine Amélie	Document n°04.069 / 67	Dans le texte
Coupe hydrogéologique E – W, au niveau du stockage	Document n°04.069 / 68	Dans le texte
Schéma du système hydraulique du bassin minier de Wittelsheim	Document n°04.069 / 69	Dans le texte
Position théorique de l'interface eau douce / saumure à l'équilibre hydrostatique pour différentes densités de saumure.	Document n°04.069 / 70	Dans le texte
Carte des flux et des temps de transit une fois l'équilibre hydrodynamique atteint au 1 : 50 000	Document n°04.069 / 71	Dans le texte
Carte des flux et des temps de transit une fois l'équilibre hydrodynamique atteint au 1 : 25 000	Document n°04.069 / 72	En annexe
Coupe hydrogéologique N - S	Document n°04.069 / 73	Dans le texte
Coupe hydrogéologique E – W au droit des puits Marie et Louise	Document n°04.069 / 74	Dans le texte
Traces de dissolutions observées près du puisard Joseph	Document n°04.069 / 75	Dans le texte
Situation des captages vis-à-vis des puits et du bassin minier de Wittelsheim	Document n°04.069 / 76	En annexe
Schéma de principe de remblayage des puits Joseph, Else, Amélie 1 et Amélie 2	Document n°04.069 / 77	Dans le texte
Schéma de remblayage ultra sécuritaire des puits Joseph et Else	Document n°04.069 / 78	Dans le texte
Bures de jonction entre la VAM RAJ2 et la PAM 77b	Document n°04.069 / 79	Dans le texte
Coupe schématique de l'ennoyage du stockage	Document n°04.069 / 80	Dans le texte
Plan d'implantation des bouchons de confinement du stockage	Document n°04.069 / 81	Dans le texte
Estimation du flux résiduel pouvant transiter par le stockage après confinement	Document n°04.069 / 82	Dans le texte
Plan d'implantation des bouchons de confinement du bloc 15 en cas de déstockage des déchets	Document n°04.069 / 83	Dans le texte
Schéma des transferts d'eau durant l'ennoyage et à l'équilibre (Document B.M.G.)	Document n°04.069 / 84	Dans le texte



# 1 - CADRE GENERAL DE L'ETUDE

Carte de situation du Stockage de StocaMine sur fond de carte IGN au 1 : 25 000	Document n°04.069/ 1	En annexe
Extrait de la carte de situation du Stockage de StocaMine sur fond de carte IGN au 1 : 25 000	Document n°04.069/ 2	Dans le texte

## 1.1 - GENERALITES

La société StocaMine exploite depuis 1998 un centre de stockage souterrain de déchets industriels toxiques non radioactifs, à proximité de la localité de Wittelsheim, 10 Km au Nord Ouest de la ville de Mulhouse.

Ce centre de stockage est implanté dans les formations salines profondes du bassin potassique alsacien.

Le but initial du centre de stockage était d'assurer l'innocuité des déchets vis à vis de l'environnement en les confinant de manière durable, excluant ainsi toute possibilité de relargage vers l'environnement.

Les déchets entreposés dans StocaMine sont des déchets chimiques dont la toxicité n'évolue que peu ou pas du tout avec le temps ; le confinement des déchets doit donc être théoriquement définitif ou en tous cas être garanti sur une très longue période.

Un sinistre a affecté le stockage au mois de septembre 2002 et a entraîné l'arrêt temporaire de l'exploitation.

A la suite de la décision prise par les actionnaires de StocaMine de ne pas reprendre l'activité de mise en dépôt des déchets, la société engage une étude d'impact pluridisciplinaire afin d'évaluer les effets prévisibles à très long terme du stockage, et de proposer des solutions concernant son avenir.

L'étude d'impact est conduite par l'Institut Suisse pour la Promotion de la Sécurité (I.S.P.S.), en collaboration avec le bureau B.M.G. Engineering A.G et le bureau d'études MICA Environnement. Cette étude géologique, hydrogéologique et géotechnique constitue un des éléments de l'étude d'impact.

## **1.2 - CONTEXTE PARTICULIER DU STOCKAGE DE STOCAMINE**

Le principe de confinement des déchets mis en œuvre à StocaMine est celui de la barrière géologique naturelle : la formation géologique et les aménagements qui y sont pratiqués imposent une barrière hydraulique et géochimique au transfert des polluants.

Le milieu salifère est jugé, à l'origine, très favorable car la présence même de sel témoigne du très bas niveau de circulation de l'eau souterraine qui constitue le vecteur essentiel des polluants sur une longue période.

Cependant, la solubilité très grande de cette roche remet rapidement en cause cet avantage dès lors qu'il y a circulation d'eau. Ceci est d'autant plus vrai que le stockage ne constitue pas une unité isolée, mais est étroitement lié aux exploitations de potasse des M.D.P.A. dont il partage une partie des installations.

La présente étude s'appuie sur les études antérieures, qui ont précédé la mise en exploitation du stockage souterrain. Ces études seront complétées des données recueillies depuis la mise en exploitation du stockage et des données complémentaires recueillies auprès de M.D.P.A. qui poursuit la procédure d'arrêt définitif de son exploitation.

## **1.3 - METHODOLOGIE DE L'ETUDE**

L'étude réalisée s'appuie sur une démarche rigoureuse composée de phases s'enchaînant dans un ordre logique, permettant d'établir à long terme les zones potentielles d'entrée et de sortie d'eau transitant par le stockage, ainsi que les zones potentielles de circulation des gaz.

Les différentes phases sont les suivantes :

- La constitution d'une base de données à partir des informations fournies par MDPA, StocaMine, le BRGM...,
- Une reconnaissance détaillée de terrain,
- L'étude géologique comprenant :
  - Une Synthèse des données existantes,
  - Un Recensement des sondages,
  - La Coupe des puits, coupes géologiques,
  - La Cartographie et la structure du bassin.

- L'étude géotechnique comprenant :
  - Un constat sur l'état de stabilité actuel du stockage,
  - L'étude du comportement mécanique du stockage à long terme,
  - L'approche des vitesses de convergence,
  - Le comportement mécanique à long terme des exploitations de potasse et les risques de remontées de fissures.
  
- L'étude hydrogéologique comprenant :
  - L'identification des différents aquifères,
  - Les possibilités d'entrée d'eau dans le stockage à partir des puits, sondages ou accidents géologiques,
  - L'évaluation des débits et du temps de transit de l'eau dans les mines de potasse et dans le stockage, grâce à l'approche de l'évaluation des vides résiduels de la mine.
  - Les points de sortie d'eau et les débits attendus,
  - La possibilité de formation de poches de gaz, consécutivement à l'ennoyage.
  
- Des préconisations pour la fermeture des ouvrages d'accès et pour le confinement éventuel du stockage.

L'étude s'appuie également sur des cartes regroupées par thèmes ; elles permettent une superposition de l'ensemble des données de base et des analyses techniques. Ces cartes permettent d'avoir ainsi une vision globale des conséquences et des effets à long terme du stockage.

L'échelle de temps considérée pour l'analyse des impacts à très long temps est la suivante :

- Court terme : 100 ans,
- Moyen terme : 500 ans,
- Long terme : 1 000 ans et au-delà.

**StocaMine**  
Wittelsheim

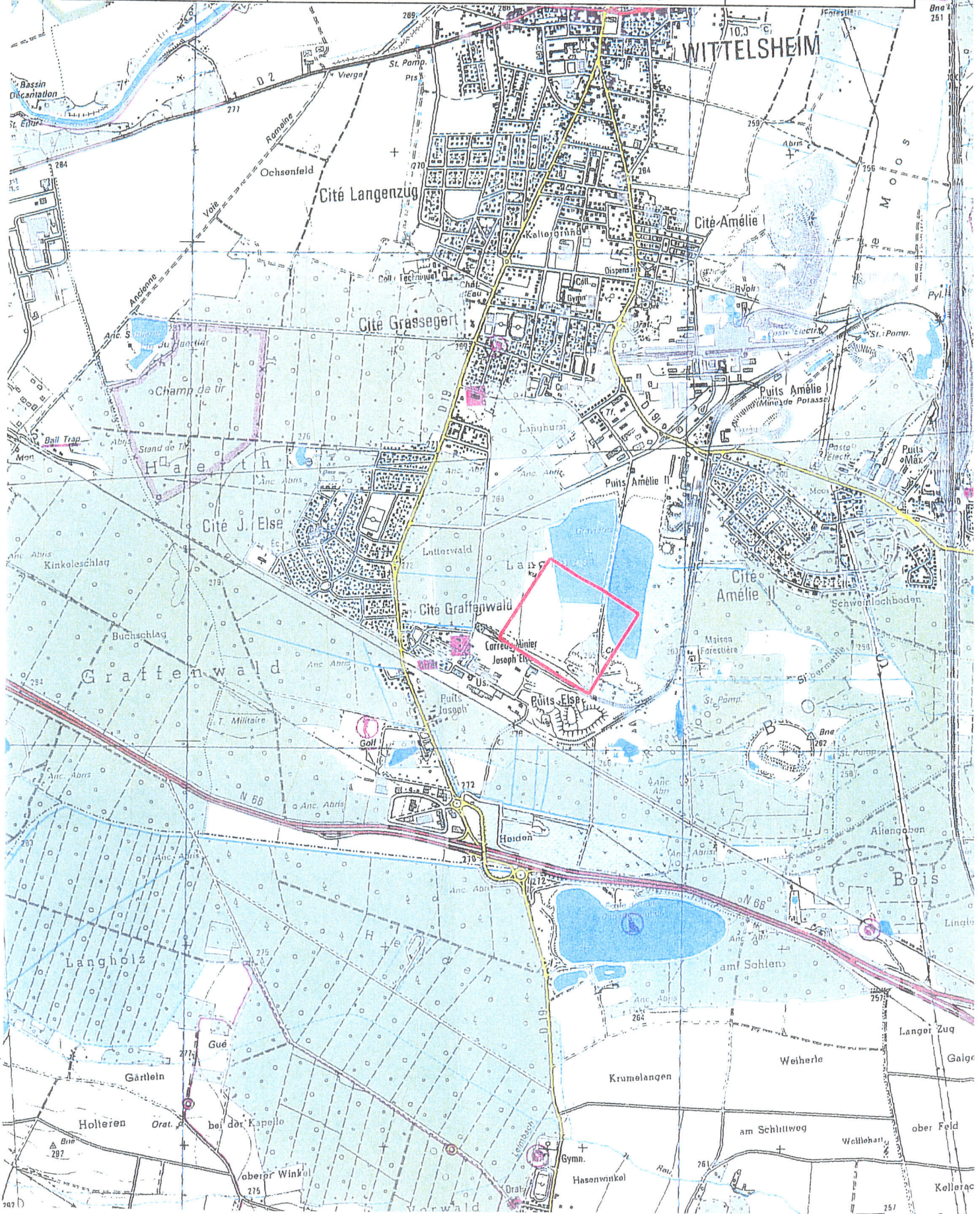
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

EXTRAIT DE LA CARTE DE SITUATION DU  
STOCKAGE DE STOCAMINE  
SUR FOND DE CARTE IGN AU 1 : 25 000

**MICA**  
Environnement

Echelle 1 : 25 000  
Janvier 2004



## **2 - BASE DE DONNEES**

### **2.1 - CADRE DES PLANS GENERES POUR L'ETUDE**

L'ensemble des documents générés pour la présente étude est réalisé dans un cadre et un format préalablement définis afin de disposer de données comparables et superposables (calques).

Les plans sont réalisés sous logiciel CORALIS. Ils sont orientés au Nord et coordonnés selon le système Lambert 2.

Ils sont également disponibles en fichier DXF.3D. ou 2D.

2 échelles ont été choisies :

- les plans au 1 : 25 000 sont destinés au rassemblement de données générales, à l'étude géologique et à l'étude hydrogéologique. Ces plans sont regroupés en annexe. Des extraits sont présentés dans le texte.
- les plans au 1 : 50 000 de synthèse,
- un plan au 1 : 1 000 centré sur le stockage est nécessaire pour réaliser la cartographie détaillée des phénomènes observés dans les travaux miniers et notamment les comportements mécaniques du site de stockage et des travaux miniers d'exploitation de la potasse.

## 2.2 - LOCALISATION DU SITE DE STOCKAGE DANS LE CONTEXTE DE L'EXPLOITATION DE LA POTASSE – EMPRISE DE L'ETUDE

Carte du bassin potassique au 1 : 25 000 et dénomination des quartiers	Document n°04.069/ 3	En Annexe
Extrait de la carte du bassin potassique au 1 : 25 000 et dénomination des quartiers	Document n°04.069/ 4	Dans le texte
Légende du plan des travaux miniers des M.D.P.A.	Document n°04.069/ 5	Dans le texte
Plan de l'emprise de l'étude au 1 : 50 000	Document n°04.069/ 6	Dans le texte
Coupe Nord-Sud de localisation du site de stockage	Document n°04.069/ 7	Dans le texte
Coupe Est-Ouest de localisation du site de stockage	Document n°04.069/ 8	Dans le texte

L'exploitation des mines de potasse par les M.D.P.A. s'est déroulée depuis 1904 sur plusieurs sièges d'exploitation qui sont :

- La Mine Amélie (Puits Amélie 1 et 2, Puits Joseph et puits Else),
- La Mine Max (Puits Max),
- La Mine Marie – Louise (Puits Marie, Puits Louise, ),
- La Mine Berrwiller (Puits de Berrwiller, Puits de Staffelfelden),
- La Mine Rodolphe – Ungersheim (Puits Rodolphe 1 et 2, Puits Alex, Puits Ungersheim 1 et 2).
- La Mine de Schoenensteinbach (Puits Schoenensteinbach)
- La Mine Anna – Fernand (Puits Anna 1 et 2, Puits Fernand 1 et 2),
- La Mine Théodore (Puits Théodore et Puits Eugène),
- La Mine Ensisheim (Puits Ensisheim 1, 2 et 3).

Sur ces sites miniers, les M.D.P.A. ont exploité par la technique du foudroyage, deux couches de potasse comprises entre les cotes – 200 m et – 700 m NGF (de 450 à 1 100 m de profondeur) :

- La couche supérieure (Cs), épaisse de quelques centimètres à 2 mètres.
- La couche inférieure (Ci) , épaisse de 4 à 6 mètres.

La couche supérieure n'a pas fait l'objet d'exploitation lorsqu'elle était trop mince. Elle se situe très régulièrement à 20 – 25 mètres au dessus de la couche inférieure.

La couche inférieure de potasse a servi de couche repère dans la mine, et les courbes isohypses du mur de la couche ont fait l'objet d'une cartographie à l'échelle du bassin potassique, dans les zones exploitées et dans les zones uniquement reconnues par sondages. La carte du mur (ou plancher) de la couche inférieure de potasse permet de définir la structure du bassin sédimentaire.

Les voies de desserte de l'exploitation sont le plus souvent implantées à – 4 mètres ou à - 23 ou - 25 mètres sous le mur de la couche inférieure. C'est à ce niveau (-23 / - 25 m sous Ci) qu'est implanté le stockage de StocaMine, dans la mine Amélie, au Nord Est des puits Joseph et Else.

Les chambres de stockage ont été aménagées dans une couche de sel gemme par la technique des chambres et piliers selon un agencement géométrique en carré divisé en sous unités ou blocs de stockage. Les exploitations de potasse et le stockage communiquent entre eux par des galeries de desserte et par des puits.

Ainsi l'étude ne peut donc pas se limiter à l'emprise seule du stockage mais prend en compte une bonne part de l'exploitation du bassin potassique.

Toutefois, le bassin potassique est découpé en plusieurs quartiers isolés entre eux par des stots où des failles qui empêchent toute communication.

La Mine Amélie communique avec la mine Max par des galeries de desserte. Elle est isolée, au Nord, de la mine Marie Louise par un stot de 20 m d'épaisseur, lequel a cependant été percé plusieurs fois par des trous de sondages réalisés pour effectuer les bouclages de cheminement topographiques. La présence de ce stot justifie de considérer à chaque fois deux hypothèses, à savoir que la mine Amélie constitue un système isolé, où au contraire qu'elle forme un tout avec l'ensemble des autres mines.

La Mine Marie Louise communique sans obstacle avec celles de Berrwiller, Schoenensteinbach, Rodolphe et Ungersheim.

Par contre, il n'existe aucune communication entre le groupe de mines Amélie – Ungersheim, et le groupe des mines Anna, Fernand, Théodore et Ensisheim.

Ainsi l'étude se limitera à la portion Ouest du bassin potassique constitué des mines Amélie, Marie-Louise, Berrwiller, Rodolphe et Ungersheim. Afin d'éviter toute confusion :

- La dénomination de bassin de Wittelsheim concerne les Mines Amélie, Marie-Louise, Berrwiller, Staffelfelden, Schoenensteinbach Rodolphe, Alex Ungersheim et Max.
- La dénomination bassin de Wittenheim – Ensisheim concerne les mines de l'Est, comprenant Anna, Fernand, Théodore, et Ensisheim, ne communiquant pas avec les mines du bassin de Wittelsheim.

**StocaMine**  
Wittelsheim

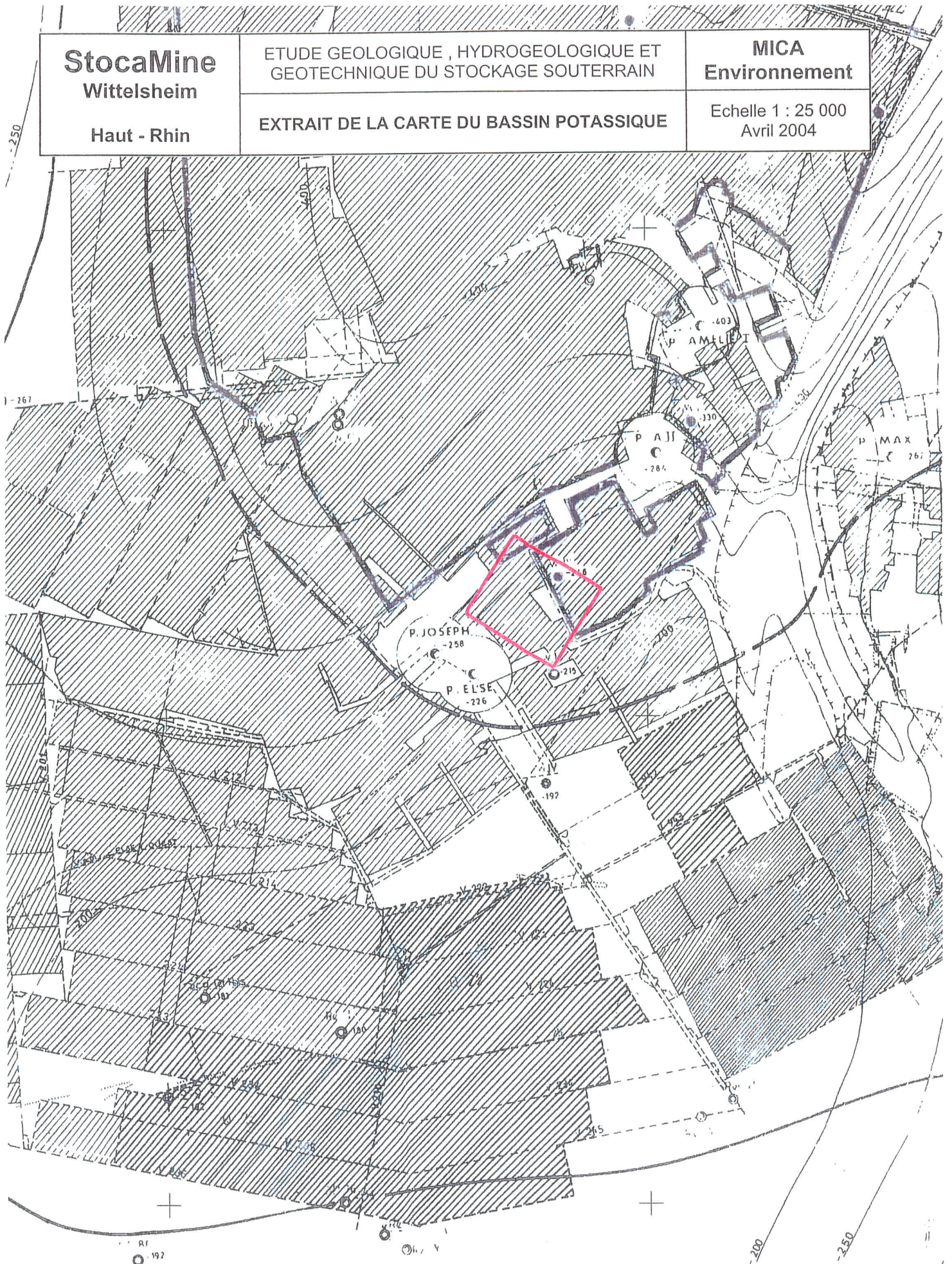
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

EXTRAIT DE LA CARTE DU BASSIN POTASSIQUE

**MICA**  
Environnement

Echelle 1 : 25 000  
Avril 2004





<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> Environnement
	<b>LEGENDE DU PLAN DES TRAVAUX MINIERES  DES MDPA</b>	Mai 2004

**CONCESSION**

-----○ Limite de la concession des Mines de Potasse d'Alsace

**EXPLOITATION ET TRAVAUX DU FOND**

■ Puits de mines remblayés

○ Puits de mines avec stots

▭ Extension de l'exploitation en couche supérieure ( VA ) mise à jour au 08/03/95

▨ Extension de l'exploitation en couche inférieure ( VL ) mise à jour au 08/03/95

voies de recherches et voies préparatoires en couche supérieure ou inférieure  
voies de recherches et voies préparatoires au stérile et travers bancs

**RECHERCHES PAR SONDAGES** : La position des sondages est déterminée par les coordonnées de surface )

● Sondages ayant rencontré les deux couches de potasse } avec cotes d'altitude du

○ Sondages ayant rencontré la couche inférieure de potasse } mur de la couche inférieure

○ sondages arrêtés dans le sel gemme au-dessus de la zone potassique

○ Sondages arrêtés au-dessus de la zone salifère supérieure du sannoisien

◎ Sondages ayant pénétré directement sous les alluvions quaternaires dans des formations

○ sondages au gisement potassique

○ sondages ayant pénétré jusqu'au dessous de la formation potassique sans trouver la potasse

○ sondages (manque sédimentaire) avec cotes approximatives du mur du niveau de la couche de potasse sans potasse )

○ sondages ayant pénétré jusqu'au dessous de la formation potassique sans trouver la

# StocaMine

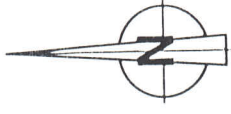
Wittelsheim  
Haut - Rhin





ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

MICA  
Environnement

PLAN D'EMPRISE DE L'ETUDE

Echelle 1 : 50 000  
Mars 2004

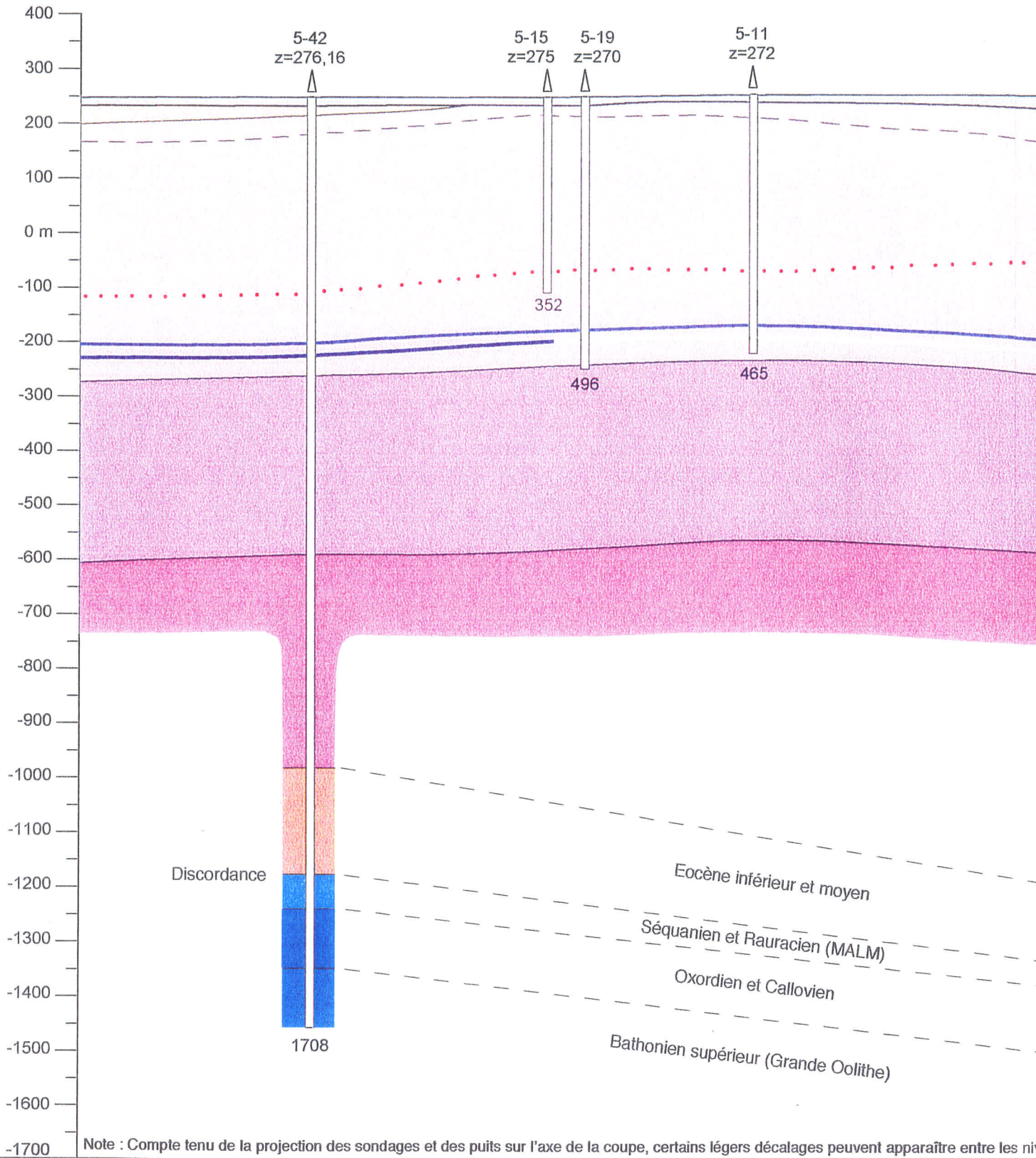


-  Extension de l'exploitation de la couche inférieure de potasse
-  Extension de l'exploitation de la couche supérieure de potasse
-  Voies d'exploitation hors couches (Voies Au Mur et Travers Banc)
-  Isohypse de la couche inférieure de potasse



ECHELLE HORIZONTALE : 1 / 25 000  
ECHELLE VERTICALE : 1 / 10 000

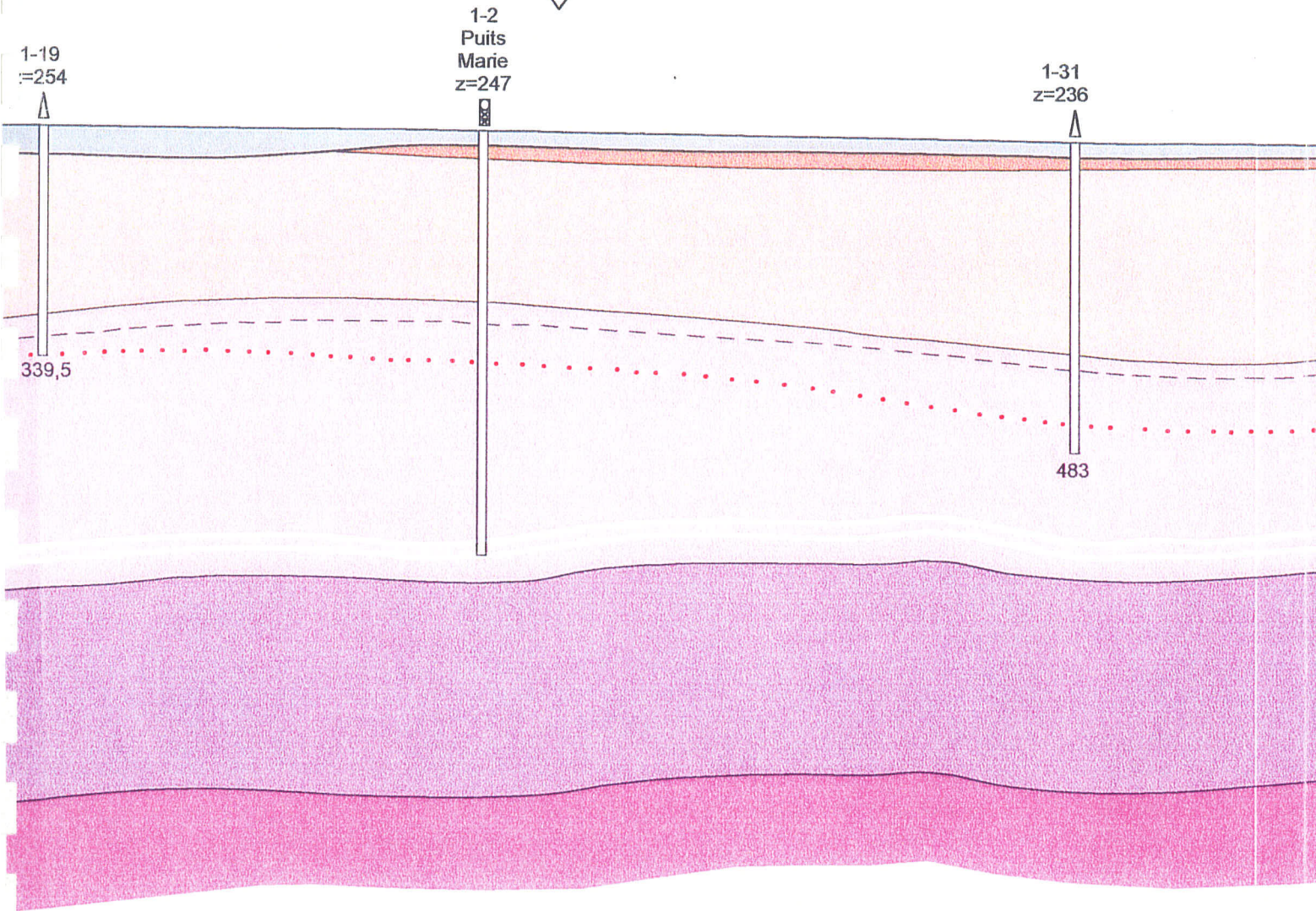
SUD - SUD/OUEST



Note : Compte tenu de la projection des sondages et des puits sur l'axe de la coupe, certains légers décalages peuvent apparaître entre les ni

LOGIQUE ET GÉOLOGIQUE ET GÉOTERRAIN	<b>MICA</b> Environnement
UD	Mars 2004

Intersection  
coupe E/O  
n°2

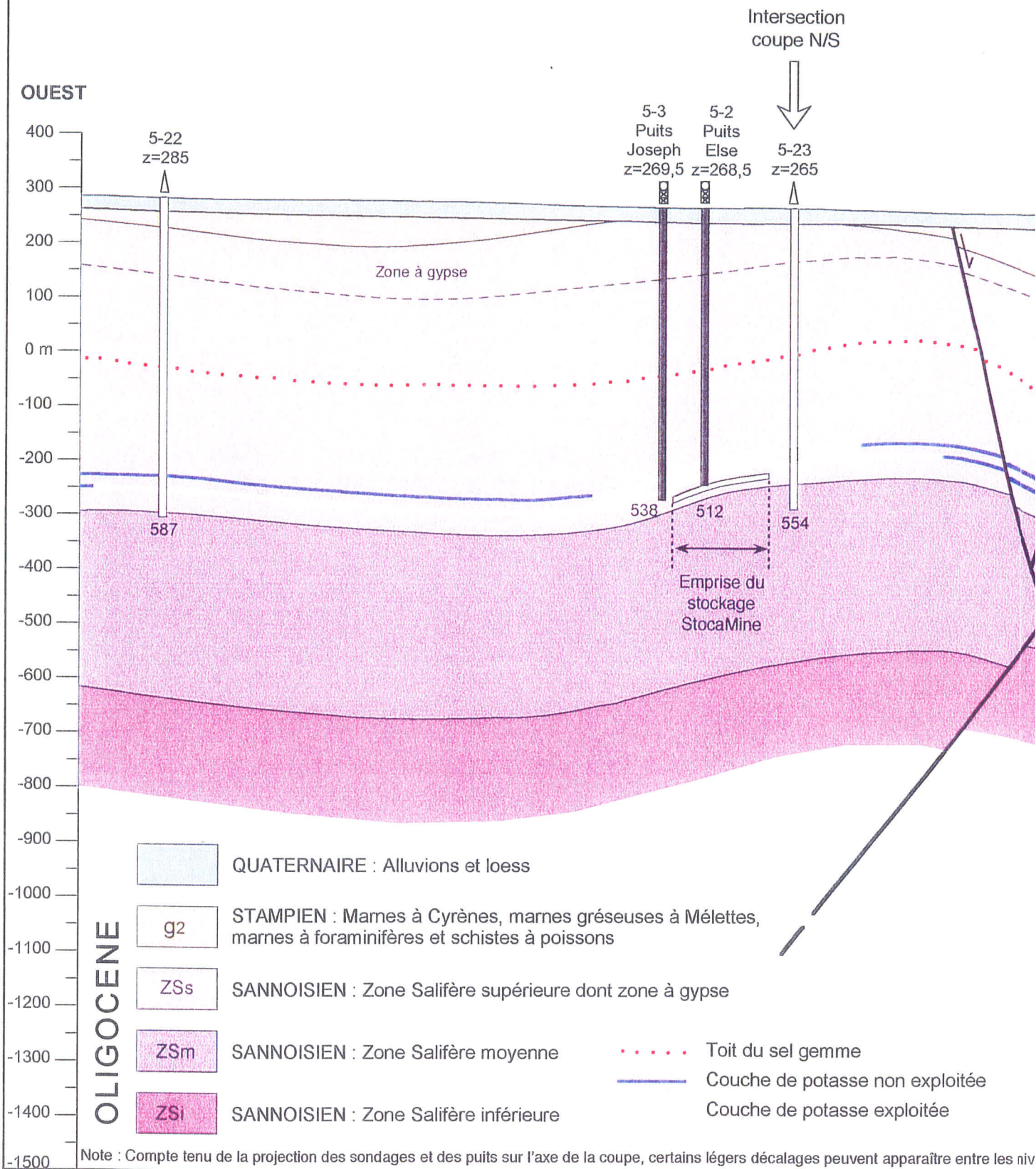


- OLIGOCENE**
- QUATERNAIRE : Alluvions et loess
  - g3 CHATTIEN: Marnes gréseuses bariolées
  - g2 STAMPIEN : Marnes à Cyrènes, marnes gréseuses à Mélettes, marnes à foraminifères et schistes à poissons
  - ZSs SANNOISIEN : Zone Salifère supérieure dont zone à gypse
  - ZSm SANNOISIEN : Zone Salifère moyenne
  - ZSi SANNOISIEN : Zone Salifère inférieure
- Toit du sel gemme  
 Couche de potasse non exploitée  
 Couche de potasse exploitée

ECHELLE HORIZONTALE : 1 / 25 000  
 ECHELLE VERTICALE : 1 / 10 000

**StocaMine**  
 Wittelsheim  
 Haut - Rhin

ETU  
 GE



Note : Compte tenu de la projection des sondages et des puits sur l'axe de la coupe, certains légers décalages peuvent apparaître entre les niv

## 2.3 - DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des documents consultés pour l'étude	Document n°04.069/ 9	Dans le texte
--------------------------------------------	----------------------	---------------

Avertissement : La présente étude a été réalisée sur la base de données recueillies sur le terrain, et :

- des données figurant dans les archives de StocaMine et de MDPA qui nous ont été communiquées,
- des témoignages du personnel de MDPA et StocaMine et en particulier Messieurs Lourdel, Godefroy et Ginsburger.

Les documents bibliographiques ont été pour la plus part mis à disposition par StocaMine et M.D.P.A.. Ces documents comprennent :

- Les coupes géologiques des puits (M.D.P.A.) et leurs mode de fermeture.
- La liste des puits et des sondages (M.D.P.A. et Banque du Sous Sol du BRGM).
- Les études géotechniques réalisées par l'Ecole des Mines de Paris dans le cadre des études préalables à l'ouverture du stockage (StocaMine).
- Les études hydrogéologiques réalisées par l'Ecole des Mines de Paris dans le cadre des études préalables à l'ouverture du stockage (StocaMine).
- Les mesures de convergence dans le stockage.

<b>StocaMine</b> <b>Wittelsheim</b>  <b>Haut - Rhin</b>	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE DES DOCUMENTS CONSULTES</b> <b>DANS LE CADRE DE L'ETUDE</b>	Mai 2004

Classe	Titre du document	Auteur	Date	N° StocaMine
Administratif	Arrêté n° 970157 du 03-02-1997 - Autorisation d'Exploiter	Préfecture de Colmar	03/02/97	
Géologie	Carte géologique de Mulhouse	S.G.N.	1976	
Géologie	Carte géologique de Thann	S.G.N.	1986	
Géologie	Coupes des sondages	B.S.S./B.R.G.M.	2004	
Géologie	Stockage souterrain	Géochronique	mars-03	
Géologie	Données de sondages et d'exhaure dans la mine	B. Gensburger / Y Lourdel	09/02/04	
Géotechnique	Méthodes d'exploitation aux MDPA	M.D.P.A.	1980	
Géotechnique	Etude desûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la Mine Amélie / Aspects mécaniques du problème	Ecole des Mines de Paris	1997	2
Géotechnique	Estimation des mouvements sismiques à la cote 500 m	Institut de physique du globe de Strasbourg	1997	3
Géotechnique	Tenue au séisme du cuvelage du puits Joseph / annexe 7	EDF	11/03/91	7
Géotechnique	Mesures de convergence dans StocaMine	StocaMine	27/01/04	21
Géotechnique	Affaissements et dégâts de surface dans le bassin potassique alsacien	MDPA	17/03/04	
Hydrogéologie	Approche des problèmes liés à l'hydrogéologie / Annexe 4	Ecole des Mines de Paris	1997	4
Hydrogéologie	Analyses d'eau Mine Amélie	TREDI Services	21/08/97	
Hydrogéologie	Contrôle de la Nappe phréatique Joseph Else	TREDI Services	01/12/01	28
Hydrogéologie	Etude du comportement hydraulique de l'obturation d'un puits par un bouchon de cendres volantes - Etude bibliographique	INERIS	21/12/01	15
Hydrogéologie	Coupe piézomètre 413,X	TREDI Services	15/01/02	27
Hydrogéologie	Terril Joseph Else Ouest - Synthèse hydrogéologique préalable à la réhabilitation du terril	TREDI Services	15/09/02	26
Hydrogéologie	Etude du comportement hydraulique de l'obturation d'un puits par un bouchon de cendres volantes - Synthèse	INERIS	15/10/02	15
Hydrogéologie	Assistance technique pour la réalisation de 12 piézomètres de contrôle - MDPA	Burgeap	05/06/03	25
Hydrogéologie	Implantation de piézomètres et de puits, secteur Joseph - Else - Analyses chlorures	M.D.P.A.	01/09/03	29
Hydrogéologie	Rebouchage des sondages de recherche de potasse	B. Gensburger / Y Lourdel	23/02/04	
Hydrogéologie	Précisions sur la température, les pressions et la densité	B. Gensburger / Y Lourdel	11/03/04	
Hydrogéologie				
Puits	Mémoires du service de la carte géologique d'Alsace Lorraine / Géologie des puits des mines de potasse	W. Wagner	1929	30 - 31
Puits	Scellement des puits de Mine réalisés dans les mines de sel ou de potasse	M.D.P.A.	02/02/87	
Puits	Le remblayage des puits aux MDPA / Mines et carrières	G. Bonte	02/02/92	
Puits	Remblayage des puits aux MDPA	B. Gensburger / Y Lourdel	03/02/04	32
Puits	Fiches de remblayage des puits	M.D.P.A.	02/03/04	
Puits	Caractérisation des Cendres volantes	Surschiste S.A.	30/03/04	
Puits	Débit de fuite dans un bouchon de cendres, Estimation du volume résiduel, Convergence et fermeture de galeries, Envahissement par l'eau	B. Gensburger / Y Lourdel	02/04/04	

### **3 - DESCRIPTION DES EXPLOITATIONS MINIERES ET DU STOCKAGE**

La description de l'exploitation minière concerne principalement la Mine Amélie, à laquelle le stockage est directement lié.

Quelques termes miniers étant souvent employés, en voici les définitions.

- Couche : gîte minéral d'origine sédimentaire ayant la même stratification que les terrains encaissants, et dont l'une des dimension est faible par rapport aux autres. A M.D.P.A., deux couches de Sylvine (KCl) sont exploitées, la couche supérieure, épaisse de quelques centimètres à deux mètres, et la couche inférieure épaisse de 4 à 6 mètres.
- Éponte : surface séparant le minerai du stérile. Par extension, terrains stériles au contact du minerai.
- Toit (de la couche ou d'une galerie) : éponte située au-dessus du minerai ; toit de la galerie ou plafond de la galerie.
- Mur (de la couche ou d'une galerie) : éponte située en dessous d'une couche ; plancher de la galerie.
- Dépilage : opération principale de l'exploitation comportant l'abattage et l'enlèvement du minerai.
- Foudroyage : Dans le cas des M.D.P.A., une fois que la machine (haveuse) a enlevé la couche de potasse, le soutènement hydraulique est déplacé. Le toit de la couche n'étant plus soutenu, il s'effondre : c'est le foudroyage.



## 3.1 - LES MINES DE POTASSE D'ALSACE

### 3.1.1 - Généralités, historique des méthodes d'exploitation

Schéma des méthodes d'exploitation Piliers tournés/Stossbau chassant montant	Document n°04.069/ 10	Dans le texte
Schéma des méthodes d'exploitation Longues tailles avec tir sur havage	Document n°04.069/ 11	Dans le texte
Schéma des méthodes d'exploitation Longues tailles, chambres et piliers havage intégral	Document n°04.069/ 12	Dans le texte
Schéma des méthodes d'exploitation Etat des vides et de la fissuration à très long terme	Document n°04.069/ 13	Dans le texte

L'exploitation des mines de potasse s'est poursuivie de manière pratiquement continue depuis le début de l'exploitation industrielle, vers 1913, à la fermeture en 2002.

Plusieurs techniques d'exploitation ont été mises en œuvre suivant les périodes d'exploitation et la couche à exploiter. La connaissance de ces techniques intervient dans l'approche de l'estimation des vides résiduels en fin d'exploitation.

#### 3.1.1.1. Période allant du début de l'exploitation industrielle (1913) à la fin de la deuxième guerre (1945).

- 1913 à 1919 : Méthode des piliers tournés (6 ans)

Seule la couche inférieure était en exploitation, la couche supérieure était délaissée.

La méthode utilise le tir à l'explosif pour abattre le minerai. Le soutènement de chantier est assuré par des piliers de minerai abandonnés, pour conserver une assise aux bancs supérieurs. Les piliers de forme carrée ou rectangulaire sont séparés entre eux par des galeries et recoupes.

Les galeries, de 3 à 6 mètres de largeur, étaient parallèles, séparées par des stots de 5 à 7 mètres et communiquant par des recoupes d'aérage tous les 10 à 25 mètres ; les piliers ainsi constitués étaient abandonnés.

La perte de gisement atteignait jusqu'à 50% de la couche inférieure et affectait toute la couche supérieure.

Les piliers abandonnés s'écrasaient sous l'effet de la pression des terrains, occasionnant fréquemment :

- le soulèvement du mur (ou soufflage),
- le flambement du toit suivi de sa rupture (ou coup de toit).

Ceci se traduisait en final par la rupture subite des terrains accompagnée de dégagements de gaz.

Cette méthode, utilisée durant 6 ans, dont quatre de guerre, représente une surface négligeable au sein du bassin.

- 1919 à 1924 : Méthode du "Stossbau" chassant (5 ans)

La méthode utilise le tir à l'explosif pour abattre le minerai, le chargement est fait à la pelle dans des berlines. En fin de chantier, l'intégralité de la zone exploitée est remblayée, et le toit s'affaisse sur le remblai.

- 1925 à 1930 : Méthode du "Stossbau" montant (5 ans)

Les procédés utilisés sont le tir à l'explosif, le chargement à la pelle dans un couloir oscillant, et le soutènement des chantiers par matériaux apportés. En final, le tout est remblayé.

Le remblai provenait soit de résidus de fabrique, soit de travaux improductifs et concernait des volumes très importants (30 à 50 % du volume exploité). En fin de chantier, la zone exploitée est remblayée, puis le toit s'affaisse sur le remblai (le remblais n'étant pas forcément clavé au toit).

- 1930 à 1940 : Méthode des longues tailles avec tir sur havage (10 ans).

Les procédés utilisés étaient le tir sur havage (havage en pied de couche, tir en sommet), le chargement à la pelle dans un couloir oscillant, le soutènement de chantier par matériaux apportés, l'affaissement du toit par foudroyage.

La taille est une galerie dans la couche qui se déplace perpendiculairement à sa largeur ; la création, par le havage, d'une saignée au bas de la couche dégage le minerai des terrains inférieurs et facilite le travail de l'explosif : il est possible d'abattre le minerai sur toute la longueur de la taille. En fin de chantier, l'intégralité de la zone exploitée est remblayée, et le toit s'affaisse sur le remblai.

### 3.1.1.2. Période allant de la fin de la guerre (1945) à l'année 1980 (35 ans).

Dans une première période, de 1945 à 1960, trois méthodes nouvelles : le raclage, les chambres et piliers, le havage intégral sont mises au point.

Le Raclage est une évolution des longues tailles avec tir sur havage. Le chargement est assuré par le passage d'un racloir dans l'allée de travail ramenant le minerai sur un engin de desserte (raclette) situé dans une voie de niveau.

La méthode des Chambres et piliers utilise le tir sur havage pour l'abattage; le chargement est assuré par une machine spéciale, la chargeuse déversant le minerai dans des camions circulant dans les allées de travail et se déversant, à leurs extrémités, sur des raclettes installées dans des voies de niveau. La tenue du toit est assurée par le maintien en place d'une partie du minerai sous forme de piliers ; le contrôle de l'arrière taille est obtenu par foudroyage des terrains provoqué par le torpillage (tir) des piliers en bordure, après les avoir « dégraissés ».

C'est en somme un retour à la méthode d'origine, mais avec l'emploi d'un matériel puissant et spécialisé et une maîtrise des mouvements du toit avec découpage du gisement suivant des schémas adaptés.

Le Havage intégral utilise la longue taille où l'abattage et le chargement sont assurés par une machine unique, la haveuse intégrale, qui fraise le minerai sur toute sa hauteur et assure l'acheminement des petits blocs créés par le fraisage sur l'engin de desserte, une raclette, installé dans l'allée de travail.

Comme pour les longues tailles, le soutènement est constitué de matériaux extérieurs (étançons et piles) ; le contrôle de l'arrière taille est obtenu par foudroyage, une fois les piles et étançons enlevés.

De 1960 à 1980 seules subsistent les techniques d'exploitation en chambres et piliers et havage intégral ; La compétition entre les deux méthodes conduit à l'arrêt de la technique des chambres et piliers vers 1980, grâce à l'emploi de haveuses capables d'exploiter une couche épaisse.

De 1980 à 1985 la technique du havage intégral est considérablement améliorée par :

- la mise au point de machines plus performantes dans la gamme des petites et moyennes hauteurs et la création de machines pouvant atteindre 4 m.
- l'accroissement de portance du soutènement rendu nécessaire par l'augmentation des hauteurs de havage.
- l'adaptation de différents matériels, tels que système de dépoussiérage, dispositifs d'éclairage, équipement de phonie améliorant les conditions de travail et de sécurité.

En résumé, l'évolution des méthodes pendant la période 1945 à 1985 a reposé sur l'introduction et l'adaptation au gisement de solutions nouvelles : raclage, chambres et piliers, havage intégral.

Progressivement, le "raclage", méthode dissociant les deux opérations, abattage et chargement, a été remplacé par le havage intégral, méthode combinant en une seule phase ces deux opérations.

Par la suite, les chambres et piliers, dont les performances plafonnaient, ont elles-mêmes été remplacées par le havage intégral conservé comme seule méthode d'exploitation grâce à son adaptation, machine et soutènement, aux grandes hauteurs de couche.

### 3.1.1.3. Conclusions sur les méthodes d'exploitation utilisées aux M.D.P.A.

Pendant la période considérée 1913, début de l'exploitation industrielle, à fin de l'année 1985, l'évolution des méthodes d'exploitation a reposé sur une recherche constante à la fois des capacités de production unitaire des chantiers et des conditions de sécurité dans le travail.

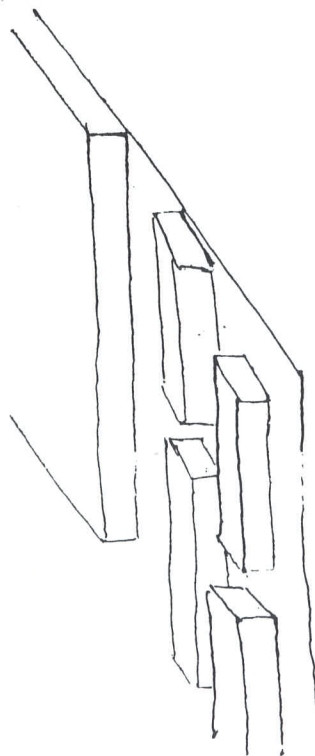
La méthode d'abattage d'origine à l'explosif placé dans les longs trous forés dans le massif, s'est améliorée par l'introduction du havage, pour se transformer radicalement en un fraisage total de la couche.

La tenue du toit des chantiers, initialement mal garantie par le découpage avec piliers abandonnés, a été améliorée, soit par une adaptation continue du mode de découpage des piliers, soit par l'emploi de matériaux appropriés (étançons, piles, boulons d'ancrage) ; dans la phase terminale de l'exploitation, ce sont des piles hydrauliques, de conception propre aux M.D.P.A., qui ont été généralisées.

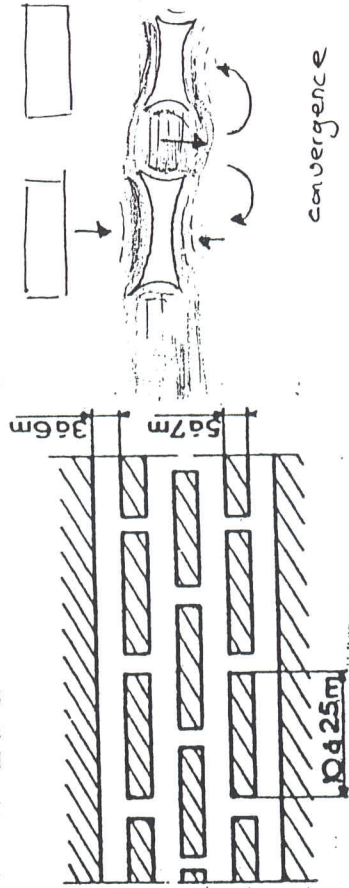
De toutes les techniques utilisées, seule celle des chambres et piliers avec piliers abandonnés utilisée de 1913 à 1919 (dont 4 années de guerre où l'exploitation ne devait pas être très importante) n'aboutit pas à un comblement presque total des vides de l'exploitation dans les jours ou les mois qui suivent cette dernière.

Les autres techniques d'exploitation ont toutes conduit à un comblement presque total des vides de l'exploitation, soit en raison du remblayage total des chantiers, soit en raison du foudroyage consécutif au foudroyage des piliers où à l'enlèvement des étançons.

• Piliers tournés (6 ans)



Perspective



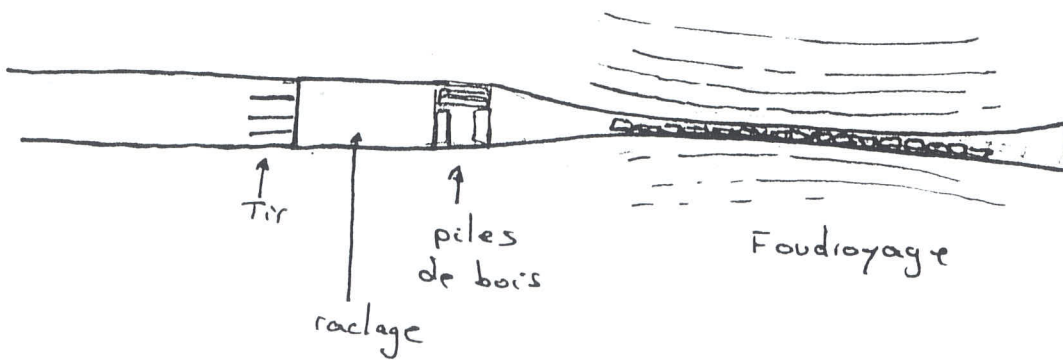
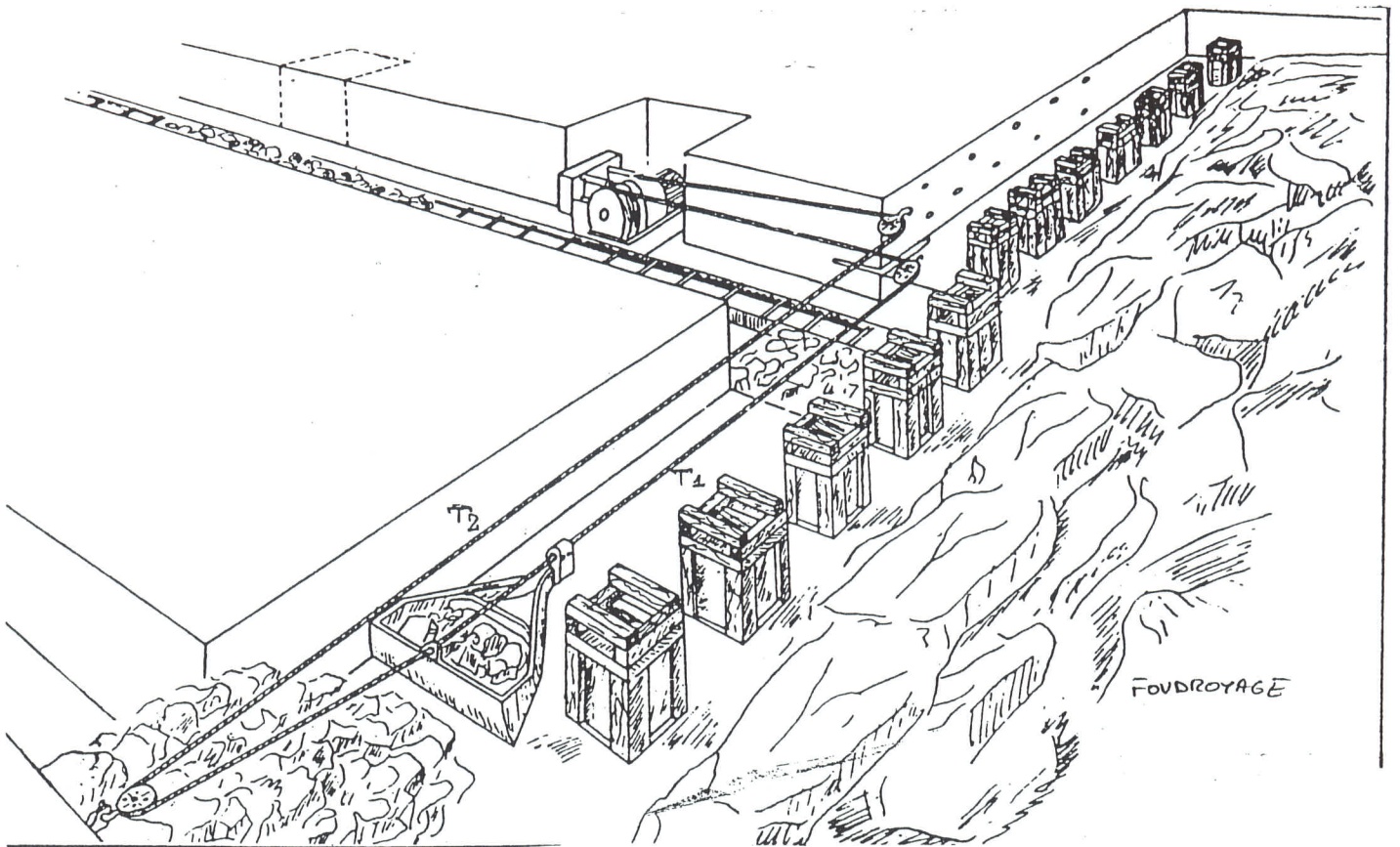
Plan

Coupe

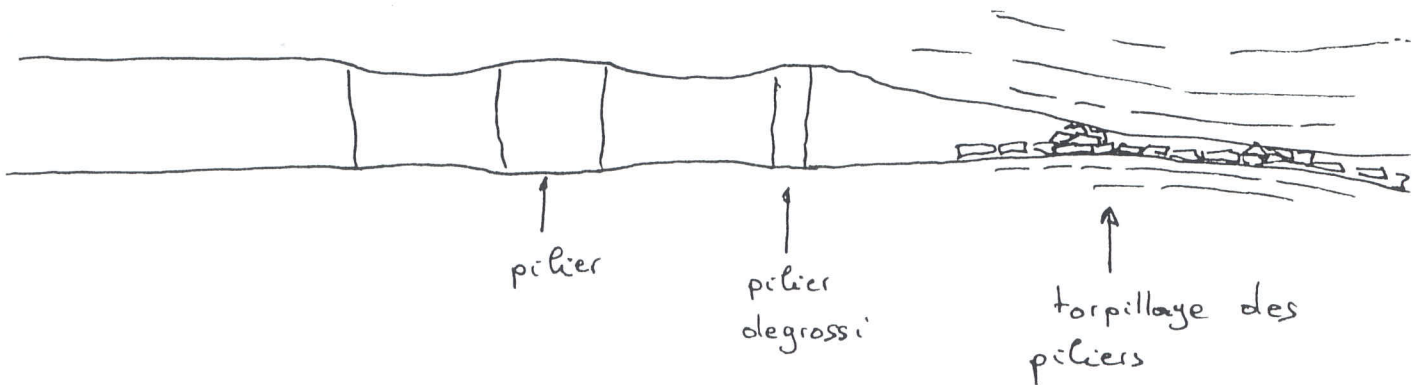
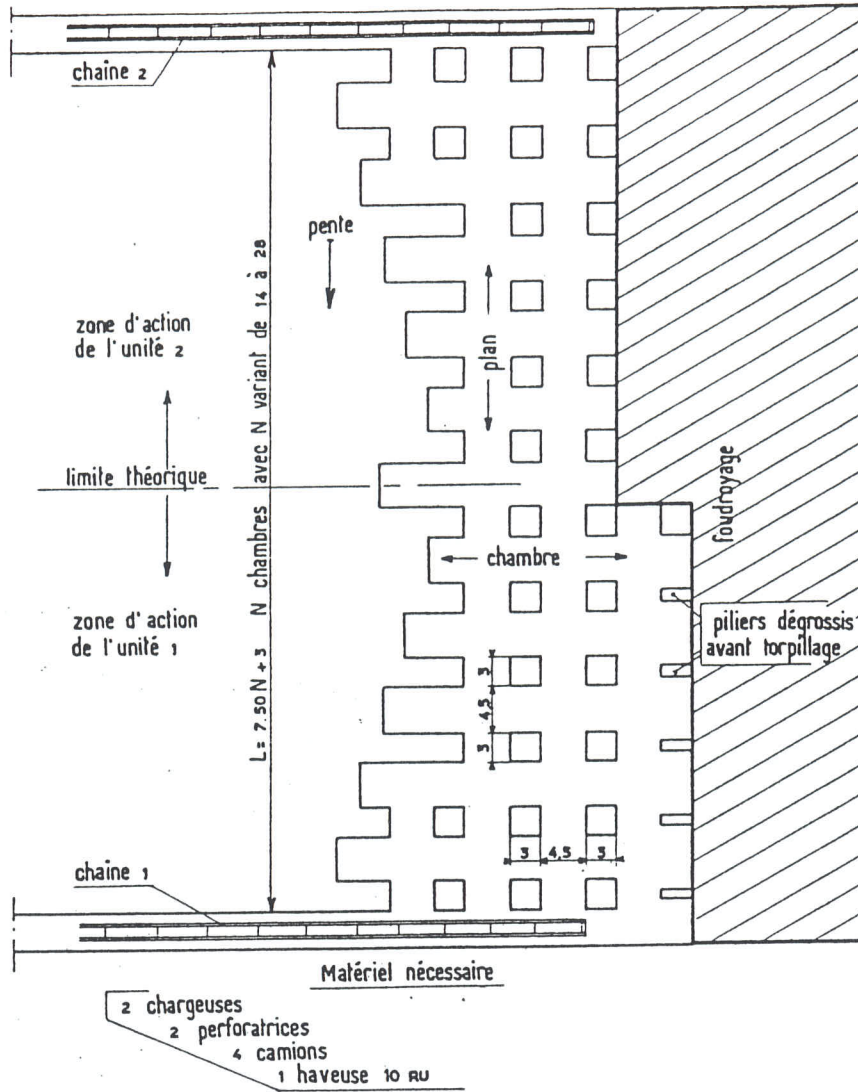
• Stossbau (11 ans)  
Chassant-montant



- Longues tailles avec tir sur havage (10 ans)



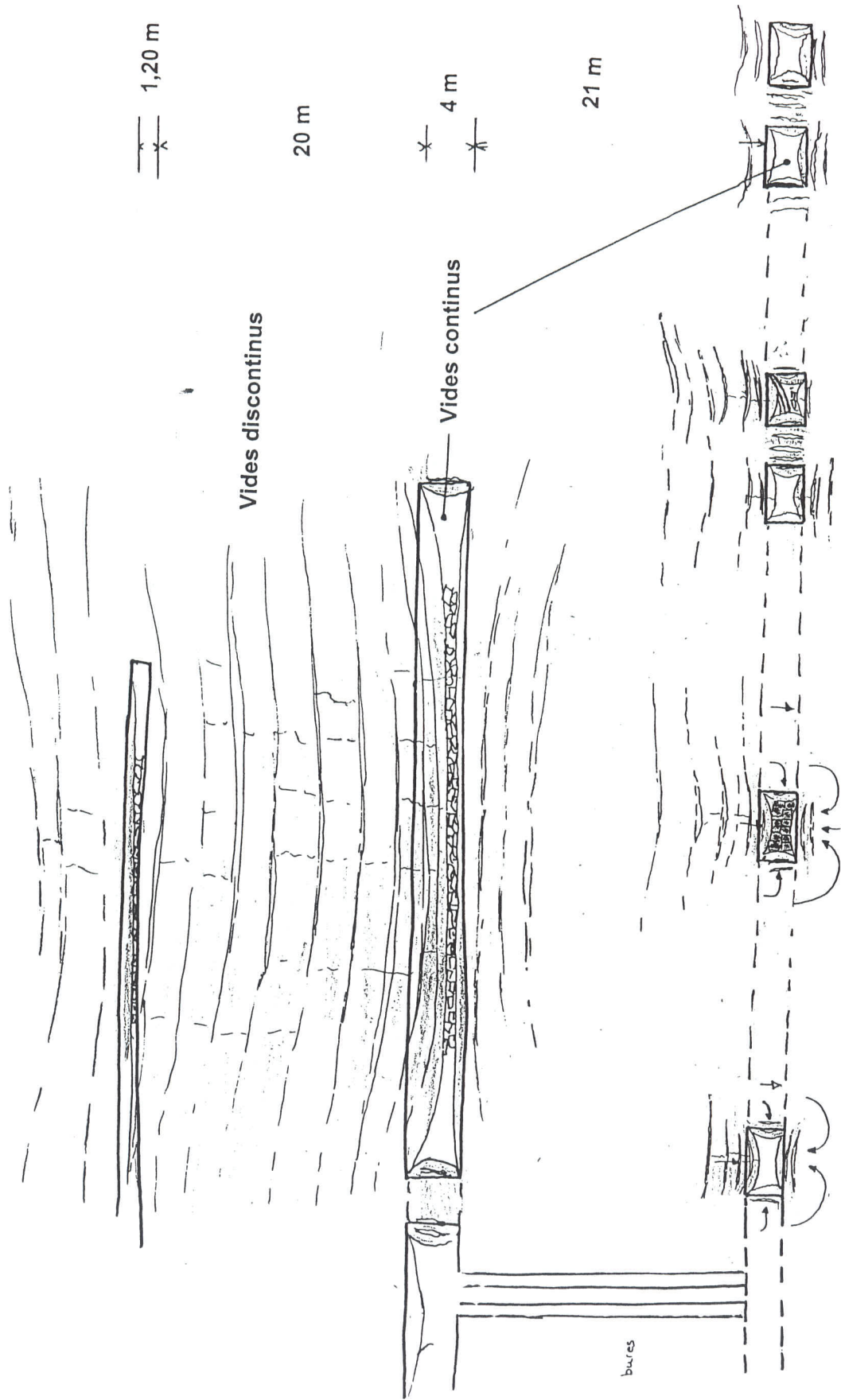
# Longues tailles, chambres et piliers, havage intégral (35 ans)



Etat des vides et de la fissuration à très long terme



Remontée de la fissuration environ 30 à 40 m



Stockage : ouverture initiale ,80 m

Voie de desserte



### 3.1.2 - La mine Amélie

Plan des travaux miniers de la mine Amélie au 1 : 5000	Document n°04.069/ 14	En annexe
Extrait du plan des travaux miniers de la mine Amélie au 1 : 5000	Document n°04.069/ 15	Dans le texte
Vue d'une taille par havage intégral photo M.D.P.A.	Document n°04.069/ 16	Dans le texte

La mine Amélie constitue un des plus grands quartiers exploités aux M.D.P.A. elle était encore en exploitation au moment de l'incendie du stockage de 2002. Les installations de la mine étant communes avec celles du stockage, les problèmes de pollution engendrés par l'incendie ont conduit à un arrêt prématuré de l'exploitation de potasse.

La mine Amélie est centrée sur les deux puits Amélie 1 et Amélie 2, et s'étend au Nord, à l'Ouest et au Sud de ces deux ouvrages. Le puits Amélie 1 est le puits d'extraction, tandis que les autres puits, Amélie 2, Joseph et Else étaient principalement utilisés pour la descente du personnel, des engins et pour l'aérage.

Dans la mine Amélie, la couche supérieure de potasse n'a été exploitée environ que sur la moitié Nord de la mine.

L'exploitation est organisée de la manière suivante :

- Les recettes des puits sont installées à 4 m en dessous de la couche inférieure de potasse.
- A partir de ces recettes, des travers-bancs sont tracés jusqu'à 23 à 25 m en dessous de la couche inférieure de potasse, où ils rejoignent les voies en direction des quartiers à exploiter. Ces voies sont traditionnellement constitués d'une double galerie, taillée dans un banc de sel, large de 3,80 à 5 m, haute de 2,50 m séparée par un pilier de 3 mètres de large. Ces voies contiennent les voies de circulation routière, et les bandes transporteuses pour l'évacuation du minerai.
- A partir des ces voies dites « Voies au Mur – VAM », des travers bancs permettent de remonter dans les couches à exploiter.
- Dans la couche de potasse, il est délimité des bandes parallèles, de largeur environ 250 m, séparées par des voies en couche du même type que les voies au mur, c'est à dire composées de deux galeries parallèles de 4 m de large séparées par un pilier de 3 m.
- A partir des voies en couche, une haveuse, protégée par un soutènement marchant, dépèle la couche en bandes parallèles, perpendiculairement aux voies en couche. Le minerai est évacué par une bande transporteuse qui rejoint les bandes installées dans les voies au mur. Le minerai est acheminé jusqu'au puits d'extraction et remonté au jour.

**StocaMine**  
Wittelsheim  
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

**MICA**  
Environnement

EXTRAIT DU PLAN DES TRAVAUX MINERS  
DE LA MINE AMELIE

Echelle 1 : 5 000  
Avril 2004

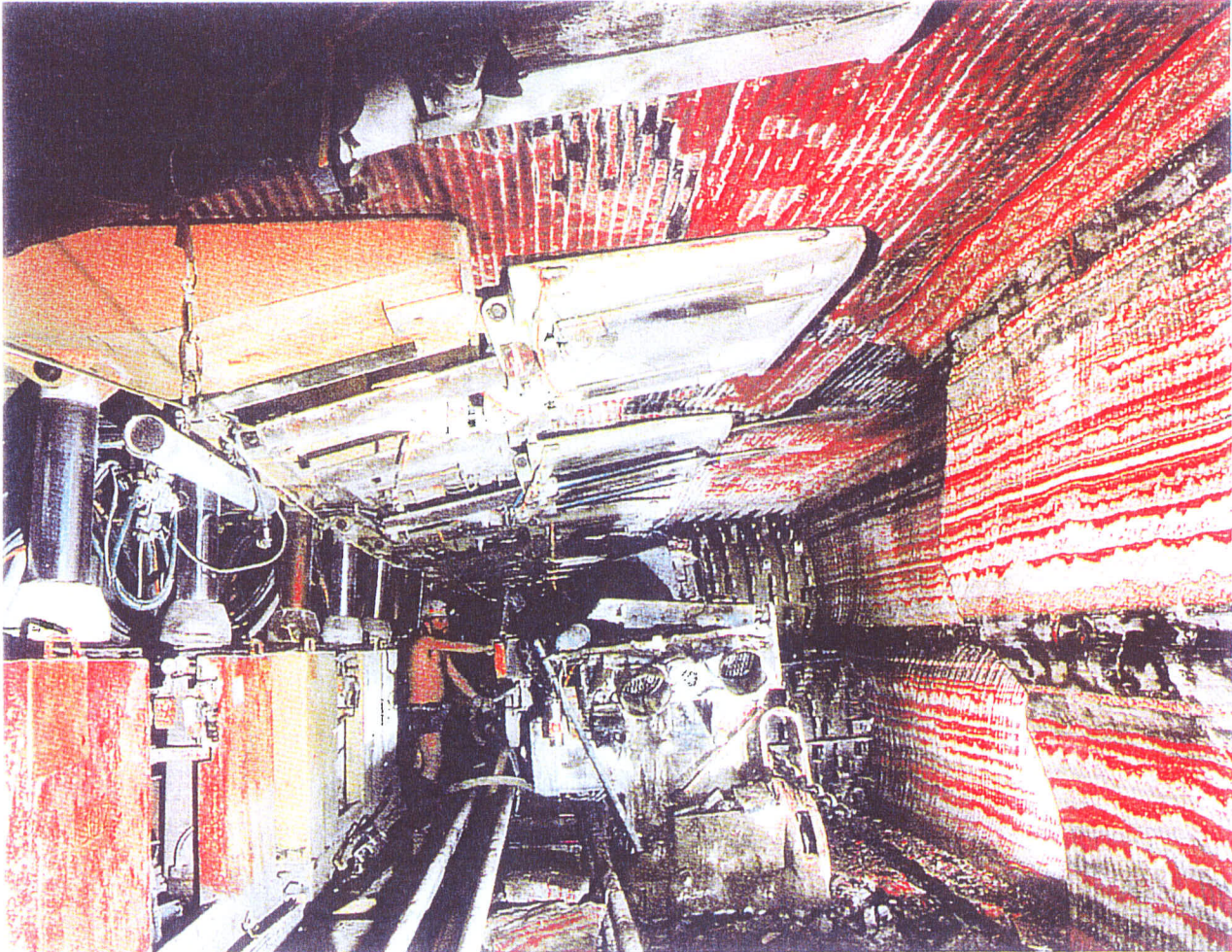
**VOIE AU MUR**  
25 m sous C.I.

**VOIE EN COUCHE**

**SENS DE L'EXPLOITATION**



<b>StocaMine</b> Wittelsheim  Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	VUE D'UNE TAILLE PAR HAVAGE INTEGRAL	Mai 2004



**Vue d'une taille par havage intégral ⇒ Les 2 tambours de la haveuse exploitent les couches de sylvine (à droite) ; le minerai est évacué par les raclettes (au centre). Les étançons soutiennent le toit ; celui-ci s'effondre à l'arrière (à gauche) à chaque fois qu'ils sont ramenés au-dessus de la zone à protéger (vers la droite). La taille progresse de la gauche de la photo, vers la droite.**

### 3.1.3 - Tonnages extraits

Tableau des tonnages extraits aux M.D.P.A.	Document n°04.069/ 17	Dans le texte
--------------------------------------------	-----------------------	---------------

Au total, les tonnages extraits sur l'ensemble du bassin potassique s'élèvent à 570 millions de tonnes.

Sur l'emprise du bassin de Wittelsheim, le tonnage extrait est de 423 millions de tonnes dont 190 millions de tonnes dans la mine Amélie. En considérant une densité de 2,1 tonnes/m<sup>3</sup> ces tonnages correspondent à :

- 200 millions de m<sup>3</sup> pour le bassin de Wittelsheim,
- dont 90 millions de m<sup>3</sup> pour la mine Amélie prise isolément.

9,1 % du volume extrait provient du traçage des voies de desserte (y compris les voies en couche).

Le voies au mur représentent environ 4,5 % du volume extrait soit, en considérant une répartition uniforme :

- 9 millions de m<sup>3</sup> pour le bassin de Wittelsheim,
- 4 millions de m<sup>3</sup> dans la mine Amélie prise isolément.

Document MDP A

	MDPA			KST		Ensemble Extraction totale
	Période d'exploitation	Extraction fin 1988	Extraction 1989 - 2002	Total MDPA	Période d'exploitation	
* AMELIE 1	1910 - 2002	122 820 700	37 793 800	160 614 500		160 614 500
* AMELIE 2	1914 - 1950	4 810 000		4 810 000		4 810 000
* MAX	1912 - 1952	2 693 100		2 693 100		2 693 100
* JOSEPH	1912 - 1966	22 206 900		22 206 900		22 206 900
* ELSE						
* MARIE	1913 - 1998	74 875 800	11 559 500	86 435 300		86 435 300
* LOUISE	1973 - 1998					
* SCHÖENSTEINBACH	1961 - 2001	70 444 500	21 838 300	92 282 800		92 282 800
* BERRWILLER	1972 - 2001	317 000	5 077 400	5 394 400	1946 - 1949	5 473 200
* STAFFELFELDEN	1986 - 1997					78 800
* UNGERSHEIM 1						
* UNGERSHEIM 2						
* FERNAND est	1913 - 1972	29 337 600		29 337 600		29 337 600
* FERNAND ouest						
* ANNA est	1923 - 1973	30 827 600		30 827 600		30 827 600
* ANNA ouest						
* THEODORE	1913 - 1986	68 414 600		68 414 600		68 414 600
* EUGENE						
* ALEX						
* RODOLPHE 1	1958 - 1976	26 732 000		26 732 000	1913 - 1954	8 853 800
* RODOLPHE 2					1929 - 1957	12 895 100
* ENSISHEIM 1	1958 - 1961	3 255 800		3 255 800	1920 - 1957	12 892 700
* ENSISHEIM 2						
* ENSISHEIM 3						
ENSEMBLE		456 735 600	76 269 000	533 004 600		34 720 400
						567 725 000

\* Puits appartenant au bassin minier de Wittelsheim

## **3.2 - STOCAMINE**

Extrait du plan des travaux miniers de la mine Amélie au 1 : 5000 – Secteur de StocaMine	Document n°04.069/ 18	Dans le texte
------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Le stockage de StocaMine est implanté entre 23 et 25 mètres sous le mur de la couche inférieure de potasse au Nord Est des puits Joseph et Else. Le niveau d'implantation du stockage est le même que celui des « Voies au mur » desservant l'exploitation de potasse.

Le stockage est aménagé par creusement de cavités (galeries) dans une couche de sel gemme (NaCl) ; le sel produit est commercialisé comme sel de déneigement.

### **3.2.1 - Aménagement du stockage**

Le stockage a une forme rectangulaire de 700 x 500 mètres ; il est délimité sur ses quatre côtés par des voies au mur classiques, et découpé selon les médianes du rectangle par deux autres voies. Le projet prévoyait de doubler au moins la capacité de ce stockage jusqu'à atteindre le voisinage du puits Amélie 2. .

Les médianes délimitent ainsi quatre unités, elles même découpées en blocs. Chaque bloc est constitué de deux ou trois allées parallèles longues de 225 mètres et larges de 5 mètres, hautes de 2,8 mètres , recoupées orthogonalement par des allées de 170 mètres chacune, larges de 5 mètres, hautes de 2,8 mètres. Ces allées délimitent ainsi des piliers de sel gemme de 20 mètres de côté . Les blocs communiquent avec les voies périphériques par les allées de 225 mètres. En revanche, les allées de 170 mètres sont implantées comme les dents d'un peigne, ce qui fait que les blocs de stockage ne communiquent pas entre eux, un pilier de 3 mètres les séparant .

A l'arrêt du stockage, 26 blocs ont été aménagés ; 8 blocs ont été utilisés pour le stockage des déchets, les autres sont encore vacants.

L'aménagement du stockage a permis l'exploitation d'environ :

- 201 300 m<sup>3</sup> de sel gemme correspondant au volume disponible pour le stockage (environ 435 000 tonnes de sel),
- 53 800 m<sup>3</sup> de sel gemme correspondant au volume des voies de desserte et d'aéragé (environ 116 200 tonnes de sel),
- 38 000 m<sup>3</sup> de voies de préparation des futures zones de stockage (environ 82 100 tonnes de sel),
- 43 000 T de déchets ont été stockés soit 72 000 m<sup>3</sup> , soit à peu près autant de colis.

**StocaMine**  
Wittelsheim

Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

EXTRAIT DU PLAN DES TRAVAUX MINERS  
DE LA MINE AMELIE (SECTEUR STOCAMINE)

**MICA**  
Environnement

Echelle 1 : 5 000  
Avril 2004

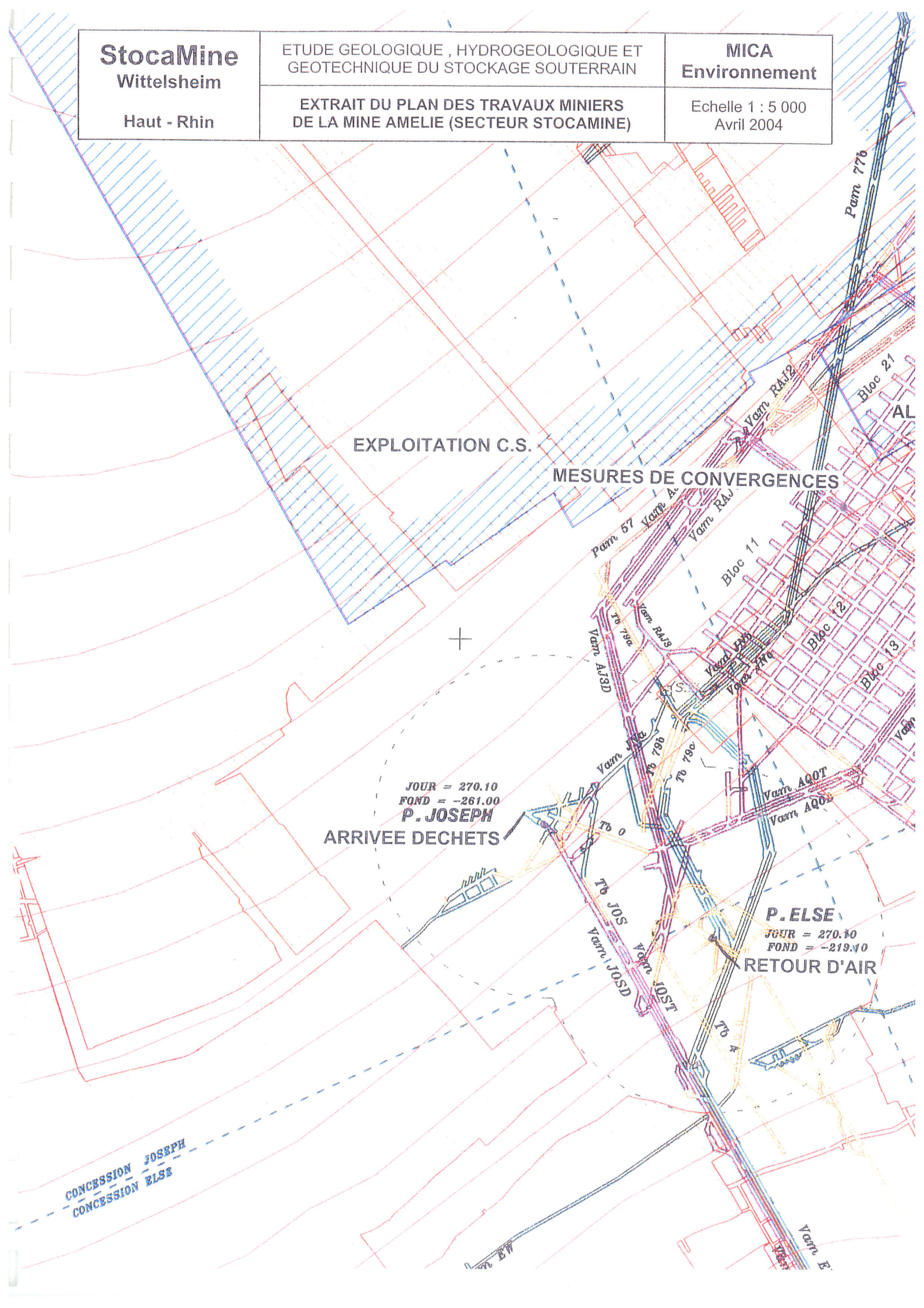
EXPLOITATION C.S.

MESURES DE CONVERGENCES

JOUR = 270.10  
FOND = -261.00  
**P. JOSEPH**  
ARRIVEE DECHETS

**P. ELSE**  
JOUR = 270.10  
FOND = -219.10  
RETOUR D'AIR

CONCESSION JOSEPH  
CONCESSION ELSE



### 3.2.2 - Exploitation du stockage

Photographies de l'allée centrale de desserte et d'une allée de stockage	Document n°04.069/ 19	Dans le texte
Photographies de disposition des déchets dans les allées de stockage	Document n°04.069/ 20	Dans le texte

Après exploitation du sel par les M.D.P.A. les vides aménagés dans la couche de sel sont mis à disposition de StocaMine.

Les déchets, conditionnés en fûts ou big-bags sont descendus dans la mine par le puits Joseph.

Il sont acheminés par un engin spécialement aménagé jusqu'aux allées des blocs. Les big-bags ou les fûts sont disposés sur toute la largeur des allées et sur deux niveaux, en progressant du fond vers l'entrée de l'allée. De cette manière, le vide résiduel compris entre les déchets et le toit de la galerie varie entre 1,50 m à 0,50 m par endroits.

L'aérage d'un bloc est assuré pendant toute la durée de son creusement, puis de son remplissage par les déchets, par une circulation d'air depuis une des deux allées médianes, vers les allées périphériques Sud Ouest et Nord Est.

Une fois qu'un bloc est plein, il est fermé par une cloison souple réalisée avec une membrane plastique. Cette cloison est destinée à limiter la circulation d'air dans le bloc rempli et à favoriser la circulation de l'air dans les chantiers en cours d'exploitation.

Un incendie a affecté les déchets du bloc 15. Afin d'arrêter la combustion lente des déchets, la cloison souple a été étanchée par de la mousse polyuréthane, et il a été envoyé, dans le bloc, de l'azote pour asphyxier le feu.

Dans le cadre du suivi de la stabilité de la mine, des points de mesures de convergences (mesure de déformation des piliers) sont implantés aux points de jonction des allées de 225 m avec la voie centrale de desserte du stockage (à l'entrée des allées de stockage). Les résultats de ces mesures sont présentées dans l'étude géotechnique ci-après.



<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>PHOTOGRAPHIES DE L'ALLEE CENTRALE DE  DESSERTE ET D'UNE ALLEE DE STOCKAGE</b>	Mai 2004

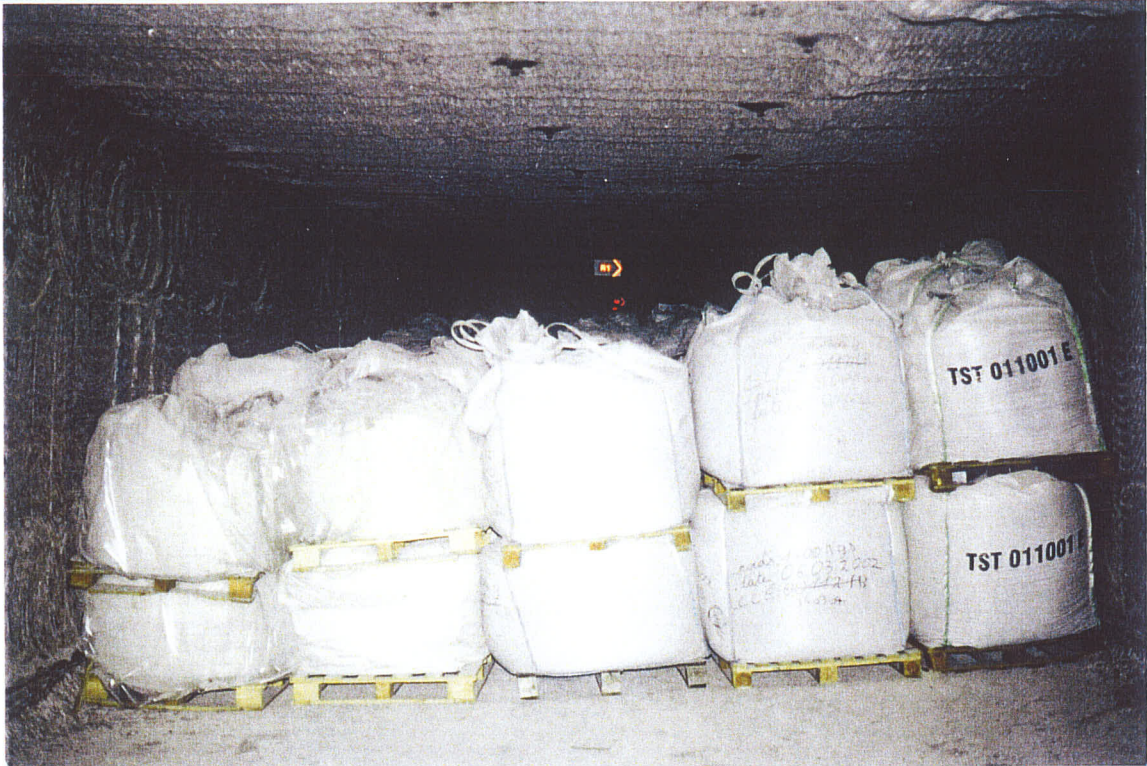


**Vue de l'allée centrale de desserte des blocs de stockage**



**Vue d'un bloc de stockage de déchets, fermé par une cloison souple**

<b>StocaMine</b> Wittelsheim  Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>PHOTOGRAPHIES DE DISPOSITION DE DECHETS  DANS LES ALLEES DE STOCKAGE</b>	Avril 2004



Stockage de déchets en Big-bags



Stockage de déchets en fûts

### **3.3 - COMMUNICATIONS STOCAMINE – M.D.P.A.**

Les communications entre le stockage et l'exploitation de potasse sont nombreuses et difficilement dissociables.

Au droit du stockage, la couche inférieure de potasse a été entièrement exploitée, tandis que la couche supérieure a été exploitée au droit des blocs 21 à 26.

Hormis les zones exploitées et foudroyées situées au dessus, le stockage est longé au Sud Est et au Nord Est par des voies au mur. Les puits et divers bures d'aérage constituent une communication verticale entre le stockage et les zones foudroyées.

Il convient donc de considérer que le stockage StocaMine est partie intégrante de la mine Amélie. Il communique par plusieurs voies avec la mine Max.

Plus au Nord, il n'y a pas de communication franche avec la Mine Marie Louise, mais le maigre stot de terrain (20 mètres), laissé entre deux zones foudroyées, conduisent à penser qu'une communication hydraulique peut s'établir entre la mine Amélie et toutes les mines du Nord du bassin de Wittelsheim qui communiquent entre elles : Marie, Louise, Berwiller, Staffelfelden, Schoenensteinbach, Rhodolphe, Alex et Ungersheim. Cette hypothèse devra dans tous les cas être prise en compte.

## 4 - ETUDE GEOLOGIQUE

### 4.1 - CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

Extrait de la carte géologique au 1 : 1 000 000 de la France	Document n°04.069/ 21	Dans le texte
--------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Les données générales concernant le contexte géologique régional sont essentiellement tirées de l' "Etude de sûreté d'un projet de stockage de déchets toxiques dans la mine Amélie", rédigée par P. Combes et E. Ledoux de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, et des données de la Carte géologique au 1/50 000 de Mulhouse.

Le site de l'étude se situe en totalité dans le domaine du fossé rhénan qui constitue la plaine d'Alsace.

Il s'agit d'un fossé d'effondrement d'âge tertiaire de direction NNE – SSW, long de 300 Km et large de 35 Km. La plaine d'Alsace, située sur l'axe principal du fossé, est limitée de part et d'autre par des failles bordières de même direction qui se relaient ou se dédoublent. Elle est bordée par les collines sous Vosgiennes à l'Ouest et celle de la Forêt Noire à l'Est.

L'histoire tectonique et sédimentaire du fossé rhénan est longue et complexe.

Les terrains les plus anciens sont d'âge primaire et affleurent dans le massif vosgien.

L'Orogenèse hercynienne conditionne le modelé du socle rhénan ; c'est à ce moment que l'orientation des failles en direction NNE – SSW apparaît .

Discordante sur les roches primaires, la couverture gréseuse du Trias s'étale en progressant du Nord au Sud.

Puis la mer jurassique s'installe au Lias avec des bassins à sédimentation marno calcaire ou marneuse. Elle devient à dominante zoogène et calcaire à partir de l'Aalénien et au cours du Bajocien. La sédimentation marneuse domine à nouveau au cours du Bathonien, du Callovien et de l'Oxfordien inférieur, puis on assiste, à la fin du jurassique, au retour de la sédimentation calcaire. En tout la sédimentation secondaire atteint 1 500 m d'épaisseur environ et concerne l'ensemble du bouclier rhénan.

A la fin du jurassique, l'émersion du massif Vosges – Forêt Noire est totale, et aucun dépôt d'âge Crétacé n'est connu.

L'affaissement du fossé rhénan débute à l'Eocène et atteint son paroxysme à l'Oligocène ; il se poursuit encore actuellement ; l'effondrement maximum est voisin de 5000 mètres. En bordure du fossé, l'effondrement est dû à des failles normales de direction NNE et de direction NE. Dans le centre du fossé d'effondrement, des failles antithétiques ont pris naissance pour assurer la continuité du milieu.

L'affaissement du fossé rhénan a permis l'invasion marine, d'abord par le Sud puis par le Nord. Les dépôts tertiaires sont très épais, de l'ordre de 1600 mètres. Ils sont constitués principalement de marnes et d'évaporites (gypse, sel, sylvine). C'est dans cette série tertiaire qu'ont été exploités par les Mines de Potasse d'Alsace depuis 1904, les horizons salifères et potassiques, et qu'a été installé le stockage de déchets de StocaMine.

Au cours du tertiaire, la sédimentation différentielle permet de reconnaître le début de mise en place du futur horst Mulhouse – Altkirch à dépôts lacustres, bordant le fossé de Dannemarie et le bassin de Wittelsheim, tous deux à dépôts lagunaires épais contenant des évaporites.

A partir du Chattien (Oligocène supérieur), à la suite d'un mouvement de bascule du bouclier rhénan, la mer se retire en direction du Nord, laissant quelques flaques lacustres temporaires.

Asséché à la fin des temps Oligocènes, le fossé continue à se former. Les failles déjà amorcées au cours de l'Oligocène se mettent en place et les grandes lignes des structures actuelles s'ébauchent.

En conséquence des mouvements de surrection alpins, le Rhin, alimenté par le régime périglaciaire, charrie d'énormes quantités d'alluvions qui se trouveront piégées dans le fossé rhénan. La distribution de ce remplissage quaternaire est influencée par les phénomènes de diapirisme, les zones de diapirs s'alignant du Sud au Nord et formant à peu près la limite entre les zones alimentées par des apports rhénans et celles où dominent les apports vosgiens.

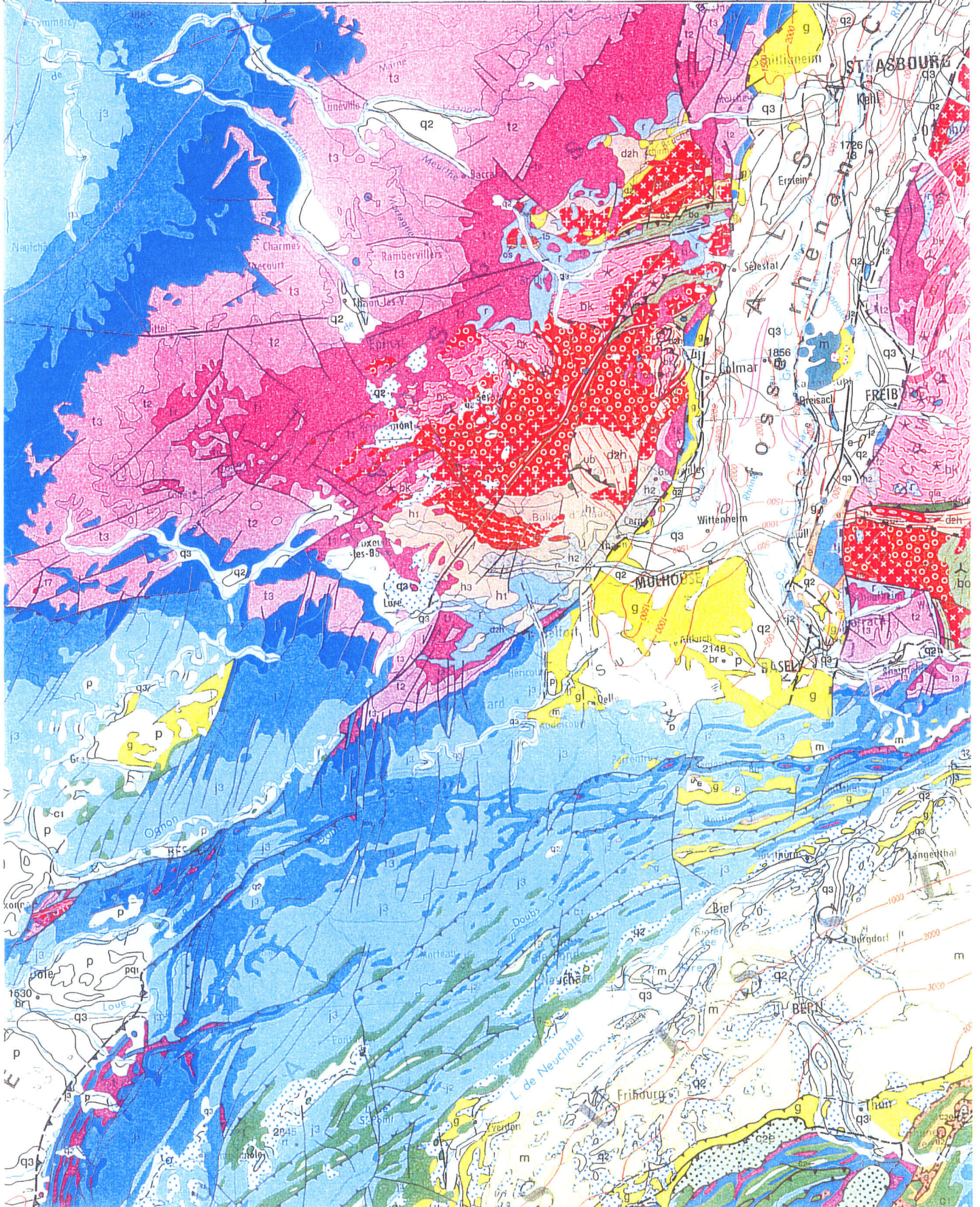
**StocaMine**  
Wittelsheim  
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

**MICA**  
Environnement

EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE  
DE LA FRANCE

Echelle 1 : 1 000 000  
Avril 2004



## **4.2 - STRATIGRAPHIE ET LITHOLOGIE DES TERRAINS DU BASSIN DE WITTELSHEIM**

Coupe géologique du sondage de Soultz et correspondances lithostratigraphiques	Document n°04.069/ 22	Dans le texte
--------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Dans la zone d'étude, la stratigraphie et la lithologie des terrains sont connues par les levés effectués lors du fonçage des puits, par les sondages de recherches de potasse, et puis par les sondages de recherches pétroliers qui ont également permis de reconnaître les formations primaires et secondaires qui constituent le soubassement du fossé rhénan. En particulier, la carte géologique donne la coupe du sondage de Soultz1 (référence 413 – 1 – 71) implanté au Nord Ouest du bassin de Wittelsheim et qui est descendu à la profondeur de 2440 mètres.

### **4.2.1 - Les formations du substratum**

Le substratum du bassin de Mulhouse – Wittelsheim est constitué d'un socle granitique, recouvert par endroits d'une faible couche de terrains d'âge Permien.

La série secondaire qui les recouvre est épaisse d'environ 1300 mètres, et montre une sédimentation continue du Trias jusqu'au Jurassique supérieur. Sans rentrer dans le détail de la stratigraphie, on rencontre de bas en haut :

- Le Trias inférieur, comprenant essentiellement des grès vosgiens et des conglomérats.
- Le Trias moyen, comprenant des grès micacés recouverts d'une cinquantaine de mètres de marnes et dolomies, elles même recouvertes par une cinquantaine de mètres de calcaires coquilliers, puis à nouveau de dolomies et marnes.
- Le Keuper (Trias supérieur), constitué essentiellement de marnes.
- Le Rhétien, constitué de grès argileux et d'argiles vertes.
- Le Lias, montrant une alternance de niveaux marneux et de niveaux calcaires.
- Le Jurassique moyen, se décomposant en :
  - Bajocien inférieur, marnes et calcaires gréseux,
  - Bajocien moyen, calcaires argileux et marnes,
  - Bajocien supérieur, 80 à 100 mètres de calcaires oolithiques en gros bancs, dits « grande Oolithe », réservoir de pétrole reconnu par sondages,
  - Bathonien, marnes et calcaires,
  - Callovien, calcaires.

- Le Jurassique supérieur, se décomposant en :
  - Callovien – Oxfordien montrant une succession de marnes et de calcaires,
  - L'Oxfordien marneux terminant la série secondaire.

Dans cette succession lithologique d'âge secondaire les niveaux gréseux ou calcaires peuvent contenir des aquifères ; il s'agit, de bas en haut :

- Des grès du Trias inférieur (Buntsandstein), situés à près de 2400 mètres de profondeur, et épais d'une centaine de mètres,
- Des calcaires et dolomies du Trias moyen (Muschelkalk), présents à une profondeur d'environ 2200 mètres, et épais d'une centaine de mètres,
- Des calcaires du Bajocien supérieur, ou Grande Oolithe, situés à près de 2000 mètres de profondeur et dont l'épaisseur est de l'ordre de 130 à 150 mètres,
- Des calcaires du Jurassique supérieur. Ils sont constitués par des calcaires blancs ou gris, sublithographiques du Séquanien et du Rauracien. Ils sont situés aux environs de 1500 mètres de profondeur, et leur épaisseur est de l'ordre de 100 mètres.

#### **4.2.2 - Les formations tertiaires**

A la fin du Crétacé, les premiers mouvements de l'orogénèse alpine ont plissé le substratum secondaire selon des plis orientés E-NE – W-SW. Ces reliefs ne sont que partiellement érodés lors des premiers dépôts du tertiaire qui vont se déposer dans des cuvette plus ou moins indépendantes dont l'individualité va s'affirmer au cours de l'affaissement et va accroître la diversité du remplissage sédimentaire.

Le bassin potassique de Wittelsheim est le plus développé. La base du tertiaire se situe aux environs de 1600 mètres de profondeur.

Dans le secteur Sud de Mulhouse, l'individualisation d'un horst dès le début du tertiaire a engendré des faciès différents de ceux du bassin potassique ; ces terrains sont observables à l'affleurement.



#### 4.2.2.1. L'Eocène

Les terrains Eocène ont été recoupés par les sondages sur des épaisseurs variables allant de 0 à 115 mètres. Le faciès le plus commun est microconglomératique brun rouge à violet, riche en pisolithes ferrugineux et rognons d'anhydrite. Dans ces dépôts sidérolithiques s'intercale parfois un horizon de calcaires lacustres à planorbes.

Le toit de ces formations est constitué par des marnes grises à limnées qui sont à considérer comme l'équivalent latéral de faciès de la zone salifère inférieure d'âge Oligocène.

#### 4.2.2.2. L'Oligocène

Tableau des correspondances stratigraphiques dans les terrains Oligocène	Document n°04.069/ 23	Dans le texte
--------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Il constitue l'essentiel du remplissage du bassin de Mulhouse et renferme les couches de potasse exploitées depuis 1904.

La carte géologique et les Mines de Potasse d'Alsace utilisent une échelle chronostratigraphique qui a été remise en cause par des travaux plus récents. Par souci d'homogénéité, nous garderons, comme dans l'étude réalisée par l'école des Mines de Paris, l'ancienne délimitation entre Eocène et Oligocène, fixée à l'apparition des marnes grises à limnées, à la base de la zone salifère inférieure.

Dans le détail, le bassin potassique de Wittelsheim comprend, de bas en haut, la succession lithologique suivante :

#### ***Le Sannoisien***

Le Sannoisien comprend les terrains de la zone salifère inférieure, de la zone salifère moyenne et de la zone salifère supérieure.

La zone salifère inférieure comprend quatre unités principales :

- Les marnes vertes à limnées à la base. Cet horizon, puissant d'environ 150 mètres, contient de l'anhydrite en rognons et ne renferme pas de couches de sel gemme.
- Le niveau du « grand banc de sel gemme » comprend à la base, le niveau du grand banc proprement dit qui renferme environ 200 mètres de sel gemme. On trouve au dessus 190 mètres d'une formation constituée par une alternance de marnes vertes et de couches de sel gemme peu développées,
- Un nouvel ensemble de marnes vertes à limnées avec anhydrite en rognons, sans couches de sel gemme, épais de 170 m,

- Un faisceau salin composé d'une superposition de marnes vertes devenant beiges à grises avec des couches de sel gemme, sur une épaisseur de 150 mètres.

La zone salifère inférieure a une épaisseur totale de 700 à 900 mètres dont une épaisseur cumulée de sel de 250 m répartie entre le grand banc qui totalise 100 à 200 m à lui tout seul, et les 57 autres bancs bien individualisés.

La zone salifère moyenne comprend deux unités :

- L'ensemble salifère, constitué d'une alternance de marnes bitumineuses rayées de lits dolomitiques et de bancs de sel gemme. L'anhydrite est présente en couches sur toute la hauteur de la série, mais aussi en rognons dans la moitié inférieure. Cet ensemble est épais d'environ 220 mètres.
- La zone fossilifère épaisse de 80 mètres ; elle comprend à la base des marnes en plaquettes gris-brunâtre avec des filets et couches d'anhydrite. La faune est riche en Ostracodes et Gammaridés. La zone fossilifère se termine par un horizon épais de 20 mètres, riche en gastéropodes (Hydrobies)

La zone salifère moyenne a une épaisseur totale de 300 mètres, dont 80 m de sel en 22 bancs individualisés.

La zone salifère supérieure comprend trois unités principales :

- Le complexe salin qui se divise en deux parties :
  - Le complexe salin à horizons potassiques et sans rognons d'anhydrite, épais de 100 mètres, constitué de marnes grises bitumineuses, d'horizons potassiques, de couches de sel gemme et de strates d'anhydrite souvent dolomitiques. Le gisement de potasse est constitué de deux couches : la couche inférieure, puissante de 6 mètres au maximum, et dont le mur se situe à 40 m de la base de cet horizon salifère ; la couche supérieure, épaisse d'environ 2 mètres, située 20 à 25 mètres au dessus de la couche inférieure.
  - Le complexe salin supérieur, épais de 100 mètres, de composition lithologique identique au précédent, mais avec anhydrite en rognons et sans niveau potassique.
- Le complexe salifère, épais de 300 mètres environ ; il s'agit de marnes grises, vertes et brun rouge et d'anhydrite en gros rognons et des couches de sel gemme.
- Le complexe marneux, sans sel, de 50 m d'épaisseur, constitué par une alternance régulière de marnes brun rouge à grains de quartz roulés et de marnes gris bleu à vertes à filets ou rognons de gypse ou d'anhydrite, cette dernière toujours sous jacente au gypse.

## **Le Stampien**

Le Stampien est divisé en Stampien inférieur, moyen et supérieur.

Le Stampien inférieur comprend, de bas en haut :

- La couche de marnes à foraminifères, épaisse de 5 à 12 mètres ; il s'agit de marnes pyriteuses brunes à la base, puis vert bleuâtre au sommet et riches en foraminifères ; elles indiquent une invasion marine du fossé.
- La couche à Amphisiles (variété de poisson), épaisse de 2 à 17 mètres ; il s'agit de marnes bitumineuses avec de minces pellicules de calcaire blanchâtre. Cette couche se distingue par une certaine radio activité qui en fait un bon niveau repère en diagraphies.

Le Stampien moyen est épais de 300 mètres et est dénommé « couches à Melettes (variété de poisson) ». Cette puissante série est constituée de marnes grises et micacées. Il s'y rencontre quelques niveaux de calcaires dolomitiques peu épais (- de 10 cm) et des niveaux de grès à ciment calcaire plus ou moins bien consolidés constituant un niveau de 40 à 50 m vers la base de la série.

Le Stampien supérieur est représenté par les couches à Cyrènes (poissons) et est épais de 100 mètres. C'est une alternance de marnes finement sableuses et de couches de grès tendres mal consolidés.

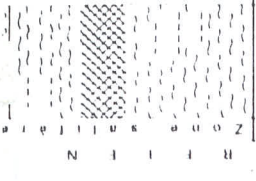
## **Le Chattien**

Le Chattien ne se rencontre qu'à cinq kilomètres au Nord du site de stockage ; il est constitué de marnes bariolées à horizons gréseux mal consolidés. Vers le sommet de la série apparaissent des niveaux de calcaires vacuolaires, et les marnes contiennent des nids de gypse en gros cristaux.

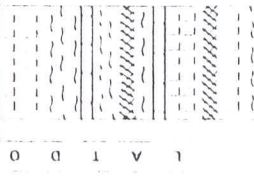
### 4.2.2.3. Le Plio – quaternaire

Les dépôts pliocène sont moins épais que dans la plaine d'Alsace, et leur épaisseur varie de 20 à 50 mètres ; ils sont formés de limons, sables, graviers et galets d'origine vosgienne et rhénane. Entre le tertiaire et le remplissage alluvial, un niveau d'argile jaune est souvent rencontré ; il est dénommé zone de transition.

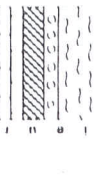
L'ensemble est cimenté avec anhydrite, sel et passées de conglomérats



976



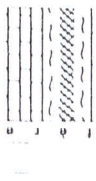
976



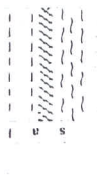
976



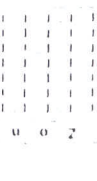
976



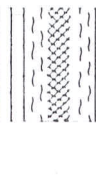
976



976



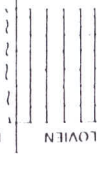
976



976



976



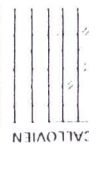
976

Alternance de marmes grises ou vertes, d'anhydrite, de sel massif, avec quelques intercalations de calcaires gris-brun et de passées conglomératiques

166650



1712



Calcaires et calcaires

des couches réduite

SALIFERE I

Sel III (220 m)

Sel II (140 m)

Marmes à Limnées (170 m)

Sel I (390 m)

Marmes vertes à Limnées

SALIFERE INFÉRIEUR

Eocène Sidérolitique

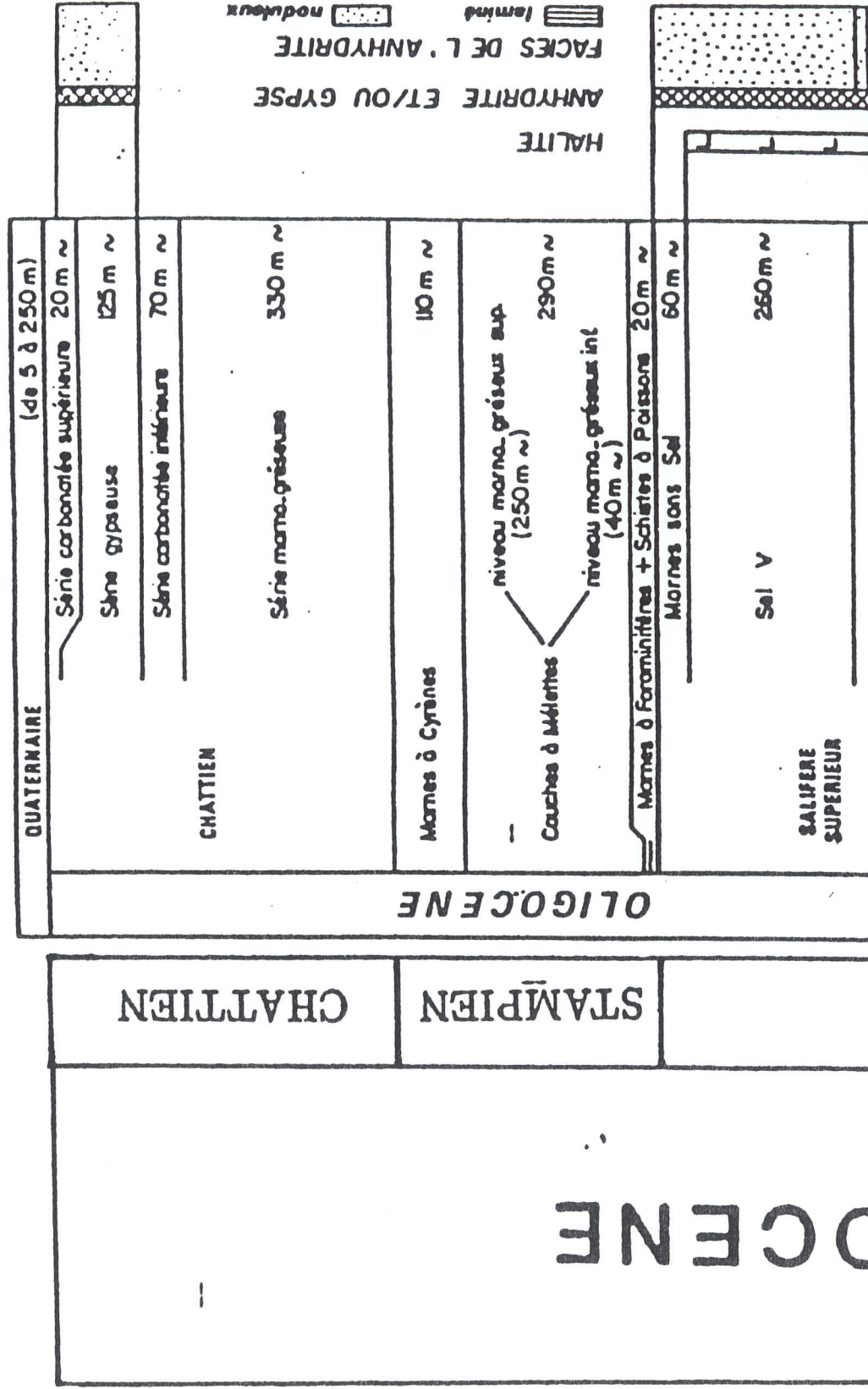
CALLOVIEN OXFORDIEN

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	COUPE GEOLOGIQUE DU SONDAGE DE SOULTZ ET CORRESPONDANCES LITHOSTRATIGRAPHIQUES	Echelle 1 : 5 000 Avril 2004

		LITHOSTRATIGRAPHIE DES PUIITS Secteur Mine Amélie	Aquiferes
		Graviers	Important
		Sables et graviers quaternaires(40 m)	Possible
		Série carbonatée sup (20 m)	
		Série gypseuse (125 m )	
		Série carbonatée inférieure (70 m)	Possible
		Série Marno – gréseuse (65 m)	Possible

**CHATTIEN**

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN  TABLEAU DES CORRESPONDANCES STRATIGRAPHIQUES DANS LES TERRAINS OLIGOCENE	<b>MICA</b> Environnement Echelle 1 : 10 000 Avril 2004
------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------



OCENE

### 4.3 - PRESENTATION DE LA CARTE GEOLOGIQUE

Carte géologique de la région de Mulhouse – Extrait de la carte géologique au 1 : 50 000 du Service Géologique National, agrandi au 1 : 25 000	Document n°04.069/ 24	En annexe
Extrait de la carte géologique au 1 : 50 000 du Service Géologique National	Document n°04.069/ 25	Dans le texte
Carte géologique M.D.P.A. au 1 : 25 000 du bassin potassique	Document n°04.069/ 26	En annexe
Extrait de la carte géologique M.D.P.A. au 1 : 25 000 du bassin potassique	Document n°04.069/ 27	Dans le texte

La carte géologique de la feuille de Mulhouse (complétée par des extraits des feuilles voisines) ne permet pas d'appréhender la structure du bassin potassique en raison du recouvrement important de la région par des alluvions quaternaires qui masquent les terrains d'âge tertiaire sous jacents. Il y est cependant reporté une partie du grand nombre de sondages réalisés dans le cadre de la recherche de la potasse et plus tardivement d'hydrocarbures. Les levés de ces sondages ont permis de faire figurer, à l'échelle de la feuille de la carte géologique de Mulhouse, le tracé des isohypses du mur de la couche inférieure de potasse qui souligne la structure du bassin en profondeur et dont il sera traité ultérieurement.

Une carte géologique a été dressée par les M.D.P.A. sur la base de la somme de renseignements accumulés lors de la réalisation des travaux de recherches et d'exploitation de la potasse. Cette carte est dressée en supprimant la couverture quaternaire et permet de disposer d'une carte géologique montrant le bassin à la fin de l'Oligocène :

- Le bassin tertiaire est orienté Sud-Ouest – Nord-Est.
- Les terrains les plus anciens affleurent au Sud Ouest, les plus récents au Nord Ouest.
- La zone salifère supérieure (Sannoisien) affleure largement à l'ouest et dans la zone de Mulhouse.
- L'horizon salifère supérieur est largement recouvert, par les formations du Stampien inférieur et moyen, comprenant de bas en haut, la couche à foraminifères, les schistes à poissons et les couches à Mélettes.
- Les formations du Stampien supérieur (couches à Cyrènes) et du Chattien (marnes et grès) affleurent au centre et au Nord Est.

La superposition de la carte géologique MDPA et de la carte des zones exploitées montre sans ambiguïté que les zones où le Chattien est présent correspondent à des compartiments effondrés dans lesquels la couche de potasse est trop profonde pour avoir été exploitée.

La disposition des affleurements est contrôlée par le découpage du bassin par des failles normales à regard Ouest de direction sensiblement Nord Sud. Les compartiments où affleurent des formations rattachées à l'oligocène supérieur sont remontés par rapport aux compartiments où affleurent les formations de l'Oligocène inférieur. Le tracé des failles sub-méridiennes mentionnées par la carte est directement interprété des observations réalisées au fond de la mine et par l'interprétation des courbes isohypses du mur de la couche inférieure de potasse. Toute cette fracturation est post-sédimentaire, la série stratigraphique apparaissant à peu près identique dans chaque compartiment, mais pouvant cependant parfois montrer des variations d'épaisseur.

Le bassin potassique est bordé, à l'Est, par la formation salifère du diapir d'Ensisheim qui constitue une sorte de barrière le long de la vallée de l'Ill.



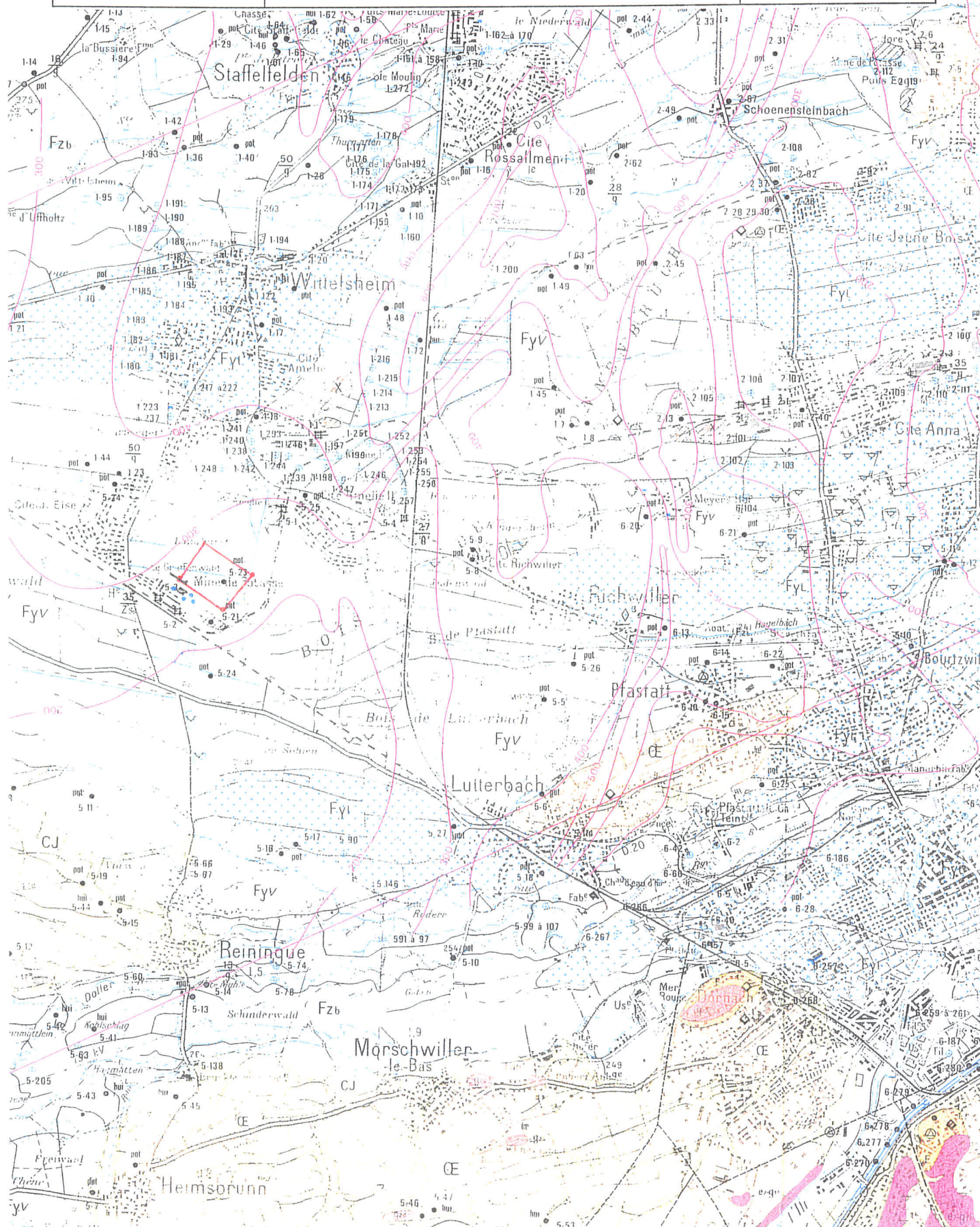
**StocaMine**  
Wittelsheim  
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

**MICA**  
Environnement

EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE  
DU SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL

Echelle 1 : 50 000  
Avril 2004





## 4.4 - EVOLUTION TECTONIQUE DU BASSIN DE WITTELSHEIM

### 4.4.1 - Tectonique cassante

Carte structurale schématique de l'Alsace Méridionale au 1 : 50 000 (extrait de la notice de la carte géologique, feuille de Thann)	Document n°04.069/ 28	Dans le texte
Coupe géologique Nord/Sud	Document n°04.069/ 29	Dans le texte
Coupe géologique Est/Ouest n° 1	Document n°04.069/ 30	Dans le texte
Coupe géologique Est/Ouest n° 2	Document n°04.069/ 31	Dans le texte

Le fossé Rhénan où se situe le bassin de Wittelsheim constitue une cassure majeure de type rift, de la croûte continentale européenne au nord du domaine orogénique alpin.

L'ensemble du fossé a été le siège de mouvements de distension et de coulissage dont l'évolution tectonique peut être résumée en quatre épisodes :

- Une phase de compression N – S, avec décrochements (Eocène supérieur probable),
- Une phase de distension E – W avec effondrement (Oligocène),
- Une phase de compression NE – SW (Miocène),
- Une phase de compression NW – SE (Plio-Quaternaire).

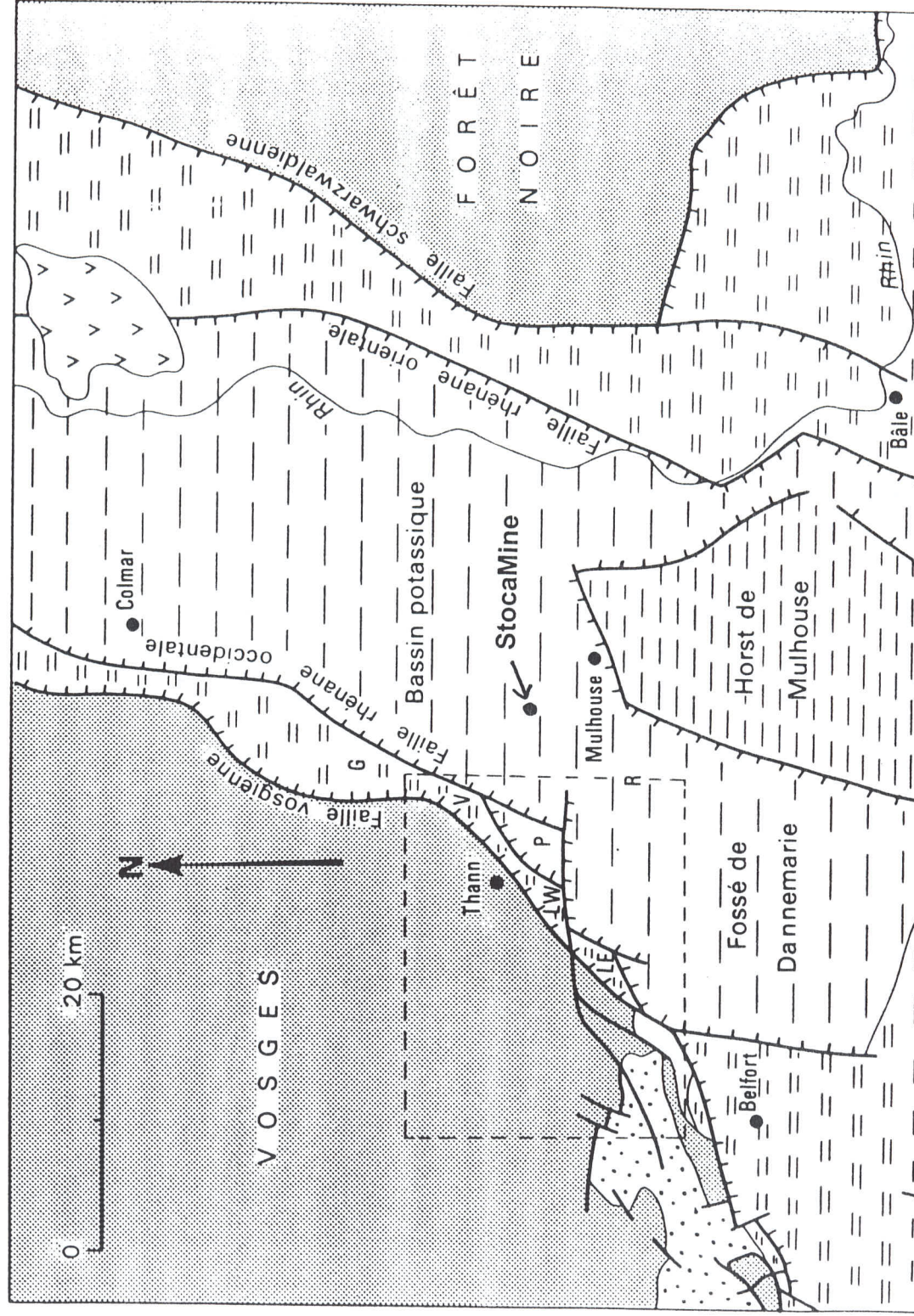
Dans le bassin de Wittelsheim, le remplissage tertiaire du fossé d'effondrement est affecté d'ondulations de directions sub méridiennes à grand rayon de courbure. Elles sont parfois interrompues par des failles normales de même direction que les plis, le plus souvent antithétiques à regard Ouest de pendage 30 à 40°.

A l'exception des accidents bordiers qui sont synsédimentaires, les autres failles sont souvent post sédimentaires, c'est à dire post Chattiennes. L'analogie de ces terrains de part et d'autre de ces accidents le montre. Ces accidents ont un rejet pouvant atteindre 500 mètres et conduisent à couper la série en grands panneaux monoclinaux.

A l'Est de l'III, il se développe une tectonique propre aux formations salifères où de légers replis anticlinaux sont accentués par des phénomènes diapiriques de fluage du sel, et sont accompagnés de failles méridiennes.

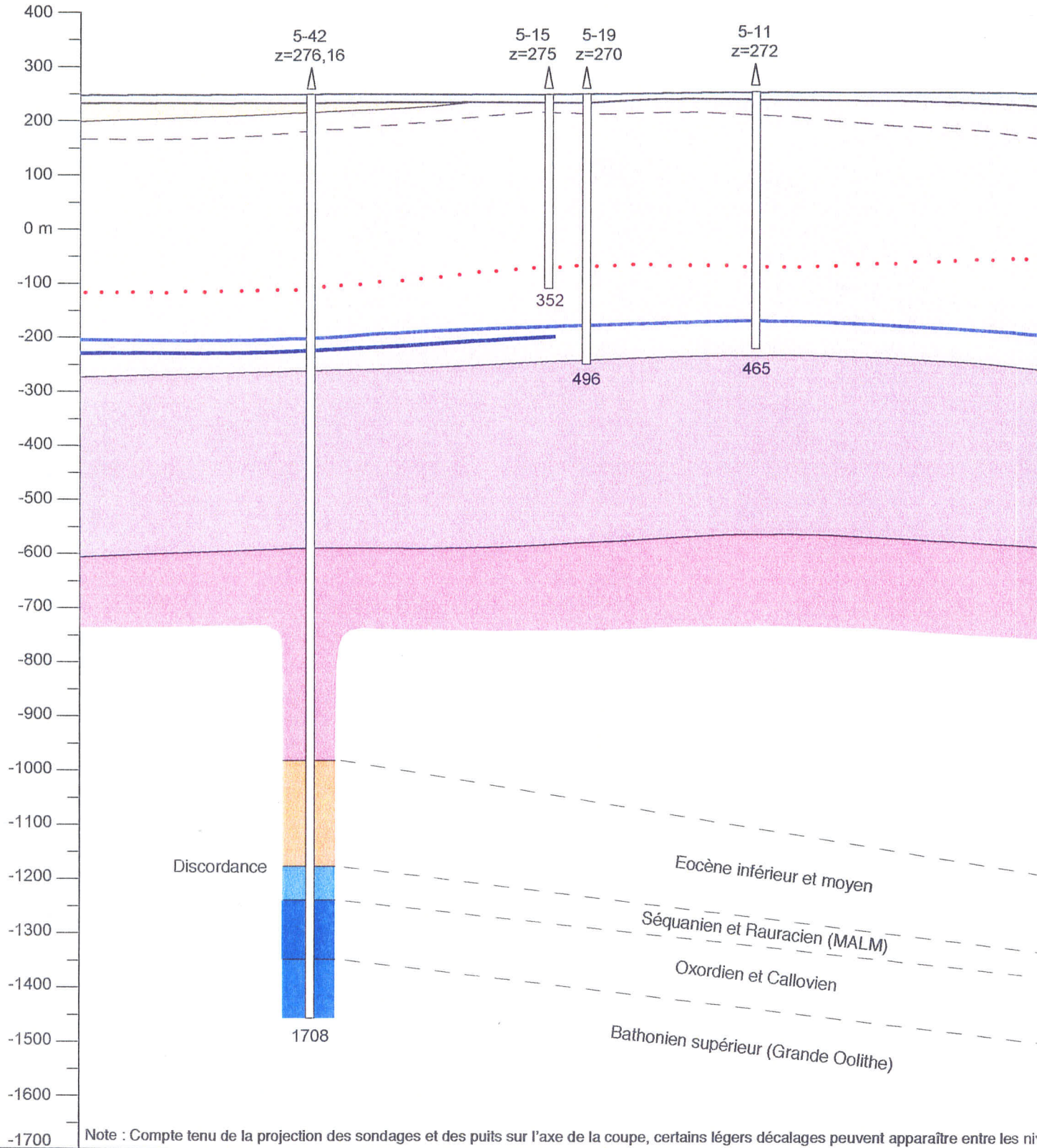
Au niveau de StocaMine, la structure des couches est régulière et se présente sous la forme d'un monoclinal à pendage 6 à 10° vers le N-NW. Cette régularité s'interrompt dans le secteur du puits Max où il a été mis en évidence une faille de direction N - S dont le rejet est voisin de 170 mètres au maximum, le bloc Ouest étant effondré par rapport au bloc Est. Au Sud, cet accident s'amortit rapidement.

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	Echelle 1 : 500 000 Mai 2004
<b>ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN</b>	
<b>CARTE STRUCTURALE SCHEMATIQUE DE L'ALSACE MERIDIONALE</b>	



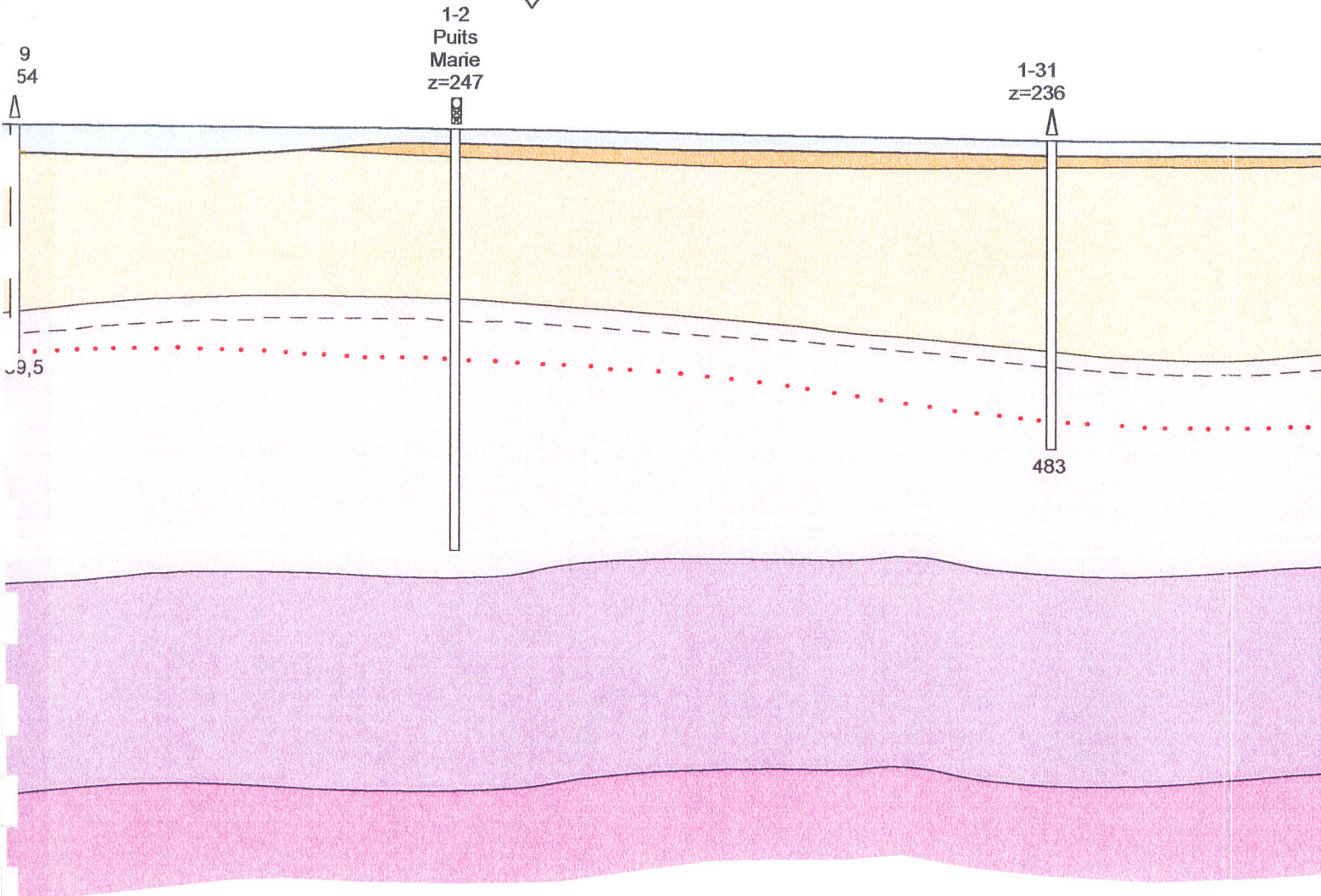
ECHELLE HORIZONTALE : 1 / 25 000  
ECHELLE VERTICALE : 1 / 10 000

SUD - SUD/OUEST



IQUE ET ERRAIN	<b>MICA</b> Environnement
	Mars 2004

Intersection  
coupe E/O  
n°2



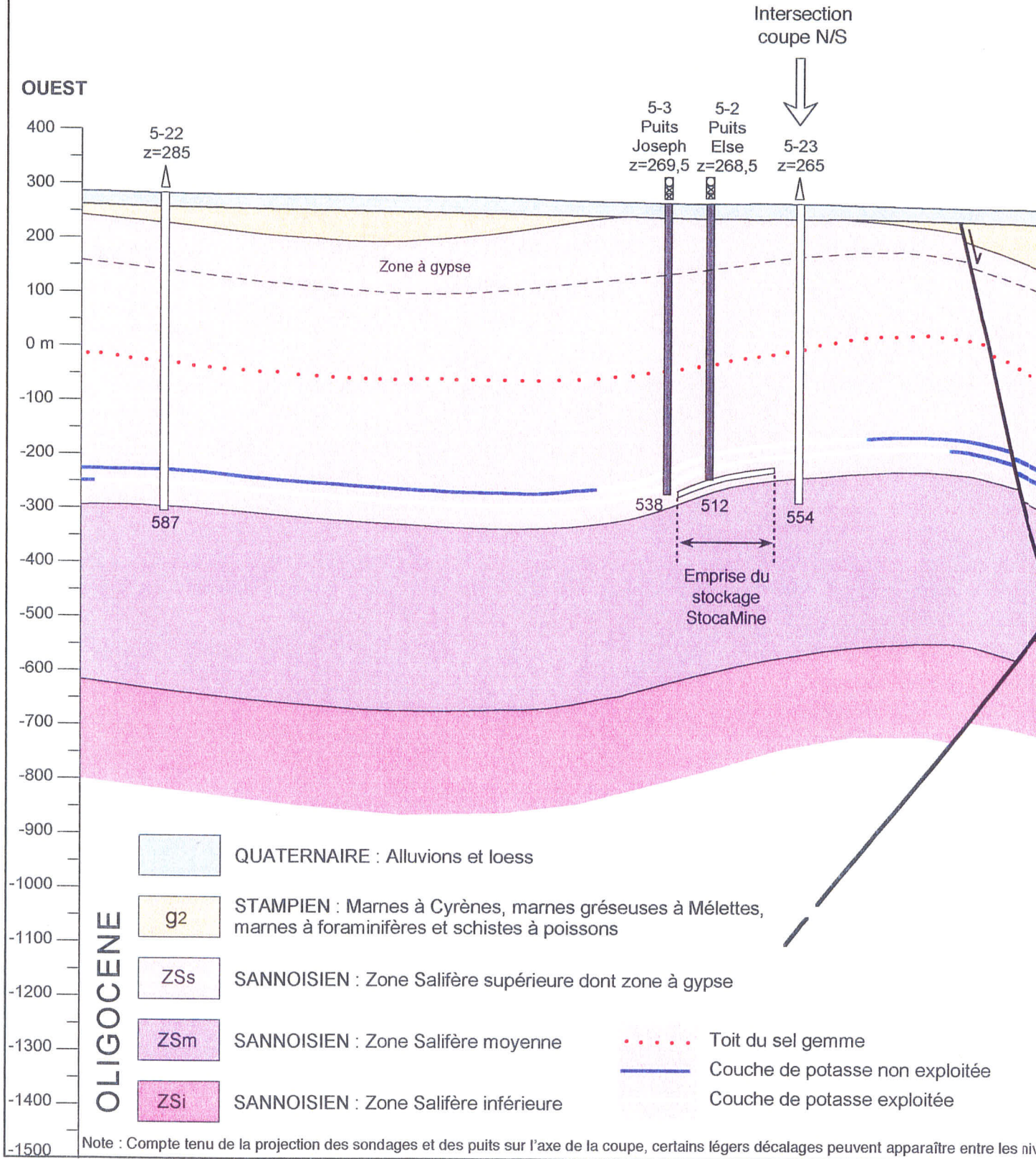
- |                  |  |                                                                                                            |                             |                            |
|------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| <b>OLIGOCENE</b> |  | QUATERNAIRE : Alluvions et loess                                                                           |                             |                            |
|                  |  | g3 CHATTIEN: Marnes gréseuses bariolées                                                                    |                             |                            |
|                  |  | g2 STAMPIEN : Marnes à Cyrènes, marnes gréseuses à Mélettes, marnes à foraminifères et schistes à poissons |                             |                            |
|                  |  | ZSs SANNOISIEN : Zone Salifère supérieure dont zone à gypse                                                |                             |                            |
|                  |  | ZSm SANNOISIEN : Zone Salifère moyenne                                                                     |                             | Toit du sel gemme          |
|                  |  | ZSi SANNOISIEN : Zone Salifère inférieure                                                                  |                             | Couche de potasse non expl |
|                  |  |                                                                                                            | Couche de potasse exploitée |                            |

ECHELLE HORIZONTALE : 1 / 25 000  
 ECHELLE VERTICALE : 1 / 10 000

# StocaMine

Wittelsheim  
Haut - Rhin

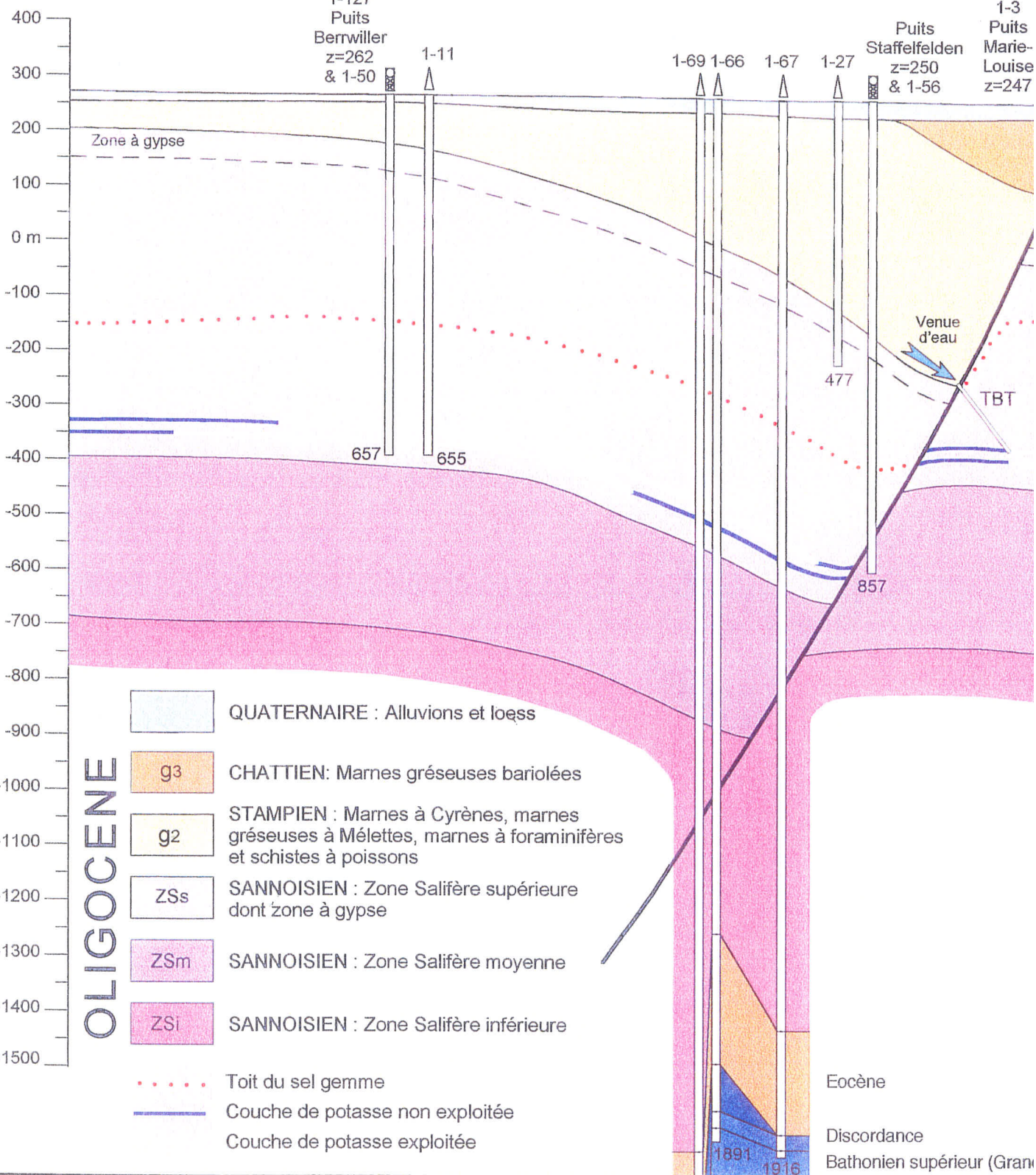
ET  
G



ECHELLE HORIZONTALE : 1 / 25 000  
 ECHELLE VERTICALE : 1 / 10 000

**StocaMine**  
 Wittelsheim  
 Haut - Rhin

OUEST



**OLIGOCENE**

- QUATERNAIRE : Alluvions et loëss
- g3 CHATTIEN: Marnes gréseuses bariolées
- g2 STAMPIEN : Marnes à Cyrènes, marnes gréseuses à Mélettes, marnes à foraminifères et schistes à poissons
- ZSs SANNOISIEN : Zone Salifère supérieure dont zone à gypse
- ZSm SANNOISIEN : Zone Salifère moyenne
- ZSi SANNOISIEN : Zone Salifère inférieure

- Toit du sel gemme
- Couche de potasse non exploitée
- Couche de potasse exploitée

Eocène  
 Discordance  
 Bathonien supérieur (Granite)



#### 4.4.2 - Le diapirisme

Ce phénomène a été étudié par l'école des Mines de Paris ; elle a conclu que dans la plaine du Rhin, les conditions sont peu favorables à la mise en place de diapirs, notamment en raison de l'épaisseur trop réduite des bancs de sel individualisés.

Cette étude note que le plus proche diapir connu, celui d'Ensisheim, se situe à une quinzaine de kilomètres au nord de la zone d'étude ; dans la zone des travaux miniers, aucun diapir n'a été recoupé.

L'hypothèse de la formation d'un diapir dans la zone de stockage dans un avenir proche de 1000 ans s'avère peu probable ; en effet, si les conditions de formation d'un diapir étaient réunies, ce dernier serait déjà présent. Dans ce cas improbable, il faudrait, compte tenu de la profondeur des dépôts et de la vitesse d'ascension d'un diapir, un minimum d'un million d'années avant qu'il n'atteigne la nappe des alluvions. Pour ces raisons, le risque entraîné par le diapirisme est considéré comme négligeable vis à vis de la sûreté du stockage souterrain.

## 4.5 - PRESENTATION DU BASSIN POTASSIQUE

### 4.5.1 - Généralités

Plan général des travaux miniers du bassin potassique au 1 : 25 000	Document n°04.069/ 32	En annexe
Extrait du plan général des travaux miniers du bassin potassique au 1 : 25 000	Document n°04.069/ 33	Dans le texte
Carte des isohypses du mur de la couche inférieure de potasse au 1 : 25 000	Document n°04.069/ 34	En annexe
Extrait de la carte des isohypses du mur de la couche inférieure de potasse au 1 : 25 000	Document n°04.069/ 35	Dans le texte

L'ensemble du bassin potassique exploité est cartographié par les M.D.P.A. sur un plan au 1 : 25 000.

Sur ce plan sont mentionnés, entre autres :

- les courbes de niveau de la base (mur) de la couche inférieure de potasse.
- Les zones exploitées en couche supérieure et en couche inférieure et les limites d'exploitabilité des deux couches.
- Les zones tectonisées, étirées et inexploitable.
- Les failles recoupées par les travaux miniers, leur direction et leur regard.
- La zone stérile du diapir de Meyenheim, Ensisheim et Battenheim.
- Les sondages (M.D.P.A. uniquement) ayant recoupé les travaux miniers.

### 4.5.2 - Description

Bloc diagramme de la topographie de la couche inférieure de potasse	Document n°04.069/ 36	Dans le texte
---------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

La structure du bassin potassique est donnée par le tracé des courbes de niveau du mur de la couche inférieure de potasse.

Le tracé de ces courbes permet de délimiter les zones à pendage régulier, où la couche montre une forme en dôme ou en cuvette, et des zones où les courbes sont fortement resserrées correspondant à des zones de déformation importante et des réseaux de fractures post sédimentaires. Dans ces zones, la continuité des couches de potasse n'est pas démontrée, contrairement à ce que le tracé du plan le suggère.

Le bassin potassique apparaît comme fortement structuré en direction S.SW – N.NE ; il montre trois bandes S.SW – N.NE de panneaux d'exploitation séparées par des zones perturbées soulignées par un fort resserrement des courbes de niveau.

Plusieurs blocs peuvent être individualisés :

- Le bassin de Wittelsheim, le plus à l'Ouest, comprenant, du Sud au Nord, les mines Joseph-Else, Amélie, Marie Louise et Berwiller.
- Au centre, avec du Sud au Nord, les panneaux Max, Rodolphe, Alex et Ungersheim.
- A l'Est, le bassin de Wittenheim – Ensisheim, comprenant, du Sud au nord, les mines Anna et Fernand, Eugène et Théodore, et Ensisheim.

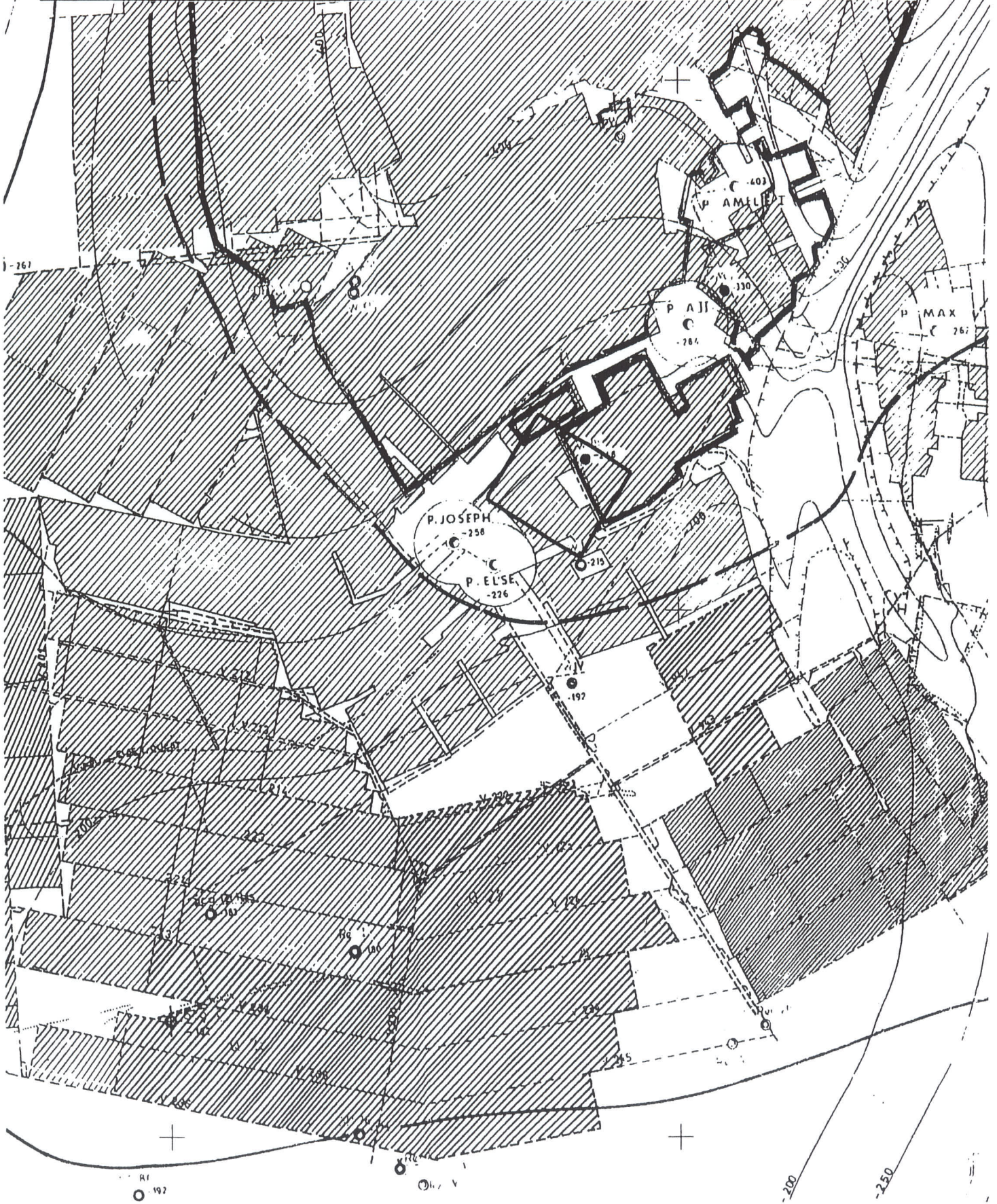
Le bassin de Wittelsheim communique avec le panneau Max par quelques galeries de liaison, avec les panneaux Rodolphe et Alex par l'intermédiaire de la mine Marie Louise.

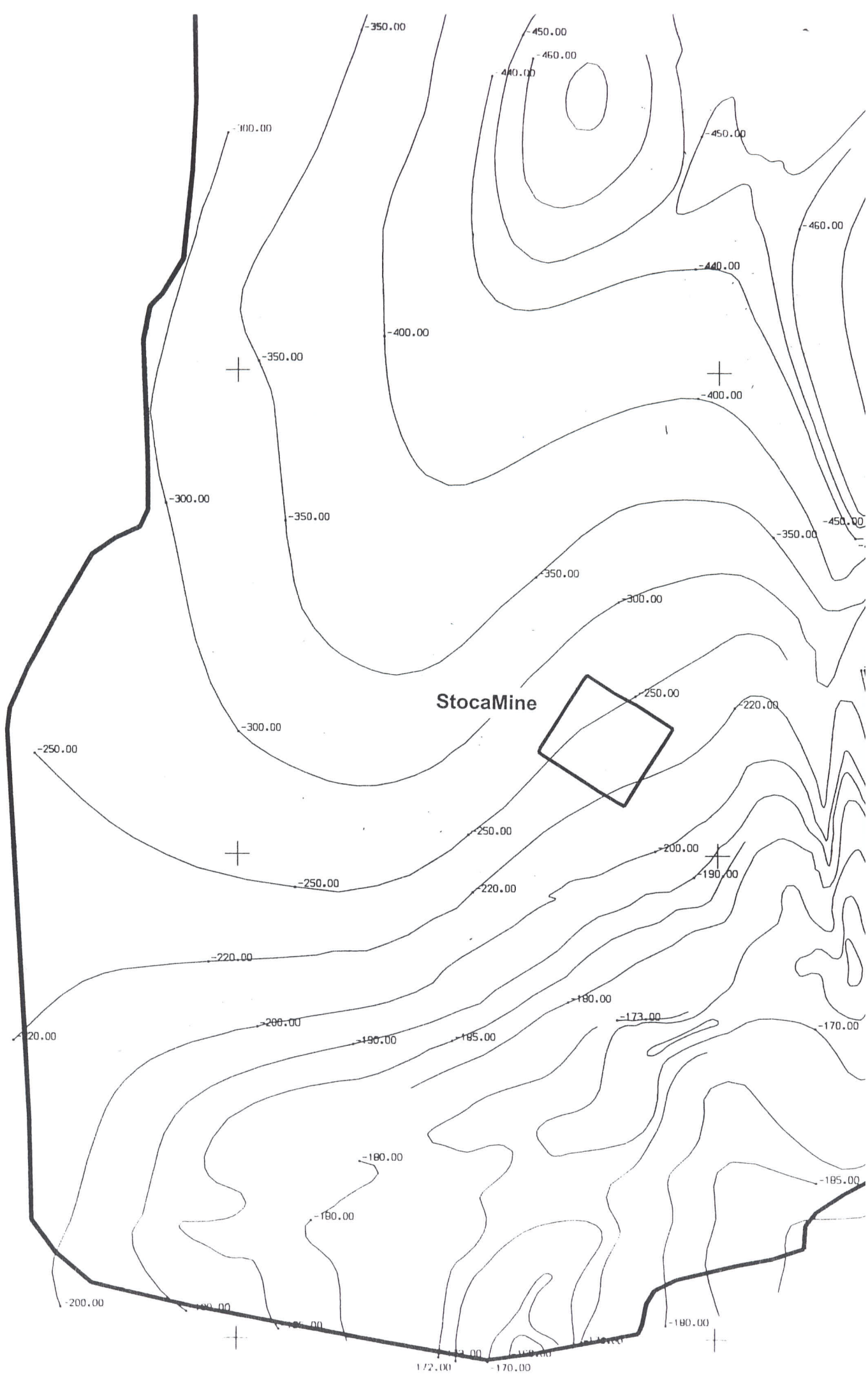
Un travail d'infographie minière a été réalisé afin d'appréhender ultérieurement, les problèmes de fermeture de la mine et du stockage, et en particulier :

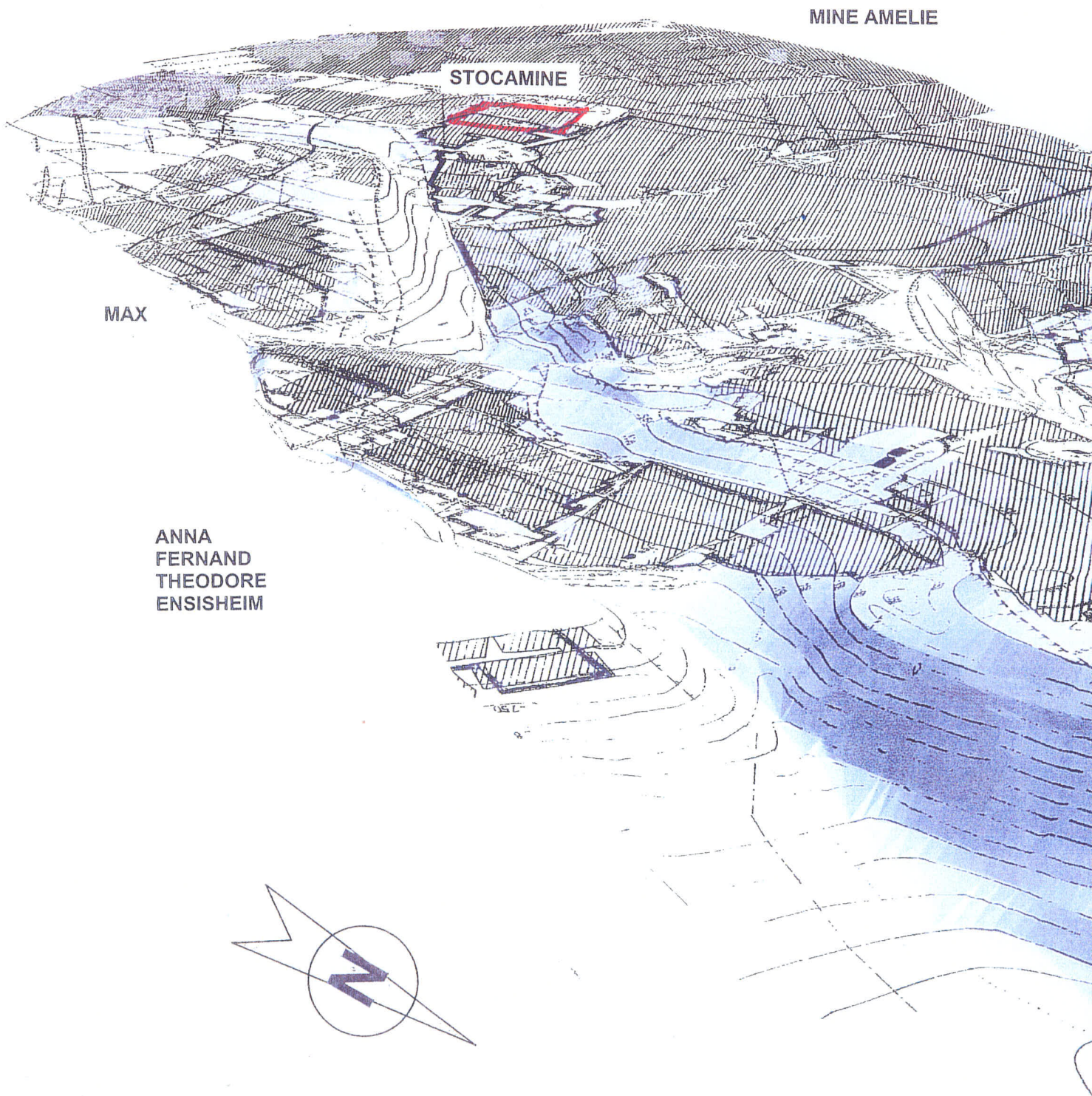
- Les courbes de niveau de la surface topographique de la région de Wittelsheim – Ungersheim ont été digitalisées (3D).
- Les courbes de niveau de la base des alluvions du quaternaire ont été digitalisées (3D). Elles permettent d'appréhender les directions de circulation de la nappe aquifère du quaternaire.
- Les courbes isohypses du mur de la couche inférieure de potasse ont été digitalisées (3D).

Ce travail permet de réaliser des coupes de terrain entre la surface et la couche inférieure de potasse (étude géotechnique). Il permet également d'affiner la connaissance de la morphologie du bassin potassique par la réalisation de blocs diagrammes.

Le bloc diagramme présenté permet de localiser les différents quartiers d'exploitation. Les courbes de niveau des isohypses du mur de la couche inférieure de potasse permettent de matérialiser les failles normales sub-méridiennes qui découpent le bassin. Le stockage apparaît en position haute dans le bassin. Seule l'exploitation de la mine Amélie au Sud Ouest du stockage est topographiquement plus élevée que ce dernier. Ce point prendra toute son importance lorsqu'il s'agira de définir les directions d'écoulement des fluides, gaz et eau, dans la mine après fermeture définitive.







<b>StocaMine</b> Wittelsheim  Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> Environnement
	<b>BLOC DIAGRAMME DU BASSIN DE WITTELSHEIM</b>	Mai 2004

## **4.6 - LES Puits DE MINE**

### **4.6.1 - Généralités**

Classiquement, les puits du bassin de Wittelsheim débutent dans les terrains quaternaires qu'ils franchissent entre 10 et 40 mètres. Ils recoupent ensuite les terrains du Chattien et/ou du Stampien. En particulier, la base du Stampien, constituée par les couches à amphysiles (poissons) et les marnes à foraminifères, forme une couverture imperméable à l'horizon salifère supérieur sous jacent et attribué au Sannoisien.

L'étanchéité des cuvelages des puits des Mines de Potasse d'Alsace est assurée par la mise en place cuvelages en fonte pour les puits anciens, par des corsets métalliques noyés dans du béton pour les puits récents, qui descendent dans la plupart des cas plus bas que la dernière venue d'eau recoupée lors du fonçage du puits. Dans la plus grande partie des puits, le cuvelage étanche est posé jusqu'à la zone salifère supérieure, au mur des marnes à foraminifères de la base du Stampien

Les autres types de cuvelage, en béton sans corset métallique, briques, ou moellons, n'ont qu'une vocation de soutien, mais ne permettent pas de bloquer d'éventuelles venues d'eau. Ce type de cuvelage est le plus souvent installé en dessous du cuvelage étanche.

Les puits ont fait l'objet, lors de leur creusement, d'un levé géologique détaillé publié dans l'ouvrage de W. Wagner : « La géologie des puits des mines de Potasse de la Haute Alsace », édité par les Mémoires du Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine – 1929.

#### 4.6.2 - Caractéristiques des puits en liaison directe avec le stockage

Coupes géologiques des puits de la mine Amélie au 1 : 1 000	Document n°04.069/ 37	En annexe
----------------------------------------------------------------	-----------------------	-----------

Cinq puits desservent le stockage, soit directement, soit indirectement. Ces ouvrages sont :

- Le puits Joseph, par lequel se faisait la descente du personnel et des déchets à stocker.
- Le puits Else, servant de retour d'air.
- Les puits Amélie 1, 2 et Max qui desservaient l'exploitation de potasse de la Mine Amélie. Le puits Amélie 1 constitue le puits d'extraction du quartier par laquelle toute la production de sel et de potasse est remontée au jour.
- Le puits Max. Ce dernier n'est relié à la mine Amélie – Else que par deux voies de liaison qui recoupent une zone faillée par laquelle la couche de potasse, exploitée dans le quartier du puits Max, est relevée de 170 m environ par rapport à la zone d'exploitation Amélie. – Else.

Dans le secteur de la mine Amélie – Else, la zone salifère supérieure est directement recouverte par les cailloutis quaternaires dont elle est séparée par les argiles jaunes dites de « la zone de transition ». Les formations du Stampien et du Chattien sont absentes.

Les découpages lithostratigraphiques décrits dans les coupes des puits diffèrent légèrement des descriptions lithologiques générales :

- La zone à gypse, épaisse de 40 à 100 mètres, est constituée essentiellement de marnes brun chocolat et grises, se débitant en écailles, et de couches de gypse fibreux. L'anhydrite est absente. Cet horizon est assimilable aux marnes sans sel de l'horizon salifère supérieur.
- Une zone à rognons d'anhydrite et à sel gemme : cette zone est épaisse de 290 à 320 mètres. Cette zone comprend, en partie supérieure, une alternance de marnes argileuses brun-rouge, de marnes dolomitiques contenant des rognons d'anhydrite. Après avoir traversé la première couche de sel, systématiquement notée dans les coupes des puits, se succèdent une alternance de couches de sel gemme et de marnes dolomitiques ou schisteuses ; les rognons d'anhydrites sont omniprésents.



La zone à rognons d'anhydrite et sel gemme des coupes de puits est assimilable au complexe salin à rognons d'anhydrite et au complexe salifère de la zone salifère supérieure.

Sous la zone à rognons d'anhydrite et sel gemme, les coupes des puits mentionnent la zone bitumineuse supérieure, dans laquelle sont intercalées les deux couches de potasse ; elle correspond à la partie inférieure de la zone salifère supérieure. Les puits ne descendent pas en dessous de ces niveaux.

#### 4.6.2.1. Le Puits Joseph

Le puits Joseph a été creusé d'Avril 1911 à Octobre 1912. Il est profond de 558 mètres et ne possède qu'une seule recette à la cote – 225 mètres, soit à la profondeur de 525 mètres.

#### **Coupe géologique du puits Joseph**

Le puits Joseph traverse successivement :

- 35 mètres d'alluvions quaternaires aquifères,
- 95 mètres de zone à gypse (marnes sans sel),
- 300 mètres de zone à rognons d'anhydrite et à sel gemme. La première couche de sel gemme est recoupée à 319 mètres (cote – 50 mètres N.G.F.),
- 110 mètres de zone bitumineuse inférieure.

#### **Venues d'eau**

Durant son creusement, seulement trois venues d'eau ont été mises en évidence :

- Une venue d'eau de 1 000 l/mn (60 m<sup>3</sup>/h) entre 0 et 20 mètres,
- Une venue d'eau de 40 l/mn (2,4 m<sup>3</sup>/h) à 29 mètres,
- Une venue d'eau de 15 l/mn (0,9 m<sup>3</sup>/h) à 112,50 mètres.

La première et la deuxième venue d'eau correspondent à l'aquifère de la nappe du quaternaire.

La troisième venue d'eau se situe dans la zone à Gypse de la zone salifère supérieure.

Les venues d'eau lors du fonçage du puits totalisaient 63 m<sup>3</sup>/h, abstraction faite de la mise en place des cuvelages au fur et à mesure du creusement.

## **Aménagements du puits**

Dans le puits Joseph, le cuvelage fonte descend à la profondeur de 197 mètres, soit à la cote 73,36 mètres. Le cuvelage étanche concerne principalement l'aquifère quaternaire, la zone à gypse et le début de la zone à rognons d'anhydrite sans sel gemme.

### 4.6.2.2. Le Puits Else

Le puits Else a été creusé de Juin 1911 à Novembre 1912. Il est profond de 515 mètres et possède une recette à la cote - 175 mètres, soit à la profondeur de 445 mètres, une recette à la cote - 225 mètres, soit à la profondeur de 495 mètres, et une recette (descenderie vers un puisard) à la cote de -241 mètres, soit à la profondeur de 511 mètres.

## **Coupe géologique du puits Else**

Le puits Else traverse successivement :

- 31,5 mètres d'alluvions quaternaires aquifères,
- 87 mètres de zone à gypse (marnes sans sel),
- 285 mètres de zone à rognons d'anhydrite et à sel gemme. La première couche de sel gemme est recoupée à 300 mètres (cote - 30 mètres N.G.F.),
- 110 mètres de zone bitumineuse supérieure.

## **Venues d'eau**

Durant son creusement, plusieurs venues d'eau ont été mises en évidence :

- Une venue d'eau de 50 l/mn (3 m<sup>3</sup>/h) à 35 mètres,
- Une venue d'eau de 100 l/mn (6 m<sup>3</sup>/h) à 79 mètres,
- Une venue d'eau de 150 l/mn (9 m<sup>3</sup>/h) à 91 mètres,
- Une venue d'eau de 100 l/mn (6 m<sup>3</sup>/h) à 104 mètres,
- Une venue d'eau de 20 l/mn (1,2 m<sup>3</sup>/h) à 120 mètres,
- Une venue d'eau de 15 l/mn (0,9 m<sup>3</sup>/h) à 276 mètres,
- Une venue d'eau de 15 l/mn (0,9 m<sup>3</sup>/h) à 411 mètres.

Les venues d'eau lors du fonçage du puits totalisaient 27 m<sup>3</sup>/h, abstraction faite de la mise en place des cuvelages au fur et à mesure du creusement.

## **Aménagements du puits**

Dans le puits Else, le cuvelage fonte descend à la profondeur de 121,4 mètres, soit à la cote 118,75 mètres. Il couvre 5 des 7 venues d'eau survenues lors du fonçage. Ce cuvelage concerne principalement l'aquifère du quaternaire et la zone à gypse.

### 4.6.2.3. Le Puits Amélie 1

Le puits Amélie 1 a été creusé d'avril 1908 à Décembre 1909. Il est profond de 710 mètres et possède une recette à la cote – 369 mètres, soit à la profondeur de 630 mètres, une recette à la cote - 397 mètres, soit à la profondeur de 658 mètres.

### **Coupe géologique du puits Amélie 1**

La coupe du puits Amélie 1 montre un dédoublement de la série dans la partie supérieure, où deux zones broyées sont recoupées, aux environs de 140 mètres et aux environs de 245 mètres. ce dédoublement conduit à la succession suivante :

- 25,15 mètres d'alluvions quaternaires,
- 100 mètres de « couches à melettes (poissons)»,
- 10 mètres de schistes à Amphisyle (poissons) situés normalement à la base du Stampien,
- après une zone broyée; à nouveau des couches à mélettes sur 97 mètres,
- 13 mètres de schistes à Amphisyle suivis d'une nouvelle zone broyée,
- 314 mètres de zone à rognons d'anhydrite et à sel gemme, sans passer par la zone à gypse. Le premier sel gemme est recoupé à 323 mètres,
- 110 mètres de zone bitumineuse supérieure, avec les deux couches de potasse.

### **Venues d'eau**

Le puits Amélie 1 a été creusé sur 75 mètres dans des terrains préalablement congelés. Cette technique ne permet pas de mettre en évidence d'éventuelles venues d'eau dans la tranche de terrains traversés. Sous la zone creusée en zone congelée, une seule venue d'eau a été mise en évidence :

- Une venue d'eau de 7 l/mn (0,42 m<sup>3</sup>/h) à 137 mètres,

## **Aménagements du puits**

Dans le puits Amélie 1, le cuvelage fonte descend à la profondeur de 121 mètres, soit à la cote 140 mètres. le cuvelage étanche couvre l'aquifère quaternaire et la zone à Melettes jusqu'à la première zone broyée.

### 4.6.2.4. Le Puits Amélie 2

Le puits Amélie 2 a été creusé de Novembre 1911 à Décembre 1912. Il est profond de 683 mètres et possède une recette à la cote - 287 mètres, soit à la profondeur de 550 mètres et une recette à la cote - 397 mètres, soit à la profondeur de 660 mètres.

### **Coupe géologique du puits Amélie 2**

Le Puits Amélie 2 montre une succession « classique », et traverse successivement :

- 21,3 mètres d'alluvions quaternaires aquifères,
- 12 mètres de schistes à Amphisyles,
- 8 mètres de marnes à foraminifères,
- 95 mètres de zone à gypse (marnes sans sel),
- 315 mètres de zone à rognons d'anhydrite et à sel gemme. La première couche de sel gemme est recoupée à 289 mètres (cote - 30 mètres N.G.F.),
- 120 mètres de zone bitumineuse supérieure.

### **Venues d'eau**

Lors du fonçage du puits Amélie 2, deux venues d'eau ont été mises en évidence :

- Une venue d'eau de 30 l/mn (1,8 m<sup>3</sup>/h) entre 140 et 164 mètres,
- Une venue d'eau de 1,5 l/mn (0,09 m<sup>3</sup>/h) à 236 mètres.

## **Aménagements du puits**

Dans le puits Amélie 2, le cuvelage fonte descend à la profondeur de 140 mètres, soit à la cote 122,5 mètres. Une autre portion de cuvelage fonte a été installée entre les profondeurs de 188.8 mètres (cote 74,5 m) et 240, 55 m (cote 22,76 m).

Le premier cuvelage protège de l'aquifère quaternaire et couvre la zone à gypse.

Le deuxième cuvelage recouvre entre autres, une venue d'eau salée (236 mètres). Le descriptif du fonçage du puits mentionne que jusqu'à 215 mètres, l'anhydrite a subi une transformation en gypse ; il en est déduit que l'eau superficielle peut pénétrer jusqu'à cette profondeur. Cette observation serait corroborée par l'observation de sel fibreux dans des fissures qui se seraient vidées lors du creusement du puits.

#### 4.6.2.5. Le Puits Max

Le puits Max a été creusé de Novembre 1910 à Juillet 1912. Il est profond de 556 mètres et possède une recette à la cote – 258 mètres, soit à la profondeur de 515 mètres.

Son creusement a été marqué par de nombreux incidents et accidents :

- 02/12/1910 : noyage du puits,
- 02/01/1911 : venues d'eau subites,
- 04/01/1911 : éboulement sur 6 m de haut,
- 18/01/1911 : accident : 1 mort, 4 blessés,
- 30/12/1911 : éboulements et cassures subites du terrain.

On constate que les événements principaux sont survenus au début du fonçage du puits.

#### ***Coupe géologique du puits Max***

Le puits Max ne se situe pas dans le même compartiment tectonique que les puits précédents ; il présente une coupe géologique plus variée que les précédents mais affectée par des phénomènes de réduction d'origine tectonique.

Le puits Max traverse successivement :

- 27,3 mètres d'alluvions quaternaires aquifères,
- 193 mètres de zone à Mélettes (succession de marnes et grès),
- 17 mètres de schistes à Amphisyles,
- 8 mètres de marnes à foraminifères,
- 40 mètres de zone à gypse (marnes sans sel), se terminant sur une zone broyée,
- 160 mètres de zone à rognons d'anhydrite et à sel gemme. La première couche de sel gemme est recoupée à 350 mètres (cote – 95 mètres N.G.F.),
- 100 mètres de zone bitumineuse supérieure.

### ***Venues d'eau***

Lors du fonçage du puits Max, plusieurs venues d'eau ont été mises en évidence :

- Une venue d'eau de 25 l/mn ( $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) entre 46,2 et 47,30 mètres,
- Une venue d'eau de 30 l/mn ( $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ) entre 70 et 72,5 mètres,
- Une venue d'eau de 85 l/mn ( $5,1 \text{ m}^3/\text{h}$ ) entre 90,8 et 93,8 mètres,
- Une venue d'eau de 35 l/mn ( $2,1 \text{ m}^3/\text{h}$ ) entre 114 et 116,2 mètres,
- Une venue d'eau de 15 l/mn ( $0,9 \text{ m}^3/\text{h}$ ) entre 188 et 194 mètres,
- Une venue d'eau de 10 l/mn ( $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ ) entre 197,5 et 206,2 mètres.

Les venues d'eau lors du fonçage du puits totalisaient  $12 \text{ m}^3/\text{h}$ , abstraction faite de la mise en place des cuvelages au fur et à mesure du creusement.

### ***Aménagements du puits***

Dans le puits Max, le cuvelage fonte descend à la profondeur de 226,2 mètres, soit à la cote 30,4 mètres. le cuvelage protège de l'aquifère du quaternaire et des venues d'eau de la zone à Melettes jusqu'à la couche de schistes à Amphisyles.

### ***Remblayage du puits Max***

Au moment de la réalisation de la présente étude, le puits Max est en cours de remblayage.

Ce puits fait l'objet d'opérations de remblayage légèrement différentes de celles habituellement pratiquées :

- Une mauvaise gestion du puisard de fond de puits a conduit progressivement, par dissolution du sel, à un déchaussement de la base du cuvelage du puits. Pour cette raison, la base du puits a été fermée par un bouchon de béton muni de drains. Ce bouchon de béton sera recouvert par environ 70 mètres de graviers drainants.
- Le bouchon de suies sera beaucoup plus épais que pour les autres puits, installé de 40 mètres de profondeur jusqu'à 450 mètres, dans le but d'empêcher autant que possible, toute infiltration d'eau, l'épaisseur accentuant l'effet colmatant des fines des suies.

#### 4.6.3 - Caractéristiques des puits sans liaison directe avec le stockage

Coupes géologiques des puits du Nord du bassin de Wittelsheim au 1 : 1 000	Document n°04.069/ 38	En Annexe
Tableaux des caractéristiques des puits remblayés aux M.D.P.A.	Document n°04.069/ 39	Dans le texte
Puits du bassin de Wittelsheim : position des cuvelages étanches et des bouchons de suies (Coupe schématique de l'état des puits en 2004)	Document n°04.069/ 40	Dans le texte

Les mines du Nord du bassin de Wittelsheim dont la liaison hydraulique avec la mine Amélie est probable au travers d'un stot de sel épais de 20 mètres laissé entre deux zones foudroyées, sont desservies par les puits suivants :

- Puits Marie et puits Louise,
- Puits de Staffelfelden,
- Puits de Berrwiller,
- Puits de Schoenesteinbach,
- Puits Alex,
- Puits Rodolphe 1 et 2,
- Puits Ungersheim 1 et 2.

Tous ces puits ont été remblayés par les M.D.P.A. depuis 1978. Le tableau synthétique de M.D.P.A. résume les principales dispositions prises pour effectuer le remblayage de ces puits.

La coupe schématique permet de localiser, dans chaque puits du bassin, la position des cuvelages étanches, et celle du bouchon principal de cendres volantes "suies" lorsque les puits ont été remblayés.

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>  Mai 2004
	<b>TABLEAU DES CARACTERISTIQUES DES PUITES</b> <b>REMBLAYES AUX MDPA</b>	

**PUITS REMBLAYES DES M.D.P.A.**

SITUATION	← BASSIN DE WITTENHEIM			← BASSIN DE WITTELSHEIM			← BASSIN DE WITTENHEIM →			Eugène		
	Fernand E	Fernand O	Anna E	Anna O	Rodolphe 1	Rodolphe 2	Alex	Ensisheim 1	Ensisheim 2		Ensisheim 3	Théodore
Longitude (1)	973856	973631	972176	971983	969894	969972	969344	974038	974187	972742	973429	973600
Latitude (1)	323163	323099	322704	322650	328084	328101	328610	329639	330449	328819	326296	326048
Cote orifice (m)	232	232	239	239	235	235	235	219	218	225	228	229
<b><u>CARACTERISTIQUES</u></b>												
Diamètre (m)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5,5	4,5	4,5 / 5,0	4,5	5,5	5,0	5,0
Base cuvelage (2)	175	143	149	159	283	304	350	304	415	288	115	111
1er sel gemme (2)	271	185	181	223	395	405	451	413	538	417	130	157
Profondeur puisard (2)	558	566	463	473	741	764	666	892	1044	736	739	731
<b><u>REMBLAYAGE</u></b>												
Date début	9.78	12.80	3.81	2.84	5.84	8.84	1960	1.86	4.80	9.79	8.88	8.88
Date fin	10.78	1.81	4.81	3.84	5.85	7.85	4.84	3.89	5.81	6.81	11.90	5.90
Construction dalle	6.80	12.82	12.83	3.85	8.87	8.87	3.85	12.90	7.83	8.83	12.91	12.92
Bouchon de suies												
de (m) (2)	140	113	120	130	253	274	110	270	210	258	85	81
à (m) (2)	190	163	170	180	303	324	364	325	450	308	135	131



# StocaMine

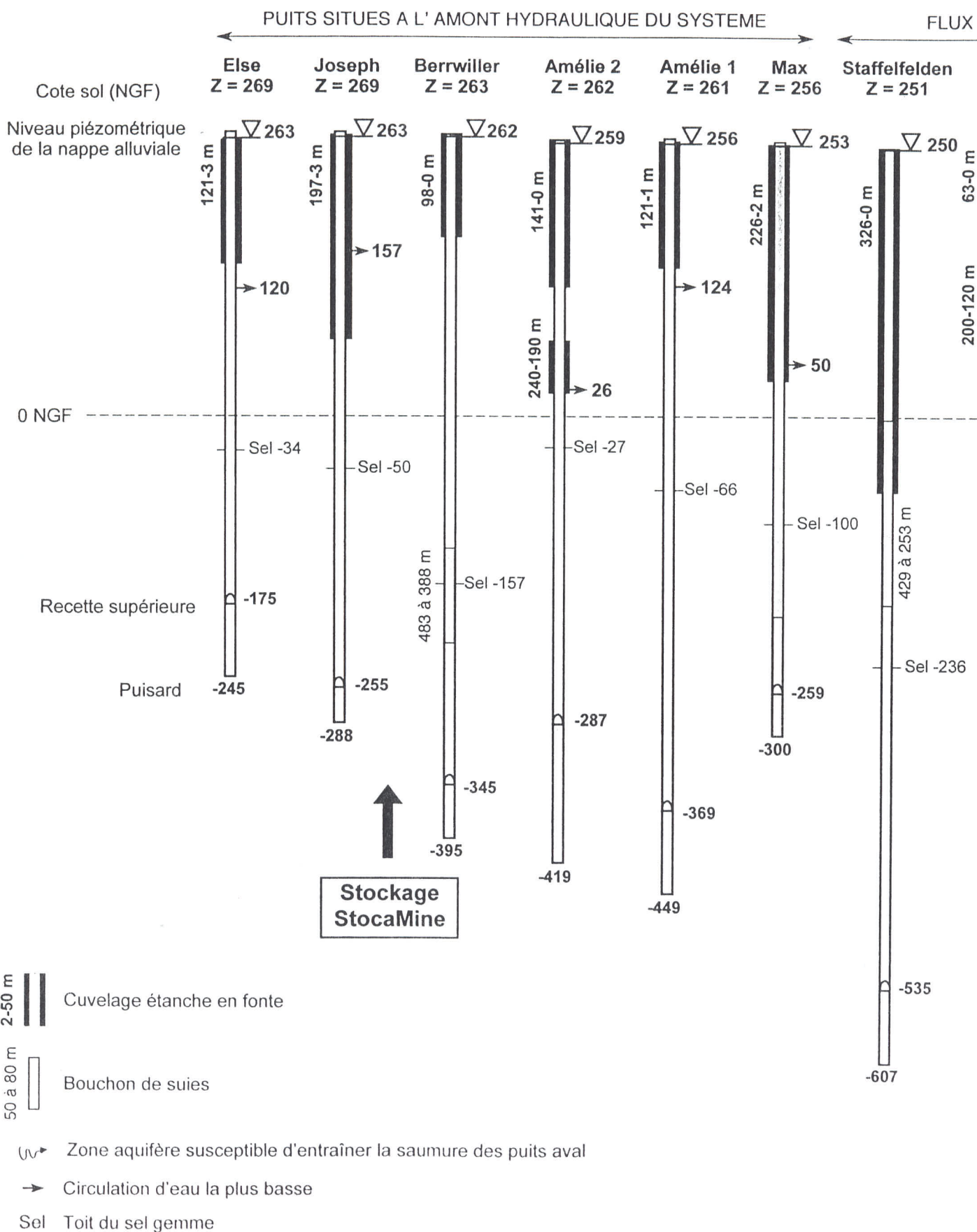
Wittelsheim  
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

MICA  
Environnement

PUITS DU BASSIN DE WITTELSHEIM : POSITION DES  
CUVELAGES ETANCHES ET DES BOUCHONS DE SUIES

Mars 2004



## **4.7 - LES SONDAGES**

Tableau de recensement des sondages de prospection minière ou pétrolière dans le bassin de Wittelsheim	Document n°04.069/ 41	En Annexe
Plan des sondages de prospection minière ou pétrolière dans le bassin de Wittelsheim au 1 : 25 000	Document n°04.069/ 42	En Annexe

### **4.7.1 - Généralités**

De nombreux sondages ont été effectués sur le bassin potassique et en particulier dans la zone du stockage.

- des forages peu profonds, à vocation de contrôle et de suivi de la nappe phréatique du quaternaire. Ces sondages sont particulièrement nombreux au voisinage des terrils. Ces forages n'ont généralement été forés que jusqu'à la base des alluvions quaternaires ; ils ne peuvent être considérés comme des vecteurs d'entrée d'eau dans la mine.
- des forages, souvent anciens, réalisés pour la recherche de potasse. Ces sondages ont été réalisés de manière à recouper, autant que faire se peut, les deux couches de potasse.
- Des forages de recherche pétrolière, conduits dans les années 50. Ces forages ont traversé l'ensemble des couches du tertiaire pour aller rechercher les indices d'huile dans les magasins du Jurassique et éventuellement du Trias.

### **4.7.2 - Rebouchage des sondages de recherche de Potasse**

La réalisation et le rebouchage des sondages de recherche de potasse a fait, dès l'origine, l'objet d'une attention particulière de la part des exploitants, en raison de la grande solubilité de certains horizons traversés.

En effet, toute négligence dans ce domaine aurait eu pour conséquence :

- soit l'obligation de délimiter autour de chaque sondage, un stot de sécurité dont les dimensions devaient tenir compte des déviations possibles des sondages, avec pour conséquence une perte de gisement relativement importante.
- Soit la mise en péril de la mine en elle même par un risque important d'arrivée d'eau et la quasi impossibilité de la stopper.

Une étude bibliographique a été réalisée par les Mines de Potasse d'Alsace concernant les techniques de rebouchages des sondages qui ont évolué avec le temps. Les éléments ci après résument les résultats de l'étude.

#### 4.7.2.1. Technique mise en œuvre avant 1913

La technique de rebouchage des sondages consistait à faire tomber dans le forage, des boules d'argile de taille inférieure au diamètre du sondage. Ces boules étaient bien sèches afin d'éviter qu'elle ne se délitent dans la boue de forage au cours de la descente.

Chaque fois qu'une longueur de deux mètres environ de boules d'argile était mise en place, il était descendu dans le trou un pilon de damage (350 Kg environ). Il était ensuite procédé au tassement de l'argile (réduction de l'épaisseur du bouchon à environ un mètre).

Il est probable que les forages aient été pour la plus part entièrement détubés préalablement au rebouchage.

#### 4.7.2.2. Technique mise en œuvre en 1928 – 1929

Le rebouchage est réalisé au moyen d'argile façonnée en carottes, ajoutée de ciment. Le haut du forage est complété en graviers.

#### 4.7.2.3. Technique mise en œuvre avant 1937 - 1939

Alternances de graviers et de bouchons d'argile

#### 4.7.2.4. Technique mise en œuvre de 1947 à 1952 – 1953

Le rebouchage des sondages est réalisé ainsi :

- Cimentation en remontant à partir des couches de potasse.
- Au-dessus, alternances de graviers, argile et ciment, avec bouchons obligatoires au ciment au dessus du premier sel et dans la zone de transition (à la base du quaternaire).

#### 4.7.2.5. Technique mise en œuvre à partir de 1953

Rebouchage au ciment jusqu'à la base des alluvions quaternaires , ensuite, gravier mêlé d'un peu de ciment.

### 4.7.3 - Les sondages recoupés par les travaux miniers

Les sondages ayant recoupé les exploitations minières sont les sondages de recherche de la potasse, lorsqu'ils ont été suffisamment longs, et les sondages de recherche et d'exploitation pétrolière.

Les travaux miniers du bassin de Wittelsheim ont été recoupés par 33 sondages de recherche de la potasse et par 10 sondages de recherche pétrolière.

#### 4.7.3.1. Sondages de recherche de potasse

Parmi les 33 sondages recoupés, cinq sondages ont donné lieu, au moment de leur intersection, à des coulées de boue dont la plus importante a atteint environ 20 m<sup>3</sup> (Cernay II, référence 15-022, en 1984 à la Mine Amélie). Il s'agissait de sondages anciens dont 4 antérieurs à 1913 et le DP 1( référence 11-043 ) de 1927.

Dans la majorité des cas, les manifestations lors de la rencontre furent limitées à quelques suintements et à de faibles venues d'eau saturée en sel.

A l'exception du sondage DP 28 (1 – 048) qui a atteint les formations de l'Oxfordien, tous les sondages de recherche de potasse ont été interrompus à la limite de la zone salifère moyenne et de la zone salifère supérieure, c'est à dire après avoir traversé la couche inférieure de potasse.

#### 4.7.3.2. Sondages de recherche pétrolière

Les sondages de recherche pétrolière sont répartis en trois groupes :

- La zone de Reiningue, au Sud. Deux sondages, 5 -048 (SCG 1) et 5 -049 (SCHW 1), ont recoupé la partie Sud de la mine Amélie, à quelque 2 Km au SW du stockage,
- Le sondage 1 – 072, isolé, situé en bordure de l'exploitation Nord Est de la Mine Amélie,
- Le groupe de sondages de Staffelfelden (n° 1 – 061, 062, 065 à 069).

Quelques uns ont été recoupés par les travaux miniers ; ils se matérialisaient par un fût de béton. Aucune venue d'eau ne s'est jamais manifestée, ni au toit, ni au mur des travaux miniers en recoupant ces sondages ; quelques émanations gazeuses ont cependant été relevées.

#### **4.7.4 - Conclusions sur les sondages**

On pouvait craindre que les sondages réalisés dans le bassin potassique ne constituent des vecteurs potentiels d'entrées d'eau dans la mine. Les travaux d'exploitation ont montré que ces venues sont restées pour la plus part très faibles à nulles.

Les sondages qui ont amené de l'eau lors des travaux d'exploitation ont été immédiatement traités depuis le fond. On ne dispose d'aucune information sur leur comportement après foudroyage de la zone mais il semble acquis que les venues d'eau ont été stoppées puisque aucun désordre n'est survenu ultérieurement. L'expérience a démontré que toute venue d'eau à caractère un peu exceptionnel avait été immédiatement détectée même quand le quartier était abandonné et foudroyé (cas du remblayage du puits Alex ou du travers banc « T »). Le temps agissant dans le sens d'un resserrement des terrains, les risques dus aux sondages diminuent et tendent à devenir pratiquement nuls

## 5 - ETUDE GEOTECHNIQUE

### 5.1 - RECONNAISSANCE DE TERRAIN

#### 5.1.1 - Cartographie des phénomènes de déformation dans le stockage

Plan de l'état des lieux – Février 2004 au 1 : 1 000	Document n°04.069/ 43	En annexe
Légende du plan de l'état des lieux	Document n°04.069/ 44	Dans le texte
Extrait du plan de l'état des lieux – Février 2004 au 1 : 1 000	Document n°04.069/ 45	Dans le texte

La cartographie des phénomènes de déformation, et d'instabilité, mais également les éléments de géométrie, ont été relevés et cartographiés dans le stockage.

En raison de la présence de quartiers inaccessibles du fait de chutes de toit et de comblement des galeries et recoupes par les déchets, un levé systématique de l'ensemble du stockage n'a pu être réalisé.

Seules les zones accessibles ont été cartographiées. Les relevés ont été effectués durant le mois de février 2004. Les éléments suivant ont été relevés :

- Déformation des piliers – Ecaillage

Sous l'effet du poids des terrains, un pilier est soumis à une contrainte verticale provoquant sur le pilier une déformation en forme de tonneau. Au parement du pilier, une contrainte tangentielle de traction provoque la fissuration du pilier.

De ce fait, le pilier se fissure verticalement. Cette fissuration affecte généralement une zone superficielle située sur le pourtour du pilier. Plusieurs séries d'écailles s'en détachent, et s'éloignent plus ou moins des parements du pilier en fonction de la contrainte de traction auquel il est soumis.

Sur chaque pilier, l'écartement cumulé entre écailles a été observé et relevé. Cet écartement cumulé varie entre 0 cm et 30 cm. Cette mesure représente la convergence horizontale.

- Déformation du mur – Le soufflage

La contrainte verticale sur les piliers engendrée par le poids des terrains entraîne un enfoncement des piliers dans le mur constitué d'alternances de marnes et d'alternances de sel (poinçonnement des marnes du mur). Le fin lit de sel « reflue » ainsi entre deux piliers en soulevant le mur.

Les hauteurs de soufflage relevées varient entre 5 cm et 30 cm.

- Déformation du toit – Les chutes de toit

Il s'agit de la déformation progressive (flambage) puis de la rupture brutale par traction de l'alternance de niveaux de sel et de marnes constituant le toit du stockage. Ces bancs de sel se décollent d'un banc de marnes sus-jacent lorsqu'ils ne sont plus maintenus par des soutènements.

- Les éléments de géométrie

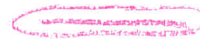
Les hauteurs exploitées ont été systématiquement mesurées, ainsi que les distances entre piliers. Les quartiers remblayés par les déchets sont également notés ainsi que la hauteur résiduelle entre les déchets et le toit de l'édifice.

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>LEGENDE DU PLAN DE L'ETAT DES LIEUX</b>	Mai 2004

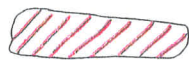
**ECAILLAGE** : Mesure cumulée de l'écaillage en cm  
(convergence horizontale)



**SOUFFLAGE** : Soulèvement du mur



**DEFORMATION DU TOIT** :



Toit effondré



Toit fissuré présentant un important flambage

**GEOMETRIE** :



Hauteur et largeur de galerie mesurée au mètre



Type de remplissage (fûts, big-bags)



Pente de la galerie



Bures



Zone à l'intérieure de laquelle la couche inférieure et la couche supérieure n'ont pas été exploitée



Tracé de la coupe modélisée sur logiciel PLAXIS



CH=12,50  
CV=1,50  
L=2,75

CH=9,1  
CV=13,20

CH=11,8  
CV=16,5

CH=8,3  
CV=6,5

CH=5,8  
CV=8,5

CH=7,7  
CV=8,9

CH=12,15  
CV=18

CH=11,35  
CV=16,3

CH=9,7  
CV=10,9

CH=9,1  
CV=3,6

CH=3,81  
CV=3,55

CH=3,35  
CV=10,16

CH=11,4  
CV=19,16

CH=1,3  
CV=3,5

CH=2,5  
CV=10,7

CH=4,6  
CV=25,3

CH=6,7  
CV=10,7



Blou

27

22

Bloc 13

27

1er Janvier 2000

Vam AQ1T

Vam AQ1D

3 Janvier 2001

22

Bloc 14

27

30 Juin 2002

23

Bloc 15

30 Juin 2003

Soulage

27

## 5.1.2 - Description des phénomènes de déformation observés dans le stockage

### 5.1.2.1. Les écaillages ou convergence horizontale

Photographies des écaillages	Document n°04.069/ 46	Dans le texte
Croquis de terrain des écaillages	Document n°04.069/ 47	Dans le texte

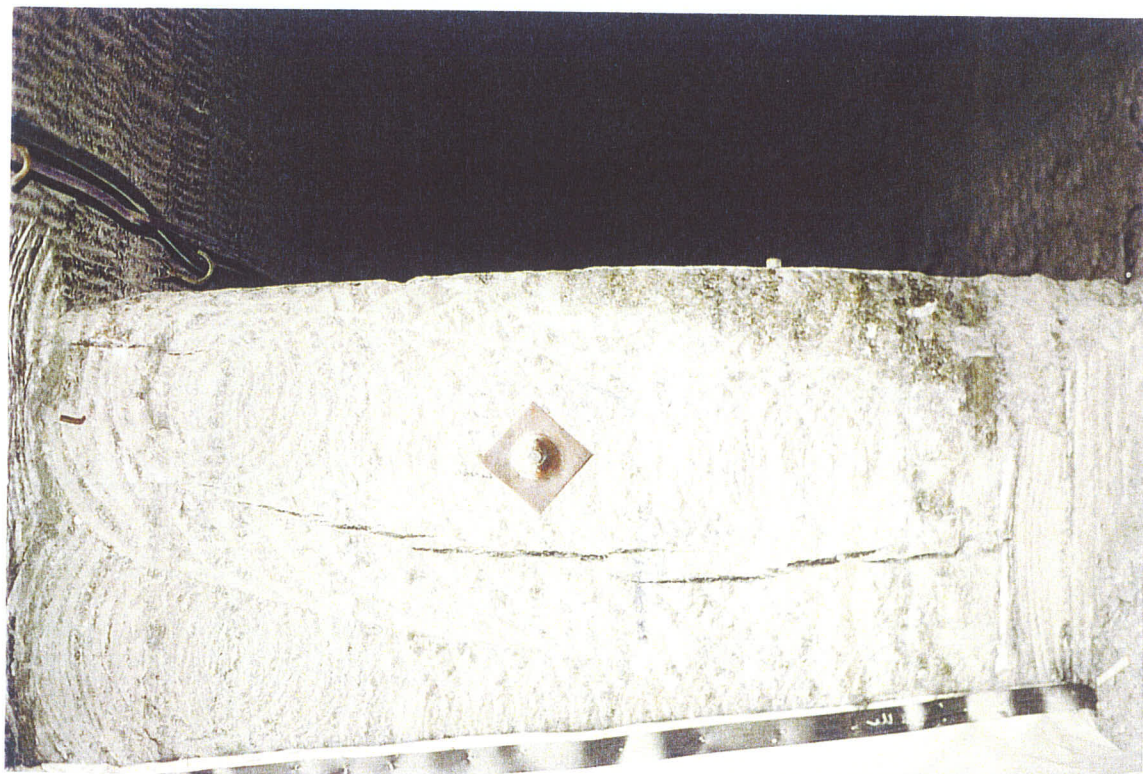
- **Sur les piliers de section 20 x 20**

L'écaillage au parement des piliers varie entre 0 cm lorsque l'on se trouve proche des bords fermes de l'édifice, à 15 cm voire 30 cm lorsque l'on se trouve au centre de l'édifice. Ceci peut s'expliquer par le fait que la contrainte verticale sur les piliers est plus importante au centre du stockage entraînant ainsi une déformation en tonneau plus marquée que sur les piliers de bordure. En bordure, la contrainte verticale est reportée sur les bords fermes (massif non exploité).

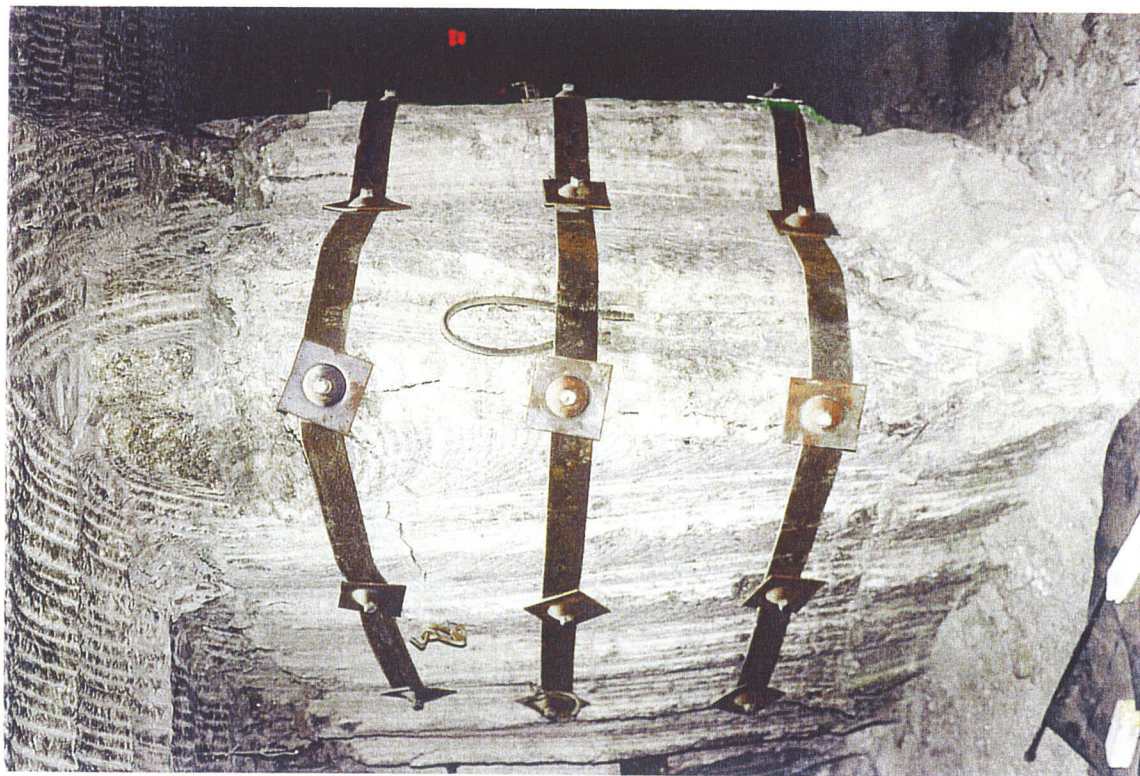
Cette déformation se traduit par le décollement d'une tranche superficielle du parement du pilier. Par contre, aucune fissure profonde située au cœur d'un pilier n'a été observée.

- **Sur les piliers centraux des doubles voies**

Les piliers centraux situés dans les voies de desserte sont de faible épaisseur et de fort élancement. Ces piliers présentent le plus fort écaillage (30 cm) et sont fissurés au cœur.

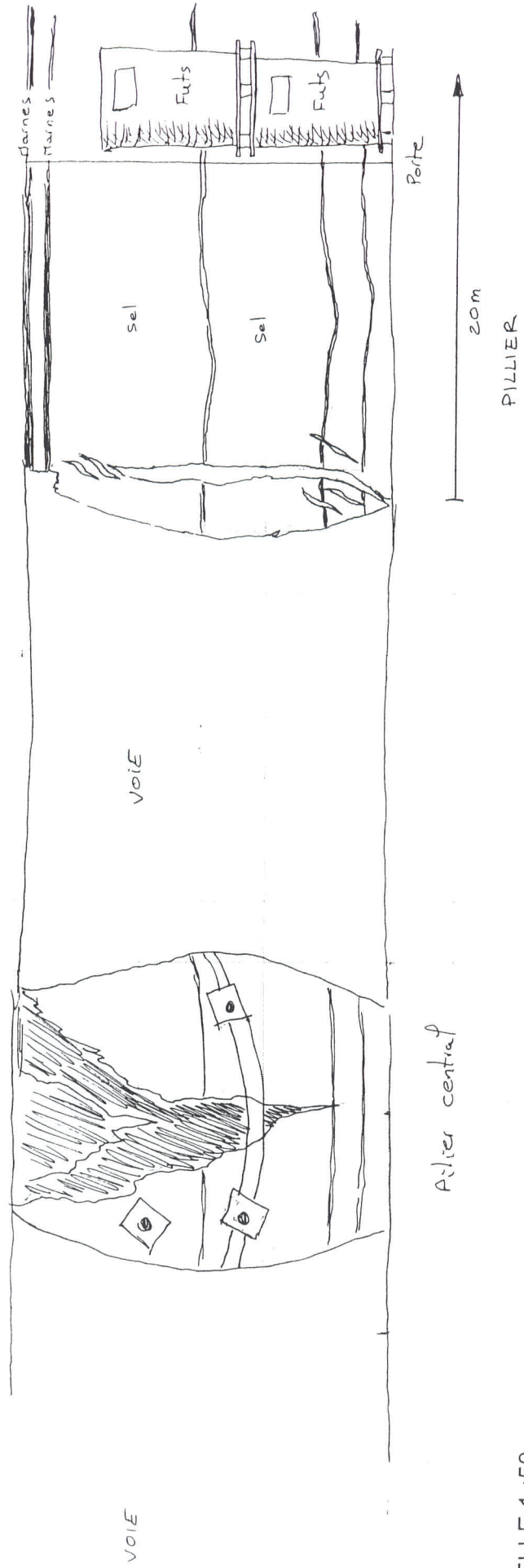


Ecaillage d'un pilier 20 x 20



Fissuration importante des piliers  
situés dans les doubles voies

# STOCAMINE RELEVÉS DE TERRAIN COUPE N°1



ECHELLE 1 : 50

### 5.1.2.2. Déformation des toits

Photographies de la déformation des toits	Document n°04.069/ 48	Dans le texte
-------------------------------------------	-----------------------	---------------

- **Flambement des toits**

Les toits des allées présentent des flambements tout particulièrement à l'entrée des allées du bloc 15 et 25. La flèche mesurée au centre, atteint 30 cm. Ceci se traduit par une flexion des bancs de sels ainsi que des décollements et ouvertures allant de 5 cm à 15 cm au niveau des joints marneux.

- **Effondrement des toits**

Dans le bloc 25, et en bordure du bloc 26, les toits sont descendus jusqu'au mur de la galerie sans qu'il y ait eut de déformation notable des piliers.

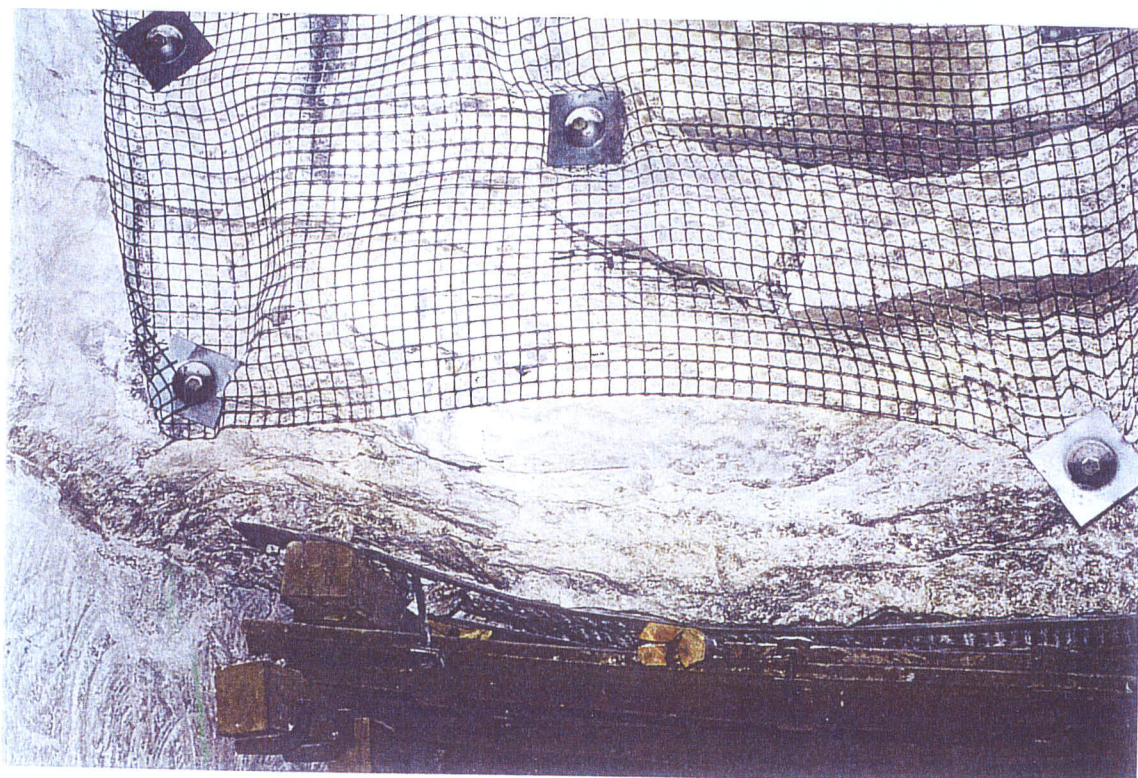
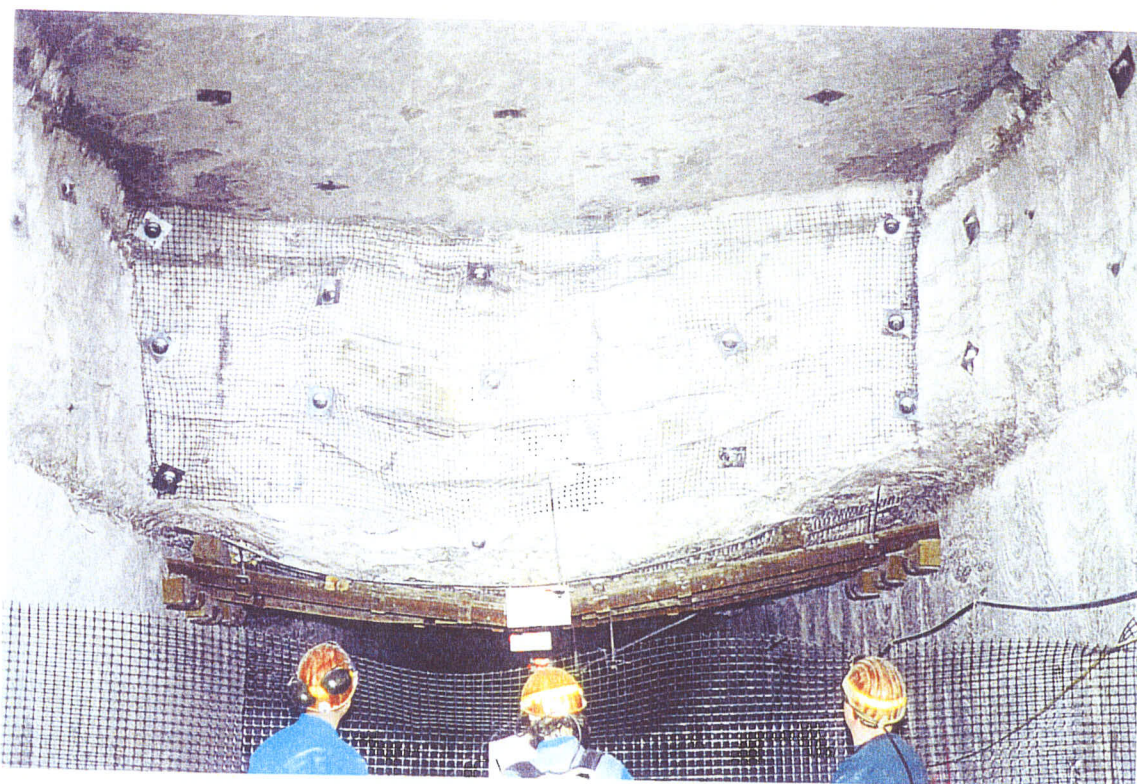
Les effondrements sont situés à l'aplomb d'une zone où les couches inférieures et supérieures de la mine de potasse n'ont pas été exploitées. Une modélisation réalisée dans la suite du rapport, montre que dans cette zone, existe une concentration de contrainte verticale qui entraîne la descente brutale des toits du stockage.

### 5.1.2.3. Les soufflages

Photographies des soufflages	Document n°04.069/ 49	Dans le texte
------------------------------	-----------------------	---------------

Les soufflages, ou soufflements du mur suite à l'enfoncement des piliers dans le mur sont concentrés à l'entrée du bloc 15 ainsi que dans les blocs 26 et 25. 30 cm à 50 cm de soulèvement du mur a été observé. La modélisation réalisée dans la suite du rapport, montre que la concentration de contraintes verticales au droit du bloc 25 entraîne un enfoncement des piliers de cette zone dans le mur, qui se répercute en bordure de la zone par d'importants soulèvements du mur.

<b>StocaMine</b> Wittelsheim  Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>PHOTOGRAPHIES DE LA DEFORMATION DES TOITS</b>	Mai 2004

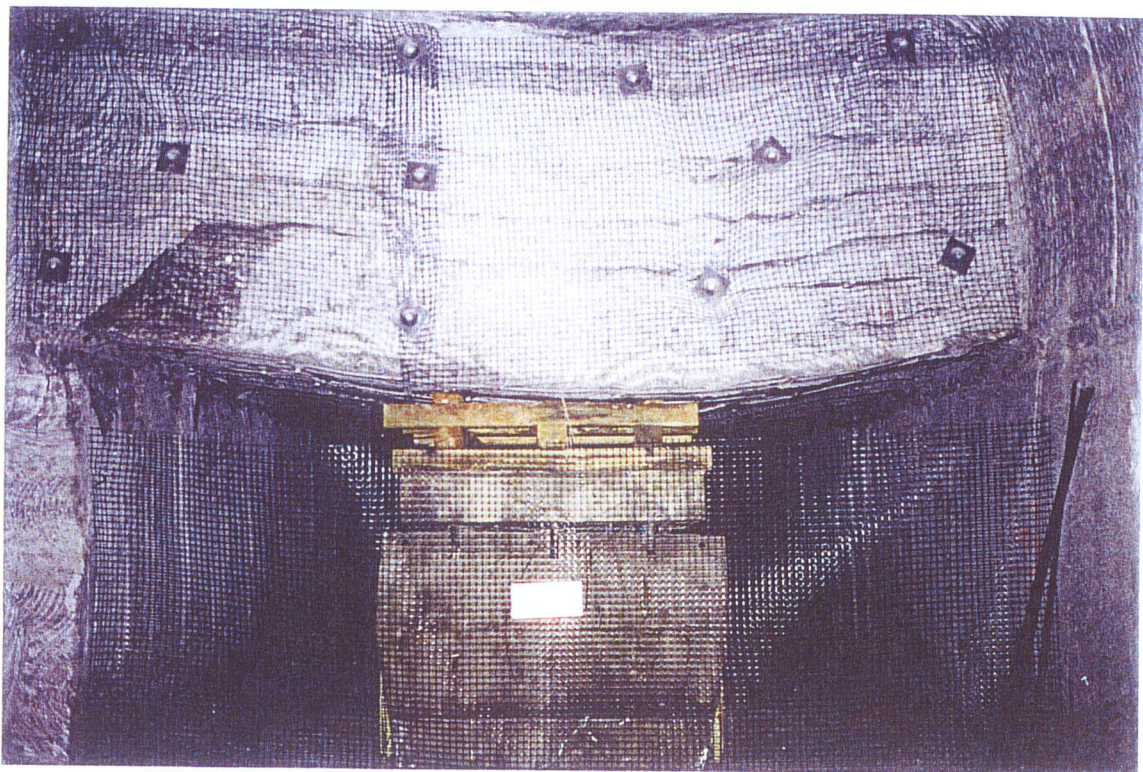


**Flexion de toit dans le bloc 25 – Zone Ouest (vide)**

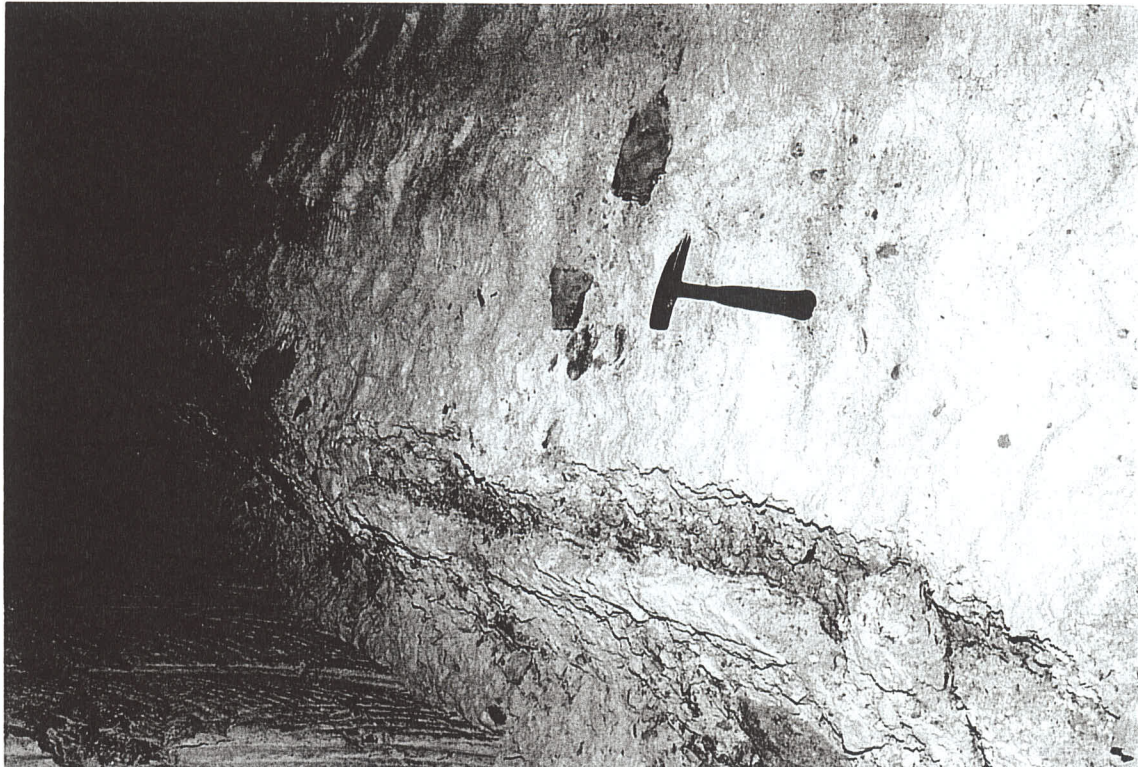
<b>StocaMine</b> Wittelsheim  Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>PHOTOGRAPHIES DE LA DEFORMATION DES TOITS</b>	Mai 2004



**Effondrement du toit dans le bloc 26 (vide)**



**Flambement du toit dans le bloc 16 (vide)**



Soufflage du mur du bloc 26



## 5.2 - SYNTHÈSE DES MESURES DE CONVERGENCE AU FOND

Courbes des iso-vitesses de convergence horizontales au 1 : 2 500	Document n°04.069/ 50	Dans le texte
Courbes des iso-vitesses de convergence verticales au 1 : 2 500	Document n°04.069/ 51	Dans le texte

Les mesures de déformation dans le stockage (convergence horizontale et verticale) sont effectuées depuis l'ouverture de chaque allées soit depuis :

- le 1<sup>er</sup> janvier 1998 dans les blocs 11, 12, 21 et 22,
- le 1<sup>er</sup> janvier 2000 dans les blocs 13 et 23,
- le 3 octobre 2000 dans le bloc 24,
- le 9 février 2001 dans le bloc 14,
- le 3 juin 2002 dans le bloc 25,
- le 30 juin 2002 dans le bloc 15.

Par la suite, le creusement des blocs 16 et 26 n'a pas été mené à son terme. Le creusement a donc évolué du Nord au Sud.

Les mesures de convergence sont réalisées à l'entrée de chaque allée. La convergence horizontale est établie à partir de la mesure régulière de la largeur d'une allée : il s'agit de la mesure de la vitesse de rétrécissement de la largeur d'une allée sous l'effet de la déformation en tonneau des piliers.

La convergence verticale est établie à partir de la mesure régulière de la hauteur d'une allée : il s'agit de la mesure de la vitesse de rétrécissement de la hauteur d'une allée sous l'effet :

- du soufflage du mur,
- du flambement du toit,
- de l'enfoncement des piliers dans le mur.

D'une manière générale, les vitesses de convergence au fond évoluent rapidement juste après le creusement des allées de stockage pour atteindre une vitesse constante au bout de quelques années, voire légèrement décroissante.

Ainsi, sous l'effet de la libération des contraintes après le creusement, les vitesses de convergence sont d'abord élevées.

En reportant les vitesses de convergence mesurées sur le plan du stockage en mm/mois, il apparaît que :

- les quartiers anciens ouverts en 1998 ont des vitesses de rétrécissement horizontales de 3 à 3,5 mm/mois,
- les blocs ouverts en 2001 et 2002 (blocs 14, 15 et 25...) ont des vitesses de 4,5 à 8 mm/mois.

Ce phénomène apparaît également pour les vitesses de convergence verticales.

Les vitesses de convergence sont donc encore proportionnelles à l'âge du creusement. Ceci montre que le stockage est encore dans une phase de libération des contraintes et que la phase asymptotique n'a pas encore été atteinte par les vitesses de convergence.

**StocaMine**  
Wittelsheim

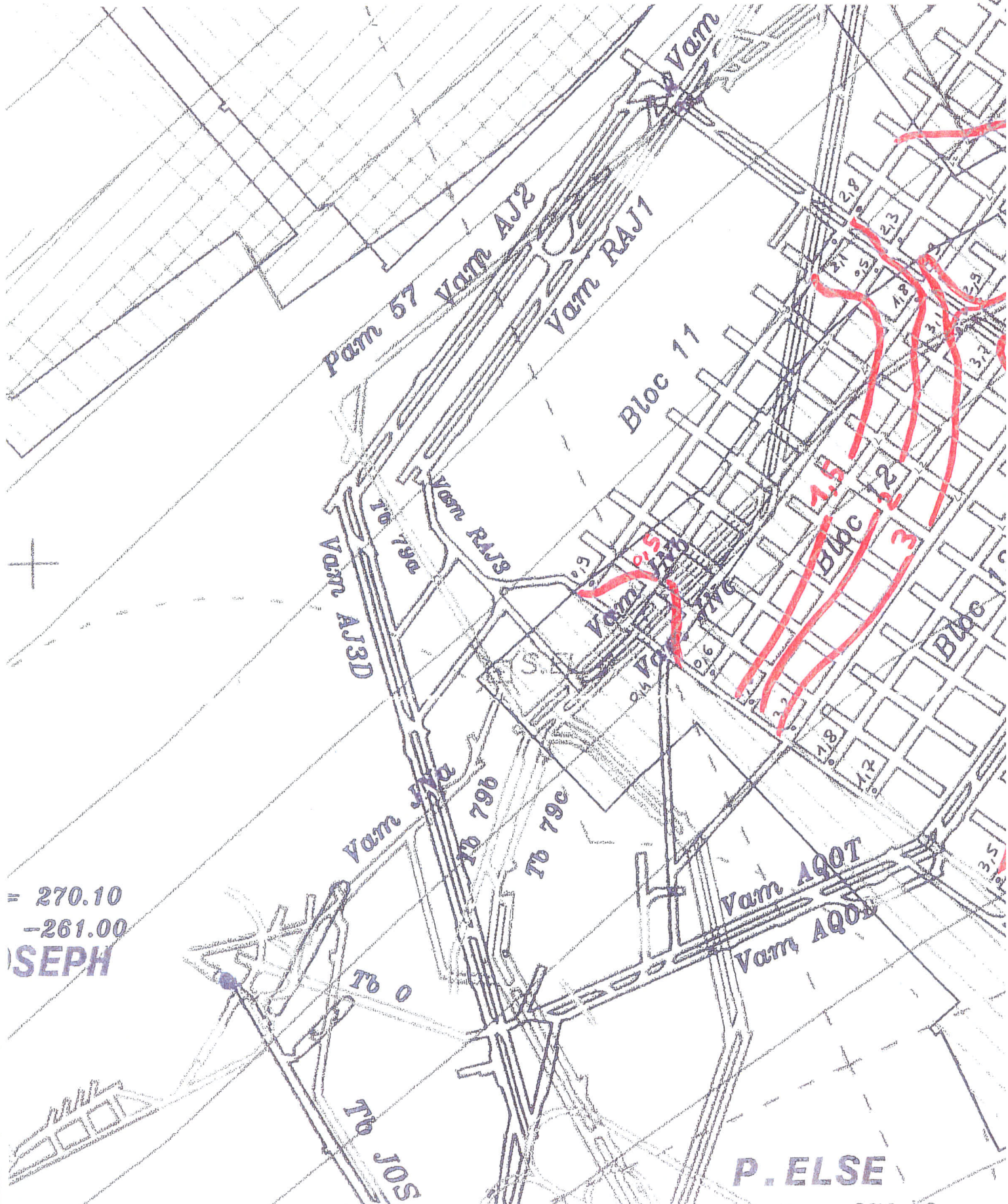
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

COURBE DES ISOVITESSES DE CONVERGENCE  
HORIZONTALES DES GALERIES (mm/mois) (d'après  
les mesures de distances parement - parement)

**MICA**  
Environnement

Echelle 1 : 2 500  
Mai 2004



**StocaMine**  
Wittelsheim

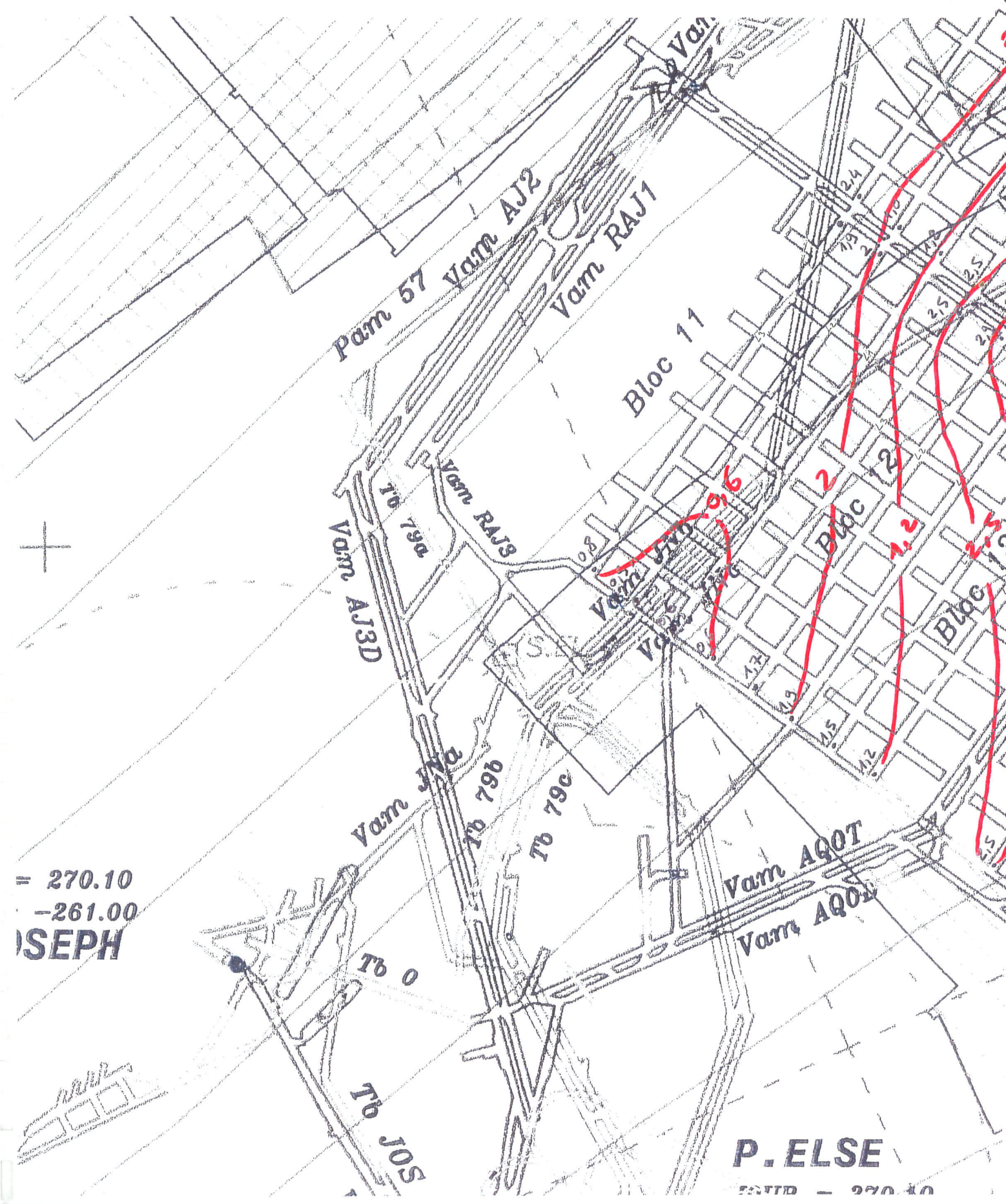
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

COURBE DES ISOVITESSES DE CONVERGENCE  
VERTICALES DES GALERIES (mm/mois)  
(d'après les mesures de distances mur-toit)

**MICA**  
Environnement

Echelle 1 : 2 500  
Mai 2004



= 270.10  
-261.00  
JOSEPH

**P. ELSE**  
ENTRÉE - 270.10

## 5.3 - COMPORTEMENT MECANIQUE DU STOCKAGE ET DE LA MINE DE POTASSE – COMPORTEMENT A LONG TERME

### 5.3.1 - Loi de comportement des matériaux et caractéristiques géomécaniques

Figures 1 à 22	Document n°04.069/ 52	En annexe
----------------	-----------------------	-----------

#### Loi de comportement du sel gemme et caractéristiques géomécaniques

Des études sur le comportement du sel ont été réalisées depuis 30 ans par le Centre d'Etude de Mécanique des Roches de l'ENSMP (G. VOUILLE). Ces études ont permis d'affiner les caractéristiques mécaniques ainsi que les lois de comportement du sel gemme.

Le sel gemme est un matériau très particulier qui peut être modélisé par les lois de comportement suivants :

- Le sel gemme est un matériau élastoviscoplastique. Toute excavation réalisée dans le massif rocheux conduit à une perturbation des contraintes dans la structure qui évoluent dans le temps pour tendre vers un état asymptotique qui est celui obtenu par un calcul élastoplastique. La déformation totale est ainsi la somme de deux termes : une déformation élastique qui se déduit de la valeur de la contrainte appliquée par les lois classiques de l'élasticité isotrope caractérisées par un module d'Young et un coefficient de Poisson, et une déformation viscoplastique.
- Le sel gemme a la propriété de se déformer dans le temps sous un état de contraintes invariables (fluage). La loi de comportement retenue pour le sel est la loi de J. Lemaître mise au point pour rendre compte du fluage des métaux. Elle suppose un écrouissage par la déformation déjà acquise et ainsi une vitesse décroissante de la déformation de fluage au cours du temps.
- Les dernières études du Centre d'Etude de Mécanique des Roches de l'ENSMP ont permis de caler les coefficients de la loi rhéologique de Lemaître qui est la loi utilisée pour le comportement des métaux.

$$\varepsilon_d = \left( \frac{D-S}{K} \right) \beta_t^\alpha$$

- où  $\epsilon_d$  est la déformation différée mesurée en microns par mètre
- D-S est la différence entre les pressions axiales et latérales
- S est la limite élastique
- t est le temps mesuré en jours
- K,  $\alpha$  et  $\beta$  sont des paramètres rhéologiques
- S est nulle

L'identification du sel gemme ainsi que le calage de la loi de Lemaître a été réalisé par le Centre de géotechnique et d'exploitation du sous-sol de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris (G. VOUILLE) lors de l'étude de la faisabilité du stockage (le texte original est reproduit en italique).

- Caractéristiques mécaniques du sel gemme

*Les échantillons ont été prélevés par sondage carotté au toit de la galerie desservant la base du puits Joseph : deux sondages de 3 m ont été prélevés fournissant des carottes de 93 mm de diamètre.*

*A partir de ces carottes on a réalisé deux éprouvettes de 65 mm de diamètre et 130 mm de hauteur destinées aux essais de fluage triaxial (ces dimensions étant imposées par les caractéristiques géométriques de la cellule utilisée) et deux éprouvettes de 186 mm de hauteur avec le diamètre initial destinées aux essais de compression simple. Sur ces quatre échantillons, on a déterminé la masse volumique du matériau qui est égale à 2 160 kg/m<sup>3</sup>.*

- Essais de compression simple

*Les essais ont été réalisés avec une vitesse de chargement de 1 MPa/mn avec trois cycles de charge et décharge à 8,16 et 24 MPa pour l'éprouvette 1 et quatre cycles de charge décharge à 4, 8, 12 et 24 MPa pour l'éprouvette 2, suivis dans les deux cas d'un chargement jusqu'à la rupture obtenue à 31.7 MPa pour la première éprouvette et 34.1 MPa pour la deuxième.*

*Les déformations ont été mesurées à l'aide d'extensomètres électriques sur une base de 20 mm dans les directions longitudinale et transversale.*

*Ce dispositif n'étant pas opérationnel au delà d'une déformation voisine de 1 % (décollement des extensomètres) on a doublé cette mesure d'une mesure de la déformation longitudinale globale réalisée à l'aide de capteurs inductifs et qui permet d'avoir une indication de cette déformation jusqu'à la rupture de l'éprouvette.*

Les résultats des essais sont donnés sous forme de deux jeux de figures correspondant chacun à une éprouvette, joints en annexe 1, où sont reportées :

- les deux courbes effort-déformation longitudinale et effort-déformation transversale (figures 1 et 10),
- la courbe déformation longitudinale-déformation transversale (figures 2 et 11),
- la courbe effort-déformation longitudinale obtenue à l'aide des capteurs inductifs (figures 3 et 12).

Les caractéristiques élastiques des roches viscoplastiques comme le sel gemme ne pouvant être déterminées que dans la phase décharge-recharge, chaque jeu comprend également un ensemble de figures où l'on n'a conservé que les parties décharge-recharge soit dans un diagramme contrainte-déformation longitudinale (figures 4 à 6 et figures 13 à 16), soit dans un diagramme déformation transversale-déformation longitudinale (figures 7 à 9 et figures 17 à 19) pour déterminer par régression linéaire le module de Young et le coefficient de Poisson : les valeurs mesurées sont rassemblées dans le tableau ci-après :

**ESSAIS DE COMPRESSION SIMPLE**  
**CARACTERISTIQUES ELASTIQUES**

Numéro de l'éprouvette	Numéro du cycle charge-décharge	Module de Young en MPa	Coefficient de Poisson
1	1	18550	0.11
	2	25300	0.22
	3	29740	0.23
2	1	19250	0.23
	2	22650	0.23
	3	24220	0.23
	4	25590	0.25

En ne retenant pas pour chaque éprouvette les résultats relatifs au premier cycle charge décharge pour lequel on peut considérer que l'on a une mise en place de l'éprouvette, on obtient finalement une valeur moyenne du module de Young de l'ordre de 25 000 MPa avec un coefficient de Poisson égal à 0.23.

- Essais de fluage triaxial

Les essais ont été réalisés à la température de 40°C sous un confinement de 12 MPa, la pression axiale prenant successivement les valeurs de 17, 19.5, 22 et 24.5 MPa, chaque palier ayant une durée de 7 jours. Les courbes obtenues sur les éprouvettes 3 et 4 donnant la déformation différée en fonction du temps sont jointes en annexe 1 (figures 20 et 21). Ces deux courbes sont remarquablement analogues, ce qui nous a permis de les regrouper pour déterminer, par minimisation de l'écart quadratique, les paramètres du modèle théorique de Lemaitre rendant le mieux compte globalement de ces deux essais.

Conformément à ce modèle, la déformation de fluage dans le cas où le déviateur est maintenu constant s'exprime par la formule :

$$\varepsilon = 10^{-6} (\sigma/k)^\beta t^\alpha$$

Dans le cas de l'expérience que nous avons réalisée la formulation est plus compliquée mais peut encore s'exprimer en fonction des trois paramètres  $K$ ,  $\beta$  et  $\alpha$  qui sont des paramètres intrinsèques au modèle et indépendants du type d'essai réalisé.

Le meilleur ajustement obtenu est représenté en traits pleins sur la figure 22 où les résultats expérimentaux sont représentés par les courbes en pointillés ; les valeurs numériques des paramètres sont les suivantes :

- $\alpha = 0.270$
- $\beta = 2.296$
- $k = 0.266$

Ces valeurs correspondent à la formule énoncée plus haut lorsque le temps est exprimé en jours et la contrainte en MPa.

En conclusion, le sel gemme de la mine Amélie a été modélisé dans les calculs par un matériau pesant élastoviscoplastique aux caractéristiques énumérées ci-dessous :

- Module de Young  $E = 25\,000\text{ Mpa}$
- Coefficient de Poisson  $\nu = 0.23$
- Paramètres de la loi de Lemaitre :
  - $\alpha = 0.270$
  - $\beta = 2.296$
  - $k = 0.266$
  - Masse volumique  $2\,160\text{ kg/m}^3$



### 5.3.2 - Comportement du stockage à long terme dans le cas où celui-ci reste sec – Vitesse de convergence (Modélisation de l'ENSMP)

Figures de 102 à 118	Document n°04.069/ 53	Dans le texte
----------------------	-----------------------	---------------

Le stockage a été réalisé selon la géométrie suivante :

Piliers de section horizontale carrée séparés par des galeries identiques dans les deux directions :

- hauteur piliers 2,80 = H,
- section des piliers 20 m x 20 m = S,
- largeur des galeries 5,50 m = L

Le comportement à long terme du stockage au vu de cette géométrie a été modélisé par l'ENSMP par la méthode des éléments finis à l'aide du code VIPLEF mis au point au C.G.E.S.

Le calcul à d'abord été mené pour :

- H = 2,30,
- S = 20 x 20,
- L = 5,30.

Puis il a été recalé pour la géométrie effectivement adaptée soit :

- H = 2,80,
- S = 20 x 20,
- L = 5,50.

Seulement ce dernier cas sera repris dans ce rapport.

#### 5.3.2.1. Principe de modélisation

L'étude a été réalisée par la méthode des éléments finis en élasto-viscoplasticité.

En ce qui concerne la modélisation on a, dans tous les cas étudiés, schématisé la situation réelle par un modèle cylindrique admettant un axe de symétrie de révolution vertical coïncidant avec l'axe d'un pilier. Dans le toit et dans le mur, le modèle est limité latéralement par un cylindre tangent au plan vertical médian des galeries entourant le pilier et, pour rendre compte du caractère répétitif du schéma pilier galeries, on impose au déplacement des points de ce cylindre d'être uniquement vertical. Au niveau des galeries le modèle est limité par le cylindre inscrit dans le pilier.

Dans chacun des cas étudiés le modèle a été limité par deux plans horizontaux situés respectivement aux profondeurs - 527 m et - 569.30 m soit à 20 m au-dessus du toit des galeries et à 20 m au-dessous du mur de ces mêmes galeries. Sur la limite inférieure on a admis que la composante verticale du déplacement était nulle et sur la limite supérieure on a considéré que la pression demeurait constante. Cette condition se justifie par le fait que cette limite est le mur de la couche inférieure de potasse qui, sur la plus grande partie de la superficie concernée par le stockage, a été exploitée par foudroyage.

Dans tous les cas étudiés on considère également que le champ de contraintes initiales est isotrope correspondant, conformément à la stratigraphie relevée dans le puits Joseph, à 320 m de terrains non salifères de masse volumique 2500 kg/m<sup>3</sup> et à (Z-320)m de terrains salifères de masse volumique 2 160 kg/m<sup>3</sup>.

**Remarque** : pour Z = 550 m le calcul conduit à  $\sigma = 320 \times 0.025 + 230 \times 0.0216 = 12.968$  MPa, ce qui coïncide à peu de chose près avec la valeur couramment admise dans le gisement alsacien  $\sigma = 0.0235 Z = 72.925$  MPa (cf BRENIAX, BONTE et RENIE, Mesure de contraintes in situ aux Mines de Potasse d'Alsace, revue de l'Industrie Minérale Avril 1986).

Le caractère bidimensionnel du modèle exclut que l'on puisse rendre compte rigoureusement du caractère progressif du dégagement des piliers : on aurait pu, comme dans la méthode convergence-confinement utilisée pour le dimensionnement des revêtements de tunnel, introduire une pression de soutènement fictive s'appliquant sur les parois des galeries que l'on aurait réduit progressivement de la pression initiale des terrains jusqu'à 0, en une durée correspondant au temps nécessaire pour que l'influence des fronts d'abattage ne soit plus sensible ; nous n'avons pas retenu ce mode de mise en charge qui comporte une part non négligeable de subjectivité dans l'évaluation de la durée de décharge évoquée ci-dessus et nous avons préféré considérer que la structure est creusée instantanément ce qui offre l'avantage de déterminer une borne supérieure des déplacements que l'on est susceptible d'observer à long terme ainsi qu'un majorant des contraintes qui s'établissent à court terme. Le calcul étant effectué en élastoviscoplasticité, l'évolution des déformations et des contraintes a été étudiée sur une période de 500 000 jours (~ 1 370 années) et on a tenu compte du caractère fini des déformations en réactualisant la forme du maillage toutes les fois que l'incrément de convergence verticale des galeries dépassait 1 cm.

Enfin dans un dernier temps, considérant que l'hypothèse d'homogénéité du massif était loin d'être évidente, nous avons introduit, conformément aux observations que l'on peut faire in situ, deux intercalaires marneux l'un de 7 m de puissance situé entre les profondeurs - 533,50 m et - 540,5 m et l'autre de 11 m de puissance situé entre les cotes -558,30 m et 569,30 m.

A défaut de résultats d'essais mécaniques effectués sur ces matériaux nous avons adopté des paramètres élastiques qui nous ont paru vraisemblables pour ce type de terrains après les avoir vus au cours d'une visite au fond, à savoir :

$$E = 700 \text{ MPa et } \nu = 0.15$$

### 5.3.2.2. Présentation des résultats – $H = 2,80$ , $S = 20 \times 20$ , $L = 5,50$

Pour chacune des situations étudiées, on s'est efforcé de fournir suffisamment de sorties graphiques pour permettre au lecteur d'avoir une vue synthétique des résultats, on trouvera ainsi 17 figures comportant les diagrammes suivants :

- le maillage (fig. 102),
- la déformée des terrains au terme de la période étudiée ( $T=500\ 000$  jours soit 1 370 ans) (fig. 103),
- la convergence horizontale et verticale des galeries en fonction du temps (fig. 104),
- la subsidence des terrains en fonction du temps (fig. 105),
- l'évolution en fonction du temps des contraintes verticale et horizontale s'exerçant au centre des faces des piliers entre 0 et 100 jours (fig. 106),
- même diagramme entre 0 et 1 000 jours (2,7 ans) (fig. 107),
- même diagramme entre 0 et 10 000 jours (27 ans) (fig. 108),
- même diagramme entre 0 et 100 000 jours (275 ans) (fig. 109),
- même diagramme entre 0 et 500 000 jours (1 370 ans) (fig. 110),
- la répartition des contraintes s'exerçant dans le plan horizontal médian des piliers en fonction de la distance à l'axe à l'instant initial ( $T=0$ ) (fig. 111),
- même diagramme à la date  $T = 1$  jour (fig. 112),
- même diagramme à la date  $T = 10$  jours (fig. 113),
- même diagramme à la date  $T = 100$  jours (fig. 114),
- même diagramme à la date  $T = 1\ 000$  jours (fig. 115),
- même diagramme à la date  $T = 10\ 000$  jours (fig. 116),
- même diagramme à la date  $T = 100\ 000$  jours (fig. 117),
- même diagramme à la date  $T = 500\ 000$  jours (fig. 118).

nous avons également représenté l'évolution du déviateur des contraintes au centre des piliers pendant toute la période étudiée.

- Evaluation des risques de dommage à court terme

Il s'agit ici de considérer les répartitions de contraintes qui s'établissent dans les piliers aussitôt après leur dégagement afin de déterminer dans quelle mesure une fracturation qui compromettrait la stabilité des ouvrages est susceptible de se développer.

On a souligné plus haut le caractère fictif du processus de mise en charge de notre modèle qui suppose un creusement instantané de l'ensemble des piliers : de ce fait les résultats élastiques que l'on obtient à l'instant  $T=0$  (figure 111) même s'ils conduisent aux plus fortes contraintes ne doivent pas être pris en considération et nous pensons que les résultats à l'instant 1 jour (figure 112) ou 10 jours (figure 113) (ils diffèrent assez peu) fournissent une bonne évaluation de l'état instantané des sollicitations des piliers. Si l'on retient comme indicateur du risque de rupture la contrainte verticale en parement (risque d'écaillage) et le déviateur des contraintes au centre du pilier (risque de ruine généralisée de l'ouvrage), le tableau ci-après correspondant aux cinq cas étudiés montre clairement que dans tous les cas la stabilité à court terme est parfaitement garantie.

En effet, la contrainte reste inférieure au parement à la moitié de la résistance instantanée en compression et le déviateur au centre reste inférieur au tiers de cette même résistance ce qui exclut tout risque de désordre.

### CONTRAINTES DANS LES PILIERS (T = 1 jour = figure 112)

Cas traité	$\sigma_v$ au parement en MPa	$\sigma_v$ au centre en MPa	$\sigma_H$ au centre en MPa	Déviateur au centre en MPa
P20	13	21.5	14.5	7

- Evolution des structures de stockage au cours du temps

a) Convergence des galeries

On se reportera à la figure 104 qui représente l'évolution de la convergence horizontale ou verticale. On observe qu'à toutes les échelles de temps le phénomène de convergence a une évolution parabolique à vitesse décroissante. Si l'on se rappelle que pour ce calcul l'état initial est celui qui préexiste au creusement des galeries, il est clair que la convergence pratique ou observable s'obtient en retranchant de la convergence calculée, une convergence initiale que, par convention, on identifiera à celle donnée par le calcul à la date  $T=10$  jours.

Les courbes de convergences brutes peuvent être exprimées sous la forme simple :

$$C_b = A t^\alpha$$

Les ajustements réalisés par la méthode des moindres carrés sont remarquablement précis et permettent de retrouver les convergences calculées avec des erreurs absolues de l'ordre du centimètre.

Dans le tableau IV ci-dessous, on donne les valeurs de A et  $\alpha$  permettant de calculer la convergence brute en mm lorsque le temps est exprimé en années.

**TABLEAU IV**

		P20
Convergence A		275.5
verticale	$\alpha$	0.2327
Convergence A		253.4
horizontale	$\alpha$	0.2285

Conformément à la correction que nous avons définie au début de ce paragraphe, (soustraction de la convergence à 10 jours) la convergence observable à une date donnée s'obtient par la formule ci après où t est exprimé en années et C en mm :

$$C = A [t^\alpha - (10/365)^\alpha]$$

Ainsi, en appliquant cette formule, on peut aisément évaluer le délai qui s'écoule avant que la hauteur des galeries soit ramenée à une valeur donnée.

En première approximation on peut considérer que les convergences verticales sont proportionnelles à l'ouverture initiale H des galeries et la formule précédente peut être généralisée sous la forme :

$$C = (A/2300) \times H [t^\alpha - (10/365)^\alpha]$$

avec C et H en mètres et t en années.

On voit que la convergence relative C/H est indépendante de l'ouverture initiale H et que c'est une fonction croissante du temps.

Si on fixe un seuil en terme de hauteur utile  $H_u$ , on peut lui faire correspondre une convergence relative  $C/H = 1 - (H_u/H)$ ,  $H_u$  étant fixé, C/H croît avec H et puisque C/H est une fonction croissante du temps, quand H augmente, le temps nécessaire pour que la galerie subisse la convergence relative C/H augmente également.

Pour rendre compte de façon concrète de la fermeture des galeries en fonction du temps et de leur hauteur initiale, on a construit pour chaque cas étudié un tableau à double entrée où chaque colonne correspond à une hauteur initiale, chaque ligne correspond à une hauteur finale et où, à l'intersection de la ligne et de la colonne, on indique en années le temps nécessaire pour passer de la hauteur initiale à la hauteur finale. Ce temps est calculé à partir de la formule ci-dessous :

$$T(H, H_u) = [ (2\ 300/A)(1 - (H_u/H)) + (10/365)^\alpha ]^{1/\alpha}$$

**Piliers de 20 m x 20 m**  
**Galeries de 5,50 m de large et 2,80 m de hauteur**  
**Temps nécessaire en années pour amener les galeries**  
**à une ouverture donnée**

<i>Hauteur initiale en m</i>	<b>2.80</b>
<i>Hauteur finale en m</i>	
<b>2.20</b>	61.8
<b>2.10</b>	108.1
<b>2.00</b>	177.4
<b>1.90</b>	276.5
<b>1.80</b>	413.4

Il faudra donc quatre siècles avant que la hauteur des galeries soit réduite à 1,80 m.

FIGURE 102

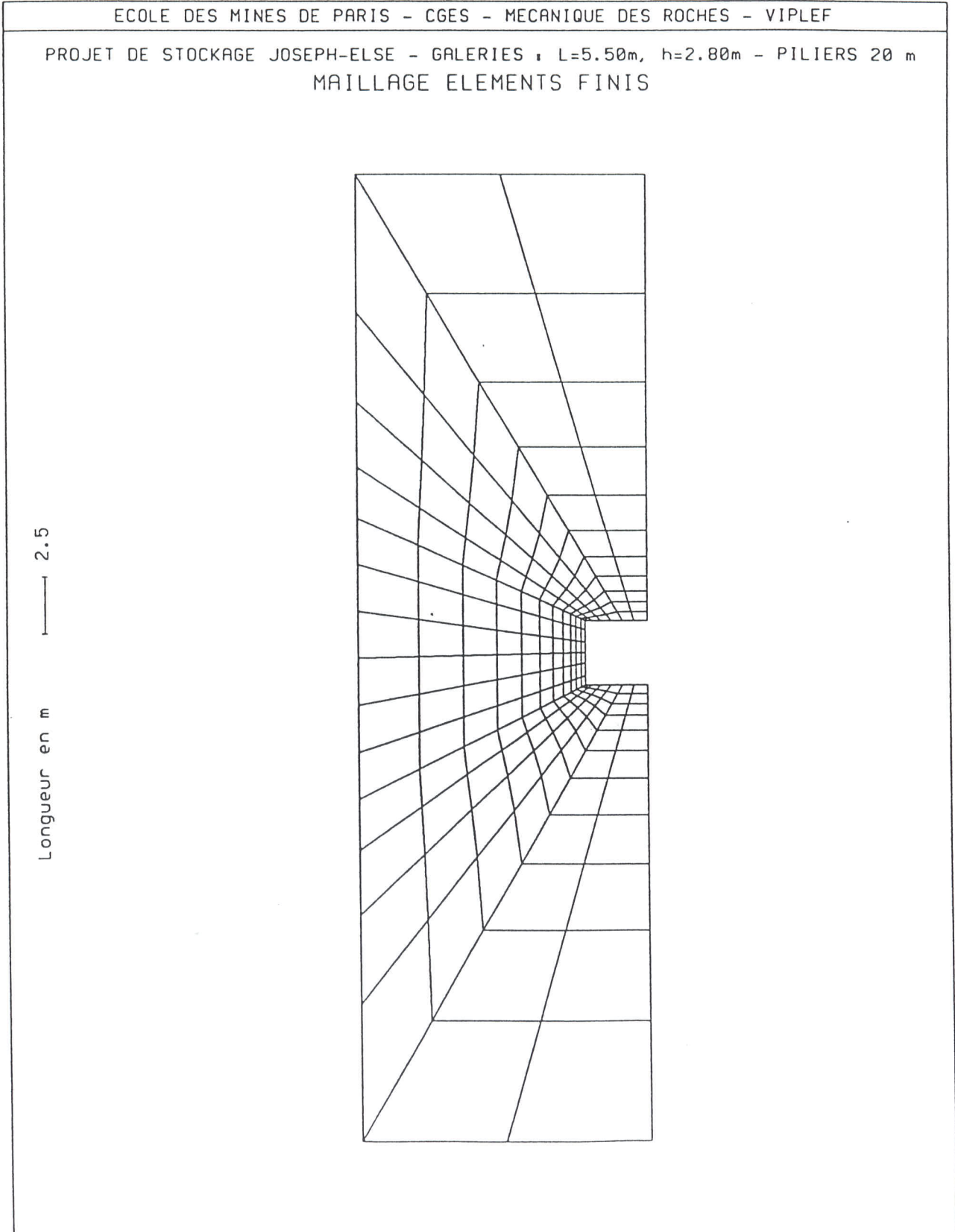


FIGURE 103

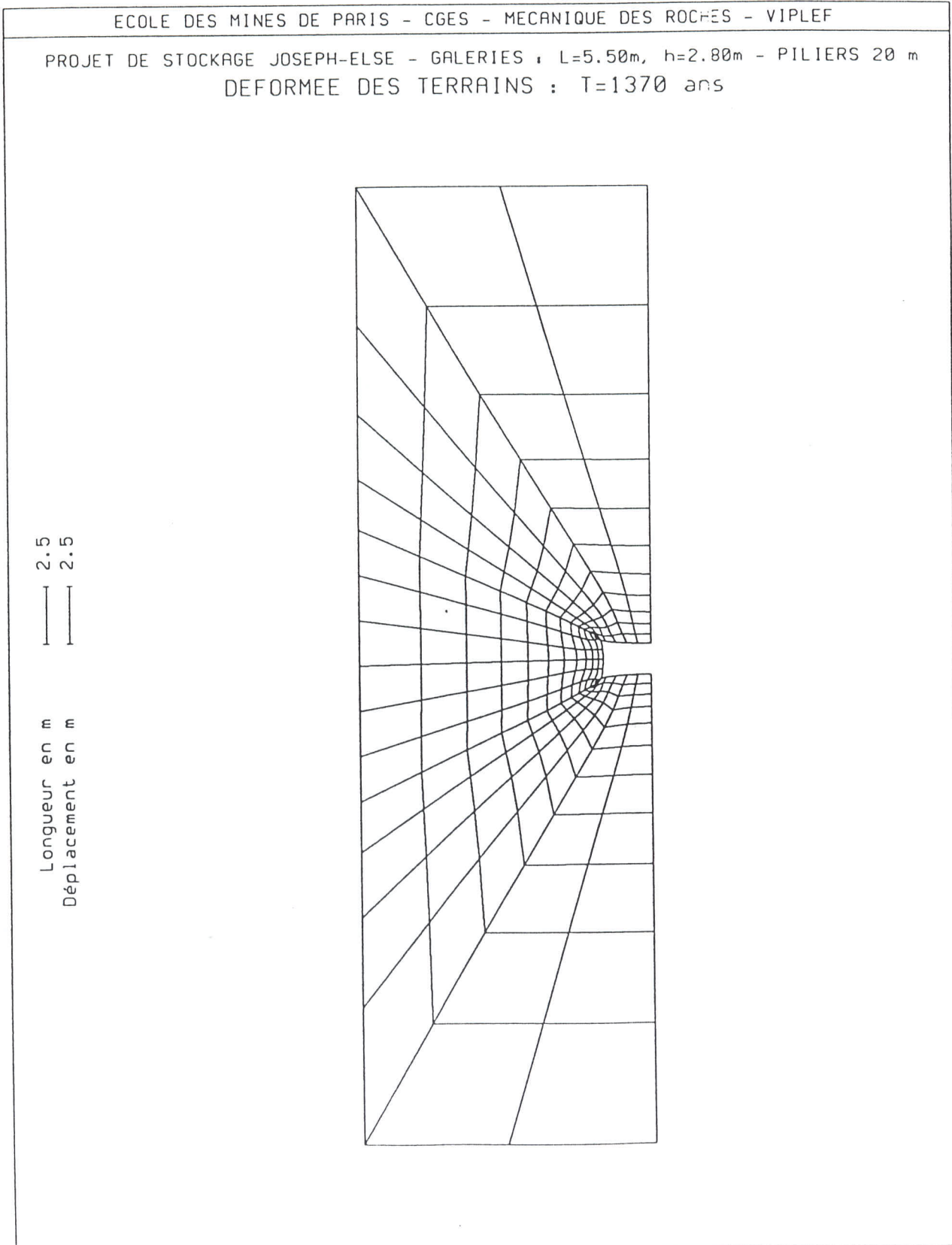




FIGURE 104

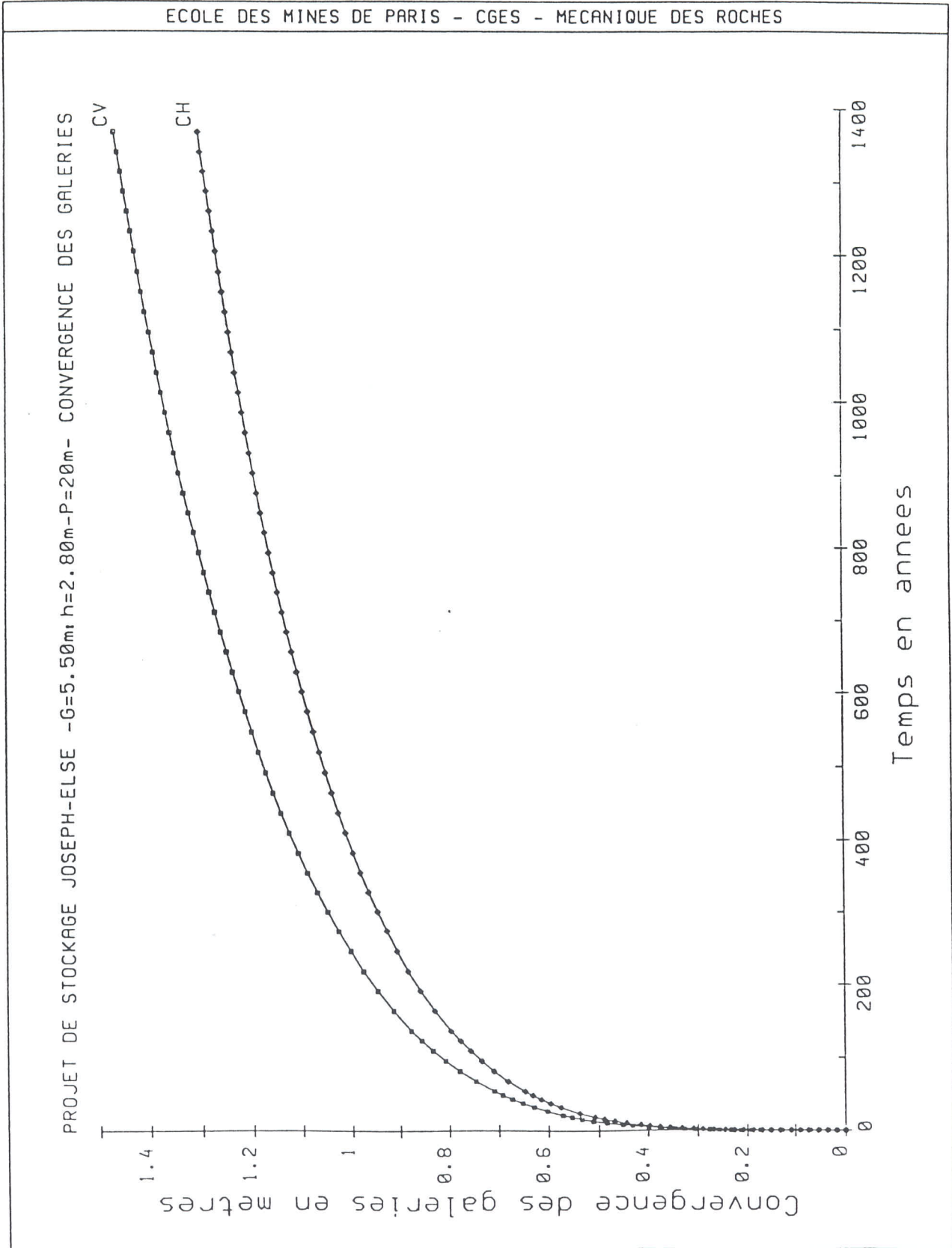


FIGURE 105

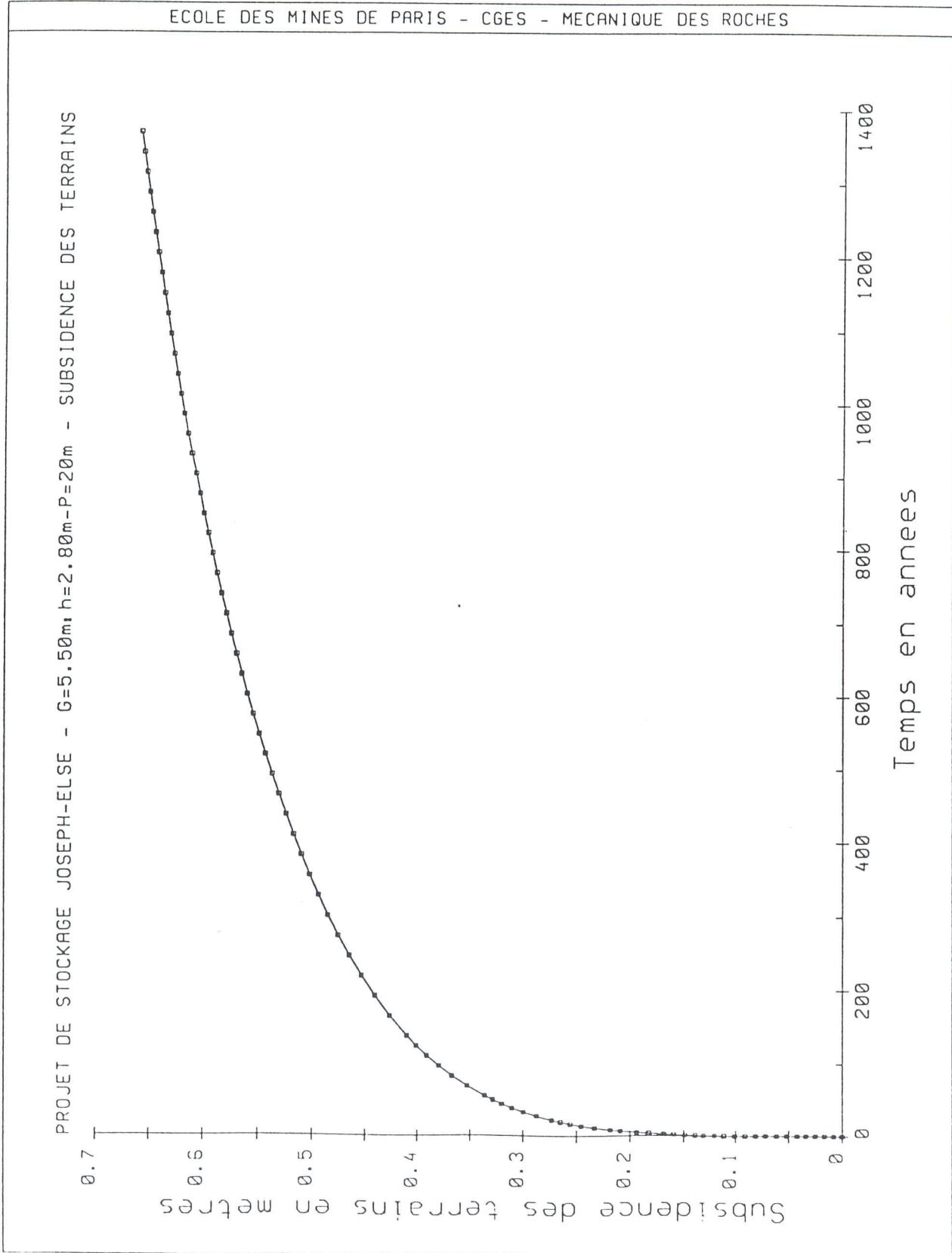


FIGURE 106

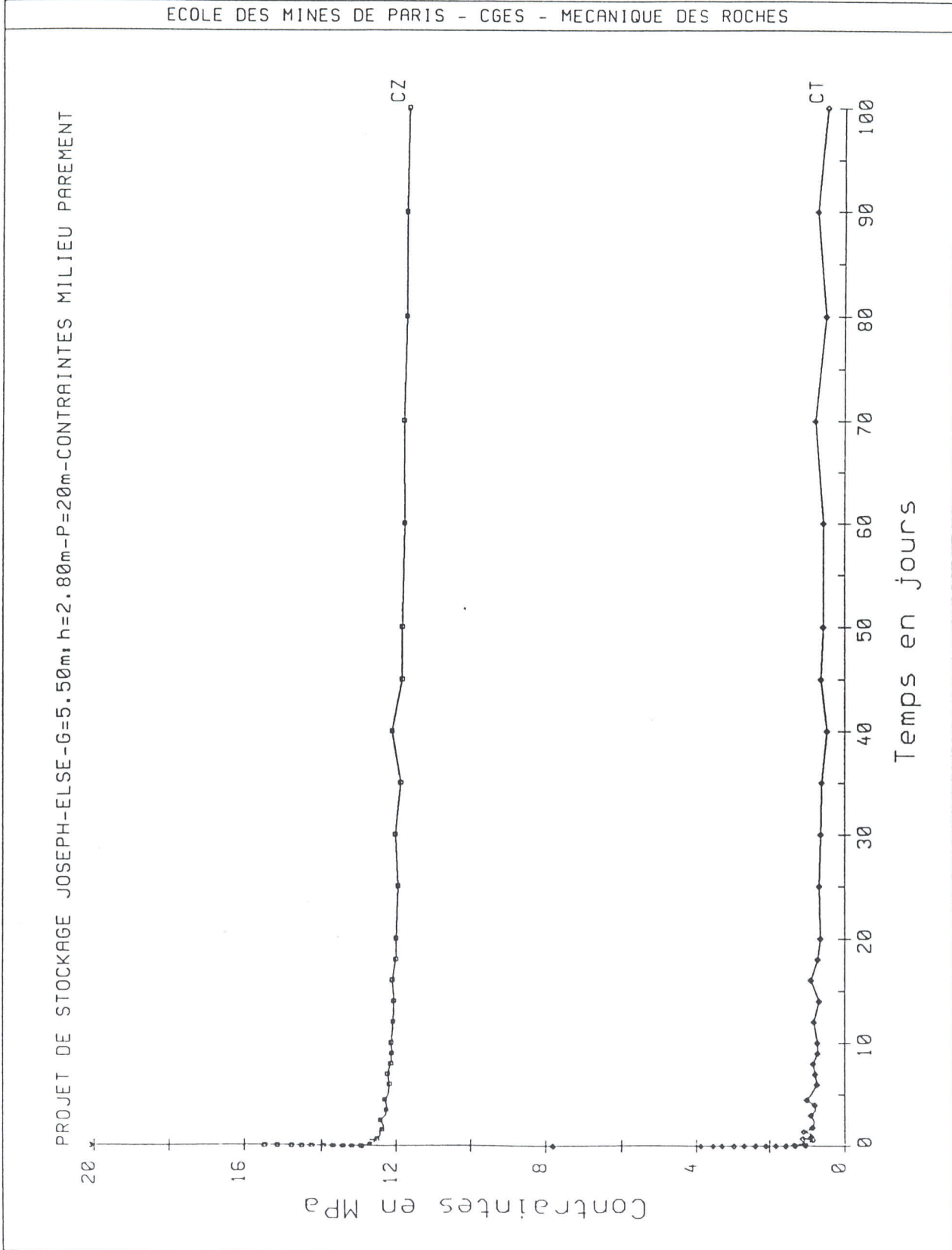


FIGURE 107

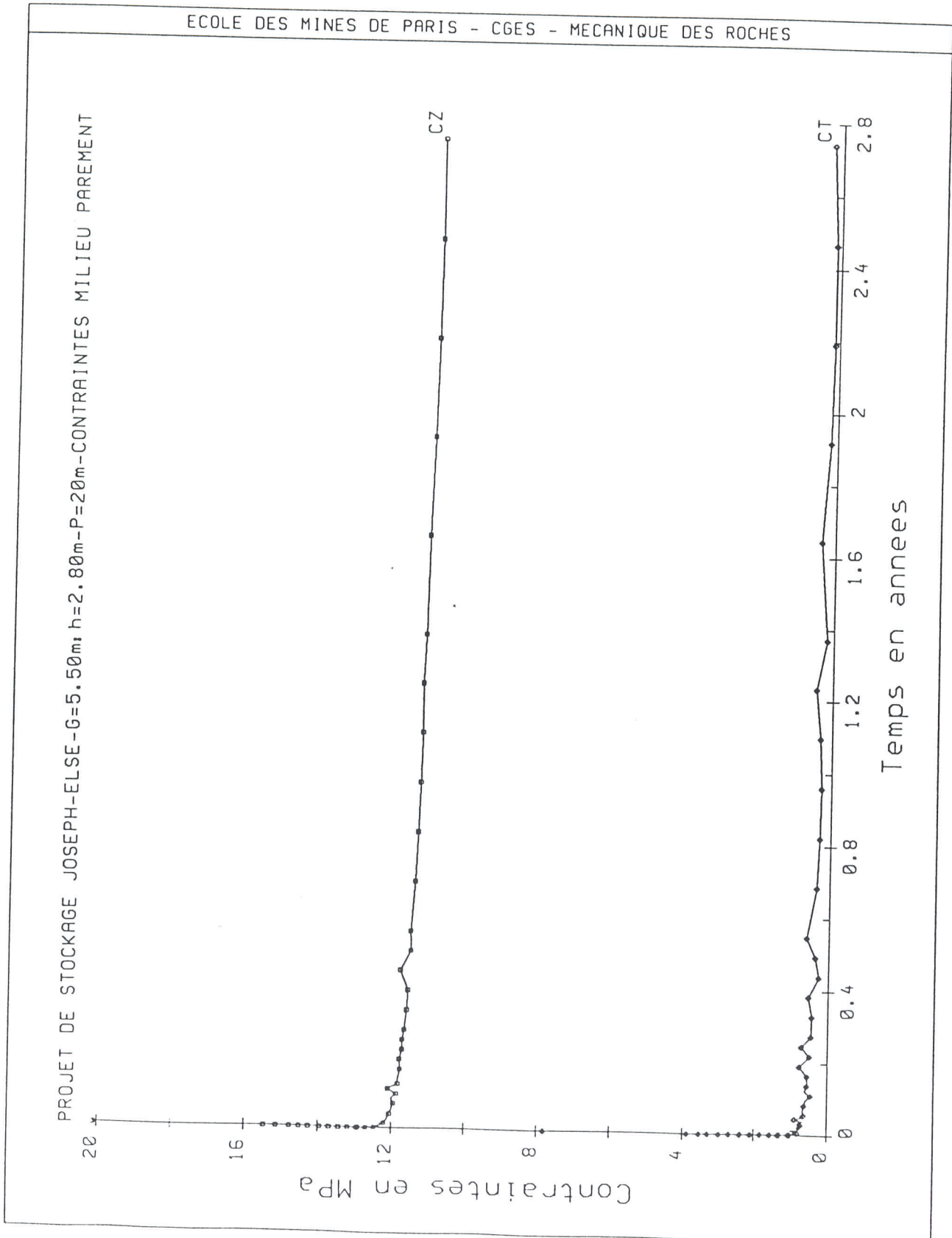


FIGURE 108

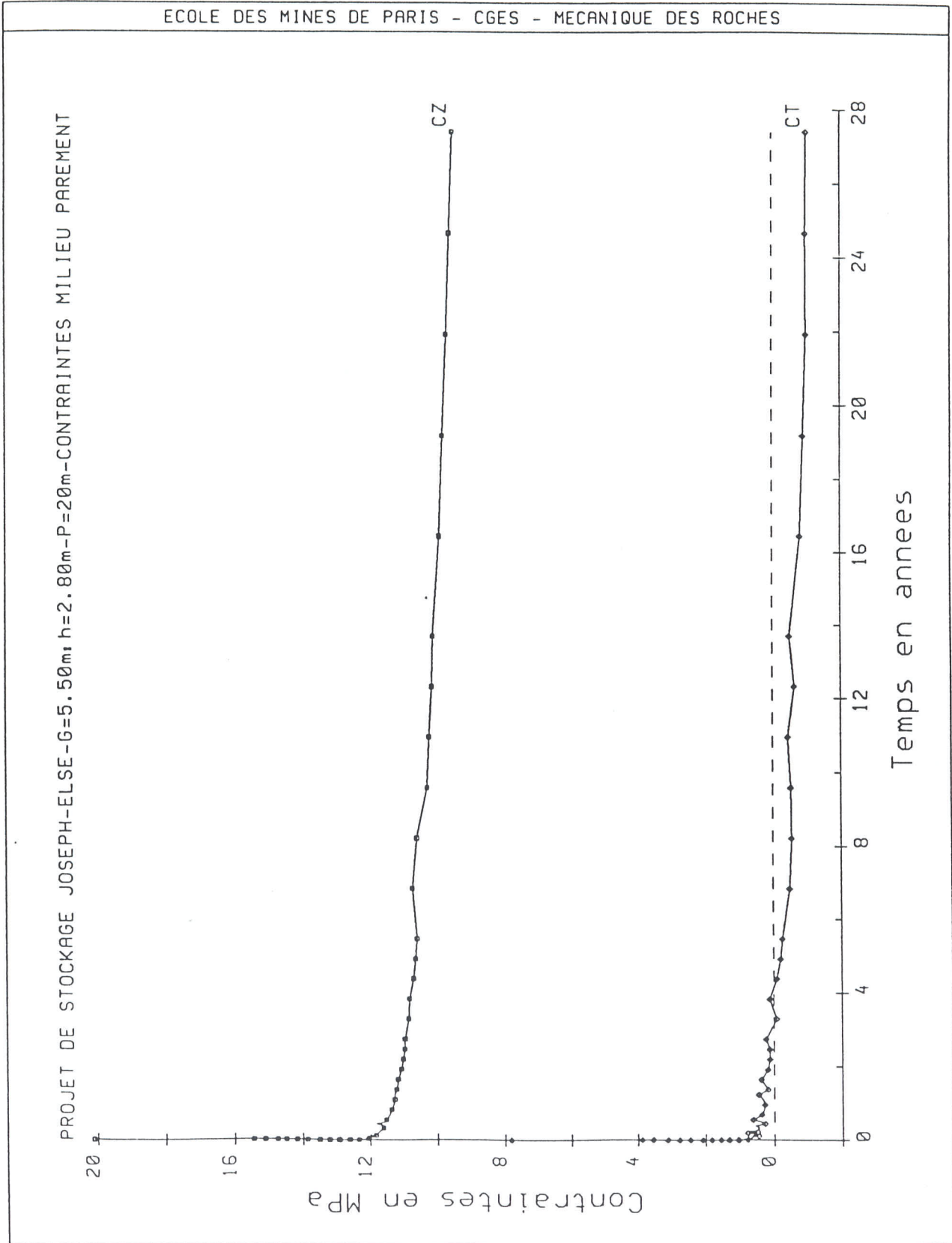


FIGURE 109

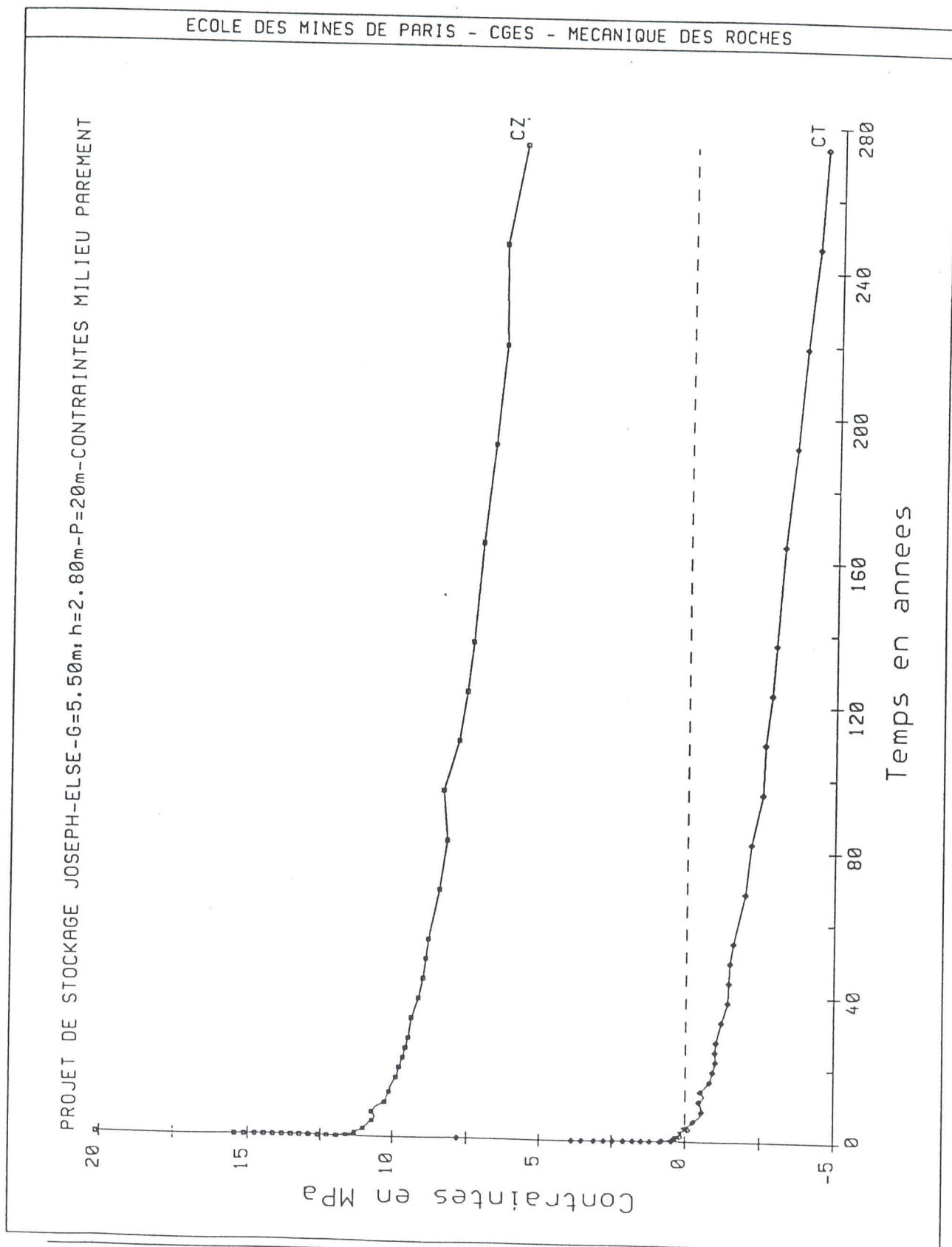


FIGURE 110

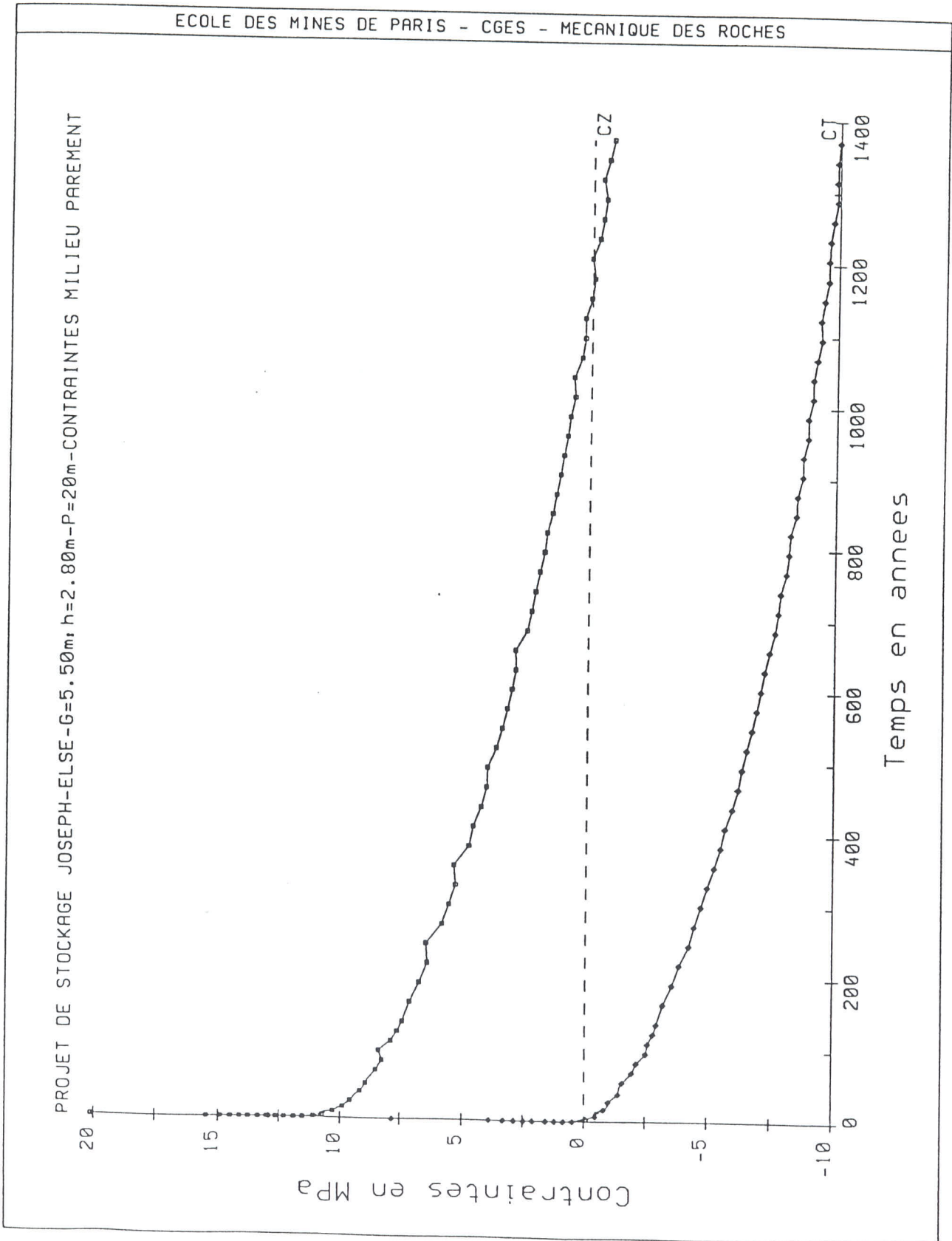


FIGURE 111

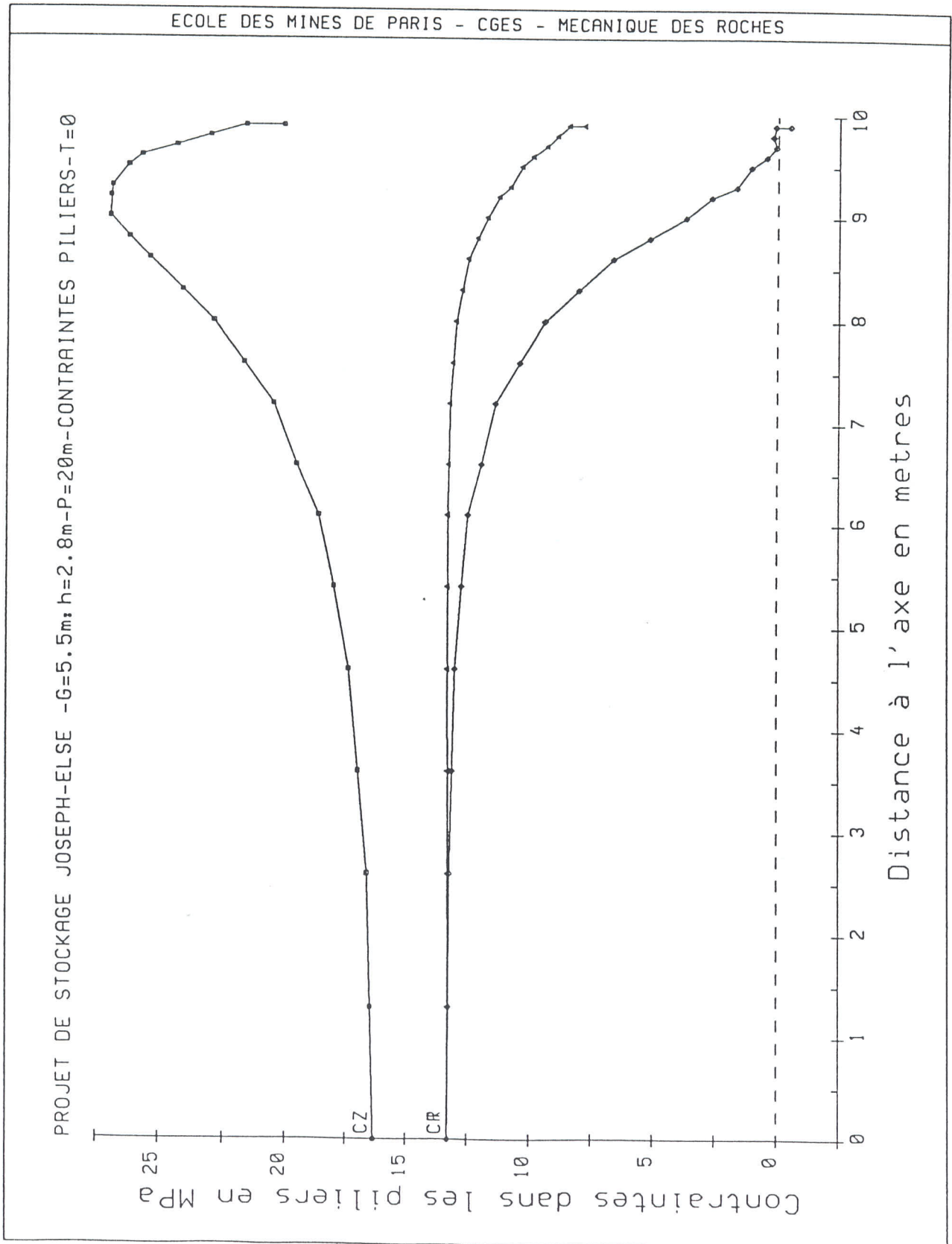




FIGURE 112

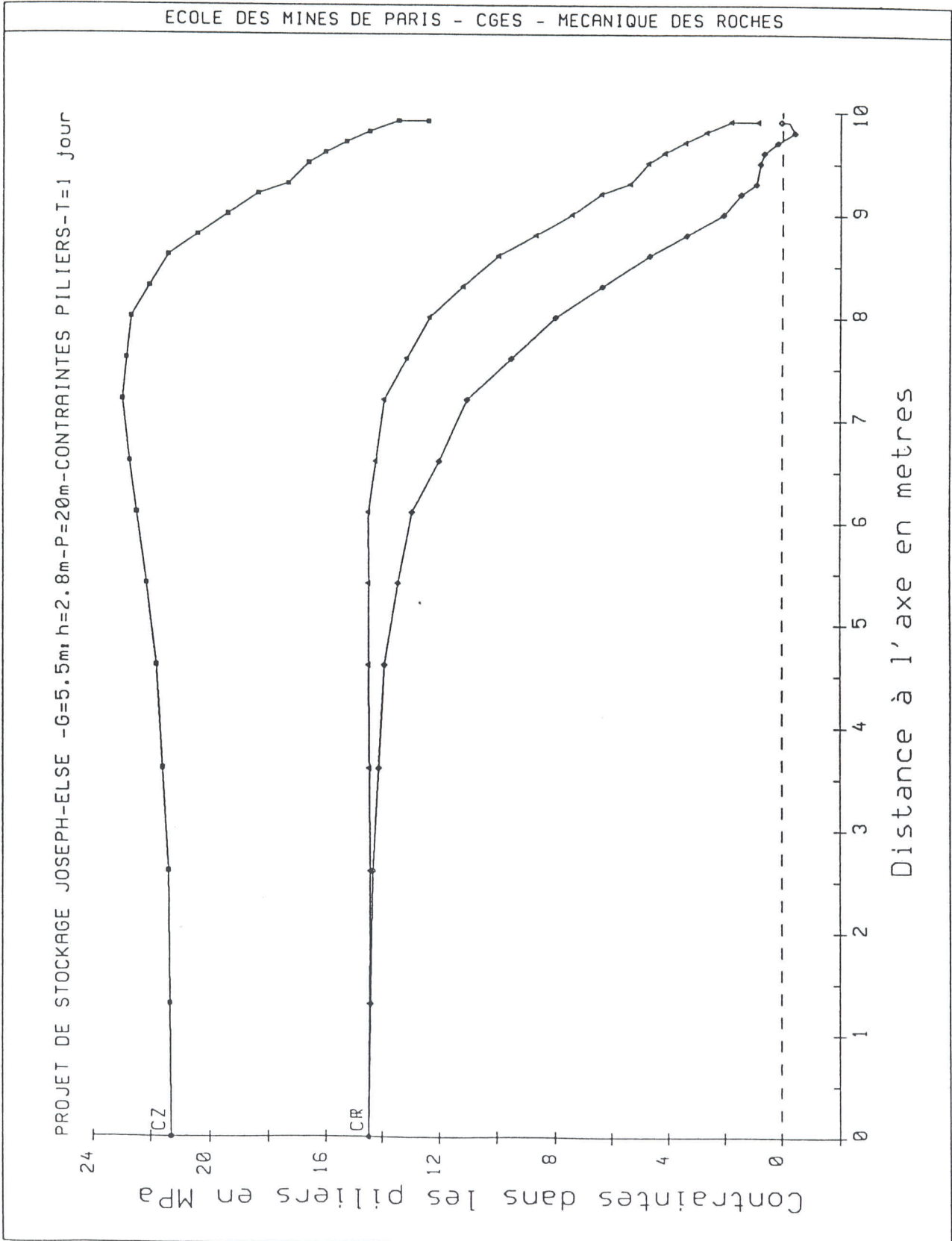


FIGURE 113

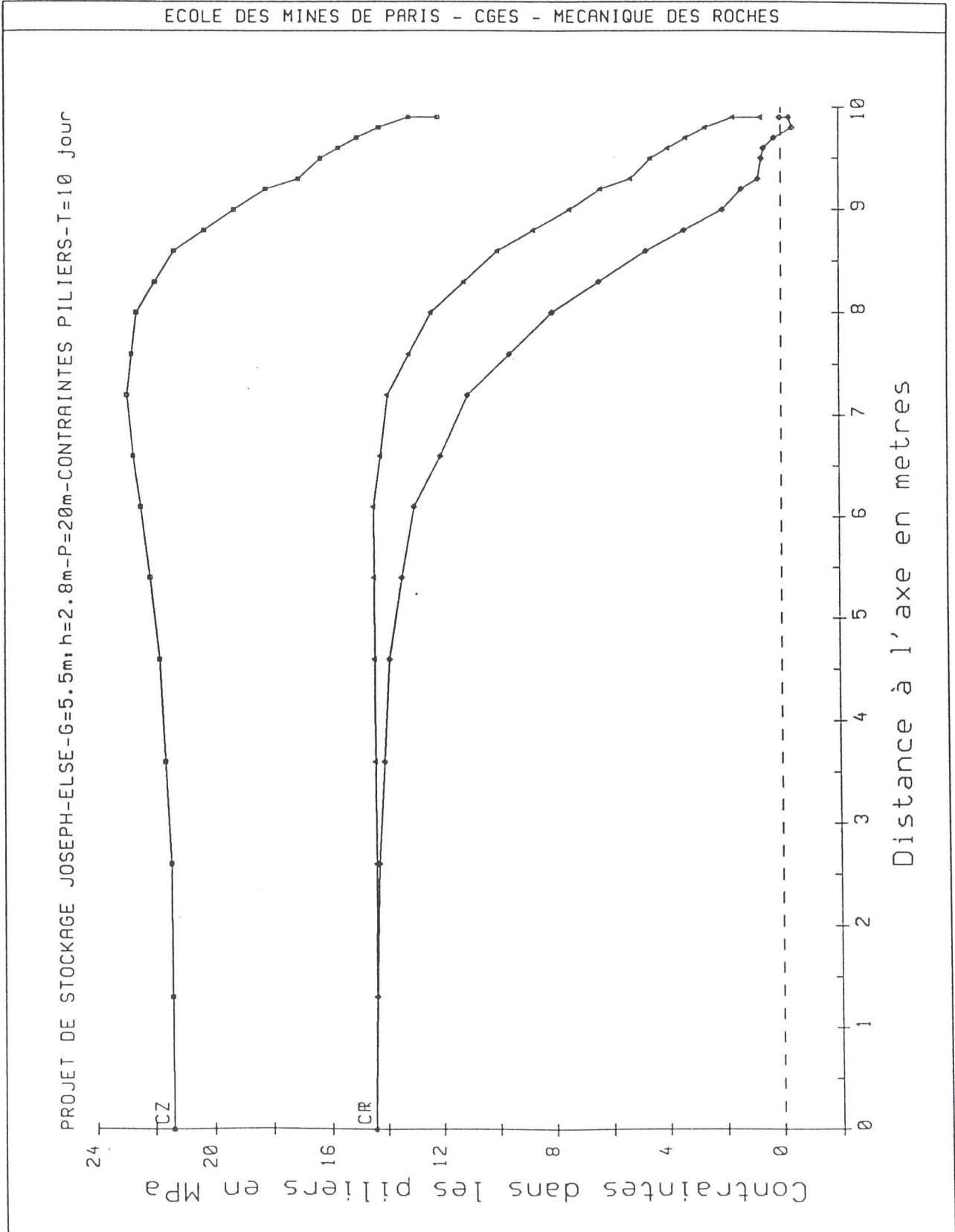


FIGURE 114

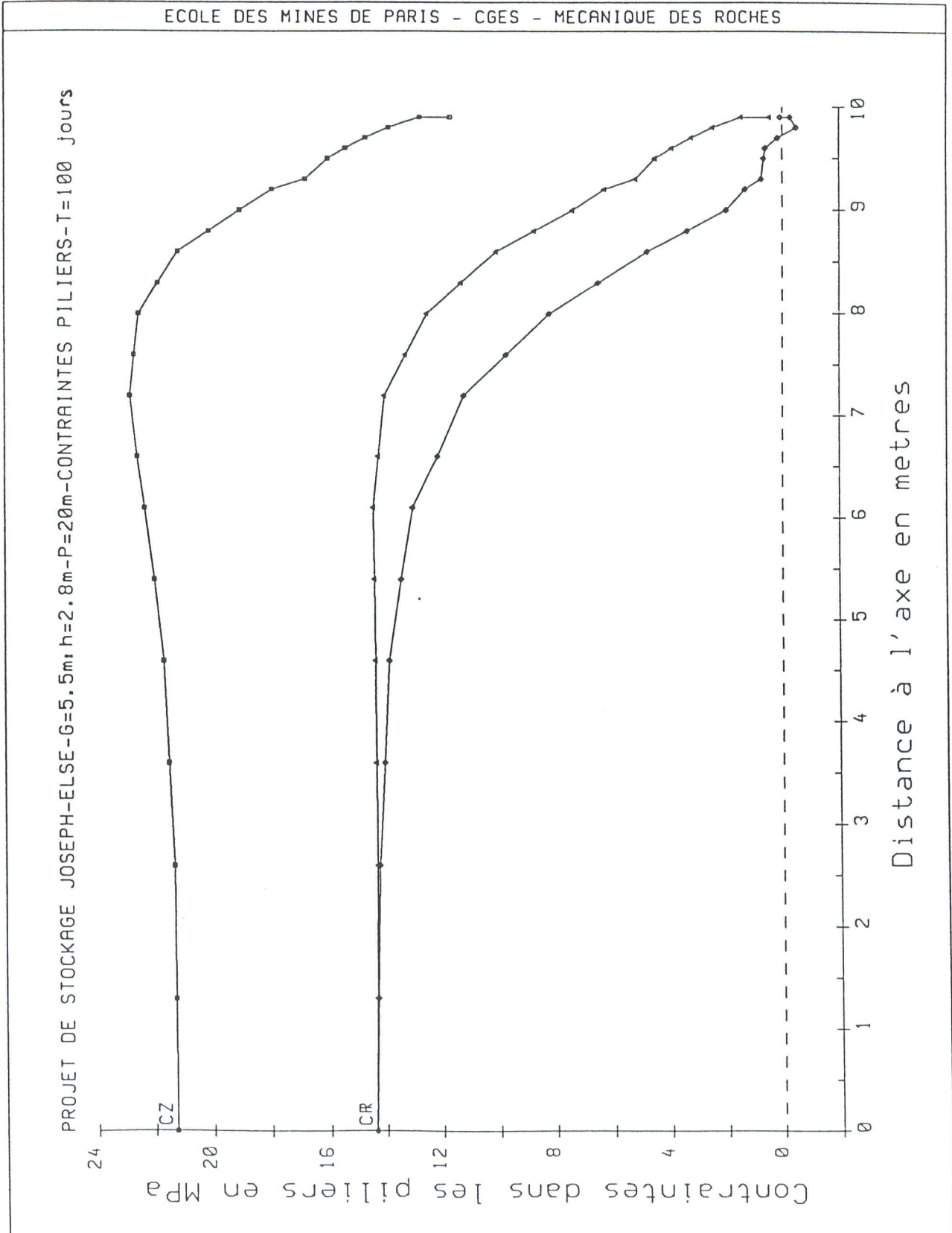


FIGURE 115

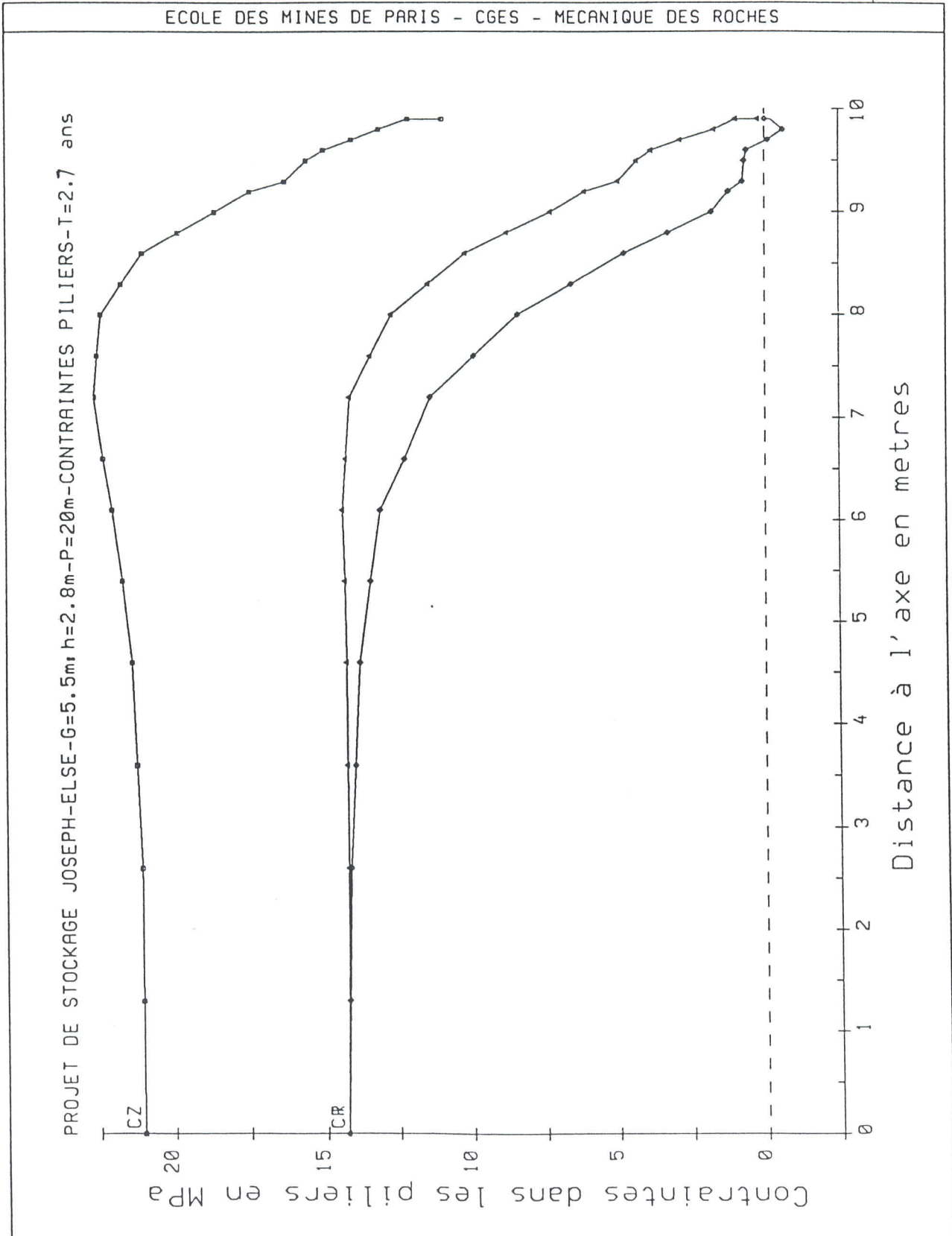


FIGURE 116

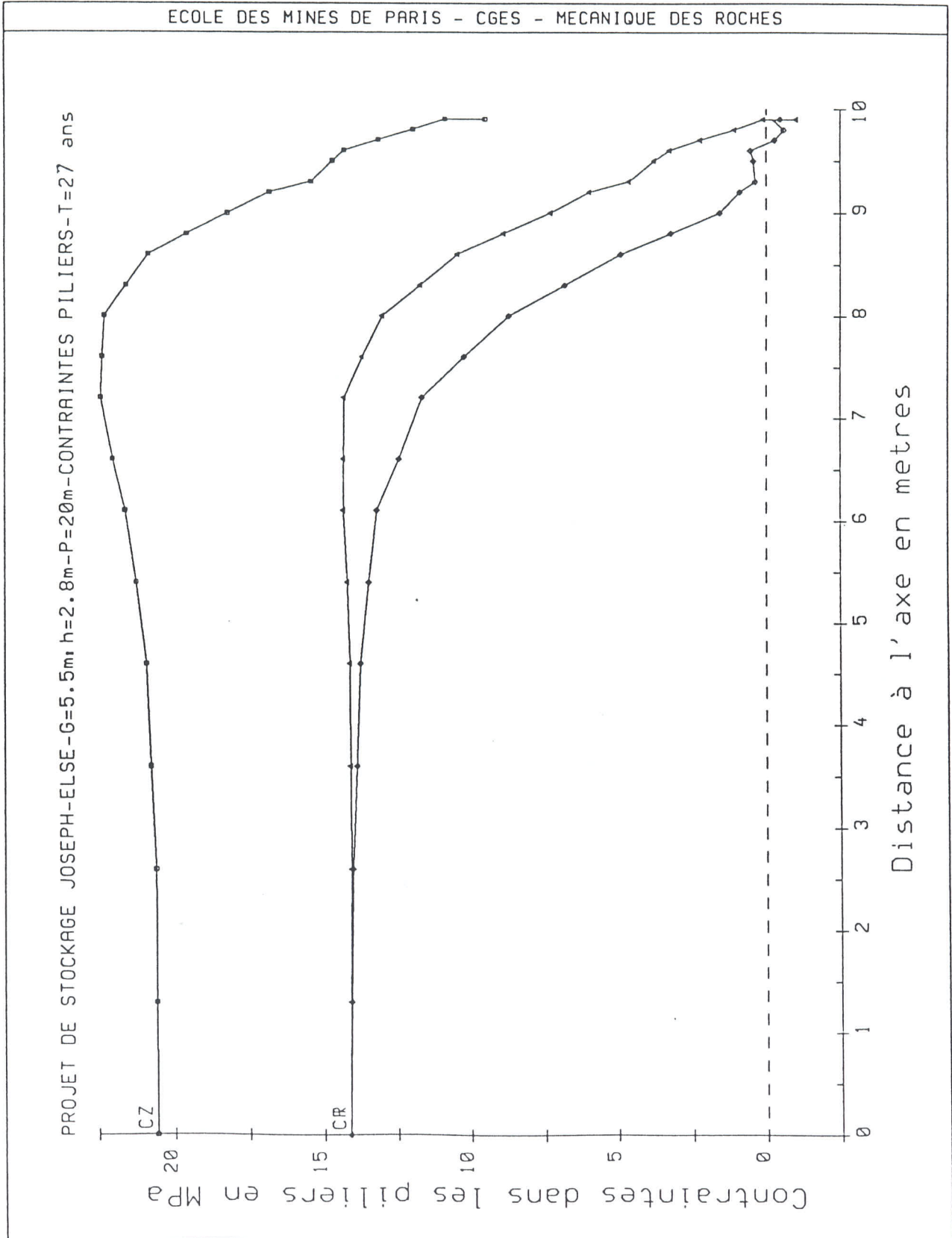


FIGURE 117

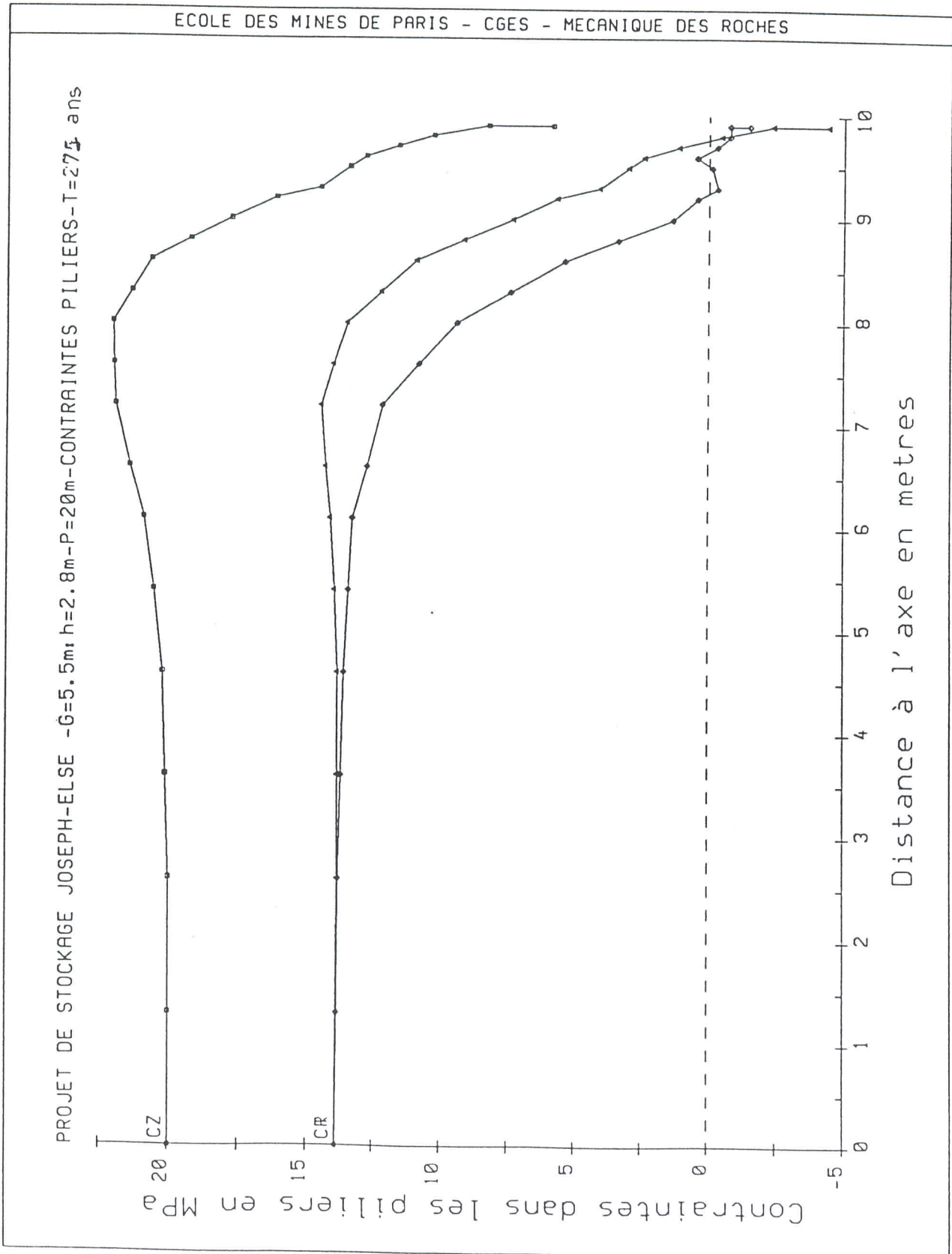
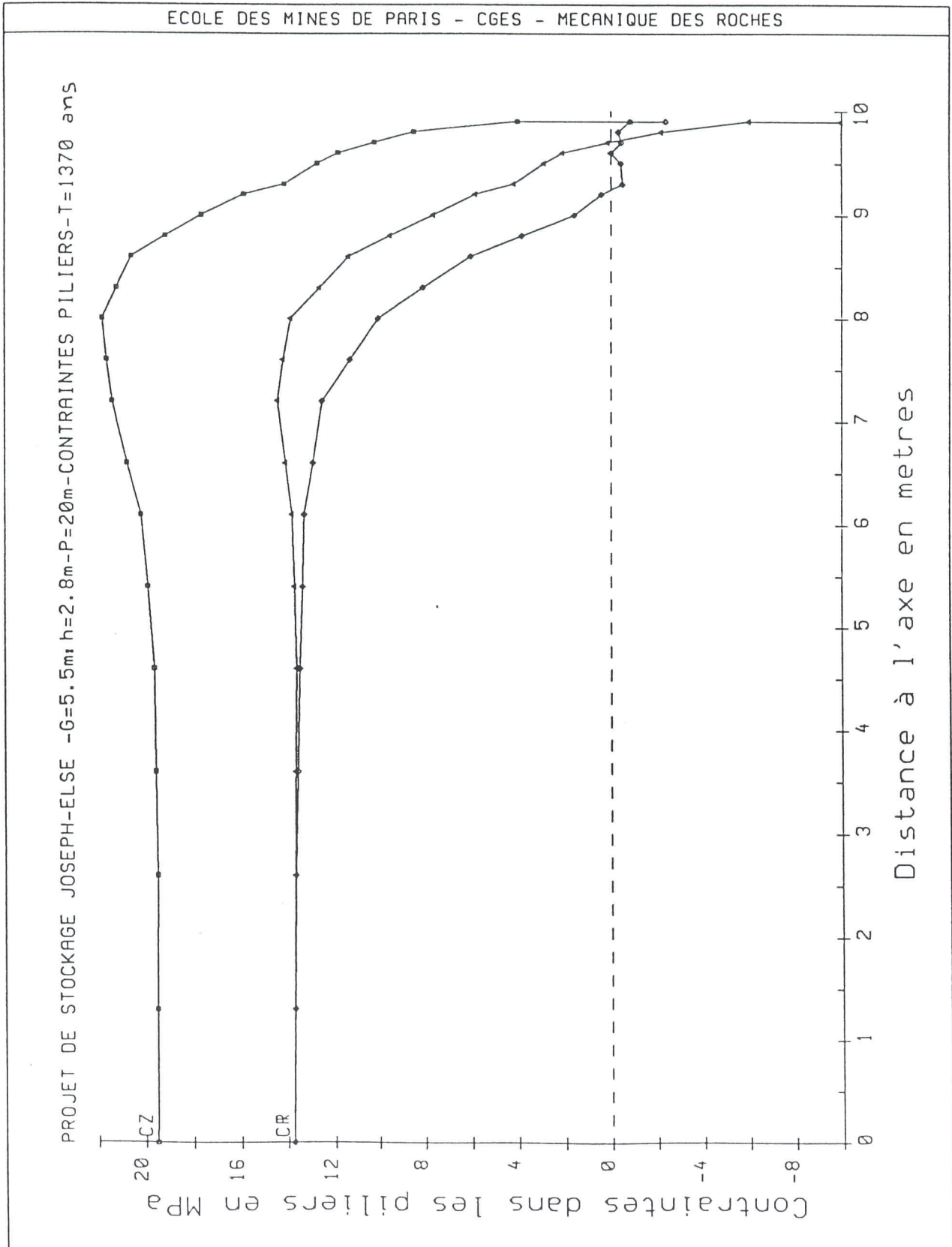


FIGURE 118



### 5.3.2.3. Subsidence des terrains en surface

*La subsidence prévisible est proportionnelle au déviateur de contrainte  $D$  régnant au cœur des piliers soit à  $D^\beta$  (pour le sel de la mine  $\beta = 2.296$ ) ce qui traduit le fait que, passées les premières années, les contraintes ne varient pas sensiblement et que l'on se trouve pratiquement en situation de fluage. Cette proportionnalité est clairement indiquée sur le tableau VI ci-après.*

**TABLEAU VI**

Déviateur au centre du Pilier en Mpa	5.78
(Déviateur) <sup><math>\beta</math></sup>	56
Subsidence en m au bout de 1 000 ans	0.62

*Il est clair que cette subsidence n'est en aucun cas préoccupante dans un site où les exploitations minières par foudroyage conduisent régulièrement à des subsidences de l'ordre de 90 % de la puissance exploitée.*

#### *b) Contraintes dans les piliers*

*L'examen des figures donnant à diverses dates la répartition des efforts dans les piliers montre une lente diminution du déviateur des contraintes régnant dans la partie centrale des piliers.*

*Le point le plus important est surtout que ces déviateurs, à long terme, demeurent relativement faibles (5,78 Mpa), ce qui exclut absolument tout risque de rupture brutale et inopinée. Dans un matériau tel que le sel gemme, on ne peut pas parler de stabilité puisque cette notion qui implique l'absence de tout mouvement et de toute évolution n'est applicable au matériau viscoplastique que lorsque l'état de contrainte est en tous points isotrope. En revanche, le niveau du déviateur des contraintes dans la partie centrale des piliers permet de prédire que la seule "instabilité" que l'on observera sera un tassement lent et continu de l'ensemble de la structure.*

*Il n'est pas impensable cependant que l'on observe à moyen terme un écaillage des parements des galeries consécutif au développement d'efforts de traction s'exerçant horizontalement sur les faces verticales des piliers.*

*L'examen des évolutions au cours du temps des contraintes dans les faces des piliers montre en effet, dans tous les cas, une évolution de la contrainte tangentielle en paroi qui progressivement passe de la compression à la traction.*

*L'examen des répartitions des contraintes montre bien que ce phénomène est superficiel puisqu'à long terme la zone sollicitée en traction n'affecte pas plus de 50 cm d'épaisseur."*



### 5.3.3 - Confrontation de la modélisation de l'ENSMP avec les mesures de convergence réalisées dans le stockage : Conclusion sur la convergence à long terme

Courbe de convergence dans le stockage de l'ENSMP	Document n°04.069/ 54	Dans le texte
---------------------------------------------------	-----------------------	---------------

En considérant la formule de l'ENSMP qui donne la valeur de la convergence C (mm/an) pour toute année t, nous avons :

$$C = At^\alpha - A \left( \frac{10}{365} \right)^\alpha$$

La vitesse de convergence devient alors :

$$V \text{ (mm/an)} = \alpha At^{d-1}$$

La vitesse de convergence horizontale s'écrit alors :

$$V_H \text{ (mm/an)} = 57,90 \times t^{-0,7715}$$

La tableau suivant donne la vitesse de rétrécissement des galeries en fonction de l'âge du creusement établie à l'aide de la formule, et réellement mesuré sur le terrain.

**TABLEAU DES VITESSES DE CONVERGENCE HORIZONTALE  
DES GALERIES THEORIQUES/MESUREES**

Temps (année)	Vitesse de convergence horizontale théorique mm/an	Vitesse de convergence horizontale théorique mm/mois	Vitesse de rétrécissement théorique des galeries mm/mois	Vitesse de rétrécissement mesurée des galeries mm/mois	Lieu Voir plan des iso-vitesses de convergence horizontale
1	57.9	4.8	9.7		
1,5	42.3	3.5	7.1	5<V<8	Bloc 15 Bloc 25 Creusement juin 2002
2	33.9	2.8	5.7		
3	24.8	2.1	4.1	3.5<V<4.5	Bloc 14 Creusement février 2001 Bloc 24 Creusement octobre 2000
4	19.9	1.7	3.3	3<V<3.5	Bloc 13 Bloc 23 Creusement janvier 2000
5	16.7	1.4	2.8		
6	14.5	1.2	2.4	1.5<V<3.5	Bloc 12 Bloc 11 Bloc 21 Bloc 22 Creusement janvier 1998
7	12.9	1.1	2.2		

Le tableau montre qu'il y a concordance parfaite entre la formule établie par l'ENSMP et les mesures de terrain en ce qui concerne les vitesses de convergence horizontale.

La vitesse de convergence verticale s'écrit :

$$V_z \text{ (mm/an)} = 0.327 \times 275.5 \times t^{0.2327-1}$$

$$\text{soit } V_z \text{ (mm/an)} = 64.108 \times t^{-0.767}$$

**TABLEAU DES VITESSES DE CONVERGENCE VERTICALE  
DES GALERIES THEORIQUES/MESUREES**

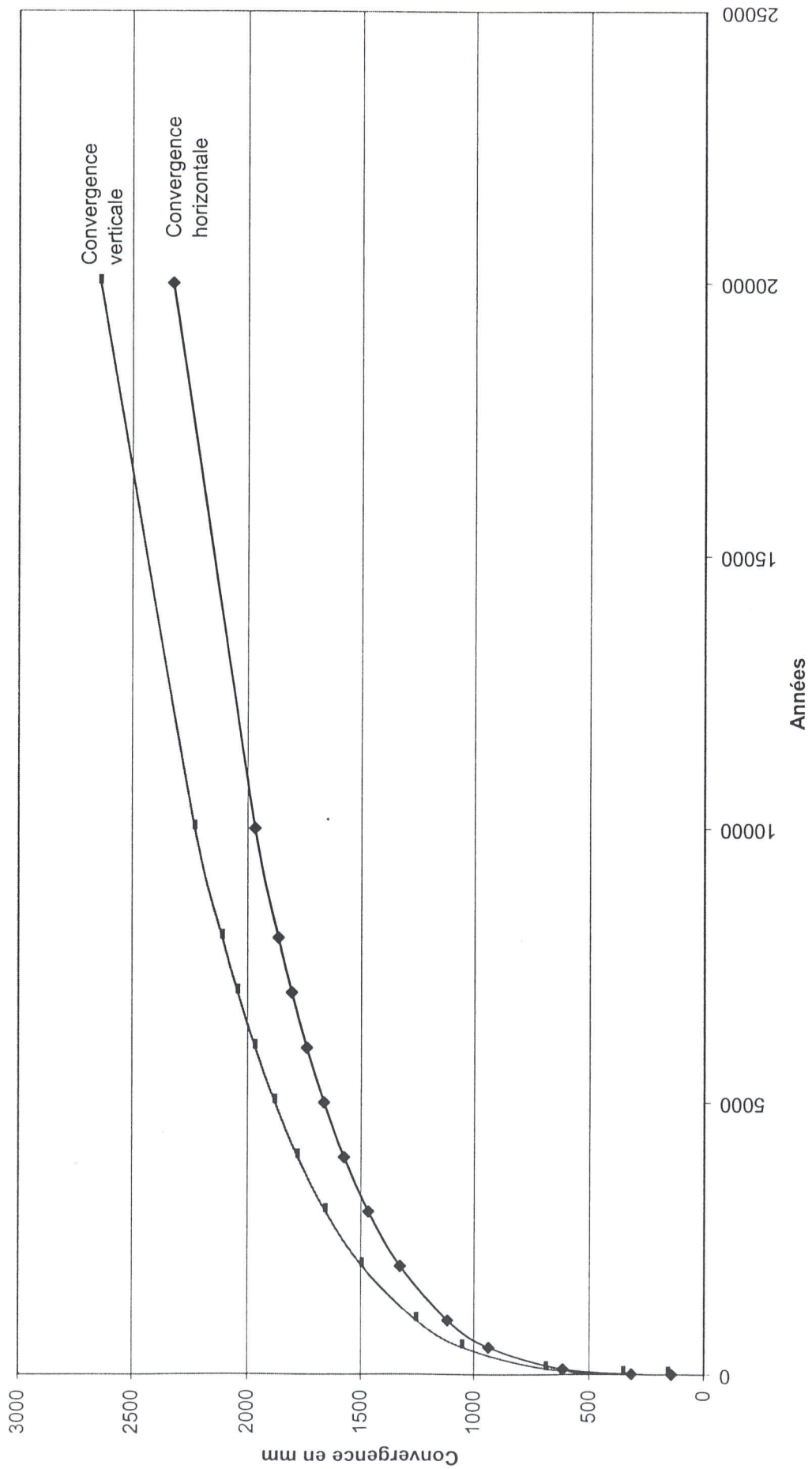
Temps (année)	Vitesse de convergence verticale théorique mm/an	Vitesse de convergence verticale théorique mm/mois	Vitesse de rétrécissement vertical mesurée des galeries mm/mois	Lieu Voir plan des iso-vitesses de convergence horizontale
1	64.1	5.3		
1,5	47	3.9	4<V<5	Bloc 15 Bloc 25 Creusement juin 2002
2	37.7	3.1		
3	27.6	2.3	2.5<V<4	Bloc 14 Creusement février 2001 Bloc 24 Creusement octobre 2000
4	22.1	1.8	2<V<2.5	Bloc 13 Bloc 23 Creusement janvier 2000
5	18.7	1.6		
6	16.2	1.4	0.5<V<2.5	Bloc 12 Bloc 11 Bloc 21 Bloc 22 Creusement janvier 1998
7	14.4	1.2		

La vitesse de rétrécissement mesurée semble légèrement plus élevée que celle obtenue par la formule de l'ENSMP. Ceci peut provenir du fait que l'ENSMP a modélisé la convergence du toit de la galerie.

Elle n'a pas pris en compte le soufflage du mur.

Ainsi la formule de l'ENSMP est légèrement plus sécuritaire en ce qui concerne la convergence verticale des galeries. Il est donc probable que la fermeture par convergence verticale se réalisera plus vite que celle établie par la formule de l'ENSMP. Toutefois, ce sera celle adoptée par mesure de sécurité. Cette courbe est présentée pour une durée de 1 à 20 000 ans. Elle représente la convergence horizontale d'une paroi de galerie de stockage et verticale du toit de la galerie dans le cas où le stockage reste sec.

# Convergence des galeries du stockage en fonction du temps



- Comportement du sel en présence de saumure

Aucun essai géomécanique n'a été réalisé sur le sel de StocaMine en présence de saumure. Toutefois, dans le cadre d'autres mines de sel, il a été établi des effets physico-chimiques de la saumure sur le sel lorsqu'un pilier est mis en présence de saumure dans le cas d'un ennoyage, il y a augmentation de la vitesse de fluage qui peut être dans certain cas multipliée par 2 ou 3.

Une fois que le stockage sera ennoyé par la saumure, il est donc fort probable qu'il y ait une accélération de la convergence.

#### **5.3.4 - Comportement à long terme d'une voie de desserte au mur**

Convergence des voies de desserte au mur Figures 126 et 131 de l'ENSMP	Document n°04.069/ 55	Dans le texte
---------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

La modélisation du comportement d'un couple de galeries rectangulaires de 5 m de large séparées par un pilier de 4 m a été modélisé par l'ENSMP. Les courbes de convergences horizontales et verticales sont présentées ci-après. Il s'agit de galeries situées dans la zone du stockage.

FIGURE 126

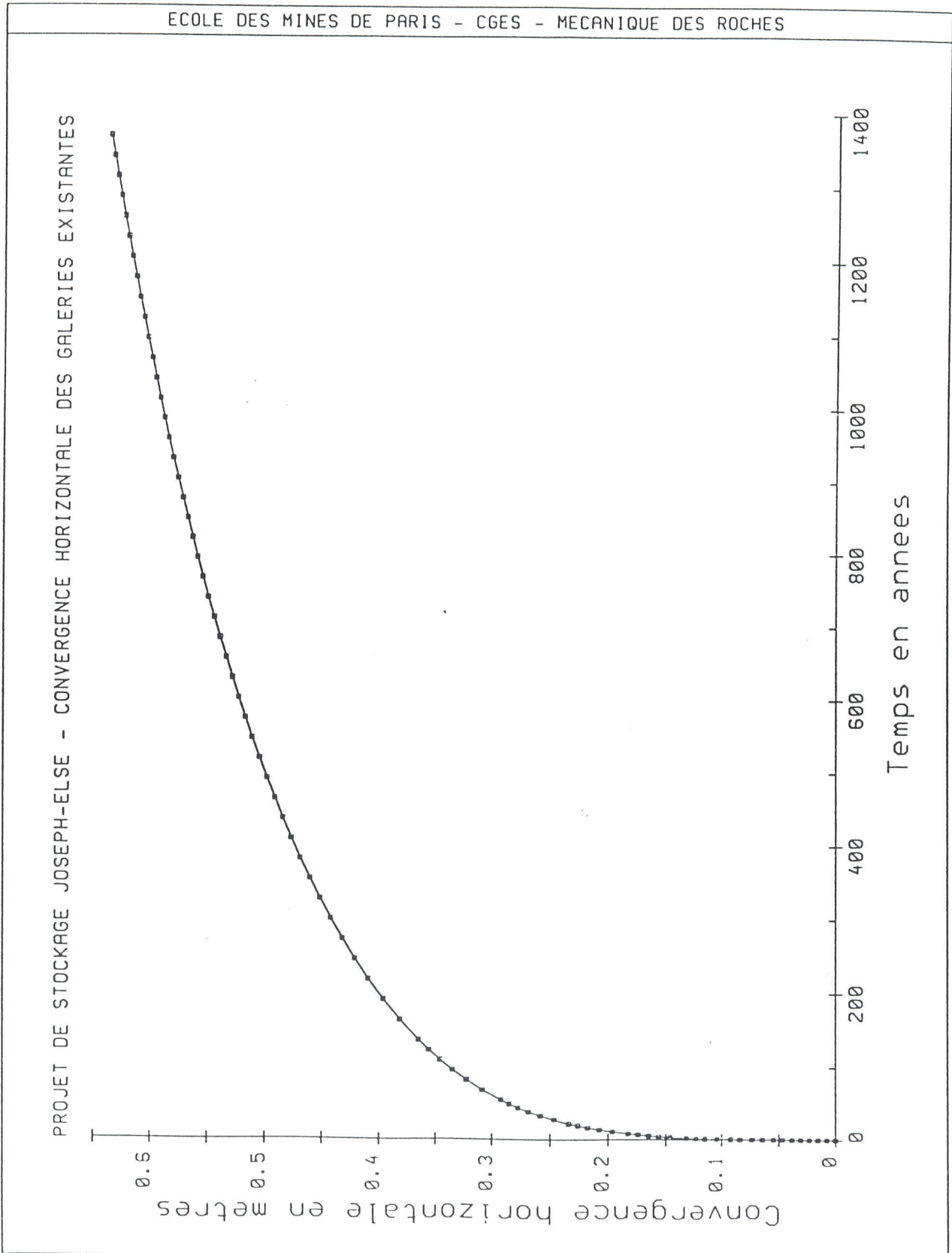
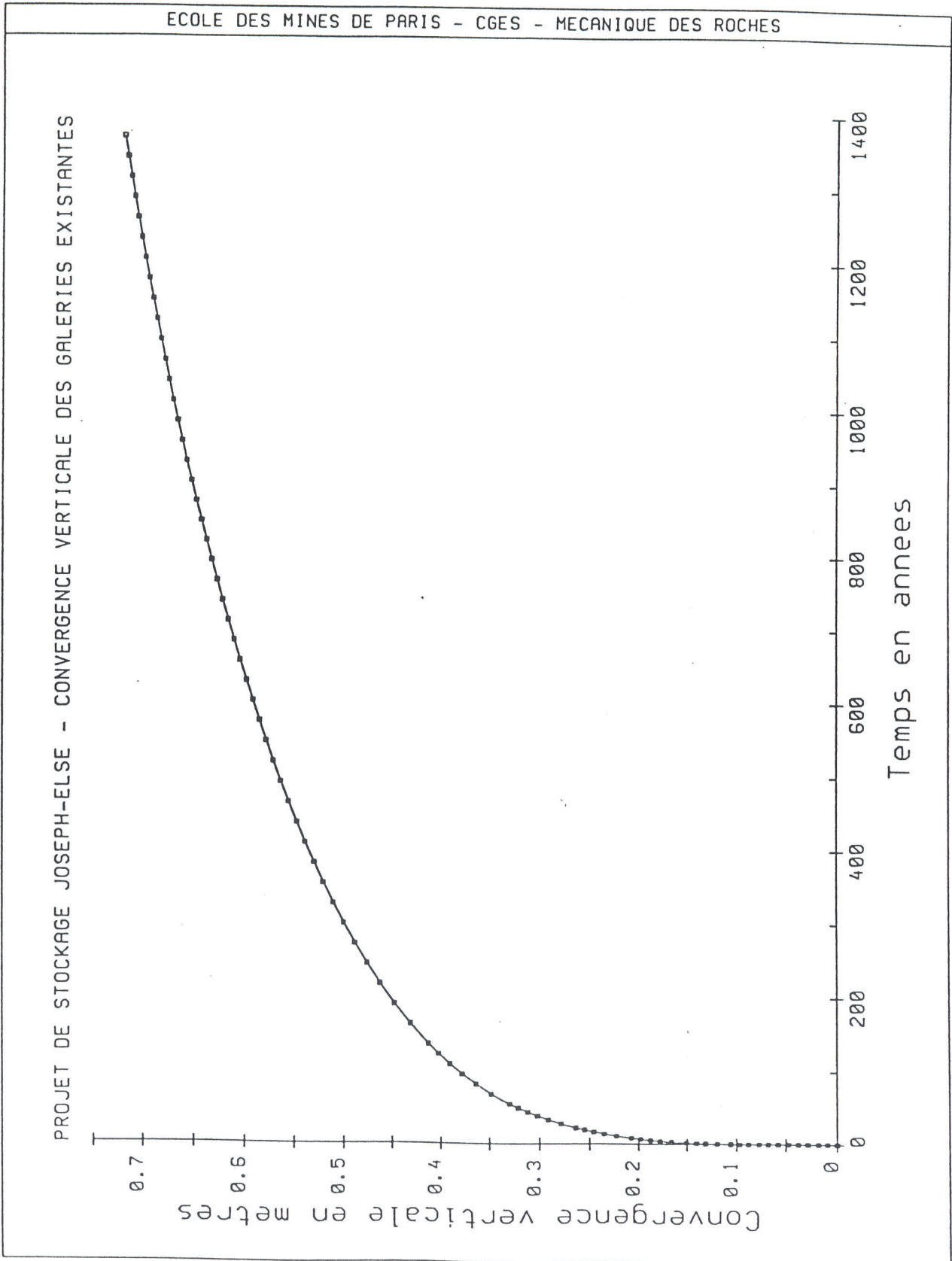


FIGURE 131



### 5.3.5 - Risque de remontées de fissures jusqu'en surface – Explication du cas particulier de l'effondrement des toits dans le Bloc 25

Diagramme des champs de déplacement	Document n°04.069/ 56	Dans le texte
Diagramme déformation du maillage	Document n°04.069/ 57	Dans le texte
Diagramme des remontées de fissures	Document n°04.069/ 58	Dans le texte

Le logiciel de modélisation utilisé est le logiciel PLAXIS, mode de calcul en éléments finis spécialement destiné à l'analyse en 2D des déformations et de la stabilité des ouvrages.

La coupe modélisée a été choisie d'orientation Sud-Est – Nord-Ouest, dans l'axe du stockage et jusqu'à la limite Sud-Est de l'exploitation potassique, qui représente le point haut de l'exploitation.

Dans le modèle a été intégré :

- la topographie de surface,
- le mur des alluvions du quaternaire,
- le toit de la formation salifère,
- le toit et le mur de la couche supérieure de potasse exploitée,
- le toit et le mur de la couche inférieure de potasse exploitée,
- la géométrie du stockage.

Les coupes géologiques des puits montrent qu'à partir du mur du quaternaire jusqu'au toit du sel, les faciès marneux prédominent. Les caractéristiques des marnes sont donc celles qui orientent le comportement mécanique des terrains.

En dessous du toit du sel, apparaît une alternance de bancs de marne et sel. Le comportement mécanique du sel est pris en compte.

Les remontées de fissure s'initient juste au moment du foudroyage des couches de potasse. De ce fait, le caractère viscoplastique du sel est négligé. Les marnes et le sel sont considérés comme un matériau élastoplastique répondant au critère de Coulomb.

Le calcul est réalisé en grande déformations. Chaque étape prend en compte le maillage déformé et l'état de contrainte de l'étape précédente.

Les premières étapes concernent le creusement par tranches de la couche supérieure de potasse, suivi du creusement de la couche inférieure, et enfin le creusement des galeries du stockage.

- **Résultats de la modélisation**

- Diagramme des champs de déplacement

L'exploitation des couches de potasse entraîne l'affaissement soudain du toit et des déplacements vers le haut des murs de couches (soufflage).

Dans la zone où les couches de potasse ne sont pas exploitées, la contrainte verticale engendrée par le poids des terrains susjacentes est directement reportée sur les toits du stockage. Ceci entraîne l'affaissement brutal des toits. Cette concentration de contrainte verticale sur les piliers de cette zone entraîne un champ de déplacement vers le haut du mur du stockage en bordure de cette zone (soufflage).

Cette modélisation rejoint les observations de terrain où des soufflages importants ont été observés dans les quartiers bordant la zone affectée par les effondrements de toit.

Les remontées de fissures ou zones ayant atteint une rupture par traction (notés tension cut-off point = carrés blancs) affectent :

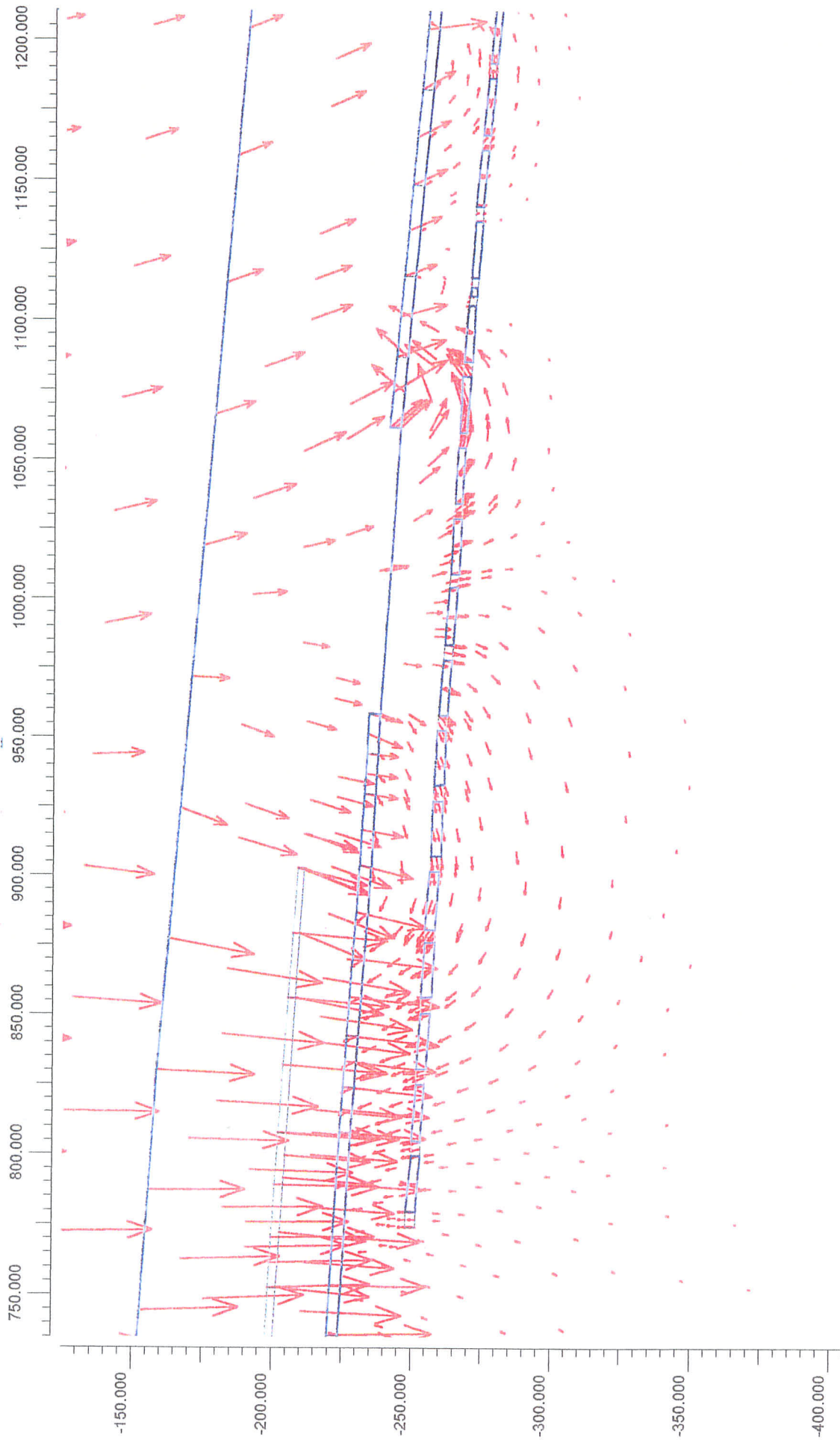
- une bande de terrain de 60 m d'épaisseur au-dessus des couches de potasse dans la zone Sud-Est de l'exploitation.
- une bande de terrain de 200 m au droit du stockage.

Ces fissures ne remontent pas en surface.

Dans les faits, les bancs situés au toit des exploitations se décollent entre eux. Ce décollement s'amortit au fur et à mesure que l'on remonte en surface.

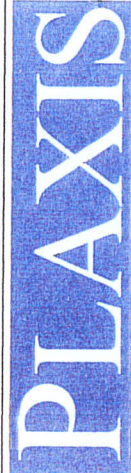
Au-dessus des zones foudroyées, les terrains s'adaptent aux déformations de manière plastique.





Total displacements  
Extreme total displacement 4.88 m

Project description



Document n°04.069/ 56

STOCAMINE

User name

26/04/04

Date

120

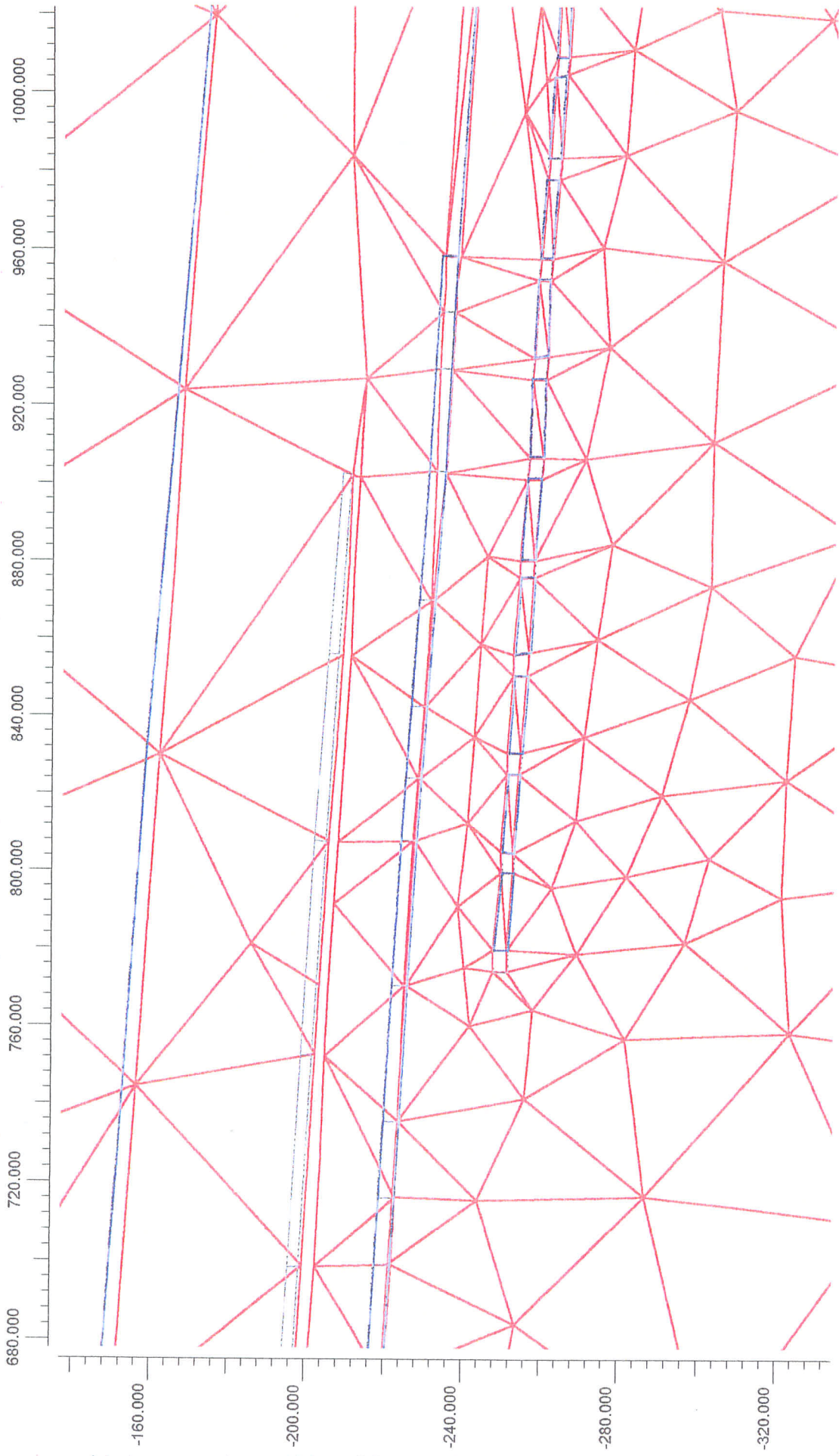
Step

STOCAMINE

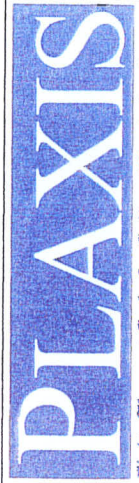
Project name

Mica Environnement

Version 7.2.9.147



Deformed Mesh  
 Extreme total displacement 4.88 m  
 (displacements at true scale)



Version 7.2.9.147

Project description

Document n°04.069/ 57

STOCAMINE

Project name

STOCAMINE

Step

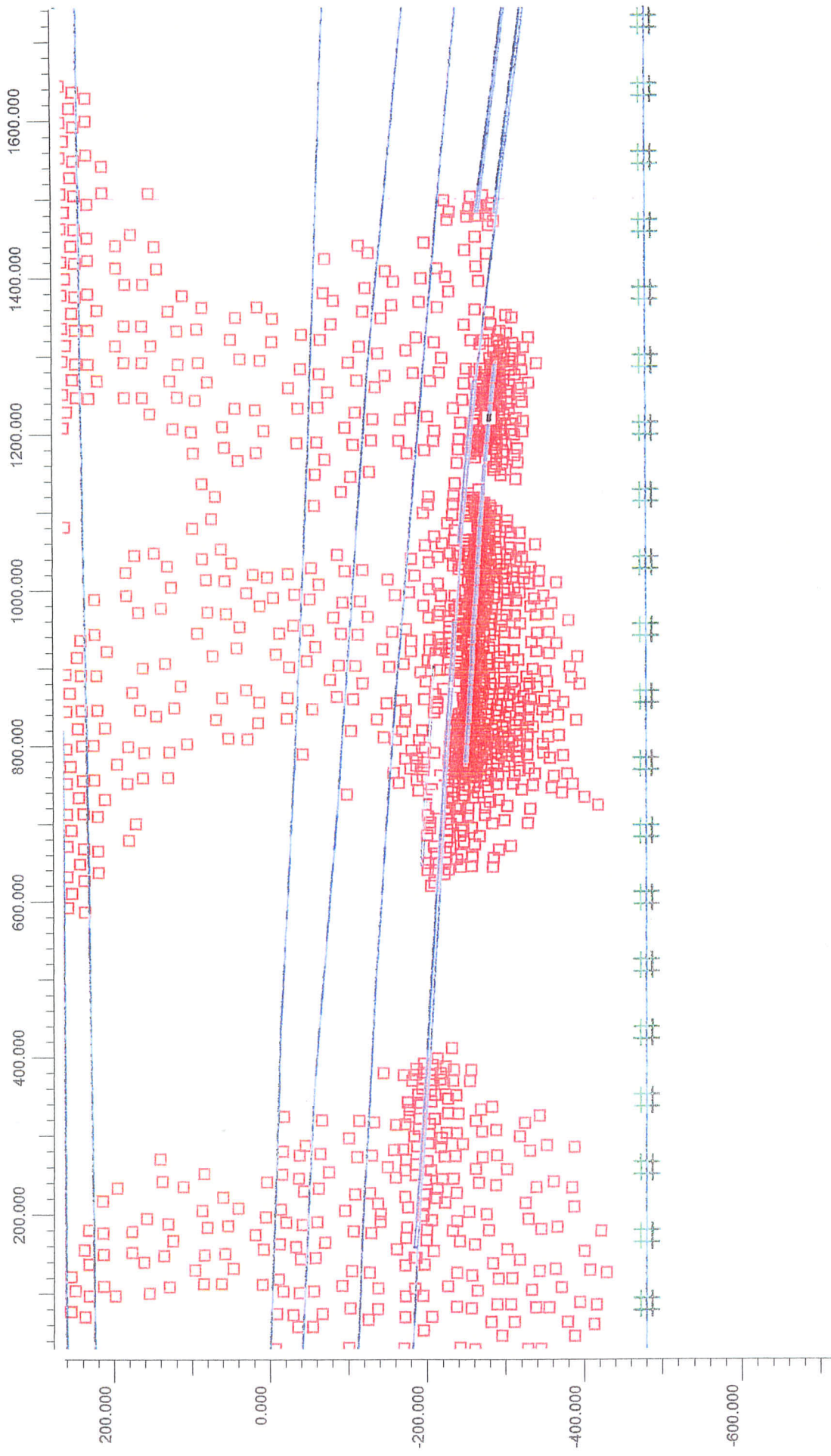
120

Date

26/04/04

User name

Mica Environnement



Project description

Document n°04.069/ 58

STOCAMINE

User name

26/04/04

Step 120

STOCAMINE

Mica Environnement



## **6 - ETUDE HYDROGEOLOGIQUE**

### **6.1 - GENERALITES : RESEAU HYDROGRAPHIQUE REGIONAL**

L'axe hydrologique principal de la plaine d'Alsace est constitué par le Rhin qui la parcourt du Sud au Nord, à peu près en son centre.

Côté Ouest la rivière de l'Ill a un parcours pratiquement parallèle au cours du Rhin. Cette rivière prend sa source dans les collines du Sundgau, à l'ouest de Bâle ; elle arrose successivement Altkirch, Mulhouse, Colmar, Sélestat, et rejoint le Rhin au nord de Strasbourg.

Les principaux affluents de l'Ill sont des rivières vosgiennes, dont la Doller au Sud de la zone d'étude, et la Thur au Nord de la zone d'étude.

Dans le secteur de StocaMine, le réseau hydrographique est peu développé. Les rivières vosgiennes les plus proches sont la Doller 3,5 Km au Sud et la Thur 5 Km au Nord.

En l'absence d'écoulement naturel, l'ensemble du réseau hydrographique local a été aménagé par l'homme. Ces réseaux artificiels d'écoulement des eaux de surface ont évolué dans le temps, entre autres dans l'optique de combattre le développement des moustiques, mais aussi en raison des modifications de la topographie engendrées par les affaissements miniers.

### **6.2 - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE REGIONAL**

<b>Coupe stratigraphique simplifiée et position des différents aquifères à la verticale de StocaMine</b>	<b>Document n°04.069/ 59</b>	<b>Dans le texte</b>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------	----------------------

Dans la plaine d'Alsace, plusieurs aquifères superposés ont été reconnus dans les différentes formations géologiques qui ont pu être identifiées à l'affleurement, par sondages ou par travaux miniers.

Ces aquifères sont répartis dans les formations géologiques appartenant aux terrains secondaires, aux terrains tertiaires et aux terrains quaternaires.

### 6.3 - LES AQUIFERES DU SECONDAIRE

Les aquifères du secondaire n'ont été reconnus que par les sondages d'exploration pétrolière.

Les caractéristiques lithologiques des terrains ont permis de considérer comme aquifères, les horizons suivants :

- Les grès du Bundsandstein (trias inférieur),
- Les calcaires du Muschelkalk (trias moyen),
- Les calcaires de la « Grande Oolithe » du Bajocien – Bathonien,
- Les calcaires du Callovien – Oxfordien.

Ces aquifères n'ont pas fait l'objet d'études hydrogéologiques. L'étude réalisée par l'école des Mines de Paris donne les éléments de synthèse suivants :

La porosité est inférieure à 10% dans chacun de ces réservoirs, mais la fracturation est importante et constitue le principal magasin, notamment dans la « Grande Oolithe ».

La perméabilité des réservoirs est difficile à apprécier ; les tests réalisés ont sollicité des hauteurs d'aquifères peu importantes et concernent la perméabilité proche de l'ouvrage, souvent réduite par l'emploi des boues de forage. D'une manière générale la perméabilité des aquifères secondaires est peu élevée, sauf pour la grande Oolithe, où la perméabilité de fracture est importante.

Les données concernant la piézométrie de ces aquifères sont rares et imprécises. L'école des Mines a considéré que l'ensemble de ces aquifères était artésien dans la région concernée par le stockage .

- La cote piézométrique proposée pour les calcaires du Callovien – Oxfordien, et pour les calcaires de la grande Oolithe est proche de la cote topographique du secteur de la mine, vers 270 – 280 m N.G.F.. Ces données semblent confirmées par des essais d'injection de saumure en couche profonde entrepris par M.D.P.A. en 1975 sur les sondages 5 – 49 (Schweighouse 2 bis) et 5 – 42 (Reiningue 2) : à Schweighouse 2 bis, le niveau d'eau constaté en mars 1975 était à 9,82 m sous la surface topographique (cote 270 m), à Reiningue 2 bis, le puits ouvert est légèrement éruptif. Fermé, il indiquait une pression de 0,7 bars (cote piézométrique : 279 m N.G.F.).
- La cote piézométrique des calcaires du Muschelkalk serait proche de la cote 300 m N.G.F., celle des grès du Bundsandstein proche de 320 m N.G.F.

La température des eaux de ces aquifères est élevée (80 – 100° C), ainsi que leur salinité.

Les aquifères du secondaires sont séparés par des horizons quasi imperméables qui assurent, à la drainage près, l'individualité de chacun. Les sondages de prospection qui ont permis de les reconnaître constituent cependant des voies de communications potentielles entre ces aquifères entre eux et avec la surface. Aucun incident n'a cependant jamais été à déplorer sur une période de plus de 50 ans.

## **6.4 - LES AQUIFERES DU TERTIAIRE**

Les formations tertiaires comprennent des horizons localement perméables pouvant contenir un peu d'eau. Ces horizons perméables ne sont connus que parce qu'ils ont été recoupés par les puits de l'exploitation de potasse.

### **6.4.1 - Le Sannoisien (Zone salifère inférieure, moyenne et supérieure)**

La zone salifère inférieure repose sur les terrains imperméables de l'Eocène qui l'isolent de l'aquifère du Callovien – Oxfordien. Cette zone, en raison de l'importance des accumulations de sel gemme, peut être considérée comme exempte d'eau.

La zone salifère moyenne est de même nature que la précédente, et peut être considérée comme exempte d'eau.

La zone salifère supérieure comprend :

- A la base les marnes grises bitumineuses à horizons de sel et de potasse ; c'est là qu'est installé le stockage. La zone peut être considérée comme exempte d'eau.
- Au dessus, une alternance de marnes et de niveaux de sel, avec de l'anhydrite en rognons. C'est dans cette zone qu'est notée la première occurrence de sel gemme lors du fonçage des puits.
- Des marnes sans sel constituées d'une alternance de marnes brun-rouge et de marnes gris-bleu à rognons de gypse ou d'anhydrite, correspondant à la zone à gypse décrite dans les coupes des puits.

L'apparition du premier sel gemme constitue, par défaut, le niveau en dessous duquel la formation peut être considérée comme exempte d'eau.

La zone supérieure des marnes à gypse a donné lieu à quelques petites venues d'eau salée dans les puits lors de leur creusement.

### 6.4.2 - Le Stampien

Le Stampien inférieur est essentiellement constitué de marnes (couches à Amphisile et à Foraminifères) sur une vingtaine de mètres d'épaisseur. Cet horizon, exception du puits Amélie 1 où une fissure a permis un écoulement de  $0,4 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $7 \text{ l/mn}$ ), est considéré comme imperméable. Il constitue même, dans le bassin potassique, la couverture imperméable d'une grande partie du gisement et la limite inférieure des cuvelages étanches des puits.

Le Stampien moyen et supérieur, constitué des couches à Mélettes et à Cyrènes, forme un ensemble marneux puissant dans lequel les horizons sableux ou gréseux peuvent être abondants. **Cet ensemble présente très souvent des horizons aquifères.** Leur productivité dépend de la lithologie de l'horizon gréseux (épaisseur, granulométrie et pourcentage d'argile) et de sa situation vis à vis des alluvions quaternaires : au puits Marie, les couches à Cyrènes reposent directement sous les alluvions du quaternaire : les venues d'eau dans le puits ont produit environ  $45 \text{ m}^3/\text{h}$  entre 25 et 85 m de profondeur. Le plus souvent, le débit des couches perméables recoupées lors des fonçage des puits ont donné des débits de 2 à  $8 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### 6.4.3 - Le Chattien

Ces formations ont été recoupées sur quelques dizaines de mètres par les puits Marie, Louise et Rodolphe sur quelques dizaines de mètres sans venue d'eau notable.

Dans le puits Alex, l'épaisseur de cette formation est de 300 mètres et les venues d'eau observées importantes, comprises entre  $0,06 \text{ m}^3/\text{h}$  et  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ . Ces venues d'eau sont localisées à la conjonction d'horizons gréseux avec des zones de dislocation comme en attestent les variations de pendage des couches.

Le niveau le plus productif se situait à 276 m de profondeur et le débit, à l'origine de  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  est tombé au bout de 8 jours à  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ , évoquant ainsi la vidange d'une poche d'eau salée ( $30 \text{ g Cl/l}$ ) créée à la conjonction d'une faille et d'un horizon perméable dans une formation globalement imperméable.

#### **6.4.4 - Conclusion sur les aquifères du tertiaire**

D'une manière générale, les formations du tertiaire n'ont pas les caractéristiques nécessaires pour constituer de véritables aquifères. Des circulations d'eau peuvent cependant s'établir, avec des transmissivités très faibles, à la faveur de failles et d'horizons plus perméables.

Lorsqu'ils ont été recoupés, ces horizons aquifères ont rapidement montré d'importantes chutes de débit. Le toit du « premier sel » indique par défaut, le niveau le plus bas atteint par les eaux de circulation. A défaut, les zones de gypse recristallisé indiquent également la cote la plus basse de circulation des eaux.

### **6.5 - LA NAPPE DU QUATERNAIRE**

La plaine alluviale alsacienne renferme un réservoir aquifère d'une exceptionnelle richesse. Les alluvions y atteignent une épaisseur considérable ; elles sont perméables et bien alimentées par les rivières vosgiennes et par le Rhin. Dans la zone d'étude, cette nappe alluviale est particulièrement suivie en raison des pollutions par le sel occasionnées par la présence des anciens terrils. Des opérations de grande envergure sont en cours afin de faire baisser le degré de salinité des eaux de cette nappe à l'aval du bassin minier.

La zone d'étude est située dans la partie Sud Ouest du fossé d'effondrement de la plaine rhénane, fossé comblé par des alluvions meubles et aquifères d'origine vosgienne et/ou alpine.

Les terrains alluvionnaires sont caractérisés par une forte hétérogénéité des matériaux ; il s'agit principalement de sables, graviers et galets d'origine vosgienne, entrecoupés par des niveaux argileux et argilo-sableux dont l'extension latérale est variable et la distribution verticale aléatoire. La base des alluvions est constituée par un niveau argileux plastique, appelé zone de transition et provenant de la décarbonatation des marnes tertiaires sous jacentes qui constituent le substratum imperméable.

A Joseph-Else, les alluvions se caractérisent par deux niveaux perméables, d'une épaisseur avoisinant 5 à 15 mètres, séparés par un niveau semi-perméable. Cet intercalaire semi perméable, composé de matériaux fortement argileux, parfois secs, avec la présence fréquente de galets en décomposition, a une épaisseur de l'ordre de 10 à 20 mètres. Au sein de cet intercalaire, il peut exister localement des strates plus perméables et l'individualisation de l'ensemble est parfois peu marquée. Le niveau perméable de surface a une épaisseur de 11 à 15 mètres ; le niveau semi imperméable, une épaisseur de 12 à 17 mètres, le niveau perméable inférieur a une épaisseur comprise entre 4 et 10 mètres. Le substratum s'enfonce régulièrement en direction du Sud et du Sud Est,



L'analyse de la carte piézométriques permet de constater que la direction d'écoulement des eaux souterraines est identique pour les deux parties de la nappe (supérieure et inférieure), et orientée vers le Nord Est au Nord de la zone d'étude, vers l'Est-Nord Est au Sud de la zone d'étude.

Les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe alluviale ont été déterminées par des essais de pompage pratiqués dans les puits de fixation des eaux de lessivage des terrils Joseph-Else.

Localement, ces caractéristiques sont assez médiocres avec une perméabilité peu élevée de l'ordre de  $1.10^{-4}$  m/s malgré la présence de niveaux plus perméables.

Les coefficients d'emmagasinement traduisent le caractère semi-captif de l'aquifère.

#### **Caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère alluvial dans le secteur Joseph – Else.**

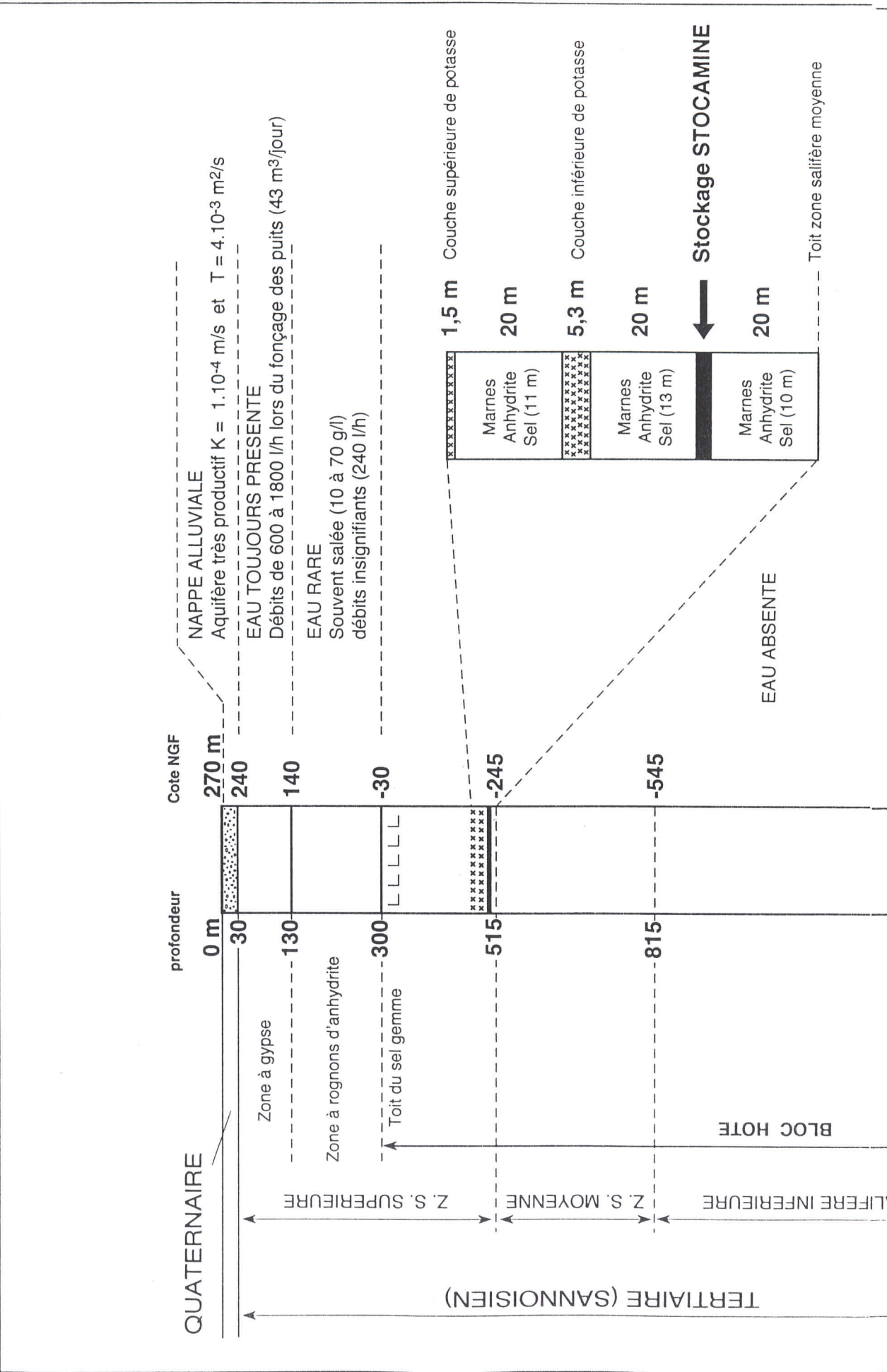
<b>Captage</b>	<b>Transmissivité</b>	<b>Perméabilité</b>	<b>Coefficient d'emmagasinement</b>
413-5-212	1,2 à 2,7 $10^{-3}$ m/s	7,2 $10^{-5}$ m/s	4,7 $10^{-4}$
413-5-213	3,7 $10^{-3}$ m/s	1,2 $10^{-4}$ m/s	5,8 $10^{-4}$

Ces valeurs de perméabilité sont relativement faibles au droit du stockage. D'une manière plus générale, la nappe des alluvions quaternaires de la plaine d'Alsace est encaissées dans des formations alluvionnaires dont la perméabilité est de l'ordre de  $1.10^{-3}$  m/s.

**StocaMine**  
Wittelsheim  
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN  
  
COUPE STRATIGRAPHIQUE SIMPLIFIEE ET  
CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES  
A LA VERTICALE DU SITE

**MICA**  
**Environnement**  
  
Echelle 1 : 10 000  
Mars 2004



## 6.6 - HISTORIQUE DES VENUES D'EAU DANS LA MINE

### 6.6.1 - Venues d'eau superficielles

#### 6.6.1.1. Venues d'eau chroniques par les puits

Les terrains encaissant la minéralisation de potasse sont exempt d'eau. Cependant, pour atteindre les niveaux à exploiter, 15 puits ont été forés dans le bassin de Wittelsheim (5 pour la mine Amélie, 10 pour le reste de la zone d'étude).

Ces puits, tels que décrits au chapitre 4-5, ont été le siège de venues d'eau pendant les travaux de fonçage. Ces venues d'eau ont été supprimées ou fortement diminuées par la mise en place des cuvelages étanches, réalisés en fonte ou en tôle d'acier noyé dans du béton.

La base de chaque puits est équipée d'un puisard dans lequel les venues d'eau sont collectées et rejetées à l'extérieur par pompage. Les débits d'exhaure des puits sont faibles et réguliers selon les puits considérés ; l'exhaure a augmenté progressivement au fur et à mesure que se mettait en place la technique du havage intégral, grosse consommatrice d'eau et souvent sujette à fuites.

Les débits d'exhaure en exploitation et en m<sup>3</sup>/an ont été, de 1947 à nos jours :

Puits	1 947	Fermeture
Joseph	47	3 600
Max	3 500	0
Amélie	2 000	4 320
Marie - Louise	1 400	12 000
Berrwiller	3 000	7 000
Staffelfelden		20 000
Schoenensteinbach		11 000

Tous les puits de retour d'air ne montrent aucune exhaure : l'air de la mine est tellement sec que l'intégralité des venues d'eau qui surviennent dans le puits est évaporée.

### 6.6.1.2. Venues d'eau accidentelles

Les venues d'eau accidentelles ont été rares et peu importantes en volume.

- Deux sondages, n° 5 – 022 ( CE 2 ) et n° 1 – 043 (DP 1), tous deux situés dans la mine Amélie, ont été le siège d'une venue de boue vite tarie, lorsque les travaux miniers les ont recoupés. Ces sondages ont été immédiatement injectés de ciment et n'ont plus été le siège d'écoulement d'eau, même après la foudroyage du toit de la couche exploitée.
- Un travers banc, dit Travers banc « T », qui devait relier la mine Marie Louise à Berrwiller a recoupé, après avoir franchi une faille, un niveau de grès aquifère du Stampien. Plusieurs interventions de colmatage ont été nécessaires pour juguler cette venue d'eau. Ces événements se sont déroulés avant et pendant la deuxième guerre mondiale. Aucune augmentation significative de l'exhaure de la mine Marie Louise n'a permis de mettre en évidence la persistance de venues d'eau après les travaux d'obturation du travers banc. Ce cas est resté isolé ; il a permis de démontrer que la moindre venue d'eau accidentelle dans une mine très sèche et dont le rocher est soluble, avait des effets immédiatement décelables dans les travaux miniers.

### 6.6.2 - Venues d'eau profonde

Hormis quelques poches d'eau salée fossile, aucune venue d'eau profonde n'a été constatée au passage des zones faillées.

De rares venues de saumure temporaires ont été recoupées lors du creusement des galeries (VAM, Travers Bancs) et au cours de l'exploitation des couches de potasse.

<b>Lieu des venues de saumure saturée</b>	<b>Date</b>
Voie 387 – Couche inférieure	Avril 1965
Voie 391 – Couche inférieure	Février 1967
Voie 622 – Couche supérieure	Avril 1981
Carrefour voie 902 / 990	Décembre 1980
Pied du sondage Max-Frax	Janvier 1981
Voie 601 à 4 m sous couche	Octobre 1982

Toutes ces venues d'eau ont présenté des débits insignifiants et se sont rapidement tariées. La venue d'eau de la voie 601, qui avait vu son débit initial passer de 1 m<sup>3</sup> / 15 jours à un débit de 1 m<sup>3</sup> / jour au bout d'un mois, s'est ensuite progressivement tarie.

Aucune venue d'eau, issue des aquifères du Trias ou du Jurassique par le biais des sondages pétroliers qui ont recoupé le bassin de Wittelsheim n'a été constatée durant l'exploitation de la mine. Ces sondages pétroliers ont été cimentés à la fin de la reconnaissance ou de l'exploitation. Le resserrement des terrains en profondeur, contre le ciment du bouchage, conduit à améliorer, avec le temps, la sécurité de la fermeture de ces ouvrages.

### 6.6.3 - Caractéristiques physico-chimiques des venues d'eau dans la mine

Diagramme des analyses d'eau d'exhaure du bassin minier de Wittelsheim	Document n°04.069/ 60	Dans le texte
------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

La quasi-totalité des eaux d'exhaure du bassin minier de Wittelsheim provenait ou provient des puits d'accès à l'exploitation. Une seule venue d'eau importante a été recoupée en 1931 à l'extrémité du Travers Banc « T » (TBT) environ 1400 m au Nord-Ouest du puits Marie-Louise. De rares venues d'eau ont également été constatées en quelques points de l'exploitation, mais ces dernières n'ont présentés que de faibles débits et se sont tarées avec le temps. C'est le cas par exemple de la venue d'eau de la Voie 601.

#### 6.6.3.1. Hydrochimie des ions majeurs

Les venues d'eau observées dans l'exploitation minière présentent toutes un faciès chloruré sodique très marqué qui résulte de leur circulation au contact des couches de sel gemme.

Trois analyses d'eau issues des archives des MDPA et de StocaMine ont été reportées dans le diagramme de Schoeller et Berkloff pour visualiser le profil chimique de ces eaux. Il s'agit :

- D'une eau issue du puisard du puits Joseph de la mine Amélie (échantillon prélevé le 31 juillet 1997 avant l'ouverture du stockage StocaMine).
- D'une eau issue du TBT à -350 NGF dans la mine Marie-Louise (échantillon prélevé en mai 1943).
- D'une eau issue de la VAM 601 à 4 m sous couche au Nord du puits Max (échantillon prélevé en octobre 1982).

Tous les ions majeurs ont été analysés à l'exception des ions hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ), car, traditionnellement, ces analyses étaient uniquement reportées dans un diagramme triangulaire Na+K, Ca, Mg (diagramme de Piper).

Pour cette raison, les teneurs en  $\text{HCO}_3^-$  ont été calculées à partir du bilan ionique en considérant que le déséquilibre de la balance ionique provenait essentiellement de l'absence du dosage des ions hydrogénocarbonates. Cette méthode donne des résultats cohérents pour l'eau du puisard Joseph et l'eau du TBT. En revanche il n'est pas possible de l'appliquer pour l'eau de la Voie 601 car cette analyse comporte un déficit en cations trop important. Il est néanmoins probable que la teneur en  $\text{HCO}_3^-$  soit voisine de 600 mg/l.

**Tableau des analyses d'ions majeurs (concentrations en mg/l)**

Venue d'eau	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3*	NO3
Puisard Joseph	39,9	4,75	280	23	476	52,5	26,31	13,7
TBT	6 180	2 070	111 750	1 340	189 620	1 130	586	Non dosé
Voie 601	5 100	1 200	114 900	5 000	193 800	1 300	Non calculable	Non dosé

\*Teneurs calculées à partir du bilan ionique

Les eaux issues du TBT et de la Voie 601, pourtant distantes d'environ 5 km présentent un profil chimique semblable ainsi qu'une minéralisation globale similaire essentiellement due à leur saturation en sel. Leur minéralisation globale est respectivement de 313 g/l et 322 g/l.

L'eau du puisard Joseph, malgré une minéralisation nettement plus faible (0,916 g/l) présente un profil chimique tout à fait similaire aux eaux précédentes. Cette similitude est sans doute le résultat d'une minéralisation acquise au contact d'un terrain de même nature et à partir d'un aquifère commun (nappe alluviale). Une infiltration plus rapide dans le puits Joseph le long du cuvelage suffit pour expliquer la minéralisation moins prononcée de l'eau du puisard. La teneur de 13,7 mg/l de nitrates confirme l'origine superficielle de l'eau infiltrée dans ce puits.

### 6.6.3.2. *Teneurs en métaux et autres paramètres*

L'eau du puisard Joseph prélevée le 31 juillet 1997 a fait l'objet d'une analyse assez complète, de façon à constituer un point zéro de la composition chimique des eaux d'infiltration avant la mise en activité du stockage StocaMine.

Les concentrations en métaux sont inférieures au seuil de détection, excepté pour le fer à très faible teneur (0,6 mg/l).

Par ailleurs, la très faible teneur en hydrocarbures totaux (0,19 mg/l) est attribuable à l'activité minière.

Le brome n'a pas été dosé car ce n'était apparemment pas un élément susceptible d'être apporté de façon significative dans les déchets. En revanche, pour l'étude de l'environnement hydrogéologique de la mine, c'est un marqueur intéressant, car il est toujours présent de façon significative dans les eaux ayant été en contact avec les évaporites.

**Tableau des résultats d'analyse de l'eau du puisard Joseph (31.07.97)**

<b>Analyses physico-chimiques</b>	
PH	7,8
Conductivité à 25°C	1770 µS/cm
Hydrocarbures totaux	0,19 mg/l
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,16 mg/l
F <sup>-</sup>	<0,20 mg/l
<b>Métaux</b>	
Arsenic (As)	<0,89 µg/l
Chrome 6 (Cr <sup>VI</sup> )	<0,010 mg/l
Cuivre (Cu)	<0,2 mg/l
Zinc (Zn)	<0,04 mg/l
Nickel (Ni)	<0,2 mg/l
Aluminium (Al)	<1 mg/l
Plomb (Pb)	< 0,5 mg/l
Mercure (Hg)	<0,73 mg/l
Cyanures libres (CN <sup>-</sup> )	<0,002 mg/l
Cadmium (Cd)	<0,04 mg/l
Fer (Fe)	0,6 mg/l
Chrome (Cr)	<0,2 mg/l
Etain (Sn)	<3 mg/l

### 6.6.3.3. Hydrochimie isotopique

Quelques venues d'eau ont fait l'objet de mesures isotopiques de tritium ( $^3\text{H}$ ) afin d'estimer leur ancienneté et par conséquent leur temps d'infiltration jusqu'aux travaux miniers.

- Une venue d'eau située au pied du sondage Max-frax dans la mine Amélie (prélèvement effectué le 13 janvier 1981).
- Une venue d'eau située au mur de la voie 990 dans la mine Amélie (prélèvement effectué le 5 mars 1981).
- Une venue d'eau de la voie 622 D-CI dans la mine Amélie (prélèvement effectué le 14 avril 1981).
- La venue d'eau de la Voie 601 au Nord du puits Max (prélèvement en octobre 1982).
- Une venue d'eau située à 100 m de profondeur dans le puits Louise au milieu de la formation aquifère du Stampien (prélèvement en mai 1985).

Le tableau suivant résume les résultats de ces analyses effectuées pour certaines dans deux laboratoires différents.

#### **Synthèse des analyses isotopiques effectuées dans le bassin minier de Wittelsheim**

Point de prélèvement	Date	Résultat	Laboratoire
Sondage Max-frax (Mine Amélie)	13 janvier 1981	38 ± 9 UT	-
Voie 990 (Mine Amélie)	5 mars 1981	14 ± 9 UT	-
Voie 622 (Mine Amélie)	14 avril 1981	≤ 16 UT	-
Voie 601 au Nord du puits Max	Octobre 1982	≤ 16 UT direct 62 UT enrichi	Thonon
Puits Louise à 100 m de profondeur	Mai 1985	25 UT direct 8 ± 1 UT enrichi	Thonon
		18 ± 1 UT	Université Paris-Sud
<b>Analyse d'eau de surface effectuée pour les besoins de l'interprétation</b>			
Eau du réseau AEP de Wittelsheim (nappe alluviale)	Mai 1985	61 ± 13 UT direct 68 ± 1 UT enrichi	Thonon



Le Tritium produit en abondance, jusqu'à 2800 unités tritium (UT) dans l'hémisphère Nord par les essais nucléaires atmosphériques à partir de 1952 était, il y a quelques années encore, un marqueur indiscutable de l'infiltration récente d'une eau souterraine. Sa période de demi-vie étant de 12,36 ans et les essais nucléaires atmosphériques ayant cessé depuis 1965 son utilisation à l'heure actuelle a perdu presque tout son intérêt. En l'absence de production artificielle, l'eau de pluie à la latitude de la France présente une teneur naturelle souvent inférieure à 4 UT. La limite de détection étant égale à 0,2 UT on dispose d'une plage de variation trop restreinte pour être réellement interprétable.

En revanche, les résultats obtenus en 1981, 1982 et 1985 témoignent assez clairement que les venues d'eau analysées contiennent une part non négligeable d'eau ayant mis moins de 30 ans pour s'infiltrer de la surface jusqu'aux travaux miniers.

Cette conclusion est à confronter au tarissement rapide de ces venues d'eau profondes. Ce phénomène qui a été parfois décrit comme étant le résultat de la vidange d'une poche d'eau fossile n'est pas confirmé par les mesures isotopiques, ni d'ailleurs par leur profil chimique.

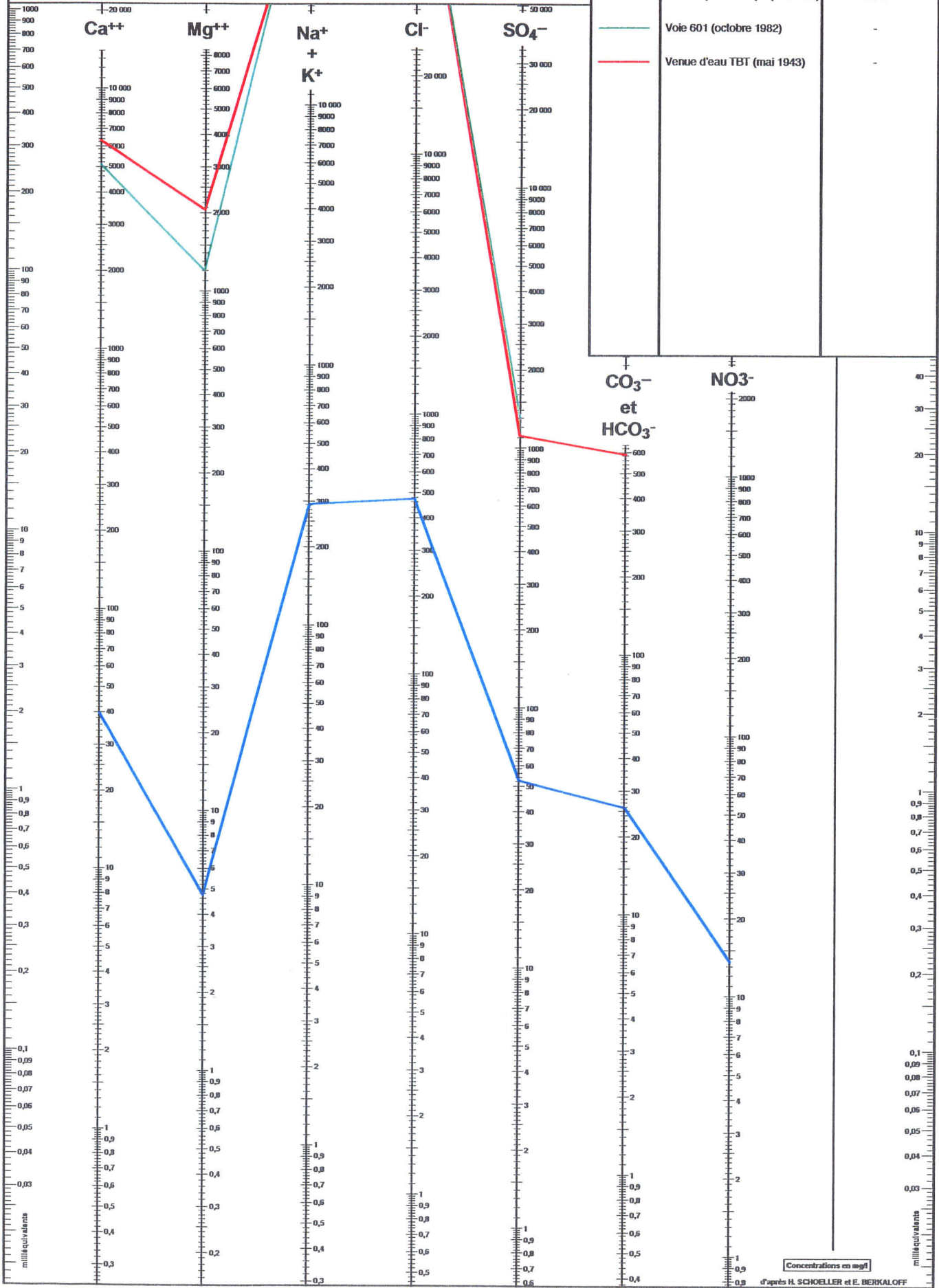
L'origine du tarissement de ces venues d'eau n'est pas clairement établi. On peut envisager que ces infiltrations d'eau profonde étaient peu développées et que la forte diminution de pression hydrostatique survenue consécutivement à l'écoulement dans la mine a contribué à ce que les terrains composés en grande partie de marnes referment ou limitent fortement le circuit de cette eau à grande profondeur. Le pouvoir de dissolution limité de ces eaux saturées en sel dès leur contact avec le toit de la formation salifère situé plus de 150 m au-dessus de la mine ne leur permettant pas d'entretenir ou de développer ces circulations profondes.



# DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

## MDPA - MINE AMELIE

Figuré	Référence	Conductivité $\mu\text{S/cm}$ à 25°C
<span style="color: blue;">—</span>	Puisard puits Joseph (31.07.97)	1770
<span style="color: green;">—</span>	Voie 601 (octobre 1982)	-
<span style="color: red;">—</span>	Venue d'eau TBT (mai 1943)	-



## **7 - VECTEURS D'ENTREES D'EAU DANS LA MINE**

L'étude des modalités d'intrusion d'eau dans la zone de stockage et plus généralement dans la mine de potasse nécessite la prise en compte de la géométrie générale de l'exploitation, tant pour évaluer les modalités d'envoyage que pour étudier d'éventuelles circulations aquifères susceptibles d'évacuer des substances polluantes vers le milieu extérieur et en particulier la nappe des alluvions du quaternaire.

### **7.1 - GEOMETRIE DU GISEMENT ET DE L'EXPLOITATION**

#### **7.1.1 - Définition du Bloc-Hôte**

<b>Disposition du stockage de StocaMine vis-à-vis des travaux miniers au 1 : 50 000</b>	<b>Document n°04.069/ 61</b>	<b>Dans le texte</b>
-----------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------	----------------------

Le stockage de StocaMine est situé au sein d'une épaisse série argilo-évaporitique tertiaire destinée à assurer le confinement des déchets. L'épaisseur des terrains totalement dépourvus de circulation d'eau est d'environ 1200 m. Cette formation géologique étanche est qualifiée de « Bloc-Hôte ». Ce Bloc-Hôte est limité à son sommet par le toit du sel gemme et à sa base par les terrains de l'Eocène ou du Jurassique (cf. log hydrogéologique). Son extension est extrêmement importante, puisqu'elle concerne l'ensemble du bassin potassique.

Au voisinage du stockage, les couches géologiques présentent un léger bombement anticlinal axé NE-SO. Au niveau du site, le pendage est de 8 à 10° vers le Nord-Ouest.

Cette déformation souple à grand rayon de courbure est interrompue 1.5 km à l'Est du stockage par une faille normale d'orientation méridienne qui effondre le compartiment Ouest d'environ 170 m au maximum. Cette faille s'amortit rapidement vers le Sud. La galerie de service reliant les puits Amélie I et II au puit Max à traversée cette faille, mais aucune venue d'eau n'a été constatée.

# StocaMine

Wittelsheim  
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

MICA  
Environnement

SITUATION DU SITE DE STOCKAGE VIS A VIS  
DES TRAVAUX MINIERES DES MDPA

Echelle 1 : 50 000  
Mars 2004



Extension de l'exploitation de la couche inférieure de potasse



Extension de l'exploitation de la couche supérieure de potasse



Voies d'exploitation hors couches (Voies Au Mur et Travers Banc)



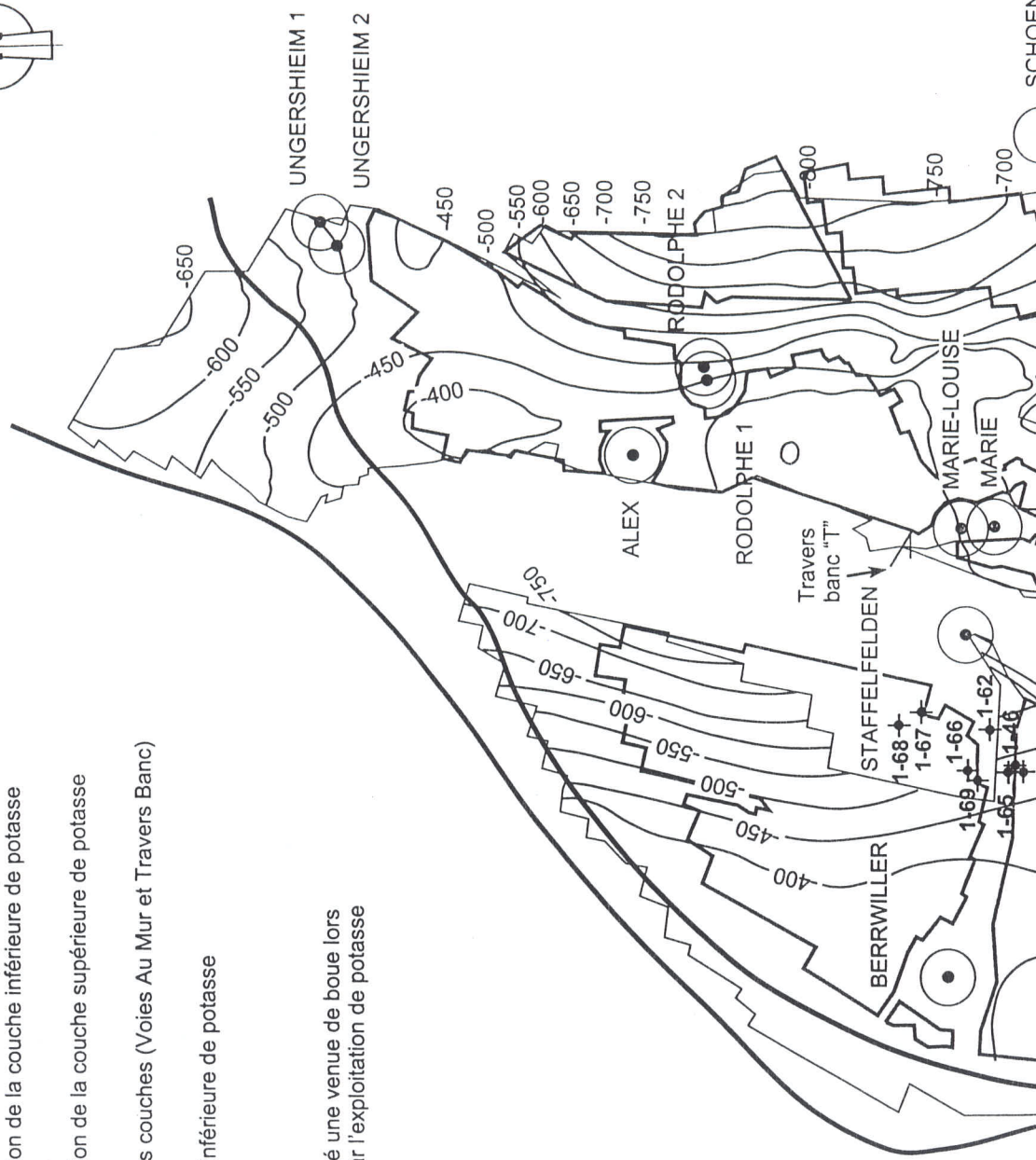
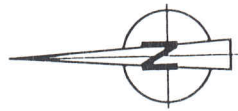
Isohypse de la couche inférieure de potasse



Forage pétrolier



Sondage ayant présenté une venue de boue lors  
de son recouplement par l'exploitation de potasse



### 7.1.2 - L'exploitation minière

Graphique de l'évolution de la compaction des terrains décomprimés après foudroyage	Document n°04.069/ 62	Dans le texte
-------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Le gisement exploité par les MDPa est constitué de deux couches de potasse espacées d'une vingtaine de mètres. La couche supérieure a été exploitée sur environ 1.5 m d'épaisseur et la couche inférieure sur environ 4 m d'épaisseur.

Ces couches de potasse ont été globalement exploitées jusqu'à leurs limites d'exploitabilités dont les tracés ont été figurés sur la carte des travaux miniers. Le tableau ci-dessous présente les superficies exploitées de ces deux couches suivant que l'on considère la mine Amélie seule ou le bassin de Wittelsheim dans son ensemble.

Zone considérée	Mine Amélie (dont StocaMine)	Bassin de Wittelsheim
Superficie couche supérieure	9 800 000 m <sup>2</sup>	25 200 000 m <sup>2</sup>
Superficie couche inférieure	24 800 000 m <sup>2</sup>	44 100 000 m <sup>2</sup>
Superficie totale	34 600 000 m <sup>2</sup>	69 300 000 m <sup>2</sup>

Une fois l'exploitation d'un quartier terminé, le toit des couches exploitées est foudroyé. Après extraction de la potasse et déplacement du soutènement marchand, les terrains se referment sous l'effet de la pression lithostatique et conduisent à l'apparition d'une zone décomprimée généralement estimée épaisse de 20 à 30 m d'épaisseur. Il subsiste à la place une zone décompactée siège d'un vide résiduel qui va continuer à se réduire au fur et à mesure de la compaction des terrains.

Le calcul du volume de vide résiduel actuel doit tenir compte du foudroyage des terrains au dessus des couches exploitées. Les quelques cas où la couche supérieure a été exploitée postérieurement à la couche inférieure ont mis en évidence un réseau de fissures sub-horizontales d'amplitude centimétrique dans les terrains situés au-dessus de la couche de potasse déjà foudroyées.

Les nivellements effectués par les MDPa ont montré que 90 % des vides se répercutaient quasi instantanément en surface par des affaissements et qu'ensuite le tassement se poursuivait lentement

L'incertitude sur l'estimation du volume des vides influe principalement sur le temps d'ennoyage de la mine, mais n'a aucun impact sur le fonctionnement hydraulique final du système, notamment en ce qui concerne les flux susceptibles de transiter dans les travaux miniers : la perméabilité des zones foudroyées sera considérée comme étant nettement supérieure à celle des puits obturés.

L'incertitude sur le volume de vide résiduel dans les couches après foudroyage dépend du volume initial des couches et du pourcentage de vide résiduel subsistant après le foudroyage.

Les affaissement observés en surface ont montrés que les vides résiduels après foudroyage étaient d'environ 10%. Comme il était évident que cette porosité allait diminuer dans le temps sous l'effet de la compaction naturelle des terrain, le laboratoire de mécanique des roches de l'Ecole des Mines de Paris a réalisé une modélisation de ce phénomène de compactage après foudroyage

La méthode de calcul suppose :

- Que la zone foudroyée a une épaisseur suffisamment faible pour que l'on puisse considérer que la contrainte verticale est constante et égale au poids des terrains ;
- Que la contrainte horizontale qui a été libérée au moment du foudroyage se rétablit progressivement jusqu'à la valeur de la contrainte verticale au cours du compactage.

Les résultats de cette modélisation sont illustrés par le graphique suivant qui illustre l'évolution du pourcentage de vide résiduel en fonction du temps et permet de dégager les valeurs suivantes.

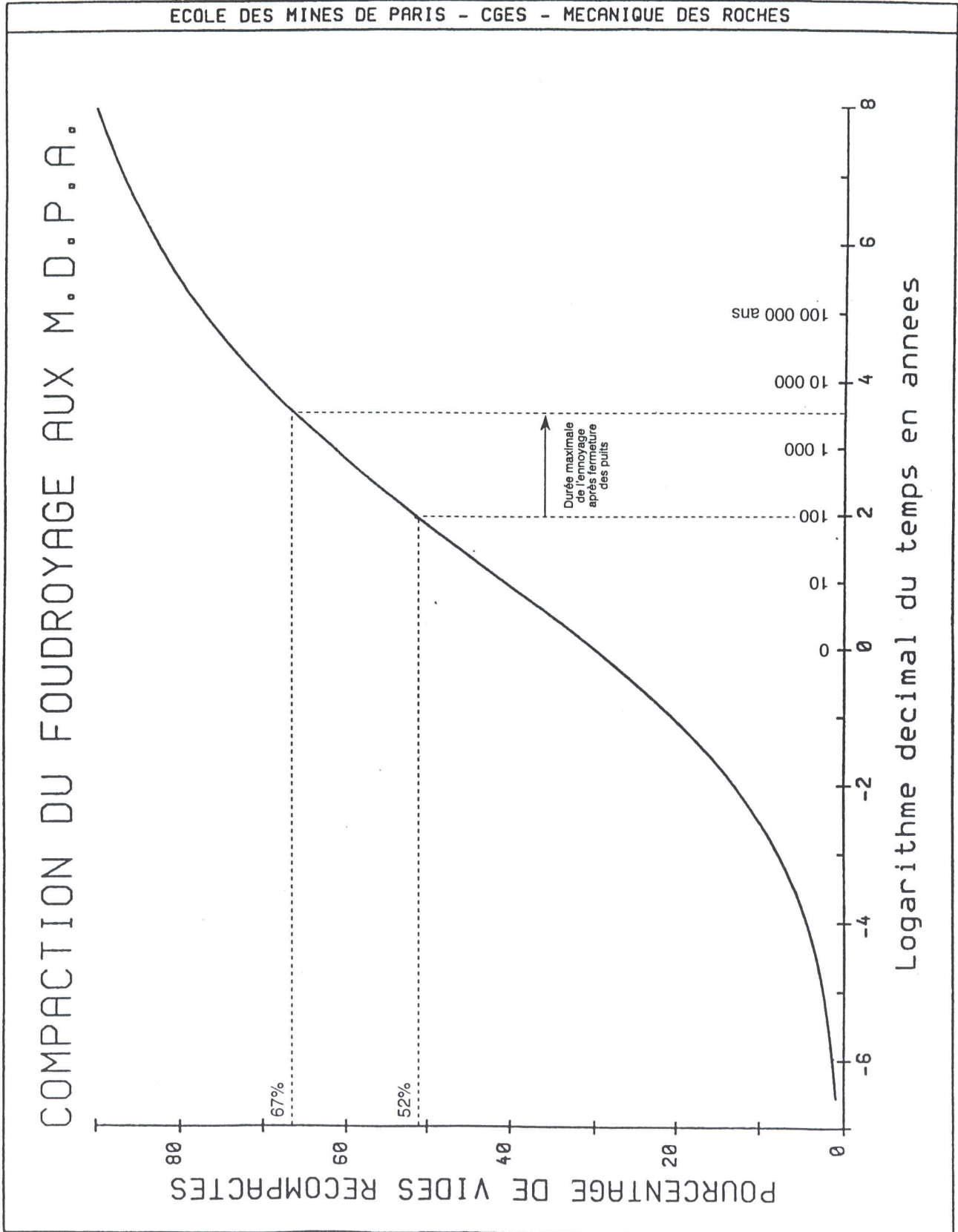
Durée après foudroyage (en année)	100	1 000	3 000	10 000	100 000
Pourcentage de compaction des vides résultant du foudroyage	50	62	66	70	77

Lorsque les derniers puits seront obstrués, la plupart des travaux miniers du bassin de Wittelsheim auront un âge compris entre 50 et 100 ans. Par conséquent, plus de la moitié de la compaction des terrains foudroyés devrait déjà avoir eu lieu.

On constate ensuite que durant la période d'ennoyage maximale de la mine estimée à 3 800 ans, la compaction n'évoluera plus que d'environ 15%. Cette variation du volume de vide ne remet pas en cause les ordres de grandeurs des calculs d'estimation des volumes de vides résiduels dans la mine et ne devrait engendrer qu'une incertitude de l'ordre d'une centaine d'années sur le temps de remplissage de l'exploitation minière.

Les voies de desserte, taillées au mur des couches exploitées, à 4 mètres ou à 23 – 25 mètres en dessous, représentent elles aussi un vide non négligeable qui a également la caractéristique de se refermer progressivement par convergence des terrains. Plus ces voies sont situées profondément et plus vite elles se referment par fluage du sel.

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>COMPACTION DES TERRAINS DECOMPRES  APRES FOUDROYAGE</b>	Mars 2004



### 7.1.3 - Estimation des vides résiduels dans la mine

Le calcul du volume de vides créés par l'exploitation minière est basé sur une double approche.

D'une part, la production totale de la mine a été fournie par M.D.P.A. par puits d'extraction. Cette production se répartit de la manière suivante :

- 90,5 % du tonnage extrait correspondent au minerai exploité.
- 9,5 % du tonnage extrait correspondent au traçage des voies d'accès, voies en couche et voies au mur.
- 4,5 % du tonnage extrait correspondent uniquement au traçage des voies au mur (VAM).

D'autre part, la superficie des couches exploitées a été déterminée par planimétrie au moyen du logiciel TOPOMINE (Coralis) sur la carte de synthèse au 1 : 20 000 des MDP.A. Les hauteurs moyennes exploitées ont été fixées à 1,5 m pour la couche supérieure et 4 m pour la couche inférieure. Une incertitude de quelques % sur le volume total n'engendre qu'une variation de quelques dizaines d'années sur le temps d'ennoyage. Les zones exploitées dans chaque couche exploitée ont été découpées par tranches altimétrique de 50 m. Un pourcentage du volume total exploité est alors attribué à chaque tranche altimétrique. Ce pourcentage permet de distribuer les tonnages réellement exploités par tranche altimétrique.

#### 7.1.3.1. Vides résiduels dans les couches exploitées

Les couches exploitées ont toutes été foudroyées. Les affaissement observés en surface ont montré que les vides résiduels après foudroyage étaient d'environ 10%. La porosité diminue ensuite dans le temps sous l'effet de la compaction naturelle des terrain. Devant la difficulté d'estimation du volume résiduel à prendre en compte pour évaluer le temps d'ennoyage de la mine, les calculs ont été systématiquement conduits **pour trois valeurs de porosité fixées à 2%, 5% et 8% de l'épaisseur de chaque couche exploitée.**

**La valeur intermédiaire de 5% est celle qu'avait retenu l'Ecole des Mines de Paris et qui apparaît comme la plus réaliste au début de la période d'ennoyage de la mine.**

Cette valeur évoluera peu (environ 5%) au cours de l'ennoyage de la mine dont la durée moyenne suivant les scénarios envisagés est estimée à 500 ans. Pour cette raison, le volume au moment de l'ennoyage total des travaux miniers a été considéré comme inchangé.



### 7.1.3.2. Vides résiduels dans les voies au mur

Dans les tableaux précédents, les vides originels dus aux voies au mur ont été évalués par tranches altimétriques ; cette évaluation ne prend pas en compte le resserrement de ces vides sous l'action de la pression des terrains.

Ce resserrement étant progressif, et rapide à grande profondeur, il a été retenu, pour les calculs, un volume de vides résiduels à 500 ans pour les voies au mur.

L'évaluation du vide persistant à 500 ans est délicate, faute de données précises sur les convergences à différentes profondeurs.

A l'expérience, il apparaît qu'il existe un seuil de profondeur, situé vers 600/700 mètres, en-dessous duquel la tenue des galeries se dégrade très rapidement pour arriver, et cela a été observé, à l'obturation pratiquement complète d'une galerie en une période d'environ 50 ans.

En revanche, dans la partie de la mine comprise entre 400 et 650 mètres de profondeur, la convergence est beaucoup plus lente ; elle a été modélisée au niveau du stockage (profondeur de 500 mètres), par l'école des mines de Paris.

Cette convergence, rapide au début, se ralentit progressivement avec le temps. A échéance de 500 ans, la convergence verticale est d'environ 0,55 mètres, l'horizontale de 0,5 mètres.

Une galerie de section 4 x 2,50 mètres à l'origine voit sa section diminuer de 60 % sur la période.

Au bout du compte, nous prendrons comme hypothèse :

- Les galeries situées en dessous de la profondeur 650 mètres sont toutes refermées et le vide résiduel à 500 ans est nul.
- Les volumes des voies au mur ne représentent plus que 40% du volume initial pour les travaux situés au dessus de la profondeur de 650 mètres.

**En définitive, le volume des travaux miniers à envoyer à 500 ans est égal à la somme :**

- **De 5% du volume des zones foudroyées.**
- **De 40% du volume des galeries situées au-dessus de 650 m de profondeur**

# BASSIN DE WITTELSHEIM

## ESTIMATION DES VIDES RESIDUELS DE LA MINE

Cote N.G.F de l'exploitation	Volume résiduel initial total, zones foudroyées pour 2% de vide (m3)	Volume résiduel initial total, zones foudroyées pour 5% de vide (m3)	Volume résiduel initial total, zones foudroyées pour 8% de vide (m3)
-800 et -850	7 829	19 571	31 314
-750 et -800	12 722	31 806	50 889
-700 et -750	84 472	211 181	337 890
-650 et -700	127 629	319 071	510 514
-600 et -650	109 031	272 578	436 125
-550 et -600	86 971	217 427	347 883
-500 et -550	214 987	537 468	859 948
-450 et -500	507 772	1 269 431	2 031 090
-400 et -450	634 698	1 586 744	2 538 790
-350 et -400	1 270 279	2 251 236	3 232 193
-300 et -350	840 143	1 488 933	2 137 723
-250 et -300	400 459	709 709	1 018 959
-200 et -250	572 248	1 014 158	1 456 069
-150 et -200	923 164	1 636 066	2 348 968
<b>TOTAL</b>	<b>5 792 404</b>	<b>11 565 379</b>	<b>17 338 354</b>

## MINE AMELIE considérée seule

### ESTIMATION DES VIDES RESIDUELS DE LA MINE

Cote N.G.F de l'exploitation	Volume résiduel initial total, zones foudroyées pour 2% de vide (m3)	Volume résiduel initial total, zones foudroyées pour 5% de vide (m3)	Volume résiduel initial total, zones foudroyées pour 8% de vide (m3)
-650 et -700	2 608	6 521	10 433
-600 et -650	9 760	24 399	39 039
-550 et -600	26 683	66 708	106 733
-500 et -550	37 597	93 992	150 387
-450 et -500	156 505	391 262	626 020
-400 et -450	254 343	635 858	1 017 372
-350 et -400	482 248	854 658	1 227 068
-300 et -350	383 445	679 556	975 666
-250 et -300	298 347	528 741	759 135
-200 et -250	477 672	846 548	1 215 425
-150 et -200	768 922	1 362 711	1 956 501
<b>TOTAL</b>	<b>2 898 130</b>	<b>5 490 955</b>	<b>8 083 780</b>

#### 7.1.3.3. Vides résiduels dans StocaMine

Le volume du stockage StocaMine *sensu stricto* est de 300 000 m<sup>3</sup> (galeries de stockage + voies de dessertes). Compte tenu des déchets déjà stockés, le volume de vide peut actuellement être estimé à 185 000 m<sup>3</sup>, déjà pris en compte dans l'évaluation des vides résiduels de la mine.

#### 7.1.3.4. Positionnement des vides miniers

Ces vides miniers (potasse + sel) sont isolés au sein du bloc-hôte.

Verticalement, ils sont isolés au toit par un stot épais d'environ 200 m et au mur par un stot épais d'environ 1 000 m.

Horizontalement, l'exploitation minière est limitée :

- au Sud et à l'Ouest par la limite du bassin tertiaire au contact des failles bordières du fossé Rhénan distantes d'environ 5 km,
- à l'Est par une zone de flexure séparant la mine Amélie de la mine Anna. Aucune galerie ne traverse cette flexure. Le stot minimal entre les deux mines varie de 350 m à 750 m,
- au Nord par la limite de la zone exploitée,
- au Nord, si l'on considère la mine Amélie isolément, par un stot de 20 m de puissance séparant la mine Amélie des autres mines du bassin de Wittelsheim.

## **7.2 - COMMUNICATIONS DU SITE STOCAMINE AVEC LES AUTRES MINES**

Le site de stockage de StocaMine fait partie intégrante de la mine de potasse Amélie. Il est creusé dans un banc de sel situé 23 à 25 m sous le mur de la couche inférieure de potasse. Ce site de stockage communique avec les vides résiduels des couches de potasses foudroyées par de nombreuses galeries laissées en l'état.

La faible puissance du stot isolant les mines Amélie et les autres mines du bassin de Wittelsheim conduit à envisager l'existence d'une relation entre les deux exploitations. Deux arguments étayaient cette hypothèse.

- Le stot présente une puissance très réduite pour assurer véritablement un rôle efficace à une profondeur variant de 550 m à 900 m. Il est probable que ce stot a subi d'importantes déformations pouvant altérer son étanchéité (fissures).
- Il semblerait que les exploitations se soient ponctuellement recoupées en raison des incertitudes de positionnement des fronts de part et d'autre du stot. De ce fait les couches foudroyées sont susceptibles d'être ponctuellement en continuité.

Dans la suite de l'étude, afin de permettre une comparaison aisée avec les études antérieures, il sera systématiquement considéré le cas où la mine Amélie ne communiquerait pas avec le reste du bassin de Wittelsheim, et le cas où cette mine communique, comme c'est vraisemblable, avec le reste du bassin.

## 7.3 - LES RELATIONS DE L'EXPLOITATION AVEC LE MILIEU EXTERIEUR

### 7.3.1 - Communications au travers des couches géologiques

Aucune circulation d'eau naturelle pérenne n'a été observée au sein du bloc-hôte que ce soit au niveau des couches de potasse et de sel, ou au niveau des zones faillées recoupées par des galeries de communications.

Aucune venue d'eau n'a été observée consécutivement au foudroyage des couches de potasse. Les seules zones humides ayant été rencontrées sont d'extensions métriques et correspondent à des eaux fossiles classiquement piégées au sein des formations évaporitiques.

**De ce fait aucune communication hydrogéologique naturelle pérenne n'est envisagée entre la mine et la surface au travers des terrains en place.**

### 7.3.2 - Communications par les sondages

Les techniques de rebouchage mises en œuvre au moment de la réalisation des sondages ou au moment de l'arrêt de l'exploitation dans le cas des sondages pétroliers ont permis de préserver l'exploitation de toute venue d'eau. **On peut donc considérer que les sondages anciens ne constituent pas un vecteur d'entrée d'eau dans la mine** ; tout au plus, un sondage constitue un risque de venue d'eau accidentelle dont l'impact sera discuté ultérieurement.

En revanche, il apparaît évident que des mesures soient prises afin que la réalisation de nouveaux sondages notamment au droit du stockage soit réglementée, voire interdite.

### 7.3.3 - Communications par les puits d'exploitation

Les mines de potasse sont en relation avec la surface par l'intermédiaire de quinze puits de gros diamètre.

#### 7.3.3.1. Puits ouverts de la mine Amélie

La mine Amélie comprend cinq puits. L'un d'eux, le puits Max est en cours de remblayage, les quatre autres constituent les derniers puits du bassin potassique encore ouverts et accessibles.

Les puits Joseph, Else, Amélie II et Max présentent un diamètre de 4.5 m (soit une section de 16 m<sup>2</sup>) et le puits Amélie I un diamètre de 5.5 m (soit une section de 23.75 m<sup>2</sup>).

Les arrivées d'eau actuellement observées sont toutes situées à la base de ces puits. Les débits d'eau non saturée récupérés à la base des puits sont :

- 300 m<sup>3</sup>/mois pour les puits Joseph et Else,
- 360 m<sup>3</sup>/mois pour les puits Amélie I et II,
- Plus d'exhaure pour le puits Max qui est en cours de fermeture.

Le débit total d'exhaure est de 660 m<sup>3</sup>/mois. Cette eau provient des formations supérieures peu productives et alimentées essentiellement par l'aquifère alluvial.

Les venues d'eau sont essentiellement situées dans la zone à gypse du Sannoisien pour les puits Joseph, Else et Amélie II et dans la zone à Melettes du Stampien pour les puits Amélie I et Max.

L'eau qui pénètre dans ces puits par l'intermédiaire des discontinuités du cuvelage s'écoule jusque dans les puisards situés à la base des puits où l'eau est ensuite pompée et refoulée vers la surface. Les cotes de ces puisards sont les suivantes

Puits Joseph	-288 m NGF
Puits Else	-245 m NGF
Puits Max	-300 m NGF
Puits Amélie I	-449 m NGF
Puits Amélie II	-419 m NGF

7.3.3.2. Bassin de Wittelsheim : Méthode de fermeture des puits aux M.D.P.A.

Schéma de principe du remblayage des puits aux M.D.P.A.	Document n°04.069/ 63	Dans le texte
---------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Dans le reste du bassin de Wittelsheim, l'ensemble des puits a été fermé selon une méthode unique mise au point par les M.D.P.A.

La connaissance des conditions de fermeture des puits déjà obturés est nécessaire lorsque l'on envisage une relation hydraulique entre la mine Amélie et le reste du bassin. Il convient en effet de connaître la géométrie des bouchons mis en place pour pouvoir calculer le débit de percolation au travers de ces puits remblayés.

Tous les puits des M.D.P.A. comportent à leur extrémité supérieure un tronçon de revêtement assurant l'étanchéité à la traversée des terrains aquifères. Ces tronçons étanches sont constitués essentiellement de cuvelages de fonte ou d'acier composés de voussoirs boulonnés et munis de joints. Les puits les plus récents ont un revêtement étanche composite constitué d'une chemise d'acier soudée, incluse dans un muraillement de béton. Les scellements en extrémité de ces tronçons étanches reposent sur des trusses et des picotages.

Le puits Alex est le premier puits des M.D.P.A. qui a été fermé et remblayé en 1961. Les travaux d'étanchéité qui avaient été réalisés à cette époque au cours du remblayage, ont conduit à un échec.

Le remblayage était fondé sur la confection de deux serrements d'étanchéité comportant des couches d'argile et de béton situées sous la base du cuvelage et au niveau du premier banc de sel gemme.

Quelques mois après la fin du remblayage, une venue d'eau anormale, saturée en sel est apparue à la mine Bollwiller en relation avec le puits Alex. Des travaux entrepris pour atteindre la base du puits Alex ont montré que cette venue d'eau provenait bien de ce puits.

Après déblaiement de 320 mètres de remblais du puits, une installation d'exhaure fut mise en place à la base de la partie déblayée jusqu'au remblaiement final du puits, plusieurs années après, en utilisant des cendres volantes. Aucune venue d'eau n'a plus été constatée en provenance de la base du puits Alex après ce remblayage.



Grâce à l'expérience acquise au puits Alex, et aux études réalisées, les MDPA ont ensuite adopté un principe de remblayage préservant l'intégralité du cuvelage originel. Cette méthode est détaillée ci-dessous de la base jusqu'au sommet.

- Au bas du puits, le puisard est comblé par des résidus de fabrique.
- Les recettes situées au niveau du gisement potassique sont obturées par des barrages en béton percés de drains.
- Le puits est ensuite comblé par des graviers calibrés et lavés jusqu'à la base de la couche à gypse du Sannoisien où apparaissent les premières venues d'eau conséquentes.
- Mise en place d'un bouchon de suies (cendres volantes de centrales thermiques) sur une cinquantaine de mètres au-dessus des derniers niveaux salifères. Ce bouchon est généralement placé à cheval de part et d'autre de la base du cuvelage étanche.
- La suite du puits est ensuite à nouveau remplie de graviers calibrés jusqu'à proximité de la nappe alluviale.
- Un second bouchon de suies d'une dizaine de mètres d'épaisseur est alors mis en place, depuis 1998, au niveau du mur de l'aquifère alluvial.
- Le sommet du puits est à nouveau comblé par des graviers.

Il convient de noter que ce schéma type peut présenter quelques variantes selon les particularités des puits, notamment dans la présence ou non du bouchon supérieur de suies qui n'a été mis en place que dans les puits remblayés après 1998.

L'efficacité de la méthode de remblayage a été attestée par un certain nombre d'observations :

- Le premier puits remblayé au moyen de cendres volantes a été le puits Fernand Est (bassin de Wittenheim – Ensisheim). La base du puits Fernand Est est restée accessible, au fond, par le puits Fernand Ouest pendant deux années au cours desquelles ont été contrôlées les pressions dans les barrages de la recette, l'état et le débit des drains. Alors que la venue d'eau au travers du cuvelage du puits avant remblayage était de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/mois, il n'a été constaté au cours de la période d'observation, aucune mise en pression des barrages, aucune venue d'eau, aucun tassement du remblai.
- Lors du remblayage du puits Anna Est (bassin de Wittenheim – Ensisheim), des observations similaires ont été conduites pendant deux ans et demi. Aucune venue d'eau n'a été constatée pendant la période d'observation.

Ces observations, ainsi que celles effectuées à chaque remblayage de puits conduisent à considérer que dans la pratique, **les bouchons de cendres volantes se comportent comme s'ils étaient totalement étanches**, probablement en raison du colmatage progressif des vides interstitiels des cendres par la fraction très fine.

**Il faut donc considérer que tous les calculs réalisés pour la durée d'envoyage de la mine ou pour les temps de transit une fois l'équilibre final atteint, donnent des valeurs par excès par rapport à la réalité de terrain.**

Terrains:

Remblai:

**QUATERNAIRE**

sables et graviers 15 à 40 m

**CHATTIEN et/ou STAMPIEN**

marnes et grès

*cuvelage ou revêtement étanche*

couches à  
amphysiles et foraminifères 300 à 500 m

**SANNOISIEN**

Zone salifère supérieure

gypse et anhydrite

1er sel gemme

sel et marnes

gisement potassique 500 à 900 m

*Recettes*

*Puisard*

graviers

bouchon supérieur de suies

10 m

graviers

bouchon inférieur de suies

50 m ou plus

graviers

barrages - béton - drains

résidu de fabrication

### 7.3.3.3. Application à StocaMine

La présence du stockage de déchets de StocaMine dans la mine Amélie conduit à envisager de limiter au maximum les entrées d'eau dans la mine par la mise en place de bouchons de suies les plus imperméables possibles.

D'après la loi de Darcy, le débit de percolation d'eau au travers d'un milieu perméable est donné par la relation suivante.

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = K_v \cdot A \cdot H/e \cdot 3600$$

Avec :

H = charge hydraulique (m).

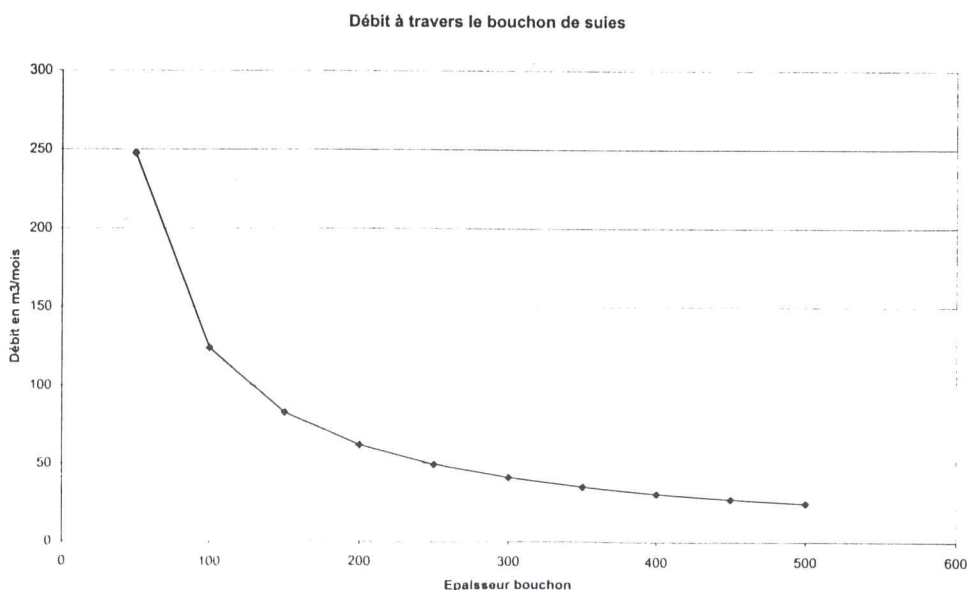
e = épaisseur du bouchon réellement traversée par le flux d'eau (m).

A = section des puits (m<sup>2</sup>).

K<sub>v</sub> = perméabilité verticale des matériaux de remplissage (m/s).

Si l'on considère une charge hydraulique constante, il apparaît clairement que le débit de transit dans un bouchon de suies sera fonction de l'épaisseur de ce dernier.

Ainsi, dans un puits de diamètre de **4,5 mètres** et pour **une charge hydraulique de 520 mètres** la courbe des débits possibles de transit d'eau au travers **d'un bouchon placé à la base du cuvelage**, juste au dessus de la recette la plus haute, montre une forte décroissance des débits mensuels avec l'épaisseur du bouchon.



## 7.4 - SCENARIOS REALISTES D'ENNOYAGE DE LA MINE

### 7.4.1 - Estimation des entrées d'eau dans la mine Amélie (considérée comme isolée)

Evolution de l'ennoyage de la mine Amélie en considérant un débit de 200 m <sup>3</sup> /mois	Document n°04.069/ 64	Dans le texte
-----------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

#### 7.4.1.1. Entrées d'eau à court terme (avant la fermeture des puits)

Dans le cas où la réversibilité du stockage devrait être maintenue, il est nécessaire de tenir compte du débit actuel des puits et d'une éventuelle aggravation de ces derniers pendant les quelques années à venir.

Bien qu'une augmentation soudaine d'une ou plusieurs venues d'eau des puits ne puisse être écartée, un tel événement semble peu vraisemblable compte tenu des observations passées qui ne montrent aucune évolution préjudiciable. Les débits seraient de toute façon facilement contrôlables en augmentant les capacités d'exhaure actuelle.

Parmi les quatre puits (le puits Max est en cours de remblayage), seule l'eau infiltrée par le puits Else est susceptible d'atteindre le stockage à court terme par simple ruissellement. Cependant, compte tenu de la faiblesse du débit observé (< 300 m<sup>3</sup>/mois) ce débit serait facilement exhaustible même en cas d'aggravation. Il serait en outre facile de prendre des dispositions pour empêcher les ruissellements d'atteindre la zone de stockage durant le laps de temps nécessaire à l'obturation ou à la réduction de la venue d'eau.

#### 7.4.1.2. Entrées d'eau à long terme (après la fermeture des puits)

Le temps de remplissage de la mine Amélie dépendra des débits de percolation au travers des bouchons, de leur évolution, ainsi que de la géométrie de l'exploitation minière.

Pour calculer les débits de percolations les plus probables et le temps de remplissage de la mine, il est nécessaire d'adopter certaines hypothèses sur les circulations d'eau et sur les paramètres physiques.

La démarche adoptée ici est la même que celle utilisée par Messieurs COMBES et LEDOUX de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. Cette démarche est en effet la plus appropriée pour quantifier de façon argumentée les différents scénarios d'invasion d'eau.

Les hypothèses et les paramètres retenus sont les suivants :

- Les puits sont remplis de leur base jusqu'à la surface par des cendres volantes.
- L'épaisseur de bouchon prise en compte pour calculer le débit de percolation est celle qui est comprise entre le point d'arrivée d'eau le plus profond dans le puits et la côte de la recette inférieure. Trois cas ont été envisagés et détaillés au paragraphe suivant.
- La charge hydraulique est considérée égale à la hauteur existant entre le niveau piézométrique de la nappe alluviale et la cote de la recette inférieure du puits. Cette charge est considérée constante dans le temps, bien que cette dernière tende vers zéro à partir du moment où l'eau aura atteint la base du puits.
- La section de chaque puits est de 16 m<sup>2</sup> sauf pour le puits Amélie I dont la section est de 23,75 m<sup>2</sup>.
- La perméabilité des matériaux de comblement des puits a été choisie égale à celle des cendres volantes utilisées pour la fermeture des autres puits des MDPA, à savoir  $5,8 \cdot 10^{-7}$  m/s d'après les essais réalisés par l'INERIS.

Le calcul du débit total de percolation a été réalisé d'après la loi de Darçy dans les trois cas suivants.

- En considérant une arrivée d'eau à la cote du niveau perméable le plus bas comme l'avaient fait messieurs Combes et Ledoux.
- En considérant uniquement l'influence de la venue d'eau la plus basse.
- En considérant que le cuvelage étanche empêche l'obturation efficace de l'espace annulaire par les matériaux imperméables du bouchon et que les différentes venues d'eau des puits n'entrent en contact avec le remplissage imperméable qu'à partir de la base du cuvelage étanche.

Les deux premiers cas ne tiennent pas compte d'un éventuel rôle du cuvelage, ni même du muraillement de la partie inférieure. Ils reflètent plutôt des conditions à très long terme ou l'efficacité du cuvelage serait altérée de façon significative.

Le troisième cas envisage un rôle non négligeable du cuvelage en fonte. Ce cas reflète plutôt une situation à court et moyen terme.

**Quelque soit le cas envisagé, les calculs montrent, que l'on obtient un débit similaire d'environ 200 m<sup>3</sup>/mois qui confirme la valeur avancée par messieurs Combes et Ledoux.**

**Tableau des débits de percolation retenus pour les puits de la mine Amélie**

<b>Puits</b>	<b>Else</b>	<b>Joseph</b>	<b>Amélie 1</b>	<b>Amélie 2</b>	<b>Max</b>
<b>Débit de percolation au travers du bouchon de cendres volantes (m<sup>3</sup>/mois)</b>	38	32	46	43	41

#### 7.4.1.3. Durée d'ennoyage de la mine Amélie considérée en système isolé

Avec un débit de 200 m<sup>3</sup>/mois réparti sur les cinq puits de la mine, la durée de l'ennoyage s'échelonne entre **1 200 ans et 3 400 ans** selon la valeur de la porosité initiale retenue après foudroyage.

Par souci de comparaison, si on considère la valeur de porosité de 5% retenue par l'Ecole des Mines de Paris, le site de stockage qui est situé entre -300 et -240 NGF sera atteint par l'eau au bout d'environ 1 200 ans. A partir de ce moment les déchets seront susceptibles d'être au contact de l'eau en fonction des conditions de confinement adoptées. Il faudra encore attendre 1 100 ans pour que la mine soit entièrement remplie.

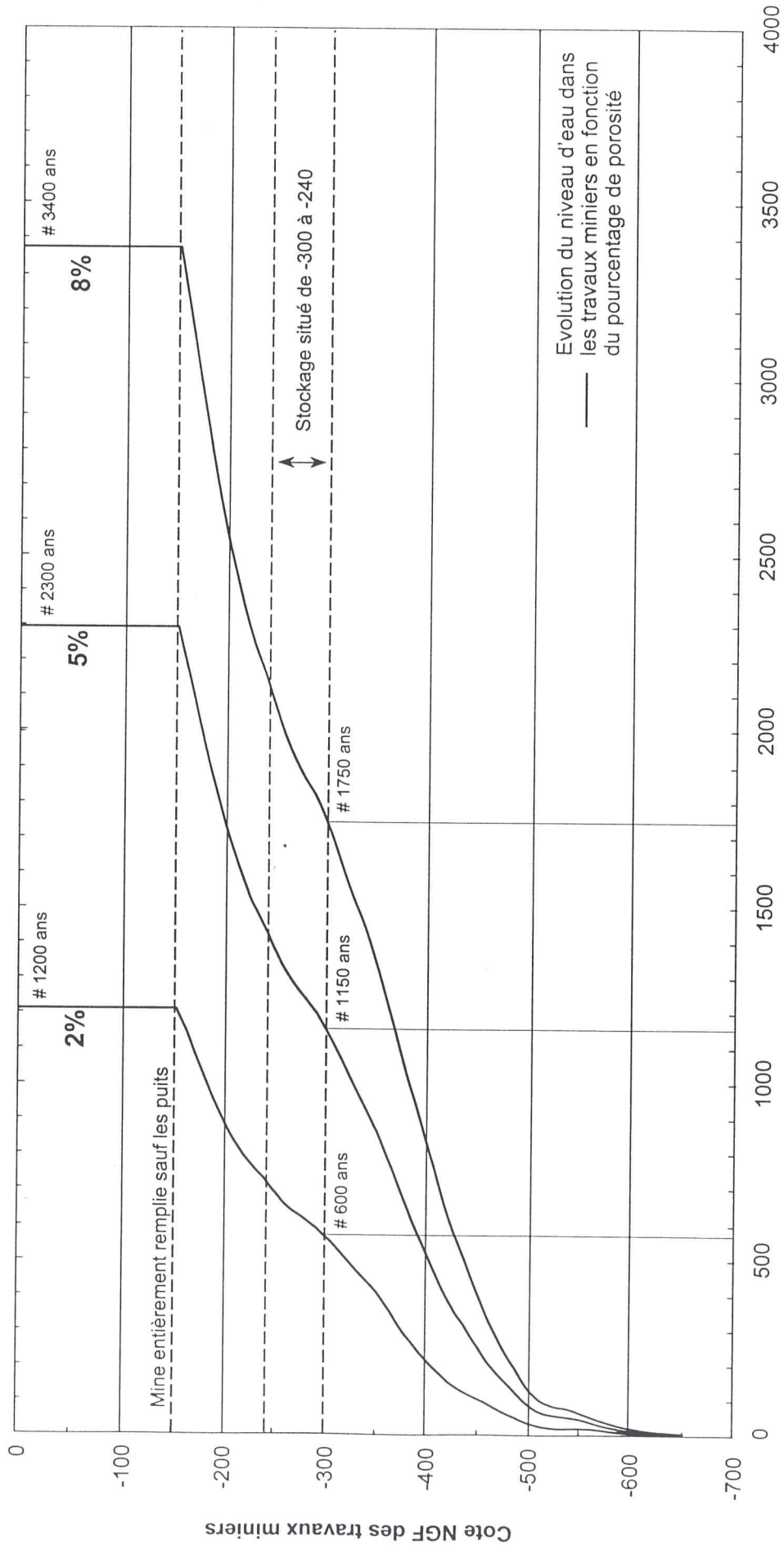
Ce n'est donc qu'au bout d'environ 2300 ans que l'eau sera susceptible de ramener à la surface une éventuelle contamination issue du stockage. Cette valeur est concordante avec celle avancée par l'Ecole des Mines de Paris qui considérait la mine Amélie comme un système isolé.

#### **Mine Amélie en système isolé : estimation de la durée de l'ennoyage**

Mine Amélie (dont StocaMine)	Volume à envoyer pour une porosité initiale de 2%	Volume à envoyer pour une porosité initiale de 5%	Volume à envoyer pour une porosité initiale de 8%
Volume de vides résiduels estimés	2 900 000 m <sup>3</sup>	5 490 000 m <sup>3</sup>	8 000 000 m <sup>3</sup>
Temps de remplissage en années avec un débit d'alimentation de 200 m <sup>3</sup> /mois	<b>1 200</b>	<b>2 300</b>	<b>3 400</b>



<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>REMPLISSAGE DE LA MINE AMELIE</b> <b>EN CONSIDERANT UN DEBIT DE 200 m<sup>3</sup>/mois</b>	Mars 2004



Temps de remplissage en années en considérant un débit d'alimentation de 200 m<sup>3</sup>/mois

#### 7.4.2 - Estimation des entrées d'eau dans l'ensemble du bassin de Wittelsheim

Débits de percolation au travers des bouchons des puits du Nord du bassin de Wittelsheim	Document n°04.069/ 65	Dans le texte
------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Le calcul de ce débit de percolation dans les puits déjà remblayés du bassin de Wittelsheim a été conduit selon la même démarche que celle appliquée pour les puits de la mine Amélie mais avec les hypothèses et les paramètres suivants :

- Les cotes exactes de mise en place des bouchons de suie ont été prises en compte.
- L'épaisseur de remplissage utilisé pour calculer le débit de percolation correspond à l'épaisseur du bouchon inférieur de suies.
- La charge hydraulique est considérée égale à la hauteur existant entre le niveau piézométrique de la nappe alluviale et la base de chaque bouchon inférieur de suies. En effet, compte tenu de la mise en place de drains et de graviers calibrés au-dessous du bouchon inférieur, aucune accumulation d'eau n'y est possible. Par ailleurs, l'effet du premier bouchon n'a pas été pris en compte, car les puits possèdent des arrivées d'eau situées sous ce bouchon et ces dernières suffisent amplement à fournir la quantité d'eau qui percole au travers du bouchon inférieur.
- La section de chaque puits a été calculée en fonction du diamètre du cuvelage intérieur.
- La perméabilité choisie est celle des cendres volantes (suies) utilisées pour la fermeture des puits des MDP, à savoir  $5,8 \cdot 10^{-7}$  m/s.

Les calculs indiquent un débit total d'infiltration par le biais des puits d'environ 1 600 m<sup>3</sup>/mois (cf. tableau). En tenant compte des 200 m<sup>3</sup>/mois qui s'infiltrent directement dans la mine Amélie, on obtient donc un **débit total d'infiltration de 1 800 m<sup>3</sup>/mois.**

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>DEBIT DE PERCOLATION AU TRAVERS  DES BOUCHONS DES PUIITS DU NORD DU  BASSIN DE WITTELSHEIM</b>	Mars 2004

	Berrwiller	Staffelden	Marie	Louise	Schoenensteinbach	Rodolphe 1	Rodolphe 2	Alex	Ungersheim 1	Ungersheim 2
Z sol (NGF)	263	251	247	247	236	235	235	235	225	225
Niveau piézométrique (NGF)	262	250	245	245	235	234	234	234	223	223
Profondeur de la base du cuvelage (m)	98	326	195	215	385	283	304	350	324	304
Profondeur du 1er sel gemme (m)	420	487	356	407	525	395	405	451	456	447
Profondeur du sommet du bouchon de sules (m)	388	253	170	185	348	253	274	110	280	277
Profondeur de la base du bouchon de sules (m)	483	429	220	235	445	303	324	364	344	324
Charge hydraulique à la base du bouchon (H)	482	428	218	233	444	302	323	363	342	322
Epaisseur du bouchon (e)	95	176	50	50	97	50	50	254	64	47
Gradient hydraulique (H/e)	5,07	2,43	4,36	4,66	4,58	6,04	6,46	1,43	5,34	6,85
Débit unitaire (q) en m3/mois	7,63	3,66	6,55	7,01	6,88	9,08	9,71	2,15	8,03	10,30
Diamètre du puits (m)	6,05	6,3	4,5	4,5	6,3/5,9	4,5	5,5	4,5	5,5	5,5
Superficie du puits (m2)	28,7	31,2	15,9	15,9	27,3	15,9	23,8	15,9	23,8	23,8
Débit total de chaque puits (Q) en m3/mois	219,3	114,0	104,2	111,4	188,1	144,4	230,7	34,2	190,9	244,7

Débit total des puits **1 582** m3/mois

### 7.4.3 - Estimation de la durée de l'ennoyage du bassin de Wittelsheim

#### 7.4.3.1. Durée de l'ennoyage

Evolution de l'ennoyage du bassin de Wittelsheim en considérant un débit de 1 800 m <sup>3</sup> /mois	Document n°04.069/ 66	Dans le texte
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Compte tenu des réserves émises au § 7.2 concernant l'étanchéité du stot de 20 m séparant les mines Amélie et les autres mines du bassin de Wittelsheim, il est nécessaire d'envisager le scénario d'un ennoyage commun des travaux miniers de l'ensemble du bassin.

Avec un débit de 1800 m<sup>3</sup>/mois, il faut entre **270 ans et 800 ans** pour remplir la totalité des vides miniers en fonction de la valeur de la porosité initiale retenue après foudroyage.

En considérant à titre indicatif la valeur de porosité de 5% retenue par l'Ecole des Mines de Paris, il faudrait environ 400 ans pour que le site de stockage commence à être ennoyé (cf. courbe). L'ennoyage total du site de stockage qui s'échelonne entre -300 et -240 NGF durerait ensuite une vingtaine d'années.

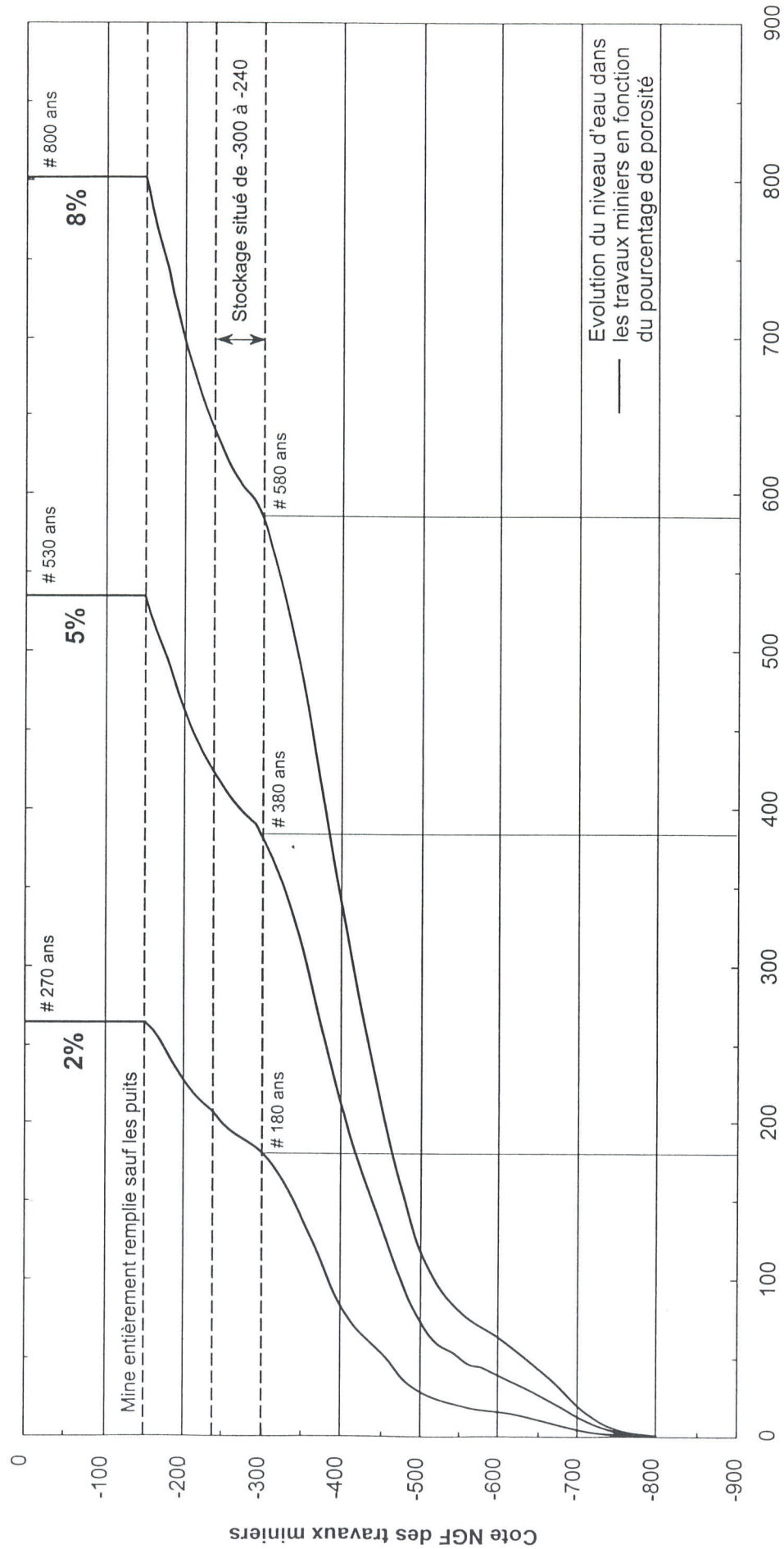
L'ennoyage total de la mine serait effectif au bout d'environ **500 ans**. Ce n'est qu'à partir de ce moment là, qu'une circulation hydraulique serait susceptible de ramener à la surface une éventuelle contamination issue des déchets du stockage.

Si l'on compare, avec une porosité résiduelle de 5%, le temps de remplissage total des travaux miniers de la mine Amélie (2300 ans) à celui du bassin de Wittelsheim (530 ans), on constate que le site de stockage sera ennoyé 4 fois plus vite si le stot séparant les deux mines n'est pas étanche.

#### **Bassin de Wittelsheim : estimation de la durée de l'ennoyage**

Bassin de Wittelsheim	Volume à ennoyer pour une porosité initiale de 2%	Volume à ennoyer pour une porosité initiale de 5%	Volume à ennoyer pour une porosité initiale de 8%
Volume de vides résiduels estimés	5 800 000 m <sup>3</sup>	11 500 000 m <sup>3</sup>	17 300 000 m <sup>3</sup>
Temps de remplissage en années avec un débit d'alimentation de 1800 m <sup>3</sup> /mois	<b>270</b>	<b>530</b>	<b>800</b>

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	MICA Environnement
	REPLISSAGE DES MINES DU BASSIN DE WITTELSHEIM EN CONSIDERANT UN DEBIT DE 1800 m <sup>3</sup> /mois	Mars 2004



#### 7.4.3.2. Conditions d'ennoyage

Dans le détail, on peut calculer les temps de remplissages des zones d'exploitations séparées par les seuils hydrauliques de -450 et -250 NGF en fonction des puits qui les alimentent (cf. carte).

- Seuil de - 450 m NGF

Le seuil de - 450 m sépare l'extrémité Nord de la Mine Marie-Louise en deux zones Ouest et Est qui seront respectivement alimentées par les puits Berrwiller et Staffelfelden et par les puits Ungersheim 1 & 2, Alex, Rodolphe 1 & 2, Marie, Louise et Schoenensteinbach.

En considérant un débit d'alimentation de 330 m<sup>3</sup>/mois pour la zone Ouest, et un débit d'alimentation de 1400 m<sup>3</sup>/mois pour la zone Est, on s'aperçoit que les deux zones seront quasiment remplies en même temps. Il n'y aura donc pas ou très peu de phénomène de surverse d'une zone à l'autre.

	Cas d'une porosité de 2%	Cas d'une porosité de 5%	Cas d'une porosité de 8%
Temps de remplissage de la zone Nord-Ouest à raison d'un débit de 330 m <sup>3</sup> /mois	88 ans	220 ans	352 ans
Temps de remplissage de la zone Nord-Est à raison d'un débit de 1400 m <sup>3</sup> /mois	91 ans	226 ans	362 ans
Temps de remplissage total des deux zones à raison d'un débit de 1740 m <sup>3</sup> /mois	89 ans	223 ans	356 ans

- Seuil de - 250 m NGF

Le seuil de - 250 m sépare deux zones d'exploitation d'étendue très inégale.

- La zone Ouest couvre une grande partie de l'exploitation minière. Elle est alimentée par tous les puits sauf le puits Max. Le débit d'infiltration total est de 1760 m<sup>3</sup>/mois.
- La zone Est correspond à une zone d'exploitation beaucoup plus réduite et morcelée, qui n'est alimentée que par les infiltrations du puits Max (40 m<sup>3</sup>/mois).

A raison d'un débit de 1760 m<sup>3</sup>/mois et en considérant une porosité de 5%, la zone Ouest sera remplie en environ 430 ans. Durant cette période environ 206 000 m<sup>3</sup> d'eau seront rentrés par le puits Max et il restera 439 000 m<sup>3</sup> à remplir à raison d'un débit de 1 800 m<sup>3</sup>/mois. En 20 ans tout sera plein.

Au final il faudra donc environ 450 ans pour que tout les travaux miniers situés sous la cote -250 soient ennoyés.

	Cas d'une porosité de 2%	Cas d'une porosité de 5%	Cas d'une porosité de 8%
Temps de remplissage de la zone Nord-Ouest à raison d'un débit de 1760 m <sup>3</sup> /mois	174 ans	430 ans	685 ans
Temps de remplissage de la zone Nord-Est à raison d'un débit de 40 m <sup>3</sup> /mois	625 ans	1 345 ans	2 060 ans
Temps de remplissage total des deux zones à raison d'un débit de 1800 m <sup>3</sup> /mois	180 ans	445 ans	710 ans

#### **7.4.4 - Phénomène de mise en pression de l'atmosphère de la mine (bassin de Wittelsheim)**

Suite à l'obturation définitive par des matériaux très peu perméables de tous les puits, l'air emprisonné dans la mine va être progressivement compressé sous l'action de deux phénomènes :

- d'une part, la convergence des vides miniers sous l'effet du poids des terrains sus-jacents,
- d'autre part, la compression de l'air au fur et à mesure de l'ennoyage des travaux miniers (zones foudroyées + galeries).

La loi de Mariotte précise qu'à température constante (ce qui sera le cas compte tenu de la lenteur du phénomène), le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression qu'il reçoit.

##### **7.4.4.1. Quantification du volume d'air final sous pression**

En admettant qu'il n'y ait pas de fuite ni de mise en solution de l'air de la mine, on peut calculer le volume d'air sous pression qui subsistera dans la zone haute des travaux une fois la mine remplie.

L'ensemble de l'exploitation de potasse a été pris en compte pour ce calcul. Le volume d'air initialement piégé a été estimé pour les trois valeurs de porosité précédente, à savoir 2 %, 5 % et 8 % du volume exploité.

Compte tenu de la géométrie de l'exploitation, on peut considérer que les poches d'air locales seront négligeables et que la quasi totalité de l'air sera progressivement comprimée vers la zone située au Sud et au Sud-Est des puits Joseph et Else.

En considérant un niveau statique final à 263 NGF (Niveau piézométrique au puits Joseph et Else), un point bas de la mine à -850 NGF et un point haut de la mine à -150 NGF, le volume d'air initialement piégé sera soumis à un gradient de pression variant de 130 bar à 44 bar en considérant une densité de 1 g/cm<sup>3</sup> pour l'eau douce située au-dessus du toit du sel et une densité de 1,23 g/cm<sup>3</sup> pour l'eau saturée en KCl et NaCl située sous le toit du sel. L'interface eau douce / saumure étant situé au toit du sel à -34 NGF dans le puits Else.

En discrétisant le volume de la mine par tranches de 50 m d'épaisseur et en calculant la variation de volume pour chaque tranche d'altitude, on peut approximativement déterminer le volume d'air qui subsistera après l'envoyage total des travaux.

Le volume d'air initial de la mine a été estimé en tenant compte des superficies exploitées, de leur épaisseur moyenne (1,5 m pour la couche supérieure et 4 m pour la couche inférieure) et d'un pourcentage de vide après foudroyage (porosité).

Porosité	2 %	5 %	8 %
<b>Volume d'air initial de la mine foudroyée</b>	5 800 000 m <sup>3</sup>	11 500 000 m <sup>3</sup>	17 300 000 m <sup>3</sup>
<b>Volume d'air sous pression après envoyage total de la mine en négligeant la convergence de la mine et d'éventuelles fuites</b>	88 000 m <sup>3</sup>	170 000 m <sup>3</sup>	255 000 m <sup>3</sup>
<b>Temps nécessaire pour remplir la mine en considérant un débit de 1800 m<sup>3</sup>/mois</b>	270 ans	530 ans	800 ans

Compte tenu des approximations de calcul, des incertitudes inhérentes à la géométrie de la mine et à la porosité exacte des couches foudroyées on peut globalement considérer qu'il peut y avoir formation d'une zone non saturée en eau dont le volume d'air sera compris entre 88 000 et 255 000 m<sup>3</sup> au Sud des puits Joseph et Else.

Compte tenu de la géométrie de la mine dans cette zone, **le niveau d'eau devrait se stabiliser vers -180 NGF**. En tenant compte d'un niveau piézométrique à 236 m NGF et d'une interface eau douce / saumure à -34 NGF, la « poche d'air » serait alors à **une pression d'environ 48 bars** en considérant que le phénomène de convergence de la mine est bien plus lent que celui de la montée de l'eau dans la mine.



Sous l'effet de la convergence des travaux miniers, la pression devrait ensuite augmenter jusqu'à être en équilibre avec la pression des terrains. En considérant une densité moyenne de  $2,45 \text{ g/cm}^3$  on obtient une pression maximale finale d'environ 110 bars au niveau de la couche inférieure dans la zone située au Sud des puits Joseph et Else.

Ces calculs ne prennent pas en compte une possible évacuation de l'air par fuite au travers des puits et des terrains argileux sus-jacent, car il est très difficile d'appréhender l'importance de ce phénomène, surtout sur le long terme. Cette éventualité n'allongerait de toute façon que de 4 à 12 ans le temps de remplissage total de la mine sans apporter de changements particuliers. On peut par analogie avec les gisements de gaz, estimer que les terrains tertiaires sus-jacents seront totalement imperméable à toute migration vers la surface de ce volume d'air.

#### 7.4.4.2. Evacuation des gaz sous pression

Hormis le cas où un sondage viendrait trépaner la zone sous pression (cf. scénarios accidentels), les gaz pressurisés sont susceptibles d'être évacués naturellement de deux façons.

- Par une remontée sous forme gazeuse au profit d'un point de faiblesse de la couverture étanche (puits, sondage, fissure).
- Par dissolution progressive dans l'eau et entraînement vers la surface au profit d'une circulation établie entre des puits amont et aval de l'exploitation minière.

Seul le cas d'une remontée sous forme gazeuse sera envisagé. Ce phénomène est en effet le plus préoccupant car si les conditions sont réunies, ce phénomène a toutes les raisons de survenir avant que la mine ne soit totalement remplie d'eau et qu'une circulation hydraulique puisse commencer à évacuer les gaz par dissolution.

A une profondeur donnée, une poche d'air de la mine voit, après ennoyage total, sa pression maximale varier dans le temps, entre la pression exercée par le poids de la colonne d'eau saturée en KCl et NaCl (densité  $=1,23 \text{ g/cm}^3$ ) et le poids des terrains (densité moyenne  $= 2,45 \text{ g/cm}^3$ ).

Au-dessus de la zone où s'accumulera l'air de la mine et éventuellement les gaz issus des déchets entreposés dans le stockage, l'épaisseur des terrains est d'environ 400 mètres. Les fissures occasionnées par le foudroyage du toit des couches exploitées, n'intéressent qu'une tranche de terrains épaisse d'environ 80 mètres au dessus de la couche exploitée. (Cette tranche est épaisse au maximum de 200 mètres au droit du stockage). Au-dessus de cette tranche de terrain, les déformations occasionnées par le foudroyage sont souples. **La probabilité de remontée de gaz par le biais de fissures occasionnées par l'exploitation est donc pratiquement nulle.**

Les sondages qui ont atteint les couches de potasse ont tous été rebouchés au moyen de différents matériaux tel que le ciment, l'argile et les graviers. Abstraction faite des problèmes de perméabilité à l'eau, ces bouchons présentent une densité globale similaire à celle des terrains encaissants. **Compte tenu de la pression que les terrains exercent sur ce remplissage une fois le tubage enlevé, on peut considérer que la situation reste stable et que les gaz ne peuvent s'échapper de la mine par ce biais.**

De même si un puits est rebouché de façon compacte avec des matériaux très peu perméables depuis sa base jusqu'à la surface, on se retrouve dans le cas d'un sondage et aucune remontée de gaz intempestive n'est à craindre.

Cependant, dans le cas des puits, deux cas particuliers doivent être envisagés.

- Contrairement aux sondages où le tubage est la plupart du temps enlevé, le cuvelage du puits est laissé en l'état au moment de son comblement. Si le matériau fin imperméable mis en place dans le puits n'assure pas un colmatage total de l'espace annulaire, on peut envisager que l'air sous pression rejoigne la surface par le biais de cet espace annulaire.
- Dans le cas des MDPA, la procédure adoptée pour la fermeture des puits consiste à établir un premier bouchon étanche en cendres volantes d'une cinquantaine de mètres au-dessus d'un remplissage de graviers épais de quelques centaines de mètres.

Le bouchon construit en pied de puits pour bloquer les matériaux de remblayage est percé de drains pour éviter toute accumulation d'eau dans la colonne de graviers sus-jacent. **On peut donc considérer que la pression des gaz s'exerce de façon identique dans la mine et à la base du bouchon de cendres volantes.**

Dans le cas des puits Joseph et Else qui sont proches de la zone d'accumulation, de l'air, il serait préférable d'éviter que la pression des gaz ne soit supérieure à celle du bouchon du puits pour ne pas engendrer de situation instable lorsque la mine sera entièrement remplie de saumure.

Le volume d'air piégé à la base de chacun de ces puits a été estimé à 10 000 m<sup>3</sup>. Ce volume subira une pression hydrostatique d'environ 55 bars. La base du premier bouchon étanche, réalisé en cendres volantes, doit se situer au moins à 225 m de profondeur pour exercer une pression lithologique équivalente.

Si l'on tient compte d'une augmentation de la pression liée à la convergence de la mine, il est nécessaire d'envisager un bouchon étanche plus important, de préférence dans la partie inférieure du puits. Cette remarque va dans le sens des préconisations de remblayage de ces puits développées au chapitre 8, et destinées à limiter les infiltrations d'eau dans la mine par le biais de ces puits .

## Puits Joseph et Else : calcul de l'épaisseur minimale du bouchon de cendres volantes

	Puits Joseph	Puits Else
Z jour	269,5 m	268,5 m
Niveau piézométrique	263 m	263 m
Z fond	-258 m	-226 m
Pression hydrostatique à la base du puits	57 bar	53 bar
Epaisseur minimale du bouchon étanche	233 m	216 m

### 7.4.5 - Equilibre final du système

Lorsque l'envoyage de la mine aura rempli les vides jusqu'à la cote -180 m NGF (altitude de l'interface eau/air sous pression), un équilibre hydrodynamique va s'établir en quelques années entre les puits mis en communication par les travaux miniers.

Cet équilibre hydrodynamique conditionne les éventuelles circulations susceptibles d'entraîner une contamination issue des déchets vers la surface.

#### 7.4.5.1. Equilibre final en considérant la mine Amélie comme un système isolé

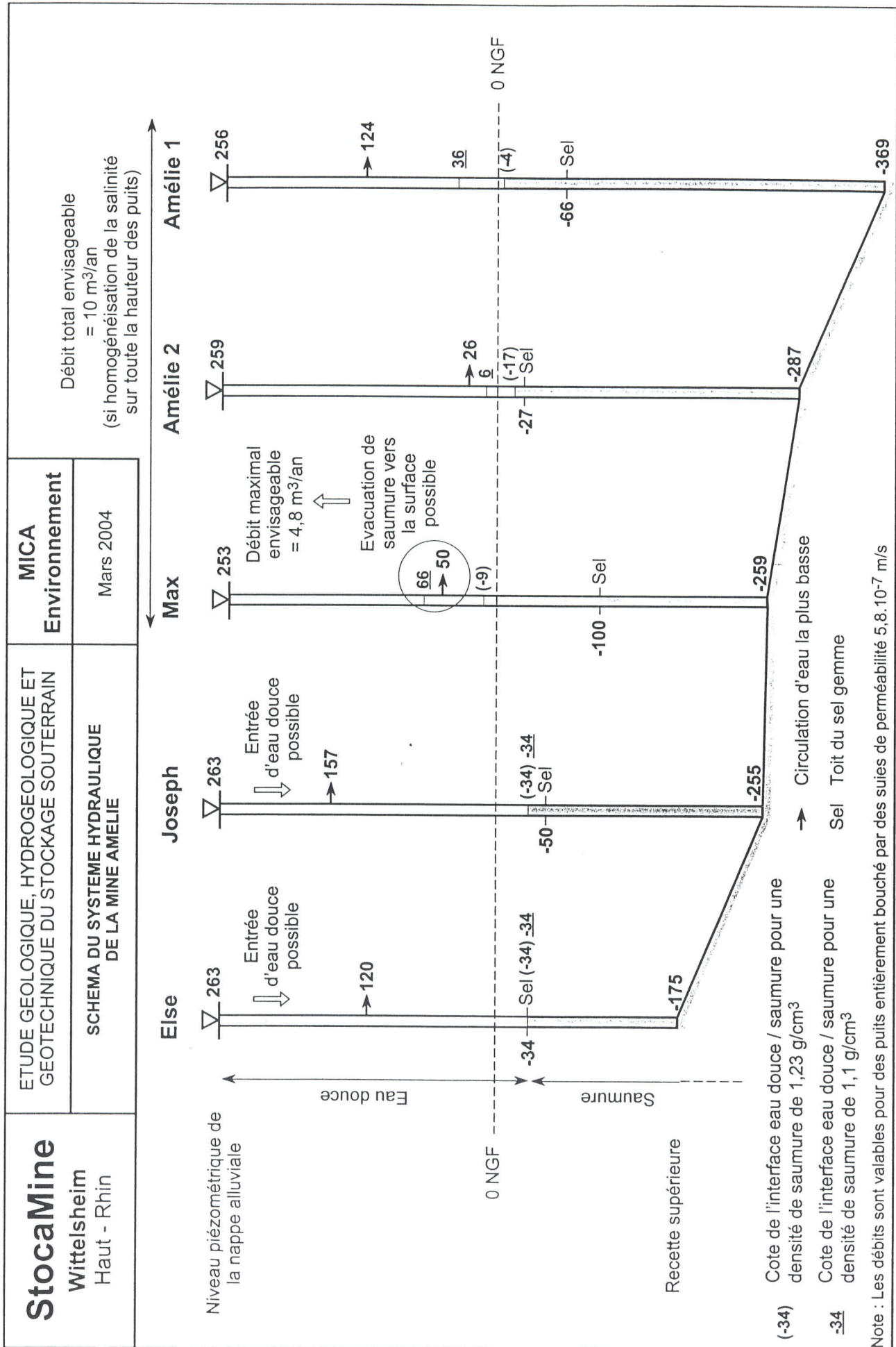
Schéma du système hydraulique de la mine Amélie	Document n°04.069/ 67	Dans le texte
Coupe hydrogéologique EW, au niveau du stockage	Document n°04.069/ 68	Dans le texte

L'équilibre hydrodynamique qui va s'établir entre les 5 puits de la mine dépendra de la géométrie du système, de la charge hydraulique des aquifères concernés et de la densité (salinité) des eaux.

La figure suivante schématise les quatre paramètres géométriques qui contrôlent le système hydraulique. A savoir :

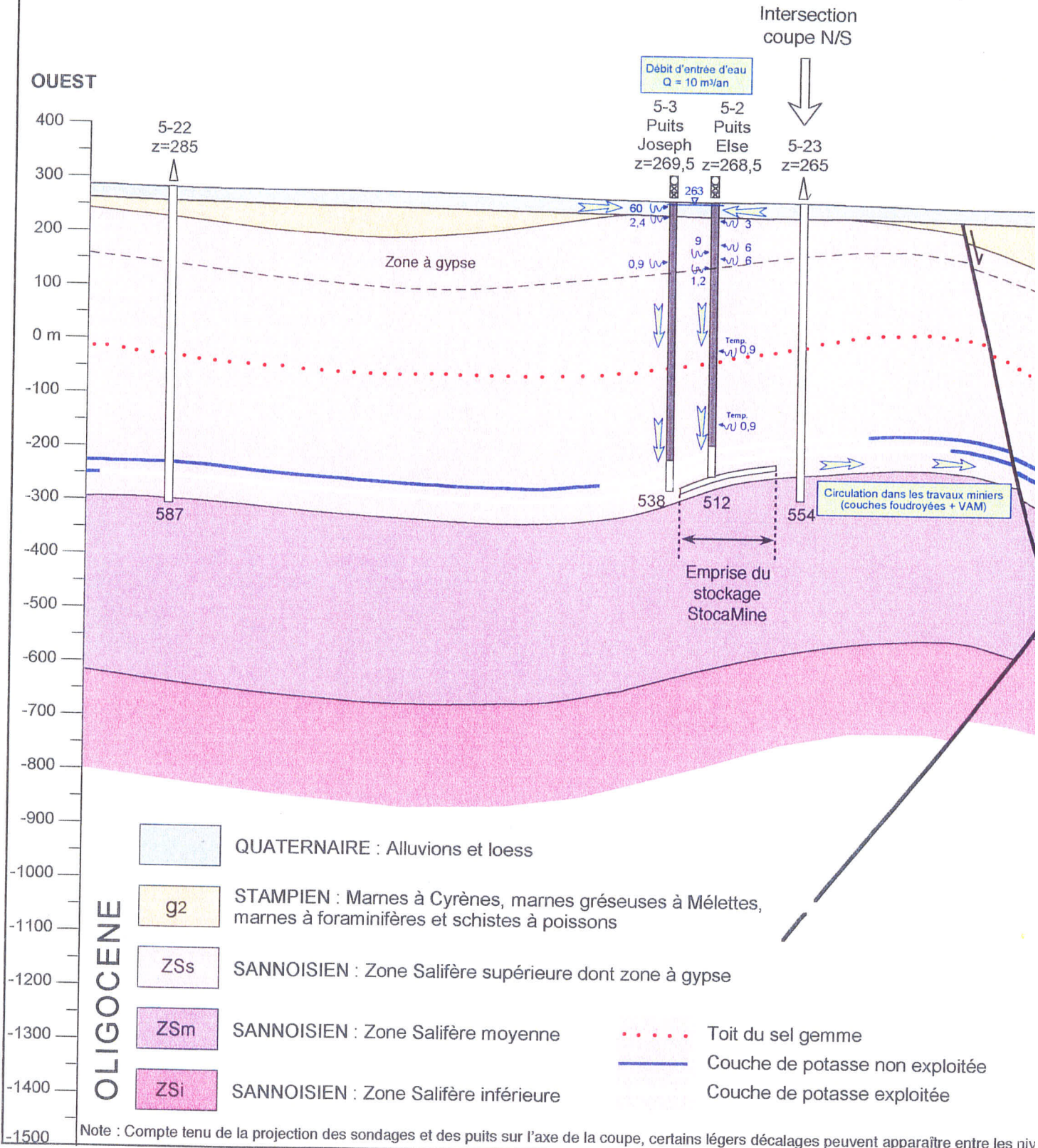
- Le niveau piézométrique de la nappe alluviale.
- La cote de la venue d'eau la plus basse.
- La cote du toit du sel.
- La cote de la recette supérieure des travaux miniers.

Plusieurs équilibres sont envisageables, selon la profondeur à laquelle on admet que l'eau douce peut descendre dans le puits Else qui constituera de par sa situation et sa configuration l'amont hydraulique des autres puits (excepté le puits Joseph qui est à la même cote piézométrique).



ECHELLE HORIZONTALE : 1 / 25 000  
 ECHELLE VERTICALE : 1 / 10 000

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETU GEO
	CO Circ



Si l'interface entre l'eau douce et la saumure est abrupt, le cas le plus probable et aussi le plus défavorable, est celui où l'eau sera saturée en sel dès l'apparition du sel gemme, soit à la cote -34 m NGF dans le puits Else.

Par ajustement hydrostatique, l'interface eau douce / eau saturée s'établira alors dans les autres puits à des cotes qui seront fonction de la différence de charge hydraulique de la nappe alluviale laquelle est considérée comme étant à l'origine de l'alimentation de toutes les venues d'eau rencontrées. **Les pertes de charges dans le système sont considérées comme nulles compte tenu de l'extrême lenteur des écoulements.**

La densité de l'eau saturée retenue pour les calculs est celle d'une solution saturée en KCl et NaCl à 20°C soit 1,23. L'augmentation de densité liée à la température de la roche égale à 35°C vers 500 m de profondeur (# -250 NGF) est négligeable.

Le tableau suivant donne la variation de la composition d'une saumure saturée en KCl et NaCl en fonction de la température.

Température en °C	20°	30°	40°	60°
Teneur en KCl (g/l)	126	145	163	199
Teneur en NaCl (g/l)	250	250	243	230
Densité de la saumure saturée	1,230	1,233	1,236	1,238

L'altitude de l'interface eau douce / eau saturée ( $Z_i$ ) dans un puits est donnée par la relation suivante.

$$Z_{i_{\text{puits}}} = Z_{i_{\text{else}}} + \Delta h / (d_s - d_e)$$

Avec :

- $Z_{i_{\text{puits}}}$  : Altitude de l'interface saumure saturée / eau douce
- $Z_{i_{\text{else}}}$  : Altitude de l'interface dans le puits Else
- $\Delta h$  : Différence de charge hydraulique avec le puits Else
- $d_s$  : Densité de la saumure saturée (# 1,23)
- $d_e$  : Densité de l'eau douce (# 1 )

Le tableau suivant résume les cotes des interfaces eau douce / saumure dans les différents puits en fonction de l'altitude de l'interface eau douce / saumure envisagée dans le puits Else et de la densité choisie pour la saumure.

### Estimation des cotes de l'interface eau douce / eau salée dans les puits de la mine Amélie

	Else	Joseph	Amélie I	Amélie II	Max
Niveau piézométrique (NGF)	263	263	256	259	253
Cote de la dernière venue d'eau (NGF)	120	157	124	26	50
Cote recette supérieure (NGF)	-175	-255	-369	-287	-259
Altitude NGF de l'interface en considérant que le puits Else contient de l'eau douce jusqu'au toit du sel et une densité de saumure de 1,100	-34	-34	36	6	66
Altitude NGF de l'interface en considérant que le puits Else contient de l'eau douce jusqu'au toit du sel et une densité de saumure de 1,200	-34	-34	1	-14	16
Altitude NGF de l'interface en considérant que le puits Else contient de l'eau douce jusqu'au toit du sel et une densité de saumure de 1,230	-34	-34	-4	-17	9

Si l'interface entre les eaux de densités différentes ( $d > 1,2$ ) est abrupt, on constate que l'interface eau douce / saumure dans les autres puits est toujours situé en dessous la cote de la venue d'eau la plus basse dans le puits considéré. **Le système est donc stable et il n'y a pas lieu d'envisager une remontée d'eau profonde chargée d'une éventuelle contamination.**

En revanche si l'on envisage une eau incomplètement saturée (densité de 1,1 pour une salinité de 150 g/l) on constate qu'il peut y avoir un entraînement d'eau profonde salée par la circulation d'eau la plus basse du puits Max (cf. tableau).

L'expérience montre, que dans de pareils cas, il existe toujours un passage progressif de l'eau douce à la saumure : l'impact d'un tel scénario sur une possible remontée d'eau salée contaminée est à envisager.

Le cas extrême serait celui où l'eau des puits présenterait une densité inférieure à 1,1 et serait plus ou moins homogène sur toute la hauteur des puits. Dans ce cas le débit théorique maximal transitant dans le système constitué par les travaux miniers et les 5 puits, sous l'effet du seul gradient hydraulique peut se calculer en considérant les hypothèses suivantes :

- Le moteur de la circulation de l'eau est la différence de charge hydraulique qui existe entre les puits amont (Else et Joseph) et les puits aval. Cette différence de charge hydraulique a été considérée égale à la différence d'altitude du niveau piézométrique qui est plus importante, et donc plus pénalisante, que celle liée à la différence de salinité et donc de poids des colonnes d'eau.
- La perméabilité des bouchons de cendres volantes des puits est considérée égale à  $5,8 \cdot 10^{-7}$  m/s.
- La perméabilité des travaux miniers (Voies Au Mur et zones foudroyées) est considérée comme très grande par rapport à celle des bouchons. Les pertes de charges sont donc considérées comme nulles entre les différents puits.
- La longueur des bouchons prise en compte dans les calculs est égale à la somme des bouchons des deux puits amont et aval considérés.

Dans le cas de la mine Amélie considérée comme un système isolé, la configuration géométrique indique que les puits Else et Joseph constitueraient les entrées du système et les puits Amélie I, Amélie II et Max les exutoires potentiels du système.

L'application de la loi de Darcy montre **qu'un tel système conduit à un flux maximal sortant des puits aval d'environ 10 m<sup>3</sup>/an**.

#### Evaluation du débit de transit dans la mine Amélie prise en système isolé

	Puits amont		Puits aval		
	Else	Joseph	Amélie I	Amélie II	Max
Niveau piézométrique (NGF)	263	263	256	259	253
Cote de la dernière venue d'eau (NGF)	120	157	124	26	50
Cote recette supérieure (NGF)	-175	-255	-369	-287	-259
Charge hydraulique entre les puits amont et aval après retour à l'état initial (m)	0	0	7	4	10
Epaisseur cumulée des bouchons des puits amont et aval considérés (m)	-	-	788	608	604
Section des puits (m <sup>2</sup> )	16	16	23,75	16	16
Débit total par puits en m <sup>3</sup> /an	-	-	3,8	1,9	4,8
	Total =		<b>10,5 m<sup>3</sup>/an</b>		



#### 7.4.5.2. Equilibre final en considérant les puits du Bassin de Wittelsheim

Schéma du système hydraulique du bassin minier de Wittelsheim	Document n°04.069/ 69	Dans le texte
Position théorique de l'interface eau douce / saumure à l'équilibre hydrostatique pour différentes densités de saumure.	Document n°04.069/ 70	Dans le texte
Carte des flux et des temps de transit une fois l'équilibre hydrodynamique atteint au 1 : 50 000	Document n°04.069/ 71	Dans le texte
Carte des flux et des temps de transit une fois l'équilibre hydrodynamique atteint au 1 : 25 000	Document n°04.069/ 72	En annexe
Coupe hydrogéologique N - S	Document n°04.069/ 73	Dans le texte
Coupe hydrogéologique E - W au droit des puits Marie et Louise	Document n°04.069/ 74	Dans le texte

L'équilibre hydrostatique ou hydrodynamique qui va s'établir entre les 15 puits du bassin de Wittelsheim dépendra de la géométrie du système, de la charge hydraulique des aquifères concernés et de la densité (salinité) des eaux.

#### **Calculs en conditions hydrostatiques**

L'application de la démarche précédente concernant le positionnement de l'interface eau douce / saumure dans les puits montre qu'en cas d'équilibre hydrostatique simple, l'interface saumure / eau douce remonte au maximum jusqu'à 140 m NGF dans les puits Ungersheim, soit environ 85 m sous le niveau de la nappe alluviale (cf. schéma du système hydraulique du bassin minier de Wittelsheim). **Dans ces conditions, la saumure saturée de densité 1,23 g/cm<sup>3</sup> ne pourrait pas ressortir directement par les puits dans la nappe alluviale.**

Dans le cas où il n'y aurait aucune circulation d'eau ailleurs que dans l'aquifère alluvial, l'équilibre hydrostatique ne serait plus possible pour une saumure de densité inférieure à 1,15, laquelle serait alors entraînée vers la nappe alluviale (graphique sur la position théorique de l'interface eau douce / saumure à l'équilibre hydrostatique pour différentes densités de saumure).

La réalité de cet équilibre hydrostatique doit être tempérée. Si l'on considère les six puits les plus en aval du système hydraulique minier, on s'aperçoit que ces ouvrages ont traversé des horizons aquifères dans les terrains du Stampien et dans la zone à gypse de la Zone Salifère Supérieure jusqu'à -100 NGF en moyenne.

**Ces observations conduisent à envisager l'hypothèse selon laquelle ces circulations d'eau pourraient diluer et entraîner la saumure saturée au contact des puits.** Cette saumure éventuellement chargée en polluant pourrait ainsi être entraînée dans les niveaux perméables du Stampien, et/ou sous l'effet de la dilution voir la salinité et donc la densité de la saumure diminuer et entraîner une remontée de saumure non saturée jusqu'à la surface.

## Calculs en conditions hydrodynamiques

Dans les calculs précédents, les équilibres ont été déterminés en considérant que la saumure était toujours saturée ( $d = 1,23$ ) sous la cote  $-34$  m NGF du puits Else (toit du sel).

Dans la réalité, au niveau des puits pouvant assurer un rôle d'exutoire, il est probable que la saumure sera diluée de façon importante dès les premiers niveaux aquifères de la zone à gypse et du Stampien. En l'absence de la connaissance exacte des niveaux aquifères, il a été considéré que ces derniers étaient présents jusqu'à la base des cuvelages étanches.

En partant sur cette base, les calculs ont été conduits en comparant chacun des six puits exutoire à la colonne d'eau présente dans le puits Else.

Dans ces conditions, la cote théorique de l'interface eau douce / saumure ( $Z_{i\text{puits}}$ ) est donnée par la relation suivante.

$$Z_{i\text{puits}} = ((\Delta Z(Z_{NP\text{else}} / Z_{i\text{else}}) * d_e + \Delta Z(Z_{i\text{else}} / Z_{bc}) * d_s) / d) + Z_{bc}$$

Avec :

$Z_{i\text{puits}}$	: Altitude théorique de l'interface eau douce / saumure pour une saumure de densité ( $d$ ).
$Z_{i\text{else}}$	: Altitude de l'interface dans le puits Else ( $-34$ NGF).
$\Delta Z(Z_{NP\text{else}} / Z_{i\text{else}})$	: Dénivelé entre le niveau piézométrique et la cote $-34$ .
$\Delta Z(Z_{i\text{else}} / Z_{bc})$	: Dénivelé entre la cote $-34$ et la base du cuvelage.
$Z_{bc}$	: Altitude de la base du cuvelage (cote NGF négative).
$d_s$	: Densité de la saumure saturée ( $\# 1,23$ ).
$d_e$	: Densité de l'eau douce ( $\# 1$ ).
$d$	: Densité de la saumure diluée au-dessus de la base du cuvelage.

**Position théorique de l'interface eau douce / saumure en considérant  
que la saumure saturée (d=1,23) est diluée de moitié (d = 1,1)  
au-dessus de la base du cuvelage**

	Schoenensteinbach	Rodolphe 1	Rodolphe 2	Alex	Ungersheim 1	Ungersheim 2
Niveau piézométrique (NGF)	235	234	234	234	223	223
Cote de la base du cuvelage (début des dilutions par les circulations d'eau)	-189	-48	-69	-115	-99	-79
Cote NGF de l'interface pour une saumure de densité 1,1 au-dessus de la base du cuvelage	254	238	240	246	244	241
Position de l'interface théorique au- dessus du niveau piézométrique de la nappe alluviale	+19	+4	+6	+12	+21	+18

### Détermination du flux maximal

Le calcul des flux transitant dans le système selon la méthode précédemment exposée montre que les 5 puits de la mine Amélie et le puits Berrwiller constitueront les entrées d'eau du système. Les autres puits constitueront les exutoires du système avec cependant une incertitude concernant les puits Staffelfelden, Marie et Louise dont les flux pourraient s'avérer négligeables.

La différence de charge hydraulique utilisée pour les calculs est celle fixée par la différence d'altitude du niveau piézométrique de la nappe alluviale. En réalité, il serait plus juste d'utiliser la différence de charge hydraulique liée à la différence de densité des colonnes d'eau amont et aval. Néanmoins, l'hypothèse retenue est sécuritaire, car elle considère le débit théorique maximal, tout comme l'avaient fait M<sup>rs</sup> COMBES et LEDOUX de l'Ecole des Mines de Paris.

L'application de la loi de Darcy montre qu'un tel système conduit à un flux maximal compris entre 195 et 238 m<sup>3</sup>/an selon que l'on considère ou non la participation des puits dont le sens du flux est incertain. **Un débit moyen de 195 m<sup>3</sup>/an plus réaliste sera utilisé pour la suite des calculs.**

Les puits Joseph et Else sont les seules entrées d'eau situées en amont de la zone de stockage. Le flux entrant par ces puits qui est susceptible de lixivier les déchets et d'entraîner une éventuelle contamination est au maximum de 54 m<sup>3</sup>/an.

Les puits Ungersheim 1 & 2 constituent les exutoires majeurs du système en évacuant un flux total d'environ 92 m<sup>3</sup>/an.

### **Distribution du flux entre les puits et les horizons aquifères du Stampien**

A l'exception du puits Alex, les cinq autres puits qui peuvent jouer un rôle d'exutoire comportent tous un bouchon de cendres volantes d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur placé à cheval sur la base du cuvelage.

**Le débit calculé précédemment qui filtre au travers ou au contact des bouchons est ensuite évacué par les horizons aquifères du Stampien et par la nappe alluviale via le fût du puits.**

La proportion du flux évacué par le puits ou les niveaux aquifères du Stampien dépend :

- Du contraste qui existe entre la perméabilité verticale du puits au-dessus du bouchon et la perméabilité horizontale des niveaux aquifères du Stampien.
- De la dilution de la saumure saturée issue des bouchons des puits par les écoulements présent dans les niveaux aquifères du Stampien.

Les deux perméabilités ne sont pas connues. Néanmoins on peut considérer qu'au-dessus des bouchons, la perméabilité verticale du fût du puits, remplis de graviers lavés et calibrés, est très nettement supérieure à la perméabilité horizontale des horizons marno-gréseux du Stampien.

Les précédents calculs d'équilibre hydrostatique ont montré que la saumure ne pouvait atteindre la nappe alluviale que si celle-ci présentait une densité inférieure ou égale à 1,1 g/cm<sup>3</sup>, c'est-à-dire une dilution d'au moins 50%.

### **Evolution de la densité de la saumure en fonction de la dilution.**

Pourcentage de saumure dans l'eau remontant le puits	50 %	10 %	5 %	1 %
Densité de la saumure remontant dans le puits au-dessus du bouchon (g/cm <sup>3</sup> )	1.115	1.023	1.011	1.002

**Il est impossible en l'état actuel des connaissances de savoir la proportion de saumure entraînée dans les horizons aquifères du Stampien.**

Pour cette raison, et de façon à être cohérent avec les débits calculés précédemment, il a été estimé que 50% du flux de saumure saturée serait susceptible de rejoindre la nappe alluviale après une dilution d'au moins un facteur 20 par les eaux peu chargées du Stampien. Le reste de la saumure issue des puits (50%) serait entraîné en profondeur dans l'aquifère Stampien, où il est probable qu'elle continuera de se diluer progressivement sur une très longue durée.

# StocaMine

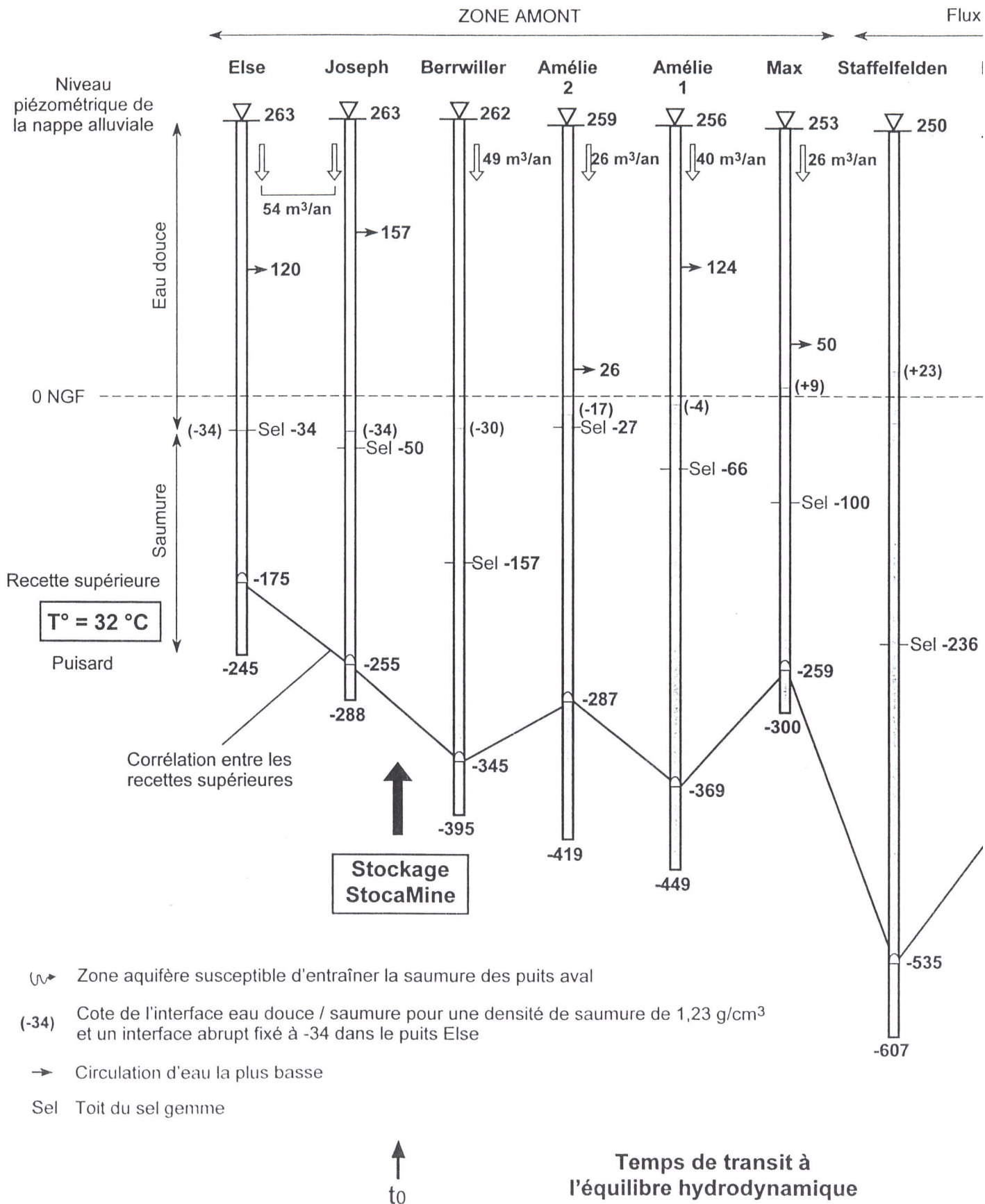
Wittelsheim  
Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN

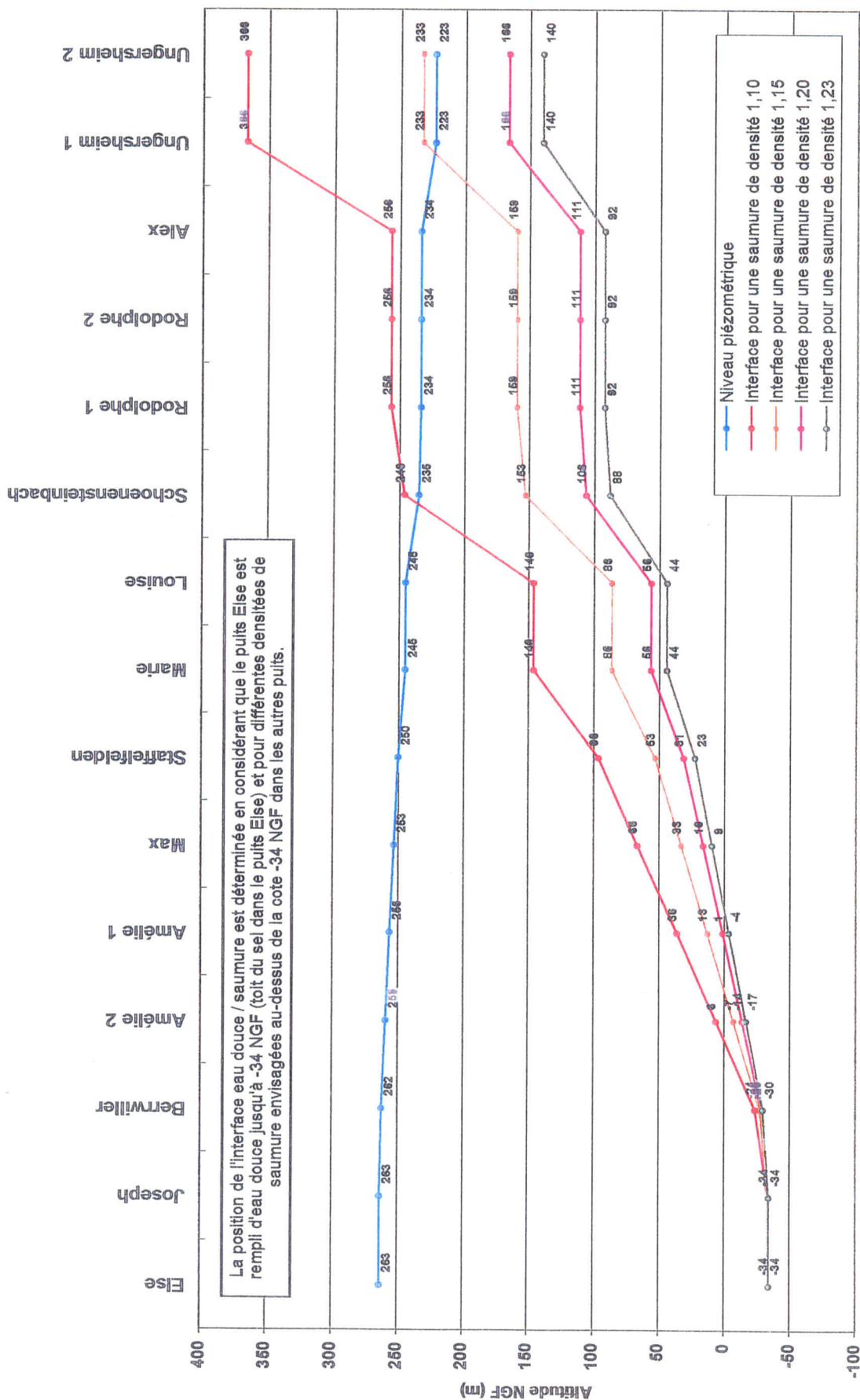
MICA  
Environnement

SCHEMA DU SYSTEME HYDRAULIQUE  
DU BASSIN MINIER DE WITTELSHEIM

Mars 2004



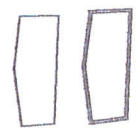
<b>Stocamine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> Environnement
	POSITION THEORIQUE DE L'INTERFACE EAU DOUCE / SAUMURE A L'EQUILIBRE HYDROSTATIQUE POUR DIFFERENTES DENSITES DE SAUMURE	Avril 2004



**StocaMine**  
Wittelsheim  
Haut - Rhin

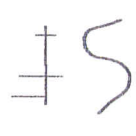
ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN  
CARTE DES FLUX ET DES TEMPS DE TRANSIT UNE FOIS L'EQUILIBRE HYDRODYNAMIQUE ATTEINT

MICA  
Environnement  
Echelle 1 : 50 000  
Mars 2004



Extension de l'exploitation de la couche inférieure de potasse

Extension de l'exploitation de la couche supérieure de potasse



Voies d'exploitation hors couches (Voies Au Mur et Travers Banc)

Isohypse de la couche inférieure de potasse



Puits pouvant assurer un rôle d'exutoire aux eaux de la mine

54 m<sup>3</sup>/an

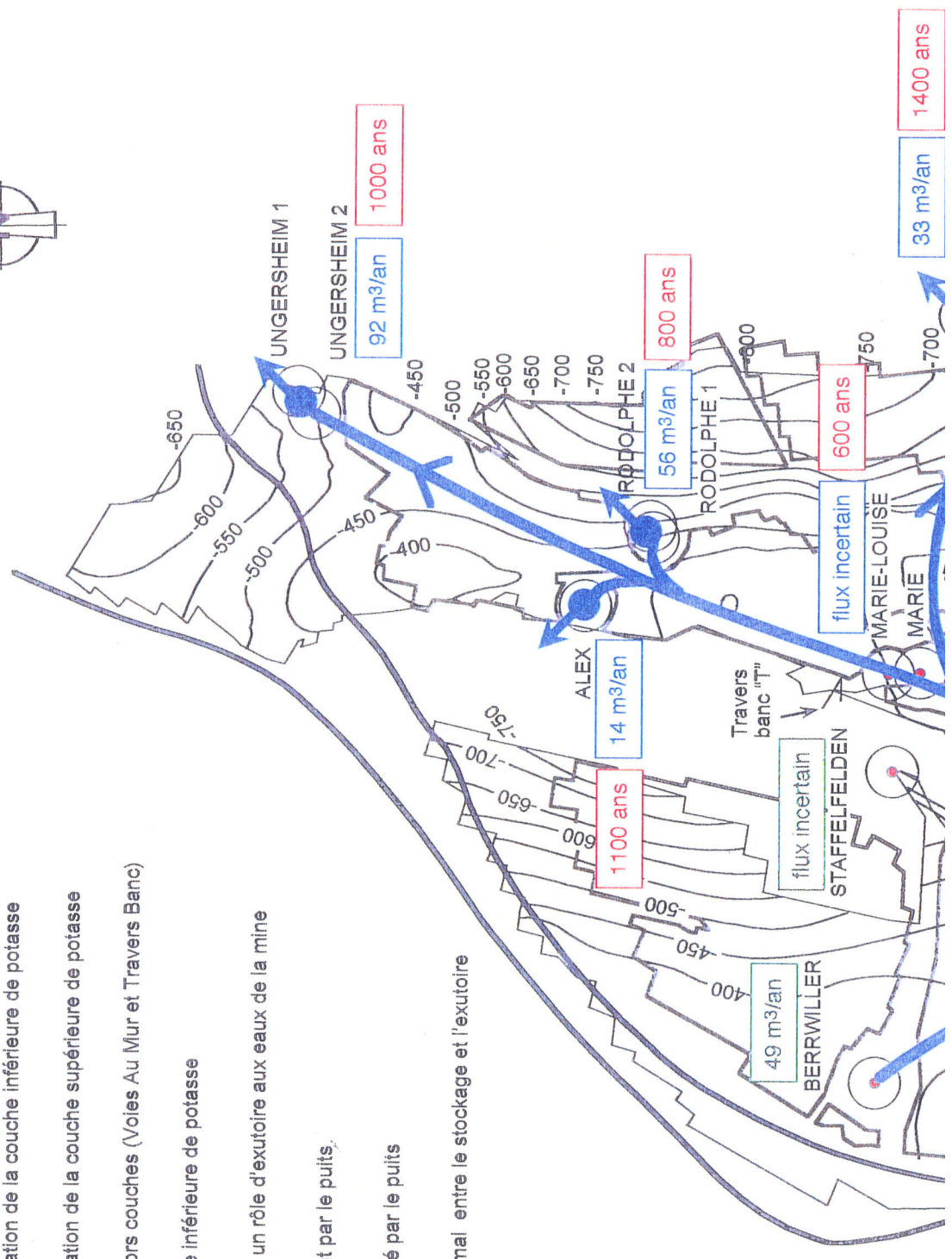
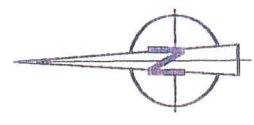
Débit théorique entrant par le puits

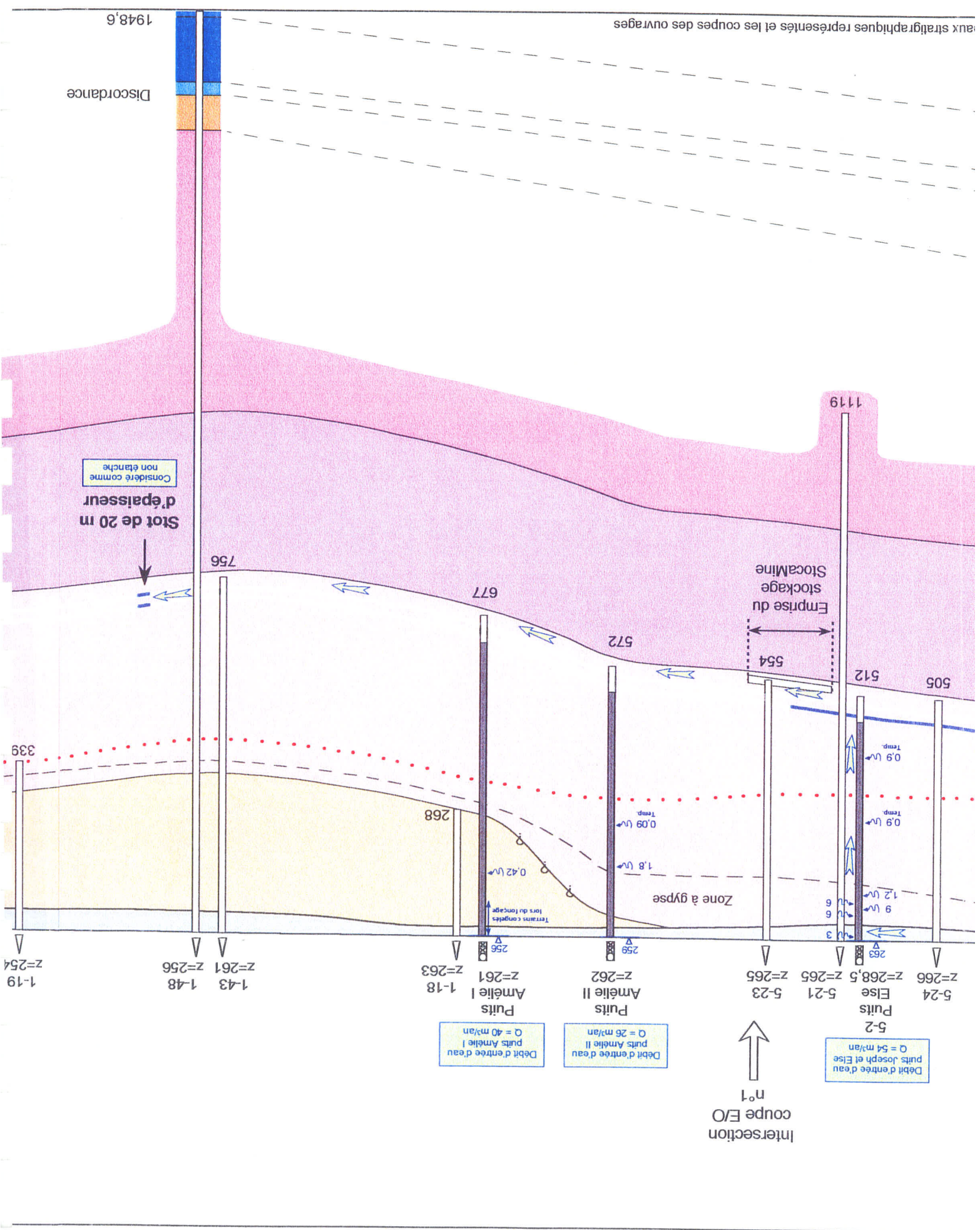
92 m<sup>3</sup>/an

Débit théorique évacué par le puits

800 ans

Temps de transit minimal entre le stockage et l'exutoire







# StocaMine

Wittelsheim

Haut - Rhin

ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE  
GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUS-TERRAIN

COUPE HYDROGEOLOGIQUE NOIE  
Circulations d'eau à l'équilibre hydrogéologique  
en considérant le bassin de Wittelsheim

Intersection  
coupe E/O  
n°2

1-2  
Puits  
Marie  
z=247

Puits Marie et  
Marie-Louise  
Flux incertain

1-31  
z=236

245

483

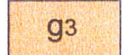
Flux maximal à  
l'équilibre hydrostatique  
 $Q = 195 \text{ m}^3/\text{an}$

Circulation dans les travaux miniers  
(couches foudroyées + VAM)

OLIGOCENE

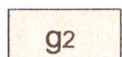


QUATERNAIRE : Alluvions et loess



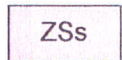
g3

CHATTIEN: Marnes gréseuses bariolées



g2

STAMPIEN : Marnes à Cyrènes, marnes gréseuses à Mélettes,  
marnes à foraminifères et schistes à poissons



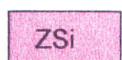
ZSs

SANNOISIEN : Zone Salifère supérieure dont zone à gypse



ZSm

SANNOISIEN : Zone Salifère moyenne



ZSi

SANNOISIEN : Zone Salifère inférieure



Toit du sel gemme



Couche de potasse non exploitée



Couche de potasse exploitée

HYDRO

253

6

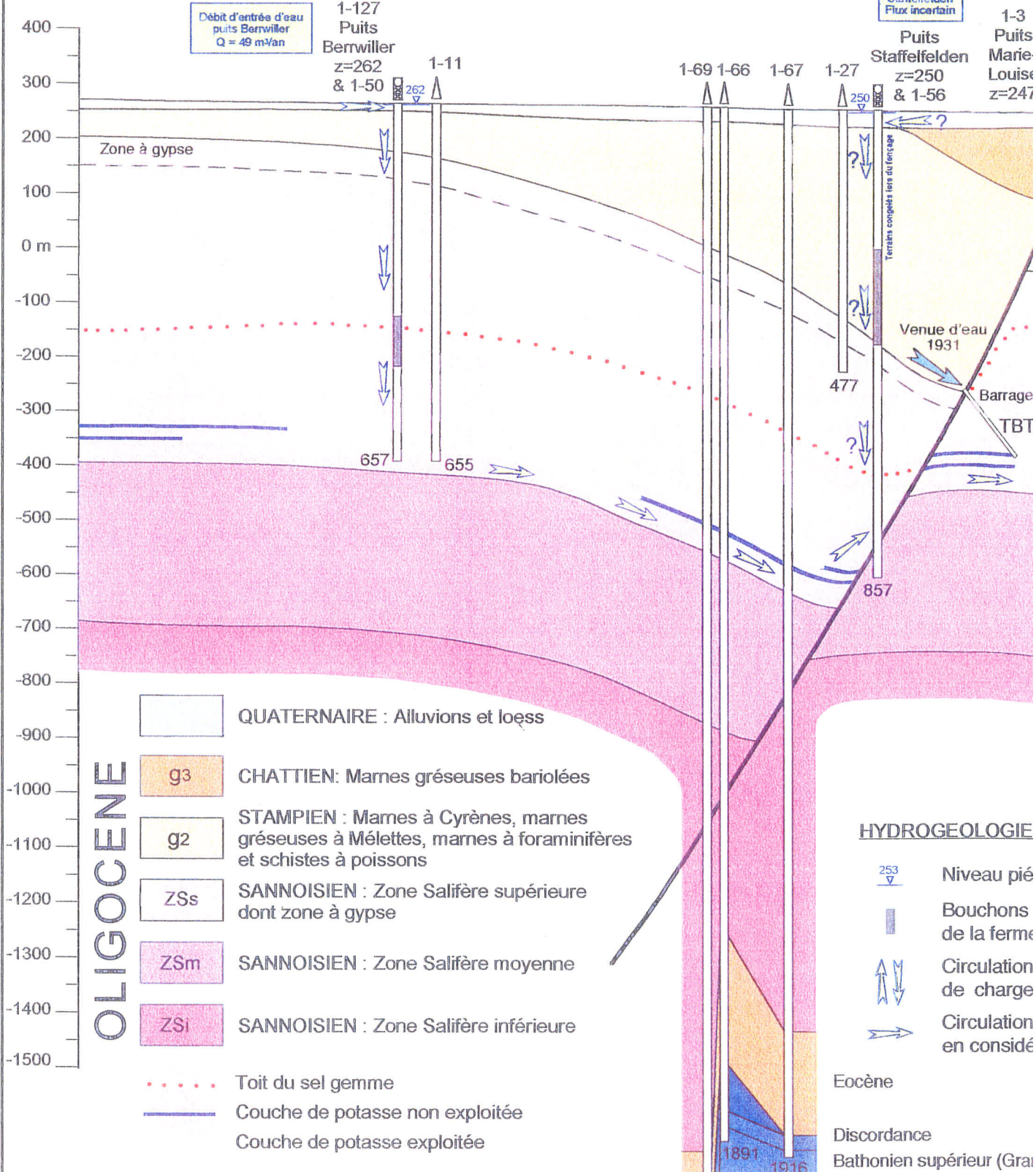
Temp.



ECHELLE HORIZONTALE : 1 / 25 000  
 ECHELLE VERTICALE : 1 / 10 000

**StocaMine**  
 Wittelsheim  
 Haut - Rhin

OUEST



Le tableau suivant expose les résultats et résume les principaux paramètres utilisés pour les calculs.

### Evaluation du débit de transit dans les mines du bassin de Wittelsheim

	Zone amont (infiltration)						Flux incertain			Zone aval (exutoires)					
	Else	Joseph	Berrwiller	Amélie 2	Amélie 1	Max	Staffelfelden	Marie	Louise	Schoenensteinbach	Rodolphe 1	Rodolphe 2	Alex	Ungersheim 1	Ungersheim 2
Niveau piézométrique (NGF)	263	263	262	259	256	253	250	245	245	235	234	234	234	223	223
Charge hydraulique (m) entre la zone amont et le puits aval considéré après retour à l'état initial	0	0	1	4	7	10	13	18	18	28	29	29	29	40	40
Epaisseur du bouchon du puits (m)	295	412	95	313	493	309	176	50	50	97	50	50	254	64	47
Cumuls des bouchons (m) en considérant un bouchon moyen de 320 m pour les puits de la zone amont	-	-	-	-	-	-	496	370	370	417	370	370	574	384	367
Section des puits (m <sup>2</sup> )	16	16	28,7	16	23,7	16	31,2	15,9	15,9	27,3	15,9	23,8	15,9	23,8	23,8
Débit total évacué par les puits en m <sup>3</sup> /an	-	-	-	-	-	-	15	14	14	33	22	34	14	45	47
	Total =						43 m <sup>3</sup> /an			195 m <sup>3</sup> /an					

Ces débits sont très faibles. Le temps de transit avant qu'une éventuelle eau contaminée par les déchets ne puisse atteindre la nappe alluviale du quaternaire par les six puits constituant l'exutoire du système devient un paramètre important.

Pour réaliser l'estimation des temps de transit entre les puits amont et les puits aval, le système a été schématisé de la façon suivante :

- Les circulations s'effectuent principalement dans les voies au mur et le flux dans les zones foudroyées est considéré comme négligeable.
- Le flux susceptible d'entraîner les lixiviats de déchets a été considéré égal à la somme des débits d'infiltrations des puits Joseph et Else, soit 54 m<sup>3</sup>/an.

- Les trajets des flux ont été estimés relativement linéaires en raison du grand nombre de voies au mur (VAM). La distance minimale retenue entre les puits Joseph / Else et les puits d'Ungersheim est de 11 500 m.
- Les VAM présentent une hauteur moyenne de 2,5 m et une largeur de 3,8 m, soit une section moyenne de 9,5 m<sup>2</sup>.

En divisant le trajet théorique le plus court et donc le plus pénalisant en plusieurs tronçons et en leur affectant le flux lié aux puits concernés, on peut estimer **le temps de transit minimal** nécessaire pour qu'une eau polluée ressorte à un des puits servant d'exutoire.

Le tableau suivant résume les temps de transit minimum entre la zone du stockage et les puits potentiellement concernés par la restitution au jour d'une eau contaminée.

#### **Estimation des temps de transit des eaux entre le stockage et les exutoires du bassin de Wittelsheim**

Puits pouvant assurer un rôle d'exutoire	Temps de transit minimal nécessaire pour qu'une eau contaminée puisse atteindre la biosphère
Puits Marie et Marie-Louise (incertain)	600 ans
Puits Schoenensteinbach	1 400 ans
Puits Rodolphe 1 & 2	800 ans
Puits Alex	1 100 ans
Puits Ungersheim 1& 2	1 000 ans

On constate que la faiblesse des flux transitant dans la mine entraîne **des temps de transit allant de 600 à 1400 ans** pour qu'un polluant mis en solution puisse atteindre la surface.

Ce temps de transit peut constituer un délai supplémentaire à ce qu'une éventuelle pollution atteigne la nappe phréatique, à condition que l'eau contaminée ne soit entraînée par le flux qu'une fois la mine entièrement remplie.

Si la contamination de l'eau a lieu lors de la phase de remplissage de la mine, les éléments polluants seront entraînés vers le Nord jusque dans la zone des puits pouvant servir d'exutoires. Les éléments contaminant seront alors fortement dilués en raison de l'étalement du flux dans tous les vides miniers à remplir mais aussi également par phénomène de dissémination au cours du temps.

Il est alors possible que des éléments polluants soient déjà présents à la base des puits exutoires au moment où la mine sera entièrement remplie et où les flux liés à l'équilibre hydrostatique final commenceront à se mettre en place.

### 7.4.5.3. Influence des paramètres

Les calculs précédents basés sur des hypothèses pessimistes sont conditionnés par trois paramètres essentiels :

- La perméabilité des bouchons de suies mis en place dans les puits.
- Le volume des vides résiduels attribués aux travaux miniers.
- La différence de charge hydraulique entre les puits amont et les puits aval.

#### **Perméabilité des bouchons**

Une incertitude sur la perméabilité des matériaux de comblement (cendres volantes) influe directement sur le temps d'ennoyage de la mine et sur les flux transitant dans le système une fois l'équilibre hydrodynamique atteint.

Ce paramètre est capital sur le long terme, puisqu'il conditionne l'importance des flux d'eau susceptibles de ramener à la surface une éventuelle contamination et le moment à partir duquel ce flux commencera à s'établir.

La valeur retenue pour les calculs est celle déterminée par l'INERIS à la suite d'expériences menées avec les MDPAs sur les bouchons mis en place sur les puits Marie et Louise. Cette perméabilité définie par excès a été fixée à  $5,8 \cdot 10^{-7}$  m/s.

#### **Volume résiduel de l'exploitation minière**

Il a été vu, au paragraphe 7.1.2 que la variation du volume de vides dans la mine ne remettait pas en cause les ordres de grandeurs des calculs précédents et ne devrait engendrer qu'une incertitude de l'ordre d'une centaine d'années sur les temps de remplissage les plus longs de l'exploitation minière.

#### **Différence de charge hydraulique**

La différence de charge hydraulique utilisée pour les calculs est égale à la différence d'altitude du niveau piézométrique de la nappe alluviale. Compte tenu des variations de densité des colonnes d'eau à l'aval, il pourrait être nécessaire d'utiliser la différence de charge hydraulique liée à la différence de poids des colonnes d'eau amont et aval. Néanmoins, comme il est difficile de savoir dans quelle proportion la saumure sera diluée, il a été retenu le cas extrême d'une forte dilution (facteur **20**), qui permet d'utiliser la différence de charge hydraulique imposée par la nappe alluviale, tout comme l'avait fait M<sup>rs</sup> COMBES et LEDOUX de l'école des Mines de Paris. Cette hypothèse est sécuritaire, car elle aboutit à un débit théorique maximal.

#### 7.4.5.4. Impact des dissolutions

Traces de dissolutions observées près du puisard Joseph	Document n°04.069/ 75	Dans le texte
---------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Les analyses menées par les M.D.P.A., ont montré que la sylvinite de masse volumique  $2100 \text{ Kg/m}^3$  était composée d'un mélange d'environ :

25% de chlorure de potassium (KCl)  
60 % de chlorure de sodium (NaCl)  
15% d'insolubles (argiles et anhydrite)

A la température moyenne des travaux miniers ( $40^\circ\text{C}$ ), la mise en solution du minerai broyé dans de l'eau douce donne une solution saturée en KCl et NaCl de densité 1,236 dont la composition est la suivante :

163 g/l de KCl  
243 g/l de NaCl

Une solution de saumure saturée de  $1 \text{ m}^3$  issue de la dissolution de la sylvinite contient donc 406 kg de (NaCl + KCl), qui correspondent à un volume de roche dissoute de  $0,193 \text{ m}^3$ .

#### **Cas de la mine Amélie considérée isolée**

L'ennoyage de la mine par des eaux douces évoluant vers une saumure saturée (406 g/l) conduit à terme à une situation stable du point de vue hydrodynamique en raison des contrastes de densité qui tendent à bloquer toutes circulations souterraines.

Pour se saturer, l'eau dissout le sel ou la potasse présents au fond, ce qui peut éventuellement engendrer des problèmes de stabilité.

**Le problème de stabilité ne se pose pas pour l'exploitation de potasse** déjà affaissée par foudroyage total. Dans le cas d'une porosité résiduelle de 5%, on peut estimer que le volume d'eau nécessaire à l'ennoyage total de la mine Amélie sera de  $5\,500\,000 \text{ m}^3$ . Ce volume représente un potentiel de dissolution de  $3\,400\,000$  tonnes de sylvinite, soit  $1\,600\,000 \text{ m}^3$  de roche. Ce volume réparti sur l'ensemble de l'exploitation représente une couche d'environ 6 cm d'épaisseur dont la disparition n'aurait pas de répercussion sur la stabilité régionale.

Le problème de stabilité pourrait se poser en revanche pour le site de stockage StocaMine, qui est creusé dans le sel suivant la méthode des chambres et piliers. Le volume de vide présent dans ce stockage compte tenu des déchets déjà entreposés est d'environ  $380\,000 \text{ m}^3$ . En considérant que de l'eau douce s'introduise dans le stockage et qu'elle se sature à raison d'environ 300 kg de NaCl par mètres cube d'eau douce, la quantité de sel dissout serait d'environ 90 000 tonnes, soit l'équivalent d'environ  $45\,000 \text{ m}^3$  de sel gemme.

<b>StocaMine</b> Wittelsheim  Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>TRACES DE DISSOLUTIONS OBSERVEES  PRES DU PUISARD JOSEPH</b>	Mai 2004



**Dissolutions uniformes dans la voie d'accès au puisard du puits Joseph occasionnés par une panne de pompe d'exhaure (lame de sol de 10 cm dissoute en 48 h environ)**

La zone de stockage est creusée selon la méthode des chambres et piliers. Les galeries mesurent en moyenne 5,5 m de largeur pour 3 m de hauteur tandis que les piliers ont 20 m de côté. Le taux de défrètement qui en résulte est donc de 38 %. Les voies de dessertes mesurent quant à elles en moyenne 3 m de hauteur pour 3,5 m de largeur.

Comme le phénomène a pu être observé dans la galerie d'accès au puisard du puits Joseph, on peut estimer l'épaisseur théorique maximale de sel enlevée aux parois, au mur et au toit des galeries en considérant le cas défavorable où de l'eau douce accéderait à la zone de stockage.

- Cas des voies de dessertes

Pour une section moyenne de 10.5 m<sup>2</sup> (3 x 3,5 m), le volume de sel extrait (environ 100 000 m<sup>3</sup>) correspond à un linéaire de 9 500 m de galeries. La surface totale (parois + mur + toit) est alors de 99 750 m<sup>2</sup>.

L'eau douce possède un pouvoir dissolvant de 30 000 tonnes de sel, soit environ 15 000 m<sup>3</sup> de sel gemme. En considérant que la dissolution s'effectue essentiellement à proximité de la surface au fur et à mesure de la montée de l'eau, on aboutit à la disparition d'une couche de sel uniforme d'environ 15 cm d'épaisseur.

- Cas des galeries de stockage

Pour un volume de vide résiduel de 200 000 m<sup>3</sup> et un taux de défrètement de 38%. La surface totale (parois + mur + toit) est d'environ 180 000 m<sup>2</sup>.

L'eau douce possède un pouvoir dissolvant de 64 000 tonnes de sel, soit environ 32 000 m<sup>3</sup> de sel gemme. En considérant que la dissolution s'effectue essentiellement à proximité de la surface où l'eau est moins saturée, on enlève une couche de sel uniforme d'environ 18 cm d'épaisseur.

Le taux de défrètement serait alors d'environ 40 %.

Après ennoyage, les circulations d'eau étant stoppées au sein de la mine en raison des contrastes de densité, les phénomènes de dissolution devraient également être stoppés.

Même en admettant la circulation maximale envisagée de 10 m<sup>3</sup>/an, on évacuerait tous les 100 ans environ 300 tonnes de sel, soit environ 150 m<sup>3</sup> de sel gemme.



Ces calculs qui ont pour but de fixer des ordres de grandeurs sont très théoriques. Il est certain que dans la réalité, la répartition géographique de ces dissolutions sera très hétérogène. Les principaux phénomènes de dissolution auront lieu dans les puits et à la base de ces derniers.

Néanmoins deux cas sont à envisager :

- Tant que le niveau d'eau dans la mine sera en dessous de la base du puits, il est très vraisemblable que les ruissellements creuseront des cannelures suivant la ligne de plus grande pente des galeries, jusqu'à une profondeur qui dépendra de la position du premier banc argileux.
- Ensuite, lorsque le niveau de l'eau aura atteint la base du puits, la dissolution se concentrera à proximité de la surface de l'eau par effet de densité. La dissolution affectera alors principalement la zone située en amont du puits ainsi que les abords immédiats de ce dernier au fur et à mesure de la montée de l'eau. Des désordres importants pourraient ainsi apparaître à long terme autour du mur bâti dans la zone salifère.

En conclusion, on peut estimer que les phénomènes des dissolutions ne devraient pouvoir entraîner des désordres importants qu'au voisinage immédiat des puits introducteurs d'eau, ce qui pourrait compromettre leur stabilité et par conséquent leur étanchéité plus probablement lors de la phase de remplissage finale de la mine (Cf. chapitre 8.1.1 sur les préconisations concernant la fermeture des puits).

### **Cas du stot séparant la mine Amélie du reste du bassin de Wittelsheim**

Dans la précédente étude réalisée par l'Ecole des Mines de Paris, le problème d'une éventuelle dissolution du stot supposé initialement étanche avait été envisagé.

Conformément à leur argumentation, le côté Sud du stot situé en position de cul-de-sac dans la mine Amélie ne devrait subir aucun phénomène de dissolution car ce dernier est très éloigné des puits (de 1,5 à 4 km). L'eau sera donc déjà saturée lorsqu'elle s'accumulera contre le stot.

En ce qui concerne le côté Nord du stot situé dans la mine Marie-Louise, il est peu probable qu'une quelconque dissolution intervienne malgré sa situation en amont pendage favorable à une remontée de l'eau non saturée moins dense. En effet, les puits sont trop éloignés du stot (de 2 à 2,5 km) pour que l'eau ne soit pas déjà saturée une fois au contact du stot.

En admettant une communication entre les deux mines et en considérant le flux maximal envisagé au travers du stot une fois les travaux miniers remplis (146 m<sup>3</sup>/an), on obtient une quantité de sel (NaCl + KCl) évacuée de 59 tonnes par an, soit l'équivalent de 28 m<sup>3</sup> de sylvinite par an.

Dans une telle configuration, les volumes mis en jeu sont trop faibles pour que les dissolutions dans le sel gemme ou la sylvinite ait un réel impact sur la stabilité ailleurs qu'à proximité immédiate des puits.

#### 7.4.5.5. Rôle de la température

Compte tenu de la profondeur importante des travaux miniers, on peut se demander si l'élévation non négligeable de la température naturelle de la roche au fond de la mine ne pourrait pas engendrer ou amplifier une circulation de type hydrothermal une fois l'équilibre hydrodynamique atteint.

Les mesures de températures réalisées dans de nombreux sondages du bassin potassique ont permis d'établir une relation linéaire entre la profondeur et la température de la roche pour des profondeurs comprises entre 400 et 1100 m.

La formule suivante donne la température naturelle des terrains (T) à la profondeur (P) exprimée en mètres.

$$T (^{\circ}\text{C}) = 17 + P \text{ (m)} / 27$$

Cette évolution naturelle de la température du sous-sol avec la profondeur correspond à un gradient géothermique de 37°C / km qui est légèrement supérieur au gradient généralement observé en domaine continental ( 30°C / km).

La détermination du flux imputable à une circulation de type hydrothermale est très délicate car elle nécessite la prise en compte de nombreux paramètres physiques et la modélisation du système minier. Les nombreuses approximations nécessaires aux calculs rendraient ces derniers peu significatifs sans une étude spécifique du système.

Le contraste de température entre l'eau superficielle froide et l'eau profonde plus chaude est un phénomène qui peut participer à l'homogénéisation de la salinité dans les puits et par conséquent à l'entraînement d'eau salée profonde par les circulations d'eau des aquifères supérieurs (cf. chapitre 7.4.5).

Dans le cas, ou on considère uniquement la mine Amélie, il a été montré que le système hydrodynamique était stable, ou qu'il n'engendrerait qu'une faible circulation. La configuration semble peu propice à l'établissement d'une circulation hydrothermale.

Si on considère le système communiquant du bassin de Wittelsheim, on obtient une configuration potentiellement plus favorable à l'établissement d'une circulation hydrothermale.

Néanmoins, un tel système semble difficile à instaurer pour les raisons suivantes :

- L'amorce d'un tel phénomène n'est envisageable que si une circulation non négligeable est initiée par la différence de charge hydraulique entre les puits.

- Il est impossible aux venues de saumures saturées chauffées en profondeur de remonter directement en surface, car celles-ci doivent être fortement diluées au préalable pour atteindre une densité d'au moins 1,1 g/cm<sup>3</sup>. Par conséquent, cela implique une forte diminution de la température de la saumure.
- Lorsque la température diminue, la saumure se trouve dans un état de sursaturation qui entraîne une précipitation principalement de sel de potassium conduisant à une réduction de la perméabilité des terrains.
- Les circulations hydrothermales connues peuvent présenter des débits non négligeables de l'ordre de quelques litres par minutes dans des terrains à très faible perméabilité grâce aux circulations rapides établies le plus souvent sur la fracturation. **Dans le cas présent, les terrains meubles sont plutôt défavorables à une telle circulation.**

#### 7.4.5.6. Impact des eaux profondes du gisement sur l'aquifère alluvial

Dans les conditions les plus vraisemblables (communication entre la mine Amélie et le bassin de Wittelsheim et porosité à 5% des couches foudroyées), l'étude des conditions d'équilibre hydrodynamique a montré que les polluants éventuellement lixiviés par les eaux d'infiltration des puits Joseph et Else mettraient au minimum 800 ans avant d'atteindre les puits exutoire.

#### **Caractéristiques physico-chimiques des saumures éventuellement émises par les puits.**

En cas de remontée d'eau salée au niveau des puits, il est difficile d'estimer précisément la composition chimique de l'émission de saumure car cette dernière peut dépendre de nombreux paramètres tels que :

- la concentration en polluant de l'émission de saumure,
- la dissémination dans le matériau de remplissage des fûts des puits,
- la vitesse d'écoulement des aquifères (circulations dans les horizons perméables du Stampien et dans la nappe alluviale).

En raison des phénomènes de dilution, la concentration de la saumure à proximité immédiate du puits ne pourra pas dépasser la moitié de la concentration de la saumure saturée. Il est même très probable que la salinité du rejet sera assez faible.

La température de l'eau émise pourrait s'avérer très légèrement plus élevée que celle de l'aquifère alluvial.

Les expériences menées lors de la fermeture des puits de la mine Marie-Louise ont permis de constater que les teneurs en sulfates augmentent à proximité des puits après leur comblement. Ce phénomène est le résultat d'une dissolution partielle des cendres volantes déversées dans les fûts des puits. Ce phénomène est susceptible d'affecter les eaux de la nappe alluviale à proximité immédiate des puits obturés par les mêmes cendres volantes.

En cas de lixiviation des déchets par un flux d'eau transitant dans les travaux miniers, la concentration en polluant de l'émission de saumure dépendra :

- de la solubilité des substances polluantes dans la saumure en contact avec les déchets du stockage ;
- des réactions chimiques, même très lentes, pouvant influencer les éléments contaminant au cours de leur transit dans les travaux miniers qui durera environ 1000 ans (précipitation, piégeage lors de la cristallisation du sel, ...);
- de la dilution des éléments contaminant en fonction des flux et de la géométrie des travaux miniers.

La quantification des polluant aux éventuels exutoires, ainsi que l'évolution dans le temps de ces teneurs sont exposées en détail dans l'étude du bureau B.M.G.

Il convient toutefois de rappeler que ces scénarios découlent d'une chaîne d'hypothèses volontairement pessimistes et qu'il est fortement probable **que les puits présenteront en réalité des débits de filtration nuls ou nettement plus faibles que ceux envisagés.**

Au final, l'eau contaminée sera susceptible d'atteindre principalement les horizons perméables du Stampien via les puits et dans une moindre mesure la nappe alluviale, qui assure le drainage général vers le Nord-Est de la zone d'étude.

## Conséquences d'une éventuelle pollution des aquifères

La remontée d'un faible débit de saumure éventuellement contaminée par les déchets au niveau d'un puits, entraînerait la formation d'un panache de pollution localisé à l'aval du puits par dilution de l'effluent dans la nappe alluviale.

Cette éventuelle pollution suivrait l'écoulement de la nappe et se dirigerait vers les exutoires naturels de la nappe (rivières, sources) et éventuellement vers les captages d'eau (puits, forages).

La qualité de l'eau puisée dans la nappe dépendra des facteurs suivants :

- Les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe alluviale,
- Le débit et la concentration en polluant de l'effluent rejeté dans la nappe alluviale,
- La situation des captages par rapport aux puits et les débits d'exploitation.

Ainsi, pour une concentration en polluant donnée à un exutoire, le facteur de dilution augmentera avec l'importance du débit d'exploitation du captage. On en conclut qu'un important captage (AEP de collectivité, irrigation) sera moins vulnérable qu'un ouvrage placé juste en aval du rejet et peu sollicité (puits et forage de particuliers).

Cet aspect des éventuels impacts est traité en détail dans l'étude du bureau B.M.G.

## Réseau hydrographique et captages potentiellement exposés aux éventuelles émissions issues des puits

Situation des captages vis-à-vis des puits et du bassin minier de Wittelsheim	Document n°04.069/ 76	En annexe
-------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	-----------

Les échanges nappe / rivière peuvent être variables suivant le lieu et la saison (hautes eaux / étiage). De façon générale, dans la zone d'étude, la nappe alluviale est drainée vers le Nord-Est par le réseau hydrographique de la rivière la Thur. Les zones potentiellement exposées à une éventuelle émission de saumure contaminée par les puits sont donc toutes situées dans le quadrant Nord-Est des puits.

Les plans d'eau qui y sont présent et les cours d'eau affluent de la Thur qui drainent ces zones seront donc susceptibles de contenir dans le futur des éléments polluants si une circulation s'établit entre l'amont et l'aval des travaux miniers une fois ces derniers entièrement ennoyés.

Les cours d'eau et les captages situés à proximité immédiate des puits pouvant faire office d'exutoire ont été recensés dans le tableau suivant.

**Tableau des cours d'eau et des captages potentiellement exposés aux éventuelles émissions de saumure contaminée des puits.**

Puits pouvant faire l'objet d'une émission de saumure contaminée	Captages et systèmes hydrographiques concernés
<b>Mine Amélie Isolée</b>	
<b>Max</b>	Plan d'eau artificiel situé 200 m au Nord-Est du puits. Fossés le long de la voie ferrée.
<b>Bassin minier de Wittelsheim</b>	
<b>Marie et Marie-Louise</b>	La rivière la Thur en aval de la voie ferrée. - Débit moyen (1968-1990) = 5,55 m <sup>3</sup> /s. - Débit d'étiage, QMNA1/5 = 0,85 m <sup>3</sup> /s. Les bassins situés au Nord-Est au pied du terril.
<b>Schoenensteinbach</b>	Station de pompage située une cinquantaine de mètres au Nord-Ouest. Ruisseau le Moosgraben à l'Est Sud-Est du puits.
<b>Rodolphe 1 &amp; 2</b>	La rivière la Thur à l'Est des puits. Amont du ruisseau le Feldbach moyen
<b>Alex</b>	Station de pompage au Nord-Est du terril. Amont du ruisseau le Feldbach moyen affluent rive gauche de la Thur.
<b>Ungersheim 1 &amp; 2</b>	Ruisseau le Dorfbach au Nord et ruisseau le Feldbach interne au Sud distant d'environ 500 m et tout deux affluents rive gauche de la Thur.

Actuellement, 23 captages en cours d'exploitation sont recensés sur la zone d'étude par l'APRONA (cf. tableau). Tout ces ouvrages sont suffisamment éloignés des puits miniers pour que la nappe alluviale assure une importante dilution et garantisse l'innocuité d'une éventuelle émission de saumure contaminée, dans le cas ou ces captages seraient encore fonctionnels une fois l'équilibre hydrodynamique atteint.

Compte tenu d'un délai d'ennoyage probable des travaux miniers de l'ordre de 500 ans, il est impossible de savoir s'il existera des captages en activité dans les zones potentiellement exposées. **Il est en effet probable que les captages actuels n'existeront plus et que d'autres captages auront été réalisés.**

Par précaution, les modélisations effectuées par le bureau B.M.G. envisagent l'impact d'une éventuelle émission de saumure contaminée sur un captage implanté juste en aval d'un des puits rebouché.

**Recensement des captages utilisés en 2003 sur la zone d'étude  
(source APRONA)**

N°BSS	Lambert II		Nature	Profondeur (m)	Diamètre (mm)	Usage
	X :	Y :				
0413 1X 0110	965640	2327530	Forage	10,00	400	AEP
0413 1X 0142	969500	2327130	Puits	27,00	500	AEI
0413 1X 0144	969630	2326858	Puits	24,20	500	AEI
0413 1X 0159	968436	2324308	Forage	28,50	500	AEI
0413 1X 0180	966160	2322480,1	Puits	18,90	500	AEP
0413 1X 0191	966050	2324240	Puits	22,90	400	AEP
0413 1X 0253	968580	2321940	Puits	23,00	500	AEI
0413 1X 0265	968400	2326479,9	Piézomètre	23,40	150	CONTROLE NAPPE
0413 1X 0333	967000	2328310	Puits	9,80	500	AUCUN
0413 1X 0334	966425	2327250	Puits	9,10	400	IRRIGATION
0413 1X 0335	965325	2328210	Puits	6,25	800	ARROSEGE
0413 1X 0381	967490	2330330	Puits	13,80	1000	AED
0413 1X 0389	969830	2329240	Puits	33,00	800	AEI
0413 1X 0185	966125,1	2323348	Inconnu	25,50	500	AEP
0413 1X 0444	970160	2328820	Puits	34,20	500	AEI
0413 2X 0077	974520	2326310	Puits	39,30	500	AEI
0413 2X 0078	974450	2326331	Puits	43,00	500	AUCUN
0413 2X 0111	974075	2323097	Forage	26,40	500	AEI
0413 2X 0139	972630	2328825	Forage	26,10	400	AEI
0413 2X 0232	974472	2329253,1	Forage	60,00	600	AEI
0413 2X 0235	973995,9	2329127,9	Forage	60,25	600	AEP
0413 2X 0314	971475	2327600	Puits	4,80	1200	IRRIGATION
0413 5X 0161	970160	2319530,1	Puits	8,00	1000	AED
0413 5X 0213	967529	2320223	Puits	28,35	500	AED
0413 5X 0323	965290	2319650	Inconnu	8,50	1000	INCENDIE
0413 6X 0003	974300	2321070	Forage	21,40	600	AEP
0413 6X 0263	974500	2318920	Forage	19,40	400	AEI

## 7.5 - SCENARIOS ACCIDENTELS

### 7.5.1 - Rupture d'un bouchon de puits et entrée brutale d'eau douce

Dans le cas où des écoulements mêmes minimes surviendraient à l'extérieur du cuvelage, on peut craindre qu'à long terme, des dissolutions affectent les niveaux salifères situés sous le toit du sel gemme.

Ces dissolutions entraîneraient inévitablement une dégradation des terrains autour du massif béton bloquant le pied de la colonne de remblai. On peut alors envisager, même si cela reste improbable, une évolution catastrophique au cours de laquelle le puits se viderait de son remplissage de graviers et de cendres volantes dans les travaux miniers.

**Ce phénomène catastrophique à plus de chance de survenir en fin de remplissage de la mine, lorsque la dissolution sera concentrée dans les puits.**

Le débit d'eau douce introduit dans le puits serait fonction des potentialités des aquifères traversés, mais dépendrait aussi des pertes de charges engendrées par le cuvelage. Par précaution, l'influence du cuvelage sera négligée, en admettant qu'à long terme ce dernier sera fortement dégradé. Compte tenu des formations géologiques traversées par les puits, l'horizon aquifère le plus productif est celui de la nappe alluviale.

L'estimation du débit théorique maximal est réalisée en régime permanent uniquement pour l'aquifère alluvial qui constitue l'entrée d'eau potentielle la plus importante.

Ce débit d'intrusion théorique maximal peut être estimé avec la formule de Dupuit.

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot \Delta h / \ln(r/d)$$

Avec :

- Q : Débit d'entrée d'eau dans le puits en m<sup>3</sup>/s
- T : Transmissivité moyenne de l'aquifère alluvial (m<sup>2</sup>/s)
- Δh : Rabattement Δh=(h<sub>r</sub>-H<sub>d</sub>) en mètres
- d : Distance entre le puits et le point d'alimentation de la portion de nappe alluviale sollicitée
- r : Rayon du puits



#### 7.5.1.1. Rupture d'un bouchon situé en amont du stockage

Dans le cas présent, les conditions de calcul adoptées pour les puits Joseph ou Else (on estime qu'un seul puits est accidenté) sont les suivantes :

- La transmissivité maximale de la nappe alluviale est localement de  $4.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ .
- Le puits où s'effectue l'intrusion de l'eau est situé à 600 m de la limite de réalimentation assurée par l'étendue d'eau présente au Nord-Est des puits.
- La nappe est rabattue de 26 m entre la côte 262 NGF (niveau du plan d'eau) et la cote 236 m (base des alluvions).
- Le puits a un rayon de 2,25 m (au niveau de la nappe alluviale).

L'application numérique conduit à un débit d'intrusion d'eau d'environ 400  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Il convient de préciser que ces valeurs sont pénalisantes car elles résultent de la combinaison d'hypothèses et de paramètres volontairement pessimistes.

Les débits envisageables de façon plus réaliste doivent être estimés en tenant compte des débits réellement observés lors du fonçage des puits.

Le débit le plus important issu de l'aquifères alluvial a été observé lors du creusement du puits Joseph où ils a atteint plus de 60  $\text{m}^3/\text{h}$ . Ce débit constitue une valeur minimale du fait de l'influence de la mise en place progressive du cuvelage.

Au-dessous de l'aquifère alluvial, les diverses venues d'eau rencontrées n'ont jamais dépassées 30  $\text{m}^3/\text{h}$  et sont le plus souvent de l'ordre de quelques mètres cubes par heure.

**Il convient donc d'envisager un débit réaliste maximal compris entre 100 et 300  $\text{m}^3/\text{h}$  en cas de disparition du remplissage et de maintien d'un cuvelage dégradé.**

Toutefois, si un tel événement survenait, l'entrée massive d'eau douce entraînerait d'importantes dissolutions, principalement à proximité de la base du puits. Ces dégradations engendrerait très certainement la destruction du cuvelage et par conséquent l'affaissement du puits, ce qui entraînerait la formation d'un cratère en surface. **Dans ces conditions, le débit d'intrusion serait freiné par les pertes de charges liées à l'obstruction du puits et un débit de 50  $\text{m}^3/\text{h}$  semble plus réaliste.**

Un tel scénario a évidemment des conséquences immédiates au niveau de la mine et du stockage :

- La durée d'ennoyage du bassin de Wittelsheim n'est plus significative, de l'ordre de 30 ans.
- Le débit à l'équilibre est essentiellement contrôlé par le débit de fuite aux puits exutoire. Ce débit est de l'ordre de 1220 m<sup>3</sup>/an.
- Dans ces conditions, le débit de transit dans la mine est également d'environ 30 années
- Il y a tout lieu de penser qu'un tel événement, très improbable, a plus de chance de survenir à la fin d'ennoyage de la mine lorsque les déchets auront déjà été partiellement lessivés.
- Un tel phénomène ne passerait pas inaperçu en surface et des études et travaux pourraient être entrepris pour obturer à nouveau le puits de façon étanche (injection par sondage). L'introduction d'eau douce serait donc temporaire.
- Dans le cas où les importantes dissolutions auraient altérées l'étanchéité du stockage jusqu'à lors efficace, les polluants issus des déchets ne pourraient pas remonter à la surface à proximité des puits Joseph et Else compte tenu du fait que ces derniers sont introducteurs d'eau.

Les débits d'intrusions exposés précédemment influent uniquement sur le temps de remplissage de la mine et sur l'ampleur des dissolutions au voisinage du point d'intrusion d'eau douce.

Une fois les travaux miniers totalement ennoyés, il est possible qu'une circulation d'eau s'établisse entre les puits amont et les puits aval du système. Dans une telle situation, le flux total transitant dans les travaux minier serait modifié de la même façon quelque soit le mode d'entrée d'eau accidentel envisagé dans la zone amont (rupture de un ou plusieurs bouchons, forage).

En effet, chacune de ces entrées d'eau accidentelles a pour effet d'aboutir à la création d'un point d'entrée d'eau dans la zone amont du système **dont le débit serait très nettement supérieur au débit total potentiellement évacué par tout les puits aval**. Dans ces nouvelles conditions, le calcul des débits évacués par les puits servants d'exutoire ne doit prendre en compte que **l'épaisseur des bouchons des puits aval**. Le flux théorique total transitant dans les travaux miniers s'en trouve donc augmenté.

**Tableau des débits potentiellement évacués par les puits servant d'exutoire en cas d'intrusion accidentelle d'eau douce à l'amont du système minier.**

Puits	Schoenensteinbach	Rodolphe 1	Rodolphe 2	Alex	Ungersheim 1	Ungersheim 2
Débits (m <sup>3</sup> /an)	142	166	249	33	268	365
<b>Débit total = 1223 m<sup>3</sup>/an</b>						

Ce débit total constitue une évaluation très pessimiste du flux pouvant transiter dans les travaux miniers, car il est improbable, qu'une telle intrusion d'eau douce si elle devait arriver, soit laissée en l'état sur une très longue durée. Il semble évident à la vue des impacts locaux (dissolution et affaissement localisé autour du puits ou du forage) qu'une telle entrée d'eau ferait l'objet de travaux visant à supprimer ou à réduire fortement l'intrusion d'eau et par conséquent le flux transitant dans les travaux miniers.

L'estimation de la proportion du flux qui pourrait transiter dans le stockage ou à proximité du stockage, dépend de la localisation exacte du point d'entrée d'eau et de l'impact des dissolutions. Avec de telles incertitudes, il est délicat d'avancer des estimations, qui en toute logique ne peuvent pas dépasser environ 1200 m<sup>3</sup>/an.

7.5.1.2. Rupture d'un bouchon situé en aval du stockage

Ce cas de figure envisage les conséquences de la rupture d'un des puits Ungersheim qui constituent les exutoires potentiels les plus bas du système minier.

Si un tel événement survenait une fois la mine remplie, il est probable que le puits concerné deviendrait le point de sortie unique sinon principal des eaux du système minier. Dans ces conditions, le débit serait essentiellement contrôlé par le débit de fuite des puits introducteurs d'eau (lié à l'épaisseur des bouchons).

**Tableau des flux théoriques à l'équilibre en cas de rupture du bouchon d'un des puits Ungersheim (m<sup>3</sup>/an)**

	Else	Joseph	Berrwiller	Amélie 2	Amélie 1	Max	Débit total évacué en m <sup>3</sup> /an
Débits pour des bouchons épais	28	67	176	33	29	42	<b>375</b>
Débits pour des bouchons classique (Amélie 1 et 2)	28	67	176	71	283	42	<b>667</b>

## 7.5.2 - Forage atteignant l'aquifère secondaire artésien et remontée brutale d'eau douce

### 7.5.2.1. Cas des anciens sondages

Les formations du Secondaire (Jurassique) contiennent différents aquifères captifs qui ont été recoupés de façon inégale par 12 sondages pétroliers (cf. log hydrogéologique et tableau). Ces sondages réalisés antérieurement à l'exploitation du gisement de potasse ont ensuite été recoupé par les travaux miniers, ou isolés par un stot de protection (cf. carte de situation au 1 : 50 000).

**Tableau des sondages ayant atteint le Jurassique dans l'emprise minière du bassin de Wittelsheim**

N° BSS	Référence sondage	Profondeur totale (m)	Cote sol (NGF)	Cote NGF du toit du jurassique
1-46	DP 25	1918,20	256,00	-1521,00
1-48	DP 28	1948,60	256,10	-1508,80
1-61	BPR 1	1916,60	257,02	-1524,98
1-62	BPR 2	1936,60	254,75	-1525,25
1-65	STAF 5	1931,60	256,66	-1544,00
1-66	STAF 6	1890,80	254,93	-1498,07
1-67	STAF 7	1915,83	252,12	-1619,88
1-68	STA 8	1978,00	251,93	-1573,07
1-69	GT	2528,00	255,13	-2519,87
1-72	WIL 1	2064,00	252,94	-1560,06
5-48	SCG 1	1711,65	274,44	-126,56
5-49	SCHW 1	2414,75	279,70	-1198,30

Lors de leur foration, ces ouvrages étaient pour la plupart légèrement artésiens. A titre d'exemple, au Sud de l'exploitation minière, le sondage Reiningue 2bis présentait un niveau piézométrique à 7 m au-dessus du sol tandis que le sondage Schweighouse 2bis présentait un niveau piézométrique à 9,82 m sous la surface.

Le débit maximal constaté en surface au sondage artésien de Bollwiller 1 voisin de la zone d'étude était de 45 m<sup>3</sup>/jour soit, ≈ 16 500 m<sup>3</sup>/an.

Tout ces sondages pétroliers ont été soigneusement cimentés et ne donnent pas lieu en surface à des remontées d'eau profondes.

Seul les sondages 5-48 et 5-49 qui sont situés en amont du site de stockage pourraient contribuer selon une hypothèse pessimiste à augmenter le flux des puits Joseph et Else susceptible de lessiver les déchets du stockage.

Cependant, compte tenu de leur cimentation et de l'évolution favorable de leur colmatage sous l'effet de la pression des terrains, il ne semble pas réaliste de considérer une venue d'eau significative même à long terme par le biais de ces ouvrages.

#### 7.5.2.2. Cas d'un nouveau sondage

On peut également se demander ce qu'il adviendrait, si dans le futur un sondage de type pétrolier ou géothermique atteignait un ou plusieurs horizons aquifère du jurassique après avoir traversé la zone décomprimée de l'exploitation minière.

Dans un pareil cas, l'eau issue de ces aquifères profonds pourrait envoyer les travaux miniers. Le débit d'intrusion diminuerait au cours du temps sous l'effet de deux facteurs :

- avec le temps en raison de la formation d'un cône de rabattement ;
- avec la diminution de la différence de charge hydraulique au fur et à mesure du remplissage des travaux miniers au-dessus du point d'intersection de la mine par le sondage.

La théorie indique que le débit unitaire d'un tel aquifère débitant librement dans les travaux miniers (par un sondage crépiné par exemple) peut être approché par la relation suivante.

$$q = \frac{2T\Delta H}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{S}{4Tt}}$$

Avec :

- q : débit unitaire (m<sup>3</sup>/s)
- T : transmissivité de l'aquifère concerné (m<sup>2</sup>/s)
- ΔH : différence de charge hydraulique (m)
- S : coefficient d'emménagement (sans dimension)
- t : temps après le début de l'envoyage (s)

Le tableau suivant donne le débit théorique unitaire et le débit total d'un sondage de 17" (≈ 43 cm de diamètre) ayant recoupé un aquifère captif sur 100 m entre le moment où il commence à débiter et le moment où le niveau de l'eau dans les travaux miniers commence à monter au-dessus de la cote d'intrusion de l'eau dans la mine.

Les caractéristiques hydrodynamiques ont été considérées similaires à celles des grès Vosgiens qui sont les plus pénalisantes ( $T = 10^{-2}$  m/s et  $S = 10^{-4}$ ) et la différence de charge hydraulique égale à 500 m.

**Tableau du débit théorique délivré par un sondage profond durant l'ennoyage de l'exploitation minière située sous la cote d'intrusion de l'eau.**

Temps	Débit théorique unitaire en m <sup>3</sup> /an	Débit total d'un forage de 17'' traversant un aquifère de 100 m d'épaisseur Surface crépinée ≈ 130 m <sup>2</sup>
1 mois	5 500	715 000 m <sup>3</sup> /an
6 mois	2 200	285 000 m <sup>3</sup> /an
1an	1 575	205 000 m <sup>3</sup> /an
10 ans	500	65 000 m <sup>3</sup> /an
100 ans	160	21 000 m <sup>3</sup> /an
500 ans	70	9 000 m <sup>3</sup> /an
1000 ans	50	6 500 m <sup>3</sup> /an
2 000 ans	35	4 550 m <sup>3</sup> /an

Dans la réalité, il est improbable qu'un tel sondage puisse alimenter librement les travaux miniers avec de tel débits pour les raisons suivantes.

- Au niveau des zones exploitées, le sondage rencontrera une zone perturbée et décomprimée, qui fera certainement dans ce cas l'objet d'un traitement particulier ( tubage et éventuellement injection).
- Les horizons aquifères du Jurassique ne seront probablement pas tous captés (crépinés) et une cimentation annulaire du sondage sera certainement mise en place au-dessus de la zone captée pour empêcher des remontées d'eau.
- La foration à la boue entraîne un certain colmatage de la formation aquifère au voisinage du sondage.

### 7.5.3 - Expulsion d'air et de saumure par un forage recoupant les travaux miniers

Ce scénario s'attache à évaluer les conséquences de l'arrivée d'un forage dans la mine Amélie ou dans le stockage soumis à une surpression liée à l'ennoyage ou à la convergence des travaux miniers après la fermeture des puits.

Les conséquences d'un tel événement seraient variables, suivant le moment, l'endroit et l'état d'ennoyage des travaux miniers. Afin d'évaluer ces conséquences, il convient de considérer deux cas extrêmes.

#### 7.5.3.1. Le forage perce la zone exondée sous pression de la partie haute de la mine Amélie

Dans le cas extrême où la mine serait totalement ennoyée, le volume d'air confiné au-dessus de la côte -180 NGF soumis à une pression d'environ 48 bars, serait compris entre 88 000 et 255 000 m<sup>3</sup>.

Lors de l'arrivée du forage, l'air sous pression serait rapidement mis en communication avec la pression atmosphérique ( **1bar**) à la suite de la vidange de l'eau ou de la boue du forage dans les vides miniers résiduels. L'air de la mine dont le volume à la pression atmosphérique est estimé à environ 11 500 000 m<sup>3</sup> serait alors violemment expulsé par le forage.

Les conséquences sur la foreuse et les foreurs seraient variables suivant que le forage aurait recoupé une galerie (VAM, Travers Banc) ou une zone foudroyée. Il est possible dans tous les cas, que des émanations gazeuses sous pression soient émises dès la traversée des quelques dizaines de mètres de formation salifère fissurées qui surmontent les couches exploitées par foudroyage.

- Si le forage recoupe une galerie encore partiellement ouverte, l'expulsion d'air sera rapide et violente en raison des faibles pertes de charges, principalement situées dans le forage. La vitesse de l'air engendrée par la différence de pression pourrait provoquer une remontée brutale du train de tige et la projection de l'eau et de la boue encore contenue dans le forage. La dépression engendrée provoquerait certainement une congélation du sol aux abords immédiats du forage.
- Si le forage recoupe uniquement une zone exploitée par foudroyage, les importantes pertes de charges liées à la seule présence d'une zone décomprimée empêcheront une expulsion d'air trop brutale. Néanmoins, il est probable que l'eau ou la boue du forage sera expulsée en formant un geyser qui pourrait être préjudiciable aux foreurs.

Dans l'hypothèse extrême où aucune précaution ne serait prise et où aucune intervention ne serait possible après l'accident, la totalité de l'air de la mine mettrait quelques jours à être expulsé.

### 7.5.3.2. Le forage perce le stockage déjà ennoyé

L'eau étant incompressible, la pression théorique maximale rencontrée au niveau du stockage serait due à la hauteur de saumure entre l'arrivée du sondage et la zone exondée et à la pression existant dans la poche d'air au Sud de la mine Amélie. Le cas extrême à très long terme serait celui où l'air serait comprimé par l'affaissement des terrains jusqu'à une pression équivalente à celle exercée par les terrains (pression lithostatique). Cette pression est évaluée à 110 bars au Sud de la mine Amélie.

Il convient toutefois de préciser que ce cas de figure n'est possible qu'à la seule condition que la saumure ayant envahi la mine ne puisse pas être expulsée par les puits en raison d'un colmatage des bouchons sous l'effet de la pression des terrains et de phénomènes physico-chimiques (agencement plus compact des micro-particules des cendres volantes, précipitation chimiques).

Suivant que le forage recouperait le stockage dans sa partie basse (-250 NGF) ou dans sa partie haute (-200 NGF), le volume de saumure théoriquement expulsable par l'expansion de l'air décomprimé serait respectivement compris entre 163 000 m<sup>3</sup> et 145 000 m<sup>3</sup>. Compte tenu des approximations, il convient de retenir qu'un **volume maximal de saumure d'environ 150 000 m<sup>3</sup> pourrait être expulsé.**

Si le forage recoupait le stockage sans avoir été alerté lors de la traversée des couches de potasses foudroyées, il se produirait un violent jet de saumure en surface qui pourrait provoquer des dégâts au niveau de la plate-forme de forage. La saumure s'écoulerait pendant quelques jours le temps que les pressions s'équilibrent, si aucune intervention n'était faite.

La présence des serrements de confinement du stockage pourrait atténuer fortement l'expulsion de saumure, mais elle ne pourrait pas l'empêcher, car la différence de pression de part et d'autre du serrement serait trop forte pour que ce dernier ne soit pas contourné par la saumure au profit des micro discontinuités, qui seraient rapidement élargies par la force de l'écoulement.

### 7.5.3.3. Conclusions et recommandations

En cas de scénario intermédiaire, (mine incomplètement ennoyée) une expulsion de saumure suivie d'air serait possible, avec cependant des volumes mis en jeu plus faibles.

L'analyse de l'éventualité d'un forage accidentel montre clairement l'importance de ne pas réaliser de forage profond (sous le toit du sel) à l'aplomb des travaux miniers et tout particulièrement au niveau du stockage. Afin d'empêcher ou de limiter la probabilité de survenue d'un tel événement, plusieurs précautions doivent être prises :



- Il conviendrait de définir un périmètre englobant la zone des travaux miniers où les forages profonds doivent être interdits ou réalisés en connaissance de causes avec certaines précautions.
- Il conviendrait de définir un périmètre entourant la zone du stockage dans lesquels les forages profonds seraient totalement interdits.
- Afin de garantir la perpétuation de la connaissance de ces périmètres sur le long terme, le moyen le plus simple et probablement le plus efficace, serait de les faire reporter sur les documents administratifs courants (cadastre, POS, PLU...).
- Ces informations pourraient également être mentionnées sur un monument inaltérable érigé sur les puits rebouchés.

#### **7.5.4 - Entrée d'eau douce par un forage recoupant le stockage**

##### 7.5.4.1. Estimation des débits

Dans le cas où un forage recouperait les travaux miniers du stockage StocaMine, sans atteindre les aquifères profonds, les venues d'eau seraient essentiellement issues de la nappe alluviale et dans une moindre mesure des horizons aquifères de la zone à gypse du Sannoisien (Zone Salifère Supérieure).

Les captages d'alimentation en eau potable de la nappe alluviale fournissent facilement des débits de l'ordre de 100 m<sup>3</sup>/h avec des rabattements de l'ordre de quelques mètres qui sont inférieurs à celui que l'on peut attendre si on laisse s'écouler librement l'eau de la nappe alluviale dans la mine au travers d'un forage crépiné.

L'estimation de ce débit théorique d'intrusion d'eau a été réalisée selon la même méthode que celle appliquée aux puits Joseph et Else. Les paramètres de la formule de Dupuit qui changent sont le rayon du forage estimé à 0,1 m et l'éloignement du point de réalimentation de la nappe considéré en moyenne égal à 200 m au-dessus de la zone du stockage.

Avec ces nouvelles valeurs, on obtient un débit maximal théorique d'environ 300 m<sup>3</sup>/h. Compte tenu du fait que cette estimation est pessimiste, un débit théorique maximal de l'ordre de 200 m<sup>3</sup>/h semble plus juste.

**Il convient cependant de préciser qu'en cas de réalisation d'un tel forage, il serait impossible d'obtenir un tel débit d'intrusion d'eau, car le tubage empêcherait l'eau de s'écouler librement.**

- Dans le cas où le sondage serait détubé avant d'être abandonné, l'effondrement du trou au niveau de l'aquifère alluvial et dans les formations Oligocènes contribuerait à diminuer de façon conséquente le débit d'entrée d'eau. **Dans de telles conditions, un débit de 5 à 10 m<sup>3</sup>/h semble réaliste.**
- Dans le cas où le tubage serait laissé en place sans cimentation, un débit résiduel maximal de 50 m<sup>3</sup>/jour est envisageable. Toutefois, compte tenu du faible diamètre du forage, **un débit de 10 m<sup>3</sup>/jour semble plus réaliste.**

#### 7.5.4.2. Conséquences de l'intrusion d'eau douce

Les conséquences d'une intrusion d'eau douce dans le stockage seraient variables suivant que le niveau d'eau dans la mine aurait atteint ou non le stockage.

- Dans le cas où le stockage ne serait pas encore ennoyé, une profonde rigole de dissolution serait creusée suivant la ligne de plus grande pente. Seuls les déchets situés sur le trajet de l'écoulement seraient susceptibles d'être lessivés. Le temps de remplissage du bassin de Wittelsheim serait environ 1,5 fois plus rapide.
- Dans le cas où le stockage serait déjà ennoyé, une cavité de dissolution importante se formerait autour du forage entre l'apparition des couches de sel gemme (ou le niveau d'eau statique si la mine n'est pas entièrement remplie) et les couches de potasse. Au niveau du stockage, les impacts de la dissolution se feraient principalement sentir dans la zone amont, c'est-à-dire vers le Sud.

Les calculs effectués en envisageant une entrée d'eau par les puits ont montré que si l'on remplissait le stockage d'eau douce, les parois des voies de dessertes seraient dissoutes sur 15 cm et les parois des galeries de stockage sur 19 cm, ce qui équivaldrait à passer d'un taux de défruitement de 38% à 40%.

Durant tout le temps d'ennoyage de la partie Sud de la mine Amélie, l'eau douce devrait poursuivre son action de dissolution au voisinage du stockage, principalement dans la zone amont.

Le débit à l'équilibre serait du même ordre que dans le cas du scénario de débouillage d'un puits, soit 1220 m<sup>3</sup>/an, ce débit étant contrôlé par le débit possible des puits exutoires.

### 7.5.5 - Altération de l'étanchéité du barrage du Travers Banc T (TBT)

Ce scénario envisage le cas où le barrage mis en place pour obstruer la galerie du TBT ne s'avérerait plus efficace.

- Aucune information précise n'est disponible sur le débit maximum survenu lors du recoupement de la faille par la galerie en 1931. Il avait toutefois été émis l'hypothèse d'une relation avec le puits des Tubbings du puits Marie-Louise d'où il s'écoulait un débit estimé à 1l/s avant des travaux d'étanchéification par soudage également effectués en 1931. On peut donc penser que le débit issu du TBT devait être voisin de 1l/s.
- Après la réalisation d'un premier barrage, il a été observé un débit de fuite de 0,285 l/s le 14 juillet 1942 à l'endroit « A » du quartier du Rocher 121.
- Aucune fuite n'a été signalée après la réalisation d'un second barrage plus conséquent en béton.

Il ne semble pas exister dans les archives MDPa de plan concernant les travaux d'étanchéification effectués au niveau du TBT. On sait seulement que l'étanchéité de cette venue d'eau a été obtenue par la mise en place d'un important bouchon de béton.

Comme on ne peut exclure à moyen ou long terme une altération de l'étanchéité de ce bouchon de béton, il convient d'envisager le cas où l'eau réussirait à contourner le barrage avec un débit similaire à celui observé lors du recoupement de la faille, soit 1 l/s (31 104 m<sup>3</sup>/an).

Le débit de percolation total au travers des puits du bassin de Wittelsheim estimé à 21 600 m<sup>3</sup>/an pendant l'ennoyage des travaux miniers serait donc un peu plus que doublé. Il en résulterait un temps de remplissage réduit de 500 ans à 220 ans dans le cas d'un volume de vide estimé à partir d'une porosité initiale de 5%. Compte tenu de l'incertitude sur le volume des vides miniers liés à l'incertitude sur la porosité initiale et à la compaction progressive des travaux miniers, le temps de remplissage total des travaux minier pourrait varier de 110 ans à 330 ans.

A l'équilibre et à condition que de l'eau réussisse à s'infiltrer par les puits amonts, l'eau de la mine pourrait être évacuée dans l'aquifère du Stampien via le TBT. Le débit de fuite dans le Stampien est difficile à quantifier notamment en l'absence de valeurs de perméabilité. Néanmoins compte tenu des faibles perméabilités probables on peut estimer qu'il sera inférieur à 1 000 m<sup>3</sup>/an.

L'impact d'un éventuel rejet de saumure contaminée dans l'aquifère du Stampien est très inférieur à celui envisagé pour l'aquifère alluvial, car les caractéristiques sédimentaires et structurales de l'aquifère du Stampien induisent un temps de séjour probablement assez long mais également une dilution plus importante. Une évaluation précise nécessiterait la connaissance des perméabilités des niveaux aquifères du Stampien et la datation de prélèvement d'eaux profondes au carbone 14 (<sup>14</sup>C).

### 7.5.6 - Failles et séismes

Le scénario d'une intrusion d'eau par le biais de failles existantes ou à la suite d'un séisme est cité pour mémoire car cette éventualité ne peut être retenue pour les raisons suivantes.

- Aucune venue d'eau pérenne n'est survenue au sein du « Bloc Hôte » durant l'exploitation, malgré le recoupement de plusieurs failles et l'existence des conditions les plus défavorables correspondant à une différence de charge maximale entre la nappe alluviale et les travaux miniers (plusieurs centaines de mètres).
- Aucune venue d'eau n'a été signalée dans les travaux minier à la suite des petits séismes relativement courants dans les Vosges et en bordure du fossé Rhénan.
- De rares venues de saumure temporaires chargées en tritium ont été rencontrées lors de l'avancement des travaux (voies 601, 622, 990). Une des hypothèses défavorables consiste à envisager que ces venues de saumure soient le résultat d'injections en profondeur de quantités d'eau limitées au moment d'une secousse sismique. Si ces venues d'eau se sont tariées alors que la différence de charge était maximale (de l'ordre de 500 m), on voit mal comment une circulation pourrait s'établir durant l'ennoyage et surtout une fois les travaux miniers remplis.

## **8 - PRECONISATIONS POUR LA FERMETURE DES PUITES ET LE CONFINEMENT DU STOCKAGE**

A la suite de la décision prise par les actionnaires de StocaMine de ne pas reprendre l'activité de mise en dépôt des déchets, la société StocaMine doit proposer une solution concernant les produits stockés au fond : ces derniers peuvent être soit déstockés et acheminés vers un autre centre de stockage, soit rester au fond définitivement.

La présente étude hydrogéologique est principalement conduite dans le cas de la mise en application de cette dernière hypothèse consistant à laisser les produits stockés au fond. Les propositions de confinement concerneront cependant l'ensemble du stockage pour les deux hypothèses retenues :

- Maintien des produits au fond.
- Déstockage des produits entreposés, à l'exception du bloc 15 dont les déchets sont maintenus au fond pour des raisons d'impossibilité à reprendre les résidus de l'incendie (risque pour la santé des travailleurs, risque minier en raison de la fragilisation du stockage).

### **8.1 - CAS DU MAINTIEN DES PRODUITS AU FOND**

#### **8.1.1 - Préconisations pour la fermeture des puits**

Schéma de principe de remblayage des puits Joseph, Else, Amélie 1 et Amélie 2	Document n°04.069/ 77	Dans le texte
-------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Le mode de remblayage des puits mis en œuvre par les M.D.P.A. a été mis au point à l'issue d'une réflexion menée dans les années 1976 – 1978. Un des éléments de cette réflexion a été l'étude bibliographique des incidents survenus antérieurement dans les puits déjà remblayés dans d'autres bassins, notamment les mines de charbon de la Ruhr ou du bassin houiller franco-belge.

La mise en œuvre, avec l'accord de la D.R.I.R.E., de la méthode utilisée aux M.D.P.A. depuis le remblayage du puits Fernand en 1978, n'a donné suite à aucune manifestation particulière, et notamment à aucun tassement du remblai.

Dans le cadre de la présente étude, le concept de fermeture reste inchangé, mais, pour l'adapter au cas particulier de StocaMine, l'épaisseur du bouchon de cendres volantes sera considérablement augmentée, dans le remblayage des puits Joseph et Else.

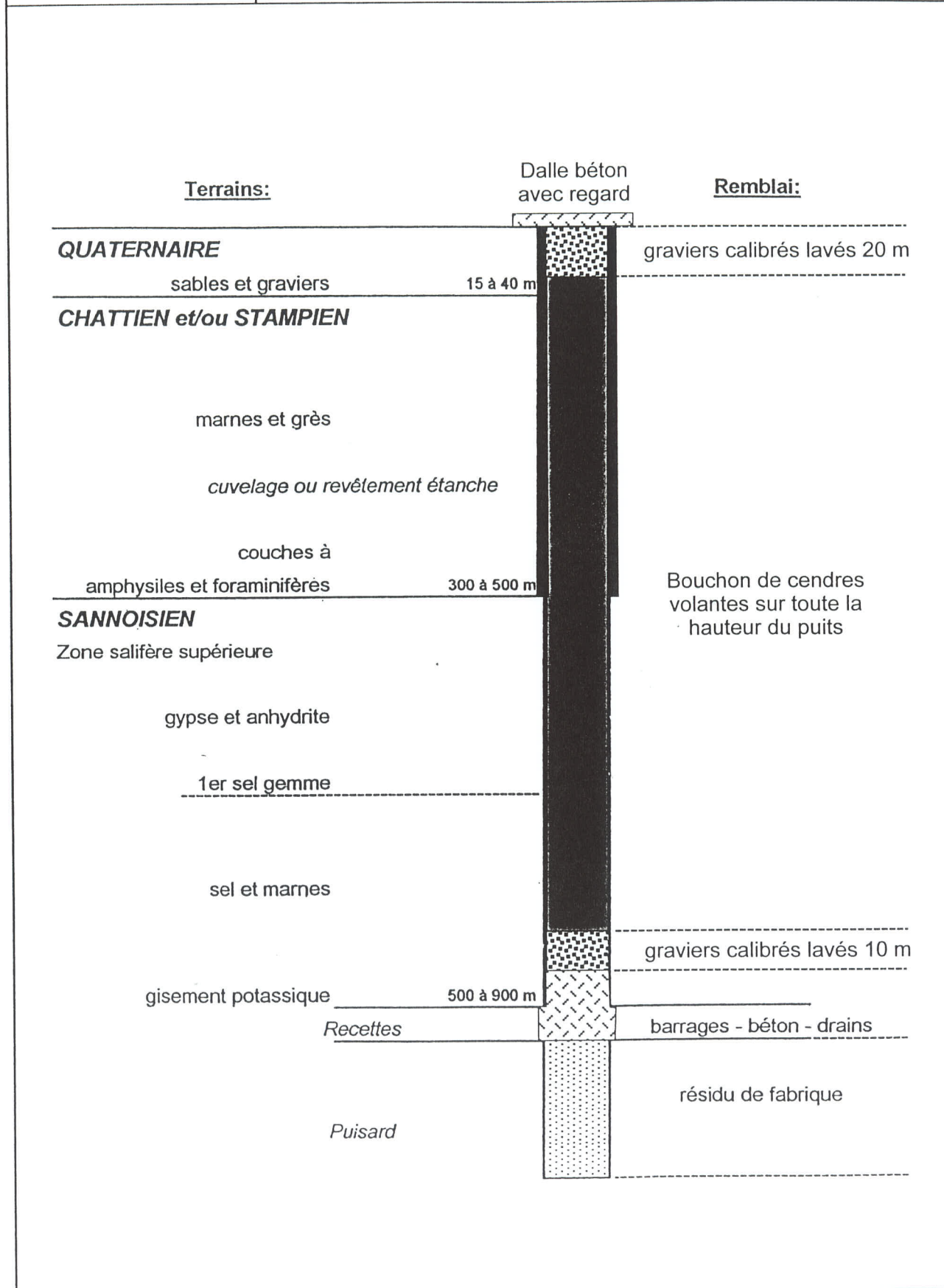
En effet, l'application de la Loi de Darcy aux bouchons de cendres volantes mis en place, montre que le débit d'eau susceptible de transiter dans le fût du puits une fois remblayé diminue fortement avec l'épaisseur des cendres volantes.

Dans les calculs effectués au chapitre 7, le scénario pris en **compte considère le remblayage de l'intégralité des fûts des puits Joseph, Else, Amélie 1 et Amélie 2 avec des cendres volantes**, depuis le blocage de la recette la plus haute, jusqu'à l'aquifère quaternaire. Cette disposition a été adoptée pour limiter autant que faire se peut, les entrées d'eau dans la mine, et ainsi :

- Allonger la durée de l'envoyage de la mine. Cet allongement de la durée de l'envoyage permet aux terrains de se refermer naturellement sur les déchets, de manière à les encapsuler dans le sel. Plus la durée de l'envoyage sera longue, mieux les déchets seront enfermés dans une coque de sel.
- Diminuer les flux d'eau transitant dans la mine, une fois l'équilibre établi en fin de période d'envoyage. Les calculs effectués sur les puits déjà remblayés avec des bouchons de cendres de l'ordre de 50 mètres d'épaisseur et sur les puits remblayés par des cendres volantes sur toute la hauteur montrent à diamètre de puits comparable, de gros écarts sur les débits de transit lors de l'envoyage (exemple : puits Rodolphe 1 : 145 m<sup>3</sup>/mois, puits Joseph, de même section, 30 – 35 m<sup>3</sup>/mois).

Il est proposé, au paragraphe 8.1.4.3. de procéder au remblayage "traditionnel" des puits Amélie 1 et 2, sans que cette disposition ne nuise aux précautions prises jusqu'à présent.

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	SCHEMA DE PRINCIPE DE REMBLAYAGE DES PUIITS JOSEPH, ELSE, AMELIE 1 ET AMELIE 2	Sans échelle Mars 2004



### 8.1.1.1. Mode de fermeture ultra sécuritaire des puits en amont du stockage

Schéma de remblayage ultra sécuritaire des puits Joseph et Else	Document n°04.069/ 78	Dans le texte
-----------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Bien qu'aucun tassement n'ait été observé dans les puits déjà remblayés, la faible durée de la période d'observation (25 ans pour les plus anciens), ne permet pas d'écarter totalement le scénario accidentel de rupture d'un bouchon malgré le fait que cette hypothèse soit très improbable.

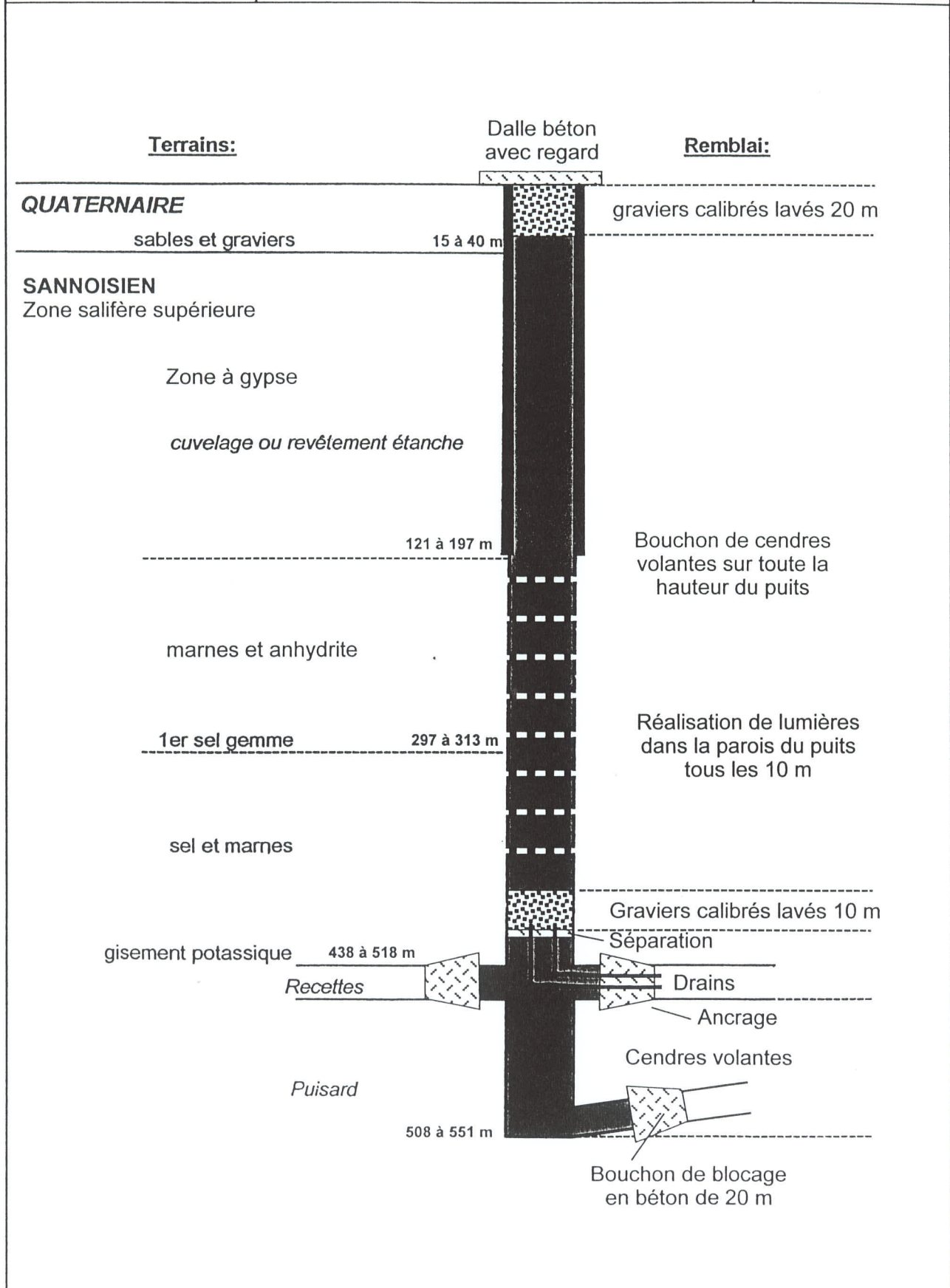
Les recommandations suivantes sont ainsi proposées dans le but de rajouter un niveau de sécurité supplémentaire au schéma de remblayage actuel de façon à rendre extrêmement improbable la rupture d'un bouchon et sa vidange dans les travaux miniers.

- Toutes les galeries d'accès au puits (recettes et puisard) seront obturées à 10 m du puits par des bouchons de blocage en béton marin de 20 m de long ancré d'au moins 1,5 m dans les parements, le mur et le toit.
- L'ancrage des bouchons de blocage en béton sera réalisé en forme de cône de façon à favoriser le travail en compression. La base du cône sera placée du côté du puits.
- L'intégralité de la partie basse du fût du puits et des amorces des galeries (recettes et puisards) sera remplie avec des cendres volantes.
- Une séparation (dalle de béton, géotextile...) sera positionnée sur les cendres volantes, environ 10 m au-dessus du toit de la recette supérieure pour éviter l'enfoncement des graviers dans les cendres volantes.
- Des drains seront placés pour relier le dessus de la séparation et le bouchon de blocage de la galerie (recette supérieure) la plus adaptée pour évacuer un éventuel écoulement d'eau.
- Dix mètres de graviers calibrés seront placés au-dessus du dispositif anti-contaminant de façon à drainer une éventuelle infiltration d'eau, et permettre son évacuation par le biais des drains.
- Le reste du puits sera rempli de cendres volantes jusqu'à la nappe alluviale, et ensuite de graviers calibrés lavés sur environ 20 m.
- De façon à ce que les cendres volantes puissent fluer à l'extérieur de la paroi du puits pour colmater une éventuelle circulation d'eau au contact des terrains encaissant, des lumières devront être régulièrement effectuées dans la paroi, depuis la recette supérieure jusqu'à la base du cuvelage étanche ou à défaut jusqu'en dessous de la venue d'eau la plus profonde. Ces lumières d'une ouverture d'au moins 0,1 m<sup>2</sup> seront réalisées au nombre de huit tout les dix mètres et disposées en quinconce.



- Ces travaux devront être conçu de façon plus détaillé à partir d'un levé topographique précis du puits et de ses abords (géométrie et infrastructures).
- Les travaux devront suivre un plan d'exécution précis et faire l'objet de plans de récolement. Ces documents devront être ensuite archivés et remis à la DRIRE, car ils constitueront dans le futur la seule source d'information sur ces travaux en cas d'incident.

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	SCHEMA DE REMBLAYAGE ULTRA SECURITAIRE DES PUIITS JOSEPH ET ELSE	Sans échelle Juin 2004



### **8.1.2 - Préconisations pour le confinement du stockage**

Les études hydrogéologique et géotechnique ont montré que l'ennoyage des galeries et des chantiers foudroyés se ferait sur une très longue période de temps, par les venues d'eau de l'ensemble des puits des mines du bassin potassique de Wittelsheim.

Une fois le système à l'équilibre, il peut s'établir une circulation de l'amont vers l'aval, avec des débits extrêmement faibles, les puits topographiquement les plus haut jouant le rôle de points d'alimentation du système, les puits topographiquement les plus bas servant d'exutoire au système.

Le stockage de StocaMine est implanté à proximité immédiate des puits Joseph et Else qui représentent les points les plus à l'amont pour l'alimentation du système hydraulique du bassin potassique.

L'observation des voies de liaison dans la mine Amélie montre que ces dernières ne se referment que très lentement sous l'action de la pression des terrains, par soufflage du mur, des parements et du toit. Ces voies constituent les lieux de passage préférentiel de l'eau dans la mine, et ces voies vont rester très longtemps ouvertes, et dans tous les cas, resteront toujours plus transmissives que les terrains foudroyés.

Afin de limiter les possibilités de transfert des polluants du dépôt dans les eaux transitant dans la mine, des travaux de confinement peuvent être réalisés.

#### **8.1.2.1. Modalités de l'ennoyage du stockage**

<b>Bures de jonction entre la VAM RAJ2 et la PAM 77b</b>	<b>Document n°04.069/ 79</b>	<b>Dans le texte</b>
<b>Coupe schématique de l'ennoyage du stockage</b>	<b>Document n°04.069/ 80</b>	<b>Dans le texte</b>

#### **Eaux rentrant par le puits Joseph**

Dès le remblayage du puits Joseph, l'eau qui traversera le bouchon de cendres volantes, va s'accumuler dans le puisard (cote – 280 m), et remonter dans la galerie d'accès au puisard (Vam JOSD).

L'eau va ainsi remonter jusqu'à la recette du puits à la cote – 261 m. Elle s'écoulera ensuite par le TB 0, puis par la VAM AJ3D, vers le coin Nord Ouest du Stockage.

## **Eaux rentrant par le puits Else**

Les eaux du puits Else vont remplir le puisard jusqu'au débordement au niveau de la recette à la cote – 219 mètres.

Quelques barrages devraient permettre de canaliser les eaux en direction de la VAM AJ 3D à partir de laquelle, elle rejoignent les eaux provenant du puits Joseph.

## **Eaux issues des deux puits Joseph et Else**

La VAM AJ 3D, canalisant les eaux issues des deux puits, rejoint ensuite la VAM AJ 2. Au bout de la VAM AJ 2, l'eau s'accumule avant de pouvoir franchir un dos d'âne et envahir ensuite les voies de contournement des extensions du stockage.

Une fois ces voies pleines d'eau, celle ci remonte par des bures pour déborder à la tête de ces derniers, dans un plan (PAM 77 b) à – 4 m au mur de la couche inférieure de potasse, à la cote N.G.F. de – 284 mètres.

A ce stade, sans travaux de confinement, seuls les 2/3 du bloc 21, situé au Nord Est du stockage, seraient partiellement noyés.

Avec travaux de confinement, ce bloc serait vraisemblablement noyé, toujours au 2/3, mais sans communications directes avec les circulations d'eau, c'est à dire sans possibilité de migration des polluants vers le reste de la mine plus basse, pendant toute la durée de l'ennoyage :

Cette situation perdurera pendant toute la période définie au chapitre précédent, où l'eau remplit les mines du bassin de Wittelsheim (Durée la plus courte : 180 années dans le cas d'une prise en compte de porosité résiduelle de 2%).

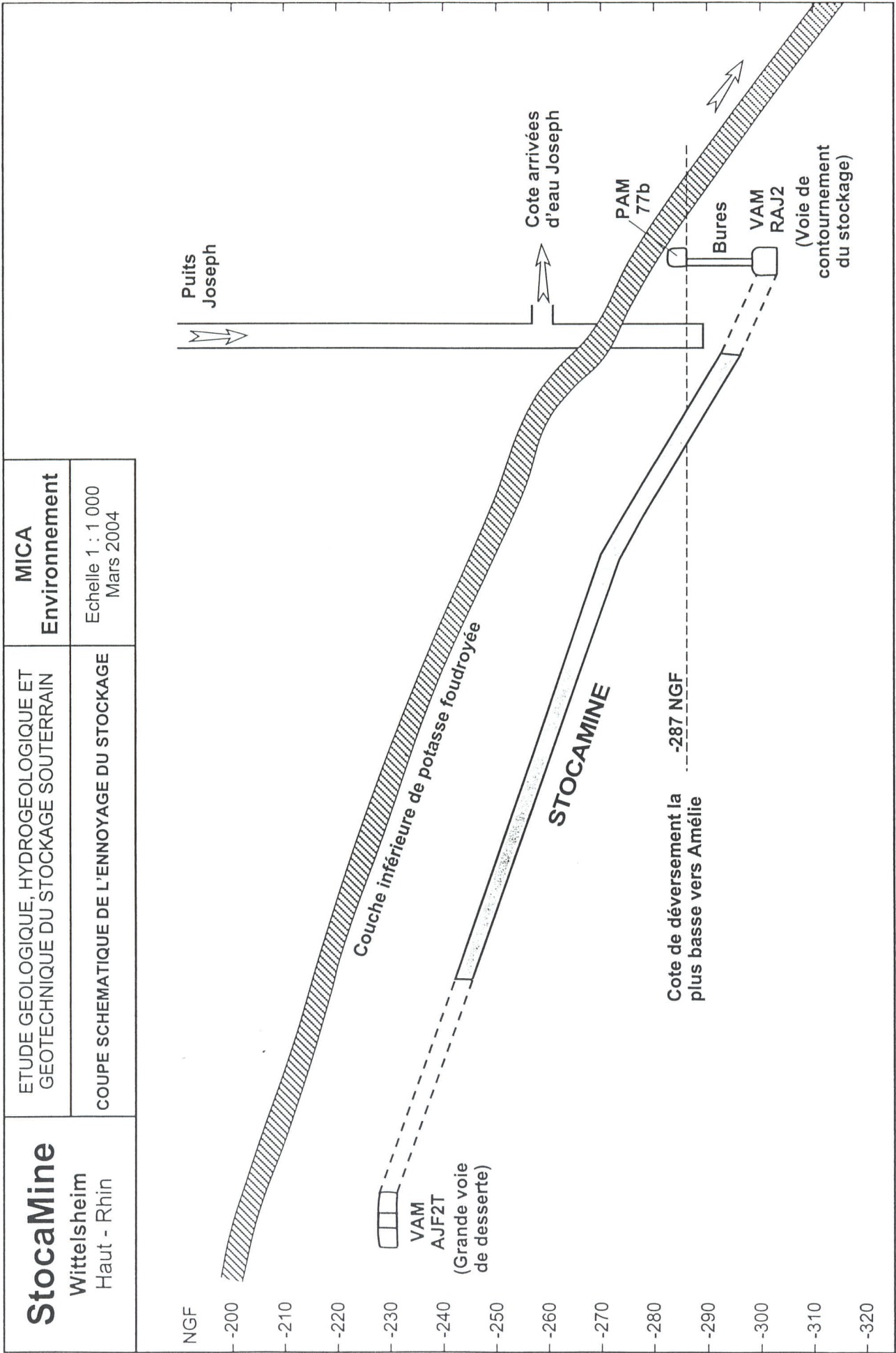
Le stockage, qui se sera entre temps en partie refermé par convergence des terrains, sera alors progressivement noyé, mais ne communiquera pas franchement, en raison des travaux de confinement, avec le reste des travaux miniers, et en particulier les voies de desserte de la mine.

Une fois la mine noyée et l'équilibre final atteint, seules les eaux entrant par les puits Joseph et Else seront susceptibles de se charger en polluants. Si le stockage est correctement confiné, les eaux chemineront préférentiellement dans les zones poreuses ou vides qui offriront le moins de résistance à son passage.

<b>StocaMine</b> Wittelsheim  Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE , HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>BURES DE JONCTION ENTRE LA VAM RAJ2  ET LA PAM 77b</b>	Mai 2004



**Galerie Vam Raj2 (contournement NW du stockage) : au toit, les bâches ferment quatre bures de communication avec le Pam 77 b. La circulation d'eau par ces puits doit permettre de maintenir le stockage hors d'eau pendant toute la durée de l'envoyage du bassin de Wittelsheim**



### 8.1.2.2. Modalités de mise en œuvre du confinement du stockage

Plan d'implantation des serrements de confinement du stockage	Document n°04.069/ 81	Dans le texte
---------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Le phénomène naturel de convergence conduit à l'encapsulage progressif des déchets dans le sel gemme.

Le toit des déchets sera atteint au bout d'une période moyenne de 400 ans, mais l'encapsulage va se poursuivre jusqu'à emballer complètement les déchets.

Lors de l'arrivée de l'eau, le stockage ne se sera pas complètement refermé, c'est pourquoi il est proposé d'isoler le stockage par fermeture des accès au moyen de serrements réalisés en sel. Cet isolement a pour but :

- Pendant la période d'ennoyage de la mine, la circulation de l'eau doit être favorisée dans les voies hors déchets et selon les lignes de plus grande pente.
- Le stockage doit se comporter comme un bloc résistant au passage de l'eau afin de limiter les transferts de polluants, même lorsque l'ensemble de la mine sera noyé.

Il est donc proposé, pour éviter le cheminement de l'eau dans le stockage, de fermer les voies d'accès à ce dernier par des serrements réalisés en sel. Ces serrements, au nombre de 12, sont adaptés à la configuration des galeries qu'ils doivent bloquer :

L'efficacité des serrements dépend beaucoup de leur mise en œuvre. En particulier il convient de mettre au point une technique de mouillage du sel au moment de sa mise en place, pour le claver au toit efficacement et réaliser dès l'origine, un serrement de sel pris en masse (technique du béton projeté par exemple).

Sur les 12 serrements, 8 concernent des galeries doubles, 3 des galeries simples et 1 une galerie triple.

Les galeries doubles, sont séparées par un pilier de trois mètres souvent fissuré et écaillé. Ceci est également vrai pour la galerie triple.

En prenant en compte ces faits, il semble que les serrements, pour être efficaces doivent être dimensionnés largement. C'est pourquoi il est préconisé, par analogie avec les serrements observés dans d'autres mines :

- Galerie triple : serrement long de 50 mètres
- Galerie double : serrement long de 30 mètres
- Galerie simple : serrement long de 20 mètres

Dans ces conditions, le volume de sel nécessaire est de l'ordre de 8300 m<sup>3</sup>.

Le sel peut être extrait, dans la partie du stockage qui était en cours d'aménagement lors de l'arrêt de l'exploitation ; cette zone d'exploitation est proche des zones d'implantation des bouchons, et permet d'utiliser des engins diesel de petite capacité et disponibles.

Le sel peut également être extrait dans une galerie à creuser, dont le tracé pourrait permettre de réaliser une voie hydraulique directe entre la recette du puits Joseph et la mine à l'aval du stockage. Ce projet est déjà éloigné du centre de stockage et ne pourrait se réaliser que si le matériel dont dispose encore M.D.P.A. est adapté. Cette galerie assurerait encore un meilleur confinement du stockage par détournement de la plus grande partie des eaux susceptibles d'y transiter.





### 8.1.3 - Conséquences des travaux de confinement sur les flux d'eau dans la mine à l'ennoyage et en régime à l'état final

Estimation du flux résiduel pouvant transiter par le stockage après confinement	Document n°04.069/ 82	Dans le texte
---------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Le confinement des déchets du stockage présente l'intérêt de rajouter un niveau de protection important entre les polluants et la surface. Le but de ce confinement est d'isoler au maximum les déchets des flux d'eau transitant dans les travaux miniers au voisinage du stockage de façon à limiter autant que possible l'entraînement de polluant.

Ces bouchons sont donc en eux-même parfaitement étanches. Néanmoins on peut se demander ce qu'il arriverait si une partie du flux contourrait les bouchons au profit des fissures, et/ou d'une zone de tassement et de dissolution au toit de la galerie obstruée.

Cet aspect est abordé durant la période d'ennoyage de la mine et une fois l'équilibre hydrodynamique atteint.

La quantification de la perméabilité en grand des bouchons de sel à l'eau saturée en sel a été basée sur la détermination de la surface résiduelle non colmatée des fissures du toit et des parements, ainsi que du soufflage du mur.

Les calculs suivants ont été réalisés pour une voie de desserte de dimension moyenne (3,5 m de largeur pour 3 m de hauteur), soit une section de 10,5 m<sup>2</sup>.

Par ailleurs, les observations et les mesures effectuées dans les galeries du stockage permettent d'estimer l'amplitude maximale moyenne des déformations à environ 15 cm.

Le calcul de la section représentée par les fissures et le soufflage situé à la périphérie de la galerie équivaut à calculer la section de la galerie refermée par la subsidence des terrains (cf. figure). Ainsi, pour la section de galerie retenue, la surface des fissures ouvertes peut être estimée à environ 0,5 m<sup>2</sup>.

En cas d'ennoyage du stockage, on s'aperçoit que l'eau est susceptible de circuler par 6 voies de dessertes (en tenant compte de deux galeries pour les voies de dessertes jumelées). On aboutit ainsi à une section totale de l'ordre de 3 m<sup>2</sup>.

Considérant qu'au bout de 500 ans (temps le plus probable pour que le niveau de l'eau dans la mine atteigne le stockage) il ne subsistera plus que 40% des vides, la section résiduelle totale des voies d'accès au stockage sera donc réduite à environ 1,4 m<sup>2</sup>.

Le calcul du débit pouvant transiter dans le stockage a ensuite été basé sur une répartition proportionnelle du flux entre la section des vides utilisés par le flux d'eau autour du stockage et la section des fissures présentes à la périphérie des bouchons. Le flux pris en compte est celui circulant entre la zone Amélie haute (au-dessus du stockage) et la zone Amélie basse (sous le stockage).

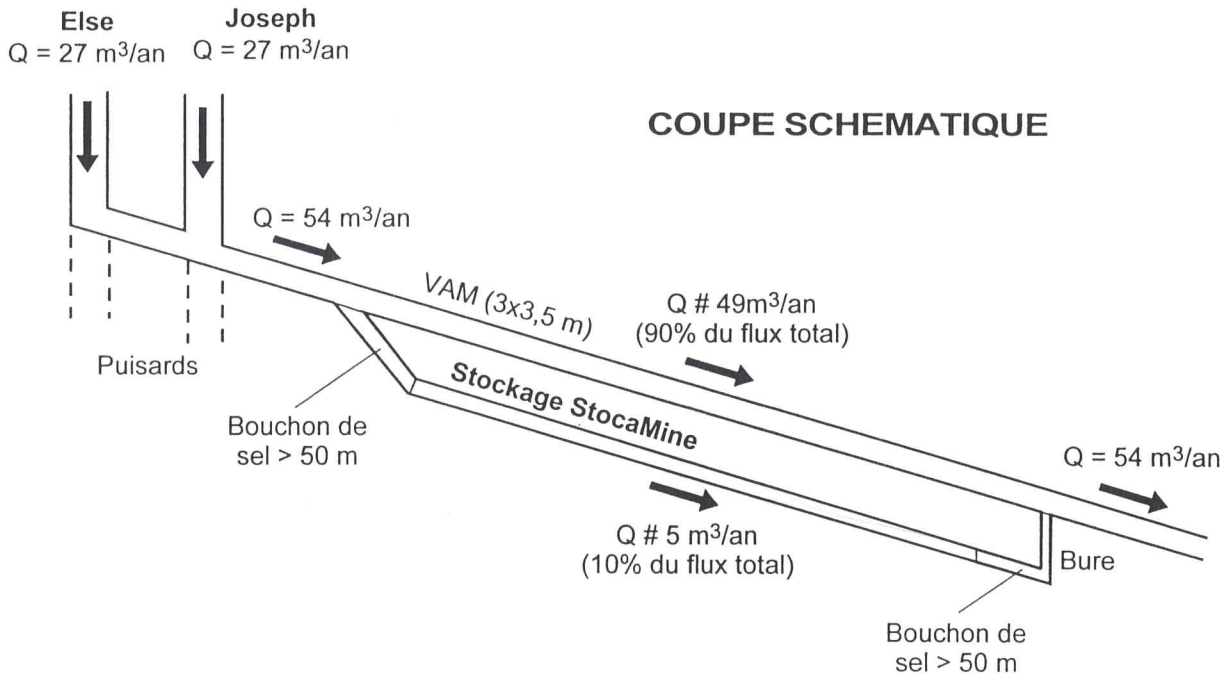
Cette méthode simplificatrice reste cependant la plus réaliste compte tenu de l'existence de circulations de type fissural où la loi de Darcy ne peut pas s'appliquer et compte tenu de l'absence de pertes de charges liées à la faiblesse du flux.

La dissolution ne devrait avoir un impact que durant la période d'envoyage, ou l'eau non saturée issue des puits Joseph et Else ruissellera dans les voies de contournement du stockage, sans conséquences pour ce dernier. Une fois le stockage complètement envoyé, les dissolutions ne seront plus à craindre, car l'eau sera déjà saturée en sel lorsqu'elle circulera au voisinage du stockage.

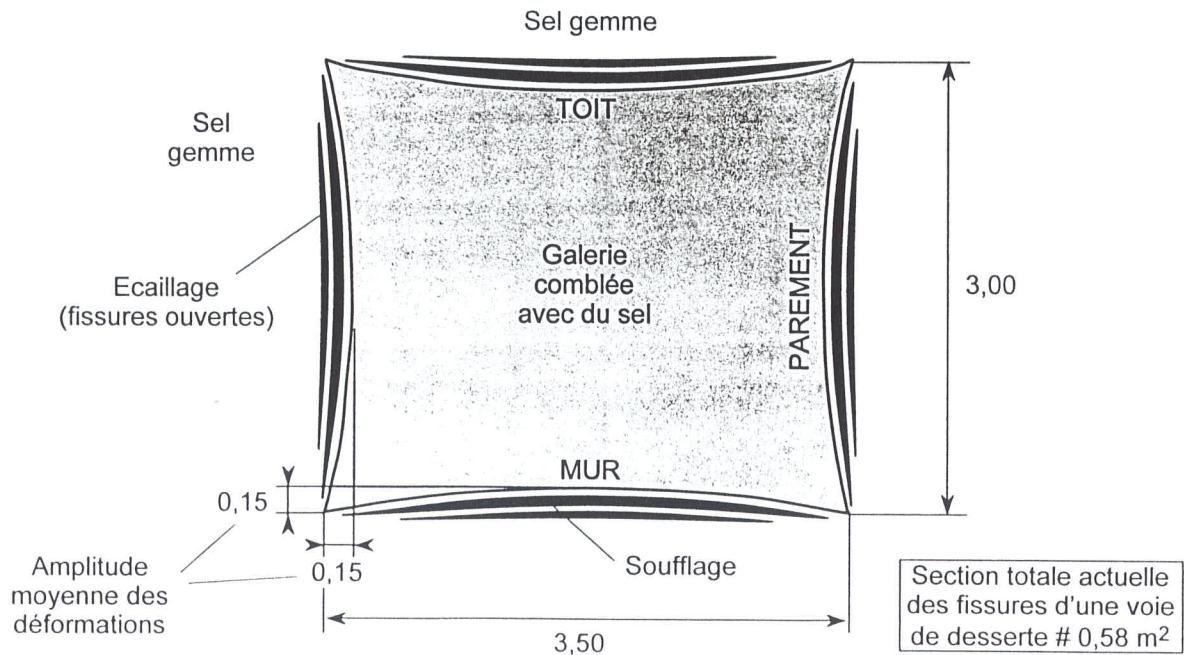
**Tableau récapitulatif des débits transitant par les puits situés en amont du stockage**

	Bassin minier de Wittelsheim		Mine Amélie isolée	
	En cours d'envoyage	Une fois l'équilibre hydrodynamique atteint	En cours d'envoyage	Une fois l'équilibre hydrodynamique atteint
<b>Débit entrant par le puits Joseph (m<sup>3</sup>/an)</b>	384	27	384	5
<b>Débit entrant par le puits Else (m<sup>3</sup>/an)</b>	456	27	456	5
<b>Débits cumulés des deux puits (m<sup>3</sup>/an)</b>	840	54	840	10

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> Environnement
	ESTIMATION DU FLUX RESIDUEL POUVANT TRANSITER PAR LE STOCKAGE APRES CONFINEMENT (Mine de Wittelsheim totalement ennoyée)	Mars 2004



**SECTION SCHEMATIQUE D'UNE  
VOIE DE DESSERTE DU STOCKAGE**



Section totale actuelle des fissures des galeries concernées =  $0,58 \text{ m}^2 \times 6 \text{ galeries} = 3,5 \text{ m}^2$   
 Section totale des fissures à 500 ans en tenant compte de la subsidence =  $3,5 \text{ m}^2 \times 40 \% = 1,4 \text{ m}^2$   
 Section de la galerie de contournement du stockage laissée ouverte =  $3 \times 3,5 \text{ m} = 10,5 \text{ m}^2$   
 A 500 ans, les fissures représentent environ 10% de la section totale potentiellement utilisée par le flux.

### 8.1.3.1. Conséquences au cours de l'envoyage du stockage

Deux phases doivent être distinguées durant l'envoyage des travaux miniers.

Dans un premier temps, l'eau non saturée issue des puits Joseph et Else ruissellera à proximité du stockage selon les modalités énumérées au paragraphe précédent. Durant cette phase, il est probable que l'eau creusera une rigole dans les galeries sur les premières dizaines de mètres à partir des puits.

Dans ce cas de figure, le stockage ne sera que très partiellement envoyé jusqu'à la cote -284 m, tant que le niveau de l'eau dans la mine n'aura pas atteint ce niveau.

Pour cette raison, le flux susceptible de transiter dans le stockage est négligeable. Le flux contournant le stockage par la VAM AJ3D est égal au débit issu des puits Joseph et Else soit 840 m<sup>3</sup>/an.

**Tableau des débits transitant dans la voie de contournement AJ3D et dans le stockage au cours de l'envoyage des travaux miniers situés sous la cote -283 m NGF**

<b>Bassin minier de Wittelsheim</b>		<b>Mine Amélie isolée</b>	
Flux circulant dans la Vam AJ3D	Flux transitant par la partie basse du stockage	Flux circulant dans la Vam AJ3D	Flux transitant par la partie basse du stockage
<b>840 m<sup>3</sup>/an</b>	<b>0 m<sup>3</sup>/an</b>	<b>840 m<sup>3</sup>/an</b>	<b>0 m<sup>3</sup>/an</b>

Dans un deuxième temps, une fois que le niveau d'eau dans la mine à recouvert le stockage, l'eau issue des puits Joseph et Else (840 m<sup>3</sup>/an) contribuera à remplir la zone haute de la mine Amélie sans circuler dans ou à proximité du stockage.

Le flux susceptible de transiter dans et autour du stockage sera uniquement lié au débit d'entrée d'eau de tout les autres puits soit 1 560 m<sup>3</sup>/an ou 20 760 m<sup>3</sup>/an selon que l'on considère la mine Amélie isolée ou non du reste du bassin minier de Wittelsheim.

Lors de l'envoyage de la partie haute de la mine Amélie, l'eau issue des puits s'insinuera dans tout les vides des galeries et des couches foudroyées. Il en résultera que le flux sera extrêmement dispersé. Pour calculer le flux transitant par le stockage lors de l'envoyage de la partie haute de la mine, il est nécessaire d'estimer la section de vide de toute la mine Amélie à la hauteur du stockage. Ce calcul a été réalisé à la cote -250 NGF.

La largeur des travaux miniers de la couche inférieure de potasse suivant la courbe de niveau -250 m NGF est d'environ 5 000 m. Si l'on considère une exploitation de 4 m d'épaisseur en moyenne et une porosité résiduelle de 5%, on obtient une **section de vide de la zone foudroyée équivalente à 1 000 m<sup>2</sup>**.

La section des voies au mur qui traverse cette isohypse a été estimée à environ 200 m<sup>2</sup> et la section résiduelle des voie de desserte du stockage à 1,4 m<sup>2</sup>. **On obtient donc une section de vide à la côte -250 NGF, voisine de 1 200 m<sup>2</sup>**.

La section des vides résiduel présent autours des bouchons isolant le stockage **peut ainsi laisser passer environ 0.1% du flux total**.

Le tableau ci-après présente le flux résiduel pouvant traverser le stockage suivant que l'on envisage une communication ou non entre la mine Amélie et le reste du bassin minier de Wittelsheim

**Tableau des débits transitant dans le stockage et au travers des travaux miniers à la côte -250 NGF au cours de l'ennoyage de la partie haute de la mine Amélie**

<b>Bassin minier de Wittelsheim</b>		<b>Mine Amélie isolée</b>	
Flux circulant dans les travaux miniers à -250 NGF	Flux transitant par le stockage	Flux circulant dans les travaux miniers à -250 NGF	Flux transitant par le stockage
20 740 m <sup>3</sup> /an	<b>20 m<sup>3</sup>/an</b>	1 558 m <sup>3</sup> /an	<b>2 m<sup>3</sup>/an</b>

### 8.1.3.2. Conséquences une fois l'équilibre hydrodynamique atteint

Une fois la mine entièrement ennoyée, la situation est plus simple. Il est probable que l'essentiel du flux va emprunter les voies au mur reliant de façon la plus directe les puits introducteurs d'eau et les puits servant d'exutoires. Ainsi, au niveau du stockage l'eau circulera principalement dans la galerie de contournement VAM AJ3D.

A 500 ans, la section de la voie de contournement peut être considérée égale à  $2 \times 10,5 \text{ m}^2 = 21 \text{ m}^2$  car la diminution de section sera compensée par l'apparition des fissures à la périphérie de la galerie. La section des vides résiduels des voies d'accès au stockage calculée précédemment est de  $1,4 \text{ m}^2$ .

La section totale potentiellement utilisée par le flux est donc d'environ  $22 \text{ m}^2$ . En admettant que le flux se répartisse de façon proportionnelle, on détermine qu'environ 94 % du flux passera dans la voie de contournement et environ 6 % par le stockage. **Par précaution, et compte tenu des incertitudes, ces valeurs seront arrondies à 90% et 10%.** Cette estimation est pessimiste pour les raisons suivantes :

- On considère que le flux n'utilise qu'une seule galerie de contournement.
- Il n'est pas certain que les fissures situées à la périphérie des bouchons possèdent une continuité totale sur les quelques dizaines de mètres des bouchons.
- On considère que les fissures seront encore ouvertes à 40% au bout de 500 ans, ce qui n'est pas certain, car du fait de leur obstruction par du sel incompressible la fermeture naturelle de la galerie sous le poids des terrains sera plus efficace.

Compte tenu de ces évaluations, le flux résiduel pouvant traverser le stockage peut être estimé suivant que l'on envisage une communication ou non entre la mine Amélie et le reste du bassin minier de Wittelsheim.

**Tableau des débits transitant dans le stockage  
et dans la voie de contournement  
une fois l'équilibre hydrodynamique atteint**

Bassin minier de Wittelsheim		Mine Amélie isolée	
Flux circulant dans la galerie de contournement	Flux transitant par le stockage	Flux circulant dans la galerie de contournement	Flux transitant par le stockage
50 m <sup>3</sup> /an	5 m <sup>3</sup> /an	9 m <sup>3</sup> /an	1 m <sup>3</sup> /an

#### **8.1.4 - Alternative pour le remblayage des puits Amélie 1 et Amélie 2**

Le modèle d'envoyage de la mine et de circulation des eaux dans cette dernière à l'équilibre a été réalisé en prenant en compte l'hypothèse d'un remblayage total des fûts des puits Amélie 1 et 2 au moyen de cendres volantes. Les volumes nécessaires de cendres volantes sont très importants et engendreraient un surcoût non négligeable pour la fourniture des matériaux.

Les puits Amélie 1 et 2 sont situés à l'aval hydraulique du stockage. Un remblayage des puits de manière similaire aux autres puits du bassin, à savoir en implantant les bouchons de cendres volantes au niveau des venues d'eau, de part et d'autre des cuvelages étanches a les conséquences suivantes :

- Une légère augmentation des débits de transit dans les deux puits lors de la période d'envoyage. Cette augmentation est faible, de l'ordre de 60 m<sup>3</sup>/mois, ce qui ne modifie pratiquement pas la durée d'envoyage prise en compte pour le bassin de Wittelsheim. En revanche, la durée d'envoyage de la mine Amélie, considérée isolément s'échelonne de 750 à 2500 ans selon la porosité résiduelle retenue, ce qui ne modifie pas fondamentalement le scénario précédemment retenu.
- A l'équilibre, le débit de transit dans les travaux miniers, entre les puits entrants et les puits sortants s'élève à 290 m<sup>3</sup>/an. Ce débit plus élevé n'influence que le temps de transit dans la mine (raccourci), et participe à la dilution d'un éventuel flux de contaminants issus du stockage.

**En conclusion, il apparaît qu'il n'y a pas grand intérêt à réaliser des bouchons de cendres volantes sur toute la hauteur des fûts des puits Amélie 1 et Amélie 2.**

L'installation :

- D'un bouchon épais de 50 mètres au moins, de part et d'autre de la base du cuvelage du puits Amélie 1,
- D'un bouchon de 146 mètres installé à la base, 25 mètres en-dessous du cuvelage inférieur et remontant 25 mètres au-dessus de la base du cuvelage supérieur du puits Amélie 2,
- De deux bouchons de cendres volantes de 20 mètres, implantés à cheval sur la base de l'aquifère quaternaire des deux puits Amélie 1 et 2,

**est suffisante pour assurer la sécurité du stockage et limiter les circulations d'eau dans le système constitué par la mine.**



## **8.2 - CAS DU DESTOCKAGE DES PRODUITS HORS BLOC 15**

### **8.2.1 - Préconisations pour la fermeture des puits**

Dans le cas du déstockage des produits, hors bloc 15, les puits de la mine Amélie peuvent être remblayés de manière similaire aux puits du bassin de Wittelsheim, sans mettre de cendres volantes sur toute la hauteur du fût des puits Joseph et Else, mais constituer uniquement des bouchons de part et d'autre de la base des cuvelages étanches, et au niveau de la nappe des alluvions quaternaires.

Les débits de percolation au travers des puits de la mine Amélie évalué à 200 m<sup>3</sup>/mois dans le cas de bouchons épais seront augmentés d'environ 342 m<sup>3</sup>/mois ( 4 100 m<sup>3</sup>/an) et le temps d'ennoyage de la mine raccourci (entre 250 et 710 ans pour Amélie seule, entre 200 et 570 ans pour le bassin de Wittelsheim).

Le bloc 15 ne contenant qu'une faible quantités de déchets confinés, leur dilution dans l'ensemble des mines du bassin de Wittelsheim conduira vraisemblablement à des concentrations très faibles aux exutoires (puits Max si l'on considère la mine Amélie seule, Puits Alex, Schoenensteinbach, Rodolphe, Ungersheim si l'on considère l'ensemble du bassin de Wittelsheim).

**Tableau des débits de percolation au travers des bouchons**

<b>Travaux miniers considérés</b>	<b>Débit de percolation au travers des bouchons des puits</b>
Mine Amélie seule	942 m <sup>3</sup> /mois (11 304 m <sup>3</sup> /an)
Bassin de Wittelsheim	2542 m <sup>3</sup> /mois (30 504 m <sup>3</sup> /an)

### **8.2.2 - Préconisations pour le confinement du bloc 15**

#### **8.2.2.1. Généralités**

La mauvaise tenue mécanique des terrains du bloc 15, fragilisé par l'incendie de septembre 2002, et les risques sanitaires pour le personnel conduisent à considérer qu'il est pratiquement impossible de reconditionner et de déstocker les produits du bloc 15.

Ce bloc, au moment de l'incendie, était en cours de remplissage et n'est que partiellement rempli.

Pour ce bloc, les travaux de confinement concernent principalement le court terme, et visent à protéger le personnel des envolements de poussières ou des émanations peu probables de gaz toxiques.

Pour le long terme :

- soit les produits du reste du stockage sont enlevés, et les déchets entreposés dans le bloc 15 sont les seuls à rester au fond. Dans ce cas, un confinement individuel du bloc sera réalisé, mais pas nécessairement justifié en termes d'impact sur la qualité des eaux de la nappe.
- Soit les produits du reste du stockage restent au fond, et le bloc 15 est confiné avec l'ensemble du stockage, sans mesures particulières supplémentaires, ce bloc ne présentant pas de différences majeures avec le reste des déchets entreposés.

#### 8.2.2.2. Modalités de réalisation du confinement du bloc 15

Plan d'implantation des serrements de confinement du bloc 15 en cas de déstockage des déchets	Document n°04.069/ 83	Dans le texte
-----------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Confinement à court terme : ce confinement est réalisé par construction de murs en béton, épais de 2 mètres, installés aux entrées des allées du bloc, côté entrée et sortie d'air. Un tel mur réalise une bonne étanchéité aux gaz à court terme.

Dans le cas du déstockage des déchets du stockage à l'exception de ceux du bloc 15, le confinement de ce dernier sera complété par le doublage des murs en béton par des serrements en sel de 5 mètres d'épaisseur, capables de garantir une meilleure étanchéité à l'eau (saumure saturée) sur le long terme.

#### 8.2.3 - Conséquences sur les flux d'eau

Durant la période d'ennoyage des travaux miniers, les déchets resteront hors d'eau tant que le niveau de l'eau n'atteindra pas la cote du bloc 15.

Lors de l'ennoyage de la zone située au-dessus du bloc 15, il a été envisagé le cas défavorable ou une faible quantité de saumure pourrait traverser le stockage. L'estimation du flux contournant les bouchons du bloc 15 par le biais de fissures a été conduite selon le même principe que celui utilisé pour évaluer la part du flux transitant dans le stockage en cas de circulation une fois la mine remplie. Les calculs conduits pour une galerie de section 5 x 2,8 m permettent d'évaluer que 0,04% du flux issu du bassin NW et de la partie basse de la mine Amélie est susceptible de traverser le bloc 15.

En considérant le bassin de Wittelsheim et un débit d'intrusion de 29 040 m<sup>3</sup>/an au Nord du bloc 15, on obtient un débit de transit dans le bloc 15 estimé à 12 m<sup>3</sup>/an.

En considérant la mine Amélie isolée et un débit d'intrusion serait de 9 840 m<sup>3</sup>/an au Nord du bloc 15, on obtient un débit de transit dans le bloc 15 estimé à 4 m<sup>3</sup>/an.

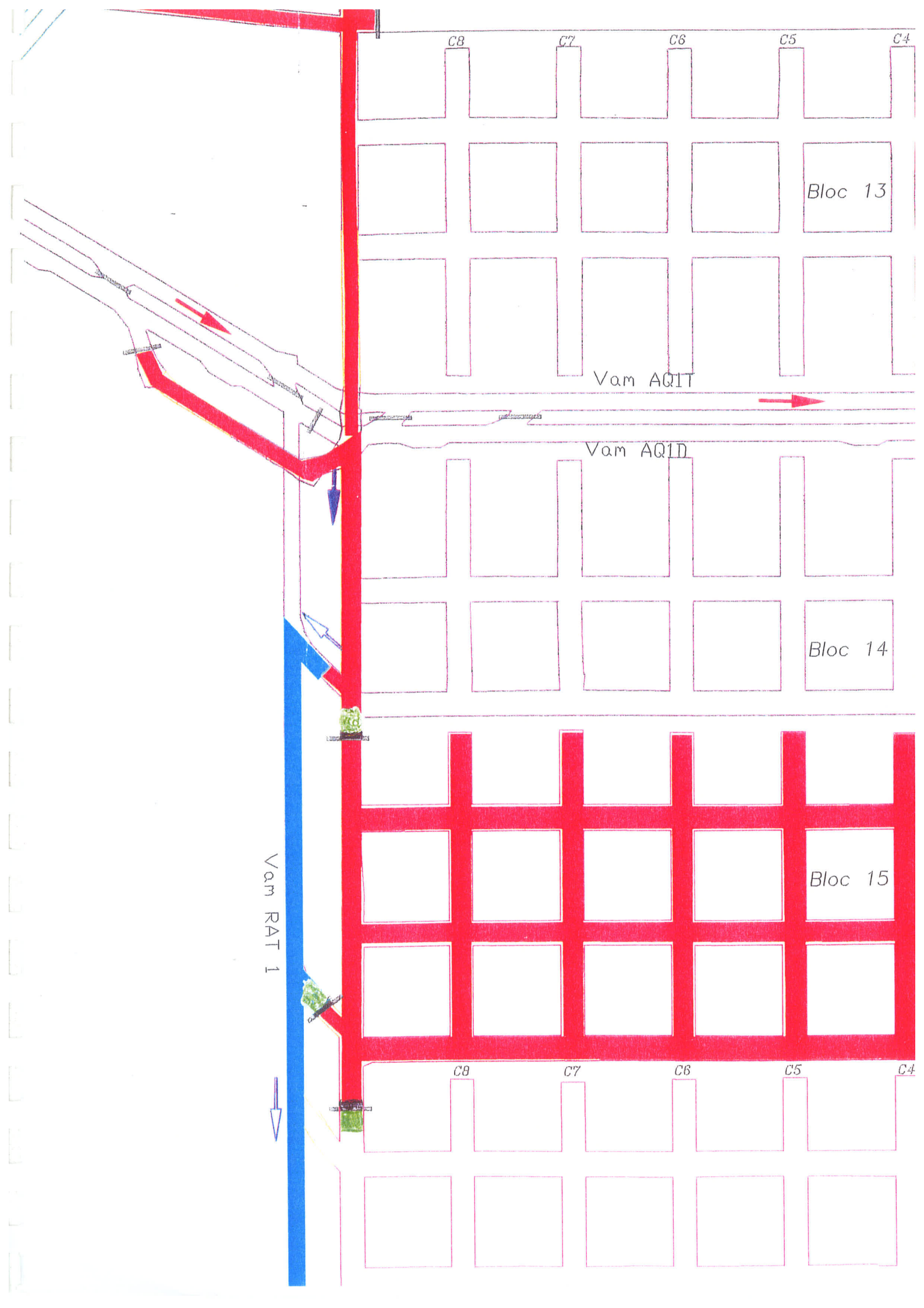
Une fois la mine totalement remplie, le flux qui est susceptible de s'établir dans les travaux miniers ne devrait pas concerner le bloc 15 qui sera situé à l'écart du trajets des écoulements. Le débit transitant dans le bloc 15 et pouvant lessiver les déchets est donc nul. L'entraînement de polluant ne peut être envisagé que s'il y a exportation de polluant hors du bloc 15 par diffusion simple, ce qui sera vraisemblablement négligeable même sur le long terme.

**Tableau des débits de transit dans le bassin minier de Wittelsheim dans le cas ou tout les puits sont fermés par des bouchons réduits**

	Entrée d'eau						Flux négligeable			Sortie d'eau					
	Eise	Joseph	Berrwiller	Amélie 2	Amélie 1	Max	Staffelfelden	Marie	Louise	Schoenensteinbach	Rodolphe 1	Rodolphe 2	Alex	Ungersheim 1	Ungersheim 2
Epaisseur du bouchon du puits (m)	50	50	95	146	50	309	176	50	50	97	50	50	254	64	47
Section des puits (m <sup>2</sup> )	16	16	28,7	16	23,7	16	31,2	15,9	15,9	27,3	15,9	23,8	15,9	23,8	23,8
Débit transitant par les puits en m <sup>3</sup> /an	77	77	65	67	74	50	-	-	-	65	50	74	22	95	105
Total	<b>410 m<sup>3</sup>/an</b>									<b>410 m<sup>3</sup>/an</b>					

**Tableau des débits de transit dans la mine Amélie isolée dans le cas ou tout les puits sont fermés par des bouchons réduits**

	Entrée d'eau		Sortie d'eau		
	Eise	Joseph	Amélie 2	Amélie 1	Max
Epaisseur du bouchon du puits (m)	50	50	146	50	309
Section des puits (m <sup>2</sup> )	16	16	16	23,7	16
Débit transitant par les puits en m <sup>3</sup> /an	22	22	30	6	8
Total	<b>44 m<sup>3</sup>/an</b>		<b>44 m<sup>3</sup>/an</b>		



C8

C7

C6

C5

C4

Bloc 13

Vam AQIT

Vam AQ1D

Bloc 14

Bloc 15

Vam RAT 1

C8

C7

C6

C5

C4

## **9 - CONCLUSIONS**

### **9.1 - CONTEXTE GENERAL**

Le stockage de StocaMine a été implanté dans la mine Amélie, au sein de formations salifères très épaisses isolées du milieu extérieur par des formations imperméables.

Le Stockage a été creusé 23 à 25 mètres en dessous de l'exploitation des couches de potasse. Cette exploitation, réalisée à grande profondeur, n'a pas d'autre incidence en surface qu'un léger affaissement de type souple, aucune fissuration n'étant susceptible de remonter au delà d'une centaine de mètres au dessus du stockage.

Le stockage, et les produits qu'il contiendrait en cas de maintien des déchets au fond ne présente un risque d'émission de polluants que par lixiviation et transport par l'eau.

Le seul vecteur d'eau dans la mine est constitué par les 15 puits dont 11 sont déjà remblayés. L'eau qui va percoler au travers des remblais des puits est susceptible d'envoyer la mine. Il a été considéré deux hypothèses, celle que la mine Amélie constitue un système isolé, et celle, la plus vraisemblable, qui considère que la Mine Amélie communique avec les mines voisines qui constituent le bassin de Wittelsheim.

#### **9.1.1 - Ennoyage de la mine**

L'ennoyage du bassin de Wittelsheim se fait par infiltration d'eau dans les bouchons des puits, avec un débit qui a été estimé à environ 1800 m<sup>3</sup>/mois.

#### **9.1.2 - Durée de l'ennoyage**

L'ennoyage du bassin de Wittelsheim va se poursuivre sur une durée d'environ 530 ans, le stockage se noyant progressivement au bout de 380 ans. Cet ennoyage se fait progressivement, depuis les parties basses du bassin, au Nord, vers le Sud, le stockage se trouvant à proximité des parties hautes.

### **9.1.3 - Equilibre final**

Une fois la mine pleine, il pourrait s'établir un régime de circulation de l'eau dans la mine, selon un scénario basé sur des hypothèses défavorables, mais cependant plausibles, avec un débit maximal de l'ordre de 195 à 260 m<sup>3</sup>/an selon que les puits Amélie 1 et 2 sont remblayés avec des bouchons de cendres très épais ou conventionnels.

Ces considérations ont conduit à préconiser un confinement de la zone de stockage par fermeture des voies d'accès, afin de limiter les possibilités de lixiviation des déchets contenus.

## **9.2 - EVALUATION DES FLUX DANS LA MINE : FONCTIONNEMENT DU SYSTEME**

Schéma des transferts d'eau durant l'ennoyage et à l'équilibre (Document B.M.G.)	Document n°04.069/ 84	Dans le texte
----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------	---------------

Le stockage de StocaMine constitue un réservoir de polluants pour lesquels on souhaite, en cas de maintien au fond, limiter la mobilité et la dissémination vers la surface.

L'étude hydrogéologique doit apporter les éléments nécessaires au calcul des disséminations possibles des polluants. Un schéma a été dressé par le bureau B.M.G. sur les bases des résultats de l'étude hydrogéologique.

### **9.2.1 - Phase de remplissage de la mine**

L'eau rentre dans le bassin de Wittelsheim par le biais des 15 puits. Seuls les puits Joseph et Else apportent des eaux susceptibles de transiter par le stockage.

De par sa position topographique, le stockage n'est que très faiblement noyé lors de la phase d'ennoyage de la mine. Les travaux de confinement empêchent par ailleurs, pratiquement toute circulation d'eau par le stockage.

L'ennoyage de la mine progresse du Nord vers le Sud. L'eau qui remonte finit par atteindre la base du stockage et l'ennoeie progressivement. Le peu d'eau qui arrive à circuler dans le stockage le fait en remontant vers la partie haute de la mine, au Sud, et diffuse les contaminants éventuellement lixiviés, dans cette partie haute de la mine Amélie. Parallèlement, il se forme une poche d'air au partie Sud, à peu près au niveau de la cote -180 mètres.

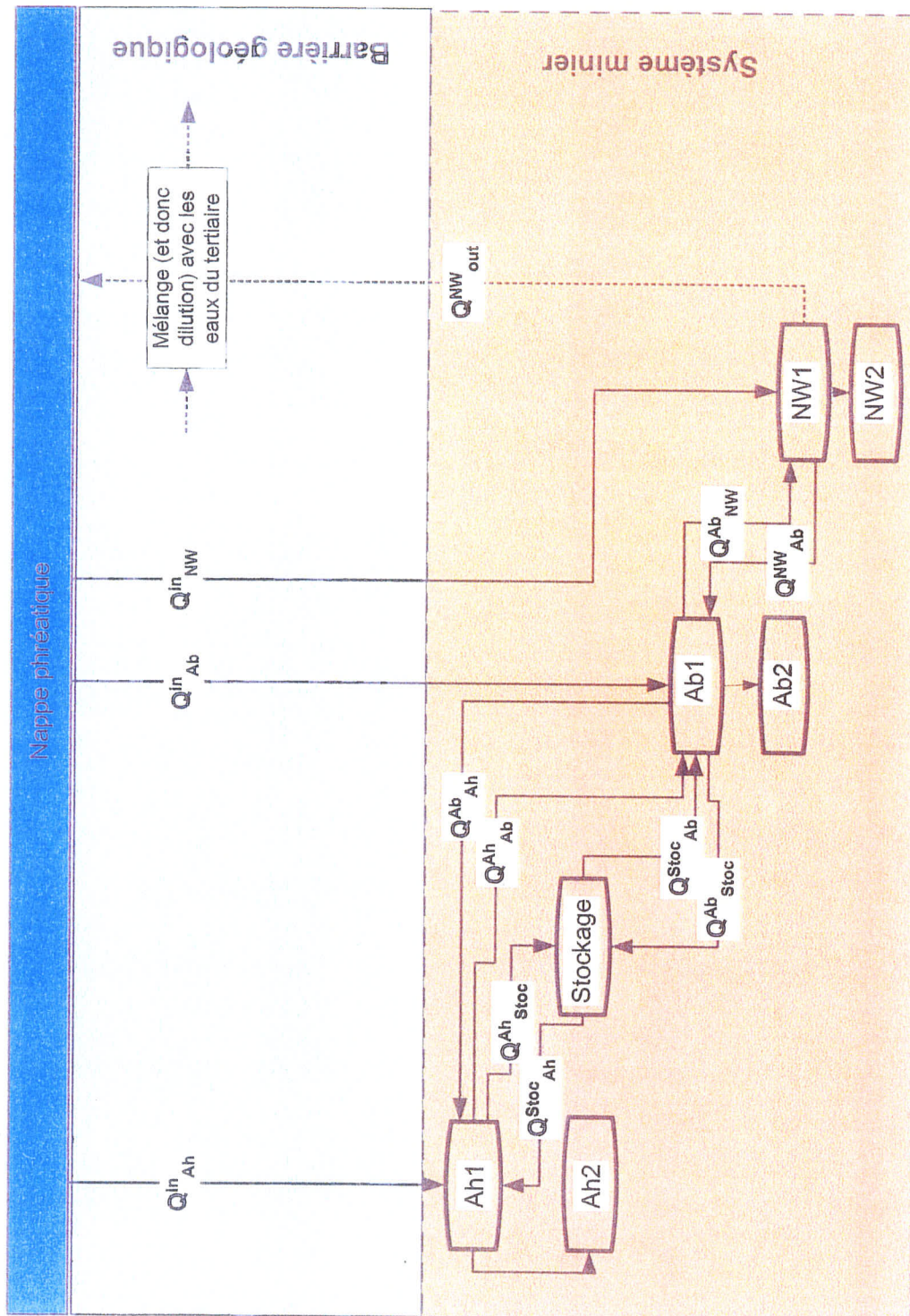
### **9.2.2 - Equilibre final**

Juste à la fin du remplissage de la mine, la situation dans l'ensemble du bassin est la suivante :

- Les mines du Nord du bassin et la partie basse de la mine Amélie sont envahies par de la saumure pratiquement exempte de polluants issus du stockage, celui-ci étant resté exondé durant l'ennoyage et ayant été confiné.
- Le stockage, bien que confiné, est rempli de saumure qui a réussi à passer par les fissures. Cette saumure a un certain potentiel de dissolution sur les déchets entreposés (lesquels commencent à être encapsulés dans le sel par le phénomène de convergence).
- La partie haute de la mine Amélie est remplie par de la saumure qui peut contenir des polluants lixiviés lors de la traversée du stockage au cours de la remontée des eaux (lequel est confiné, ce qui limite beaucoup le flux susceptible de le traverser). Cette saumure diffuse dans toute la partie haute de la mine.

Une fois la mine pleine, il pourrait s'établir dans le cas le plus défavorable, du fait de la différence de cote entre les têtes des puits du bassin et de la différence de densité des colonnes d'eau, une circulation entre les puits topographiquement les plus hauts et les puits topographiquement les plus bas. Une toute petite fraction des eaux entrant par les puits Joseph et Else serait alors susceptible, par le biais de fissures, de percoler au travers des déchets. Cette saumure, éventuellement contaminée, transiterait dans la mine pendant une durée minimale de 1000 ans environ selon un cheminement relativement rectiligne. Cette saumure pourrait diffuser ses polluants à distance rapprochée de son trajet, puis remonter par les puits exutoires et éventuellement diffuser dans les aquifères tertiaires et quaternaires.

<b>StocaMine</b> Wittelsheim Haut - Rhin	ETUDE GEOLOGIQUE, HYDROGEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU STOCKAGE SOUTERRAIN	<b>MICA</b> <b>Environnement</b>
	<b>SCHEMA DES TRANSFERTS D'EAU DURANT  L'ENNOYAGE ET A L'EQUILIBRE  HYDRODYNAMIQUE (DOCUMENT BMG)</b>	Avril 2004





## 9.3 - DISCUSSION

L'étude du système hydrogéologique du bassin minier de Wittelsheim conduit à penser **qu'aucune circulation d'eau** ne devrait pouvoir s'établir entre les puits amont et les puits aval une fois les travaux miniers envoyés.

Par précaution, en raison des nombreuses incertitudes et hypothèses, un schéma de dissémination des polluants du stockage a été envisagé suivant **un scénario pessimiste** en cas de maintien de ces derniers au fond. Ce schéma est appuyé sur des certitudes, mais aussi sur des hypothèses ou des données qui peuvent être sujettes à discussion.

### 9.3.1 - Les certitudes

Les mines de potasse du bassin de Wittelsheim sont encaissées dans des formations géologiques qui garantissent leur isolement vis à vis des venues d'eau.

Le comportement de ces formations géologiques a été modélisé à l'aide d'un mode de calcul par éléments finis : la formation de fissures survient immédiatement après le foudroyage. La modélisation a été effectuée dans le domaine élastoplastique (la viscosité du sel n'entrant pas en jeu dans le mode de formation des fissures) : les fissures peuvent se former au maximum jusqu'à 200 m au-dessus des zones foudroyées à l'aplomb du stockage. Au delà les terrains s'adaptent de manière plastique aux déformations. Aucune fissure ne peut se propager jusqu'à la surface. De cette manière, l'air emprisonné dans la partie Sud de la mine restera confiné.

Les ouvrages réalisés dans le sel ou la potasse se referment progressivement sous l'effet de la pression des terrains et de la viscosité du sel, pour aboutir à terme à une fermeture quasi-totale des vides souterrains (cette fermeture est déjà très poussée à échéance de 10 000 ans).

Les nombreux sondages effectués dans le bassin ont tous été refermés et ne constituent plus des voies de communication entre le fond et la surface.

Les puits remblayés constituent les seuls vecteurs d'entrée ou de sortie d'eau de la mine.

### 9.3.2 - Les incertitudes et leur degré de fiabilité

#### 9.3.2.1. Perméabilité des cendres volantes

La perméabilité des cendres volantes a été évaluée par l'INERIS à la valeur de  $5,8.10^{-7}$  m/s.

Cette valeur semble être pénalisante par rapport aux observations faites lors des remblayages des puits Anna et Fernand, où aucune venue d'eau à la base de ces puits n'a été constatée durant une période d'observation d'environ deux années.

Cette observation plaide en faveur d'une réduction naturelle de la perméabilité globale des cendres volantes en-dessous de  $1.10^{-8}$  m/s à la suite d'un phénomène d'autocolmatage.

L'expérimentation a en effet montrée qu'à partir de cette valeur, l'application de la loi de Darcy devient théorique.

Dans la réalité, la réduction des micro vides qui existent entre les grains du remplissage ne permet plus à l'**eau gravitaire** de circuler librement. Toute l'eau présente entre les grains du matériaux est liée à ces même grains sous forme d'**eau de rétention** (eau adsorbée + eau pelliculaire).

Seules l'action de forces très importantes non présentes dans les conditions naturelles peuvent entraîner la circulation de l'eau pelliculaire. C'est pour cette raison que l'on choisi généralement des argiles de perméabilité inférieures à  $1.10^{-8}$  ou  $1.10^{-9}$  m/s pour étancher les centres d'enfouissement techniques superficiels.

Une légère diminution de la perméabilité aurai des conséquences importantes sur les débits :

Si l'on considère que la perméabilité des cendres volantes est de  $1.10^{-7}$  m/s au lieu de  $5,8.10^{-7}$  m/s :

- Le débit d'ennoyage de la mine chute de  $1800 \text{ m}^3/\text{mois}$  à  $320 \text{ m}^3/\text{mois}$ . La conséquence directe est un allongement de la durée d'ennoyage qui est quasiment multipliée par six, soit près de 3000 ans.
- Le débit de transit dans la mine, s'il arrive à s'établir, compte tenu du resserrement des terrains, chuterait à  $50 \text{ m}^3/\text{an}$ .

**L'absence de venues d'eau constatée à la base des puits Anna et Fernand, et les phénomènes de colmatage dans les cendres volantes, nous conduisent à considérer que la perméabilité des cendres est beaucoup plus faible qu'envisagée dans la présente étude, ce qui conduit à considérer le scénario décrit comme pénalisant et sécuritaire.**

### 9.3.2.2. Confinement du stockage

Les circulations d'eau au contact des déchets ont été évaluées sur la base de la présence de fissures permettant une circulation de l'eau dans le stockage confiné. Cette hypothèse permet de faire des quantifications indispensables à l'élaboration d'un scénario.

Dans la pratique, il est vraisemblable d'envisager que compte tenu des très faibles débits d'intrusion d'eau dans la mine (50 m<sup>3</sup>/an pour les puits Joseph et Else), cette eau cheminera presque exclusivement dans les voies où elle ne rencontrera pas de résistance. Il est vraisemblable que l'eau ne circule pratiquement pas dans le stockage confiné.

En revanche, le confinement du stockage peut être remis en cause par des phénomènes d'effondrement localisé qui le mettraient en contact avec des infrastructures sus-jacentes. Le recensement de tous les ouvrages miniers anciens, qui ne figureraient pas sur les plans actuels, aux abords du stockage est indispensable avant de réaliser le confinement de ce dernier.

Compte tenu des précautions prises lors la fermeture de la mine et du stockage il est très vraisemblable que les déchets resteront confinés au fond, et qu'ils seront progressivement encapsulés dans une gangue de sel, sans pouvoir remonter à la surface par le biais des puits remblayés du Nord du bassin de Wittelsheim.

### 9.3.2.3. Etablissement d'une circulation d'eau dans la mine

Pour pouvoir circuler dans la mine, à l'équilibre, les conditions suivantes doivent être remplies :

Il doit exister une différence d'altitude entre les puits d'entrée de l'eau et les puits supposés de sortie. Cette différence d'altitude est de 40 mètres sur environ 15 Km pour les puits les plus éloignés les uns des autres. Cette différence de niveau ne peut à elle seule suffire à la circulation de l'eau, notamment en raison de la présence de saumure plus dense au fond de la mine.

Il doit y avoir des zones où l'eau peut circuler sans trop d'obstacles dans la mine. Dans le modèle, la résistance des travaux miniers au passage de l'eau a été négligée compte tenu de la superficie importante de la mine et des très faibles débits mis en jeu. Cela est vrai dans les premiers temps où il reste de nombreuses galeries ouvertes. Le stot large de 20 mètres laissé entre la mine Amélie et le nord du bassin constitue, malgré son foudroyage probable, constitue une zone de frein qui doit limiter le passage de l'eau. Sur le long terme, le resserrement des terrains conduit à accroître la résistance de la mine au passage de l'eau.

Une autre condition est nécessaire pour amorcer la circulation de l'eau. Les eaux des aquifères tertiaires recoupés doivent pouvoir diluer la saumure remontée dans ou au contact des puits à la suite de l'installation de l'équilibre hydrostatique. Les calculs ont été conduits en considérant que la saumure saturée issue du bouchon de cendres volantes **serait diluée d'au moins un facteur 20**. Comme la distribution de saumure entre les horizons aquifères du stampien et la nappe alluviale n'est pas connue, il a été choisi le cas intermédiaire ou le flux de saumure dilué **serait réparti de moitié entre le Stampien et la nappe alluviale**.

Les modélisations réalisées par le bureau BMG tiennent compte de cette hypothèse tout à fait plausible.

Tant que les cuvelages feront leur office, et sous réserve que les aquifères recoupés aient une circulation effective, l'interface saumure / eau douce restera tranché et aucune circulation ne pourra s'établir. La très faible perméabilité des cendres volantes limitera également beaucoup ce phénomène qui peut également se produire à l'extérieur des cuvelages des puits.

**L'établissement d'une circulation d'eau entre les puits amont et les puits aval n'est donc pas certain**, et, s'il se produit, le phénomène « d'amorçage » du système peut s'avérer très long, et être bloqué par les phénomènes de fermeture de la mine avant d'avoir pu s'établir.

## **9.4 - VALIDITE DU MODELE**

Au vu de ce qui a été exprimé au paragraphe précédent, le modèle d'intrusion et de circulation d'eau dans les mines du bassin de Wittelsheim peut être considéré comme sécuritaire vis à vis des risques de remontée de saumure et de polluants en cas de maintien des déchets dans le stockage.

La probabilité de voir remonter vers la surface ces eaux salées et potentiellement chargées en polluants (dont les concentrations seront évaluées dans l'étude B.M.G.) apparaît comme très faible ; le phénomène surviendra à échéance très longue alors que les prévisions que l'on pourra faire ne seront plus fiables, notamment en raison de la fermeture progressive des vides miniers sous le poids de la forte épaisseur des terrains de couverture.

## 9.5 - RESUME DES HYPOTHESES PRISES EN COMPTE

<b>Contexte général</b>	
Géologie	Stockage implanté dans des horizons salifères très épais, surmontés par une couverture imperméable.
Tectonique	Compartimentage du bassin ayant conduit à l'individualisation de deux bassins d'exploitation distincts, Wittelsheim et Wittenheim-Ensisheim ne communiquant pas entre eux. Risques liés au diapirisme ou aux séismes négligeables pour la sécurité des travaux miniers souterrains.
Hydrogéologie	Aquifère quaternaire important. Aquifères tertiaires dans les formations du Stampien. Aquifères artésiens dans le socle sous jacent.
Voies de pénétration de l'eau dans la mine.	Aucune voie naturelle, notamment par le biais de failles. Sondages de recherches correctement obturés dès l'origine Seuls les puits remblayés constituent des voies de pénétration de l'eau dans la mine
<b>Hypothèses et estimations</b>	
Puits	Puits Joseph, Else, Amélie 1 et 2 remblayés intégralement par des cendres volantes de perméabilité $K = 5,8 \cdot 10^{-7}$ m/s. Après étude, il est envisageable de remblayer Amélie 1 et 2 de manière conventionnelle aux MDPA Pour les autres puits, prise en compte de leur remblayage effectif
Volumes de vides résiduels dans la mine	2 cas ont été pris en compte : mine Amélie isolée et mines du bassin de Wittelsheim communicantes : cette dernière situation est la plus probable. Vides résiduels dans les zones foudroyées calculés pour 2%, 5% et 8% du volume de vides initial lors de l'exploitation. La valeur de 5% est la plus probable. Vides résiduels dans les galeries de desserte considéré pour les galeries situées au dessus de 650 mètres de profondeur, et à échéance de 500 ans.
Durée d'ennoyage de la mine	Les entrées d'eau sont calculées par infiltration dans les remblais des puits, selon leur mode de remblayage déjà défini. Durée la plus probable : 400 ans pour atteindre le stockage, 500 ans pour noyer l'ensemble du bassin de Wittelsheim

Equilibre du système	<p>L'établissement d'une circulation d'eau entre les puits les plus hauts du bassin et les plus bas n'est pas certain, mais est possible.</p> <p>Condition : dilution et entraînement des saumures dans ou à l'extrados des fûts des puits aval par les eaux des aquifères tertiaires.</p> <p>Probabilité d'occurrence : faible</p> <p>Débit maximum attendu : 195 m<sup>3</sup>/an</p> <p>Durée de transit dans la mine : 900 ans</p> <p>Temps écoulé entre le début de l'envoyage et une hypothétique sortie d'eaux ayant traversé les déchets dans les aquifères tertiaires et quaternaires : 1400 ans.</p>
<b>Scénarios accidentels</b>	
Rupture bouchon puits amont du stockage	<p>Augmentation des débits d'entrée d'eau pendant la phase d'envoyage. En équilibre final, débit de transit dans la mine contrôlé par le débit possible dans les puits aval (1200 m<sup>3</sup>/an).</p> <p>Parade : remblayage « ultrasécuritaire » des puits Joseph et Else.</p> <p>Probabilité d'occurrence : faible, pratiquement nulle une fois la mine envoyée</p>
Rupture bouchon puits aval du stockage	<p>Ce puits devient vraisemblablement l'exutoire unique de la mine. débit de fuite contrôlé par le débit d'entrée entre 300 et 700 m<sup>3</sup>/an)</p>
Forage dans aquifère artésien	<p>Forage ancien : probabilité quasi-nulle</p> <p>Nouveau forage : intrusion brutale d'eau chaude et salée dans la mine.</p> <p>Parade : institution d'une servitude au droit du stockage ; contrôle des forages au dessus du bassin potassique.</p>
Forage dans le stockage	<p>Risque de dégazage brutal de la mine avec remontée de saumure potentiellement contaminée.</p> <p>Parade : institution d'une servitude au droit du stockage</p>
Altération d'étanchéité TB T	<p>Cet ancien travers banc a été le siège d'une venue d'eau accidentelle il y a 70 ans.</p> <p>Il est à l'aval du stockage ; il peut mettre directement en contact les saumures de la mine avec les eaux des aquifères tertiaires (débit possible 1000 m<sup>3</sup>/an).</p> <p>Probabilité d'occurrence : faible</p>
Failles naturelles ou fissures dues à l'exploitation	<p>Non susceptibles de pouvoir occasionner des entrées d'eau dans la mine en raison de l'amortissement dans les terrains marneux ou dans le sel</p>
Séismes	<p>Mouvements très faibles en profondeur, non susceptibles, dans ces terrains marneux et salifères, de créer des fractures importantes susceptibles de provoquer des entrées d'eau.</p>

<b>Préconisations</b>	
<i>Hypothèse</i>	Maintien de l'ensemble des déchets au fond
Remblayage des puits	Joseph et Else : blocage plus important de la base du cuvelage Joseph et Else : remblayage en totalité avec des cendres volantes.
Stockage	Etablissement de serrements dans les voies d'accès au stockage
Bloc 15	Etablissement de serrements en béton dans les allées d'accès au stockage (prévention à court terme pour la sécurité des travailleurs)
<i>Hypothèse</i>	Déstockage des déchets, hors bloc 15
Remblayage des puits	Aucune préconisation ; remblayage « traditionnel » MDPA
Stockage	Aucune préconisation
Bloc 15	Doublement des serrements béton par des serrements en sel



## ANNEXE

**Document n° 04 – 069 / 52 : Figures 1 à 22 Etude ENSP Loi de comportement des matériaux et caractéristiques géomécaniques.**

FIGURE 1

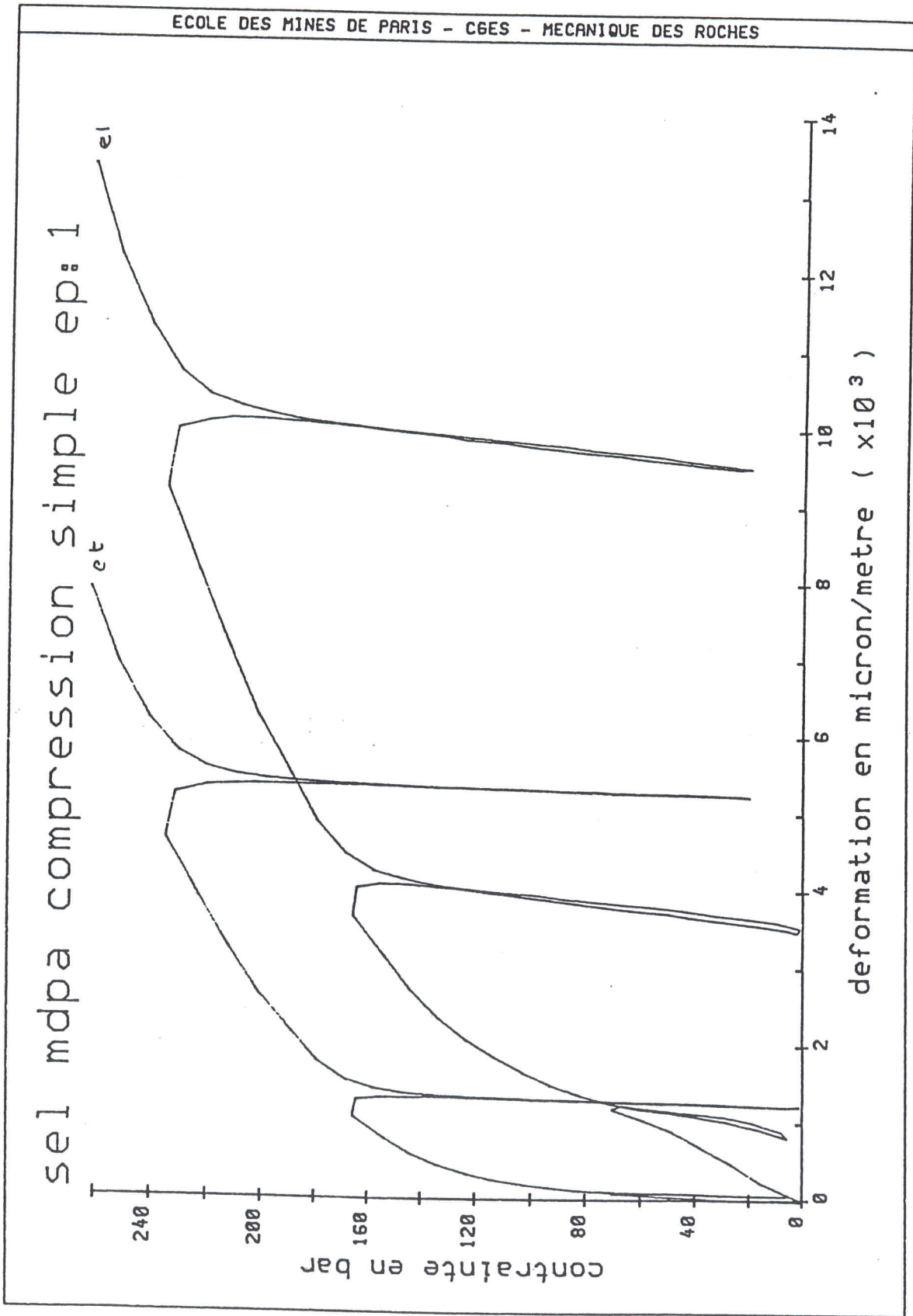


FIGURE 2

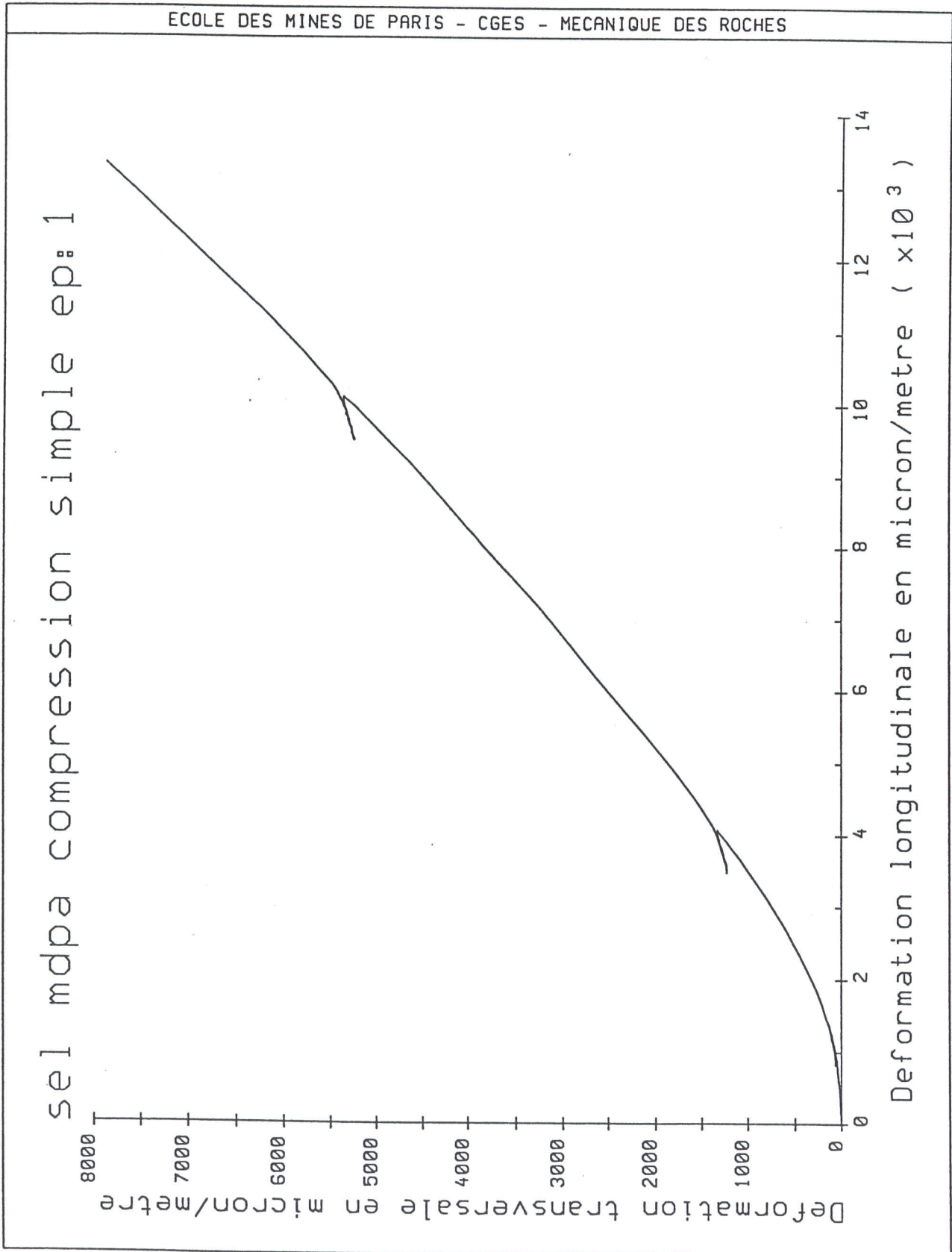


FIGURE 3

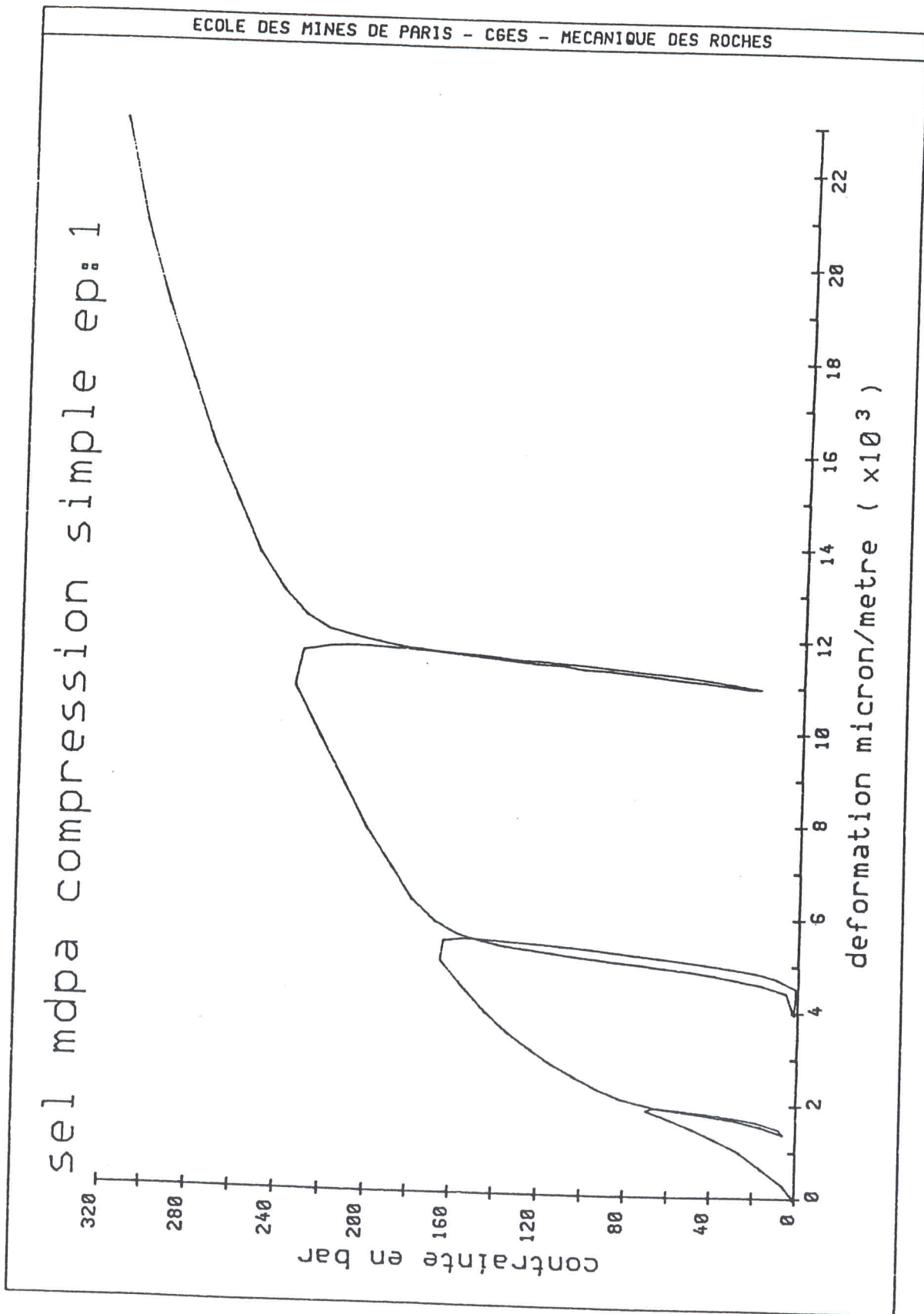


FIGURE 4

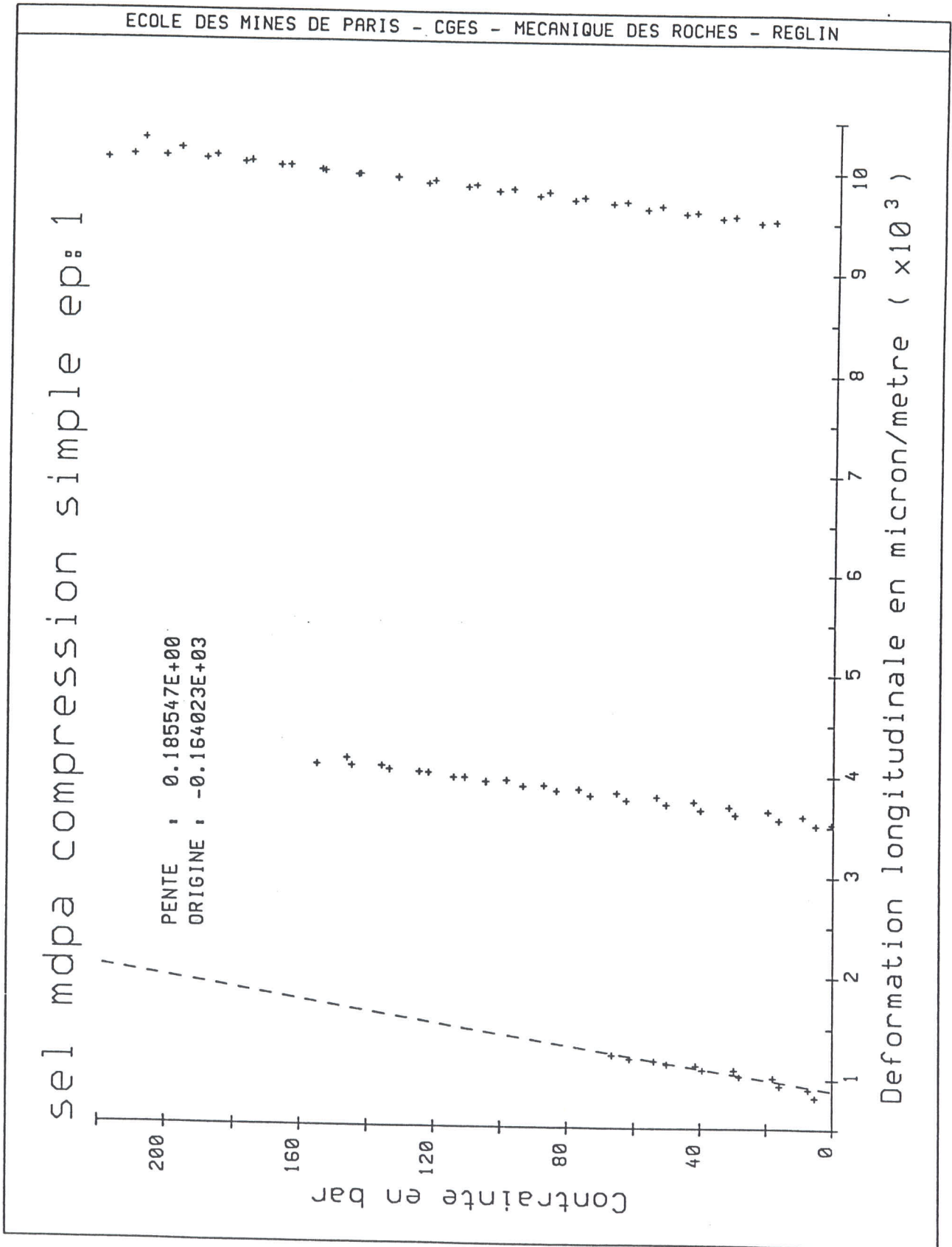


FIGURE 5

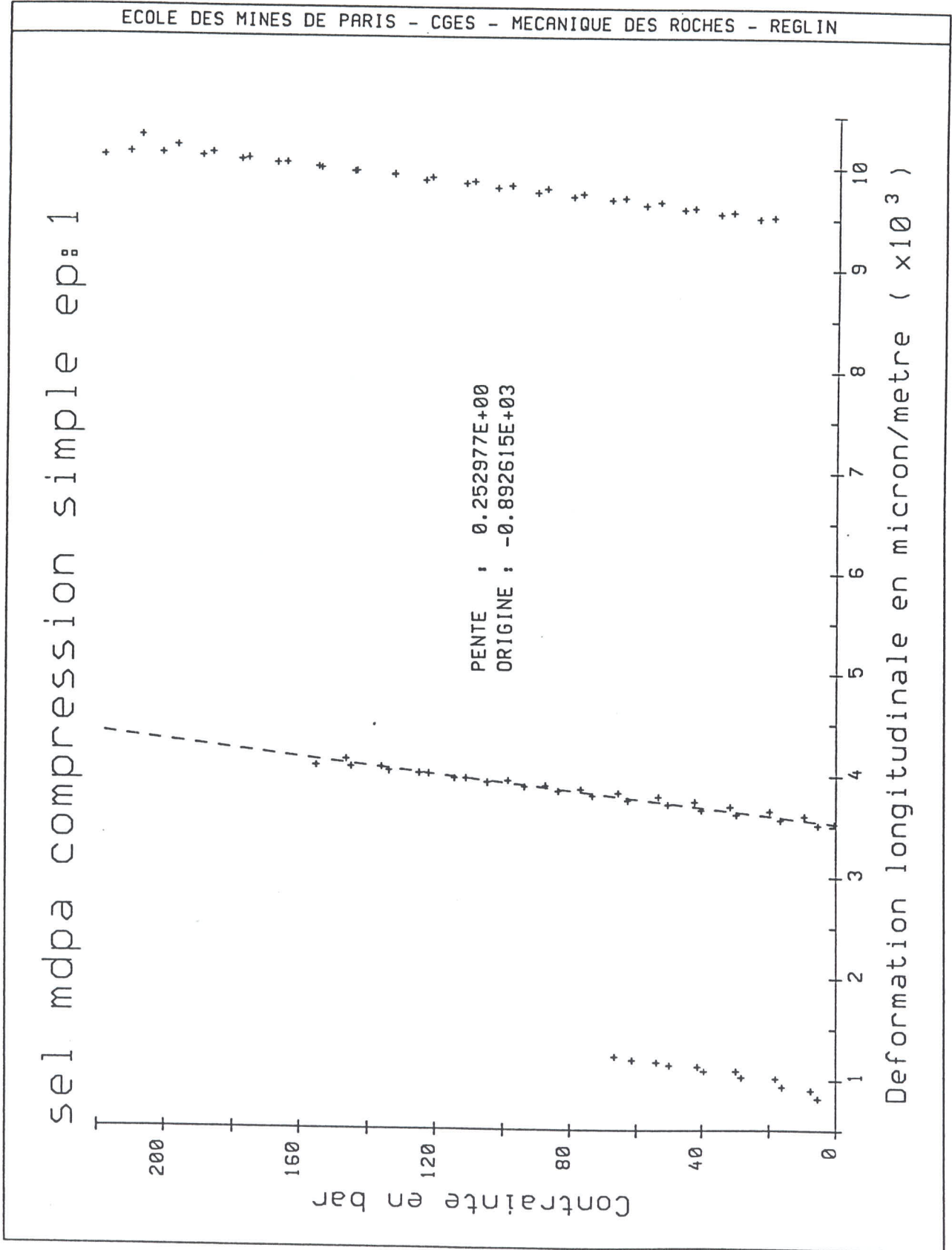


FIGURE 6

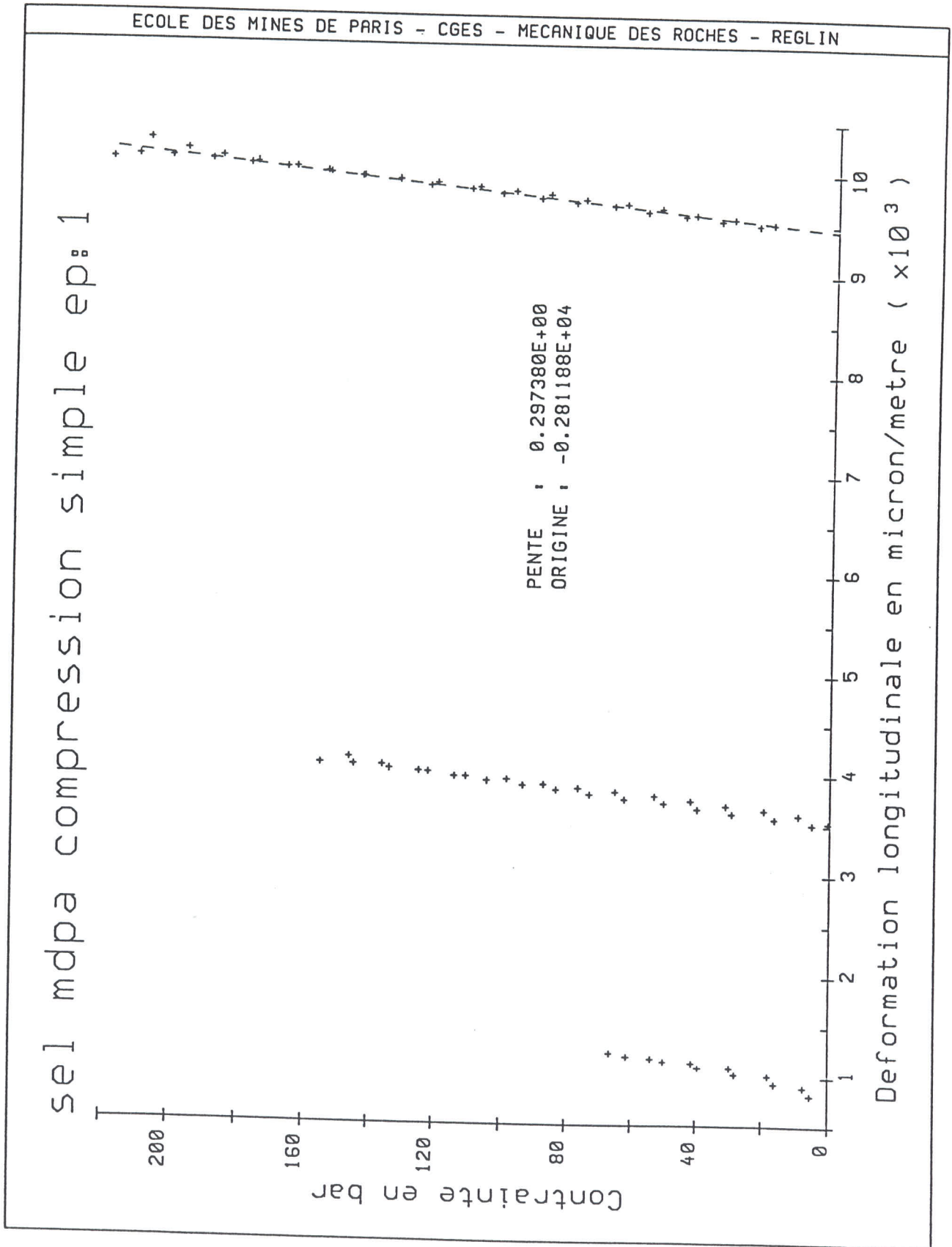


FIGURE 7

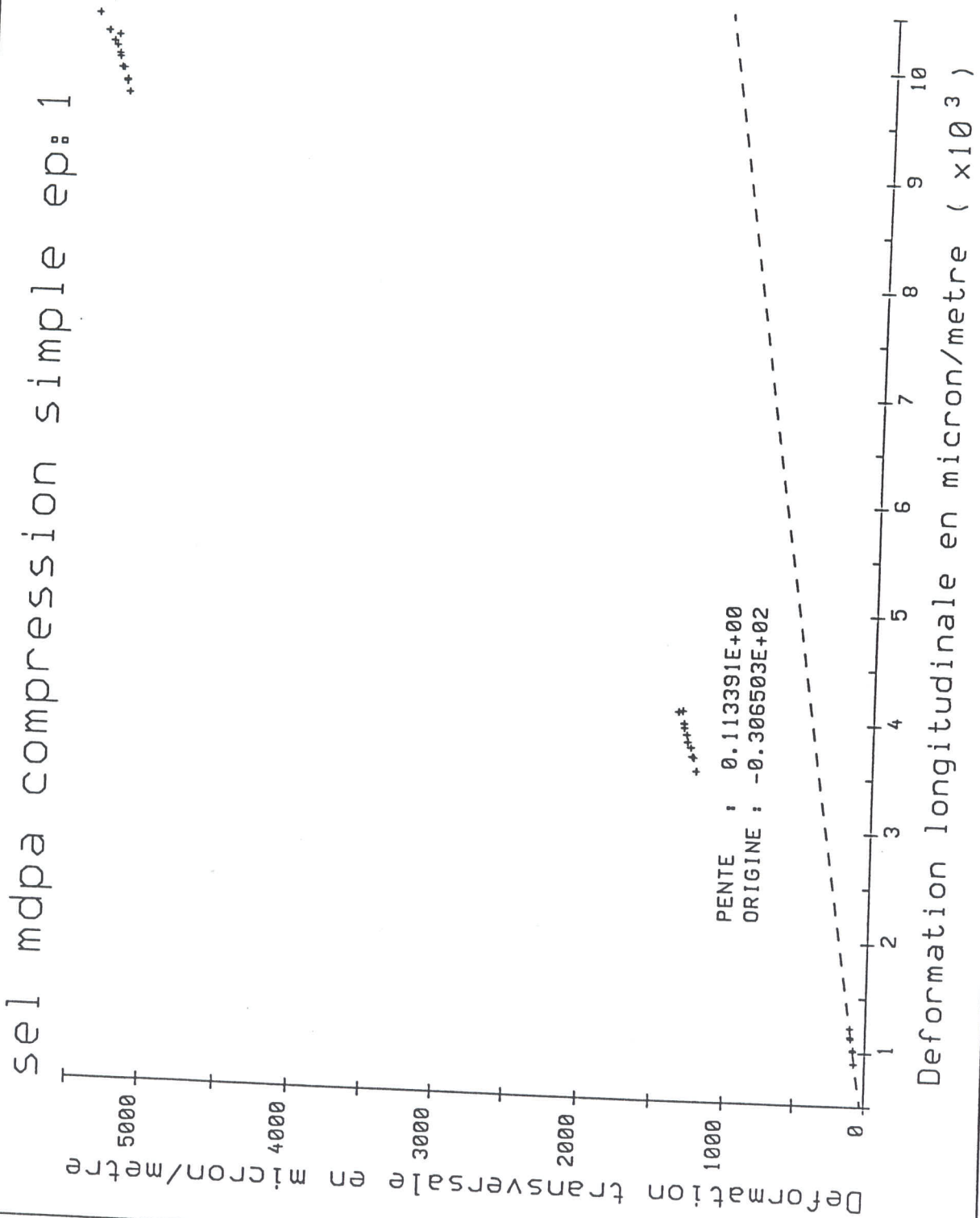




FIGURE 8

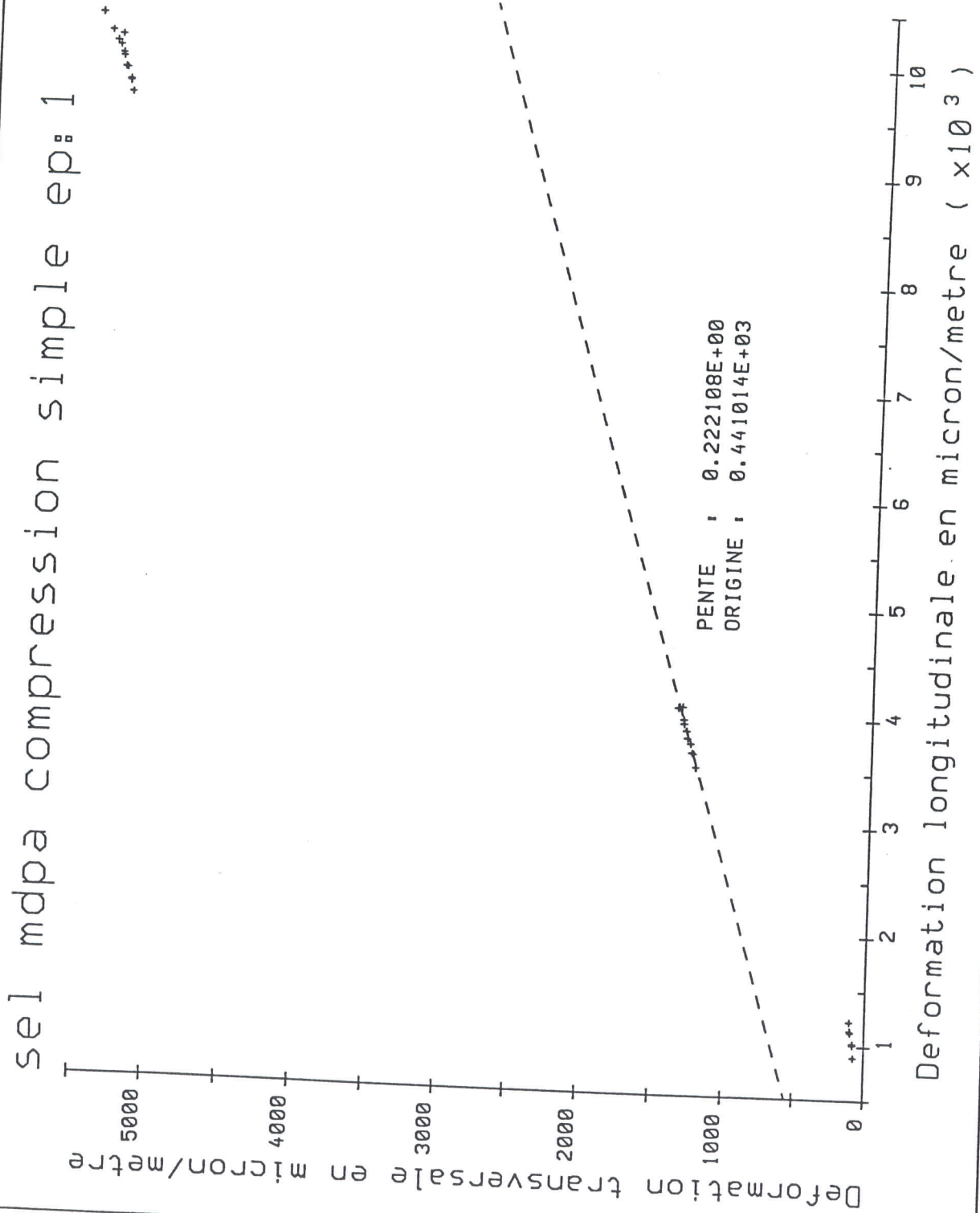


FIGURE 9

ECOLE DES MINES DE PARIS - CGES - MECANIQUE DES ROCHES - REGLIN

sel mdpa compression simple ep: 1

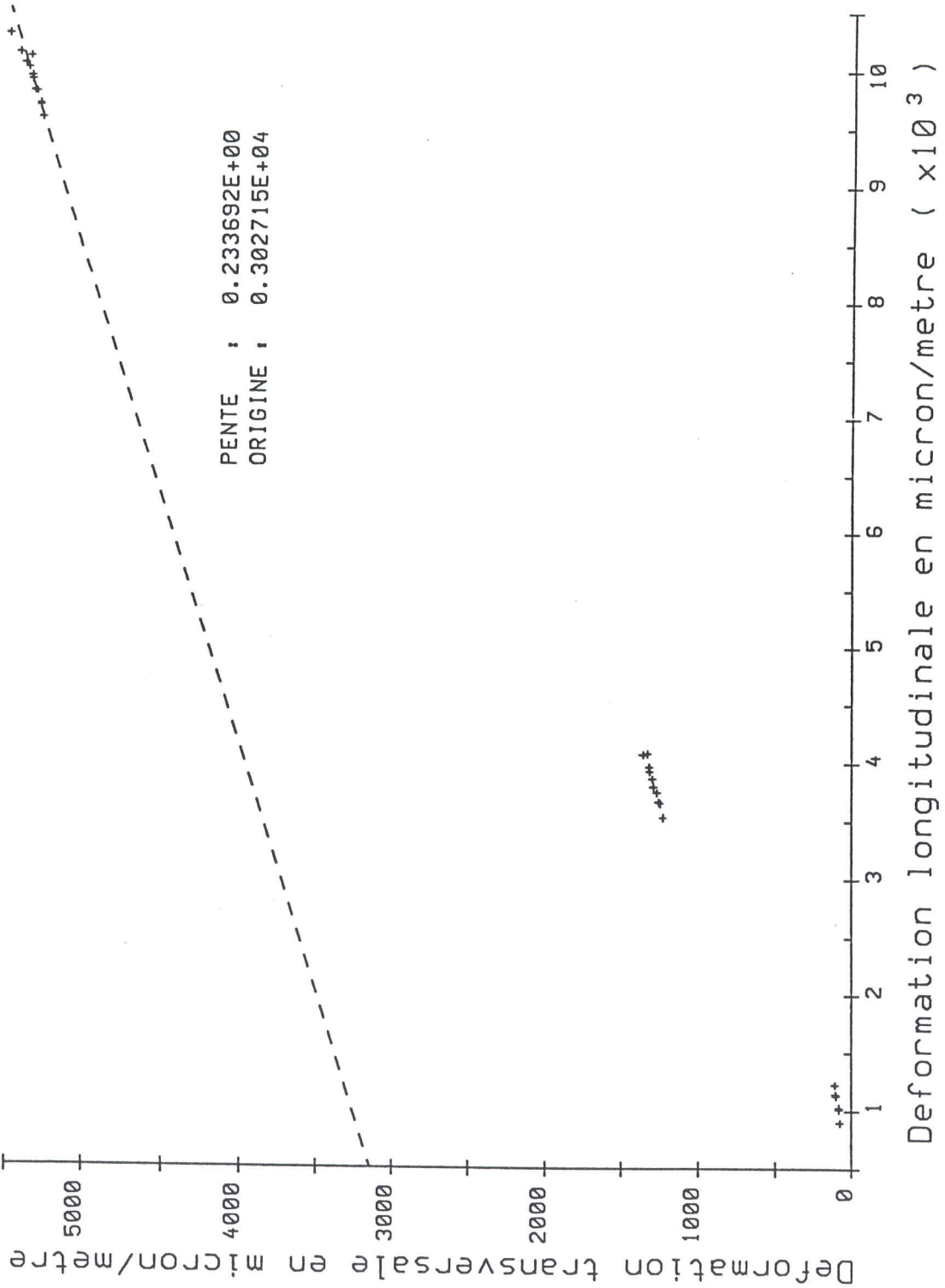


FIGURE 10

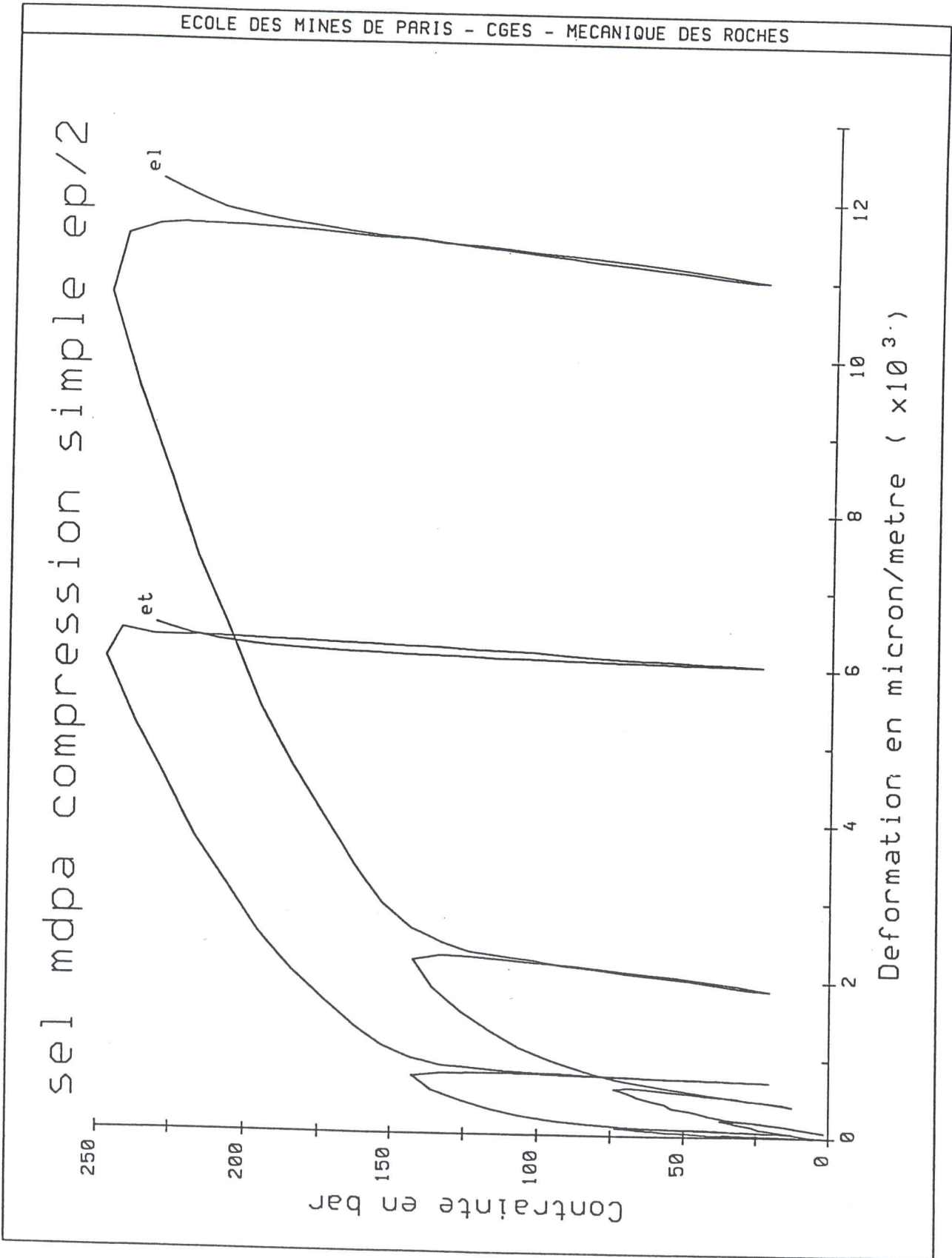


FIGURE 11

ECOLE DES MINES DE PARIS - CGES - MECANIQUE DES ROCHES

sel mdpa compression simple  $\epsilon_p/2$

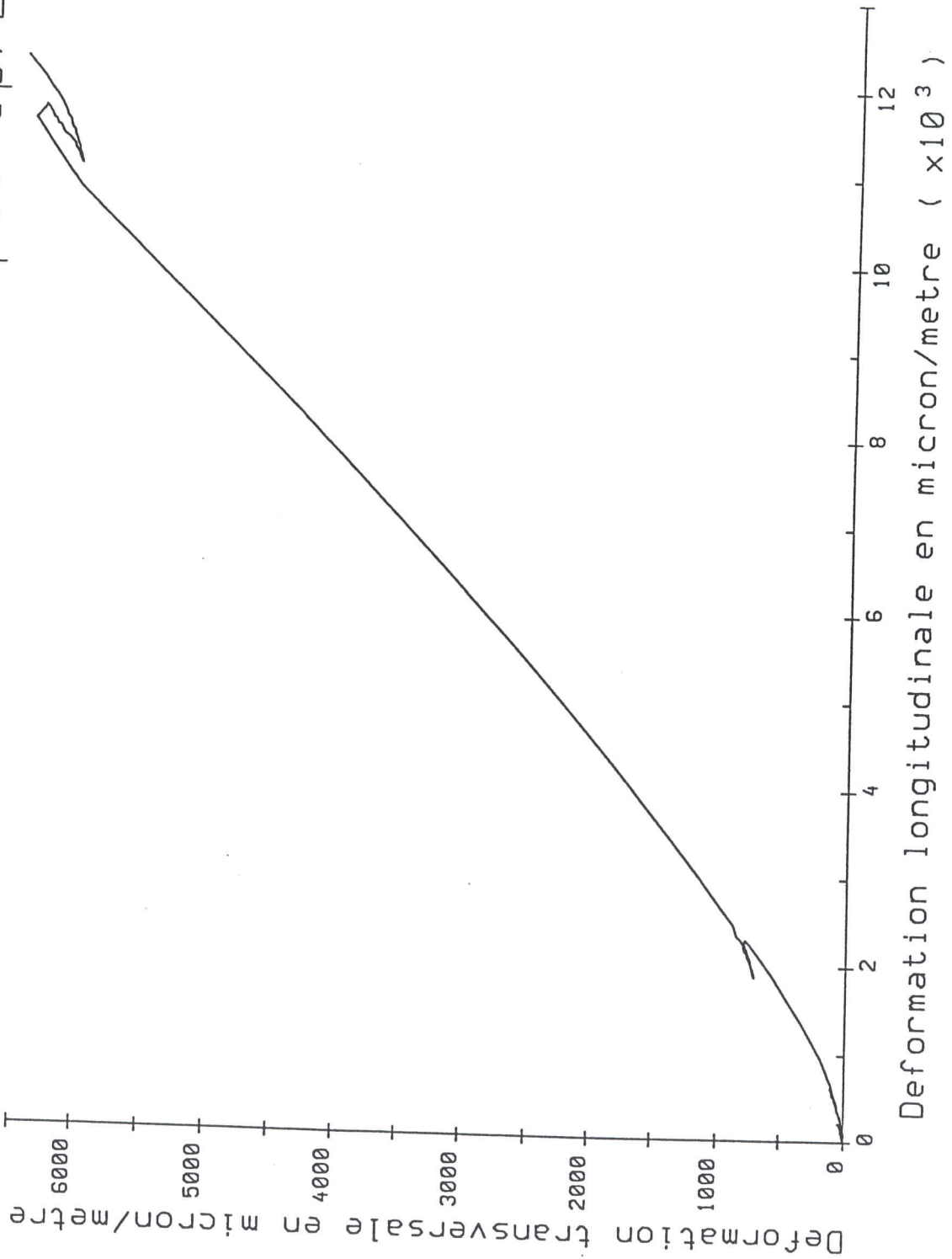


FIGURE 12

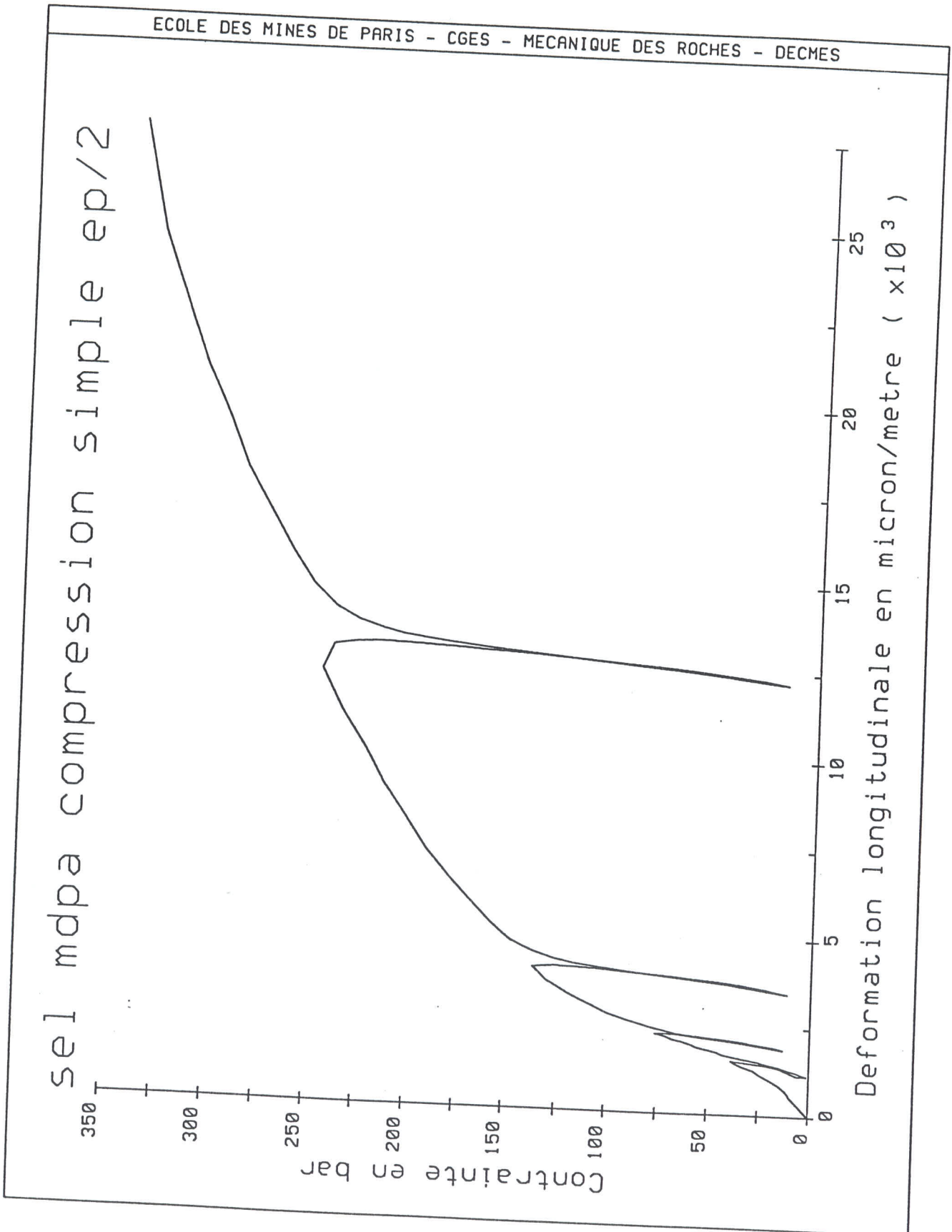


FIGURE 13

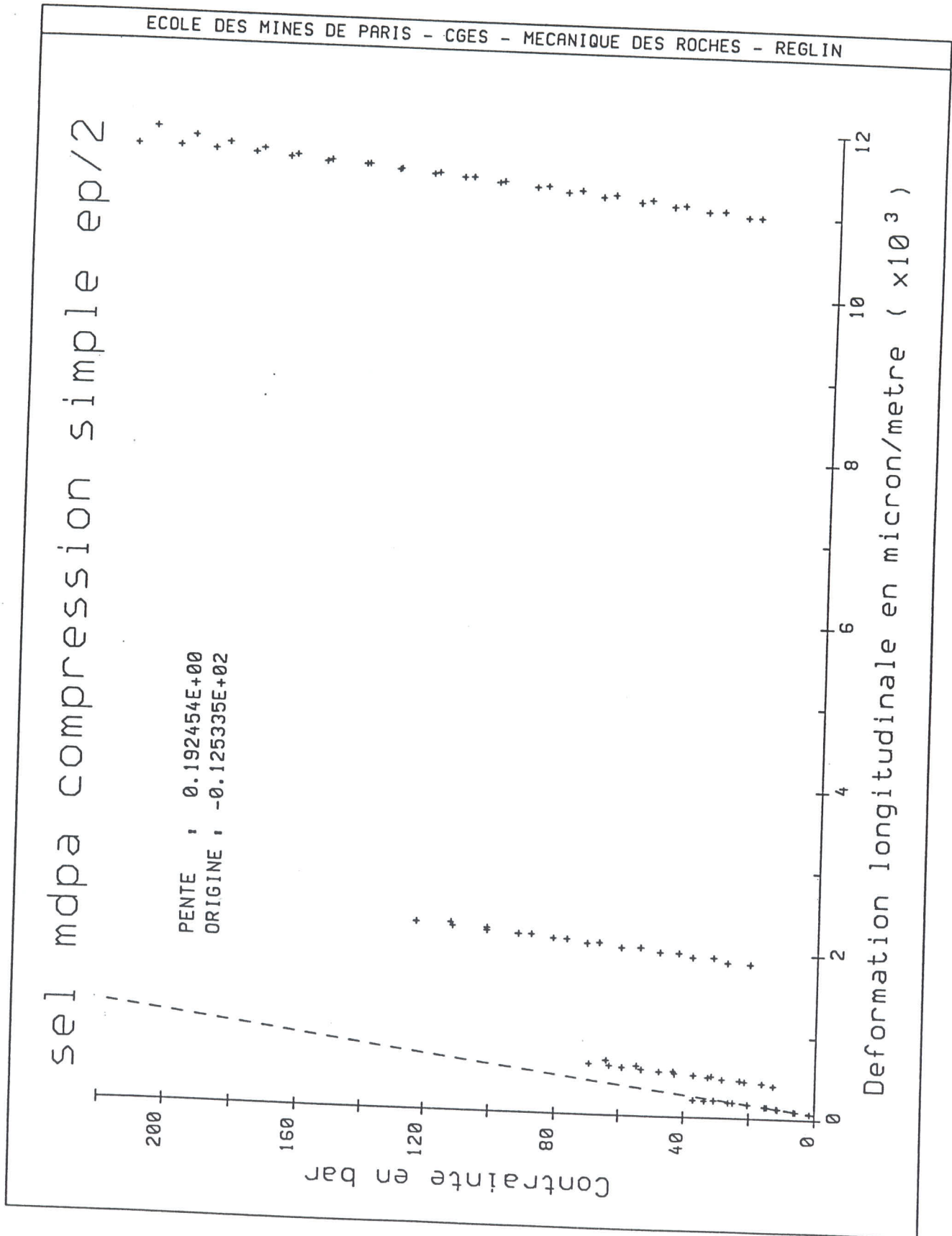


FIGURE 14

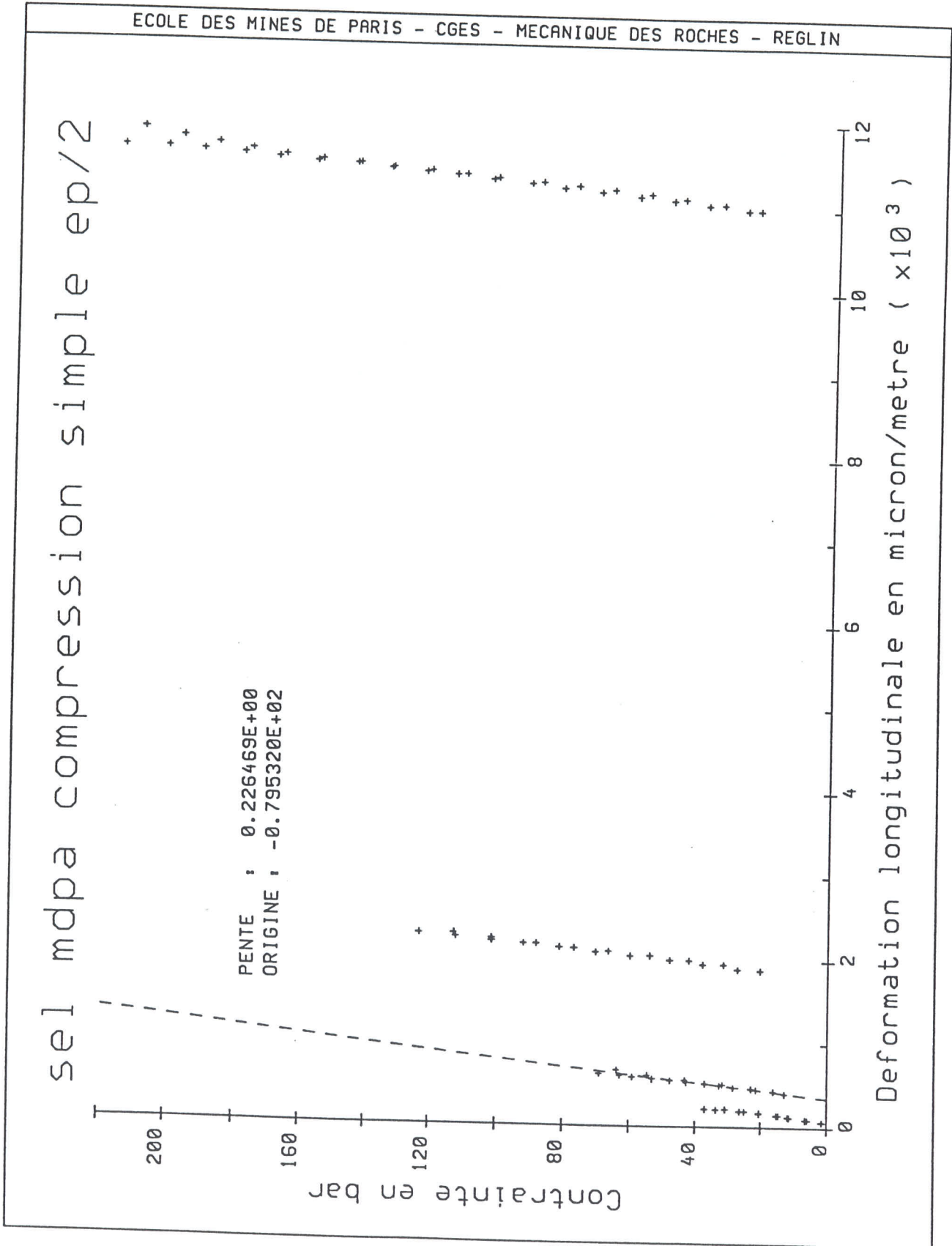


FIGURE 15

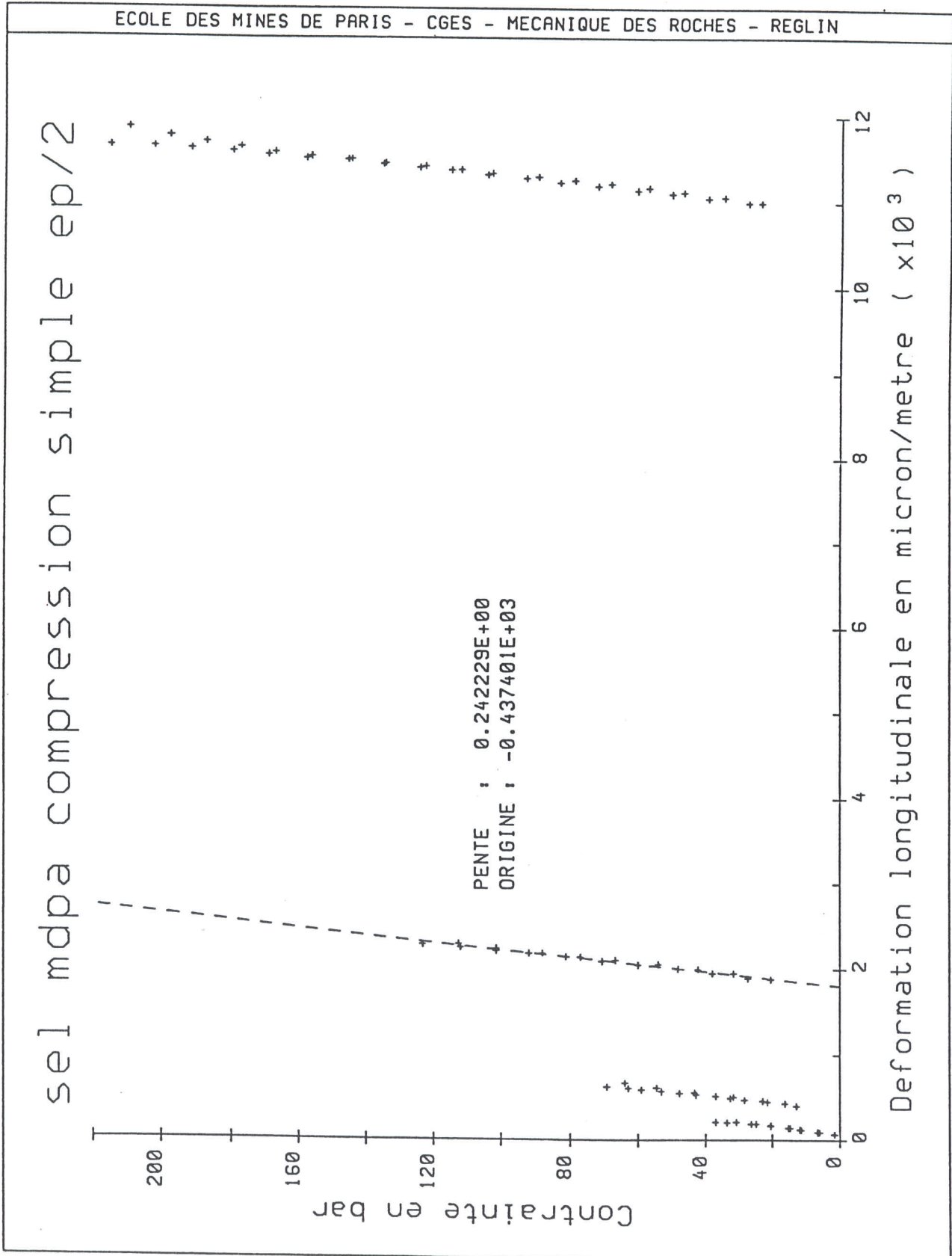




FIGURE 16

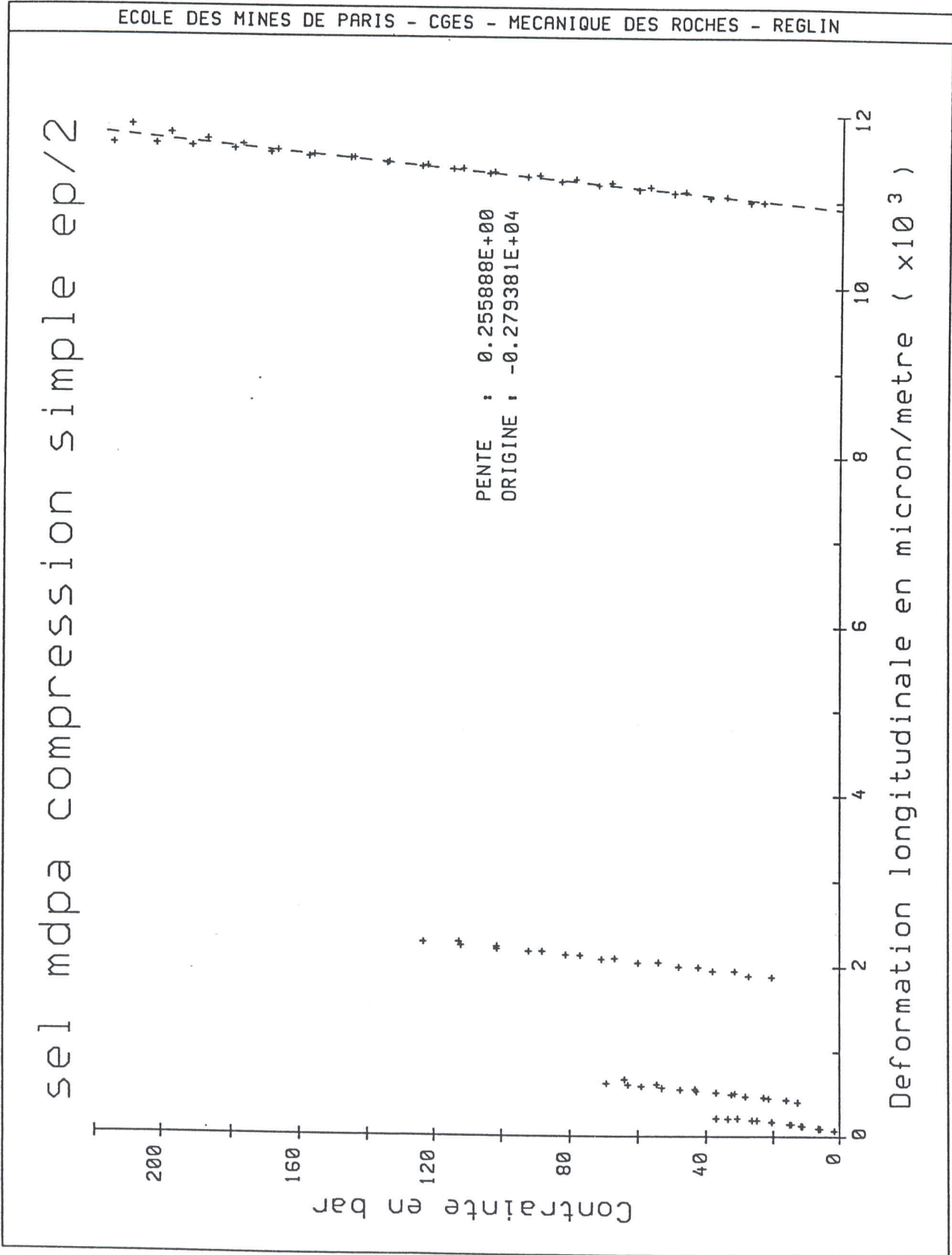


FIGURE 17

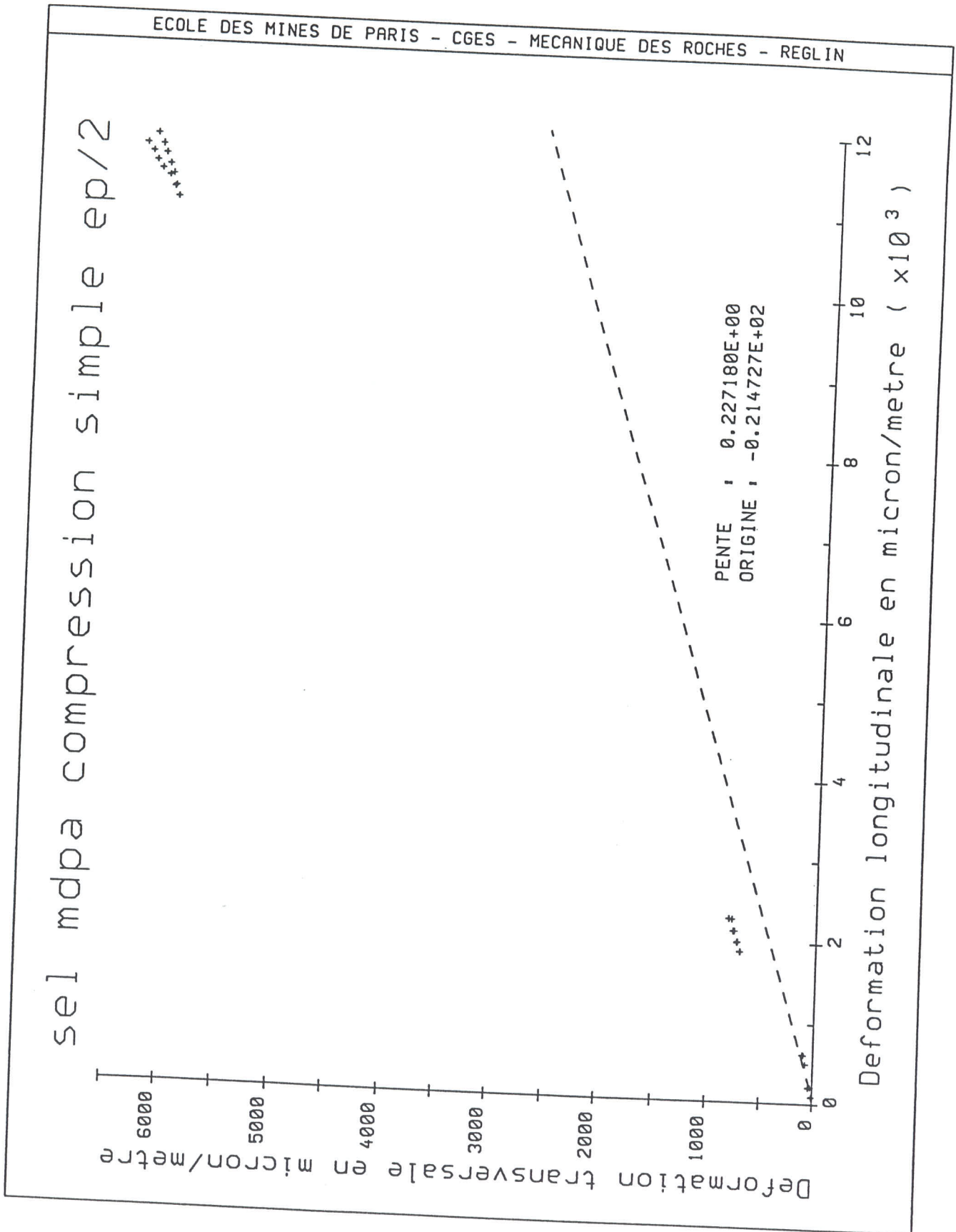




FIGURE 19

sel mdpa compression simple ep/2

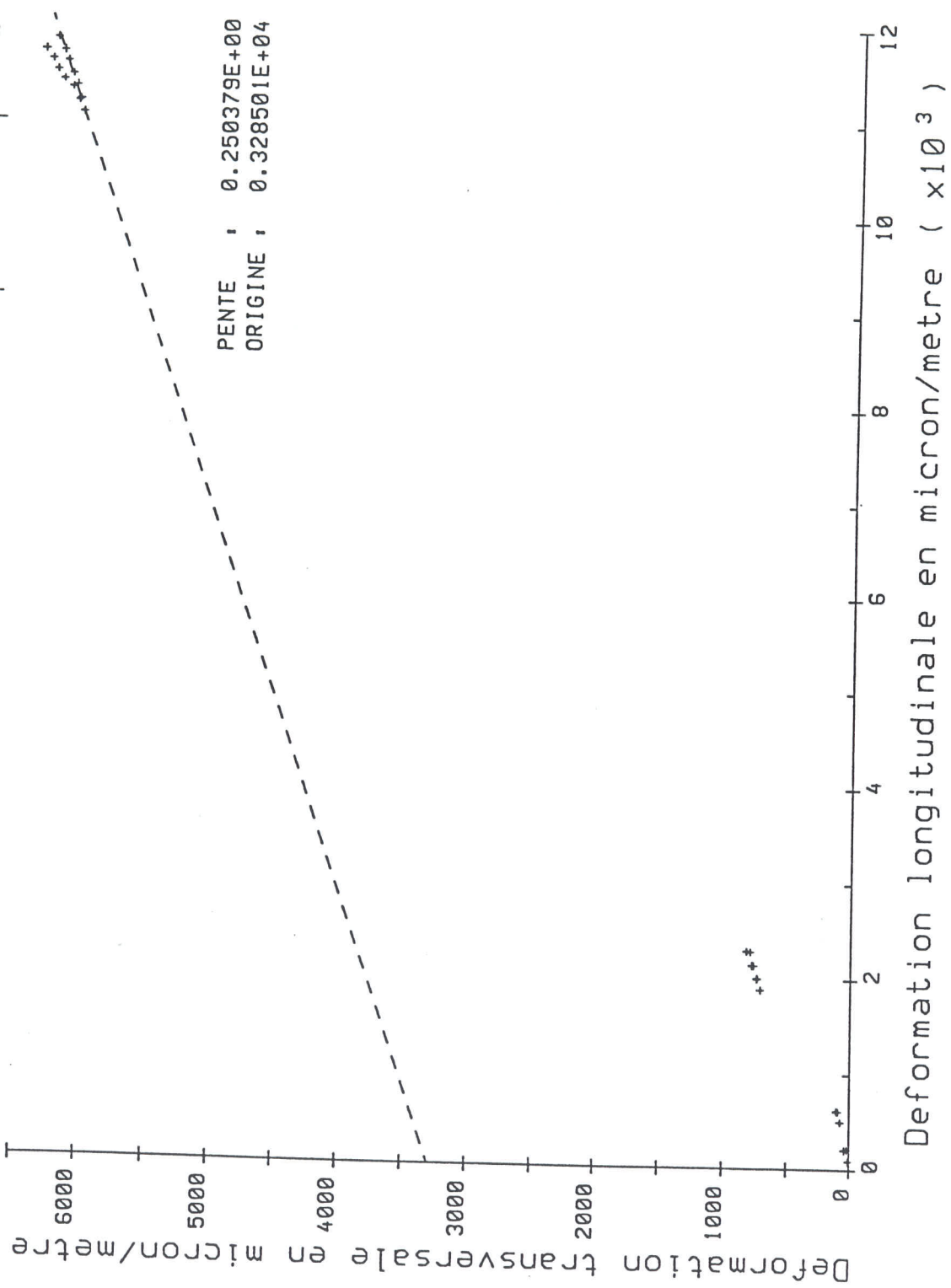


FIGURE 20

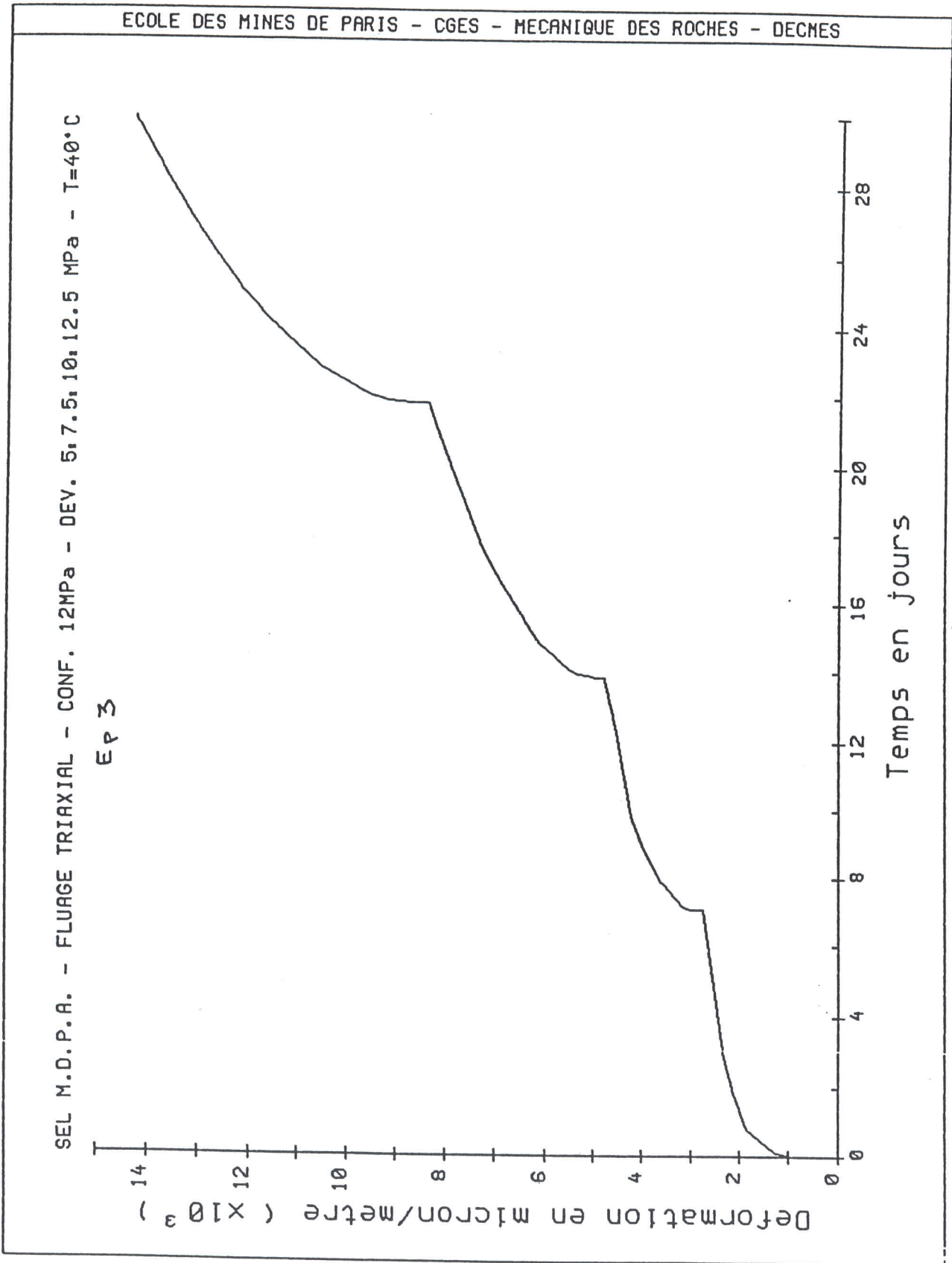


FIGURE 21

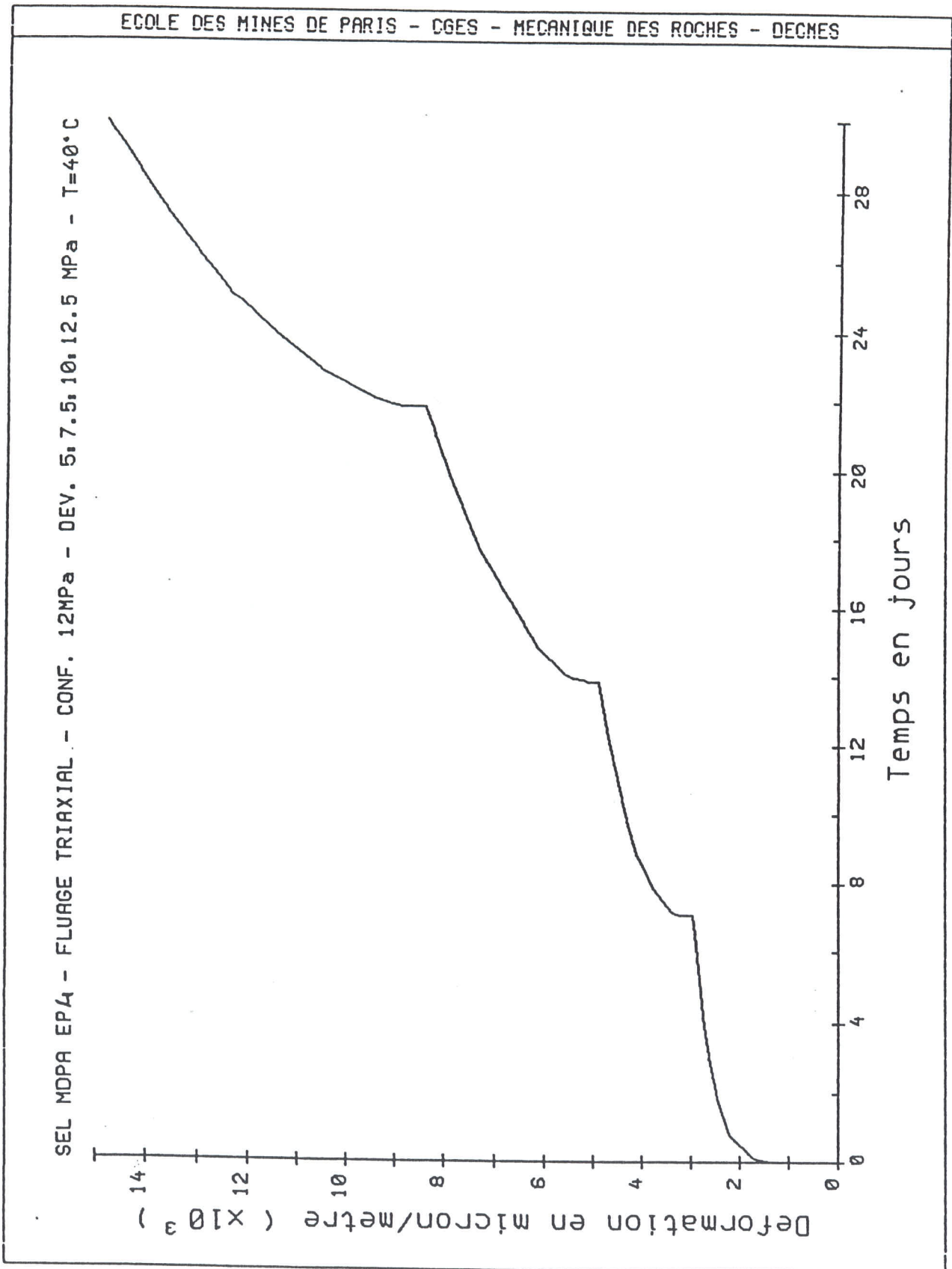


FIGURE 22

