

Etude technique et financière de la faisabilité technique de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet 5 – Analyse des conséquences sur le projet de confinement

Projet n°ALSP190266 – 30 septembre 2020

Rapport n°A104429/C



Fiche signalétique

Etude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement

Volet 5 – Analyse des conséquences sur le projet de confinement

CLIENT SITE D'INTERVENTION

MDPA	MDPA
Avenue Joseph Else – BP 50 68 310 Wittelsheim	Avenue Joseph Else – BP 50 68 310 Wittelsheim
Détails du client	Céline Schumpp Liquidatrice amiable et Secrétaire Générale Tél : +33 3 89 57 87 32 Mail : c.schumpp@mdpa.fr

RAPPORT D'ANTEA GROUP

Direction de projet	Stéphane HEUDE Sophie JANVIER (adjointe)
Rapport n°	A104429 - Volet 5 – Analyse des conséquences sur le projet de confinement
Version n°	Version C
Votre commande et date	Marché n° 2019-MF001 - A.E. du 03/09/2019
Projet n°	ALSP190266

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction :	Clémence MERLIN Marine LAURENT	Ingénieur Référent	30/09/2020	 
Approbation :	Hervé MILLER	Directeur de projets Infrastructures	30/09/2020	
Relecture qualité :	Monique CREMOUX	Secrétariat	30/09/2020	

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A	10 juillet 2020	79	1	Création
B	3 septembre 2020	81	1	Prise en compte des remarques techniques des MDPAs
C	30 septembre 2020	84	1	Version définitive

Sommaire

1. Introduction	6
2. Documents liés	8
2.1. Documents MDPA	8
2.2. Autres documents	9
2.3. Documents Antea Group / Tractebel	9
3. Analyse du projet actuel de confinement	10
3.1. Conception intrinsèque et implantation des barrages.....	10
3.2. Constitution des remblais de fermeture des galeries et des blocs	14
3.3. Méthodologies de réalisation, gestion des flux et cadences	16
3.3.1. Phasage de réalisation des barrages.....	16
3.3.2. Méthodologie de réalisation des travaux	18
3.3.3. Identification des flux et cadences.....	27
3.4. Programmation et planning prévisionnel.....	35
4. Impacts des scénarios de déstockage sur le projet et les travaux de déconfinement.....	40
4.1. Scénario S2	40
4.1.1. Description du scénario de déstockage	40
4.1.2. Evaluation des impacts	41
4.1.3. Modalités de réalisation des ouvrages de confinement	52
4.1.4. Paramètres d'optimisation du scénario	59
4.2. Scénario S3	61
4.2.1. Description du scénario de déstockage	61
4.2.2. Evaluation des impacts	62
4.2.3. Modalités de réalisation des ouvrages de confinement	66
4.2.4. Paramètres d'optimisation du scénario	70
4.3. Scénario S4	72
4.3.1. Description du scénario de déstockage	72
4.3.2. Evaluation des impacts	73
4.3.3. Modalités de réalisation des ouvrages de confinement	76
4.3.4. Paramètres d'optimisation du scénario	80
5. Conclusion : analyse comparative des impacts des différents scénarios sur la réalisation du confinement	82

Table des figures

Figure 1 : Schéma de principe de la solution de base pour les barrages amont.....	10
Figure 2 : Schéma de principe du phasage de réalisation d'un barrage sur galerie double	11
Figure 3 : Schéma d'implantation des barrages ([1])	12
Figure 4 : Plan localisant les barrages et les travaux de remblayage prévus – Données ERCOSPLAN..	15
Figure 5 : Schéma de localisation des boulons en fibre de verre au droit du futur barrage.....	18
Figure 6 : Alésage MAP partie supérieure – Marinage au chargeur	19
Figure 7 : Alésage MAP partie inférieure	19
Figure 8 : Culée et zone de comblement en béton projeté	20
Figure 9 : Dépoussiérage et nettoyage avant bétonnage	20
Figure 10 : Plan de coffrage des barrages simples	21
Figure 11 : Plan de coffrage des barrages doubles	22
Figure 12 : Vue en perspective d'un coffrage pour un barrage double	23
Figure 13 : Principe de remplissage du bloc 15 [24]	24
Figure 14 : Principe de remplissage des galeries [24]	25
Figure 15 : Schéma du principe de remplissage d'une galerie double sur 80m.....	26
Figure 16 : Schéma de principe du remplissage d'une galerie – cas particulier bas vers le haut	27
Figure 17 : Plan masse du fond	29
Figure 18 : Principes de transfert et d'approvisionnement des bétons en fond de puits	31
Figure 19 : Principe de la zone de collecte des bétons sous le puits Else, de vidange des bennes en fond de puits et transfert du béton.....	32
Figure 20 : Approvisionnement jusqu'au point de réalisation des barrages	32
Figure 21 : Frise chronologique de la réalisation du marché des travaux	36
Figure 22 : Scénario S2 – Localisation des blocs déstockés par chaque atelier	40
Figure 23 : Scénario S2 - Localisation des barrages dans le cas où l'ensemble des blocs est comblé au coulis (solution 1)	42
Figure 24 : Scénario S2 – Solution 2 optimisée et relocalisation des barrages.....	43
Figure 25 : Scénario S2 – Solution 2bis intermédiaire et relocalisation des barrages	43
Figure 26 : Périmètre d'impact de l'incendie du bloc 15	44
Figure 27 : Plan de répartition de la convergence des galeries	45
Figure 28 : Plan de répartition des contraintes dans les piliers des galeries	45
Figure 29 : Scénario S2 - Frise chronologique du comblement.....	47
Figure 30 : Plan des installations générales du chantier de confinement – Marché Travaux Bouygues	53
Figure 31 : Plan des installations générales du chantier de confinement - Zoom sur la centrale à béton– Marché Travaux Bouygues.....	54
Figure 32 : Scénario S2 - Implantation des chantiers de déstockage et de confinement sur le site des MDPAs.....	55
Figure 33 : Scénario S2 - Planning de confinement.....	58
Figure 34 : Scénario S2 - Phasage de réalisation possible du projet dans le cadre de l'augmentation de la coactivité	60
Figure 35 : Scénario S2 - Phasage de réalisation prévu dans le planning	60
Figure 36 : Scénario S3 - Localisation des blocs déstockés par chaque atelier	62
Figure 37 : Scénario S3 - Frise chronologique du comblement.....	64
Figure 38 : Schéma de réalisation du comblement à l'interface avec les colis	66
Figure 39 : Schéma de réalisation du comblement à l'interface avec les colis avec serrement de havrit	67
Figure 40 : Scénario S3 - Planning de confinement.....	69

Figure 41 : Scénario S3 - Phasage de réalisation possible du projet dans le cadre de l'augmentation de la coactivité	71
Figure 42 : Scénario S3 - Phasage de réalisation prévu dans le planning	71
Figure 43 : Scénario S4 - Localisation des blocs déstockés par chaque atelier	72
Figure 44 : Scénario S4 - Frise chronologique du comblement.....	74
Figure 45 : Scénario S4 - Planning de confinement.....	79
Figure 46 : Scénario S4 - Phasage de réalisation possible du projet dans le cadre de l'augmentation de la coactivité	81
Figure 47 : Scénario S4 - Phasage de réalisation prévu dans le planning	81
Figure 48 : Comparaison des phasages et des durées pour les différents scénarios.....	83

Table des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des données sur les 12 barrages prévus au marché – Données ERCOSPLAN.....	13
Tableau 2 : Synthèse des données sur les 12 barrages prévus au marché – Données MDPA Fiche Barrage	13
Tableau 4 : Evaluation des volumes de galeries et blocs à remblayer	16
Tableau 5 : Scénario S2 - Détail de l'estimation des volumes selon le linéaire de galeries à combler .	49
Tableau 6 : Scénario S2 - Détail des quantités de colis selon leur conditionnement.	50
Tableau 7 : Scénario S2 - Détail des volumes des différents contenants.....	50
Tableau 8 : Scénario S2 - Synthèse des hypothèses prises en compte dans le calcul d'un colis moyen	51
Tableau 9 : Scénario S2 - Résultats des calculs de volume selon les différentes méthodes.....	51
Tableau 10 : Scénario S2 - Durée de remblaiement des blocs.....	52
Tableau 11 : Scénario S3 - Estimation des volumes à combler par bloc et au total	65
Tableau 12 : Scénario S3 - Durée de remblaiement des blocs.....	66
Tableau 13 : Scénario S4 - Estimation des volumes à combler par bloc et au total	75
Tableau 14 : Scénario S4 - Durée de remblaiement des blocs.....	76
Tableau 15 : Synthèse des durées des différents scénarios.....	82
Tableau 16 : Synthèse des volumes à combler	84

Table des annexes

Annexe I : Plan de phasage du confinement scénario S1

1. Introduction

Le projet StocaMine, autorisé en février 1997, prévoyait de stocker des déchets dangereux pendant une durée de trente ans et dans des conditions réversibles en exploitation, dans des galeries creusées à cet effet dans les couches de sel gemme situées sous les anciennes couches du gisement de potasse exploité par les Mines De Potasse d'Alsace (MDPA) à Wittelsheim (68).

L'incendie survenu dans le bloc 15 en septembre 2002 a mis un terme à la poursuite de l'exploitation, alors qu'environ 44 000 tonnes de déchets ultimes avaient été stockées.

Un déstockage partiel de déchets mercuriels et de déchets phytosanitaires contenant du zirame, représentant environ 2 400 tonnes et contenant 95 % du mercure, a été achevé fin 2017.

Le confinement définitif des déchets non déstockés a été autorisé par arrêté préfectoral du 23 mars 2017. Les MDPA sont le maître d'ouvrage de la fermeture du stockage.

L'opération de confinement comprend la réalisation de douze barrages (ouvrages de scellement de galeries). Elle doit être achevée fin 2023 dans le scénario actuel et au plus tard en 2027.

A la demande de l'Etat, le BRGM a réalisé en 2018 une étude dont l'objet était l'analyse de la faisabilité technique et le délai d'une opération de déstockage total (hors bloc 15) sans en juger de la pertinence. L'étude du BRGM a conclu que le déstockage total (hors bloc 15) est envisageable et conduirait à un confinement définitif terminé aux environs de mi-2030.

Le Ministre de la Transition Écologique et Solidaire a alors annoncé en février 2019 le lancement d'une étude technique et financière de la faisabilité de la poursuite d'un déstockage partiel, en parallèle de la poursuite du confinement, pouvant se dérouler jusqu'à 2027.

Les MDPA ont confié cette étude au groupement Antea Group – Tractebel Engie.

Trois scénarios, intitulés S2, S3 et S4, sont analysés :

- S2 : déstockage de 100% des déchets hormis ceux du bloc 15, option dont la faisabilité a été développée par le BRGM,
- S3 : déstockage de l'ensemble des déchets hormis ceux du bloc 15, à l'exclusion des résidus d'incinération, des déchets amiantés et des déchets générés par le chantier de déstockage achevé en 2017, solution alternative également développée par le BRGM dans son rapport,
- S4 : déstockage supplémentaire de déchets à définir en qualité et en quantité dans le cadre de la présente étude.

Pour chacun de ces scénarios, seront évalués les conditions de sécurité, le bénéfice environnemental et les coûts.

L'étude comprend neuf volets définis dans le cahier des charges :

- Volet 1 : Elimination des déchets déstockés.
- Volet 2 : Evaluation des risques sécurité et environnementaux.
- Volet 3 : Etude des techniques à mettre en œuvre et de leur sécurisation – prise en compte des contraintes de la mine.
- Volet 4 : Etude logistique et planification.
- Volet 5 : Analyse des conséquences sur le projet de confinement.
- Volet 6 : Mise en situation des équipements existants pour un horizon 2027.

- Volet 7 : Etude des risques généraux et de leurs barrières.
- Volet 8 : Inventaire des démarches administratives, de leurs délais et des conditions de réussite de ces démarches.
- Volet 9 : Elaboration du budget.

Le présent rapport concerne le volet 5 – Analyse des conséquences sur le projet de confinement.

L'objectif de ce rapport est de déterminer les impacts des différents scénarios sur le confinement. En se basant sur les données du cahier des charges des travaux de confinement prévus et du marché de travaux attribué à Bouygues (dénommée « l'Entreprise » dans la suite du document), les méthodes de réalisation et les cadences ont pu être définies.

Sur cette base de données ainsi que sur les précédentes études menées par les MDPAs, Ercosplan, etc., il a pu être estimé les impacts des différents scénarios sur les volumes de comblement, la localisation des barrages et les plannings de confinement du stockage.

2. Documents liés

2.1. Documents MDPA

- [1]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine – CCTP du Marché TRAVAUX
- [2]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 1-a, 1-b – REV B
- [3]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 2-a, 2-b – REV B
- [4]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 3-a, 3-b – REV B
- [5]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 4 – REV B
- [6]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 5 – REV B
- [7]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 6 – REV B
- [8]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 7 – REV B
- [9]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 8 – REV B
- [10]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 9-a, 9-b – REV B
- [11]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 10-a, 10-b – REV B
- [12]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 11-a, 11-b – REV B
- [13]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - 102 Annexes au CCTP - Fiche barrage 12-a, 12-b – REV B
- [14]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - numéro 304 – Phasage de remblayage – REV 1
- [15]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - numéro 306- Plan du fond
- [16]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - DCE du Marché TRAVAUX - numéro 303 Planning indicatif du Projet avec contraintes sur les travaux du Maître d'Ouvrage - Feuil1
- [17]. Etude d'avant-projet de conception de l'installation de préparation et de transport du coulis – BG - 0730.02-RN001a/Del - 13 juillet 2018
- [18]. Concept technique de scellement des galeries d'accès du site de stockage souterrain de déchets StocaMine et de mise en place de matériau de remblayage dans certaines zones du site de stockage – ERCOSPLAN – 14/11/2018 -17-009EA01_Rapport_MDPA_End_rev00_FR
- [19]. Concept technique de scellement des galeries d'accès du site de stockage souterrain de déchets StocaMine et de mise en place de matériau de remblayage dans certaines zones du site de stockage – ERCOSPLAN – 14/05/2019 17-009EA01_Rapport_MDPA_Version_Complétée_rev02_FR

- [20]. Caractérisation géologique et géotechnique des sites d'implantation des ouvrages de barrage prévus dans le site de stockage souterrain de déchets StocaMine -ERCOSPLAN - 14/12/2018 – 18-033
- [21]. Tableau récapitulatif des sites d'implantation de barrage, contenant les informations volume - MDPA StocaMine – ERCOSPLAN -Caractérisation des sites d'implantation des barrages
- [22]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - Mémoire technique MEM1- version 2 - Concernant la réalisation des études de détails et des méthodes – Bouygues
- [23]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - Mémoire technique MEM2 – version 2 - Concernant la réalisation des barrages - Bouygues
- [24]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - Mémoire technique MEM3 – Version 2 - Concernant le remblai - Bouygues
- [25]. Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine - Mémoire technique MEM5 – Version 2 - Un planning de réalisation des travaux – Bouygues
- [26]. Rapport d'étude du réseau «azote» AVEC
- [27]. INERIS DRS-12-108130-01167C – datant de 09/11/2012 - Moyens de maîtrise des risques dans l'option de stockage illimité à StocaMine
- [28]. INERIS DRS-12-108130-02769B datant de 02/03/2012 - Etude de sûreté du confinement à long terme de la matrice réceptrice compte-tenu de ses caractéristiques géotechniques.

2.2. Autres documents

- [29]. Arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter n°970157 du 03/02/97, délivré à StocaMine
- [30]. Loi n°2015-991 du 7 août 2015 portant nouvelle organisation territoriale de la République
- [31]. Arrêté français, dit « arrêté TMD », du 29 mai 2009 modifié
- [32]. Arrêté ministériel du 30/12/2002, relatif au stockage de déchets dangereux
- [33]. Règlement CE 1013/2006 du 14 juin 2006 modifié qui fait suite à la convention de Bâle

2.3. Documents Antea Group / Tractebel

- [34]. Rapport d'étude Antea Group – Tractebel A105573 – Volet 4 – Etude logistique et planification, version D du 30/09/2020
- [35]. Rapport d'étude Antea Group – Tractebel A106472 – Définition du scénario S4, version C du 30/09/2020
- [36]. Rapport d'étude Antea Group – Tractebel A105892 – Volet 9 – Elaboration du budget, version C du 30/09/2020

3. Analyse du projet actuel de confinement

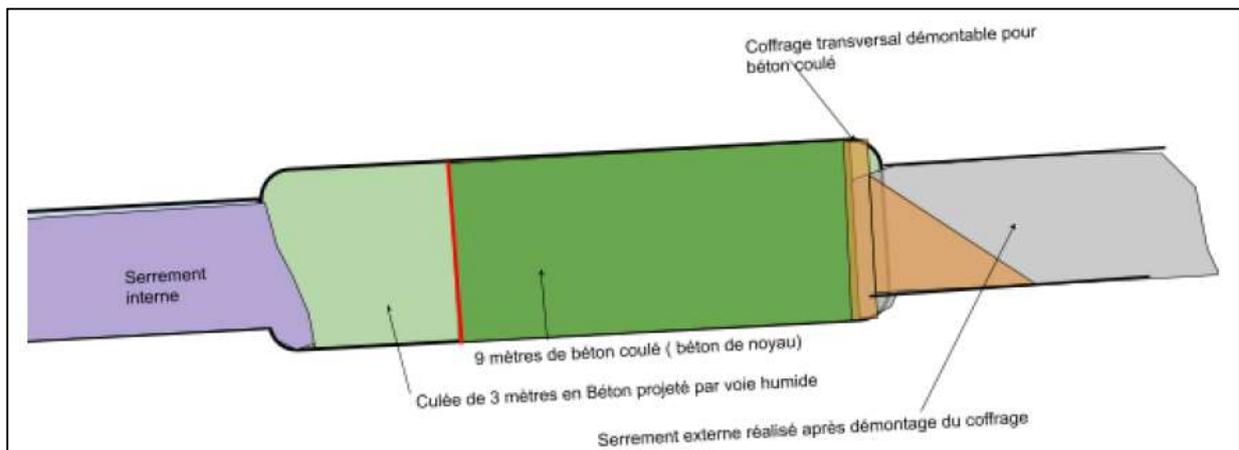
Ce chapitre présente le projet actuel de confinement qui fait l'objet d'un cahier des charges établi par les MDPAs et du marché de travaux « Confinement définitif du site de stockage souterrain StocaMine » attribué à l'entreprise Bouygues.

3.1. Conception intrinsèque et implantation des barrages

La conception intrinsèque des ouvrages de scellement de galerie est définie au CCTP du marché de travaux [1] établi sur la base des études de conception de ERCOSPLAN.

Les futurs ouvrages de scellement de galerie devront comporter les éléments fonctionnels ci-après :

- Un élément de culée d'une longueur de 3 m, réalisé en béton projeté gâché à la saumure, soit sur un coffrage perdu, soit directement sur le serrement interne ou externe ;
- Un élément d'étanchéité en béton coulé spécial, d'une très faible perméabilité intrinsèque de $K \leq 10^{-18} \text{ m}^2$, susceptible de créer un scellement étanche de la section de galerie sur une longueur de 9 m.



Nota: selon si les barrages sont à l'amont ou à l'aval les serrements interne et externe sont inversés.

Figure 1 : Schéma de principe de la solution de base pour les barrages amont

On distinguera deux cas de figure pour ces barrages :

- Les barrages sur galerie simple, réalisés en une phase (surcreusement, culée en béton projeté, béton coulé de 9m) ;
- Les barrages sur galerie double, réalisés en 3 phases correspondant aux étapes décrites ci avant sur galerie simple réalisées au droit de la première galerie puis de la deuxième et enfin en partie central en lieu et place du pilier (Cf. Figure 2).

Les méthodologies de réalisation et phasage sont présentées dans le sous-chapitre 3.3.

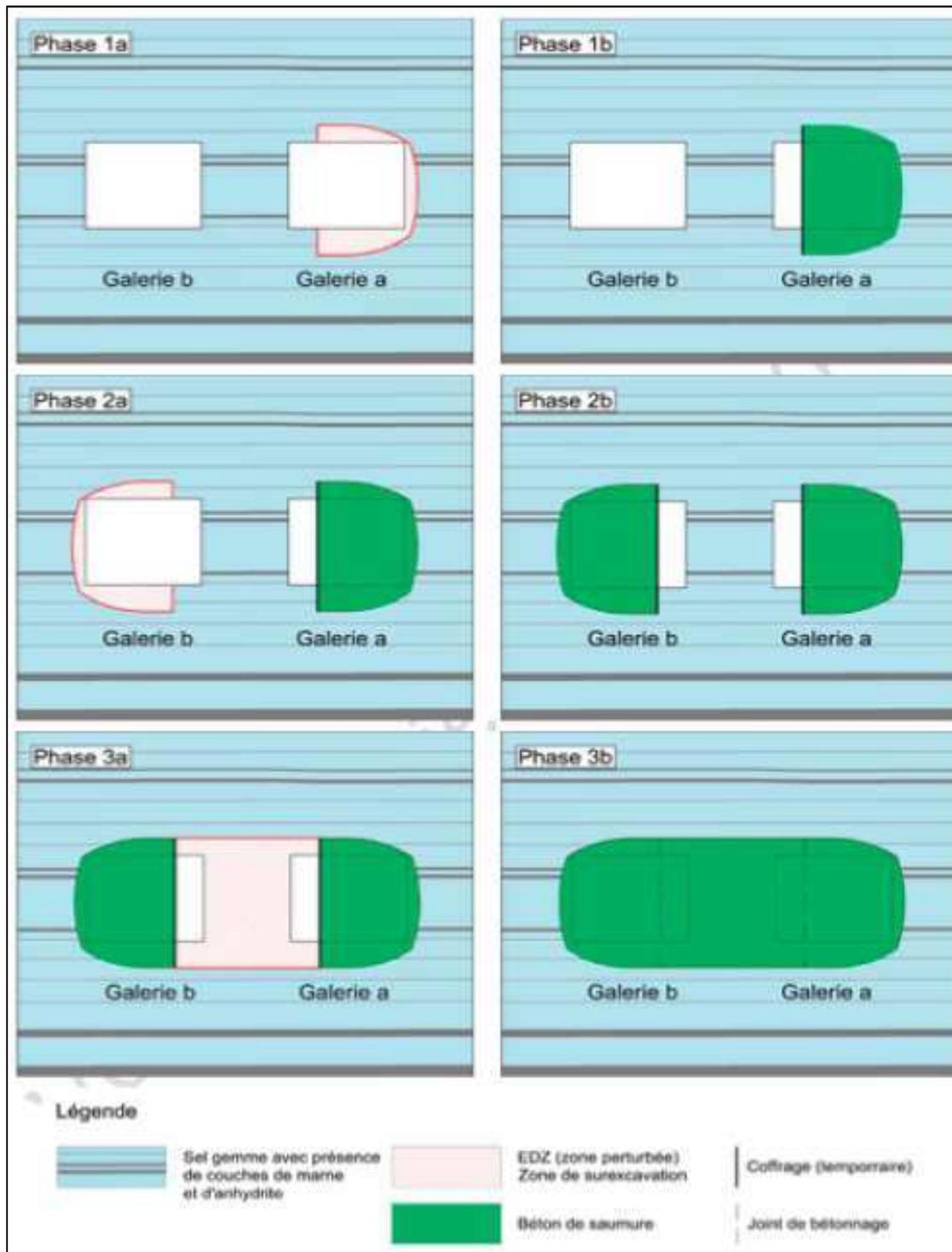


Figure 2 : Schéma de principe du phasage de réalisation d'un barrage sur galerie double

Ainsi le marché de travaux comporte la réalisation de douze barrages, réalisés de l'aval vers l'amont dont la localisation est présentée en Figure 3 page suivante. L'ordre de réalisation à respecter est 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 12.

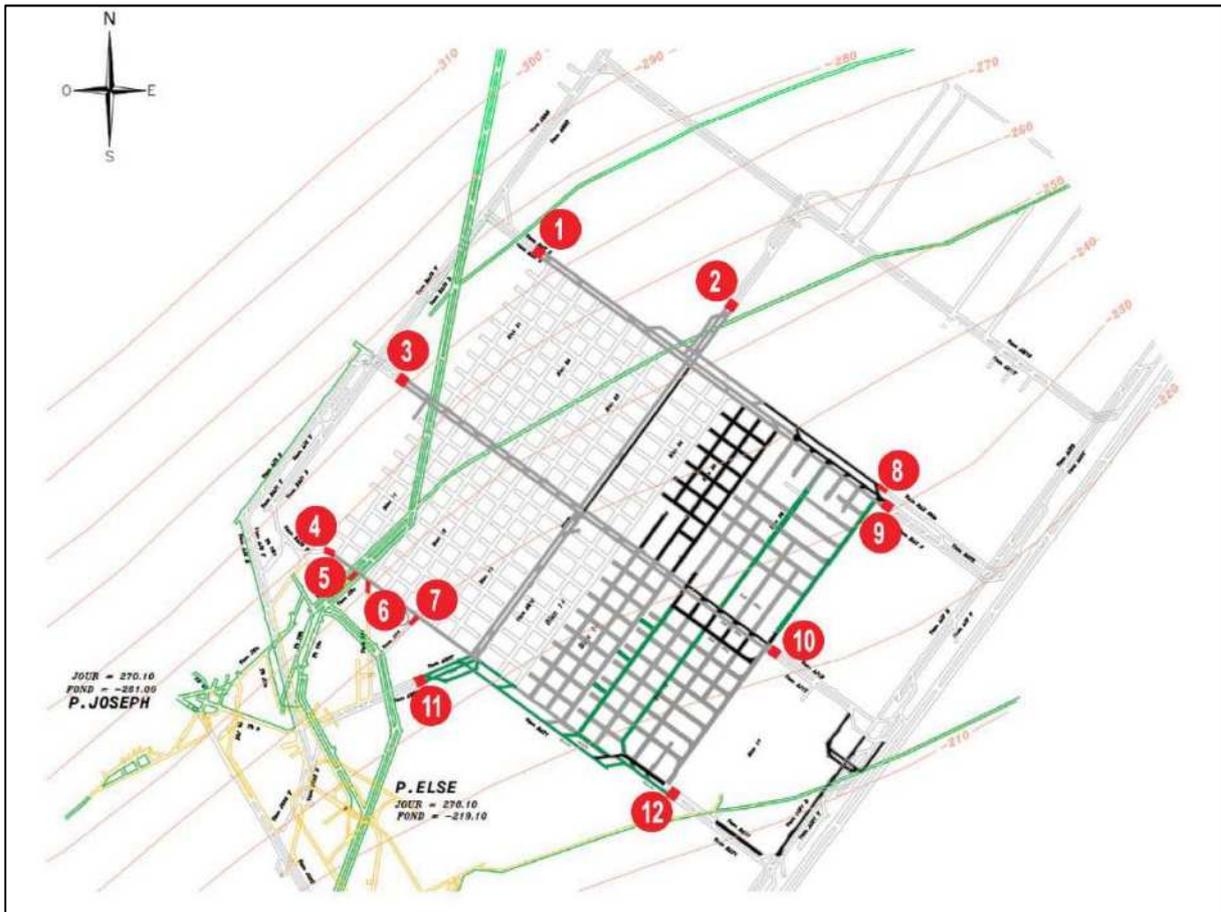


Figure 3 : Schéma d'implantation des barrages ([1])

Le tableau de synthèse suivant donne l'ensemble des informations, géométriques, géologiques et géotechniques, sur les 12 barrages prévus au marché.

Tableau 1 : Synthèse des données sur les 12 barrages prévus au marché – Données ERCOSPLAN

Numéro du Barrage	ID	Donnée ERCOSPLAN								Impacts s'exerçant sur la situation géomécanique	Classement par catégories
		Galeries :			Conditions géologiques		Couches de potasse				
		Hauteur en m	Largeur en m	Type	Distance verticale par rapport à CI* en m	Pendage vue en coupe	CS**	CI*			
1	1a	3,0	3,8	galerie double	23	Type A	en partie exploitée	en partie exploitée	proximité de bordures d'exploitation au niveau des deux couches et galeries dans l'horizon d'exploitation sus-jacent → pilier résiduel au nord-ouest - diminution des contraintes	cas IIIc	
	1b	3,0	3,9		23	Type A					
2	2a	3,0	3,8	galerie double	23	Type B	exploitée	exploitée	proximité de bordures d'exploitation, dans les deux couches → pilier résiduel au nord - diminution des contraintes	cas Ivb	
	2b	3,0	3,8		23	Type B					
3	3a	3,0	3,9	galerie double	23	Type A	non exploitée	non exploitée	Néant - diminution des contraintes	cas IIIb	
	3b	3,0	3,8		23	Type A					
4	4a	3,0	3,8	galerie simple	23	Type B	non exploitée	non exploitée	proximité de bordures d'exploitation, dans la couche CI - contraintes accrues	cas Vc	
5	5a	3,0	4,2	galerie simple	23	Type B	non exploitée	exploitée	proximité de bordures d'exploitation, dans la couche CI	cas Vb	
6	6a	3,0	3,8	galerie simple	23	Type B	non exploitée	en partie exploitée	proximité de bordure d'exploitation dans la couche CI → pilier résiduel au sud - diminution des contraintes	cas Va	
7	7a	3,0	3,8	galerie simple	23	Type B	non exploitée	en partie exploitée	bordure dans la couche CI → pilier résiduel au sud-ouest - contraintes accrues	cas Va	
8	8a	3,0	5,6	Galerie auxiliaire (galerie simple)	25	Type A	exploitée	exploitée	exploitation sur toute la longueur de la galerie d'accès - diminution des contraintes	cas I	
9	9a	3,0	3,8	galerie double	25	Type A	exploitée	exploitée	exploitation sur toute la longueur de la galerie d'accès - diminution des contraintes	cas Iia	
	9b	3,0	3,9		25	Type A					
10	10a	3,0	3,8	galerie double	23	Type A	exploitée	exploitée	proximité de bordures d'exploitation, dans la couche de potasse CS bordure d'exploitation dans la couche CI au-dessus du site d'implantation - contraintes accrues	cas IIIa	
	10b	3,0	3,8		23	Type A					
11	11a	3,0	4,8	galerie double	23	Type B	non exploitée	non exploitée	pilier de sécurité du puits Else - contraintes accrues	cas Iva	
	11b	3,0	3,8		23	Type B					
12	12a	2,7	5,5	galerie double	25	Type A	non exploitée	exploitée	bordure dans la couche CI → pilier résiduel au sud-est - diminution des contraintes	cas Iib	
	12b	2,7	5		25	Type A					
barrage pilote	0	3	3,7	galerie simple	23	Type B	non exploitée	non exploitée	proximité de bordure dans la couche CI et galerie perpendiculaire dans l'horizon d'exploitation sus-jacent - contraintes accrues	cas Vc	

*CI Couche Inférieure – **CS Couche Supérieure

Tableau 2 : Synthèse des données sur les 12 barrages prévus au marché – Données MDPa Fiche Barrage

Numéro du Barrage	ID	Fiches barrages												
		Galeries :								Volume à surcreuser				
		Hauteur en m	Largeur en m	Largeur pilier	Volume galerie en m3	V pilier en m3	Hauteur toit	Epaisseur EDZ toit	Epaisseur EDZ parements	Epaisseur EDZ mur	Volume excavé barrage	Volume excavé barrage + rampe	VBP 1 ère culée	VBC noyau +2eme culée
1	1a	2,7	3,7	3,3	127	100	-23	0,5	0,9	0,58	265	314	123	368
	1b	2,2	3,7		100			0,52	0,9	0,39				
2	2a	2,9	3,7	3,2	138	90	-23	0,6	0,9	0,39	258	298	128	385
	2b	2,4	3,6		119			0,52	0,9	0,26				
3	3a	2,8	3,3	3,3	105	110	-23	0,83	0,9	1,08	414	551	159	477
	3b	2,8	3,5		119			0,82	0,9	0,92				
4	4a	2,6	3,7		117		-23	0,3	0,6	0,6	75	88	48	144
5	5a	2,9	3,8		142		-23	0,31	0,6	0,6	84	97	56	169
6	6a	3	4,1		155		-23	0,54	0,6	0,43	89	104	61	183
7	7a	3	3,6		134		-23	0,54	0,6	0,43	84	101	55	164
8	8a	2,2	3,8	7	109		-25	2,01	0,7	0,9	210	310	80	239
9	9a	2,8	3,6	3,3	128	110	-25	2,06	0,7	0,39	503	695	189	567
	9b	2,7	3,4		125			1,97	0,7	0,71				
10	10a	2,5	3,8	3,3	125	100	-23	0,55	0,9	0,47	320	475	141	423
	10b	2,5	3,7		120			0,56	0,9	0,77				
11	11a	2,5	3,5	3,1	148	90	-23	0,47	0,9	0,71	281	341	136	409
	11b	3,1	3,8		116			0,61	0,9	0,22				
12	12a	2,7	5,5	3,3	180	110	-25	1,88	0,7	0,89	627	928	238	713
	12b	2,9	3,7		144			1,8	0,7	1				

3.2. Constitution des remblais de fermeture des galeries et des blocs

Les remblais de fermeture des galeries concernent les blocs de stockages vides et les galeries d'accès à l'intérieur du périmètre confiné.

Le remplissage sera réalisé par voie humide. La sélection des matériaux, les formulations du matériau de remblayage, l'approvisionnement, le stockage, la préparation, la fabrication, le contrôle et la mise en place du matériau de remblayage sont à la charge de l'entreprise en conception et en réalisation. Ils seront validés par le bureau d'études ERCOSPLAN (concepteur des barrages) en tant qu'assistant à maître d'ouvrage des MDPAs pour les travaux de confinement.

Dans leur mémoire technique concernant le remblai [24], l'entreprise distingue deux formulations pour le remplissage des blocs et galeries :

- Un matériau de remblayage à 0.5 MPa permettant un remplissage des blocs 15, 16, 25 et 26 sur une longueur maxi de 80 mètres ;
- Un matériau de remblayage de 12 MPa permettant le remplissage des galeries (Vam RAS 2, Vam RAT 2, Vam AQ1, Vam AJ1, Vam RAT1) selon la méthodologie retenue par l'entreprise, sur une longueur maxi de 40 m.

Le plan suivant présente les zones concernées par le remblayage.

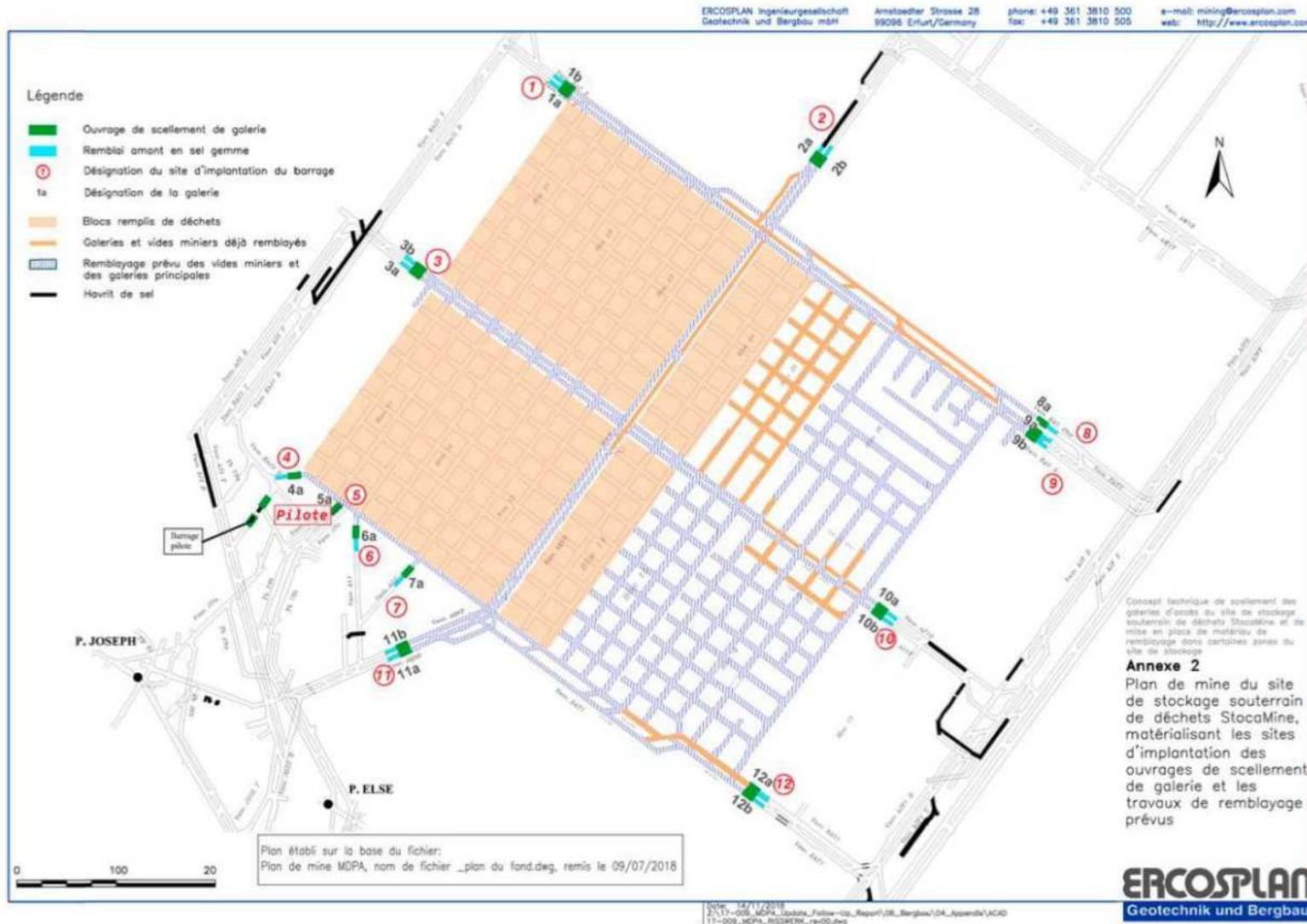


Figure 4 : Plan localisant les barrages et les travaux de remblayage prévus – Données ERCOSPLAN

L'évaluation des volumes de galeries et de blocs à remblayer est ainsi définie au CCTP du marché de travaux :

Evaluation des volumes à remblayer le titulaire							
		Estimé	Mesuré	Remplissage au havrit de sel par Maître d'Ouvrage	Remplissage éventuel de remblais sec et poreux par Maître d'Ouvrage	Remblayage minimum garanti	Remblayage maximum imaginable
Galeries		41 533 m3	44 904 m3	3 700 m3	6 161 m3	25 231 m3	55 000 m3
Blocs	B15	12 500 m3	?	0 m3		9 000 m3	15 000 m3
	B16	27 154 m3	?	6 050 m3		15 195 m3	34 835 m3
	B25	800 m3	?	0 m3		576 m3	800 m3
	B26	22 983 m3	?	6 050 m3		12 192 m3	27 580 m3
TOTAL blocs		63 438 m3		12 100 m3	0 m3	36 963 m3	78 215 m3
TOTAL Galeries + Blocs		104 971 m3		15 800 m3	6 161 m3	62 194 m3	133 215 m3

Tableau 3 : Evaluation des volumes de galeries et blocs à remblayer

L'entreprise a donc prévu son marché sur la base de 3 simulations de volume différentes à savoir, le volume minimum, le volume maximum et le volume médian.

3.3. Méthodologies de réalisation, gestion des flux et cadences

3.3.1. Phasage de réalisation des barrages

Dans le cadre du phasage de réalisation des barrages , on distingue les 2 types de barrage : simple et double.

3.3.1.1. Barrage simple

Le phasage de réalisation d'un barrage retenu est celui décrit par Bouygues [23]. Dans le cadre d'un barrage simple, les travaux se dérouleront dans l'ordre suivant :

- Prise de site et réception des aménagements réalisés par les MDPAs ;
- Réalisation des travaux préparatoires et mise en place des équipements de sécurité (alimentation électrique, éclairage spécifique, mise en place de la ventilation, ...) ;
- Réalisation des travaux de surexcavation de la galerie y compris évacuation et stockage des matériaux excavés à proximité ;
- Mise en place du serrement externe en havrit de sel ;
- Réalisation d'une culée en béton projeté de 3 m d'épaisseur directement sur le serrement en sel permettant un comblement toute hauteur de la galerie ;
- Réalisation d'une étanchéité bitumineuse sur la culée en béton projeté ;
- Mise en place du coffrage transversal du noyau en béton coulé ;
- Bétonnage du noyau en béton sur une épaisseur de 9 m ;
- Dépose du coffrage ;
- Réalisation d'une étanchéité bitumineuse sur le barrage en béton autoplaçant ;
- Repli du matériel et des matériaux excédentaires.

3.3.1.2. Barrage double

Dans le cas d'un barrage double, le phasage de réalisation retenu est découpé en 4 étapes :

- 1 phase d'installation et de renforcement des soutènements ;
- 1 phase de réalisation des travaux dans la galerie A ;
- 1 phase de réalisation des travaux dans la galerie B ;
- 1 phase de réalisation des travaux dans la zone du pilier intermédiaire.

De même que pour les barrages simples, le phasage retenu s'appuie sur la proposition de Bouygues [23] :

- Prise de site et réception des aménagements réalisés par les MDPAs ;
- Réalisation des travaux préparatoires et mise en place des équipements de sécurité (alimentation électrique, éclairage spécifique, mise en place de la ventilation, ...) ;
- Réalisation des travaux de soutènement par mise en place de boulons d'ancrage et de butes en bois.

Pour la phase de réalisation des travaux dans la galerie A puis dans la galerie B, le phasage retenu est le suivant :

- Réalisation des travaux de surexcavation de la galerie y compris évacuation et stockage à proximité des matériaux excavés ;
- Mise en place du serrement externe en havrit de sel ;
- Réalisation d'une culée en béton projeté de 3 m d'épaisseur directement sur le serrement en sel permettant un comblement toute hauteur et toute largeur de la galerie ;
- Réalisation d'une étanchéité bitumineuse sur la culée en béton projeté ;
- Mise en place du coffrage longitudinal et transversal du noyau en béton coulé ;
- Bétonnage du noyau en béton sur une épaisseur de 9 m ;
- Dépose du coffrage ;
- Réalisation d'une étanchéité bitumineuse sur le barrage en béton autoplaçant.

Après avoir réalisé les travaux dans les galeries A et B, la dernière étape des travaux pour un barrage double concerne le pilier central. Pour son retrait et la finalisation du barrage le phasage prévu est le suivant :

- Réalisation des travaux de surexcavation du pilier central y compris évacuation et stockage à proximité des matériaux excavés ;
- Réalisation d'une culée en béton projeté de 3 m d'épaisseur directement sur la partie du pilier conservé permettant un comblement toute hauteur et toute largeur de l'intervalle entre les galeries A et B ;
- Réalisation d'une étanchéité bitumineuse sur la culée en béton projeté ;
- Mise en place du coffrage transversal du noyau en béton coulé ;
- Bétonnage du noyau en béton sur une épaisseur de 9 m ;
- Dépose du coffrage ;
- Réalisation d'une étanchéité bitumineuse sur le barrage en béton autoplaçant.

Les détails de la phase préparatoire et de la réalisation des travaux de dépose du soutènement existant, de pose du nouveau soutènement, de surcreusement, de réalisation du béton projeté, de mise en place des coffrages et de réalisation des bétonnages sont présentés pour les détails au chapitre suivant.

3.3.2. Méthodologie de réalisation des travaux

3.3.2.1. Réalisation des travaux préparatoires

Durant cette phase préalable aux travaux de confinement, les galeries seront mises aux normes du code du travail, du RGIE (Règlement Général des Industries Extractive) et du RGMA (Règlement Général sur l'exploitation des Mines Autres que les mines de combustibles minéraux solides et les mines d'hydrocarbures exploitées par sondage) avec entre autres l'installation de l'éclairage sur l'ensemble des galeries de la mine où les équipes seront amenées à intervenir pour inspection, prise de mesures et/ou réalisation de travaux.

Il s'agit de s'assurer que les galeries au droit du barrage sont préparées :

- Les connections eau/air/électricité sont disponibles pour l'entreprise,
- Le retrait des conduites d'électricité / d'eau et autres équipements au droit du barrage est effectué,
- La ventilation secondaire est installée.

3.3.2.2. Mise en place des soutènements et dépose de l'existant si besoin

3.3.2.2.1. Barrage simple

Lors de cette phase, les boulons en fibre de verre utiles pour le soutènement sont mis en place grâce à une foreuse boulonneuse puis scellés à la résine.

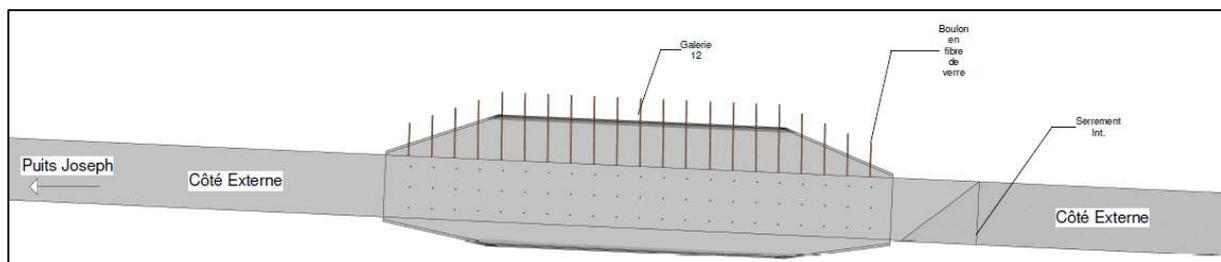


Figure 5 : Schéma de localisation des boulons en fibre de verre au droit du futur barrage

Au droit de certains barrages, des boulons sont déjà en place. Dans le cadre de la réalisation de ces ouvrages, ces boulons seront retirés après la pose des boulons en fibre de verres.

3.3.2.2.2. Barrage double

Lors des travaux de réalisation d'un barrage double, le pilier central reprendra plus d'efforts dans les phases temporaires lors des travaux d'alésage des galeries situées de part et d'autre car ces surexcavations augmenteront la portée des galeries et la hauteur du pilier central. Les piliers seront donc renforcés au moyen de boulons de fibre de verre scellés.

3.3.2.3. Alésage et surexcavation d'un barrage

La surexcavation des barrages sera réalisée conformément à l'étude du barrage concerné et à la définition de la partie à surexcaver. Pour chaque barrage, ces dimensions sont définies dans le Tableau 2.

La surexcavation sera réalisée grâce à une machine à attaque ponctuelle (MAP) qui sera mise en place au fond et acheminée jusqu'à la zone de barrage.

Elle sera réalisée selon le phasage suivant :

- Excavation de la partie supérieure

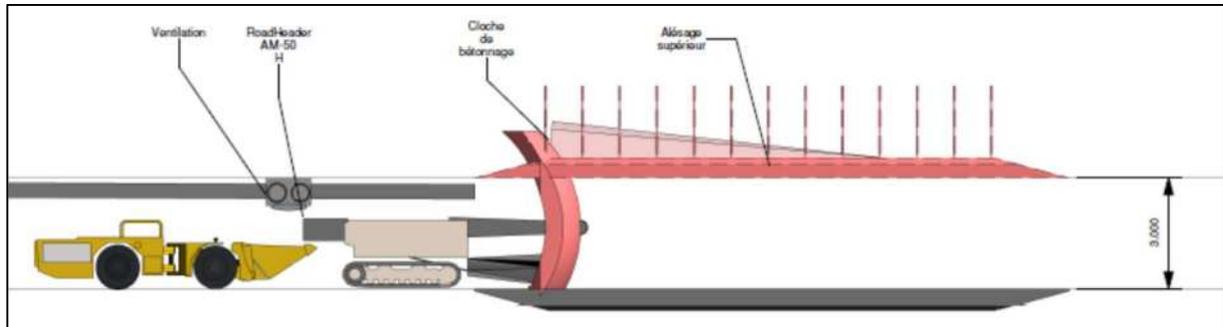


Figure 6 : Alésage MAP partie supérieure – Marinage au chargeur

- Excavation de la partie inférieure

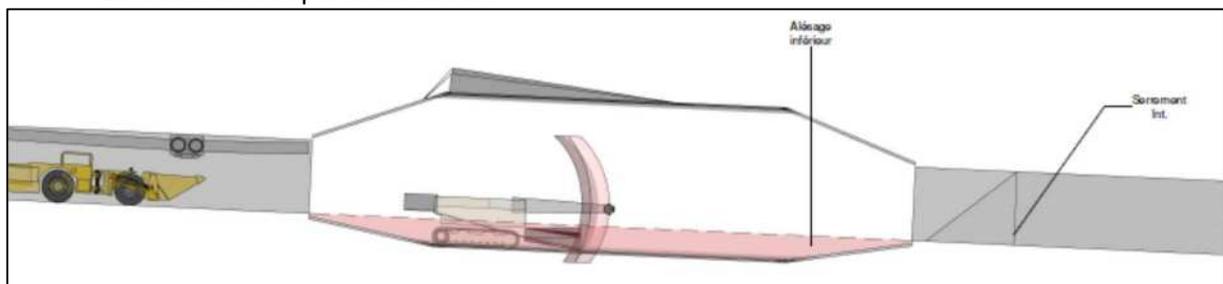


Figure 7 : Alésage MAP partie inférieure

3.3.2.4. Mise en place du serrement havrit de sel

Le serrement en havrit de sel est mis en place de chaque côté du barrage, coté interne par le Maître d'Ouvrage, coté externe par l'entreprise titulaire du marché de travaux.

L'ordre de mise en place du serrement est choisi pour que le bétonnage du noyau se fasse toujours depuis le point haut. Le serrement mis en place en premier sera donc celui qui se trouve au point bas de la galerie. Le serrement en sel sera mis en place avec un chargeur à godet de 1.5 m³.

Il est prévu la mise en place par tranches verticales de quelques mètres de longueur correspondant à la portée du bras du chargeur.

Dans le sens de la hauteur, les premiers mètres seront compactés à l'aide d'un compacteur de type plaque vibrante radiocommandé (ATEX). Le dernier mètre sera quant à lui « serré et clavé au toit » à l'aide du chargeur muni d'un outil adapté, de telle sorte à pouvoir « pousser » et « serrer » le havrit jusqu'au toit.

3.3.2.5. Mise en place du béton projeté de la culée

Après mise en place du serrement en sel et réalisation de la surexcavation des barrages, le phasage prévoit la mise en place du béton projeté des culées directement sur le serrement en sel.

Pour la réalisation de la première partie de ce barrage, le mode opératoire retenu est le suivant :

- Amenée du robot de projection et de la pompe pour béton projeté ;
- Approvisionnement du béton projeté par toupies de 2m³ ;
- Mise en place du béton projeté contre le havrit de sel (en lieu et place d'un coffrage perdu) ;
- Mise en place de la culée de 3m en béton projeté par couches successives de 15cm.

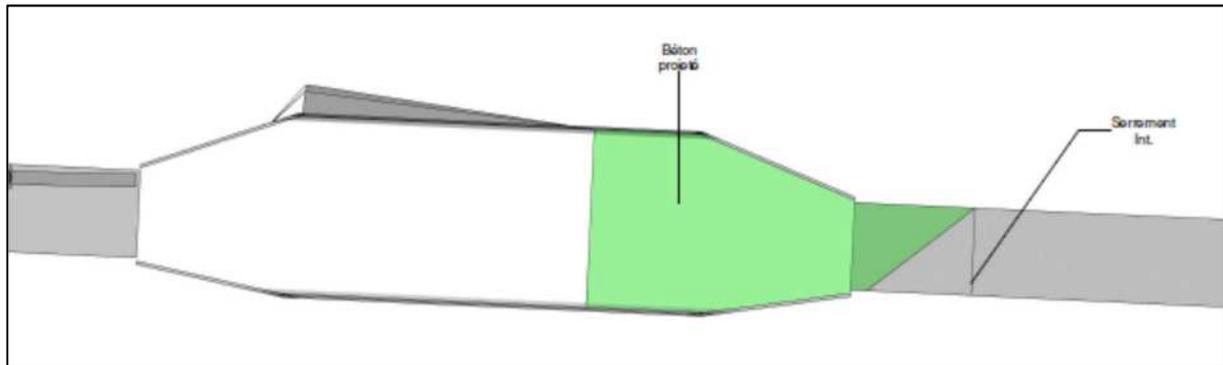


Figure 8 : Culée et zone de comblement en béton projeté

3.3.2.6. Préparation aux travaux de noyau en béton coulé autoplaçant

Après réalisation des travaux de béton projeté de la culée, les travaux préparatoires aux travaux de coffrage et de bétonnage du noyau en béton coulé autoplaçant seront réalisés.

Pour cela il faudra :

- Découper les boulons en fibre de verre saillant ;
- Dépoussiérer la zone à l'aide d'un aspirateur industriel ;
- Nettoyer la zone par projection d'une eau saturée en saumure.

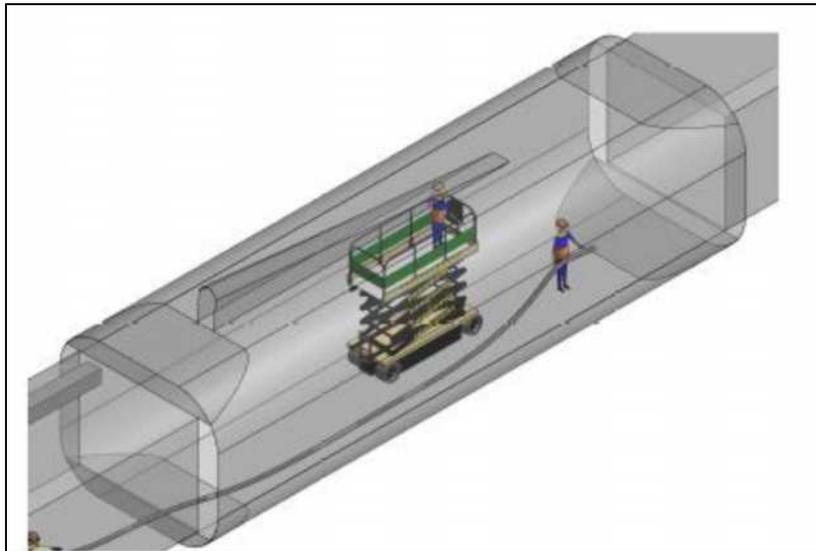


Figure 9 : Dépoussiérage et nettoyage avant bétonnage

3.3.2.7. Traitement des surfaces

Après avoir réalisé la mise en place du béton projeté de la culée, un enduit bitumineux sera mis en place sur la totalité de la surface de contact entre la culée en béton projeté et le noyau en béton coulé autoplaçant.

Cet enduit sera mis en place à la taloche en couche épaisse selon les prescriptions du fabricant après un dépoussiérage de la surface supérieure du béton projeté.

De la même manière cet enduit sera mis en place sur la face avant du barrage de 9 m en béton autoplaçant.

3.3.2.8. Réalisation des coffrages

Selon le type de barrage à réaliser, deux types de coffrage peuvent être mis en place :

- Des coffrages transversaux de type coffrage traditionnel en bois supportés par des raidisseurs en profilés ;
- Des coffrages longitudinaux de type coffrage manportable qui prennent appuis sur les piliers intermédiaires des barrages doubles.

3.3.2.8.1. Coffrage des barrages simples

Compte tenu de leur configuration, la réalisation des barrages simples ne nécessite l'utilisation que d'un coffrage transversal. Ce dernier se compose d'une peau coffrante en bois (planches jointives et/ou contre-plaqué) fixée sur des raidisseurs primaires en bois et maintenue en place sur des fermes verticales réalisées en profilés. Pour tenir compte de l'ensemble des configurations et dimensions possibles des barrages à réaliser, la solution composée de profilés verticaux porteurs éclissés permettant ainsi d'adapter le coffrage aux différentes hauteurs des barrages a été retenue par l'entreprise.

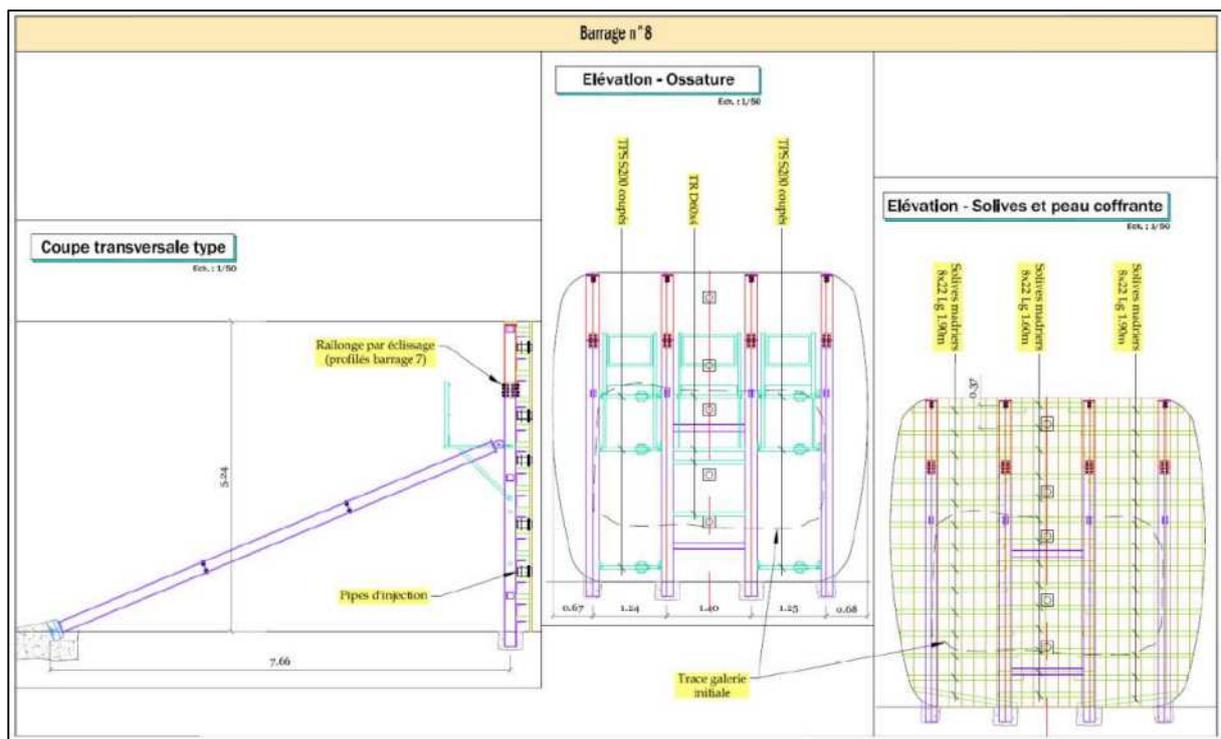


Figure 10 : Plan de coffrage des barrages simples

La mise en place de ce coffrage sera faite de la manière suivante [23] :

- Approvisionnement du matériel de coffrage au droit du barrage à réaliser ;
- Traçage sur les parois de la galerie de la position du barrage ;
- Creusement localisé des points d'appui des fermes principales et des butées d'appui ;
- Assemblage et dressage des fermes et des butées d'appui ;
- Réglage du positionnement et calage des zones d'appui ;
- Mise en place des passerelles de bétonnage ;
- Mise en place du raidissage secondaire (horizontal) ;

- Mise en place de la peau coffrante (y compris aménagement d'un passage pour réaliser la pose de la peau coffrante depuis l'intérieur du coffrage) ;
- Mise en place des pipes d'injection à différentes hauteurs du coffrage ;
- Mise en place du masque (finalisation périphérique de l'étanchéité de la peau coffrante) ;
- Mise en place d'un évent en partie haute ;
- Fermeture finale du coffrage.

Une fois le bétonnage terminé, la dépose des coffrages se fera en démontant les fermes principales et leurs butées d'appui puis en déposant le raidissage secondaire et la peau coffrante associée.

3.3.2.8.2. Coffrage des barrages doubles

La réalisation des barrages doubles en 3 phases distinctes nécessite l'utilisation d'un coffrage transversal associé à un coffrage longitudinal pour la réalisation de la partie A et de la partie B du barrage puis la mise en place d'un coffrage transversal pour la réalisation de la partie centrale.

Les coffrages transversaux utilisés pour la réalisation des différentes phases des barrages doubles sont identiques à ceux utilisés pour les barrages simples.

Les coffrages longitudinaux sont eux, constitués de coffrages manportables qui prennent appui sur le pilier central des barrages doubles. Contrairement aux coffrages transversaux ceux-ci ne sont pas lisses mais présentent une structure en créneaux.

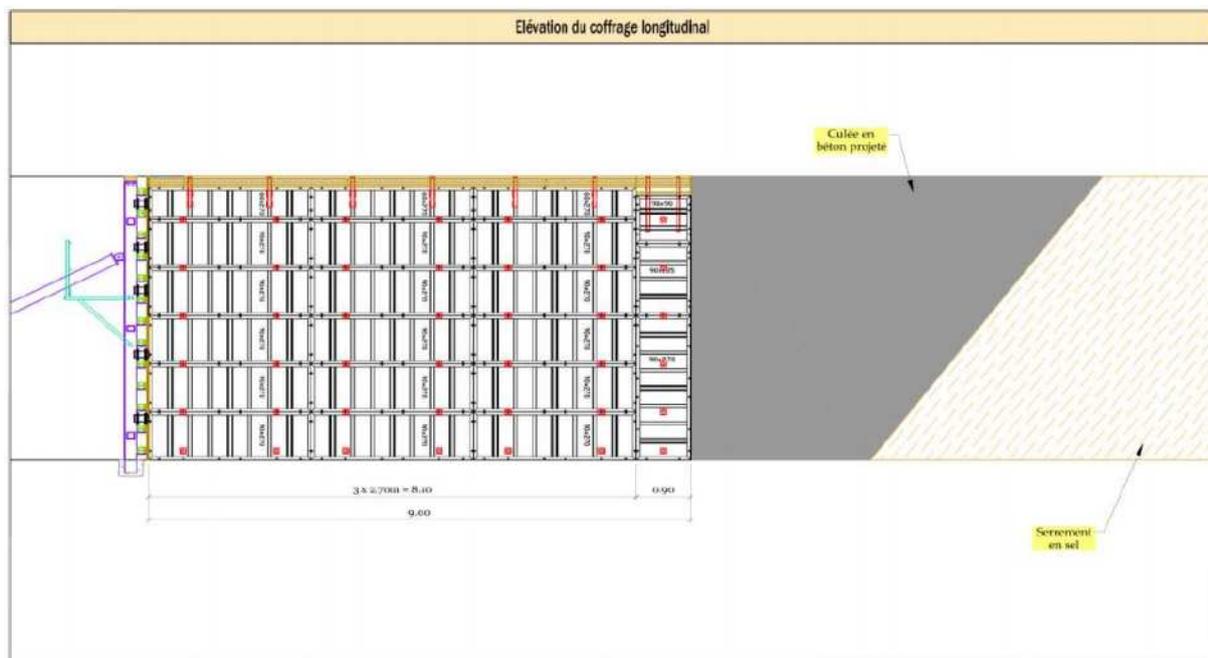


Figure 11 : Plan de coffrage des barrages doubles

Pour le phasage des travaux de coffrage, le montage de la partie longitudinale sera réalisé en premier. Ce phasage est le suivant :

- Approvisionnement du matériel de coffrage au droit du barrage à réaliser ;
- Traçage sur les parois de la galerie de la position du barrage et de la zone de reprise longitudinale ;
- Mise en place des panneaux de coffrage manportables (1^{er} rang) ;
- Accrochage des panneaux de coffrage au pilier central via une structure tubulaire ;
- Réglage de la verticalité des panneaux de coffrage par réglage des vérins MAGOT ;

- Mise en place des panneaux de coffrage manportables (rang suivant) ;
- Accrochage des panneaux de coffrage au pilier central via une structure tubulaire ;
- Réglage de la verticalité des panneaux de coffrage par réglage des vérins MAGOT ;
- Mise en place d'un plancher de circulation coté pilier central ;
- Calage final et coffrage traditionnel en partie haute ;
- Mise en place des négatifs de coffrage pour la réalisation des rainures verticales.

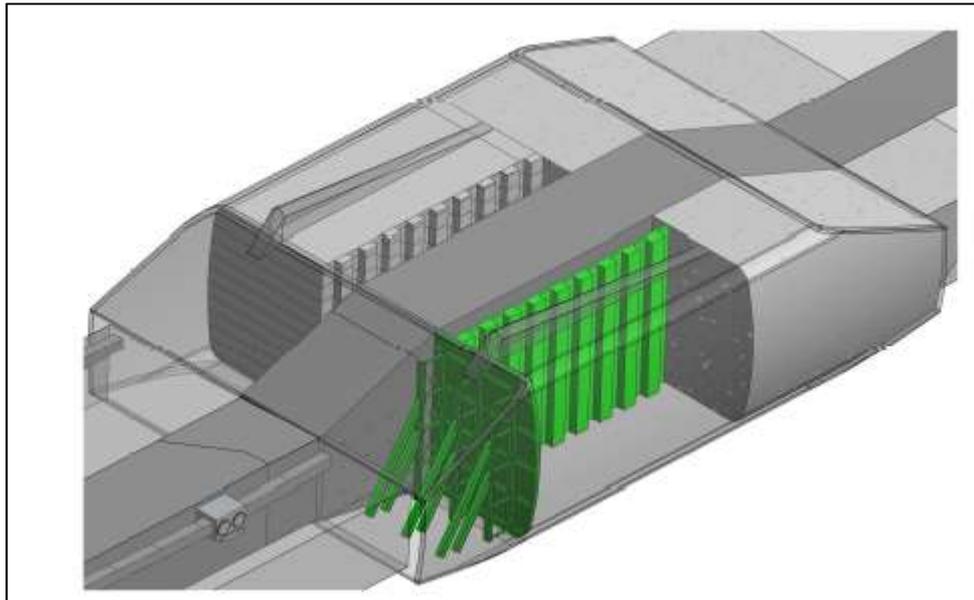


Figure 12 : Vue en perspective d'un coffrage pour un barrage double

Une fois le coffrage longitudinal monté, le coffrage transversal sera installé selon le phasage décrit précédemment.

Après bétonnage, la dépose des coffrages s'effectue en démontant les fermes principales et leurs butées d'appui puis en déposant le raidissage secondaire et la peau coffrante associée. Dans la zone de coffrage longitudinal, les panneaux de coffrage manportables seront déposés et évacués à la main du haut vers le bas et de la face avant vers la face arrière.

3.3.2.9. Bétonnage du noyau en béton coulé autoplaçant

Les noyaux des barrages sont réalisés avec un béton autoplaçant. Ce béton amené par camion sera injecté dans le noyau grâce à une pompe d'injection et à des pipes d'injections mises en place au travers du coffrage.

3.3.2.10. Mode opératoire du remplissage des blocs

Les travaux de remplissage des blocs et galeries comprennent, pour chaque phase de remplissage, deux étapes distinctes [24] :

- Les travaux préparatoires au remplissage tels que la mise en place des tuyaux de pompage ou la réalisation des cloisons intermédiaires ;
- Les travaux de bétonnage par mise en place des matériaux de remblais.

Le principe de remplissage des blocs suivra le procédé suivant :

- Mise en place des barrages de retenue blocs / galeries ;
- Réalisation des cloisons suivant mode opératoire décrit précédemment ;

- Forage au travers des cloisons existantes et mise en place de « fenêtres » en plexiglas pour constater le remplissage ;
- Remplissage de coulis de béton du bloc ;
- Le remplissage au coulis de béton sera réalisé par plots de 1500 m³ en partant du point bas ;
- Contrôle du remplissage par les événements et les ouvertures mis en place ;
- Contrôle du volume produit en centrale.

Le contrôle du volume à remplir se basera sur le volume théorique car aucun accès n'est prévu dans les blocs du fait de l'instabilité du toit.

Le remplissage se fera en tenant compte des cotes altimétriques du terrain en s'assurant de remplir à partir d'un point haut et en mettant en place une « fenêtre » de contrôle et des événements dans les cloisons situées au point bas.

Enfin, le suivi de la pression d'injection au travers des pipes d'injection en différents points de remplissage permettra de suivre l'évolution du remplissage dans le bloc en cours de bétonnage.

A titre d'exemple, le schéma de principe de comblement du bloc 15 est présenté ci-dessous .

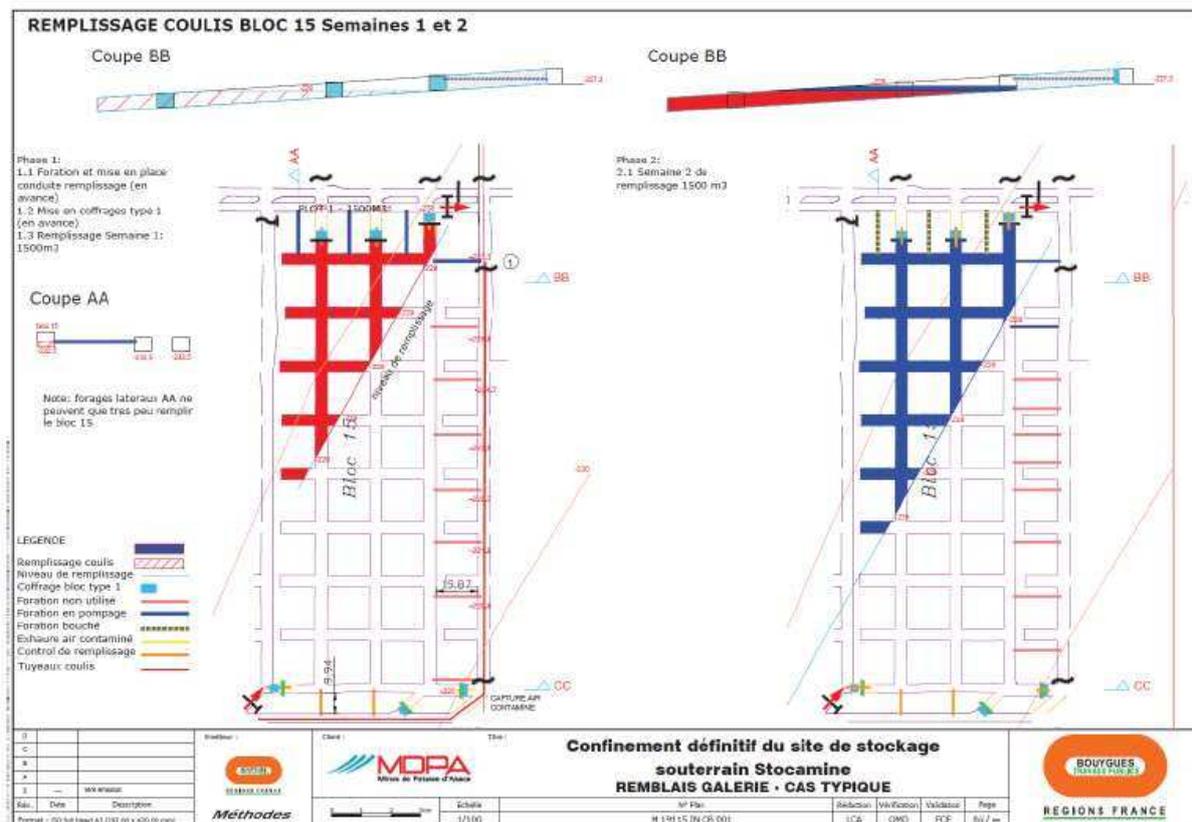


Figure 13 : Principe de remplissage du bloc 15 [24]

3.3.2.11. Mode opératoire de remplissage des galeries

Le principal enjeu du remplissage des galeries est d'optimiser les phases de bétonnage. En tenant compte d'un abattement des capacités de production, il est prévu de réaliser pendant les phases de bétonnage, de 80h environ, des plots de remplissage de 1500 m³.

Le mode opératoire de remplissage des galeries sera adapté à leurs configurations en tenant compte de contraintes spécifiques pour ces zones de travaux :

- Il est nécessaire de remplir les galeries en reculant et en construisant des cloisons intermédiaires au fur et à mesure du remplissage ;
- La géométrie et le phasage de remplissage imposent un découpage et un zonage différents selon le type de galeries et peuvent conduire à limiter les volumes mis en place ;
- La plupart des phases de remplissage se fera du haut vers le bas mais certaines galeries nécessiteront un remplissage à partir d'un point bas.

En tenant compte de ces contraintes, le principe de remplissage suivant a été défini. Il permet de garantir le remplissage en tout point de la galerie indépendamment de sa configuration.

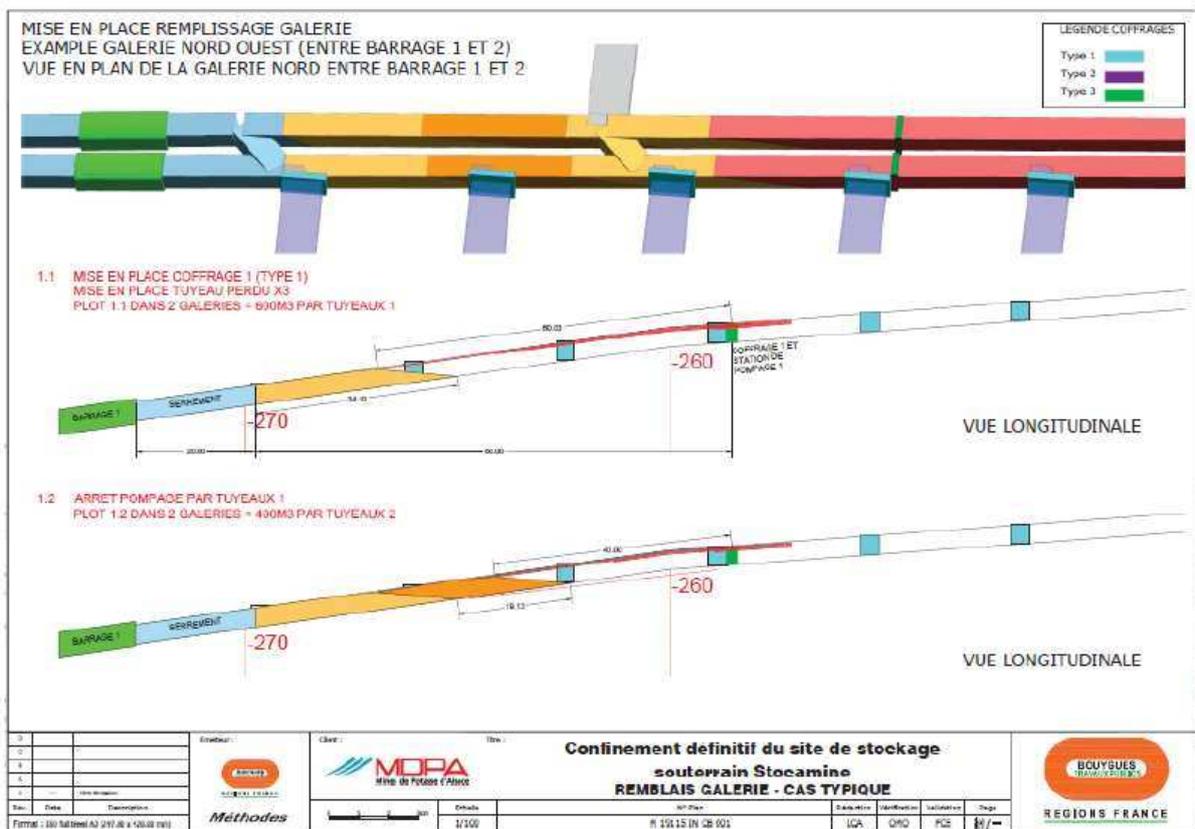


Figure 14 : Principe de remplissage des galeries [24]

3.3.2.11.1.1. Remplissage – cas typique

Afin de minimiser le nombre de barrages intermédiaires et pouvoir réaliser des plots de 1500 m³ en continu, le principe de remplissage suivant a été retenu :

- Réalisation de scan 3D permettant de définir avec précision le volume de la galerie à remplir ;
- Découpage de la galerie en plots de 1500 m³ (cela correspond à environ 80 ml) ;
- Réalisation des barrages de retenue blocs / galerie ;
- Réalisation des cloisons intermédiaires ;
- Mise en place au toit de 3 tuyaux de remplissage de longueur variable (60m, 40m et 20m) et débouchant dans la galerie de telle sorte que l'inter-distance entre chaque extrémité de tuyau soit au maximum de 20m ;
- Remplissage en utilisant les tuyaux et en les abandonnant au fur et à mesure ;
- Contrôle du volume théorique entre chaque zone de remplissage ;
- Contrôle du volume via le suivi du volume de matériaux produit en centrale.

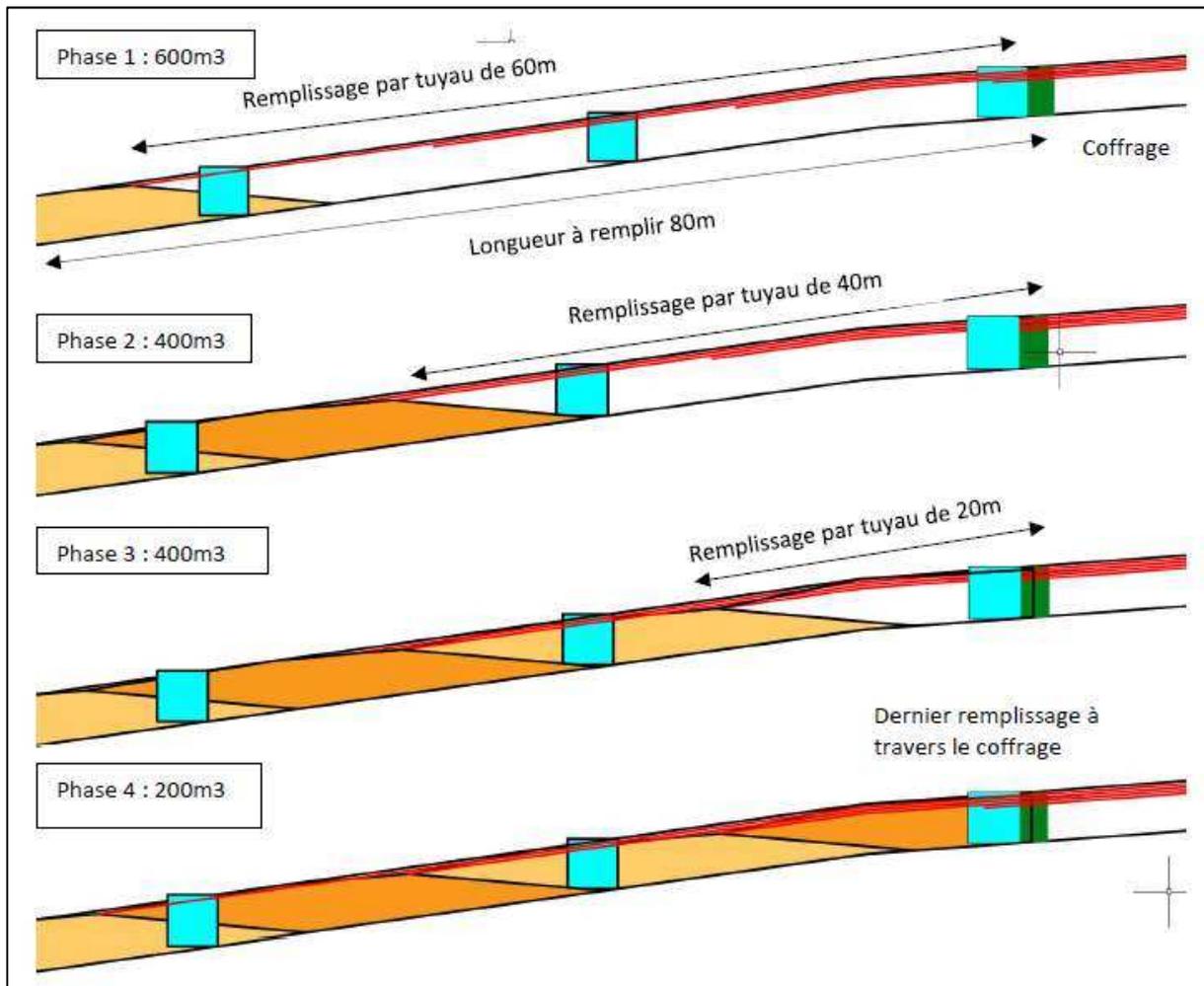


Figure 15 : Schéma du principe de remplissage d'une galerie double sur 80m

3.3.2.11.1.2. Cas particulier de remplissage bas vers haut

Pour les cas particuliers où le phasage de remplissage et la géométrie des galeries qui se superposent font que l'on doit remplir une galerie du bas vers le haut, une variante de la méthode proposée précédemment sera mise en place :

- Mise en place de 2 tuyaux de pompage en toit jusqu'au point haut + 1 tuyau évent ;
- Mise en place de cloisons intermédiaires dimensionnées pour reprendre la pression hydrostatique du coulis ;
- Pomper doucement pour remplir – contrôler la fin du remplissage quand le mortier sort par l'évent ;
- En cas de blocage utiliser le 2^{ème} tuyau.

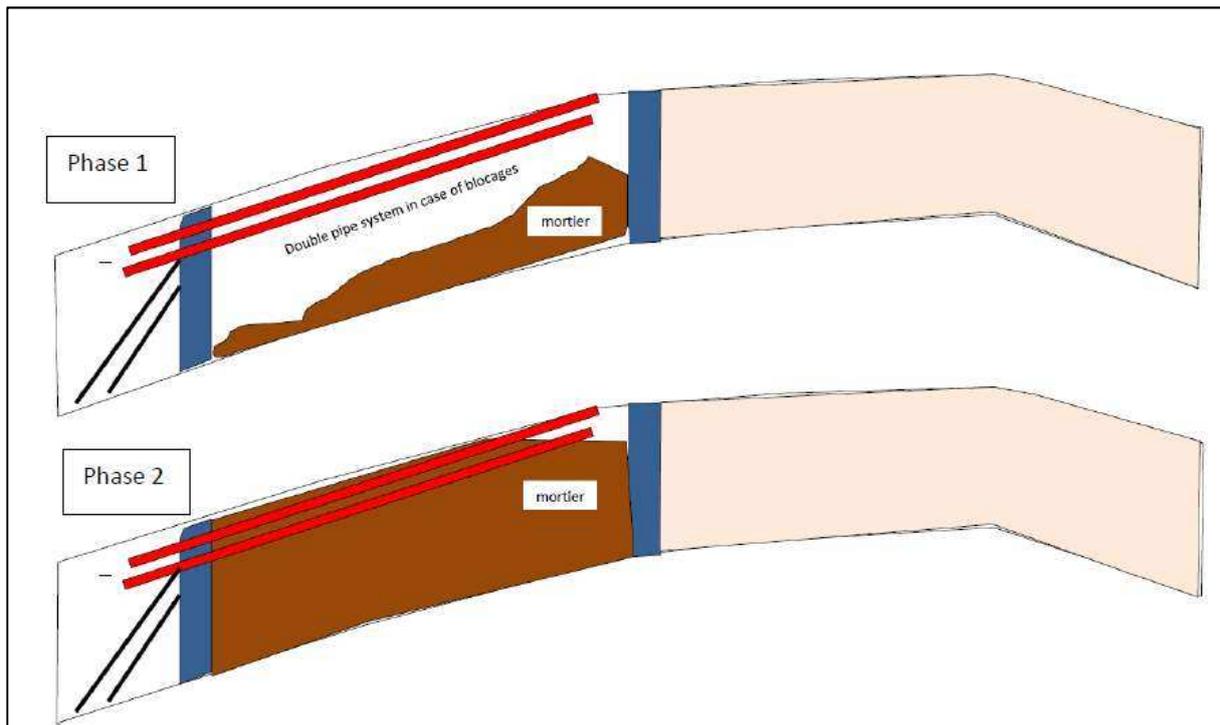


Figure 16 : Schéma de principe du remplissage d'une galerie – cas particulier bas vers le haut

3.3.3. Identification des flux et cadences

L'objectif de ce chapitre est de lister les différents flux de matériaux, de personnels, d'équipements, de matériels et de déchets en fonction des activités.

3.3.3.1. Flux de matériaux

Les matériaux qui forment un flux dans le processus de fermeture sont :

- Havrit (surexcavation des galeries ou excavation du pilier central dans le cadre d'un ouvrage, et serrements) ;
- Béton projeté pour la réalisation de la première partie du barrage ;
- Béton coulé autoplaçant pour la seconde partie des barrages ;
- Béton de remblayage des blocs et des galeries.

Les paragraphes suivants détaillent ces flux (hormis le béton de remblayage qui fait l'objet du § 3.2).

3.3.3.1.1. Flux de havrit

Pour le transport des déblais d'excavation et le déplacement du havrit nécessaire aux serrements de sels, des « charge & roule » seront utilisés.

3.3.3.1.1.1. Déblais

Lors de la surexcavation de havrit, ce matériau est repris par un chargeur et est déposé dans une zone tampon située à moins de 150m [1].

3.3.3.1.1.2. Serrements

Le matériau de serrement est composé de havrit soit directement issu du surcreusement de l'emplacement du barrage, soit à reprendre d'un stock qui aura été constitué à proximité (à moins de 150 m).

Pour rappel, dans la mine, des zones de stockage de sel sont déjà présentes. Elles sont rappelées en bleu sur le plan ci-dessous.



Figure 17 : Plan masse du fond

3.3.3.1.2. Flux et cadence de béton

Selon le principe défini dans la proposition de Bouygues [24], l'approvisionnement des bétons projeté (BP) et autoplaçant (BAP) ainsi que du béton de remblayage se fera par le puits Else.

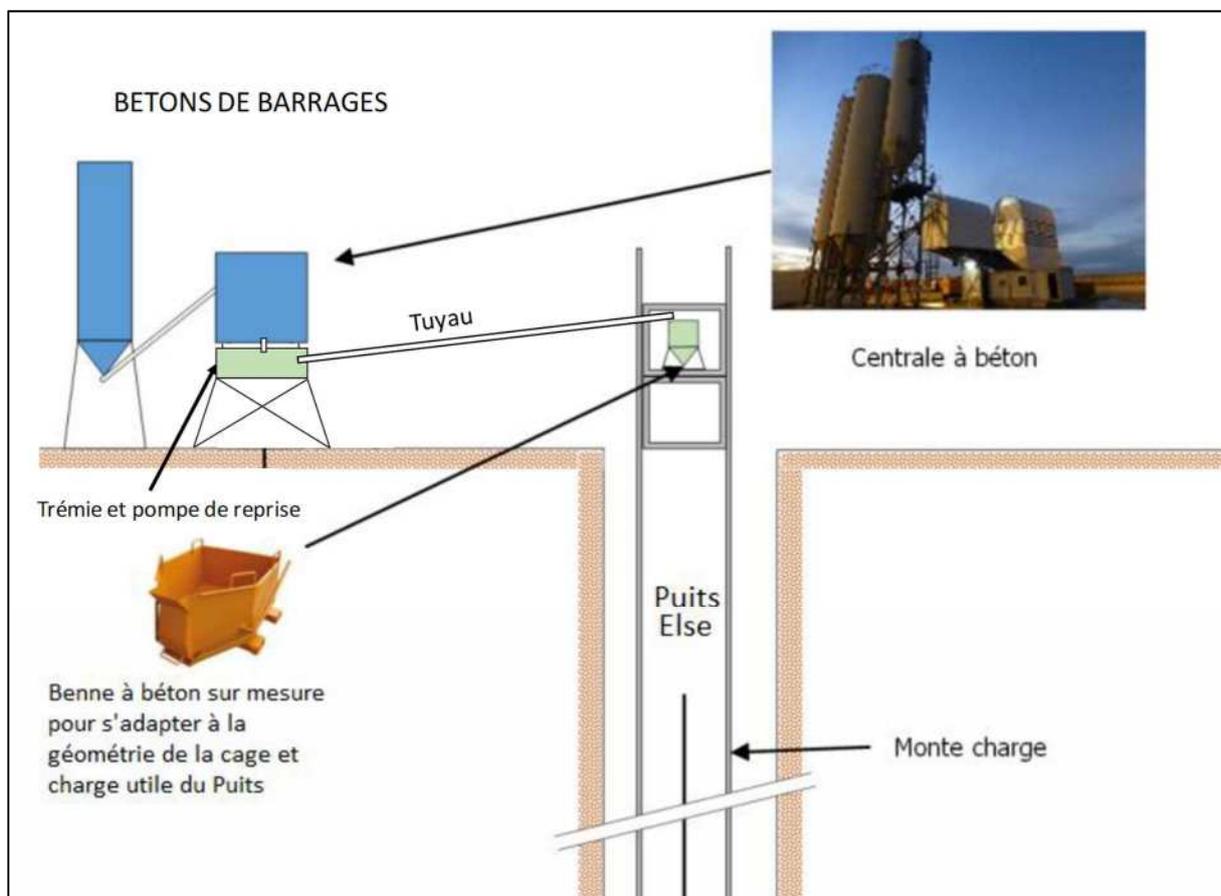
Quels que soient les types de béton, ils seront gâchés dans une centrale en surface (à la saumure pour le BP et le BAP, à l'eau douce pour les matériaux de remblayage).

Les bétons sont repris en sortie de centrale par pompage pour être déversés :

- Soit dans une benne à béton disposée dans les cages du puits Else (enlevée que pour l'entretien ou en cas d'urgence), pour les bétons des barrages ;
- Soit dans une conduite en puits pour les bétons de remblayage.

L'aménagement de la base du puits Else permettra la mise en place (cf. figures suivantes) :

- Des installations de bétonnage pour les barrages : benne SECATOL collectant les bétons à travers un forage permettant la vidange des bennes transitant dans les cages du puits Else ;
- Des Installations de bétonnage pour les opérations de remblayage : benne SECATOL collectant les bétons provenant de la conduite installée dans le puits.



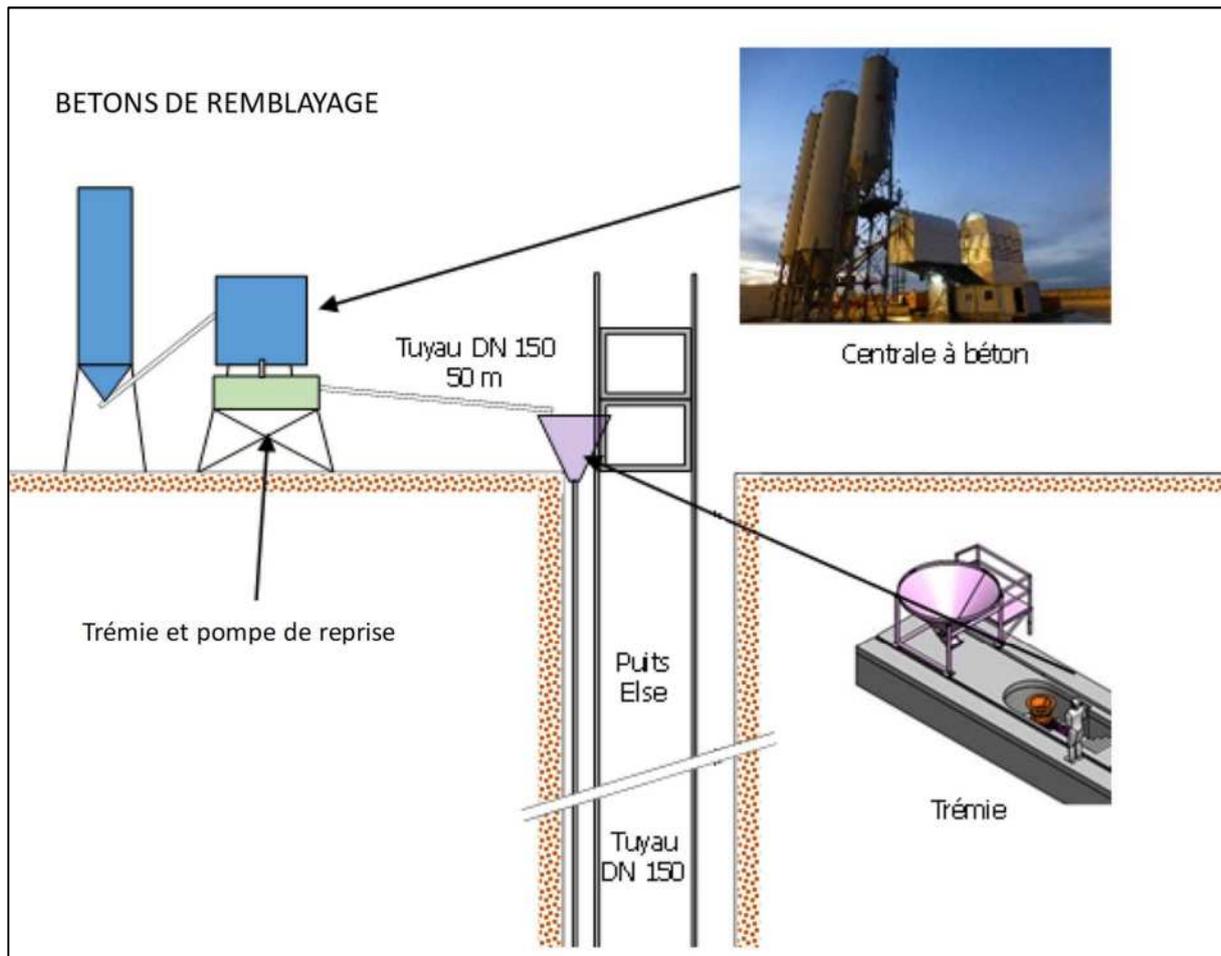


Figure 18 : Principes de transfert et d'approvisionnement des bétons en fond de puits

Les différents bétons sont réceptionnés dans une trémie agitatrice disposée dans une galerie spécialement réalisée à cet effet, qui dispose d'un système de commande de la distribution. Elle est située 23 m sous la recette fond du puits Else.

Les bétons de barrage y sont déversés par l'intermédiaire d'un forage en fond de puits dans lequel se vidangent les bennes à béton issues de la surface, disposées dans les cages du puits. Le béton de remblayage y est directement déversé via la conduite installée dans le puits.

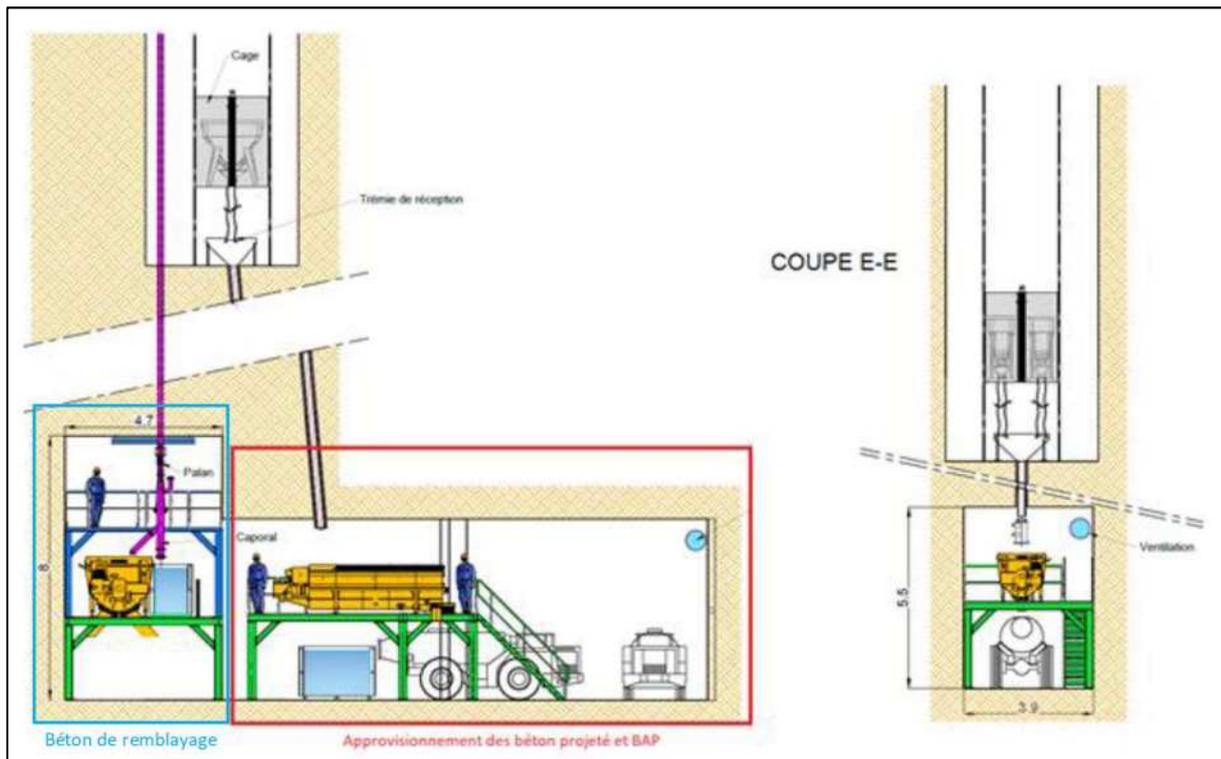


Figure 19 : Principe de la zone de collecte des bétons sous le puits Else, de vidange des bennes en fond de puits et transfert du béton

Les bétons de barrages sont ensuite transportés au fond jusqu'au chantier par des camions toupies, afin d'alimenter la pompe à béton et le robot de projection situés au pied du barrage en cours de réalisation, et le béton de remblayage par des conduites.

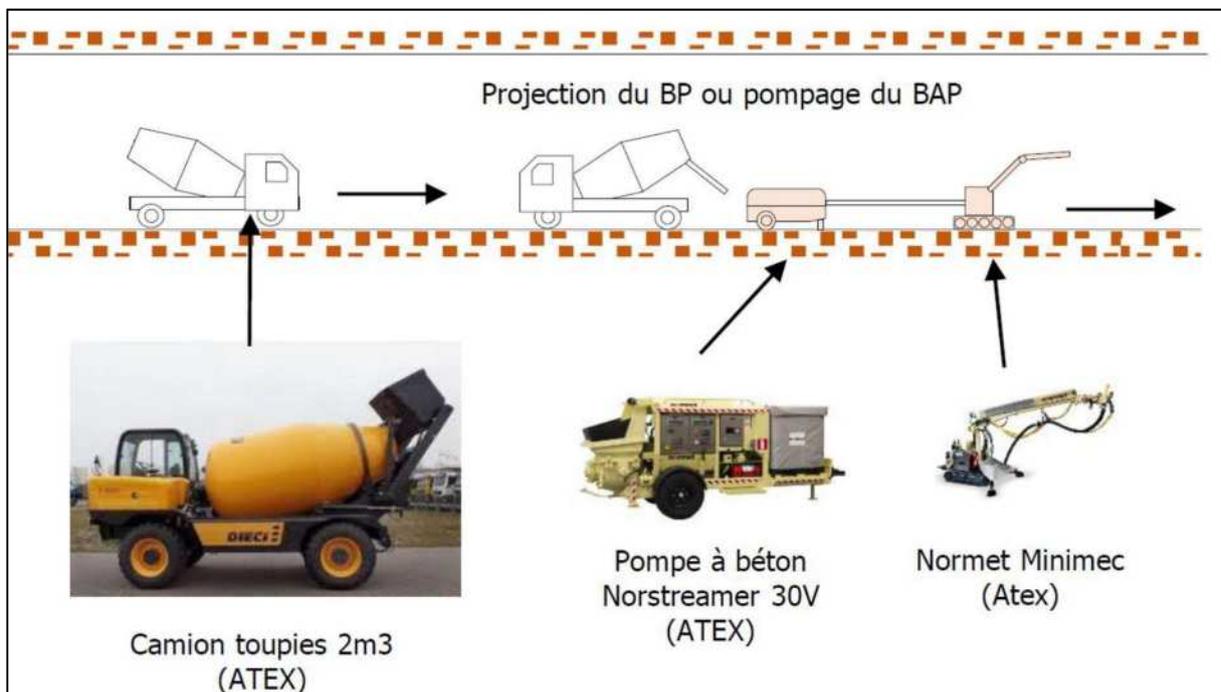


Figure 20 : Approvisionnement jusqu'au point de réalisation des barrages

Le schéma d'**approvisionnement en béton des barrages** a été établi à partir des hypothèses suivantes :

- Vitesse de transfert de la cage de 2,2 m/s et charge utile de 4 tonnes/cage ;
- Cages mises à disposition en 2 postes pendant les phases de béton projeté avec minimum 1,5 heure d'arrêt (ou 2 fois 45 min) pour les opérations d'entretien du puits par le Maître d'ouvrage ;
- Cages mises à disposition en 3 postes pendant les phases de béton autoplaçant avec minimum 1,5 heure d'arrêt (ou 2 fois 45 min) pour les opérations d'entretien du puits par le Maître d'ouvrage.

Pour la réalisation de la première partie du barrage, la cadence générale de cette activité est imposée par l'attente de prise du béton projeté entre 2 couches (estimée à 3 h, suite à la réalisation du pilote). Ce cycle se base sur les hypothèses suivantes :

- Cadence béton projeté : 10 m³/h ;
- Epaisseur couche : 15 cm ;
- Temps de mise en place 1 couche : 30 min ;
- Temps d'attente entre couches : 3 h ;
- Nombre de couches par jour : 4.6 couches soit 2.3 par poste, soit environ 60cm par jour ;
- Travaux en 2 postes par jour avec par conséquent le poste de nuit en séchage complémentaire.

Pour la réalisation de la seconde partie du barrage en béton coulé autoplaçant, les cadences retenues sont de 10 m³/h et tiennent compte des cadences imposées par la descente et la remontée des cages d'ascenseurs.

Pour définir la **cadence d'approvisionnement en béton de remblayage**, des estimations à partir des volumes comblés et des plannings définis par Bouygues ont été établies. Les cadences moyennes de comblement sont les suivantes :

- Q1 : 3,34 mois/10 000 m³ ;
- Q médian : 2,75 mois/10 000 m³ ;
- Q2 : 2,49 mois/10 000 m³.

3.3.3.2. Flux de matériels

Pour rappel, il est stipulé dans le CCTP [1] que le Maître d'Ouvrage peut mettre à disposition certains engins et équipements miniers (chargeurs, boulonneuse, ventilateurs, gaines et accessoires).

3.3.3.2.1. En surface

Les matériels nécessaires au chantier sont pris en charge à partir de la zone d'entreposage [1]. Selon leur nature, ils sont acheminés au point d'utilisation en surface ou vers le puit Joseph pour une utilisation en fond.

3.3.3.2.2. En fond

Le transport du matériel entre la surface et le fond est organisé par les puits. Les colis destinés au fond doivent être conditionnés en colis transportables dans le puits Joseph et dans les galeries du fond. Le matériel est ensuite acheminé au chantier où il est assemblé et utilisé [1].

Une fois l'utilisation du matériel terminée, celui-ci est démonté, conditionné en colis transportables et évacué.

Parmi le matériel, on note l'ensemble des engins de chantier qui seront utilisés au fond :

- Machine à attaque ponctuelle ;
- Chargeur transporteur ;
- Foreuse à boulons ;
- Engin de transport du personnel ;
- Nacelle ;
- Chariot de manutention ;
- Compacteur ;
- Camion toupie ;
- Station électrique ;
- Pompe d'injection du béton ;
- Robot de projection du béton.

3.3.3.3. Flux et cadences du personnel de chantier

Les compagnons se rendront chaque matin à la base vie générale pour rejoindre ensuite leurs zones de travaux respectives après avoir revêtu les tenues et EPI réglementaires. Afin de permettre au personnel d'accéder aux différentes zones de travaux, un balisage des circulations en surface et au fond sera mis en place.

Un engin de transport de personnel permettant de limiter la circulation du personnel dans les galeries et d'alimenter plus rapidement les postes de travail à partir de la recette de fond sera disponible.

Dans le cas le plus critique de la réalisation simultanée de deux barrages, deux équipes seront présentes au fond pour travailler sur les deux fronts. Hors phase de bétonnage, les travaux seront réalisés sur deux postes. Pendant les phases de bétonnage, les équipes seront réparties afin de permettre la mobilisation d'une équipe spécifiquement dédiée au bétonnage mobilisée en trois postes tout en poursuivant les activités sur les opérations liées au surcreusement ou au coffrage.

Pour la détermination des cadences d'avancement, les hypothèses prises en compte sont les suivantes :

- 7,5 h utiles par poste de travail ;
- La relève se fait au front et non en surface ;
- L'ascenseur est disponible ½h avant la prise de poste pour la descente et ½h après pour la remontée ;
- Horaires pour 2 postes/Jour :
 - 6h – 14h ;
 - 13h – 21h ;
- Horaires pour 3 postes/jour :
 - 6h – 14h ;
 - 13h – 21h ;
 - 20h – 7h (seulement les lundis, mardis et mercredis soir lors des phases de bétonnage).

3.3.3.4. Flux de déchets de chantier

Les déchets produits au cours des opérations de confinement sont :

- Déchets DnD (DIB mélange issu de la désinstallation des équipements) ;
- Déchets inertes (issu de la déconstruction des éléments de génie civil interne).

Les installations de chantier comprendront les équipements nécessaires au tri des différents déchets en surface de type DIB, métaux et déchets dangereux, avec les moyens suivants :

- Conteneurs étanches à déchets dangereux : un conteneur « aérosols » et un conteneur « emballages souillés » (fût de 200L ou bac étanche muni d'un capot de 600 L) ;
- Poubelles à ordures ménagères munies d'un couvercle ;
- Benne(s) à déchets industriels banals de 8 à 10 m³ ;
- Benne à métaux de 8 à 10 m³ ;
- Benne bois de 8 à 10 m³ ;
- Signalétique de chaque contenant.

L'ensemble des déchets générés par l'activité au jour sera collecté et stocké dans les bennes prévues à cet effet, afin de permettre leur évacuation.

L'ensemble des déchets produits en fond sera conditionné avant d'être remonté par le puits Joseph. Les bennes seront positionnées au jour au niveau de la zone de stockage, à proximité du puits Else.

3.4. Programmation et planning prévisionnel

Le planning de réalisation du chantier a été défini par l'entreprise. Dans le cadre de la réponse au marché, 3 plannings ont été détaillés selon les 3 estimations de quantités d'où découlent des cadences minimales, maximales et médianes des tâches à réaliser.

Les trois plannings permettent de réaliser :

- Les 12 barrages ;
- Le remblaiement des blocs 15, 16 et 26 ;
- Le remblaiement des galeries d'accès Vam RAS2, Vam RTA2, Vam AQ1 et Vam AJ1.

Les plannings globaux varient de 3,7 ans pour le planning le plus court (quantités minimales) à 4,8 ans pour le plus long (quantités maximales).

Les activités suivantes sont identiques quel que soit le planning considéré :

- La période de préparation des études dure 135 jours, soit 0,6 an ;
- La période de mobilisation et installation dure 192 jours, soit 0,8 an ;
- La période de préparation des travaux dure 164 jours, soit 0,7 an.

Ces activités se déroulant en partie en simultané, la durée globale correspondant à l'ensemble de ces périodes est de 220 jours.

En fonction des quantités prises en compte, le planning de la phase travaux au fond varie de 2,6 ans pour le planning le plus court à 3,7 ans pour le plus long.

La durée médiane des travaux au fond est estimée à 3,2 ans. Afin de visualiser le phasage de remblaiement des différents ouvrages, la frise ci-après a été construite.

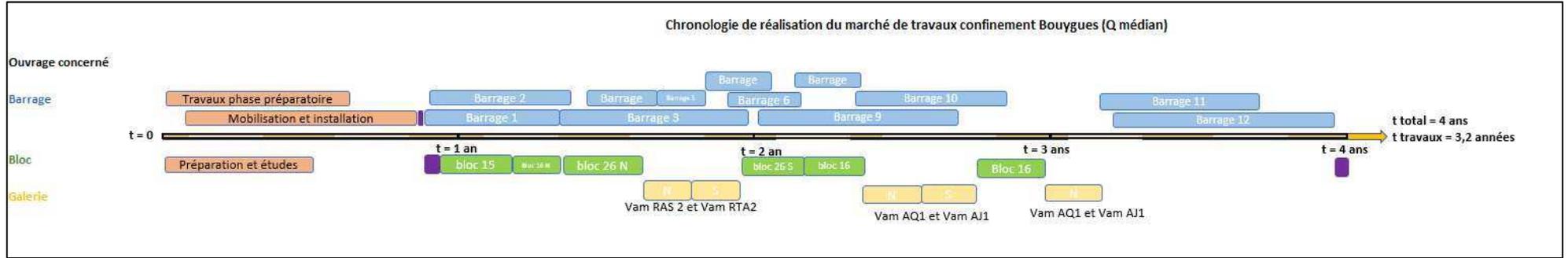


Figure 21 : Frise chronologique de la réalisation du marché des travaux

De plus, afin d'avoir une vision de l'évolution du remblaiement des blocs et de la réalisation des barrages au cours du temps, la représentation sur plan des différentes phases du confinement a été réalisée.

Elle est présentée dans la figure synthétique suivante et par ailleurs en format A4 en annexe I.

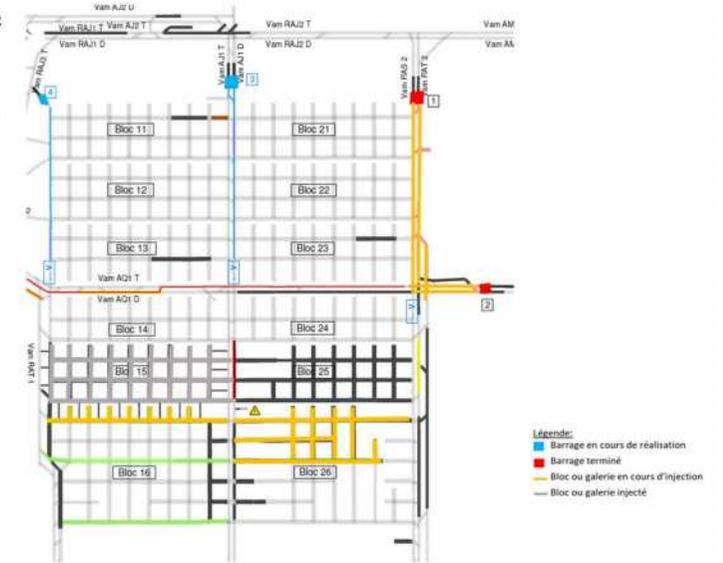
Scénario 1 – marché Travaux

Etat initial



Scénario 1 – marché Travaux

Phases 2 et 3:
Barrages 3 et 4 en cours
Injections bloc 26 partie nord
Galeries nord bloc 16 et centrale bloc 26 remblayées par du sel
Injections Galeries VAM RA32 et VAM RA27 partie nord



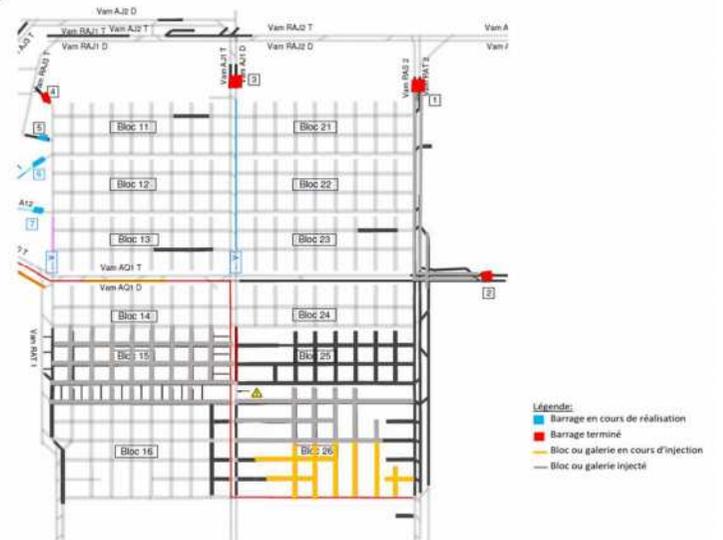
Scénario 1 – marché Travaux

Phases 0 et 1:
Barrages 1 et 2 en cours
Injections bloc 15



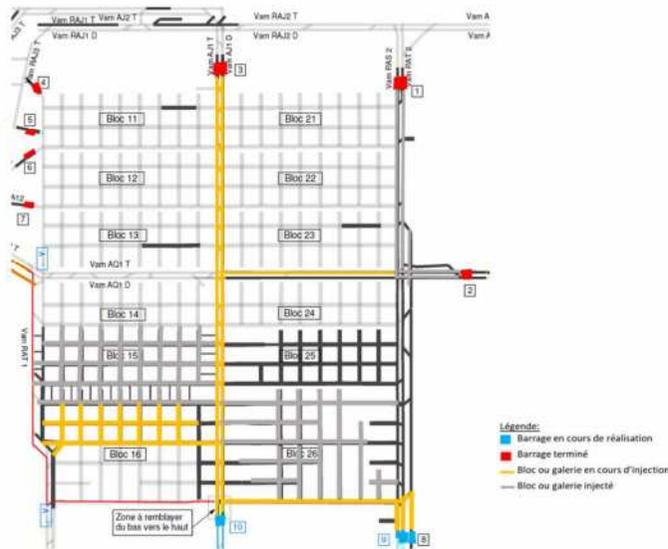
Scénario 1 – marché Travaux

Phases 4 et 5:
Barrages 5, 6 et 7 en cours
Injections bloc 26 partie sud



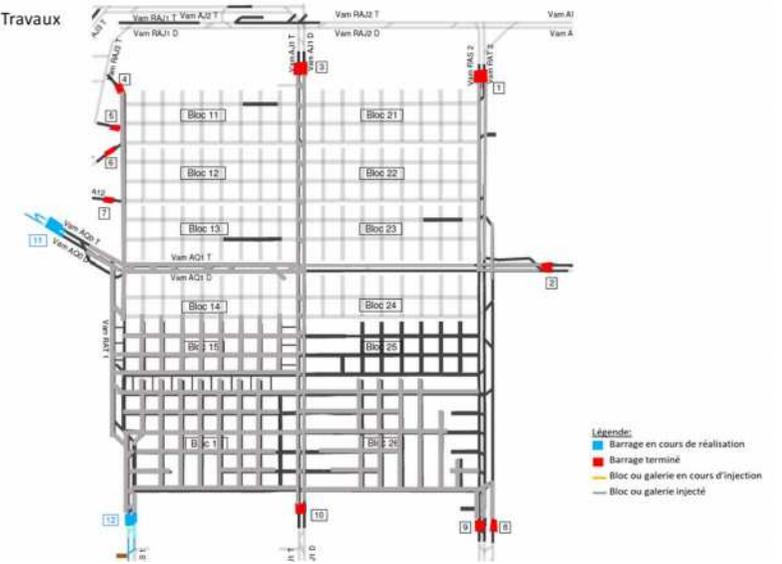
Scénario 1 – marché Travaux

Phases 6, 7 et 8 :
Barrages 8, 9 et 10 en cours
Galeries sud bloc 26, centre bloc 16 en VMM RAS2 - VAM RAJ 2 et VAM RAJ 2bis remblayées par le sel
Injection bloc 16 partie nord
Injection VMM RAJ 1 T, VMM A11 D et VMM AQ1 T



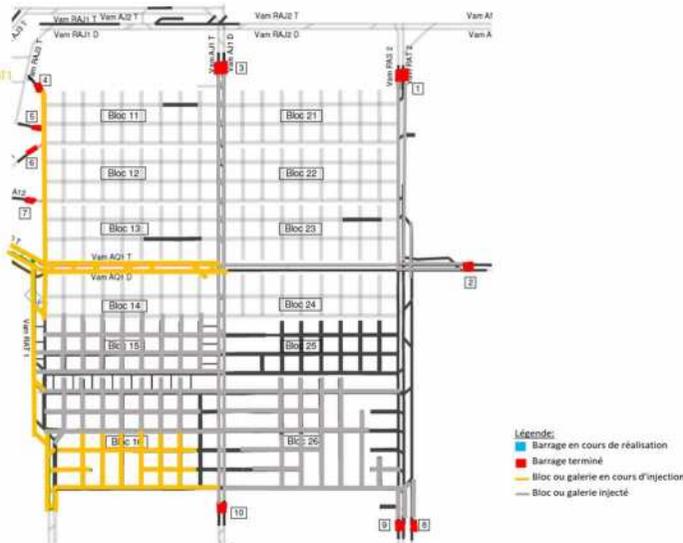
Scénario 1 – marché Travaux

Phase 11:
Barrages 11 et 12 en cours



Scénario 1 – marché Travaux

Phases 9 et 10 :
Injection bloc 16 partie sud
Injection Galeries VAM AQ1 T et D et VMM RAJ 1 partie nord
Galeries VMM RAJ 1 sud remblayées par le sel



4. Impacts des scénarios de déstockage sur le projet et les travaux de déconfinement

4.1. Scénario S2

4.1.1. Description du scénario de déstockage

Pour le déstockage, 3 ateliers seront disposés dans la mine.

- Le premier atelier sera placé dans la galerie Sud. Dans le cadre du scénario S2, cet atelier sera en charge du déstockage des blocs 11, 12 et 13 ;
- Le second atelier sera placé dans la galerie Centrale. Pour ce scénario, cet atelier sera en charge du déstockage des blocs 14, 23, 25 et 26 ;
- Le dernier atelier sera placé dans la galerie Nord. Pour ce scénario, cet atelier sera en charge du déstockage des blocs 21, 22 et 24.

Le plan ci-dessous présente les blocs déstockés par chaque atelier.



Figure 22 : Scénario S2 – Localisation des blocs déstockés par chaque atelier

Le détail du déstockage des colis est présenté dans le rapport du volet 4 de l'étude ([34]).

Le planning réalisé pour ce déstockage montre que le dernier atelier à rester en fond est l'atelier Nord. Ce dernier termine de déstocker pendant environ une année supplémentaire.

C'est sur cette base de planning que la réalisation de l'étude de confinement pour le scénario S2 a été faite.

4.1.2. Evaluation des impacts

4.1.2.1. Impact sur l'implantation des barrages

Dans l'objectif d'une recherche d'optimisation, nous avons examiné les éventuelles possibilités de déplacement et de réduction du nombre de barrages dans le cadre du scénario S2, en considérant 2 types de solutions concernant le comblement des blocs déstockés :

- Solution 1, avec un comblement de l'ensemble des blocs au coulis de béton aboutissant à une configuration équivalente au scénario S1, en matière de remplissage des vides, à la différence près que les volumes supplémentaires de déchets déstockés sont remplacés par du coulis de béton ;
- Solutions 2 et 2bis, avec un comblement partiel des blocs déstockés (limité aux blocs 14, 15, 16 et 24, 25, 26, + 13 et 23 pour la solution 2 bis) ainsi qu'un déplacement et une réduction du nombre de barrages.

Comme le montrent les analyses présentées ci-après dans les §4.1.2.1.1 et 4.1.2.1.2, il s'avère que :

- les solutions 2 et 2bis ne peuvent pas être retenues car elles ne sont pas suffisamment sécuritaires notamment vis-à-vis de la stabilité mécanique et de l'extension de l'EDZ ;
- dans la solution 1, il n'y a pas lieu d'envisager un déplacement des barrages prévus dans le scénario S1.

4.1.2.1.1. Solution 1 : Comblement de l'ensemble des blocs au coulis de béton

Dans le cadre du scénario S2, l'ensemble des blocs est déstocké. Par conséquent l'ensemble des galeries des blocs 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23 et 24 va être vidé.

Pour la solution 1, nous proposons de réaliser le comblement de l'ensemble des galeries et des blocs. Cette solution est sécuritaire. Elle permet d'assurer la stabilité des terrains en limitant à long terme la convergence des terrains et par voie de conséquence le déconfinement des toits des galeries et l'expansion de la fracturation de l'EDZ.

Cette solution est également sécuritaire vis-à-vis de la déstructuration du toit du bloc 15 qui a eu lieu suite à l'incendie.

Elle aboutit à une configuration équivalente au scénario S1, en termes de remplissage des vides, à la différence près que les volumes supplémentaires de déchets déstockés sont remplacés par du coulis de béton. En conséquence et compte tenu de l'absence de besoin de déplacement de barrages vis-à-vis des travaux liés aux opérations de déstockage, il n'y a pas lieu de modifier le nombre et l'emplacement des barrages prévus dans le scénario S1.

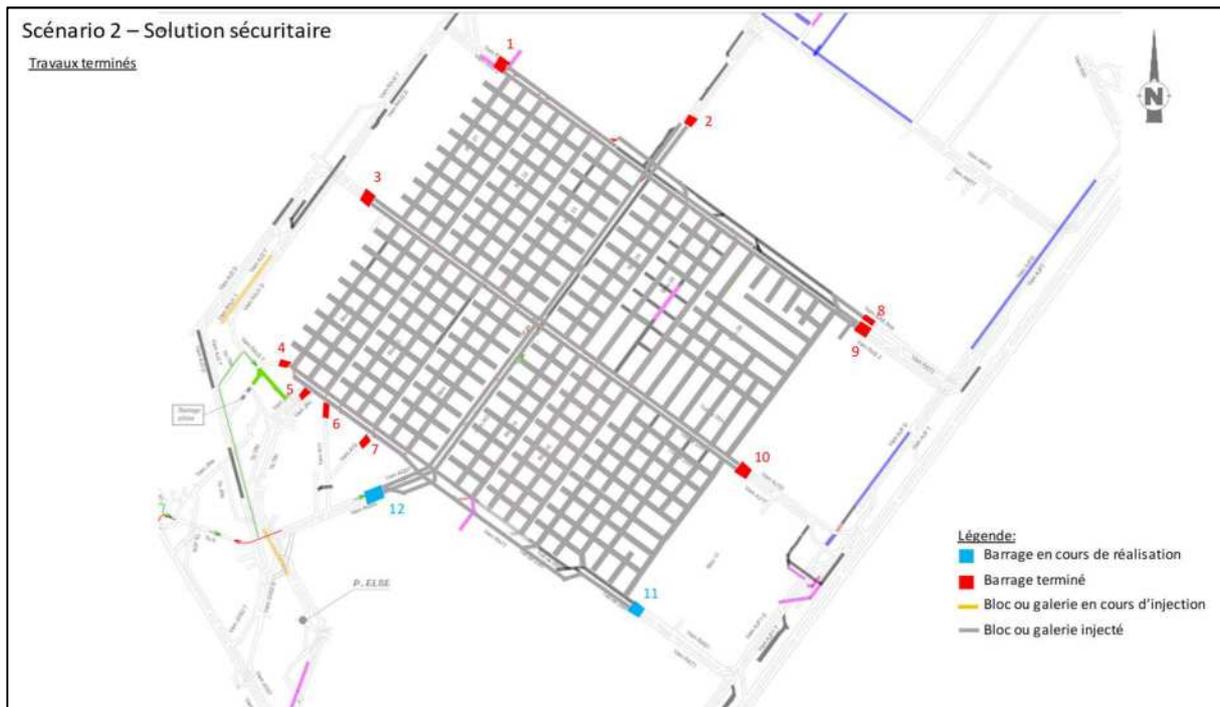


Figure 23 : Scénario S2 - Localisation des barrages dans le cas où l'ensemble des blocs est comblé au coulis (solution 1)

4.1.2.1.2. Solutions 2 et 2 bis (alternatives) : Comblement partiel des blocs au coulis de béton

Une seconde solution qui semble a priori pouvoir être envisagée est de ne pas comblent l'ensemble des blocs vidés lors du déstockage. Dans ce cas, les barrages peuvent être déplacés.

Plusieurs situations peuvent être considérées en fonction du positionnement des barrages.

La situation la plus optimisée (solution 2) consiste à remblayer uniquement les blocs 14, 15, 16 et 24, 25, 26. Les autres blocs ne sont pas remblayés. Dans ce contexte, le nombre de barrages peut être diminué à 9. Le plan ci-dessous présente cette situation.

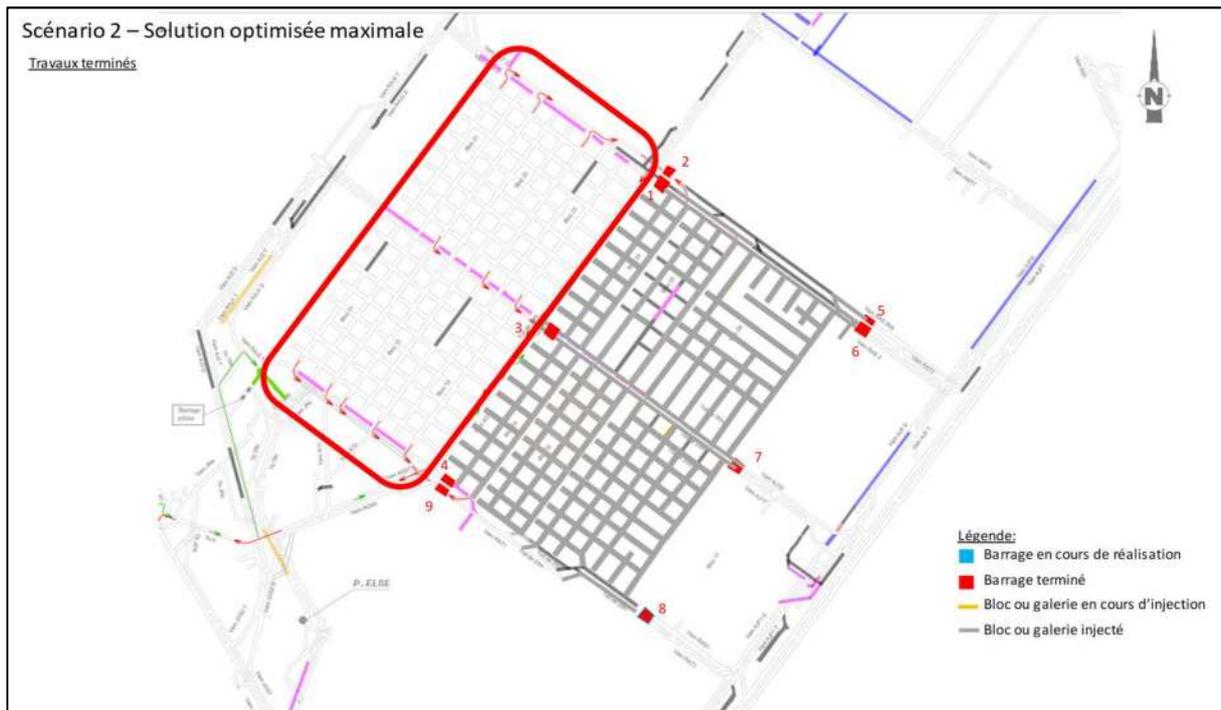


Figure 24 : Scénario S2 – Solution 2 optimisée et relocalisation des barrages

A titre d'exemple, il peut aussi être envisagé une solution comblement intermédiaire (solution 2 bis) pour laquelle les blocs 14, 15, 16, 24, 25, 26 **et 13, 23 sont remblayés**. Dans ce cas, il y a également 9 barrages avec une relocalisation des barrages 1, 3 et 4.

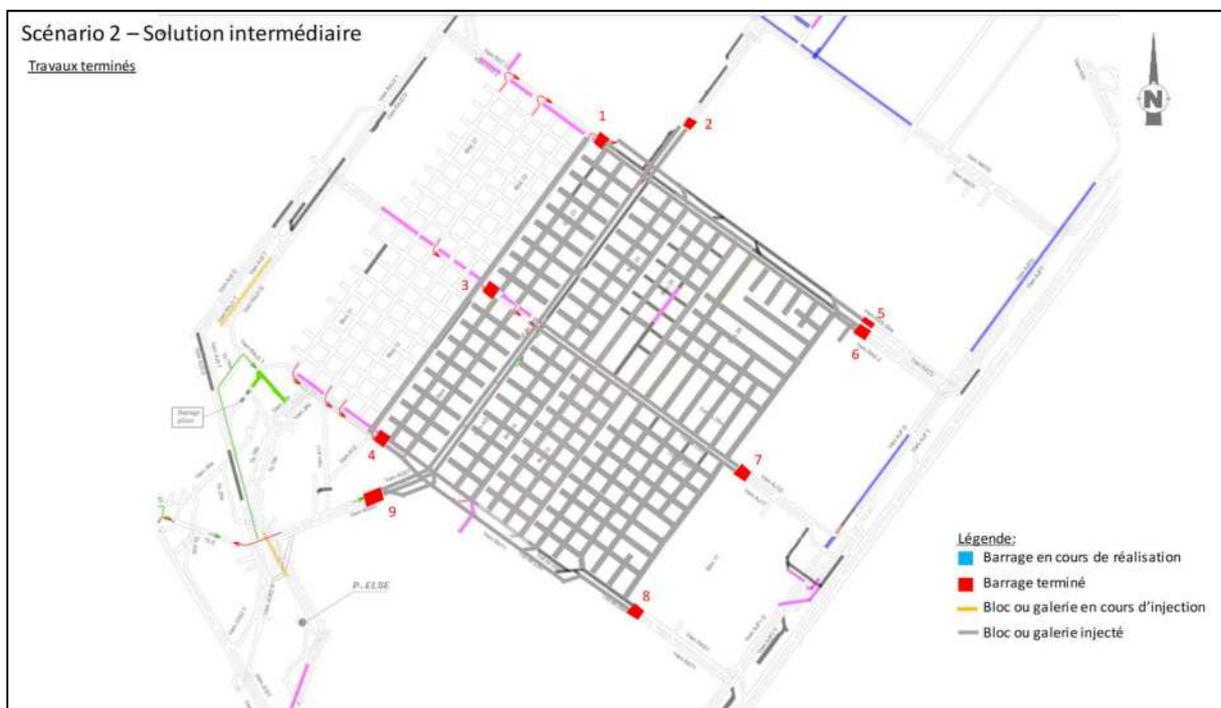


Figure 25 : Scénario S2 – Solution 2bis intermédiaire et relocalisation des barrages

L'inconvénient des solutions 2 et 2 bis est qu'elles ne sont pas sécuritaires. Les blocs non comblés à proximité des barrages vont converger et les terrains se déconfiner. Il apparaît que dans la partie centrale de la mine avec le maillage dense de galeries, l'EDZ est fortement perturbée autour des

ouvrages et présente une fracturation importante. Dans ce cas, les caractéristiques de perméabilité des scellements ne seraient plus vérifiées puisque des drains pourraient se créer en périphérie du barrage en le court circuitant.

De plus, les études de l'Ineris [27] et [28] faites après l'incendie du blocs 15 ont mis en évidence que le toit de la mine était déstructuré. Les conclusions de cette étude ont montré qu'en conséquence de cet incendie et de cet impact mécanique sur le toit, il était nécessaire de combler l'ensemble des blocs vides jusqu'au bloc 26 (le plus éloigné du bloc 15).

Par extension, dans ce scénario S2 où l'ensemble des blocs est déstocké, il faudrait donc combler tous les blocs dont la distance avec le bloc 15 est supérieure ou égale à la distance bloc 15 – bloc 26.

Ce périmètre est représenté ci-dessous :

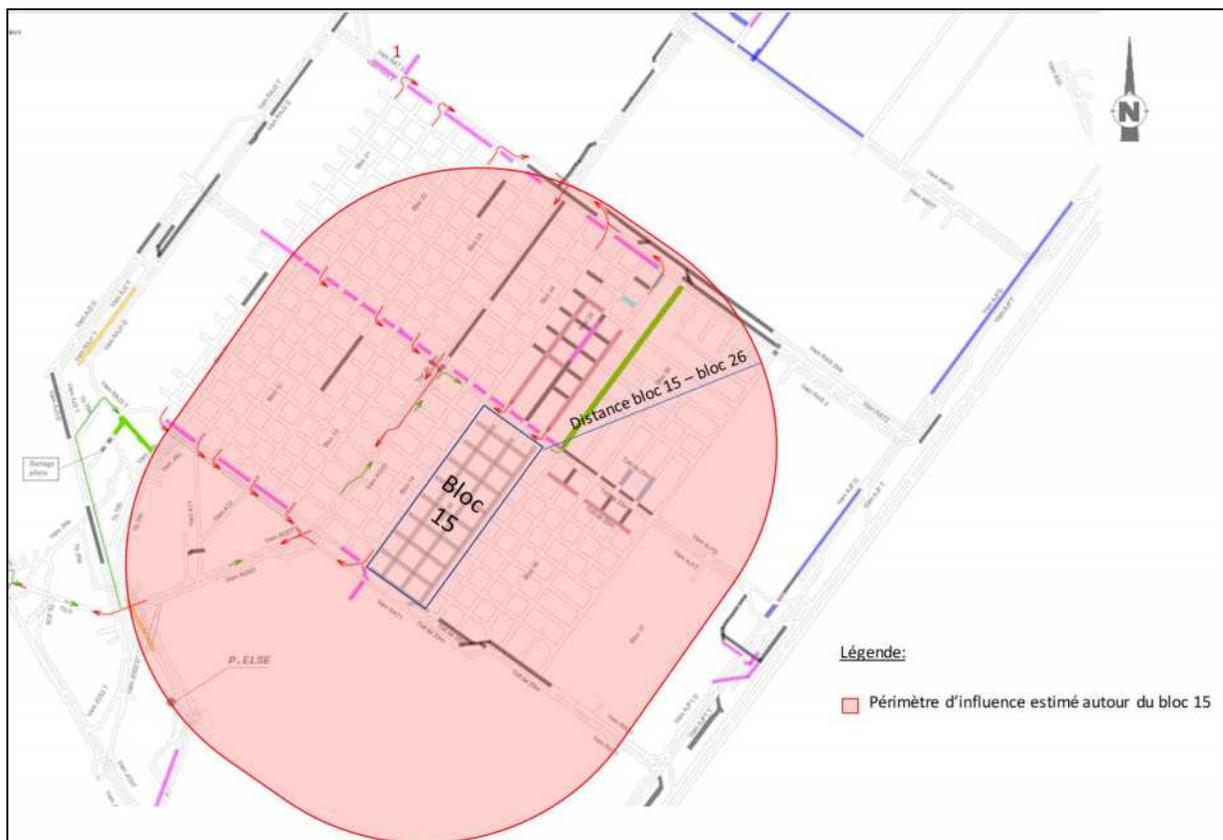


Figure 26 : Périmètre d'impact de l'incendie du bloc 15

On constate que ce périmètre impacte les blocs 11 et 21. Il est donc nécessaire de combler ces blocs pour assurer la stabilité de l'ouvrage.

Enfin, si l'on considère l'étude ITASCA menée sur les contraintes et les déplacements des galeries, il apparaît que la localisation du barrage central envisagée dans le cas du scénario le plus optimisé n'est pas la plus opportune. En effet, ce barrage se retrouverait dans une zone à forte contrainte ce qui n'est pas favorable à la pérennité de l'ouvrage et à la stabilité de la mine.

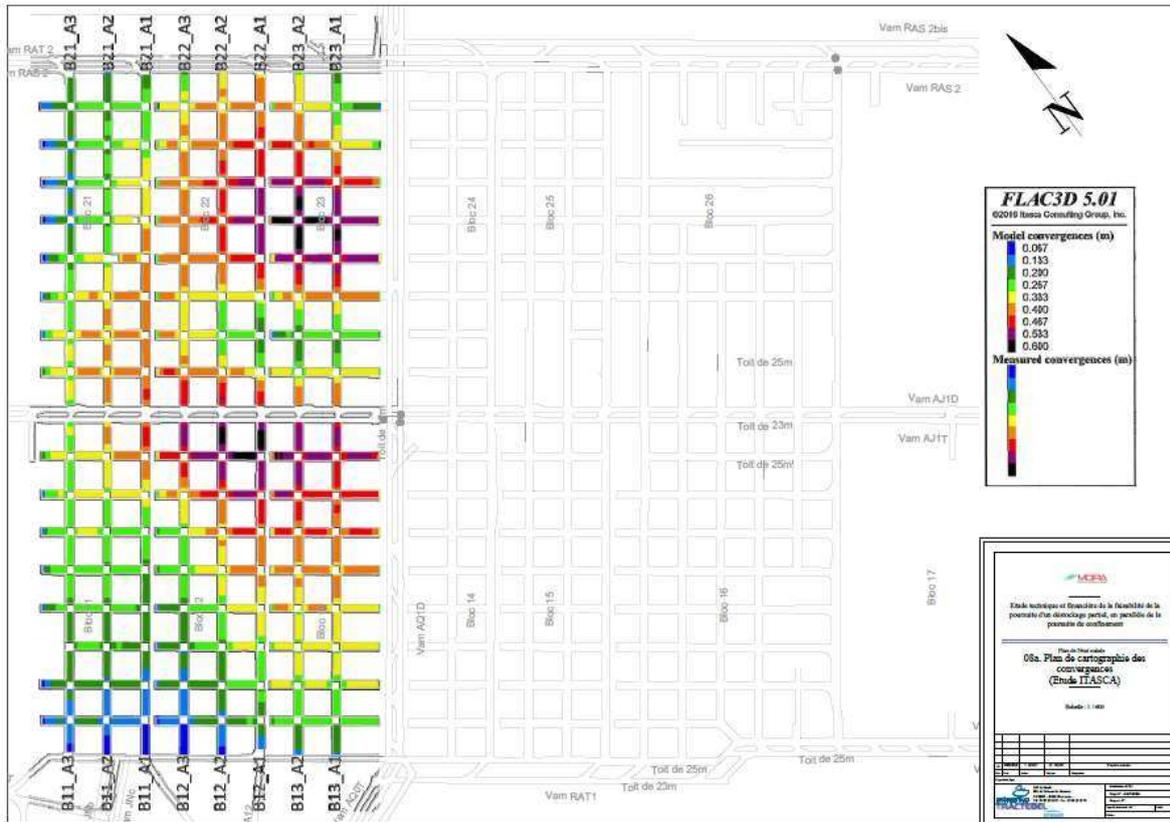


Figure 27 : Plan de répartition de la convergence des galeries

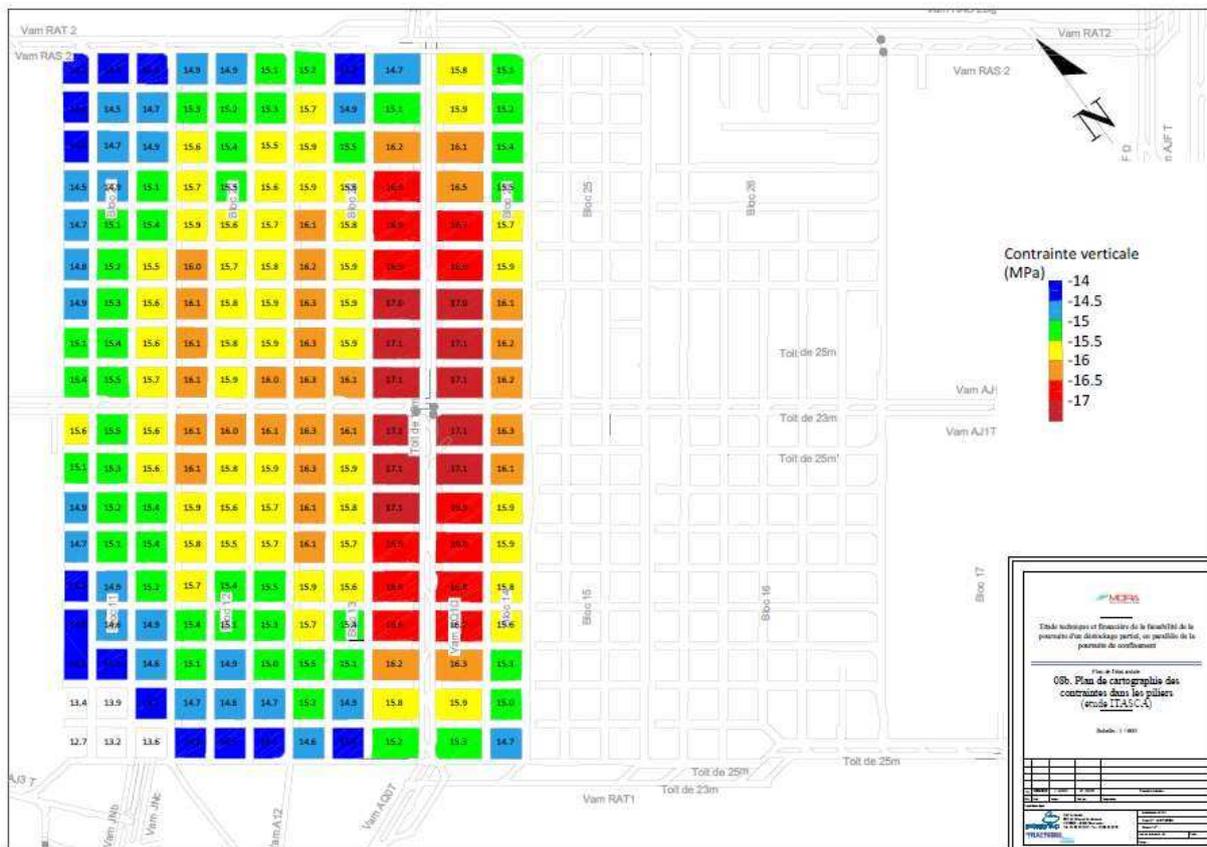


Figure 28 : Plan de répartition des contraintes dans les piliers des galeries

Enfin pour la solution optimisée (solution 2), le barrage 3 (cf. Figure 24) se trouve à l'interface des deux couches géologiques (zone de crossing) ce qui remettrait en cause le fonctionnement du barrage.

Ainsi, bien que les solutions 2 et 2bis puissent à première vue paraître intéressantes pour éviter le comblement de plusieurs blocs et diminuer le nombre de barrages à réaliser, elles ne semblent pas sécuritaires du fait :

- Des contraintes mécaniques ;
- Des déplacements forts qui pourront avoir lieu dans les blocs non remblayés derrière les potentiels barrages ;
- De l'endommagement important de l'EDZ ;
- De l'impact de l'incendie du bloc 15 ;
- De la géologie du site avec la succession de couches.

En conséquence, nous ne recommandons pas le déplacement des barrages au centre du stockage. C'est pourquoi ces solutions n'ont pas été retenues.

4.1.2.2. Impact de l'accessibilité aux sites de barrages sur les circulations et le phasage

4.1.2.2.1.1. Organisation des flux

Dans le cadre du comblement de l'ensemble des blocs, les flux seront sensiblement les mêmes que ceux prévus dans le marché de travaux confié à Bouygues. Le coulis de béton sera acheminé par le puits Else, puis par conduite ou toupie selon l'ouvrage à réaliser.

Pour le comblement des blocs 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24 et 25 non prévus au marché, les longueurs des conduites seront allongées.

Les transferts des équipes de travaux se réaliseront selon les mêmes principes que ce qui est prévu au marché travaux précité.

4.1.2.2.1.2. Phasage

Afin de commencer par les blocs les plus bas, le phasage de réalisation du remblaiement et des barrages a été défini de la manière suivante :

- Comblement du bloc 21 ;
- Comblement du bloc 22 ;
- Comblement du bloc 23 ;
- Comblement du bloc 24 ;
- Comblement du bloc 25 ;
- Comblement du bloc 11 ;
- Comblement du bloc 12 ;
- Comblement du bloc 13 ;
- Comblement du bloc 14.

Suite à ces complements de blocs, le phasage de confinement continuera selon le phasage défini par Bouygues dans le marché. La frise chronologique du confinement des blocs et des barrages est présentée ci-dessous.

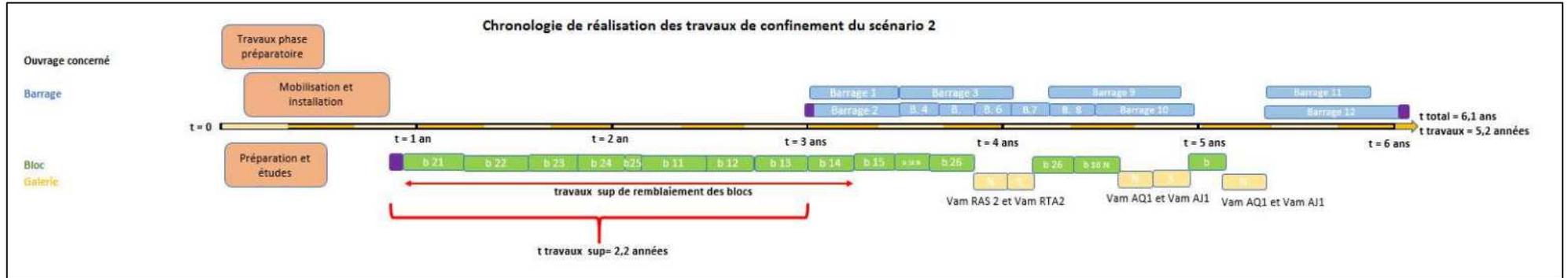


Figure 29 : Scénario S2 - Frise chronologique du comblement

4.1.2.3. Impact sur les quantités de travaux

Dans le cadre du scénario S2, l'ensemble des blocs 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24 et 25 devront être comblés.

La réalisation de ce remblaiement des blocs augmente significativement les volumes de coulis de béton prévus.

Afin de calculer les volumes de chaque bloc, nous avons tout d'abord effectué une estimation des volumes en fonction des longueurs des galeries.

4.1.2.3.1. Estimation des volumes en fonction du linéaire de galeries

Selon le document [26], l'hypothèse a été faite que le bloc 21 avait un volume maximal de 17 000 m³ et grâce au plan fourni, il a été établi que la longueur de l'ensemble des galeries du bloc mesurait 1 020 m.

A partir de ces données et des règles de proportionnalité, le tableau de calcul ci-dessous a été construit.

Tableau 4 : Scénario S2 - Détail de l'estimation des volumes selon le linéaire de galeries à combler

Bloc	Nombre d'allées	Nombre de tronçons	Longueur tronçon (m)	Nombre de recoupes (m)	Longueur des recoupes (m)	Longueur de galeries effondrées (m)	Longueur de galeries creusées (m)	Longueur de galeries remblayées (m)	Estimation de la longueur de galeries dans le bloc (m)	VOL MIN (m ³)	VOL MEDIAN (m ³)	VOL MAX (m ³)	Estimation de volume donnée dans le CCTP (m ³)	Estimation du volume à partir d'une section de 15 m ² (m ³)
11	3	9	20	23	20	0	0	40	960	4706	10353	16000		14400
12	3	9	20	24	20	0	0	60	960	4706	10353	17000		14400
13	2	9	20	24	20	0	0	0	840	4118	9059	14000		12600
14	2	9	20	16	20	0	0	0	680	3333	7333	11333		10200
15	3	9	20	24	20	0	0	0	1020	9000	12000	15000	12500	15300
16	6	9	20	44	20	60	0	60	1840	15195	25015	34835	27154	27600
21	3	9	20	24	20	0	0	0	1020	5000	11000	17000		15300
22	3	9	20	24	20	0	0	0	1020	5000	11000	17000		15300
23	2	9	20	24	20	0	0	40	800	3922	8627	13333		12000
24	2	9	20	16	20	0	0	0	680	3333	7333	11333		10200
25	3	9	20	19	20	0	0	400	520	2549	5608	8667	(présence colis) 800	7800
26	6	9	20	30	20	240	70	0	1510	12192	19886	27580	22983	22650
Total blocs 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24 et 25										36667	80667	125667		112200
Total des blocs										73054	137568	203082		177750

A titre comparatif, nous avons également calculé les volumes à partir des linéaires des blocs et d'une section estimée de 15 m².

On a ainsi pu constater que les volumes calculés à partir des 15 m² de section étaient du même ordre de grandeur que les valeurs données dans le CCTP pour les blocs 15, 16 et 26.

4.1.2.3.2. Estimation des volumes en fonction de la quantité de colis

Afin de simplifier les calculs des volumes à combler pour les scénarios S3 et S4 avec déstockage partiel, nous avons souhaité faire une deuxième approche sur la base du lien entre volume et colis.

Pour ce calcul, les hypothèses suivantes ont été utilisées :

- Le nombre de colis déstocké (Nc) par bloc est connu ;
- Le type de conditionnement et le volume associé sont connus.

Pour le scénario S2, le tableau ci-dessous présente les quantités de colis selon leur conditionnement.

Tableau 5 : Scénario S2 - Détail des quantités de colis selon leur conditionnement.

Type de conditionnement	Nb Colis hors B15	% Colis hors B15
Autre	1 094	1,72%
Big Bag	54 434	85,80%
C3F	5	0,01%
Container	177	0,28%
Palette 2 Fûts	94	0,15%
Palette 3 Fûts	2	0,00%
Palette 4 Fûts	7 615	12,00%
Palettes	8	0,01%
TOTAL	63 429	100%

Ce tableau présentant également le ratio de chaque type de colis, on retiendra pour les calculs qu'il y a 85% de déchets en Big Bag et 15% de déchets en fûts.

Les volumes de ces différents contenants ont été détaillés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Scénario S2 - Détail des volumes des différents contenants

dimensions de Big Bag	volume en m ³
87*87*120 cm	0,91
111*111*130 cm	1,60
90*90*130 cm	1,05
dimensions palettes chargées	volume en m ³
120*120*120 cm	1,73
dimension fûts	volume en m ³
220 l	0,22
4 fûts sur palette	1,44

On en déduit alors le volume moyen des Big Bag et des palettes 4 fûts :

Tableau 7 : Scénario S2 - Synthèse des hypothèses prises en compte dans le calcul d'un colis moyen

synthèse sur les types et volumes de colis		
type	% en nombre	volume en m ³
Big Bag	85	1,5
Palette 4 fûts	15	1,45

Afin d'avoir un seul volume de colis, on estime le volume moyen ($V_{c_{moy}}$) de la façon suivante :

$$V_{c_{moy}} = 0,85 \times 1,5 + 0,15 \times 1,45 \text{ en m}^3$$

Ce volume $V_{c_{moy}}$ incluant uniquement le colis, nous avons fait le choix, pour estimer le volume de remblai, d'ajouter 15 % de vide annulaire autour des colis.

Le volume de remblai se définit alors avec la formule suivante :

$$V_r = V_{c_{moy}} \times N_c \times 1,15$$

4.1.2.3.3. Analyse des différentes méthodes de calcul

Le tableau suivant présente les résultats des calculs pour les différentes méthodes :

Tableau 8 : Scénario S2 - Résultats des calculs de volume selon les différentes méthodes

Bloc	Nbre de colis à déstocker	Volume de colis sortis à remblayer yc 15% de vide annulaire (en m ³)	Estimation du volume à partir d'une section de 15 m ² (en m ³)	VOL MEDIAN (m ³)	VOL MAX (m ³)
11	8858	15204	14400	10353	16000
12	7238	12423	14400	10353	17000
13	7422	12739	12600	9059	14000
14	6215	10667	10200	7333	11333
21	8676	14891	15300	11000	17000
22	9324	16004	15300	11000	17000
23	7184	12331	12000	8627	13333
24	6550	11242	10200	7333	11333
25	1955	3355	7800	5608	8667
Total	63423	108858	112200	80667	125667

On constate que la méthode de calcul basée sur le volume de colis sortis à remblayer (yc 15 % de vide annulaire) donne un volume à remblayer du même ordre de grandeur que l'estimation du volume à partir du linéaire et de la section de 15 m² (environ 3 % de différence entre les 2 méthodes). Ces volumes correspondent à une valeur intermédiaire entre les volumes médians et maximums estimés. Par conséquent, on peut déduire que la méthode d'approche du volume de remblai par le nombre de colis est validée sur le scénario S2. Pour faciliter l'estimation de la quantité de remblai pour les

scénarios S3 et S4 où les volumes dépendent de la quantité de colis déstockés, cette méthode sera appliquée.

On retiendra que pour le scénario S2, le volume supplémentaire à combler dans les blocs déstockés est de 108 858 m³ d'après les calculs, soit environ 109 000 m³.

4.1.2.4. Impact sur le planning

Dans le cadre du scénario S2, la réalisation du remblaiement des blocs augmente significativement la durée de fermeture de la mine. En considérant une cadence moyenne de comblement de 2,75 mois pour 10 000 m³ (estimée sur la base des cadences du marché de Bouygues pour des quantités équivalentes – Q médian), les durées de comblement de chaque bloc ont pu être estimées. Le tableau ci-dessous présente une estimation des délais supplémentaires.

Tableau 9 : Scénario S2 - Durée de remblaiement des blocs

Bloc	Volume de colis sortis à remblayer yc 15% de vide annulaire (en m ³)	Durée de remblaiement calculée sur estimation colis (en jours) sur Vmin
21	14891	82
22	16004	88
24	11242	62
25	3355	18
14	10667	59
23	12331	68
13	12739	70
12	12423	68
11	15204	84
Total	108858	598,6 jours
Total	108858	29,9 mois

Ainsi le délai de comblement de l'ensemble des blocs supplémentaires au marché pour ce scénario est de 29,9 mois soit 2,5 années.

Une partie de ce comblement peut avoir lieu en temps masqué. Ceci est détaillé dans le paragraphe §4.1.3.4.

4.1.3. Modalités de réalisation des ouvrages de confinement

4.1.3.1. Méthodes et moyens

Les méthodes et moyens de réalisation des barrages et de comblement des blocs sont équivalents à ceux présentés précédemment au §3.3.2 et décrits dans le marché travaux précité [24].

Pour les nouveaux blocs à combler, on privilégiera dans la mesure du possible un comblement gravitaire en débutant par les blocs les plus bas. La méthode de réalisation de ce comblement est présentée au §3.3.2.10 et décrite dans le marché travaux précité [24].

4.1.3.2. Circulation des flux et phasage

Dans le cadre de ce scénario S2, le démarrage du marché de travaux de confinement débutera lorsqu'il ne restera plus qu'un seul atelier de déstockage. Ceci permet de limiter la coactivité en fond. Cette phase finale de déstockage qui durera une année permettra de réaliser l'ensemble des préparations, études, travaux de phase préparatoire et installation nécessaires aux travaux de confinement.

Dans ce cas, la réalisation du comblement des blocs débute à la fin du déstockage. Tel que défini dans le marché de travaux, le coulis est acheminé jusqu'aux blocs via une conduite béton dans le puits Else et en galeries.

En surface, afin d'éviter les croisements des flux des chantiers de déstockage et de confinement, l'implantation du chantier prévu dans le marché de travaux actuel, rappelée ci-dessous, a été revue.

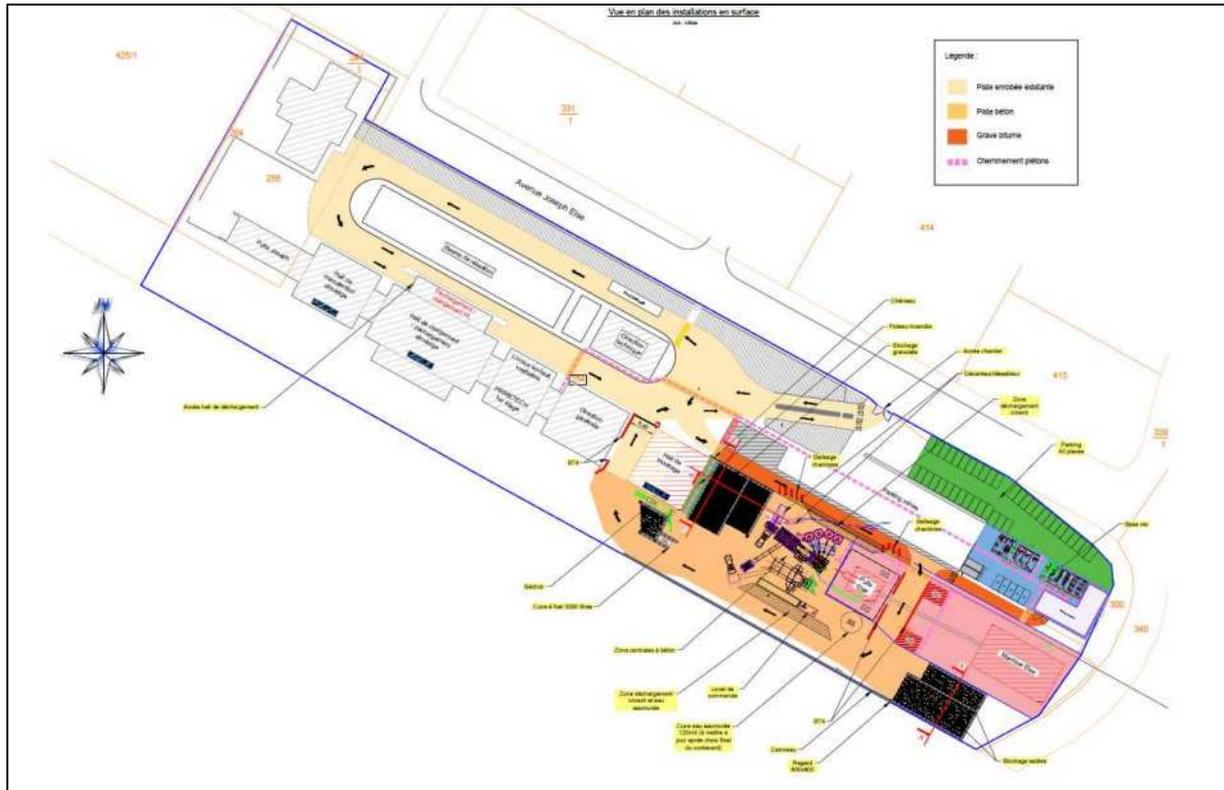


Figure 30 : Plan des installations générales du chantier de confinement – Marché Travaux Bouygues

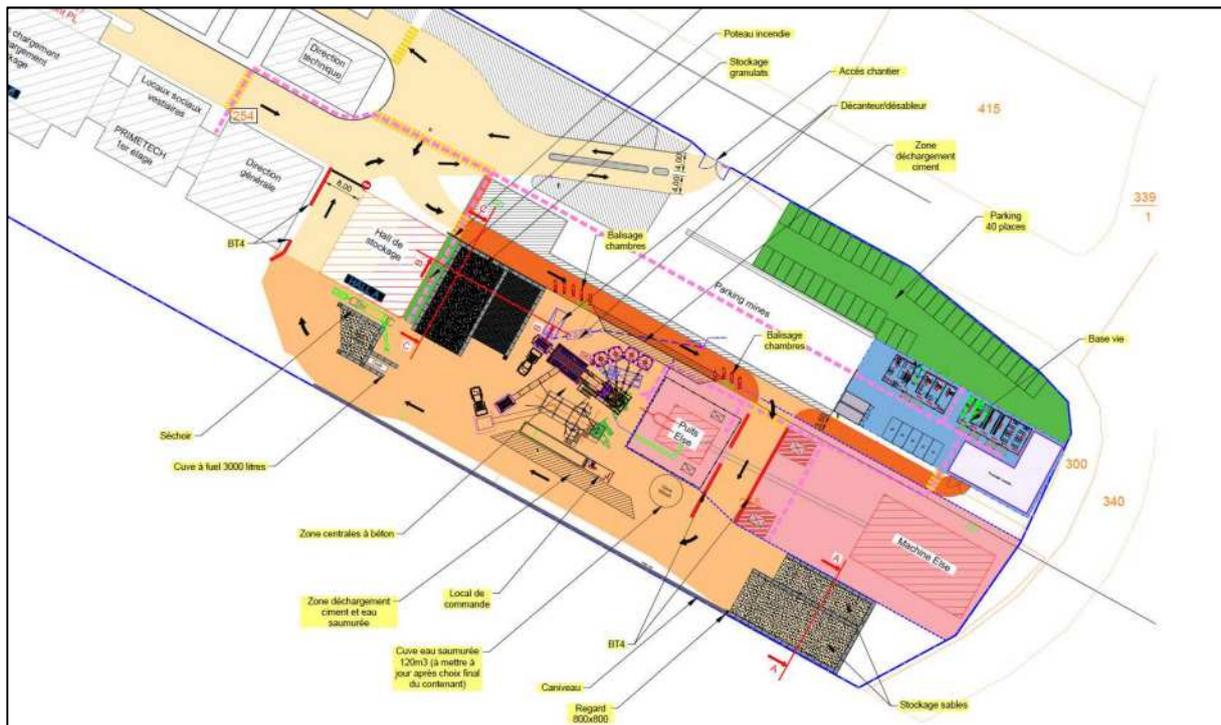


Figure 31 : Plan des installations générales du chantier de confinement - Zoom sur la centrale à béton – Marché Travaux Bouygues

En effet, le plan de circulation imaginé par Bouygues n'est pas valable dans le cadre du scénario S2. Le début des travaux de confinement ayant lieu alors que le déstockage est encore en cours, il est nécessaire d'intégrer une séparation des flux et des chantiers. De plus, la voirie prévue par l'Entreprise et passant au Sud du puits Joseph et des bâtiments d'exploitation n'est pas réalisable car le chantier de déstockage utilise cet espace pour y construire une extension du bâtiment existant.

C'est pourquoi, le plan des installations générales du chantier de confinement a été repris et modifié de sorte que les flux et les bases vies des chantiers de déstockage et de confinement soient indépendants.

Le plan ci-dessous présente cette organisation.

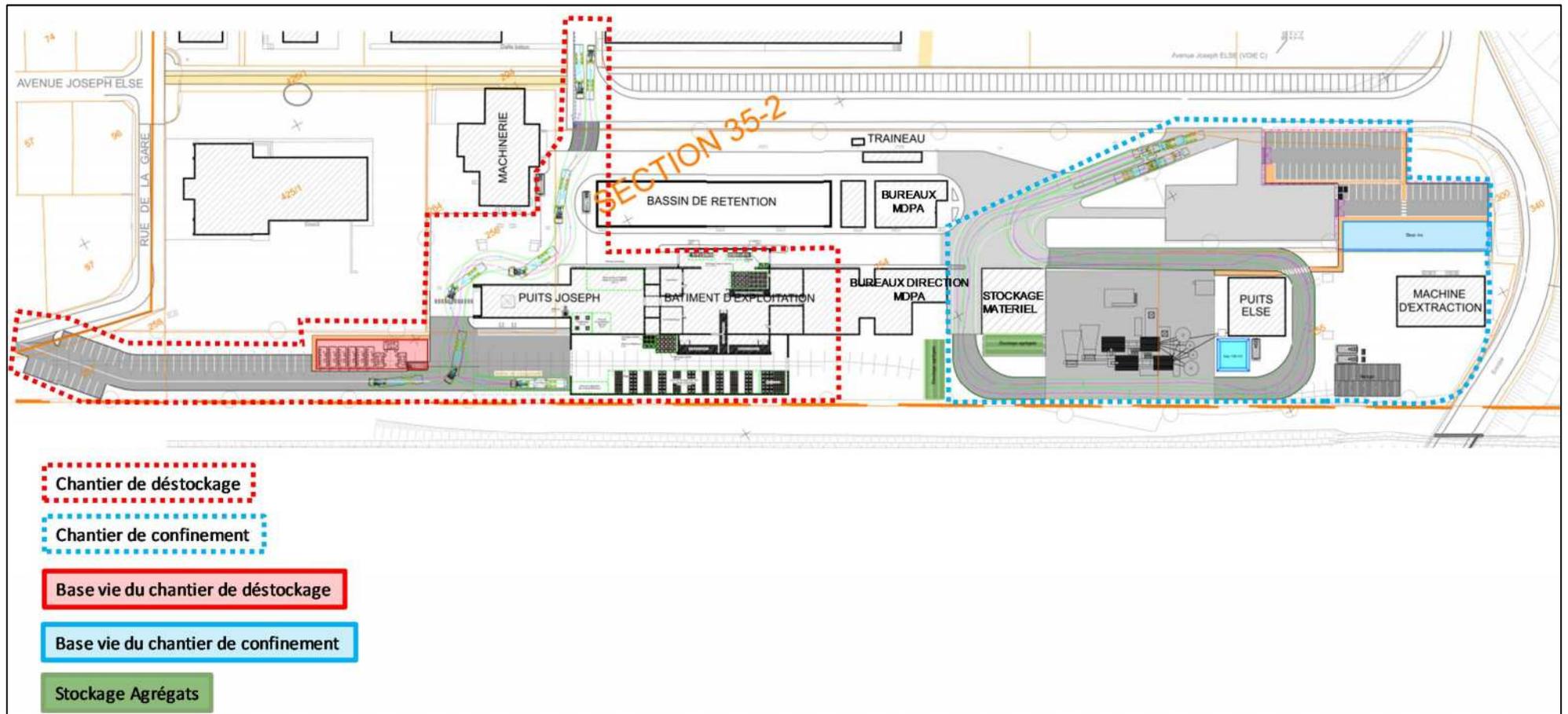


Figure 32 : Scénario S2 - Implantation des chantiers de déstockage et de confinement sur le site des MDPa

Pour que les deux chantiers soient indépendants, nous proposons d'utiliser la zone en macadam entre les bureaux de la direction des MDPA et le bâtiment de stockage de matériel pour la circulation des véhicules.

La zone de stockage des agrégats (Figure 31) prévue par l'Entreprise a été modifiée. La zone de circulation des véhicules est limitée autour de la centrale à béton et du puits Else.

Il est à noter qu'une fois le chantier de déstockage terminé et replié, il sera possible de rétablir la circulation prévue par l'Entreprise, si nécessaire.

4.1.3.3. Cadences et durée de réalisation

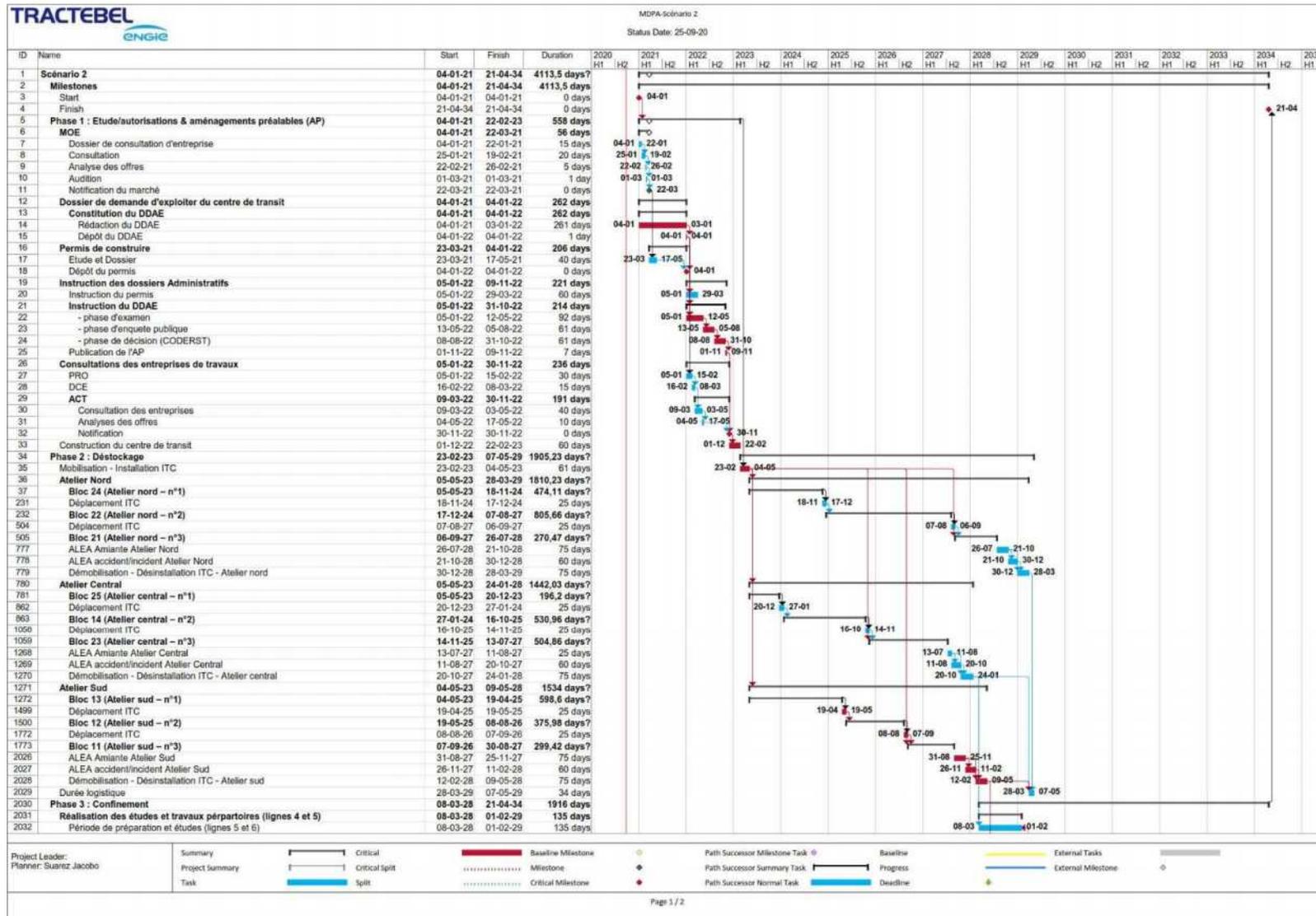
Les cadences de réalisation de comblement des blocs et des barrages sont similaires à celles définies dans le cadre du marché travaux et rappelées au § 3.3.3.

Les durées de comblement de chaque bloc sont définies dans le Tableau 9.

4.1.3.4. Planning

La figure ci-dessous présente le planning général pour le scénario S2.

La phase de confinement débute le 08/03/2028 et se termine le 21/04/2034, ce qui représente 6,1 ans de confinement dont 5,2 de travaux.



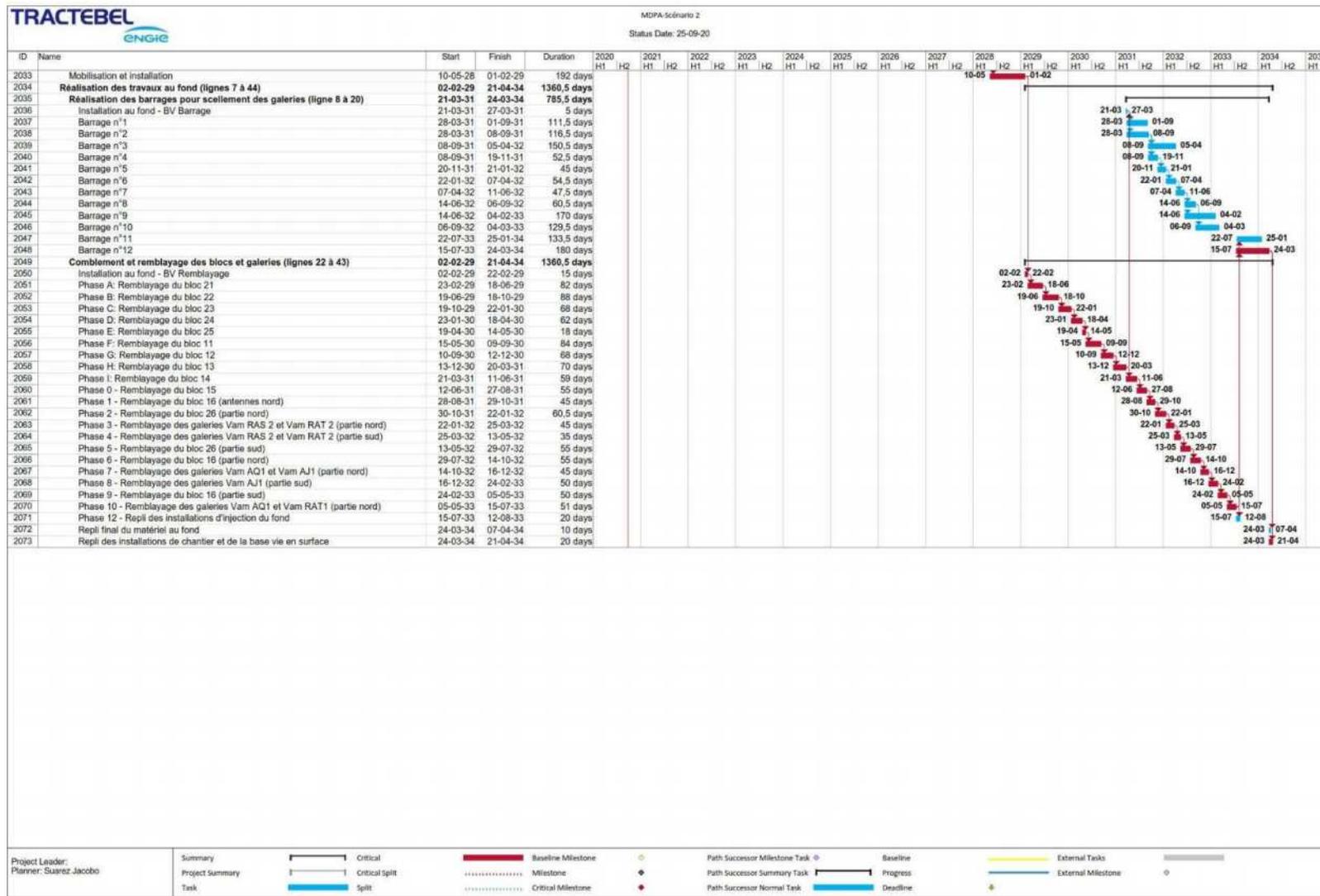


Figure 33 : Scénario S2 - Planning de confinement

4.1.4. Paramètres d'optimisation du scénario

Pour la réalisation du confinement dans le cadre du scénario S2, plusieurs hypothèses ont été faites afin de construire un planning optimisé qui soit réalisable.

Parmi ces hypothèses, on note :

- Le début des études de confinement dès qu'il ne reste qu'un seul atelier de déstockage en fond de mine ;
- L'utilisation unique du puits Else pour l'acheminement du béton ;
- Le comblement des blocs avec uniquement du coulis de béton.

Cependant, afin d'optimiser encore les coûts et la durée des travaux, il pourra être envisagé de revoir certaines de ces hypothèses.

Parmi les paramètres d'optimisation de ce scénario S2, il existe les pistes suivantes :

- Augmentation de la coactivité pendant le déstockage ;
- Utilisation du puits Joseph comme 2^{ème} source de béton ;
- Comblement des blocs avec les déblais de havrit.

Ces points sont détaillés si après.

Afin de déterminer les gains possibles dans le cadre de ces pistes d'optimisation, des études indépendantes devront être menées ultérieurement pour chaque problématique en fonction du scénario retenu.

4.1.4.1. Augmentation de la coactivité

Dans le cadre de la réalisation des travaux de confinement, il peut être envisagé de les débiter en fond dès lors qu'il n'y a plus qu'un atelier. Ceci implique d'anticiper la phase de préparations, études, travaux de phase préparatoire et installation nécessaire aux travaux de confinement.

La durée des études et de la phase préparatoire du chantier est d'environ 10 mois. Dans le cadre de l'optimisation, le phasage pourrait être le suivant (Figure 34).

A titre comparatif, le phasage prévu dans le planning est présenté Figure 35.

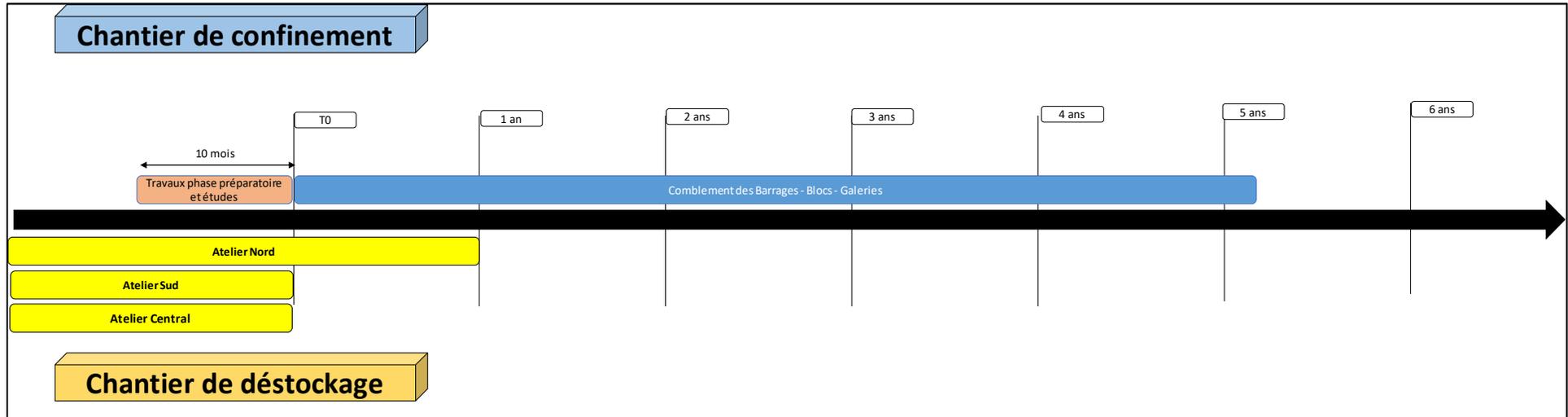


Figure 34 : Scénario S2 - Phasage de réalisation possible du projet dans le cadre de l'augmentation de la coactivité

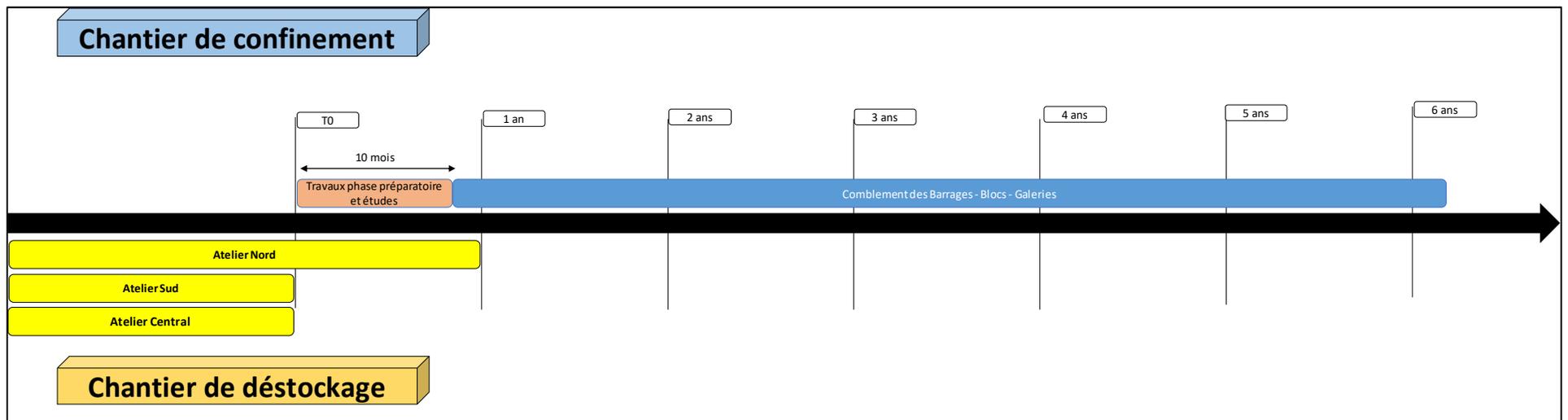


Figure 35 : Scénario S2 - Phasage de réalisation prévu dans le planning

On constate que dans le cadre de l'augmentation de la coactivité, le planning se réduit de 10 mois. Le confinement pourrait alors se terminer en juin 2033.

Pour cette optimisation, les études devront porter sur le planning et le phasage de comblement des blocs et galeries mais surtout sur les possibilités de coactivité des deux chantiers dans la mine. Les flux, cadences et gestion du personnel devront y être étudiés.

4.1.4.2. Utilisation du puits Joseph

Dans le cadre d'une optimisation du délai de comblement des blocs, il est envisageable d'augmenter la cadence de comblement des blocs en utilisant le puits Joseph et en ajoutant un atelier de confinement dans la mine.

De la même manière que dans le puits Else, il pourrait y avoir une colonne béton permettant l'amenée du matériau au droit des blocs.

Cette colonne pourrait être mise en place dès que le chantier de déstockage est terminé et replié. Il faudra également évaluer la capacité de production de béton de la centrale prévue et déterminer si cette production peut suffire à alimenter les deux ateliers de confinement. Dans le cas où la capacité n'est pas assurée, il faudra éventuellement prévoir une solution alternative (ajout d'une centrale par exemple).

4.1.4.3. Comblement des blocs par du havrit

Afin de limiter la quantité de coulis de béton dans les blocs, il peut être envisagé d'utiliser les déblais de havrit stockés dans des galeries en périphérie du stockage pour remblayer une partie des blocs. Cette piste d'optimisation permettra de diminuer la quantité de coulis de béton.

D'après la Figure 17, le linéaire de réserve de havrit de sel est estimé à 680 m. En considérant une section de 15 m², le volume disponible est estimé à environ 10 000 m³ soit un peu moins de 10 % du volume supplémentaire à remblayer.

4.2. Scénario S3

4.2.1. Description du scénario de déstockage

Dans le cadre du scénario S3, pour le déstockage, 3 ateliers seront disposés dans la mine :

- Le premier atelier sera placé dans la galerie Sud. Dans le cadre du scénario S3, cet atelier sera en charge du déstockage des blocs 11, 12 et 13 par le Sud ;
- Le second atelier sera placé dans la galerie Centrale. Pour ce scénario, cet atelier sera en charge du déstockage des blocs 11 et 14 par le Nord et 21, 23, 24 et 25 par le Sud ;
- Le dernier atelier sera placé dans la galerie Nord. Pour ce scénario, cet atelier sera en charge du déstockage des blocs 21, 22, 23 et 24 par le Nord.

Le plan ci-dessous présente les blocs déstockés par chaque atelier.

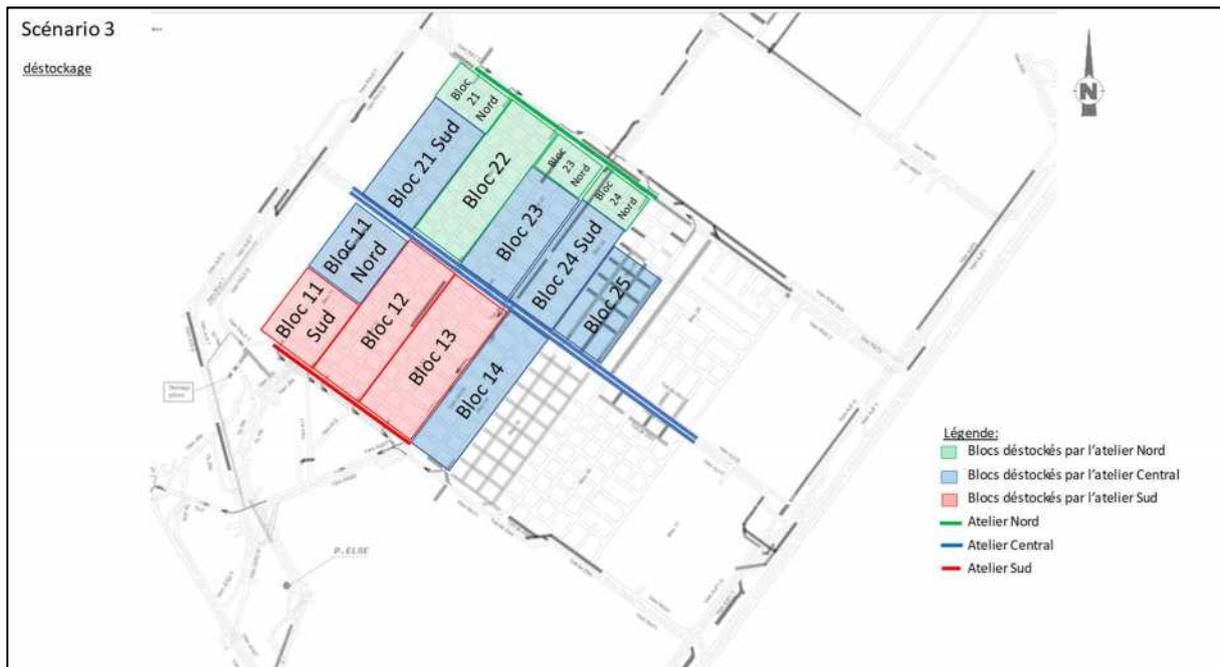


Figure 36 : Scénario S3 - Localisation des blocs déstockés par chaque atelier

Le détail du déstockage des colis est présenté dans le rapport relatif au volet 4 de l'étude ([34]).

Le planning établi pour ce déstockage montre que le dernier atelier à rester en fond est l'atelier Central. Ce dernier termine de déstocker les colis pendant 1 an et 2 mois supplémentaires.

C'est sur cette base de planning que la réalisation de l'étude de confinement pour le scénario S3 a été faite.

4.2.2. Evaluation des impacts

4.2.2.1. Impact sur l'implantation des barrages

Dans le cadre du scénario S2, il a été envisagé de déplacer les barrages (§4.1.2.1).

Cependant plusieurs arguments ont conduit à ne pas retenir cette possibilité.

De plus, pour ce scénario S3, le déstockage des colis étant partiel, il restera donc in fine des colis dans les blocs 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24 et 25. Les barrages devant entourer l'ensemble du stockage, ils ne sont donc pas déplaçables. Ce scénario n'a donc pas d'impact sur la position des barrages.

4.2.2.2. Impact de l'accessibilité aux sites de barrages sur les circulations et le phasage

4.2.2.2.1.1. Organisation des flux

Dans le cadre du comblement de l'ensemble des blocs, les flux seront sensiblement les mêmes que ceux prévus dans le marché de travaux. Le béton sera acheminé par le puits Else, puis par conduite ou toupie selon l'ouvrage à réaliser.

Pour le comblement des blocs 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24 et 25 non prévus au marché, les longueurs des conduites seront allongées.

Les transferts des équipes de travaux se réaliseront selon les mêmes principes que ce qui est prévu au marché de travaux.

4.2.2.2.1.2. Phasage

Afin de commencer par les blocs les plus bas, le phasage de réalisation du remblaiement et des barrages a été défini de la manière suivante :

- Comblement du bloc 21 ;
- Comblement du bloc 22 ;
- Comblement du bloc 23 ;
- Comblement du bloc 24 ;
- Comblement du bloc 25 ;
- Comblement du bloc 11 ;
- Comblement du bloc 12 ;
- Comblement du bloc 13 ;
- Comblement du bloc 14.

Suite à ces comblements de blocs, le phasage de confinement continuera selon le phasage défini par l'Entreprise dans le marché. La frise chronologique du confinement des blocs et des barrages est présentée sur la figure suivante.

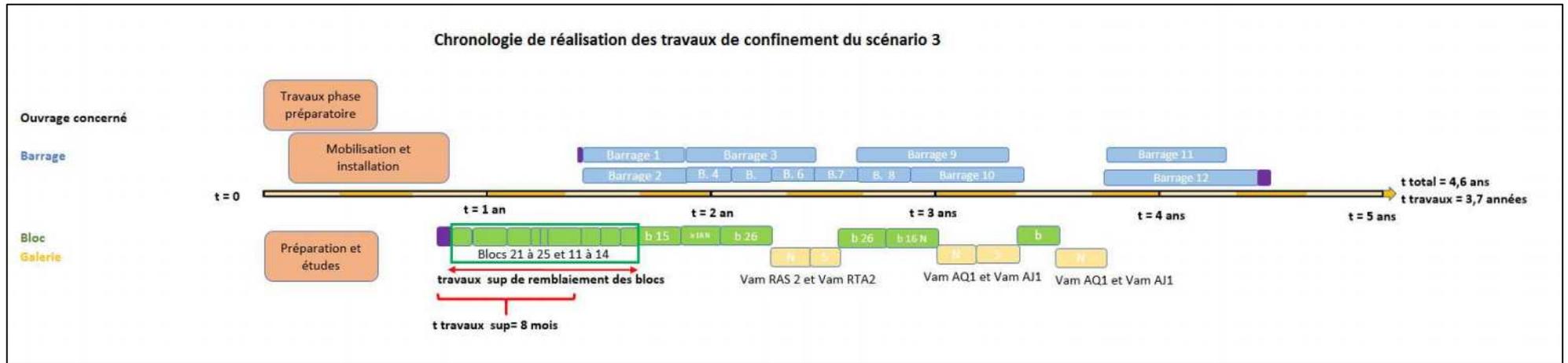


Figure 37 : Scénario S3 - Frise chronologique du comblement

4.2.2.3. Impact sur les quantités de travaux

Le scénario S3 prévoit le retrait d'une partie des colis stockés en fond de la mine ; par conséquent, une partie des blocs 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24 et 25 devront être comblés.

La réalisation de ce remblaiement des blocs augmente de manière importante les volumes de comblement prévus.

Afin de calculer les volumes à combler de chaque bloc nous avons utilisé la méthode de calcul présentée au § 4.1.2.3.2 basée sur la quantité de colis déstockés.

Le tableau ci-dessous présente ces volumes pour le scénario S3.

Tableau 10 : Scénario S3 - Estimation des volumes à combler par bloc et au total

Bloc	Volume de colis sortis à remblayer yc 15% de vide annulaire (en m ³)
22	5623
21	2765
24-A	67
23-A	149
24-B	1322
23-B	3474
25	455
14	2526
11	4636
12	3491
13	2662
Total	27170

On retiendra que pour le scénario S3, le volume supplémentaire des blocs déstockés à combler est de 27 170 m³, soit de l'ordre de 27 000 m³.

4.2.2.4. Impact sur le planning

Dans le cadre du scénario S3, la réalisation du remblaiement des blocs augmente la durée de fermeture de la mine. En considérant une cadence moyenne de comblement de 3,3 mois pour 10 000 m³ (estimée sur la base des cadences du marché de Bouygues pour des quantités équivalentes – Q min), les durées de comblement de chaque bloc ont pu être estimées.

De plus, un coefficient de dégradation de 15 % a été introduit dans le calcul des durées afin de prendre en compte :

- Une réduction de la cadence de réalisation en raison de la baisse des volumes unitaires de comblement induisant une augmentation relative (ramenée au m³ de comblement) des opérations fixes à réaliser pour chaque tronçon à combler quel que soit son volume ;
- Les aléas de chantier ;
- Et la gestion des colis non déstockés au fond.

Le tableau ci-dessous présente une estimation des délais supplémentaires.

Tableau 11 : Scénario S3 - Durée de remblaiement des blocs

Bloc	Volume de colis sortis à remblayer yc 15% de vide annulaire (en m ³)	Durée de remblaiement (en jours)	Durée incluant une dégradation de 15%
22	5623	37,6	43
21	2765	18,5	21
24-A	67	0,4	1
23-A	149	1,0	1
24-B	1322	8,8	10
23-B	3474	23,2	27
25	455	3,0	3
14	2526	16,9	19
11	4636	31,0	36
12	3491	23,3	27
13	2662	17,8	20
Total	27170	181,7 jours	209 jours
Total	27170	9,1 mois	10,4 mois

Ainsi le délai de comblement partiel des différents blocs pour ce scénario est d'environ 10,5 mois. Une partie de ce comblement peut avoir lieu en temps masqué. Ceci est détaillé au §4.2.4.

4.2.3. Modalités de réalisation des ouvrages de confinement

4.2.3.1. Méthodes et moyens

Les méthodes et moyens de réalisation des barrages et de comblement des blocs sont équivalents à ceux présentés au §3.3.2 et décrits dans le marché travaux précité [24].

Pour les nouveaux blocs à combler, on privilégiera dans la mesure du possible un comblement gravitaire en débutant par les blocs les plus bas. La méthode de réalisation de ce comblement est présentée au §3.3.2.10 et décrite dans le marché travaux [24].

Les blocs étant partiellement déstockés, à l'interface colis-comblement, on viendra mettre en place un coffrage sur l'ensemble de la section afin de retenir le coulis lors de sa mise en place. Dans la mesure du possible, on essaiera de limiter le plus possible le nombre d'interfaces à réaliser.

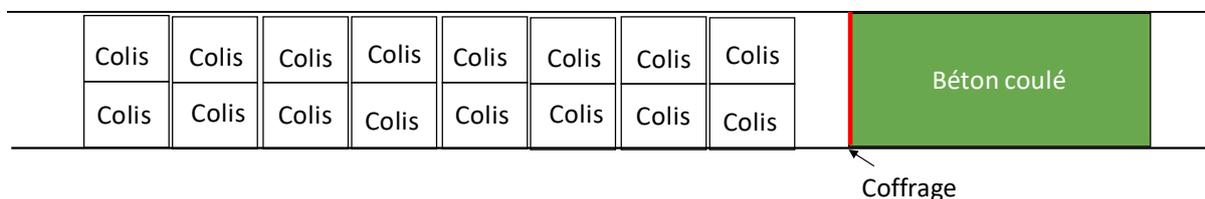


Figure 38 : Schéma de réalisation du comblement à l'interface avec les colis

Afin d'imiter la structure mise en place au droit des barrages et de limiter le transfert d'élément chimique au travers du coulis (première barrière de confinement au plus proche des colis), il est également possible de réaliser un serrement de havrit entre les colis et le comblement.

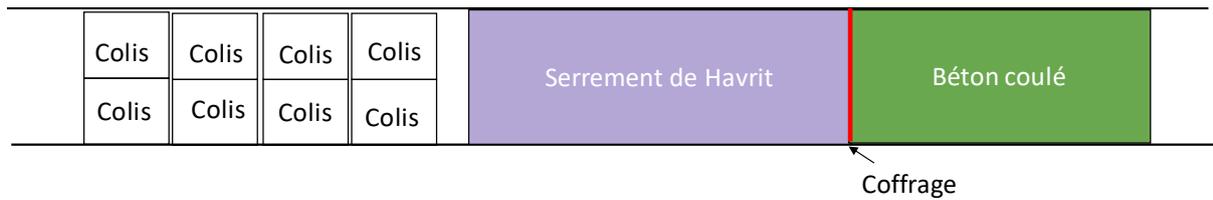


Figure 39 : Schéma de réalisation du comblement à l'interface avec les colis avec serrement de havrit

4.2.3.2. Circulation des flux et phasage

Dans le cadre de ce scénario S3, le démarrage du marché de travaux de confinement débutera lorsqu'il ne restera qu'un seul atelier de déstockage. Ceci permet de limiter la coactivité en fond.

Cette phase durera pendant une année et deux mois. Elle permettra de réaliser l'ensemble des préparations, études, travaux de phase préparatoire et installation nécessaire aux travaux de confinement.

Dans ce cas, la réalisation du comblement des blocs débute à la fin du déstockage. Tel que défini dans le marché de travaux, le coulis de béton est acheminé jusqu'aux blocs via une conduite béton dans le puits Else et en galerie.

En surface, le plan des installations générales de chantier de confinement sera similaire à celui retenu pour le scénario S2 afin que les deux chantiers de confinement et de déstockage soient indépendants.

4.2.3.3. Cadences et durée de réalisation

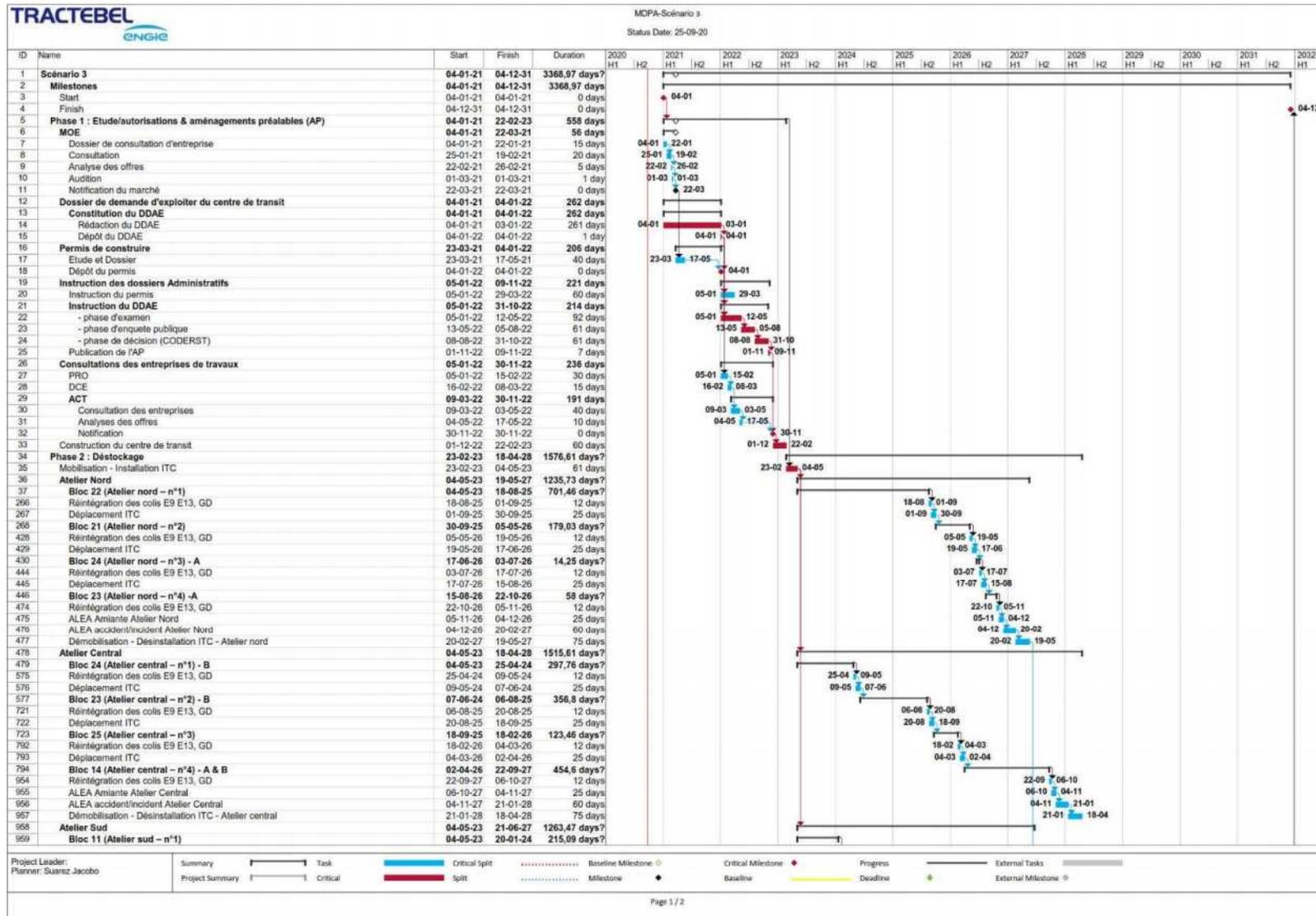
Les cadences de réalisation de comblement des blocs et des barrages sont similaires à celles définies dans le cadre du marché de travaux et rappelées au § 3.3.3.

Les durées de comblement de chaque bloc sont définies dans le Tableau 11.

4.2.3.4. Planning

La figure ci-dessous présente le planning du scénario S3.

La phase de confinement débute le 20/04/2027 et se termine le 04/12/2031, ce qui représente 4,6 ans de confinement dont 3,7 de travaux.



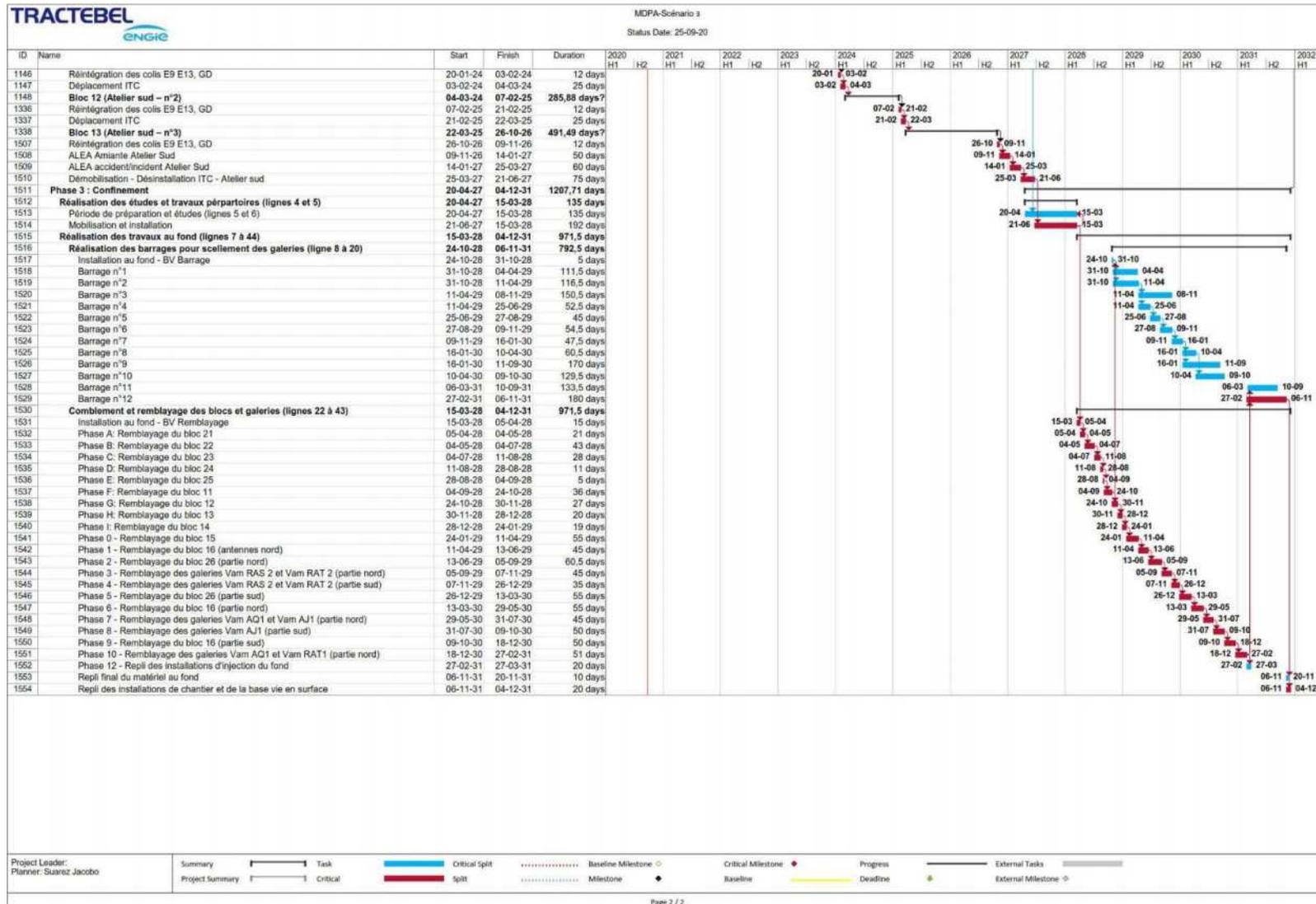


Figure 40 : Scénario S3 - Planning de confinement

4.2.4. Paramètres d'optimisation du scénario

Les pistes d'optimisation pour le scénario S3 sont identiques à celles du scénario S2.

Parmi elles, on note :

- L'augmentation de la coactivité pendant le déstockage ;
- L'utilisation du puits Joseph comme 2^{ème} source de béton ;
- Le comblement des blocs avec les déblais de havrit.

Pour les deux derniers points, les détails sont donnés au §4.1.4.

Pour l'augmentation de la coactivité, dans le cadre de la réalisation des travaux de confinement, il peut être envisagé de les débiter en fond dès lors qu'il n'y a plus qu'un atelier. Ceci implique d'anticiper la phase de préparation, études, travaux de phase préparatoire et installation nécessaire aux travaux de confinement.

La durée des études et de la phase préparatoire du chantier est d'environ 10 mois. Dans le cadre de l'optimisation, le phasage pourrait être le suivant (Figure 41).

A titre comparatif, le phasage prévu dans le planning est présenté Figure 42 .

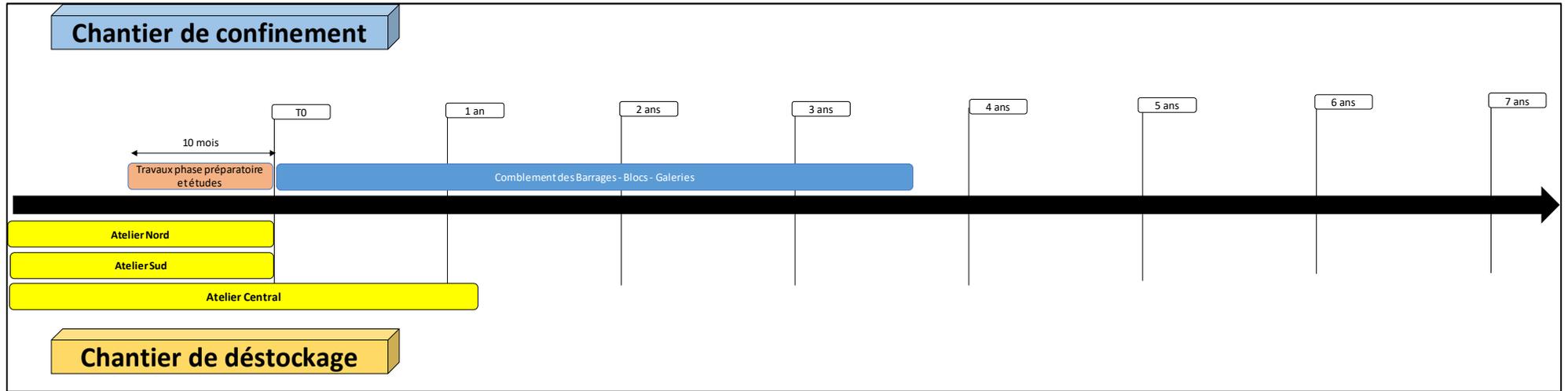


Figure 41 : Scénario S3 - Phasage de réalisation possible du projet dans le cadre de l'augmentation de la coactivité

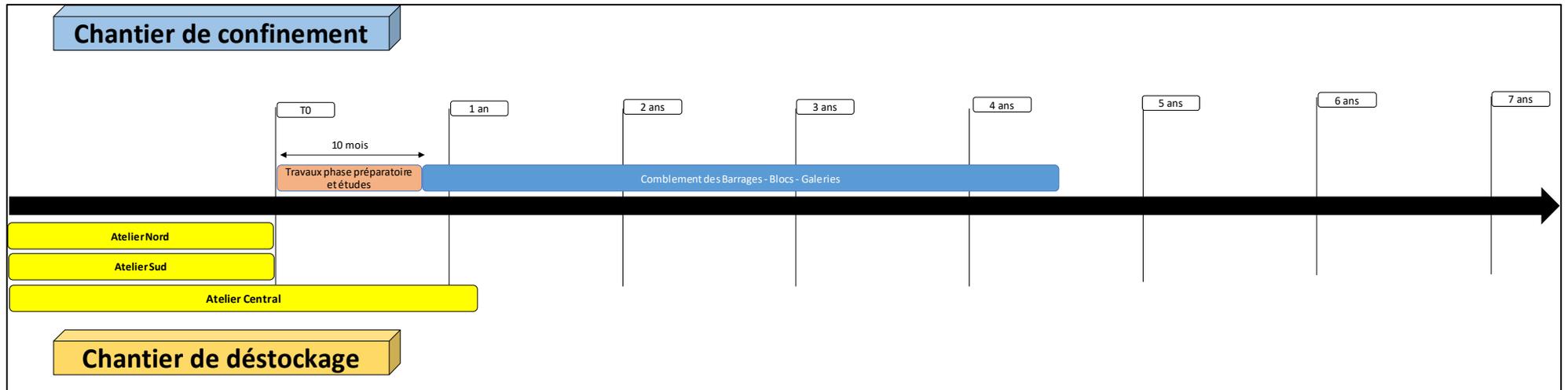


Figure 42 : Scénario S3 - Phasage de réalisation prévu dans le planning

Tout comme pour le scénario S2, le planning se réduit de 10 mois (durée des études et de la préparation de chantier incompressible). Le confinement pourrait alors se terminer en février 2031.

Pour cette optimisation, les études devront porter sur le planning et le phasage de comblement des blocs et galeries mais surtout sur les possibilités de coactivité des deux chantiers dans la mine. Les flux, cadences et gestion du personnel devront y être étudiés.

4.3. Scénario S4

La définition du scénario S4, réalisée dans le cadre de la présente étude, fait l'objet du rapport en référence [35].

4.3.1. Description du scénario de déstockage

Dans le cadre du scénario S4, pour le déstockage, 3 ateliers seront disposés dans la mine :

- Le premier atelier sera placé dans la galerie Sud. Dans le cadre du scénario S4, cet atelier sera en charge du déstockage des blocs 11, 12 et 13 par le Sud ;
- Le second atelier sera placé dans la galerie Centrale. Pour ce scénario, cet atelier sera en charge du déstockage des blocs 14, 21 Sud, 23, 24 Sud et 25 ;
- Le dernier atelier sera placé dans la galerie Nord. Pour ce scénario, cet atelier sera en charge du déstockage des blocs 21 Nord, 24 Nord et 22.

Le plan ci-dessous présente les blocs déstockés par chaque atelier.

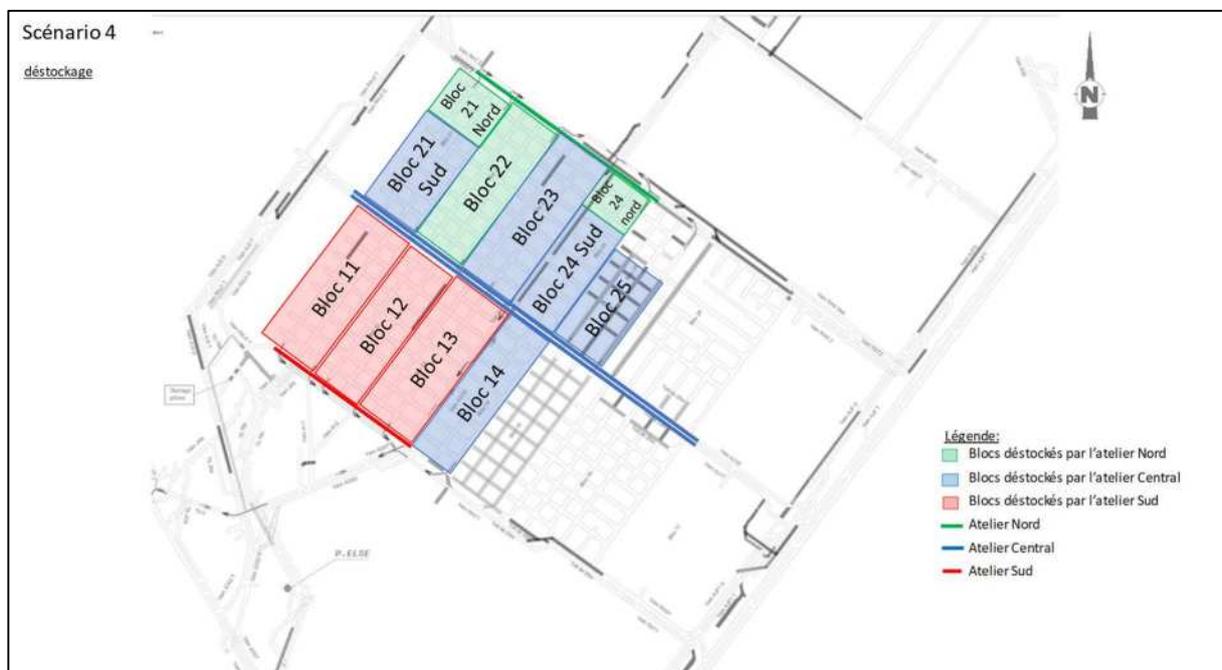


Figure 43 : Scénario S4 - Localisation des blocs déstockés par chaque atelier

Le détail du déstockage des colis est présenté dans le volet 4 de l'étude ([34]).

Le planning réalisé pour ce déstockage montre que le dernier atelier à rester en fond est l'atelier Nord. Ce dernier termine de déstocker pendant 6 mois supplémentaires.

C'est sur cette base de planning que la réalisation de l'étude de confinement pour le scénario S4 a été faite.

4.3.2. Evaluation des impacts

4.3.2.1. Impact sur l'implantation des barrages

Dans le cadre du scénario S2, il a été envisagé de déplacer les barrages (§4.1.2.1).

Cependant plusieurs arguments ont conduit à ne pas retenir cette possibilité.

De plus pour ce scénario S4, le déstockage des colis est partiel. Il restera donc in fine des colis dans les blocs 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24 et 25. Les barrages devant entourer l'ensemble du stockage, ils ne sont donc pas déplaçables. Ce scénario n'a donc pas d'impact sur la position des barrages.

4.3.2.2. Impact de l'accessibilité aux sites de barrages sur les circulations et le phasage

4.3.2.2.1.1. Organisation des flux

Dans le cadre du comblement de l'ensemble des blocs, les flux seront sensiblement les mêmes que ceux prévus dans le marché de travaux. Le coulis de béton sera acheminé par le puits Else, puis par conduite ou toupie selon l'ouvrage à réaliser.

Pour le comblement des blocs 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24 et 25 non prévus au marché, les longueurs des conduites seront allongées.

Les transferts des équipes de travaux se réaliseront selon les mêmes principes que ce qui est prévu au marché de travaux [24].

4.3.2.2.1.2. Phasage

Afin de commencer par les blocs les plus bas, le phasage de réalisation du remblaiement et des barrages a été défini de la manière suivante :

- Comblement du bloc 21 ;
- Comblement du bloc 22 ;
- Comblement du bloc 23 ;
- Comblement du bloc 24 ;
- Comblement du bloc 25 ;
- Comblement du bloc 11 ;
- Comblement du bloc 12 ;
- Comblement du bloc 13 ;
- Comblement du bloc 14.

Suite à ces comblements de blocs, le phasage de confinement continuera selon le phasage défini par l'Entreprise dans le marché. La frise chronologique du confinement des blocs et des barrages est présentée dans la figure suivante.

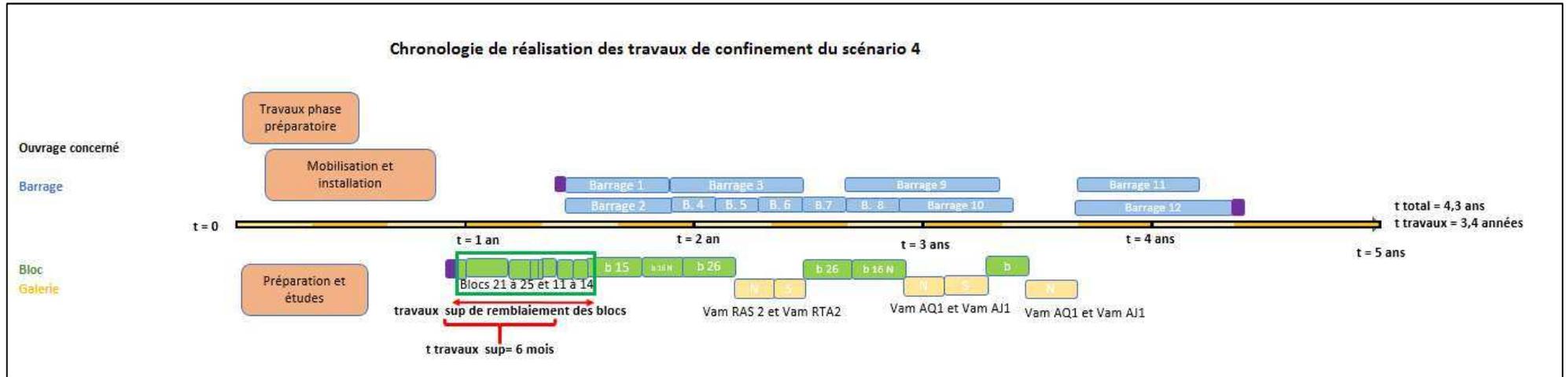


Figure 44 : Scénario S4 - Frise chronologique du comblement

4.3.2.3. Impact sur les quantités de travaux

Le scénario S4 impose le retrait d'une partie des colis stockés en fond de la mine, par conséquent, une partie des blocs 11, 12, 13, 14, 21, 22, 23, 24 et 25 devront être comblés.

La réalisation de ce remblaiement des blocs augmente les volumes de comblement prévus.

Afin de calculer les volumes à combler de chaque bloc, nous avons utilisé la méthode de calcul présentée au § 4.1.2.3.2 basée sur la quantité de colis déstockés.

Le tableau ci-dessous présente ces volumes pour le scénario S4.

Tableau 12 : Scénario S4 - Estimation des volumes à combler par bloc et au total

Bloc	Volume de colis sortis à remblayer yc 15% de vide annulaire (en m ³)
22	5479
21-A	170
23-A	1185
24-A	77
21-B	913
23-B	2254
24-B	523
25	199
14	435
11	2341
12	1922
13	1850
Total	17349

On retiendra que pour le scénario S4 le volume à combler est de 17 349 m³, soit environ 17 500 m³.

4.3.2.4. Impact sur le planning

Dans le cadre du scénario S4, la réalisation du remblaiement des blocs augmente la durée de fermeture de la mine. En considérant, une cadence moyenne de comblement de 3,3 mois pour 10 000 m³ (estimée sur la base des cadences du marché de Bouygues pour des quantités équivalentes – Q min), les durées de comblement de chaque bloc ont pu être estimées.

De plus, un coefficient de dégradation de 25 % a été introduit dans le calcul des durées afin de prendre en compte :

- Une baisse des cadences liée à la baisse des volumes unitaires de comblement induisant une augmentation relative (ramenée au m³ de comblement) des opérations fixes à réaliser pour chaque tronçon à combler quel que soit son volume ;
- les aléas de chantier ;
- la gestion des colis non déstockés au fond (quantité plus importante de colis à gérer en fond par rapport au scénario S3).

Le tableau ci-dessous présente une estimation des délais supplémentaires.

Tableau 13 : Scénario S4 - Durée de remblaiement des blocs

Bloc	Volume de colis sortis à remblayer yc 15% de vide annulaire (en m ³)	Durée de remblaiement (en jours)	Durée incluant une dégradation de 25%
22	5479	36,6	46
21-A	170	1,1	1
23-A	1185	7,9	10
24-A	77	0,5	1
21-B	913	6,1	8
23-B	2254	15,1	19
24-B	523	3,5	4
25	199	1,3	2
14	435	2,9	4
11	2341	15,7	20
12	1922	12,9	16
13	1850	12,4	15
Total	17349	116,0 jours	145,0 jours
Total	17349	5,8 mois	7,3 mois

Ainsi le délai de comblement partiel des différents blocs pour ce scénario est d'environ 7,5 mois. Une partie de ce comblement peut avoir lieu en temps masqué. Ceci est détaillé au §4.3.3.4.

4.3.3. Modalités de réalisation des ouvrages de confinement

4.3.3.1. Méthodes et moyens

Les méthodes et moyens de réalisation des barrages et de comblement des blocs sont équivalents à ceux présentés au §3.3.2 et décrits dans le marché travaux [24].

Pour les nouveaux blocs à combler, on privilégiera dans la mesure du possible un comblement gravitaire en débutant par les blocs les plus bas. La méthode de réalisation de ce comblement est présentée au §3.3.2.10 et décrite dans le marché travaux [24].

Les blocs étant partiellement déstockés, à l'interface colis-comblement, on viendra mettre en place un coffrage sur l'ensemble de la section afin de retenir le coulis lors de sa mise en place. Dans la mesure du possible, on essaiera de limiter le plus possible le nombre d'interfaces à réaliser.

De la même manière que pour les barrages, il est également possible de réaliser un serrement de havrit entre les colis et le comblement comme second dispositif de sécurité vis-à-vis de la sureté à long terme.

4.3.3.2. Circulation des flux et phasage

Dans le cadre de ce scénario S4, le démarrage du marché de travaux de confinement débutera lorsqu'il ne restera qu'un seul atelier de déstockage. Ceci permet de limiter la coactivité en fond.

Cette phase durera pendant 6 mois. Elle permettra de réaliser les préparations, les études, les travaux de phase préparatoire et les installations nécessaires aux travaux de confinement.

Dans ce cas, la réalisation du comblement des blocs débute à la fin du déstockage. Tel que défini dans le marché de travaux, le coulis est acheminé jusqu'aux blocs via une conduite béton dans le puits Else et en galerie.

En surface, le plan des installations générales de chantier de confinement sera similaire à celui retenu pour le scénario S2 afin que les deux chantiers de confinement et de déstockage soient indépendants.

4.3.3.3. Cadences et durée de réalisation

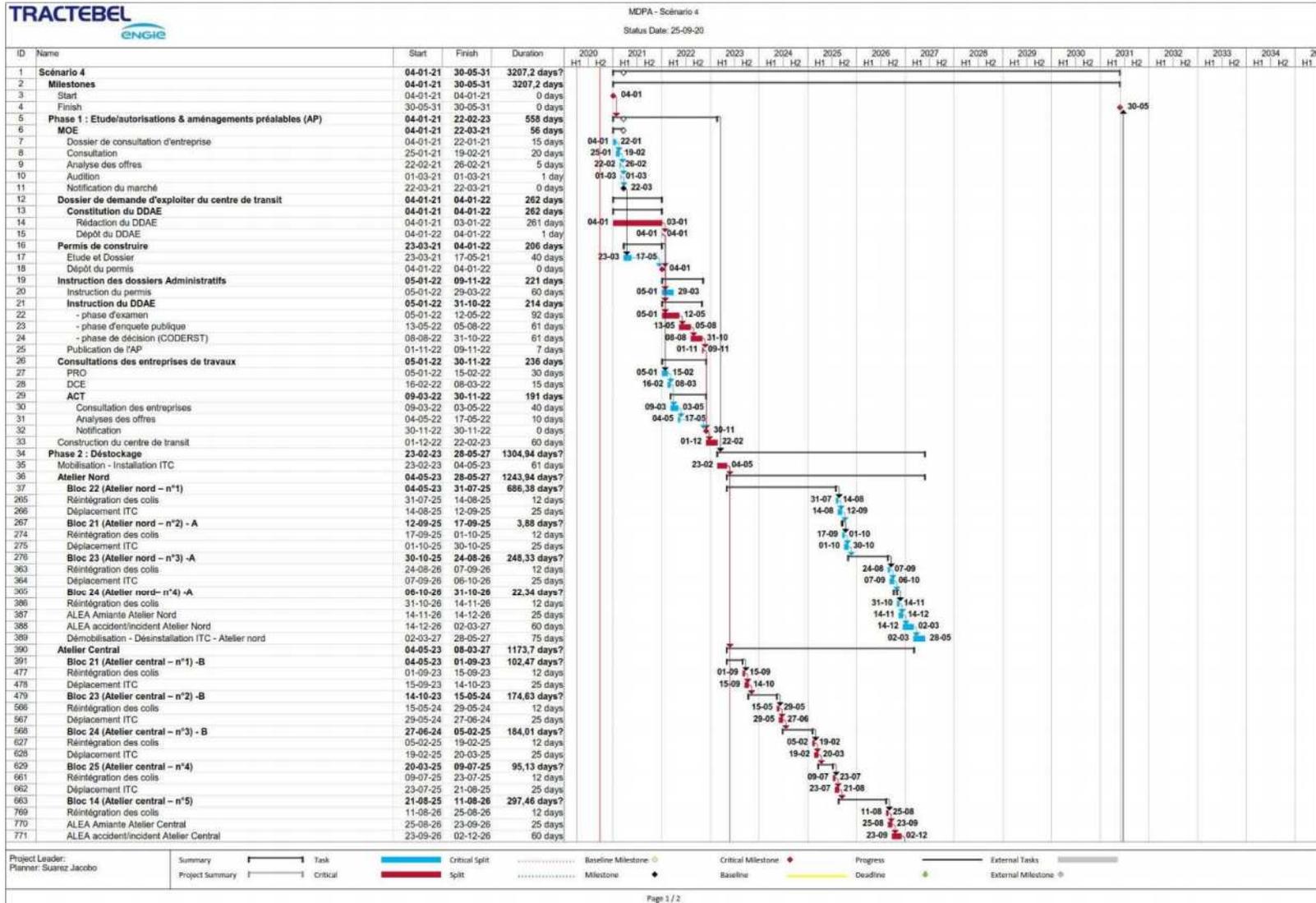
Les cadences de réalisation de comblement des blocs et des barrages sont similaires à celles définies dans le cadre du marché de travaux et rappelées au § 3.3.3.

Les durées de comblement de chaque bloc sont définies dans le Tableau 13.

4.3.3.4. Planning

La figure ci-dessous présente le planning général pour le scénario S4.

La phase de confinement débute le 05/01/2027 et se termine le 30/05/2031, ce qui représente 4,3 ans de confinement dont 3,4 de travaux.



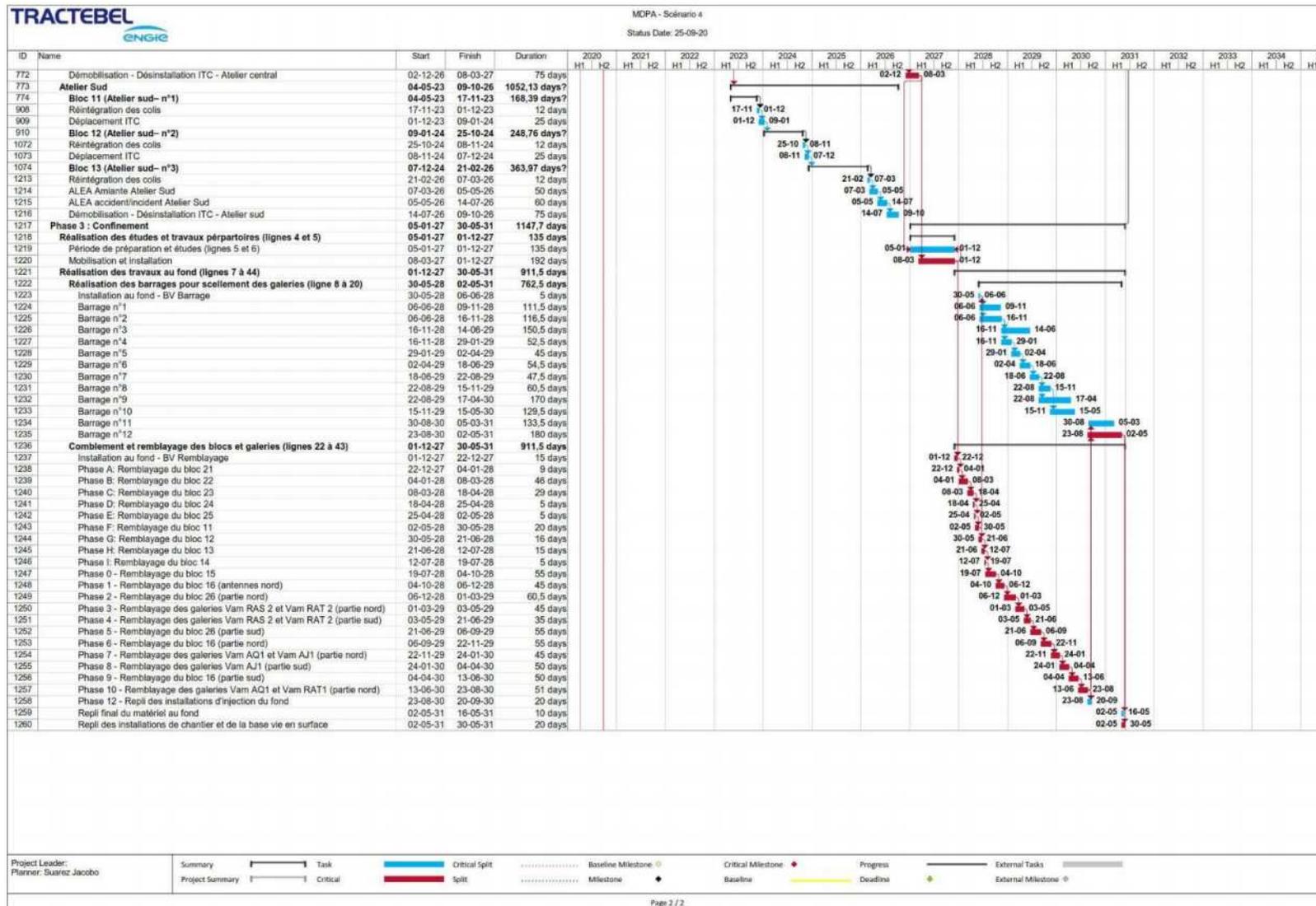


Figure 45 : Scénario S4 - Planning de confinement

4.3.4. Paramètres d'optimisation du scénario

Les pistes d'optimisation pour le scénario S4 sont identiques à celles du scénario S2.

Parmi elles, on note :

- L'augmentation de la coactivité pendant le déstockage ;
- L'utilisation puits Joseph comme 2ème source de béton ;
- Le comblement des blocs avec les déblais de havrit.

Pour les deux derniers points, les détails sont donnés au §4.1.4.

Pour l'augmentation de la coactivité, dans le cadre de la réalisation des travaux de confinement, il peut être envisagé de débiter ceux-ci en fond dès lors qu'il n'y a plus qu'un atelier. Ceci implique d'anticiper la phase de préparation, études, travaux de phase préparatoire et installation nécessaire aux travaux de confinement.

La durée des études et de la phase préparatoire du chantier est d'environ 10 mois. Dans le cadre de l'optimisation, le phasage pourrait être le suivant (Figure 46).

A titre comparatif, le phasage prévu dans le planning est présenté Figure 47.

Tout comme pour le scénario S2, le planning se réduit de 10 mois (durée des études et de la préparation de chantier incompressible). Le confinement pourrait alors se terminer en juillet 2030.

Pour cette optimisation, les études devront porter sur le planning et le phasage de comblement des blocs et galeries mais surtout sur les possibilités de coactivité des deux chantiers dans la mine. Les flux, cadences et gestion du personnel devront y être étudiés.

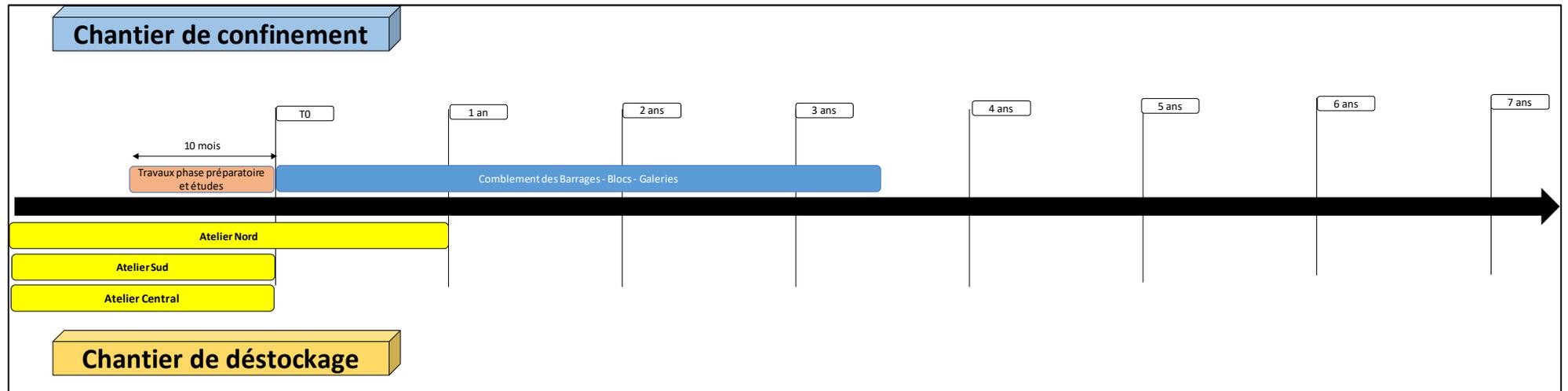


Figure 46 : Scénario S4 - Phasage de réalisation possible du projet dans le cadre de l'augmentation de la coactivité

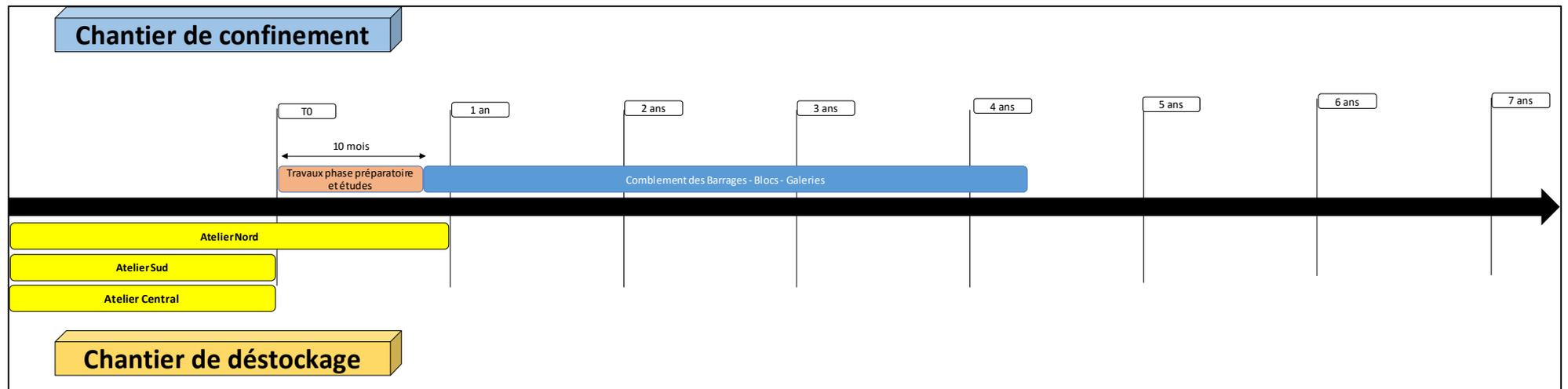


Figure 47 : Scénario S4 - Phasage de réalisation prévu dans le planning

5. Conclusion : analyse comparative des impacts des différents scénarios sur la réalisation du confinement

De manière globale, les méthodes de réalisation des barrages et de comblement, les cadences pour la réalisation des différentes tâches des travaux et la gestion des flux sont identiques quel que soit le scénario considéré.

De plus, il a été démontré que la localisation des barrages était figée car les conditions géomécaniques ne sont pas favorables à leur déplacement au sein des galeries du stockage.

Le déstockage, plus ou moins important selon les scénarios, impacte directement les durées de réalisation et les volumes de comblement.

Concernant les durées de réalisation des différents scénarios, les résultats des plannings réalisés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Synthèse des durées des différents scénarios

Scénario	Durée prévisionnelle du marché de confinement	Durée prévisionnelle des travaux	Date de début du marché	Date de fin du marché
Scénario S1 actuel	Q médian : 4,1 années (Q1 : 3,6 années et Q2 : 4,6 années)	3 ans et 3 mois (Q médian)	02/12/2019 (Q médian)	Février 2024 (Q médian)
Scénario S2	6 années et 1 mois	5 années et 2 mois	08/03/2028	21/04/2034
Scénario S3	4 années et 7 mois	3 années et 7 mois	20/04/2027	04/12/2031
Scénario S4	4 années et 4 mois	3 années et 4 mois	05/01/2027	30/05/2031

Le scénario S2 a la durée de réalisation du confinement la plus longue (6 ans et 1 mois) comparé aux scénarios S3 et S4 pour lesquels la durée de réalisation du marché est de 4,5 années environ.

Les frises ci-dessous ont été réalisées à la même échelle pour les 3 scénarios. Elles présentent une possibilité de phasage du comblement des blocs et de réalisation des barrages.

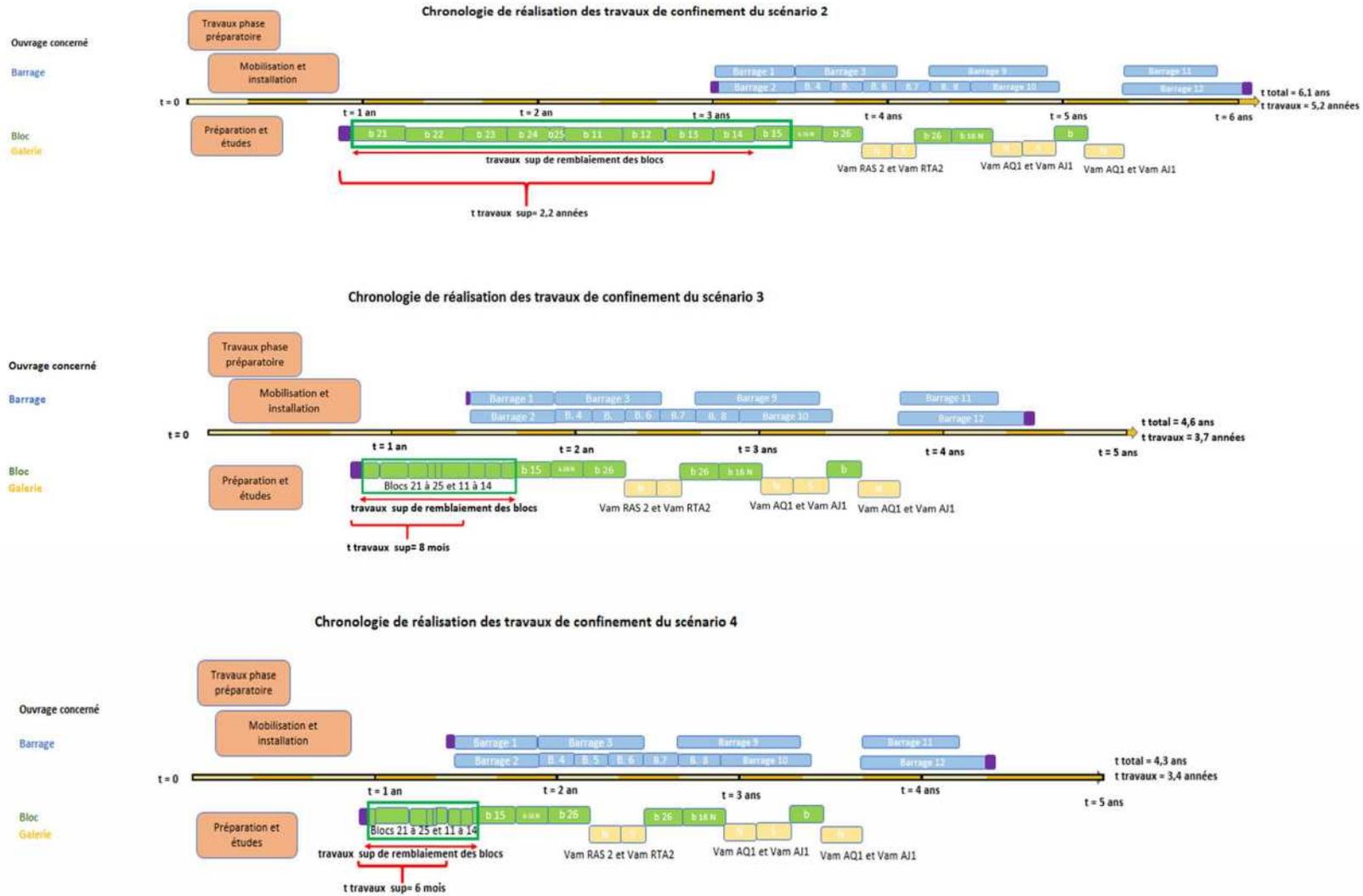


Figure 48 : Comparaison des phasages et des durées pour les différents scénarios

Le déstockage impacte également les volumes de remblai de comblement. Le tableau ci-dessous présente les volumes supplémentaires induits.

Tableau 15 : Synthèse des volumes à combler

Bloc	Volume de colis sortis à reblayer yc 15% de vide annulaire (en m ³)		
	Scénario S2	Scénario S3	Scénario S4
11	15204	4636	2341
12	12423	3491	1922
13	12739	2662	1850
14	10667	2526	435
21	14891	2765	1083
22	16004	5623	5479
23	12331	3623	3439
24	11242	1389	601
25	3355	455	199
Total	108858	27170	17349

De la même manière que pour les plannings, le scénario S2 est le plus impactant avec un volume de comblement très important (+ 100 % de volume à combler/ marché actuel).

Dans le cadre des scénarios S3 et S4, ces volumes de comblement sont beaucoup plus raisonnables au regard du marché actuel (+ 15 à 25 % de volume à combler/ marché actuel).

L'estimation des coûts des différents scénarios est présentée dans le volet 9 de l'étude ([36]).

Pour finir, il est à noter que des pistes d'optimisation des délais et des volumes de coulis existent. Celles-ci sont présentées dans ce document. Dans le cas où l'un des trois scénarios serait choisi pour la réalisation des travaux futurs, des études approfondies de la solution retenue devront être réalisées dans les phases ultérieures, dans cette optique.



ANNEXES

Annexe I : Plan de phasage du confinement scénario S1

Annexe I : Plan de phasage du confinement scénario S1

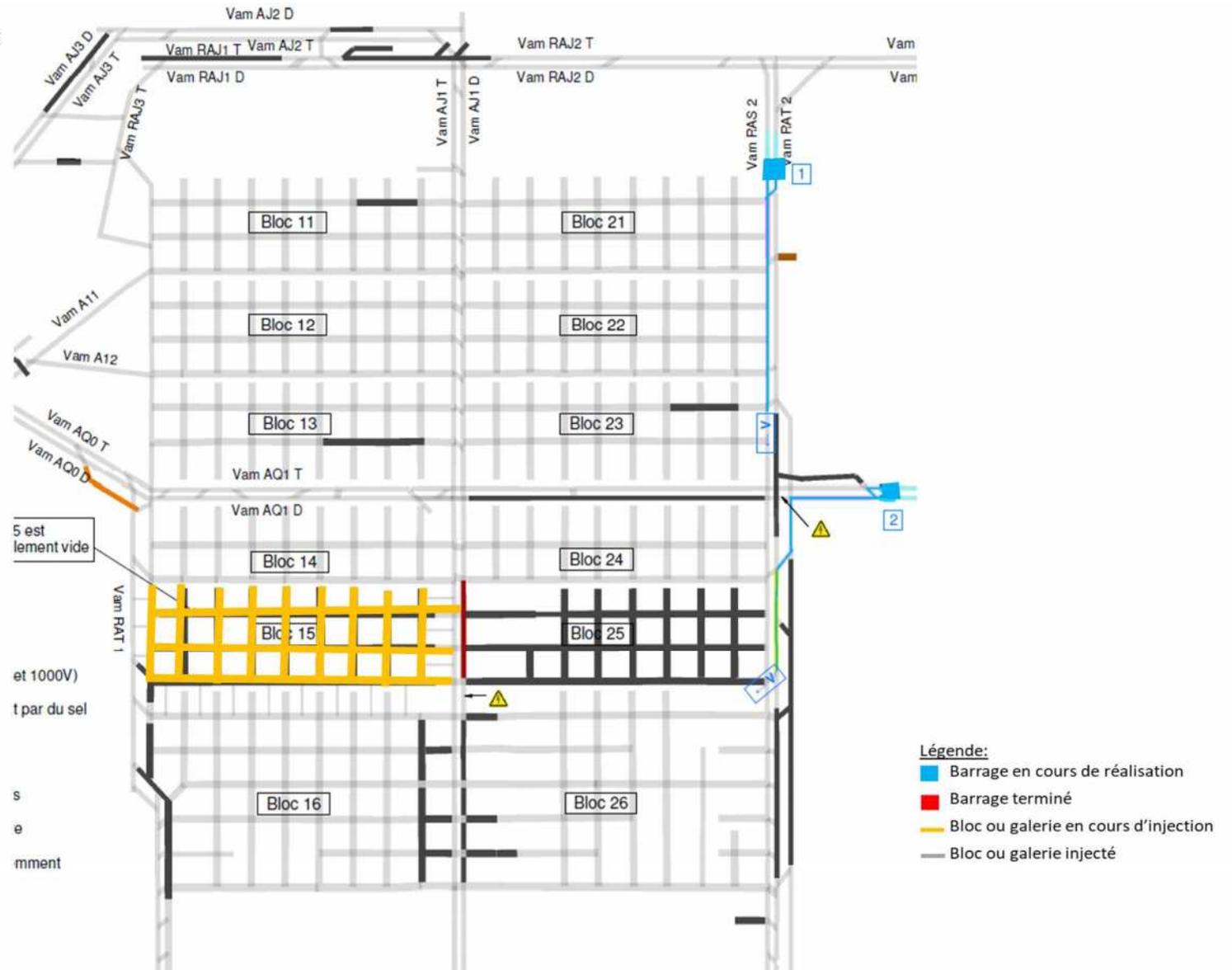
Scénario 1 – marché Travaux

Etat initial



Scénario 1 – marché Travaux

Phases 0 et 1:
 Barrages 1 et 2 en cours
 Injection bloc 15



Scénario 1 – marché Travaux

Phases 2 et 3:

Barrages 3 et 4 en cours

Injection bloc 26 partie nord

Galeries nord bloc 16 et centrale bloc 26 remblayées par du sel

Injection Galeries Vam RAS2 et VAM RAT2 partie nord



Légende:

- Barrage en cours de réalisation
- Barrage terminé
- Bloc ou galerie en cours d'injection
- Bloc ou galerie injecté

Scénario 1 – marché Travaux

Phases 4 et 5 :
Barrages 5, 6 et 7 en cours
Injection bloc 26 partie sud



Scénario 1 – marché Travaux

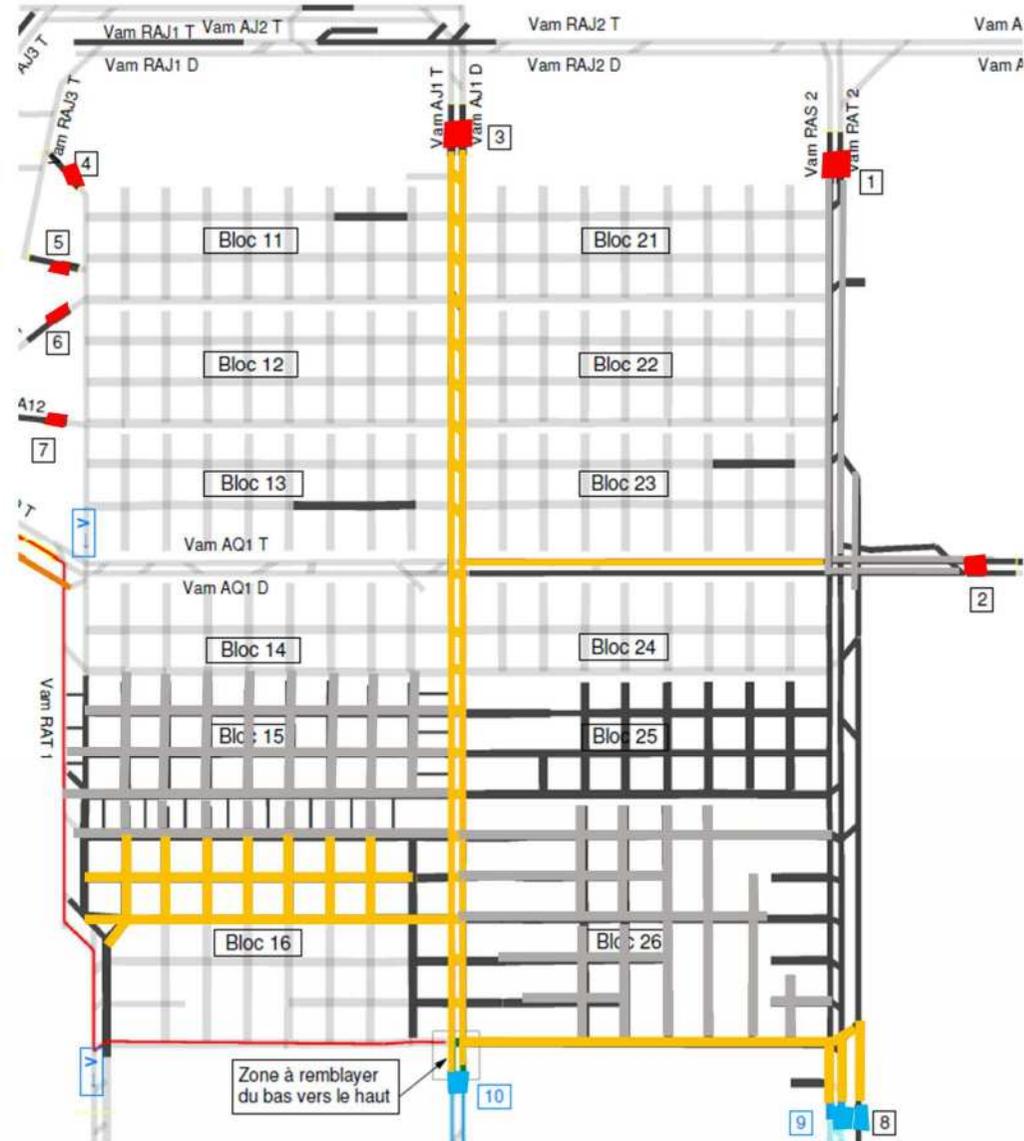
Phases 6, 7 et 8 :

Barrages 8, 9 et 10 en cours

Galeries sud bloc 26, centre bloc 16 et VAM RAS2, VAM RAT 2 et VAM RAT 2bis remblayées par le sel

Injection bloc 16 partie nord

Injection VAM AJ1 T, VAM AJ1 D et VAM AQ1 T



Légende:

- Barrage en cours de réalisation
- Barrage terminé
- Bloc ou galerie en cours d'injection
- Bloc ou galerie injecté

Scénario 1 – marché Travaux

Phases 9 et 10 :

Injection bloc 16 partie sud

Injection Galeries Vam AQ1. T et D et VAM RAT1 partie nord

Galerie VAM RAT1 sud remblayée par le sel



Légende:

- Barrage en cours de réalisation
- Barrage terminé
- Bloc ou galerie en cours d'injection
- Bloc ou galerie injecté

Scénario 1 – marché Travaux

Phase 11:
 Barrages 11 et 12 en cours

