



ArcelorMittal

# AMRetain V2

- A. Manuel d'installation**
- B. Manuel d'utilisation**
- C. Manuel technique**
- D. Tutoriels**

*AMRETAIN est un logiciel développé pour ArcelorMittal par*



terrasol

setec



# AMRetain

## A. MANUEL D'INSTALLATION

<b>A.1. Configuration matérielle minimale requise et paramètres requis .....</b>	<b>3</b>
A.1.1. Configuration matérielle minimale requise .....	3
A.1.2. Installation d'AMRetain v2 : Prérequis.....	3
A.1.3. Utilisation d'AMRetain v2 : Prérequis .....	3
<b>A.2. Installation AMRetain v2 .....</b>	<b>4</b>
<b>A.3. Activation de votre licence AMRetain v2.....</b>	<b>8</b>
A.3.1. Activation automatique / en ligne.....	8
A.3.2. Activation manuelle / hors ligne.....	9
A.3.3. Transférer une licence .....	13
<b>A.4. Mise à jour AMRetain v2.....</b>	<b>14</b>
<b>A.5. AMRetain v2 : désinstallation.....</b>	<b>15</b>



## A.1. Configuration matérielle minimale requise et paramètres requis

### A.1.1. Configuration matérielle minimale requise

Le fichier d'installation AMRetain v2 est conçu et distribué par TERRASOL. Il est adapté pour travailler dans les environnements suivants : Microsoft Windows® 7/8/10. Les lois sur la propriété intellectuelle sont pleinement applicables aux informations contenues dans le fichier d'installation.

Les spécifications matérielles minimales pour exécuter le programme AMRetain v2 sont les suivantes :

- 2 Go de RAM ;
- Un écran d'une résolution d'au moins 1280x720 pixels et 32 000 couleurs ;
- Microsoft® Windows® 7/8/10, 32 ou 64 bits ;
- 500 Mo d'espace disque disponible.

### A.1.2. Installation d'AMRetain v2 : Prérequis

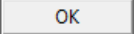
- L'utilisateur doit être connecté à sa session et lancer l'installation avec les droits d'administrateur afin d'effectuer l'installation AMRetain.
- Une connexion Internet est nécessaire pour procéder à l'activation en ligne de la licence AMRetain v2. Si votre système est protégé par un pare-feu ou un proxy, assurez-vous que le port 443 est ouvert. L'activation hors ligne est toujours possible si votre proxy ou pare-feu arrête l'activation en ligne (voir chapitre A.3).

### A.1.3. Utilisation d'AMRetain v2 : Prérequis

- Une connexion Internet n'est pas obligatoire pour utiliser AMRetain. Cependant, AMRetain v2 est fourni avec un outil de mise à jour (cf. chapitre A.4 et partie B du manuel), et il est conseillé de l'utiliser avec une connexion Internet de temps en temps pour obtenir les dernières mises à jour via cet outil.
- L'utilisateur doit avoir un contrôle total (lecture, écriture, etc.) sur le répertoire d'installation d'AMRetain v2 et sur le répertoire de travail (où les fichiers du projet AMRetain v2 sont enregistrés). Sinon, AMRetain v2 ne fonctionnera pas correctement.

## A.2. Installation AMRetain v2

Après avoir demandé une licence AMRetain v2 via le site Web correspondant, un e-mail contenant un lien vers le fichier d'installation AMRetain v2 vous est envoyé. Une fois que vous avez téléchargé et copié ce fichier sur le disque dur, il convient de suivre la procédure d'installation décrite ci-dessous.

- Exécuter le fichier Install\_AMRetain.exe.
- La fenêtre suivante s'affiche, choisir la langue « français » et cliquer sur  .

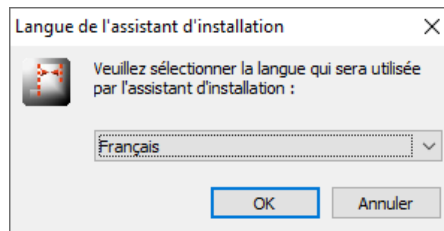
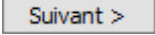


Figure 1 : Sélection de la langue de l'assistant d'installation

- La fenêtre suivante s'affiche. Après avoir lu les clauses de responsabilité, sélectionner "J'accepte le contrat" et cliquer sur  .

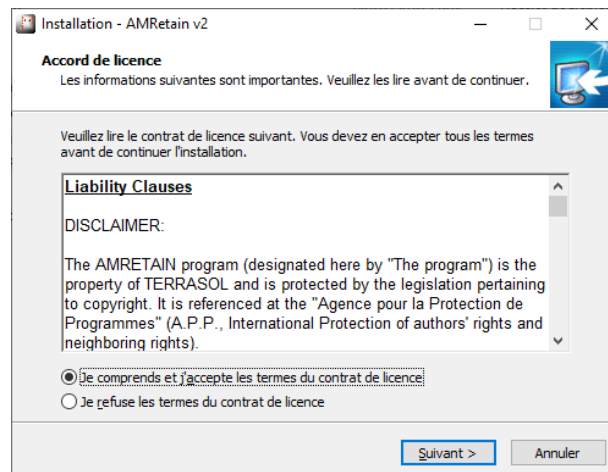


Figure 2 : Clauses de responsabilité

- Remplir les informations demandées et cliquer sur  .

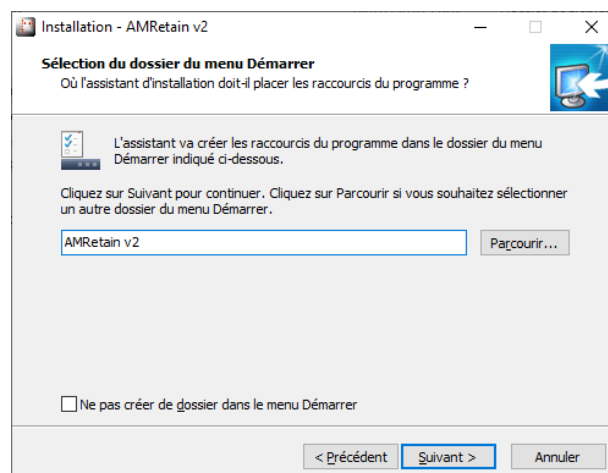


Figure 3 : Sélection du dossier du menu Démarrer

- Cocher les deux cases, puis cliquer sur **Suivant >**.

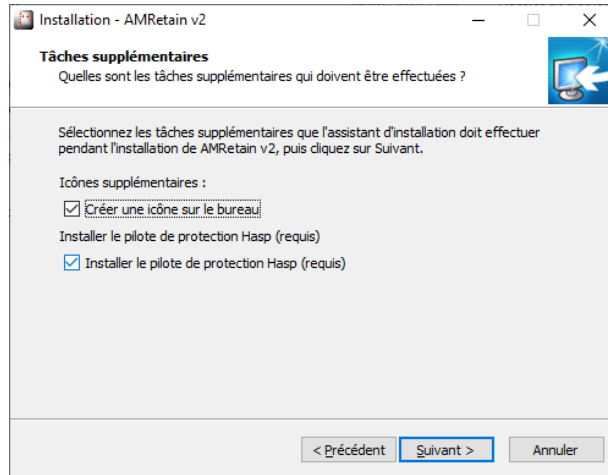


Figure 4 : Tâches supplémentaires d'installation

- Un écran de confirmation apparaît pour vérifier les paramètres d'installation. Cliquer sur **Installer** pour continuer.

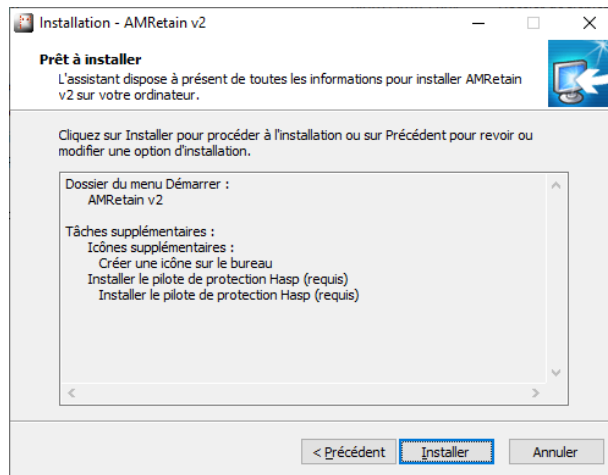


Figure 5 : Confirmation avant installation

- L'installation démarre :

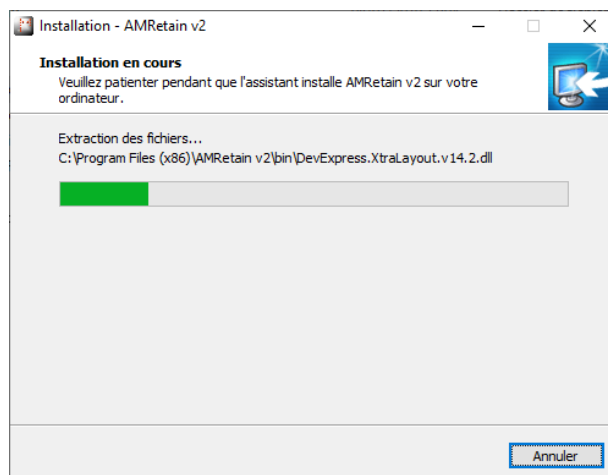
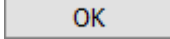


Figure 6 : Installation en cours

- A la fin de l'installation d'AMRetain, l'installation de Sentinel Run-time Environment se lance :



Figure 7 : Installation de l'environnement Sentinel Run-time

- L'installation de Sentinel se termine avec succès, cliquer sur  pour fermer cette fenêtre.

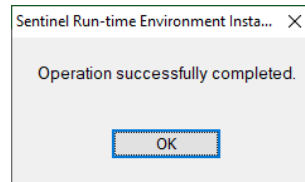


Figure 8 : Confirmation de l'installation de l'environnement Sentinel Run-time

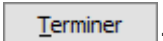
- Cliquer sur  .



Figure 9 : fin de l'installation d'AMRetain

**IMPORTANT** : L'utilisateur doit avoir un contrôle total (droits de lecture et d'écriture, etc.) sur le répertoire d'installation d'AMRetain v2 et sur le répertoire de travail (où les fichiers du projet AMRetain v2 seront enregistrés). Sinon, AMRetain v2 ne fonctionnera pas correctement.

**L'installation d'AMRetain v2 est maintenant terminée.**

**Remarque** : la grande variété de matériaux et de systèmes disponibles sur le marché ne permet pas de détailler tous les cas. En cas d'interruption de l'installation, il convient de répondre attentivement aux questions affichées par le système. Les boutons « Suivant » ou « Ignorer » permettent généralement de terminer l'installation avec succès.

**Informations complémentaires :**

- Le programme AMRetain v2 est fourni avec un outil appelé **Updater** qui permet d'obtenir automatiquement de nouvelles mises à jour d'AMRetain v2 et du catalogue de palplanches ArcelorMittal inclus dans AMRetain, cf. partie B du manuel pour plus d'informations sur l'outil Updater.
- Après l'installation d'AMRetain, un raccourci (via l'Updater) est disponible sur le bureau de l'ordinateur et 2 raccourcis sont disponibles dans le Menu/Start/Tous les programmes (un pour AMRetain v2 et un pour Manuel utilisateur).
- Des exemples de fichiers sont fournis avec AMRetain. Ils sont stockés dans le dossier « Exemples » (répertoire d'installation). La partie D du manuel fournit plus de détails sur ces exemples.
- Le manuel AMRetain v2 (versions française et anglaise) est fourni au format PDF dans le dossier « Manuels » (répertoire d'installation).

## A.3. Activation de votre licence AMRetain v2

Lors de votre première utilisation d'AMRetain, votre licence doit être « activée ». En effet, le programme est protégé par un dongle logiciel (Sentinel HASP) qui doit être activé.

### A.3.1. Activation automatique / en ligne

Pour cette activation :

- Une connexion Internet est obligatoire lors de la première utilisation d'AMRetain, afin de pouvoir activer votre licence. Elle n'est pas obligatoire par la suite.
- L'outil d'activation de licence utilise le port de communication 443. Le réseau de votre entreprise peut empêcher les communications via ce port (proxy ou pare-feu). Dans ce cas, le message « Votre licence n'a pas pu être activée. Veuillez vérifier votre connexion Internet et la clé de produit. » s'affichera lorsque vous tenterez d'activer votre licence. Dans ce cas, il convient de contacter votre service informatique pour ouvrir ce port.

La procédure d'activation est la suivante :

- Lors de de la première exécution d'AMRetain, la fenêtre suivante apparaît :

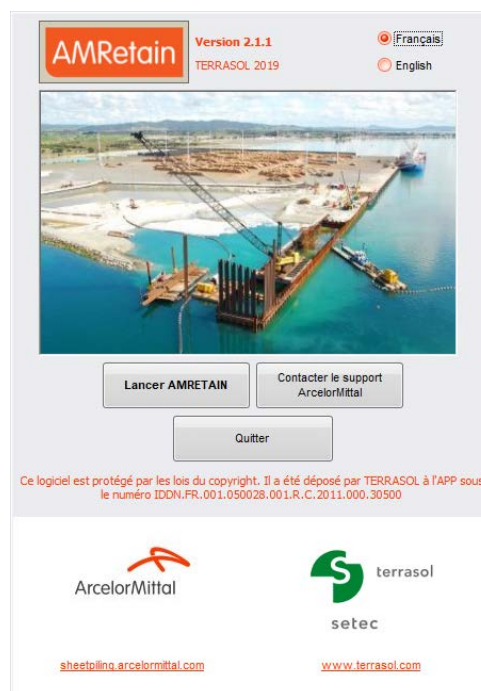
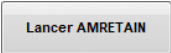


Figure 10 : Écran d'accueil AMRetain

- Cliquez sur  pour démarrer le processus d'activation.

- La fenêtre suivante s'affiche. Veuillez remplir le code de série, et cliquez sur

:

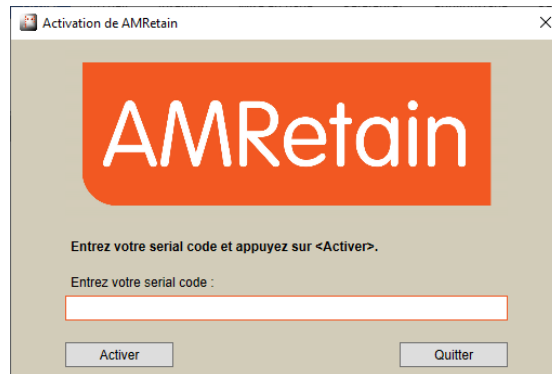


Figure 11 : Indiquer le code du produit (serial code)

- Le message suivant confirme que l'activation a été effectuée avec succès :

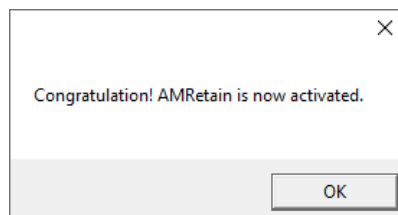


Figure 12 : Confirmation de l'activation de la licence

Note : chaque licence est attribuée à l'ordinateur sur lequel elle a été activée. Il n'est donc pas possible d'utiliser le même code produit (ou serial code) pour activer AMRetain v2 sur un autre ordinateur. Cependant, le code reste valide après une désinstallation et réinstallation AMRetain v2 sur le même ordinateur.

### A.3.2. Activation manuelle / hors ligne

Pour cette activation :

- Une connexion Internet est nécessaire mais pas nécessairement sur l'ordinateur où AMRetain v2 est installé.
- Créer l'empreinte digitale de l'ordinateur sur l'ordinateur où AMRetain v2 est installé.

La procédure d'activation est la suivante :

#### Sur l'ordinateur avec connexion Internet :

- Se connecter à l'URL <https://terrasol.sentinelcloud.com/ems/customerLogin.html>

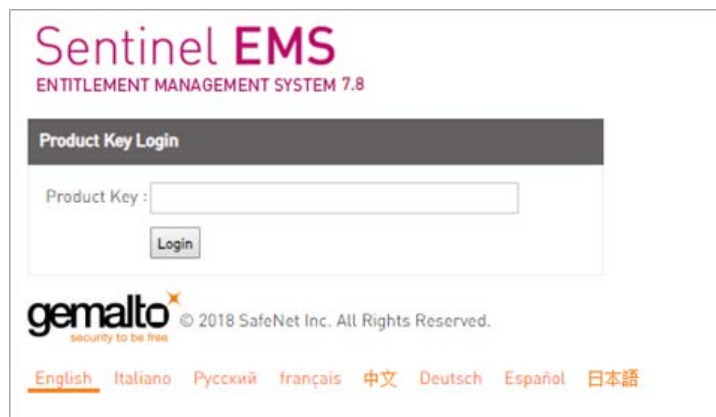
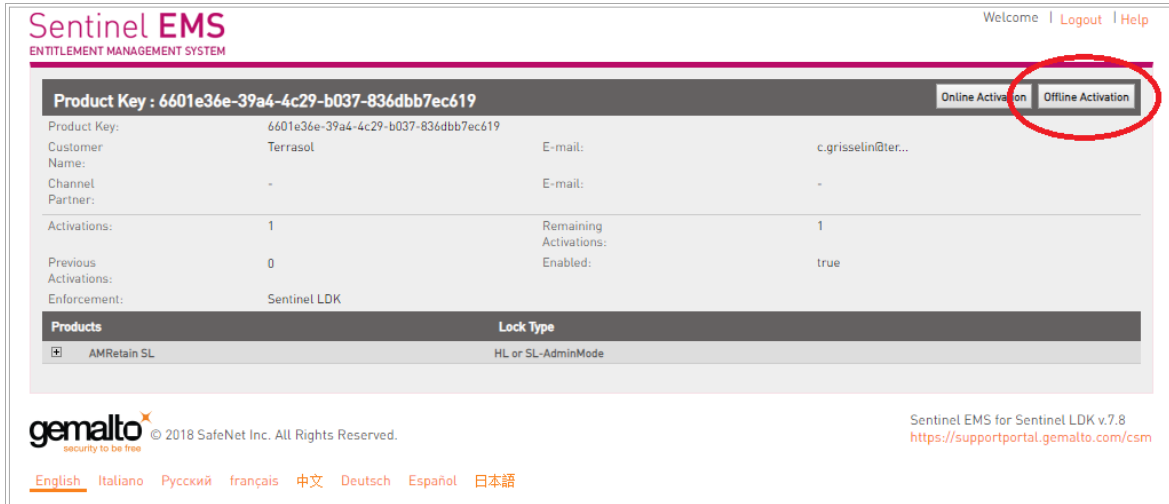


Figure 13 : Sentinel EMS : saisie du Product key

Saisir votre numéro de série dans le champ « Product Key » et cliquer sur  .

La page suivante apparaît, cliquer sur **Offline Activation** .

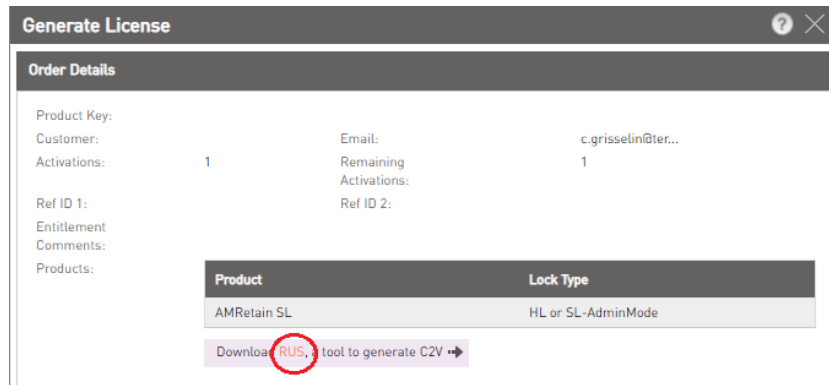


The screenshot shows the Sentinel EMS web interface. At the top right, there are links for 'Welcome', 'Logout', and 'Help'. The main content area displays the 'Product Key : 6601e36e-39a4-4c29-b037-836dbb7ec619' and a table of product details. The 'Offline Activation' button is circled in red. Below the table, there is a 'Products' section with a table showing 'AMRetain SL' and 'HL or SL-AdminMode'. At the bottom, there is a footer with the Gemalto logo and copyright information, and a list of languages including English, Italiano, Русский, français, 中文, Deutsch, Español, and 日本語.

Product	Lock Type
AMRetain SL	HL or SL-AdminMode

Figure 14 : Sentinel EMS : Offline activation

- Cliquer ensuite sur le lien **RUS** pour télécharger l'application **RUS\_WXOCX.exe**.



The screenshot shows the 'Generate License' window. It displays 'Order Details' including the Product Key, Customer Name, Email, and Activation counts. Below the details, there is a table with 'Product' and 'Lock Type' columns, showing 'AMRetain SL' and 'HL or SL-AdminMode'. At the bottom, there is a button labeled 'Download RUS...' which is circled in red.

Product	Lock Type
AMRetain SL	HL or SL-AdminMode

Figure 15 : Generate license : RUS

### Sur l'ordinateur où AMRetain v2 est installé :

- Exécuter **RUS\_WXOCX.exe** sur l'ordinateur où **AMRetain v2** est installé.

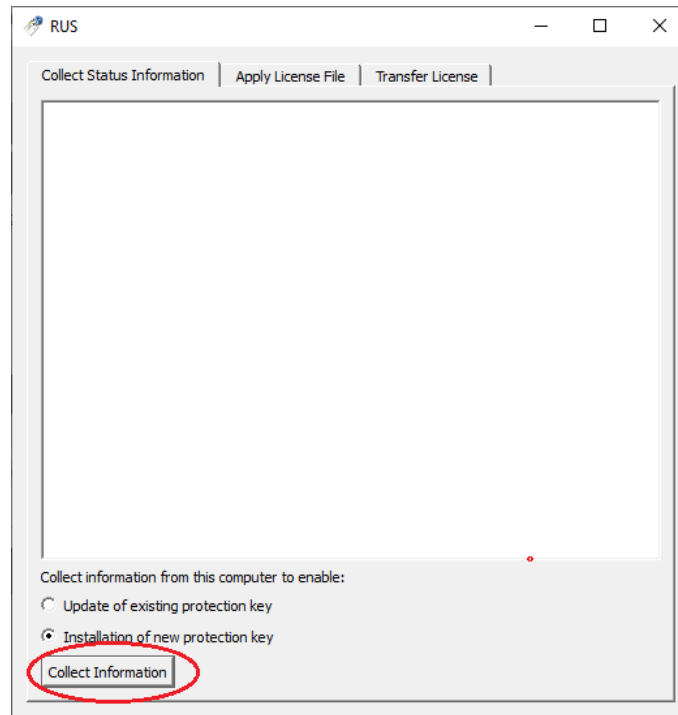


Figure 16 : RUS : Collect information

Choisir l'option « Installation of a new protection key » et cliquer sur **Collect Information** pour générer un fichier « .c2v ».

### Sur l'ordinateur avec connexion Internet :

Télécharger le fichier c2v sur le serveur et générer la licence.

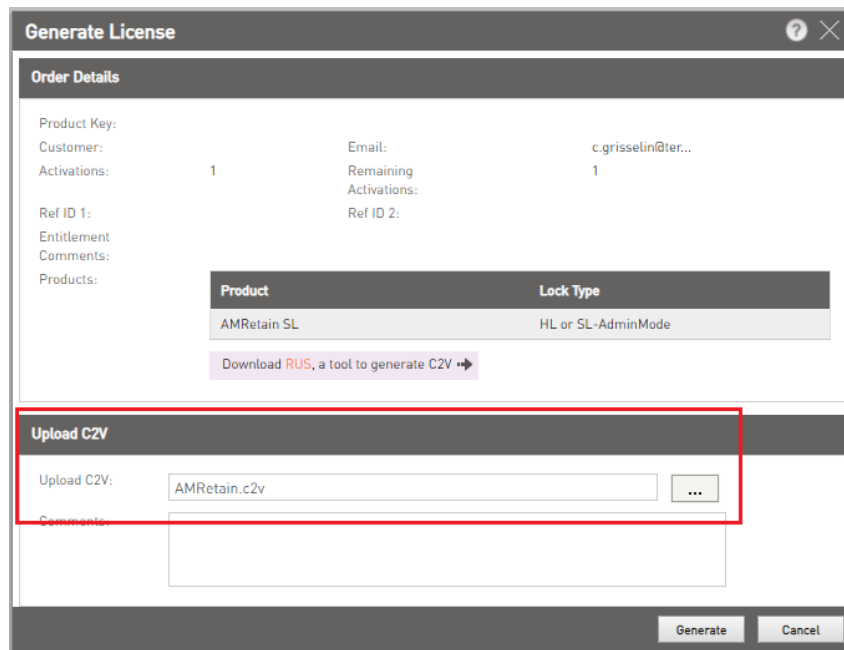


Figure 17 : Generate license : Upload C2V

- Cliquer sur le bouton **...** ;
- Sélectionner le fichier « .c2v » ;
- Puis cliquer sur **Generate** .

Le fichier est généré :

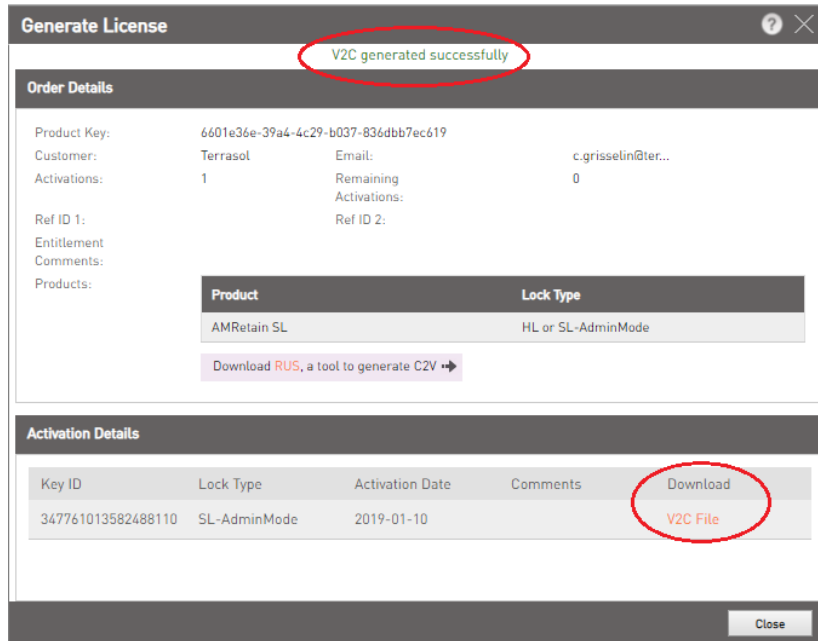


Figure 18 : Generate License : V2C generated successfully

**Sur l'ordinateur où AMRetain v2 est installé :**

- Exécuter à nouveau **RUS\_WXOCX.exe** et sélectionner l'onglet « Apply License File »

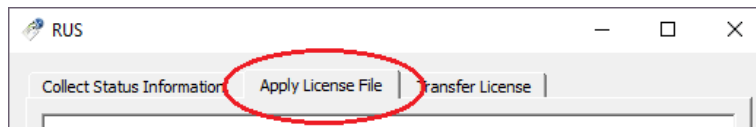


Figure 19 : RUS : Apply License File

- Si le champ **Mettre à jour fichier** est vide, cliquer sur le bouton **...** et sélectionner le fichier « .c2v ».
- Cliquer sur **Apply Update** pour appliquer les nouvelles données de licence.

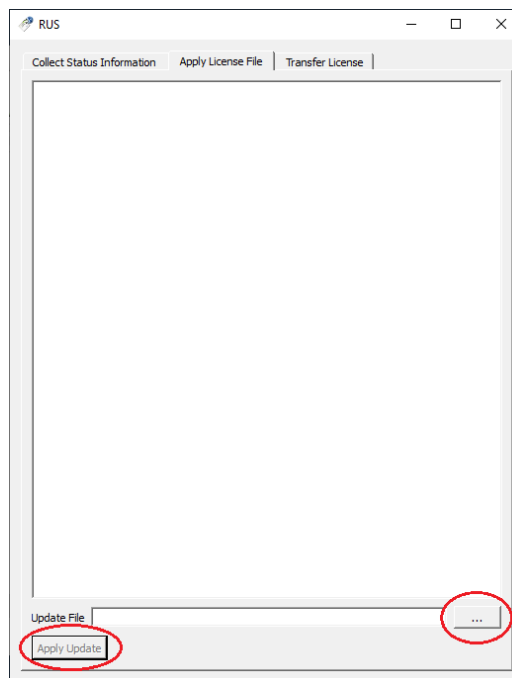


Figure 20 : RUS : Apply upload

Félicitations, votre licence AMRetain v2 est maintenant activée !

### A.3.3. Transférer une licence

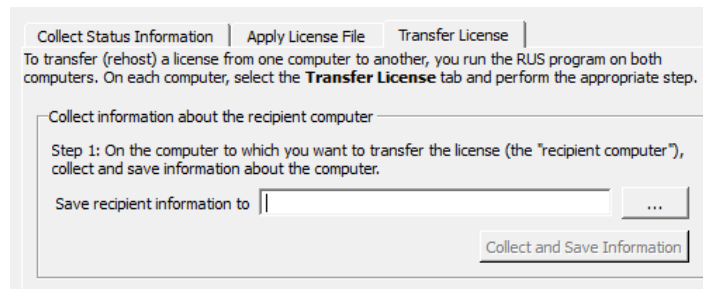
L'utilitaire **RUS\_WXOCX.exe** permet de transférer une licence d'un ordinateur (*ordinateur source*) à un autre (*ordinateur destinataire*). Cette procédure en trois étapes nécessite l'utilitaire **RUS\_WXOCX.exe** sur les deux ordinateurs.

Cette procédure de transfert nécessite les outils suivants :

- Une connexion Internet ;
- AMRetain v2 installé sur les deux ordinateurs ;
- RUS\_WXOCX.exe sur les deux ordinateurs.

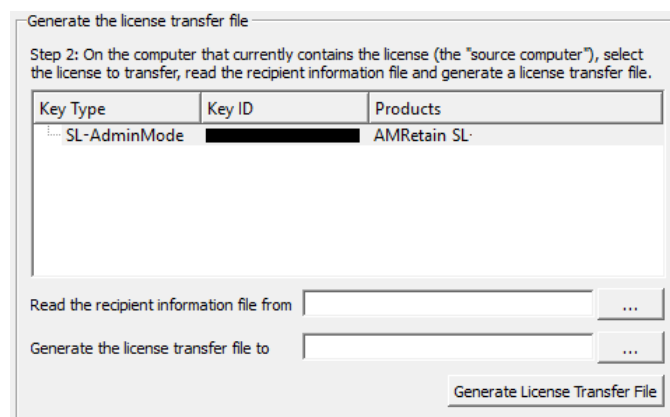
#### **Etape 1 : Collecter des informations sur l'ordinateur du destinataire**

- Sur l'ordinateur destinataire, lancer l'utilitaire **RUS\_WXOCX.exe**.
- Cliquer sur l'onglet **Transfer license** ;
- Suivre les instructions intitulées « Step 1 » pour recueillir des informations sur l'ordinateur et les enregistrer dans un fichier. Assurez-vous que le fichier (ou une copie du fichier) est accessible sur l'ordinateur source.



#### **Etape 2 : Générer le fichier de transfert de licence**

- Sur l'ordinateur source, lancer l'utilitaire **RUS\_WXOCX.exe**.
- Cliquer sur l'onglet **Transfer license**.
- Suivre les instructions intitulées « Step 2 » pour sélectionner la clé SL à transférer, lire le fichier d'informations du destinataire et générer un fichier de transfert de licence (« .h2h »). Assurez-vous que le fichier de transfert de licence (ou une copie du fichier) soit accessible sur l'ordinateur du destinataire. Après cette étape, la clé SL n'est plus valable sur l'ordinateur source.


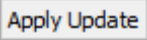


#### **IMPORTANT :**

Conserver une copie du fichier de transfert jusqu'à ce que la procédure de transfert soit terminée.

**Si ce fichier est perdu, votre licence est perdue !**

### **Etape 3 : Appliquer le fichier de transfert de licence**

- Sur l'ordinateur destinataire, dans l'**utilitaire RUS**, cliquer sur l'onglet **Apply License File**.
- Dans le champ « Update File », cliquer sur  et sélectionner le fichier de transfert de licence (« .h2h »).
- Cliquez sur  . La clé AMRetain v2 SL est installée sur l'ordinateur du destinataire.



#### **IMPORTANT :**

Pour assurer le succès de la procédure de transfert, toutes les étapes de la procédure doivent être accomplies en quelques jours.

### **A.4. Mise à jour AMRetain v2**

Le programme AMRetain v2 est fourni avec un outil appelé Updater, qui permet d'obtenir automatiquement de nouvelles mises à jour d'AMRetain et du catalogue de palplanches ArcelorMittal inclus dans AMRetain (si l'ordinateur est équipé d'une connexion Internet).

L'outil Updater se connecte automatiquement à un serveur et recherche les mises à jour AMRetain. Dans ce cas, l'utilisateur peut choisir de les installer.

Il est donc conseillé d'utiliser le raccourci pour exécuter AMRetain v2 via l'Updater, afin de s'assurer d'utiliser à tout moment la dernière version d'AMRetain v2 et du catalogue de palplanches ArcelorMittal.

Se référer à la partie B du manuel (section B.2.6) pour de plus amples informations sur l'outil Updater.

## A.5. AMRetain v2 : désinstallation

La procédure de désinstallation d'AMRetain v2 a été conçue pour que le programme puisse être complètement supprimé de votre ordinateur.

Suivre cette procédure uniquement pour supprimer complètement AMRetain v2 de votre ordinateur. AMRetain v2 pourra être réinstallé plus tard, si nécessaire.

### Procédure de désinstallation :

- Démarrer le **Panneau de configuration de Windows**® ;
- Cliquer sur **Programmes et fonctionnalités** ;
- Clic-droit sur **AMRetain v2, Désinstaller** ;
- La fenêtre suivante s'affiche :

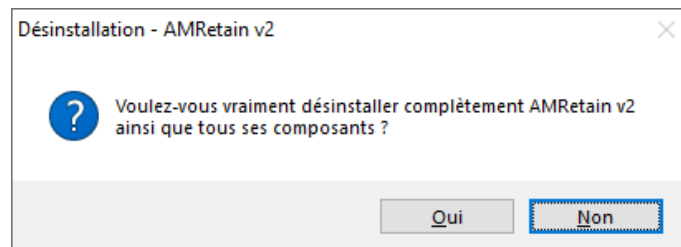


Figure 21 : Désinstallation d'AMRetain v2

- Cliquer sur  pour désinstaller AMRetain.

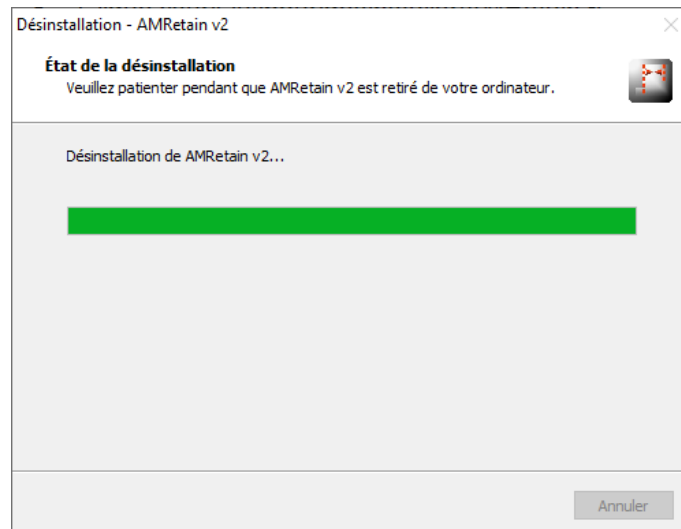


Figure 22 : Désinstallation complète d'AMRetain

Attendre que tous les fichiers AMRetain v2 aient été supprimés, et cliquer sur  pour terminer le processus.

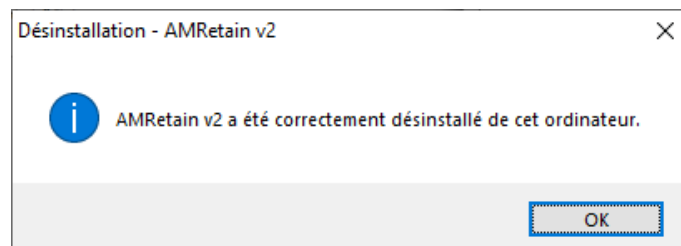


Figure 23 : Désinstallation : confirmation

Si des fichiers ont été modifiés ou ajoutés manuellement dans le dossier « Exemples », le répertoire d'installation et certains fichiers ne seront pas supprimés.

Il est alors conseillé de supprimer manuellement le répertoire d'installation d'AMRetain v2 (par défaut « C:\Program Files (x86)\AMRetain v2 ») et son contenu depuis l'explorateur de fichiers. Les raccourcis AMRetain v2 peuvent être supprimés du menu Démarrer/Programmes, le cas échéant.

**La désinstallation est maintenant terminée.**

# AMRetain

## B. MANUEL D'UTILISATION

<b>B.1. Introduction.....</b>	<b>8</b>
B.1.1. Présentation d'AMRetain.....	8
B.1.2. Conventions.....	9
B.1.2.1. Unités.....	9
B.1.2.2. Projets double-rideau.....	10
B.1.2.3. Conventions de signes.....	10
B.1.2.4. Conventions relatives aux actions du phasage.....	10
B.1.3. Extension des fichiers de données AMRetain v2.....	11
<b>B.2. Présentation générale de l'interface.....</b>	<b>12</b>
B.2.1. Fenêtre de lancement.....	12
B.2.2. Fenêtre principale.....	13
B.2.3. Les menus.....	14
B.2.3.1. Menu Fichier.....	14
B.2.3.2. Menu Données.....	15
B.2.3.3. Menu Assistants.....	16
B.2.3.4. Menus Cas de charges.....	16
B.2.3.5. Menus Calculer/Résultats/Vérifications.....	16
B.2.3.6. Menu Aide.....	17
B.2.3.7. Gestion du phasage.....	17
B.2.3.8. Raccourcis clavier.....	18
B.2.3.9. Menus contextuels.....	18
B.2.4. La barre de boutons et les lignes de menu.....	21
B.2.5. Procédure globale de définition d'un nouveau projet.....	22
B.2.6. Fonctionnement de l'updater.....	24
<b>B.3. Les données du projet.....</b>	<b>25</b>
B.3.1. Titre et Options.....	25
B.3.1.1. Options générales.....	25
B.3.1.2. Définition des coefficients partiels.....	27
B.3.2. Définition des couches de sol.....	30
B.3.2.1. Boîte de dialogue de définition des caractéristiques des sols.....	30
B.3.2.2. Assistants à la détermination des coefficients de poussée et butée des terres.....	33
B.3.2.3. Assistant de détermination des coefficients $k_{ac}$ et $k_{pc}$ .....	35
B.3.2.4. Assistants à la détermination du coefficient de réaction.....	36
B.3.2.5. Couleur des couches.....	40
B.3.3. Définition du rideau.....	41

B.3.4. Saisie des données pour les projets double-rideau .....	44
B.3.4.1. Titres et options (cas double-rideau).....	44
B.3.4.2. Définition des couches de sol pour un double-rideau.....	45
B.3.4.3. Définition des caractéristiques des deux rideaux .....	46
B.3.5. Définition des cas de charges .....	47
<b>B.4. Définition du phasage.....</b>	<b>49</b>
B.4.1. Présentation.....	49
B.4.2. Cadre de gestion des phases.....	49
B.4.3. Cadre de choix des actions .....	53
B.4.4. Cadre de définition des actions .....	56
B.4.5. Validation / Calcul / Résultats.....	57
B.4.6. Définition du phasage pour un projet de type « Ecran Simple » .....	58
B.4.6.1. Projets sans vérifications ELU .....	58
B.4.6.2. Projets avec vérifications ELU .....	59
B.4.7. Définition du phasage pour un projet de type « Double-Ecran ».....	61
<b>B.5. Description des actions définies au cours du phasage.....</b>	<b>62</b>
B.5.1. Action hydraulique.....	63
B.5.2. Actions « Travaux » .....	64
B.5.2.1. Excavation.....	64
B.5.2.2. Remblaiement .....	66
B.5.3. Caractéristiques des sols .....	69
B.5.3.1. Redéfinition des couches de sol .....	69
B.5.4. Caractéristiques du rideau .....	71
B.5.4.1. Action Modification du facteur betaD .....	71
B.5.4.2. Action Corrosion.....	72
B.5.5. Ancrages et appuis .....	72
B.5.5.1. Tirant.....	72
B.5.5.2. Buton.....	75
B.5.5.3. Encastrement .....	77
B.5.5.4. Liaison linéique.....	78
B.5.6. Chargement sur le sol et le rideau.....	80
B.5.6.1. Surcharge de Caquot.....	80
B.5.6.2. Surcharge de Boussinesq.....	82
B.5.6.3. Force linéique .....	84
B.5.6.4. Moment linéique .....	87
B.5.6.5. Charge trapézoïdale .....	89
B.5.7. Actions automatiques.....	91
B.5.7.1. Options MEL (Méthode aux Equilibres Limites) .....	91
B.5.7.2. Options ELU (MISS) .....	93
B.5.8. Séisme (calcul sismique).....	94
<b>B.6. Calculs et résultats .....</b>	<b>95</b>
B.6.1. Présentation générale .....	95
B.6.1.1. Calcul .....	95
B.6.1.2. Organigramme des calculs .....	95
B.6.1.3. Résultats pour un calcul sans vérifications ELU.....	96
B.6.1.4. Cas d'un calcul avec vérifications ELU .....	96
B.6.2. Calcul sans vérifications ELU.....	97
B.6.2.1. Résultats disponibles dans la fenêtre principale d'AMRetain .....	97
B.6.2.2. Fenêtre des résultats / Onglet « Données ».....	98

B.6.2.3. Fenêtre de résultats / Onglet « Synthèse des résultats » .....	98
B.6.2.4. Fenêtre des résultats / Onglet(s) « Enveloppe » .....	99
B.6.2.5. Résultats par phase : représentation graphique.....	100
B.6.2.6. Résultats par phase : tableaux de valeurs .....	102
B.6.3. Calcul avec vérifications ELU (résultats principaux) .....	103
B.6.3.1. Fenêtre principale .....	103
B.6.3.2. Résultats ELS par phase .....	105
B.6.3.3. Résultats ELU par phase : calcul MEL (rideau autostable) .....	105
B.6.3.4. Résultats ELU par phase : calcul MISS (rideau ancré) .....	107
B.6.4. Vérifications ELU.....	109
B.6.4.1. Vérification du défaut de butée .....	111
B.6.4.1.1. Cas d'un rideau ancré (calcul MISS) .....	111
B.6.4.1.2. Cas d'un rideau autostable (calcul MEL) .....	112
B.6.4.2. Vérification de l'équilibre vertical du rideau .....	113
B.6.4.2.2. Cas d'un rideau autostable (calcul MEL) .....	114
B.6.4.3. Vérification de la stabilité du massif d'ancrage.....	115
B.6.5. Projets double-rideau .....	116
B.6.5.1. Résultats principaux .....	116
B.6.5.2. Vérifications ELU .....	118
<b>B.7. Impressions.....</b>	<b>118</b>
B.7.1. Projets de type rideau simple sans vérifications à l'ELU.....	119
B.7.2. Projets de type rideau simple avec vérifications à l'ELU.....	120
B.7.3. Projets de type Double Rideau.....	122

## TABLE DES FIGURES

Figure B1 : Exemples de projets « rideau simple » .....	8
Figure B2 : Exemples de projets « double-rideau » .....	8
Figure B3 : Fenêtre de lancement d'AMRetain .....	12
Figure B4 : Fenêtre principale .....	13
Figure B5 : Menu principal.....	14
Figure B6 : Menu Fichier .....	14
Figure B7 : Options du programme .....	15
Figure B8 : Menu Données.....	15
Figure B9 : Menu Assistants.....	16
Figure B10 : Menu Calcul/Résultats .....	16
Figure B11 : Menu Aide.....	17
Figure B12 : Menu de gestion du phasage .....	17
Figure B13 : Menu Aide.....	18
Figure B14 : Menu contextuel du tableau de résultats .....	19
Figure B15 : Menu contextuel du tableau de définition des couches de sol .....	20
Figure B16 : Projet double-rideau : Liste d'actions.....	23
Figure B17 : Boîte de dialogue « Titre et Options » (projet rideau simple) .....	25
Figure B18 : Boîte de dialogue « Options de calcul avancées » .....	26
Figure B19 : Boîte de dialogue de définition des coefficients partiels.....	27
Figure B20 : Boîte de dialogue des caractéristiques des couches de sol.....	30
Figure B21 : Tables de poussée et de butée des terres de Kerisel et Absi .....	33
Figure B22 : Calcul des coefficients de poussée par la méthode du coin de Coulomb .....	34
Figure B23 : Calcul des coefficients de poussée par la méthode de Rankine .....	35
Figure B24 : Calcul des coefficients $k_{ac}/k_{pc}$ .....	36
Figure B25 : Calcul du coefficient de réaction - Méthode de Balay sélectionnée .....	37
Figure B26 : Détermination du paramètre rhéologique $\alpha$ .....	37
Figure B27 : Figure d'aide pour la définition du paramètre dimensionnel $a$ .....	38
Figure B28 : Calcul du coefficient de réaction - Méthode de Schmitt sélectionnée .....	39
Figure B29 : Détermination du coefficient de réaction à partir des abaques de Chadeisson .....	39
Figure B30 : Choix des couleurs pour les couches de sol.....	40
Figure B31 : Définition du rideau .....	41
Figure B32 : Schéma type d'une palplanche de type « Standard Z ».....	41
Figure B33 : Schéma type d'une palplanche de type « Standard U » .....	42
Figure B34 : Cadre de définition du facteur de réduction betaD pour une palplanche de type Standard U .....	42
Figure B35 : Schéma type d'un rideau combiné .....	43
Figure B36 : Schéma type d'un rideau à redans .....	43
Figure B37 : Message affiché en cas de référence qui ne serait plus disponible au catalogue .....	43
Figure B38 : Boîte de dialogue « Titre et Options » (projet double rideau).....	44
Figure B39 : Boîte de dialogue des caractéristiques des couches de sol – Projet double rideau.....	45
Figure B40 : Fenêtre de définition du rideau – Projet double-rideau .....	46
Figure B41 : Fenêtre de définition des familles et des combinaisons de charges .....	47
Figure B42 : Fenêtre de Résultats permettant l'accès aux résultats par combinaisons de charges .....	48
Figure B43 : Fenêtre de Vérifications à l'EC7 permettant l'accès aux résultats par combinaisons de charges.....	48
Figure B44 : Fenêtre principale – Gestion du phasage.....	49
Figure B45 : Zones de gestion du phasage .....	50
Figure B46 : Menu de gestion du phasage .....	50

Figure B47 : Onglet « Commentaires » .....	51
Figure B48 : Onglet « Paramétrage du dessin » .....	51
Figure B49 : Onglet Paramétrage du dessin (exemples de paramètres d'affichage de certaines actions) .....	52
Figure B50 : Cadre de choix des actions pour une phase de calcul.....	53
Figure B51 : Sélection de l'action Buton .....	54
Figure B52 : Définition des paramètres d'une action .....	54
Figure B53 : : Indications sur l'origine d'invalidités de saisie.....	55
Figure B54 : Cadre de choix des actions pour une phase de calcul (cas d'un projet avec vérifications ELU).....	55
Figure B55 : Cadre de définition des actions (exemple d'une excavation) .....	56
Figure B56 : Phase initiale.....	58
Figure B57 : Création et affichage de la phase 1 d'un projet .....	59
Figure B58 : Exemple de données supplémentaires pour les projets avec vérifications ELU dans le cas d'une phase où le rideau est considéré comme autostable .....	60
Figure B59 : Projet double-rideau : choix de l'Ecran 1 / Ecran 2.....	61
Figure B60 : Projet double-rideau : affichage des actions propres à chaque rideau.....	61
Figure B61 : Exemple de définition d'un gradient hydraulique .....	63
Figure B62 : Cadre de définition de l'action hydraulique .....	64
Figure B63 : Définition des conditions hydrauliques : régime hydrostatique (à gauche) et gradient hydraulique (à droite).....	64
Figure B64 : Définition d'une excavation .....	64
Figure B65 : Définition d'une excavation sous forme de talus (à gauche) ou de risberme (à droite).....	65
Figure B66 : Figures d'aide pour une action de remblaiement après une géométrie de type talus (à gauche) ou de type risberme (à droite) .....	66
Figure B67 : Zone de définition d'un remblaiement.....	67
Figure B68 : Possibilité d'importer les propriétés d'une couche de sol définie précédemment .....	67
Figure B69 : Fenêtre de définition du sol de remblaiement.....	68
Figure B70 : Fenêtre pour redéfinir une couche de sol en cours de phasage .....	70
Figure B71 : Cadre de modification du facteur de réduction betaD pour une palplanche de type Standard U .....	71
Figure B72 : Cadre de modification du produit d'inertie .....	72
Figure B73 : Comportement d'un tirant avec précontrainte.....	72
Figure B74 : Aides de l'assistant tirant - Schémas de principe.....	74
Figure B75 : Désactivation d'un tirant .....	75
Figure B76 : Définition d'un bouton et assistant correspondant .....	75
Figure B77 : Aide de l'assistant bouton – Schémas de principe.....	76
Figure B78 : Modification d'un bouton .....	76
Figure B79 : Désactivation d'un bouton .....	77
Figure B80 : Modification d'un encastrement.....	78
Figure B81 : Désactivation d'un encastrement .....	78
Figure B82 : Définition d'une liaison linéique et assistant correspondant .....	79
Figure B83 : Modification d'une liaison linéique .....	79
Figure B84 : Désactivation d'une liaison linéique.....	80
Figure B85 : Définition de la surcharge de Caquot .....	81
Figure B86 : Modification d'une surcharge de Caquot .....	81
Figure B87 : Désactivation d'une surcharge de Caquot.....	82
Figure B88 : Schéma de principe d'une surcharge de Boussinesq .....	82
Figure B89 : Définition de la surcharge de Boussinesq.....	83
Figure B90 : Modification d'une surcharge de Boussinesq .....	84
Figure B91 : Désactivation d'une surcharge de Boussinesq .....	84
Figure B92 : Schéma de principe d'une force linéique .....	84

Figure B93 : Définition d'une force linéique .....	85
Figure B94 : Modification d'une force linéique .....	86
Figure B95 : Désactivation d'une force linéique .....	86
Figure B96 : Schéma de principe d'un moment .....	87
Figure B97 : Définition d'un moment linéique .....	87
Figure B98 : Modification d'un moment linéique .....	88
Figure B99 : Désactivation d'un moment linéique .....	89
Figure B100 : Définition d'une charge trapézoïdale .....	90
Figure B101 : Modification d'une charge trapézoïdale .....	90
Figure B102 : Désactivation d'une charge trapézoïdale.....	91
Figure B103 : Modification des paramètres de surexcavation.....	91
Figure B104 : Modification des paramètres de la méthode de calcul .....	92
Figure B105 : Modification du côté de la butée.....	92
Figure B106 : Modification des caractéristiques de la contrebutée dans le cadre d'un calcul MEL .....	92
Figure B107 : Modification des paramètres de surexcavation.....	93
Figure B108 : Modification des paramètres de surexcavation.....	93
Figure B109 : Phasage de calcul avec traitement des phases avec séisme .....	94
Figure B110 : Organigramme de calcul et résultats obtenus pour chaque type de calcul .....	95
Figure B111 : Affichage des résultats MISS (sans vérifications ELU) dans la fenêtre principale.....	97
Figure B112 : Fenêtre des résultats : onglet « Données » .....	98
Figure B113 : Affichage du tableau de synthèse des résultats (rideau simple, sans vérifications ELU) .....	98
Figure B114 : Affichage des enveloppes pour les phases 1 à 5.....	99
Figure B115 : Affichage des résultats d'une phase sous forme de graphiques (rideau simple, sans vérifications ELU) .....	100
Figure B116 : Exemple d'affichage de la pression différentielle (à gauche) et d'affichage décomposé des pressions (à droite).....	101
Figure B117 : Affichage des résultats d'une phase de calcul sous forme de tableau .....	102
Figure B118 : Résultats ELU d'une phase où le rideau est autostable (calcul MEL) – Les déplacements ne sont pas affichés.....	103
Figure B119 : Résultats ELU d'une phase où le rideau est ancré (calcul MISS) .....	104
Figure B120 : Affichage des résultats ELS dans la fenêtre des résultats .....	105
Figure B121 : Fenêtre des résultats - Résultats ELU (MEL) - Graphiques .....	106
Figure B122 : Fenêtre des résultats - Résultats ELU (MEL) – Tableaux.....	106
Figure B123 : Fenêtre des résultats – Synthèse des résultats à l'ELU pour des phases en console uniquement .....	107
Figure B124 : Fenêtre des résultats - Résultats ELU (calcul MISS) - Graphiques.....	108
Figure B125 : Fenêtre des résultats - Résultats ELU (calcul MISS) - Tableaux .....	108
Figure B126 : Fenêtre des résultats – Synthèse des résultats ELU pour un projet avec phases en console et phases ancrées .....	109
Figure B127 : Fenêtre d'affichage des résultats des vérifications ELU .....	110
Figure B128 : Vérification ELU – Résultats de la vérification du défaut de butée – Phase ancrée (calcul MISS) .....	111
Figure B129 : Vérification ELU – Résultats de la vérification du défaut de butée – Phase autostable (calcul MEL).....	112
Figure B130 : Vérification ELU – Bilan de l'équilibre vertical – Ecran ancré (calcul MISS).....	113
Figure B131 : Vérification ELU – Bilan de l'équilibre vertical – Ecran autostable (calcul MEL) .....	114
Figure B132 : Vérifications à l'ELU – Vérification stabilité d'ancrage (méthode Kranz) .....	115
Figure B133 : Fenêtre principale – Résultats d'un projet double-rideau.....	116
Figure B134 : Fenêtre principale – Résultats d'un projet double-rideau.....	117
Figure B135 : Fenêtre des résultats –Cas d'un projet double-rideau .....	117

Figure B136 : Assistant d'impression pour un projet rideau Simple sans vérifications ELU .....	119
Figure B137 : Exemple d'impression de la synthèse graphique du phasage .....	120
Figure B138 : Assistant d'impression pour un projet rideau simple avec vérifications à l'ELU, avec sélection des résultats à l'ELS pour l'impression .....	121
Figure B139 : Assistant d'impression pour un projet rideau simple avec vérifications à l'ELU, avec sélection des résultats à l'ELU pour l'impression .....	121
Figure B140 : Assistant d'impression pour un projet Double Rideau.....	122
Figure B141 : Extrait d'une impression de synthèse graphique du phasage pour un projet double-rideau .....	123

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau B.1 : Correspondance des systèmes d'unités métrique et impérial .....	9
Tableau B.2 : Valeurs par défaut des jeux de coefficients partiels proposés dans l'Eurocode 7 .....	29
Tableau B.3 : Actions disponibles pour la définition du phasage .....	62
Tableau B.4 : Critères de définition des niveaux d'excavation et remblaiement après une géométrie du terrain naturel de type talus ou risberme .....	66

## B.1. Introduction

### B.1.1. Présentation d'AMRetain

AMRetain permet d'étudier le comportement des rideaux de palplanches soumis à une série de phases de construction par la méthode de calcul aux coefficients de réaction.

AMRetain permet d'analyser deux types de projets :

- Projets « **Rideau simple** » : comprenant un seul rideau de soutènement ;

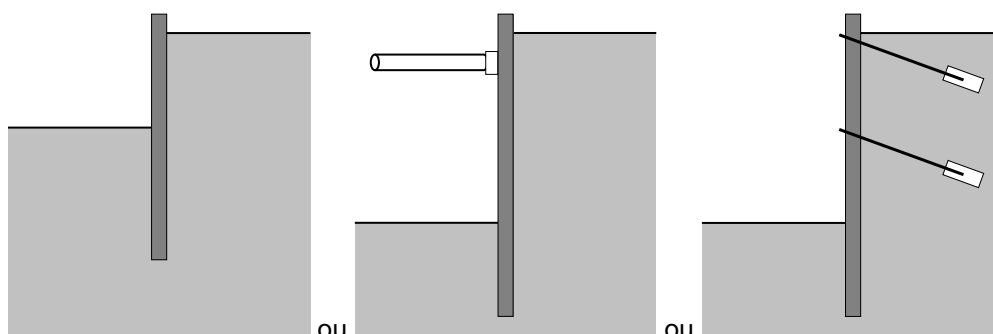


Figure B1 : Exemples de projets « rideau simple »

- Projets « **Double-rideau** » : comprenant deux rideaux liés par un ensemble de liaisons.

Nota : on désigne par double-rideaux dans ce manuel à la fois les double-rideaux et les contre-rideaux.

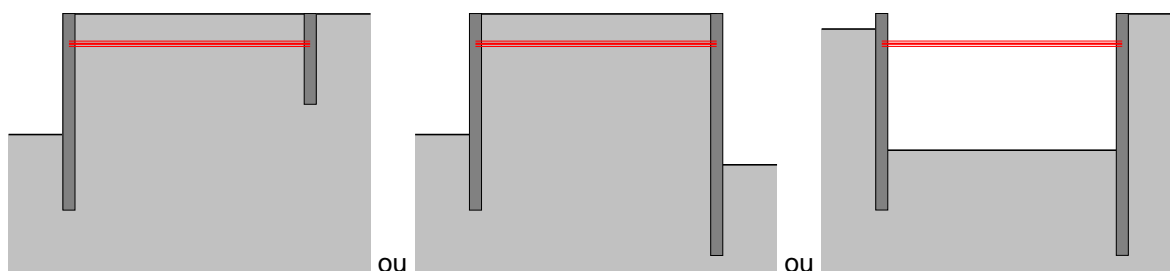


Figure B2 : Exemples de projets « double-rideau »

AMRetain fonctionne dans l'environnement Windows®, ce qui confère à l'interface une utilisation intuitive et une réelle simplicité pour la saisie de données. De plus, l'affichage graphique du phasage de calcul permet de contrôler en « temps réel » la saisie des actions validées.

Les principales étapes de définition d'un projet sont les suivantes :

1. Définition des données générales du projet : choix du type de projet (rideau simple ou double-rideau), du système d'unités (métrique ou impérial), des options hydrauliques, de la prise en compte des effets de 2<sup>nd</sup> ordre et de l'activation des vérifications ELU ;
2. Définition des caractéristiques des couches de sol (nombreux assistants sont disponibles) ;

3. Définition des propriétés du rideau (plusieurs assistants sont disponibles) ;
4. Définition du phasage de calcul : création des phases et choix des actions à appliquer dans chaque phase (excavations, mise en place d'ancrages, etc.) ;
5. Lancement des calculs ;
6. Affichage des résultats.

La partie A du manuel est dédiée à la démarche d'installation du logiciel AMRetain.

Cette partie B présente l'ensemble des éléments de l'interface et récapitule les manipulations à opérer pour définir et exploiter tout projet AMRetain.

La partie C du manuel est consacrée à la notice technique définissant le cadre théorique des méthodes de calcul utilisées dans AMRetain.

La partie D fournit les exemples d'application, tutoriels et manipulations de l'interface de AMRetain.

## B.1.2. Conventions

### B.1.2.1. Unités

Deux systèmes d'unités sont proposés dans AMRetain : le système métrique et le système impérial. Le système métrique se décline lui-même en 3 sous-systèmes basés sur les kN, MN ou t. Le système d'unités est choisi pour chaque projet dans le Menu **Données, Titre et Options**.



**Les calculs menés par AMRetain sont établis pour une longueur unitaire du rideau, ainsi la quasi-totalité des données et des résultats se rapportent à cette convention. L'unité /m (par mètre) ou /ft (par pied) est rappelée de manière explicite dans tous les paramètres définis par longueur unitaire (données et résultats). L'absence de ce suffixe (/m ou /ft) signifie que le paramètre en question ne s'exprime pas en termes de la longueur unitaire.**

Le tableau ci-dessous donne les correspondances pour chaque type de grandeur entre le système d'unités « métrique (kN) » et le système « impérial ». Le suffixe (/m) ou (/ft) est rajouté en plus dans les grandeurs exprimées par unité de longueur ou de surface.

Grandeur	Unité dans le système métrique	Unité dans le système impérial
Distance ou cote	m	Ft
Déplacement	mm	In
Force et effort	kN/m	kip/ft
Pression	kN/m/m	kip/ft/ft
Poids volumique	kN/m <sup>3</sup>	Kcf
Produit d'inertie	kNm <sup>2</sup> /m	kip.ft <sup>2</sup> /ft
Raideur linéique	kN/m/m	kip/ft/ft
Raideur surfacique	kN/m <sup>2</sup> /m	ksf/ft
Moment	kN.m/m	kip.ft/ft

Tableau B.1 : Correspondance des systèmes d'unités métrique et impérial

Dans ce manuel, les unités correspondant à chaque type de donnée ou de résultat seront indiquées en système « métrique (kN) » et en système « impérial ». Toutefois le système « métrique (t) » est également disponible dans le logiciel.

### B.1.2.2. Projets double-rideau

Dans le cadre des projets double-rideau, AMRetain utilise la notation **Ecran 1** pour désigner le rideau de **gauche** et la notation **Ecran 2** pour désigner le rideau de **droite**.

Il est recommandé de définir pour le rideau 1 celui qui aura le phasage de construction le plus long. Il ne s'agit pas d'une obligation, mais d'une simple recommandation qui permet d'optimiser les manipulations lors de la définition du phasage.

Dans le cadre d'un projet double-rideau, chaque côté du rideau est identifié par convention avec la notation suivante :

- « **Gauche** » ou « **Droite/E.2R** » pour le rideau 1 (rideau de gauche) ;
- « **Gauche/E.2R** » ou « **Droite** » pour le rideau 2 (rideau de droite).

### B.1.2.3. Conventions de signes

Celles-ci sont décrites dans la partie C du manuel.

### B.1.2.4. Conventions relatives aux actions du phasage

Toutes les actions du phasage sont représentées graphiquement sur l'interface d'AMRetain. Ce qui est pris en compte dans le calcul correspond donc à ce qui est représenté sur l'interface.

Tout projet AMRetain est constitué d'une phase initiale et d'un ensemble de phases courantes. Comme son nom l'indique, la phase initiale sert à définir l'état du terrain avant toute interaction du sol avec le rideau, autrement dit c'est une phase d'initialisation des contraintes. Seule l'action « Surcharge de Caquot » est disponible.

Pendant les phases courantes, une multitude d'actions sont proposées. Ces dernières sont rassemblées formes de groupes d'actions traitant chacun un aspect du problème étudié.

L'ensemble de ces actions sont synthétisées dans le tableau suivant :

Groupe	Actions
Hydraulique	Action hydraulique <sup>(1)</sup>
Travaux	Excavation <sup>(1)</sup> Remblaiement <sup>(1)</sup>
Caractéristiques des sols	Redéfinition des couches de sol <sup>(2)</sup>
Caractéristiques du rideau	Assistant corrosion
Ancrages et appuis	Tirant <sup>(3)</sup> Buton <sup>(3)</sup> Encastrement <sup>(4)</sup> Liaison linéique <sup>(5)</sup>
Chargement sur le sol et le rideau	Surcharge de Caquot <sup>(6)</sup> Surcharge de Boussinesq <sup>(6)</sup> Force linéique <sup>(6)</sup> Moment linéique <sup>(6)</sup> Charge trapézoïdale <sup>(6)</sup>

L'action (X) est applicable :

- (1) Une seule fois par phase / rideau / côté. Dans une phase donnée, les actions "Excavation" et "Remblaiement" ne peuvent pas coexister d'un seul côté du rideau ;
- (2) Une seule fois par phase / rideau / côté / couche de sol ;
- (3) Par phase / rideau / côté autant de fois que nécessaire. Cette action est en plus modifiable et/ou désactivable au cours du phasage ;
- (4) Par phase / rideau autant de fois que nécessaire. Cette action est en plus modifiable et/ou désactivable au cours du phasage ;
- (5) Par phase autant de fois que nécessaire. Elle est accessible uniquement dans les projets double-rideau. Cette action est en plus modifiable et/ou désactivable au cours du phasage ;
- (6) Par phase / rideau autant de fois que nécessaire. Cette action est en plus modifiable et/ou désactivable au cours du phasage.

L'ensemble des actions sont présentées en détail dans le chapitre B.5.

### B.1.3. Extension des fichiers de données AMRetain v2

Les fichiers de données AMRetain v2 ont pour extension **.AM2**. Seul ce fichier est nécessaire lorsque vous souhaitez échanger vos données de calcul avec un autre utilisateur AMRetain v2.

AMRetain v2 permet la relecture et l'importation des projets AMRetain v1. Les fichiers de données AMRetain v1 ont pour extension **.KPJ**.

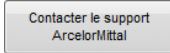
## B.2. Présentation générale de l'interface

### B.2.1. Fenêtre de lancement



Figure B3 : Fenêtre de lancement d'AMRetain

La fenêtre de lancement permet de :

- Choisir la langue qui sera utilisée par l'interface d'AMRetain ;
- Lancer le logiciel AMRetain. Si vous ne disposez d'aucune licence, vous n'aurez accès qu'au mode de démonstration ;
- Contacter le support Arcelor Mittal en cliquant sur le bouton  ;
- Accéder au site internet de Terrasol (en cliquant sur le logo Terrasol) ;
- Accéder au site internet d'AcerlorMittal (en cliquant sur le logo).

La version installée d'AMRetain est également indiquée.

## B.2.2. Fenêtre principale

La fenêtre principale d'AMRetain permet d'accéder à l'ensemble des fonctionnalités disponibles pour la définition d'un projet. Les fenêtres secondaires correspondent aux fenêtres de saisie des données, aux assistants ou aux résultats.

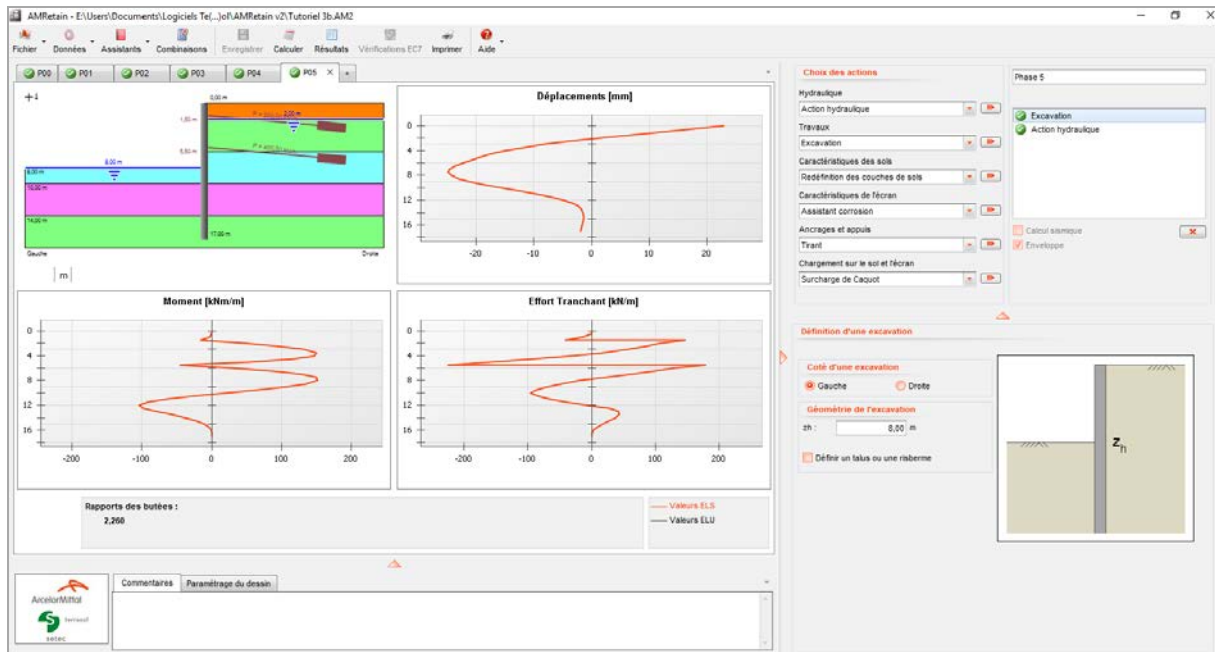


Figure B4 : Fenêtre principale

Sur la fenêtre principale sont affichés :

- La barre de titre qui spécifie le nom et le chemin du fichier du projet ;
- La barre de menus, décrite en détail au chapitre B.2.3 ;
- La barre de boutons et des lignes de menu, présentée au chapitre B.2.4 ;
- La coupe du projet, présentée sous forme d'un onglet par phase ;
- Le cadre de gestion du phasage, détaillé au chapitre B.4 ;
- Un onglet "Commentaires" qui s'imprimera dans la synthèse graphique de la phase (1 commentaire par phase) ;
- Un onglet "Paramètres de dessin" permettant l'affichage des caractéristiques des actions. Cet onglet agit sur l'ensemble du projet ;
- L'unité et la cote (ou profondeur), correspondant à la position de la souris lorsque celle-ci se trouve sur le dessin de la coupe du projet, s'affichent en bas à gauche du graphique.

## B.2.3. Les menus

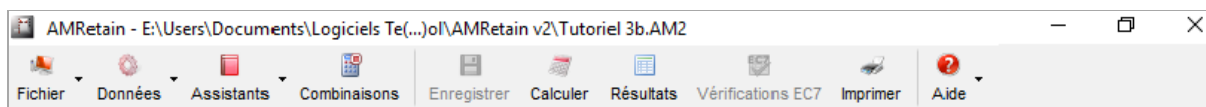


Figure B5 : Menu principal

Les menus sont accessibles par simple clic sur leur intitulé et peuvent faire apparaître des sous-menus. Ils permettent de gérer l'ensemble de fonctionnalités liées à l'environnement Windows® et celles propres à AMRetain.

### B.2.3.1. Menu Fichier

Ce menu permet d'accéder à différentes options relatives aux fichiers et aux impressions.

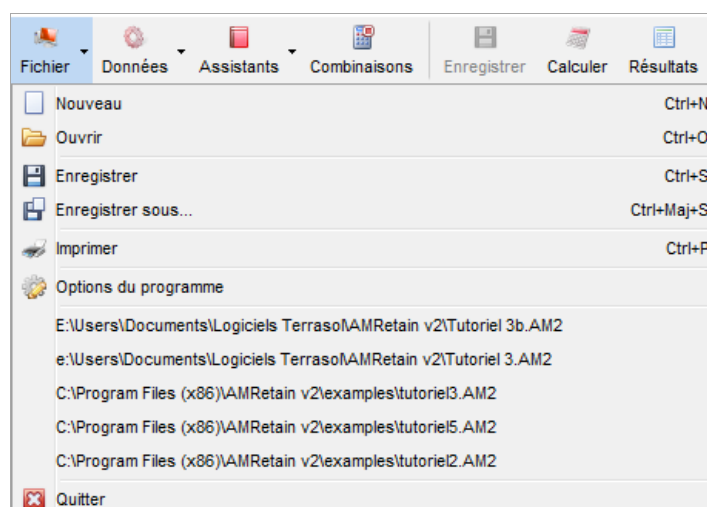


Figure B6 : Menu Fichier

Les sous-menus sont décrits ci-après :

- Nouveau** : définir un nouveau projet en accédant à la première boîte de dialogue d'AMRetain (Titre et Options).
- Ouvrir** : accéder à l'arborescence du système d'exploitation afin de sélectionner un projet existant à ouvrir. L'extension d'un fichier projet dans AMRetain v2 est ".AM2". Il y a également possibilité d'importer les projets bâtis avec la version 1 d'AMRetain, dont les fichiers projet portent l'extension ".KPJ", en changeant le filtre d'extension (liste déroulante en bas à droite de la fenêtre).
- Enregistrer** : sauvegarder les données saisies jusqu'à l'exécution de la commande dans le fichier correspondant au projet en cours.
- Enregistrer sous** : sauvegarde les données saisies dans un autre fichier que celui relatif au projet en cours d'exécution. Le nom donné au nouveau fichier doit être conforme aux formats d'écriture Windows®.
- Imprimer** : accéder à la boîte de dialogue d'impression. Cette fonctionnalité est accessible uniquement si le projet est déjà calculé.
- Options du programme** : afficher le paramétrage par défaut : le répertoire de sauvegarde des fichiers projet ainsi que le système d'unité :

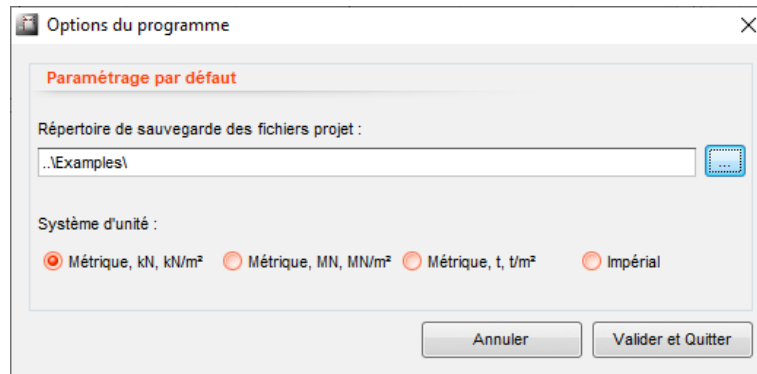


Figure B7 : Options du programme

- Historique** : cet affichage regroupe les raccourcis des cinq derniers projets ouverts. Ceux-ci ne doivent pas avoir été déplacés ou effacés pour pouvoir y accéder directement.
- Quitter** : quitter le projet en cours.

### B.2.3.2. Menu Données

Ce menu donne accès aux boîtes de dialogue définissant les données du projet, c'est-à-dire le type de projet (rideau simple ou double-rideau), les options de calcul, les caractéristiques des sols et celles du(des) rideau(x). Le contenu de ces boîtes et leur utilisation sont décrits en détail dans le chapitre B.3.

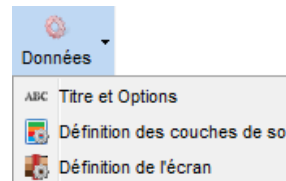


Figure B8 : Menu Données

- Titre et Options** : choix du type de projet, saisie d'un titre et définition des options régissant le calcul (unités, pas de calcul, vérifications ELU, effets de 2<sup>nd</sup> ordre, options avancées, etc.).
- Définition des couches de sol** : définition des caractéristiques des couches de sol (paramètres intrinsèques, caractéristiques de l'interaction sol-rideau). Dans le cas des projets double-rideau, un "modèle de sol" est affecté à chaque rideau de manière à pouvoir distinguer les couches propres au rideau 1 de celles propres au rideau 2.
- Définition du rideau** : définition des caractéristiques du (des) rideau(x) (dimensions, propriétés).

### B.2.3.3. Menu Assistants

Ce menu permet d'accéder aux boîtes de dialogue des assistants pour la détermination des coefficients de poussée/butée et du coefficient de réaction, ainsi que pour la définition des cas de charges. Le contenu de ces boîtes et leur utilisation sont décrits en détail dans les paragraphes §B.3.2 et §B.3.5.

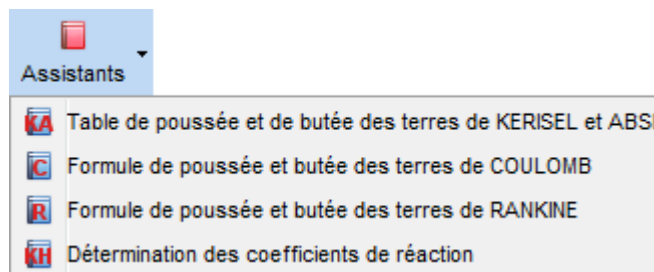


Figure B9 : Menu Assistants

- Tables de poussée et de butée des terres de KERISEL et ABSI** : déterminer les coefficients de poussée et butée des terres en fonction de l'angle de frottement interne et des grandeurs caractéristiques nécessaires à la lecture des tables de J. Kérisel et E. Absi (cf. § B.3.2.2 et partie C du manuel) ;
- Formule de poussée et butée des terres de COULOMB** : calculer les coefficients de poussée et de butée par la méthode du coin de Coulomb (cf. § B.3.2.2 et partie C du manuel) ;
- Formules de poussée et butée des terres de RANKINE** : calculer les coefficients de poussée et de butée par la formule de Rankine (cf. § B.3.2.2 et partie C du manuel) ;
- Détermination des coefficients de réaction** : évaluer le coefficient de réaction selon les formules de Balay, Schmitt ou par lecture des abaques de Chadeisson (cf. § B.3.2.4 et partie C du manuel) ;

### B.2.3.4. Menus Cas de charges

Ce menu permet de créer des familles de charges servant à examiner l'influence de plusieurs combinaisons dans un seul projet (cf. § B.3.5 et partie C du manuel).

### B.2.3.5. Menus Calculer/Résultats/Vérifications

Les 3 menus concernent le lancement du calcul et l'exploration des résultats.

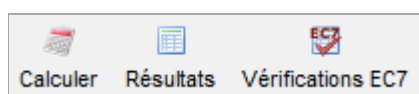


Figure B10 : Menu Calcul/Résultats

Ce menu permet de gérer les calculs et les résultats.

- Calculer** : lancer le calcul du projet entier ;
- Résultats** : ouvrir une fenêtre contenant la synthèse des résultats ainsi que les courbes enveloppes, précédées d'un récapitulatif des données et suivies des résultats par phase sous forme graphique et tabulaire ;
- Vérification EC7** : ouvrir les Vérifications EC7 si ces dernières ont été activées dans "Titre et Options". Trois types de vérifications sont disponibles : défaut de butée, équilibre vertical et stabilité du massif d'ancrage.

### B.2.3.6. Menu Aide

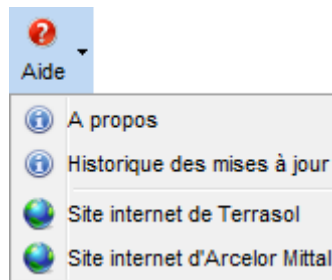


Figure B11 : Menu Aide

Ce dernier menu permet d'accéder aux options suivantes :

- A propos de** : donne des informations relatives au logiciel (notamment le numéro de la version) et un accès aux informations du système de la machine ;
- Historique des mises à jour** : ouvre le fichier historisant les différentes mises à jour du logiciel ;
- Site Internet de Terrasol** : renvoie vers le [site internet Terrasol](#) ;
- Site Internet d'Arcelor Mittal** : renvoie vers le [site internet Arcelor Mittal](#).

### B.2.3.7. Gestion du phasage

La gestion du phasage s'effectue à l'aide du menu contextuel sur les onglets de chaque phase de calcul (en faisant un clic droit).

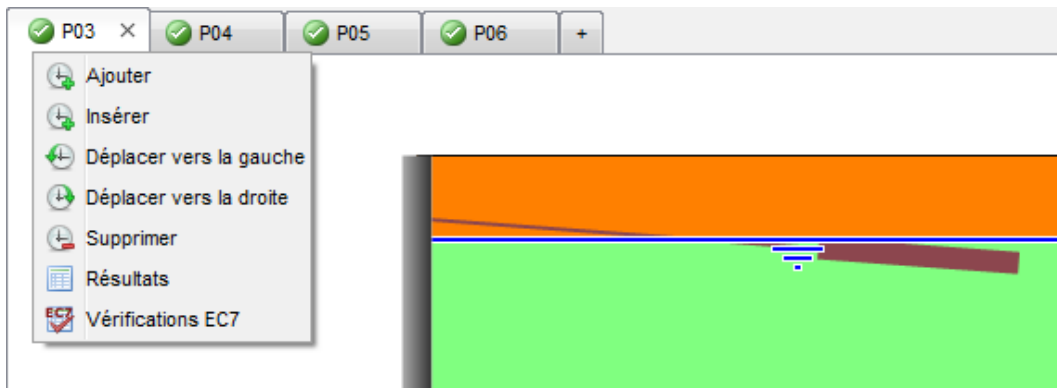



Figure B12 : Menu de gestion du phasage

- Ajouter** : crée une nouvelle phase de calcul après la dernière phase créée. Ajouter une phase peut également se faire en cliquant sur l'onglet situé à droite de la dernière phase  ;
- Insérer** : insère une nouvelle phase de calcul avant la phase sélectionnée ;
- Déplacer vers la droite** : modifie l'enchaînement des phases de calcul en avançant la phase sélectionnée d'une seule position par rapport aux autres ;
- Déplacer vers la gauche** : modifie l'enchaînement des phases de calcul en reculant la phase sélectionnée d'une seule position par rapport aux autres ;
- Supprimer** : supprime la phase de calcul sélectionnée après confirmation ;
- Résultats** : ouvre la fenêtre de résultats de la phase sélectionnée, accessible si le projet est préalablement calculé ;
- Vérifications EC7** : ouvre la fenêtre des vérifications de la phase sélectionnée ;

Ces modifications sont appliquées dans le cadre de gestion du phasage présenté dans le chapitre B.4.2.

### B.2.3.8. Raccourcis clavier

Il est possible d'accéder directement à certaines options de menus décrits précédemment. La liste ci-dessous résume l'ensemble des raccourcis clavier disponibles dans AMRetain (certains d'entre eux sont également explicités dans les menus) :

- Ctrl+N** : crée un nouveau projet ;
- Ctrl+O** : ouvre un fichier à sélectionner dans l'explorateur de fichiers ;
- Ctrl+S** : enregistre le fichier courant ;
- Ctrl+Shift+S** : enregistre le fichier courant sous un nouveau nom ;
- Ctrl+P** : ouvre la boîte de dialogue de l'assistant d'impression ;
- Ctrl+Q** : lance les calculs ;
- Ctrl+A** : interrompt les calculs ;
- Ctrl+R** : ouvre la fenêtre des résultats.

### B.2.3.9. Menus contextuels

Ces menus additionnels ne sont pas affichés de manière permanente sur la fenêtre principale d'AMRetain. C'est un clic droit sur certaines zones qui commande leur apparition.

#### Menu contextuel pour les graphiques et les tableaux

Chaque graphique ou tableau de résultats dispose d'un menu contextuel spécifique. Ce menu contextuel est accessible par un clic droit sur le graphique ou le tableau en question.

Un clic droit à l'intérieur du cadre d'un graphique fait apparaître un assistant d'exportation permettant d'exporter le graphique sous forme d'image :

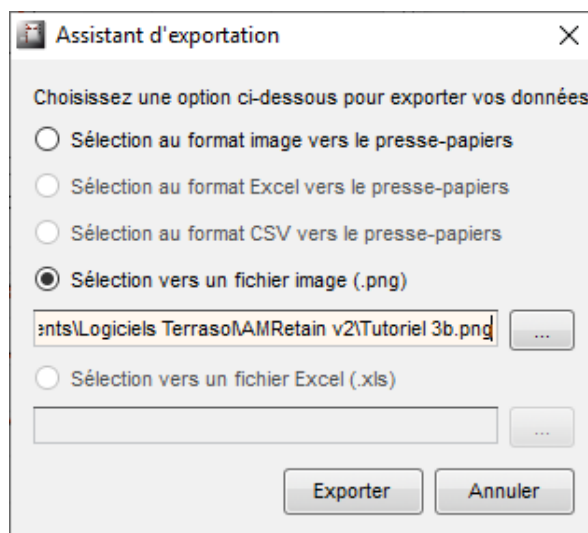


Figure B13 : Menu Aide

- Sélection au format image vers le presse-papiers** : copie le graphique sous forme d'image dans le presse-papiers de Windows® ce qui permet de le coller dans un document (Microsoft Excel®, Microsoft Word®, etc.) ;
- Sélection vers un fichier image (.png)** : crée un fichier image d'extension ".png" dans votre environnement.

Nota : les autres formats d'export sont grisés car ils sont sans objet pour les graphiques. Ils sont fonctionnels lors de l'export des tableaux.

Un clic droit sur un tableau (cf. figure ci-dessous) fait apparaître un assistant d'exportation de tableau :

- ❑ **Sélection au format Excel vers le presse-papiers** ⇒ copie le tableau sélectionné sous format Excel dans le presse-papiers de Windows® ce qui permet de le coller dans un document (Microsoft Excel®, Microsoft Word®, etc.) ;
- ❑ **Sélection au format CSV vers le presse-papiers** ⇒ copie le tableau sélectionné sous format CSV (valeurs séparées par des virgules) dans le presse-papiers de Windows® ce qui permet de le coller dans un document (Microsoft Excel®, Microsoft Word®, etc.) ;
- ❑ **Sélection vers un fichier Excel (.xls)** ⇒ crée un fichier Excel, d'extension ".xls", contenant les données sélectionnées.

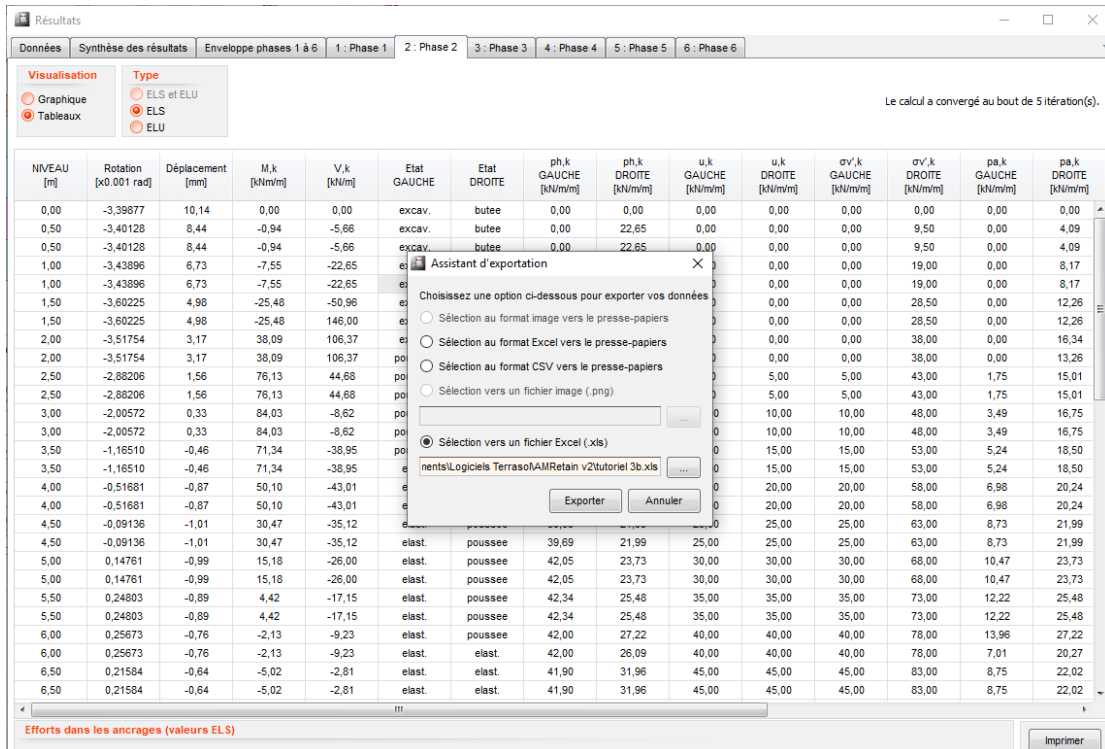


Figure B14 : Menu contextuel du tableau de résultats

### Menu contextuel sur les tableaux de synthèse

Le même menu que celui décrit ci-dessus apparaît quand on effectue un clic droit sur le tableau de l'onglet de données, où il est possible d'exporter la définition des couches de sol. L'option de copie dans le presse-papiers est également accessible pour le tableau de définition du rideau.

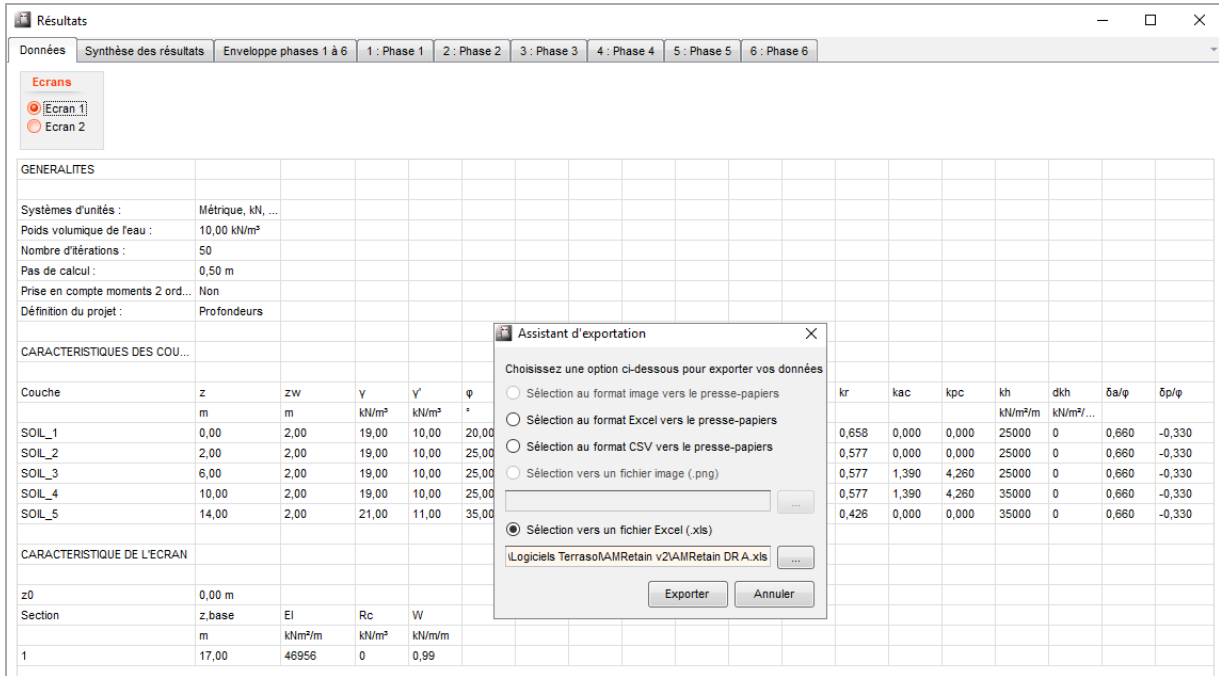


Figure B15 : Menu contextuel du tableau de définition des couches de sol

## B.2.4. La barre de boutons et les lignes de menu

Les lignes de menu ont chacune une icône permettant d'illustrer l'action correspondante. Celles-ci sont listées ci-dessous :

### Boutons correspondant aux lignes du menu **Fichier** :

- **Nouveau** : Initialise la création d'un nouveau projet ;
- **Ouvrir** : Ouvre un projet existant depuis l'explorateur de fichiers ;
- **Enregistrer** : Enregistre les modifications dans le projet en cours ;
- **Enregistrer sous** : Enregistre le projet en cours sous un nouveau nom et/ou chemin ;
- **Imprimer** : Ouvre la boîte de dialogue des impressions (accessible uniquement si le projet est déjà calculé) ;
- **Option du programme** : Ouvre la boîte de dialogue « Options du programme » (choix par défaut du répertoire de sauvegarde des fichiers projets et système d'unité) ;
- **Quitter** : Ferme le projet en cours.

### Boutons correspondant aux lignes du menu **Données** :

- **Titre et Options** : Ouvre la boîte de dialogue "Titre et Options" ;
- **Définition des couches de sol** : Ouvre la boîte de dialogue "Définition des couches de sol" ;
- **Définition du rideau** : Ouvre la boîte de dialogue "Définition du rideau".

### Boutons correspondant aux lignes du menu **Assistants** :

- Assistant coefficients de poussée et butée des terres de **KERISEL et ABSI** ;
- Assistant coefficients de poussée et butée des terres de **COULOMB** ;
- Assistant coefficients de poussée et butée des terres de **RANKINE** ;
- Assistant **Coefficients de réaction** ;

### Boutons correspondant aux lignes du menu **Aide** :

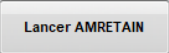
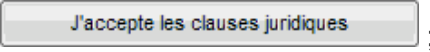
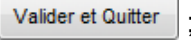
- « à propos » d'AMRetain ;
- Historique des mises à jour ;
- Site internet de Terrasol ;
- Site internet d'Arcelor Mittal.

## Boutons

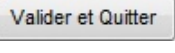
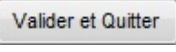



- **Enregistrer** : sauvegarde le projet en cours ;
- **Calculer** : lance les calculs du projet en cours ;
- **Résultats** : affiche les résultats du projet (accessible uniquement si le projet est déjà calculé) ;
- **Vérifications ELU** : affiche les résultats des vérifications à l'Eurocode 7 (accessible uniquement si le projet est déjà calculé) si ces dernières ont été demandés en amont, dans la fenêtre "Titre et Options".
- **Combinaisons** : Affiche la fenêtre des jeux de combinaison

### B.2.5. Procédure globale de définition d'un nouveau projet

Ce paragraphe résume la procédure à suivre pour définir les données, effectuer le calcul et visualiser les résultats d'un projet AMRetain :

1. Lancer AMRetain et cliquer sur  ;
2. Cliquer sur  ;
3. Choisir **Nouveau Projet** ;
4. Dans la boîte de dialogue **Titre et Options**, définir le type de projet (**Rideau Simple** ou **Double-Rideau**) et compléter les options générales du projet. Si besoin, activer la prise en compte des effets de 2<sup>nd</sup> ordre, les vérifications ELU et définir les paramètres correspondants. Cliquer ensuite sur  ;
5. Enregistrer le projet à l'emplacement de votre choix.

Si un projet Rideau Simple a été sélectionné :

6. Dans la boîte de dialogue **Définition des couches de sol**, définir les paramètres des différentes couches de sol en vous aidant des assistants disponibles. Il est possible d'importer ces données via la base de données générale des sols ou à l'inverse de les enregistrer dans la base de données, puis cliquer sur :  ;
7. Dans la boîte de dialogue **Définition du rideau**, définir les caractéristiques du rideau en vous aidant de l'assistant, puis cliquer sur :  ;
8. Appliquer les actions de la phase initiale par l'intermédiaire du cadre **Choix des actions**. Dès que l'action est entièrement et correctement définie, sa représentation graphique apparaît dans l'onglet de gestion du phasage. En même temps, l'action se trouve affectée d'une coche verte  qui remplace la croix rouge , l'onglet de la phase associée suit le même comportement si toutes les actions sont bien définies ;
9. Cliquer sur l'onglet  dans le cadre de gestion du phasage pour ajouter une phase. Appliquer les actions souhaitées de la nouvelle phase par l'intermédiaire du cadre **Choix des actions** ;
10. Répéter l'étape précédente jusqu'à la réalisation de la phase finale ;
11. Lancer les calculs en cliquant sur le bouton **Calculer** de la barre des boutons ;
12. Enfin, cliquer sur le bouton **Résultats** dans la barre des boutons pour consulter les résultats. Ces derniers sont composés d'une synthèse, d'enveloppes et de résultats détaillés par phase. Si les vérifications ELU ont été activées dans « Titre et Options », les résultats de ces vérifications sont également accessibles via le bouton « EC7 ».

Si un projet Double-Rideau a été sélectionné :

Le principe est le même que pour un projet Rideau Simple. Par convention :

- le rideau 1 correspond au rideau de gauche, ses actions s'affichent en noir dans le cadre de définition des actions ;
- le rideau 2 correspond au rideau de droite, ses actions s'affichent en bleu dans le cadre de définition des actions.

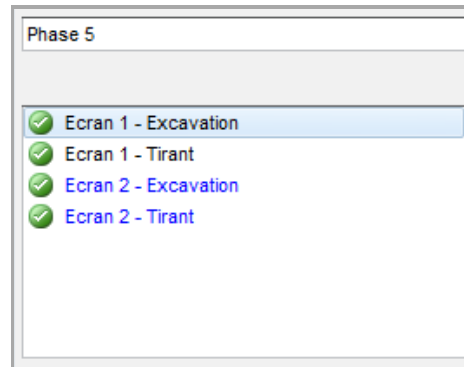


Figure B16 : Projet double-rideau : Liste d'actions

6. Dans la boîte de dialogue **Définition des couches de sol**, renseigner les paramètres du modèle de sol au droit du rideau 1 en vous aidant des assistants disponibles. Il est possible d'importer ces données via la base de données générale des sols ou à l'inverse de les enregistrer dans la base de données ;
7. Choisir l'onglet « Écran 2 », définir le modèle de sol du rideau 2 en réitérant la même démarche suivie pour le rideau 1 ou bien cliquer sur  pour importer le modèle de sol du rideau 1, puis cliquer sur  ;
8. Dans la boîte de dialogue **Définition de l'écran**, définir les caractéristiques du rideau 1 en vous aidant de l'assistant si besoin ;
9. Choisir l'onglet « Écran 2 », faire de même que pour la définition des caractéristiques du rideau 1 ou cliquer sur  pour importer les propriétés du rideau 1 vers celles du rideau 2, puis cliquer sur  ;
10. La gestion du phasage suit la même procédure que pour un rideau simple (ajouter une phase en cliquant sur l'onglet ). La seule différence réside dans la définition des actions dont chacune nécessite en plus d'être affectée à l'un des deux rideaux ;
11. Lancer les calculs en cliquant sur le bouton **Calculer** dans la barre des boutons ;
12. Enfin, cliquer sur le bouton **Résultats** dans la barre des boutons pour consulter les résultats. Il est possible sur chacun des onglets de la fenêtre des résultats de basculer entre les résultats du rideau 1 et ceux du rideau 2.

Cette procédure résumée est détaillée à la fois dans la suite du document et au travers des tutoriels fournis dans la partie D du manuel.

### B.2.6. Fonctionnement de l'updater

Par défaut, le raccourci AMRetain mis en place lors de l'installation initiale du logiciel lance **AMRetain (TerrasolUpdater)**.

L'Updater permet la mise à jour automatique du logiciel AMRetain. L'utilitaire TerrasolUpdater se connecte automatiquement à un serveur de mises à jour pour vérifier si une nouvelle version du logiciel AMRetain est disponible. Si tel est le cas, il propose à l'utilisateur de mettre à jour son logiciel, celui-ci peut alors accepter ou refuser.

- S'il accepte, l'Updater télécharge et installe la mise à jour, puis lance automatiquement le logiciel AMRetain ;
- S'il refuse, l'Updater n'installe aucune mise à jour et lance automatiquement le logiciel AMRetain.

Enfin, si aucune nouvelle mise à jour n'est disponible, l'Updater lance automatiquement le logiciel AMRetain.

Dans le cas où un utilisateur a plusieurs mises à jour de retard lors du lancement de l'Updater, elles lui sont toutes successivement proposées. S'il refuse une mise à jour donnée « n », celles suivantes (n+1, etc.) ne sont pas proposées, jusqu'à ce que la mise à jour « n » ait été effectuée.

Lorsqu'aucune connexion Internet n'est disponible, ou que les différentes passerelles de sécurité empêchent l'accès au serveur de mises à jour, l'Updater ne s'affiche pas et lance directement le logiciel AMRetain.

## B.3. Les données du projet

La définition des données, sauf celles du phasage, se fait via 3 boîtes de dialogue : **Titre et Options**, **Définition des couches de sol** et **Définition de l'écran**, toutes accessibles depuis le menu Données. Une boîte de dialogue supplémentaire, rangée dans la barre des menus, permet la **Définition des combinaisons de charges**.

Les chapitres B.3.1 à B.3.3 décrivent le fonctionnement des boîtes de dialogue du menu Données pour le cas d'un projet rideau simple.

Le chapitre B.3.4 donne les particularités de saisie propres aux projets double-rideau.

Le chapitre B.3.5 est consacré à la définition des combinaisons de charges.

### B.3.1. Titre et Options

#### B.3.1.1. Options générales

Les options générales du projet sont à définir dans la boîte de dialogue **Titres et Options** accessible depuis le menu **Données**.

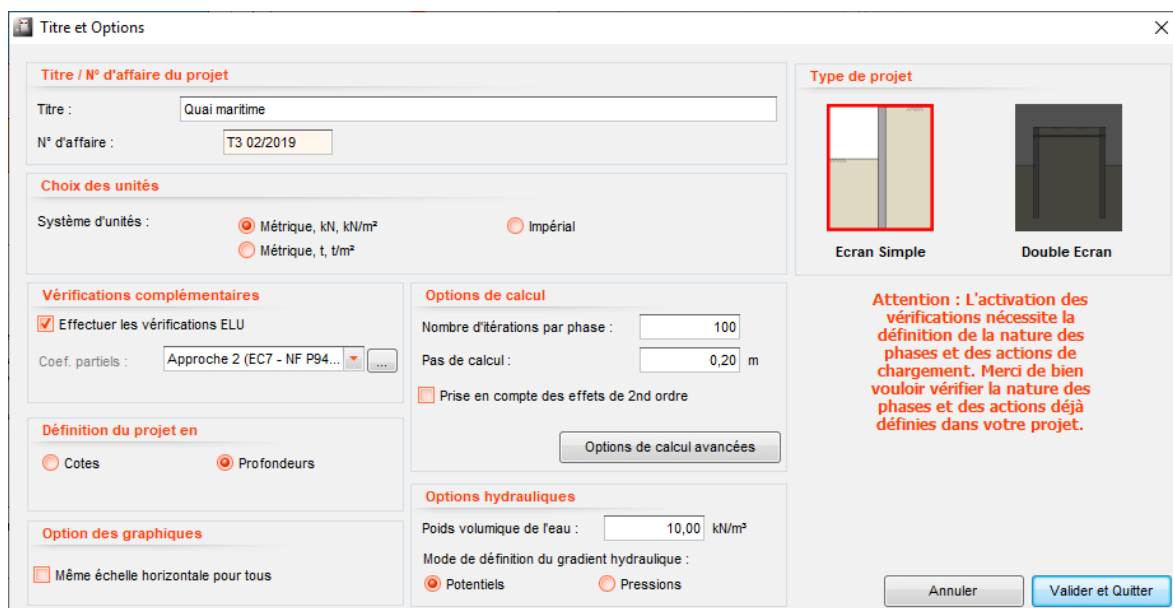



Figure B17 : Boîte de dialogue « Titre et Options » (projet rideau simple)

Cette boîte de dialogue est découpée en différents cadres qui sont présentés ci-dessous :

- ❑ **Titre / N° d'affaire** : cette zone est réservée à la définition d'un titre et d'une référence du projet (le remplissage n'est pas obligatoire) ;
- ❑ **Choix des unités** : il est possible de travailler en système métrique (kN, ou t) ou en système impérial. Les unités choisies sont valables pour les données d'entrée et les résultats. Si les données d'entrée du projet existent déjà, AMRetain convertit ces valeurs vers le nouveau système d'unités ;
- ❑ **Définition du projet en** : cette option sert à orienter l'axe vertical vers le haut en « Cotes » ou vers le bas en « Profondeurs ». Elle est valable pour tous les niveaux du projet. L'option « Cotes » est cochée par défaut ;

- **Vérifications complémentaires** : ce cadre permet d'activer les vérifications ELU, notamment celles relatives au défaut de butée, d'équilibre vertical et de stabilité du massif d'ancrage. Le jeu de coefficients partiels choisi par défaut correspond à l'approche 2/2\* de la norme NF P94-282, les jeux découlant des autres approches de l'Eurocode 7 sont également disponibles. La modification d'un jeu existant ou la création d'un jeu personnalisé est faisable en cliquant sur le bouton situé à droite de la liste déroulante  (cf. chapitre B.3.1.2) ;

Ces vérifications sont accessibles aussi bien pour les projets rideau simple que pour les projets double-rideau.

- **Options de calcul** : dans ce cadre, il est possible de tenir en compte des effets de 2nd ordre (cf. Partie C du manuel) en cochant simplement la case correspondante (« Prise en compte des effets de 2nd ordre » décochée par défaut). Il est également possible de modifier le nombre maximal d'itérations par phase, pris égal à 100 par défaut, ainsi que le pas de calcul, correspondant au pas de découpage du rideau, affecté par défaut d'une valeur de 0,20 m (ou 0,66 ft en système impérial).

Dans ce même cadre, un bouton permet d'accéder aux options de calcul avancées dont le contenu est illustré sur la figure suivante.

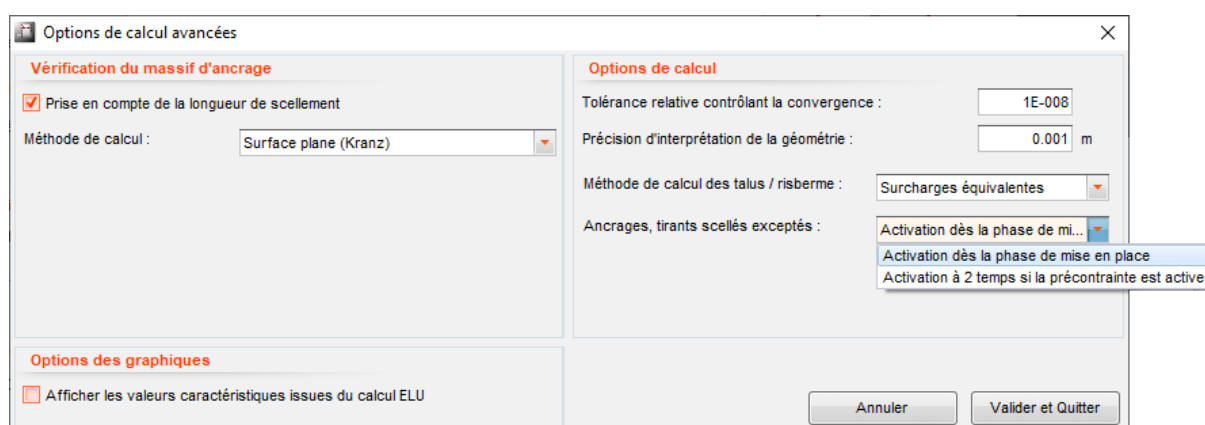


Figure B18 : Boîte de dialogue « Options de calcul avancées »

Le cadre « Options de calcul » permet de préciser les éléments suivants :

- La tolérance relative contrôlant la convergence, égale par défaut à  $10^{-4}$  ;
- La précision d'interprétation de la géométrie (en m), égale par défaut à  $10^{-3}$  m, soit 1 mm ;
- Le choix de la méthode de calcul des talus et des risbermes :
  - Surcharges équivalentes : l'effet d'un talus ou d'une risberme est simulé par une superposition de surcharges équivalentes à leur poids. Cette approche n'est pas conseillée, conformément à la norme NF P94-282 ;
  - Modèle norme : l'effet d'un talus ou d'une risberme est simulé conformément aux approches proposées dans l'annexe D de la norme NF P94-282 ;
- Ancrages, tirants scellés exceptés : il est possible de choisir entre un travail dès la phase d'activation ou un travail uniquement à partir de la phase suivante (seule alors la précontrainte est prise en compte dans la phase d'activation). Ce choix s'applique à tous les ancrages qui seront définis dans le projet (cf. partie C du Manuel pour les différences théoriques liées à ces deux options) ;

Le cadre « Options du massif d'ancrage » définit le paramétrage de la vérification de la stabilité du massif d'ancrage :

- Prise en compte de la longueur de scellement dans le calcul de l'effort d'ancrage équivalent pour un rideau ancré par plusieurs tirants. Cette option est activée par défaut.
- Méthode de calcul : surface plane (Kranz) ou surface en arc de spirale logarithmique (Jelinek). Pour la surface en arc de spirale logarithmique (Jelinek), deux paramètres supplémentaires sont à renseigner :
  - Nombre de découpages du massif d'ancrage
  - Pas de balayage de l'angle central de la spirale logarithmique

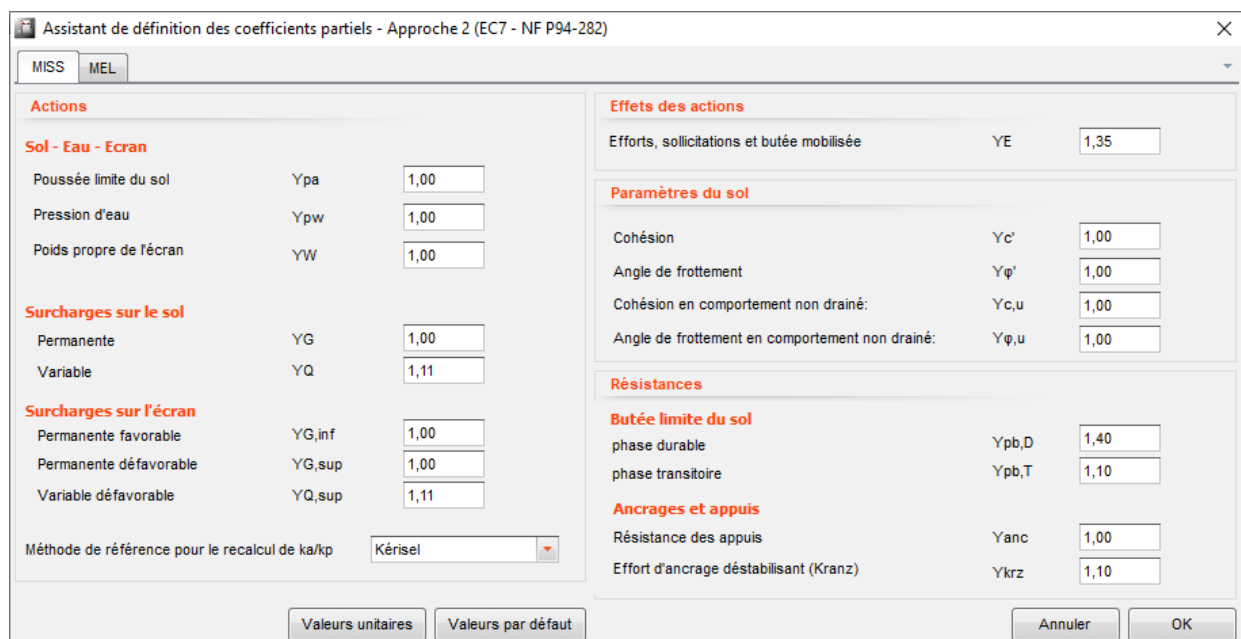
Le cadre « Options des graphiques »

- La case à cocher permet d'afficher les valeurs caractéristiques permettant de générer le calcul ELU.

Les aspects théoriques liés à ces options sont détaillés dans la partie C du manuel.

- **Option des graphiques** : en cochant la case « Même échelle pour tous », une échelle commune est affectée à tous les graphiques présentant le même type de résultat. Cette case est décochée par défaut.
- **Options hydrauliques** : ce cadre sert à la définition du poids volumique de l'eau et au choix du mode de définition du gradient hydraulique (Potentiels ou Pressions). Par défaut, le poids volumique de l'eau est pris égal à 10 kN/m<sup>3</sup> (0,0624 kcf en système impérial) et le gradient hydraulique est défini en termes de potentiels hydrauliques.
- **Type de projet** : ce cadre est réservé au choix du type de projet (Ecran Simple ou un Double-Ecran) en sélectionnant l'icône correspondante. Si un projet double-rideau est sélectionné, AMRetain demande de saisir la distance entre les deux rideaux, dans le cadre **Options double rideau**. Ce chapitre étant consacré au cas de rideau simple, il faut se référer au chapitre B.3.4 pour les particularités liées aux projets double-rideau.

### B.3.1.2. Définition des coefficients partiels



Actions			Effets des actions		
<b>Sol - Eau - Ecran</b>			Efforts, sollicitations et butée mobilisée YE		
Poussée limite du sol	Y <sub>pa</sub>	1,00			1,35
Pression d'eau	Y <sub>pw</sub>	1,00	<b>Paramètres du sol</b>		
Poids propre de l'écran	Y <sub>W</sub>	1,00	Cohésion	Y <sub>c'</sub>	1,00
<b>Surcharges sur le sol</b>			Angle de frottement	Y <sub>φ'</sub>	1,00
Permanente	Y <sub>G</sub>	1,00	Cohésion en comportement non drainé:	Y <sub>c,u</sub>	1,00
Variable	Y <sub>Q</sub>	1,11	Angle de frottement en comportement non drainé:	Y <sub>φ,u</sub>	1,00
<b>Surcharges sur l'écran</b>			<b>Résistances</b>		
Permanente favorable	Y <sub>G,inf</sub>	1,00	<b>Butée limite du sol</b>		
Permanente défavorable	Y <sub>G,sup</sub>	1,00	phase durable	Y <sub>pb,D</sub>	1,40
Variable défavorable	Y <sub>Q,sup</sub>	1,11	phase transitoire	Y <sub>pb,T</sub>	1,10
Méthode de référence pour le recalcul de ka/kp: Kérisel			<b>Ancrages et appuis</b>		
			Résistance des appuis	Y <sub>anc</sub>	1,00
			Effort d'ancrage déstabilisant (Kranz)	Y <sub>krz</sub>	1,10

Figure B19 : Boîte de dialogue de définition des coefficients partiels

Cette fenêtre permet de visualiser et modifier les coefficients partiels de sécurité/pondération utilisés dans les calculs et vérifications aux ELU. Deux jeux de paramètres sont disponibles, regroupés chacun dans un onglet  , un correspond au calcul MISS et l'autre est relatif au MEL. Certains paramètres sont communs entre ces jeux de paramètres, ils sont modifiables dans l'onglet MISS et uniquement visualisables dans l'onglet MEL.

Les valeurs proposées par défaut sont celles issues de l'une des approches (1, 2 ou 3) de l'Eurocode 7 et de sa norme d'application française NF P94-282. Il est toutefois possible de les modifier pour les adapter à l'application d'autres références réglementaires.

Le bouton  permet de réinitialiser les coefficients avec les valeurs correspondant à l'approche choisie dans la liste déroulante « Coef. Partiels » qui est d'ailleurs récapitulée dans le titre de la fenêtre de l'assistant.

Le bouton  permet d'affecter une valeur de 1,0 à tous les coefficients. De cette manière, il est possible d'effectuer les vérifications sans appliquer de pondérations.

La définition des différents coefficients est présentée ci-dessous :

### **Actions et effet des actions :**

- Sol – Eau – Ecran** : coefficients appliqués aux poussées limites du sol ( $\gamma_{pa}$ ), aux pressions d'eau ( $\gamma_{pw}$ ), ainsi qu'au poids propre du rideau ( $\gamma_w$ ) ;
- Surcharges sur le sol** : coefficients appliqués aux surcharges agissant sur le sol en fonction de leur nature (permanente  $\gamma_G$  / variable  $\gamma_Q$ ) ;
- Surcharges sur le rideau** : coefficients appliqués aux surcharges s'appliquant directement sur le rideau en fonction de sa nature (permanente/variable) et de leur caractère (favorable/défavorable). Plusieurs combinaisons possibles : permanente favorable ( $\gamma_{G,inf}$ ), permanente défavorable ( $\gamma_{G,sup}$ ) et variable défavorable ( $\gamma_{Q,sup}$ ) ;
- Effet des actions** ( $\gamma_E$ ) : coefficient appliqué sur les efforts, les sollicitations et sur la butée mobilisée.

### **Paramètres de résistance :**

- $\gamma_c$  : appliqué sur la cohésion des couches de sol ;
- $\gamma_\phi$  : appliqué sur la tangente de l'angle de frottement des couches de sol.
- $\gamma_{c,u}$  : appliqué sur la cohésion des couches de sol en comportement non drainé ;
- $\gamma_{\phi,u}$  : appliqué sur la cohésion des couches de sol en comportement non drainé.

### **Résistances :**

- $\gamma_{pb,D}$  et  $\gamma_{pb,T}$  : appliqués sur la pression limite de butée du sol en fonction de la nature de la phase (durable ou transitoire respectivement) ;
- $\gamma_{anc}$  : appliqué sur la résistance des ancrages ;
- $\gamma_{krz}$  : appliqué sur l'effort d'ancrage déstabilisant lors de la vérification de la stabilité du massif d'ancrage.

Les coefficients  $\gamma_{anc}$  et  $\gamma_{krz}$  sont applicables exclusivement dans le cadre d'un calcul de type MISS.

- Méthode de référence pour le recalcul de  $k_a/k_p$  : à choisir parmi les trois méthodes disponibles : Kérisel (correspondant aux tables de Kérisel et Absi), Coulomb et Rankine.

**Commentaire :** En fonction du paramètre appliqué sur la tangente de l'angle de frottement ( $\gamma_{\phi}$ , voir §B.3.1.2), il se peut que la valeur de calcul de l'angle de frottement soit différente de sa valeur caractéristique définie par l'utilisateur. Dans ce cas-là, les valeurs de  $k_a/k_p$  seront recalculées automatiquement par le moteur de calcul. L'option ci-dessus permet de fixer la méthode de recalcul de ces paramètres.

Le tableau ci-dessous récapitule l'ensemble de valeurs par défaut proposées pour le modèle MISS pour chaque approche de calcul :

Catégorie	Coefficient partiel	Symb	Approche			
			1.1	1.2	2/2*( <sup>1</sup> )	3
Sol-Eau- Ecran	Poussée limite du sol	$\gamma_{Pa}$	1.35	1.00	1.00	1.00
	Pression d'eau	$\gamma_{Pw}$	1.35	1.00	1.00	1.00
	Poids propre du rideau	$\gamma_w$	1.35	1.00	1.00	1.00
Surcharge sur le sol	Permanente	$\gamma_G$	1.00	1.00	1.00	1.00
	Variable	$\gamma_Q$	1.11	1.30	1.11	1.30
Surcharge sur le rideau	Permanente favorable	$\gamma_{G,inf}$	1.00	1.00	1.00	1.00
	Permanente défavorable	$\gamma_{G,sup}$	1.35	1.00	1.00	1.35
	Variable défavorable	$\gamma_{Q,sup}$	1.50	1.30	1.11	1.50
Effets des actions		$\gamma_E$	1.00	1.00	1.35	1.00
Paramètres de sol	Cohésion (comportement drainé)	$\gamma_c$	1.00	1.25	1.00	1.25
	Angle de frottement (comportement drainé)	$\gamma_{\phi}$	1.00	1.25	1.00	1.25
	Cohésion (comportement non drainé)	$\gamma_{c,u}$	1.00	1.40	1.00	1.40
	Angle de frottement (comportement non drainé)	$\gamma_{\phi,u}$	1.00	1.40	1.00	1.40
Résistances	Butée limite du sol – Phase durable	$\gamma_{pb,D}$	1.00	1.00	1.40	1.00
	Butée limite du sol – Phase transitoire	$\gamma_{pb,T}$	1.00	1.00	1.10	1.00
	Résistance des appuis	$\gamma_{anc}$	1.10	1.10	1.00	1.00
	Effort d'ancrage déstabilisant	$\gamma_{krz}$	1.00	1.00	1.10	1.00

Tableau B.2 : Valeurs par défaut des jeux de coefficients partiels proposés dans l'Eurocode 7

(<sup>1</sup>) Le modèle 2\* est uniquement valable pour la méthode MISS (voir partie C du manuel pour plus de détail et en particulier pour les valeurs proposées pour le modèle MEL).

### B.3.2. Définition des couches de sol

#### B.3.2.1. Boîte de dialogue de définition des caractéristiques des sols

Cette boîte de dialogue est accessible en cliquant sur le menu **Données** puis sur **Définition des couches de sol**. Elle sert à définir, pour chaque rideau, les paramètres intrinsèques ainsi que les caractéristiques définissant l'interaction sol-rideau (loi de comportement).

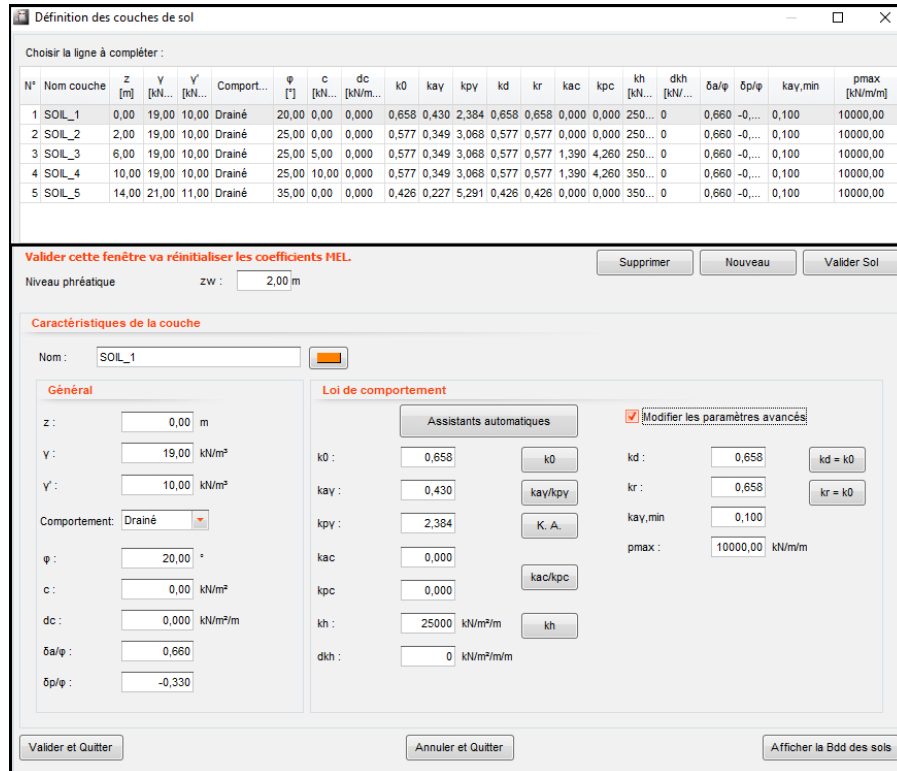


Tableau de synthèse et de sélection des données

Cadre de saisie

Figure B20 : Boîte de dialogue des caractéristiques des couches de sol

La boîte de dialogue est divisée en deux parties. En haut, un tableau de synthèse affiche la totalité de données et permet de sélectionner une couche. En bas, un cadre de saisie permet de définir ou de modifier les caractéristiques de la couche sélectionnée dans le tableau de synthèse, ainsi que d'accéder à la Base de Données des Sols en cliquant sur **Afficher la Bdd des sols**.

La base de données (BDD) des sols permet de garder en mémoire une couche de sol et ses caractéristiques. Celles-ci pourront ainsi être réutilisées pour définir une nouvelle couche de sol. Pour enregistrer une couche de sol, après avoir validé le sol dans le tableau de synthèse, cliquer sur **Afficher la Bdd des sols**, puis sur la flèche orientée vers la droite. A l'inverse, si on veut utiliser une couche en mémoire, cliquer sur **Afficher la Bdd des sols**, puis sélectionner la couche recherchée en cliquant dessus, enfin cliquer sur la flèche orientée vers la gauche. Il est possible d'effacer une couche en mémoire en la sélectionnant, puis en cliquant sur la corbeille située sous la liste.

Lorsque la saisie d'une couche est terminée, cliquer sur le tableau de synthèse dans la partie supérieure pour la valider ou sur le bouton **Valider Sol**, puis cliquer sur **Nouveau** pour commencer la saisie d'une nouvelle couche ou bien sur **Valider et Quitter** pour terminer la saisie de l'ensemble des couches. Les couches de sol sont réordonnées automatiquement en fonction de son niveau supérieur (z). Une couche de sol peut être supprimée en cliquant sur **Supprimer**.

Dans la zone de saisie, il convient tout d'abord de renseigner  $z_w$  : niveau initial du toit de la nappe phréatique (m, ft). Ce niveau est commun pour toutes les couches de sol qui seront définies au droit du rideau concerné.

Dans les autres cases, il faut ensuite définir les caractéristiques des couches de sol en commençant par la couche supérieure :

- Nom de la couche de sol ;
- Couleur affectée à la couche de sol : un simple clic sur la couleur associée à la couche de sol affiche la boîte de dialogue de choix des couleurs (cf. chapitre B.3.2.5).

Cadre Général :

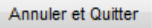
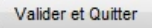
- z** : niveau du toit de la couche (m, ft) ;
- $\gamma$  : poids volumique humide (caractérisant le sol situé au-dessus de la nappe) (kN/m<sup>3</sup>, kcf) ;
- $\gamma'$  : poids volumique déjaugé (caractérisant le sol situé en-dessous de la nappe) (kN/m<sup>3</sup>, kcf) ;
- Comportement** : indique le comportement drainé ou non drainé de la couche de sol ;
- $\phi$  : angle de frottement interne (°) ;
- c** : cohésion (kN/m<sup>2</sup>, ksf) ;
- dc** : variation de la cohésion par unité de profondeur dans la couche, la référence étant le toit initial de la couche (kN/m<sup>2</sup>/m, ksf/ft) ;
- $\delta_a/\phi$  : obliquité des contraintes de poussée limite (rapport entre l'inclinaison des pressions actives et de l'angle de frottement interne) ;
- $\delta_p/\phi$  : obliquité des contraintes de butée limite (rapport entre l'inclinaison des pressions passives et de l'angle de frottement interne).

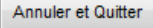
Loi de comportement :

- k<sub>0</sub>** : coefficient de poussée horizontale des terres au repos ;
- k<sub>ay</sub>** : coefficient de poussée horizontale des terres ;
- k<sub>py</sub>** : coefficient de butée horizontale des terres ;
- k<sub>ac</sub>** : coefficient de poussée horizontale appliqué à la cohésion ;
- k<sub>pc</sub>** : coefficient de butée horizontale appliqué à la cohésion ;
- k<sub>h</sub>** : coefficient de réaction horizontale du sol (kN/m<sup>2</sup>/m, ksf/ft) ;
- dk<sub>h</sub>** : variation du coefficient de réaction horizontale par unité de profondeur dans la couche – la référence étant le toit initial de la couche (kN/m<sup>2</sup>/m/m, ksf/ft/ft) ;
- k<sub>d</sub>** : coefficient de décompression des terres ;
- k<sub>r</sub>** : coefficient de récompression des terres ;
- k<sub>ay,min</sub>** : coefficient de poussée minimale (horizontale) ;
- p<sub>max</sub>** : pression limite à ne pas dépasser (kN/m/m, kip/ft).

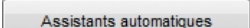
Une case à cocher permet d'activer les paramètres avancés (**dc**, **dk<sub>h</sub>**, **k<sub>d</sub>**, **k<sub>r</sub>**, **k<sub>ay,min</sub>** et **p<sub>max</sub>**) afin de pouvoir les modifier. Lorsque cette case est décochée, ces paramètres prennent les valeurs par défaut suivantes :

- dc = 0** (kN/m<sup>2</sup>/m, ksf/ft) ;
- dk<sub>h</sub> = 0** (kN/m<sup>2</sup>/m/m, ksf/ft/ft) ;
- k<sub>d</sub> = k<sub>0</sub>** ;
- k<sub>r</sub> = k<sub>0</sub>** ;
- k<sub>ay,min</sub> = 0,10** ;
- p<sub>max</sub> = 10<sup>4</sup>** (kN/m/m, kip/ft).

Deux boutons supplémentaires sont accessibles sous le cadre des caractéristiques des sols. Le bouton  annule les modifications opérées et ferme la boîte de dialogue, alors que le bouton  enregistre les dernières saisies avant de fermer la fenêtre.

**Attention** : la fermeture des boîtes de dialogue par un clic sur la croix en haut à droite de la fenêtre entraînera la fermeture de celles-ci sans enregistrement des modifications effectuées (équivalent à un clic sur le bouton ).

Des assistants pour la détermination des différents coefficients sont disponibles et accessibles via les boutons situés sur la boîte de dialogue.

Un clic sur le bouton  permet de calculer en une seule fois les valeurs des coefficients  $k_0$ ,  $k_{ay}$ ,  $k_{py}$ ,  $k_d$ ,  $k_r$ ,  $k_{ac}$  et  $k_{pc}$  selon les choix suivants :

- $k_0$  : formule de Jaky pour un sol horizontal normalement consolidé (ROC « rapport de surconsolidation » = 1 et  $\beta$  « inclinaison du TN » =  $0^\circ$ ) ;
- $k_{ay}$  : assistant Kerisel et Absi – Poussée, milieu pesant, sans cohésion, sans surcharge pour un rideau vertical et un sol horizontal ( $\lambda$  « obliquité du rideau » =  $0^\circ$  et  $\beta$  « inclinaison du TN » =  $0^\circ$ ) ;
- $k_{py}$  : assistant Kerisel et Absi – Butée, milieu pesant, sans cohésion, sans surcharge pour un rideau vertical et un sol horizontal ( $\lambda$  « obliquité du rideau » =  $0^\circ$  et  $\beta$  « inclinaison du TN » =  $0^\circ$ ) ;
- $k_d = k_r = k_0$  ;
- Si la cohésion est nulle, alors :  $k_{ac} = k_{pc} = 0$  ;
- Si la cohésion est non nulle :  $k_{ac}$  et  $k_{pc}$  sont obtenus grâce à l'assistant correspondant (aucune valeur à renseigner, tout est déjà connu pour cet assistant)

Le bouton situé à côté de chaque coefficient permet d'accéder à l'assistant correspondant pour une définition manuelle des paramètres de la loi de comportement.

L'ensemble des assistants sont décrits dans les chapitres suivants.

Ces assistants sont accessibles via :

- La définition initiale des couches de sol ;
- L'action de définition d'un remblai (cf. chapitre B.5.2.2) ;
- L'action de redéfinition des couches de sols (cf. chapitre B.5.3.1) ;
- L'action de définition des coefficients MEL (cf. chapitre B.5.7.1) ;
- ou indépendamment du projet en cours, via le menu **Assistants**.

**ATTENTION** : LES ASSISTANTS SONT UNE AIDE APPOREE A L'UTILISATEUR MAIS LEUR UTILISATION RESTE DE LA RESPONSABILITE DE L'UTILISATEUR.

### B.3.2.2. Assistants à la détermination des coefficients de poussée et butée des terres

L'assistant  $k_{ay}/k_{py}$  calcule les valeurs des coefficients de poussée et de butée par l'une des trois méthodes proposées :

- la lecture des tables de Kerisel & Absi
- la méthode du coin de Coulomb
- la formule de Rankine

Les bases théoriques utilisées par ces assistants sont détaillées dans la partie C du manuel. Seule leur manipulation est décrite dans la suite du présent chapitre.

#### a) Tables de poussée et de butée des terres de KERISEL et ABSI

Cet assistant se présente sous la forme d'une boîte de dialogue comme illustrée ci-dessous. Elle est composée d'une partie de consultation libre (côté droit) et d'une partie de paramétrage pour la détermination des coefficients par interpolation (l'assistant proprement dit – côté gauche).

Les valeurs de l'angle de frottement et celles des obliquités saisies dans la boîte de définition des caractéristiques des couches de sol sont récupérées automatiquement.

Figure B21 : Tables de poussée et de butée des terres de Kerisel et Absi

Il convient de sélectionner le type de tables à consulter dans la liste déroulante en haut du rideau :



Le contenu du cadre « Consultation des tables » (à droite) se met à jour en fonction du type de tables sélectionné.

Dans le cadre "Assistant", saisir les données nécessaires à la détermination du coefficient (de poussée ou de butée) dans le cadre de saisie situé en haut à gauche de la fenêtre :

- $\lambda$  : fruit du mur (i.e. angle du rideau avec la verticale) - 0° par défaut (°) ;
- $\beta/\varphi$  : inclinaison de la surface libre du sol normalisée par  $\varphi$  ;
- $\alpha$  : obliquité de la surcharge sur la surface libre (°) ;
- $\Omega$  : angle que fait la surface libre avec le rideau ( $= \pi/2 + \beta - \lambda$ ) (°).

La valeur retenue correspondant aux données saisies est affichée en bas du cadre interactif, avec en complément la valeur ramenée à l'horizontale qui est celle utilisée dans les calculs.

Cette valeur peut être ensuite transférée vers les données de la couche en cours de saisie en utilisant le bouton . Pour fermer l'assistant, cliquer sur .

**Remarque 1** : Le bouton de transfert n'autorise que les valeurs calculées avec un fruit de rideau nul ( $\lambda=0$ ) pour respecter la méthode de calcul aux coefficients de réaction. Les valeurs calculées avec un fruit non nul ( $\lambda \neq 0$ ) sont consultables mais non directement utilisables avec la méthode de calcul, c'est pour cela qu'il n'est pas possible de les transférer vers le projet.

**Remarque 2** : AMRetain effectue une interpolation linéaire pour les valeurs qui ne sont pas fournies dans les tables.

**ATTENTION** : LES ASSISTANTS SONT UNE AIDE APPORTÉE A L'UTILISATEUR MAIS LEUR UTILISATION RESTE DE LA RESPONSABILITÉ DE L'UTILISATEUR.

**b) Formule de poussée et de butée des terres de COULOMB**

Cet assistant se présente sous la forme d'une boîte de dialogue comme illustrée ci-dessous :

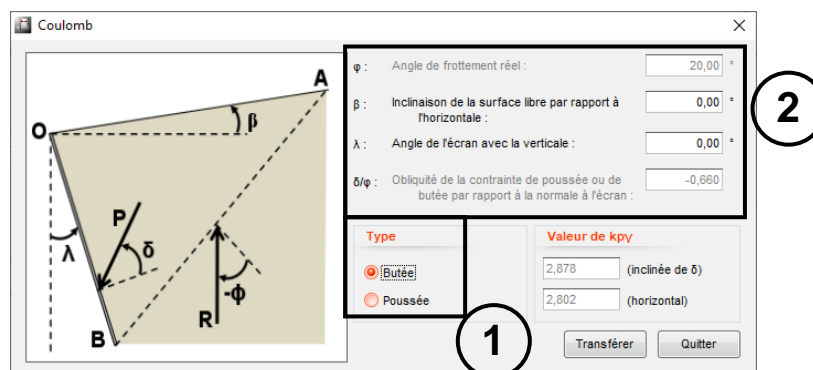


Figure B22 : Calcul des coefficients de poussée par la méthode du coin de Coulomb

Les valeurs de l'angle de frottement et celles des obliquités saisies dans la boîte de définition des caractéristiques des couches de sol sont récupérées automatiquement.

1) Sélectionner le type de calcul :

- Poussée ;
- Butée.

2) Saisir les données nécessaires au calcul :

- $\beta$  : inclinaison de la surface libre par rapport à l'horizontale (°) ;
- $\lambda$  : angle du rideau avec la verticale – 0° par défaut (°) ;

Les valeurs calculées (inclinaison et ramenées à l'horizontale) sont affichées en bas à droite de la fenêtre. Ces dernières peuvent être transférées vers les données de la couche en cours de saisie en cliquant sur le bouton . Pour fermer l'assistant, cliquer sur

.

**Remarque 1** : Le bouton de transfert n'autorise que les valeurs calculées avec un fruit de rideau nul ( $\lambda=0$ ) pour respecter la méthode de calcul aux coefficients de réaction. Les valeurs calculées avec un fruit non nul ( $\lambda \neq 0$ ) sont consultables mais non directement utilisables avec la méthode de calcul, c'est pour cela qu'il n'est pas possible de les transférer vers le projet.

**ATTENTION** : LES ASSISTANTS SONT UNE AIDE APPORTEE A L'UTILISATEUR MAIS LEUR UTILISATION RESTE DE LA RESPONSABILITE DE L'UTILISATEUR.

### c) Formule de poussée et de butée des terres de RANKINE

Cet assistant se présente sous la forme d'une boîte de dialogue comme illustrée ci-dessous :

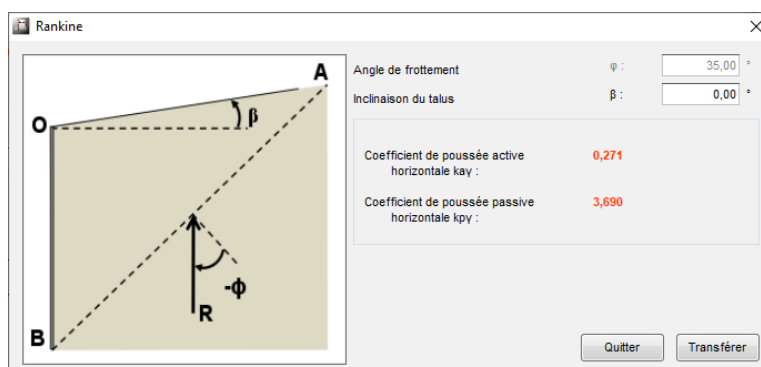


Figure B23 : Calcul des coefficients de poussée par la méthode de Rankine

La saisie de l'inclinaison du talus  $\beta$  suffit pour le calcul des coefficients de poussée active (poussée) et passive (butée) à partir de la formule de Rankine. Leurs projections horizontales s'affichent en partie basse de la fenêtre.

**Remarque** : l'assistant récupère automatiquement la valeur de l'angle de frottement saisi dans la boîte de définition des caractéristiques des couches de sols.

Ces valeurs peuvent ensuite être transférées vers les données de la couche en cours de saisie en cliquant sur le bouton . Pour fermer l'assistant, cliquer sur .

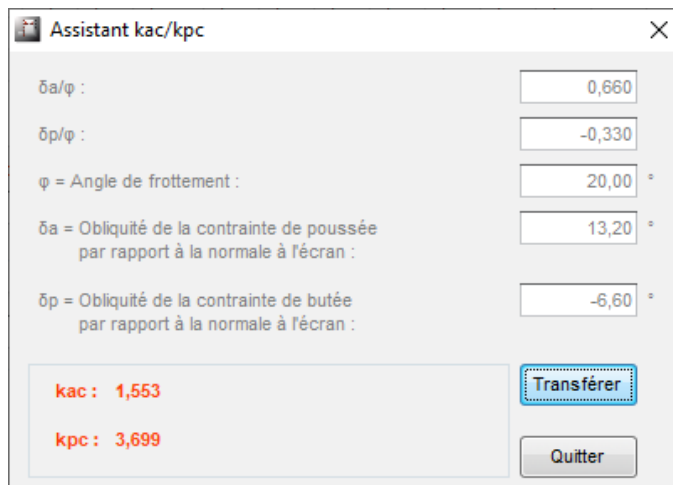
**ATTENTION** : LES ASSISTANTS SONT UNE AIDE APPORTEE A L'UTILISATEUR MAIS LEUR UTILISATION RESTE DE LA RESPONSABILITE DE L'UTILISATEUR.

#### B.3.2.3. Assistant de détermination des coefficients $k_{ac}$ et $k_{pc}$

Cet assistant propose une méthode de calcul pour déterminer les coefficients de poussée et de butée appliqués au terme de la cohésion.

Les formules utilisées sont données en partie C du manuel. Seule la manipulation de l'assistant est décrite ci-dessous.

Cet assistant se présente sous la forme de la boîte de dialogue illustrée ci-après :



Assistant kac/kpc

$\delta a/\varphi$  :

$\delta p/\varphi$  :

$\varphi$  = Angle de frottement :  °

$\delta a$  = Obliquité de la contrainte de poussée par rapport à la normale à l'écran :  °

$\delta p$  = Obliquité de la contrainte de butée par rapport à la normale à l'écran :  °

**kac** : 1,553

**kpc** : 3,699

Figure B24 : Calcul des coefficients  $k_{ac}/k_{pc}$

L'assistant récupère automatiquement les valeurs saisies dans la boîte de définition des caractéristiques des couches de sols nécessaires à ce calcul :

- $\delta a/\varphi$  : rapport entre l'obliquité des contraintes de poussée et l'angle de frottement ;
- $\delta p/\varphi$  : rapport entre l'obliquité des contraintes de butée et l'angle de frottement ;
- $\varphi$  : angle de frottement (°).

Les valeurs de  $k_{ac}$  et  $k_{pc}$  sont affichées en bas à gauche de la fenêtre.

Ces valeurs peuvent ensuite être transférées vers les données de la couche en cours de saisie en cliquant sur le bouton . Pour fermer l'assistant, cliquer sur .

**ATTENTION** : LES ASSISTANTS SONT UNE AIDE APPORTÉE À L'UTILISATEUR MAIS LEUR UTILISATION RESTE DE LA RESPONSABILITÉ DE L'UTILISATEUR.

#### B.3.2.4. Assistants à la détermination du coefficient de réaction

Cet assistant propose trois méthodes pour déterminer le coefficient de réaction : application de la formule de Balay, application de la formule de Schmitt et lecture des abaques de Chadeisson.

Les bases théoriques utilisées pour ces 3 méthodes sont détaillées dans la partie C du manuel. Seule la manipulation de l'assistant est décrite ci-dessous.

L'assistant est présenté sous la forme d'une fenêtre unique contenant en partie haute le choix de la méthode de calcul et le rappel des valeurs déterminées, en partie intermédiaire les paramètres à saisir pour le calcul, et enfin en partie basse la valeur proposée de  $k_h$  et les commentaires associés à la méthode utilisée.

Une fois saisis les paramètres d'entrée sont saisis, il est possible de transférer la valeur de  $k_h$  retrouvée à l'aide du bouton .



Figure B25 : Calcul du coefficient de réaction - Méthode de Balay sélectionnée

**a) Formule de BALAY**

Il faut entrer comme paramètres :

- $E_m$**  : module de déformation pressiométrique (kN/m<sup>2</sup>, KsF) de la couche de sol
- $\alpha$**  : coefficient rhéologique de la couche de sol

Remarque : un assistant est mis à disposition pour la détermination de ce coefficient (consultable par simple clic sur le bouton contigu **Assistant**). Il est extrait du fascicule 62 (LCPC-SETRA).

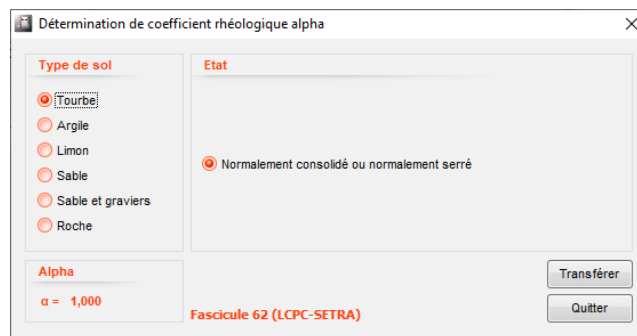


Figure B26 : Détermination du paramètre rhéologique  $\alpha$

- **a** : paramètre à définir en fonction de la fiche du rideau, de la hauteur soutenue ainsi que de la position relative de la couche concernée par rapport au fond de l'excavation. La dimension du paramètre « a » est une longueur. Une figure d'aide illustre le choix de ce paramètre (cf. Figure B 27).  
Remarque : dans certains cas particuliers (même couche rencontrée de part et d'autre du fond de l'excavation), le choix du paramètre « a » nécessite de distinguer 2 couches de mêmes caractéristiques sauf pour la valeur de  $k_h$ . Cette dernière doit être calculée pour chaque côté du rideau en affectant la valeur adéquate du paramètre « a ».

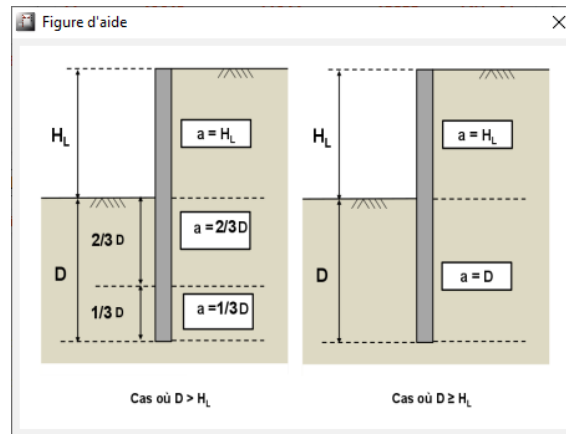


Figure B27 : Figure d'aide pour la définition du paramètre dimensionnel a

## b) Formule de SCHMITT

Paramètre d'entrée :

- **$E_m$**  : module de déformation pressiométrique de la couche ( $\text{kN/m}^2$ , ksf) ;
- **$\alpha$**  : coefficient rhéologique de la couche. Un assistant est disponible pour déterminer ce paramètre en cliquant sur  ;
- **Section** : si le produit EI du rideau a été déjà renseigné dans la fenêtre **Définition du rideau**, le paramètre « Section » donne directement accès aux valeurs de EI pour les différentes sections du rideau. Dans le cas contraire, ce paramètre peut être laissé vide ;
- **EI** : produit d'inertie moyen du rideau ( $\text{kN.m}^2/\text{m}$ ,  $\text{kip.ft}^2/\text{ft}$ ).

L'intérêt de cette approche réside dans la prise en compte de la variation du coefficient de réaction avec la rigidité du rideau : plus celui-ci est rigide, moins le coefficient de réaction est grand, ce qui est bien représentatif de la réalité.

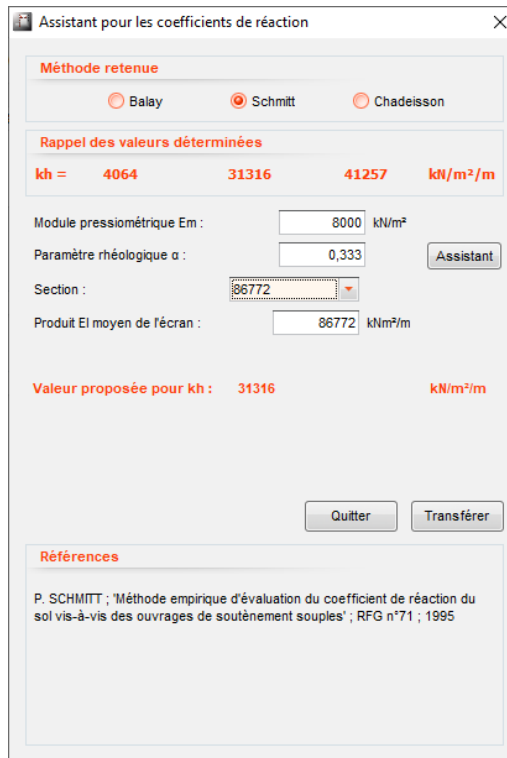


Figure B28 : Calcul du coefficient de réaction - Méthode de Schmitt sélectionnée

### c) Abaques de CHADEISSON

La lecture des abaques se fait automatiquement après avoir saisi la valeur de la cohésion et celle de l'angle de frottement. Il est possible de vérifier la valeur de  $k_n$  proposée par lecture directe des abaques.

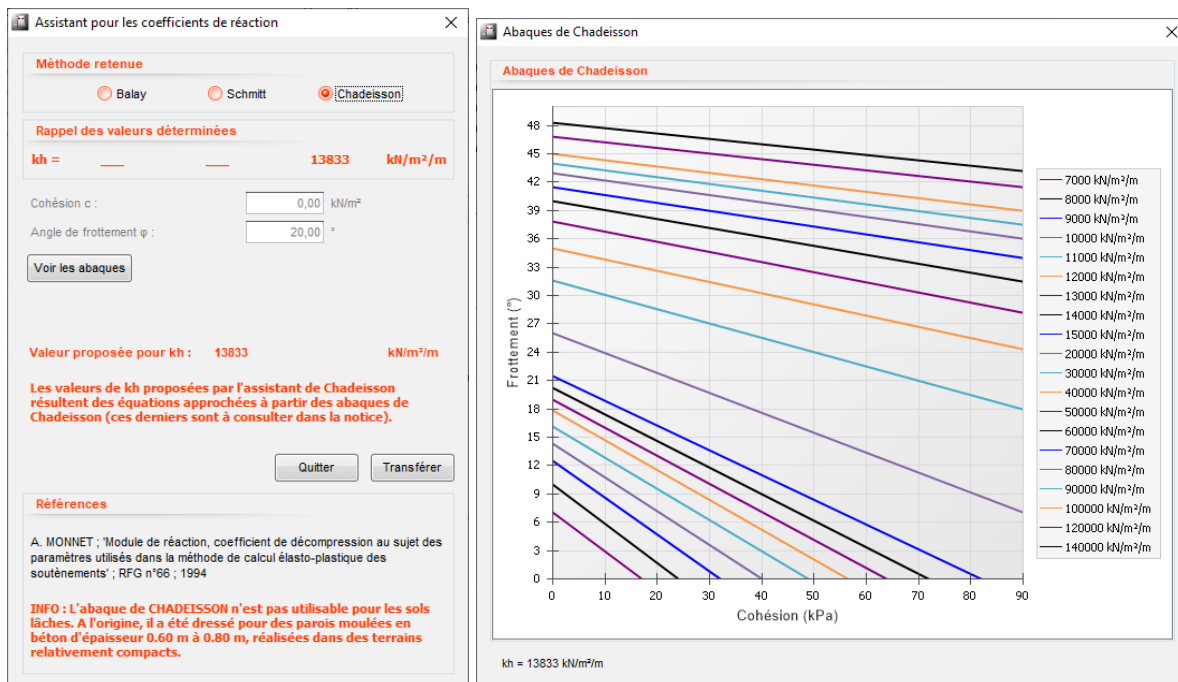


Figure B29 : Détermination du coefficient de réaction à partir des abaques de Chadeisson

La reconstitution des abaques originaux a été faite de manière approchée. Il peut donc y avoir une très légère différence entre la lecture à l'écran et celle que peut faire l'utilisateur sur le papier.

### B.3.2.5. Couleur des couches

Cet assistant est accessible en ouvrant le menu **Données**, puis **Définition des couches de sol** ainsi que dans l'action **Remblaiement**. Cette action déclenche l'ouverture de la boîte de dialogue de la définition des couches de sol. Il faut ensuite cliquer sur la couleur de couche à modifier pour ouvrir l'assistant « Couleurs ».

Il permet de choisir une couleur autre que celle prise par défaut lors de la création des couches de sol. Si les modifications sont validées, les couches de sol s'afficheront avec les nouvelles couleurs sur la coupe de projet.

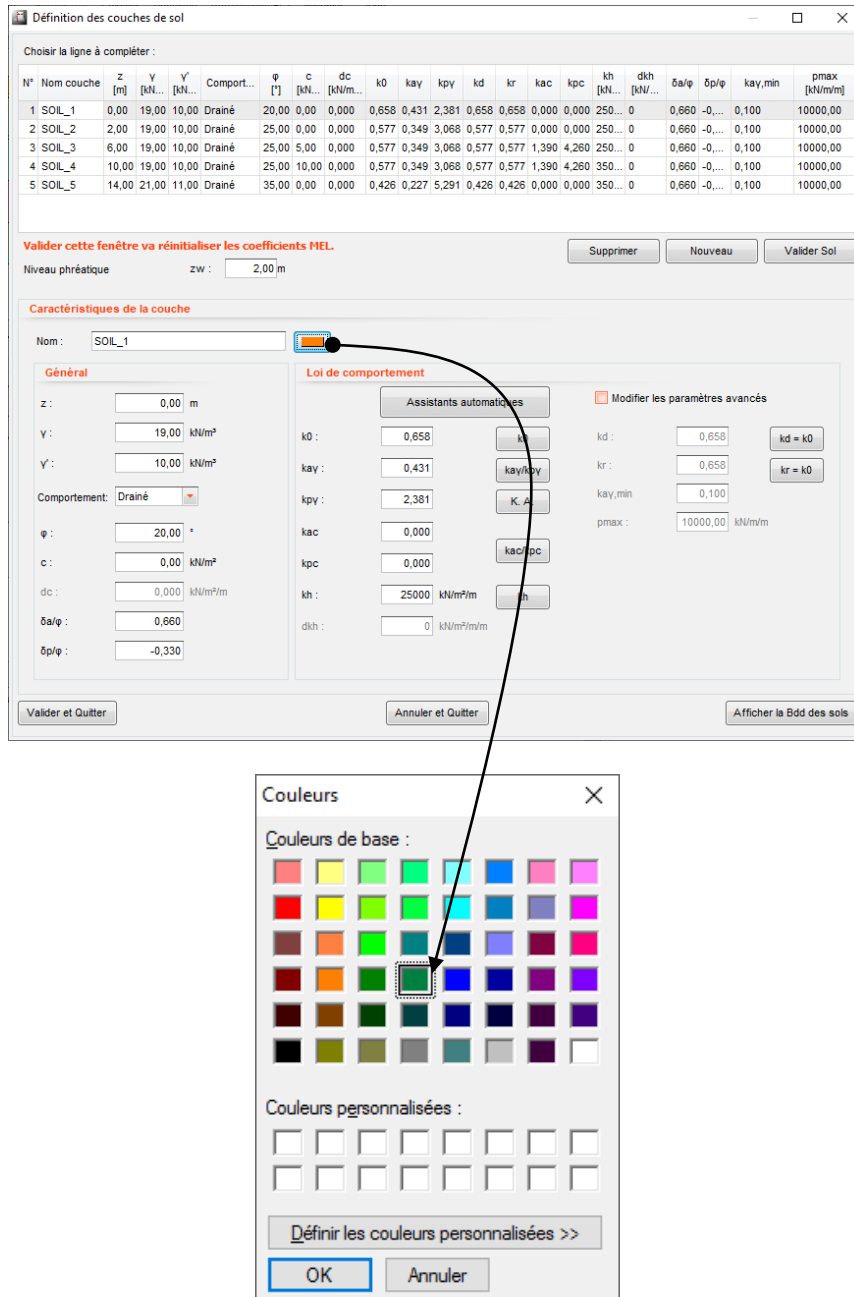


Figure B30 : Choix des couleurs pour les couches de sol

### B.3.3. Définition du rideau

Cette boîte de dialogue est accessible en cliquant sur le menu **Données** puis sur **Définition de l'écran**. Elle sert à définir les caractéristiques du rideau nécessaires au calcul.

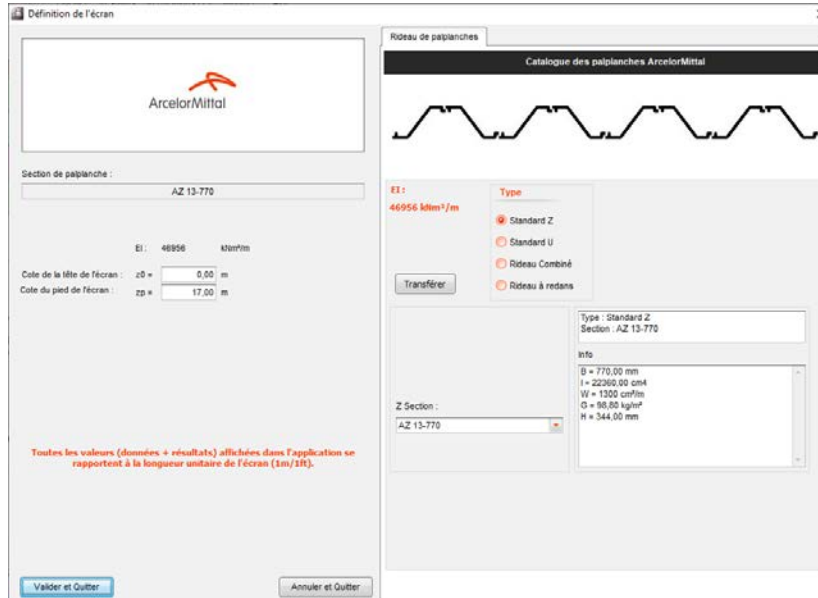


Figure B31 : Définition du rideau

Chaque rideau est défini par 3 paramètres : Z0 le niveau de la tête du rideau, Zp le niveau du pied du rideau et EI le produit d'inertie du rideau.

Pour définir Z0 et Zp, saisir les valeurs du projet dans les cases de saisie correspondantes.

Pour définir EI, il faut au préalable choisir une palplanche parmi le catalogue ArcelorMittal, présenté dans la partie droite de la boîte de dialogue. Pour ce faire, sélectionner d'abord un type de palplanche (Standard Z, Standard U, Rideau Combiné ou Rideau à redans).

En fonction du type de palplanche sélectionné :

- **Standard Z :**

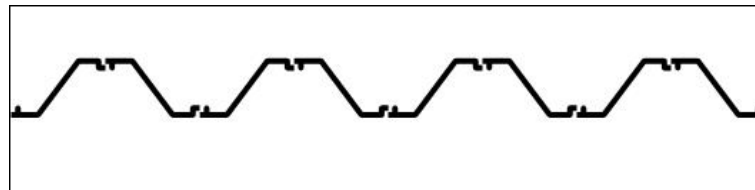
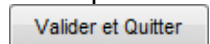


Figure B32 : Schéma type d'une palplanche de type « Standard Z »

Sélectionner la section de la palplanche dans le menu déroulant situé dessous, puis cliquer sur la flèche de transfert, ce qui permet de copier le produit d'inertie dans la case correspondante (données du projet, partie gauche de la boîte de dialogue). Cliquer sur



- **Standard U :**

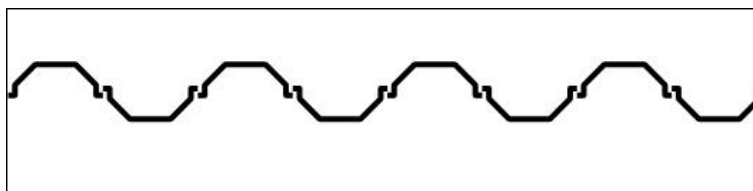


Figure B33 : Schéma type d'une palplanche de type « Standard U »

Sélectionner la section de la palplanche dans le menu déroulant situé dessous, puis cliquer sur la flèche de transfert, ce qui permet de copier le produit d'inertie dans la case correspondante (données du projet, partie gauche de la boîte de dialogue).

Il est possible alors de sélectionner l'option **Appliquer le coefficient de réduction beta D**, ce qui permet la définition d'un coefficient de réduction beta D de la valeur de EI (et ultérieurement l'affichage de l'action **Modifier le coefficient beta D dans la liste des actions** disponible pendant la définition du phasage, cette action étant détaillée au chapitre B.5.4.1).

Le produit d'inertie utilisé dans les calculs vaudra alors :

$$EI_{\text{modifié}} = \text{betaD} * EI_{\text{catalogue}}$$

Par exemple, si la case 0.50 a été cochée, alors le produit d'inertie modifié du rideau vaudra 50% de sa valeur au catalogue ArcelorMittal.

A screenshot of a software dialog box for defining the reduction factor beta D for a Standard U sheet pile. The dialog has a title bar "Section de palplanche :". Below it is a dropdown menu showing "AU 14". The next line shows "EI : 60228 kNm²/m". Below that are two input fields: "Cote de la tête de l'écran : z0 = 0,00 m" and "Cote du pied de l'écran : zp = 17,00 m". At the bottom, there is a section titled "Beta D" with a checked checkbox "Appliquer le coefficient de réduction Beta D". Below the checkbox are eight radio button options arranged in two rows: 0,30, 0,50, 0,70, 0,90 in the first row, and 0,40, 0,60, 0,80, 1,00 in the second row. The 0,50 option is selected.

Figure B34 : Cadre de définition du facteur de réduction betaD pour une palplanche de type Standard U

Cliquer sur

• Rideau Combiné :

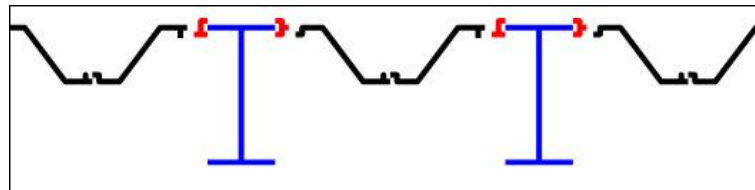


Figure B35 : Schéma type d'un rideau combiné

Sélectionner le type de rideau combiné, puis ses caractéristiques en choisissant d'abord parmi les options affichées à droite du type de rideau, puis dans les menus déroulants situés dessous. Cliquer sur la flèche de transfert, puis sur  .

• Rideau à redans :

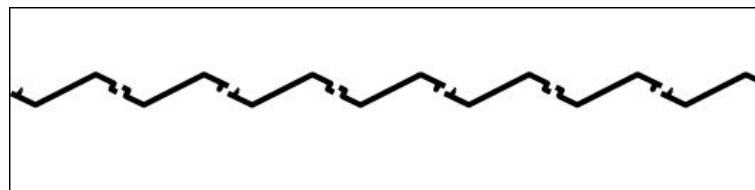


Figure B36 : Schéma type d'un rideau à redans

Sélectionner le type de rideau combiné, puis sa section dans le menu déroulant situé dessous. Cliquer sur la flèche de transfert, puis sur  .

Note : Le catalogue de palplanches ArcelorMittal sera régulièrement mis à jour et va donc évoluer dans le temps. Les types de palplanches indiqués ci-dessus sont donc susceptibles de changer, mais les principes d'utilisation de cette fenêtre resteront applicables.

Il est possible que suite à ces mises à jour, un projet soit défini avec une palplanche qui n'existe plus. Dans ce cas, AMRetain affichera le message ci-dessous :

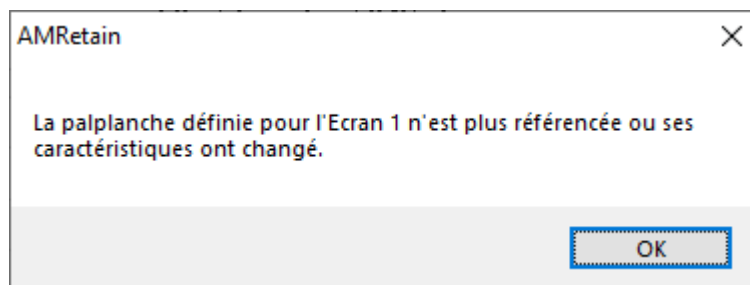


Figure B37 : Message affiché en cas de référence qui ne serait plus disponible au catalogue

Il sera alors nécessaire de choisir une nouvelle palplanche valide pour ce projet avant de pouvoir relancer les calculs.

Le cadre en bas à droite du catalogue permet, pour le type de palplanche sélectionné, de visualiser :

- **B** : Largeur de la palplanche sélectionnée (en mm ou in) ;
- **I** : Inertie de la palplanche sélectionnée (en cm<sup>4</sup>/m ou in<sup>4</sup>/ft) ;
- **W** : Module de la palplanche sélectionnée (en cm<sup>3</sup>/m ou in<sup>3</sup>/ft) ;
- **G** : Poids de la palplanche sélectionnée (en kg/m<sup>2</sup> ou lb/ft<sup>2</sup>) ;
- **H** : Hauteur de la palplanche sélectionnée (en mm ou in).

Le catalogue proprement dit n'est disponible qu'en système métrique, mais dans le cas d'un projet en unités impériales, toutes les valeurs affichées sont converties et apparaissent à l'écran dans le système impérial (en plus des valeurs issues du catalogue dans le système métrique). Le produit EI calculé est également converti en KipFt<sup>2</sup>/Ft.

### B.3.4. Saisie des données pour les projets double-rideau

Dans le cadre des projets double-rideau, les données à saisir sont les mêmes que celles décrites précédemment, mais elles doivent être saisies pour chacun des 2 rideaux. Les paramètres supplémentaires et les particularités rencontrées lors de la définition d'un projet double-rideau sont présentés ci-après.

#### B.3.4.1. Titres et options (cas double-rideau)

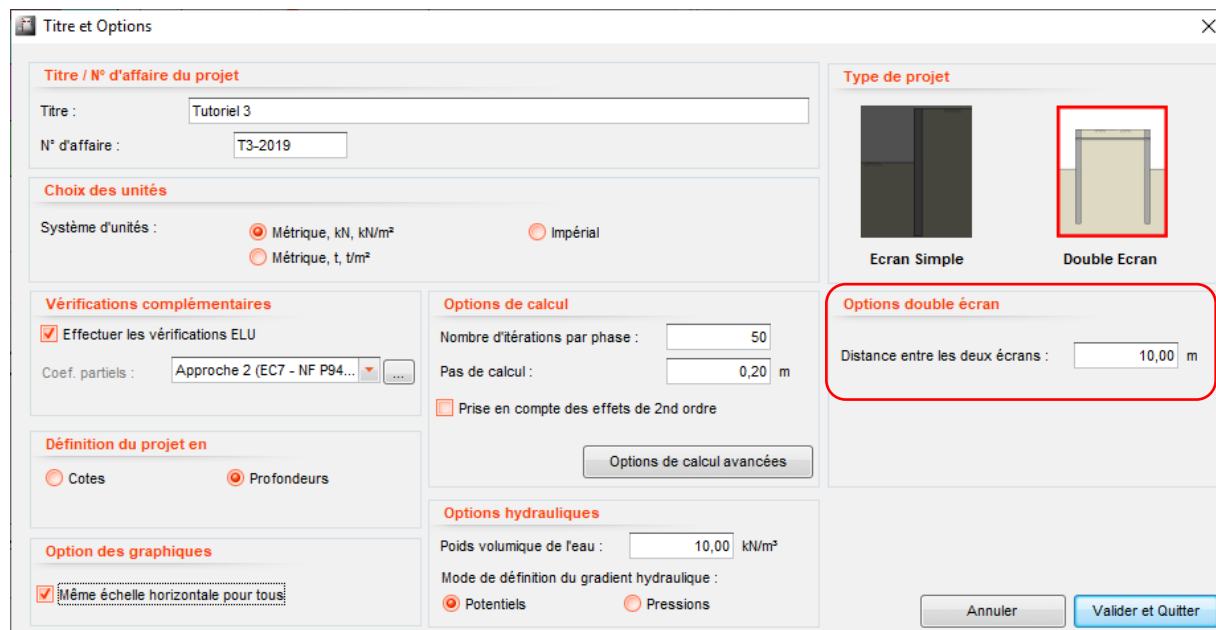


Figure B38 : Boîte de dialogue « Titre et Options » (projet double rideau)

Lorsqu'on choisit un projet de type double-rideau, un paramètre supplémentaire est à renseigner :

- Distance entre les deux rideaux (m, ft).

Il est important de noter que ce paramètre intervient uniquement dans la définition du massif d'ancrage quand les vérifications ELU sont demandées. Sa valeur est sans incidence sur les autres résultats.

La saisie des données fait référence ensuite à l'Écran 1 (rideau gauche) et à l'Écran 2 (rideau droit). Voir le chapitre B.1.2.2 pour les conventions relatives à ces 2 rideaux, et le choix du rideau 1 et du rideau 2.

### B.3.4.2. Définition des couches de sol pour un double-rideau

Dans le cas d'un projet double-rideau, la boîte de dialogue « Définition des couches de sol » possède deux onglets « Écran 1 » et « Écran 2 ».

La saisie se fait de manière identique à celle d'un projet rideau simple (cf. § B.3.2).

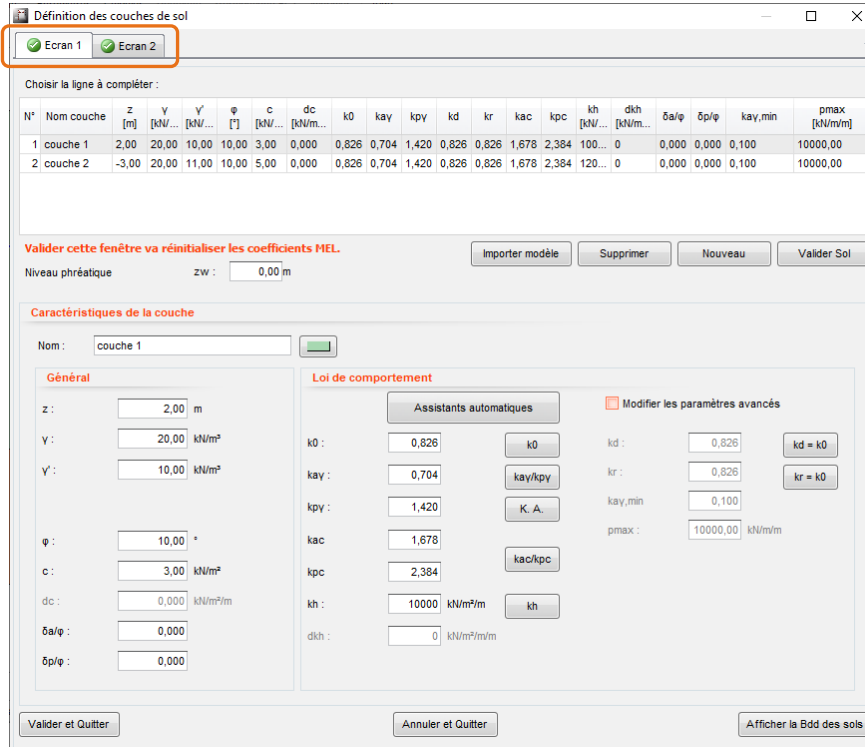


Figure B39 : Boîte de dialogue des caractéristiques des couches de sol – Projet double rideau

Après avoir saisi les données du rideau 1, il est possible de transférer le modèle sol du rideau 1 vers celui du rideau 2 en cliquant sur le bouton **Importer modèle** depuis l'onglet « Écran 2 ».

### B.3.4.3. Définition des caractéristiques des deux rideaux

L'utilisateur doit saisir d'abord les données du rideau 1, puis celles du rideau 2.



Définition de l'écran

✓ Ecran 1 ✓ Ecran 2

ArcelorMittal

Section de palplanche :  
AZ 18-800

EI : 86772 kNm<sup>2</sup>/m

Cote de la tête de l'écran : z0 = 2,00 m

Cote du pied de l'écran : zp = 0,00 m

Toutes les valeurs (données + résultats) affichées dans l'application se rapportent à la longueur unitaire de l'écran (1m/1ft).

Valider et Quitter Annuler et Quitter

Figure B40 : Fenêtre de définition du rideau – Projet double-rideau

### B.3.5. Définition des cas de charges

Il est possible dans AMRetain de créer plusieurs combinaisons de charges dans un seul projet. A différence des 3 premières fenêtres décrites aux chapitres B.3.1 à B.3.3, la définition des cas de charges est optionnelle.

La définition des cas de charges est menée en trois étapes :

1. Activer le calcul de combinaisons de charges : ouvrir la fenêtre **Définition de cas de charges** accessible dans le menu Combinaisons et cocher la case en haut de la fenêtre ;
2. Définir les familles de charges du projet en leur attribuant un nom et en spécifiant le coefficient pondérateur qui doit être attribué à chaque combinaison. Ceci est à faire dans la zone supérieure de la fenêtre ;
3. Définir les combinaisons de calcul à considérer (combinaison 1, 2, etc.) à chaque phase de calcul. Ceci est à faire dans la zone inférieure de fenêtre.

Lors de la définition du phasage, il faudra attribuer chaque surcharge (sur le sol ou sur le rideau) à une famille de charges.

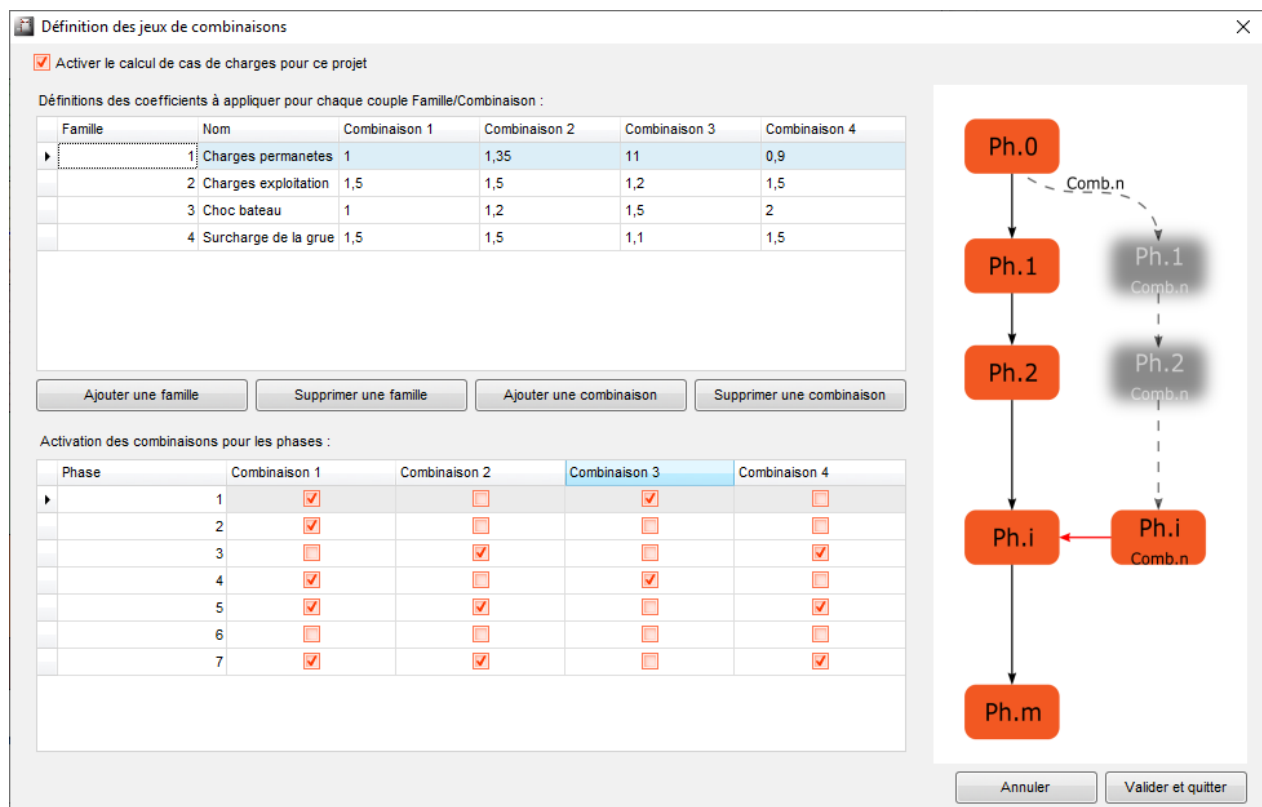


Figure B41 : Fenêtre de définition des familles et des combinaisons de charges

Les résultats des cas de charges s'afficheront en complément de ceux du calcul de base. Ils sont accessibles via le choix de « Combinaisons » de la fenêtre **Résultats** et dans la fenêtre **Vérifications à l'EC7**. Cette liste de choix est accessible dans toutes les phases où au moins une combinaison a été demandée. Si plusieurs combinaisons ont été considérées dans une même phase, une liste déroulante permet la navigation entre ces dernières.

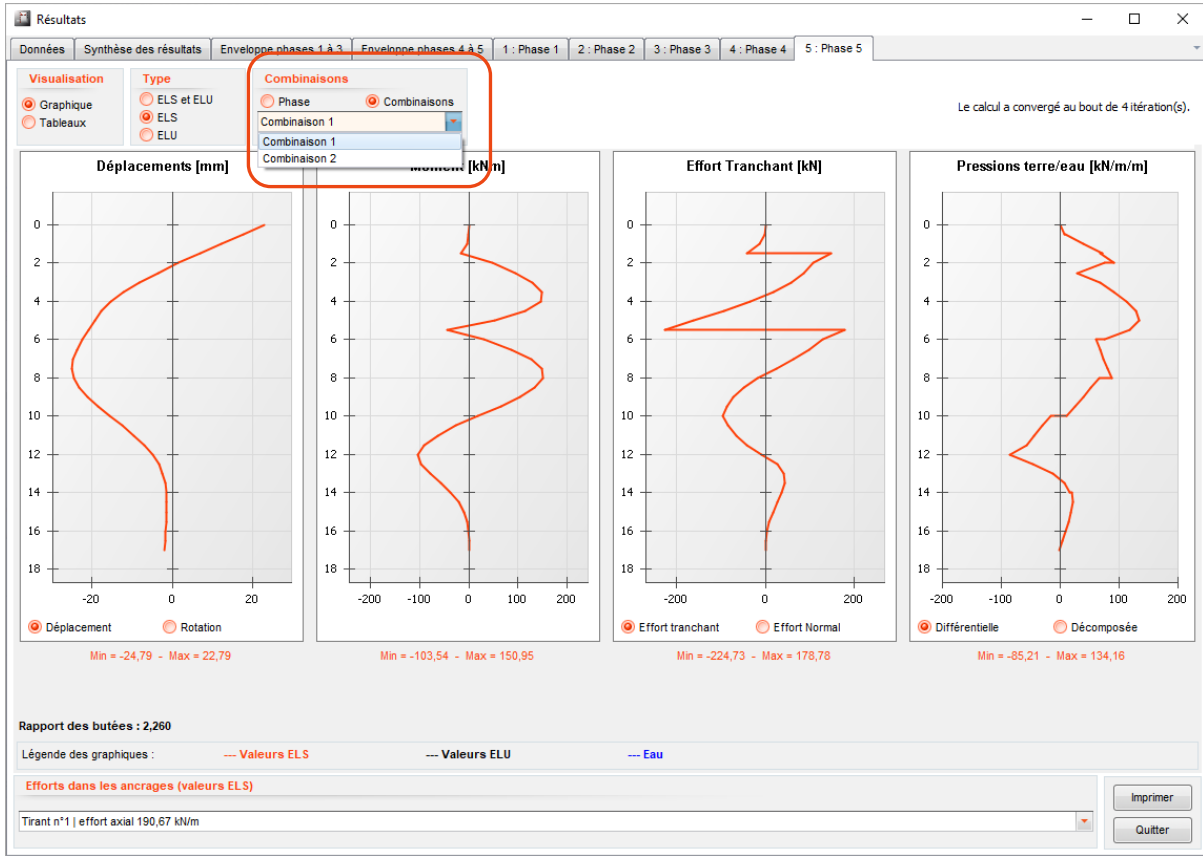


Figure B42 : Fenêtre de Résultats permettant l'accès aux résultats par combinaisons de charges

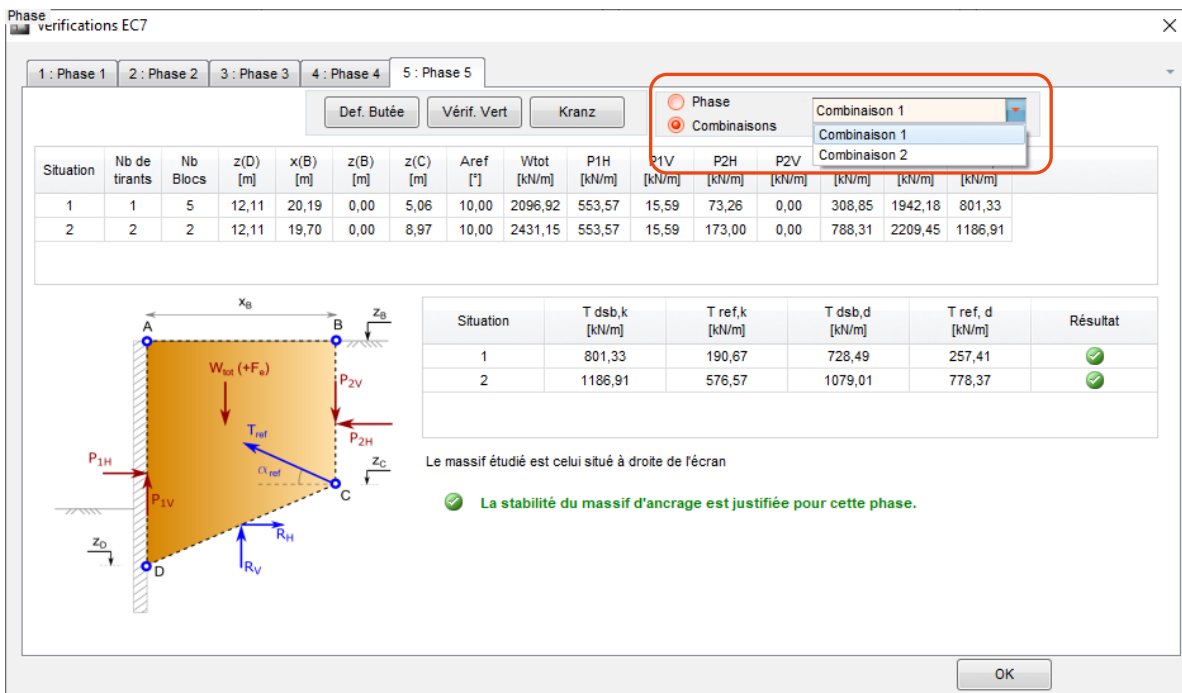


Figure B43 : Fenêtre de Vérifications à l'EC7 permettant l'accès aux résultats par combinaisons de charges

## B.4. Définition du phasage

Après avoir renseigné les données du sol et du (des) rideau(x), il convient de définir le phasage de calcul représentant les étapes de construction et de service du projet.

Le choix de la cinématique du phasage peut avoir une influence significative sur les résultats notamment du fait des non linéarités liés à plastification du sol et à l'évolution de la rigidité du rideau et de ses ancrages au cours du phasage.

De manière générale, il est recommandé de définir le phasage au plus près de la réalité, en le décomposant au maximum et en évitant de définir dans une même phase, pour un côté et un rideau donnés, des actions ayant des effets opposés (remblaiement suivi d'une excavation par exemple).

Le présent chapitre décrit de manière générale les manipulations permettant de définir le phasage de calcul ainsi que la procédure de création d'un phasage respectivement pour les projets rideau simple et double-rideau. La description des actions pouvant être définies dans une phase donnée est détaillée dans le chapitre B.5.

### B.4.1. Présentation

Le phasage est géré via 3 zones :

- la zone de gestion des phases (création, suppression, navigation, etc.) ;
- la zone de choix des actions à appliquer dans chaque phase ;
- la zone de définition des paramètres de chaque action.

Le fonctionnement de ces différentes zones est expliqué dans les sous-chapitres qui suivent.

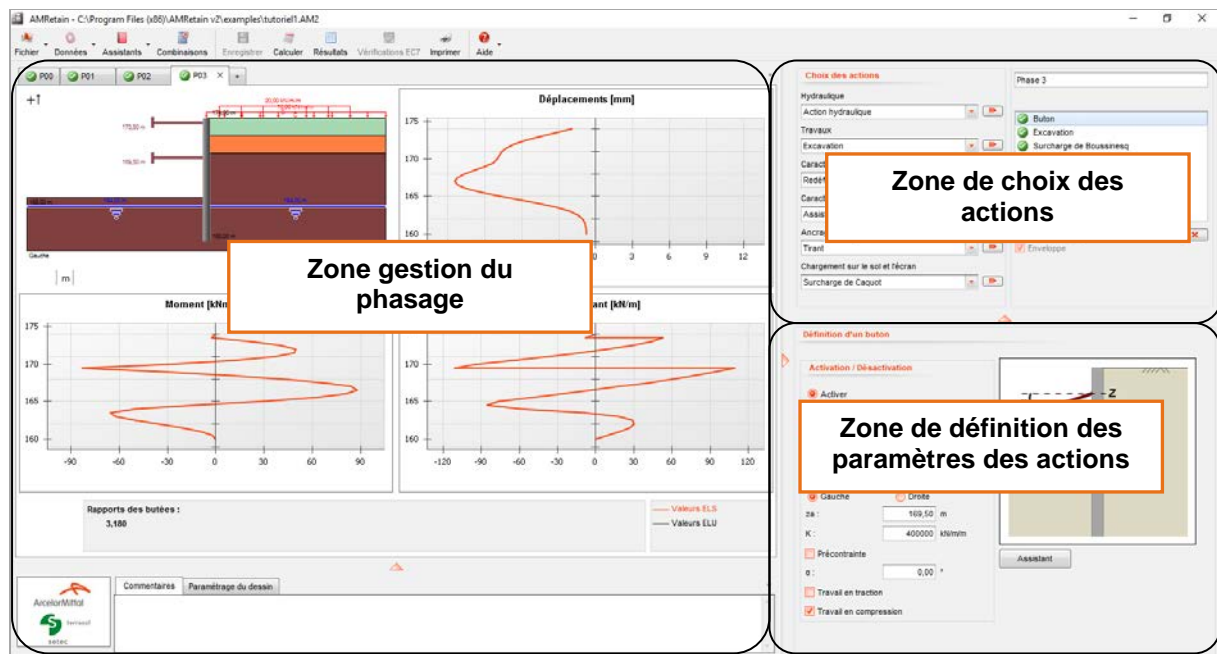


Figure B44 : Fenêtre principale – Gestion du phasage

### B.4.2. Cadre de gestion des phases

La figure suivante présente la zone de gestion des phases, située en partie gauche de la fenêtre principale. Elle permet de créer et de manipuler les phases de calcul.

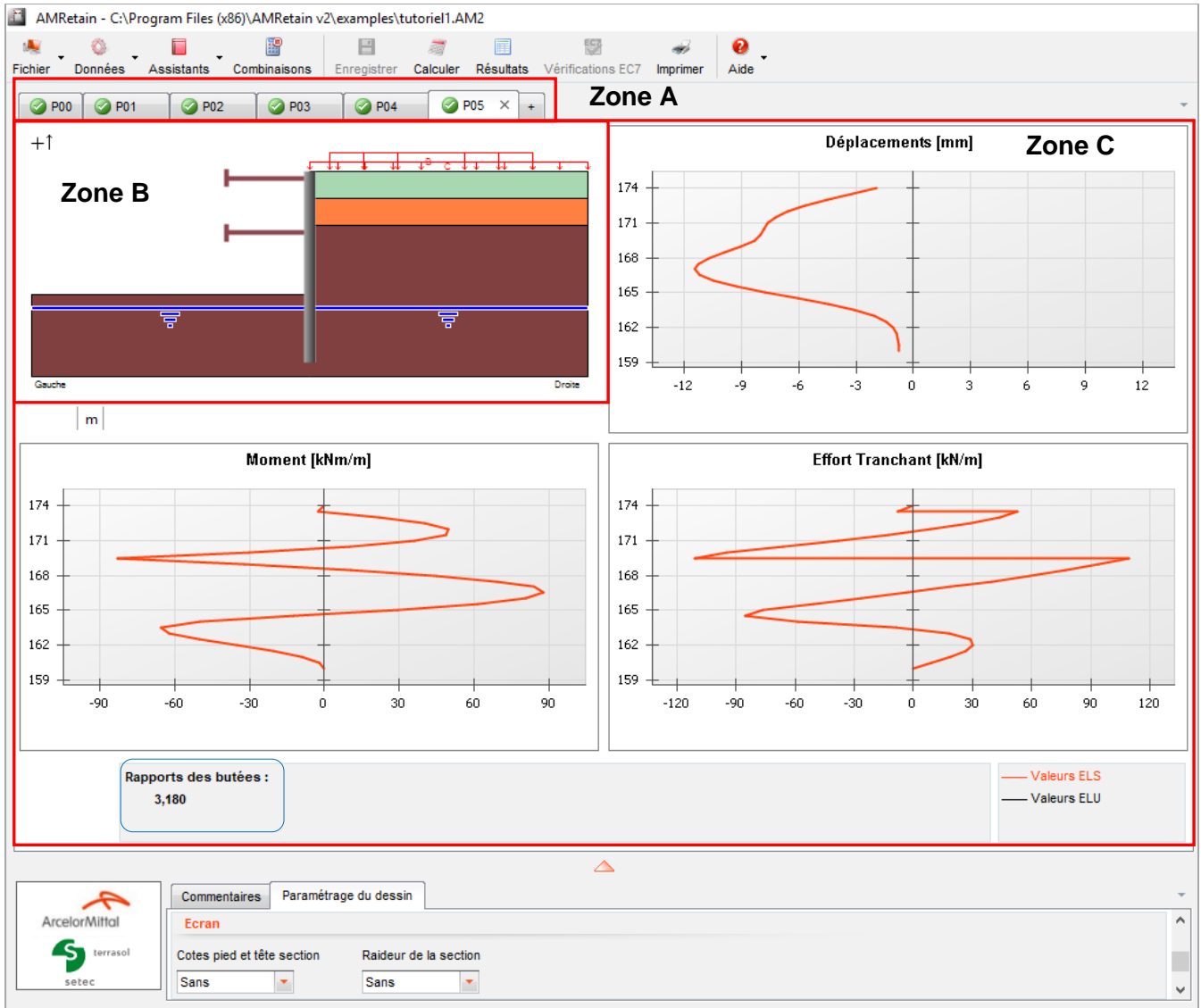


Figure B45 : Zones de gestion du phasage

La **zone A** présente les onglets correspondant aux phases de calcul. La navigation entre les différents phases du projet est possible par simple clic sur l'onglet de la phase que l'on souhaite visualiser.

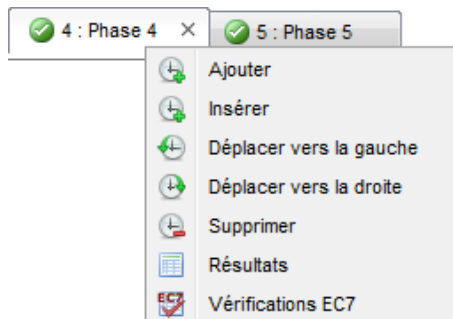


Figure B46 : Menu de gestion du phasage

Un clic droit sur l'onglet fait apparaître les options suivantes :

- Ajouter** : ajoute une phase à la suite de la dernière phase ;
- Insérer** : ajoute une phase avant la phase sélectionnée ;
- Déplacer vers la gauche** : déplace la phase sélectionnée vers la gauche ;
- Déplacer vers la droite** : déplace la phase sélectionnée vers la droite ;
- Supprimer** : supprime la phase sélectionnée avec un message de confirmation ;
- Résultats** : ouvre la fenêtre des résultats de la phase sélectionnée ;
- Vérifications EC7** : accessible uniquement dans les projets pour lesquels les vérifications ELU sont activées dans le menu « Titre et Options ». Si tel est le cas, ce bouton ouvre les vérifications EC7 de la phase sélectionnée.

La **zone B** permet de visualiser la coupe du projet correspondant à la phase en cours.

La **zone C** permet de visualiser les courbes de résultats après le lancement des calculs. Ce sont les courbes de déplacements, les diagrammes des efforts tranchants et des moments fléchissants du rideau pour la phase en cours. Le(s) **rapport(s) des butées** côté fouille s'affiche(nt) également<sup>1</sup>.

La **zone D** est réservée aux commentaires et au paramétrage du dessin. Etant situé juste en-dessous du cadre de gestion du phasage, ce cadre permet :

- de saisir des commentaires relatifs à la phase en cours. Ceux-ci sont rappelés ultérieurement pour mémoire dans l'impression des résultats.

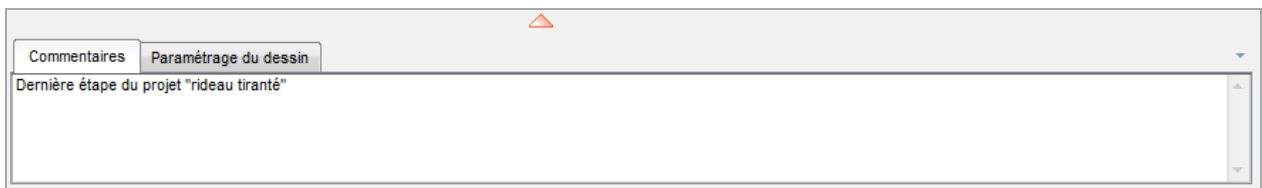


Figure B47 : Onglet « Commentaires »

- de configurer l'affichage, sur la coupe du projet, des cotes des couches de sol et des actions (nappe, ancrages, surcharges, etc.), ainsi que de faire apparaître les noms des couches de sols ou encore les caractéristiques des actions (raideurs des ancrages, valeurs des surcharges, etc.).

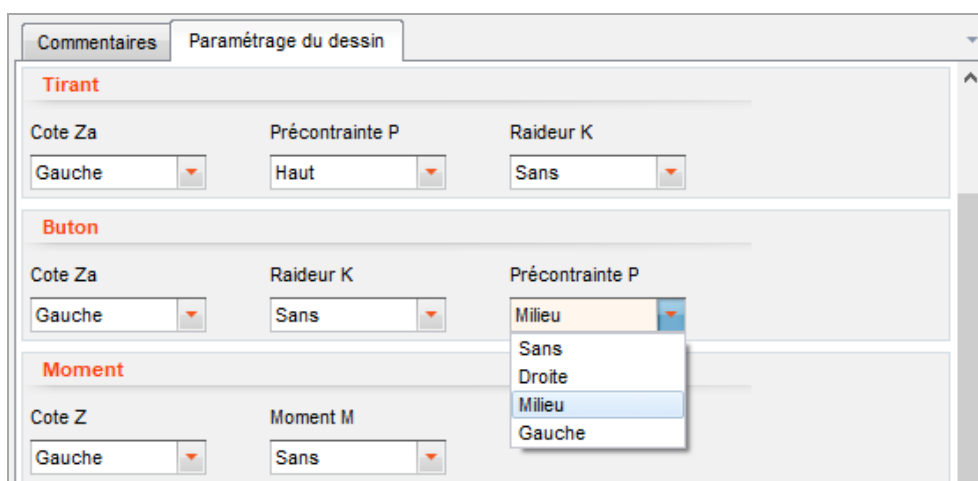


Figure B48 : Onglet « Paramétrage du dessin »

<sup>1</sup> Le rapport de butées ne s'affiche pas en zone C si les vérifications ELU sont activées. Ce paramètre est néanmoins toujours disponible dans la « Synthèse des résultats » (cf. § B.6.2.3).

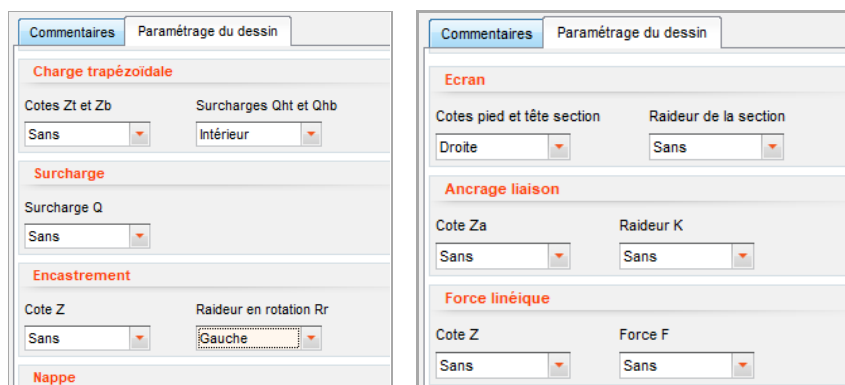






Figure B49 : Onglet Paramétrage du dessin  
(exemples de paramètres d'affichage de certaines actions)

**Remarque 1 :** les graphiques peuvent être agrandis pour remplir tout le cadre de gestion du phasage en double-cliquant dessus. Il est possible de survoler les courbes à l'aide de la souris pour afficher la valeur de la courbe au droit du point choisi sous forme d'infobulle. Dans le cas d'un calcul avec vérification à l'ELU, deux courbes s'affichent pour les moments fléchissants et les efforts tranchants. La courbe en rose/violet indique les valeurs caractéristiques (sans pondération) et la courbe noire affiche les valeurs de calcul (avec pondération).

Un clic droit sur ces mêmes graphiques permet d'accéder au menu contextuel (voir chapitre B.2.3.9). Un double-clic permet de ramener le graphique à sa taille initiale.

**Remarque 2 :** en **zone B**, la représentation graphique des couches de sol, des rideaux et des actions respecte une échelle verticale mais pas une échelle horizontale. En effet, le repère utilisé n'est pas orthonormé et la distance entre les deux rideaux n'est pas à la même échelle que le repère vertical. Il ne convient donc pas de considérer la longueur et à l'inclinaison des tirants ainsi qu'à l'espacement entre les deux rideaux (dans le cadre d'un projet double-rideau) provenant de la représentation graphique.

**Remarque 3 :** la coupe du projet, les résultats graphiques, les commentaires ainsi que le paramétrage peuvent occuper une place variable dans la fenêtre principale :

- un clic sur la flèche  permet à l'ensemble des figures d'occuper la totalité de la fenêtre ;
- cliquer/glisser sur la flèche  permet à l'utilisateur de partitionner la fenêtre horizontalement jusqu'au deux tiers environ ;
- un clic sur la flèche  :
  - affiche l'onglet « Commentaires » ou « Paramétrage du dessin » sur la totalité de la hauteur de la fenêtre ; ou bien
  - affiche la définition de l'action sur la totalité de la hauteur de la fenêtre
- cliquer/glisser sur la flèche  permet à l'utilisateur de partitionner la fenêtre dans une certaine mesure.

### B.4.3. Cadre de choix des actions



Figure B50 : Cadre de choix des actions pour une phase de calcul

Le cadre de choix des actions est affiché en haut à droite de la fenêtre principale. Il permet d'appliquer les actions souhaitées dans la phase de calcul sélectionnée.

Le titre de la phase en cours est situé dans la **zone B**. Ce titre réapparaît dans la fenêtre des « Résultats » pour faciliter sa lecture et son interprétation. Il est possible de renommer la phase sélectionnée en modifiant le texte saisi dans cette zone.

Les actions dans AMRetain définissent globalement les conditions d'appui et de chargement du rideau ainsi que leur évolution au cours des phases de construction. Elles permettent entre autres de caractériser les interactions rideau-sol et rideau-ancrages.

Ces actions sont classées par groupes :

- Hydraulique** : ce groupe contient l'action hydraulique servant à définir les niveaux de nappe et les gradients éventuels ;
- Travaux** : regroupe les opérations effectuées sur les terres (excavation ou remblaiement) avec la possibilité de simuler des géométries de type talus ou risberme ;
- Caractéristiques des sols** : ce groupe contient 2 actions. L'une permet de modifier les caractéristiques intrinsèques des couches de sol et l'autre permet d'imposer les diagrammes de pressions limites ou au repos ;
- Caractéristiques du rideau** : ce groupe contient 2 actions. La première permet de modifier les propriétés intrinsèques du rideau en se limitant à son hauteur initiale. La deuxième agit plutôt sur la structure du rideau et offre la possibilité de définir une rehausse ou un approfondissement ;
- Ancrages et appuis** : regroupe 3 types d'ancrages (tirant, buton et encastrement) pour les rideaux simples et 2 types d'ancrages supplémentaires pour les projets double-rideau (liaison linéique) ;
- Chargements sur le sol et le rideau** : regroupe 3 types de surcharges applicables au sol (Caquot ou Boussinesq), ainsi que 3 types de chargement applicables directement sur le rideau (force linéique, moment linéique et charge trapézoïdale).

La **zone A** contient les menus déroulants correspondant à chaque groupe qui permettent le choix des actions à appliquer dans la phase en cours.

Le tableau complet des actions disponibles de même que la description détaillée des paramètres de chaque action sont fournis au chapitre B.5.

Pour appliquer une action, cliquer à l'intérieur du cadre du menu déroulant correspondant au groupe de l'action à réaliser.

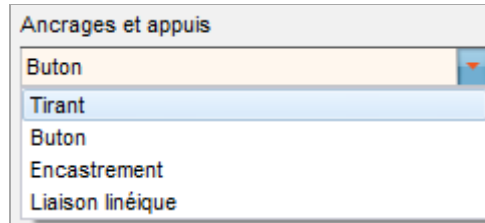


Figure B51 : Sélection de l'action Buton

Cliquer ensuite sur le bouton de transfert pour l'inscrire dans la liste des actions à réaliser (**zone C**) dans la phase en cours.

Elle apparaît alors le cadre de définition de l'action sélectionnée sous le cadre de choix des actions. C'est dans celui-ci qu'il faut saisir les paramètres nécessaires à la définition de l'action.

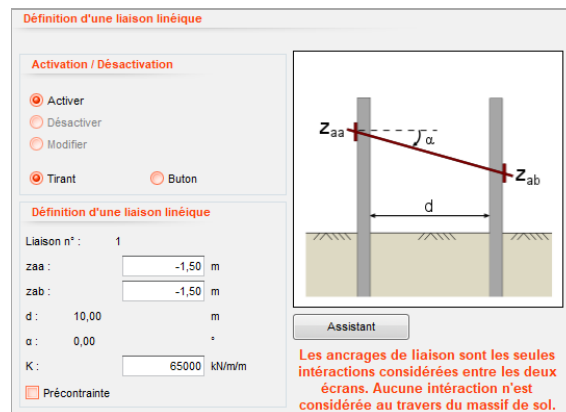





Figure B52 : Définition des paramètres d'une action

Toutes les actions d'une phase apparaîtront sous forme de liste classée par ordre de déclaration dans la **zone C** située sous le nom de la phase en cours.

**Nota 1** : le bouton  permet de supprimer l'action sélectionnée de la liste des actions de la phase en cours.

**Nota 2** : les actions sont marquées :

- d'une coche verte  lorsqu'elles sont définies correctement ;
- d'une croix rouge  lorsqu'elles sont incomplètes ou pas correctement définies.

Une infobulle dans le cadre de définition de l'action, ainsi que dans la liste des actions, donne quelques indications sur l'origine d'invalidité de la saisie :

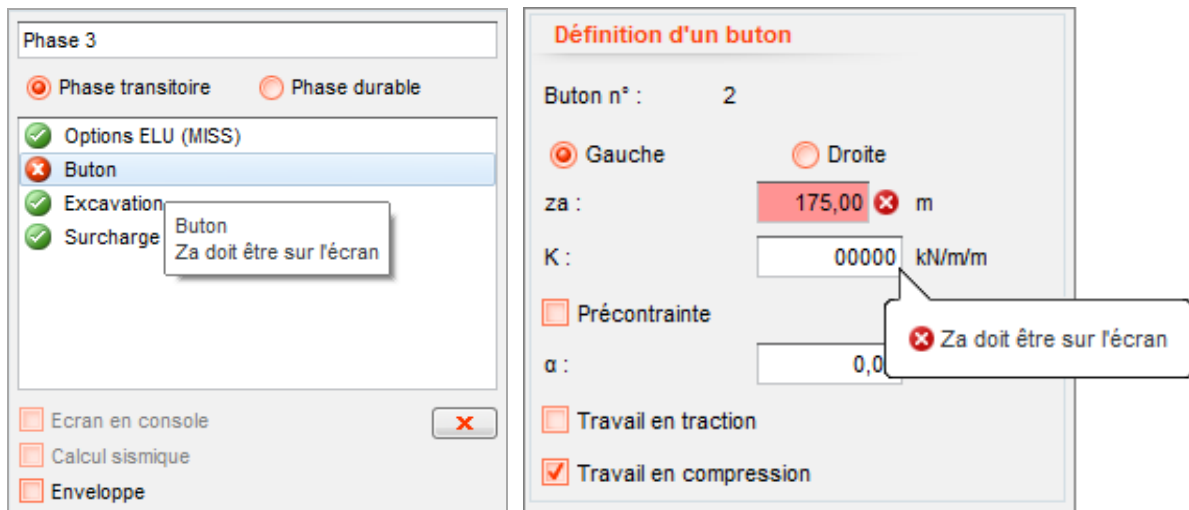


Figure B53 : : Indications sur l'origine d'invalidités de saisie

Les propriétés mécaniques des actions sont décrites au chapitre B.5.

Dans le cas d'un projet avec vérifications ELU, deux sélections supplémentaires sont à effectuer pour caractériser la nature de la phase et le modèle de calcul :

- **Phase transitoire / Phase durable** : ce choix conditionne la sélection de la valeur du coefficient partiel relatif à la butée mobilisable prise en compte lors de la vérification à l'ELU du défaut de butée (cf. § B.3.1.2) ;
- **Rideau en console (calcul MEL)** : ce choix n'est accessible que pour les phases sans aucun appui « actif » (élément du groupe « Ancrages et appuis »). Il est activé par défaut dans ce cas, mais peut être désactivé à volonté de l'utilisateur. Si la case est cochée, le rideau sera considéré comme auto-stable (en console) pour la phase sélectionnée et les vérifications ELU se feront sur la base d'un calcul MEL au lieu d'un calcul MISS (cf. partie C du manuel). Si la case est cochée, AMRetain créera automatiquement une action **Coefficients MEL** (cf. § B.5.7.1).

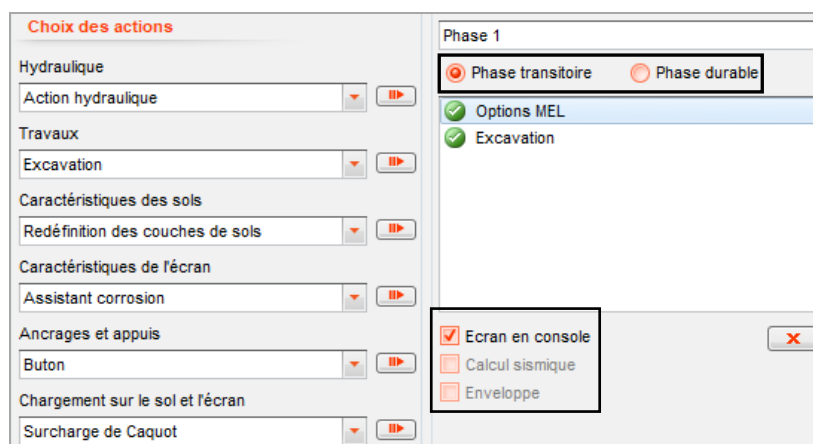


Figure B54 : Cadre de choix des actions pour une phase de calcul (cas d'un projet avec vérifications ELU)

Dans tous les cas (projets avec ou sans vérifications ELU), les cases à cocher « **Calcul sismique** » et « **Enveloppe** » sont disponibles.


La case à cocher « **Calcul sismique** » permet de réserver la phase en question à un calcul sous séisme. La particularité d'une telle phase est que :

- Elle est sans issue dans la mesure où elle ne modifie pas le phasage principal constitué de phases « non sismiques » ;
- Aucune action du cadre « Choix des actions » ne peut être ajoutée par l'utilisateur. Inversement, l'option « Calcul sismique » est désactivée et inaccessible dans les phases contenant au moins une action non automatique.

La case à cocher « **Enveloppe** » permet d'assembler les courbes des résultats de plusieurs phases successives. À titre d'exemple :

- Si aucune case « Enveloppe » n'est cochée dans un projet, une famille de courbes enveloppes apparaîtra et rassemblera les extrema des déplacements, efforts tranchants et moments fléchissants calculés pour sur la base de toutes les phases.
- Si un projet contient 5 phases en plus de la phase initiale et que la case « Enveloppe » a été cochée uniquement en phase 3, deux courbes enveloppes (extrema des déplacements, efforts tranchants et moments fléchissants) seront représentées pour les phases 1 à 3 et 4 à 5 respectivement.

**Remarque :** La case enveloppe ne peut être sélectionnée ni en phase initiale, ni en phase 1 (les résultats de la phase 1 constituent leur propre enveloppe) ni en dernière phase.

Le bouton  supprime l'action sélectionnée dans la liste des actions de la phase en cours. Attention, pour alléger la manipulation, l'action est supprimée sans demande de confirmation.

#### B.4.4. Cadre de définition des actions

Le cadre de définition des actions apparaît en bas à droite de l'interface AMRetain (juste sous le cadre de choix des actions). Il permet de définir l'action sélectionnée.

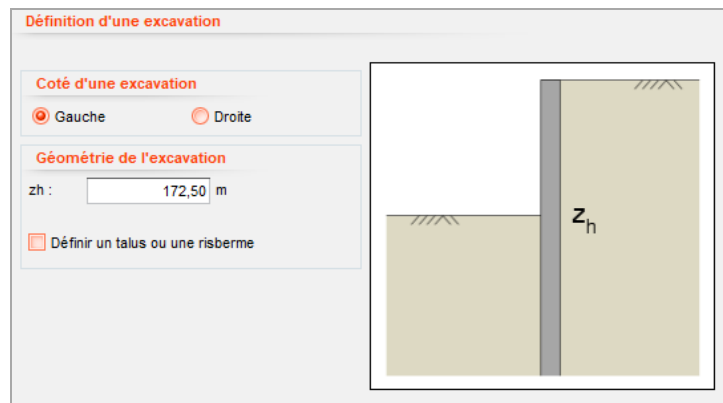


Figure B55 : Cadre de définition des actions (exemple d'une excavation)

Chaque action possède un cadre de définition des actions qui lui est propre. Il est composé en général d'une partie gauche consacrée à la saisie des paramètres définissant l'action et d'une partie droite affichant un schéma de principe sur lequel sont illustrés ces paramètres.

La Figure B 55 montre le cadre de définition d'une excavation. Cet exemple illustre un terrassement côté gauche à la cote 172,50 m.

L'ensemble des cadres de définition sont explicités au chapitre B.5 dans les paragraphes dédiés aux actions correspondantes.

### B.4.5. Validation / Calcul / Résultats

Une action est validée si ses paramètres obligatoires sont bien complétés. Elle se voit donc affectée d'une coche verte dans la liste des actions.

Les boutons **Calculer** et **Résultats** sont accessibles depuis la barre des boutons.

- Calculer : lance le calcul ;
- Résultats : ouvre la fenêtre des résultats (désactivé si le projet n'a pas encore été calculé).
- Vérification EC7 : ouvre les résultats des vérifications EC7. Ce bouton est actif seulement si les vérifications à l'ELU ont été demandées dans les options du projet et si le projet est calculé. Ces vérifications sont également accessibles depuis la fenêtre des résultats, pour chacune des phases (cf. chapitre B.6.4).

### B.4.6. Définition du phasage pour un projet de type « Ecran Simple »

#### B.4.6.1. Projets sans vérifications ELU

Par défaut, AMRetain crée toujours une première phase de calcul « P00 » intitulée « phase initiale » comme illustré sur la figure ci-dessous :

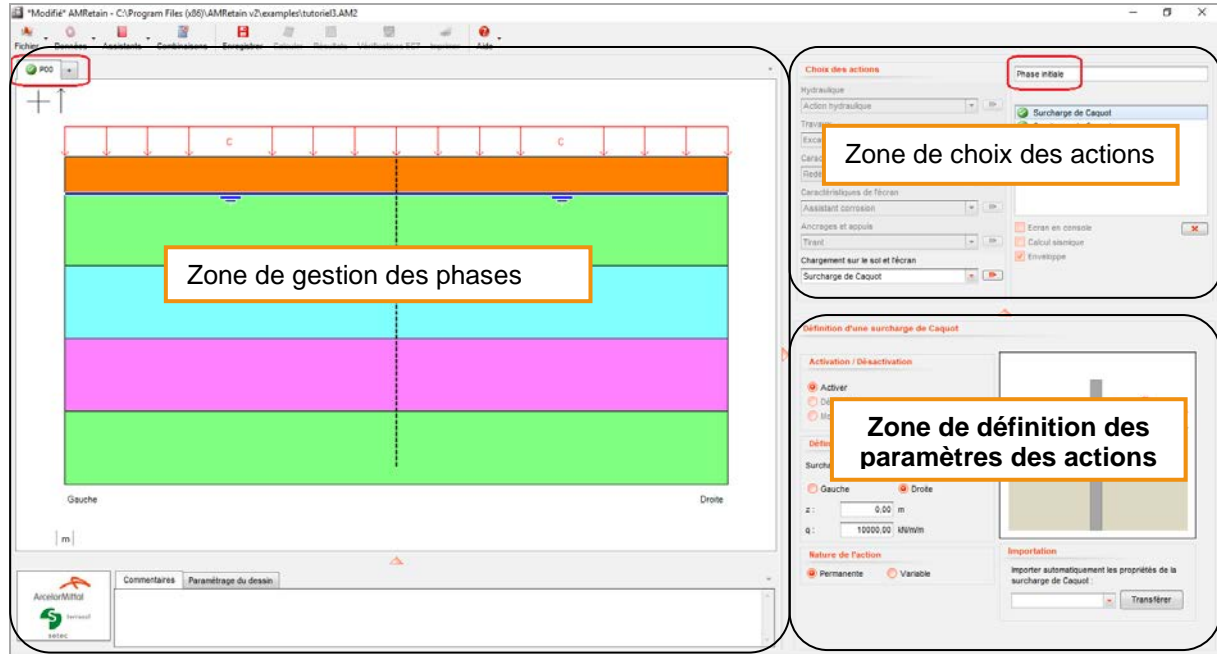


Figure B56 : Phase initiale

En phase initiale seule l'action « Surcharge de Caquot » est disponible.

Le fonctionnement du cadre des actions a été décrit dans le chapitre B.4.3 et le détail des actions est donné dans §B.5. Si des actions sont appliquées dans la phase initiale, elles seront représentées sur la coupe du projet après leur validation.

Ensuite, pour créer la phase 1, cliquer sur l'onglet situé à droite de celui de la phase initiale, ou utiliser le menu contextuel de l'onglet de la phase initiale (clic droit puis « Ajouter »). Cette action va créer un nouvel onglet « P01 » portant par défaut le nom de « Phase 1 ». Il convient de définir les actions voulues pour cette phase 1 (en fonction de votre projet). Après chaque création d'action dans la phase 1, la représentation graphique du projet sera actualisée en conséquence.

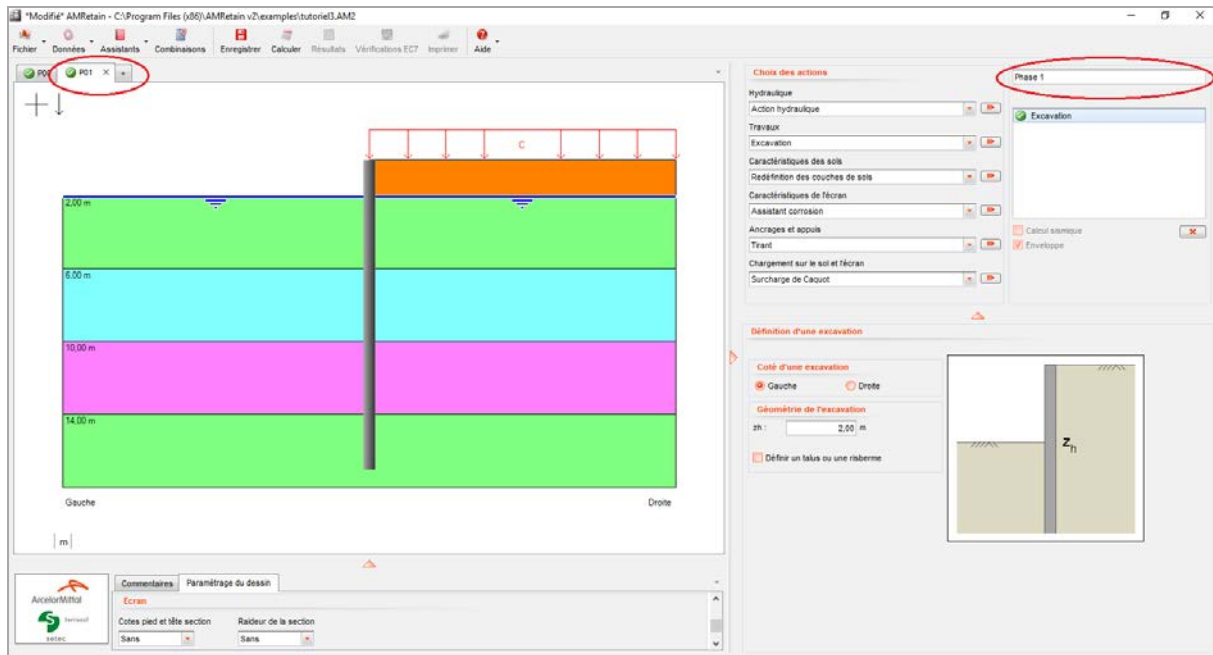


Figure B57 : Création et affichage de la phase 1 d'un projet

Il suffit ensuite de procéder de même pour les phases suivantes, jusqu'à avoir complété le phasage du projet étudié. A chaque ajout d'une nouvelle phase, l'onglet correspondant apparaîtra à la suite des onglets existants et portera un nom du type « PXX » où XX correspond à l'ordre de la phase dans le projet, un titre modifiable du type « Phase XX » lui est également affecté par défaut.

Les onglets du cadre de gestion des phases permettent une navigation rapide entre les phases de calcul du projet par simple clic (pendant la définition du phasage mais également après le calcul pour visualiser les résultats).

#### B.4.6.2. Projets avec vérifications ELU

Dans le cas d'un projet avec vérifications ELU, AMRetain demande la saisie de données complémentaires pour la définition des phases et des actions.

Ainsi, il faut préciser pour chaque phase s'il s'agit d'une **Phase transitoire** ou **durable**.

Il faudra également indiquer, par phase, si le rideau doit être considéré comme autostable (en console - calcul MEL) ou ancré (calcul MISS). L'option **Ecran en console** est automatiquement désactivée et inaccessible lorsqu'un appui est actif dans la phase considérée, sauf s'il s'agit d'un tirant sans précontrainte, qui n'est pas actif dans sa phase de pose.

Dans les phases pour lesquelles le rideau est considéré en console, AMRetain crée automatiquement une action **Options MEL**. Cette dernière permet de contrôler les surexcavations, la méthode de calcul MEL utilisée, le côté de la butée et si nécessaire les paramètres de la contre-butée, notamment son inclinaison, pour la phase en cours (cf. chapitre B.5.7.1).

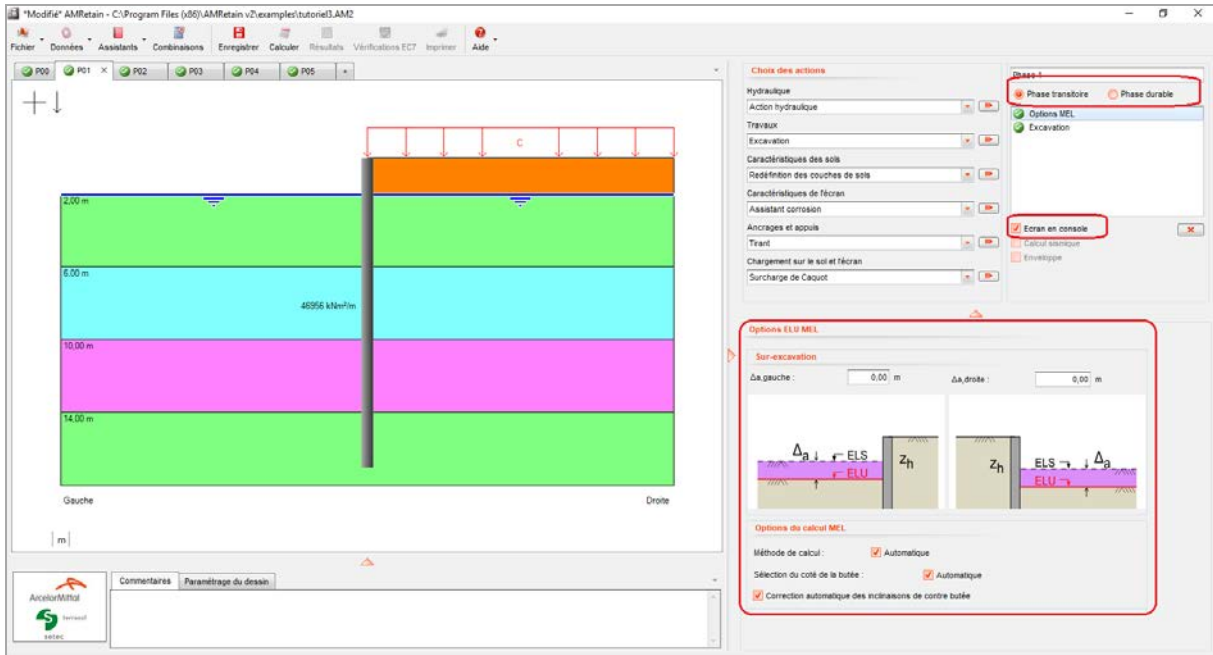


Figure B58 : Exemple de données supplémentaires pour les projets avec vérifications ELU dans le cas d'une phase où le rideau est considéré comme autostable

Dans les phases pour lesquelles le rideau est ancré, AMRetain crée automatiquement une action **Options ELU (MISS)**. Cette dernière permet de contrôler les surexcavations (cf. chapitre B.5.7.1 et chapitre B.5.7.2).

### B.4.7. Définition du phasage pour un projet de type « Double-Ecran »

Le principe de création/gestion du phasage pour un projet double-rideau est le même que pour un projet rideau simple. Les actions à appliquer sur chacun des 2 rideaux devront être définies.

A cet effet deux boutons apparaissent en tête du cadre de définition de chaque action afin de pouvoir l'attribuer au rideau 1 ou au rideau 2. Cela concerne toutes les actions compatibles avec un rideau simple, seules les actions liaisons linéiques et surfaciques font l'exception.

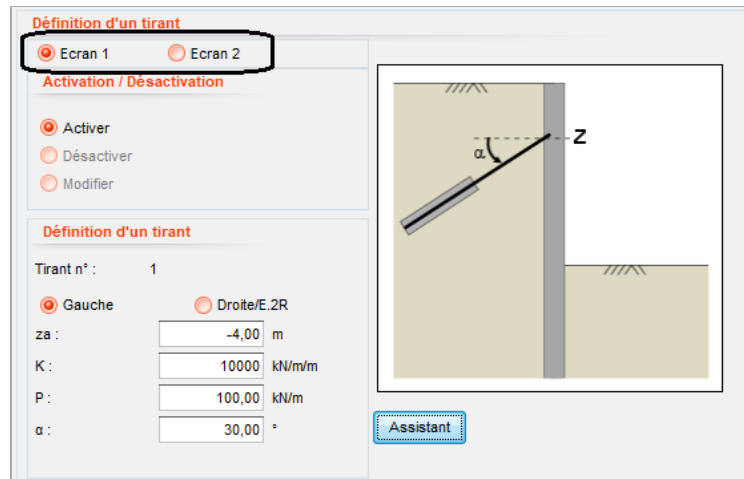


Figure B59 : Projet double-rideau : choix de l'Ecran 1 / Ecran 2

De plus, les actions de la phase en cours sont préfixées par le rideau auquel elles sont rattachées :

- Écran 1 :     texte en noir ;
- Écran 2 :     texte en **bleu**.

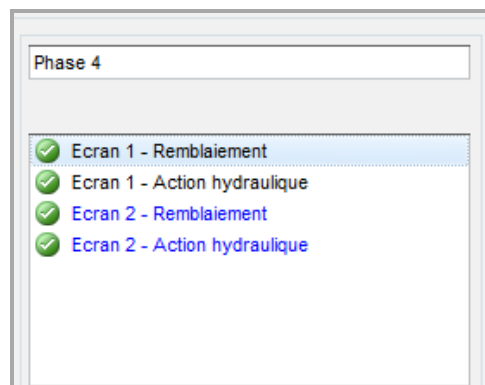


Figure B60 : Projet double-rideau : affichage des actions propres à chaque rideau

Enfin, les deux rideaux peuvent être reliés par une ou plusieurs liaisons sans limitation sur leur nombre. Les interactions entre les deux rideaux se font uniquement à travers ces liaisons. En effet, AMRetain ne considère aucune interaction entre les 2 rideaux via le massif de sol qui les sépare (cf. partie C du manuel).

Pour en savoir davantage sur les liaisons, veuillez-vous reporter au chapitre B.5.5.4.

## B.5. Description des actions définies au cours du phasage

AMRetain propose au total 25 actions, dont 3 sont automatiques, permettant de simuler le phasage de construction d'un projet donné. Le tableau suivant présente ces actions par groupe :

<b>Hydraulique</b>	Action hydraulique (1)
<b>Travaux</b>	Excavation (1) Remblaiement (1)
<b>Caractéristiques des sols</b>	Redéfinition des couches de sol
<b>Caractéristiques du rideau</b>	Assistant de corrosion
<b>Ancrages</b>	Tirant Buton Encastrement Liaison linéique (3)
<b>Chargement sur le sol et le rideau</b>	Surcharge de Caquot (1) Surcharge de Boussinesq Force linéique Moment linéique Charge trapézoïdale
<b>Actions créées automatiquement</b>	Options MEL (4) Options ELU (MISS) (4) Séisme (Calcul sismique) (4)

(1) Cette action existe en phase initiale et en phases courantes ;

(2) Cette action existe uniquement en phase initiale ;

(3) Cette action est disponible exclusivement dans le cas de projets de type double-rideau ;

(4) Cette action est créée automatiquement par AMRetain en fonction de l'état des options détaillées en § B.4.3. L'utilisateur doit toujours vérifier les paramètres prédéfinis, voire les modifier et les compléter si une telle action est présente.

*Le reste des actions existent uniquement dans les phases courantes, soit dans toutes les phases à l'exception de la phase initiale.*

Tableau B.3 : Actions disponibles pour la définition du phasage

L'application d'une action se fait par l'intermédiaire du cadre de choix des actions décrit dans le chapitre B.4.3.

Le présent chapitre est consacré au détail des actions. Chaque sous-paragraphe comportera le principe d'une action, illustré éventuellement par un schéma ou une capture d'écran, suivi de la désignation des données d'entrée correspondantes.

### B.5.1. Action hydraulique

Cette commande permet de définir les conditions hydrauliques et de corriger éventuellement les pressions d'eau afin de tenir compte soit d'un gradient hydraulique associé au régime d'écoulement accompagnant un rabattement de nappe, soit de la présence de passages imperméables ou de nappes perchées dans les différentes couches.

Il est important de noter que la définition d'une action hydraulique impacte à la fois le calcul de la pression d'eau s'exerçant horizontalement sur le rideau et celui de la contrainte effective verticale dans le sol (pour plus d'informations, consulter la partie C du manuel).

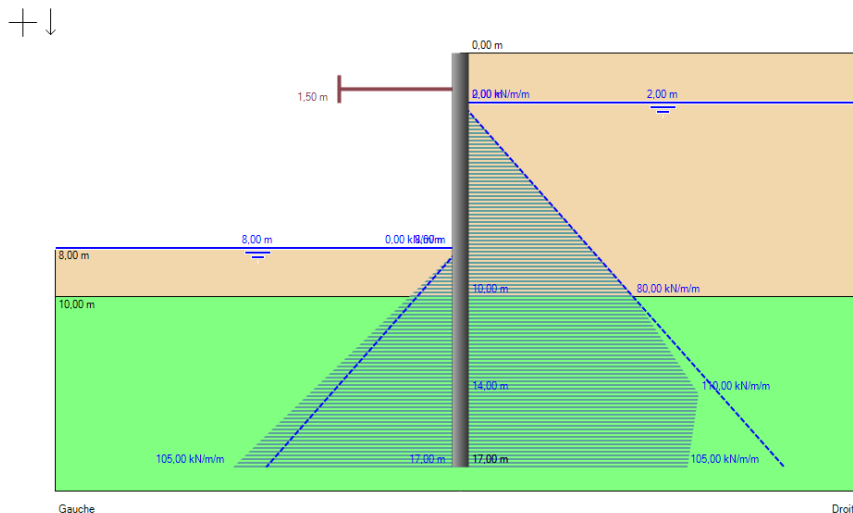


Figure B61 : Exemple de définition d'un gradient hydraulique

Paramètres à renseigner :

- Côté concerné par l'action hydraulique :
  - « **Gauche** ou **Droite** » pour un projet rideau simple ;
  - « **Gauche** ou **Droite/E.2R** » (rideau 1) ou « **Gauche/E.2R** ou **Droite** » (rideau 2) pour un projet double-rideau ;
- z<sub>w</sub>** : niveau (cote ou profondeur) de la nappe hydrostatique.

De plus, il est possible d'imposer un diagramme de pressions ou de potentiels pour définir, par exemple, un gradient hydraulique. Pour ceci, il est nécessaire de cocher la case correspondante et de renseigner point par point :

- Niveau** (cote ou profondeur) du point du diagramme ;
- Potentiel** ou **Pression hydraulique** (selon l'option retenue dans la fenêtre « Titre et options ») à prendre en considération pour ce point.

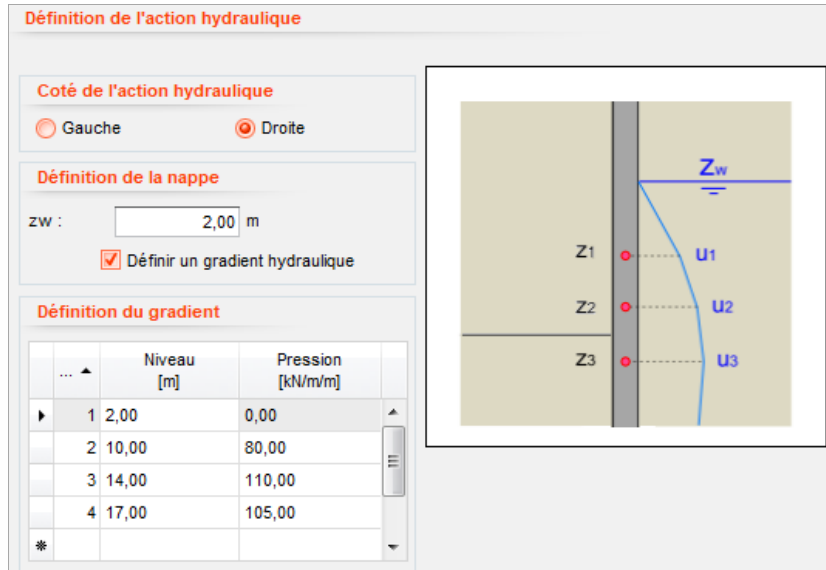


Figure B62 : Cadre de définition de l'action hydraulique

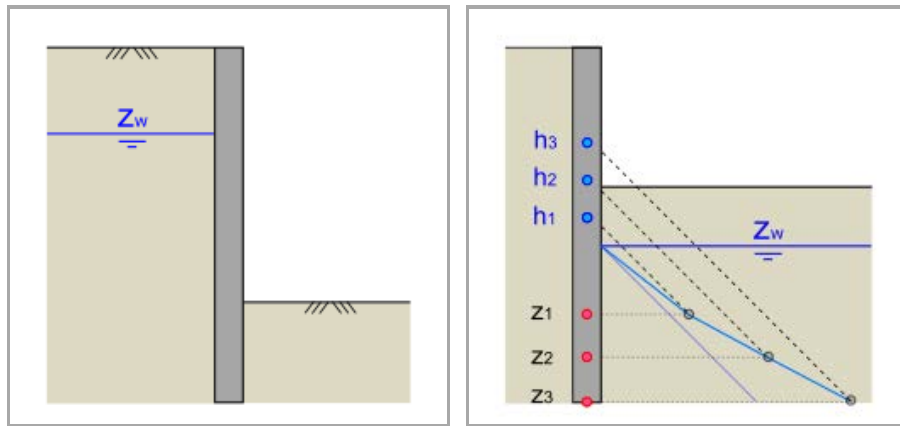


Figure B63 : Définition des conditions hydrauliques : régime hydrostatique (à gauche) et gradient hydraulique (à droite)

## B.5.2. Actions « Travaux »

### B.5.2.1. Excavation

Cette action sert à la définition d'une excavation sur un côté du rideau. Le niveau d'excavation est par défaut horizontal. Une option supplémentaire permet de définir une excavation sous forme de talus ou de risberme.

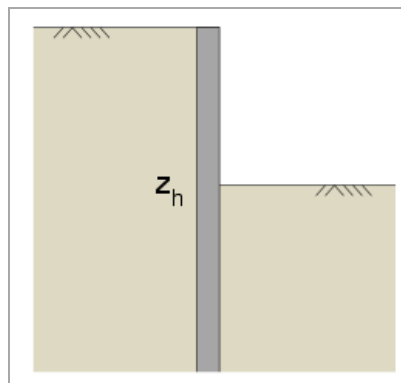


Figure B64 : Définition d'une excavation

Paramètres à renseigner :

- Côté concerné par l'excavation :
  - « **Gauche** ou **Droite** » pour un projet rideau simple ;
  - « **Gauche** ou **Droite/E.2R** » (rideau 1) ou « **Gauche/E.2R** ou **Droite** » (rideau 2) pour un projet double-rideau ;
- $z_h$  : niveau (cote ou profondeur) d'excavation (m ou ft).

De plus, il est possible de définir une excavation sous forme de talus ou de risberme. Les paramètres supplémentaires à renseigner sont :

- « **Talus** ou **Risberme** » en fonction de la géométrie à définir ;
- $z_t$  : niveau de la tête du talus ou de la risberme (m ou ft) ;
- $a$  : distance entre la crête, du talus ou de la risberme, et le rideau > 0 (m ou ft) ;
- $b$  : distance entre le pied, du talus ou de la risberme, et le rideau > 0 (m ou ft) ;
- $\alpha_e$  : coefficient multiplicateur (initialisé à 1,00) servant pour corriger les surcharges de Boussinesq (cf. § B.5.6.2 et partie C du manuel).
- $\beta$  : pente du talus ou de la risberme (°)

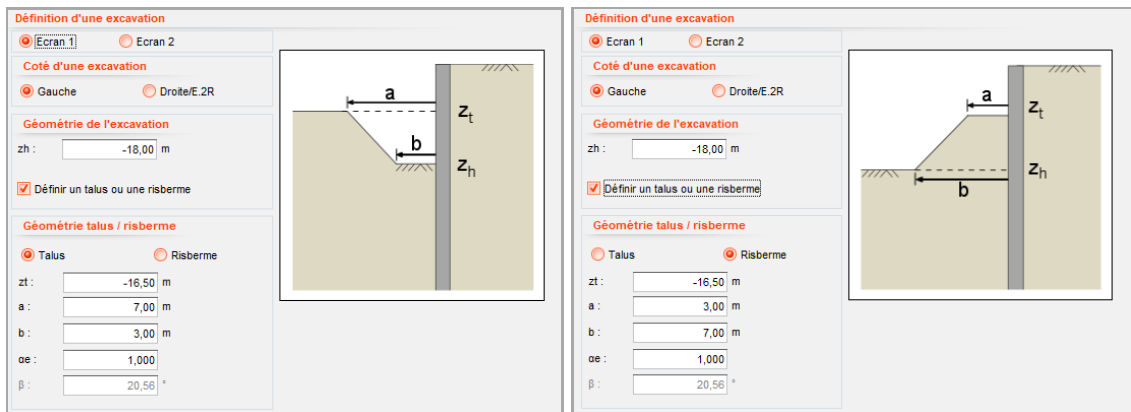


Figure B65 : Définition d'une excavation sous forme de talus (à gauche) ou de risberme (à droite)

Quelques consignes liées à l'action « excavation » :

Cette action annule les surcharges de type Caquot ou Boussinesq existantes sur le sol du côté concerné par l'excavation. Pour les maintenir, il faut les définir à nouveau.

AMRetain ne vérifie pas la stabilité du talus ou de la risberme. Une telle vérification relève de la responsabilité de l'utilisateur et doit être préalablement réalisée par un modèle adapté (par exemple à l'aide de Talren v5).



Une action excavation horizontale annule systématiquement les effets (géométriques) liés à l'existence d'un talus ou d'une risberme, et ce quelque-soit la cote du terrassement.

Le niveau  $z_h$  d'une nouvelle excavation doit être inférieur au niveau précédent. Dans le cas d'un talus ou une risberme, le niveau  $z_t$  doit respecter également cette condition.

Le niveau inférieur d'un remblaiement ( $z_b$ ) sera considéré par défaut égal au niveau en contact avec le rideau précédemment. Si un talus ou risberme existe précédemment, le niveau  $z_b$  sera égal à son niveau supérieur, soit  $z_b = z_{t0}$ .

	Ancienne géométrie	Action postérieure	
		Excavation	Remblaiement
Projet défini en cotes	Talus entre $[z_{h0}, z_{t0}]$	$Z_t \leq Z_{t0}$ $Z_h \leq Z_{h0}$	$Z_t \geq Z_{h0}$ $Z_h \geq Z_{h0}$
	Risberme entre $[z_{h0}, z_{t0}]$	$Z_t \leq Z_{t0}$ $Z_h \leq Z_{h0}$	$Z_t \geq Z_{t0}$ $Z_h \geq Z_{t0}$
Projet défini en profondeurs	Talus entre $[z_{h0}, z_{t0}]$	$Z_t \geq Z_{t0}$ $Z_h \geq Z_{h0}$	$Z_t \leq Z_{h0}$ $Z_h \leq Z_{h0}$
	Risberme entre $[z_{h0}, z_{t0}]$	$Z_t \geq Z_{t0}$ $Z_h \geq Z_{h0}$	$Z_t \leq Z_{t0}$ $Z_h \leq Z_{t0}$

Tableau B.4 : Critères de définition des niveaux d'excavation et remblaiement après une géométrie du terrain naturel de type talus ou risberme

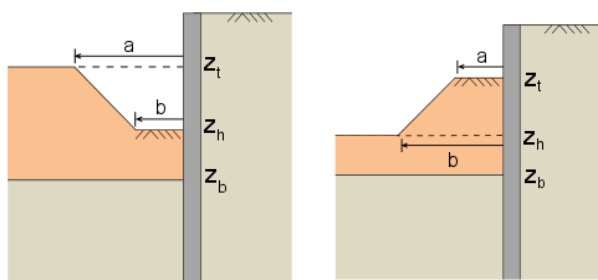


Figure B66 : Figures d'aide pour une action de remblaiement après une géométrie de type talus (à gauche) ou de type risberme (à droite)

### B.5.2.2. Remblaiement

Cette fonctionnalité permet de réaliser un remblaiement dont la base repose sur le sol existant. La surface supérieure du remblai est par défaut horizontale, mais il est possible de définir une géométrie de type talus ou risberme en utilisant l'option dédiée.

Les paramètres à renseigner sont :

- Nom de la couche** constituant le remblai ;
- Couleur du remblai sur la coupe (choix dans une palette de couleurs) ;
- Côté concerné par le remblaiement : « **Gauche** ou **Droite** » pour un projet rideau simple ; « **Gauche** ou **Droite/E.2R** » (rideau 1) ou « **Gauche/E.2R** ou **Droite** » (rideau 2) pour un projet double-rideau ;
- $z_t$**  : niveau du toit du remblai (m ou ft) ;
- $z_b$**  : niveau de la base du remblai (m ou ft) prédéfini automatiquement par l'interface.

Si la définition d'un talus ou d'une risberme est activée, les paramètres supplémentaires suivants sont à définir :

- « **Talus** ou **Risberme** » type de géométrie à définir ;
- $z_h$**  : niveau de la base du talus ou de la risberme (m ou ft) ;
- $a$**  : distance entre la crête, du talus ou de la risberme, et le rideau > 0 (m ou ft) ;
- $b$**  : distance entre le pied, du talus ou de la risberme, et le rideau > 0 (m ou ft) ;
- $\alpha_e$**  : coefficient multiplicateur (initialisé à 1,00) servant pour corriger les surcharges de Boussinesq (cf. § B.5.6.2 et partie C du manuel).

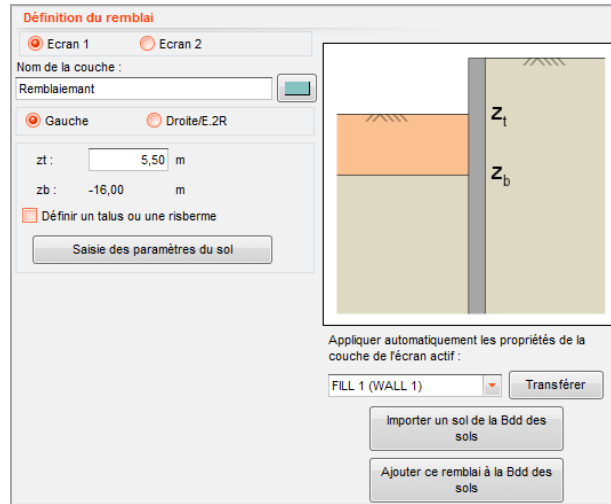
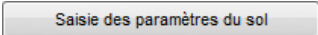
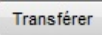
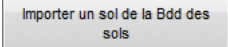
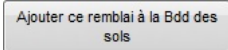


Figure B67 : Zone de définition d'un remblaiement

Il est possible :

- de saisir ou de modifier les paramètres d'un remblai en cliquant sur le bouton  ;
- d'importer les caractéristiques d'un sol existant dans le projet en cours, en le sélectionnant dans la liste déroulante située sous la figure d'aide et en cliquant sur le bouton  ;
- d'importer les caractéristiques d'un sol existant dans la base de données en cliquant sur le bouton  ;
- d'enregistrer un remblai dans la base de données des sols en cliquant sur le bouton .

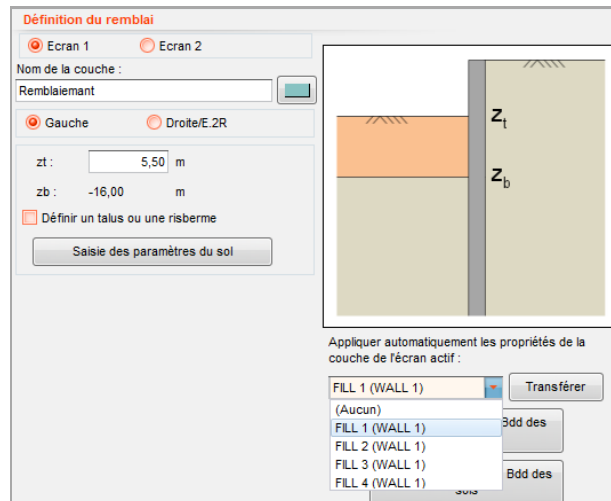


Figure B68 : Possibilité d'importer les propriétés d'une couche de sol définie précédemment

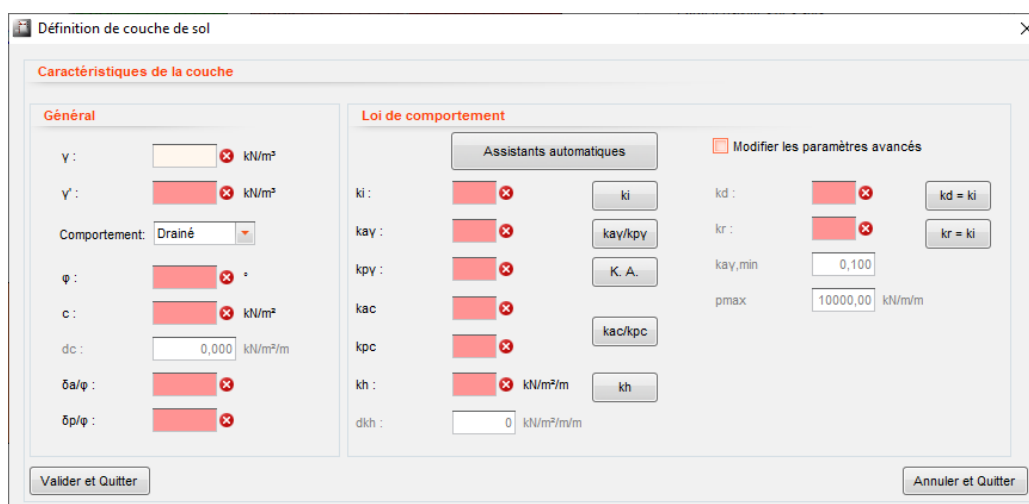


Figure B69 : Fenêtre de définition du sol de remblaiement

Les paramètres à renseigner sont les suivants :

- $\gamma$  et  $\gamma'$  : poids volumiques humide et déjaugé ( $\text{kN/m}^3$  ou  $\text{kcf}$ ) ;
- Comportement** : indique le comportement drainé ou non drainé de la couche de sol ;
- $\phi$  : angle de frottement interne ( $^\circ$ ) ;
- c** et **dc** : cohésion et sa variation en profondeur ( $\text{kN/m}^2$  et  $\text{kN/m}^2/\text{m}$  ou  $\text{kst}$  et  $\text{kst}/\text{ft}$ ) ;
- $\delta_a/\phi$  et  $\delta_p/\phi$  : obliquités des contraintes de poussée et de butée limites ;
- ki** : coefficient de poussée initiale ;
- kay**, **kpy**, **kac** et **kpc** : coefficients de poussée et de butée ;
- kh** et **dkh** : coefficient de réaction horizontale et sa variation en profondeur ( $\text{kN/m}^2/\text{m}$  et  $\text{kN/m}^2/\text{m}/\text{m}$  ou  $\text{kst}/\text{ft}$  et  $\text{kst}/\text{ft}/\text{ft}$ ) ;
- kd** et **kr** : coefficients de décompression et de récompression ;
- kay,min** et **pmax** : coefficient de poussée minimale et pression maximale admissible.

Cocher la case « **Modifier les paramètres avancés** » permet la modification de **dc**, **dkh**, **kd**, **kr**, **kay,min** et **pmax**.

Les assistants présents dans cette fenêtre correspondent aux mêmes assistants disponibles dans la fenêtre de définition des couches de sol.

Quelques consignes liées à l'action « remblaiement » :

AMRetain ne vérifie pas la stabilité du talus ou de la risberme. Une telle vérification relève de la responsabilité de l'utilisateur et doit être préalablement réalisée par un modèle adapté (par exemple à l'aide de Talren v5).

La partie C du manuel détaille la prise en compte d'un remblaiement, notamment en ce qui concerne la phase de mise en place.



Le coefficient  $k_i$  est pris couramment dans l'intervalle  $[k_a, k_0]$  : l'utilisation de  $k_0$  correspond en général au cas de remblais compactés, tandis que l'utilisation de  $k_a$  est à privilégier pour des remblais mis en place de manière purement gravitaire.

Il est possible de créer plusieurs remblais successifs avec des caractéristiques différentes du même côté du rideau (dans des phases successives).

Cette action annule les surcharges sur le sol de type Caquot ou Boussinesq qui étaient appliquées précédemment sur le côté concerné par le remblaiement. Pour les maintenir, il faut les redéfinir à nouveau.

Le niveau inférieur d'un remblaiement ( $z_b$ ) sera considéré par défaut égal au niveau en contact avec le rideau précédemment. Si un talus ou risberme existe précédemment, le niveau  $z_b$  sera égal à son niveau supérieur, soit  $z_b = z_{t0}$ .

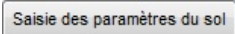
Le tableau B3 récapitule l'application de ces règles.

### B.5.3. Caractéristiques des sols

#### B.5.3.1. Redéfinition des couches de sol

Cette action permet de modifier les caractéristiques d'une couche de sol en cours du phasage. La modification des paramètres de cette couche peut se faire à gauche, à droite ou des deux côtés du rideau.

Les données à renseigner sont les suivantes :

- « **Écran 1** » ou « **Écran 2** » uniquement pour un projet double-rideau ;
- « **Gauche** », « **Droite** » ou « **Gauche et droite** » ;
- Nom de la couche de sol** à modifier : sélectionnable avec la souris par l'intermédiaire de la liste déroulante ;
- Nouveaux paramètres : fenêtre de saisie accessible via le bouton .

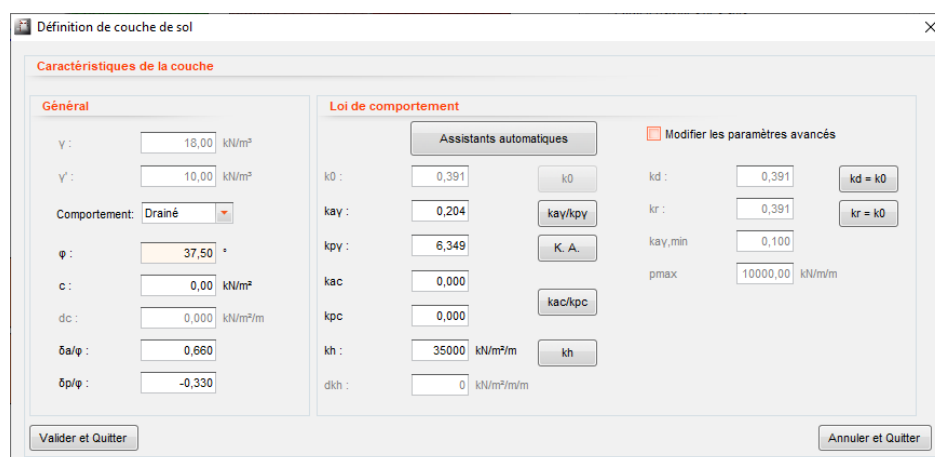


Figure B70 : Fenêtre pour redéfinir une couche de sol en cours de phasage

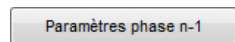
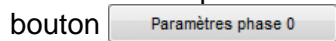
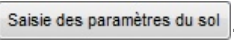
Les paramètres modifiables sont :

- Comportement** : indique le comportement drainé ou non drainé de la couche de sol ;
- $\varphi$  : angle de frottement interne ( $^{\circ}$ ) ;
- c** et **dc** : cohésion et sa variation en profondeur ( $\text{kN/m}^2$  et  $\text{kN/m}^2/\text{m}$  ou  $\text{ksf}$  et  $\text{ksf/ft}$ ) ;
- $\delta_a/\varphi$  et  $\delta_p/\varphi$  : obliquités des contraintes de poussée et de butée limites ;
- $k_{ay}$ ,  $k_{py}$ ,  $k_{ac}$  et  $k_{pc}$  : coefficients de poussée et de butée ;
- $k_h$  et  $dk_h$  : coefficient de réaction horizontale et sa variation en profondeur ( $\text{kN/m}^2/\text{m}$  et  $\text{kN/m}^2/\text{m/m}$  ou  $\text{ksf/ft}$  et  $\text{ksf/ft/ft}$ ) ;
- $k_d$  et  $k_r$  : coefficients de décompression et de récompression ;
- $k_{ay,min}$  et  $p_{max}$  : coefficient de poussée minimale et pression maximale admissible.

Cocher la case « **Modifier les paramètres avancés** » permet la modification de **dc**, **dk<sub>h</sub>**, **k<sub>d</sub>**, **k<sub>r</sub>**, **k<sub>ay,min</sub>** et **p<sub>max</sub>**. Les paramètres  $\gamma$ ,  $\gamma'$  et **k<sub>0</sub>**, non modifiables, sont affichés pour rappel.

Cette action permet de modifier un ou plusieurs paramètres d'une couche de sol, indépendamment les uns des autres. Les assistants présents dans la fenêtre de définition des couches de sol sont également disponibles sur cette fenêtre.

La modification des paramètres s'applique à la couche choisie à partir de la phase en cours. Pour modifier les paramètres d'une autre couche, il faut ajouter une autre action « **Redéfinition des couches de sol** » dans la liste des actions de la même phase, choisir l'autre couche à modifier puis saisir les nouveaux paramètres. Cette procédure est à répéter autant de fois que souhaité.

Dans le cadre de définition des nouveaux paramètres d'une couche de sol, le bouton  permet de compléter automatiquement les paramètres en récupérant l'ensemble de paramètres définis dans la phase précédente. De manière analogue, le bouton  permet d'importer les paramètres initiaux de la couche de sol considérée. Les valeurs copiées sont ensuite modifiables en consultant la fenêtre de l'assistant de saisie des paramètres de sol : .

## B.5.4. Caractéristiques du rideau

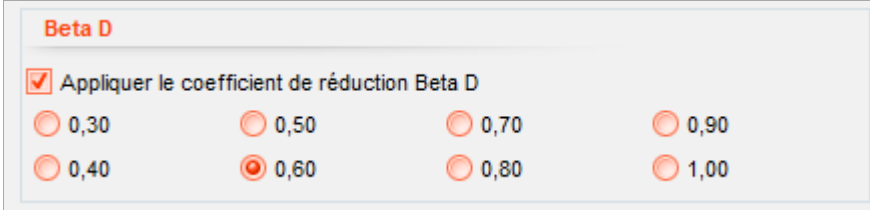
### B.5.4.1. Action Modification du facteur betaD

Cette commande est accessible uniquement pour les rideaux de palplanches de type « Standard U » et lorsque la case **Appliquer le coefficient de réduction betaD** a été cochée dans le Menu **Données, Définition de la paroi** (cf chapitre B.3.3).

Cette commande permet de modifier en cours de phasage la valeur du coefficient betaD, et par conséquent le produit d'inertie du rideau. Celui-ci est calculé par application du coefficient réducteur betaD, dont la nouvelle valeur est à choisir en cochant une valeur parmi celles proposées (0,3 à 1, par pas de 0,1). Le produit d'inertie utilisé dans les calculs vaudra alors :

$$EI_{\text{modifié}} = \text{betaD} * EI_{\text{catalogue}}$$

Par exemple, si la case 0.60 a été cochée, alors le produit d'inertie modifié du rideau vaudra 60% de sa valeur au catalogue ArcelorMittal.



**Beta D**

Appliquer le coefficient de réduction Beta D

0,30     0,50     0,70     0,90  
 0,40     0,60     0,80     1,00

Figure B71 : Cadre de modification du facteur de réduction betaD pour une palplanche de type Standard U

La nouvelle valeur du produit EI remplace la valeur précédente dans les équations d'équilibre et aura donc une influence notamment sur les déplacements du rideau.

### B.5.4.2. Action Corrosion

Cette commande permet de réduire en pourcentage le produit d'inertie du rideau afin de considérer l'effet de la corrosion :

$$EI_{\text{modifié}} = \%EI * EI_{\text{catalogue}}$$



**Modification du produit d'inertie**

%EI :

EI :  kNm<sup>2</sup>/m

Figure B72 : Cadre de modification du produit d'inertie

### B.5.5. Ancrages et appuis

Les ancrages, tirants scellés exceptés, travaillent selon l'un des deux modes définis dans « Options de calcul avancées » (dans la fenêtre « Titre et Options »). Ces modes sont considérés de la manière suivante :

- Activation dès la phase de mise en place : dans ce cas, la raideur de l'ancrage est **toujours** prise en compte dès la phase de pose ;
- Activation en deux temps si la précontrainte est active : la raideur n'est prise en compte qu'à partir de la phase postérieure à celle de la mise en place, **à condition que l'ancrage soit initialement précontraint**. Si ce n'est pas le cas, l'ancrage travaille comme dans le premier mode.

#### B.5.5.1. Tirant

Cette action permet d'activer, de modifier ou de désactiver un lit de tirants scellés. Par souci de simplification, nous désignerons « lit de tirants » par « tirant » dans la documentation et dans l'interface. Par convention, l'effort dans un tirant est positif en traction.

Lors de la pose d'un tirant (phase de mise en place), seule la précontrainte est prise en compte dans le calcul. La raideur du tirant est activée à partir de la phase suivante.

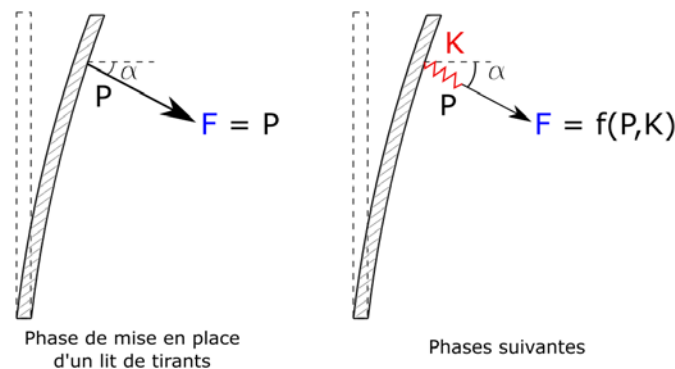



Figure B73 : Comportement d'un tirant avec précontrainte

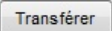
Les paramètres nécessaires à la définition d'un tirant sont :


- Choix du rideau : « **Ecran 1** » ou « **Ecran 2** » pour un projet double-rideau ;
- Choix « **Activer** » : choisi par défaut lors de la définition d'un nouveau tirant ;
- Choix du côté : « **Gauche** » ou « **Droite** » pour un projet rideau simple, « **Gauche** » ou « **Droite/E.2R** » (rideau 1) ou « **Gauche/E.2R** » ou « **Droite** » (rideau 2) pour un projet double-rideau ;
- z<sub>a</sub>** : niveau d'application (m ou ft) ;
- K** : raideur axiale (kN/m/m ou kip/ft) ;
- P** : précontrainte comptée positivement en traction (kN/m ou kip/ft) ;
- α** : inclinaison du tirant par rapport à l'horizontale comptée positivement si l'angle est orienté vers le bas (°) ;
- L<sub>u</sub>** : longueur utile du tirant (en m ou ft) usuellement prise égale à la distance, suivant l'axe du tirant, entre la tête d'ancrage et le point correspondant au milieu du scellement (voir aussi la vérification du massif d'ancrage dans la partie C de manuel pour la validation de la valeur de L<sub>u</sub> à retenir et dans la partie D pour des exemples de sa définition). Ce paramètre est demandé uniquement si les vérifications ELU sont activées ;
- L<sub>s</sub>** : longueur de scellement du tirant (en m ou ft). Elle est à renseigner si l'option « Prise en compte de la longueur de scellement » a été choisie dans les « Options du massif d'ancrage » groupées dans les « Options de calcul avancées » (cf. Partie D du manuel pour des exemples de définition de L<sub>s</sub>) ;

Le bouton  donne accès à l'**Assistant tirant** (partie droite de la figure ci-dessus). Il permet le calcul de la raideur du tirant et de l'effort de précontrainte par longueur unitaire à partir des formules indiquées dans la notice technique (Partie C du manuel).

Les données à saisir dans l'assistant tirant sont les suivantes :

- eh : entraxe (m) ;
- E : module d'Young (kN/m<sup>2</sup>) ;
- S : section de calcul (m<sup>2</sup>) ;
- P : précontrainte (kN) ;
- LI : longueur libre (m) ;
- Ls : longueur de scellement.

Après avoir renseigné les données d'entrée, les valeurs de K, P et Lu (uniquement pour les calculs à l'ELU) sont calculées par unité de longueur. Cliquer sur le bouton  pour reporter les valeurs dans le projet.

Une figure d'aide est disponible en cliquant sur le bouton  :

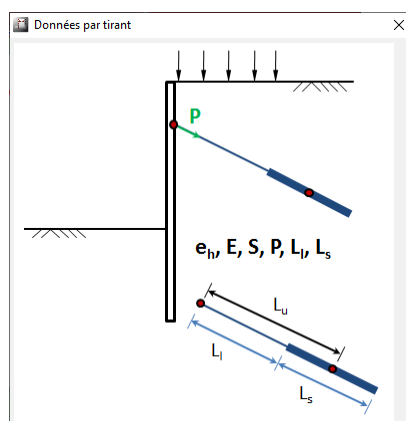


Figure B74 : Aides de l'assistant tirant - Schémas de principe

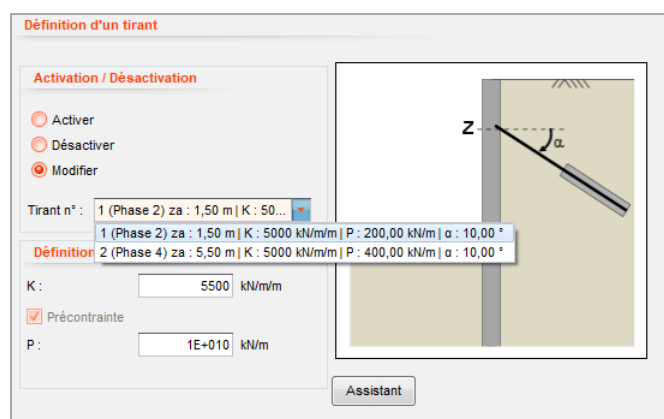
Cette figure « Données par tirant » précise la signification des paramètres d'entrée de l'assistant.

Pour **modifier un tirant** précédemment défini, sélectionner « **Modifier** ». Les valeurs modifiables sont les suivants :

- K** : raideur axiale par longueur unitaire (kN/m/m ou kip/ft) ;
- P** : précontrainte (kN/m ou kip/ft) ;

La figure ci-dessous illustre l'apparition d'une liste déroulante constituée des tirants actifs dans la phase en question. Chaque tirant est identifié par :

- son numéro identificateur ;
- son niveau d'application ;
- sa raideur ;
- sa précontrainte ;
- son angle d'inclinaison.



Pour **désactiver un tirant** précédemment défini, sélectionner « **Désactiver** ». La figure suivante montre la liste déroulante disponible contenant l'ensemble des tirants que l'utilisateur peut désactiver. Chaque tirant est identifiable par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration ;
- son niveau d'application ;
- sa raideur ;
- sa précontrainte ;
- son angle d'inclinaison.

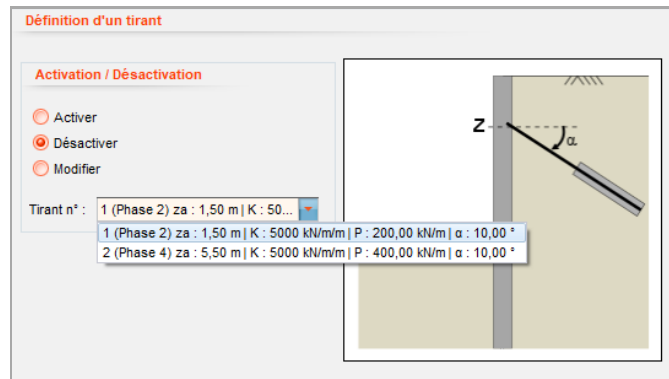


Figure B75 : Désactivation d'un tirant

### B.5.5.2. Buton

Cette action permet d'activer, de modifier ou de désactiver un lit de butons. Par souci de simplification, nous désignerons « lit de butons » par « buton » dans la documentation et dans l'interface. Par convention, l'effort dans un buton est positif en compression.

Les paramètres à renseigner pour définir un buton sont :

- « **Ecran 1** » ou « **Ecran 2** » pour un projet double-rideau ;
- Activer** : choisi par défaut lors de la définition d'un nouveau buton ;
- « **Gauche** » ou « **Droite** » pour un projet Ecran Simple, « **Gauche** » ou « **Droite/E.2R** » (rideau 1) ou « **Gauche/E.2R** » ou « **Droite** » (rideau 2) pour un projet double-rideau ;
- z<sub>a</sub>** : niveau d'application (m ou ft) ;
- K** : raideur axiale (kN/m/m ou kip/ft) ;
- P** : précontrainte comptée positivement en compression (kN/m ou kip/ft) ;
- α** : inclinaison du buton par rapport à l'horizontale comptée positivement si l'angle est orienté vers le bas ;
- Travail en traction** : si cochée, le buton peut travailler en traction ;
- Travail en compression** : si cochée, le buton peut travailler en compression ;

Pour rappel, le calcul se fait pour une longueur unitaire de rideau.

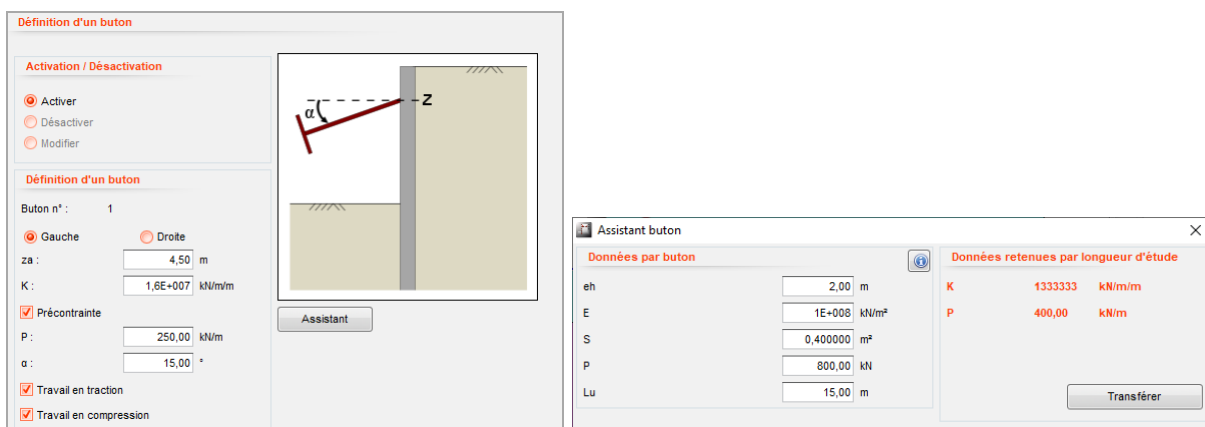



Figure B76 : Définition d'un buton et assistant correspondant

Le bouton **Assistant** donne accès à l'**Assistant buton** (cf. figure ci-dessus). Ce dernier permet de calculer la raideur du buton et sa précontrainte éventuelle par longueur unitaire à partir des formules indiquées dans la notice technique (Partie C du manuel).

Les données d'entrée à saisir dans l'assistant bouton sont les suivantes :

- eh : entraxe (m) ;
- E : module d'Young (kN/m<sup>2</sup>) ;
- S : section (m<sup>2</sup>) ;
- P : précontrainte (kN) ;
- L<sub>u</sub> : longueur utile (m).

A l'issue de la saisie de valeurs, AMRetain affiche les valeurs retenues pour K, P et F<sub>,adm cp</sub> ou  $\sigma_{,adm cp}$ , dans la partie droite de la fenêtre.

Une figure d'aide est disponible en cliquant sur les boutons  :

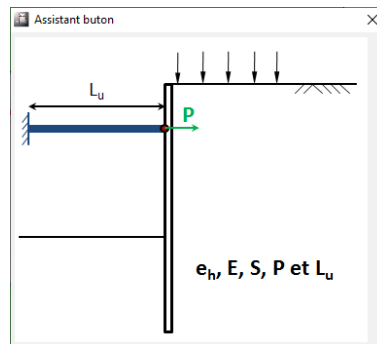


Figure B77 : Aide de l'assistant bouton – Schémas de principe

Pour **modifier un bouton** précédemment défini, sélectionner « **Modifier** ». Les valeurs modifiables sont :

- K** : raideur par longueur unitaire (kN/m/m ou kip/ft) ;
- P** : précontrainte (kN/m ou kip/lf) ;

La figure ci-dessous montre l'apparition d'une liste déroulante avec l'ensemble des boutons existants et modifiables, chacun identifié par ses caractéristiques :

- son numéro de déclaration ;
- son niveau d'application ;
- sa raideur ;
- sa précontrainte ;
- son angle d'inclinaison.

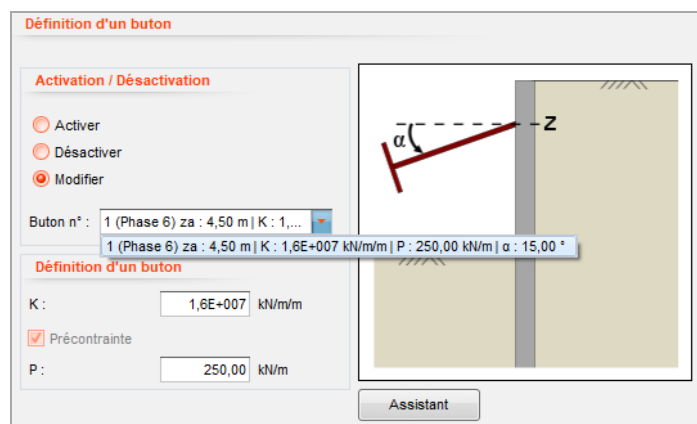


Figure B78 : Modification d'un bouton

Pour **désactiver un bouton** précédemment défini, sélectionner « **Désactiver** ». Le cadre de désactivation d'un bouton illustré sur la figure ci-dessous apparaît alors. Sélectionner dans la liste déroulante le bouton à modifier identifié par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration ;
- son niveau d'application ;
- sa raideur ;
- sa précontrainte ;
- son angle d'inclinaison.

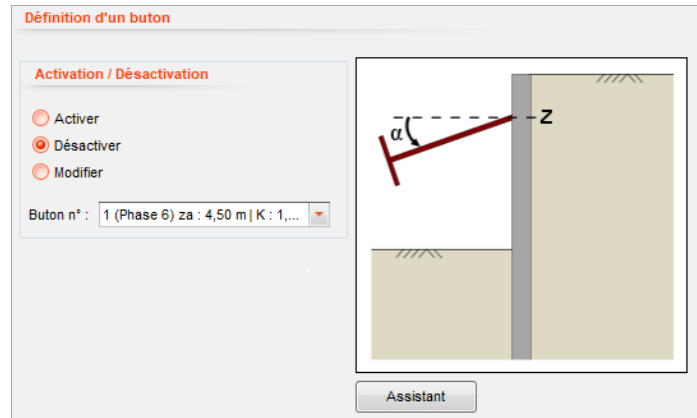


Figure B79 : Désactivation d'un bouton

### B.5.5.3. Encastrement

Un **encastrement** correspond à un ancrage qui s'oppose à la rotation du rideau (autrement dit, un ressort spiral). Cette commande permet d'activer, de modifier ou de désactiver ce type ancrage. Par convention, le moment induit dans un encastrement est positif dans le sens horaire.

Les paramètres à définir sont les suivants :

- « **Ecran 1** » ou « **Ecran 2** » pour un projet double-rideau ;
- Activer** : choix par défaut pour définir un nouvel encastrement ;
- z** : niveau d'application (m ou ft) ;
- R<sub>r</sub>** : raideur en rotation (kNm/rad/m ou kip.ft/rad/ft) ;
- M<sub>init</sub>** : moment initial positif dans le sens horaire (la réaction induite sur le rideau est positive dans le sens antihoraire) (kNm/m ou kip.ft/ft).

Pour **modifier un encastrement** défini précédemment, sélectionner « **Modifier** ». Les valeurs modifiables sont :

- R<sub>r</sub>** : raideur en rotation (kNm/rad/m ou kip.ft/rad/ft) ;

La figure suivante montre la liste déroulante constituée des encastlements définis précédemment qui sont modifiables. Chacun d'eux est identifié par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration ;
- son niveau d'application ;
- sa raideur ;
- son moment initial.

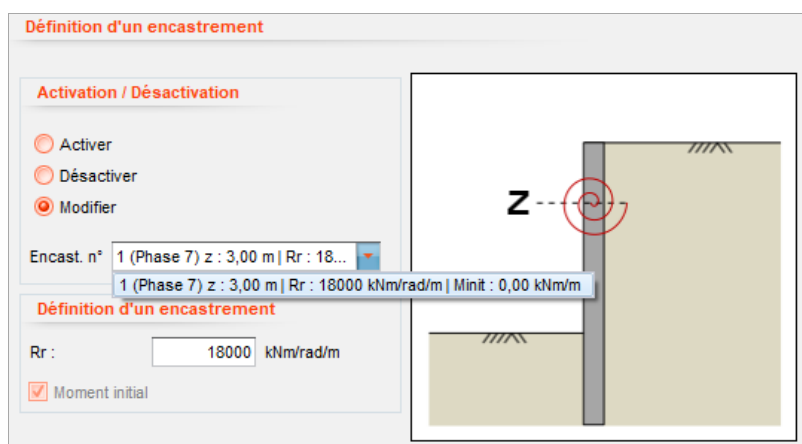


Figure B80 : Modification d'un encastrement

Pour **désactiver un encastrement** précédemment défini, sélectionner « **Désactiver** ». Le cadre de désactivation illustré sur la figure ci-dessous apparaît alors. Sélectionner dans la liste déroulante l'encastrement à désactiver identifié par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration ;
- son niveau d'application ;
- sa raideur ;
- son moment initial.

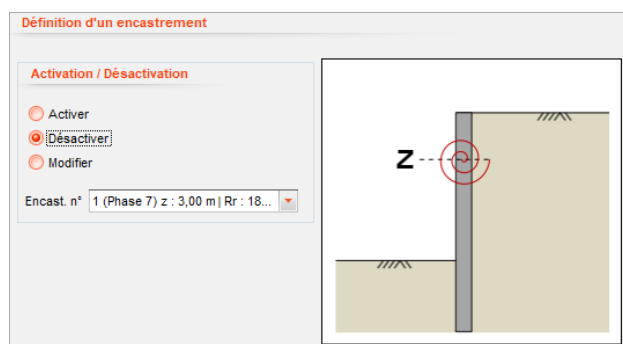


Figure B81 : Désactivation d'un encastrement

#### B.5.5.4. Liaison linéique

Cette action est disponible uniquement dans le cadre d'un projet double-rideau, elle permet d'activer, de modifier ou de désactiver une liaison linéique reliant les deux rideaux.

Les paramètres à renseigner pour définir un ancrage de liaison sont :

- Activer** : choisi par défaut pour définir un nouveau buton ;
- Tirant** ou **Buton** : choix du type d'ancrage. Par convention, l'effort dans un tirant est positif en traction, celui dans un buton est positif en compression ;
- z<sub>aa</sub>** : niveau d'ancrage sur le rideau 1 (m ou ft) ;
- z<sub>ab</sub>** : niveau d'ancrage sur le rideau 2 (m ou ft) ;
- d** : distance entre les deux rideaux. Cette valeur est récupérée directement de l'onglet « Titre et Options » où elle a été renseignée comme paramètre du projet, elle est rappelée à titre indicatif (m ou ft) ;
- α** : cette valeur n'est pas à définir par l'utilisateur, elle est calculée automatiquement en fonction de la distance d et des niveaux de l'ancrage z<sub>a1</sub> et z<sub>a2</sub> ;
- K** : raideur axiale par unité de longueur (kN/m/m ou kip/ft) ;
- P** : précontrainte par unité de longueur (kN/m ou kip/ft).

Pour rappel, le calcul se fait pour une longueur unitaire du rideau.

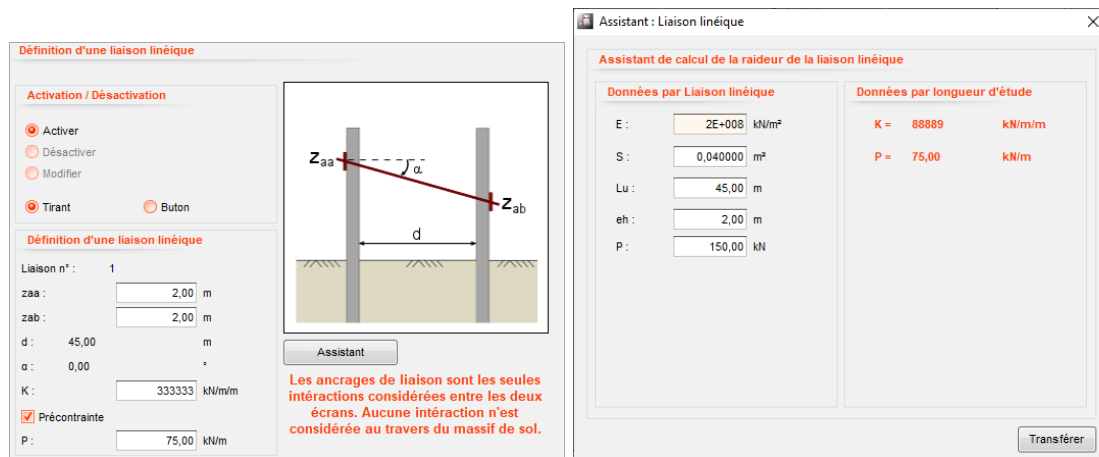


Figure B82 : Définition d'une liaison linéique et assistant correspondant

Le bouton **Assistant** donne accès à l'**Assistant liaison linéique**. Ce dernier permet de calculer la raideur de la liaison et sa précontrainte éventuelle par unité de longueur à partir des formules indiquées dans la notice technique (cf. Partie C du manuel).

Pour **modifier une liaison linéique** précédemment définie, sélectionner « **Modifier** ». Les valeurs modifiables sont :

- K** : raideur (kN/m/m ou kip/ft) ;
- P** : précontrainte (kN/m ou kip/ft) ;

La figure suivante montre la liste déroulante constituée des liaisons linéiques définies préalablement et qui sont modifiables. Chaque liaison linéique est identifiée par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration ainsi que sa phase de mise en place ;
- ses niveaux d'ancrage ( $z_{a1}$  et  $z_{a2}$ ) ;
- sa raideur.

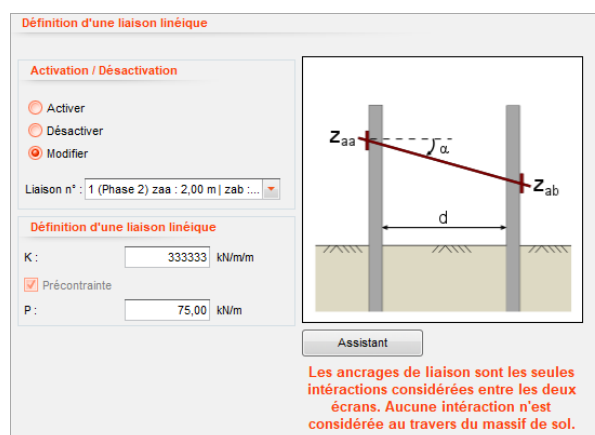


Figure B83 : Modification d'une liaison linéique

Pour **désactiver une liaison linéique** précédemment définie, sélectionner « **Désactiver** ». La figure suivante montre la liste déroulante constituée des liaisons linéiques définies préalablement. Chaque liaison linéique est identifiée par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration ;

- ses niveaux d'ancrage ( $z_{a1}$  et  $z_{a2}$ ) ;
- sa raideur.

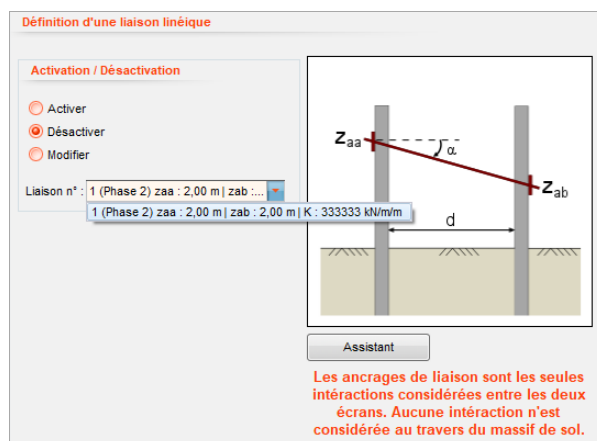


Figure B84 : Désactivation d'une liaison linéique

## B.5.6. Chargement sur le sol et le rideau

### B.5.6.1. Surcharge de Caquot

Cette action permet d'appliquer une surcharge verticale semi-infinie sur le sol situé d'un côté du rideau (le détail de la prise en compte de ce type de surcharge dans les calculs est explicité dans la partie C du manuel).

Les paramètres à introduire pour définir une surcharge de Caquot sont :

- « **Ecran 1** » ou « **Ecran 2** » pour un projet double-rideau ;
- Activer** : choisi par défaut pour définir une nouvelle surcharge ;
- Côté d'application de la surcharge :
  - « **Gauche** » ou « **Droite** » pour un projet rideau simple
  - « **Gauche** » ou « **Droite/E.2R** » (rideau 1) ou « **Gauche/E.2R** » ou « **Droite** » (rideau 2) pour un projet double-rideau ;
- z** : niveau d'application de la surcharge (m ou ft) ;
- q** : amplitude de la surcharge (kN/m/m ou kip/ft).
- Nature de la surcharge** : dans le cas où les vérifications ELU ont été demandées, il est nécessaire de définir également la nature de la surcharge en précisant si elle est **permanente** ou **variable**. Ce choix conditionne la valeur du coefficient partiel qui sera appliqué à la surcharge (cf. § B.3.1.2).
- Famille** : dans le cas où le calcul de cas de charges a été activé (cf. §B.3.5), il est nécessaire d'attribuer la surcharge à une famille de charges à l'aide de la liste déroulante constituée de l'ensemble des familles définies au préalable.

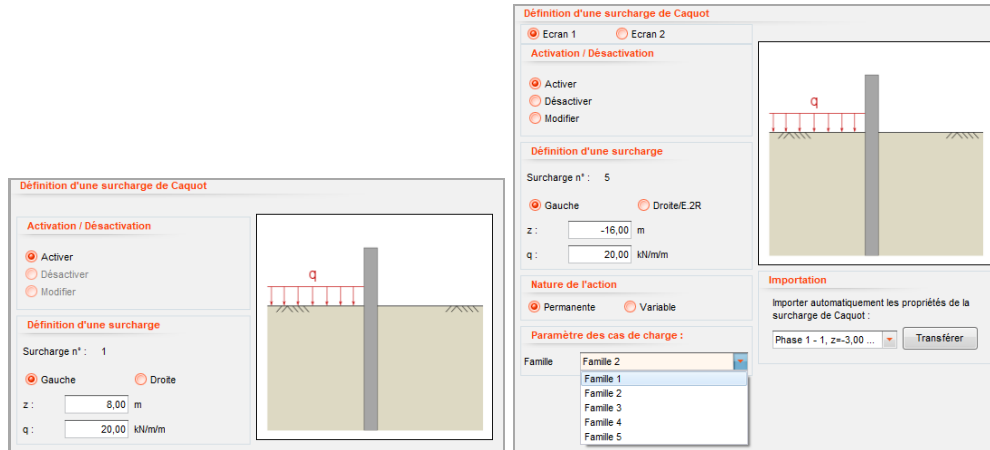


Figure B85 : Définition de la surcharge de Caquot

Il est également possible d'importer automatiquement les propriétés d'une surcharge de Caquot définie précédemment dans le projet : sélectionner la surcharge à importer dans la liste déroulante puis cliquer sur le bouton **Transférer**.



Les actions « Excavation » et « Remblaiement » annulent les surcharges de Caquot définies précédemment du même côté du rideau.

Pour **modifier une surcharge de Caquot** précédemment définie, sélectionner « **Modifier** ». Les valeurs modifiables sont :

- q** : amplitude de la surcharge (kN/m/m ou kip/ft) ;
- Nature de la surcharge** : dans le cas où les vérifications ELU sont demandées.

La figure ci-dessous montre la liste déroulante constituée des surcharges de Caquot définies au préalable et qui sont toujours présentes. Chaque surcharge de Caquot est identifiée par les éléments suivants :

- sa phase de définition et son numéro de déclaration ;
- son niveau d'application ;
- son amplitude.

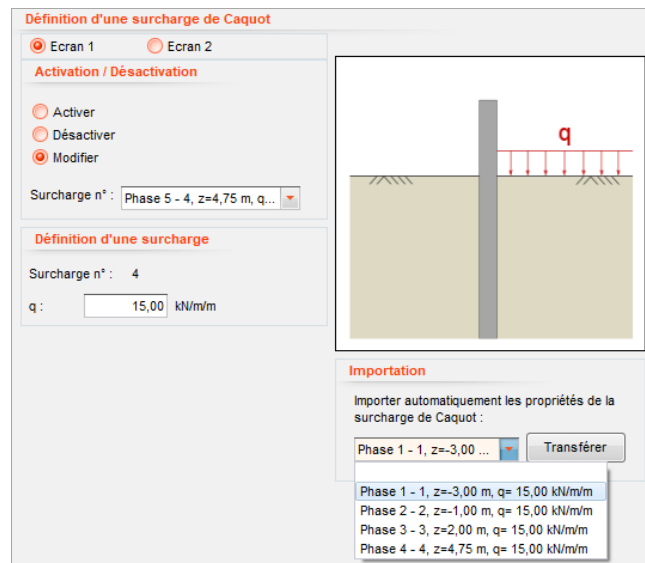


Figure B86 : Modification d'une surcharge de Caquot

Pour **désactiver une surcharge de Caquot** précédemment définie, sélectionner « **Désactiver** ». La figure ci-dessous montre la liste déroulante constituée des surcharges de Caquot définies au préalable et qui sont toujours présentes. Chaque surcharge de Caquot est identifiée par les éléments suivants :

- sa phase de définition et son numéro de déclaration ;
- son niveau d'application ;
- son amplitude.

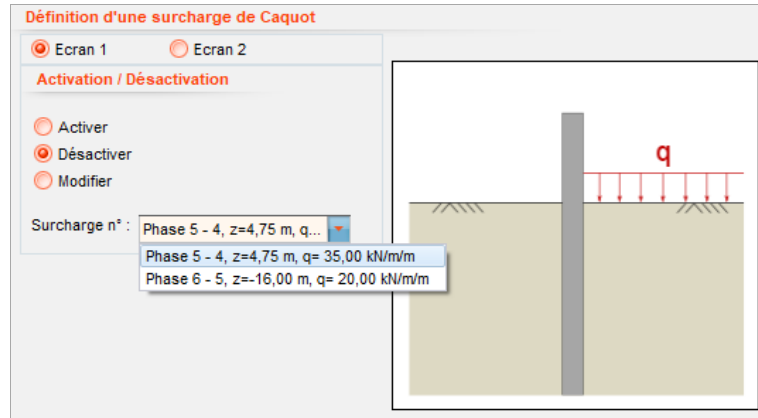


Figure B87 : Désactivation d'une surcharge de Caquot

### B.5.6.2. Surcharge de Boussinesq

Cette action permet d'appliquer une surcharge localisée verticale de type Boussinesq sur une largeur limitée dans le sol situé à un côté du rideau (la partie C du manuel détaille la prise en compte des surcharges de Boussinesq dans les calculs).

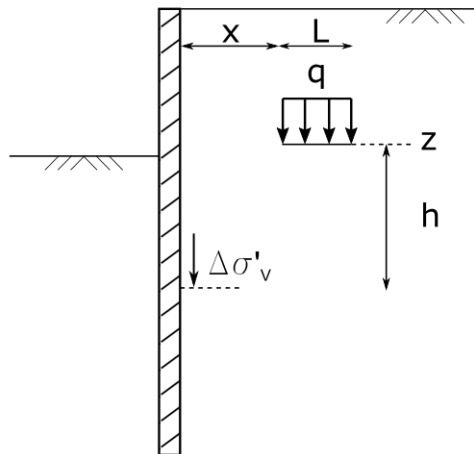


Figure B88 : Schéma de principe d'une surcharge de Boussinesq

Les paramètres à renseigner pour définir une surcharge de Boussinesq sont :

- « **Ecran 1** » ou « **Ecran 2** » pour un projet double-rideau ;
- Activer** : choisi par défaut pour définir une nouvelle surcharge ;
- Côté d'application de la surcharge de Boussinesq :
  - « **Gauche** » ou « **Droite** » pour un projet rideau simple,

- « **Gauche** » ou « **Droite/E.2R** » (rideau 1) ou « **Gauche/E.2R** » ou « **Droite** » (rideau 2) pour un projet double-rideau ;
- **z** : niveau d'application de la surcharge (m ou ft) ;
- **x** : distance au rideau > 0 (m ou ft) ;
- **L** : largeur d'application > 0 (m ou ft) ;
- **q** : amplitude de la surcharge (kN/m/m ou kip/ft) ;
- **$\alpha_e$**  : coefficient multiplicateur servant pour corriger la surcharge de Boussinesq (prise en compte de l'effet du rideau). Le bouton  affecte à ce coefficient la valeur issue de la formule suivante :
 
$$\alpha_e = (x + 2) / (x + 1)$$
- **Nature de la surcharge** : dans le cas où les vérifications ELU ont été demandées, il est nécessaire de définir également la nature de la surcharge en précisant si elle est **permanente** ou **variable**. Ce choix conditionne la valeur du coefficient partiel qui sera appliqué à la surcharge (cf. § B.3.1.2).
- **Famille** : dans le cas où le calcul de cas de charges a été activé (cf. §B.3.5), il est nécessaire d'attribuer la surcharge à une famille de charges à l'aide de la liste déroulante constituée de l'ensemble des familles définies au préalable.

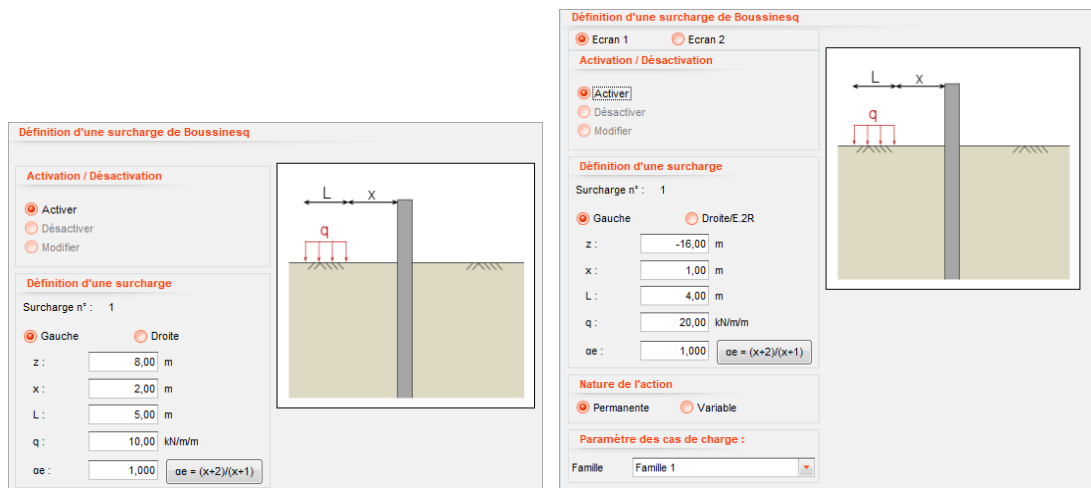


Figure B89 : Définition de la surcharge de Boussinesq



Les actions « Excavation » et « Remblaiement » annulent les surcharges de Boussinesq définies précédemment du même côté du rideau.

Pour **modifier une surcharge de Boussinesq** précédemment définie, sélectionner « **Modifier** ». Les valeurs modifiables sont :

- **q** : amplitude de la surcharge (kN/m<sup>2</sup> ou KsF) ;
- **Nature de la surcharge** : dans le cas où les vérifications ELU ont été demandées.

La figure ci-dessous montre la liste déroulante constituée des surcharges de Boussinesq définies au préalable et qui sont toujours présentes. Chaque surcharge de Boussinesq est identifiée par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration et sa phase de définition ;
- son niveau d'application ;
- son amplitude.

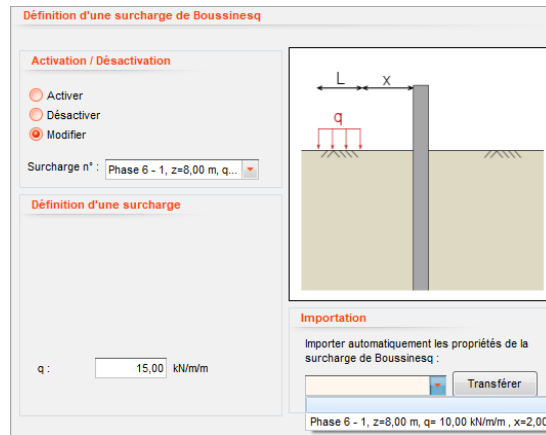


Figure B90 : Modification d'une surcharge de Boussinesq

Pour **désactiver une surcharge de Boussinesq** précédemment définie, sélectionner « **Désactiver** ». La figure ci-dessous montre la liste déroulante constituée des surcharges de Boussinesq définies au préalable et qui sont toujours présentes. Chaque surcharge de Boussinesq est identifiée par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration et sa phase de définition ;
- son niveau d'application ;
- son amplitude.

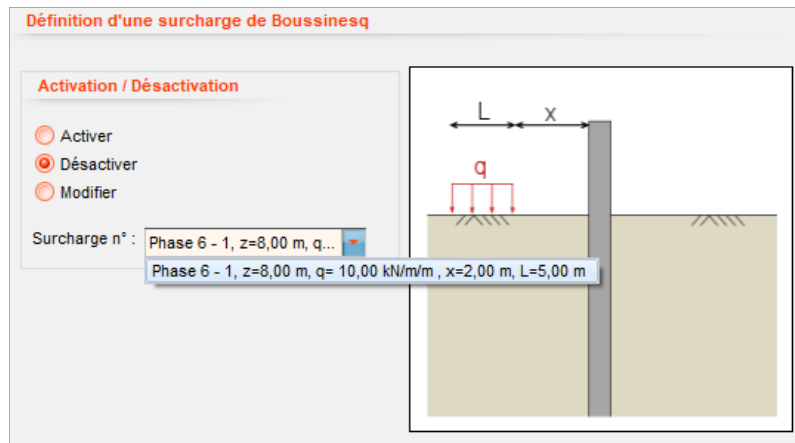


Figure B91 : Désactivation d'une surcharge de Boussinesq

### B.5.6.3. Force linéique

Cette action permet de gérer (activer, modifier ou désactiver) les forces linéiques appliquées directement au rideau.

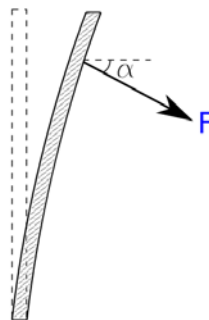


Figure B92 : Schéma de principe d'une force linéique

Les paramètres nécessaires à la définition d'une force linéique sont :

- « **Ecran 1** » ou « **Ecran 2** » pour un projet double-rideau ;
- Activer** : choisi par défaut pour définir une nouvelle force ;
- z** : niveau d'application (m ou ft) ;
- F** : amplitude de la force (kN/m ou kip/ft) ;
- $\alpha$**  : inclinaison de la force par rapport à l'horizontale comptée positivement dans le sens horaire ( $^{\circ}$ ) ;
- Nature de la charge** : dans le cas où les vérifications ELU ont été demandées, il est nécessaire de définir également la nature de la force en précisant si elle est **permanente** ou **variable** d'une part, et **favorable** ou **défavorable** de l'autre part. Ces choix impacteront la valeur du coefficient partiel qui sera appliqué à la valeur de la charge (cf. § B.3.1.2 du manuel).
- Famille** : dans le cas où le calcul de cas de charges a été activé (cf. §B.3.5), il est nécessaire d'attribuer la surcharge à une famille de charges à l'aide de la liste déroulante constituée de l'ensemble des familles définies au préalable.

Figure B93 : Définition d'une force linéique

Pour **modifier une force linéique** précédemment définie, sélectionner « **Modifier** ». La figure ci-dessous montre la liste déroulante constituée des forces linéiques définies au préalable et qui sont toujours présentes. Chaque force linéique est identifiée par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration ;
- son niveau d'application ;
- son amplitude ;
- son inclinaison.

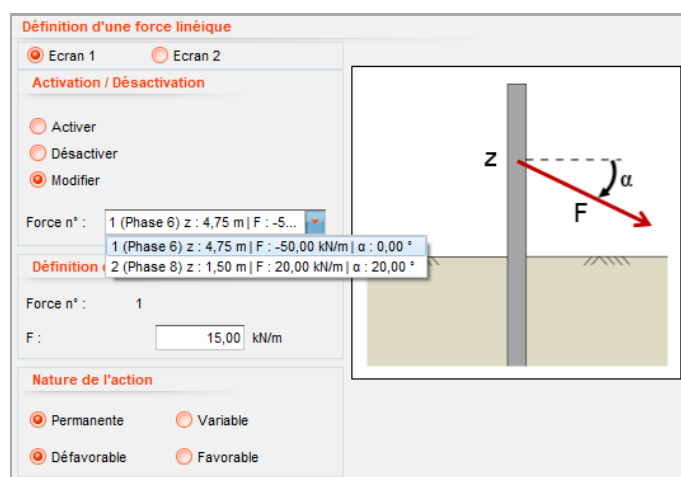


Figure B94 : Modification d'une force linéique

Les valeurs modifiables sont :

- F** : amplitude de la force (kN/m ou kip/ft) ;
- Nature de l'action** : dans le cas où les vérifications ELU sont demandées.

Pour **désactiver une force linéique** précédemment définie, sélectionner « **Désactiver** ». La figure ci-dessous montre la liste déroulante constituée des forces linéiques définies au préalable et qui sont toujours présentes. Chaque force linéique est identifiée par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration et sa phase de définition ;
- son niveau d'application ;
- son amplitude ;
- son inclinaison.

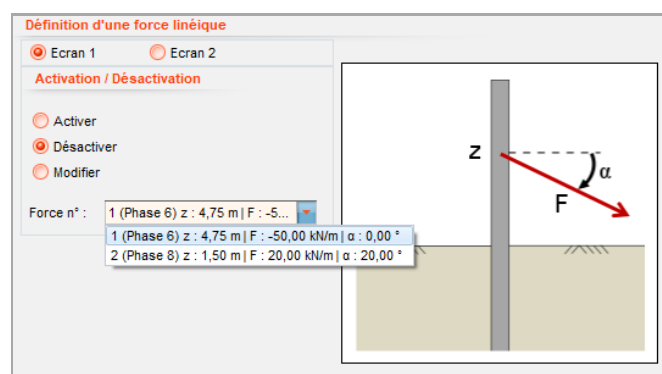


Figure B95 : Désactivation d'une force linéique

### B.5.6.4. Moment linéique

Cette action permet de gérer (activer, modifier ou désactiver) les moments linéiques appliqués directement sur le rideau.

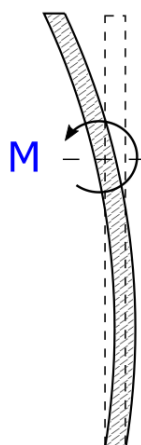


Figure B96 : Schéma de principe d'un moment

Les paramètres à renseigner pour définir un moment linéique sont :

- « **Écran 1** » ou « **Écran 2** » pour un projet double-rideau ;
- Activer** : choisi par défaut pour définir un nouveau moment ;
- z** : niveau d'application (m ou ft) ;
- M** : amplitude du moment (kNm/m ou kip/ft) ;
- Nature de la charge** : dans le cas où les vérifications ELU ont été demandées, il est nécessaire de définir également la nature de la charge en précisant si elle est **permanente** ou **variable** d'une part, et **favorable** ou **défavorable** de l'autre part. Ces choix impacteront la valeur du coefficient partiel qui sera appliqué à la valeur de la charge (cf. § B.3.1.2 du manuel).
- Famille** : dans le cas où le calcul de cas de charges a été activé (cf. §B.3.5), il est nécessaire d'attribuer la surcharge à une famille de charges à l'aide de la liste déroulante constituée de l'ensemble des familles définies au préalable.

Figure B97 : Définition d'un moment linéique

Pour **modifier un moment linéique** précédemment défini, sélectionner « **Modifier** ». La figure ci-dessous montre la liste déroulante constituée des moments linéiques définis au préalable et qui sont toujours présents. Chaque moment linéique est identifié par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration et la phase de définition ;
- son niveau d'application ;
- son amplitude ;
- son inclinaison.

Les valeurs modifiables sont :

- M** : amplitude du moment (kNm/m ou kip.ft/ft) ;
- Nature de la charge** : dans le cas où les vérifications ELU ont été demandées, il est nécessaire de définir également la nature de la charge en précisant si elle est **permanente** ou **variable** d'une part, et **favorable** ou **défavorable** de l'autre part. Ces choix impacteront la valeur du coefficient partiel qui sera appliqué à la valeur de la charge (cf. § B.3.1.2 du manuel).

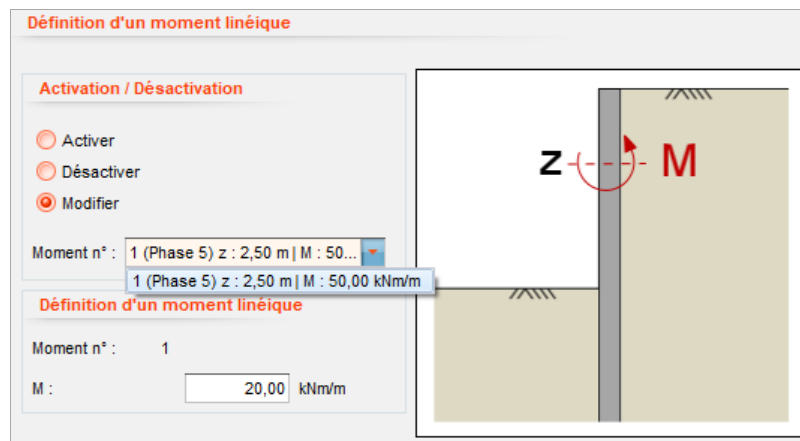


Figure B98 : Modification d'un moment linéique

Pour **désactiver un moment linéique** précédemment défini, sélectionner « **Désactiver** ». La figure ci-dessous montre la liste déroulante constituée des moments linéiques définis au préalable et qui sont toujours présents. Chaque moment linéique est identifié par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration et sa phase de définition ;
- son niveau d'application ;
- son amplitude.

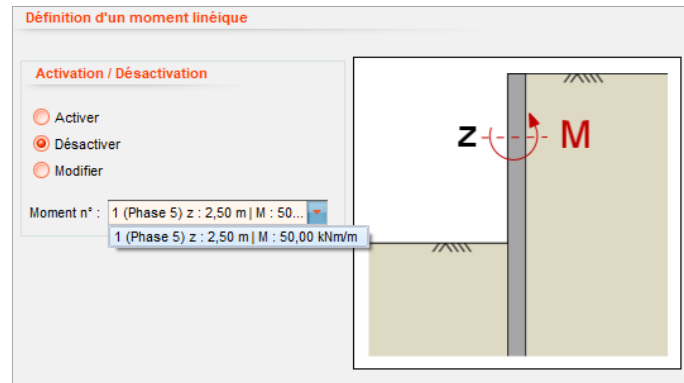


Figure B99 : Désactivation d'un moment linéique

#### B.5.6.5. Charge trapézoïdale

Cette commande permet de gérer (activer, modifier ou désactiver) les charges trapézoïdales appliquées directement au rideau.

Les paramètres à introduire pour définir ce type de charge sont :

- « **Ecran 1** » ou « **Ecran 2** » pour un projet double-rideau ;
- Activer** : choisi par défaut pour définir une nouvelle charge ;
- $z_t$**  : niveau supérieur de la charge (m ou ft) ;
- $z_b$**  : niveau inférieur de la charge (m ou ft) ;
- $\alpha$**  : inclinaison de la charge par rapport à l'horizontale, comptée positivement dans le sens horaire (°).
- $q_{ht}$**  : amplitude de la charge au niveau  $z_t$  (kN/m/m ou kip/ft) ;
- $q_{hb}$**  : amplitude de la charge au niveau  $z_b$  (kN/m/m ou kip/ft).
- Nature de la charge** : dans le cas où les vérifications ELU ont été demandées, il est nécessaire de définir également la nature de la charge en précisant si elle est **permanente** ou **variable** d'une part, et **favorable** ou **défavorable** de l'autre part. Ces choix impacteront la valeur du coefficient partiel qui sera appliqué à la valeur de la charge (cf. § B.3.1.2 du manuel).
- Famille** : dans le cas où le calcul de cas de charges a été activé (cf. §B.3.5), il est nécessaire d'attribuer la surcharge à une famille de charges à l'aide de la liste déroulante constituée de l'ensemble des familles définies au préalable.

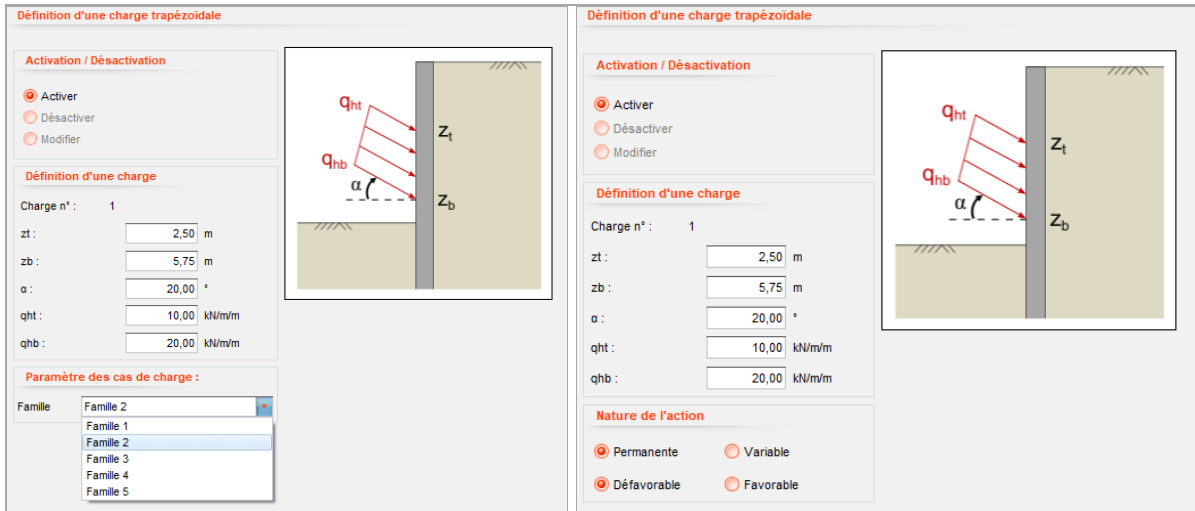


Figure B100 : Définition d'une charge trapézoïdale

La valeur de la surcharge entre  $q_{ht}$  et  $q_{hb}$  est obtenue par interpolation linéaire entre les niveaux  $z_t$  et  $z_b$ .

Pour **modifier une charge trapézoïdale** précédemment définie, sélectionner « **Modifier** ». Les valeurs modifiables sont :

- $q_{ht}$  : amplitude de la charge au niveau  $z_t$  (kN/m/m ou kip/ft) ;
- $q_{hb}$  : amplitude de la charge au niveau  $z_b$  (kN/m/m ou kip/ft).
- Nature de la charge** : dans le cas où les vérifications ELU ont été demandées, il est nécessaire de définir également la nature de la charge en précisant si elle est **permanente** ou **variable** d'une part, et **favorable** ou **défavorable** de l'autre part. Ces choix impacteront la valeur du coefficient partiel qui sera appliqué à la valeur de la charge (cf. § B.3.1.2 du manuel).

La figure ci-dessous montre la liste déroulante constituée des charges trapézoïdales définies au préalable et qui sont toujours présentes. Chaque charge trapézoïdale est identifiée par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration et sa phase de définition ;
- ses niveaux d'application (haut et bas) ;
- son amplitude aux niveaux  $z_t$  et  $z_b$  ;
- son inclinaison.

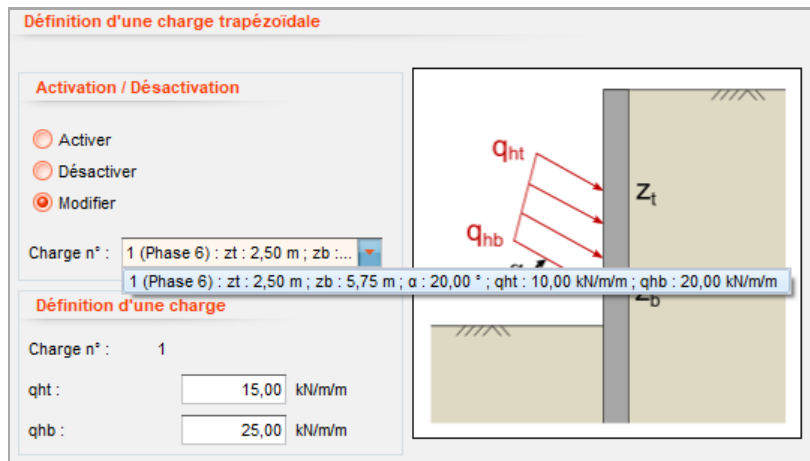


Figure B101 : Modification d'une charge trapézoïdale

Pour **désactiver une charge trapézoïdale** précédemment définie, sélectionner « **Désactiver** ». La figure ci-dessous montre la liste déroulante constituée des charges de trapézoïdales définies au préalable et qui sont toujours présentes. Chaque charge trapézoïdale est identifiée par les éléments suivants :

- son numéro de déclaration et sa phase de définition ;
- ses niveaux d'application (haut et bas) ;
- son inclinaison ;
- son amplitude aux niveaux  $z_t$  et  $z_b$ .

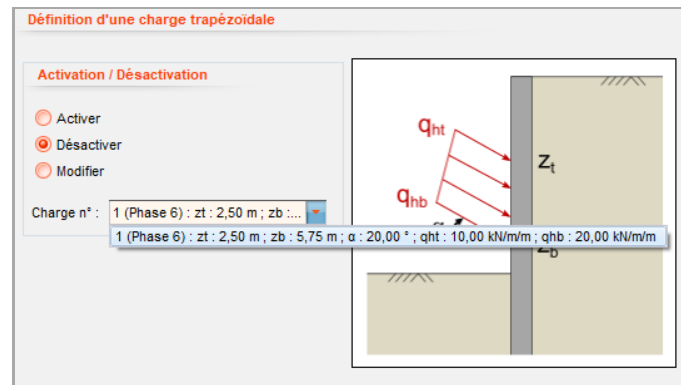


Figure B102 : Désactivation d'une charge trapézoïdale

## B.5.7. Actions automatiques

### B.5.7.1. Options MEL (Méthode aux Equilibres Limites)

Cette action permet de contrôler les options disponibles dans le cadre des vérifications à l'ELU pour les phases pendant lesquelles le rideau est défini comme autostable (calcul MEL), c'est-à-dire les phases pour lesquelles la case « **Ecran en console** » est cochée.

Cette commande comporte 2 sections :

- **Surexcavation** : définition des surexcavations à prendre à compte dans les vérifications à l'ELU ;
- **Options du calcul MEL** : paramétrage des options intervenant dans le calcul MEL.

Les paramètres de cette action automatique sont les suivants :

- $\Delta a_{\text{gauche}}$  : valeur de la surexcavation du côté gauche du rideau à prendre en compte lors des vérifications à l'ELU (MEL) ;
- $\Delta a_{\text{droite}}$  : valeur de la surexcavation du côté droit du rideau à prendre en compte lors des vérifications à l'ELU (MEL).

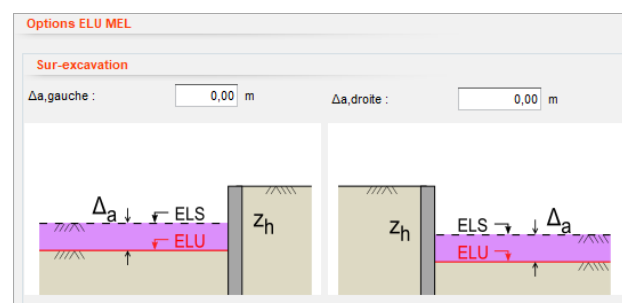


Figure B103 : Modification des paramètres de surexcavation

- Méthode de calcul** : méthode de calcul utilisée pour les vérifications MEL. Le choix « Automatique » est coché par défaut. Dans ce cas, la méthode D est utilisée. Si vous décochez cette option, vous pourrez choisir d'appliquer la méthode F ou la méthode D pour cette phase (cf. Partie C du manuel pour les détails de ces deux méthodes de calcul). Lorsque la méthode D est sélectionnée, une option supplémentaire permet de définir la fiche de calcul.

Trois choix sont alors disponibles pour la base de la fiche prise en compte par le calcul MEL :

- Pied de l'écran** : la base de la fiche considérée correspond au pied du rideau (option par défaut) ;
- Niveau  $z_c - 0.2 \times f_0$**  : la base de la fiche considérée correspond au point du rideau  $Z_{base} = z_c - 0.2 \times f_0$  et est évaluée automatiquement par le moteur de calcul une fois  $z_c$  et  $f_0$  calculés ;
- Personnalisé** : la base de la fiche considérée est fixée par l'utilisateur.

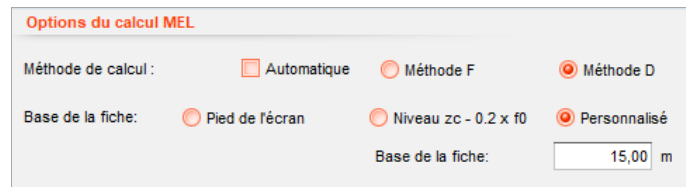


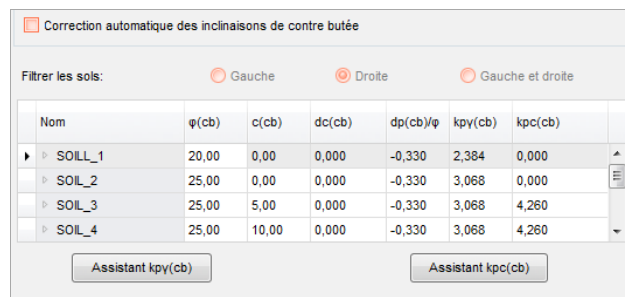
Figure B104 : Modification des paramètres de la méthode de calcul

- Sélection du côté de la butée** : côté considéré en butée lors des vérifications effectuées pour cette phase. Par défaut, la case « Automatique » est cochée pour cette option. Dans ce cas, le côté pour lequel le rapport de butées est le plus faible en calcul MISS est celui retenu. Si vous décochez cette option, vous pourrez forcer le choix du côté considéré pour la butée (cf. Partie C du manuel).



Figure B105 : Modification du côté de la butée

- Correction automatique des inclinaisons de contre-butée** : permet de corriger automatiquement les inclinaisons de contre-butée lors de l'évaluation des vérifications pour cette phase (cf. Partie C du manuel + Partie D/Tutoriel 3). Lorsque l'utilisateur désactive cette option, un tableau contenant les couches de sol présentes dans la phase en cours apparaît. Ce tableau permet à l'utilisateur de définir des paramètres personnalisés de la contre-butée.



Nom	$\varphi(cb)$	$c(cb)$	$dc(cb)$	$dp(cb)/\varphi$	$k_{py}(cb)$	$k_{pc}(cb)$
SOILL_1	20,00	0,00	0,000	-0,330	2,384	0,000
SOILL_2	25,00	0,00	0,000	-0,330	3,068	0,000
SOILL_3	25,00	5,00	0,000	-0,330	3,068	4,260
SOILL_4	25,00	10,00	0,000	-0,330	3,068	4,260

Figure B106 : Modification des caractéristiques de la contrebutée dans le cadre d'un calcul MEL

Par défaut, pour chaque couche de sol, les paramètres de la contre-butée ( $\delta_{p(cb)}/\varphi$ ,  $k_{py}(cb)$  et  $k_{pc}(cb)$ ) sont pris égaux à ceux de la butée (valeurs de  $\delta_p/\varphi$ ,  $k_{py}$  et  $k_{pc}$ ).

Afin de pouvoir assurer simultanément la vérification des bilans des efforts verticaux et horizontaux avec des pressions compatibles, l'utilisateur pourra être amené, le cas échéant, à modifier l'inclinaison de la contrebutée  $\delta_{p(cb)}/\varphi$  (cf. Exemple 3 de la partie D du manuel).

Ces paramètres sont utilisés dans le cadre des calculs de vérification ELU (MEL) tels que décrits dans la partie C du manuel.

### B.5.7.2. Options ELU (MISS)

Cette commande permet de contrôler les options disponibles dans le cadre des vérifications ELU pour les phases pendant lesquelles le rideau est considéré ancré (calcul MISS), c'est-à-dire les phases pour lesquelles la case « **Ecran en console** » est décochée.

Cette commande comporte 2 sections :

- Surexcavation** : définition des surexcavations à prendre à compte dans les vérifications ELU ;
- Vérification du massif d'ancrage** : options intervenant dans la vérification du massif d'ancrage.

Les paramètres de cette commande sont les suivants :

- $\Delta a_{\text{gauche}}$  : valeur de la surexcavation du côté gauche du rideau à prendre en compte lors des vérifications ELU (MISS) ;
- $\Delta a_{\text{droite}}$  : valeur de la surexcavation du côté droit du rideau à prendre en compte lors des vérifications ELU (MISS).

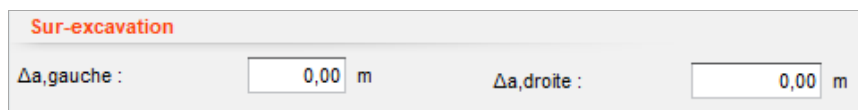


Figure B107 : Modification des paramètres de surexcavation

- **Position  $z_D$  du point d'effort tranchant nul** : permet de choisir la manière dont est fixé le point  $z_D$  utilisé lors de la vérification du massif d'ancrage (cf. Partie C du manuel). Le choix « Automatique » est coché par défaut, auquel cas le moteur de calcul considère comme point d'effort tranchant le point le plus bas compris entre le pied du rideau et le fond de fouille. Si cette option est décochée, il est possible d'imposer le niveau considéré pour le point  $z_D$ .

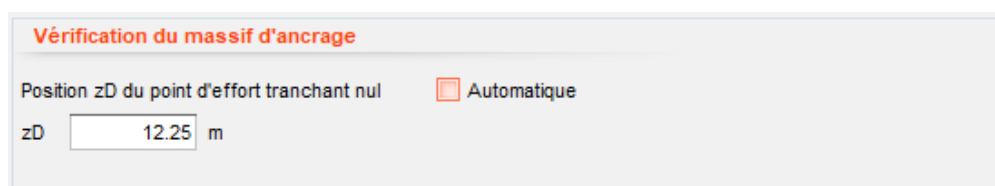


Figure B108 : Modification des paramètres de surexcavation

### B.5.8. Séisme (calcul sismique)

Cette action permet de définir les caractéristiques d'un calcul sismique relatif à une phase pour laquelle la case « **Calcul sismique** » a été cochée.

Il est à noter que cette option n'est disponible que dans les phases pour lesquelles l'utilisateur n'a pas encore inséré d'actions. Inversement, l'activation de cette option désactive la possibilité de créer de nouvelles actions dans la phase courante. La phase est ensuite considérée comme « orpheline ». Cela signifie qu'une phase sans séisme définie après une phase avec séisme prendra comme référence pour son état initial la dernière phase sans séisme définie précédemment et non pas la phase de calcul sismique. Le schéma suivant explique la prise en compte du phasage lorsque des phases avec séisme sont présentes.

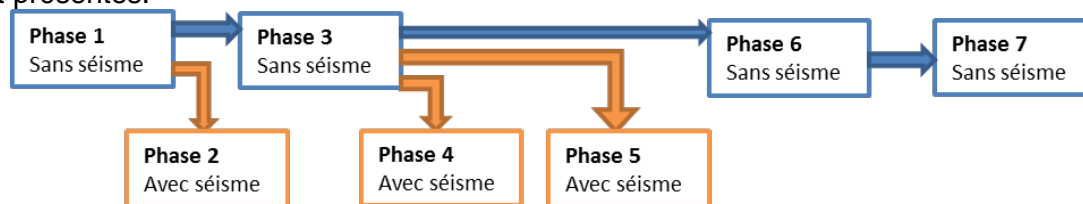


Figure B109 : Phasage de calcul avec traitement des phases avec séisme

Cette commande comporte 2 sections :

- Paramètres d'accélération** : caractéristiques du séisme ;
  - $k_h$  : coefficient sismique horizontal ;
  - $k_v$  : coefficient sismique vertical ;
  - **XP** : facteur de limitation de la butée ( $\leq 1$ ).
- Paramètres des sols** : comportement des sols lors du calcul sous séisme. Pour chaque couche de sol :
  - $\gamma$  : poids volumique humide ( $\text{kN/m}^3$ , kcf) ;
  - $\gamma_d$  : poids volumique sec ( $\text{kN/m}^3$ , kcf) ;
  - **Comportement hydraulique à gauche et à droite** : permet de choisir entre un comportement ouvert (sol très perméable) ou fermé (sol peu perméable) pour la couche de sol sélectionnée de chaque côté du rideau.

Le calcul des effets sismiques est mené selon la méthode « pseudo-statique ». Le moteur de calcul d'AMRetain utilise les paramètres ci-dessus pour les opérations suivantes :

- Correction des diagrammes de poussée/butée limitée de chaque côté du rideau tenant compte de l'action sismique ;
- Correction des profils hydrauliques de chaque côté du rideau dans les niveaux où la nappe est libre et/ou ceux où le sol a été déclaré comme milieu « ouvert ».
- Application d'une force d'inertie associée à la masse du rideau.

La description mathématique de la méthode de calcul utilisée est détaillée dans la partie C du manuel.

## B.6. Calculs et résultats



Les calculs menés par AMRetain sont réalisés pour une longueur unitaire du rideau, ainsi la plupart des données et des résultats se rapportent à cette longueur unitaire. L'unité /m (par mètre) ou /ft (par pied) est rappelée de manière explicite dans les résultats fournis.

### B.6.1. Présentation générale

#### B.6.1.1. Calcul

Cliquer sur le bouton **Calculer** situé dans la barre des boutons pour lancer les calculs de toutes les phases de calcul et de vérifications à l'ELU si elles ont été demandées.

Les calculs peuvent être effectués à tout moment (en phase initiale, au cours du phasage ou dans la phase finale) à partir du moment où les données de sol, du(des) rideau(x) et des actions sont correctement renseignées.

#### B.6.1.2. Organigramme des calculs

Les résultats disponibles dépendent du type de calcul effectué. L'organigramme de calcul suivant explicite les résultats obtenus pour les différents types de calcul disponibles. La partie C du manuel fournit les explications détaillées sur les différents types de calcul évoqués dans cet organigramme.

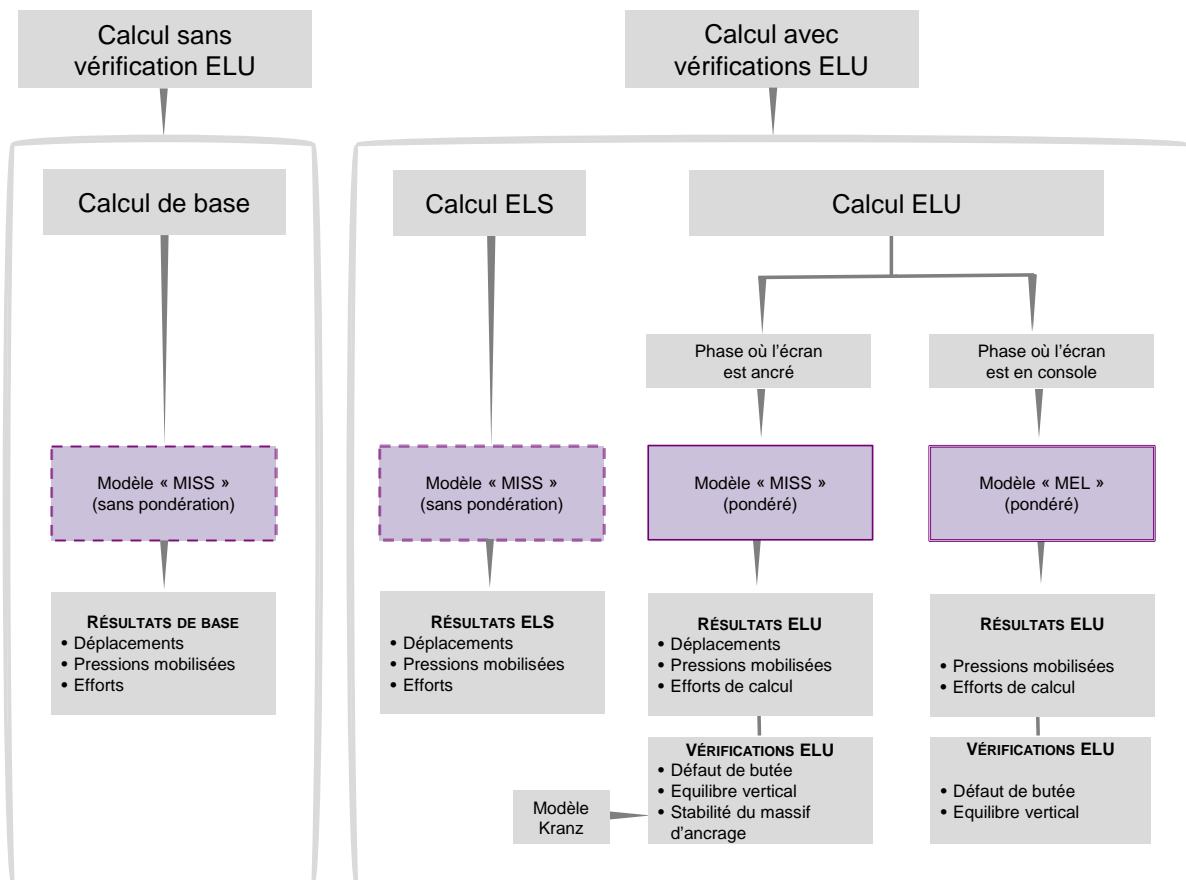


Figure B110 : Organigramme de calcul et résultats obtenus pour chaque type de calcul

### B.6.1.3. Résultats pour un calcul sans vérifications ELU

Toutes les phases sont traitées à l'aide du calcul MISS de « base » réalisé sans pondération sur les caractéristiques des sols et des surcharges.

Les résultats obtenus comportent : les déplacements du rideau, les moments fléchissants, les efforts tranchants, les pressions mobilisées ainsi que les réactions des appuis.

Le chapitre B.6.2 fournit la présentation détaillée des résultats du calcul MISS « de base ».

### B.6.1.4. Cas d'un calcul avec vérifications ELU

Pour chaque phase, deux calculs sont effectués :

- **Un calcul « ELS »** : calcul basé sur un modèle MISS réalisé sans pondération sur les caractéristiques des sols et des surcharges. Les résultats de ce calcul sont strictement identiques à ceux d'un calcul « sans vérifications ELU » : déplacements, moments fléchissants, efforts tranchants, pressions mobilisées et réactions des appuis.

Voir le chapitre B.6.2.5 pour la présentation détaillée des résultats ELS tels qu'ils sont affichés dans AMRetain (la présentation de ces résultats est très proche de celle des résultats du calcul MISS de base).

- **Un calcul « ELU »** : calcul basé sur un modèle MISS pondéré complété par un calcul MEL pour les phases où le rideau est considéré comme en console.

Les résultats disponibles sont les suivants :

- Déplacements du rideau (pour les phases où le rideau est ancré) ;
- Valeurs de calcul des moments fléchissants et des efforts tranchants ;
- Valeurs de calcul des pressions mobilisées ;
- Valeurs de calcul des efforts dans les appuis.

Voir le chapitre B.6.3 pour la présentation détaillée des résultats ELU (MISS) tels qu'ils sont affichés dans AMRetain.

Les résultats des vérifications à l'ELU suivantes sont également disponibles :

- Vérification du défaut de butée ;
- Vérification de l'équilibre vertical ;
- Vérification de la stabilité du massif d'ancrage pour les phases où le rideau est ancré.

Voir le chapitre B.6.4.3 pour la présentation détaillée des résultats des vérifications tels qu'ils sont affichés dans AMRetain.

## B.6.2. Calcul sans vérifications ELU

### B.6.2.1. Résultats disponibles dans la fenêtre principale d'AMRetain

Après la fin des calculs, une partie des résultats est affichée sous forme graphique dans la fenêtre principale dans le cadre de gestion de la phase en cours : déplacements, moments fléchissants et efforts tranchants.

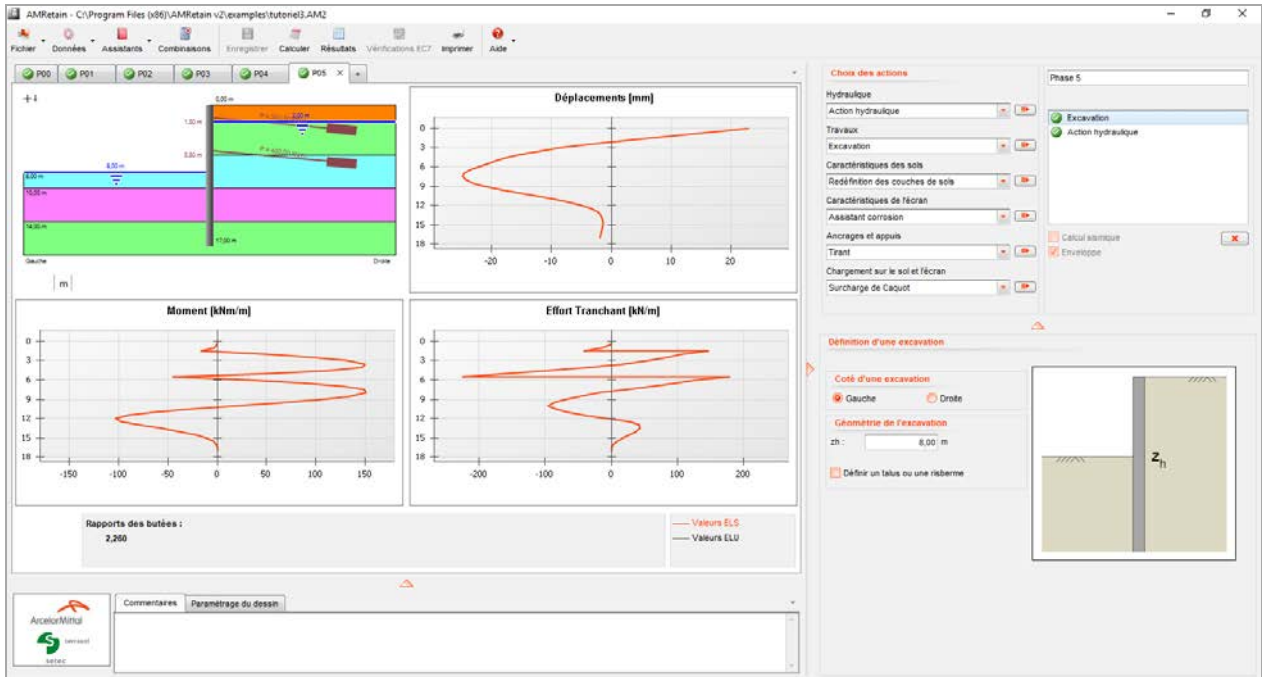


Figure B111 : Affichage des résultats MISS (sans vérifications ELU) dans la fenêtre principale

Le rapport (butée mobilisable/butée mobilisée) est également affiché sur la fenêtre principale.

Un message d'avertissement apparaît dans le cadre de gestion du phasage si le calcul atteint le nombre maximal d'itérations par phase. Par des raisons de cohérence, ce message apparaît aussi pour toutes les phases suivant une phase pour laquelle le calcul n'a pas convergé.

**Attention, le nombre limite d'itérations a été atteint !!!**

Essayez d'affiner le pas de calcul, ou d'augmenter le nombre d'itérations autorisé par phase. Si le problème persiste, nous vous recommandons de vérifier les données de votre projet et de rechercher les causes d'instabilité possibles.

Il est bien sûr possible d'accéder à des résultats plus détaillés en ouvrant la fenêtre des résultats : il s'agit d'une fenêtre spécifique qui respecte le même principe de fonctionnement que le cadre de gestion du phasage, à savoir, via des onglets. Pour ceci, cliquer sur le bouton « **Résultats** » qui se trouve dans la barre des boutons.

### B.6.2.2. Fenêtre des résultats / Onglet « Données »

Lorsque la fenêtre de résultats s'affiche, elle s'ouvre par défaut sur le premier onglet qui est celui du rappel des données générales du projet :

GENERALITES																		
Poids volumique de l'eau :	10,00 kN/m <sup>3</sup>																	
Nombre d'itérations :	100																	
Pas de calcul :	0,50 m																	
Prise en compte moments 2 or...	Non																	
Définition du projet :	Profondeurs																	
CARACTERISTIQUES DES COU...																		
Couche	z	zw	Y	Y'	φ	c	dc	k0	kay	kpy	kd	kr	kac	kpc	kh	dkh	δa/φ	δp/φ
	m	m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	°	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup> m								kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup> m		
SOILL_1	0,00	2,00	19,00	10,00	20,00	0,00	0,000	0,658	0,430	2,384	0,658	0,658	0,000	0,000	25000	0	0,660	-0,330
SOIL_2	2,00	2,00	19,00	10,00	25,00	0,00	0,000	0,577	0,349	3,068	0,577	0,577	0,000	0,000	25000	0	0,660	-0,330
SOIL_3	6,00	2,00	19,00	10,00	25,00	5,00	0,000	0,577	0,349	3,068	0,577	0,577	1,390	4,260	25000	0	0,660	-0,330
Valeurs de calcul des paramèt...																		
MISS								MEL										
Couche	Comportement	φ,d	c,d	dc,d	kay,d	kpy,d	kac,d	kpc,d	φ,d	c,d	dc,d	kay,d	kpy,d	kac,d	kpc,d			
		°	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup> m					°	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup> m							
SOILL_1	Drainé	20,00	0,00	0,000	0,430	2,384	0,000	0,000	20,00	0,00	0,000	0,430	2,384	0,000	0,000			
SOIL_2	Drainé	25,00	0,00	0,000	0,349	3,068	0,000	0,000	25,00	0,00	0,000	0,349	3,068	0,000	0,000			
SOIL_3	Drainé	25,00	5,00	0,000	0,349	3,068	1,390	4,260	25,00	5,00	0,000	0,349	3,068	1,390	4,260			
CARACTERISTIQUE DE L'ECRAN																		
z0	0,00 m																	
Section	z,base	EI	Rc	W														
	m	kNm <sup>2</sup> /m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>3</sup>														
1	17,00	46956	0	0,99														

Figure B112 : Fenêtre des résultats : onglet « Données »

Sur cet onglet sont regroupées, dans le cadre d'un projet rideau simple, toutes les données des caractéristiques de sol et du rideau, ainsi que les options de calcul choisies et les actions effectuées dans la phase initiale (p. ex. la poussée réduite).

### B.6.2.3. Fenêtre de résultats / Onglet « Synthèse des résultats »

L'onglet « Synthèse des résultats », qui suit celui consacré aux données, présente sous forme de tableau synthétique les extrema obtenus pour les principaux types de résultats, pour chaque phase de calcul et globalement sur l'ensemble du phasage (dernière ligne du tableau).

N° PHASE	Déplacement en tête [mm]	Déplacement maximal [mm]	M,k max écran [kN/m/m]	N,k max écran [kN/m]	V,k max écran [kN/m]	Rapport butées	F,k tirant n°1 [kN/m]	F,k tirant n°2 [kN/m]
1	-8,70	-8,70	-35,03	40,61	-19,57	6,037	-	-
2	10,14	10,14	84,03	40,27	146,00	6,100	200,00	-
3	23,69	23,69	204,87	74,28	137,55	3,071	191,42	-
4	22,85	22,85	187,73	74,25	-218,26	3,265	192,02	400,00
5	22,79	-24,79	150,95	95,29	-224,73	2,260	190,67	409,73
Extrema	23,69	-24,79	204,87	95,29	-224,73	2,260	200,00	409,73

Figure B113 : Affichage du tableau de synthèse des résultats (rideau simple, sans vérifications ELU)

Les types de résultats pour lesquels ces extrema sont fournis sont les suivants :

- **Déplacement en tête** du rideau (en mm ou in) ;
- **Déplacement maximal** obtenu le long du rideau (en mm ou in) ;
- **Moment fléchissant maximal** obtenu le long du rideau (en kNm/m ou kip.ft/ft) ;
- **Effort tranchant maximal** obtenu le long du rideau (en kN/m ou kip/ft) ;
- **Effort de voûte maximal** obtenu le long du rideau, uniquement pour les rideaux définis comme enceinte circulaire (en kN/m) ;
- **Effort normal maximal** obtenu le long du rideau (en kN/m) ;
- **Rapport des butées** : rapport (butée mobilisable / butée mobilisée). Il est à noter que contrairement aux autres colonnes, l'extrema présenté en dernière ligne pour le rapport des butées est la valeur minimale rencontrée sur l'ensemble des phases (et non la valeur maximale, comme c'est le cas pour les autres colonnes) ;
- **Efforts dans les ancrages** : efforts repris dans les ancrages pour chaque phase (unité variable).

#### B.6.2.4. Fenêtre des résultats / Onglet(s) « Enveloppe »

Le(s) onglet(s) qui suit (vent) à la « Synthèse de résultats » dans la fenêtre de résultats sont consacrés aux enveloppes des déplacements, des moments fléchissants et des efforts tranchants.

- Si aucune enveloppe « intermédiaire » n'a été demandée lors de la définition du phasage, un seul onglet « Enveloppe » est disponible. Il correspond aux enveloppes calculées sur l'ensemble du phasage défini.
- Si des enveloppes intermédiaires ont été demandées lors de la définition du phasage, plusieurs onglets enveloppes sont créés et correspondent au découpage imposé par l'utilisateur à l'aide des cases cochées.

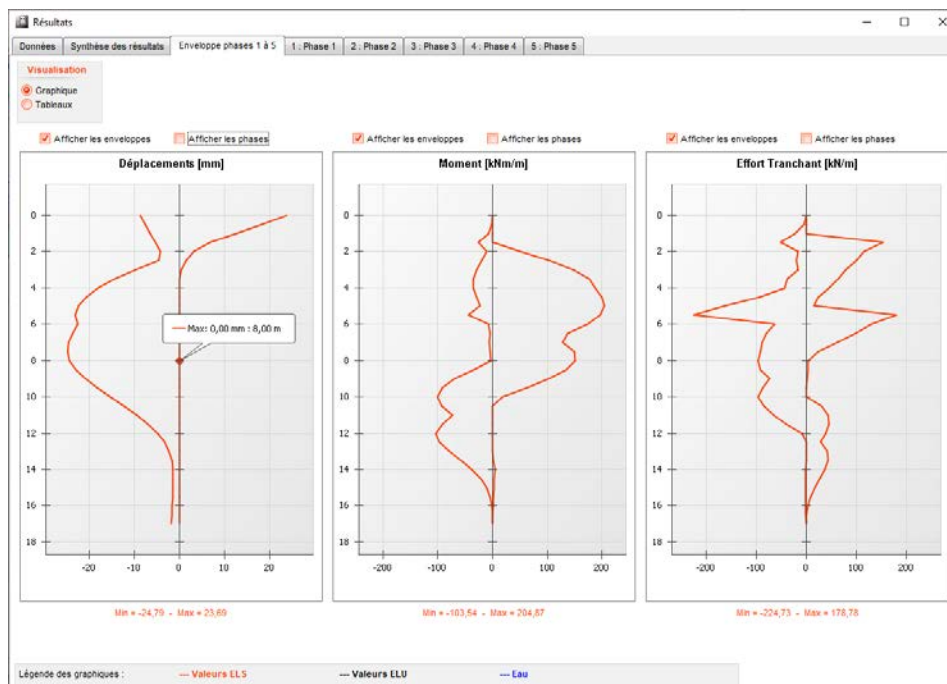


Figure B114 : Affichage des enveloppes pour les phases 1 à 5

Sur chaque onglet « Enveloppe », il est possible de basculer en mode de visualisation « Graphique » ou « Tableau » grâce à la liste de choix.



Sur tous les onglets de la fenêtre des résultats sont affichés deux boutons. Le bouton **Imprimer** permet d'ouvrir la boîte de dialogue des impressions et le bouton **Quitter** permet de fermer la fenêtre des résultats.

### B.6.2.5. Résultats par phase : représentation graphique

Les onglets suivants correspondent aux phases définies dans le projet. Ils fournissent les graphiques (option « Graphiques » cochée par défaut) : déplacements, moments fléchissants, efforts tranchants, rotations, efforts de voûte, effort normal et pressions des terres et de l'eau

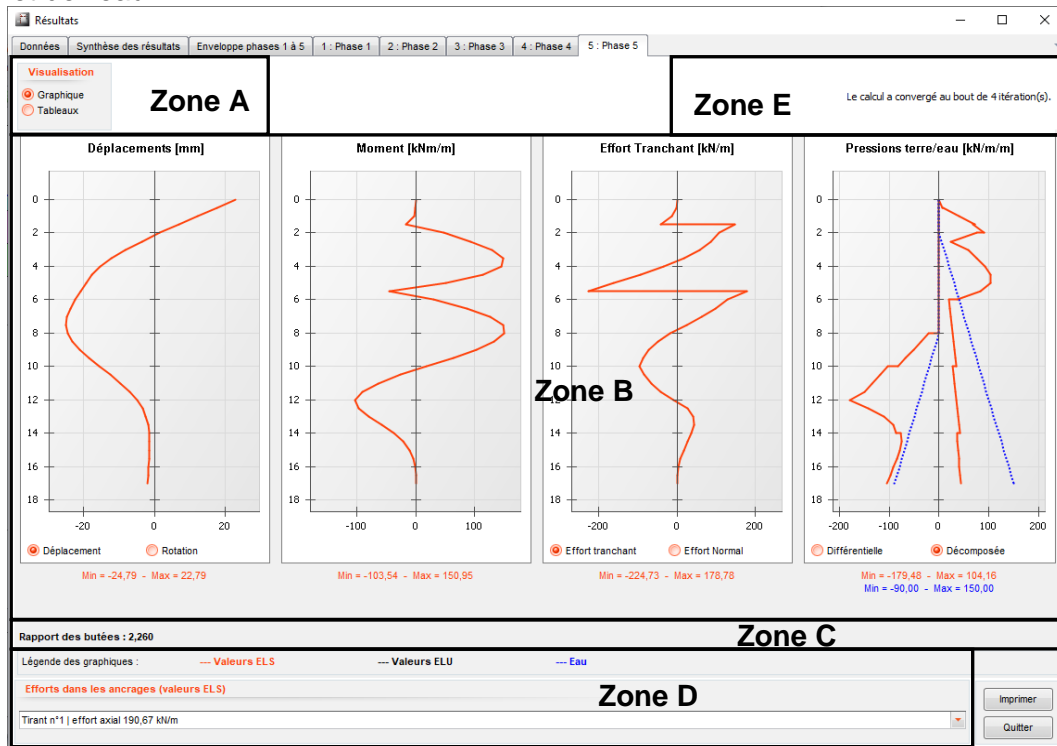
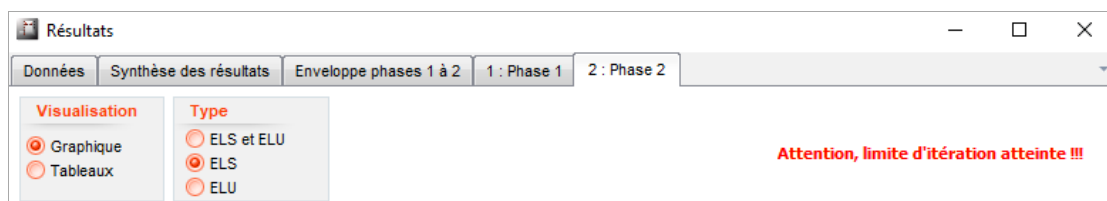


Figure B115 : Affichage des résultats d'une phase sous forme de graphiques (rideau simple, sans vérifications ELU)

Chaque onglet « phase » comprend **cinq zones** :

- Zone A** : choix du type de visualisation (graphiques ou tableaux).
- Zone B** : consacrée à l'affichage des résultats proprement dits :
- Zone C** : réservée à l'affichage du rapport (butée mobilisable / butée mobilisée).
- Zone D** : contient une liste déroulante, qui donne les efforts dans les ancrages actifs dans la phase considérée.
- Zone E** : consacrée aux messages d'information ou d'avertissement, comme celui sur la convergence du calcul. Si celle-ci n'a pas été atteinte après le nombre d'itérations maximal fixé dans les données (cf. chapitre B.3.1), le calcul s'arrête malgré tout (pour ne pas boucler indéfiniment) et un message est affiché pour alerter l'utilisateur.



Pour la zone B, les courbes affichées sont les suivantes :

- courbe des **déplacements / rotations** du rideau ;
- courbe du **moment fléchissant** du rideau ;
- courbe de l'effort tranchant / effort axial calculés du rideau ;
- courbe des **pressions des terres et pressions d'eau** : dans le cas d'un affichage « décomposé », les courbes violettes en trait plein correspondent aux pressions des terres et les courbes bleues en pointillés aux pressions d'eau. Les courbes correspondant aux valeurs négatives sont celles des pressions qui s'appliquent à gauche . Et inversement, celles qui correspondent aux valeurs positives sont les valeurs des pressions qui s'appliquent sur le côté droit du rideau. Il est également possible de demander l'affichage de la pression différentielle calculée par addition des pressions des terres de part et d'autre du rideau et des pressions d'eau.

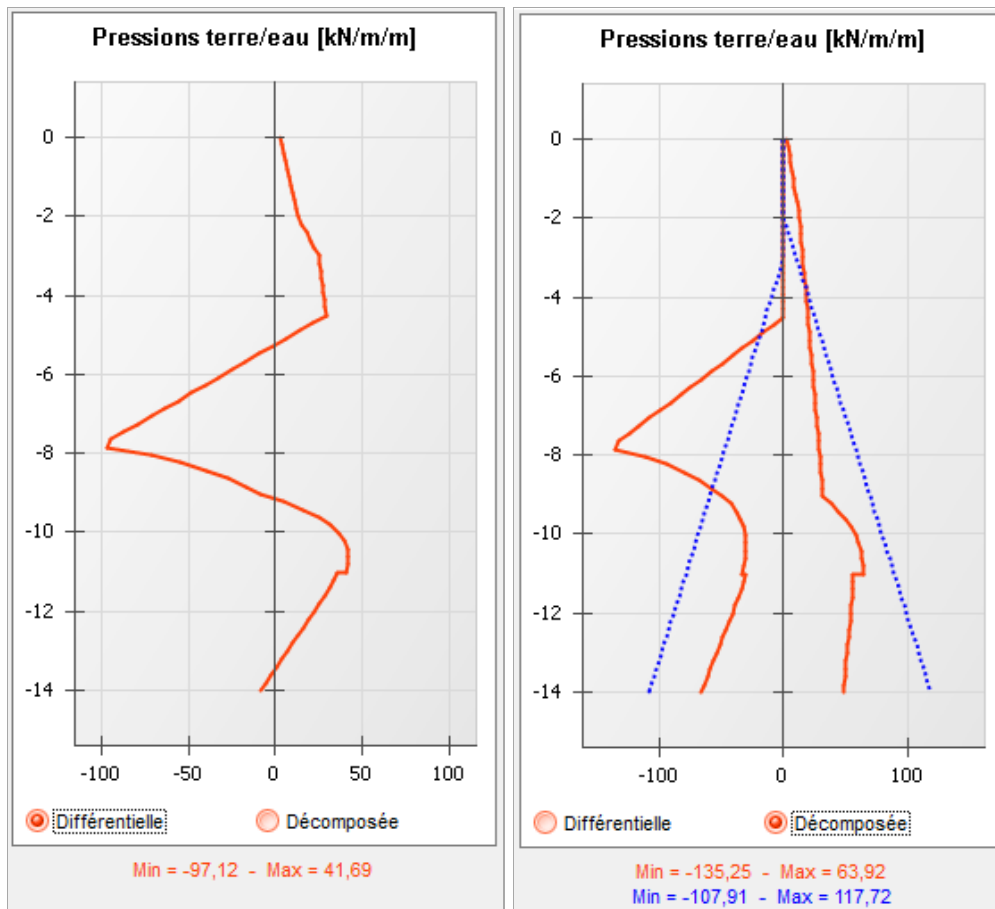


Figure B116 : Exemple d'affichage de la pression différentielle (à gauche) et d'affichage décomposé des pressions (à droite)

Les valeurs minimales et maximales de chacune des courbes s'affichent sous chacun des graphiques.

### B.6.2.6. Résultats par phase : tableaux de valeurs

Il est possible de basculer vers un affichage sous forme de tableaux de résultats en sélectionnant l'option « Tableaux ».

Le calcul a convergé au bout de 4 itération(s).

NIVEAU [m]	Rotation [x0.001 rad]	Déplacement [mm]	M,k [kNm/m]	V,k [kN/m]	Etat GAUCHE	Etat DROITE	ph,k GAUCHE [kN/m/m]	ph,k DROITE [kN/m/m]	u,k GAUCHE [kN/m/m]	u,k DROITE [kN/m/m]	σv,k GAUCHE [kN/m/m]	σv,k DROITE [kN/m/m]	pa,k GAUCHE [kN/m/m]	pa,k DROITE [kN/m/m]
0,00	-10,59622	22,79	0,00	0,00	excav.	poussee	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	-10,59667	17,50	-0,17	-1,02	excav.	poussee	0,00	6,39	0,00	0,00	0,00	9,50	0,00	4,09
0,50	-10,59667	17,50	-0,17	-1,02	excav.	elast.	0,00	8,70	0,00	0,00	0,00	9,50	0,00	4,09
1,00	-10,60852	12,20	-3,07	-13,16	excav.	elast.	0,00	39,92	0,00	0,00	0,00	19,00	0,00	8,17
1,00	-10,60852	12,20	-3,07	-13,16	excav.	elast.	0,00	39,92	0,00	0,00	0,00	19,00	0,00	8,17
1,50	-10,69742	6,88	-15,95	-41,04	excav.	elast.	0,00	71,75	0,00	0,00	0,00	28,50	0,00	12,26
1,50	-10,69742	6,88	-15,95	146,73	excav.	butee	0,00	67,94	0,00	0,00	0,00	28,50	0,00	12,26
2,00	-10,50935	1,55	47,97	107,10	excav.	butee	0,00	90,59	0,00	0,00	0,00	38,00	0,00	16,34
2,00	-10,50935	1,55	47,97	107,10	excav.	elast.	0,00	75,90	0,00	0,00	0,00	38,00	0,00	13,26
2,50	-9,73968	-3,54	94,82	85,79	excav.	elast.	0,00	23,17	0,00	5,00	0,00	43,00	0,00	15,01
2,50	-9,73968	-3,54	94,82	85,79	excav.	elast.	0,00	23,17	0,00	5,00	0,00	43,00	0,00	15,01
3,00	-8,52471	-8,12	131,00	57,17	excav.				0,00	10,00	0,00	48,00	0,00	16,75
3,00	-8,52471	-8,12	131,00	57,17	excav.				0,00	10,00	0,00	48,00	0,00	16,75
3,50	-7,01028	-12,01	150,14	17,51	excav.	elast.	0,00	75,65	0,00	15,00	0,00	53,00	0,00	18,50
3,50	-7,01028	-12,01	150,14	17,51	excav.	elast.	0,00	75,65	0,00	15,00	0,00	53,00	0,00	18,50
4,00	-5,40761	-15,11	146,64	-33,34	excav.	elast.	0,00	92,32	0,00	20,00	0,00	58,00	0,00	20,24
4,00	-5,40761	-15,11	146,64	-33,34	excav.	elast.	0,00	92,32	0,00	20,00	0,00	58,00	0,00	20,24
4,50	-3,98684	-17,45	115,16	-93,99	excav.	elast.	0,00	103,98	0,00	25,00	0,00	63,00	0,00	21,99
4,50	-3,98684	-17,45	115,16	-93,99	excav.	elast.	0,00	103,98	0,00	25,00	0,00	63,00	0,00	21,99
5,00	-3,06913	-19,19	51,66	-160,42	excav.	elast.	0,00	104,16	0,00	30,00	0,00	68,00	0,00	23,73
5,00	-3,06913	-19,19	51,66	-160,42	excav.	elast.	0,00	104,16	0,00	30,00	0,00	68,00	0,00	23,73
5,50	-3,00471	-20,66	-44,94	-224,73	excav.	elast.	0,00	83,73	0,00	35,00	0,00	73,00	0,00	25,48
5,50	-3,00471	-20,66	-44,94	178,78	excav.	elast.	0,00	83,73	0,00	35,00	0,00	73,00	0,00	25,48
6,00	-3,05608	-22,21	31,14	129,17	excav.	elast.	0,00	35,46	0,00	40,00	0,00	78,00	0,00	27,22
6,00	-3,05608	-22,21	31,14	129,17	excav.	poussee	0,00	20,27	0,00	40,00	0,00	78,00	0,00	20,27
6,50	-2,40810	-23,60	87,91	97,35	excav.	poussee	0,00	22,02	0,00	45,00	0,00	83,00	0,00	22,02
6,50	-2,40810	-23,60	87,91	97,35	excav.	poussee	0,00	22,02	0,00	45,00	0,00	83,00	0,00	22,02

Efforts dans les ancrages (valeurs EL5)

Tirant n°1 | effort axial 190,67 kN/m

Figure B117 : Affichage des résultats d'une phase de calcul sous forme de tableau

Chaque colonne rappelle la grandeur dans l'intitulé, le côté d'application (gauche ou droit) et les unités usuelles définies pour le projet.

Le descriptif des colonnes est donné ci-après :

- Profondeur ou niveau** (m, ft) : cote/profondeur des points de calcul des éléments du rideau. Le pas de calcul renseigné dans la fenêtre « Titre et options » est une valeur maximale d'espacement entre deux points successifs. AMRetain ajuste cet espacement lorsque c'est nécessaire en fonction des interfaces de sol et des éléments d'ancrage (1 point pour les éléments d'ancrage et 2 points pour les interfaces des couches de sol).
- Rotation** (rad) : rotation (ou distorsion) du rideau au point de calcul.
- Déplacement** (mm, in) : déplacement latéral du rideau au point de calcul.
- M<sub>k</sub>** (kNm/m, kip.ft/ft) : valeur caractéristique du moment fléchissant dans le rideau.
- V<sub>k</sub>** (kN/m, kip/ft) : valeur caractéristique de l'effort tranchant dans le rideau.
- Etat** : indique l'état du sol au niveau des nœuds selon la notation suivante :
  - Excavation : le sol est excavé devant le côté gauche ou droit du rideau ;
  - Décollement : le sol et le rideau ne sont plus en contact (pression négative remplacée par une pression minimale, plus de détail en partie C du manuel) ;
  - Poussée : le sol en contact avec le rideau est en état de poussée active ;
  - Elastique : le sol en contact avec le rideau est en phase élastique ;
  - Butée : le sol en contact avec le rideau est en état de butée.

- $p_{h,k}$  (kN/m/m, kip/ft) : valeur caractéristique de la pression horizontale effective mobilisée ;
- $u_k$  (kN/m/m, kip/ft) : valeur caractéristique de la pression d'eau calculée en fonction du poids volumique de l'eau au nœud considéré ;
- $\sigma'_{v,k}$  (kN/m/m, kip/ft) : valeur caractéristique de la contrainte verticale effective au point considéré ;
- $p_{a,k}$  (kN/m/m, kip/ft) : valeur caractéristique de la pression effective en poussée active (poussée mobilisable) ;
- $p_{b,k}$  (kN/m/m, kip/ft) : valeur caractéristique de la pression effective en butée (butée mobilisable) ;
- $p_k$  (kN/m/m, kip/ft) : valeur caractéristique de la pression différentielle, calculée comme suit :

$$p_k = p_{h,k}^{\text{droite}} - p_{h,k}^{\text{gauche}} + u_{k}^{\text{droite}} - u_{k}^{\text{gauche}}$$

- $F_{v,k}$  (kN/m, kip) : valeur caractéristique de la pression de voûte ;
- $N_k$  (kN/m, kip/ft) : valeur caractéristique de l'effort normal ;
- $p_{0,k}$  (kN/m/m, kip/ft) : valeur de la pression initiale.

### B.6.3. Calcul avec vérifications ELU (résultats principaux)

Dans le cas des calculs de rideaux simples avec vérifications ELU, AMRetain permet de visualiser les résultats ELS d'une part et les résultats ELU de l'autre part.

Pour chaque résultat ELU, l'indice « k » indique qu'il s'agit d'une valeur caractéristique alors que l'indice « d » indique qu'il s'agit d'une valeur de calcul (« design » en anglais).

#### B.6.3.1. Fenêtre principale

Sur la fenêtre principale, les résultats du calcul à l'ELS et à l'ELU sont affichés. L'affichage des résultats diffère selon que le rideau soit ancré ou pas dans la phase considérée.

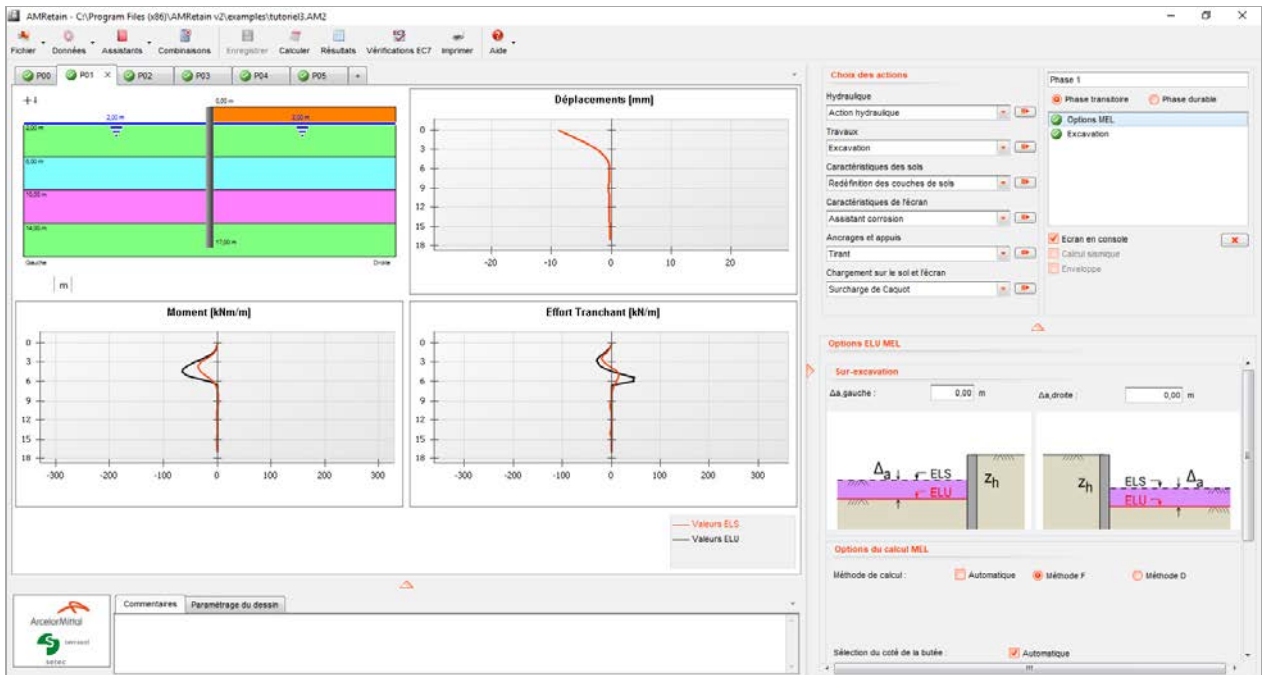


Figure B118 : Résultats ELU d'une phase où le rideau est autostable (calcul MEL) – Les déplacements ne sont pas affichés

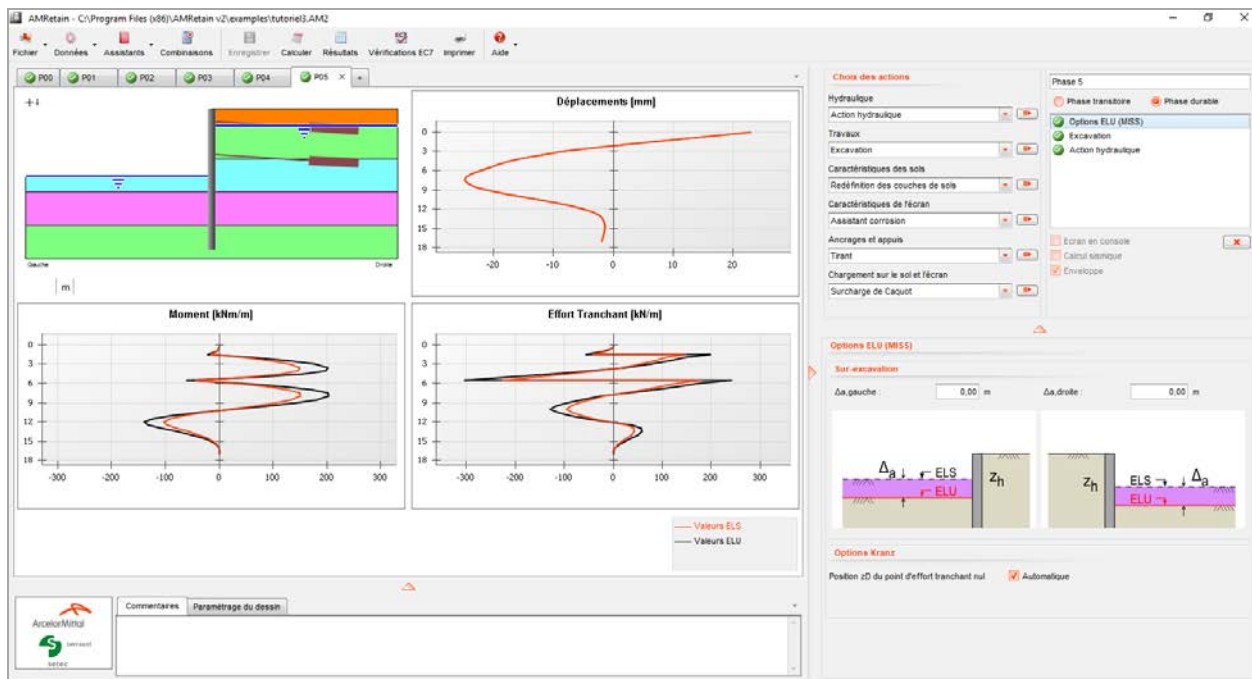


Figure B119 : Résultats ELU d'une phase où le rideau est ancré (calcul MISS)

Dans la partie haute de la fenêtre, AMRetain permet à l'utilisateur de basculer à tout moment entre les résultats à l'ELS et les résultats à l'ELU (que ce soit pour les onglets « phases », la « synthèse des résultats » ou les « enveloppes »).

D'autre part, lorsque l'affichage demandé est celui des résultats à l'ELU, 3 boutons supplémentaires sont disponibles et permettent d'accéder aux résultats des vérifications à l'ELU (cf. Partie C du manuel).

### B.6.3.2. Résultats ELS par phase

Les résultats d'un calcul à l'ELS sont les mêmes que ceux d'un calcul MISS de base. Les indications des chapitres B.6.2.2 à B.6.2.5 restent donc valables.

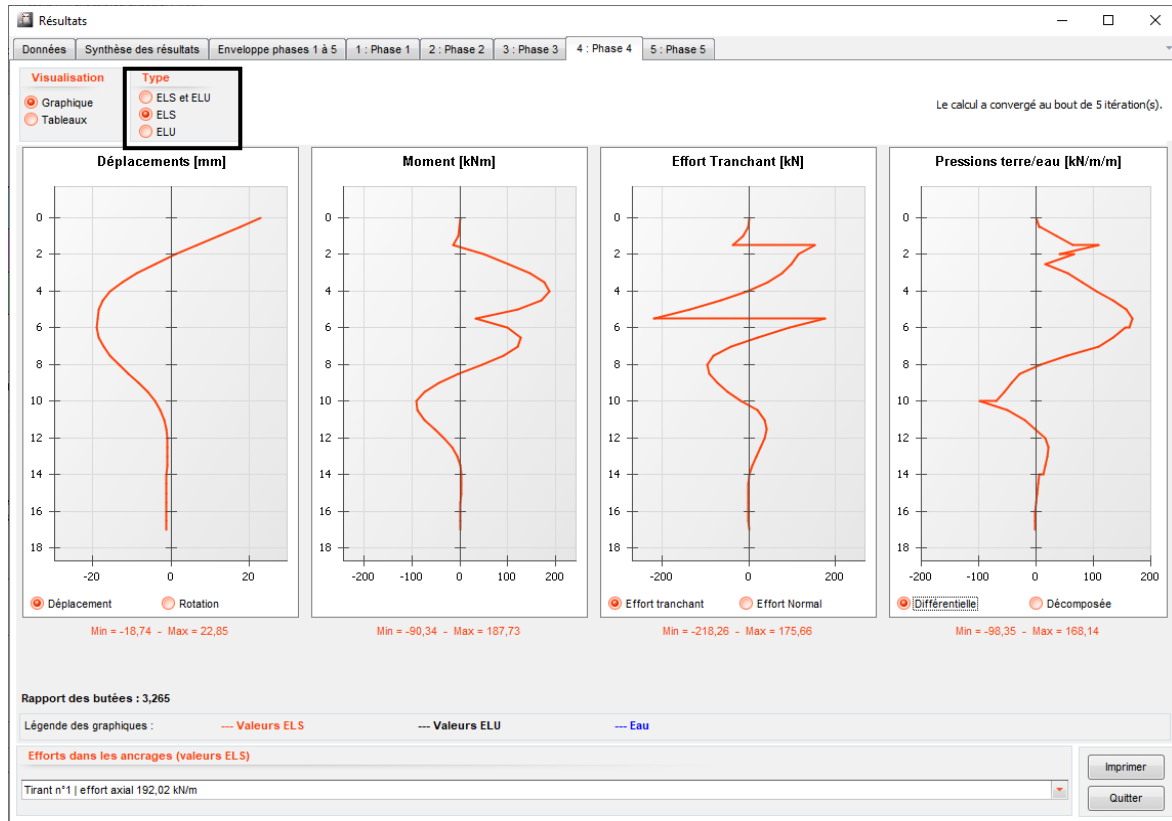
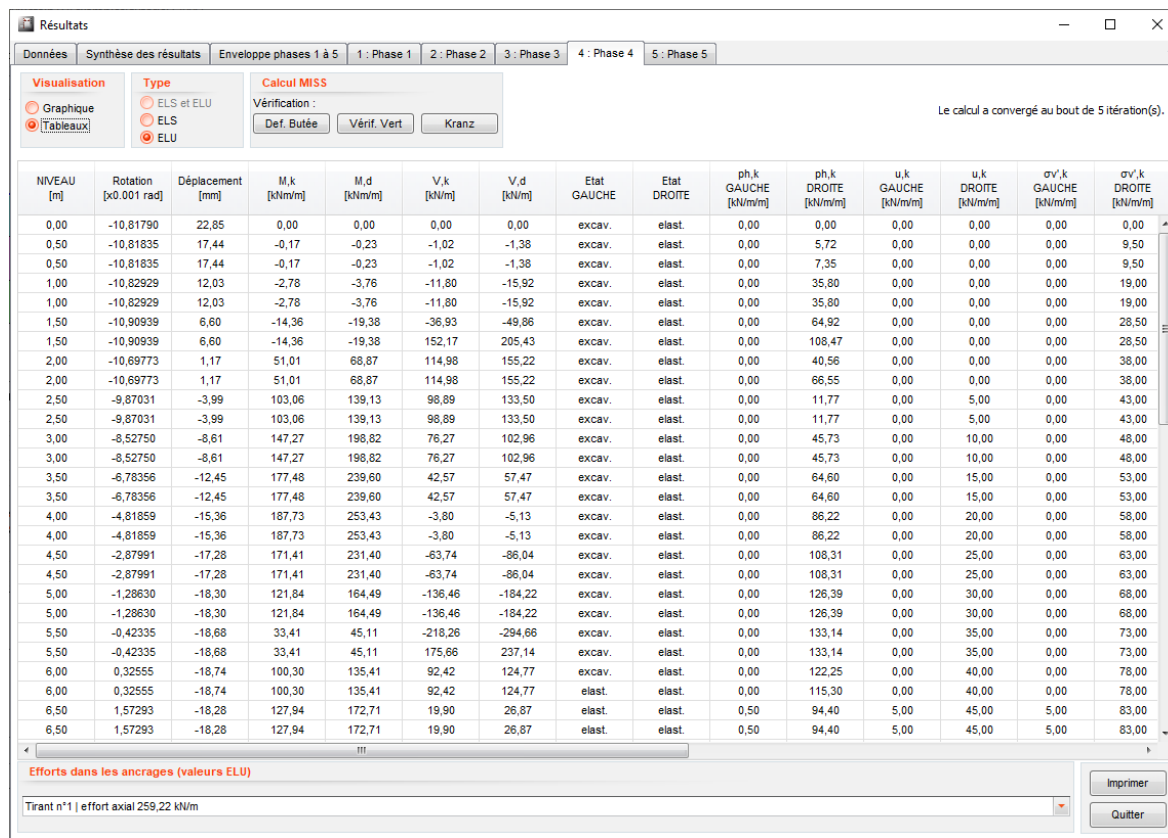
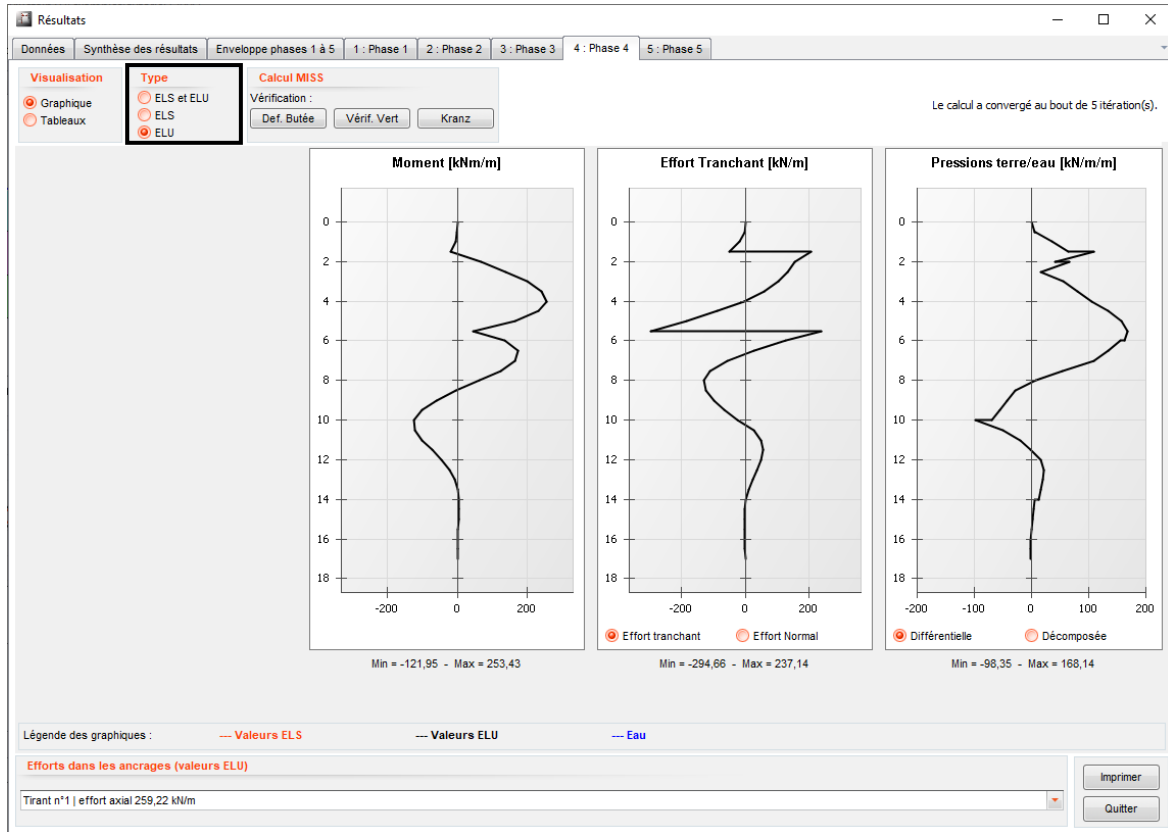


Figure B120 : Affichage des résultats ELS dans la fenêtre des résultats

### B.6.3.3. Résultats ELU par phase : calcul MEL (rideau autostable)

Dans ce cas, le calcul MEL effectué fournit les résultats suivants sur les graphiques et dans les tableaux (cf. Figure B 121 et Figure B 122) :

- seules les valeurs de calcul (indice d) des moments fléchissant et efforts tranchants sont disponibles,.
- les résultats en termes de déplacements ne sont pas affichés (ni sur les graphiques ni dans les tableaux) puisqu'il s'agit d'un calcul à l'équilibre limite.



D'autre part, des colonnes supplémentaires apparaissent dans l'onglet **Synthèse des résultats** (cf. Figure B 123) :

- **Type** : indique le type de calcul effectué (MEL ou MISS) ;
- **Déf. Butée** : indique les résultats de la vérification du défaut de butée ;
- **Vérif. Vert** : indique la résultante verticale calculée lors de la vérification de l'équilibre vertical (valeur positive si la résultante des efforts verticaux est orientée vers le bas).

N° PHASE	Type	M,d max écran [kNm/m]	N,d max écran [kNm/m]	V,d max écran [kNm/m]	F,d tirant n°1 [kNm/m]	F,d tirant n°2 [kNm/m]	Vérif. Def. Butée	Bilan Vert	Vérif. Kranz
1	MEL	-65,44	16,17	47,73	-	-	OK	14,52	OK
2	MISS	113,45	54,36	197,10	270,00	-	OK	54,36	OK
3	MISS	276,57	100,28	185,70	258,42	-	OK	100,28	Non OK
4	MISS	253,43	100,23	-294,66	259,22	540,00	OK	98,44	Non OK
5	MISS	203,79	128,64	-303,39	257,41	553,14	OK	116,74	Non OK
Extrema		276,57	128,64	-303,39	270,00	553,14			

Figure B123 : Fenêtre des résultats – Synthèse des résultats à l'ELU pour des phases en console uniquement

Pour le reste, les indications des chapitres B.6.2.2 à B.6.2.5 restent valables.

#### B.6.3.4. Résultats ELU par phase : calcul MISS (rideau ancré)

Dans ce cas, le calcul MISS fournit les résultats suivants:

- les graphiques et les tableaux présentent les résultats à la fois en valeurs caractéristiques (indice k) et en valeurs de calcul (indice d) (Figure B 124 et Figure B 125) ;
- une légende est fournie sous les courbes pour distinguer les résultats en valeurs à l'ELS (courbes oranges) des résultats en valeurs à l'ELU (courbes noires).

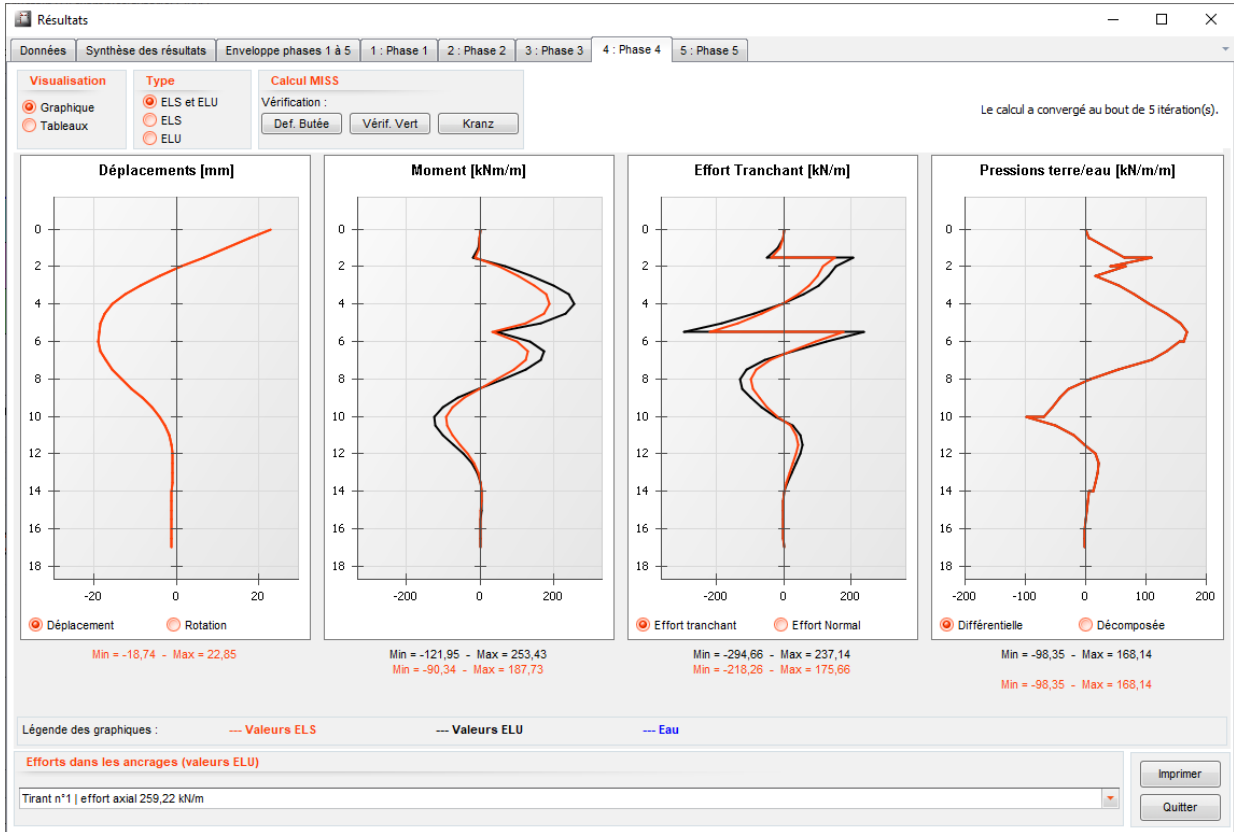


Figure B124 : Fenêtre des résultats - Résultats ELU (calcul MISS) - Graphiques

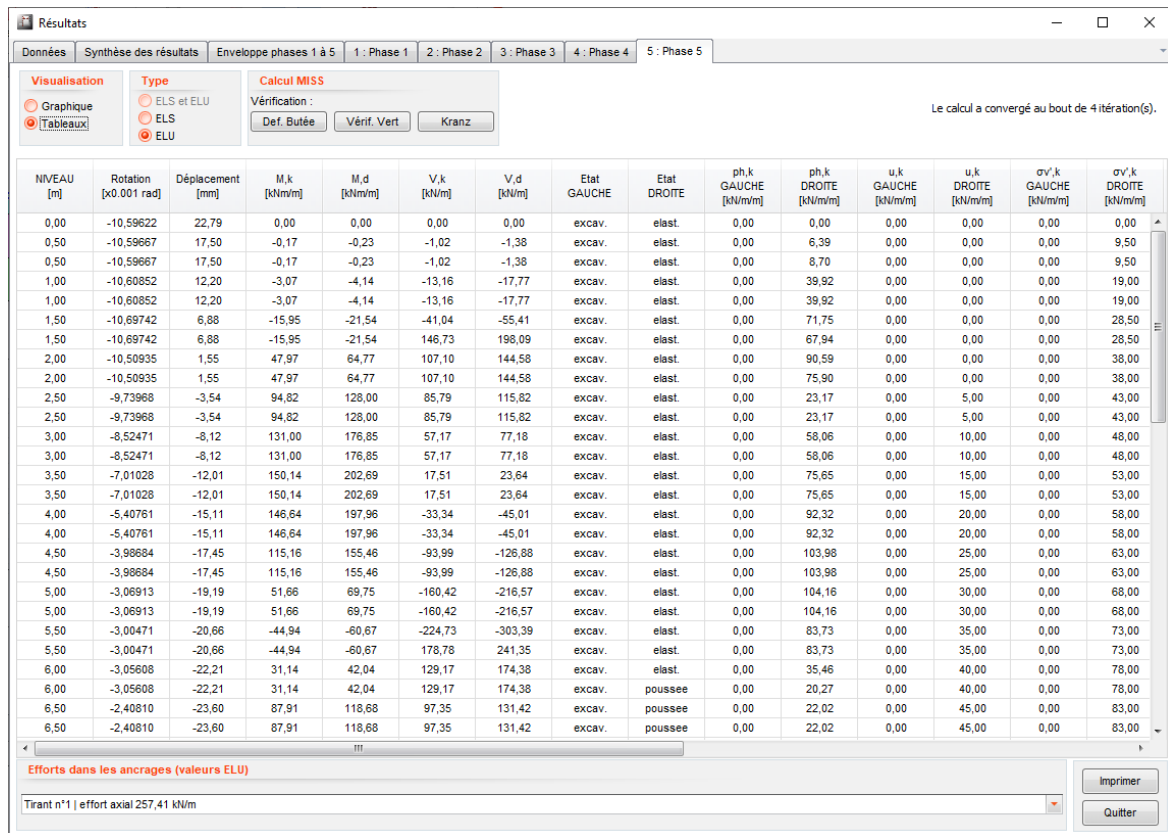
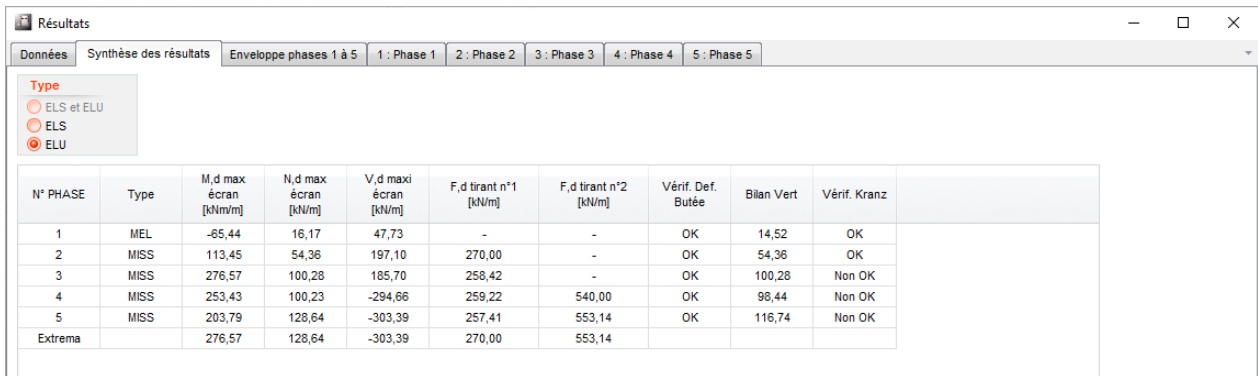


Figure B125 : Fenêtre des résultats - Résultats ELU (calcul MISS) - Tableaux

D'autre part, des colonnes supplémentaires apparaissent dans l'onglet **Synthèse des résultats** (cf. B.6.2.3) :

- **Type** : indique le type de calcul effectué (MEL ou MISS) ;
- **Déf. Butée** : indique le résultat de la vérification du défaut de butée ;
- **Vérif. Vert** : indique la résultante calculée lors de la vérification verticale (valeur positive si la résultante des efforts verticaux est orientée vers le bas) ;
- **Kranz ou Jelinek** : indique le résultat de la vérification du massif d'ancrage.



N° PHASE	Type	M,d max écran [kNm/m]	N,d max écran [kN/m]	V,d max écran [kN/m]	F,d tirant n°1 [kN/m]	F,d tirant n°2 [kN/m]	Vérif. Def. Butée	Bilan Vert	Vérif. Kranz
1	MEL	-65,44	16,17	47,73	-	-	OK	14,52	OK
2	MISS	113,45	54,36	197,10	270,00	-	OK	54,36	OK
3	MISS	276,57	100,28	185,70	258,42	-	OK	100,28	Non OK
4	MISS	253,43	100,23	-294,66	259,22	540,00	OK	98,44	Non OK
5	MISS	203,79	128,64	-303,39	257,41	553,14	OK	116,74	Non OK
Extrema		276,57	128,64	-303,39	270,00	553,14			

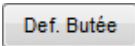
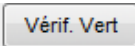
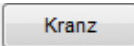
Figure B126 : Fenêtre des résultats – Synthèse des résultats ELU pour un projet avec phases en console et phases ancrées



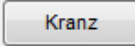
Pour le reste, les indications des chapitres B.6.2.2 à B.6.2.5 restent valables.

#### B.6.4. Vérifications ELU

Lorsque les vérifications ELU ont été activées pour un projet, AMRetain fournit les résultats de trois types de vérifications à l'ELU effectuées pour chaque phase définie dans le projet.

Ces résultats sont affichés dans une fenêtre spécifique, à laquelle on peut accéder de deux façons :

- En cliquant directement sur le bouton « Vérifications à l'EC7 ».
- En cliquant sur l'un des boutons    depuis la fenêtre de présentation des résultats détaillés (lorsque les résultats à l'ELU sont affichés).

La fenêtre spécifique des résultats des vérifications ELU (Figure B 127) s'ouvre alors, et se place par défaut sur la phase couramment sélectionnée avant la demande d'affichage des résultats : soit la phase affichée dans la fenêtre principale dans le cas d'un accès par le bouton « EC7 », soit la phase affichée dans la fenêtre des résultats dans le cas d'un accès depuis l'un des boutons   .

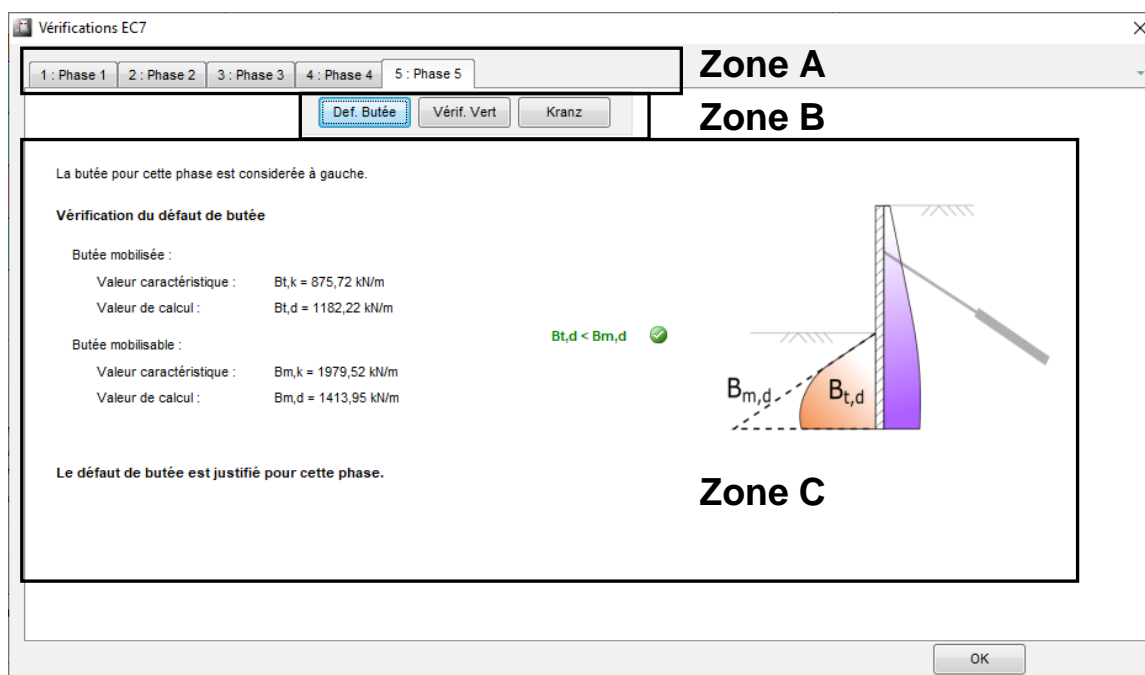


Figure B127 : Fenêtre d'affichage des résultats des vérifications ELU

La fenêtre d'affichage des résultats des vérifications contient 3 zones :

- Zone A** : elle correspond aux onglets permettant de sélectionner la phase pour laquelle les vérifications sont affichées.
- Zone B** : elle correspond aux onglets permettant de sélectionner la vérification à l'ELU dont on souhaite afficher les résultats :
  - La vérification du défaut de butée ;
  - La vérification de l'équilibre vertical ;
  - La vérification de la stabilité du massif d'ancrage (disponible seulement si au moins un ancrage est actif dans la phase sélectionnée).
- Zone C** : zone d'affichage des résultats demandés.

Les sous-chapitres suivants précisent les différents résultats affichés pour chaque type de vérification. Ces résultats et leurs notations renvoient à la partie C du manuel pour le détail des méthodes de calcul appliquées (conformément à la norme française NF P94-282).

### B.6.4.1. Vérification du défaut de butée

#### B.6.4.1.1. Cas d'un rideau ancré (calcul MISS)

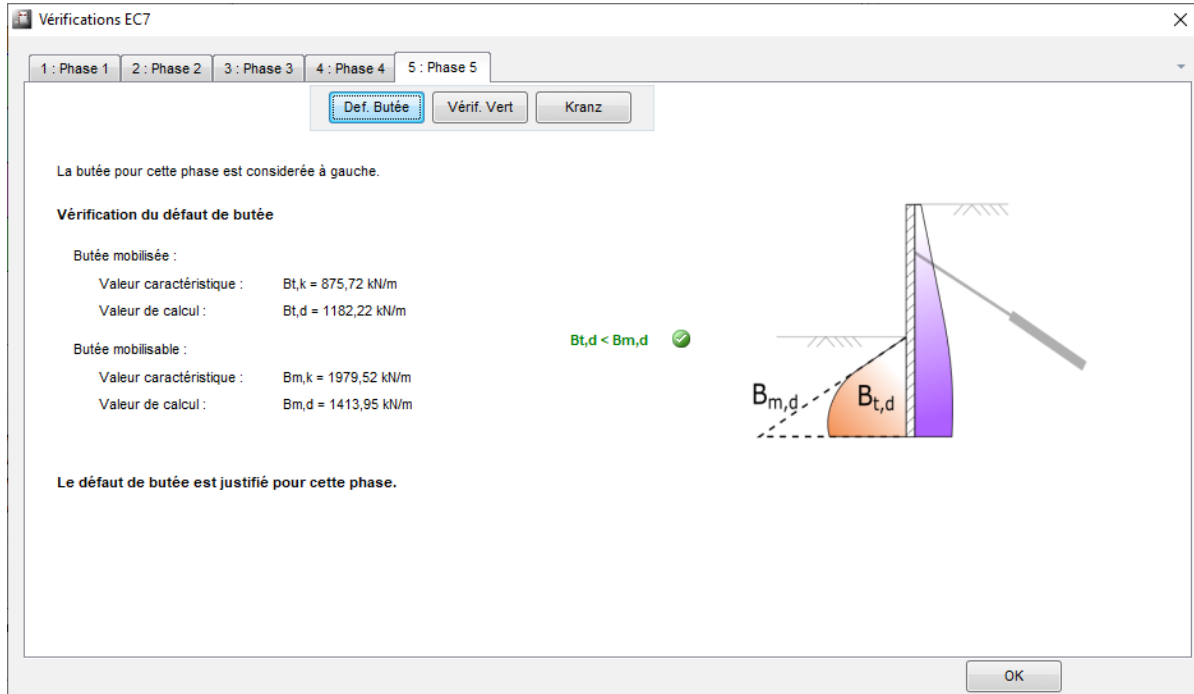


Figure B128 : Vérification ELU – Résultats de la vérification du défaut de butée – Phase ancrée (calcul MISS)

Dans le cas d'un rideau ancré, la vérification du défaut de butée est basée sur l'évaluation des grandeurs suivantes :

- $B_{t,k}$  : valeur caractéristique de la résultante de la butée mobilisée (en kN ou kp) ;
- $B_{t,d}$  : valeur de calcul de la résultante de la butée mobilisée (en kN ou kip) ;
- $B_{m,k}$  : valeur caractéristique de la résultante de la butée mobilisable (en kN ou kip) ;
- $B_{m,d}$  : valeur de calcul de la résultante de la butée mobilisable (en kN ou kip).

AMRetain compare la valeur de  $B_{t,d}$  à celle de  $B_{m,d}$  et un indicateur matérialise le résultat de la vérification pour la phase sélectionnée : rond vert ✓ si la butée mobilisée  $B_{t,d}$  est inférieure à la butée mobilisable  $B_{m,d}$ , ou rouge ✗ si ce n'est pas le cas.

Pour plus de détails sur cette vérification, veuillez-vous reporter à la partie C du manuel.

## B.6.4.1.2. Cas d'un rideau autostable (calcul MEL)

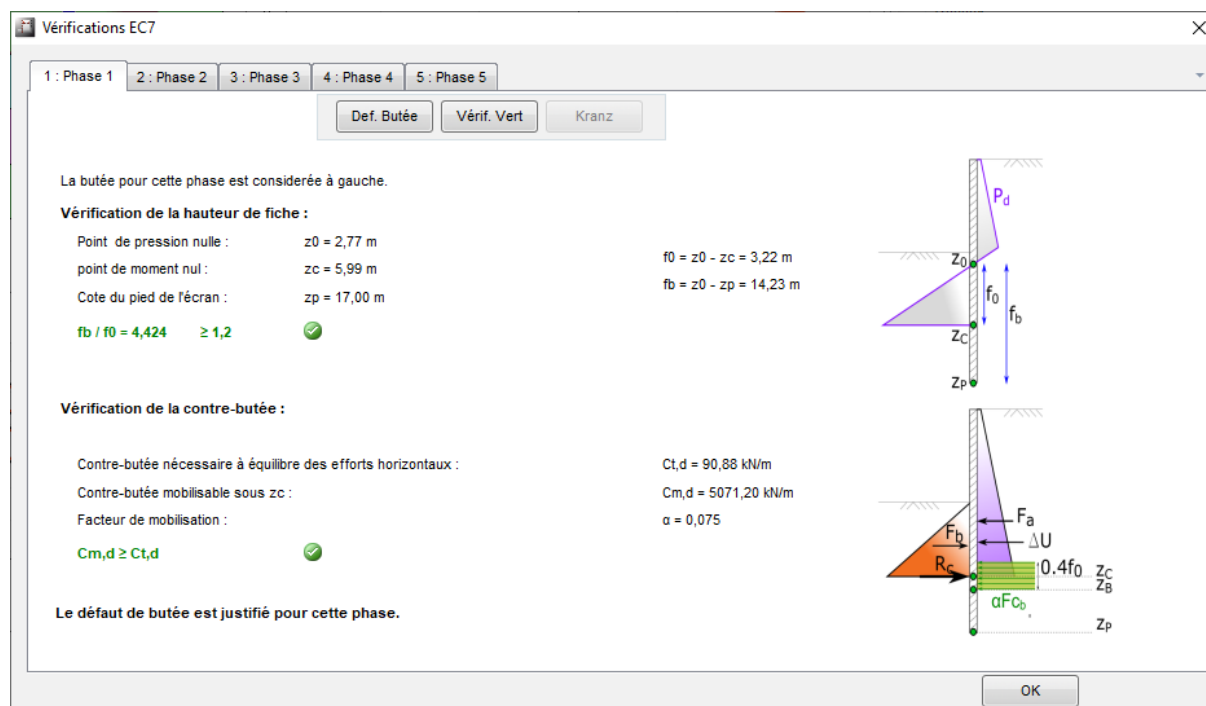


Figure B129 : Vérification ELU – Résultats de la vérification du défaut de butée – Phase autostable (calcul MEL)

Dans le cas d'un rideau ancré, la vérification du défaut de butée est basée sur un calcul de type MEL (modèle à l'équilibre limite) qui fait intervenir les paramètres intermédiaires suivants :

- $z_0$  : cote/profondeur du point de pression différentielle nulle (en m ou ft) ;
- $z_c$  : cote/profondeur du point de moment nul (en m ou ft) ;
- $z_p$  : cote/profondeur du pied du rideau (en m ou ft) ;
- $f_0$  : fiche du rideau « disponible » sous  $z_0$  (en m ou ft) ;
- $f_b$  : fiche minimale, sous  $z_0$ , nécessaire à l'obtention de l'équilibre des moments (en m ou ft) ;
- $f_0/f_b$  : rapport des deux fiches précédemment calculées (sans unité) ;
- Indicateur de vérification de la hauteur de fiche : cet indicateur est vert ✓ si la vérification est positive (fiche disponible supérieure à la fiche minimale avec un coefficient de sécurité supérieur à 1,2) ; il est rouge ✘ dans le cas contraire.
- $z_n$  (uniquement si la méthode D a été choisie ; dans le cas contraire, le point  $z_n$  est implicitement confondu avec le point  $z_c$ ) : cote/profondeur du point de transition (en m ou ft) ;
- $C_{t,d}$  : valeur de calcul de la résultante de la contre-butée nécessaire à l'équilibre des efforts horizontaux (en kN/m ou kip/ft) ;
- $C_{m,d}$  : valeur de calcul de la résultante de la contre-butée mobilisable sous le point de transition (en kN/m ou kip/ft) ;
- $\alpha$  : facteur de mobilisation (fonction du rapport  $C_{t,d} / C_{m,d}$ , voir Partie C) ;
- Indicateur de vérification de la contre-butée** : cet indicateur est vert ✓ si la vérification est positive (valeur de  $\alpha$  inférieure ou égale à 1) ; il est rouge ✘ dans le cas contraire.

Pour plus de détails sur cette vérification, veuillez-vous reporter à la partie C du manuel.

## B.6.4.2. Vérification de l'équilibre vertical du rideau

### B.6.4.2.1. Cas d'un rideau ancré (calcul MISS)

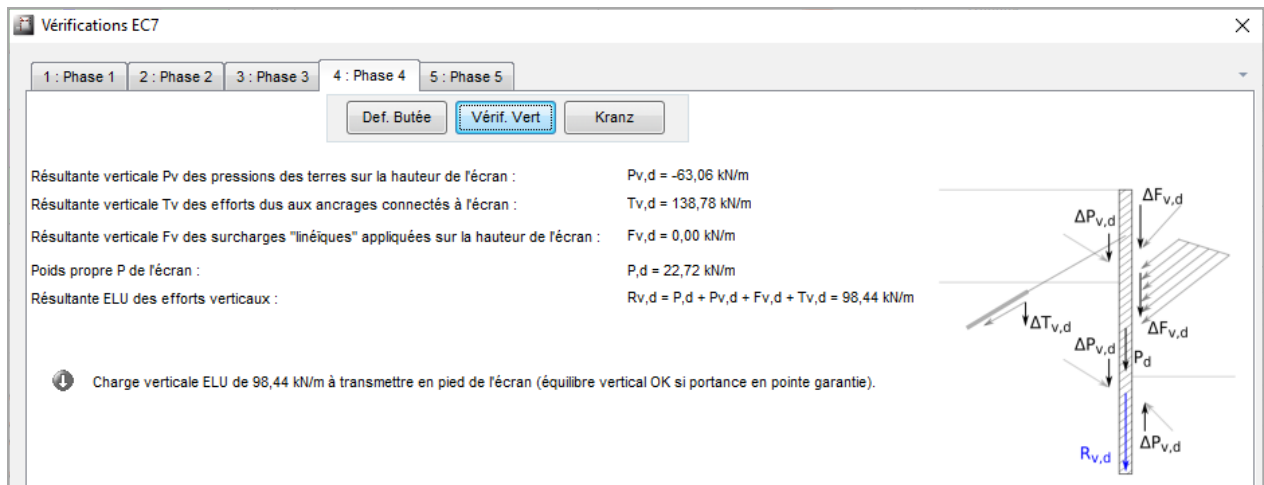




Figure B130 : Vérification ELU – Bilan de l'équilibre vertical – Ecran ancré (calcul MISS)

Dans le cas d'un rideau ancré, la vérification de l'équilibre vertical fait intervenir les grandeurs suivantes :

- $P_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante verticale des pressions des terres sur la hauteur du rideau (en kN/m ou kip/ft) ;
- $T_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante verticale des efforts dus aux ancrages connectés au rideau (en kN/m ou kip/ft) ;
- $F_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante verticale aux surcharges linéiques appliquées sur la hauteur du rideau (en kN/m ou kip/ft) ;
- $P_d$  : valeur de calcul du poids propre du rideau (en kN/m ou kip/ft) ;
- $R_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante des efforts verticaux à l'ELU (en kN/m ou kip/ft). Un symbole en bas de la fenêtre indique si cette résultante est orientée vers le haut ou vers le bas.

La vérification de l'équilibre vertical du rideau est jugée satisfaisante lorsque la résultante des efforts verticaux est positive, elle est alors par convention dirigée « vers le bas ».

A gauche de la conclusion, une icône grise avec une flèche dirigée vers le bas  indique à l'utilisateur que la résultante des efforts verticaux est positive et dirigée « vers le bas ».

Dans le cas contraire, c'est une icône rouge  avec une flèche dirigée vers le haut qui indique à l'utilisateur que la résultante des efforts verticaux est négative et dirigée « vers le haut ». La phrase de conclusion dans ce cas sera également écrite en rouge.

L'utilisateur devra s'assurer que la portance en pointe du rideau est garantie compte-tenu de la valeur obtenue pour  $R_{v,d}$ .

Pour plus de détails sur cette vérification, veuillez-vous reporter à la partie C du manuel.

## B.6.4.2.2. Cas d'un rideau autostable (calcul MEL)

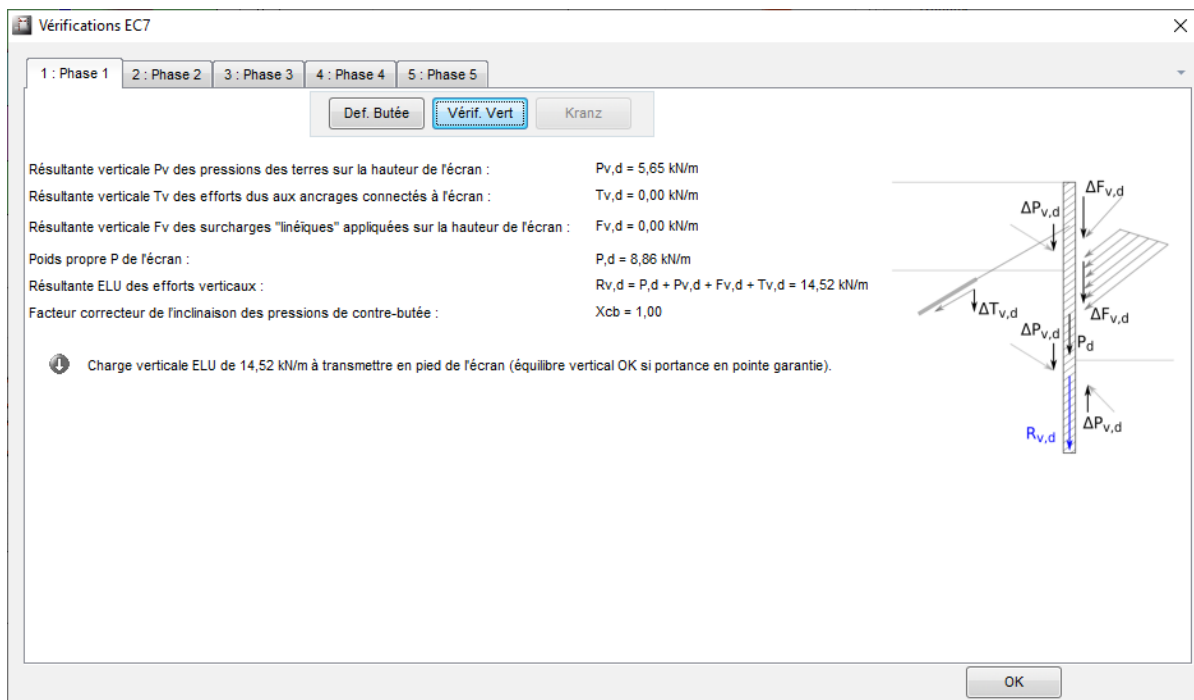




Figure B131 : Vérification ELU – Bilan de l'équilibre vertical – Ecran autostable (calcul MEL)

Pour les phases où le rideau est considéré comme autostable, la vérification de l'équilibre vertical fait intervenir les grandeurs suivantes :

- $P_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante verticale des pressions des terres sur la hauteur du rideau (en kN/m ou kip/ft) ;
- $T_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante verticale des efforts dus aux ancrages connectés au rideau (en kN/m ou kip/ft) ;
- $F_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante verticale des surcharges linéiques appliquées sur la hauteur du rideau (en kN/m ou kip/ft) ;
- $P_d$  : valeur de calcul du poids propre du rideau (en kN/m ou kip/ft) ;
- $R_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante des efforts verticaux (en kN/m ou kip/ft). Un symbole en bas de la fenêtre indique si cette résultante est orientée vers le haut ou vers le bas.
- $X_{cb}$  : facteur correcteur de l'inclinaison des pressions de contre-butée. Ce facteur, déterminé automatiquement par AMRetain, agit sur l'inclinaison de la butée définie initialement pour corriger l'inclinaison de la contre-butée de manière à obtenir une résultante verticale ( $R_{v,d}$ ) vers le bas :

$$(\delta/\varphi)_{\text{contre-butée}} = X_{cb} \times (\delta/\varphi)_{\text{butée}}$$

La vérification de l'équilibre vertical est jugée satisfaisante lorsque la résultante des efforts verticaux est positive, elle est alors par convention dirigée « vers le bas ». A gauche de la conclusion, une icône grise  avec une flèche dirigée vers le bas indique à l'utilisateur que la résultante des efforts verticaux est positive et dirigée « vers le bas ». Dans le cas contraire, c'est une icône rouge  avec une flèche dirigée vers le haut qui indique à l'utilisateur que la résultante des efforts verticaux est négative et dirigée « vers le haut ». La phrase de conclusion dans ce cas sera également écrite en rouge.

L'utilisateur devra s'assurer que la portance en pointe du rideau est garantie compte-tenu de la valeur obtenue pour  $R_{v,d}$ . Pour plus de détails sur cette vérification, veuillez-vous reporter à la partie C du manuel.

### B.6.4.3. Vérification de la stabilité du massif d'ancrage

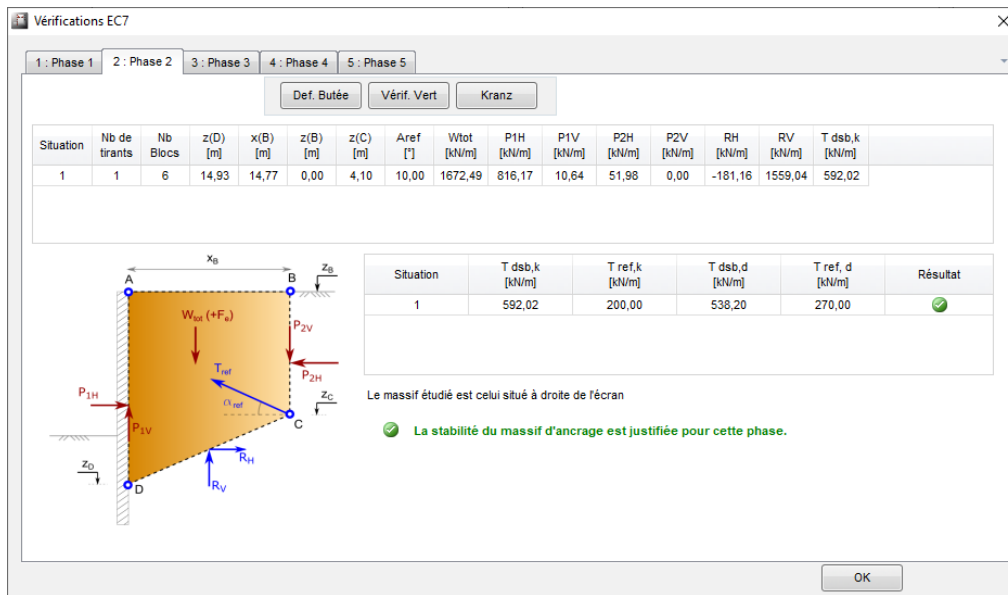


Figure B132 : Vérifications à l'ELU – Vérification stabilité d'ancrage (exemple de la méthode Kranz)


La vérification de la stabilité du massif d'ancrage (Kranz ou Jelinek) est disponible uniquement pour les phases où au moins un tirant a été défini.

Le premier tableau fournit des résultats intermédiaires du calcul :

- **Situation** : numéro de situation (le nombre de situations correspond au nombre d'ancrages actifs dans la phase considérée) ;
- **Angle de la spirale** : angle au pôle de la spirale (°) ;
- **Nb de tirants** : nombre de tirants pris en compte dans chaque situation ;
- **Nb blocs** : nombre de blocs définis lors de la discrétisation du massif d'ancrage (en fonction du nombre de couches intersectées tout au long de la base du massif d'ancrage) ;
- **z(D)** : cote/profondeur du point d'effort tranchant nul (en m ou ft) ;
- **x(B)** : distance entre la projection verticale du point C et la tête du rideau (en m ou ft) ;
- **z(B)** : cote/profondeur du sol (en m ou ft) ;
- **z(C)** : cote/profondeur du point effectif d'ancrage du tirant (en m ou ft), correspondant à la longueur utile  $L_u$  définie pour l'ancrage ;
- **A<sub>ref</sub>** : inclinaison de l'ancrage par rapport à l'horizontale (en °) ;
- **W<sub>tot</sub>** : poids total du massif pour la situation considérée (en kN/m ou kip/ft) ;
- **P<sub>1H</sub>** : composante horizontale de la réaction du rideau sur le massif d'ancrage (en kN/m ou kip/ft) ;
- **P<sub>1V</sub>** : composante verticale de la réaction du rideau sur le massif d'ancrage (en kN/m ou kip/ft) ;
- **P<sub>2H</sub>** : composante horizontale de l'effort de poussée exercé à l'amont du massif (en kN/m ou kip/ft) ;
- **P<sub>2V</sub>** : composante verticale de l'effort de poussée exercé à l'amont du massif (en kN/m ou kip/ft) ;
- **R<sub>H</sub>** : composante horizontale de la réaction du sol sous le massif (en kN/m ou kip/ft) ;
- **R<sub>V</sub>** : composante verticale de la réaction du sol sous le massif (en kN/m ou kip/ft) ;
- **T<sub>dsb,k</sub>** : valeur caractéristique de l'effort d'ancrage déstabilisant (en kN/m ou kip/ft).

Le second tableau fournit les résultats de la vérification :

- $T_{dsb,k}$  : valeur caractéristique de l'effort d'ancrage déstabilisant (en kN/m ou kip/ft), cette valeur est identique à celle de la dernière colonne du tableau précédent ;
- $T_{ref,k}$  : valeur caractéristique de l'effort d'ancrage de référence résultant du calcul MISS ELU (en kN/m ou kip/ft) ;
- $T_{dsb,d}$  : valeur de calcul de l'effort d'ancrage déstabilisant (en kN/m ou kip/ft) ;
- $T_{ref,d}$  : valeur de calcul de l'effort d'ancrage de référence (en kN/m ou kip/ft).
- « OK » (ou « non OK ») : la dernière colonne indique pour chaque situation si la vérification est satisfaisante, à savoir si  $T_{ref,d}$  est inférieure à  $T_{dsb,d}$ .

Dans la partie basse de la fenêtre, un indicateur précise si la vérification est satisfaisante pour toutes les situations étudiées (la vérification n'est globalement satisfaisante que si elle est satisfaisante pour chacune des situations de calcul) : si c'est le cas, l'indicateur est un rond vert .

Pour plus de détails sur cette vérification, veuillez-vous reporter à la partie C du manuel.

### B.6.5. Projets double-rideau

#### B.6.5.1. Résultats principaux

Pour chacun des rideaux, les résultats présentés sont les mêmes que dans le cadre d'un projet rideau simple sans vérifications à l'ELU.

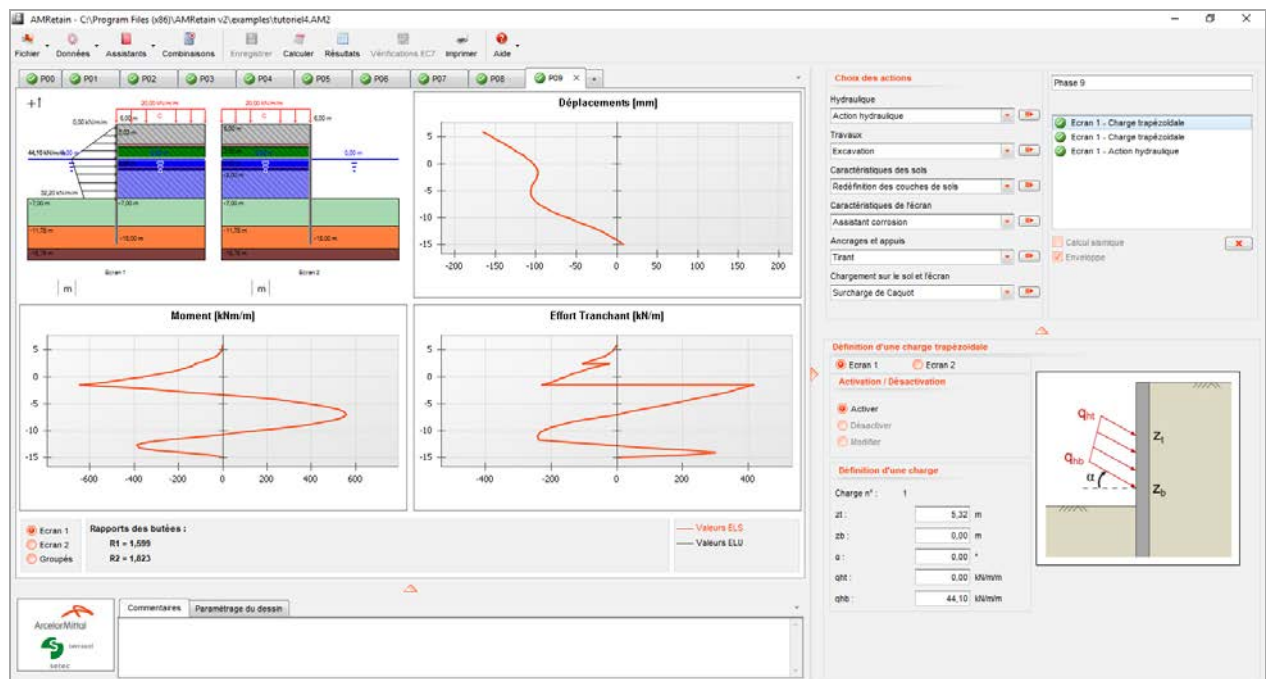


Figure B133 : Fenêtre principale – Résultats d'un projet double-rideau

Il est également possible de choisir l'affichage simultané (superposé) des graphiques de résultats des deux rideaux, en cliquant sur le choix « **Groupés** » (dans la liste de choix sous le graphique des moments). Dans ce cas, les courbes du rideau actif apparaissent en orange épais, et celles de l'autre rideau en orange fin. Le rapport de butées obtenu est également affiché pour chaque rideau (cf. Figure B 134).

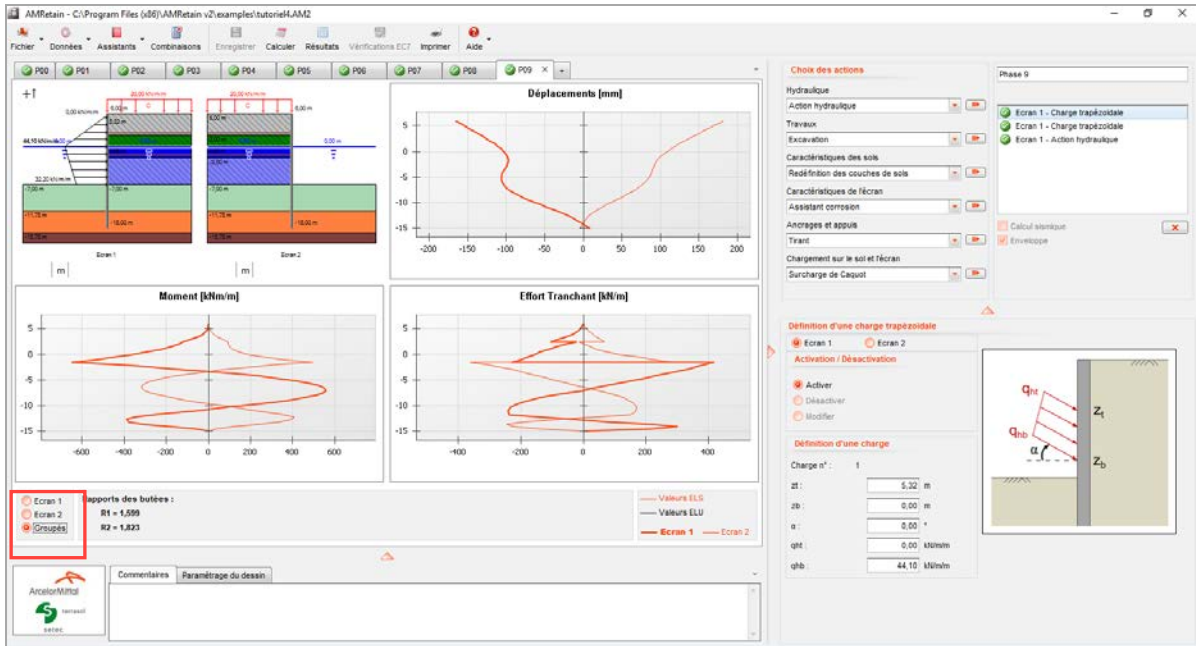


Figure B134 : Fenêtre principale – Résultats d'un projet double-rideau

Comme pour les projets rideaux simples, les résultats détaillés sont accessibles via le bouton « Résultats ».

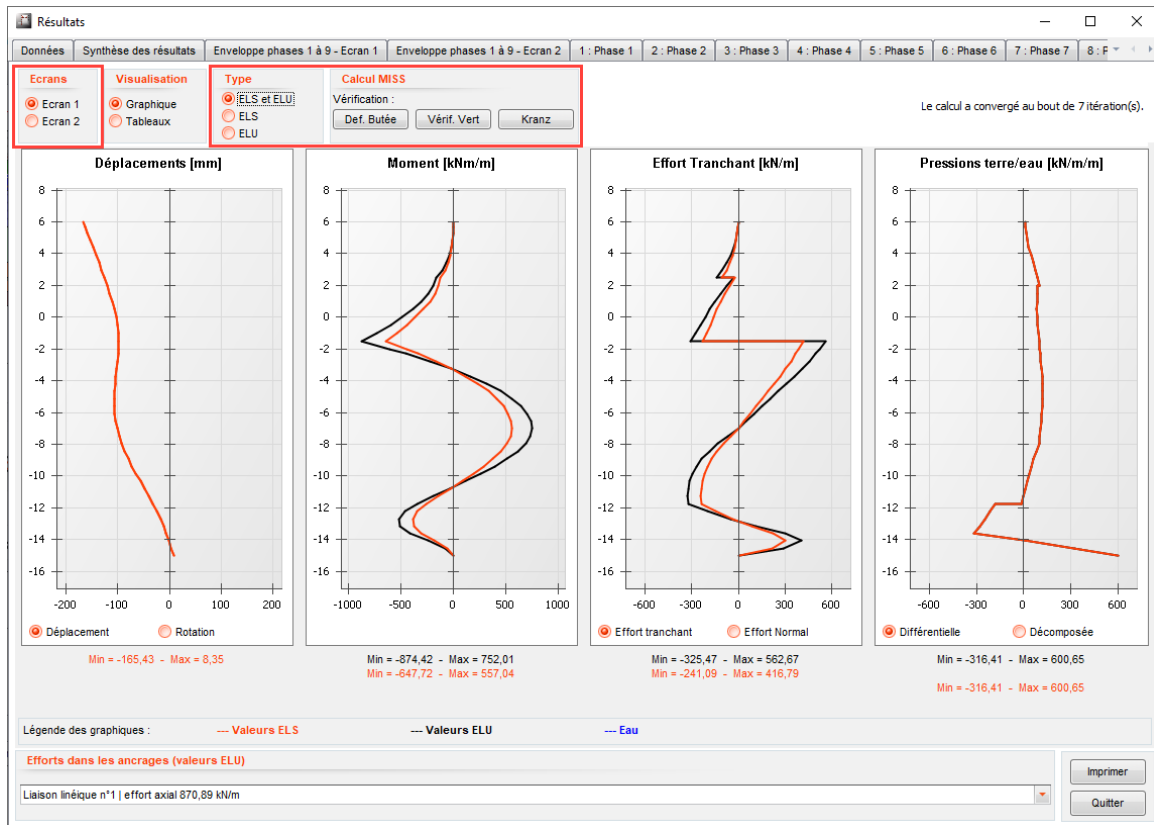


Figure B135 : Fenêtre des résultats –Cas d'un projet double-rideau

Les résultats fournis pour chaque rideau sont conformes aux indications du chapitre B.6.2 (résultats d'un calcul rideau simple sans vérifications à l'ELU).

Il est possible à tout moment de passer des résultats d'un rideau à ceux de l'autre via les boutons de choix prévus dans la fenêtre de résultats (cf. Figure B 135). Cette remarque est valable pour tous les onglets de la fenêtre des résultats (Données, Phases, Synthèse des résultats et Enveloppes).


### B.6.5.2. Vérifications ELU

AMRetain permet d'effectuer les vérifications à l'ELU pour les projets de type double-rideau si la case « Vérifications à l'ELU » a été activée dans la fenêtre « Titre et Options ».

Les vérifications du défaut de butée et de l'équilibre vertical de chaque rideau s'effectuent et se présentent de manière analogue à celle d'un rideau simple.

La vérification du massif d'ancrage élargie son usage en permettant valider la distance entre les rideaux tout en vérifiant la stabilité de tout ce qu'il se trouve entre les deux rideaux à partir des efforts à l'arrière de chaque rideau. Pour plus de détails, veuillez-vous rapporter à la partie C du manuel.

## B.7. Impressions

Il est accessible par les boutons de raccourcis présents sur les différentes fenêtres ou par le **Menu Fichier**, puis  **Imprimer**.



### B.7.1. Projets de type rideau simple sans vérifications à l'ELU

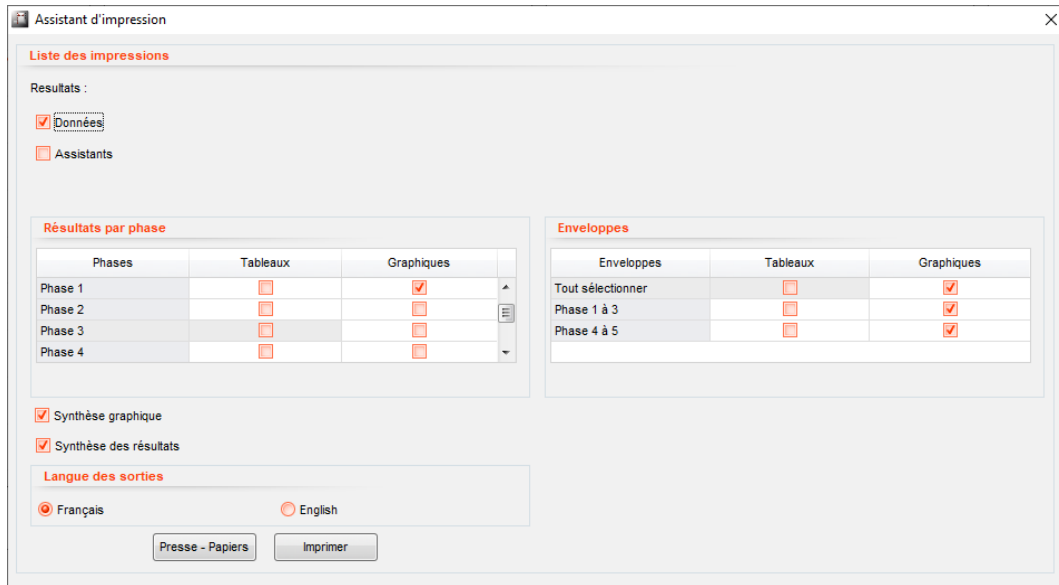


Figure B136 : Assistant d'impression pour un projet rideau Simple sans vérifications ELU

La boîte de dialogue d'impression permet de sélectionner par simple clic les éléments à imprimer :

- Données** : imprime le premier onglet de la fenêtre des résultats contenant le rappel des caractéristiques de sol, du rideau et les options sélectionnées.
- Assistants** : imprime les données d'entrée des assistants ainsi que les résultats obtenus.
- Synthèse graphique** : imprime la synthèse du phasage du projet. Cette synthèse inclut la coupe du projet pour chaque phase ainsi que les paramètres des différentes actions définies.
- Résultats par phase** : permet d'imprimer les résultats de toutes les phases du calcul (**Tout sélectionner**) ou seulement de celles sélectionnées. Il est possible d'imprimer les tableaux de résultats (colonne de gauche) et/ou les graphiques (colonne de droite).
- Enveloppes** : imprime sous forme de tableaux et/ou de graphiques les enveloppes calculées.
- Synthèse des résultats** : imprime le tableau de synthèse des résultats obtenus.

Ces « impressions » peuvent être :

- Soit copiées dans le presse-papiers afin de les insérer ensuite dans un autre document ;
- Soit envoyées vers une imprimante.

Le choix se fait en cliquant sur le bouton voulu en bas de la fenêtre de l'assistant d'impression, une fois que la sélection des éléments à imprimer est terminée.

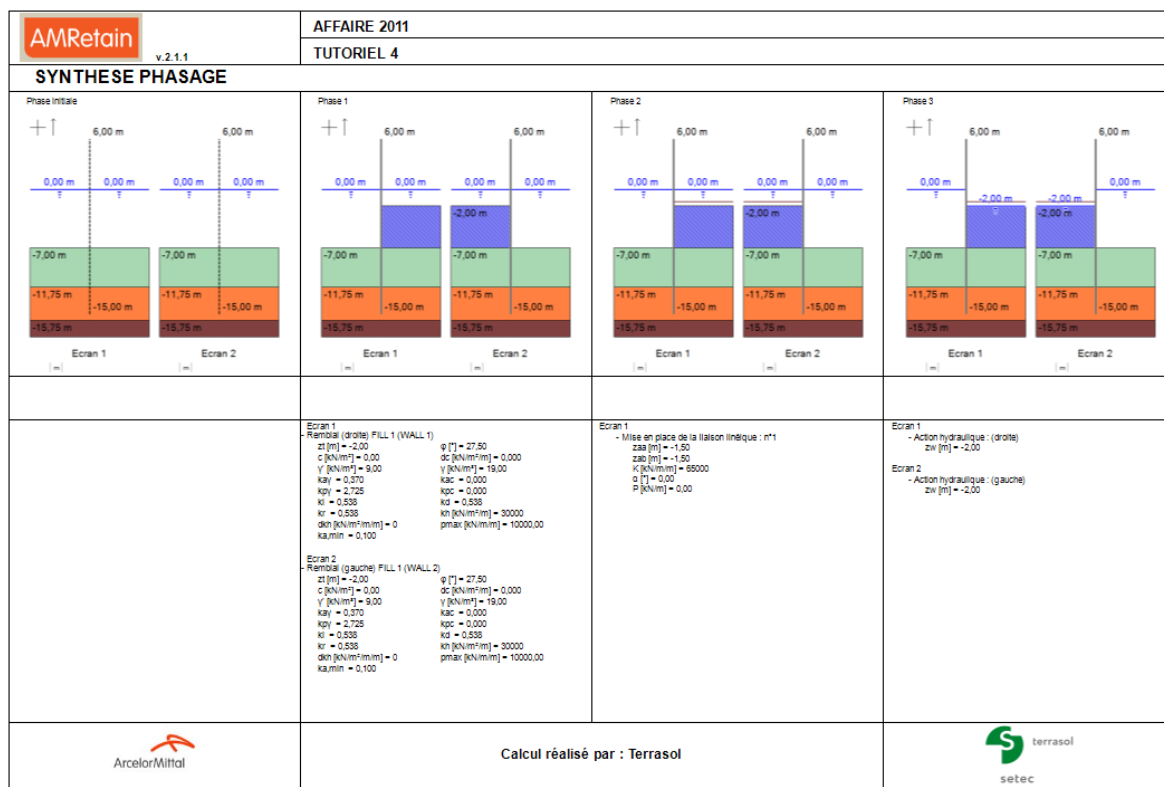


Figure B137 : Exemple d'impression de la synthèse graphique du phasage

### B.7.2. Projets de type rideau simple avec vérifications à l'ELU

Lors de l'impression des résultats du calcul d'un projet de rideau simple avec vérifications à l'ELU, il faut choisir le type de résultats à imprimer :

- Les résultats à l'ELS** : il s'agit des résultats issus du calcul MISS « standard » effectué sans pondération.
- Les résultats à l'ELU** : il s'agit des résultats issus du calcul avec pondérations (MEL ou MISS selon les phases) effectué dans le cadre des vérifications à l'ELU.

Le choix entre ces deux types de résultats se fait grâce au choix présent en haut de la fenêtre de l'assistant d'impression.

## Résultats à l'ELS

Si l'option « ELS » est sélectionnée dans l'assistant d'impression (cf. figure suivante), les options d'impression disponibles sont les mêmes que pour un calcul rideau simple sans vérifications à l'ELU (cf. chapitre 0).

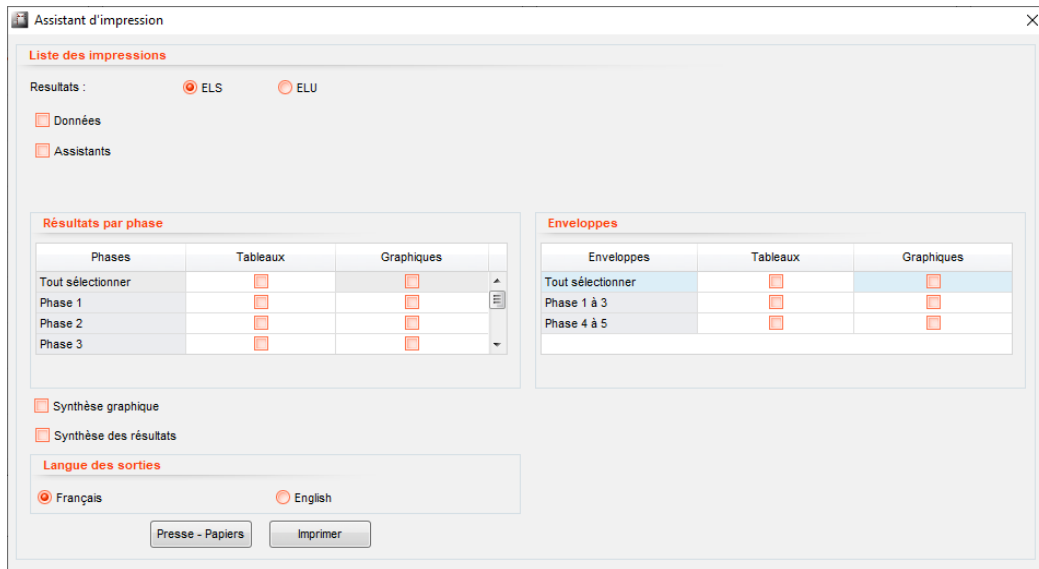


Figure B138 : Assistant d'impression pour un projet rideau simple avec vérifications à l'ELU, avec sélection des résultats à l'ELS pour l'impression

**Remarque :** s'agissant des résultats ELS, seules les valeurs caractéristiques (indice k) des résultats du calcul non pondéré seront imprimées.

## Résultats à l'ELU

Si l'option « ELU » est sélectionnée dans l'assistant d'impression (cf. figure ci-dessous), les options d'impression disponibles correspondent aux résultats disponibles pour un calcul avec vérifications à l'ELU.

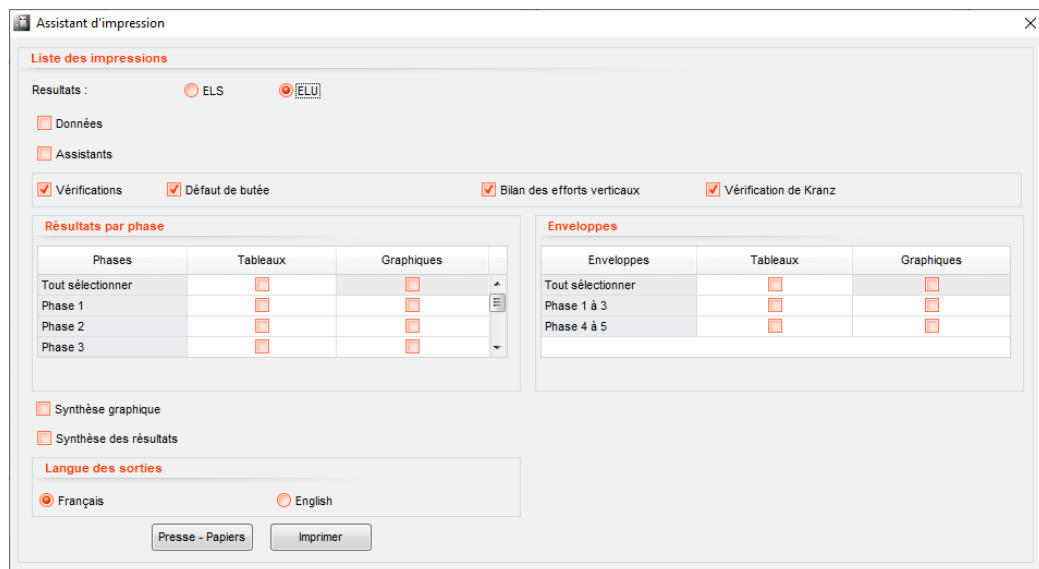


Figure B139 : Assistant d'impression pour un projet rideau simple avec vérifications à l'ELU, avec sélection des résultats à l'ELU pour l'impression

Les options d'impression sont les suivantes :

- Données** : imprime le premier onglet de la fenêtre des résultats contenant le rappel des caractéristiques de sol, du rideau et les options sélectionnées (idem précédemment).
- Assistants** : imprime les données d'entrée des assistants ainsi que les résultats obtenus.
- Synthèse graphique** : imprime la synthèse des phases (idem précédemment).
- Résultats par phase** : permet d'imprimer les résultats de toutes les phases du calcul (**Tout sélectionner**) ou seulement de celles sélectionnées. Il est possible d'imprimer les tableaux de résultats (colonne de gauche) et/ou les graphiques (colonne de droite).
- Vérifications** : imprime les résultats des vérifications à l'ELU effectuées pour chacune des phases (vérification du défaut de butée, vérification de l'équilibre vertical et vérification de la stabilité du massif d'ancrage dans le cas d'un projet incluant un ou plusieurs tirants).
- Vérification massif d'ancrage détaillée** : imprime le détail des calculs effectués dans le cadre de la vérification (en complément des résultats synthétiques déjà imprimés si la case **Vérifications** ci-dessus est cochée).
- Synthèse des résultats** : imprime la synthèse des résultats obtenus pour les déplacements, moments fléchissants, efforts tranchants et efforts dans les ancrages.

**Remarque** : s'agissant des résultats à l'ELU, les valeurs caractéristiques (indice k) et de calcul (indice d) des résultats seront imprimées pour les phases où le rideau est ancré (calcul MISS). Pour les phases où le rideau est supposé autostable (calcul MEL), seules les valeurs de calcul (indice d) des résultats seront imprimées (cf. Partie C du manuel).

### B.7.3. Projets de type Double Rideau

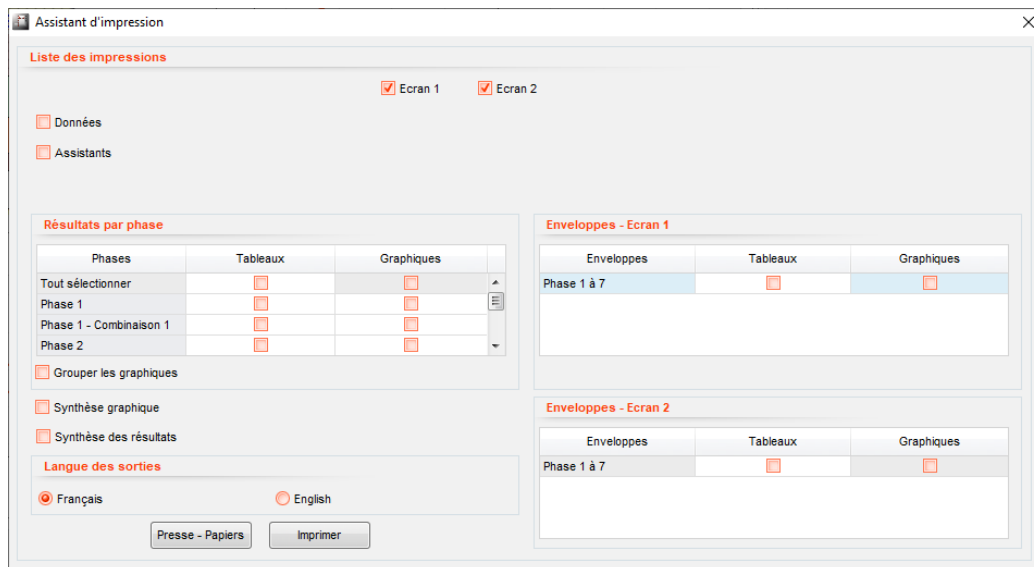
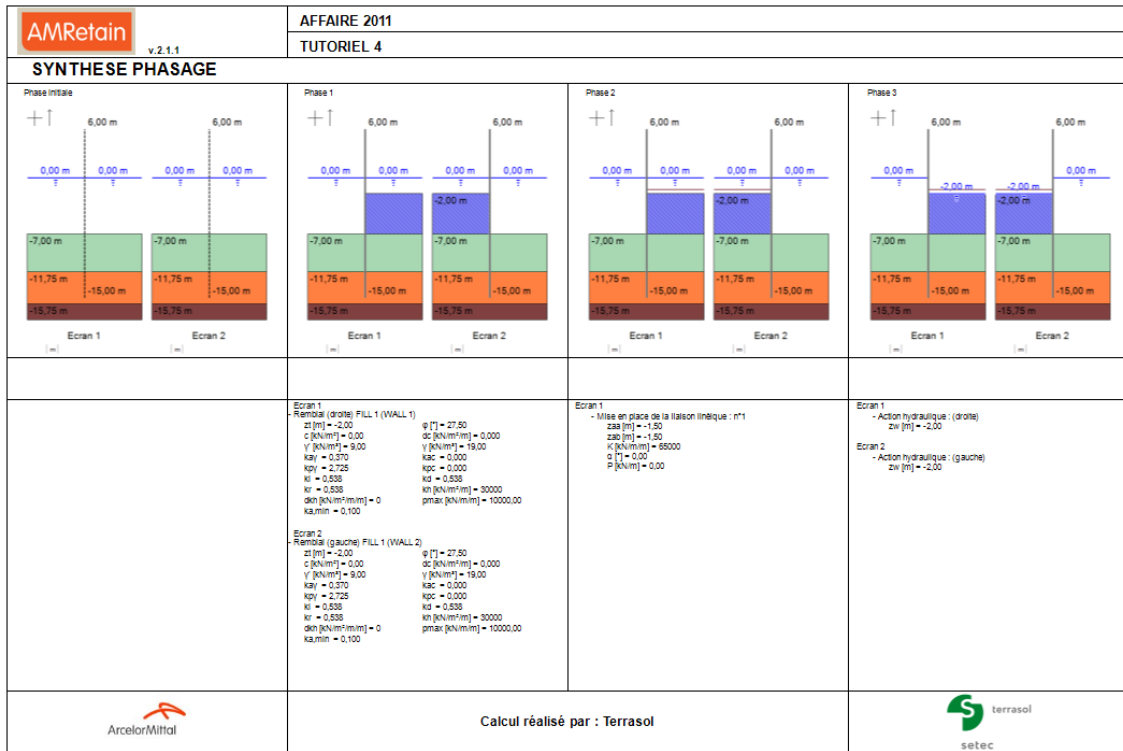


Figure B140 : Assistant d'impression pour un projet Double Rideau

Les options d'impression disponibles pour les projets double-rideau sont globalement les mêmes que pour les rideaux simples sans vérifications à l'ELU, mais elles sont dédoublées pour permettre à l'utilisateur de choisir s'il souhaite imprimer les résultats pour le rideau 1 et/ou pour le rideau 2. Par défaut, l'assistant propose d'imprimer les résultats pour les 2 rideaux.

D'autre part, pour les résultats par phases et les enveloppes sous forme graphique, il est possible de superposer les résultats des 2 rideaux sur les mêmes graphiques, en cochant la case « **Grouper les graphiques** ».



Chemier de sauvegarde : C:\Program Files (x86)\AMRetain v2\examplstutorial\AM2. Imprimé le 25/01/2019 17:08 calculé le 01/01/2001 à 00:00

Page : 1

Figure B141 : Extrait d'une impression de synthèse graphique du phasage pour un projet double-rideau

# AMRetain

## C. NOTICE TECHNIQUE

<b>C.1. Introduction et grands principes.....</b>	<b>5</b>
C.1.1. Objet du calcul et champ d'application.....	5
C.1.2. Introduction aux méthodes de calcul et vérifications proposées.....	6
C.1.2.1. Méthode de calcul de base MISS.....	6
C.1.2.2. Vérifications ELU en lien avec l'Eurocode 7.....	6
C.1.2.3. Articulation des différents types de calculs.....	6
C.1.3. Conventions de signes.....	7
<b>C.2. Aspects théoriques.....</b>	<b>9</b>
C.2.1. Mise en équation.....	9
C.2.1.1. Modélisation du comportement de l'écran.....	9
C.2.1.2. Loi d'interaction sol/écran.....	9
C.2.1.3. Pression interstitielle.....	10
C.2.1.4. Prise en compte des ancrages.....	10
C.2.1.5. Résolution.....	11
C.2.2. Traitement des ancrages de liaison.....	11
C.2.3. Calcul des sollicitations.....	13
C.2.4. Effets de 2 <sup>nd</sup> ordre.....	13
C.2.5. Gestion du phasage.....	14
C.2.5.1. Vis-à-vis de la loi d'interaction sol/écran.....	14
C.2.5.2. Ancrages.....	15
<b>C.3. Mise en œuvre.....</b>	<b>18</b>
C.3.1. Pression des terres et d'eau.....	18
C.3.1.1. Pression au repos.....	18
C.3.1.2. Pression limite.....	18
C.3.1.3. Pression interstitielle.....	19
C.3.1.4. Remblaiement.....	19
C.3.2. Surcharges sur le sol.....	20
C.3.2.1. Caquot.....	20
C.3.2.2. Surcharge de Boussinesq.....	20
C.3.3. Talus et Risberme.....	21
C.3.3.1. Méthode des surcharges équivalentes.....	21
C.3.3.2. Modèles issus de la norme NF P 94-282.....	23
C.3.4. Traitement des combinaisons de charge.....	25
C.3.5. Prise en compte du séisme.....	26
C.3.5.1. Principe.....	26

C.3.5.2. Modes de comportement sous séisme .....	26
C.3.5.3. Coefficients sismiques.....	27
C.3.5.4. Incrément de poussée (limite) dynamique .....	27
C.3.5.5. Incrément de butée (limite) dynamique.....	29
C.3.5.6. Effets hydrodynamiques .....	30
C.3.5.7. Modification de la raideur apparente des ancrages .....	31
<b>C.4. Vérifications ELU.....</b>	<b>32</b>
C.4.1. Approches de calcul.....	32
C.4.1.1. Principe de pondération.....	32
C.4.1.2. Approche 2/2* - NF P 94 282.....	33
C.4.1.3. Approche 3.....	33
C.4.1.4. Approches 1.1/1.2 .....	34
C.4.2. Niveaux de terrain.....	36
C.4.3. Vérification du défaut de butée .....	36
C.4.3.1. Cas général.....	36
C.4.3.2. Cas particulier : phases où l'écran est en console .....	37
C.4.4. Calcul des sollicitations ELU .....	41
C.4.5. Vérification de l'équilibre vertical .....	42
C.4.5.1. Cas général.....	42
C.4.5.2. Cas d'un écran en console .....	43
C.4.6. Vérification de la stabilité du massif d'ancrage.....	44
C.4.6.1. Principe général .....	44
C.4.6.2. Cas d'un seul tirant.....	44
C.4.6.3. Cas de plusieurs tirants .....	48
C.4.6.4. Prise en compte du séisme .....	52
C.4.6.5. Cas d'un projet double écran.....	52
<b>C.5. Bases théoriques utilisées pour les différents assistants à la saisie de données.....</b>	<b>56</b>
C.5.1. Assistants relatifs aux caractéristiques des sols.....	56
C.5.1.1. Le coefficient $k_0$ .....	56
C.5.1.2. Les coefficients $k_d$ et $k_r$ .....	56
C.5.1.3. Les coefficients $k_{ay}$ et $k_{py}$ .....	57
C.5.1.4. Les coefficients $k_{ac}$ et $k_{pc}$ .....	58
C.5.1.5. Le coefficient $k_h$ .....	58
C.5.2. Assistants relatifs aux caractéristiques des ancrages .....	60
C.5.2.1. Assistant tirant.....	60
C.5.2.2. Assistant buton.....	61

**TABLE DES FIGURES**

Figure C1 : Exemples de projets « écran simple ».....	5
Figure C2 : Exemples de projets « double-écran » .....	5
Figure C3 : Organigramme de calcul .....	7
Figure C4 : Conventions de signe pour les chargements extérieurs .....	8
Figure C5 : Convention de signe pour les efforts internes .....	8
Figure C6 : Loi d'interaction sol/écran .....	9
Figure C7 : Schéma type pour la loi de mobilisation de la réaction des ancrages.....	10
Figure C8 : Schéma type pour la loi de mobilisation de la réaction des ancrages de liaison .....	11
Figure C9 : Cas d'un double-rideaux avec interaction entre coins de poussée/butée .....	12
Figure C10 : Cas d'une fouille butonnée avec interaction entre coins de butée .....	12
Figure C11 : Effet d'une modification de la contrainte verticale effective .....	14
Figure C12 : Effet d'une plastification du sol – notion de déplacement résiduel.....	14
Figure C13 : Cas particulier du décollement du sol.....	15
Figure C14 : Effet d'une modification du coefficient de réaction du sol .....	15
Figure C15 : Fluage des ancrages – modification de la loi de mobilisation .....	16
Figure C16 : Augmentation de la raideur des ancrages .....	16
Figure C17 : Effet d'une modification de la précontrainte au cours du phasage.....	16
Figure C18 : Processus de décollement/recollement pour un ancrage travaillant en mode unilatéral .....	17
Figure C19 : Plastification des ancrages au cours du phasage (schéma de principe général) .....	17
Figure C20 : Simulation d'une surcharge sur le terrain à l'aide du modèle de Boussinesq .....	20
Figure C21 : Traitement d'une surcharge « de Boussinesq » définie en phase initiale .....	21
Figure C22 : Simulation de l'effet d'un talus par des surcharges de Boussinesq équivalentes.....	21
Figure C23 : Simulation de l'effet d'une risberme par des surcharges de Boussinesq équivalentes.....	22
Figure C24 : Effet d'un talus selon le modèle de Houy .....	23
Figure C25 : Effet d'une risberme selon le modèle de Houy généralisé.....	24
Figure C26 : Approche « Banquette » pour contrôler la butée limite mobilisable sur la hauteur d'une Risberme .....	24
Figure C27 : Principe de phasage appliqué pour le traitement des combinaisons de charge.....	25
Figure C28 : Prise en compte du séisme – principes de la méthode implémentée dans AMRetain v2.....	26
Figure C29 : Prise en compte d'un incrément dynamique sur le palier de poussée limite .....	27
Figure C30 : Modèle de Mononobé-Okabé pour un terrain de cohésion non nulle – mécanisme de poussée .....	28
Figure C31 : Modèle de Mononobé-Okabé pour un terrain de cohésion non nulle – coefficients de poussée dynamique .....	28
Figure C32 : Prise en compte d'un incrément dynamique sur le palier de butée limite .....	29
Figure C33 : Modèle de Mononobé-Okabé pour un terrain de cohésion non nulle – mécanisme de butée.....	29
Figure C34 : Principe du modèle de Westergaard tel que implémenté dans AMRetain v2 .....	30
Figure C35 : Niveaux de terrain – notion de sur-excavation .....	36
Figure C36 : Notion de hauteur de soutènement effective .....	36
Figure C37 : Butées mobilisée et limite pour le modèle d'équilibre d'un écran ancré.....	37
Figure C38 : Principe conventionnel du modèle d'équilibre limite (MEL).....	38
Figure C39 : Notions de fiches minimale $f_0$ et disponible $f_b$ selon le modèle MEL .....	39
Figure C40 : Vérification de la contre-butée selon l'approche D .....	40

Figure C41 : Vérification de la contre-butée selon l'approche F .....	41
Figure C42 : Bilan des efforts verticaux s'exerçant sur l'écran .....	42
Figure C43 : Bilan vertical des efforts pour le cas d'un modèle d'équilibre limite (MEL).....	43
Figure C44 : Approche Kranz simplifiée – Schéma de principe .....	44
Figure C45 : Bilan schématique des efforts exercés sur le massif d'ancrage.....	45
Figure C46 : Discrétisation du massif d'ancrage en plusieurs blocs.....	46
Figure C47 : Equilibre local d'un bloc – bilan des efforts.....	46
Figure C48 : Equilibres locaux des blocs tenant compte de l'hypothèse simplificatrice de Bishop.....	47
Figure C49 : Exemple de bilan des efforts pour le cas de 3 blocs.....	47
Figure C50 : Généralisation au cas de plusieurs lits de tirants.....	48
Figure C51 : Exemple d'application - Situation 01 .....	49
Figure C52 : Exemple d'application - Situation 02 .....	49
Figure C53 : Exemple d'application - Situation 03 .....	50
Figure C54 : Résultante d'un tirant fictif.....	50
Figure C55 : Les 3 configurations possibles pour un tirant vis-à-vis du massif d'ancrage .....	51
Figure C56 : Modèle Kranz - Prise en compte du séisme .....	52
Figure C57 : Equilibre limite du massif d'ancrage pour un projet de double écran .....	53
Figure C58 : Équilibre limite du massif d'ancrage pour un projet de double écran à double ancrage .....	54
Figure C59 : Massifs d'ancrage considérés dans le cas d'un système de double- écran à double ancrage .....	54
Figure C60 : Équilibre du massif d'ancrage avec précision des points d'application .....	55
Figure C60 : Données pour la formule de Coulomb.....	57
Figure C61 : Paramètre a pour la formule de Balay .....	59
Figure C62 : Abaques de Chadeisson .....	59
Figure C63 : Schéma d'un lit de tirants scellés .....	60
Figure C64 : Schéma d'un lit de butons.....	61

### TABLE DES TABLEAUX

Tableau C 1 : Types de comportement sous séisme .....	26
Tableau C 2 : Coefficients partiels appliqués dans l'approche 2/2* .....	33
Tableau C 3 : Coefficients partiels appliqués dans l'approche 3 .....	34
Tableau C 4 : Coefficients partiels appliqués dans l'approche 1.1 .....	35
Tableau C 5 : Coefficients partiels appliqués dans l'approche 1.2 .....	35
Tableau C 6 : Exemple de pondération appliquée pour l'approche 2/2* .....	37

## C.1. Introduction et grands principes

### C.1.1. Objet du calcul et champ d'application

AMRetain permet d'étudier le comportement des écrans de soutènement (efforts internes et déformations) soumis à une série de phases de construction.

La méthode de calcul utilisée est la méthode de calcul aux coefficients de réaction (de type MISS-K<sup>1</sup> par référence à la norme d'application de l'Eurocode 7, qui sera appelée dans ce document simplement MISS, par simplification). Elle est fondée sur la modélisation des soutènements par des éléments de poutre sur appuis continus élasto-plastiques.

AMRetain permet d'analyser deux types de projets :

- Projets « Écran simple » : comprenant un unique soutènement plan ;

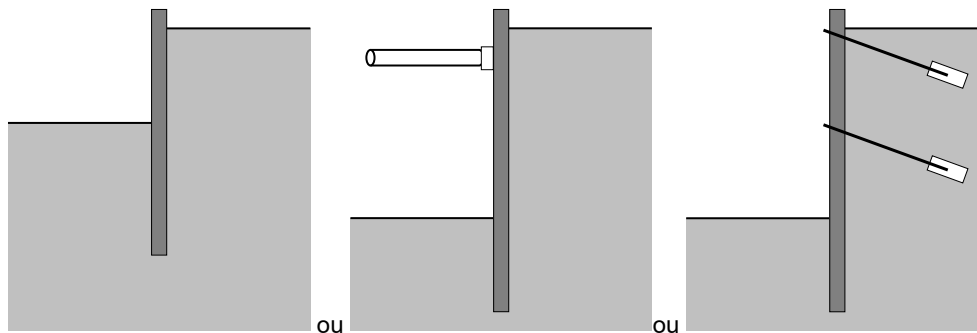


Figure C1 : Exemples de projets « écran simple »

- Projets « Double-écran » : comprenant deux soutènements plans, liés ou non par une ou plusieurs nappes d'ancrages de liaison.

Nota : on désigne par doubles-écrans dans ce manuel à la fois les doubles-écrans et les contre-écrans.

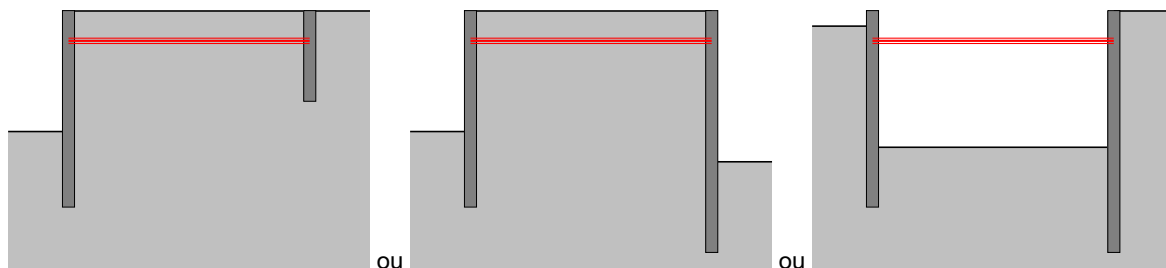


Figure C2 : Exemples de projets « double-écran »

La série des phases de construction comprend la phase initiale de mise en place de(s) écrans et est suivie de différentes phases correspondant chacune à un ensemble d'actions telles que la mise en place d'un buton ou d'un tirant, la variation d'un niveau de sol ou d'eau, l'application de surcharges ou la mise en place d'un ancrage de liaison (dans le cas d'un projet double-écran).

Le calcul de base MISS est présenté et détaillé dans les chapitres C.1.2.1 et C.2.

D'autre part, en complément du calcul MISS, AMRetain permet également d'effectuer 3 types de vérifications aux ELU selon les préconisations de l'Eurocode 7 (cf. chapitres C.1.2.2 et C.4), avec en particulier la mise en œuvre d'un modèle aux équilibres limites (MEL) pour les phases où l'écran est autostable.

L'articulation globale des différents types de calcul et vérifications est présentée sous la forme d'un organigramme dans le chapitre C.1.2.3.

<sup>1</sup> MISS-K : Modèle d'Interaction Sol Structure basé sur la méthode des coefficients de réaction.

## C.1.2. Introduction aux méthodes de calcul et vérifications proposées

### C.1.2.1. Méthode de calcul de base MISS

La méthode MISS associe le modèle d'une poutre en flexion représentative de l'écran et celui d'une distribution de ressorts juxtaposés élasto-plastiques représentative de l'interaction sol/écran. Les éléments d'ancrage de types tirants ou butons sont introduits moyennant des ressorts élasto-plastiques équivalents.

Dans AMRetain, la mise en équation du modèle est traitée à l'aide d'une formulation matricielle globale associant les deux écrans. Dans cette formulation, les éléments de liaison de type tirants ou butons génèrent un couplage entre les degrés de liberté des deux écrans.

### C.1.2.2. Vérifications ELU en lien avec l'Eurocode 7

L'Eurocode 7 (complété par ses normes d'application) fixe la liste des vérifications (ELU) à mener vis-à-vis des principaux risques de ruine des écrans de soutènement :

- Vérification du défaut de butée des terrains (1) ;
- Vérification de la résistance de la structure de l'écran et de ses appuis (2) ;
- Vérification de l'équilibre vertical de l'écran (3) ;
- Vérification de la stabilité hydraulique (4) ;
- Vérification de la stabilité du massif d'ancrage (5) ;
- Vérification de la stabilité d'ensemble (6) ;

Le logiciel AMRetain offre la possibilité de mener, pour chaque phase, les vérifications (1), (3) et (5) conformément à la norme NF P 94-282. Il fournit également les éléments nécessaires à la vérification (2). Les vérifications (4) et (6) doivent être menées à l'aide de programmes de calcul spécifiques.

Dans AMRetain v2, ces vérifications peuvent être menées selon l'une des trois approches de l'Eurocode 7 (voir §C.4.1 pour la description détaillée de ces approches et leur implémentation dans AMRetain v2).

### C.1.2.3. Articulation des différents types de calculs

Dans le cas d'un calcul mené sans vérifications ELU, toutes les phases sont traitées à l'aide du modèle de « base » qui est un modèle aux déplacements basé sur la méthode des coefficients de réaction (modèle MISS-K, dont il est rappelé qu'il est appelé MISS dans ce document par simplification), et réalisé sans pondérations sur les caractéristiques des sols ni sur les surcharges. Les résultats obtenus comportent les déplacements de l'écran, les pressions mobilisées ainsi que les efforts de flexion et de cisaillement (V, M).

Dans le cas d'un calcul mené avec vérifications ELU, pour chaque phase, deux calculs sont réalisés :

- Un calcul « ELS » basé sur un modèle MISS réalisé sans pondération sur les caractéristiques des sols et des surcharges. Les résultats de ce calcul sont strictement identiques à ceux d'un calcul « sans vérifications ELU » : déplacements, pressions mobilisées, et efforts (V, M) ;
- Un calcul « ELU » dont le modèle diffère selon que l'écran soit ancré ou non dans la phase considérée : modèle MISS pour le cas d'un écran ancré, modèle MEL pour un écran en console. Le résultat du calcul ELU est complété par l'examen des mécanismes de ruine suivants :
  - Vérification du défaut de butée ;
  - Vérification de l'équilibre vertical ;
  - Vérification de la stabilité du massif d'ancrage

La figure ci-dessous résume l'organigramme général des calculs effectués par AMRetain et leur articulation.

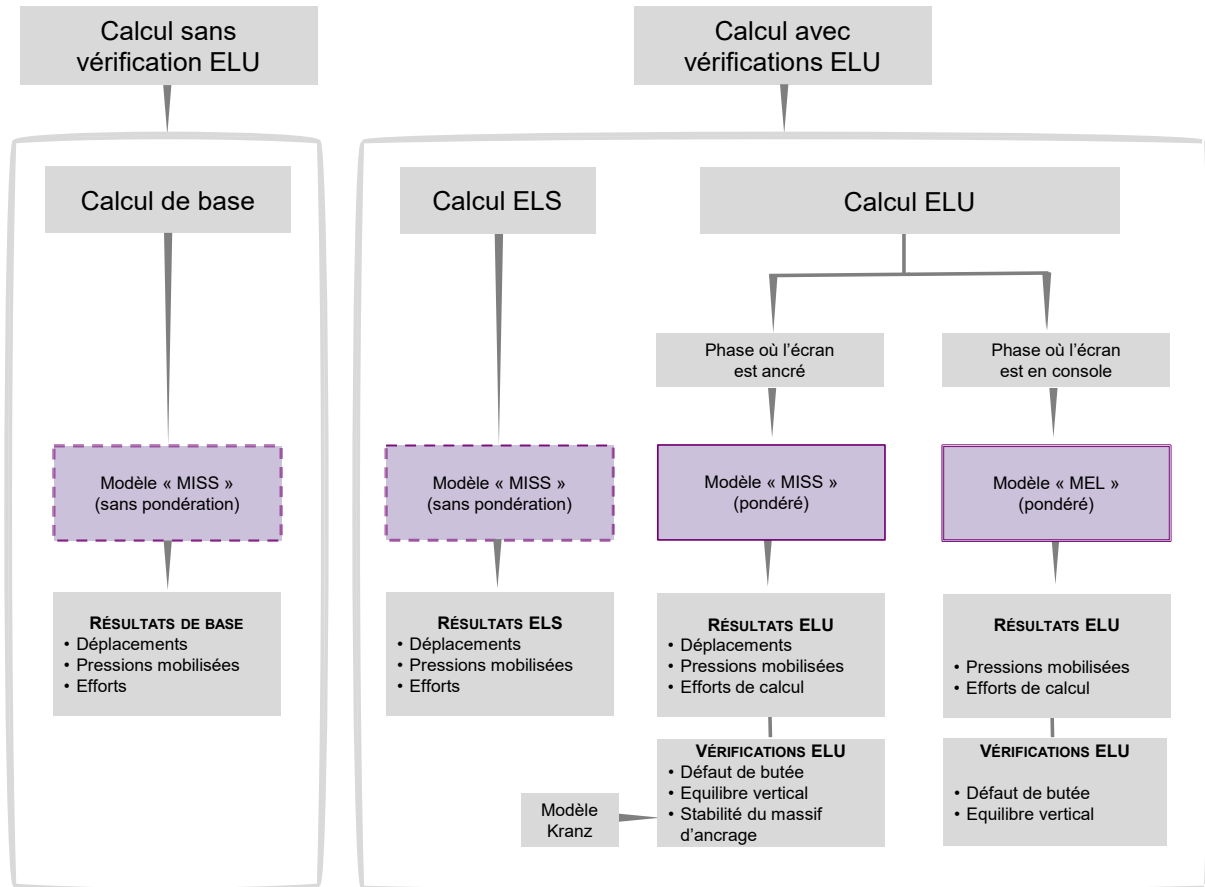


Figure C3 : Organigramme de calcul

### C.1.3. Conventions de signes

Pour chaque écran, le sol est découpé verticalement en côté gauche, situé à gauche de l'écran et en côté droit, situé à droite. Les déplacements de l'écran et les efforts sont positifs vers la droite (cf. Figure C4).

Nota : l'excavation « principale » peut se situer indifféremment côté gauche ou côté droit.

Les ordonnées sont soit positives vers le haut lorsqu'elles servent à définir des **cotes**, soit positives vers le bas lorsqu'elles servent à définir des **profondeurs**. L'option est définie dans le **Menu Données, Titres et Options**.

Pour les efforts extérieurs à l'écran, les forces (représentées par F sur la figure ci-dessous) sont positives lorsqu'elles sont orientées de la gauche vers la droite et les couples (représentés par M sur la figure ci-dessous) sont positifs s'ils tournent dans le sens trigonométrique direct.

Les efforts des ancrages sont pris positifs :

- en traction dans le cas d'un tirant (scellé ou de liaison);
- en compression dans le cas d'un buton (isolé ou de liaison).

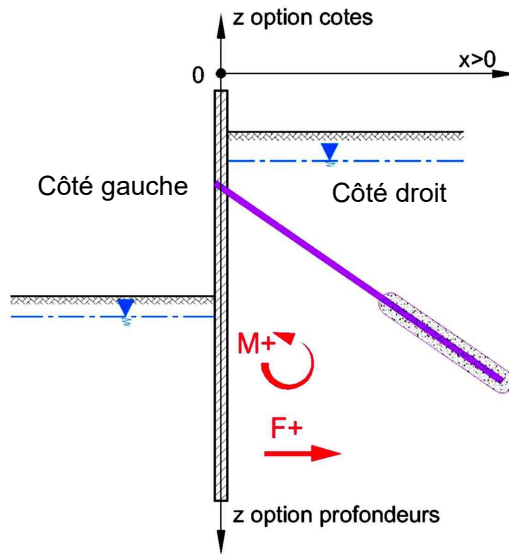


Figure C4 : Conventions de signe pour les chargements extérieurs

Par ailleurs, pour ce qui concerne les efforts internes (M, V et N), la figure ci-dessous présente la convention de signe retenue dans AMRetain. L'effort axial N est pris positif en compression.

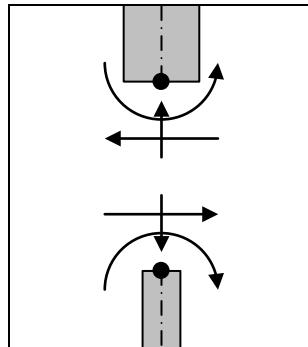


Figure C5 : Convention de signe pour les efforts internes

## C.2. Aspects théoriques

### C.2.1. Mise en équation

#### C.2.1.1. Modélisation du comportement de l'écran

Chaque écran « i » est assimilé à une poutre de section homogène de comportement élastique linéaire. On adopte l'hypothèse de poutre mince ce qui permet de négliger les déformations dues à l'effort tranchant.

Le comportement en flexion de la poutre représentative de l'écran « i » peut ainsi être décrit à l'aide de l'équation générale suivante :

$$\frac{d^2}{dz^2} \left( EI_i \frac{d^2 w_i}{dz^2} \right) + Rc_i \cdot w_i = q_i^{\text{ext}} - (r_i^d - r_i^g) - r_i^a \quad (1)$$

Avec :

- $w_i$  : flèche (déplacement transversal) de l'écran « i » (positive vers la droite) ;
- $EI_i$  : produit d'inertie de l'écran « i » ;
- $Rc_i$  : rigidité cylindrique de l'écran « i » ;
- $r_i^d$  : densité de la réaction horizontale du sol côté droit de l'écran « i » ;
- $r_i^g$  : densité de la réaction horizontale du sol côté gauche de l'écran « i » ;
- $r_i^a$  : densité de la réaction horizontale des ancrages connectés à l'écran « i » ;
- $q_i^{\text{ext}}$  : densité horizontale des charges extérieures appliquées sur l'écran « i ».

#### C.2.1.2. Loi d'interaction sol/écran

La loi d'interaction sol/écran est décrite, de chaque côté et pour chaque écran, à l'aide d'une courbe de mobilisation de poussée/butée classique caractérisée à l'aide de 4 paramètres :

- $k_h$  : coefficient de réaction horizontal du sol (ou raideur par unité de surface) ;
- $p_a$  : pression limite de poussée horizontale (ou poussée active) ;
- $p_b$  : pression limite de butée horizontale (ou poussée passive) ;
- $p_0$  : pression de référence horizontale (ou pression dite « initiale » ou au repos).

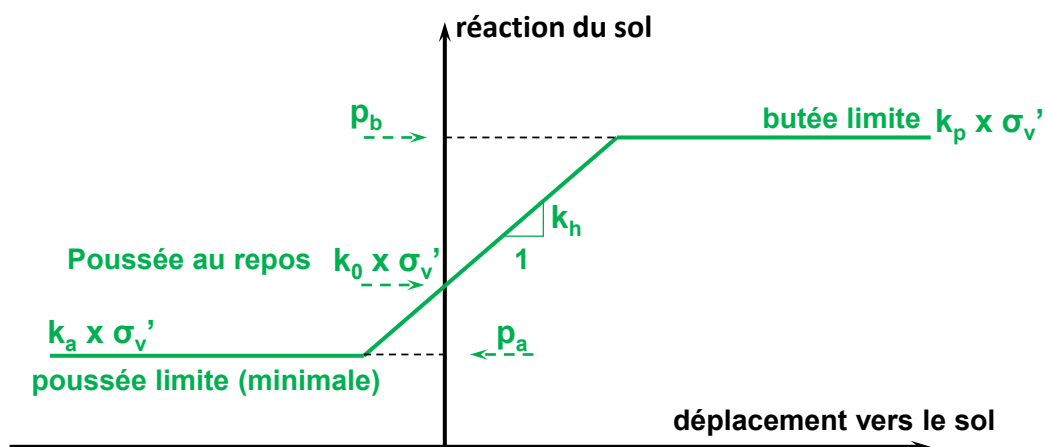


Figure C6 : Loi d'interaction sol/écran

Selon les notations de la figure ci-dessus, la réaction latérale du sol sur une face de l'écran s'exprime ainsi :

$$\begin{cases} r_i^d = +\alpha \cdot w + \beta \\ r_i^g = -\alpha \cdot w + \beta \end{cases} \quad (2)$$

Avec :

- phase élastique :  $\alpha = k_h$        $\beta = p_0$
- état limite de poussée :  $\alpha = 0$        $\beta = p_a$
- état limite de butée :  $\alpha = 0$        $\beta = p_b$

Par défaut, les valeurs de  $p_a/p_b/p_0$  sont automatiquement déterminées par AMRetain en fonction des caractéristiques des sols et de la contrainte verticale effective  $\sigma_v'$  pour une phase, un écran et un côté donnés (voir §C.3.1).

### C.2.1.3. Pression interstitielle

La présence d'une pression interstitielle  $u(z)$  non nulle (régime hydrostatique ou écoulement) a pour conséquence de (cf. §C.3.1.3) :

- Modifier l'état de contrainte effective dont dépend directement la loi de mobilisation de la réaction du sol ( $p_a/p_b/p_0$  sont fonctions de  $\sigma_v'$ ) ;
- Mobiliser une pression horizontale directe sur l'écran égale à  $u(z)$ , qui vient s'ajouter à la densité des charges extérieures sur l'écran  $q^{\text{ext}}(z)$ .

### C.2.1.4. Prise en compte des ancrages

Les ancrages isolés (butons, tirants, encastrement), ponctuels ou surfaciques, sont supposés suivre une loi de réaction élasto-plastique comme le schématise la figure ci-dessous.

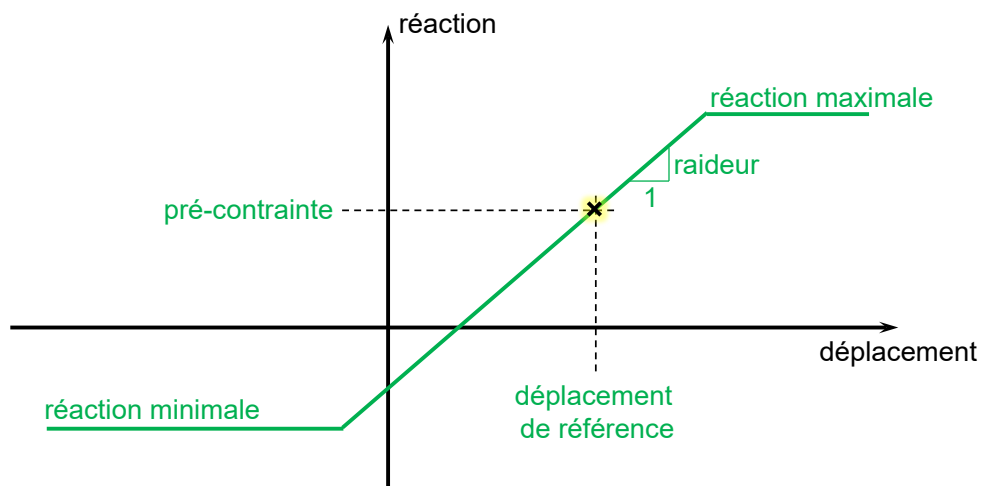


Figure C7 : Schéma type pour la loi de mobilisation de la réaction des ancrages

La loi de mobilisation de la réaction des ancrages peut ainsi s'exprimer selon la formulation suivante :

$$r_i^a = k_i^a \cdot w + p_i^a \quad (3)$$

### C.2.1.5. Résolution

La résolution du système d'équations (1) + (2) + (3) peut être menée numériquement en discrétisant la poutre représentative de l'écran « i » en éléments à deux nœuds et quatre degrés de liberté (deux déplacements et deux rotations).

Cette discrétisation permet d'exprimer l'équilibre élasto-plastique de l'écran sous la forme d'un système matriciel de taille  $2(n+1) \times 2(n+1)$  où n désigne le nombre total d'éléments :

$$(\mathbf{K}_i^e + \mathbf{K}_i^s + \mathbf{K}_i^a) \mathbf{w}_i = \mathbf{F}_i^{ext} - \mathbf{P}_i^s - \mathbf{P}_i^a \quad (4)$$

Avec, pour l'écran « i » :

- $\mathbf{w}_i$  : vecteur déplacement équivalent constitué par les déplacements et les rotations en chaque nœud du maillage ;
- $\mathbf{F}_i^{ext}$  : vecteur chargement relatif aux charges extérieures (+ la pression d'eau);
- $\mathbf{P}_i^s$  : vecteur réaction relatif à la part constante ( $\beta$ ) de la réaction du sol ;
- $\mathbf{P}_i^a$  : vecteur réaction relatif à la part constante ( $p^a$ ) de la réaction des ancrages ;
- $\mathbf{K}_i^e$  : matrice de rigidité de l'écran (en flexion et cylindrique) ;
- $\mathbf{K}_i^s$  : matrice de rigidité du sol (part élastique  $\alpha$  pour chaque niveau) ;
- $\mathbf{K}_i^a$  : matrice de rigidité des ancrages (part élastique  $k^a$  pour chaque niveau) ;

La résolution de cette équation permet d'obtenir les déplacements et les réactions en tout point de chaque élément du maillage.

### C.2.2. Traitement des ancrages de liaison

On s'intéresse à présent au cas d'un double-écran comportant un ou plusieurs ancrages de liaison de type tirants/butons (ponctuels et/ou surfaciques). Ces éléments sont supposés suivre une loi de réaction similaire à celle d'un ancrage « isolé » (cf. §C.2.1.4).

La particularité d'un ancrage de liaison réside dans le fait que sa réaction est fonction du déplacement relatif entre les deux écrans (et non du déplacement absolu).

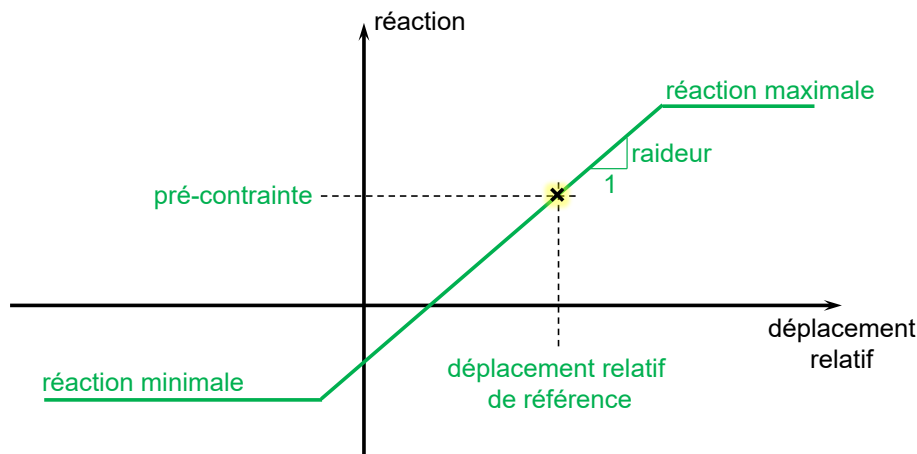


Figure C8 : Schéma type pour la loi de mobilisation de la réaction des ancrages de liaison

A l'aide de la formulation matricielle retenue pour chaque écran, l'équilibre des deux écrans en interaction peut ainsi être résolu à l'aide d'un système matriciel unique :

$$\begin{pmatrix} \mathbf{K}_1^e + \mathbf{K}_1^s + \mathbf{K}_1^a + \mathbf{K}^L & -\mathbf{K}^L \\ -\mathbf{K}^L & \mathbf{K}_2^e + \mathbf{K}_2^s + \mathbf{K}_2^a + \mathbf{K}^L \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{w}_1 \\ \mathbf{w}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{F}_1^{ext} - \mathbf{P}_1^s - \mathbf{P}_1^a - \mathbf{P}^L \\ \mathbf{F}_2^{ext} - \mathbf{P}_2^s - \mathbf{P}_2^a + \mathbf{P}^L \end{pmatrix}$$

Avec :

- $\mathbf{K}^L$  : matrice de rigidité des ancrages de liaison (part élastique) ;
- $\mathbf{P}^L$  : vecteur relatif à la part constante de la réaction des ancrages de liaison.

La validité de ce modèle suppose implicitement comme seule interaction entre les 2 écrans les ancrages de liaison s'ils existent. AMRetain ne prend donc en compte aucune interaction entre les 2 écrans au travers du massif de sol situé entre les deux écrans. En particulier, AMRetain ne procède pas explicitement à la vérification de « chevauchement » (figures ci-dessous):

- des coins de poussée/butée dans le cas d'un double rideau ;
- des coins de butée dans le cas d'une fouille butonnée.

Ces interactions doivent donc être vérifiées par ailleurs par l'utilisateur. Néanmoins, dans le cas d'un double rideau (rideau ancré par un contre-rideau moyennant des tirants de liaison), la vérification de la stabilité du massif d'ancrage à l'aide d'un modèle de type Kranz (ce que AMRetain fait automatiquement si le calcul ELU est demandé) suggère implicitement que la distance entre les écrans est suffisante pour négliger toute interaction entre les deux rideaux à travers du massif de sol situé entre les deux écrans.

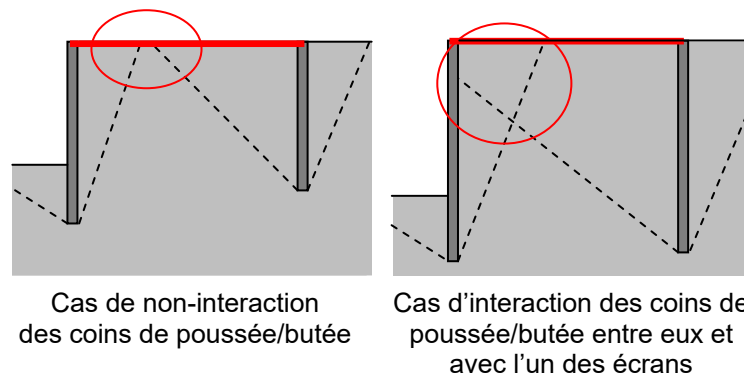


Figure C9 : Cas d'un double-rideaux avec interaction entre coins de poussée/butée

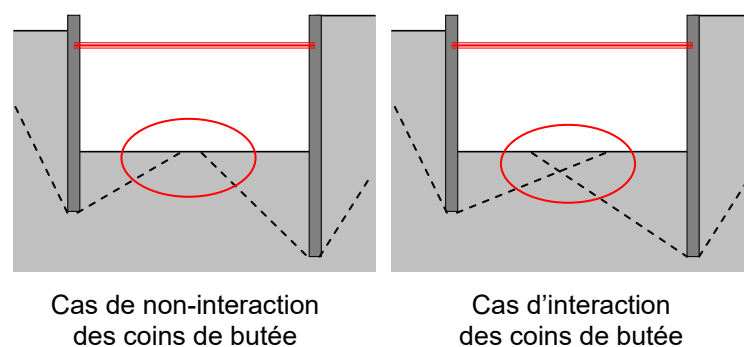


Figure C10 : Cas d'une fouille butonnée avec interaction entre coins de butée

### C.2.3. Calcul des sollicitations

Dans AMRetain, le calcul des sollicitations pour chaque écran se fait par intégration des réactions calculées à l'étape précédente.

- Effort tranchant  $V_i(z) = \int_0^z [q_i^{ext}(t) - r_i^d(t) + r_i^g(t) - r_i^a(t) - R_{c_i}(t) \cdot w_i(t)] dt + V_i(0)$
- Moment fléchissant  $M_i(z) = -\int_0^z V_i(t) dt + M_i(0)$  (+ réaction des encastremets)
- Effort de voûte  $N_i^{\theta\theta}(z) = -R_{c_i}(z) \cdot w_i(z) \cdot R_i(z)$  (positif en compression)

Où  $R_i(z)$  désigne le rayon de l'enceinte à la cote  $z$  dans le cas d'une paroi circulaire ( $R_{c_i} \neq 0$ ). AMRetain calcule également un effort axial vertical  $N_i^{zz}(z)$  tenant compte du poids « surfacique » de l'écran, la composante verticale des charges extérieures et des efforts d'appui, ainsi que la projection verticale de la pression des terres  $p_v$ . Cette dernière est estimée à partir de la pression des terres horizontale  $p_h$  selon le formalisme suivant :

$$p_v = \begin{cases} \tan\delta_a p_a \left( \frac{p_0 - p_h}{p_0 - p_a} \right) & \text{si } p_a \leq p_h \leq p_0 \\ \tan\delta_b p_b \left( \frac{p_h - p_0}{p_b - p_0} \right) & \text{si } p_0 \leq p_h \leq p_b \end{cases}$$

Où,  $\delta_a$  et  $\delta_b$  sont les valeurs de l'inclinaison des efforts des poussée et de butée limites par rapport à l'horizontale.

### C.2.4. Effets de 2<sup>nd</sup> ordre

Il est possible de prendre en compte dans les calculs les effets de second ordre dans l'écran. Cela consiste à tenir compte des déplacements et efforts complémentaires (moments et efforts tranchants) amenés par l'effort axial vertical additionnel  $\Delta N_{ad}(z)$  dû aux composantes verticales des charges linéaires et des efforts dans les tirants. Mathématiquement, cela équivaut à l'application d'une charge transversale complémentaire de densité  $\Delta q_{ad}(z)$  :

$$\Delta q_{ad} = \Delta N_{ad} \frac{d^2 w}{dz^2}$$

Le traitement de ces effets est mené de façon itérative jusqu'à convergence du terme  $\Delta q_{ad}(z)$ . A la fin du calcul, l'évaluation des sollicitations additionnelles ( $\Delta M_{ad}$ ,  $\Delta V_{ad}$ ) dues aux effets de 2<sup>nd</sup> est menée à l'aide de la formulation suivante :

$$\frac{d\Delta N_{ad}}{dz} = \Delta N_{ad} \frac{dw}{dz} \qquad \Delta V_{ad} = -\Delta N_{ad} \frac{dw}{dz}$$

## C.2.5. Gestion du phasage

### C.2.5.1. Vis-à-vis de la loi d'interaction sol/écran

#### C.2.5.1.1. Effet d'une modification de la contrainte verticale effective

La modification de la contrainte verticale effective du sol  $\sigma'_v$  dans une phase donnée, sous l'effet d'une excavation ( $\Delta\sigma'_v < 0$ ), d'un remblaiement ( $\Delta\sigma'_v > 0$ ) ou de l'application d'une surcharge sur le terrain ( $\Delta\sigma'_v > 0$ ) a comme conséquence le double effet suivant :

- Modification de la valeur de la pression  $p_i$  pour un déplacement nul à l'aide des coefficients recompression  $k_r$  et de décompression  $k_d$  :
  - $\Delta p_i = k_r \cdot \Delta\sigma'_v$  si  $\Delta\sigma'_v > 0$
  - $\Delta p_i = k_d \cdot \Delta\sigma'_v$  si  $\Delta\sigma'_v < 0$
- Actualisation des deux paliers plastiques (poussée/butée) à l'aide des coefficients de poussée/butée définis par l'utilisateur pour chaque couche :
  - $\Delta p_a = k_a \cdot \Delta\sigma'_v$
  - $\Delta p_b = k_p \cdot \Delta\sigma'_v$

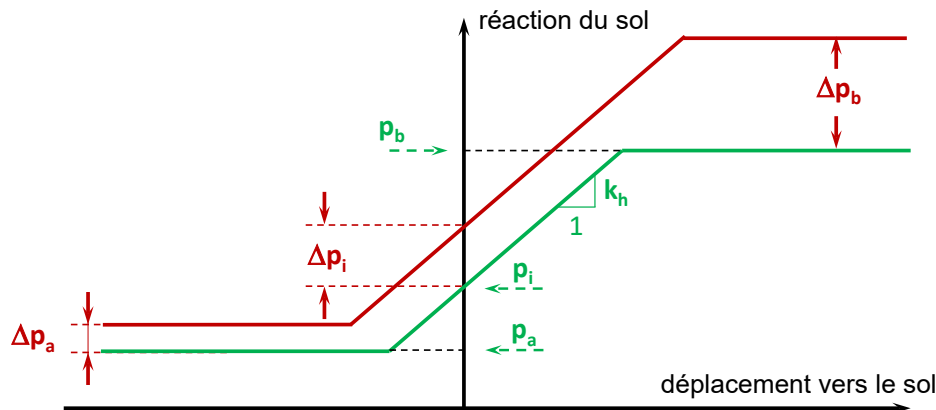


Figure C11 : Effet d'une modification de la contrainte verticale effective

#### C.2.5.1.2. Effet de la plastification

La plastification du sol dans une phase particulière a pour effet, dans la phase suivante, de décaler horizontalement la courbe d'interaction sol/écran d'un déplacement résiduel  $\delta_r$ . Cela conduit à une modification « fictive » de la pression initiale  $p_i$ . La valeur de celle-ci ne peut ainsi plus être reliée de manière directe à l'état de contrainte verticale.

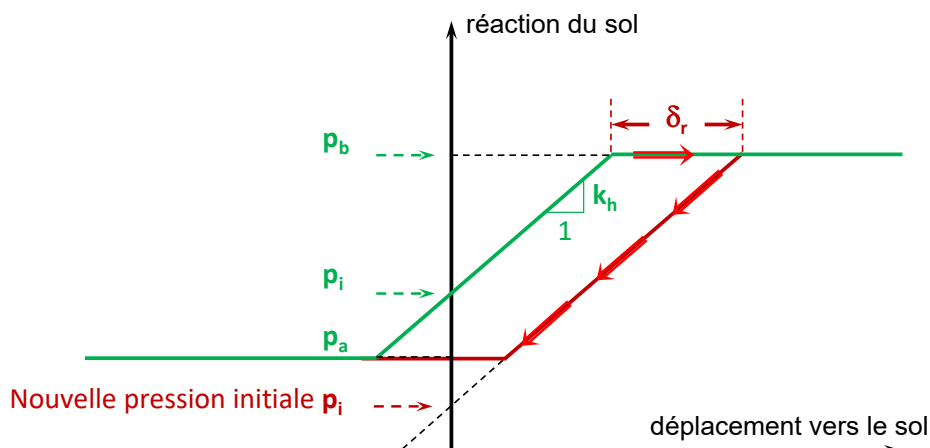


Figure C12 : Effet d'une plastification du sol – notion de déplacement résiduel

Cas particulier du décollement : la droite de retour est inchangée et donc la pression initiale est inchangée également.

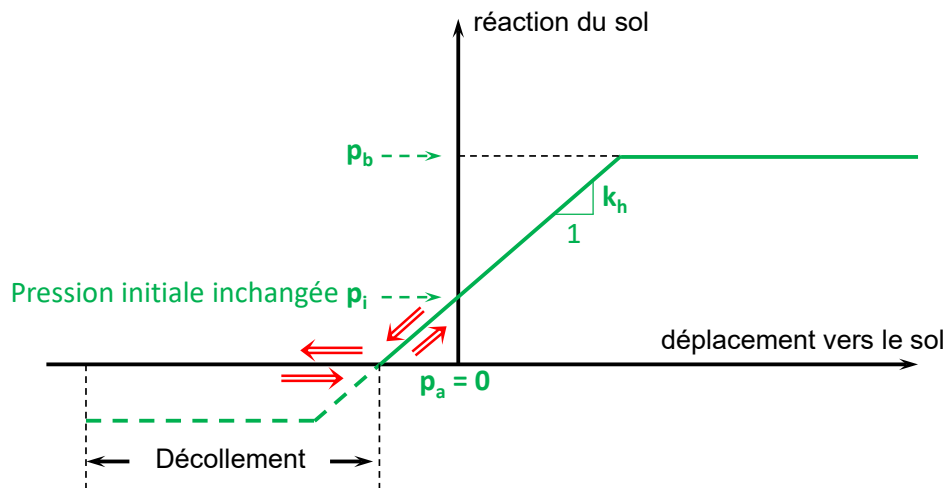


Figure C13 : Cas particulier du décollement du sol

### C.2.5.1.3. Modification du coefficient de réaction

La modification du coefficient de réaction conduit à une rotation de la partie élastique autour du point d'équilibre obtenu à la phase précédente, ce qui implique implicitement une modification de la pression initiale apparente (figure ci-dessous).

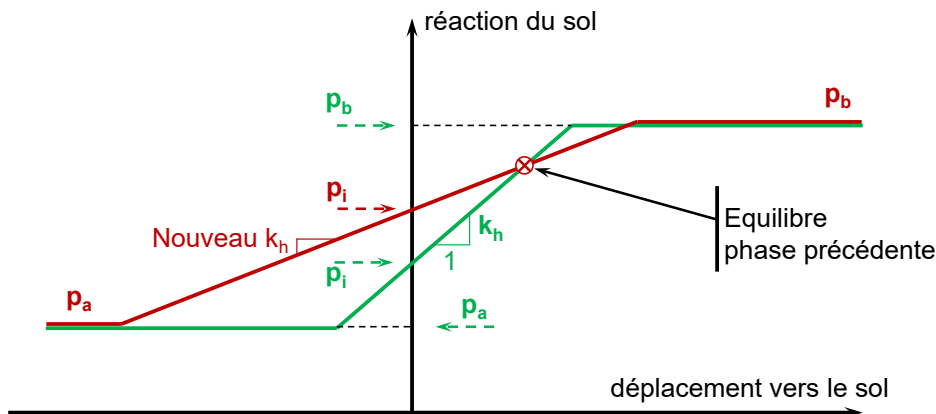


Figure C14 : Effet d'une modification du coefficient de réaction du sol

Comme le suggère la figure ci-dessus, la seule modification du coefficient de réaction n'impacte pas l'équilibre précédent et aucun déplacement n'est généré en l'absence de tout autre chargement.

## C.2.5.2. Ancrages

### C.2.5.2.1. Fluage

La modification de la raideur d'un ancrage au cours du phasage est traitée de façon différente selon qu'il s'agisse d'une réduction (fluage) ou d'une augmentation de la raideur par rapport à sa valeur initiale. Le fait de diminuer la raideur d'un ancrage (fluage) conduit à une régénération de la loi d'interaction autour du point de référence, conduisant ainsi à un déplacement additionnel en l'absence de toute autre action pendant la phase étudiée.

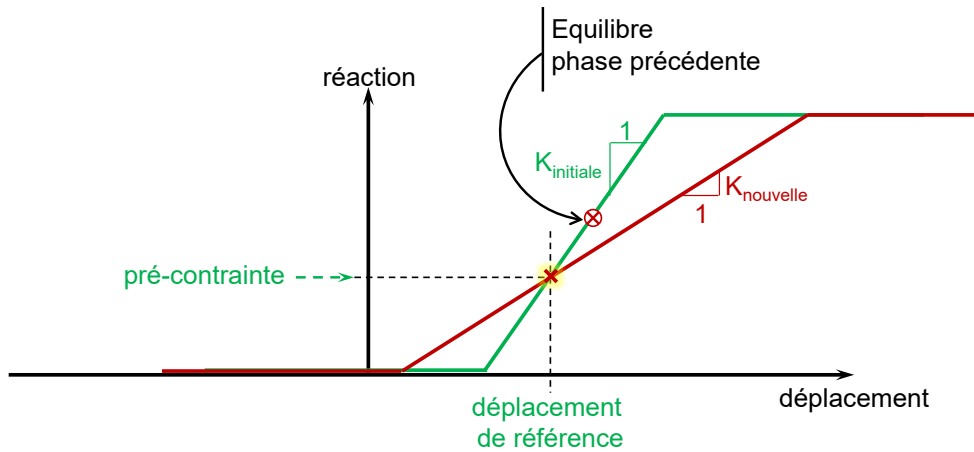


Figure C15 : Fluage des ancrages – modification de la loi de mobilisation

**C.2.5.2.2. Rigidification**

L'augmentation de la raideur est traitée en appliquant une rotation de la loi de réaction autour du point d'équilibre obtenu à la phase précédente (et non autour du point de référence comme dans le cas d'un fluage). De ce fait, l'équilibre précédent n'est pas modifié et aucun déplacement n'est généré en l'absence de tout autre chargement.

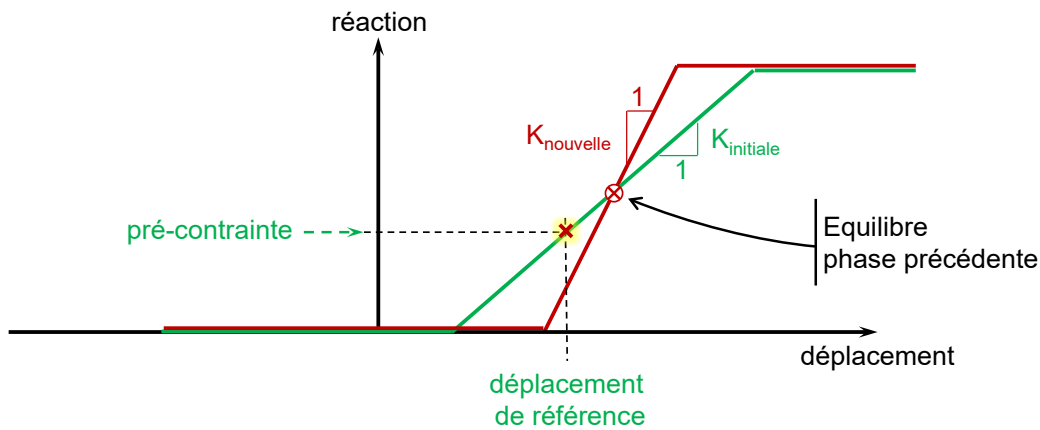


Figure C16 : Augmentation de la raideur des ancrages

**C.2.5.2.3. Modification de la pré-contrainte**

La modification de la précontrainte au cours de phasage est traitée en opérant un décalage vertical de la courbe de mobilisation égal à la différence entre la nouvelle précontrainte et celle initiale (figure ci-dessous).

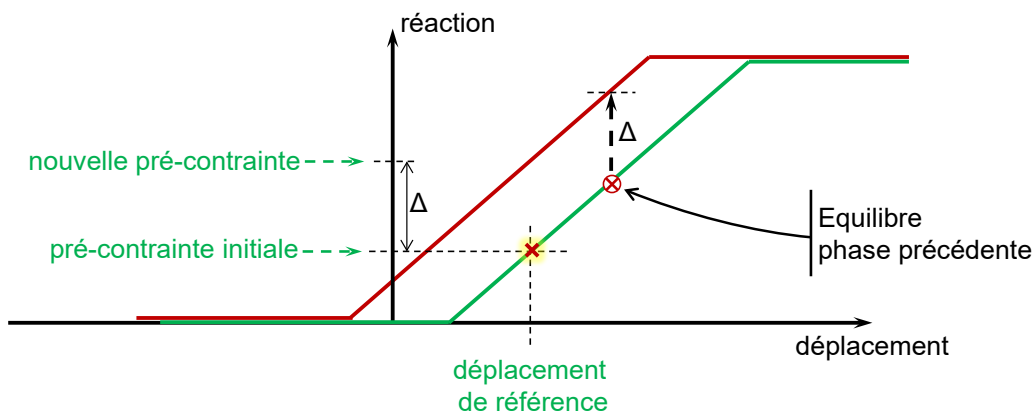


Figure C17 : Effet d'une modification de la précontrainte au cours du phasage

C.2.5.2.4. Décollement

Les ancrages travaillant de façon « unilatérale » suivent une loi de réaction comprenant un palier « minimal » nul. Le processus de décollement/recollement est schématisé dans la figure ci-dessous.

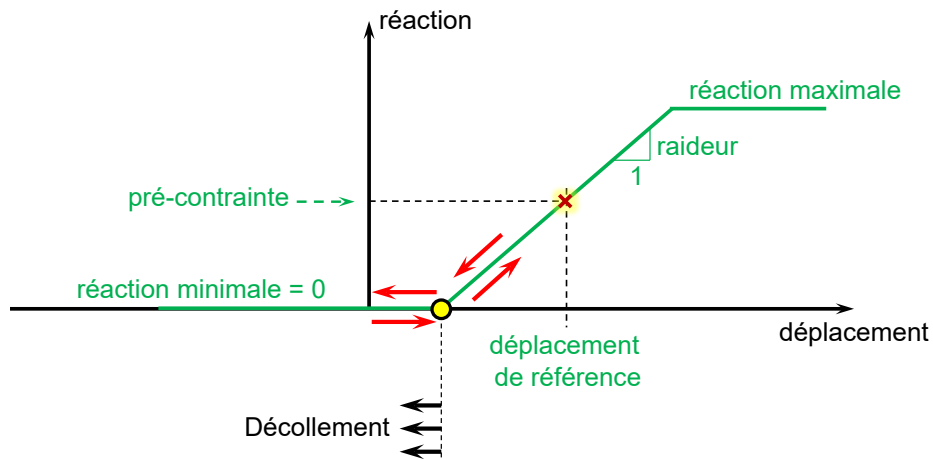


Figure C18 : Processus de décollement/recollement pour un ancrage travaillant en mode unilatéral

C.2.5.2.5. Plastification

Dans le cas général, la gestion de la plastification au cours du phasage est menée de façon analogue que pour la loi d'interaction sol/écran en actualisant la loi de mobilisation à chaque phase tenant compte de l'accumulation des déplacements irréversibles.

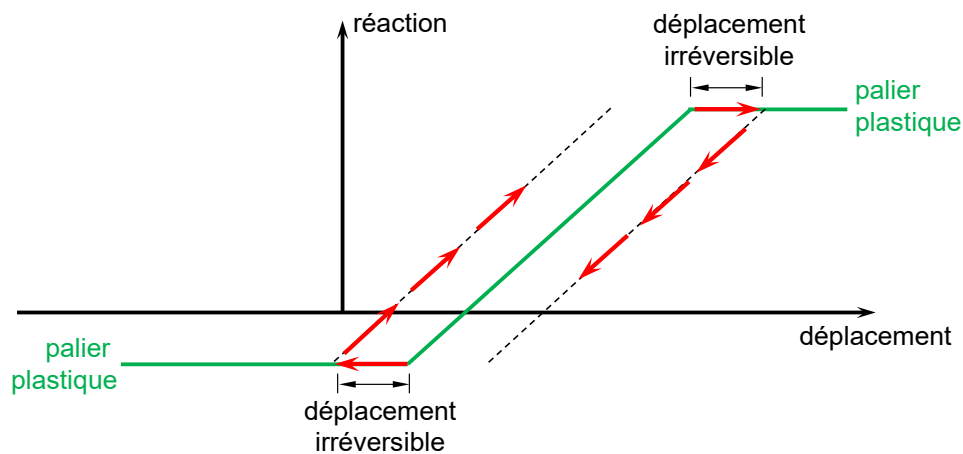


Figure C19 : Plastification des ancrages au cours du phasage (schéma de principe général)

## C.3. Mise en œuvre

### C.3.1. Pression des terres et d'eau

#### C.3.1.1. Pression au repos

La pression (horizontale) pour un déplacement nul, fait appel, dans l'état initial du sol, à la notion de poussée au repos caractérisée par le coefficient de poussée au repos  $k_0$  affecté à la couche de sol considérée, auquel cas :

$$p_i = p_0 = k_0 \cdot \sigma'_{v0}$$

La valeur de  $k_0$  est fonction de l'angle de frottement inter-granulaire du sol, de la pente du terrain initial ainsi que l'état de sur-consolidation (cf. §C.5.1.1). La contrainte verticale effective, au repos, est évaluée comme suit :

$$\sigma'_{v0} = \int_0^{z_w} \gamma dz + \int_{z_w}^z \gamma' dz$$

Avec :

$\gamma$	poids volumique total
$\gamma'$	poids volumique déjaugé
$z_w$	profondeur du toit de la nappe

Comme exposé au §C.2.5.1.1, la modification de cette pression sous l'effet d'un incrément de contrainte verticale fait appel à la notion des coefficients de recompression/décompression ( $k_r$  et  $k_d$ ) selon le formalisme suivant :

- $\Delta p_i = k_r \cdot \Delta \sigma'_v$  si  $\Delta \sigma'_v > 0$
- $\Delta p_i = k_d \cdot \Delta \sigma'_v$  si  $\Delta \sigma'_v < 0$

La définition de ces coefficients est détaillée dans le §C.5.1.2.

#### C.3.1.2. Pression limite

Les pressions limites de poussée/butée sont reliées à la contrainte verticale effective  $\sigma'_v$  (au niveau de l'écran) moyennant les coefficients de poussée/butée :

- Poussée limite :  $p_a = \max(k_{a\gamma} \cdot \sigma'_v - k_{ac} \cdot c ; k_{a\min} \cdot \sigma'_v)$
- Butée limite :  $p_b = \min(k_{p\gamma} \cdot \sigma'_v + k_{pc} \cdot c ; p_{\max})$

Avec :

$k_{a\gamma}$	coefficient de poussée des terres (cf. §C.5.1.3)
$k_{ac}$	coefficient de poussée lié au terme de cohésion (cf. §C.5.1.3)
$k_{a\min}$	coefficient de poussée minimale, pris par défaut égal à 0,10 (NF P 94-282)
$k_{p\gamma}$	coefficient de butée des terres (cf. §C.5.1.3)
$k_{pc}$	coefficient de butée lié au terme de cohésion (cf. §C.5.1.3)
$p_{\max}$	pression ultime du sol (valeur applicable pour un écran discontinu)
$c$	cohésion du sol

### C.3.1.3. Pression interstitielle

#### C.3.1.3.1. Régime hydrostatique

En régime hydrostatique, la pression interstitielle s'exerçant sur l'écran est évaluée comme suit :

$$u_w^0(z) = \gamma_w(z - z_w)$$

Où  $\gamma_w$  désigne le poids volumique de l'eau.

#### C.3.1.3.2. Gradient hydraulique

La présence d'un gradient hydraulique est synonyme d'un régime hydraulique différent de celui hydrostatique. Un tel régime peut être caractérisé par un diagramme de pression interstitielle définie selon le formalisme suivant :

$$u_w(z) = \gamma_w[z - h_w(z)]$$

Où  $h_w(z)$  désigne le potentiel hydraulique à la profondeur  $z$ .

La présence d'un gradient hydraulique implique par ailleurs une modification de la contrainte verticale effective selon la relation suivante :

$$\sigma'_v = \sigma'_{v0} - \Delta\sigma(u) \text{ avec } \Delta\sigma(u) = u_w - u_w^0 = [z_w - h_w(z)]\gamma_w$$

En particulier, un gradient hydraulique « ascendant » ( $u_w \geq u_w^0$ ) réduit la contrainte effective et par conséquent la résistance disponible (diminution de la butée limite).

### C.3.1.4. Remblaiement

L'activation d'un remblai au cours du phasage a pour effet d'initialiser une nouvelle couche de sol au-dessus des terrains situés sous le remblai avec :

- Sous le remblai, un accroissement des contraintes verticales par le poids du remblai ;
- Sur la hauteur du remblai, l'initialisation d'une loi de mobilisation de la pression des terres selon les principes suivants :
  - o Lors de la phase de mise en place du remblai, celui-ci agit comme une pression horizontale imposée sur l'écran égale à  $p_i = k_i \cdot \sigma'_v$  ;
  - o A partir de la phase qui suit la mise en place du remblai, celui-ci se comporte comme une couche de sol avec une loi de mobilisation caractérisée par une pression initiale égale à  $p_i$ , un coefficient de réaction  $k_h$  et des pressions limites de poussée/butée  $p_a$  et  $p_b$  (calculées selon les principes décrits en §C.3.1.2).

Le coefficient  $k_i$  peut être choisi selon les principes suivants :

- $k_i = k_0$  pour rendre compte d'un état de contraintes proche de celui d'un sol au repos ;
- $k_i > k_0$  pour rendre compte d'un compactage des terres constituant le remblai ;
- $k_i = k_a$  pour simuler la mobilisation d'un état limite de poussée (en ignorant l'effet de la cohésion).

<sup>2</sup> Dans le cas d'un régime hydrostatique, nous avons :  $h_w(z) = Cte = z_w$

### C.3.2. Surcharges sur le sol

#### C.3.2.1. Caquot

Il s'agit d'une surcharge semi-infinie s'exerçant sur un côté de l'écran, à une profondeur  $z_0$ . Son application induit un incrément de contrainte verticale uniforme sous  $z_0$  :

$$\Delta\sigma_v(z) = q \quad \text{pour } z \geq z_0$$

#### C.3.2.2. Surcharge de Boussinesq

##### C.3.2.2.1. Cas général

Il s'agit d'une surcharge verticale localisée, de largeur  $l$  et densité  $S$ , appliquée à une profondeur  $z_0$  et à une distance  $x$  de l'écran. Son application induit un incrément de contrainte horizontale au niveau de l'écran estimé par intégration de la solution de Boussinesq (établie à l'origine pour le cas d'un sol homogène semi-infini) :

$$\Delta\sigma_h = \alpha_e \frac{S}{\pi} \left( \operatorname{atg} \left( \frac{hl}{x(x+1)+h^2} \right) + \frac{xh}{x^2+h^2} - \frac{(x+1)h}{(x+1)^2+h^2} \right) \quad \text{avec } h = z - z_0$$

Le facteur  $\alpha_e$  désigne un facteur amplificateur destiné à tenir compte de « l'effet miroir » implicitement induit par la présence de l'écran de soutènement (effet absent par construction dans la solution de Boussinesq). La valeur de  $\alpha_e$  peut être approchée à l'aide de la formule suivante (NF P 94 282) :

$$\alpha_e \approx \frac{x+2}{x+1}$$

Dans AMRetain, cet incrément de contrainte horizontale est « transformé » en incrément équivalent de contrainte verticale à l'aide de la relation :

$$\Delta\sigma_v = \frac{1}{0,5} \Delta\sigma_h$$

Sur la base de cet incrément de contrainte verticale (équivalent), la modification des paliers de poussée initiale, active et passive, est ensuite menée selon le formalisme décrit en §C.2.5.1.1.

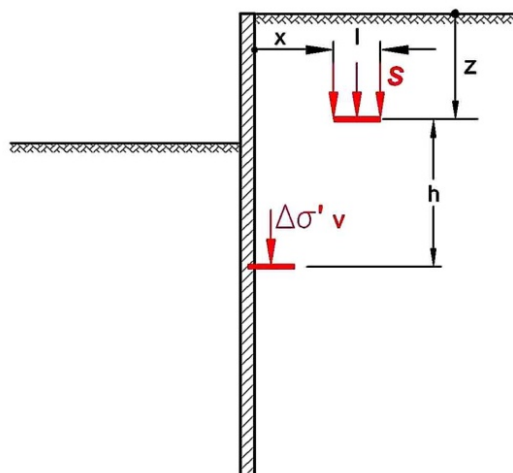


Figure C20 : Simulation d'une surcharge sur le terrain à l'aide du modèle de Boussinesq

##### C.3.2.2.2. Cas d'une surcharge définie en phase initiale

Pour les surcharges définies dans les phases courantes de calcul, l'incrément de contrainte qui en résulte n'est considéré que du côté où la surcharge est appliquée (effet d'écran). En phase initiale, en l'absence de l'écran, il y a en toute rigueur continuité des contraintes de

part et d'autre de l'écran et l'incrément qui résulte d'une surcharge déclarée en phase initiale est considéré (initialement) des deux côtés de l'écran.

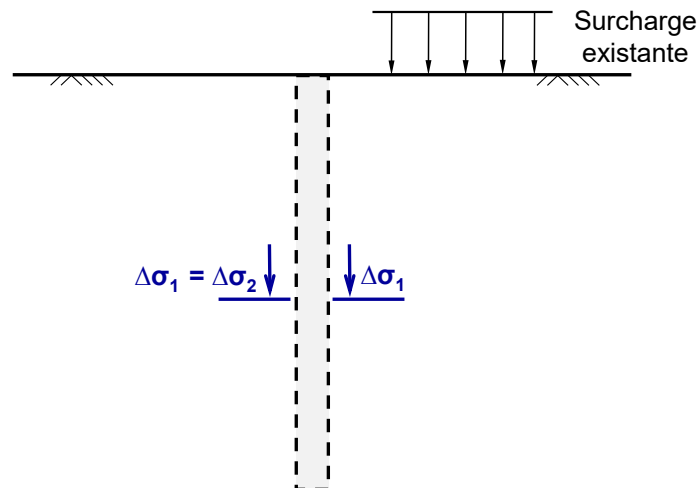


Figure C21 : Traitement d'une surcharge « de Boussinesq » définie en phase initiale

Ainsi, une surcharge de Boussinesq définie en phase initiale (représentative par exemple d'un immeuble existant) requiert les adaptations suivantes (appliquées automatiquement par le moteur de calcul) :

- incrément de contrainte identique (horizontale et vertical équivalent) des deux côtés de l'écran ;
- absence d'effet miroir ( $\alpha_e = 1$ ).

Ces adaptations s'appliquent à la fois sur les surcharges de Boussinesq et sur les actions qui en dépendent (pression initiale liée aux effets de talus et risberme – cf. §C.3.3).

### C.3.3. Talus et Risberme

La simulation des effets de talus et risberme peut être menée selon trois approches.

#### C.3.3.1. Méthode des surcharges équivalentes

Dans le cas d'un talus, cette méthode consiste à assimiler le poids du talus à une superposition de surcharges de Boussinesq de densité équivalente  $S(x)$  comme le schématise la figure ci-dessous. L'actualisation des paliers de poussée/butée (initial et limite) se fait alors selon la même démarche que celle décrite dans les §C.2.5.1.1 et §C.3.2.2.

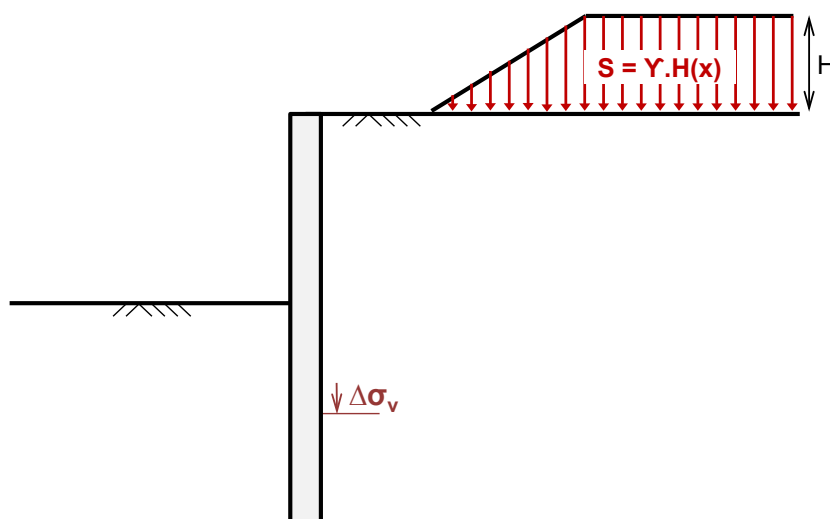


Figure C22 : Simulation de l'effet d'un talus par des surcharges de Boussinesq équivalentes

Dans le cas d'une risberme, cette méthode consiste à assimiler la risberme à une couche horizontale fictive dont le poids est corrigé par une superposition de surcharges semi-infinies négatives appliquées à différents niveaux sur la hauteur de la risberme comme le schématise la figure ci-dessous.

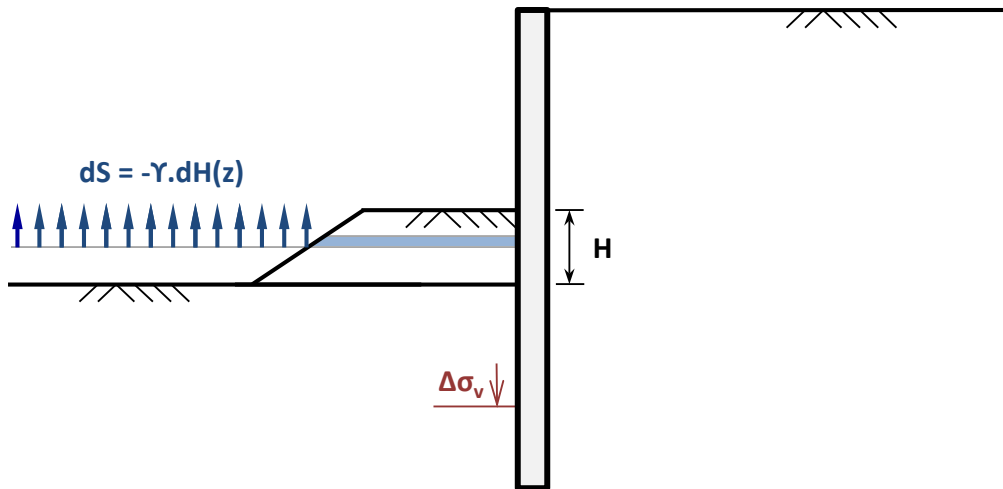


Figure C23 : Simulation de l'effet d'une risberme par des surcharges de Boussinesq équivalentes

L'actualisation des paliers de poussée/butée (initial et limite) se fait alors selon la même démarche que celle décrite en §C.2.5.1.1 et §C.3.2.2.

L'attention est attirée sur le fait qu'une telle approche est susceptible de conduire dans certains cas à des résultats exagérément optimistes (cf. NF P 94 282).

### C.3.3.2. Modèles issus de la norme NF P 94-282

L'application des modèles ci-dessous vise exclusivement le contrôle des diagrammes de poussée/butée limites en lien avec les recommandations de la norme NF P 94 282. La poussée « initiale » (ou au repos) est, dans tous les cas, évaluée par la méthode des surcharges équivalentes décrite précédemment.

#### C.3.3.2.1. Cas d'un talus

La norme NF P 94 282 recommande d'évaluer les effets d'un talus conformément au modèle de Houy comme le schématise la figure ci-dessous.

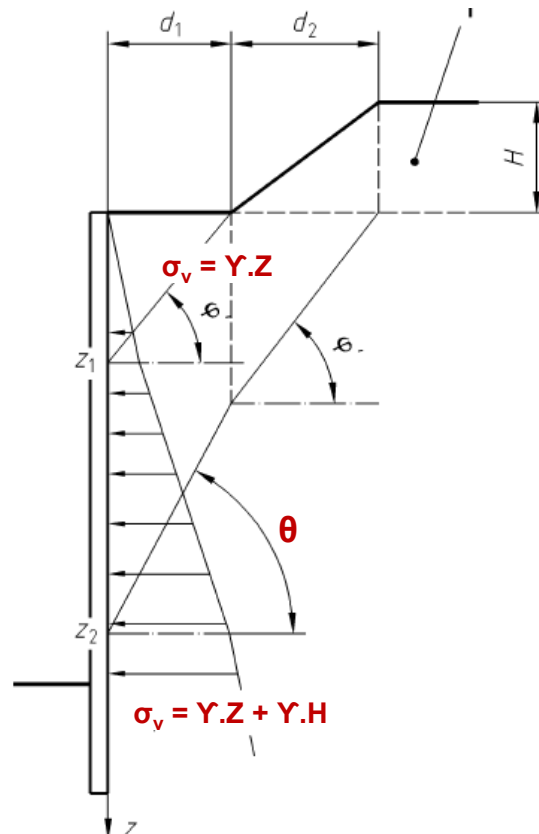


Figure C24 : Effet d'un talus selon le modèle de Houy

Selon les notations de la figure ci-dessus :

- pour  $z \leq z_1$  talus non pris en compte
- pour  $z \geq z_2$  effet équivalent à celui d'une surcharge de Caquot équivalente
- pour  $z_1 \leq z \leq z_2$  interpolation linéaire des diagrammes de poussée/butée

La valeur de  $\theta$  est prise égale à :

- $\theta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}$  pour l'évaluation de la poussée limite ;
- $\theta = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$  pour l'évaluation de la butée limite ;

Le cas d'un multicouche nécessite un retraitement adapté du modèle, géré automatiquement par AMRetain (schéma intégrant un angle de frottement variable par couche).

### C.3.3.2.2. Cas d'une Risberme

Le principe du modèle de Houy présenté précédemment peut être étendu au cas d'une Risberme selon le schéma présenté par la figure ci-dessous.

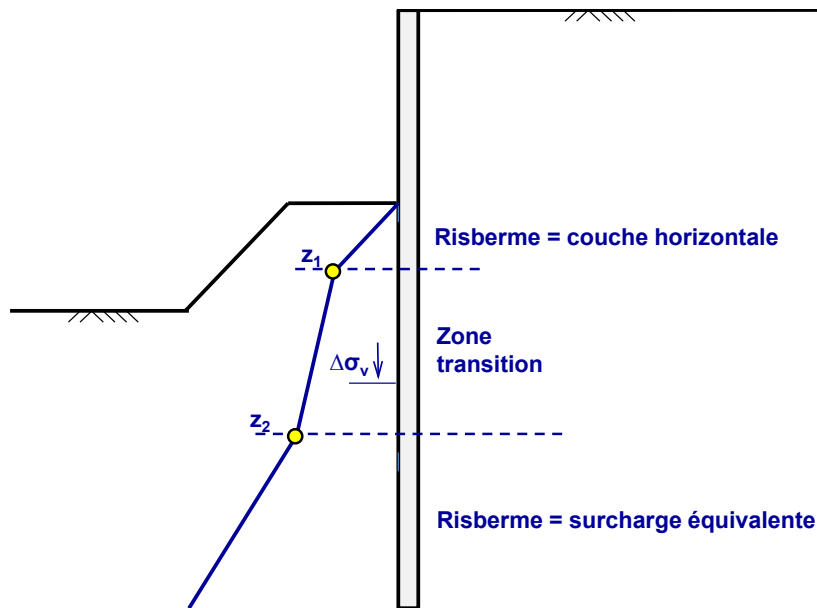


Figure C25 : Effet d'une risberme selon le modèle de Houy généralisé

On distingue ainsi trois zones :

- pour  $z \leq z_1$  l'effet de la risberme est celui d'une couche horizontale
- pour  $z \geq z_2$  effet équivalent à celui d'une surcharge équivalente
- pour  $z_1 \leq z \leq z_2$  interpolation linéaire des diagrammes de poussée/buté

Par ailleurs, la norme NF P 94-282 recommande, à défaut d'une approche plus élaborée, de contrôler la butée limite mobilisable sur la hauteur H d'une risberme en s'assurant que celle-ci n'excède pas le cisaillement résultant mobilisable à la base de la risberme, soit selon les notations de la figure ci-dessous :

$$B_{\max} = \frac{1}{2} k_p \gamma H^2 + k_{pc} c \cdot H \leq W \cdot \tan(\varphi) + c \cdot L_r$$

Cela revient à supposer implicitement que le mécanisme de rupture par butée est un mécanisme plan, horizontal, qui se développe préférentiellement à la base de la risberme. A noter que AMRetain applique cette vérification en tout point sur la hauteur de la risberme.

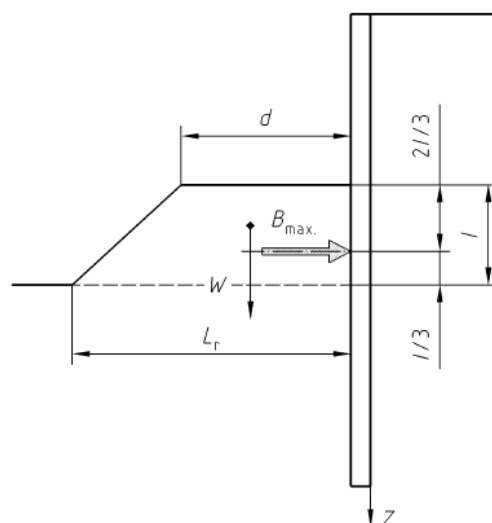


Figure C26 : Approche « Banquette » pour contrôler la butée limite mobilisable sur la hauteur d'une Risberme

### C.3.4. Traitement des combinaisons de charge

Le traitement de projets complexes comportant un grand nombre de cas de charge nécessite une gestion automatisée des différentes combinaisons à étudier en fonction du cadre réglementaire applicable au projet. Cela concerne de manière générale toutes les applications où la paroi communique avec des ouvrages de génie civil (directement ou indirectement via le massif de sol). Cela intéresse également les ouvrages portuaires pour lesquelles le nombre de combinaisons à étudier est très élevé et se révèle laborieux à mener par un traitement manuel.

Le schéma de phasage usuellement considéré pour les calculs génie civil consiste à traiter les combinaisons de charge par l'intermédiaire de phases complémentaires orphelines émanant de la phase étudiée (1 phase par combinaison). La validité d'un tel schéma suppose implicitement un comportement « linéaire élastique » et l'absence de tout déplacement « irréversible » du système ce qui n'est pas le cas d'un ouvrage de soutènement pour lequel il est indispensable d'assurer la cohérence du calcul élasto-plastique pour une combinaison de charge donnée. Cela justifie le recours au principe de phase ci-dessous qui consiste à générer un schéma de phasage « complet » en parallèle pour chacune des combinaisons de charge étudiées. L'interface n'exploite ensuite que les phases pour lesquelles la combinaison a été demandée.

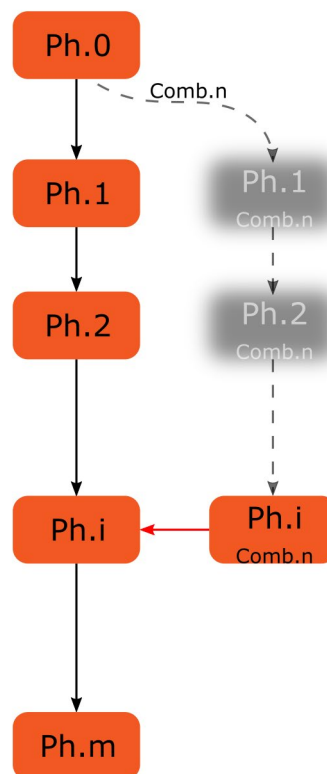


Figure C27 : Principe de phasage appliqué pour le traitement des combinaisons de charge

A noter que pour un calcul ELU, les pondérations définies dans le cadre des combinaisons de charge sont additionnées à celles propres à l'approche de calcul choisie pour les vérifications ELU :

- Calcul ELU sans combinaisons de charge  $S_{calcul} = \gamma_Q \cdot S$
- Calcul ELU avec combinaisons de charge  $S_{calcul} = \psi_{comb} \cdot \gamma_Q \cdot S$

### C.3.5. Prise en compte du séisme

#### C.3.5.1. Principe

Les effets sismiques dans AMRetain sont simulés selon une approche pseudo-statique dont les principes sont les suivants (figure ci-dessous) :

- Réévaluation des paliers limites de poussée ( $p_a$ ) et de butée ( $p_b$ ) de chaque côté de l'écran tenant compte des forces d'inertie dans le sol ;
- Réévaluation de la pression d'eau s'appliquant sur l'écran tenant compte des effets hydrodynamiques dans les niveaux où la nappe est considérée comme « libre » sous séisme (sol « ouvert » sous séisme ou absent) ;
- Prise en compte des forces d'inertie  $F_H = k_H \times P_{\text{écran}}$  et  $F_V = k_V \times P_{\text{écran}}$  associées au poids propre de l'écran  $P_{\text{écran}}$  ;
- Réévaluation de la rigidité apparente des tirants ;
- Aucune modification du palier élastique ( $k_h$ ) ni de la pression initiale  $p_i$ .

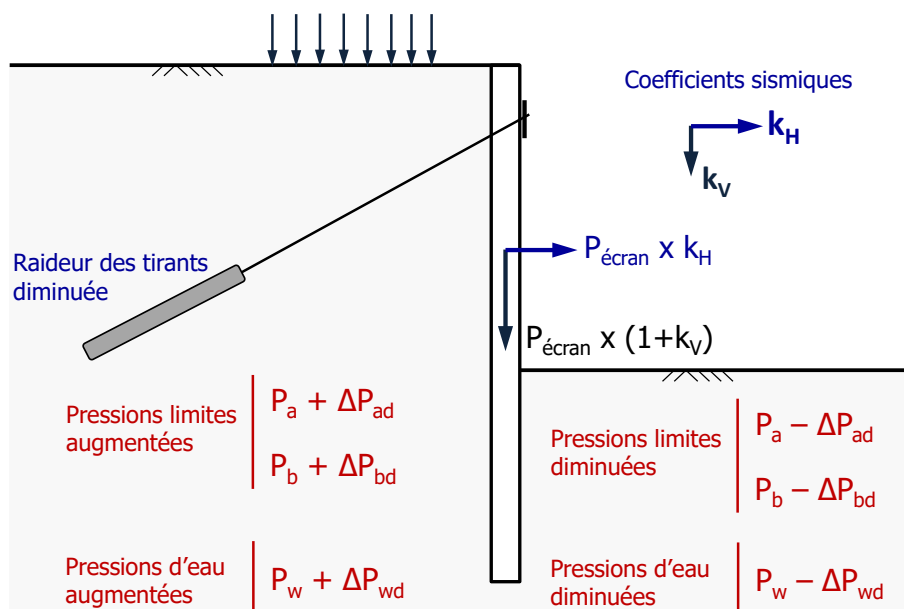


Figure C28 : Prise en compte du séisme – principes de la méthode implémentée dans AMRetain v2

#### C.3.5.2. Modes de comportement sous séisme

La mise en œuvre du modèle pseudo-statique pour la justification des soutènements sous séisme distingue, au sens de l'Eurocode 8 – Partie 5, trois types (ou modes) de comportement du sol sous sollicitations sismiques : sol sec, sol « ouvert » et sol « fermé ». Pour chaque type de comportement, le tableau ci-dessous précise les caractéristiques de sol à prendre en compte pour le calcul sismique.

Cas	Type de sol	Comportement au cisaillement	Paramètres de cisaillement	Poids volumique
A	Sables et graves hors nappe	Frottant	Angle de frottement	$\gamma^* = \gamma$
B	Sol « ouvert » sous nappe = très perméable sous séisme	Frottant	Angle de frottement	$\gamma^* = \gamma'$
C	Sol « fermé » sous nappe = « imperméable » sous séisme	Cohérent	Cohésion non drainée	$\gamma^* = \gamma'$

Tableau C 1 : Types de comportement sous séisme

### C.3.5.3. Coefficients sismiques

La mise en œuvre de la méthode pseudo-statique se base sur la notion de coefficients sismiques définis comme suit :

$$k_H = \frac{1}{r} \frac{a_N}{g} \qquad k_V = \pm \frac{1}{2} k_H$$

Où  $a_N$  désigne l'accélération sismique nominale, fonction de la zone de sismicité, de la classe du sol et de la catégorie de l'ouvrage.

Le paramètre « r » est un coefficient adimensionnel supérieur ou égal à 1, fonction de la sensibilité de la structure étudiée aux déplacements. Une valeur de  $r = 1$  est à considérer pour un ouvrage sensible aux déplacements.

La notion de coefficients sismiques permet d'introduire celle de l'inclinaison sismique équivalente  $\theta$  dont la valeur dépend du type de comportement selon les notations du tableau précédent :

- Cas A (sables et graves hors nappe)  $\tan\theta = \frac{k_H}{1 \pm k_V}$
- Cas B (sol ouvert sous nappe)  $\tan\theta = \frac{\gamma_d}{\gamma'} \cdot \frac{k_H}{1 \pm k_V}$
- Cas C (sol fermé sous nappe)  $\tan\theta = \frac{\gamma}{\gamma'} \cdot \frac{k_H}{1 \pm k_V}$

Où

- $\gamma$  poids volumique total (ou humide) du sol ;
- $\gamma'$  poids volumique déjaugé du sol ;
- $\gamma_d$  poids volumique sec du sol (et non déjàugé).

### C.3.5.4. Incrément de poussée (limite) dynamique

Les effets sismiques impliquent une réduction de la résistance (au cisaillement) disponible et par conséquent une augmentation du palier de poussée limite par un incrément « dynamique »  $\Delta p_{ad}$  tel que schématisé dans la figure ci-dessous.

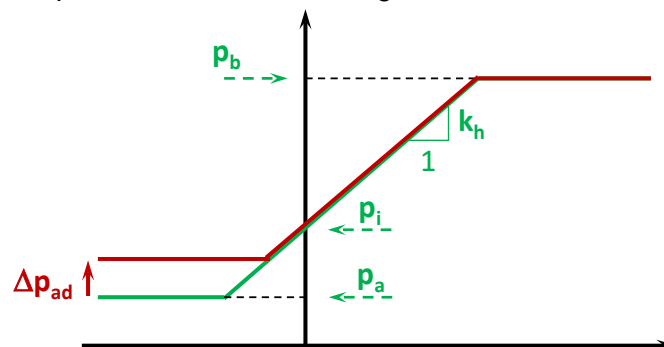


Figure C29 : Prise en compte d'un incrément dynamique sur le palier de poussée limite

L'évaluation de cet incrément dynamique est menée à l'aide d'une forme généralisée du modèle de Mononobé-Okabé (1924), étendu au cas d'un terrain de cohésion non nulle. Ce modèle, il convient de le rappeler, n'est autre que la généralisation du coin de poussée de Coulomb en intégrant à l'équilibre des forces celles relatives aux effets d'inertie affectant la masse du coin comme le montre la figure ci-après, où P désigne la réaction « stabilisatrice » de l'écran à l'état d'équilibre limite (poussée résultante limite).

Le modèle se limite à l'exploration de mécanismes de rupture plans formant un angle  $\alpha$  par rapport à l'écran. Pour chaque valeur de  $\alpha$ , la projection à la verticale et à l'horizontale de l'équilibre limite des forces conduit à un système à deux équations et deux inconnues ( $R_r$  et P), ce qui permet de tirer la valeur de  $P(\alpha)$ . On recherche ensuite la valeur de  $\alpha$  telle que P soit maximale.

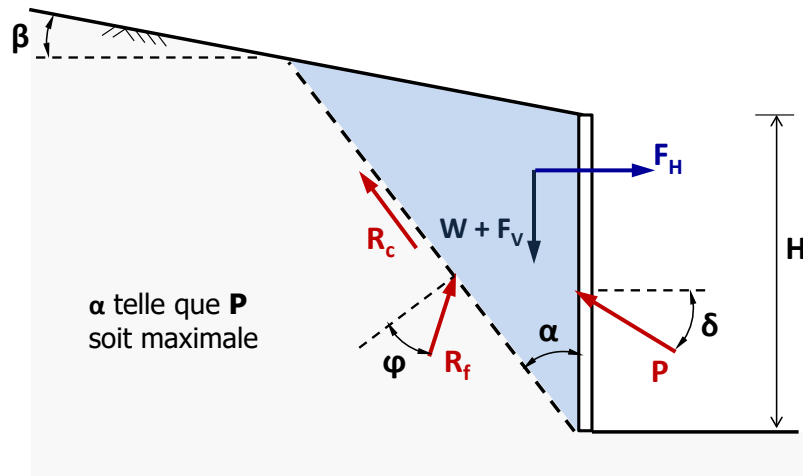


Figure C30 : Modèle de Monobé-Okabé pour un terrain de cohésion non nulle – mécanisme de poussée  
 La mise en application de ce modèle permet d'établir l'expression de la résultante de la poussée limite dynamique selon le formalisme suivant :

$$P_{ad} = K_{ad} \left[ \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) H^2 \right] - K_{acd} [cH]$$

Les coefficients de poussée dynamique  $K_{ad}$  et  $K_{acd}$  sont fonctions de quatre paramètres :

$$\begin{cases} K_{ad} = f_1(\varphi, \delta, \theta, \lambda) \\ K_{acd} = f_2(\varphi, \delta, \theta, \lambda) \end{cases} \quad \text{avec} \quad \lambda = \frac{\gamma H}{2c}$$

Les fonctions  $f_1$  et  $f_2$  sont obtenues par intégration numérique et sont présentées dans la figure ci-dessous dans le cas d'une poussée horizontale ( $\delta = 0$ ).

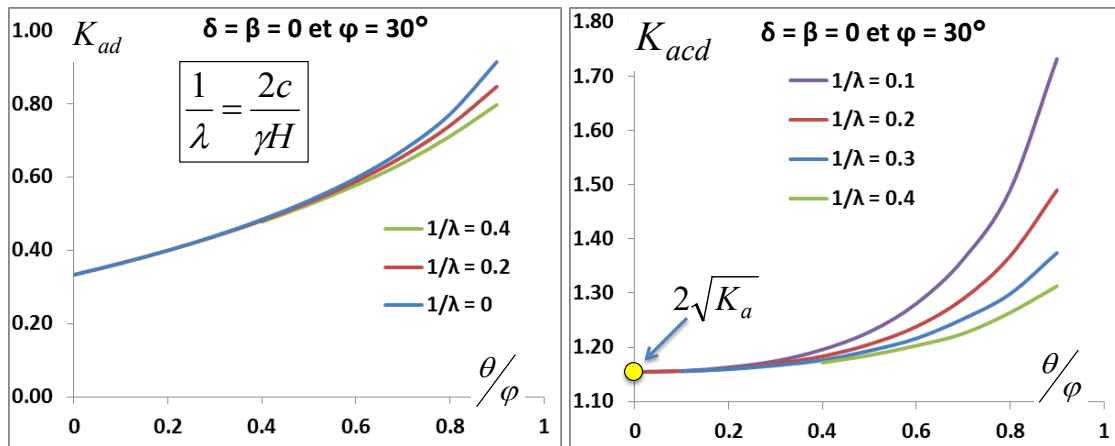


Figure C31 : Modèle de Monobé-Okabé pour un terrain de cohésion non nulle – coefficients de poussée dynamique

A partir de la variation de  $P_{ad}$  avec la profondeur, on évalue par différenciation une densité de poussée dynamique  $p_{ad}$  entre les profondeurs  $z_{i-1}$  et  $z_i$  depuis la tête de l'écran :

$$p_{ad}(z_{i-1} \leq z \leq z_i) = \frac{P_{ad}(H = z_i) - P_{ad}(H = z_{i-1})}{z_i - z_{i-1}}$$

On en déduit ensuite l'incrément « dynamique » à considérer sur la pression limite de poussée « statique » :

$$\Delta p_{ad} = p_{ad}(k_H, k_V) - p_{ad}(k_H = 0, k_V = 0)$$

La pression limite de poussée prise en compte dans le calcul s'écrit ainsi :

$$p_a|_{\text{statique+dynamique}} = p_a|_{\text{statique}} + \Delta p_{ad}$$

### C.3.5.5. Incrément de butée (limite) dynamique

Les effets sismiques impliquent une réduction de la résistance (au cisaillement) disponible et par conséquent une diminution du palier de butée limite par un incrément « dynamique »  $\Delta p_{bd}$  tel que schématisé dans la figure ci-dessous.

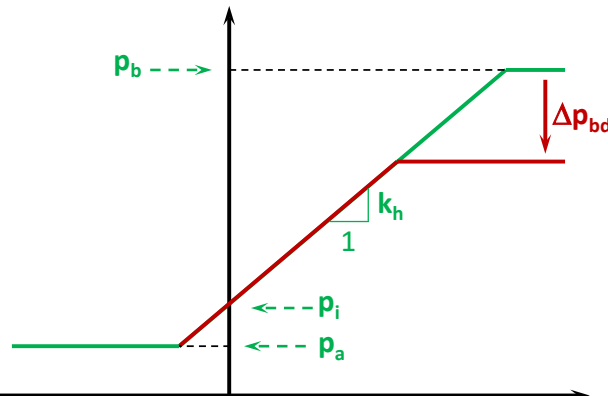


Figure C32 : Prise en compte d'un incrément dynamique sur le palier de butée limite

L'évaluation de cet incrément dynamique est menée à l'aide d'une forme généralisée du modèle de Mononobé-Okabé (1924), étendu au cas d'un terrain de cohésion non nulle. Ce modèle, il convient de le rappeler, n'est autre que la généralisation du coin de butée de Coulomb en intégrant à l'équilibre des forces celles relatives aux effets d'inertie affectant la masse du coin comme le montre la figure ci-dessous, où P désigne la réaction « déstabilisatrice » de l'écran à l'état d'équilibre limite (butée résultante limite).

Le modèle se limite à l'exploration de mécanismes de rupture plans formant un angle  $\alpha$  par rapport à l'écran. Pour un  $\alpha$  donné, la projection à la verticale et à l'horizontale de l'équilibre des forces conduit à un système à deux équations et deux inconnues ( $R_f$  et P), ce qui permet de tirer la valeur de P( $\alpha$ ). On recherche ensuite la valeur de  $\alpha$  telle que P soit minimale.

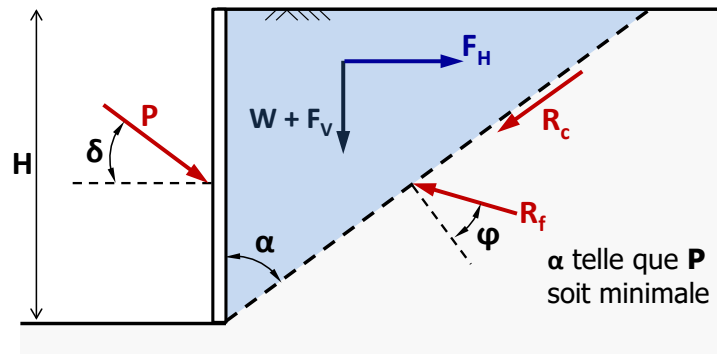


Figure C33 : Modèle de Mononobé-Okabé pour un terrain de cohésion non nulle – mécanisme de butée

La mise en équation de ce modèle permet d'établir l'expression de la résultante de la butée limite dynamique selon le formalisme suivant :

$$P_{bd} = K_{pd} \left[ \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) H^2 \right] + K_{pcd} [cH]$$

Les coefficients de butée dynamique  $K_{pd}$  et  $K_{pcd}$  sont fonctions de quatre paramètres :

$$\begin{cases} K_{pd} = g_1(\varphi, \delta, \theta, \lambda) \\ K_{pcd} = g_2(\varphi, \delta, \theta, \lambda) \end{cases} \quad \text{avec} \quad \lambda = \frac{\gamma H}{2c}$$

Les fonctions  $g_1$  et  $g_2$  sont obtenues par intégration numérique.

A partir de la variation de  $P_{bd}$  avec la profondeur, on évalue par différenciation une densité de butée dynamique  $p_{bd}$  entre les profondeurs  $z_{i-1}$  et  $z_i$  depuis la tête de l'écran :

$$p_{bd}(z_{i-1} \leq z \leq z_i) = \frac{P_{bd}(H = z_i) - P_{bd}(H = z_{i-1})}{z_i - z_{i-1}}$$

On en déduit ensuite l'incrément « dynamique » à considérer sur la pression limite de butée « statique » :

$$\Delta p_{bd} = p_{bd}(k_H = 0, k_V = 0) - p_{bd}(k_H, k_V)$$

La pression limite de butée prise en compte dans le calcul s'écrit ensuite :

$$p_b|_{\text{statique+dynamique}} = XP \cdot (p_b|_{\text{statique}} - \Delta p_{bd})$$

Où XP est un facteur multiplicateur (inférieur ou égal à 1,00) visant à réduire la butée prise en compte dans le calcul pour les ouvrages sensibles aux déplacements (pour des installations industrielles sensibles, XP est usuellement compris entre 0,33 et 0,50).

### C.3.5.6. Effets hydrodynamiques

Les effets hydrodynamiques susceptibles de se développer dans les niveaux où la nappe est considérée comme « libre » sous séisme (absence de terrain ou terrain « ouvert ») sont simulés à l'aide du modèle de Westergaard comme le schématise la figure ci-dessous.

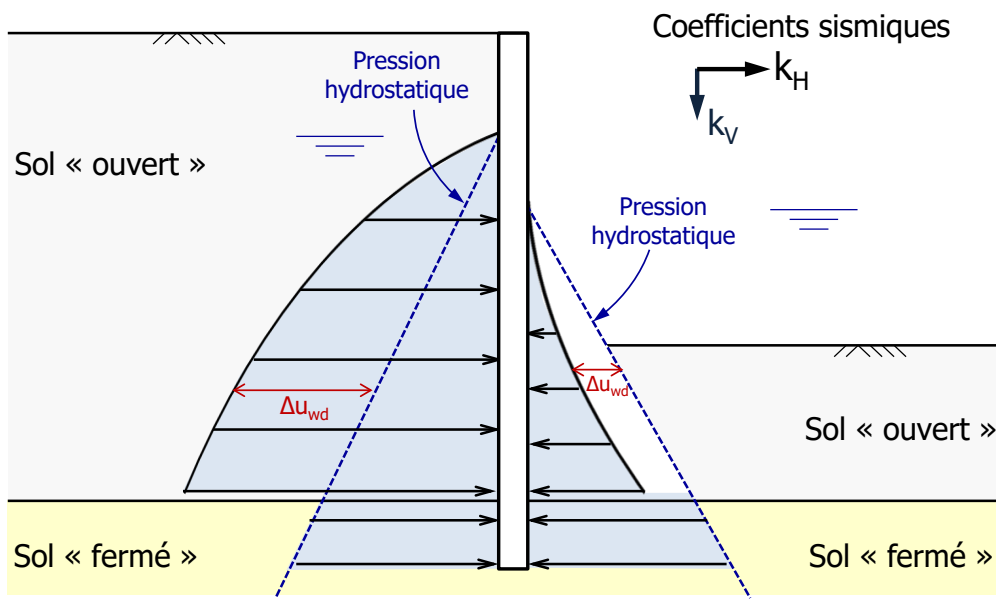


Figure C34 : Principe du modèle de Westergaard tel que implémenté dans AMRetain v2

La prise en compte du séisme implique ainsi une modification de la pression d'eau « statique » d'un incrément dynamique tel que (dans les niveaux « ouverts » sous nappe) :

$$u_w|_{\text{statique+dynamique}} = u_w|_{\text{statique}} \pm \Delta u_{wd}$$

Avec :

$$\Delta u_{wd}(z) = \frac{7}{8} k_H \gamma_w \sqrt{Hz}$$

Où :

- Z désigne la profondeur du point de calcul comptée à partir du toit de la nappe ;
- H représente la hauteur de la nappe comptée depuis la base de l'écran.

### **C.3.5.7. Modification de la raideur apparente des ancrages**

Les effets sismiques induisent une modification de la raideur apparente des tirants selon le formalisme suivant :

$$K_{\text{dynamique}} = \frac{1}{1 + 1,5|k_H|} \left( \frac{\cos(\alpha \pm \theta)}{\cos \alpha} \right)^2 \cdot K_{\text{statique}}$$

Où  $\alpha$  désigne l'inclinaison du tirant par rapport à l'horizontale.

## C.4. Vérifications ELU

### C.4.1. Approches de calcul

#### C.4.1.1. Principe de pondération

Le système de pondération dans AMRetain s'applique à la fois sur les actions (permanentes et variables), les effets des actions (résultats des calculs), les paramètres de résistance (caractéristiques de cisaillement), ainsi que sur les résistances (butée et ancrages). Trois approches de calcul sont proposées (1, 2 et 3) conformément à l'Eurocode 7 et sa norme d'application NF P 94-282.

##### C.4.1.1.1. Pondération des actions

La pondération des actions est appliquée selon le formalisme suivant :

$$A_d = \gamma_A \cdot A_k$$

Dans AMRetain, cela concerne les paramètres suivants :

- Poussée « active » du sol      pondération des coefficients de poussée limite
- Pression d'eau                      pondération de la pression différentielle d'eau
- Surcharges sur le sol              pondération de la valeur caractéristique de la surcharge
- Surcharges sur l'écran              pondération de la valeur caractéristique de la surcharge

##### C.4.1.1.2. Pondération des effets des actions

La pondération des effets des actions est appliquée selon le formalisme suivant :

$$E_d = \gamma_E \cdot E_k$$

Dans AMRetain, cela s'applique sur les « résultats » du calcul et vise à évaluer les valeurs de calcul des sollicitations dans l'écran, les ancrages et le sol :

- Sollicitations dans l'écran      pondération du diagramme des efforts (N, V, M)
- Efforts d'ancrage                      pondération des réactions des butons et tirants
- Butée mobilisée                      pondération de la butée mobilisée (défaut de butée)

La valeur du coefficient partiel  $\gamma_E$  est identique pour tous les effets des actions.

##### C.4.1.1.3. Pondération des paramètres de cisaillement

La pondération des paramètres de cisaillement est appliquée selon le formalisme suivant :

$$\tan \varphi_d = \frac{\tan \varphi_k}{\gamma_M} \quad c_d = \frac{c_k}{\gamma_M}$$

Dans AMRetain, cela implique une réévaluation des coefficients de poussée/butée (limite) sur la base des valeurs de calcul des paramètres de cisaillement. Il est à noter que coefficient de pression au repos ( $k_0$ ) ainsi que le coefficient de réaction demeurent inchangés.

##### C.4.1.1.4. Pondération des résistances

La pondération des résistances est appliquée selon le formalisme suivant :

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

Dans AMRetain, cela concerne les paramètres suivants :

- Butée limite du sol : pondération de la butée mobilisable (en post-traitement)
- Structure des ancrages : pondération de la limite élastique des ancrages
- Massif d’ancrage : pondération de l’effort déstabilisant issu de l’analyse de stabilité du massif d’ancrage

### C.4.1.2. Approche 2/2\* - NF P 94 282

Au sens de la norme d’application de l’Eurocode 7 en France (NF P 94-282), l’approche 2/2\* propose des coefficients partiels qui diffèrent selon le modèle de calcul utilisé (MISS ou MEL) pour l’équilibre ELU de l’écran :

- MISS : pondération (en post-traitement) des effets des actions et des résistances ;
- MEL : pondération (à la source) des actions et des résistances ;

Dans les deux cas, aucune pondération n’est appliquée sur les paramètres de résistance.

Le tableau ci-dessous présente les coefficients partiels proposés par défaut dans AMRetain quand cette approche est utilisée.

		Approche 2/2*	Modèle MISS	Modèle MEL	
Actions (γ <sub>A</sub> )	Poussée active du sol		1.00	1.35	
	Pression d’eau		1.00	1.35	
	Poids propre écran		1.00	1.35	
	Surcharges sur le sol	Permanent		1.00	1.00
		Variable		1.11	1.11
	Surcharges directes sur l’écran	Permanente favorable		1.00	1.00
Permanente défavorable			1.00	1.35	
Variable défavorable			1.11	1.50	
Effets des actions (γ <sub>E</sub> )	Sollicitations écran				
	Sollicitations ancrages		1.35	1.00	
	Butée mobilisée				
Paramètres de résistance (γ <sub>M</sub> )	Angle de frottement	En comportement drainé			
	Cohésion (effective)	En comportement drainé	1.00	1.00	
	Angle de frottement	En comportement non drainée			
	Cohésion	En comportement non drainée	1.00	1.00	
Résistances (γ <sub>R</sub> )	Butée mobilisable	Phase durable	1.40	1.40	
		Phase transitoire	1.10	1.10	
	Résistance des appuis	Limite élastique	1.00	-	
	Massif d’ancrage	Effort déstabilisant	1.10	-	

Tableau C 2 : Coefficients partiels appliqués dans l’approche 2/2\*

### C.4.1.3. Approche 3

L’approche 3 propose par défaut des coefficients partiels identiques entre les modèles MISS et MEL.

À la différence de l’approche 2/2\*, cette approche se caractérise par l’application d’une pondération à la source sur les paramètres de résistance (c et φ), ce qui nécessite une réévaluation par le moteur de calcul des coefficients de poussée/butée considérés dans le calcul ELU :

$$k_{a,d} = k_a \left( \frac{\tan \varphi_k}{\gamma_M} \right) \qquad k_{p,d} = k_p \left( \frac{\tan \varphi_k}{\gamma_M} \right)$$

Ensuite, à l'exception des surcharges variables (pondérées par 1,30), aucune pondération n'est appliquée sur les actions (permanentes d'origine non structurale), les effets des actions ou les résistances.

Il convient de noter par ailleurs que cette approche ne permet (par défaut) aucune distinction du niveau de sécurité entre les phases transitoire et durable.

Le tableau ci-dessous présente les coefficients partiels proposés par défaut dans AMRetain quand cette approche est utilisée.

		Approche 3	Modèle MISS	Modèle MEL	
Actions ( $\gamma_A$ )	Poussée active du sol		1.00	1.00	
	Pression d'eau		1.00	1.00	
	Poids propre écran		1.00	1.00	
	Surcharges sur le sol	Permanent		1.00	1.00
		Variable		1.30	1.30
	Surcharges directes sur l'écran	Permanente favorable		1.00	1.00
Permanente défavorable			1.35	1.35	
Variable défavorable			1.50	1.50	
Effets des actions ( $\gamma_E$ )	Sollicitations écran				
	Sollicitations ancrages		1.00	1.00	
	Butée mobilisée				
Paramètres de résistance ( $\gamma_M$ )	Angle de frottement	Comportement drainé	1.25	1.25	
	Cohésion (effective)	Comportement drainé			
	Angle de frottement	Comportement non drainée	1.40	1.40	
	Cohésion	Comportement non drainée			
Résistances ( $\gamma_R$ )	Butée mobilisable	Phase durable	1.00	1.00	
		Phase transitoire	1.00	1.00	
	Résistance des appuis	Limite élastique	1.00	-	
	Massif d'ancrage	Effort déstabilisant	1.00	-	

Tableau C 3 : Coefficients partiels appliqués dans l'approche 3

#### C.4.1.4. Approches 1.1/1.2

L'approche 1 comporte deux « variantes » :

- une variante 1.1 dont le formalisme est « proche » de celui de l'approche 2 (pondération des actions, aucune pondération des paramètres de résistance) ;
- une variante 1.2 dont le formalisme est « proche » de celui de l'approche 3 (pondération des paramètres de résistance, aucune pondération sur les actions) ;

Dans les pays où cette approche s'applique (par exemple en Angleterre), il convient d'examiner successivement les deux variantes et de retenir celle conduisant au dimensionnement le plus défavorable.

Les tableaux ci-après présentent les coefficients partiels proposés par défaut dans AMRetain quand cette approche est utilisée.

		Approche 1.1	Modèle MISS	Modèle MEL
Actions ( $\gamma_A$ )	Poussée active du sol		1.35	1.35
	Pression d'eau		1.35	1.35
	Poids propre écran		1.35	1.35
	Surcharges sur le sol	Permanent	1.00	1.00
		Variable	1.11	1.11
	Surcharges directes sur l'écran	Permanente favorable	1.00	1.00
Permanente défavorable		1.35	1.35	
Variable défavorable		1.50	1.50	
Effets des actions ( $\gamma_E$ )	Sollicitations écran			
	Sollicitations ancrages		1.00	1.00
	Butée mobilisée			
Paramètres de résistance ( $\gamma_M$ )	Angle de frottement	Comportement drainé	1.00	1.00
	Cohésion (effective)	Comportement drainé		
	Angle de frottement	Comportement non drainée	1.00	1.00
	Cohésion	Comportement non drainée		
Résistances ( $\gamma_R$ )	Butée mobilisable	Phase durable	1.00	1.00
		Phase transitoire	1.00	1.00
	Résistance des appuis	Limite élastique	1.10	-
	Massif d'ancrage	Effort déstabilisant	1.00	-

Tableau C 4 : Coefficients partiels appliqués dans l'approche 1.1

		Approche 1.2	Modèle MISS	Modèle MEL
Actions ( $\gamma_A$ )	Poussée active du sol		1.00	1.00
	Pression d'eau		1.00	1.00
	Poids propre écran		1.00	1.00
	Surcharges sur le sol	Permanent	1.00	1.00
		Variable	1.30	1.30
	Surcharges directes sur l'écran	Permanente favorable	1.00	1.00
Permanente défavorable		1.00	1.00	
Variable défavorable		1.30	1.30	
Effets des actions ( $\gamma_E$ )	Sollicitations écran			
	Sollicitations ancrages		1.00	1.00
	Butée mobilisée			
Paramètres de résistance ( $\gamma_M$ )	Angle de frottement	Comportement drainé	1.25	1.25
	Cohésion (effective)	Comportement drainé		
	Angle de frottement	Comportement non drainée	1.40	1.40
	Cohésion	Comportement non drainée		
Résistances ( $\gamma_R$ )	Butée mobilisable	Phase durable	1.00	1.00
		Phase transitoire	1.00	1.00
	Résistance des appuis	Limite élastique	1.10	-
	Massif d'ancrage	Effort déstabilisant	1.00	-

Tableau C 5 : Coefficients partiels appliqués dans l'approche 1.2

### C.4.2. Niveaux de terrain

AMRetain offre la possibilité de « pondérer » les niveaux de terrain considérés dans les calculs ELU (modèles MISS ou MEL). Cette « pondération » est contrôlée par un paramètre de « sur-excavation »  $\Delta a$  défini par l'utilisateur par côté et par phase.

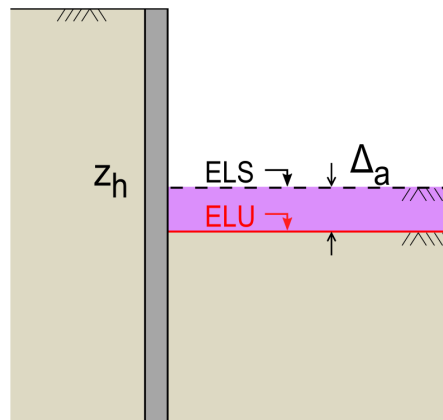


Figure C35 : Niveaux de terrain – notion de sur-excavation

En l'absence d'un contrôle stricte du fond de l'excavation, la norme NF P 94-282 recommande la valeur suivante :

$$\Delta a = \min (50 \text{ cm}, 10\%H)$$

Où H désigne la hauteur de soutènement effective définie selon les indications de la figure ci-dessous.

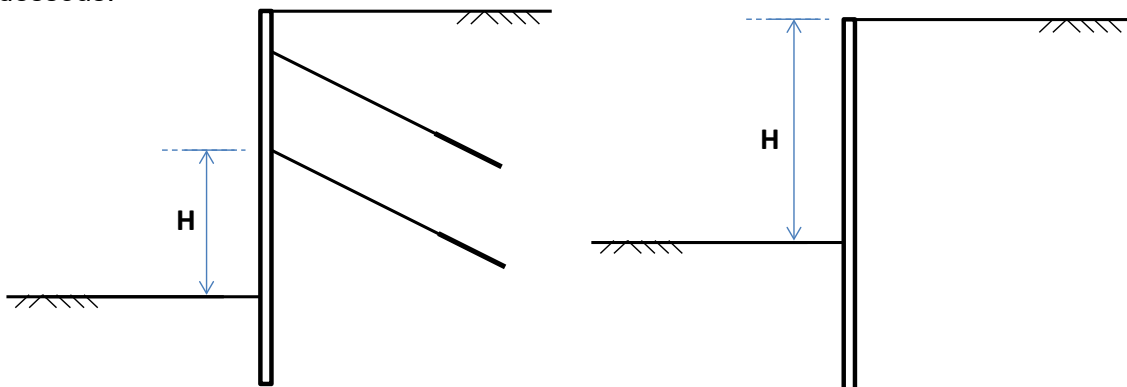


Figure C36 : Notion de hauteur de soutènement effective

### C.4.3. Vérification du défaut de butée

L'examen du défaut de butée vise à vérifier que la fiche disponible de l'écran permet une sécurité suffisante entre la butée mobilisable et celle nécessaire à l'équilibre (ELU) de l'écran.

#### C.4.3.1. Cas général

Pour le cas général des phases où l'écran comporte un ou plusieurs niveaux d'ancrage, cette vérification est menée sur la base des résultats du modèle MISS, selon le formalisme suivant :

$$B_{t,d} \leq B_{m,d}$$

Où :

- $B_{t,d}$  : valeur de calcul de la résultante de la butée mobilisée (issue du modèle MISS) ;
- $B_{m,d}$  : valeur de calcul de la résultante de la butée limite (ou mobilisable).

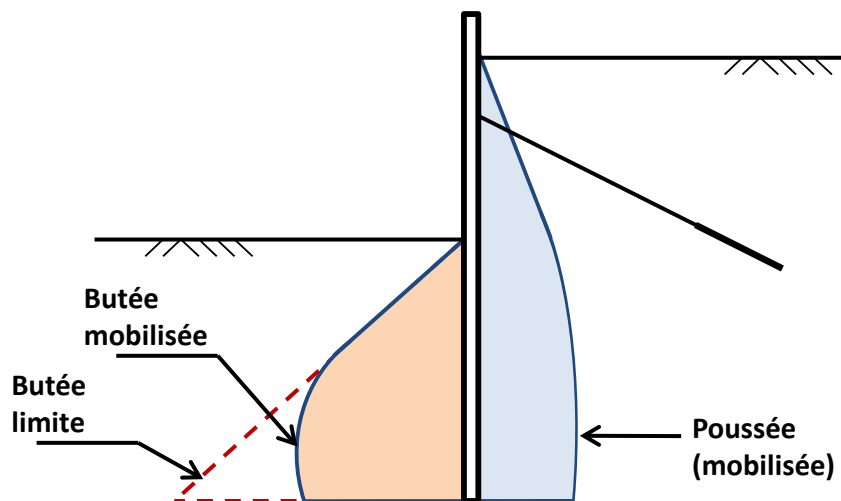


Figure C37 : Butées mobilisée et limite pour le modèle d'équilibre d'un écran ancré

Les valeurs de calcul des butées mobilisée et mobilisable sont définies à partir des relations suivantes :

$$B_{t,d} = \gamma_E \cdot B_{t,k} \qquad B_{m,d} = \frac{B_{m,k}}{\gamma_R}$$

Les valeurs de  $\gamma_E$  et  $\gamma_R$  sont précisées (pour chaque approche de calcul) dans le §C.4.1. En particulier, pour l'approche 2/2\* (NF P 94 282), les valeurs considérées par défaut dans AMRetain (modèle MISS) sont les suivantes :

Nature de la phase	$\gamma_E$	$\gamma_R$
Transitoire	1,35	1,10
Durable	1,35	1,40

Tableau C 6 : Exemple de pondération appliquée pour l'approche 2/2\*

### C.4.3.2. Cas particulier : phases où l'écran est en console

#### C.4.3.2.1. Principe

La norme NF P 94-282 impose l'utilisation d'un modèle aux équilibres limites pour les vérifications ELU des phases où l'écran est en console.

Ce modèle consiste, comme son nom l'indique, à examiner l'équilibre de l'écran, supposé parfaitement rigide (le calcul ne tient implicitement pas compte de la flexibilité propre de l'écran) en considérant que le sol des deux côtés de l'écran est à l'état limite de poussée/butée jusqu'à un certain point dit « point de transition ». Au-delà de celui-ci, le sol est supposé en état limite de contre-poussée à l'aval de l'écran, tandis qu'à l'amont, on s'assure que la contre-butée nécessaire à l'équilibre horizontal de l'écran est inférieure, avec une sécurité suffisante, à la contre-butée disponible sous le point de transition (voir Figure C38).

La définition du « point de transition » fait l'objet des paragraphes §C.4.3.2.3 et §C.4.3.2.4.

Avec les notations de la Figure C38, l'équilibre de l'écran fait intervenir le système des efforts suivants :

- $F_a$  : résultante horizontale du diagramme de poussée  $p_{a,d}$
- $F_b$  : résultante horizontale du diagramme de butée  $p_{b,d}$
- $F_{c_a}$  : résultante horizontale du diagramme de contre-poussée  $p_{c_{a,d}}$
- $F_{c_b}$  : résultante horizontale du diagramme de contre-butée disponible  $p_{c_{b,d}}$
- $\Delta U$  : résultante horizontale du diagramme de pressions différentielles d'eau  $u_a - u_b$

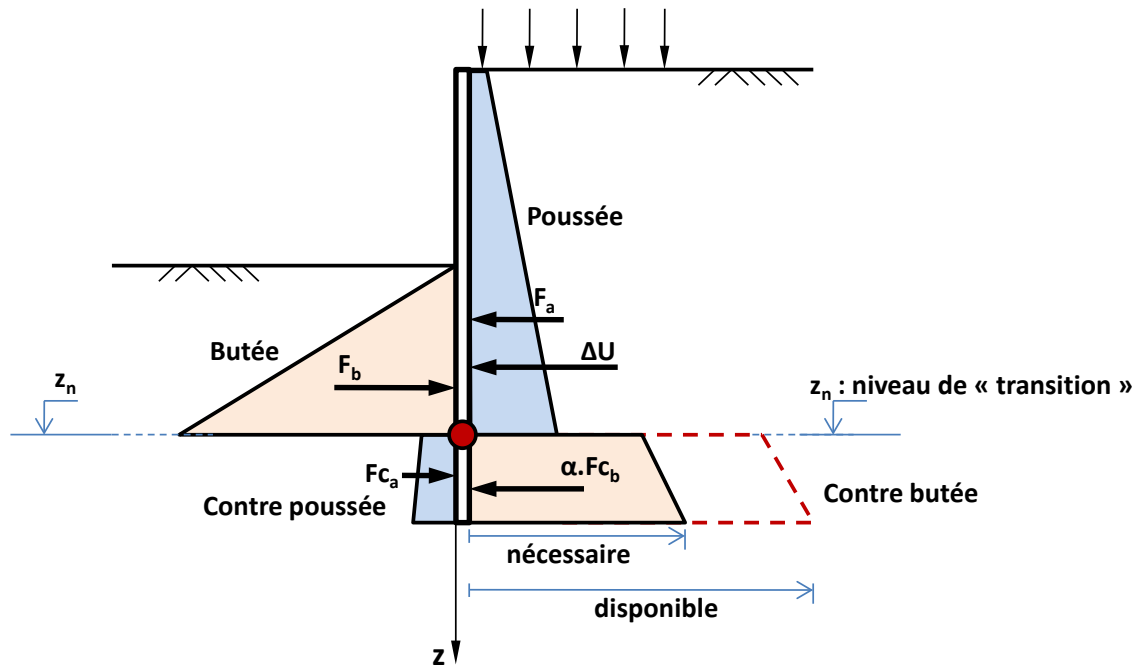


Figure C38 : Principe conventionnel du modèle d'équilibre limite (MEL)

Le facteur «  $\alpha$  » est appelé facteur de « mobilisation » de la contre-butée et est défini comme le rapport entre la contre-butée nécessaire à l'équilibre horizontal de l'écran et celle disponible (ou limite). Les diagrammes de pressions introduits ci-dessus sont exprimés en « valeurs de calcul » selon le système de pondération détaillé dans les §C.4.1. L'équilibre limite de l'écran prend également en compte les surcharges appliquées directement sur l'écran (force linéique, couple, surcharge trapézoïdale), également exprimées en valeurs de calcul.

Sur la base de ce modèle, et selon les dispositions de la norme NF P 94-282, on justifie la stabilité vis-à-vis du défaut de butée en procédant aux vérifications suivantes :

- Vérification de la fiche, qui consiste à s'assurer que la fiche disponible est supérieure, avec une sécurité suffisante, à la fiche minimale nécessaire à l'équilibre des moments.
- Vérification de la contre-butée, qui consiste à s'assurer que la contre-butée disponible sous le point de transition est suffisante pour équilibrer les efforts horizontaux. La mise en œuvre de cette vérification nécessite de déterminer la position du point de transition. Pour cela, deux modèles de calcul sont proposés dans AMRetain : approche D (appliquée par défaut) et approche F.

#### C.4.3.2.2. Vérification de la fiche

La vérification de la fiche de l'écran est basée sur la condition suivante (Figure C39) :

$$f_b \geq 1,20 f_0$$

Où :

- $f_b$  : fiche de l'écran « disponible » sous le point de pression différentielle nulle O ;
- $f_0$  : fiche minimale, sous le point de pression différentielle nulle O, nécessaire à l'obtention de l'équilibre des moments (au-dessus du point C).

Selon les notations de la Figure C39, on a :

$$f_b = (Z_P - Z_O) \text{ et } f_0 = (Z_C - Z_O).$$

La pression différentielle ainsi évoquée, notée  $p_d$ , désigne le diagramme résultant obtenu en superposant les valeurs de calcul des diagrammes de poussée, de butée et de pressions d'eau. On a donc, par définition (pour le cas où la fouille est située à gauche) :

$$P_d = P_{a,\text{droite}} - P_{b,\text{gauche}} + u_{\text{droite}} - u_{\text{gauche}}$$

La recherche du point C est menée en écrivant l'équation générale traduisant l'équilibre des moments par rapport à ce même point :

$$M(p_d)_C + M(S_d)_C = 0$$

Où :

- $M(p_d)_C$  : moment par rapport au point C, de la résultante du diagramme de pressions différentielles  $p_d$  (entre la tête de l'écran et le point C ;
- $M(S_d)_C$  : moment par rapport au point C, de la résultante des surcharges éventuelles appliquées directement sur l'écran entre sa tête et le point C.

La résolution de cette équation est menée par un processus de recherche dichotomique avec un critère d'arrêt relatif fixé par défaut à  $10^{-4}$ .

Sur la Figure C39, l'effort  $R_C$  désigne la résultante (valeur de calcul) des efforts horizontaux appliqués sur la hauteur comprise entre la tête de l'écran et le point C :

$$R_C = -R(p_d)_C - R(S_d)_C$$

Où :

- $R(p_d)_C$  : résultante du diagramme de pressions différentielles  $p_d$  sur la hauteur comprise en la tête de l'écran et le point C ;
- $R(S_d)_C$  : résultante des surcharges appliquées (en valeurs de calcul) directement sur l'écran entre sa tête et le point C.

La vérification de la contre-butée a pour objectif de s'assurer que la contre-butée disponible est suffisante pour reprendre l'effort  $R_C$ .

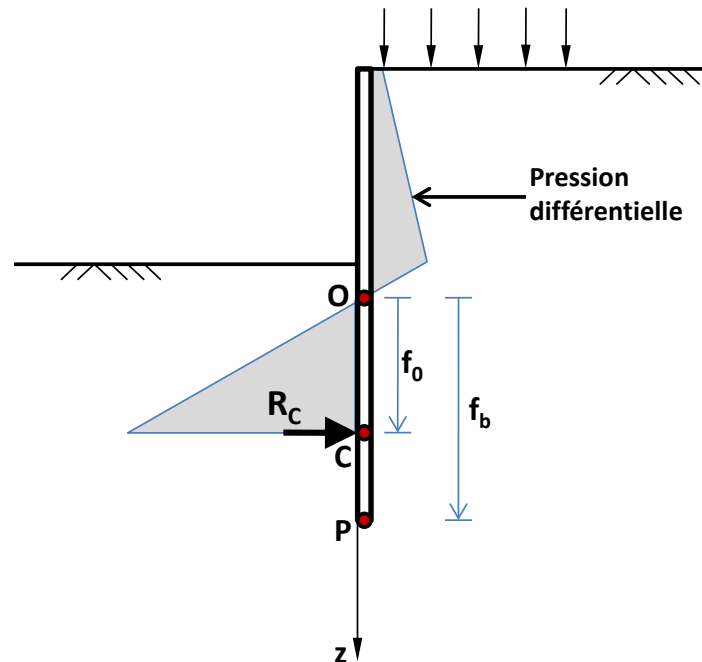


Figure C39 : Notions de fiches minimale  $f_0$  et disponible  $f_b$  selon le modèle MEL

### C.4.3.2.3. Vérification de la contre-butée avec « l'approche D »

L'approche D, appliquée par défaut dans AMRetain, permet de s'affranchir des hypothèses simplificatrices implicitement introduites dans les errements usuels, en recherchant rigoureusement le point de transition  $z_n$  pour assurer l'équilibre global à la fois des efforts et des moments sur toute la hauteur de l'écran (figure ci-dessous).

Dans ce modèle, la fiche (conventionnelle, comptée à partir du point O) de l'écran prise en compte dans le calcul peut être « paramétrée » selon trois options (figure ci-dessous) :

- Option 1      fiche de calcul = fiche réelle de l'écran (option par défaut) ;
- Option 2      fiche de calcul =  $1,2 \times f_0$  (recommandée si la fiche réelle est longue) ;
  - Option 3      fiche de calcul = valeur imposée par l'utilisateur.

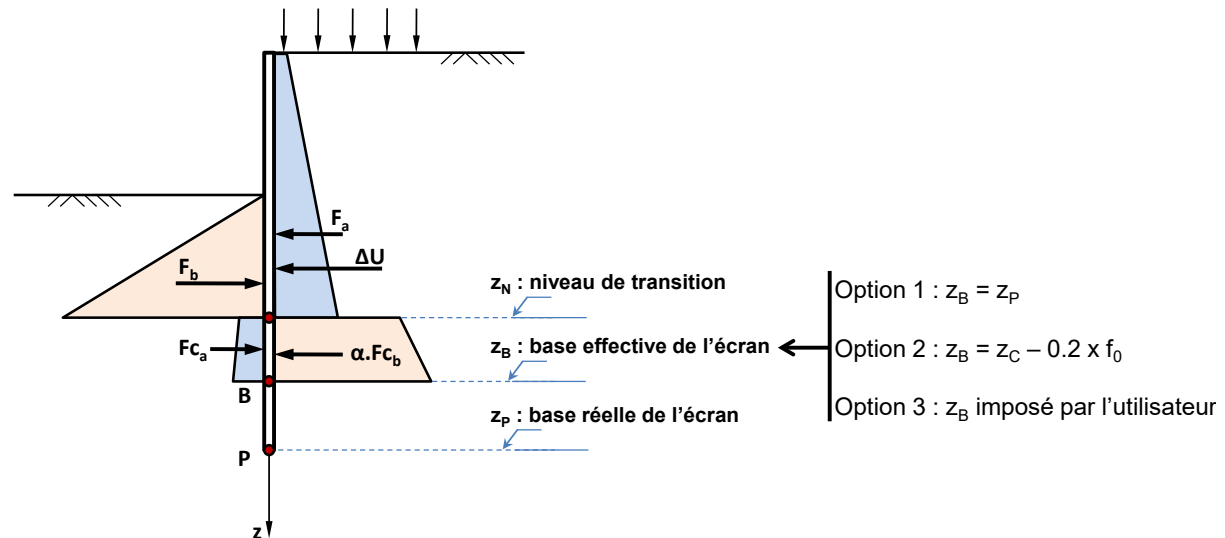


Figure C40 : Vérification de la contre-butée selon l'approche D

Selon les notations de la figure précédente, l'équilibre global de l'écran peut être traduit par un système de deux équations à deux inconnues ( $\alpha$ ,  $z_n$ ) :

- Equilibre des efforts :  $F_a - F_b + \alpha \cdot F_{c_b} - F_{c_a} + \Delta U + R(S_d) = 0$
- Equilibre des moments :  $M(F_a) - M(F_b) + \alpha \cdot M(F_{c_b}) - M(F_{c_a}) + M(\Delta U) + M(S_d) = 0$

Où :

- $F_a$ ,  $F_b$ ,  $F_{c_a}$ ,  $F_{c_b}$  sont respectivement les résultantes des diagrammes de poussée, butée, contre-poussée et contre-butée. Leurs valeurs sont fonctions de la position du point de transition  $z_n$  ;
- $M(F_a)$ ,  $M(F_b)$ ,  $M(F_{c_a})$ ,  $M(F_{c_b})$  sont respectivement les moments des efforts  $F_a$ ,  $F_b$ ,  $F_{c_a}$ ,  $F_{c_b}$  par rapport au point P (pied de l'écran). Leurs valeurs sont également fonctions de la position de  $z_n$  ;
- $\Delta U$  et  $M(\Delta U)$  respectivement la résultante du diagramme de pressions différentielles d'eau et le moment correspondant par rapport au point P. Leurs valeurs sont indépendantes de  $z_n$  ;
- $R(S_d)$  et  $M(S_d)$  respectivement la résultante et le moment par rapport à P des surcharges éventuelles (valeurs de calcul) appliquées directement sur l'écran.

La résolution de ce système d'équations est menée par un processus de recherche dichotomique avec un critère d'arrêt relatif fixé à  $10^{-4}$ . La mise en œuvre de cette approche permet ainsi d'obtenir simultanément la cote de transition  $z_n$  et le facteur  $\alpha$  permettant de vérifier la contre-butée à travers la condition :  $\alpha \leq 1$ .

#### C.4.3.2.4. Vérification de la contre-butée avec « l'approche F »

L'approche F est une méthode simplifiée qui consiste à assimiler la contre-butée mobilisée à une pression uniforme appliquée sur une longueur égale à  $0,2f_0$  de part et d'autre du point C, comme le montre la figure ci-dessous.

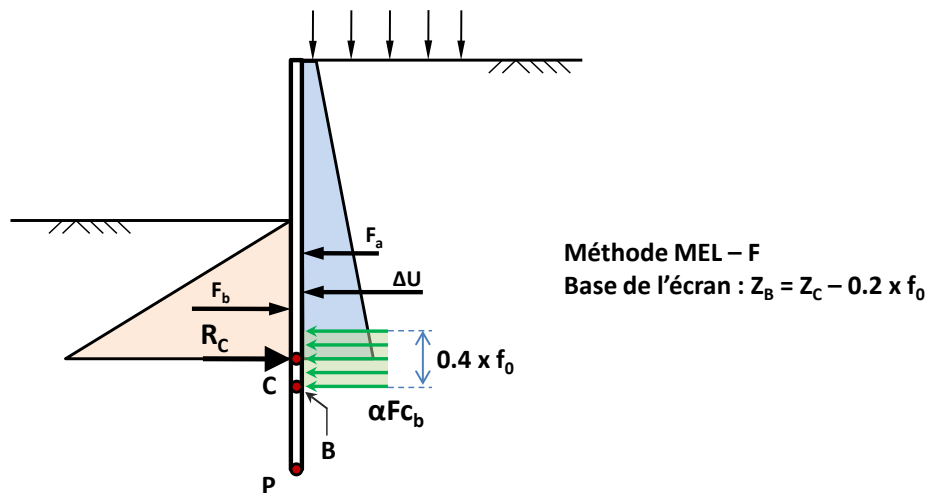


Figure C41 : Vérification de la contre-butée selon l'approche F

Ainsi, selon les notations de la figure ci-dessus, l'équilibre des efforts horizontaux se traduit par l'égalité :

$$R_C = \alpha \cdot F_{C_b} - F_{C_a} + \Delta U_{\text{inf}} + R(S_d)_P^C$$

Où :

- $R(S_d)_P^C$  : est la résultante des surcharges éventuelles, appliquées directement sur l'écran sous le point C ;
- $\Delta U_{\text{inf}}$  : est la résultante des pressions différentielles d'eau exercées sur l'écran sous le point C.

Le facteur de mobilisation «  $\alpha$  » est ainsi obtenu par la relation :

$$\alpha = \frac{R_C + F_{C_a} - \Delta U_{\text{inf}} - R(S_d)_P^C}{F_{C_b}}$$

#### C.4.4. Calcul des sollicitations ELU

Le calcul des sollicitations ELU est mené selon le même modèle ayant servi à la vérification du défaut de butée : MISS pour les phases où l'écran est ancré, MEL pour les phases où l'écran est considéré comme en console. La valeur de calcul des sollicitations dans l'écran et les ancrages est obtenue selon le formalisme suivant :

$$E_d = \gamma_E \cdot E_k$$

Pour rappel, dans le cas de l'approche 2/2\* (NF P 94 282), la valeur de  $\gamma_E$  est prise égale à :

- $\gamma_E = 1,35$  pour le modèle MISS établi par défaut sans pondération sur les actions permanentes et les résistances ;
- $\gamma_E = 1,00$  pour le modèle MEL établi par défaut avec pondération à la source des actions permanentes par 1,35 et des résistances par 1/1,10 ou 1/1,40.

A noter que dans le cas où l'approche 3 est utilisée, nous avons  $\gamma_E = 1,00$  pour les modèles MISS et MEL. Ceux-ci sont établis avec pondération à la source des paramètres de cisaillement par 1,25.

## C.4.5. Vérification de l'équilibre vertical

### C.4.5.1. Cas général

La vérification de l'équilibre vertical consiste à estimer la résultante verticale des efforts appliqués sur l'écran, et à vérifier son orientation (vers le haut si la résultante est négative, ou vers le bas si la valeur est positive). La résultante verticale des efforts, si elle est orientée vers le bas, doit ensuite servir de paramètre d'entrée pour vérifier la portance de l'écran (à l'aide de modèles de calcul spécifique non intégrés à AMRetain).

Cette vérification permet également de juger de la pertinence des valeurs considérées pour les inclinaisons de poussée/butée.

La valeur de calcul de la résultante verticale  $R_{v,d}$  des efforts appliqués sur l'écran est donnée par l'expression générale suivante :

$$R_{v,d} = P_d + P_{v,d} + F_{v,d} + T_{v,d}$$

Où :

- $P_d$  : poids total de l'écran ;
- $P_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante verticale des pressions des terres sur la hauteur de l'écran ;
- $F_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante verticale des surcharges extérieures inclinées s'exerçant sur l'écran ;
- $T_{v,d}$  : valeur de calcul de la résultante verticale des efforts dus aux ancrages inclinés connectés à l'écran.

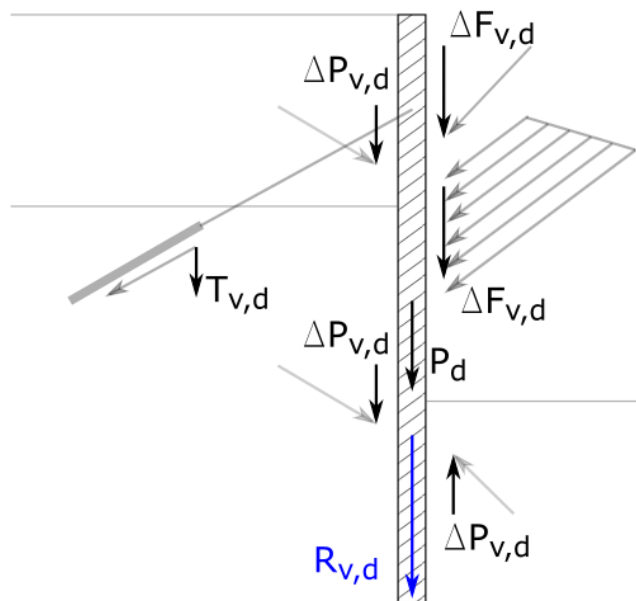


Figure C42 : Bilan des efforts verticaux s'exerçant sur l'écran

Il est à rappeler que AMRetain calcule, à l'ELS comme à l'ELU, l'effort axial (vertical) en chaque point de l'écran. La résultante verticale des efforts n'est autre que la valeur de cet effort axial au pied de l'écran :

$$R_{v,d} = N_{ELU}^{zz}(z = z_{base})$$

### C.4.5.2. Cas d'un écran en console

Dans le cas d'un écran en console, l'équilibre ELU de l'écran étant traité par un modèle aux équilibres limites, la composante verticale de la pression des terres s'obtient directement par projection selon les inclinaisons « limites » (et non intermédiaires) de poussée/butée renseignées par l'utilisateur.

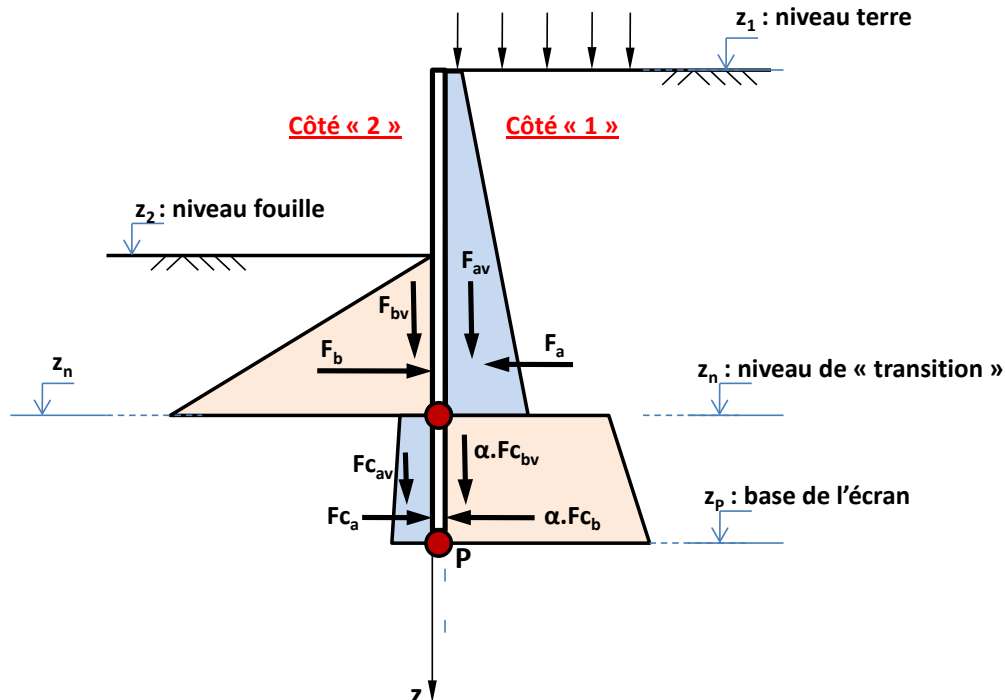


Figure C43 : Bilan vertical des efforts pour le cas d'un modèle d'équilibre limite (MEL).

Dans le cas où la résultante verticale obtenue est dirigée vers le haut, AMRetain offre la possibilité d'agir, de façon manuelle ou automatique, sur l'inclinaison des pressions de contre-butée de façon à obtenir un équilibre vertical « pertinent » (i.e. avec résultante vers le bas). En mode « automatique », cet ajustement est contrôlé par un facteur « Xcb » défini comme suit :

$$(\delta/\varphi)_{\text{contre-butée}} = X_{cb} \times (\delta/\varphi)_{\text{butée}}$$

Le facteur Xcb a une valeur initiale de 1,00 puis est diminué automatiquement (si nécessaire) jusqu'à l'obtention d'une résultante verticale vers le bas. Le processus s'arrête dans tous les cas quand Xcb atteint la valeur de -1,00.

A noter que la modification de l'inclinaison de la contre-butée implique celle des coefficients de contre-butée  $k_{p,cb}$  et  $k_{pc,cb}$  qui interviennent dans le calcul de la contre-butée disponible sous le point de transition  $z_n$ . Ces coefficients sont re-calculés automatiquement par le programme selon la méthode de calcul « de référence » désignée par l'utilisateur (par défaut « Kérisel et Absi »).

## C.4.6. Vérification de la stabilité du massif d'ancrage

### C.4.6.1. Principe général

Le principe général de la vérification est de s'assurer que les efforts d'ancrage (correspondant aux tirants d'ancrage uniquement) peuvent être transférés au massif de sol en toute sécurité, en vérifiant la stabilité de la surface de rupture à la base du massif de sol, et de montrer ainsi que la longueur de chaque tirant d'ancrage est suffisante.

Cette vérification est menée par défaut dans AMRetain selon l'approche « Kranz » simplifiée évoquée dans l'annexe G de la norme NF P 94 -282. Le caractère simplifié de la méthode (Cuiru et al. 2014) réside dans l'adoption d'une surface de rupture plane (CD) comme le montre la Figure C44.

Selon les notations de la Figure C44, le modèle de Kranz (1953) consiste à justifier la stabilité du massif ABCDA en s'assurant que l'effort d'ancrage dans le tirant demeure inférieur à une valeur limite correspondant à l'équilibre ultime du massif, appelée « effort déstabilisant ».

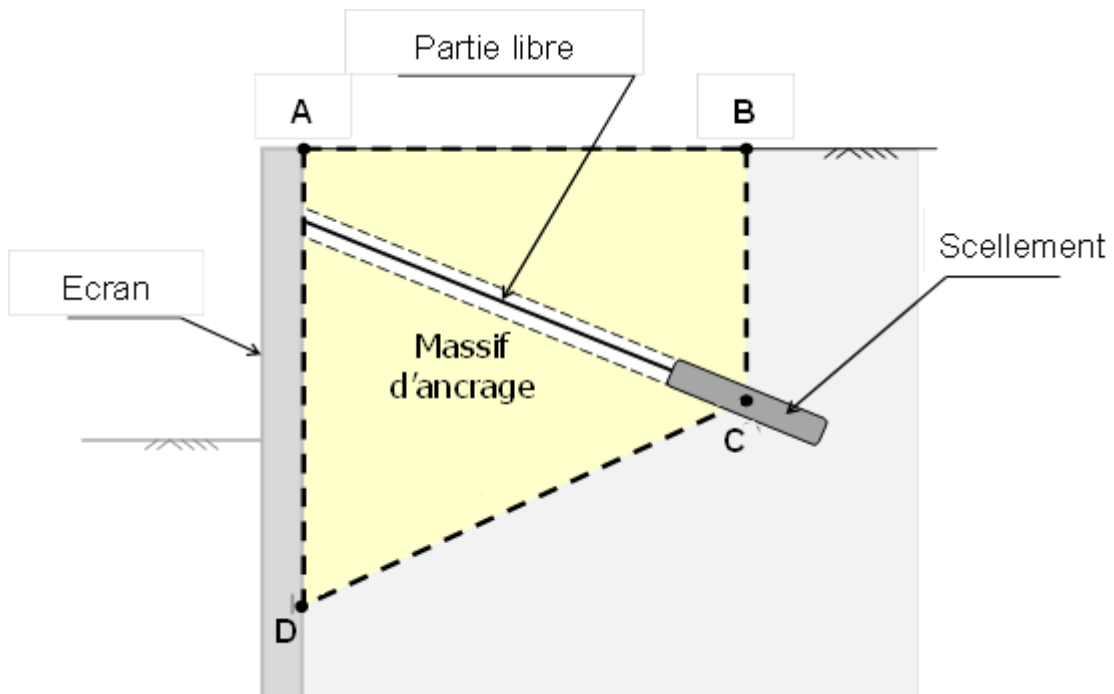


Figure C44 : Approche Kranz simplifiée – Schéma de principe

### C.4.6.2. Cas d'un seul tirant

#### C.4.6.2.1. Définition du massif d'ancrage

Le massif d'ancrage ABCDA objet de la vérification est délimité par les points suivants :

- **A** : tête de l'écran ou intersection de l'écran avec le toit de la première couche ;
- **D** : point d'effort tranchant nul (pris sous le fond de l'excavation) ;
- **C** : point d'ancrage effectif du tirant correspondant à la longueur utile du tirant  $L_u$  ;
- **B** : projection verticale du point C sur l'axe (AX) ;

#### C.4.6.2.2. Bilan des efforts extérieurs

La Figure C45 récapitule le bilan des efforts appliqués sur le massif ABCDA :

- $T_u$  : effort d'ancrage du tirant ;
- $P_1$  : réaction de l'écran, prise égale à la résultante des pressions de terres sur [AD] ;
- $P_2$  : effort de poussée exercé à l'amont du massif sur [BC] ;
- $W$  : poids du massif (humide au-dessus de la nappe, et déjaugé en-dessous). La nappe est supposée horizontale ;
- $F_e$  : résultante des surcharges (permanentes) appliquées sur ou dans le massif ;
- $R_c$  : résistance limite due à la cohésion mobilisable le long de [CD] ;
- $R_f$  : résistance limite due au frottement mobilisable le long de [CD].

L'équilibre limite du massif se traduit ainsi par l'équation vectorielle (figure ci-dessous) :

$$\vec{R}_c + \vec{R}_f + \vec{W} + \vec{F}_e + \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{T} = \vec{0}$$

Cet équilibre appelle plusieurs commentaires :

- L'effort  $F_e$  intègre uniquement la résultante des surcharges « permanentes ». Les surcharges variables s'appliquant entre A et B ne sont pas comptabilisées dans ce modèle étant donné leur caractère favorable vis-à-vis de la stabilité du massif ;
- L'effort de frottement  $R_f$  est incliné d'un angle égal à  $\varphi$  par rapport à la normale ;
- La composante horizontale de  $P_1$ , notée  $P_{1H}$ , est calculée directement par intégration des pressions horizontales mobilisées, résultat du calcul d'équilibre horizontal de l'écran. Sa composante verticale, notée  $P_{1V}$  est calculée avec la même démarche que celle considérée pour la vérification de l'équilibre vertical de l'écran (voir §C.4.5) ;
- L'effort de poussée amont  $P_2$  est supposé horizontal ( $P_{2V} = 0$ , approche sécuritaire). Sa composante horizontale  $P_{2H}$  est calculée directement à partir des caractéristiques des couches rencontrées entre B et C, et tenant compte des surcharges appliquées à l'amont du massif d'ancrage (permanentes et variables) ;
- Le calcul de l'effort  $R_c$  se fait par simple intégration de la cohésion du sol le long du segment [CD] tenant compte de sa variation éventuelle avec la profondeur.

Pour toute la suite, on désigne par  $T_{dsb}$  la valeur de T permettant de vérifier l'équation d'équilibre ci-dessus et d'atteindre donc l'équilibre limite du massif (effort d'ancrage déstabilisant).

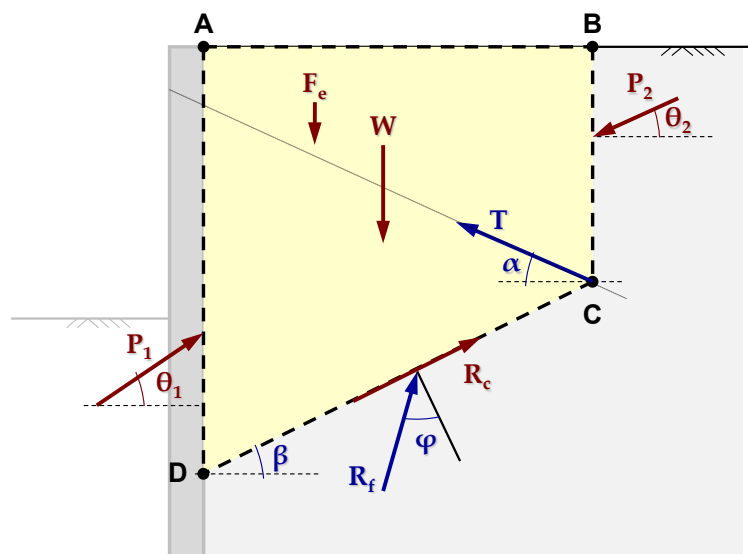


Figure C45 : Bilan schématique des efforts exercés sur le massif d'ancrage

### C.4.6.2.3. Discrétisation du massif d'ancrage

On se place dans le cas général où la surface de rupture supposée [CD] traverse plusieurs couches de sol. Dans ce cas, la résolution de l'équilibre limite du massif nécessite de discrétiser le massif (ABCD) en autant de blocs que de couches traversées, de sorte que la « base » d'un bloc donné soit « homogène ».

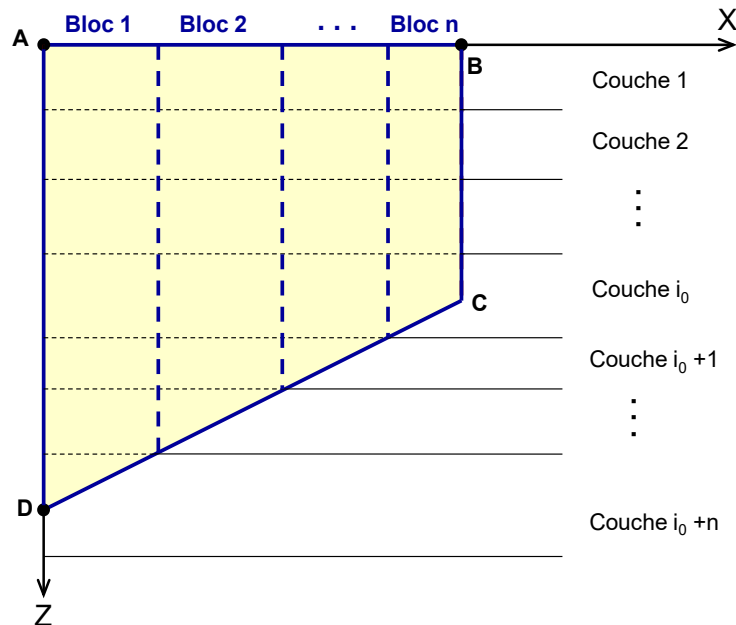


Figure C46 : Discrétisation du massif d'ancrage en plusieurs blocs

L'équilibre local d'un bloc « k » est régi par le système d'efforts suivants (figure ci-dessous) :

- $H_1^{(k)}$  et  $V_1^{(k)}$  réactions extérieures mobilisées sur la frontière verticale gauche ;
- $H_2^{(k)}$  et  $V_2^{(k)}$  réactions extérieures mobilisées sur la frontière verticale droite ;
- $W^{(k)}$  poids propre déjaugé ;
- $F_e^{(k)}$  résultante des surcharges extérieures appliquées dans le bloc k ;
- $R_c^{(k)}$  résistance due à la cohésion mobilisable le long du segment  $D^{(k)}C^{(k)}$  ;
- $R_f^{(k)}$  résistance due au frottement mobilisable le long du segment  $D^{(k)}C^{(k)}$ .

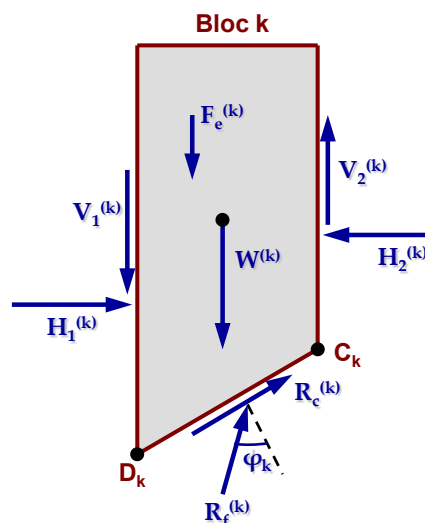


Figure C47 : Equilibre local d'un bloc – bilan des efforts

Dans la figure ci-dessus,  $\varphi_k$  désigne l'angle de frottement de la couche de sol rencontrée à la base du bloc « k ».

Par souci de simplification, on adopte l'hypothèse dite de Bishop qui consiste à supposer que les réactions « inter – blocs » sont horizontales, ce qui revient à considérer, selon les notations de la Figure C47 que :

$$V_1^{(k)} = 0 \text{ et } V_2^{(k)} = 0$$

Cette condition est valable uniquement le long des frontières « inter – blocs », une exception est donc à considérer pour le premier ( $k = 1$ ) et le dernier bloc ( $k = n$ ). On aboutit ainsi au schéma général de la figure ci-dessous :

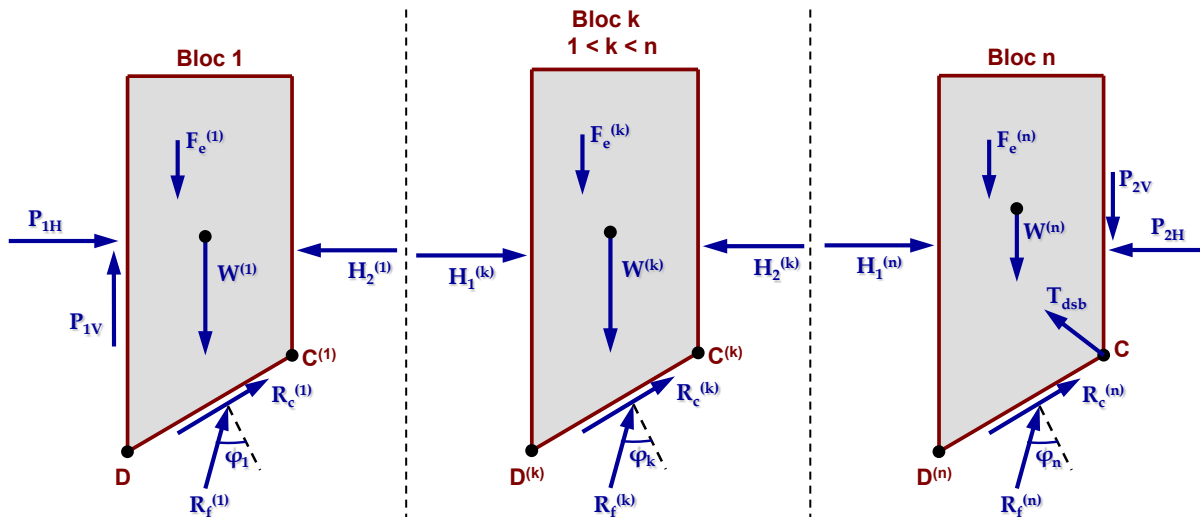


Figure C48 : Equilibres locaux des blocs tenant compte de l'hypothèse simplificatrice de Bishop

Il est à noter que du fait des coupures successives, l'effort d'ancrage  $T_{dsb}$  est pris en compte uniquement dans l'équilibre du dernier bloc (n). En réalité, comme la ligne d'action est unique, l'affectation de cet effort à l'un quelconque des blocs s'avère sans incidence.

**C.4.6.2.4. Résolution de l'équilibre général**

Pour une discrétisation en « n » blocs, la mise en équation des équilibres locaux conduit à un système de  $3n - 1$  équations à  $3n - 1$  inconnues. Plus précisément, le système d'équations est obtenu en projetant l'équilibre local de chaque bloc selon Ox et Oz (soit 2 équations par bloc) et en écrivant le principe d'action/réaction entre deux blocs joints se traduisant par :  $H_1^{(k)} = H_2^{(k-1)}$ .

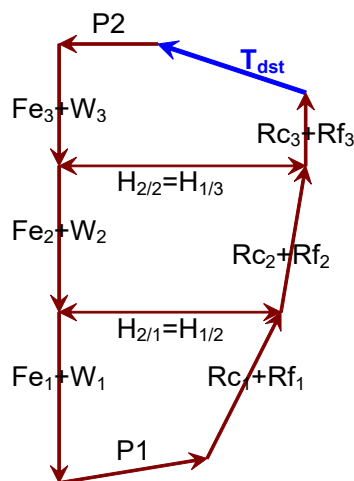


Figure C49 : Exemple de bilan des efforts pour le cas de 3 blocs

La résolution de ce système permet d'obtenir les valeurs de  $H_1^{(k)}$ ,  $H_2^{(k)}$ ,  $R_f^{(k)}$  et  $T_{dsb}$ .

#### C.4.6.2.5. Vérification

L'obtention de la valeur caractéristique de l'effort déstabilisant  $T_{dsb}$  permet de conduire la vérification de la stabilité du massif d'ancrage à l'ELU :

$$T_{réf,d} = \gamma_E \cdot T_{réf} \leq T_{dsb,d} = \frac{T_{dsb}}{\gamma_R}$$

Dans le cas de l'approche 2/2\* au sens de la norme NF P 94 282 :  $\gamma_R = 1,10$  et  $\gamma_E = 1,35$ .

#### C.4.6.3. Cas de plusieurs tirants

##### C.4.6.3.1. Principe général

On considère le cas d'un écran ancré par plusieurs lits de tirants comme le schématise la figure ci-dessous.

La vérification de la stabilité du massif d'ancrage est menée en examinant successivement la stabilité des massifs « associés » à chaque tirant tel que cela a été défini pour le cas d'un tirant unique. Ainsi pour chaque tirant « j », on examine la stabilité du massif  $AB_jC_jDA$  tenant compte des efforts d'ancrage de tous les tirants situés à l'intérieur de ce massif.

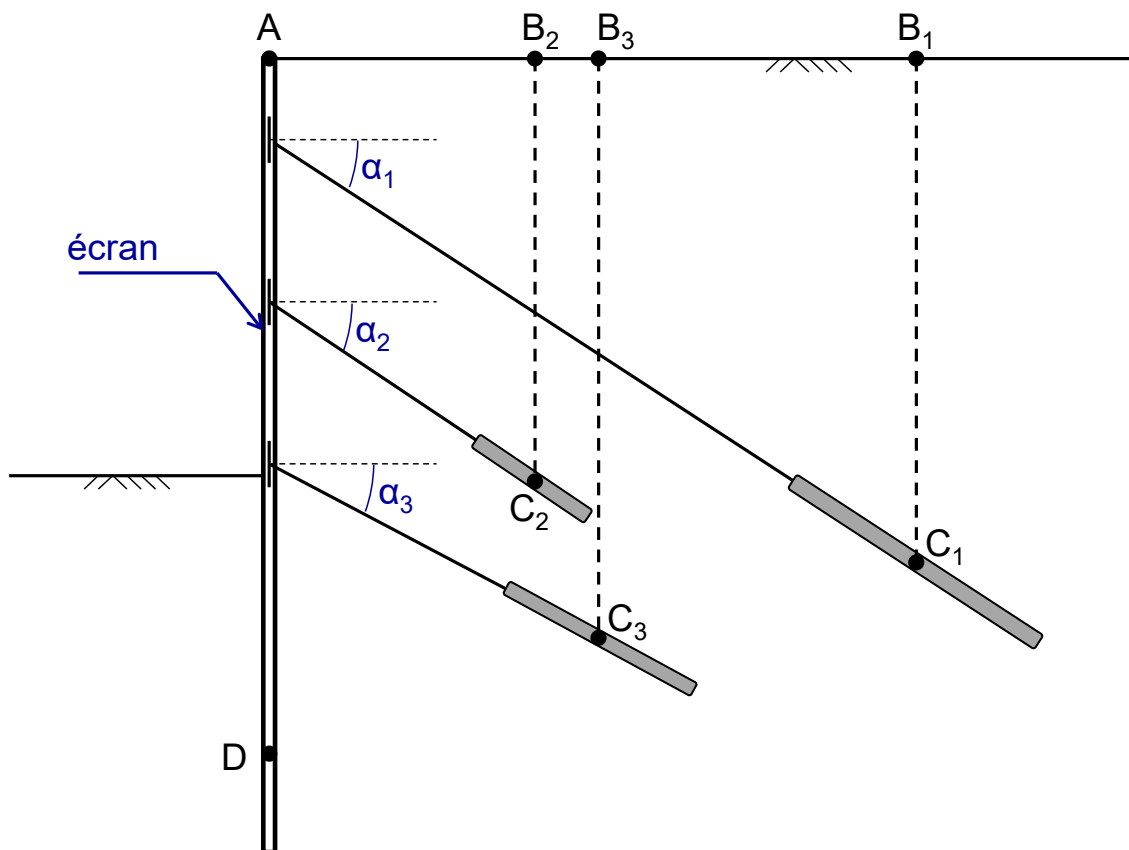


Figure C50 : Généralisation au cas de plusieurs lits de tirants

A titre d'exemple, pour le cas schématisé dans la figure ci-dessus, la vérification de la stabilité du massif d'ancrage consiste à examiner trois situations :

- Situation 1** : on isole le massif d'ancrage  $AB_1C_1DA$  associé au tirant « 1 ». Les points d'ancrage  $C_2$  et  $C_3$  sont situés à l'intérieur du massif, par conséquent les trois tirants sont pris en compte ;

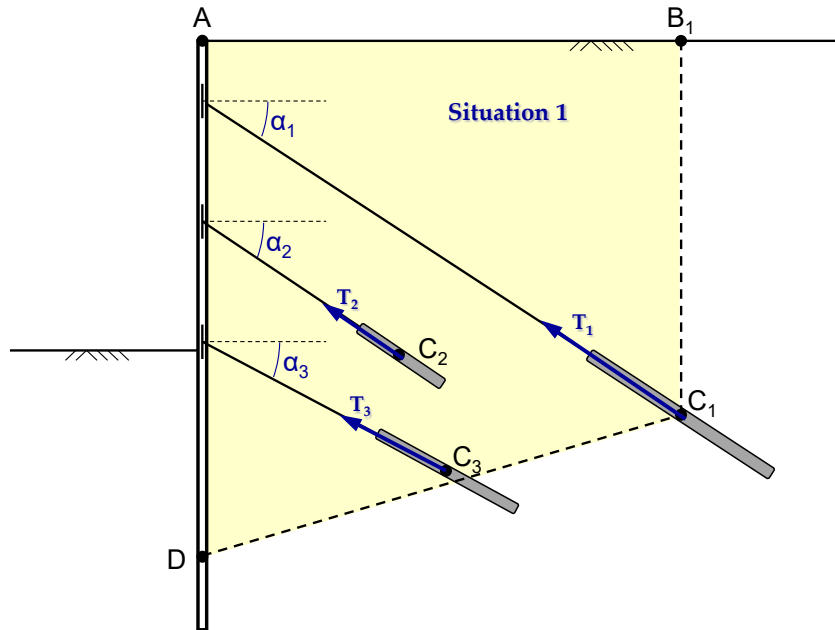


Figure C51 : Exemple d'application - Situation 01

- Situation 2** : on isole le massif d'ancrage  $AB_2C_2DA$  associé au tirant « 2 ». Les points d'ancrage  $C_1$  et  $C_3$  sont situés à l'extérieur du massif, par conséquent seul le tirant « 2 » est pris en compte ;

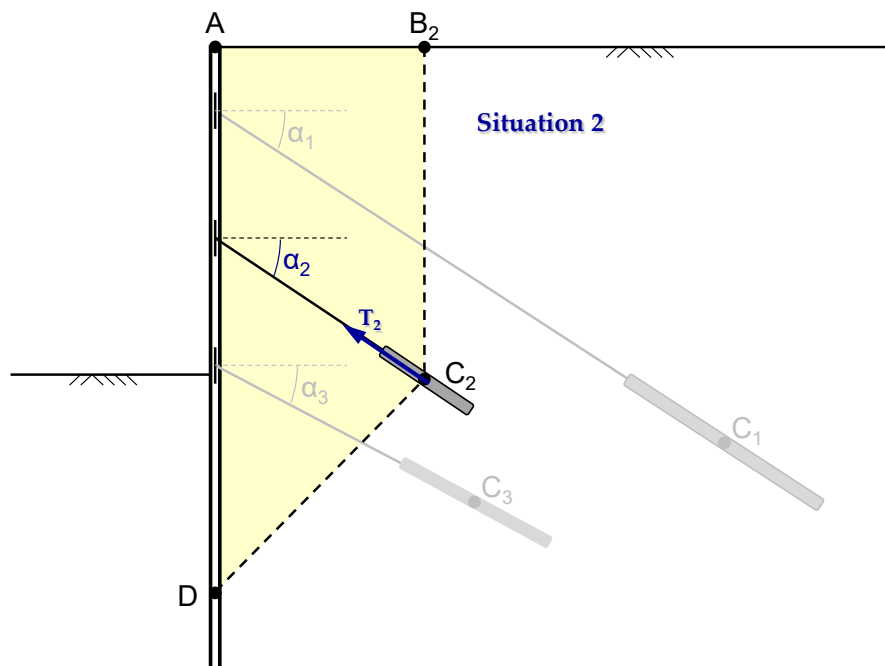


Figure C52 : Exemple d'application - Situation 02

- **Situation 3** : on isole le massif d'ancrage  $AB_3C_3DA$  associé au tirant « 3 ». Le point d'ancrage  $C_2$  est situé à l'intérieur du massif, tandis que  $C_1$  est situé à l'extérieur. Les tirants 2 et 3 sont donc pris en compte.

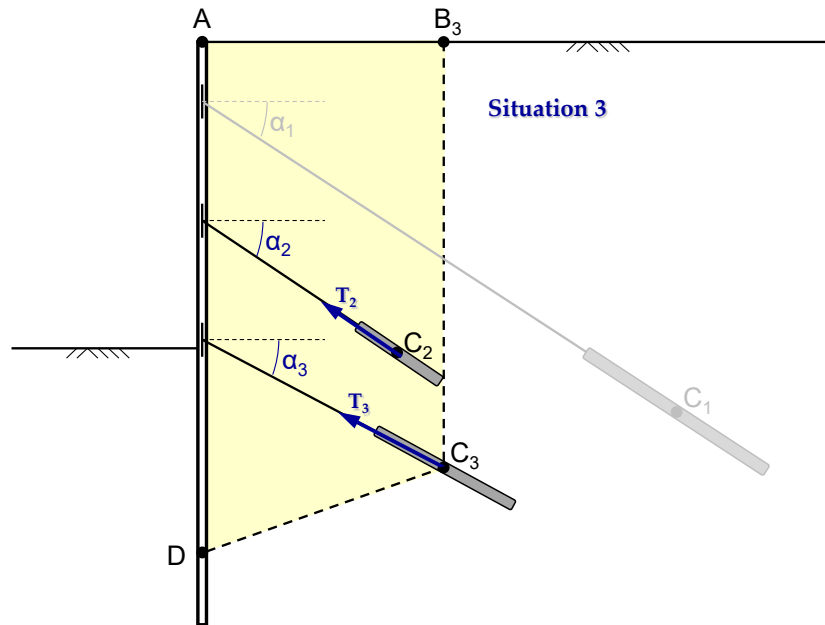


Figure C53 : Exemple d'application - Situation 03

Pour une situation donnée, la prise en compte ou non d'un tirant d'ancrage est contrôlée par la position relative de son point d'ancrage par rapport aux frontières du massif d'ancrage étudié. L'attention est attirée sur le cas où ce point d'ancrage, bien qu'il soit situé géométriquement en dehors du massif, se trouve à proximité des frontières BC ou CD, et auquel cas son influence ne peut être négligée. Le recours à l'option complémentaire présentée dans le paragraphe §C.4.6.3.4 permet de surmonter cette limitation.

#### C.4.6.3.2. Bilan des efforts

Pour une situation donnée, on calcule la résultante équivalente  $T_{eq}$  des efforts  $T_i$  repris par tous les tirants pris en compte dans cette situation. On désigne par  $\alpha_{eq}$  l'inclinaison de cet effort résultant par rapport à l'horizontale. Pour l'examen de la stabilité du massif d'ancrage associé à la situation considérée, on se ramène donc à un système d'équilibre similaire à celui considéré pour un seul tirant (figure ci-dessous), avec un tirant « fictif » incliné  $\alpha_{eq}$  par rapport à l'horizontale et reprenant un effort égal à  $T_{eq}$ .

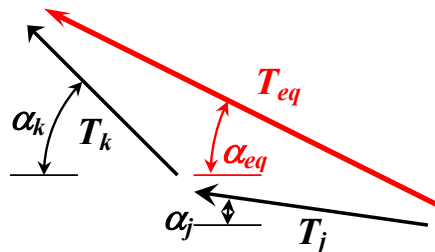


Figure C54 : Résultante d'un tirant fictif

C.4.6.3.3. Résolution

Pour chaque situation, la mise en équation se fait selon une démarche identique à celle suivie pour le cas d'un seul tirant. Pour une situation donnée, la résolution du système d'équilibre fournit la valeur caractéristique de l'effort déstabilisant  $T_{dsb,k}$  du massif d'ancrage associé. Sa valeur de calcul  $T_{dsb,d}$  prise égale à  $T_{dsb} / \gamma_R$  est ensuite comparée à la valeur de calcul de l'effort d'ancrage de référence équivalent  $T_{réf,d} = \gamma_E \times T_{eq}$ .

La stabilité du massif d'ancrage est justifiée si pour toutes les situations, on a :  $T_{réf,d} \leq T_{dsb,d}$ .

C.4.6.3.4. Prise en compte de la longueur de scellement

En complément de la démarche présentée ci-dessus, il est possible de « matérialiser » la longueur de scellement «  $L_s$  » de chaque tirant dans la gestion des tirants à prendre en compte pour le calcul de l'effort d'ancrage de référence. Ainsi, pour un massif d'ancrage donné, on distingue, pour chaque tirant «  $i$  », trois configurations (Figure C55) :

- Configuration 1 : le point d'ancrage  $C_i$  (= milieu du scellement) est situé à l'intérieur du massif, dans ce cas l'effort du tirant «  $i$  » est intégralement pris en compte ;
- Configuration 2 : la tête du scellement  $S_i$  est située à l'extérieur du massif, dans ce cas le tirant «  $i$  » n'est pas pris en compte ;
- Configuration 3 : cas intermédiaire,  $S_i$  à l'intérieur,  $C_i$  à l'extérieur du massif. L'effort du tirant «  $i$  » est alors partiellement pris en compte au prorata du rapport  $S_i R_i / S_i C_i$ , où  $R_i$  désigne le point d'intersection du scellement avec la frontière extérieure du massif.

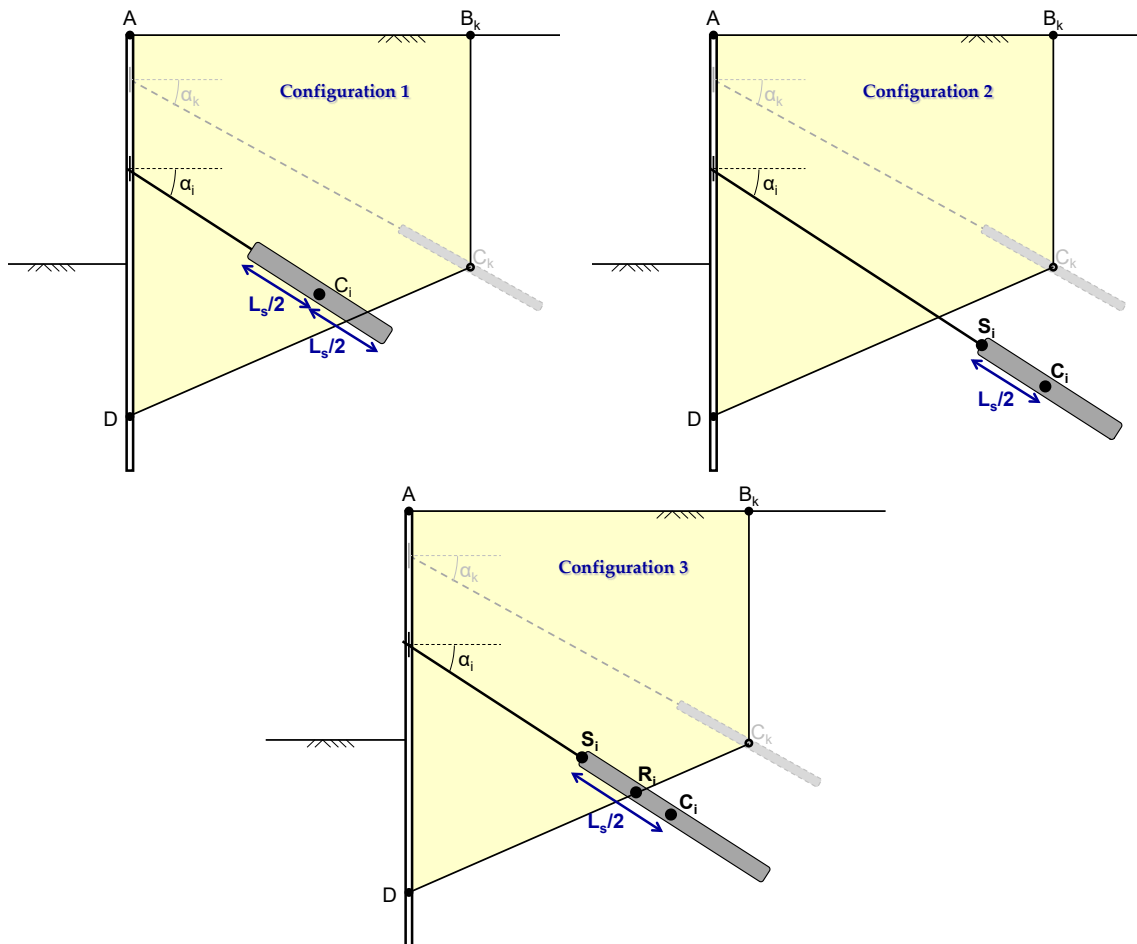


Figure C55 : Les 3 configurations possibles pour un tirant vis-à-vis du massif d'ancrage

Avec les notations ci-dessus, l'effort d'ancrage de référence pris en compte dans une situation donnée est calculé selon la formule suivante :

$$\vec{T}_{réf} = \sum_i \min\left(\frac{S_i R_i}{S_i C_i}; 1\right) \cdot \vec{T}_i = \sum_i \frac{\min(2S_i R_i; L_s^i)}{L_s^i} \cdot \vec{T}_i$$

#### C.4.6.4. Prise en compte du séisme

Le modèle décrit précédemment peut être aisément adapté en introduisant les forces d'inertie qui résultent d'une action sismique affectant le massif du sol.

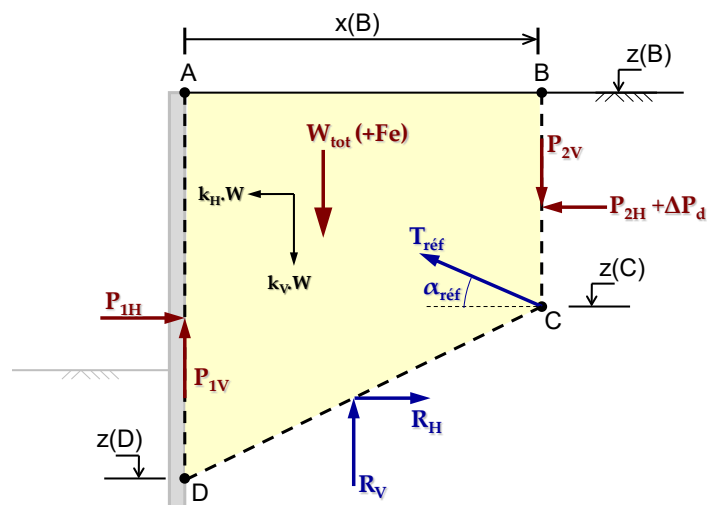


Figure C56 : Modèle Kranz - Prise en compte du séisme

Avec les notations de la figure ci-dessus, ces forces d'inertie impacte l'équilibre comme suit :

- Prise en compte d'un incrément dynamique dans l'évaluation des forces de poussée à l'amont ( $P_{2H}$  et  $P_{2V}$ ), ce qui modifie le bilan du dernier bloc ;
- Introduction des forces d'inertie verticale et horizontale (proportionnelles au poids) dans l'équilibre élémentaire de chaque bloc.

La résolution de l'équilibre limite met en évidence un effet exclusivement défavorable du séisme avec une réduction systématique de la sécurité disponible entre l'effort d'ancrage déstabilisant et celui nécessaire à l'équilibre de l'écran.

#### C.4.6.5. Cas d'un projet double écran

##### C.4.6.5.1. Système de type « rideau ancré sur contre-rideau »

Le modèle Kranz, tel que détaillé dans les paragraphes précédents pour le cas d'un écran ancré par un ou plusieurs tirants scellés, peut être adapté au cas d'un système d'écran principal ancré sur un écran secondaire comme le schématise la figure ci-dessous.

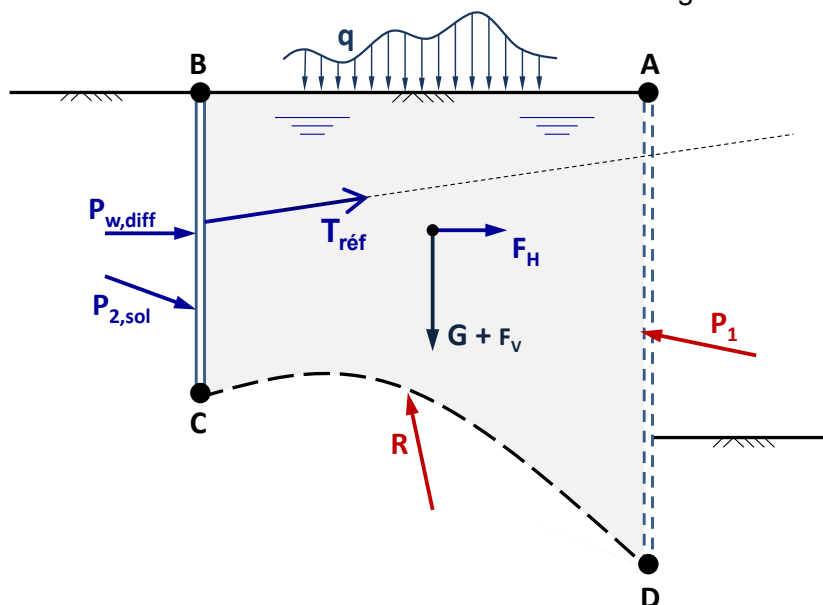


Figure C57 : Equilibre limite du massif d'ancrage pour un projet de double écran

Le cas d'un double écran requiert les adaptations suivantes :

- Géométrie du massif : la frontière amont du massif correspond à la face arrière du contre rideau. Le point C est confondu avec le pied du contre-rideau si celui-ci est court et plus généralement avec le point d'effort tranchant nul du contre-rideau ;
- La force d'ancrage de référence ( $T_{réf}$ ) correspond à la somme vectorielle de l'ensemble des efforts d'ancrage mobilisés dans les tirants de liaisons et ceux dont le scellement est situé (au moins partiellement) à l'intérieur du massif d'ancrage ABCD ;
- L'effort de poussée amont (P2) représente la résultante des forces extérieures au massif s'appliquant sur le contre-rideau. Cela inclut d'une part la poussée du sol à l'arrière du massif ainsi que la pression différentielle d'eau entre les deux côtés de l'écran.

$$\vec{P}_2 = \vec{P}_{2,sol} + \vec{P}_{w,diff}$$

Ces adaptations sont appliquées automatiquement par le moteur de calcul de AMRetain.

**C.4.6.5.2. Cas d'un double ancrage**

AMRetain permet également de traiter les projets de double-écran à « double ancrage » comme le schématise la figure ci-dessous : un écran principal (1) ancré sur un écran secondaire (2), lui-même ancré par un tirant scellé. Les points « C » et « D » désignent les points d'effort tranchant nul respectivement au niveau des écrans 1 et 2.

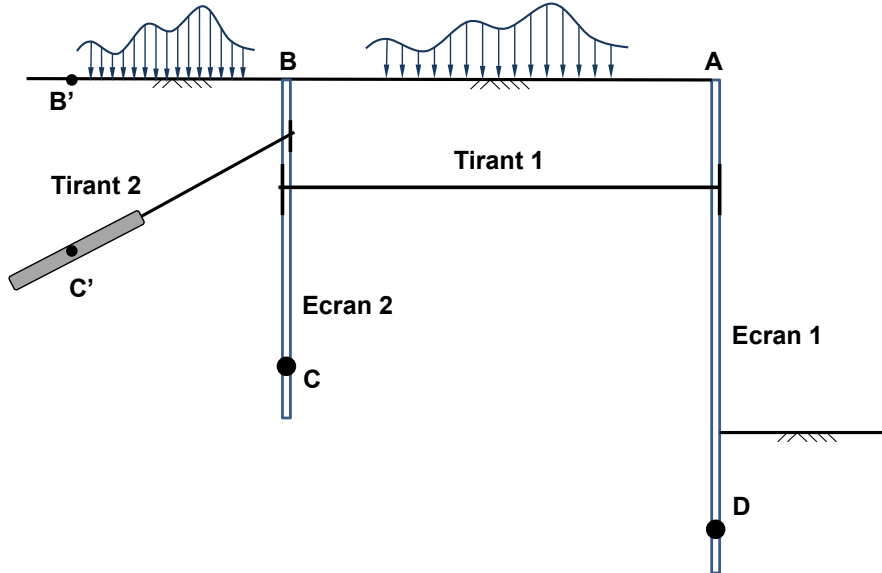


Figure C58 : Équilibre limite du massif d'ancrage pour un projet de double écran à double ancrage

Dans ce cas, AMRetain examine (au moins) deux configurations correspondant chacune à un massif d'ancrage :

- Massif d'ancrage ABCD associé à l'écran principal, dont l'effort déstabilisant est comparé (après pondération) à l'effort repris par le tirant de liaison (tirant 1). Pour cette configuration, l'effort mobilisé par le tirant « 2 » scellé est déduit de l'effort de poussée amont (P2) s'appliquant à arrière du massif ;

$$\vec{P}_2 = \vec{P}_{2,sol} - \vec{T}_2$$

- Massif d'ancrage BCC'B' associé à l'écran secondaire, dont l'effort déstabilisant est comparé (après pondération) à l'effort repris par le tirant scellé (2).

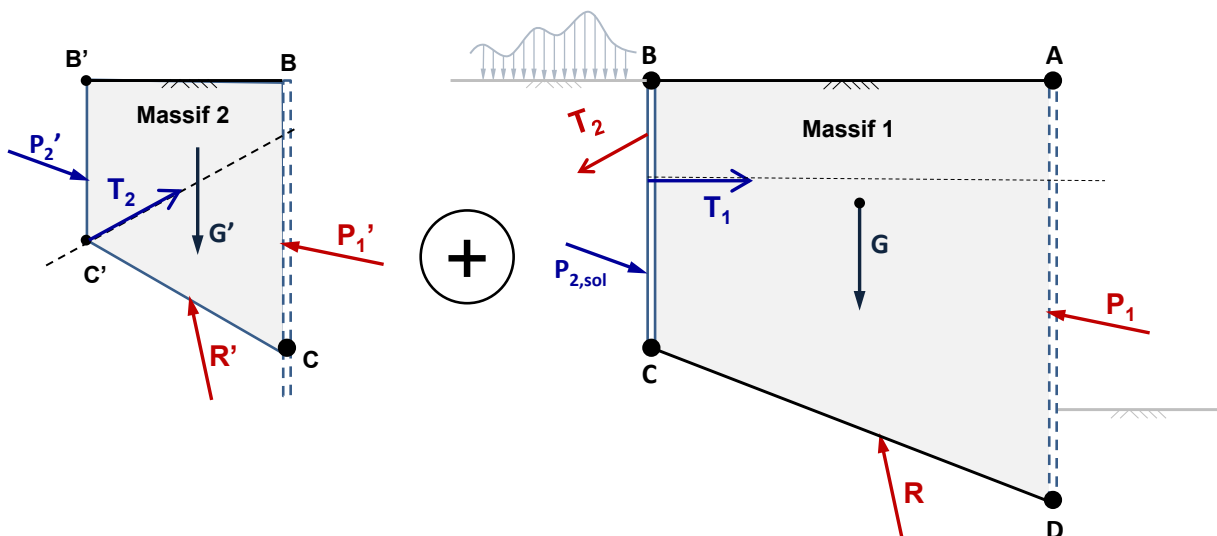


Figure C59 : Massifs d'ancrage considérés dans le cas d'un système de double-écran à double ancrage

C.4.6.5.3. Cas d'une surface en arc de spirale logarithmique (Jelinek)

AMRetain permet l'analyse de la stabilité du massif d'ancrage en considérant une surface de rupture à la base de type spirale logarithmique (méthode Jelinek).

Les actions agissant sur le bloc sont les mêmes que décrites auparavant pour le cas d'une surface plane (Kranz). L'analyse est basé sur l'équilibre limite de moments par rapport au pôle de la surface en arc de spirale logarithmique.

Le formalisme consiste à évaluer le moment déstabilisant du massif associé à la situation d'équilibre limite et de le comparer au moment généré par l'effort mobilisé dans le tirant.

$$M_W + M_{Séisme} + M_{P1} + M_{P2} + M_{Rc} + M_{Surcharges} + M_{Tirant} = 0$$

Le programme cherche à minimiser le rapport de moments ( $\beta$ ), mathématiquement exprimé comme suit :

$$\beta = \frac{M_W + M_{Séisme} + M_{P1} + M_{P2} + M_{Rc} + M_{Tirant}}{M_{Tref}}$$

L'effort déstabilisant est retrouvé à partir de l'effort Tref :

$$T_{dsb} = \beta_{min} T_{ref}$$

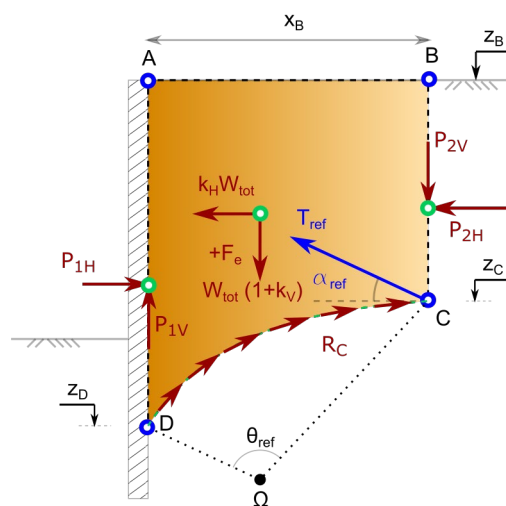


Figure C60 : Équilibre du massif d'ancrage avec précision des points d'application

## C.5. Bases théoriques utilisées pour les différents assistants à la saisie de données

Ce chapitre décrit les bases théoriques utilisées pour les différents assistants proposés à l'utilisateur. La manipulation de ces assistants est décrite dans la partie B du manuel (manuel d'utilisation).

**ATTENTION** : LES ASSISTANTS SONT UNE AIDE APPOREE A L'UTILISATEUR MAIS LEUR UTILISATION RESTE DE LA RESPONSABILITE DE L'UTILISATEUR.

### C.5.1. Assistants relatifs aux caractéristiques des sols

#### C.5.1.1. Le coefficient $k_0$

L'assistant  $k_0$  (**Jaky**) calcule la valeur du coefficient des terres au repos  $k_0$  par la formule suivante :

$$k_0 = (1 + \sin \beta)(1 - \sin \varphi)\sqrt{\text{OCR}}$$

Avec :

- $\beta$  : inclinaison du terrain [°] ;
- $\varphi$  : angle de frottement du sol [°] ;
- OCR : rapport de surconsolidation.

#### C.5.1.2. Les coefficients $k_d$ et $k_r$

Les coefficients de décompression  $k_d$  et de recompression  $k_r$  permettent de prendre en compte les variations des contraintes horizontales que le sol exerce sur l'écran dues aux chargements et déchargements de ce sol, en modifiant la pression initiale à déplacement nul et les valeurs des paliers de plasticité.

- Dans le cas général, pour un sol normalement consolidé, de comportement drainé, on peut prendre  $k_d = k_r \approx k_0$ .
- Dans le cas d'un sol surconsolidé, dont le comportement peut être assimilé à celui d'un matériau élastique, on peut prendre  $k_d = k_r = \frac{v_{ur}}{1 - v_{ur}} < k_0$
- Dans le cas d'un sol normalement consolidé de comportement non drainé (solicitations trop rapides vis-à-vis de la perméabilité du sol), on a alors  $k_d = k_r \approx 1 \geq k_0$  ( $v_{ur} \sim 0,5$ ).

L'article référencé en [6] propose une formule de calcul pour le coefficient  $k_d$  en fonction de la valeur du paramètre OCR.

L'attention est attirée sur l'influence importante que peuvent avoir les valeurs attribuées à ces paramètres pour le dimensionnement (notamment pour le cas de structures très hyperstatiques).

### C.5.1.3. Les coefficients $k_{ay}$ et $k_{py}$

3 assistants sont proposés dans AMRetain pour la détermination des coefficients  $k_{ay}$  et  $k_{py}$  de poussée et butée des terres.

#### C.5.1.3.1. Assistant « Tables de poussée et de butée des terres de Kerisel et Absi »

Cet assistant est la reproduction fidèle des tables établies par Kerisel et Absi, éditées par les Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, sous le titre « Tables de poussée et butée des terres de Kerisel et Absi » [1]. C'est l'assistant utilisé en « mode automatique ».

#### C.5.1.3.2. Assistant « Poussée et butée des terres selon la formule de Coulomb »

Cet assistant affiche le résultat du calcul des formules de Coulomb extraites des Techniques de l'ingénieur - Construction - C242 - « Ouvrages de soutènement, poussée et butée » rédigé par F. Schlosser [2] :

$$k_{ay,\delta} = \frac{\cos^2(\lambda - \phi)}{\cos(\lambda + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\lambda + \delta) \cos(\lambda - \beta)}} \right]^2}$$

$$k_{py,\delta} = \frac{\cos^2(\lambda + \phi)}{\cos(\lambda + \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \beta)}{\cos(\lambda + \delta) \cos(\lambda - \beta)}} \right]^2}$$

avec :

- $\phi$  angle de frottement [°] ;
- $\beta$  inclinaison de la surface libre par rapport à l'horizontale [°] ;
- $\lambda$  angle de l'écran avec la verticale (par défaut 0) [°] ;
- $\delta/\phi$  rapport de l'obliquité des contraintes sur l'angle de frottement.

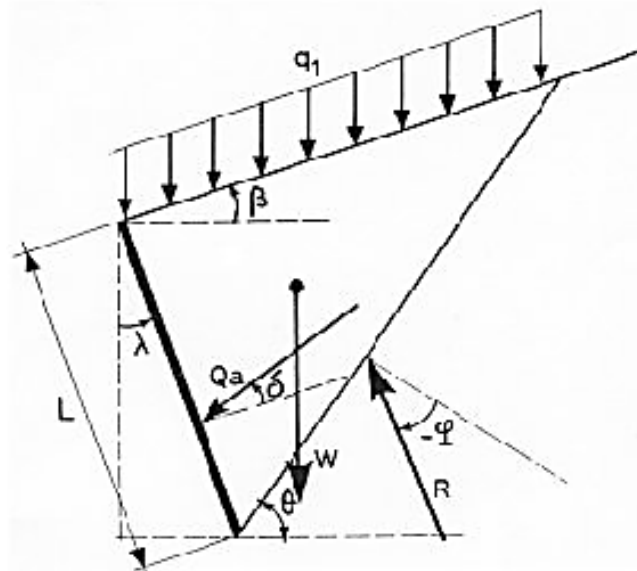


Figure C61 : Données pour la formule de Coulomb

Les coefficients  $k_{ay,\delta}$  et  $k_{py,\delta}$  correspondent aux valeurs des coefficients de poussée et butée inclinées de  $\delta_a$  et  $\delta_p$ . L'assistant fournit ensuite les valeurs  $k_{ay}$  et  $k_{py}$  des coefficients de poussée et butée horizontales.

### C.5.1.3.3. Assistant « Poussée et butée des terres selon la formule de Rankine »

Cet assistant est disponible sous 2 formes différentes :

- L'assistant Rankine simplifié correspondant au bouton « Rankine » sur la boîte de dialogue principale de saisie des caractéristiques des sols : cet assistant calcule les valeurs de  $k_{ay}$  et  $k_{py}$  par la formule de Rankine avec une surface libre horizontale et transfère automatiquement les valeurs dans la case correspondante telle que :

$$k_{ay} = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \text{ et } k_{py} = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right).$$

Avec  $\varphi$  l'angle de frottement (°).

- L'assistant Rankine permettant de prendre en compte l'inclinaison du talus, accessible par le bouton «  $k_{ay}/k_{py}$  » sur la boîte de dialogue principale de saisie des caractéristiques des sols, puis le choix « Rankine » : cet assistant affiche le résultat des formules de Rankine pour un mur de soutènement avec un talus incliné en tête extraites des Techniques de l'ingénieur - Construction - C242 - « Ouvrages de soutènement, poussée et butée » rédigé par F. Schlosser [2] et rappelées ci-dessous :

$$k_{ay} = \left[ \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \right] \cos \beta$$

$$k_{py} = \left[ \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \right] \cos \beta$$

Avec :

- $\varphi$  : angle de frottement [°] ;
- $\beta$  : inclinaison de la surface libre par rapport à l'horizontale [°].

### C.5.1.4. Les coefficients $k_{ac}$ et $k_{pc}$

Il s'agit des coefficients de poussée/butée appliqués sur le terme de cohésion :

- Poussée limite  $k_{ac} = \frac{1}{\tan \varphi} \left[ \frac{\cos \delta_a - \sin \varphi \cos \alpha}{1 + \sin \varphi} e^{-(\alpha - \delta_a) \tan \varphi} \cos \delta_a - 1 \right]$
- Butée limite  $k_{pc} = \frac{1}{\tan \varphi} \left[ \frac{\cos \delta_p + \sin \varphi \cos \alpha}{1 - \sin \varphi} e^{(\alpha + \delta_p) \tan \varphi} \cos \delta_p - 1 \right]$

Avec  $\sin \alpha = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi}$ .

### C.5.1.5. Le coefficient $k_h$

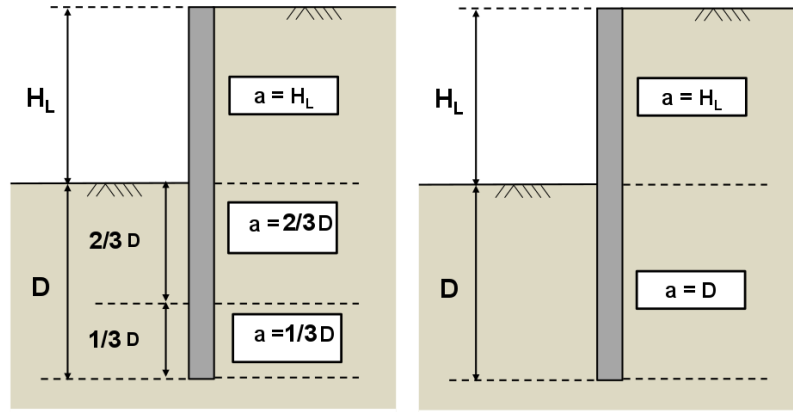
#### La formule de Balay

La formule de Balay [4] repose sur la formule suivante :

$$k_h = \frac{E_m}{\left(\frac{\alpha \cdot a}{2}\right) + 0,133 \cdot (9 \cdot a)^\alpha}$$

avec :

- $E_m$  : module pressiométrique [kN/m<sup>2</sup>] ;
- $\alpha$  : paramètre rhéologique (voir aussi le chapitre B.3.2.4) ;
- $a$  : paramètre dimensionnel [m].



Cas où  $D < H_L$                       Cas où  $D \geq H_L$   
 Figure C62 : Paramètre a pour la formule de Balay

La formule de Schmitt

La méthode de calcul de Schmitt [5] repose sur la formule simplifiée suivante :

$$k_h = \frac{2,0 \cdot \left(\frac{E_m}{\alpha}\right)^{\frac{4}{3}}}{(EI)^{\frac{1}{3}}}$$

avec :

- $E_m$  : module pressiométrique [kN/m<sup>2</sup>] ;
- $\alpha$  : paramètre rhéologique (voir aussi le chapitre B.3.2.4).

Les abaques de Chadeisson

Les abaques de Chadeisson [6] fournissent la valeur de  $k_h$  en fonction de l'angle de frottement du sol et de sa cohésion.

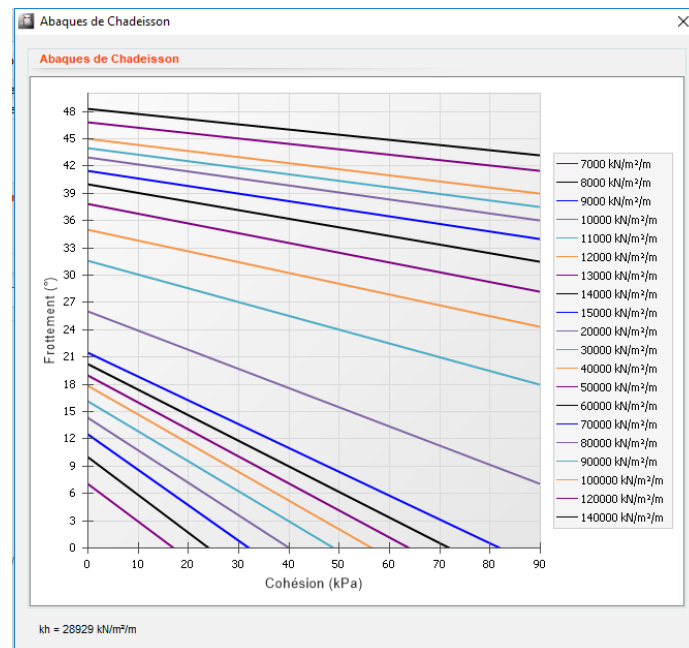


Figure C63 : Abaques de Chadeisson

## C.5.2. Assistants relatifs aux caractéristiques des ancrages

### C.5.2.1. Assistant tirant

Cet assistant permet de définir la raideur et la précontrainte par unité de longueur d'un lit de tirants scellés.

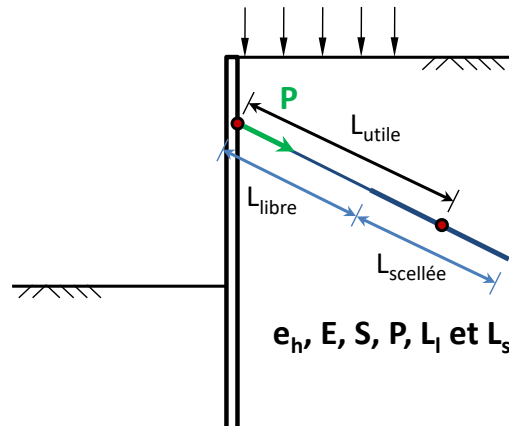


Figure C64 : Schéma d'un lit de tirants scellés

Un lit de tirants est assimilé à un ressort équivalent caractérisé par :

- Une raideur axiale par unité de longueur :

$$K_{\text{axiale}} = \frac{ES}{L_u e_h}$$

- Une précontrainte (axiale) par unité de longueur :

$$P_{\text{axiale}} = \frac{P_t}{e_h}$$

Avec :

- $e_h$  : espacement horizontal des tirants (m) ;
- $E$  : module d'Young du tirant ( $\text{kN/m}^2$ ) ;
- $S$  : section du tirant ( $\text{m}^2$ ) ;
- $P_t$  : précontrainte appliquée sur un tirant (kN) ;
- $L_u$  : longueur utile du tirant (m).

La longueur utile d'un lit de tirants scellés est définie conventionnellement comme suit :

$$L_u = L_{\text{libre}} + \frac{L_{\text{scellée}}}{2}$$

Il est à noter que pour un tirant incliné de  $\alpha$  par rapport l'horizontale, la projection de la raideur axiale conduit à une raideur horizontale équivalente égale à :

$$K_{\text{horiz}} = (\cos \alpha)^2 \cdot K_{\text{axiale}}$$

C'est cette raideur qui est prise en compte dans l'équilibre (horizontal) de l'écran.

### C.5.2.2. Assistant buton

Cet assistant permet de calculer la raideur et la précontrainte par unité de longueur d'un lit de butons.

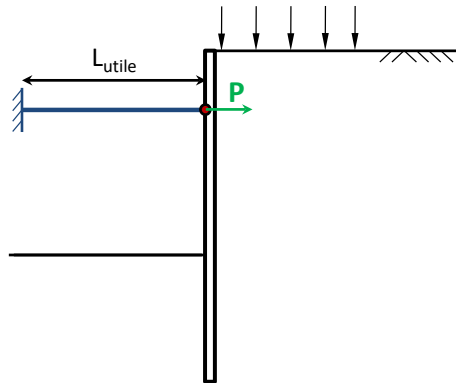


Figure C65 : Schéma d'un lit de butons

Un lit de butons est assimilé à un ressort équivalent caractérisé par :

- Une raideur (axiale) par unité de longueur :

$$K_b = \frac{ES}{L_u e_h}$$

- Une précontrainte (axiale) par unité de longueur :

$$P = \frac{P_b}{e_h}$$

Avec :

- E : module d'Young du buton [kN/m<sup>2</sup>] ;
- S : section du buton [m<sup>2</sup>] ;
- e<sub>h</sub> : espacement horizontal des butons [m] ;
- P<sub>b</sub> : précontrainte appliquée sur un buton [kN] ;
- L<sub>u</sub> : longueur utile [m].





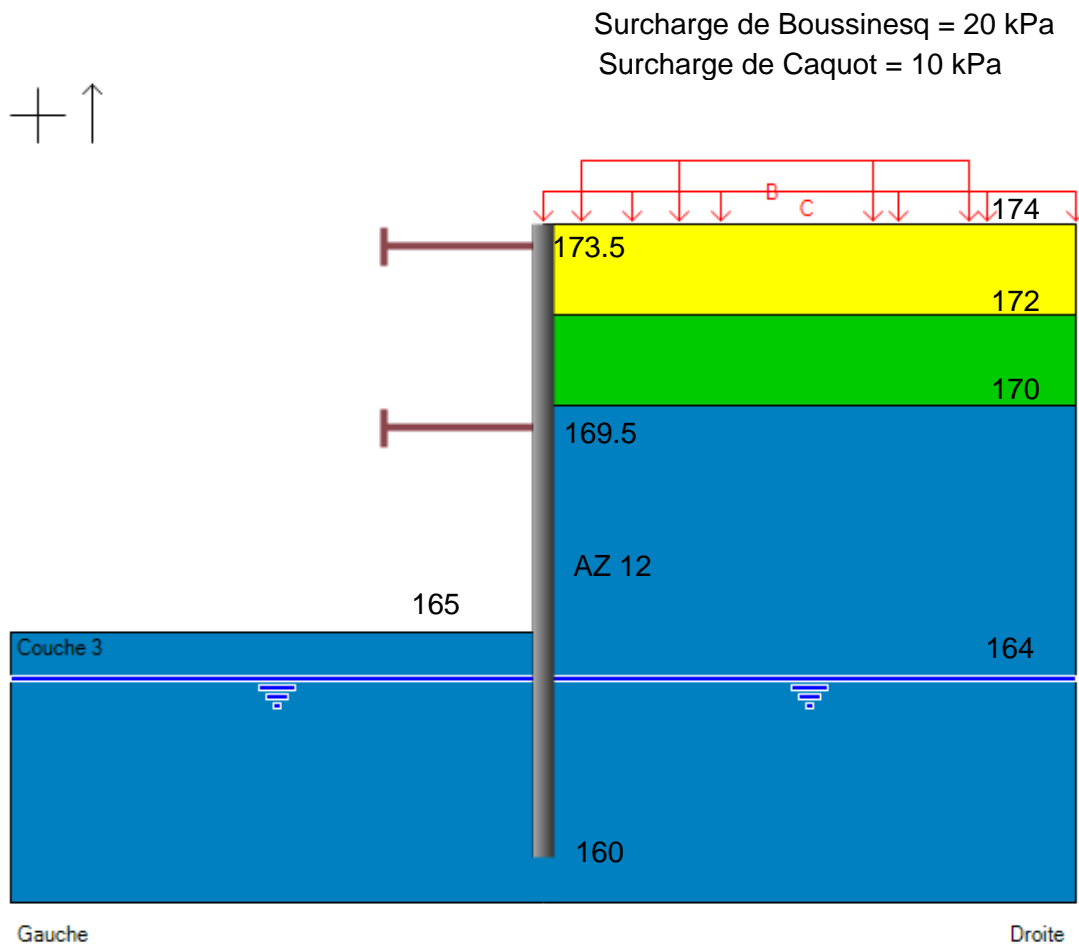
## D.1. TUTORIEL 1 : SIMPLE RIDEAU AVEC DEUX LITS DE BUTONS

Ce projet traite le dimensionnement d'un simple rideau de palplanches soutenu par deux niveaux de butons permanents (qui représentent des planchers). On ne procède pour ce projet qu'à un calcul de vérification MISS « basique » (calcul aux coefficients de réaction).

Pour plus de détails sur les vérifications ELU, vous pouvez vous référer aux tutoriels 2 et 3.

Le rideau est constitué de palplanches ArcelorMittal de type AZ 12-700, de 14 m de long.

La figure ci-dessous illustre le projet.



L'objectif de ce premier tutoriel d'introduction est de présenter les fonctionnalités générales d'AMRetain ainsi que l'interface utilisateur du logiciel.

## D.1.1. ETAPE 1 : SAISIE DES DONNEES DU PROJET

### D.1.1.1. TITRE ET OPTIONS

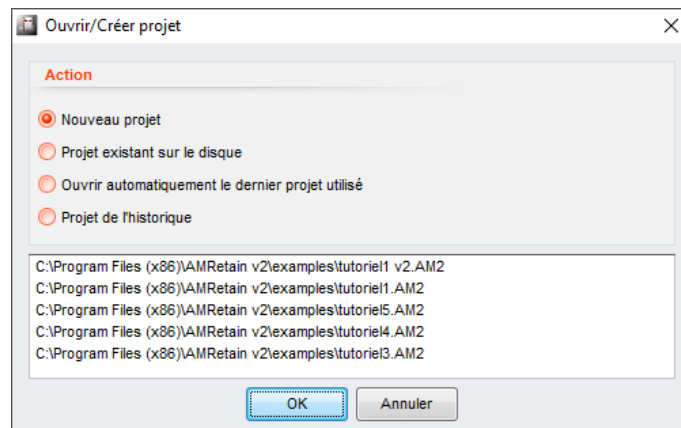
- Cliquer sur **Démarrer, Programmes, AMRetain.**



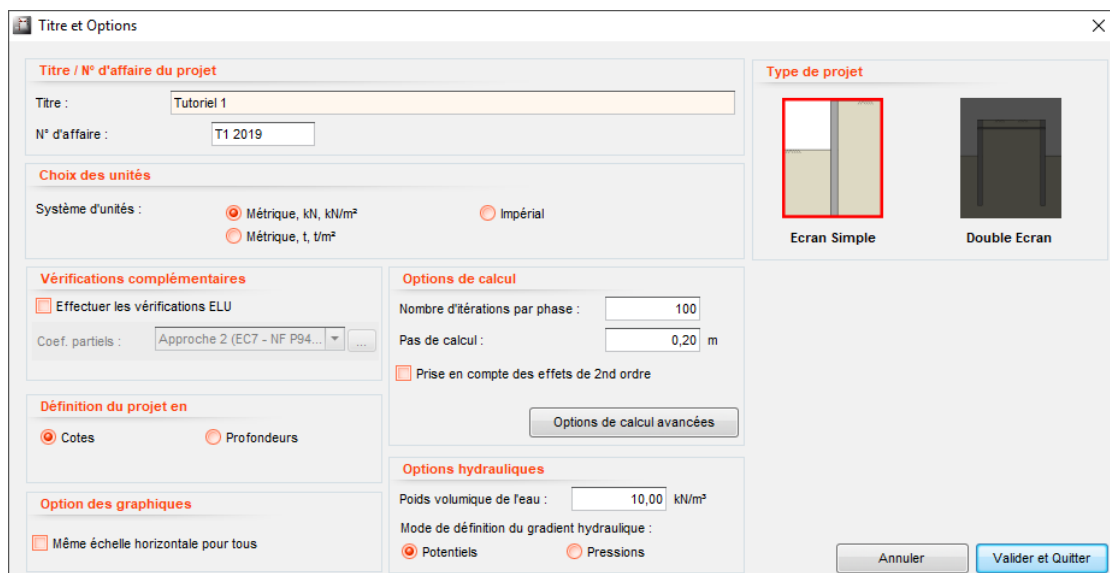
- Conserver la langue par défaut (**Français**) et cliquer sur **Lancer le logiciel AMRetain**
- Cliquer sur **J'accepte les clauses juridiques.**



- Choisir **Nouveau projet**.



- La boîte de dialogue **Titre et Options** s'ouvre alors et doit être complétée avec les données mentionnées sur la capture d'écran ci-dessous.



- Sélectionner **Rideau Simple**.
- Dans la zone **Titre / N° d'affaire du projet**, cliquer dans la case blanche du Titre et saisir le titre de votre choix
- De la même façon, saisir le numéro d'affaire
- Nous utiliserons dans cet exemple le **système d'unités métrique**.
- La valeur par défaut du poids volumique de l'eau est  $10 \text{ kN/m}^3$ . Nous garderons cette valeur.
- Conserver la **Définition du projet en cotes**, ce qui permet d'orienter l'axe vertical vers le haut.
- Dans le cadre **Options du calcul**, garder les valeurs par défaut, à savoir le nombre de **100** itérations par phase de calcul et un pas de découpage de **0,2** m pour le rideau. Nous ne prendrons pas en compte le flambement ici (moments du 2<sup>nd</sup> ordre).
- Laisser la case **Effectuer les vérifications ELU** décochée pour cet exemple.

### D.1.1.2. DEFINITION DES COUCHES DE SOL

- La boîte de dialogue **Définition des couches de sol** s'affiche et doit être complétée comme présenté sur la capture d'écran suivante.

Nous devons saisir toutes les propriétés des sols pour les 3 couches.

**Définition des couches de sol**

Choisir la ligne à compléter :

N°	Nom couche	z [m]	γ [kN/m³]	γ' [kN/m³]	φ [°]	c [kN/m²]	dc [kN/m²/m]	k0	kay	kpy	kd	kr	kac	kpc	kh [kN/m²]	dkh [kN/m³/m]	δa/φ	δp/φ	kay,min	pmax [kN/m/m]
1	Couche_1	174,00	20,00	10,00	15,00	5,00	0,000	0,741	0,589	2,016	0,741	0,741	1,535	3,707	14000	0	0,000	-0,660	0,100	10000,00

Valider cette fenêtre va réinitialiser les coefficients MEL.

Niveau phréatique      zw :  m

**Caractéristiques de la couche**

Nom :

**Général**

z :  m

γ :  kN/m³

γ' :  kN/m³

φ :  °

c :  kN/m²

dc :  kN/m²/m

δa/φ :

δp/φ :

**Loi de comportement**

Assistants automatiques

k0 :

kay :

kpy :

kac :

kpc :

kh :  kN/m²/m

dkh :  kN/m²/m/m

Modifier les paramètres avancés

kd :

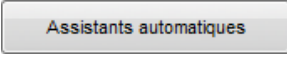
kr :

kay,min :

pmax :  kN/m/m

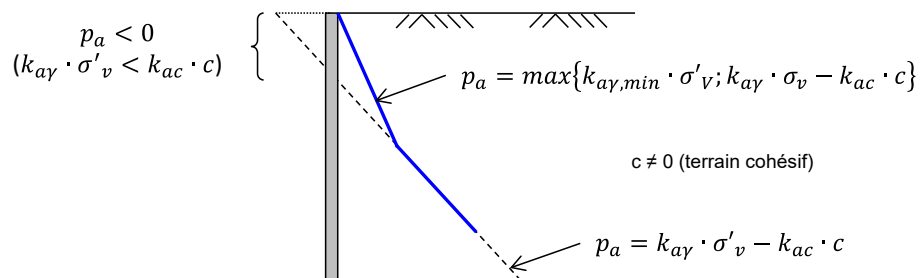
Dans le cadre de saisie (partie inférieure de la boîte de dialogue), saisir les caractéristiques de la première couche de sol (Couche 1).

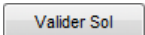
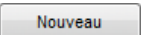
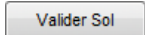
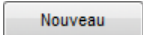
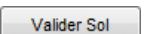
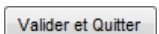
Pour compléter les coefficients  $k_0$ ,  $k_{a\gamma}$ ,  $k_{p\gamma}$ ,  $k_{ac}$ ,  $k_{pc}$ ,  $k_d$ ,  $k_r$ , nous allons utiliser ici les assistants automatiques :

- Cliquer sur le bouton :  et laisser la case « modifier les paramètres avancés » décochée.

Ces différentes valeurs sont alors remplies selon les principes suivants :

- $k_0$  est calculé par la formule de Jaky, avec  $Roc = 1$ ,  $\beta = 0$  et en tenant compte des caractéristiques déjà saisies ci-dessus.
- $k_{a\gamma}$  est calculé via l'assistant "Tables de Kérisel et Absi" - Poussée, milieu pesant, sans cohésion, sans surcharge, avec  $\lambda = 0$  et  $\beta/\varphi = 0$  (terrain horizontal) et en tenant compte des caractéristiques déjà saisies.
- $k_{p\gamma}$  est calculé via l'assistant "Tables de Kérisel et Absi" - Butée, milieu pesant, sans cohésion, sans surcharge, avec  $\lambda = 0$  et  $\beta/\varphi = 0$  et en tenant compte des caractéristiques déjà saisies.
- $k_d = k_r = k_0$ .
- $k_{ac}$  et  $k_{pc}$  (coefficients appliqués sur la valeur de la cohésion) sont obtenus grâce à l'assistant correspondant.
- $k_{a\gamma, \min}$  correspond au coefficient de poussée minimale exigée par la NF P 94-282. La valeur est par défaut égale à 0,1 pour prendre en compte une contrainte horizontale de poussée d'au moins 10% de la contrainte verticale effective. Ceci permet de prendre une poussée minimale non nulle dans le cas de sols cohésifs (notre cas).



- $p_{\max}$  représente la valeur maximale admissible de la pression du sol. Sa valeur bornera la pression limite de butée admissible du sol conformément à la norme NF P 94-282 Annexe B.3.6. Elle correspond à la pression de fluage ( $p_f$ ) ou la pression limite ( $p_l$ ) selon le type de calcul (ELS ou ELU respectivement).
- Dans cet exemple, laisser la valeur de  $dc = 0$ .
- Il ne reste plus qu'à définir la valeur de  $k_h$  et de son incrément. Pour cela, entrer la valeur de 14 000 kN/m<sup>2</sup>/m pour  $k_h$  (cette valeur n'a pas été déterminée ici par un assistant mais est supposée connue dans le cadre de cet exemple).
- Cliquer sur  puis sur  pour saisir les propriétés de la deuxième couche de sol (Couche 2).
- Cliquer sur  puis sur  pour saisir les propriétés de la troisième couche de sol (Couche 3).
- Cliquer dans la partie supérieure de la fenêtre (tableau) pour valider les données entrées pour la troisième couche.
- Cliquer sur  puis sur 

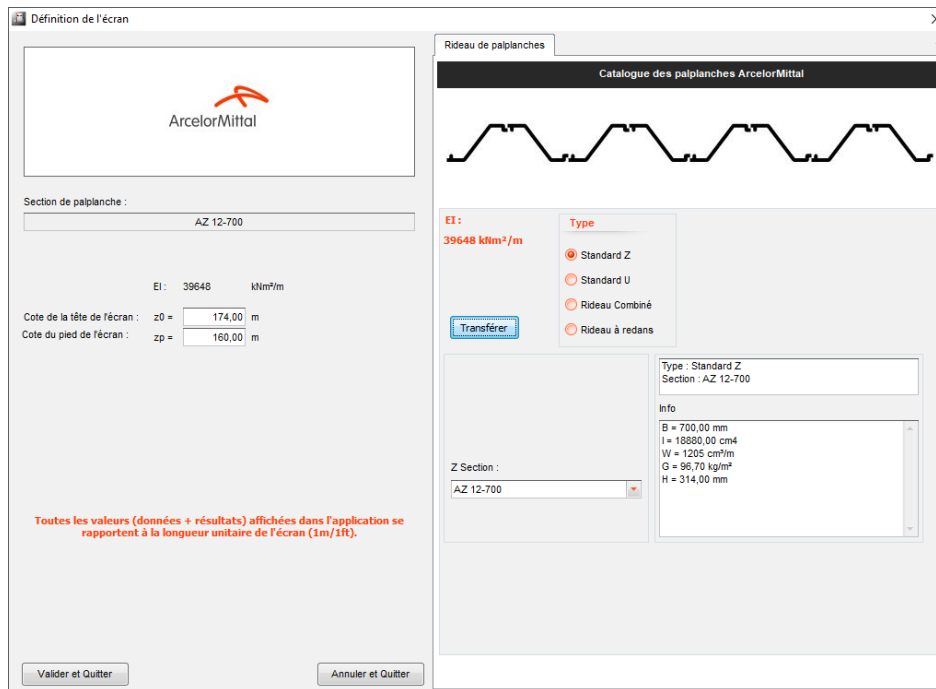
Les caractéristiques des couches sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

	Z (m)	Z <sub>w</sub> (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	φ (°)	c (kN/m <sup>2</sup> )	δ <sub>a</sub> /φ	δ <sub>p</sub> /φ
Couche 1	174	164	20	10	15	5	0	-0.66
Couche 2	172	164	20	10	15	10	0	-0.66
Couche 3	170	164	20	10	35	0	0	-0.66

	k <sub>0</sub>	k <sub>aγ</sub>	k <sub>pγ</sub>	k <sub>ac</sub>	k <sub>pc</sub>	k <sub>h</sub> (kN/m <sup>2</sup> /m)
Couche 1	0.741	0.589	2.016	1.535	3.707	14000
Couche 2	0.741	0.589	2.016	1.535	3.707	15000
Couche 3	0.426	0.271	7.301	0	0	40000

### D.1.1.3. DEFINITION DU RIDEAU

La boîte de dialogue **Définition de l'écran** s'affiche ensuite et doit être complétée comme présenté ci-dessous.



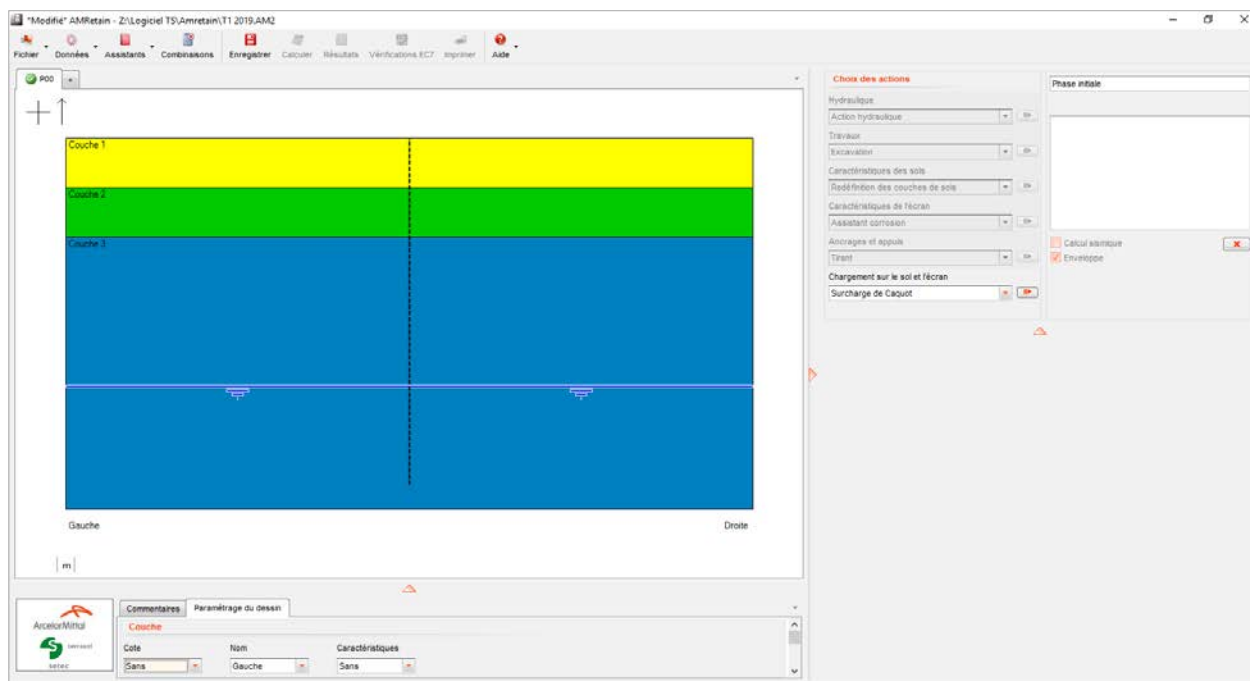
- Dans la zone **Catalogue des palplanches ArcelorMittal**, cocher le type **Standard Z** (sélection par défaut). Dans la liste **Z Section**, sélectionner **AZ 12-700**. Cliquer sur le bouton **Transférer** pour copier les propriétés de la palplanche (référence et valeur de EI) dans les données du projet (partie gauche de la fenêtre).
- Dans la partie gauche de la fenêtre, compléter la cote supérieure de la palplanche Z0 et la cote inférieure du rideau à l'aide des valeurs fournies dans le tableau suivant.

	Type	EI (kNm <sup>2</sup> /m)	Z <sub>0</sub> (m)	Z <sub>p</sub> (m)
Rideau	AZ 12-700	39 648	174	160

- Cliquer sur **Valider et Quitter**.

## D.1.2. ETAPE 2 : DEFINITION DES PHASES ET DES ACTIONS

Une fois terminées les étapes précédentes, l'écran apparaît comme ci-dessous.




La fenêtre principale d'AMRetain affiche la phase initiale du projet en présentant le dessin des couches de sol et du futur rideau.

Il faut tout d'abord définir les actions de la phase initiale (P00). Dans notre cas, il s'agit de définir une surcharge uniforme de Caquot de 10 kPa. Ensuite, nous définirons 3 phases de construction.

Le phasage complet de l'exemple est présenté dans le tableau ci-dessous.

Phase	Actions	Propriétés
Phase initiale Surcharge de Caquot	1. Surcharge de Caquot 2. Surcharge de Caquot	1. Charge à droite $q = 10 \text{ kN/m/m}$ 2. Charge à gauche $q = 10 \text{ kN/m/m}$
Phase 1 Excavation du côté gauche	1. Excavation	1. Côté gauche, $z_h = 172.5 \text{ m}$
Phase 2 Installation du premier niveau de butons Excavation du côté gauche	1. Buton 2. Excavation - Eau	1. Butons, $z_a = 173.5 \text{ m}$ , $K = 400000 \text{ kN/m/m}$ 2. Côté gauche, $z_h = 168.5 \text{ m}$
Phase 3 Installation du second niveau de butons Excavation du côté gauche Surcharge de Boussinesq à l'arrière en surface	1. Buton 2. Excavation – Eau 3. Surcharge de Boussinesq	1. Butons, $z_a = 169.5 \text{ m}$ , $K = 400000 \text{ kN/m/m}$ 2. Côté gauche, $z_h = 165.0 \text{ m}$ 3. Surcharge de Boussinesq, $z = 174 \text{ m}$ , $x = 1 \text{ m}$ , $L = 10 \text{ m}$ , $q = 20 \text{ kN/m}^2$ , $\alpha_e = 1,5$

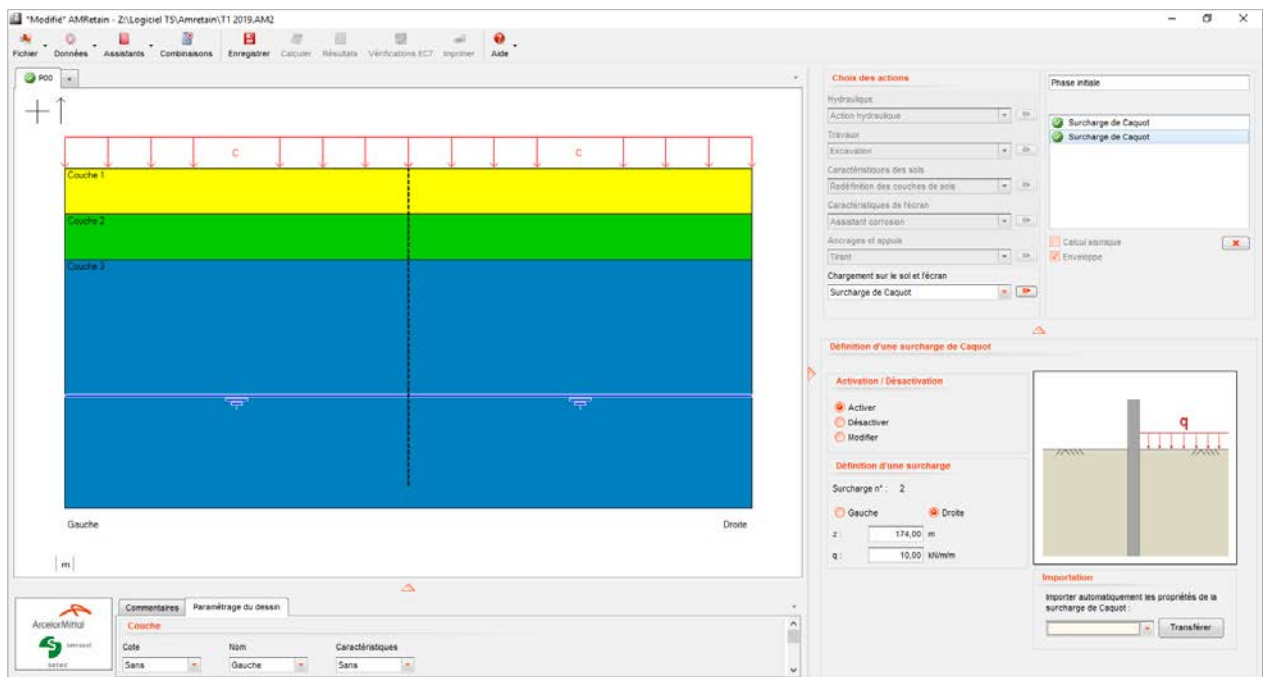
### D.1.2.1. DEFINITION DE LA PHASE INITIALE (“P00”)

- Choisir une **Surcharge de Caquot** dans la liste des actions et cliquer sur le bouton de transfert  à côté de cette liste.
- Définir les propriétés requises en partie inférieure de l'écran :

Surcharge q = 10 kN/m/m à z=174 m


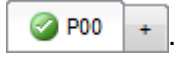

Cette action doit être définie une fois à droite du rideau et une fois à gauche du rideau (pour garantir la continuité des contraintes verticales). Il convient donc de répéter l'opération et indiquer le côté adéquat du rideau.

Lorsque la définition de la phase initiale est terminée, l'écran principal doit ressembler à ceci:



### D.1.2.2. DEFINITION DE LA PHASE 1

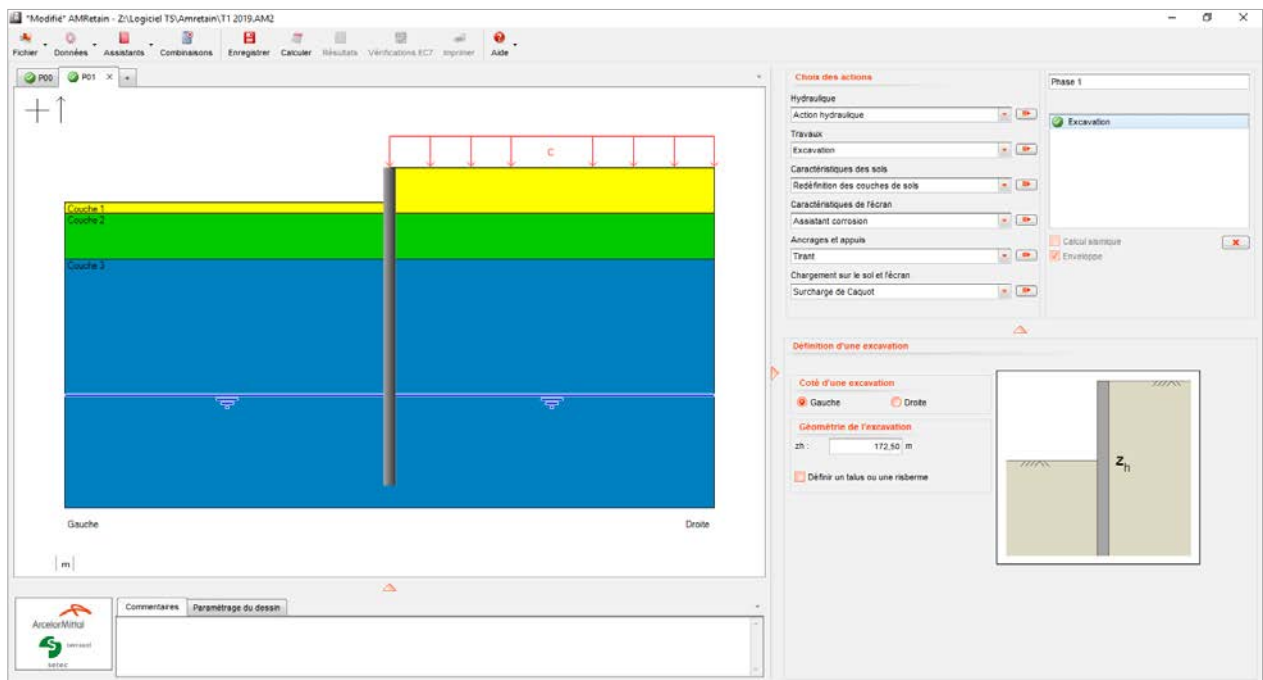
Tout d'abord, il faut créer une nouvelle phase.

- Cliquer sur l'onglet  dans la partie supérieure de la fenêtre principale, à côté de l'onglet de la .
- Un nouvel onglet est créé pour la phase 1 (avec les mêmes données que la phase initiale pour le moment).
- Nous devons maintenant définir la première action d'excavation à exécuter: sélectionner **Excavation** dans la liste **Travaux** et cliquer sur le bouton de transfert  à côté de la liste.
- Définir les propriétés requises en partie inférieure de l'écran :

Côté gauche  
Niveau d'excavation  $z_h = 172.5$  m

Le dessin est alors mis à jour en prenant en compte l'excavation.



Lorsque la définition de cette phase est terminée, l'écran principal doit ressembler à ceci :



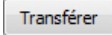
Remarque: l'action **Excavation** du côté gauche supprime automatiquement la surcharge de Caquot qui a été précédemment définie de ce côté. Si nous avons besoin d'appliquer une surcharge sur le niveau excavé, il convient de définir une nouvelle action « Surcharge de Caquot ».

### D.1.2.3. DEFINITION DE LA PHASE 2

Le but de la deuxième phase est la mise en place du premier lit de butons et de réaliser l'excavation suivante.

- Cliquer sur  dans la partie supérieure de la fenêtre principale.
- Nous devons maintenant définir le premier niveau de butons : sélectionner **Butons** dans la liste **Ancrages et appuis**.
- Cliquer sur le bouton de transfert  à côté de la liste.
- Définir les propriétés requises en partie inférieure de l'écran :

Activer un nouvel ancrage  
 Posé à gauche  
 Posé à  $z_a = 173.5$  m  
 Raideur  $K = 400000$  kN/m  
 Travail en compression

Pour cela, l'**Assistant buton** peut être utilisé pour définir la raideur  $K$  du buton : cliquer sur le bouton Assistant et entrer les propriétés suivantes, correspondant à un plancher continu en béton:  $E = 20e^6$  kPa,  $S = 0.2$  m<sup>2</sup> ( $S = 20$  cm d'épaisseur x 1 m de longueur de calcul),  $Lu = 10$  m (longueur utile),  $eh = 1$  m (longueur de calcul). Cliquer ensuite sur le bouton .




Données par buton		Données retenues par longueur d'étude	
eh	1,00 m	K	400000 kN/m/m
E	2E+007 kN/m <sup>2</sup>	P	0,00 kN/m
S	0,200000 m <sup>2</sup>		
P	0,00 kN		
Lu	10,00 m		

- Définir ensuite une action **Excavation** avec les propriétés suivantes :

Côté gauche  
 Fond de fouille  $z_h = 168.5$  m

### D.1.2.4. DEFINITION DE LA PHASE 3

Le but de la troisième phase est la mise en place du second niveau de butons, de réaliser l'excavation suivante et d'ajouter la surcharge de Boussinesq sur le terrain naturel.

- Cliquer sur  dans la partie supérieure de la fenêtre principale.
- Maintenant, nous devons définir le second niveau de butons avec les propriétés suivantes:

Activer un nouvel ancrage  
Posé à gauche  
Posé à  $z_a = 169.5$  m  
Raideur  $K = 400000$  kN/m/m  
Travail en compression

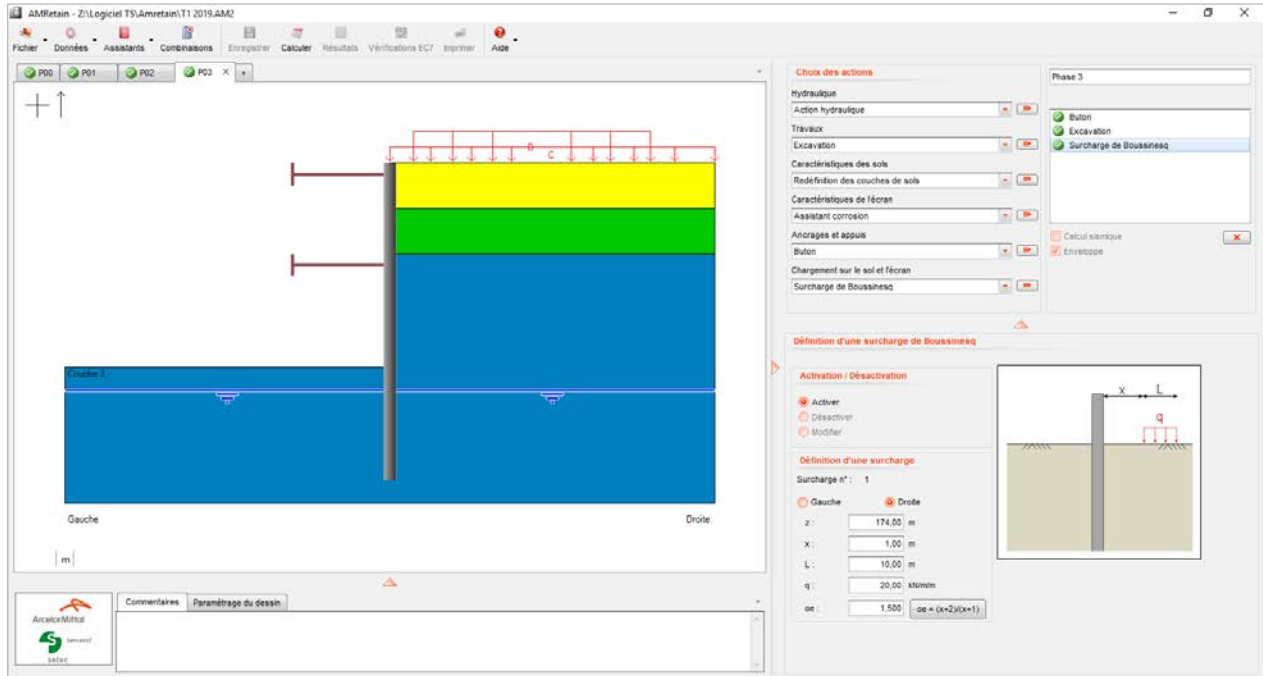
- Ensuite, définir une action **Excavation** à l'aide des propriétés suivantes:

Côté gauche  
Fond de fouille  $z_h = 165.0$  m

- Enfin, définir une **Surcharge de Boussinesq** (liste **Chargements sur le sol et l'écran**) avec les propriétés suivantes :

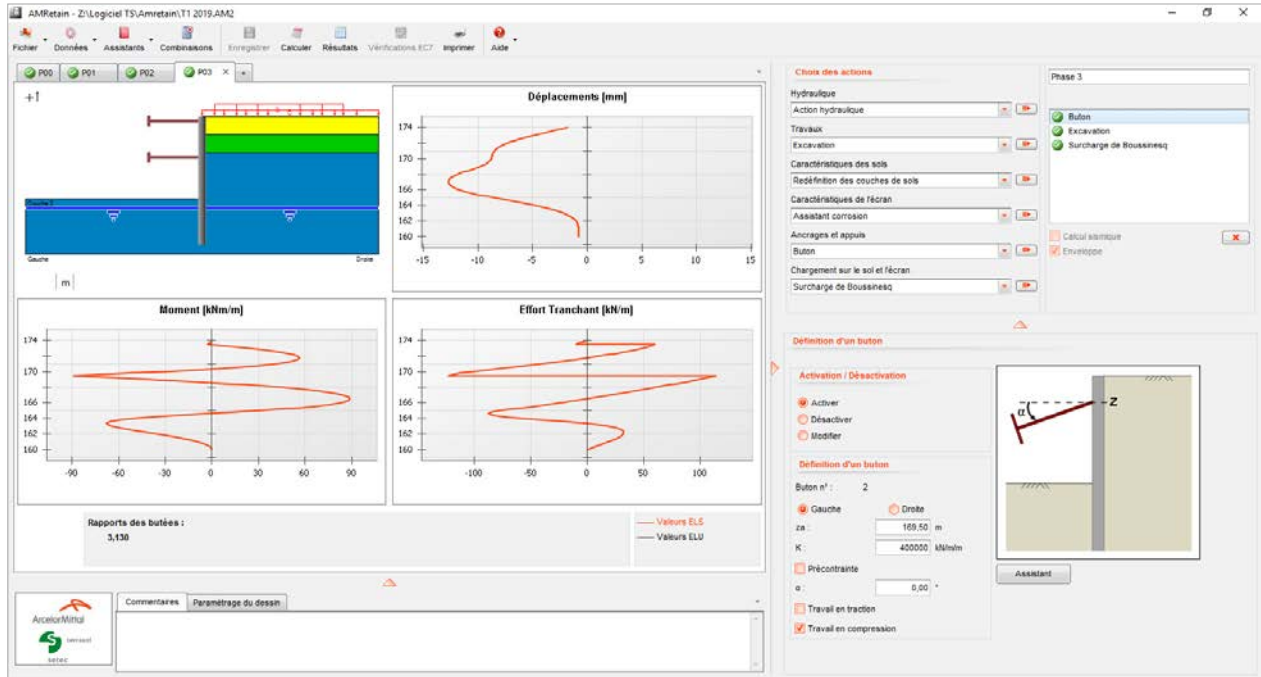
Côté droit  
Niveau d'application  $z = 174.0$  m  
 $x = 1$  m  
 $L = 10$  m  
 $q = 20$  kN/m/m

L'écran principal doit maintenant être le suivant :



### D.1.3. ETAPE 3 : CALCUL ET RESULTATS

Pour lancer le calcul correspondant sur l'ensemble du phasage, cliquer sur . Les captures d'écran suivantes illustrent les résultats obtenus après calcul pour la dernière phase.



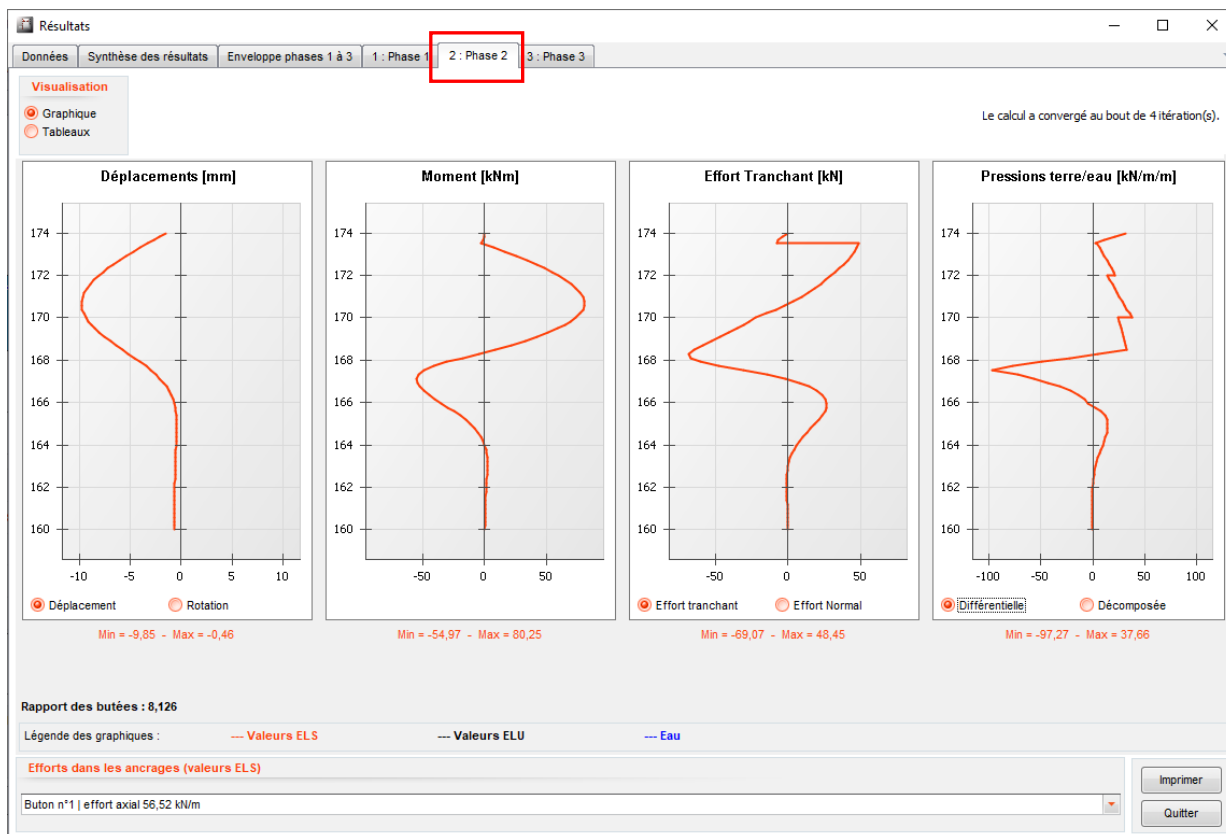
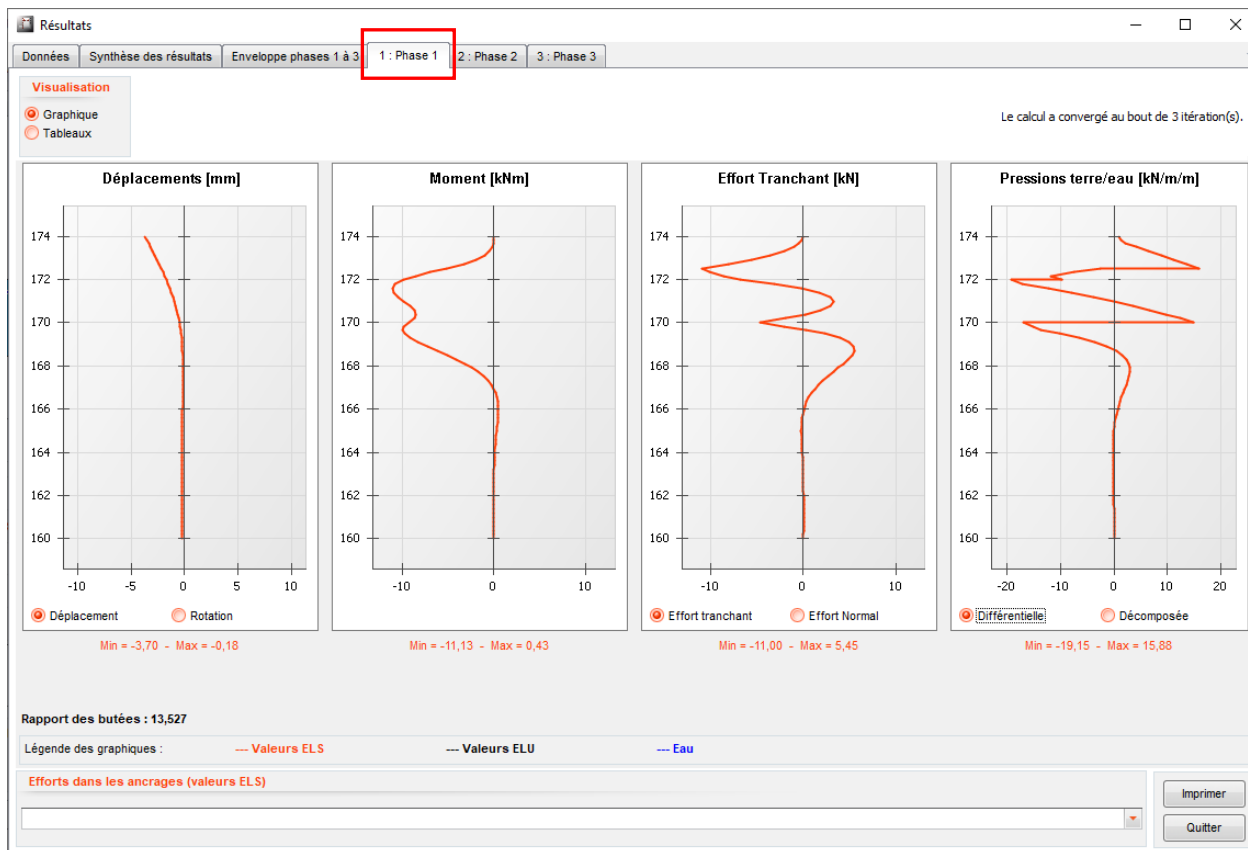
Pour visualiser le détail des résultats (courbes et tableaux), cliquer sur le bouton .

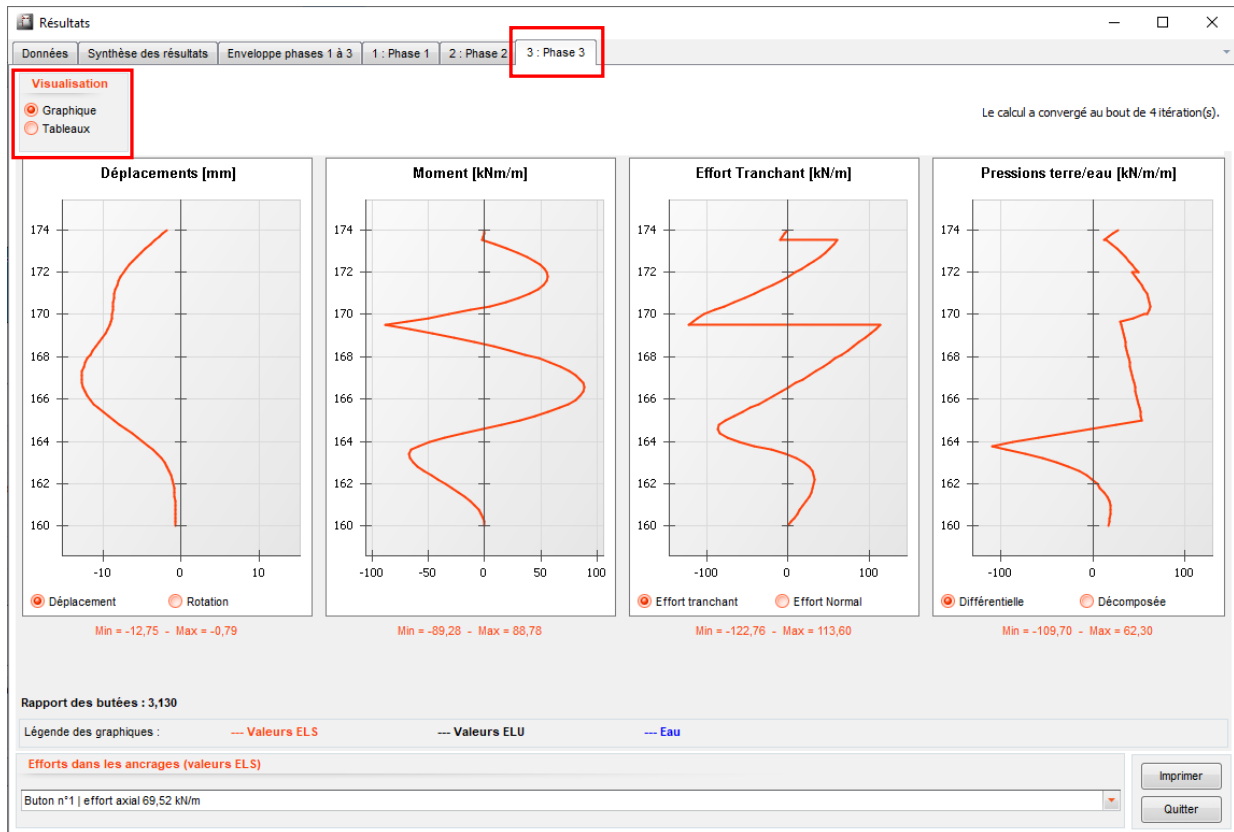
Les captures d'écran suivantes illustrent les différents résultats disponibles dans AMRetain pour un calcul sans vérification ELU.

Le premier onglet qui apparaît par défaut est un résumé des données du projet : propriétés des sols et du rideau, actions de la phase initiale, etc.

GENERALITES																			
Systèmes d'unités :	Métrique, kN, ...																		
Poids volumique de l'eau :	10,00 kN/m <sup>3</sup>																		
Nombre d'itérations :	100																		
Pas de calcul :	0,20 m																		
Prise en compte moments 2 ord...	Non																		
Définition du projet :	Cotes																		
CARACTERISTIQUES DES COU...																			
Couche	z	z <sub>w</sub>	γ	γ'	φ	c	dc	k <sub>0</sub>	k <sub>av</sub>	k <sub>py</sub>	k <sub>d</sub>	k <sub>r</sub>	k <sub>ac</sub>	k <sub>pc</sub>	k <sub>h</sub>	k <sub>dh</sub>	δ <sub>a/φ</sub>	δ <sub>p/φ</sub>	
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	°	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup> /m								kN/m <sup>2</sup> /m	kN/m <sup>2</sup> /...			
Couche 1	174,00	164,00	20,00	10,00	15,00	5,00	0,000	0,741	0,589	2,016	0,741	0,741	1,535	3,707	14000	0	0,000	-0,660	
Couche 2	172,00	164,00	20,00	10,00	15,00	10,00	0,000	0,741	0,589	2,016	0,741	0,741	1,535	3,707	15000	0	0,000	-0,660	
Couche 3	170,00	164,00	20,00	10,00	35,00	0,00	0,000	0,426	0,271	7,301	0,426	0,426	0,000	0,000	40000	0	0,000	-0,660	
CARACTERISTIQUE DE L'ECRAN																			
z <sub>0</sub>	174,00 m																		
Section	z <sub>base</sub>	EI	Rc	W															
	m	kNm <sup>2</sup> /m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m/m															
1	160,00	39648	0	0,97															

Les onglets suivants permettent d'accéder aux résultats détaillés de chaque phase, comme présenté dans la partie B du manuel.

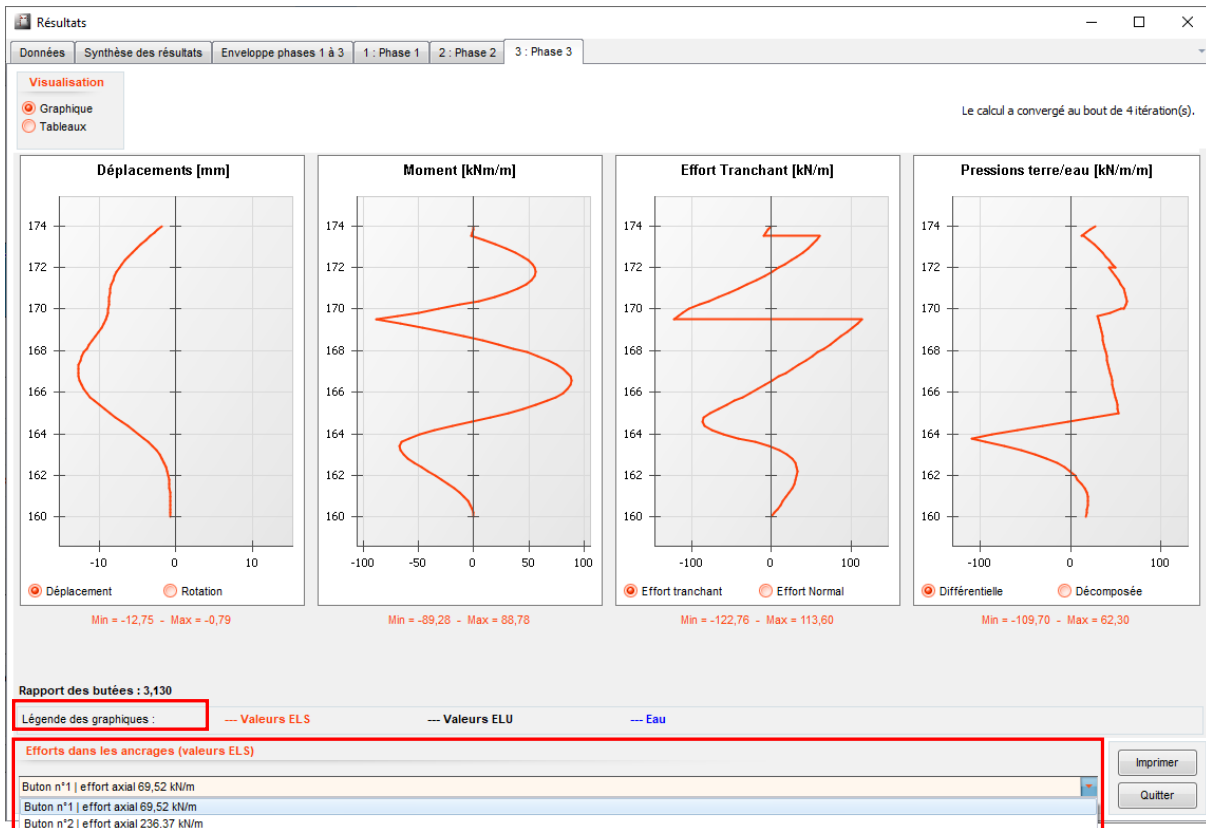




Par défaut, les résultats sont présentés sous forme de courbes: déplacements, moments fléchissants, efforts tranchants et pressions terres/eau (c'est la pression différentielle qui est proposée par défaut mais il est possible de demander l'affichage des pressions décomposées). Les valeurs extrema sont fournies pour chaque courbe.

Lorsque des ancrages (tirants ou butons) sont actifs dans une phase donnée, l'effort axial obtenu dans chaque ancrage est aussi disponible pour chaque phase en bas de l'écran.

De même, le rapport des butées (butée mobilisable/mobilisée) est affiché.



D'autre part, il est possible d'afficher les résultats complets pour chaque phase sous forme d'un tableau (le contenu de chaque colonne est détaillé dans la partie B du manuel) :

Le calcul a convergé au bout de 4 itération(s).

NIVEAU [m]	Rotation [x0.001 rad]	Déplacement [mm]	M,k [kNm/m]	V,k [kN/m]	Etat GAUCHE	Etat DROITE	ph,k GAUCHE [kN/m/m]	ph,k DROITE [kN/m/m]	u,k GAUCHE [kN/m/m]	u,k DROITE [kN/m/m]	σ'v,k GAUCHE [kN/m/m]	σ'v,k DROITE [kN/m/m]	pa,k GAUCHE [kN/m/m]	pa,k DROITE [kN/m/m]
174,00	-3,07666	-1,82	0,00	0,00	excav.	elast.	0,00	27,24	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	1,00
173,83	-3,07717	-2,34	-0,36	-4,12	excav.	elast.	0,00	22,23	0,00	0,00	0,00	19,01	0,00	3,52
173,83	-3,07717	-2,34	-0,36	-4,12	excav.	elast.	0,00	22,23	0,00	0,00	0,00	19,01	0,00	3,52
173,67	-3,08052	-2,85	-1,33	-7,41	excav.	elast.	0,00	17,22	0,00	0,00	0,00	27,38	0,00	8,45
173,67	-3,08052	-2,85	-1,33	-7,41	excav.	elast.	0,00	17,22	0,00	0,00	0,00	27,38	0,00	8,45
173,50	-3,08901	-3,36	-2,78	-9,90	excav.	elast.	0,00	12,61	0,00	0,00	0,00	34,76	0,00	12,80
173,50	-3,08901	-3,36	-2,78	59,63	excav.	elast.	0,00	14,59	0,00	0,00	0,00	34,76	0,00	12,80
173,30	-3,07350	-3,98	8,81	56,08	excav.	elast.	0,00	20,92	0,00	0,00	0,00	42,21	0,00	17,19
173,30	-3,07350	-3,98	8,81	56,08	excav.	elast.	0,00	20,92	0,00	0,00	0,00	42,21	0,00	17,19
173,10	-3,00151	-4,59	19,57	51,35	excav.	elast.	0,00	26,33	0,00	0,00	0,00	48,38	0,00	20,82
173,10	-3,00151	-4,59	19,57	51,35	excav.	elast.	0,00	26,33	0,00	0,00	0,00	48,38	0,00	20,82
172,90	-2,87780	-5,18	29,28	45,61	excav.	elast.	0,00	31,09	0,00	0,00	0,00	53,62	0,00	23,91
172,90	-2,87780	-5,18	29,28	45,61	excav.	elast.	0,00	31,09	0,00	0,00	0,00	53,62	0,00	23,91
172,70	-2,70815	-5,74	37,76	38,96	excav.	elast.	0,00	35,45	0,00	0,00	0,00	58,23	0,00	26,62
172,70	-2,70815	-5,74	37,76	38,96	excav.	elast.	0,00	35,45	0,00	0,00	0,00	58,23	0,00	26,62
172,50	-2,49927	-6,26	44,81	31,46	excav.	elast.	0,00	39,56	0,00	0,00	0,00	62,44	0,00	29,10
172,50	-2,49927	-6,26	44,81	31,46	excav.	elast.	0,00	39,56	0,00	0,00	0,00	62,44	0,00	29,10
172,33	-2,30066	-6,66	49,49	24,59	excav.	elast.	0,00	42,86	0,00	0,00	0,00	65,74	0,00	31,04
172,33	-2,30066	-6,66	49,49	24,59	excav.	elast.	0,00	42,86	0,00	0,00	0,00	65,74	0,00	31,04
172,17	-2,08485	-7,02	52,98	17,18	excav.	elast.	0,00	46,08	0,00	0,00	0,00	68,91	0,00	32,91
172,17	-2,08485	-7,02	52,98	17,18	excav.	elast.	0,00	46,08	0,00	0,00	0,00	68,91	0,00	32,91
172,00	-1,85704	-7,35	55,19	9,24	excav.	elast.	0,00	49,23	0,00	0,00	0,00	71,99	0,00	34,73
172,00	-1,85704	-7,35	55,19	9,24	excav.	elast.	0,00	42,35	0,00	0,00	0,00	71,99	0,00	27,05
171,80	-1,57545	-7,70	56,16	0,39	excav.	elast.	0,00	46,13	0,00	0,00	0,00	75,60	0,00	29,18
171,80	-1,57545	-7,70	56,16	0,39	excav.	elast.	0,00	46,13	0,00	0,00	0,00	75,60	0,00	29,18

Efforts dans les ancrages (valeurs ELS)

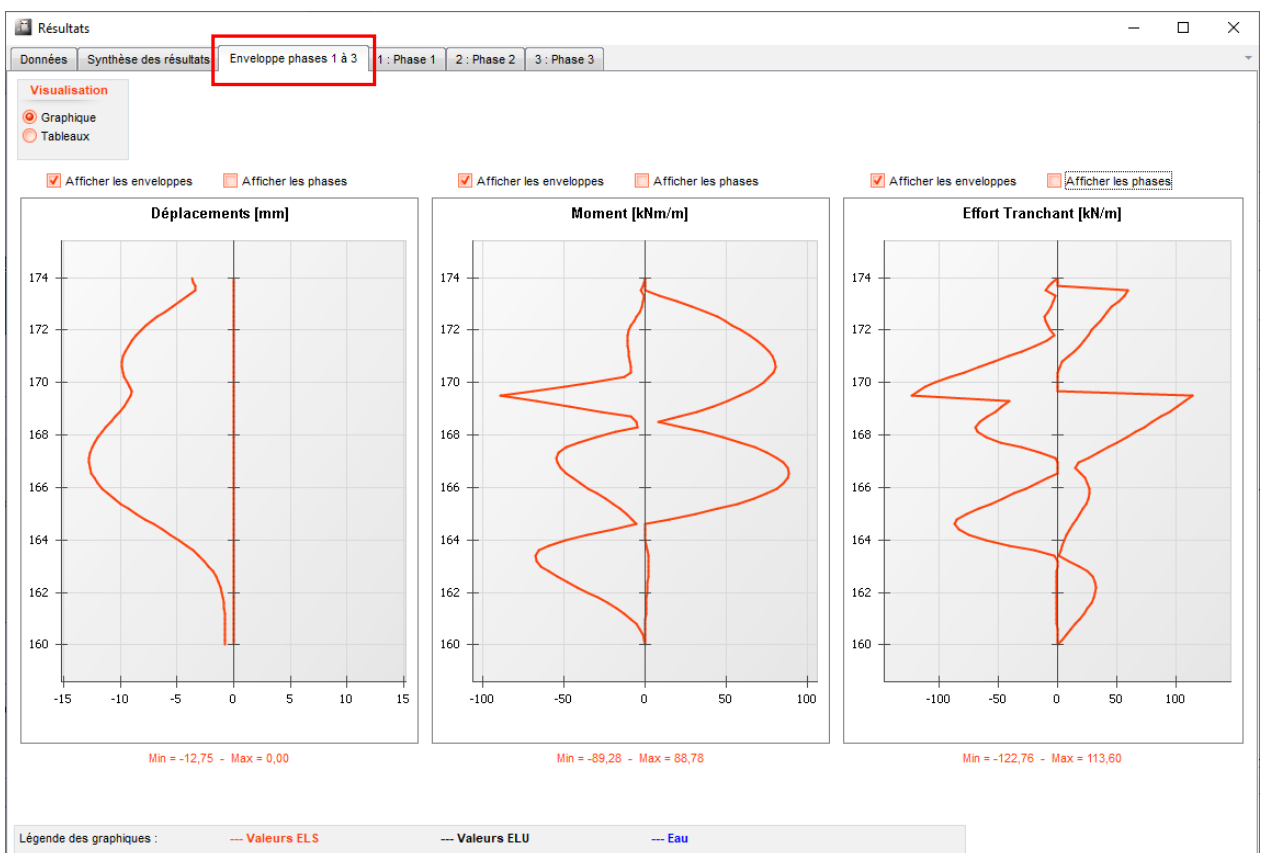
Buton n°1   effort axial 69,52 kN/m
-------------------------------------

En plus de ces résultats par phase, 2 onglets supplémentaires sont disponibles: **Synthèse des résultats** et **Enveloppe phases 1 à 3**.

Résultats

Données Synthèse des résultats Enveloppe phases 1 à 3 1 : Phase 1 2 : Phase 2 3 : Phase 3

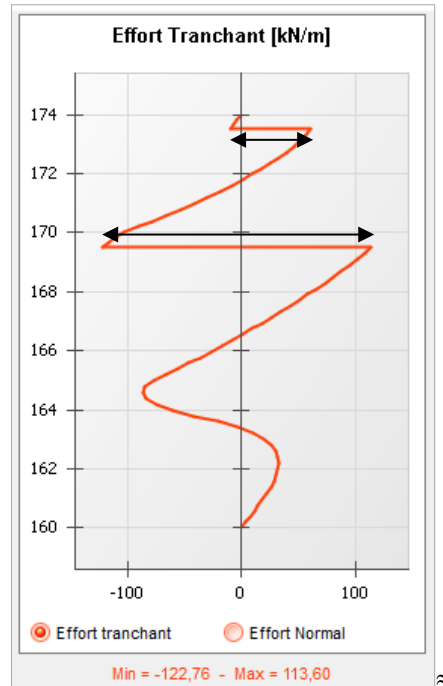
N° PHASE	Déplacement en tête [mm]	Déplacement maximal [mm]	M,k max écran [kNm/m]	N,k max écran [kN/m]	V,k max écran [kN/m]	Rapport butées	F,k buton n°1 [kN/m]	F,k buton n°2 [kN/m]
1	-3,70	-3,70	-11,13	-35,20	-11,00	13,527	-	-
2	-1,54	-9,85	80,25	-124,90	-89,07	8,126	56,52	-
3	-1,82	-12,75	-89,28	-134,47	-122,76	3,130	69,52	236,37
Extrema	-3,70	-12,75	-89,28	-134,47	-122,76	3,130	69,52	236,37



### Commentaires sur les résultats de ce calcul

- Le déplacement maximum dans le rideau est de l'ordre de 13 mm. Il est atteint dans la dernière phase, à la cote 167.0 m. L'allure des courbes de déplacement change en fonction du nombre de supports (butons) le long du rideau. Par exemple, dans la première phase (absence pas de buton) le déplacement maximum est atteint en tête du rideau (4 mm).
- Le moment maximum est de de l'ordre de 89 kNm/m. Il est atteint dans la dernière phase, à la cote 169.5 m.
- L'effort tranchant maximum est de l'ordre de 123 kN/m. Il est atteint dans la dernière phase, à la même cote que le deuxième niveau de butons (169,5 m). Les efforts dans les butons peuvent être directement "lus" sur la courbe d'effort tranchant :

**Phase 3**



Buton n° 1 à la cote 173.5 m:  
Effort =  $59.63 - (-9.90) \approx 70 \text{ kN/m}$

Buton n° 2 à la cote 169.5 m:  
Effort =  $113.60 - (-122.76) \approx 236 \text{ kN/m}$

Comme mentionné précédemment, ces efforts sont aussi fournis en bas de l'écran (ici pour la phase 3) :

Efforts dans les ancrages (valeurs ELS)	
Buton n°1	effort axial 69,52 kN/m
Buton n°1	effort axial 69,52 kN/m
Buton n°2	effort axial 236,37 kN/m

Enfin, ils apparaissent également dans la synthèse des résultats.

- L'effort dans le buton n° 1 est de l'ordre 57 kN/m (maximum en dernière phase).
- L'effort dans le buton n°2 est de l'ordre de 236 kN/m.

Le second lit de butons reprend beaucoup plus d'efforts que le premier.

Le rapport de butée diminue au cours du phasage, passant de 13.5 dans la première phase, à 3.1 dans la dernière. Il diminue car la fiche du rideau est de plus en plus faible au fil des phases du fait des excavations côté fouille. Mais la valeur finale de 3.1 est largement acceptable.

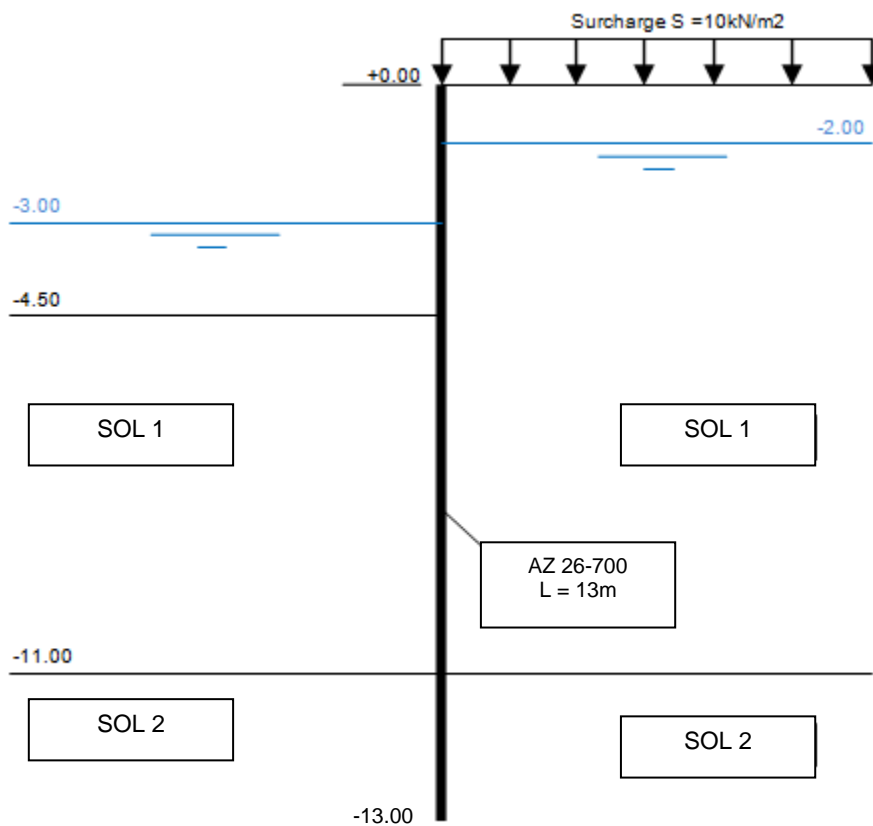
## D.2. TUTORIEL 2 : VERIFICATION ELU SUR UN ECRAN EN CONSOLE

L'exemple étudié est le dimensionnement d'un écran en console permanent.

Le rideau est constitué de palplanches ArcelorMittal de type AZ 26-700, de longueur 13 m.

Aucun ancrage n'est installé dans ce projet, il s'agit donc d'un écran en console.

La coupe de calcul est la suivante :



Nous détaillerons dans cet exemple les vérifications à l'ELU.

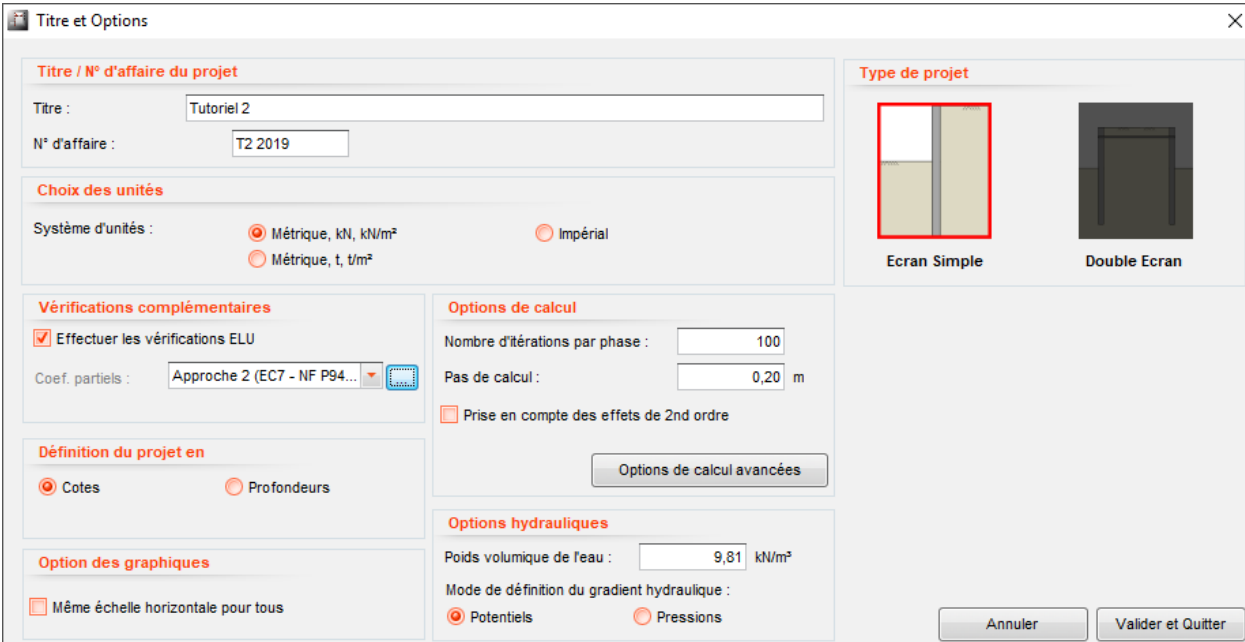
Nous montrerons dans un premier temps que la fiche de l'écran n'est pas assez longue vis-à-vis du défaut de butée, et il faudra donc procéder à quelques modifications du projet.

À la fin de cet exemple, nous comparerons aussi l'application des méthodes D et F pour un calcul MEL.

## D.2.1. ETAPE 1 : SAISIE DES DONNEES

### D.2.1.1. TITRE ET OPTIONS

- Cliquer sur **Démarrer, Programmes, AMRetain**.
- Conserver la langue par défaut (**Français**) et cliquer sur **Lancer le logiciel AMRetain**.
- Cliquer sur **J'accepte les clauses juridiques**.
- Sélectionner **Nouveau Projet**.
- La boîte de dialogue **Titre et Options** s'ouvre et doit être complétée avec les données mentionnées sur la capture d'écran ci-dessous :



- Sélectionner **Ecran Simple**.
- Dans le cadre de **Titre / N° d'affaire** du projet, cliquer dans le champ de saisie du Titre et saisir le titre de votre choix.
- Cliquer dans le champ de saisie de N° d'affaires, saisir le numéro de votre choix.
- Choisir le système d'unités **métrique, kN, kN/m<sup>2</sup>**.
- Le poids volumique de l'eau peut être modifié et on choisit ici de définir **9,81 kN/m<sup>3</sup>**.
- Choisir **Définition du projet en Cotes**, ce qui permet d'orienter l'axe vertical vers le haut.
- Dans le cadre **Options de calcul**, conserver les valeurs par défaut, à savoir 100 itérations par phase de calcul et un pas de découpage de 0,2 m pour le rideau. Nous ne prendrons pas en compte ici le flambement (moments du 2<sup>nd</sup> ordre).
- Cocher la case **Effectuer les vérifications ELU**, et conserver les coefficients partiels par défaut **NF 94-282 (Eurocode 7)**.

On peut afficher le jeu de coefficients partiels en cliquant sur le bouton .

Assistant de définition des coefficients partiels - Approche 2 (EC7 - NF P94-282)

MISS MEL

**Actions**

**Sol - Eau - Ecran**

Poussée limite du sol	Ypa	1,00
Pression d'eau	Ypw	1,00
Poids propre de l'écran	YW	1,00

**Surcharges sur le sol**

Permanente	YG	1,00
Variable	YQ	1,11

**Surcharges sur l'écran**

Permanente favorable	YG,inf	1,00
Permanente défavorable	YG,sup	1,00
Variable défavorable	YQ,sup	1,11

Méthode de référence pour le recalcul de ka/kp : Kérisel

Valeurs unitaires Valeurs par défaut

Annuler OK

**Effets des actions**

Efforts, sollicitations et butée mobilisée	YE	1,35
--	----	------

**Paramètres du sol**

Cohésion	Yc'	1,00
Angle de frottement	Yφ'	1,00
Cohésion en comportement non drainé:	Yc,u	1,00
Angle de frottement en comportement non drainé:	Yφ,u	1,00

**Résistances**

**Butée limite du sol**

phase durable	Ypb,D	1,40
phase transitoire	Ypb,T	1,10

**Ancrages et appuis**

Résistance des appuis	Yanc	1,00
Effort d'ancrage déstabilisant (Kranz)	Ykrz	1,10

Assistant de définition des coefficients partiels - Approche 2 (EC7 - NF P94-282)

MISS MEL

**Actions**

**Sol - Eau - Ecran**

Poussée limite du sol	Ypa	1,35
Pression d'eau	Ypw	1,35
Poids propre de l'écran	YW	1,35

**Surcharges sur le sol**

Permanente	YG	1,00
Variable	YQ	1,11

**Surcharges sur l'écran**

Permanente favorable	YG,inf	1,00
Permanente défavorable	YG,sup	1,35
Variable défavorable	YQ,sup	1,50

Méthode de référence pour le recalcul de ka/kp : Kérisel

Valeurs unitaires Valeurs par défaut

Annuler OK

**Effets des actions**

Efforts, sollicitations et butée mobilisée	YE	1,00
--	----	------

**Paramètres du sol**

Cohésion	Yc'	1,00
Angle de frottement	Yφ'	1,00
Cohésion en comportement non drainé:	Yc,u	1,00
Angle de frottement en comportement non drainé:	Yφ,u	1,00

**Résistances**

**Butée limite du sol**

phase durable	Ypb,D	1,40
phase transitoire	Ypb,T	1,10

Cliquer sur  pour quitter cet écran.

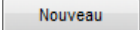
- Cliquer sur .
- Enregistrer le projet sous le nom et dans le répertoire de votre choix.

### D.2.1.2. DEFINITION DES COUCHES DE SOL

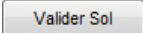
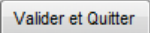
Les caractéristiques des couches sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

	z (m)	z <sub>w</sub> (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	φ (°)	c (kN/m <sup>2</sup> )	δ <sub>a</sub> /φ	δ <sub>p</sub> /φ
Sable	0	-2	18	10	31	0	0.66	-0.33
Limons	-11	-2	21	11	35	0	0.66	-0.33

	k <sub>0</sub>	k <sub>ay</sub>	k <sub>py</sub>	k <sub>ac</sub>	k <sub>pc</sub>	k <sub>h</sub> (kN/m <sup>2</sup> /m)
Sable	0.485	0.271	4.202	0	0	30000
Limons	0.426	0.227	5.276	0	0	35000

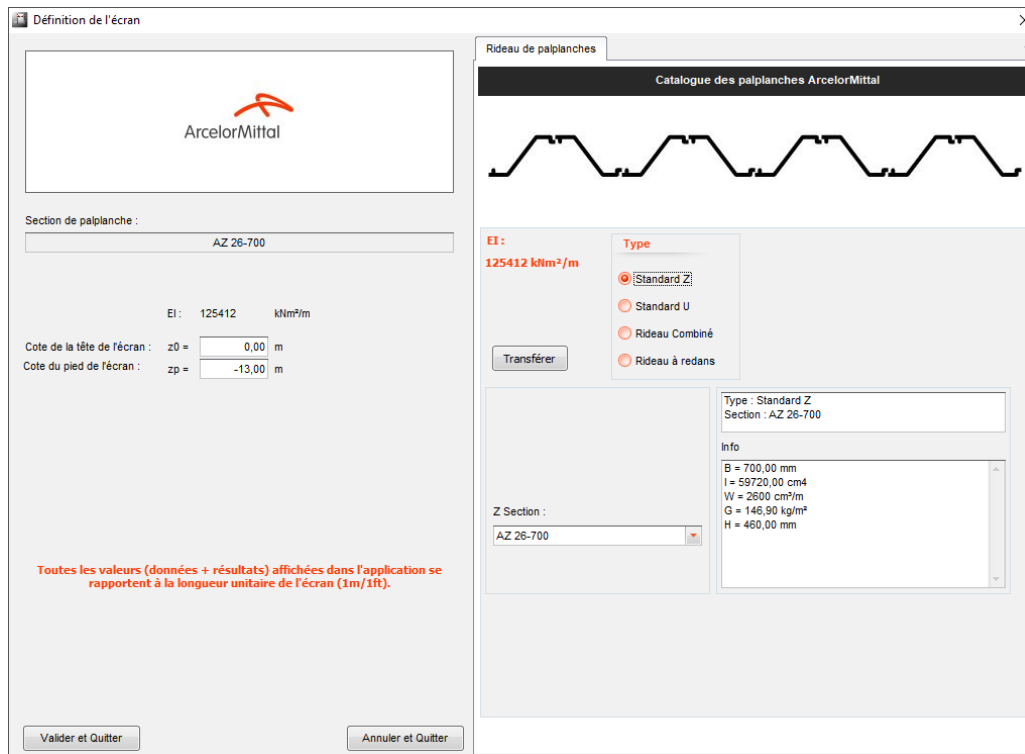
La boîte de dialogue **Caractéristique des couches de sol** s'affiche et doit être complétée comme présenté sur la capture d'écran suivante. Dans le cadre de saisie (partie inférieure de la boîte de dialogue), saisir les caractéristiques de la couche de Sable. Ensuite cliquer sur  pour saisir les caractéristiques de la couche de Limons.

Pour compléter les coefficients  $k_0$ ,  $k_{ay}$ ,  $k_{py}$ ,  $k_{ac}$ ,  $k_{pc}$ ,  $k_d$ ,  $k_r$ , nous allons utiliser ici les assistants automatiques. Voir le Tutoriel 1 pour plus de détails concernant l'utilisation des assistants automatiques.

Cliquer sur  puis sur .

### D.2.1.3. DEFINITION DU RIDEAU

- La boîte de dialogue **Définition de l'écran** s'affiche ensuite et doit être complétée comme présenté ci-dessous.



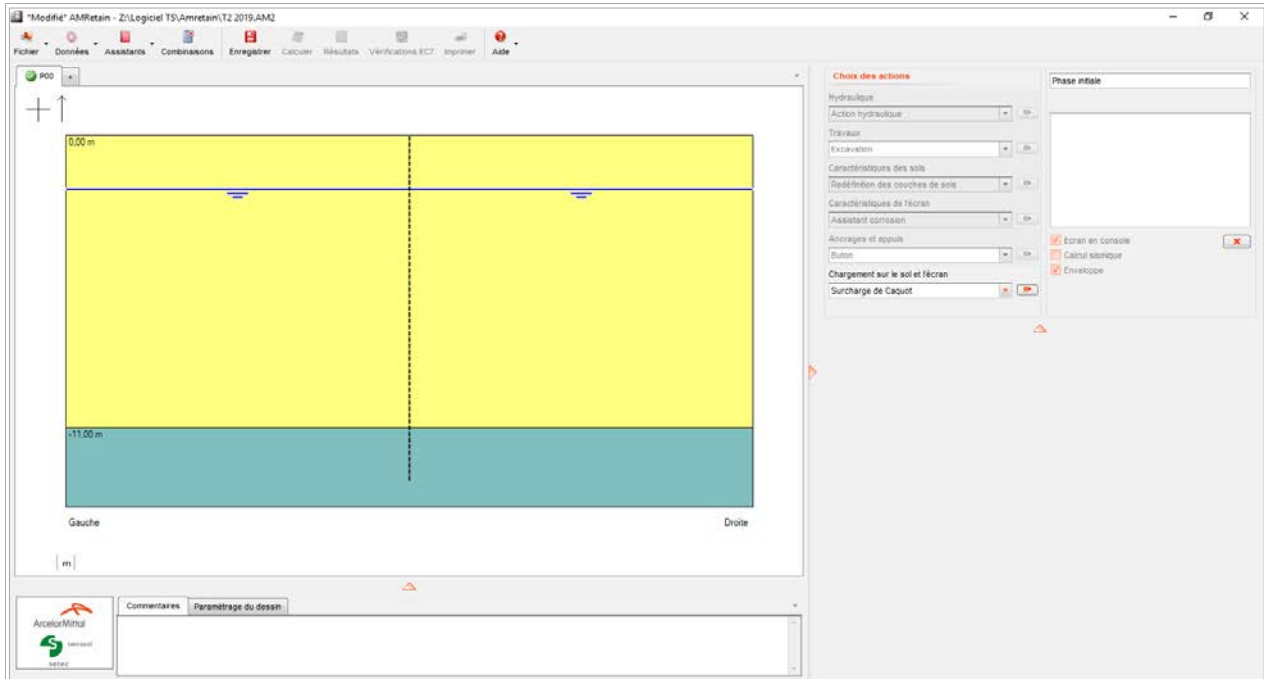
- Dans la zone **Catalogue des palplanches ArcelorMittal**, cocher le type **Standard Z** (sélection par défaut). Dans la liste **Z Section**, sélectionner **AZ 26-700**. Cliquer sur le bouton **Transférer** pour copier les propriétés de la palplanche (référence et valeur de EI) dans les données du projet (partie gauche de la fenêtre).
- Dans la partie gauche de la fenêtre, compléter la cote supérieure de la palplanche  $Z_0$  et la cote inférieure du rideau à l'aide des valeurs fournies dans le tableau suivant.

	Type	EI (kNm <sup>2</sup> /m)	Z <sub>0</sub> (m)	Z <sub>p</sub> (m)
Rideau	AZ 26-700	125 412	0	-13

- Cliquer sur **Valider et Quitter**.

## D.2.2. ETAPE 2 : DEFINITION DES PHASES ET DES ACTIONS

Une fois les étapes précédentes terminées, la fenêtre principale apparaît comme ci-dessous.



La fenêtre principale d'AMRetain affiche le dessin des couches de sol et du rideau pour la phase initiale du projet.

Il faut tout d'abord définir les actions de la phase initiale (phase 0). Mais dans notre cas, il n'y a pas d'action à définir dans la phase initiale.


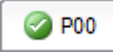
Nous allons donc créer et définir la phase 1 comme indiqué ci-dessous.


Le phasage complet de cet exemple est présenté dans le tableau suivant.

Phase	Actions	Propriétés
Phase initiale	-	-
Phase 1 (provisoire) Excavation côté gauche et surcharge sur le terrain naturel du côté droit	1. Excavation 2. Chargement sur le sol et l'écran	1. Côté gauche, zh = -4.5 m, 2. Surcharge de Caquot q = 10 kN/m/m <b>(surcharge à définir comme variable)</b>
Phase 2 (durable) Changement du niveau de nappe côté gauche	1. Hydraulique	1. Côté gauche, zw = -3 m


### D.2.2.1. DEFINITION DE LA PHASE 1

Il faut tout d'abord créer une nouvelle phase.

- Cliquer sur l'onglet  dans la partie supérieure de la fenêtre principale, à côté de l'onglet de la Phase 0 .
- Un nouvel onglet est créé pour la phase 1 (avec les mêmes données que la phase initiale pour le moment).

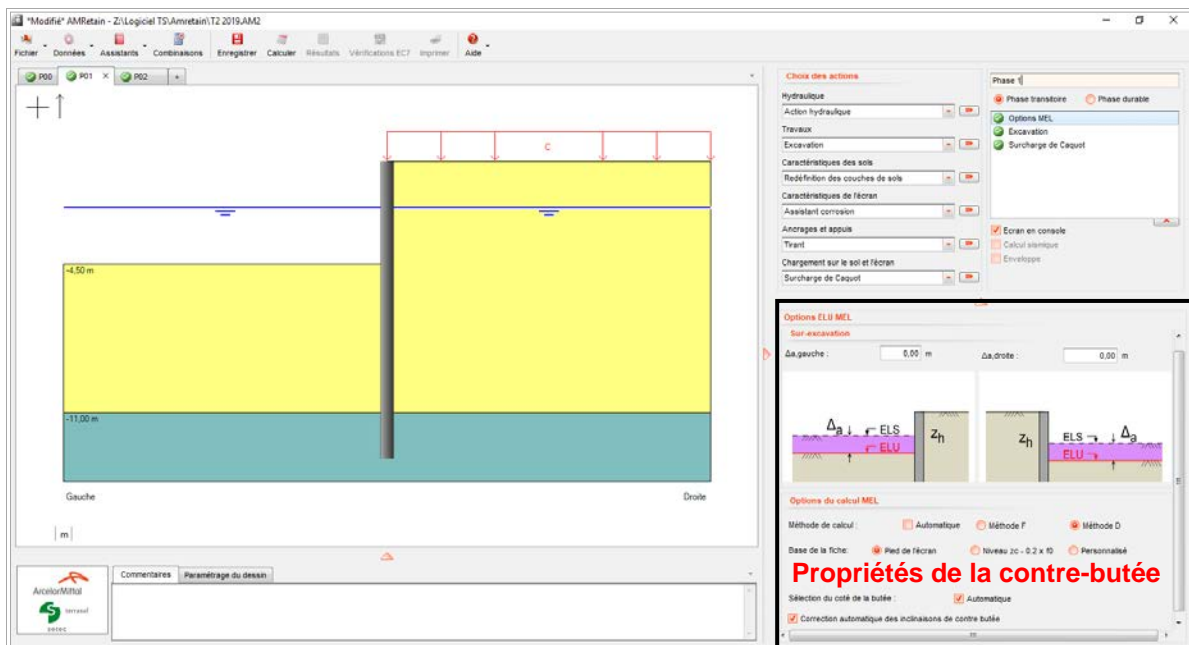
- Ce projet (et donc cette phase) n'inclut aucun ancrage, et l'écran est en console (autostable). De plus, nous avons activé les vérifications ELU lors de la définition des propriétés du projet. Par conséquent :
  - La case **Ecran en console** est automatiquement cochée.
  - L'action **Coefficients MEL (Méthode Equilibre Limite)** a été automatiquement ajoutée : elle vise à contrôler les propriétés de contre-butée. Par défaut, ces paramètres (contre-butée) ont les mêmes valeurs que ceux de butée (valeurs de  $\delta_p/\varphi$ ,  $k_{py}$  et  $k_{pc}$  identiques à celles initialement définies pour chaque couche de sol). Dans cet exemple, nous garderons ces valeurs (voir la capture d'écran page suivante). La notation « cb » sur cet écran fait référence à la contre-butée. On notera que l'inclinaison de la contre-butée doit être vérifiée et ajustée si nécessaire afin d'assurer la cohérence de l'équilibre vertical. La méthode de calcul retenue est la **méthode D** : il convient ici de décocher la case « Automatique » et de cocher le radio bouton « Méthode D ».
  - La phase 1 doit être définie comme "**transitoire**" (juste au-dessus de la liste des actions).
- Nous devons maintenant définir la première action « physique » à exécuter en phase 1: sélectionner **Excavation** dans la liste **Travaux**.
- Cliquer sur le bouton de transfert  à côté de la liste.
- Définir les propriétés requises en partie inférieure de l'écran :

Côté gauche  
Niveau d'excavation  $z_h = -4.5$  m

- Le dessin est mis à jour en prenant en compte l'excavation.
- Définir les autres actions à ajouter dans la phase 1 en sélectionnant **Surcharge de Caquot** dans la liste **Chargement sur le sol et l'écran**.
- Cliquer sur le bouton de transfert .
- Définir les propriétés requises :


Côté droit  
Surcharge  $q = 10$  kN/m/m (à définir comme **variable**)

Lorsque la définition de la phase 1 est terminée, l'écran principal doit ressembler à ceci :



### D.2.2.2. DEFINITION DE LA PHASE 2

Le but de la deuxième phase est de changer le niveau de nappe du côté gauche de l'écran.

- Cliquer sur l'onglet  dans la partie supérieure de la fenêtre principale, à côté de l'onglet de la Phase 0.
- L'écran est toujours en console, et le calcul MEL est donc de nouveau automatiquement activé, avec la création d'une action **Coefficients MEL**. Les propriétés relatives à la contre-butée de chaque couche sont par défaut les mêmes que celles de la phase 1. Nous allons les conserver.


Il convient ici de décocher à nouveau la case « Automatique » et de cocher le radio bouton « Méthode D »

La phase 2 doit être définie comme “**durable**” (juste au-dessus de la liste d'actions)

- Définir une **action Hydraulique** à l'aide des propriétés suivantes:

Côté gauche Niveau de nappe $z_w = -3$ m
---

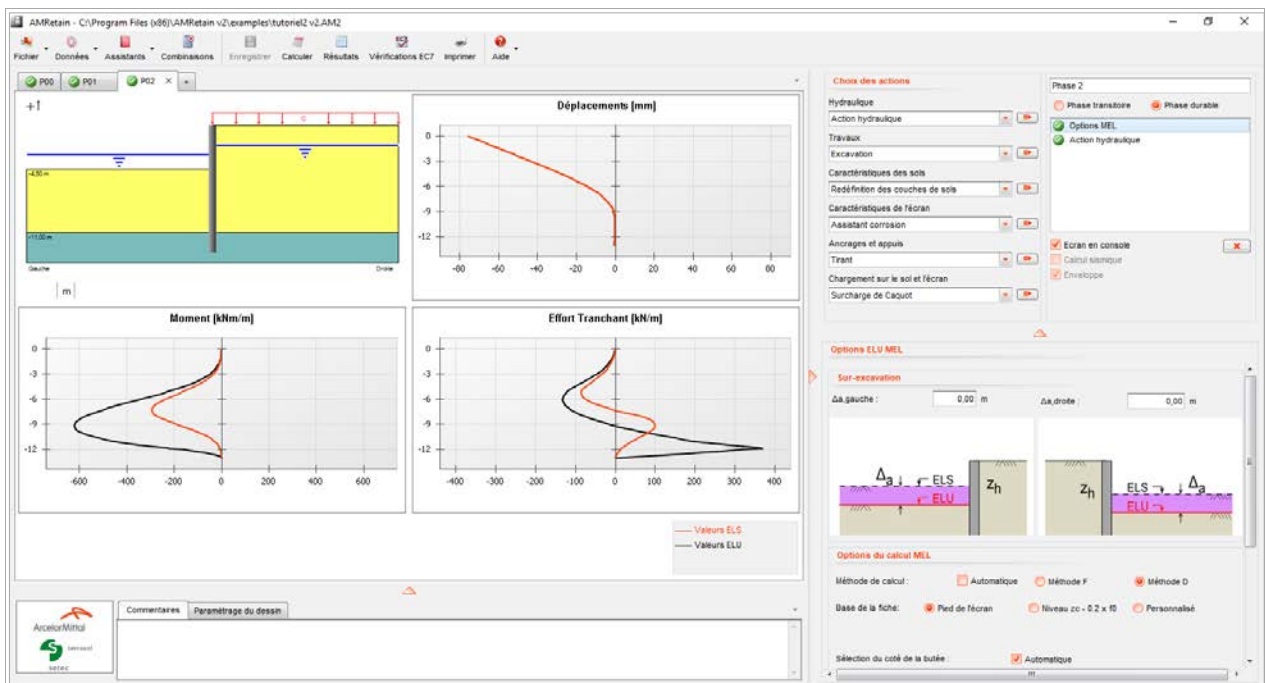
### D.2.3. ETAPE 3 : CALCULS ET RESULTATS


Pour lancer les calculs à la fin de la saisie de l'ensemble des paramètres du projet, cliquer sur .

Remarque : les calculs peuvent être lancés à n'importe quel moment, dès que toutes les données globales ont été saisies.

Les courbes des moments et efforts tranchants sont disponibles dans chaque onglet de phase (phase 2 par exemple sur la capture d'écran ci-dessous). Dans le cas de cet exemple, ces courbes présentent les résultats ELU en valeurs de calcul. Ces valeurs sont celles à utiliser comme données d'entrée pour la vérification de l'équilibre interne du rideau (elles sont détaillées plus loin dans ce chapitre).

Les déplacements ne sont pas affichés à l'ELU car ils ne sont pas représentatifs étant donné qu'il s'agit d'un calcul MEL (équilibre limite).



Pour visualiser les résultats complets (graphics et tableaux), cliquer sur le bouton .

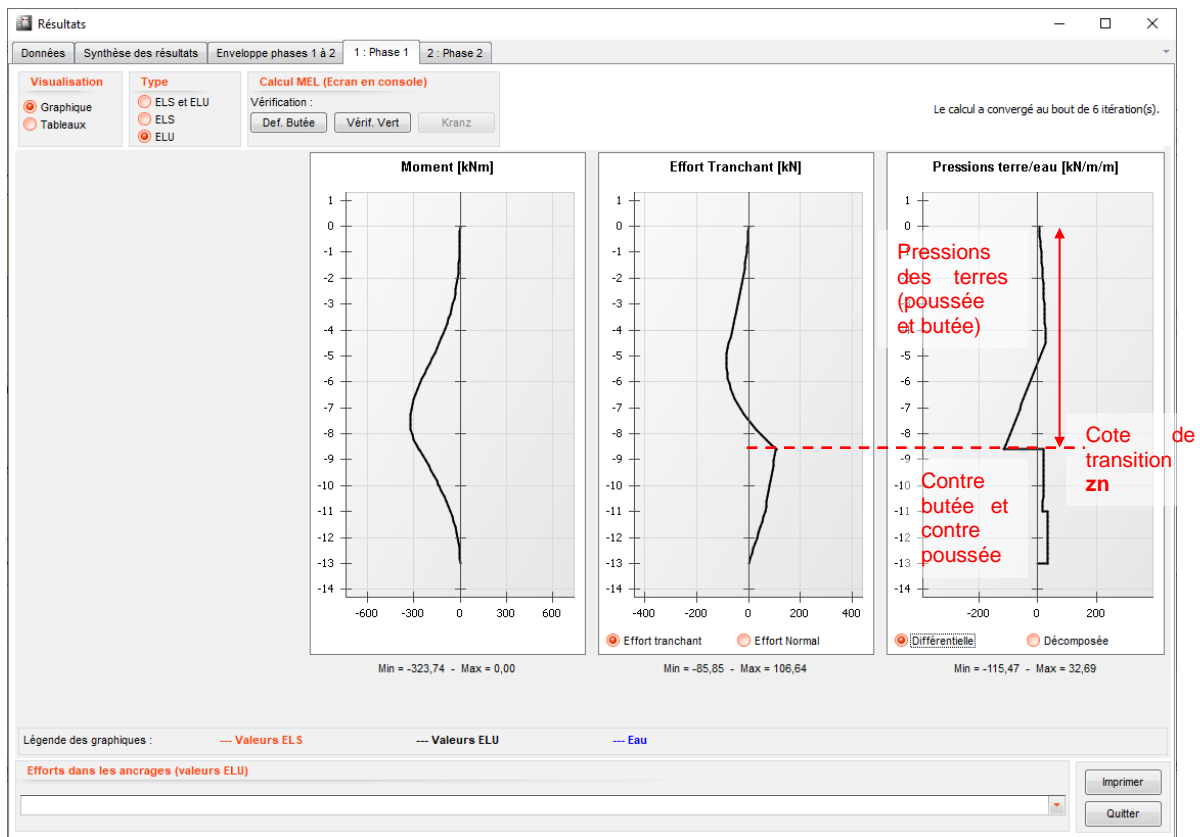
L'écran suivant s'affiche :

Résultats																		
Données Synthèse des résultats Enveloppe phases 1 à 2 1 : Phase 1 2 : Phase 2																		
GENERALITES																		
Systèmes d'unités :	Métrique, kN, ...																	
Poids volumique de l'eau :	9,81 kN/m <sup>3</sup>																	
Nombre d'itérations :	100																	
Pas de calcul :	0,20 m																	
Prise en compte moments 2 ord...	Non																	
Définition du projet :	Cotes																	
CARACTERISTIQUES DES COU...																		
Couche	z	zw	Y	Y'	φ	c	dc	k0	kay	kpy	kd	kr	kac	kpc	kh	dkh	δa/φ	δp/φ
	m	m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>	°	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup> /m								kN/m <sup>2</sup> /m	kN/m <sup>2</sup> /...		
Sable	0,00	-2,00	18,00	10,00	31,00	0,00	0,000	0,485	0,271	4,202	0,485	0,485	0,000	0,000	30000	0	0,660	-0,330
Limon	-11,00	-2,00	21,00	11,00	35,00	0,00	0,000	0,426	0,227	5,276	0,426	0,426	0,000	0,000	35000	0	0,660	-0,330
Valeurs de calcul des paramèt...																		
MISS																		
MEL																		
Couche	Comportement	φ,d	c,d	dc,d	kay,d	kpy,d	kac,d	kpc,d		φ,d	c,d	dc,d	kay,d	kpy,d	kac,d	kpc,d		
		°	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup> /m						°	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup> /m						
Sable	Drainé	31,00	0,00	0,000	0,271	4,202	0,000	0,000		31,00	0,00	0,000	0,271	4,202	0,000	0,000		
Limon	Drainé	35,00	0,00	0,000	0,227	5,276	0,000	0,000		35,00	0,00	0,000	0,227	5,276	0,000	0,000		
CARACTERISTIQUE DE L'ECRAN																		
z0	0,00 m																	
Section	z,base	EI	Rc	W														
	m	kNm <sup>2</sup> /m	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>3</sup>														
1	-13,00	125412	0	1,47														

Il regroupe toutes les données et les résultats dans différents onglets :

- L'onglet **Données** récapitule toutes les données du projet : unités, poids de l'eau, caractéristiques des sols, caractéristiques du rideau, options de la phase initiale, etc.
- L'onglet **Synthèse des Résultats** fournit un résumé des principaux résultats ELS et ELU.
- L'onglet **Enveloppe** présente les courbes enveloppe et les tableaux correspondants (résultats enveloppes du projet pour l'ensemble des phases du projet).
- Les onglets « phases » correspondent aux résultats détaillés par phases. Dans chaque onglet, il est possible de passer du mode **Graphiques** au mode **Tableaux** (et vice versa) et d'accéder aux résultats des vérifications ELU.

La capture d'écran suivante illustre les **graphiques ELU** de la **phase 1** de cet exemple :

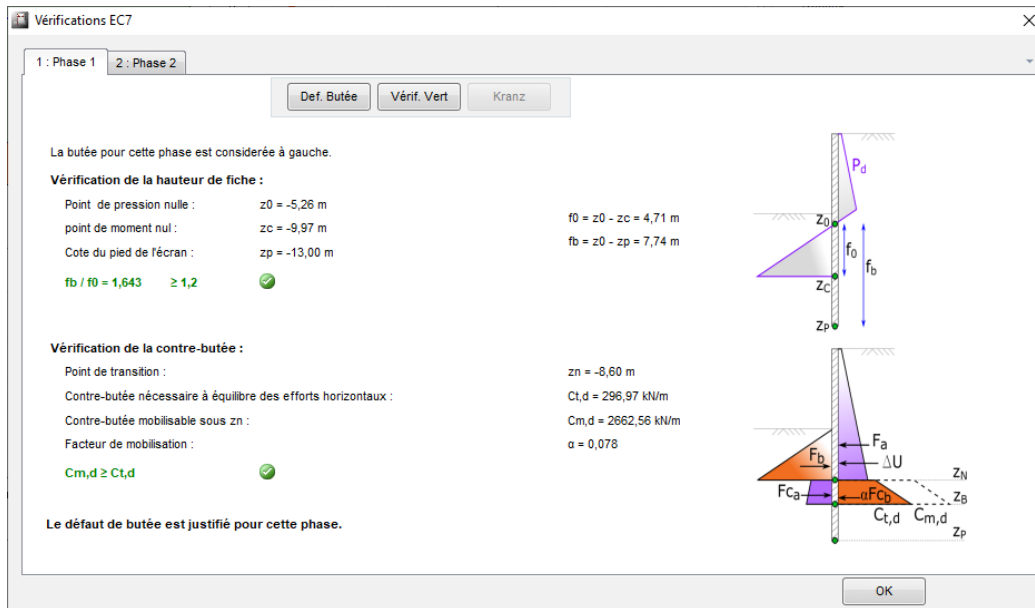


Comme expliqué dans la partie C du manuel (et illustré sur la capture d'écran ci-dessus) :

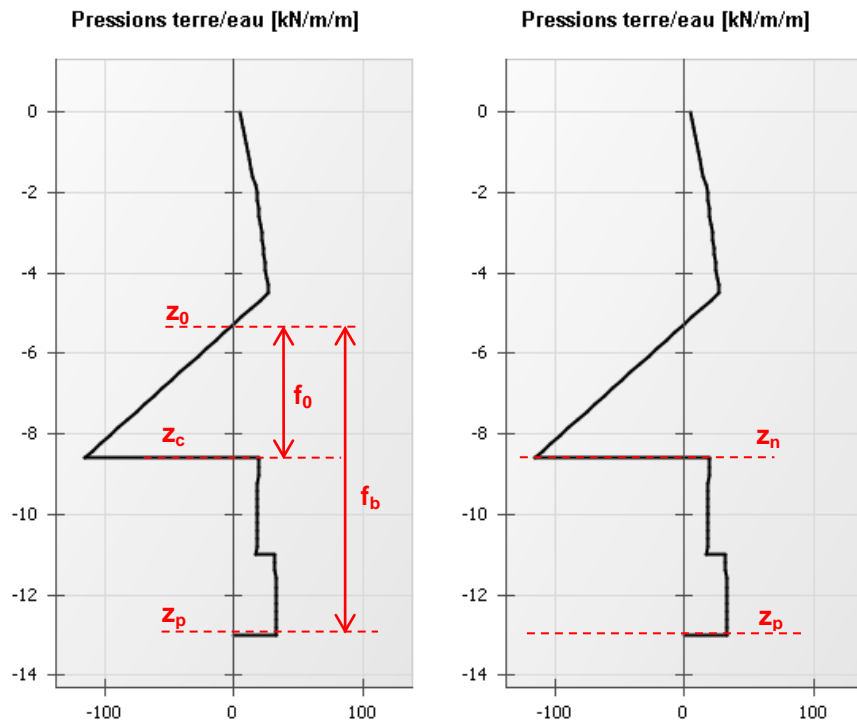
- Le calcul prend en compte les poussées/butées jusqu'à la cote de transition  $z_n$ , sous cette cote, ce sont les contre-butée et contre-poussée qui sont comptabilisés.
- L'effort tranchant maximum est atteint à la cote de transition  $z_n$ .

Dans cette fenêtre, cliquer sur les boutons **Def. Butée.** et **Vérif. Vert.** pour afficher les résultats des vérifications à l'ELU.

### Vérification du défaut de butée



La figure ci-dessous illustre les différents niveaux calculés et affichés sur l'écran, ainsi que  $f_0$  (fiche nécessaire) et  $f_b$  (fiche disponible). Voir la partie C du manuel pour la description complète de la méthode de calcul et la signification des notations.

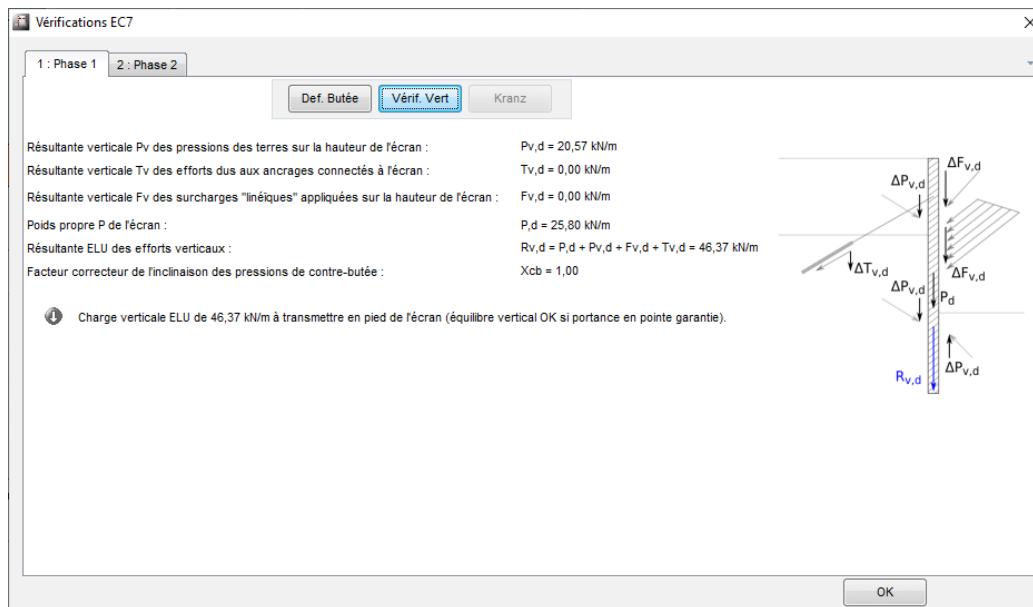


La capture d'écran ci-dessus illustre le fait que la vérification est divisée en 2 parties (cas d'un calcul MEL) :

- Vérification de la fiche : AMRetain calcule le point « critique » C correspondant à la hauteur de fiche minimale nécessaire pour assurer l'équilibre des moments. Il vérifie ensuite que la hauteur de fiche disponible est supérieure à cette fiche minimale, avec un niveau de sécurité suffisant (1,20 d'après la norme française NF P 94-282). La sécurité obtenue ici est  $1,64 > 1,20$ . La vérification de la hauteur de fiche est donc satisfaisante.

- Vérification de la contre-butée : nous avons choisi la méthode D, donc AMRetain recherche automatiquement la cote du point de « transition »  $z_n$ . Ce point de transition correspond à la cote de passage de la zone de poussée/butée à la zone de contre-poussée/contre-butée, de façon à ce que les équilibres des moments et des efforts horizontaux soient assurés. Ce calcul permet d'évaluer le facteur de mobilisation  $\alpha$  égal au rapport entre la contre-butée nécessaire à l'équilibre horizontal de l'écran et la contre-butée disponible sous le point  $z_n$ . Ici, on a  $\alpha = 0,078 < 1,00$ .

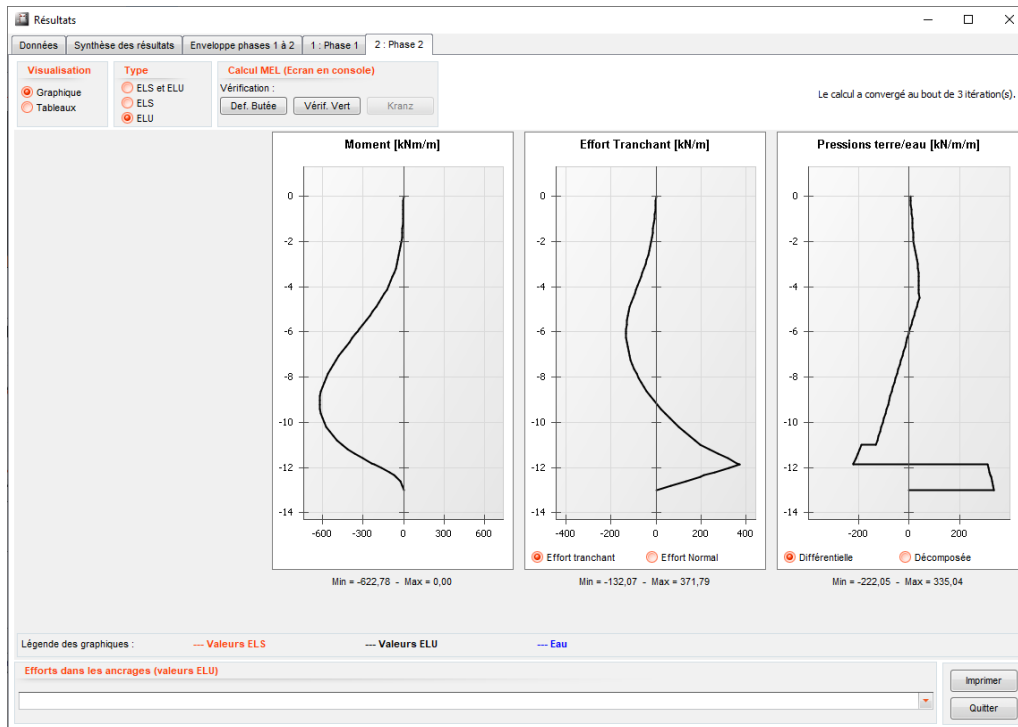
### Bilan des efforts verticaux appliqués sur l'écran



Dans le cadre de cette vérification, AMRetain calcule l'équilibre des efforts verticaux mobilisés tout le long du rideau, incluant le poids du rideau lui-même. Dans notre cas, la résultante verticale des efforts est dirigée vers le bas et sa valeur est de 46.37 kN/m, ce qui valide le choix des inclinaisons de poussée/butée. Cette résultante doit être utilisée ensuite par l'utilisateur pour vérifier la capacité portante en pied du rideau (séparément de AMRetain).

Cette vérification est aussi « satisfaisante » : la résultante des efforts verticaux est positive (i.e. dirigée vers le bas).

Passons à présent aux résultats de la phase 2.  
 La capture d'écran ci-dessous présente les **courbes ELU** de la **phase 2** de cet exemple :

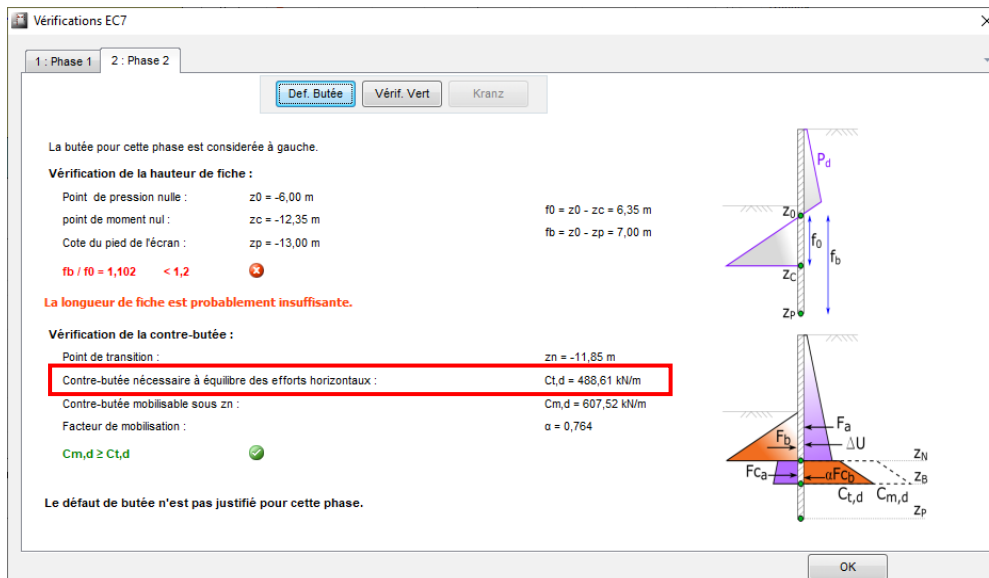


Le moment maximum est de l'ordre de 623 kNm/m.

L'effort tranchant maximum est 372kN/m, et est atteint à la cote de transition.

Dans cette fenêtre, cliquer sur les boutons **Def. Butée.** et **Vérif. Vert.** pour afficher les résultats des vérifications ELU.

**Vérification du défaut de butée**



Cette vérification n'est plus satisfaisante. Le rapport des fiches  $f_b/f_0$  est égal à 1,10 < 1,20 (valeur minimale requise d'après la norme française NF P 94-282). La sécurité sur la fiche n'est donc pas assurée. Le facteur de mobilisation de la contre-butée ( $\alpha$ ) est supérieur à celui de la phase 1 (0,77) mais est toujours nettement inférieur à 1,0.

## Bilan des efforts verticaux appliqués sur l'écran

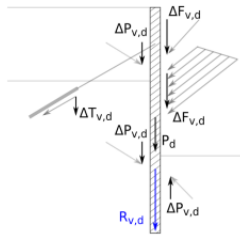
Vérfications EC7

1 : Phase 1 2 : Phase 2

Def. Butée **Vérif. Vert** Kranz

Résultante verticale Pv des pressions des terres sur la hauteur de l'écran :	$P_{v,d} = -25,60 \text{ kN/m}$
Résultante verticale Tv des efforts dus aux ancrages connectés à l'écran :	$T_{v,d} = 0,00 \text{ kN/m}$
Résultante verticale Fv des surcharges "linéiques" appliquées sur la hauteur de l'écran :	$F_{v,d} = 0,00 \text{ kN/m}$
Poids propre P de l'écran :	$P_{v,d} = 25,60 \text{ kN/m}$
Résultante ELU des efforts verticaux :	$R_{v,d} = P_{v,d} + P_{v,d} + F_{v,d} + T_{v,d} = 0,20 \text{ kN/m}$
Facteur correcteur de l'inclinaison des pressions de contre-butée :	$X_{cb} = 0,19$

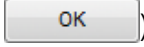

⚠ Charge verticale ELU de 0,20 kN/m à transmettre en pied de l'écran (équilibre vertical OK si portance en pointe garantie).



OK

Cette vérification est aussi « satisfaisante » : la résultante des efforts verticaux est positive (i.e. dirigée vers le bas). Il faut noter que l'inclinaison de la contre-butée a été recherchée par AMRetain pour garantir l'équilibre vertical.

### D.2.4. ETAPE 4 : AJUSTEMENT DES DONNEES DU PROJET AFIN DE SATISFAIRE LES CONDITIONS DES VERIFICATIONS ELU

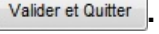
Fermer la fenêtre des vérifications ELU (bouton ) et la fenêtre des résultats (bouton 

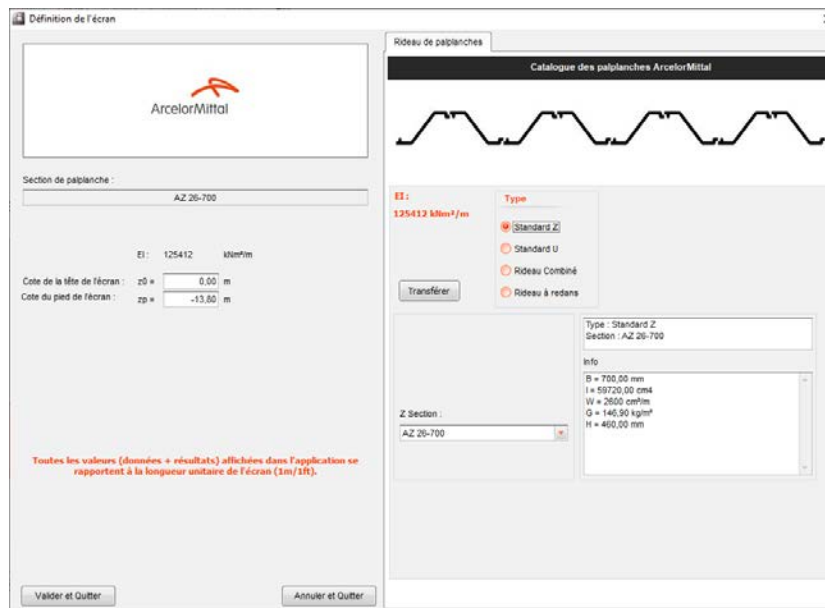
Enregistrer sous votre projet avec un nouveau nom de fichier.



#### D.2.4.1. DEFAUT DE BUTEE

Suite à l'analyse des résultats obtenus, nous allons augmenter la fiche du rideau et relancer le calcul.

Nous allons ainsi passer la cote du pied du rideau de -13,0 à -13,80 m (c'est-à-dire augmenter de 80 cm la fiche disponible).

- Dans la fenêtre principale, sélectionner le menu **Données / Définition de l'écran** pour faire apparaître la boîte de dialogue de définition du rideau.
- Changer la cote zp : la définir à -13,8 m (figure ci-dessous), et cliquer sur  .



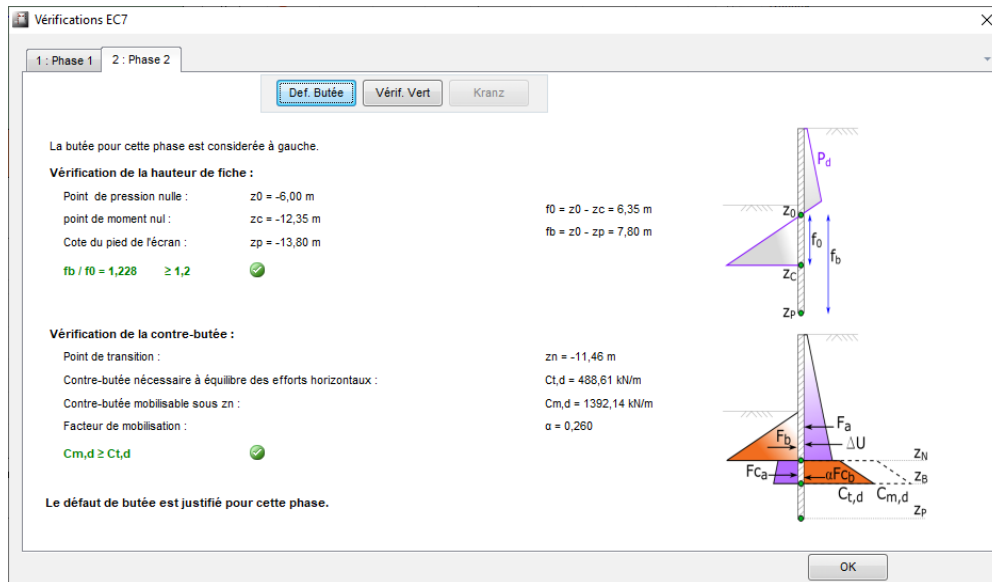
- Relancer le calcul (en utilisant le bouton  dans la fenêtre principale par exemple).
- Cliquer sur le bouton  .
- Sur l'onglet **Synthèse des résultats**, sélectionner les résultats à l'**ELU**.

Résultats							
Données		Synthèse des résultats		Enveloppe phases 1 à 2		1 : Phase 1	2 : Phase 2
N° PHASE	Type	M,d max écran [kNm/m]	N,d max écran [kN/m]	V,d maxi écran [kN/m]	Vérif. Def. Butée	Bilan Vert	Vérif. Kranz
1	MEL	-324,13	57,74	91,81	OK	57,74	OK
2	MEL	-622,78	54,47	288,74	OK	3,60	OK
Extrema		-622,78	57,74	288,74			

Cet onglet est un moyen de vérifier très rapidement si toutes les vérifications sont satisfaisantes ou non.

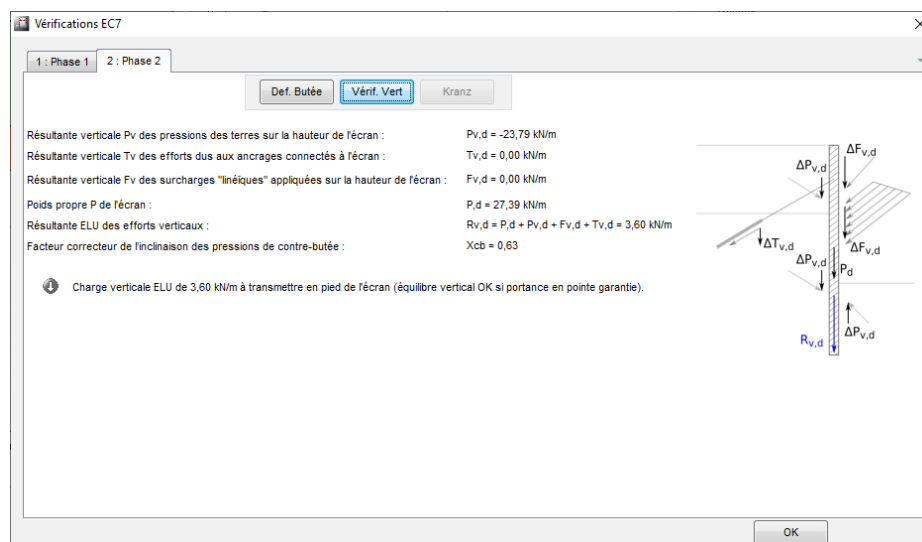
La vérification du défaut de butée est maintenant satisfaite pour les deux phases, ce qui signifie que la fiche est à présent suffisante.

Cliquer sur l'onglet **Phase 2**, et sur le bouton **Def. Butée** pour accéder aux détails numériques.



Cette vérification est effectivement satisfaisante : le rapport des hauteurs de fiche  $f_b/f_0$  est de 1,23 ( $\geq 1,20$ ), et le facteur de mobilisation "α" est 0,260 ( $\leq 1,0$ ).

### D.2.4.2. VÉRIFICATION VERTICALE

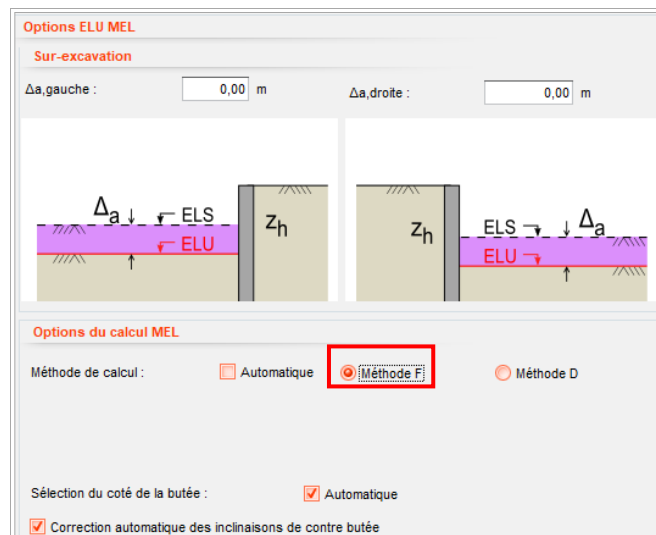


Cette vérification est aussi « satisfaisante » : la résultante des efforts verticaux est positive (i.e. dirigée vers le bas).

### D.2.5. ETAPE 5 : COMPARAISON DES METHODES MEL D ET MEL F

Nous allons ici comparer 2 calculs faisant appel aux mêmes paramètres, mais menés avec l'approche D d'une part (cf chapitres précédents), et l'approche F d'autre part. Voir aussi la partie C du manuel pour une description détaillée de ces méthodes de calcul.

- Fermer la fenêtre des vérifications ELU (bouton ) et ensuite la fenêtre des résultats (bouton
- Ensuite, **Enregistrer** votre projet et ouvrir le fichier du tutoriel 2 correspondant à la première solution considérée dans le chapitre D.2.4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** (avec  $z_p = -13,80$  m).
- **Enregistrer sous** votre fichier avec un autre nom, et changer la méthode de calcul MEL de MEL D (méthode par défaut) vers MEL F (méthode "Française").
- Dans chacune des deux phases, sélectionner l'action « Option MEL » et cocher le radio-bouton « méthode F ».



- Ne changer aucun autre paramètre du projet. Cliquer sur  et ouvrir la fenêtre des résultats. Voici l'onglet de **Synthèse des Résultats** :

Résultats

Données Synthèse des résultats Enveloppe phases 1 à 2 1 : Phase 1 2 : Phase 2

Type

ELS et ELU  
 ELS  
 ELU

N° PHASE	Type	M,d max écran [kNm/m]	N,d max écran [kN/m]	V,d maxi écran [kN/m]	Vérif. Def. Butée	Bilan Vert	Vérif. Kranz
1	MEL	-324,13	49,86	159,15	OK	15,73	OK
2	MEL	-622,78	54,47	244,30	OK	3,76	OK
Extrema		-622,78	54,47	244,30			

Le tableau ci-dessous résume les principales valeurs pertinentes afin de comparer les deux calculs effectués avec les méthodes D et F :

		Méthode D	Méthode F
<b>Phase 1</b>	Moments	-324 / 0 kNm/m	-324 / 0 kNm/m
	Efforts Tranchants	-86 / 92 kN/m	-86 / 159 kN/m
	Côte de transition	$z_n = -8.47$ m	$z_c = -9.97$ m
	Vérification du défaut de butée	OK $f_b/f_0 = 1,81$ $\alpha = 0,064$	OK $f_b/f_0 = 1,82$ $\alpha = 0,151$
	Résultante verticale	OK (58 kN)	OK (16 kN)
<b>Phase 2</b>	Moments	- 623 / 0 kNm/m	-623 / 0 kNm/m
	Efforts Tranchants	-132 / 289 kN/m	-132 / 244 kN/m
	Côte de transition	$z_n = -11.46$ m	$z_c = -12.35$ m
	Vérification du défaut de butée	OK $f_b/f_0 = 1,22$ $\alpha = 0,260$	OK $f_b/f_0 = 1,22$ $\alpha = 0,850$
	Résultante verticale	OK (3,60 kN/m)	OK (3,76 kN/m)

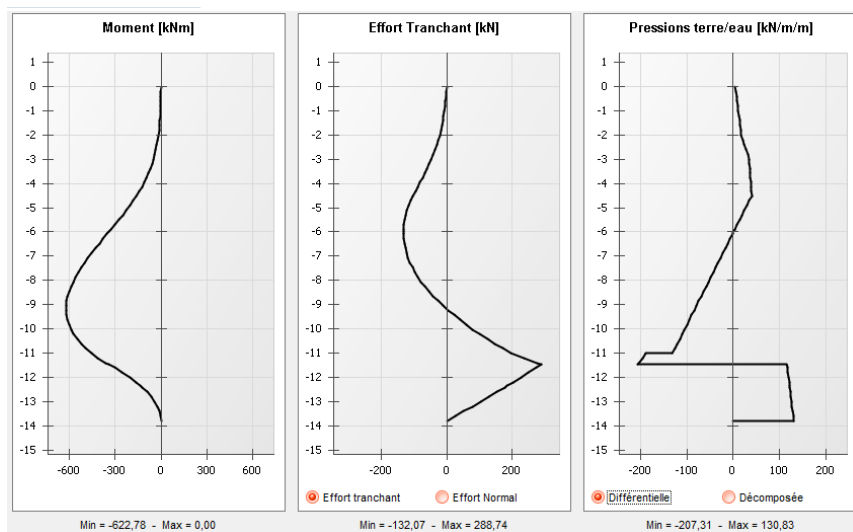
On peut vérifier dans le tableau que la différence entre les côtes des points de transition calculées avec les deux méthodes est de 1,50 m pour la phase 1 et de 0,89 m pour la phase 2.

Les figures suivantes présentent la superposition des pressions différentielles, des moments et des efforts tranchants pour des calculs menés avec la méthode D et la méthode F pour la phase 2.

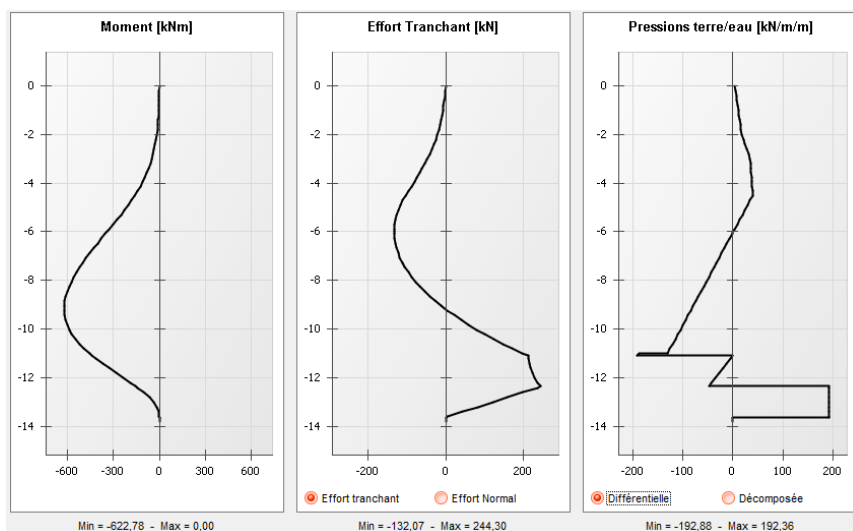
- Pressions différentielles : on voit clairement que la contre-butée est mobilisée sous  $z_n$  pour la méthode D, et sous  $z_c$  pour la méthode F ( $z_c$  étant plus profond que  $z_n$ ). Ainsi, la forme des pressions différentielles est la même pour les deux méthodes jusqu'à  $z_n$ , mais est différente en dessous de  $z_n$ .
- Moments : le moment maximum a la même valeur pour les deux calculs.
- Efforts tranchants : les efforts tranchants sont identiques jusqu'à  $z_n$ , mais sont différents sous de  $z_n$ . Notons une autre différence importante cette fois : les valeurs maximales des efforts tranchants sont également différentes. Mais cette différence a généralement peu d'impact sur le dimensionnement du rideau, principalement contrôlé par les moments.

Voir aussi la partie C du manuel pour plus de détails.

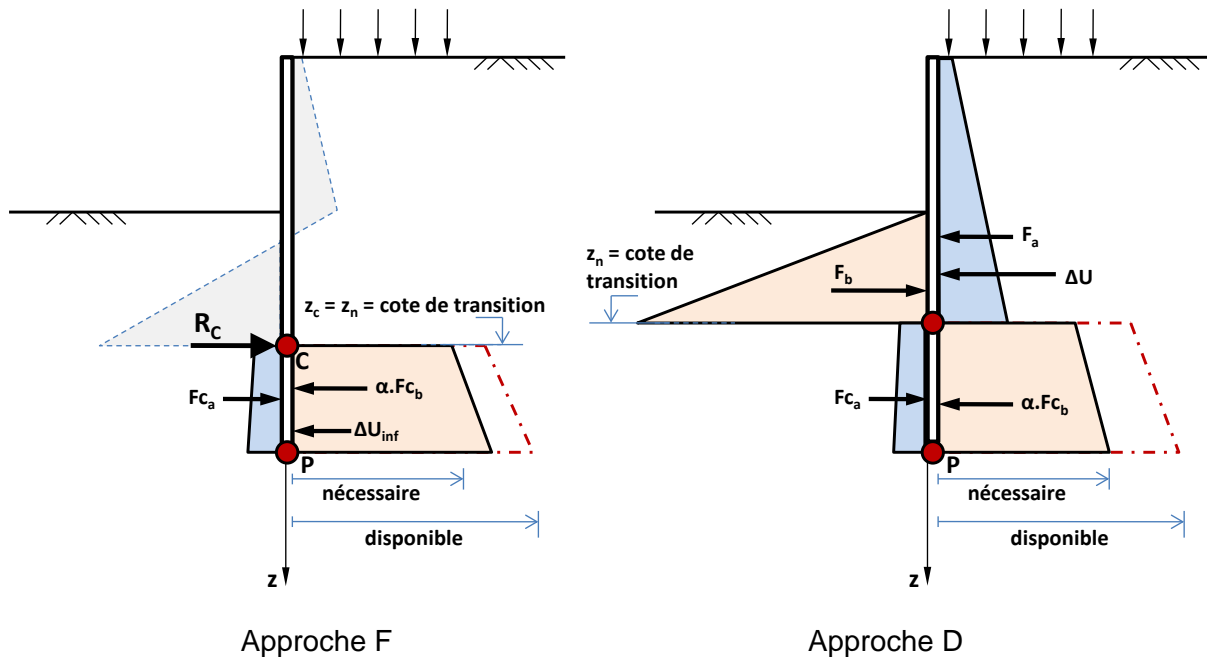
Courbes des résultats MEL D :



Courbes des résultats MEL F :



- Vérification du défaut de butée : les méthodes D et F se distinguent par leur hypothèse sur la position du point de transition  $z_n$  :
  - ✓ La méthode F est une méthode simplifiée supposant que le point de transition  $z_n$  est le même que le point  $z_c$  et prend ainsi en compte la contre-butée en dessous de  $z_c$ . Mais en toute rigueur, la contre-butée s'étend des deux côtés de  $z_c$ , de manière à assurer à la fois l'équilibre des moments et l'équilibre des efforts horizontaux.
  - ✓ La méthode D est une approche plus "rigoureuse" qui détermine la position du point de transition pour assurer à la fois l'équilibre des moments et l'équilibre des efforts horizontaux le long du rideau, comme illustré dans la figure ci-dessous.



- Comme mentionné précédemment, la différence entre les cotes des points de transition calculées par les deux méthodes est de 1,50 m pour la phase 1 et de 0,89 m pour la phase 2.
  - ✓ Le point de transition point n'est pas pris en compte lors de la vérification de la hauteur de fiche. Ainsi les rapports  $f_b/f_0$  sont identiques pour les deux calculs (phase par phase).
  - ✓ Mais le point de transition est pris en compte pour le calcul de  $C_{m,d}$ , qui est la contre-butée mobilisable sous le point de transition, et donc aussi pour celui du rapport de mobilisation  $\alpha$ . Dans cet exemple, la conclusion de chaque phase, que les vérifications soient satisfaisantes ou non, est la même pour les deux méthodes, mais les différences sur la valeur de  $\alpha$  sont significatives.
- Vérification du bilan vertical: la résultante verticale de  $P_{v,d}$  dépend aussi de la position du point de transition et les valeurs de la résultante verticale des efforts sur le rideau calculées par les deux méthodes sont très différentes. Considérons par exemple la phase 1 : la méthode D conclut que la résultante est dirigée vers le bas et la méthode F conclut qu'elle est dirigée vers le haut.

Donc le choix entre la méthode D et la méthode F peut mener à des différences importantes dans les résultats et les conclusions des vérifications ELU (calcul MEL).

- La méthode F est une méthode "Française" qui est connue pour surestimer la valeur de  $\alpha$  et qui ne permet pas l'estimation du moment sous le point C.
- Au contraire, la méthode D est une approche plus rigoureuse qui autorise la détermination de la position du point de transition  $z_n$ .

Il est donc conseillé d'utiliser la méthode D, mais l'utilisation de la méthode F peut s'avérer nécessaire pour les cas où la fiche du rideau est très longue (phase provisoire d'excavation par exemple) : dans ces cas, la méthode D calcule des moments « irréalistes » dans le rideau. Voir les parties B et C du manuel.

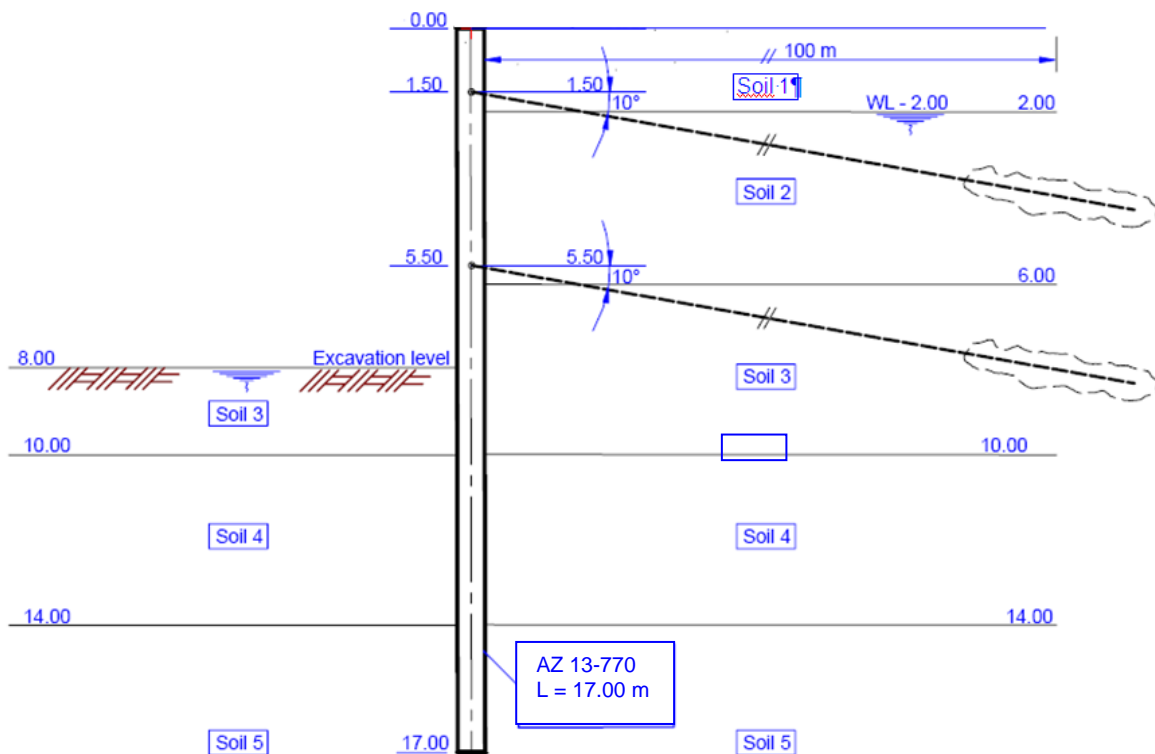
### D.3. TUTORIEL 3 : VERIFICATION A L'ELU D'UN RIDEAU DE PALPLANCHES A PLUSIEURS LITS D'ANCRAGES

Ce projet correspond au dimensionnement d'un rideau de soutènement permettant la construction d'un bâtiment de plusieurs étages.

Le rideau est constitué de palplanches ArcelorMittal de type AZ 13-770, de 17 m de longueur ; il est retenu par deux nappes de tirants inclinés de 10° par rapport à l'horizontale.

Ce projet fera l'objet de vérifications ELU (avec notamment la vérification Kranz du massif d'ancrage).

Le schéma ci-dessous illustre le projet :



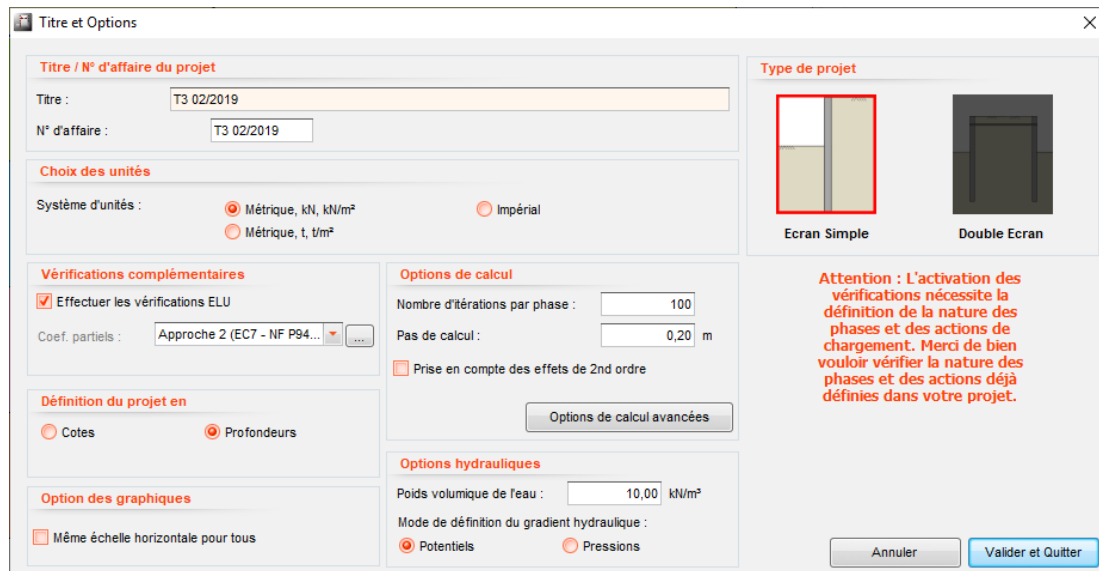
A la fin de cet exemple, nous étudierons une solution alternative avec un rideau constitué de palplanches U (AU 14), avec utilisation du coefficient Beta.D.

### D.3.1. ETAPE 1 : SAISIE DES DONNEES

#### D.3.1.1. TITRE ET OPTIONS

Dans cet exemple, nous allons travailler en **profondeurs** (axe vertical dirigé vers le bas), et tous les autres paramètres par défaut de la boîte des **Titre et options** seront conservés.

La capture d'écran suivante illustre ces données :



**Titre et Options**

**Titre / N° d'affaire du projet**  
 Titre : T3 02/2019  
 N° d'affaire : T3 02/2019

**Choix des unités**  
 Système d'unités :  Métrique, kN, kN/m<sup>2</sup>  Impérial  
 Métrique, t, t/m<sup>2</sup>

**Vérifications complémentaires**  
 Effectuer les vérifications ELU  
 Coef. partiels : Approche 2 (EC7 - NF P94-282) ...

**Options de calcul**  
 Nombre d'itérations par phase : 100  
 Pas de calcul : 0,20 m  
 Prise en compte des effets de 2nd ordre  
 Options de calcul avancées

**Définition du projet en**  
 Cotes  Profondeurs


**Option des graphiques**  
 Même échelle horizontale pour tous

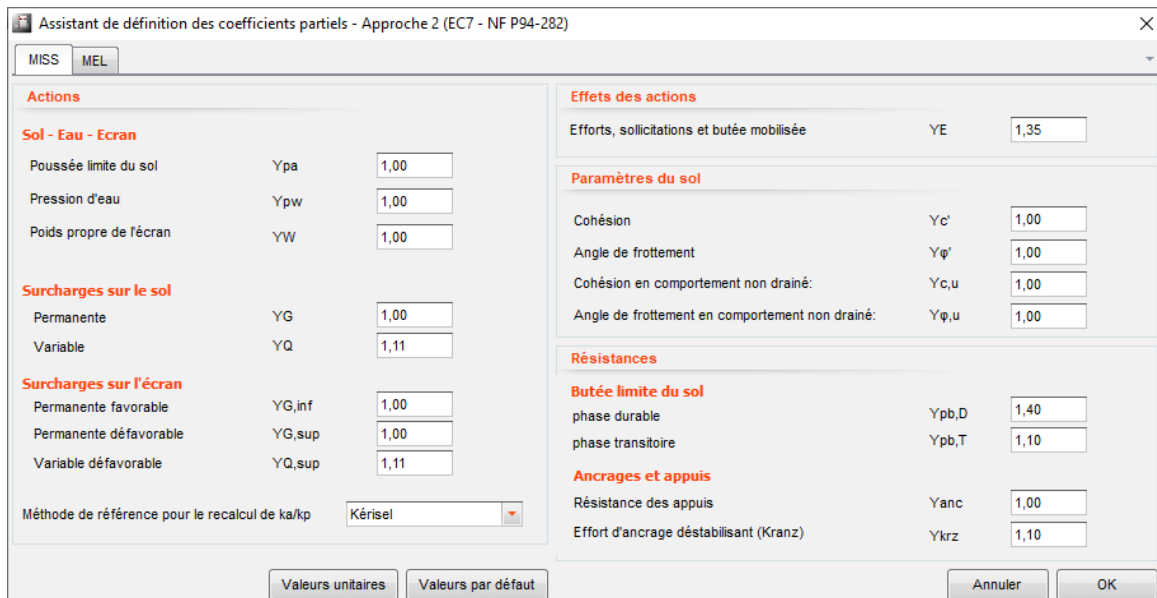
**Type de projet**  
 Ecran Simple Double Ecran

**Options hydrauliques**  
 Poids volumique de l'eau : 10,00 kN/m<sup>3</sup>  
 Mode de définition du gradient hydraulique :  Potentiels  Pressions

**Attention :** L'activation des vérifications nécessite la définition de la nature des phases et des actions de chargement. Merci de bien vouloir vérifier la nature des phases et des actions déjà définies dans votre projet.

Annuler Valider et Quitter

Le détail des coefficients partiels de la norme NF P 94-282 peut être visualisé en cliquant sur le bouton  :



**Assistant de définition des coefficients partiels - Approche 2 (EC7 - NF P94-282)**

MISS MEL

**Actions**

**Sol - Eau - Ecran**

Poussée limite du sol	Ypa	1,00
Pression d'eau	Ypw	1,00
Poids propre de l'écran	YW	1,00

**Surcharges sur le sol**

Permanente	YG	1,00
Variable	YQ	1,11

**Surcharges sur l'écran**

Permanente favorable	YG,inf	1,00
Permanente défavorable	YG,sup	1,00
Variable défavorable	YQ,sup	1,11

Méthode de référence pour le recalcul de ka/kp : Kérisel

**Effets des actions**

Efforts, sollicitations et butée mobilisée	YE	1,35
--	----	------

**Paramètres du sol**

Cohésion	Yc'	1,00
Angle de frottement	Yφ'	1,00
Cohésion en comportement non drainé:	Yc,u	1,00
Angle de frottement en comportement non drainé:	Yφ,u	1,00

**Résistances**

**Butée limite du sol**

phase durable	Ypb,D	1,40
phase transitoire	Ypb,T	1,10

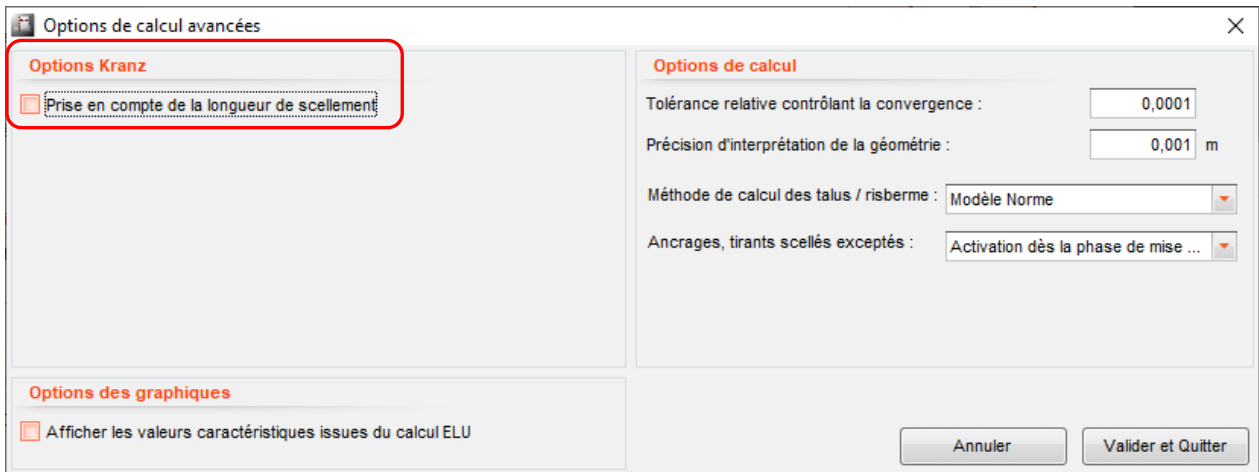
**Ancrages et appuis**

Résistance des appuis	Yanc	1,00
Effort d'ancrage déstabilisant (Kranz)	Ykrz	1,10

Valeurs unitaires Valeurs par défaut Annuler OK

Pour cet exemple, la longueur de scellement de ne sera pas prise en compte.

Ouvrir les  et décocher la case « Prise en compte de la longueur de scellement ».



### D.3.1.2. DEFINITION DES COUCHES DE SOLS

Dans la boîte des **Caractéristiques des couches de sol**, il faut à présent saisir les caractéristiques des 5 couches du projet, telles que récapitulées dans le tableau ci-dessous :

	z (m)	z <sub>w</sub> (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\varphi$ (°)	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\delta_a/\varphi$	$\delta_p/\varphi$
SOL_1	0	2	19	10	20	0	0.66	-0.33
SOL_2	2	2	19	10	25	0	0.66	-0.33
SOL_3	6	2	19	10	25	5	0.66	-0.33
SOL_4	10	2	19	10	25	10	0.66	-0.33
SOL_5	14	2	21	11	35	0	0.66	-0.33

	k <sub>0</sub>	k <sub>ay</sub>	k <sub>pγ</sub>	k <sub>ac</sub>	k <sub>pc</sub>	k <sub>h</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
SOL_1	0.658	0.431	2.381	0	0	25000
SOL_2	0.577	0.349	3.062	0	0	25000
SOL_3	0.577	0.349	3.062	1.387	4.264	25000
SOL_4	0.577	0.349	3.062	1.387	4.264	35000
SOL_5	0.426	0.227	5.276	0	0	35000

Afin de renseigner le cadre « Loi de comportement », il est possible d'utiliser les Assistants automatiques . Seul kh restera à renseigner manuellement.

Choisir la ligne à compléter :

N°	Nom couche	z [m]	γ [kN/m³]	γ' [kN/m³]	Comport...	φ [°]	c [kN/m²]	dc [kN/m²]	k0	kay	kpy	kd	kr	kac	kpc	kh [kN/m²]	dkh [kN/m²]	δa/φ	δp/φ	kay,min	pmax [kN/m/m]
1	Sol 1	0,00	19,00	10,00	Drainé	20,00	0,00	0,000	0,658	0,431	2,381	0,658	0,658	0,000	0,000	250...	0	0,660	-0,...	0,100	10000,00
2	Sol 2	2,00	19,00	10,00	Drainé	25,00	0,00	0,000	0,577	0,349	3,062	0,577	0,577	0,000	0,000	250...	0	0,660	-0,...	0,100	10000,00
3	Sol 3	6,00	19,00	10,00	Drainé	25,00	5,00	0,000	0,577	0,349	3,062	0,577	0,577	1,387	4,264	250...	0	0,660	-0,...	0,100	10000,00
4	Sol 4	10,00	19,00	10,00	Drainé	25,00	10,00	0,000	0,577	0,349	3,062	0,577	0,577	1,387	4,264	350...	0	0,660	-0,...	0,100	10000,00
5	Sol 5	14,00	21,00	11,00	Drainé	35,00	0,00	0,000	0,426	0,227	5,276	0,426	0,426	0,000	0,000	350...	0	0,660	-0,...	0,100	10000,00

Valider cette fenêtre va réinitialiser les coefficients MEL.

Niveau phréatique      zw : 2,00 m

Caractéristiques de la couche

Nom : Sol 1

Général

z : 0,00 m

γ : 19,00 kN/m³

γ' : 10,00 kN/m³

Comportement: Drainé

φ : 20,00 °

c : 0,00 kN/m²

dc : 0,000 kN/m²/m

δa/φ : 0,660

δp/φ : -0,330

Loi de comportement

Assistants automatiques

Modifier les paramètres avancés

k0 : 0,658      kd : 0,658      kd = k0

kay : 0,431      kay/kpy      kr : 0,658      kr = k0

kpy : 2,381      K. A.      kay,min : 0,100

kac : 0,000      kac/kpc      pmax : 10000,00 kN/m/m

kpc : 0,000

kh : 25000 kN/m²/m      kh

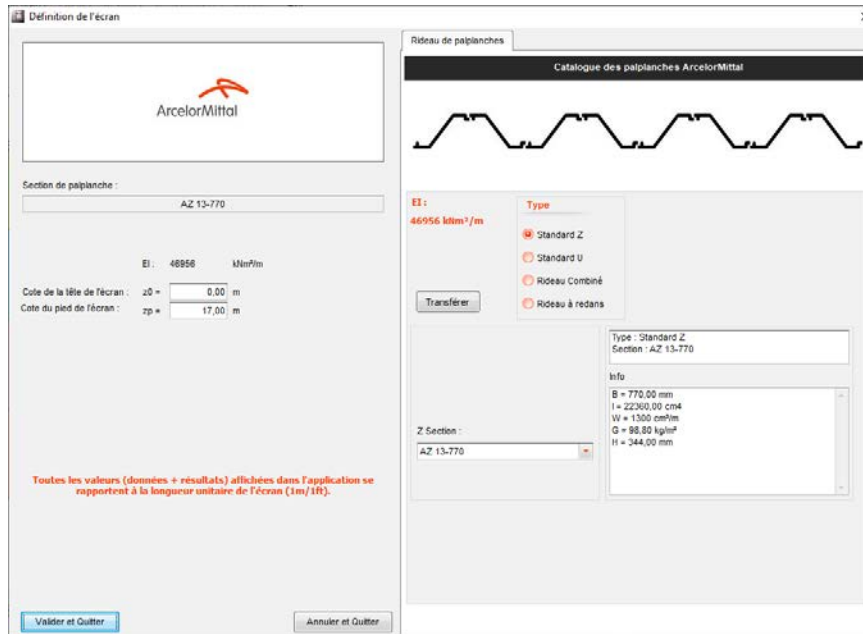
dkh : 0 kN/m²/m

Valider et Quitter      Annuler et Quitter      Afficher la Bdd des sols

Remarque : il est aussi possible d'utiliser la Base de données des sols pour exporter/importer des couches de sol lorsqu'elles ont des propriétés similaires, plutôt que de définir entièrement chaque couche de sol.

### D.3.1.3. DEFINITION DU RIDEAU

Il est constitué de palplanches Z de type AZ 13-770, de 17 m de longueur.



### D.3.2. ETAPE 2 : DEFINITION DES PHASES DE CALCUL

L'ensemble des actions du projet est récapitulé dans le tableau suivant :

Phase	Actions	Propriétés
Phase initiale	-	-
Phase 1 (transitoire) Excavation du côté gauche	Excavation	Excav. côté gauche, $z_h = 2$ m
Phase 2 (transitoire) Mise en place du premier lit de tirants	Tirants	Tirant, côté droit, $z_a = 1.5$ m, $K = 5000$ kN/m, $P = 200$ kN, $\alpha = 10^\circ$ , $Lu = 20$ m.
Phase 3 (transitoire) Excavation avec modification du niveau d'eau du côté gauche	Excavation Hydraulique	Excav. côté gauche, $z_h = 6$ m, Action hydraulique côté gauche, $z_w = 6$ m.
Phase 4 (transitoire) Mise en place du deuxième lit de tirants	Tirants	Tirant, côté droit, $z_a = 5.5$ m, $K = 5000$ kN/m, $P = 400$ kN, $\alpha = 10^\circ$ , $Lu = 20$ m.
Phase 5 (durable) Excavation avec modification du niveau d'eau du côté gauche	Excavation Hydraulique	Excav. côté gauche, $z_h = 8$ m, Action hydraulique côté gauche, $z_w = 8$ m.

La synthèse du phasage disponible dans les pages suivantes illustre la définition de ces phases.

### Commentaires sur les phases 1 et 2 :

- Lors de la définition de la phase 1, le rideau est en console (pas encore de tirant installé) et les vérifications ELU étant activées, AMRetain active automatiquement le calcul MEL, et l'action **Coefficients MEL** pour définir les propriétés de la contre-butée (cf tutoriel 2).
- Lors de la création de la phase 2, AMRetain se comporte de la même manière jusqu'à ce que le tirant actif soit défini et validé (dans le cas d'un tirant passif, la phase serait toujours en console). En effet, jusque là, AMRetain ne « sait » pas encore que l'écran n'est plus en console. Après la validation du tirant, le calcul MEL est automatiquement désactivé et l'action associée **Coefficients MEL** est automatiquement supprimée.

### Commentaires sur les phases 2 et 4 :

- La longueur utile des tirants (Lu) est utilisée pour la vérification de la stabilité du massif d'ancrage. Dans le cas de tirants scellés, la longueur utile Lu est habituellement définie comme la longueur libre plus la moitié de la longueur du scellement.
  - La raideur K des tirants peut être calculée à l'aide d'un assistant qui fait intervenir le module d'Young E, la section S, la longueur utile Lu et l'espacement horizontal entre les tirants eh (capture d'écran suivante). Cliquer sur le bouton  pour transférer la valeur de K dans les paramètres du tirant. L'assistant peut aussi être utilisé pour calculer la précontrainte des tirants. Voir la partie C du manuel pour plus d'informations sur les calculs effectués par les assistants.



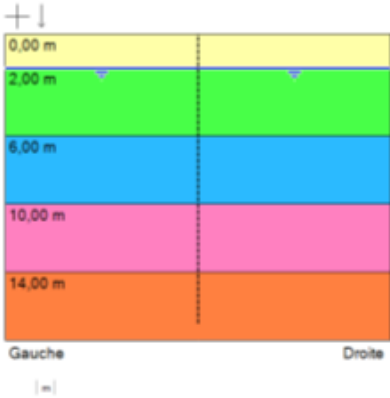
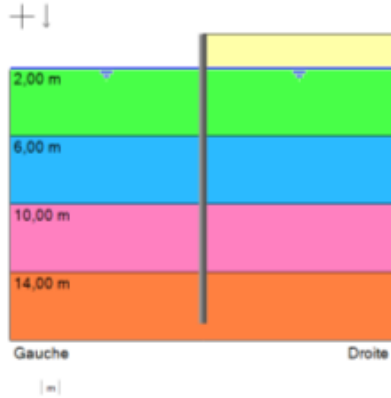
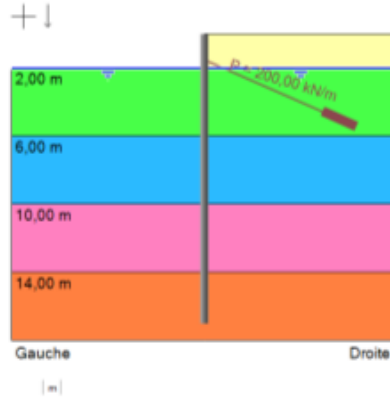
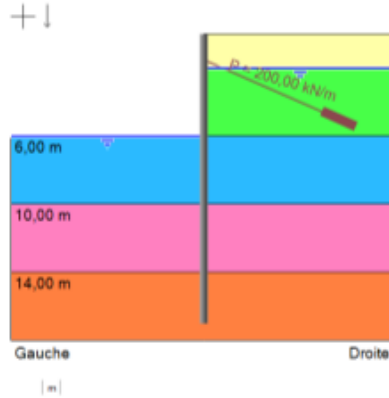


**Assistant tirant**


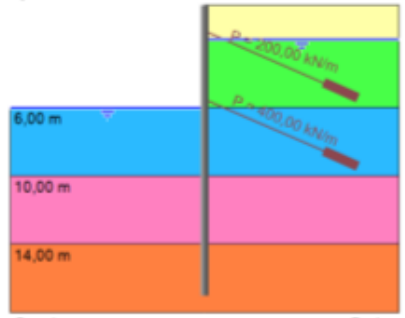
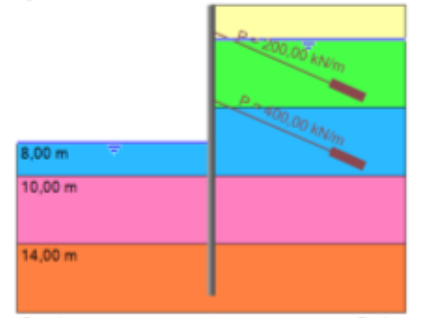


**Données par tirant**

E	2,1E+008	kN/m <sup>2</sup>
S	0,000952	m <sup>2</sup>
P	400,00	kN
LI	20,00	m
Ls	0,00	m
eh	2,00	m


**Données retenues par longueur d'étude**

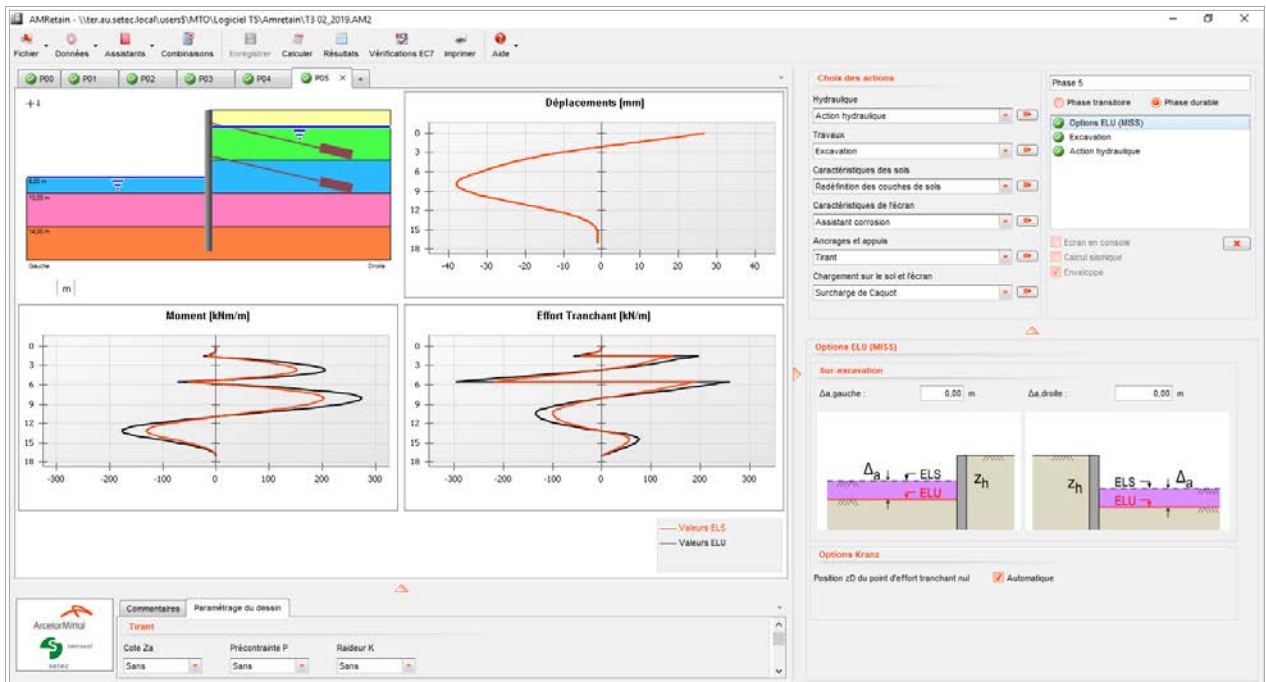
K	4998	kN/m/m
P	200,00	kN/m
Lu	20,00	m

<p><b>AMRetain</b> v.2.1.2</p>	<p><b>AFFAIRE T3 02/2019</b> <b>T3 02/2019</b></p>		
<p><b>SYNTHESE PHASAGE</b></p>			
<p>Phase Initiale</p> 	<p>Phase 1 : Phase transitoire</p> 	<p>Phase 2 : Phase transitoire</p> 	<p>Phase 3 : Phase transitoire</p> 
	<p>- Excavation (côté gauche) : zh [m] = 2,00</p>	<p>- Mise en place du trant (côté droit) : n°1 za [m] = 1,50 K [kN/m/m] = 5000 P [kN/m] = 200,00 α [°] = 10,00</p>	<p>- Excavation (côté gauche) : zh [m] = 6,00</p> <p>- Action hydraulique : (gauche) zw [m] = 6,00</p>
	<p>Calcul réalisé par : Terrasol</p>		

 v.2.1.2	<b>AFFAIRE T3 02/2019</b>		
<b>T3 02/2019</b>			
<b>SYNTHESE PHASAGE</b>			
<p>Phase 4 : Phase transitoire</p> <p>+ ↓</p>  <p>Gauche Droite</p> <p>[m]</p>	<p>Phase 5 : Phase durable</p> <p>+ ↓</p>  <p>Gauche Droite</p> <p>[m]</p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en place du tirant (côté droit) : n°2</li> <li>za [m] = 5,50</li> <li>K [kN/m/m] = 5000</li> <li>P [kN/m] = 400,00</li> <li>α [°] = 10,00</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Excavation (côté gauche) :</li> <li>zh [m] = 8,00</li> <li>- Action hydraulique : (gauche)</li> <li>zw [m] = 8,00</li> </ul>		
	<b>Calcul réalisé par : Terrasol</b>		

### D.3.3. ETAPE 3 : PRESENTATION DES RESULTATS

Cliquer sur le bouton . La capture d'écran suivante présente les résultats obtenus après calcul pour la dernière phase de calcul.



Cliquer sur  pour afficher les résultats détaillés.

Commençons par le tableau de synthèse des résultats, afin de rapidement vérifier que les vérifications ELU sont satisfaites.

Résultats

Données Synthèse des résultats Enveloppe phases 1 à 5 1 : Phase 1 2 : Phase 2 3 : Phase 3 4 : Phase 4 5 : Phase 5

Type

- ELS et ELU
- ELS
- ELU

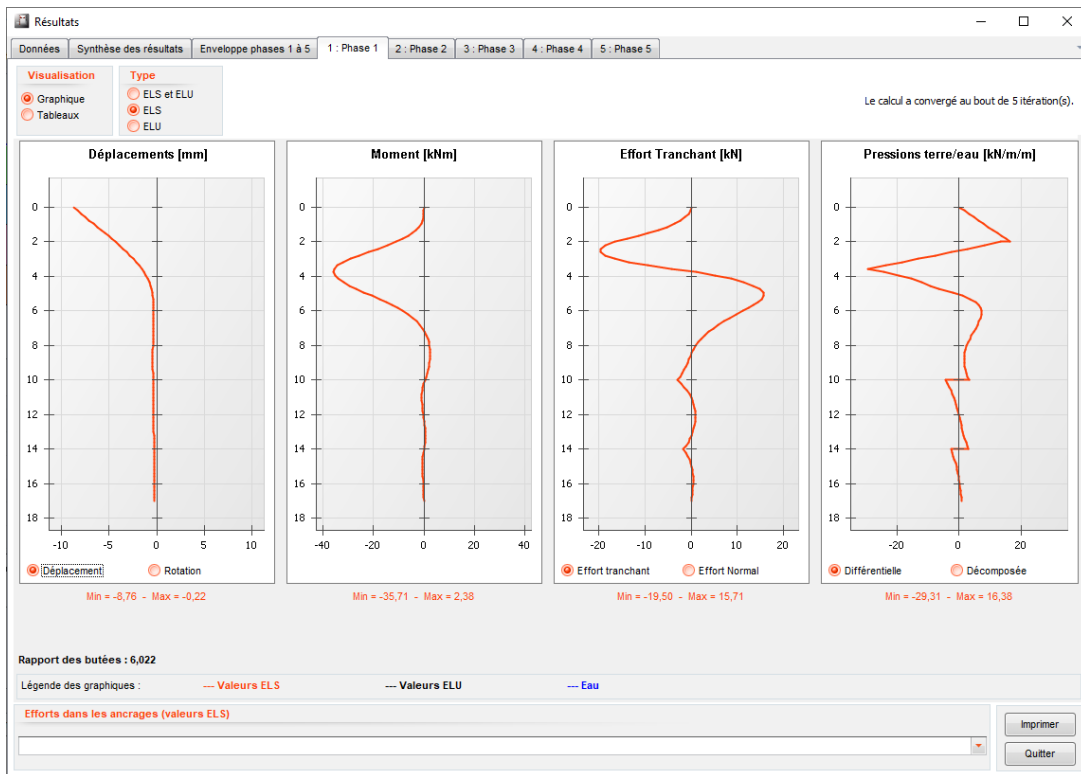
N° PHASE	Type	M <sub>d</sub> max écran [kNm/m]	N <sub>d</sub> max écran [kN/m]	V <sub>d</sub> max écran [kN/m]	F <sub>d</sub> tirant n°1 [kN/m]	F <sub>d</sub> tirant n°2 [kN/m]	Vérif. Def. Butée	Bilan Vert	Vérif. Kranz
1	MEL	-77,53	93,22	-29,04	-	-	OK	93,22	OK
2	MISS	113,97	53,66	197,19	270,00	-	OK	53,66	OK
3	MISS	279,55	96,91	184,77	257,38	-	OK	96,91	OK
4	MISS	256,85	97,12	-295,00	258,19	540,00	OK	95,26	OK
5	MISS	208,01	125,66	-303,90	256,37	553,23	OK	114,18	OK
Extrema		279,55	125,66	-303,90	270,00	553,23			

On peut remarquer que :

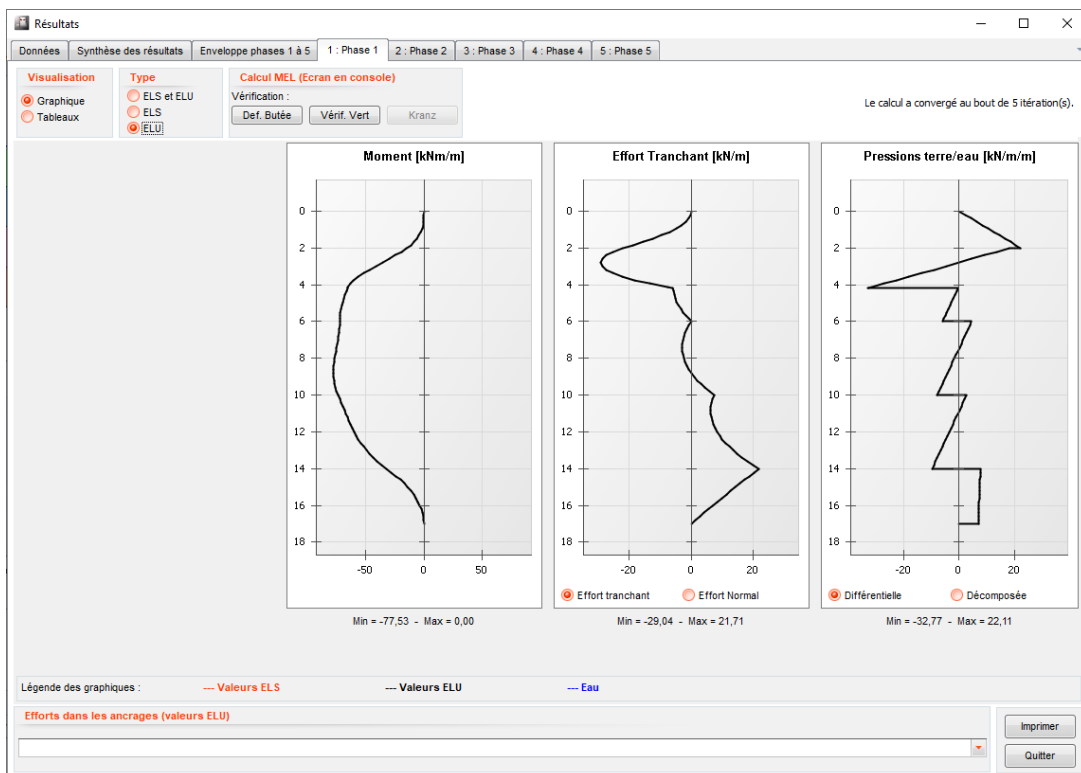
- La vérification du défaut de butée est satisfaisante pour toutes les phases (MEL et MISS) : la fiche du rideau est suffisante.
- La résultante verticale des efforts est positive pour toutes les phases, ce qui est aussi satisfaisant.
- La vérification de la stabilité du massif d'ancrage (Kranz) est assurée pour les phases 2 à 5 (toutes les phases avec au moins un ancrage).

Examinons les résultats plus détaillés, pour la phase 1, puis pour la phase 5 (phase finale).

### Courbes ELS (phase 1)



### Courbes ELU (phase 1)



### Résultats ELS pour la phase 1 :

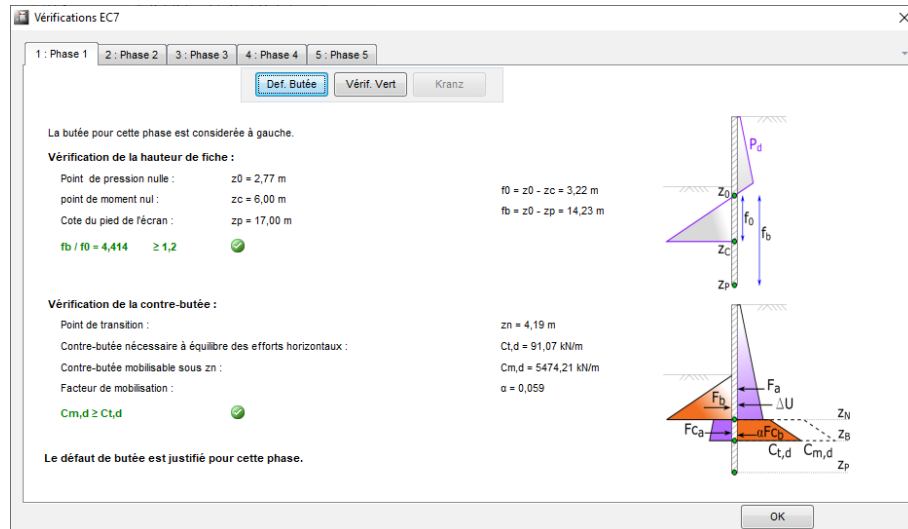
- Le déplacement maximum est de l'ordre de 9 mm.
- Le moment maximum est de l'ordre de 36 kNm/m.
- L'effort tranchant maximum est de l'ordre de 20 kN/m.

Résultats ELU pour la phase 1 (calcul MEL) :

- Cette phase a été définie comme une phase en console avec un calcul MEL. Ainsi, le calcul ELU ne fournit ni déplacements ni valeurs caractéristiques pour les moments et les efforts tranchants. Il fournit les valeurs de calcul des moments et efforts tranchants (voir aussi le tutoriel 2 et les parties B et C du manuel).
- Le moment maximum (valeur de calcul) est de l'ordre de 78 kNm/m.
- L'effort tranchant maximum (valeur de calcul) est de l'ordre de 29 kN/m.

À partir de l'écran des résultats ELU, 3 boutons permettent d'accéder aux résultats détaillés des 3 types de vérification ELU.

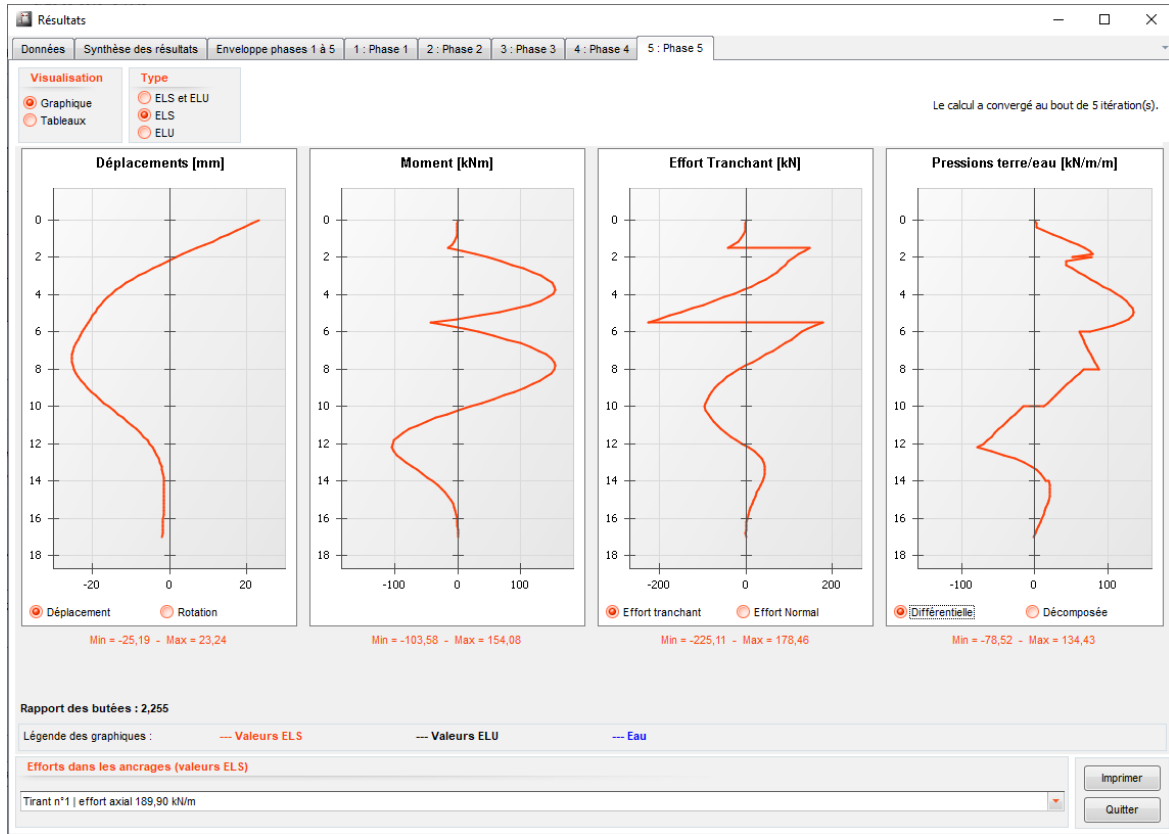
Considérons par exemple la vérification du défaut de butée de la phase 1.



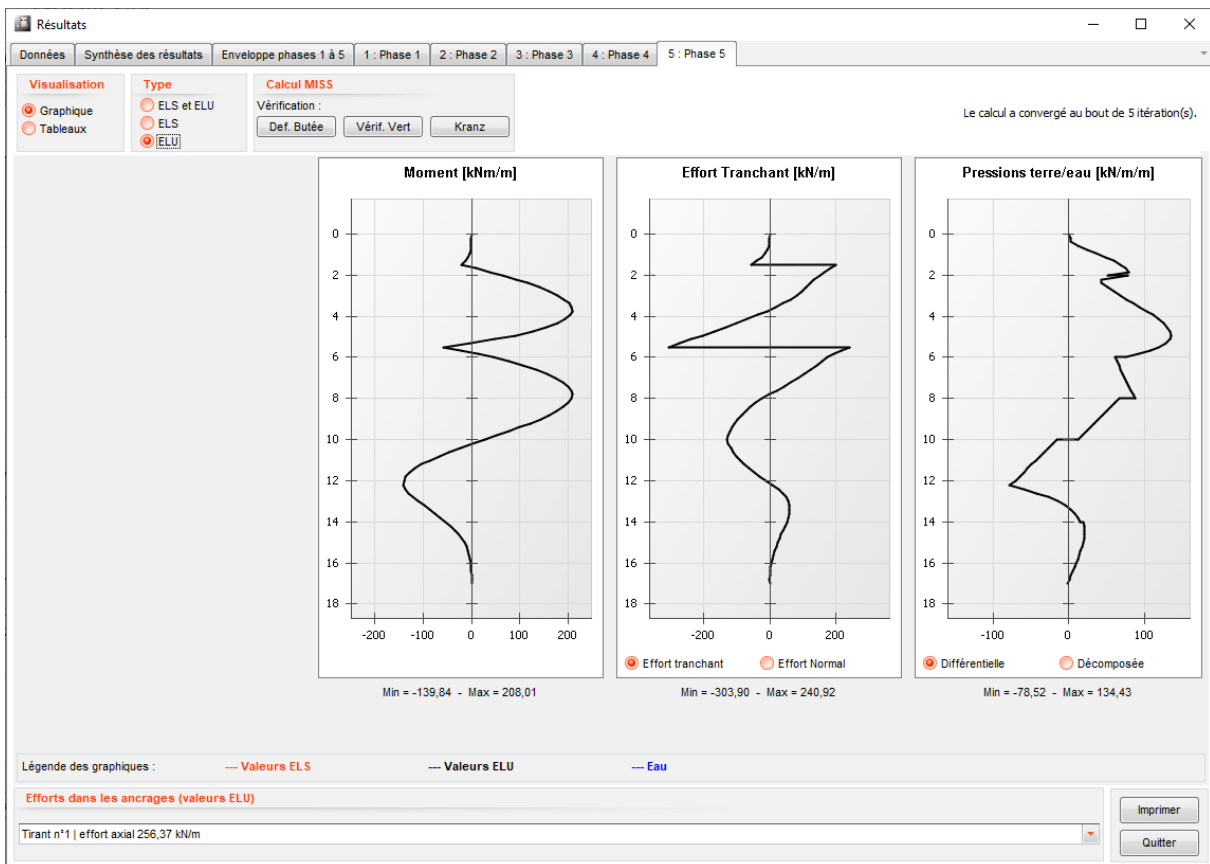
Cette vérification est satisfaisante en ce qui concerne le rapport de hauteurs de fiche et le facteur de mobilisation (voir le tutoriel 2 pour plus de précisions).

Dans le cas de cette première phase (autostable), les vérifications sont basées sur un calcul MEL. Ce ne sera pas le cas des phases 2 à 5, qui sont ancrées : les calculs ELU et les vérifications associées sont basés sur un calcul MISS.

### Courbes ELS (phase 5)



### Courbes ELU (phase 5)



## Résultats généraux du calcul

### Résultats ELS:

- Le déplacement maximum est de l'ordre de 38 mm et est atteint lors de la dernière phase, en ventre du rideau.
- Le moment maximum est de l'ordre de 237 kNm/m et est atteint en phase 3.
- L'effort tranchant maximum est de l'ordre de 218 kN/m et est atteint en dernière phase.

### Résultats ELU (calculs MEL pour la phase 1, MISS pour les phases 2 à 5)

- Le moment maximum est de l'ordre de 319 kNm/m et est atteint en phase 3.
- L'effort tranchant maximum est de l'ordre de 259 kNm/m et est atteint en dernière phase.

Nous pouvons vérifier que dans notre exemple, les résultats caractéristiques ELU (k) sont égaux (pour toutes les phases) aux résultats ELS, car le projet n'inclut pas de surcharge variable (seules les surcharges variables sont pondérées pour un calcul MISS ELU et peuvent donc conduire à des résultats différents des résultats ELS).

Les efforts dans les tirants peuvent aussi être vérifiés à partir de la fenêtre des résultats détaillés pour chaque phase :

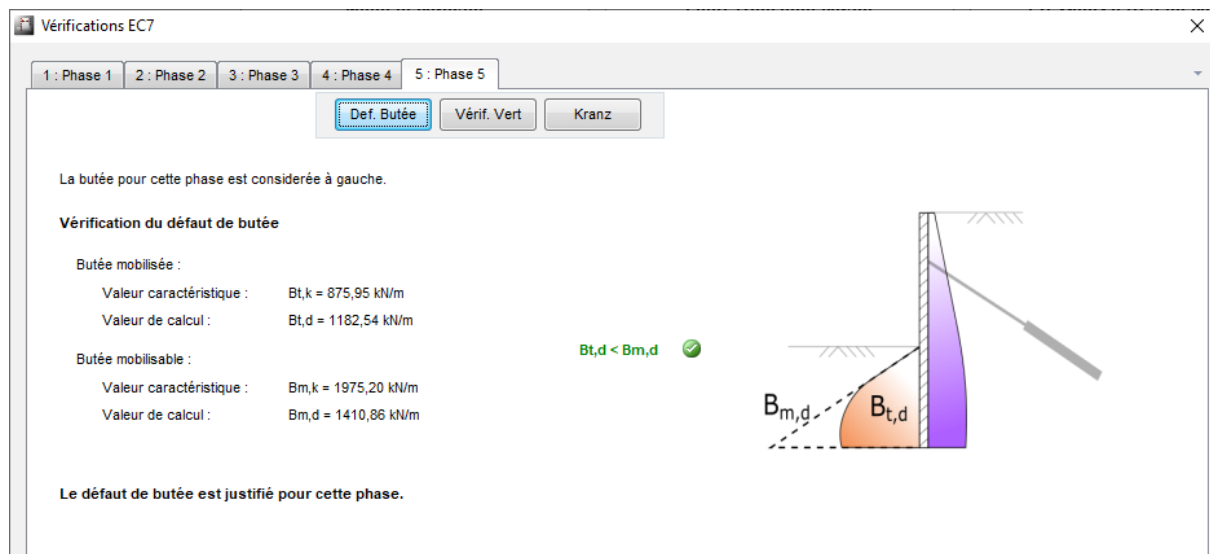
Efforts dans les ancrages (valeurs ELS)	
Tirant n°1   effort axial 189,90 kN/m	<input type="button" value="Imprimer"/> <input type="button" value="Quitter"/>
Tirant n°1   effort axial 189,90 kN/m	
Tirant n°2   effort axial 409,80 kN/m	

La capture d'écran ci-dessus présente les efforts dans les tirants à la phase 5 :

- L'effort dans le tirant n° 1 est maximum lors de sa phase d'installation (valeur de précontrainte de 200 kN/m). Ensuite, il diminue un peu et sa valeur finale est de 190 kN/m (valeur caractéristique).
- L'effort dans le tirant n° 2 est maximum dans la dernière phase (augmentation à partir de la valeur de précontrainte de 400 kN/m jusqu'à 410 kN/m dans la dernière phase, en valeurs caractéristiques).

À partir de la fenêtre des résultats ELU, 3 boutons permettent d'accéder aux résultats des 3 types de vérifications ELU.

## Vérification du défaut de butée (phase 5)



Vérifications EC7

1 : Phase 1 2 : Phase 2 3 : Phase 3 4 : Phase 4 5 : Phase 5

Def. Butée Vérif. Vert Kranz

La butée pour cette phase est considérée à gauche.

**Vérification du défaut de butée**

Butée mobilisée :

Valeur caractéristique :  $B_{t,k} = 875,95 \text{ kN/m}$   
 Valeur de calcul :  $B_{t,d} = 1182,54 \text{ kN/m}$

Butée mobilisable :

Valeur caractéristique :  $B_{m,k} = 1975,20 \text{ kN/m}$   
 Valeur de calcul :  $B_{m,d} = 1410,86 \text{ kN/m}$

$B_{t,d} < B_{m,d}$  ✓

Le défaut de butée est justifié pour cette phase.

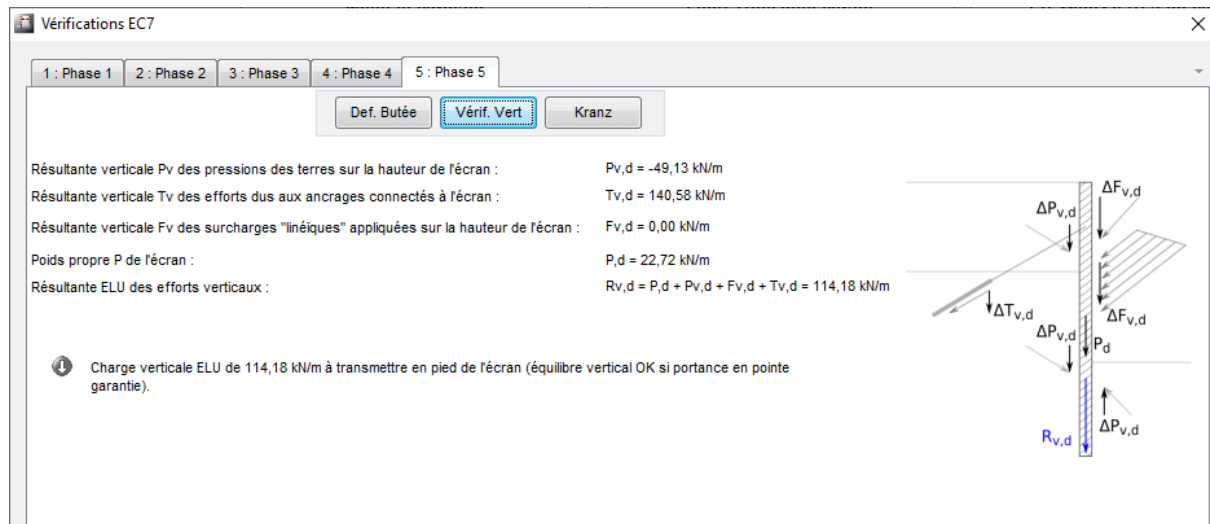
En phase 5, le rideau est soutenu par 2 lits de tirants, et par conséquent la vérification du défaut de butée est basée sur le calcul MISS. Elle consiste à vérifier que la butée (limite) mobilisable est supérieure avec un facteur de sécurité suffisant à la butée mobilisée.

Ici, la valeur de calcul de la butée mobilisable est  $B_{m,d} = 1975 / 1.40 = 1411 \text{ kN/m}$ .

La valeur de calcul de la butée mobilisée est  $B_{t,d} = 876 \times 1.35 = 1183 \text{ kN/m} < B_{m,d}$ .

L'application du facteur « 1,40 » sur la butée mobilisable s'explique par le fait que la phase 5 est considérée comme « durable ».

## Bilan vertical (phase 5)



Vérifications EC7

1 : Phase 1 2 : Phase 2 3 : Phase 3 4 : Phase 4 5 : Phase 5

Def. Butée Vérif. Vert Kranz

Résultante verticale  $P_v$  des pressions des terres sur la hauteur de l'écran :  $P_{v,d} = -49,13 \text{ kN/m}$   
 Résultante verticale  $T_v$  des efforts dus aux ancrages connectés à l'écran :  $T_{v,d} = 140,58 \text{ kN/m}$   
 Résultante verticale  $F_v$  des surcharges "linéiques" appliquées sur la hauteur de l'écran :  $F_{v,d} = 0,00 \text{ kN/m}$   
 Poids propre  $P$  de l'écran :  $P_d = 22,72 \text{ kN/m}$   
 Résultante ELU des efforts verticaux :  $R_{v,d} = P_d + P_{v,d} + F_{v,d} + T_{v,d} = 114,18 \text{ kN/m}$

Charge verticale ELU de 114,18 kN/m à transmettre en pied de l'écran (équilibre vertical OK si portance en pointe garantie).

Le bilan des efforts verticaux prend en compte :

- La composante verticale de la pression des terres mobilisée le long du rideau. Elle est calculée à partir de l'équilibre horizontal du mur (calcul MISS) ;
- La composante verticale des efforts dans les tirants ;
- Le poids propre du rideau.

L'évaluation de la composante verticale des pressions des terres le long du rideau est basée sur une approche au "prorata": pour une composante horizontale de la pression des terres qui est "intermédiaire" (entre poussée limite et butée limite), la composante verticale correspondante est calculée comme un prorata de la mobilisation horizontale, en considérant que la composante verticale est nulle pour un déplacement nul (point de référence). Ceci est détaillé et illustré dans la partie C du manuel (chapitre C.3.3.2.1).

Il est important de rappeler que cette approche n'est valable que dans le cas de couches horizontales.

### **Kranz (phases 2 à 5)**

Pour les phases 2 à 5, la présence de tirants déclenche l'exécution d'une vérification supplémentaire, qui est la vérification de la stabilité du massif d'ancrage.

Cette vérification est réalisée à l'aide du modèle de « Kranz » : pour chaque phase, on considère le cas échéant plusieurs situations (qui correspondent au massif d'ancrage associé à chaque tirant actif dans une phase donnée).

Ensuite, pour chaque situation, le calcul prend en compte un ou plusieurs tirants, selon que leur point d'ancrage effectif (défini par « Lu ») se trouve ou non à l'intérieur du massif d'ancrage considéré.

Considérons par exemple les phases 3 et 5:

- dans la phase 3, une seule situation est à étudier : la situation 1 correspondant au massif d'ancrage du tirant 1 ;
- dans la phase 5, 2 situations sont à étudier :
  - Situation 1 correspondant au massif d'ancrage du tirant 1, avec un seul tirant pris en compte ;
  - Situation 2 correspondant au massif d'ancrage du tirant 1, pour laquelle les 2 tirants pris en compte.

Pour une situation donnée, la vérification de l'équilibre du massif d'ancrage nécessite parfois de subdiviser le massif d'ancrage en plusieurs « blocs » élémentaires définis par les intersections des interfaces des couches de sol avec la base du massif d'ancrage (segment CD, cf figure ci-dessous). Dans notre exemple, pour la phase 5, le calcul définit 4 blocs élémentaires pour la situation 1 et 3 blocs pour la situation 2.

Pour chaque situation, AMRetain affiche les propriétés géométriques du massif d'ancrage considéré, et le résumé des efforts obtenus en écrivant l'équilibre du massif.

La vérification de Kranz consiste à vérifier pour chaque situation, et ainsi pour chaque massif d'ancrage, que l'effort déstabilisant (correspondant à l'équilibre limite) est supérieur, avec une sécurité suffisante, à la résultante des efforts repris par les tirants pris en compte dans cette situation.

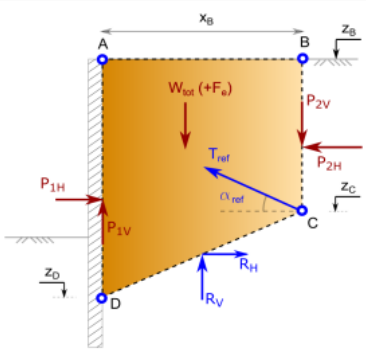
Résultats Kranz pour la phase 3 (une situation) :

Vérfications EC7

1 : Phase 1   2 : Phase 2   3 : Phase 3   4 : Phase 4   5 : Phase 5

Def. Butée   Vérif. Vert   **Kranz**

Situation	Nb de tirants	Nb Blocs	z(D) [m]	x(B) [m]	z(B) [m]	z(C) [m]	Aref [°]	Wtot [kN/m]	P1H [kN/m]	P1V [kN/m]	P2H [kN/m]	P2V [kN/m]	RH [kN/m]	RV [kN/m]	T dsb,k [kN/m]
1	1	6	14,17	19,70	0,00	4,97	10,00	2240,19	457,63	80,68	71,23	0,00	123,26	2069,64	517,52

Situation	T dsb,k [kN/m]	T ref,k [kN/m]	T dsb,d [kN/m]	T ref, d [kN/m]	Résultat
1	517,52	190,65	470,48	257,38	✔

Le massif étudié est celui situé à droite de l'écran

✔ La stabilité du massif d'ancrage est justifiée pour cette phase.

OK

Résultats Kranz pour la phase 5 (2 situations) :

Par exemple, pour la situation 2 :

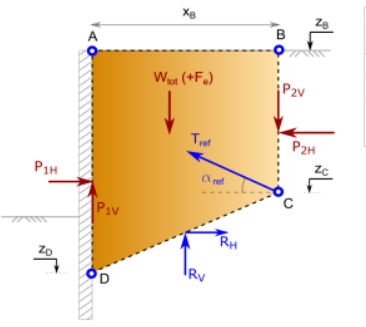
- La valeur de calcul de l'effort déstabilisant du massif d'ancrage considéré est  $T_{dsb,d} = 1050 \text{ kN/m} / 1,10 = 955 \text{ kN/m}$  ;
- Les deux tirants sont pris en compte, ils sont parallèles et la résultante des efforts est ici de  $T_{ref,k} = 189 + 410 = 599 \text{ kNm/m}$ . La valeur de calcul correspondante est donc  $T_{ref,d} = 599 \times 1,35 = 809 \text{ kN/m} < T_{dsb,d}$ .

Vérfications EC7

1 : Phase 1   2 : Phase 2   3 : Phase 3   4 : Phase 4   5 : Phase 5

Def. Butée   Vérif. Vert   **Kranz**

Situation	Nb de tirants	Nb Blocs	z(D) [m]	x(B) [m]	z(B) [m]	z(C) [m]	Aref [°]	Wtot [kN/m]	P1H [kN/m]	P1V [kN/m]	P2H [kN/m]	P2V [kN/m]	RH [kN/m]	RV [kN/m]	T dsb,k [kN/m]
1	1	6	16,75	19,70	0,00	4,97	10,00	2499,66	735,16	80,65	71,23	0,00	-5,03	2302,82	669,07
2	2	3	16,75	19,70	0,00	8,97	10,00	2896,82	735,16	80,65	173,08	0,00	472,13	2633,82	1050,16

Situation	T dsb,k [kN/m]	T ref,k [kN/m]	T dsb,d [kN/m]	T ref, d [kN/m]	Résultat
1	669,07	189,90	608,24	256,37	✔
2	1050,16	599,70	954,69	809,59	✔

Le massif étudié est celui situé à droite de l'écran

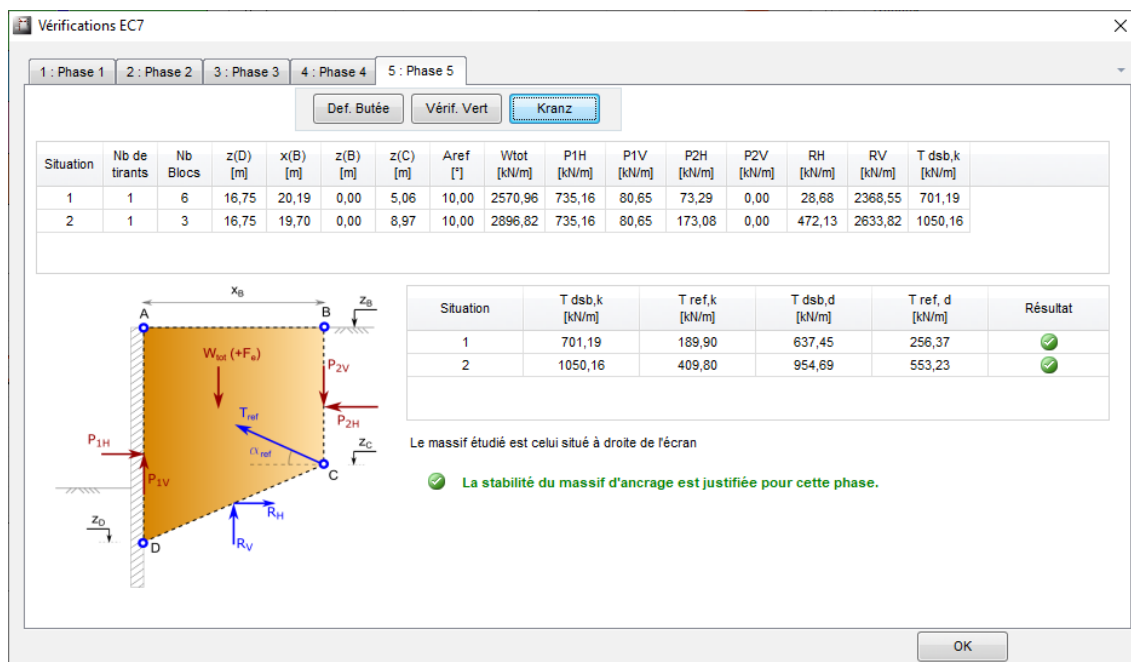
✔ La stabilité du massif d'ancrage est justifiée pour cette phase.

OK

**Remarque importante :**

Pour une situation donnée, la prise en compte ou non d'un tirant dépend de la position relative de son point d'ancrage par rapport aux limites du massif d'ancrage étudié. On attire l'attention sur le cas où le point d'ancrage, bien que géométriquement situé hors du bloc, est proche des limites BC ou CD, et où son influence ne peut pas être négligée. Il est alors nécessaire d'adapter la longueur utile de ce tirant pour qu'il puisse être pris en compte dans le calcul.

Pour illustrer ce commentaire, comparons le calcul Kranz de la phase 5 ci-dessus avec un nouveau calcul où  $L_{u1}$  pour le premier tirant est fixée à 20,5 m (au lieu de 20 m), ce qui signifie que pour la situation 2, le point d'ancrage effectif du premier tirant sera en dehors du massif d'ancrage, et qu'il ne sera donc pas pris en compte dans la situation 2.



Sur la copie d'écran ci-dessus, on peut vérifier que :

- Seul le tirant 2 est considéré lorsque l'on vérifie la situation 2 (au lieu des deux tirants pris en compte pour la même situation dans le calcul initial avec  $Lu_1 = 20$  m).
- Les valeurs de  $T_{dsb}$  ne changent pas par rapport au calcul initial avec  $Lu_1 = 20$  m, ce qui était attendu étant donné que  $Lu_1$  n'a pas d'influence sur  $T_{dsb}$  dans ce cas (la géométrie du massif d'ancrage n°2 n'a pas été changée, elle dépend de  $Lu_2$ ).
- Les valeurs de  $T_{ref}$  ont changé.  $T_{ref,k}$  (respectivement  $T_{ref,d}$ ) valait 600 kN (resp. 810 kN) pour  $Lu_1 = 20$  m et est égal à 410 kN (resp. 553 kN) pour  $Lu_1 = 20,5$  m. Dans ce cas, la vérification par rapport à  $T_{dsb,d}$  est satisfaisante dans les deux cas ( $Lu_1 = 20,0$  m et  $Lu_1 = 20,5$  m), mais la différence entre les deux valeurs  $T_{ref,d}$  est importante (pour une modification de seulement 0,5 m sur la longueur  $Lu$  d'un tirant !) et dans certains cas, cela peut faire basculer la conclusion de Kranz de « satisfaisante » à « non satisfaisante ».
- Donc encore une fois, lorsque le point d'ancrage d'un tirant est géométriquement situé en dehors du bloc, mais est proche des limites BC ou CD, son influence ne peut pas être négligée. Il est nécessaire d'adapter la longueur utile du tirant pour le prendre en compte dans le calcul.

Remarque : les valeurs de  $T_{dsb}$  de la situation 1 changent légèrement car la position du point C du massif d'ancrage du tirant 1 change lorsque  $Lu_1$  change.

### D.3.4. ETAPE 4 : VARIANTE DU PROJET AVEC DES PALPLANCHES « STANDARD U »

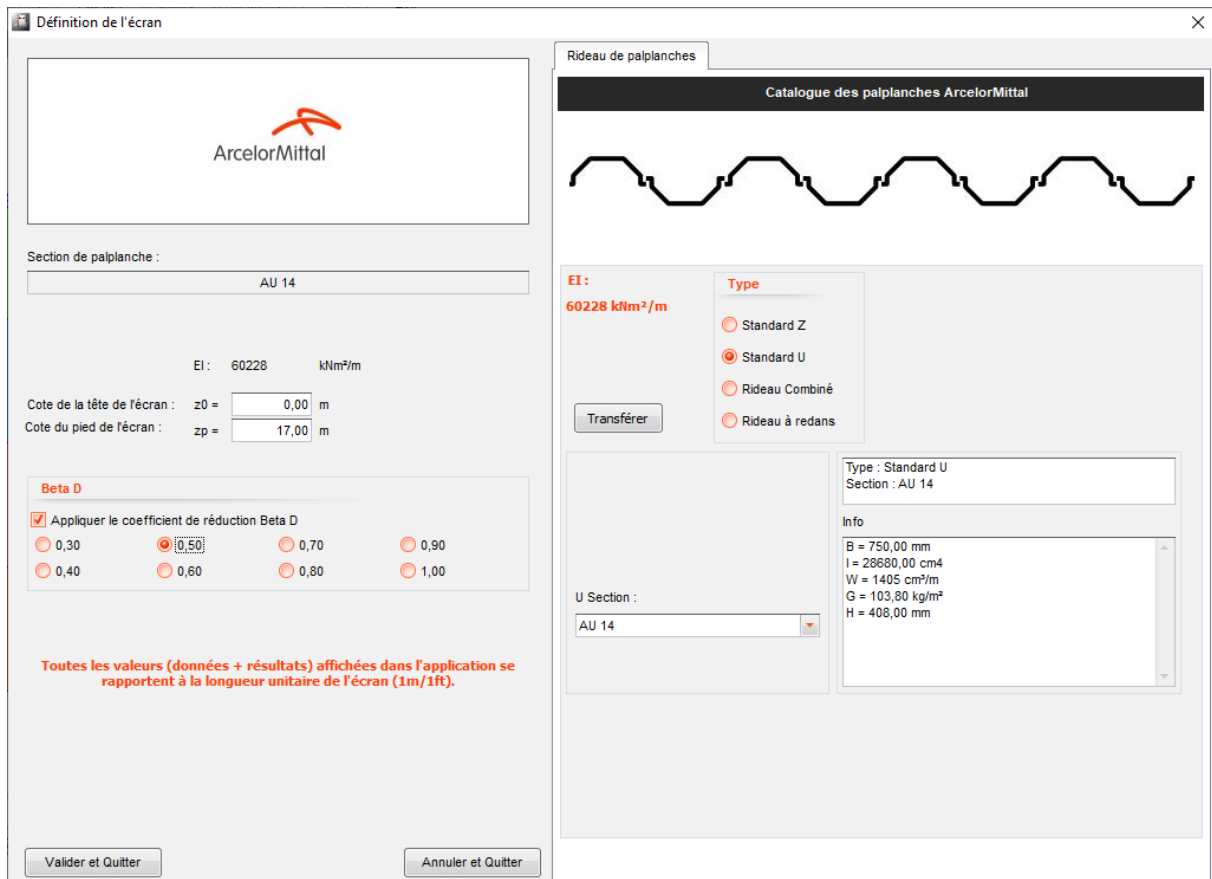
Quitter la fenêtre des résultats et “**Enregistrer sous**” le projet sous un nouveau nom.

Le rideau est maintenant supposé constitué de palplanches en U. Étant donné qu’elles sont mises en place par deux, leur rigidité effective à la flexion peut être prise en compte via le coefficient Beta.D comme mentionné par les normes. Comme ce coefficient dépend généralement des sols et du nombre de tirants ou de butons actifs, il peut être modifié au cours des étapes de construction.

Ce chapitre détaille la variante du projet (données d’entrée et nouveaux résultats).

#### D.3.4.1. MODIFICATION DES PROPRIÉTÉS DU RIDEAU

Le rideau est maintenant constitué de palplanches U de type AU 14, de 17 m de long, avec la définition d’un coefficient Beta.D égal à 0.5.




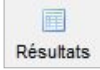
#### D.3.4.2. MODIFICATION DES PHASES 2 ET 4

Nous allons modifier le coefficient Beta.D à chaque fois qu’un nouveau lit de tirants sera mis en place (i.e. dans les phases 2 et 4) :

- Sélectionner la phase 2, et ajouter une action **Modification du facteur Beta.D** (dans la catégorie Caractéristiques de l’écran). Ensuite, changer la valeur de Beta.D à 0,6 (ce qui signifie que la valeur de EI utilisée dans le calcul passera en phase 2 de 50% à 60% de la valeur du catalogue).

- Sélectionner la phase 4, et ajouter une action **Modification du facteur beta.D.** Changer la valeur de beta.D à 0,8 (ce qui signifie que la valeur de EI utilisée dans le calcul passera en phase 4 de 60% à 80% de la valeur du catalogue).

### D.3.4.3. RESULTATS

Cliquer sur  et ensuite sur  pour avoir les résultats détaillés.

Commençons par le tableau de synthèse des résultats, afin de rapidement vérifier que les vérifications ELU sont satisfaites.

Résultats

Données Synthèse des résultats Enveloppe phases 1 à 5 1 : Phase 1 2 : Phase 2 3 : Phase 3 4 : Phase 4 5 : Phase 5

Type

ELS et ELU

ELS

ELU

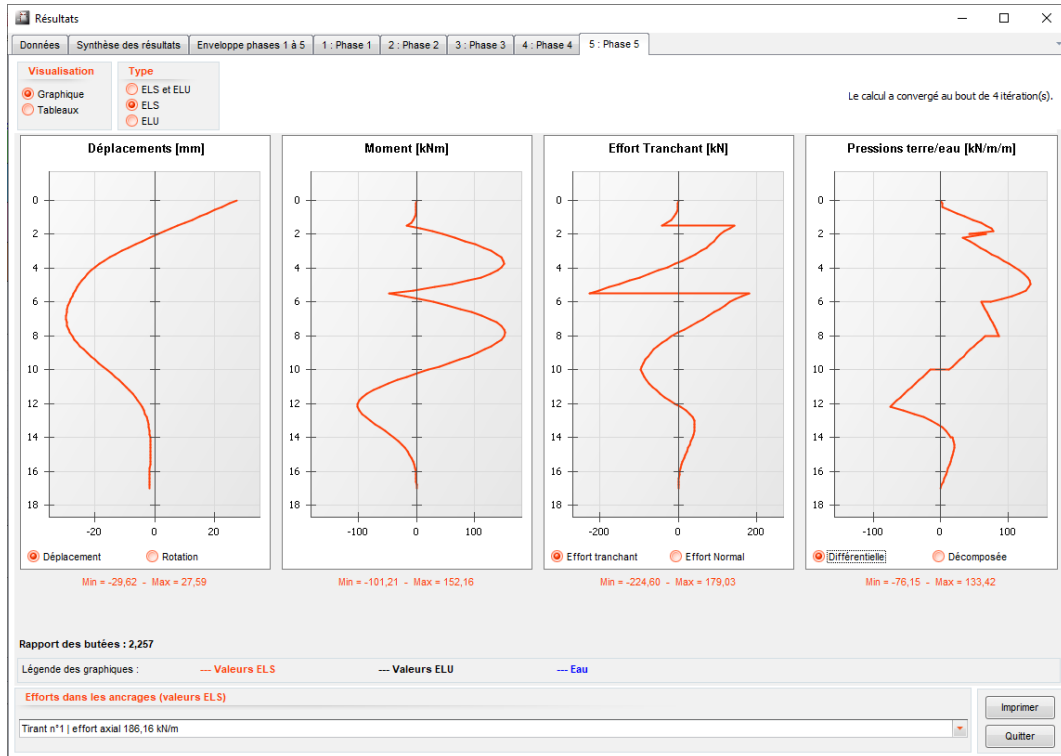
N° PHASE	Type	M, d max écran [kNm/m]	N, d max écran [kN/m]	V, d maxi écran [kN/m]	F, d tirant n°1 [kN/m]	F, d tirant n°2 [kN/m]	Vérif. Def. Butée	Bilan Vert	Vérif. Kranz
1	MEL	-77,53	94,37	-29,04	-	-	OK	94,37	OK
2	MISS	113,02	52,60	197,19	270,00	-	OK	52,60	OK
3	MISS	276,03	96,76	179,93	252,47	-	OK	96,76	OK
4	MISS	252,84	97,69	-295,12	253,24	540,00	OK	95,29	OK
5	MISS	205,42	126,56	-303,21	251,32	553,31	OK	115,70	OK
Extrema		276,03	126,56	-303,21	270,00	553,31			

On peut vérifier que :

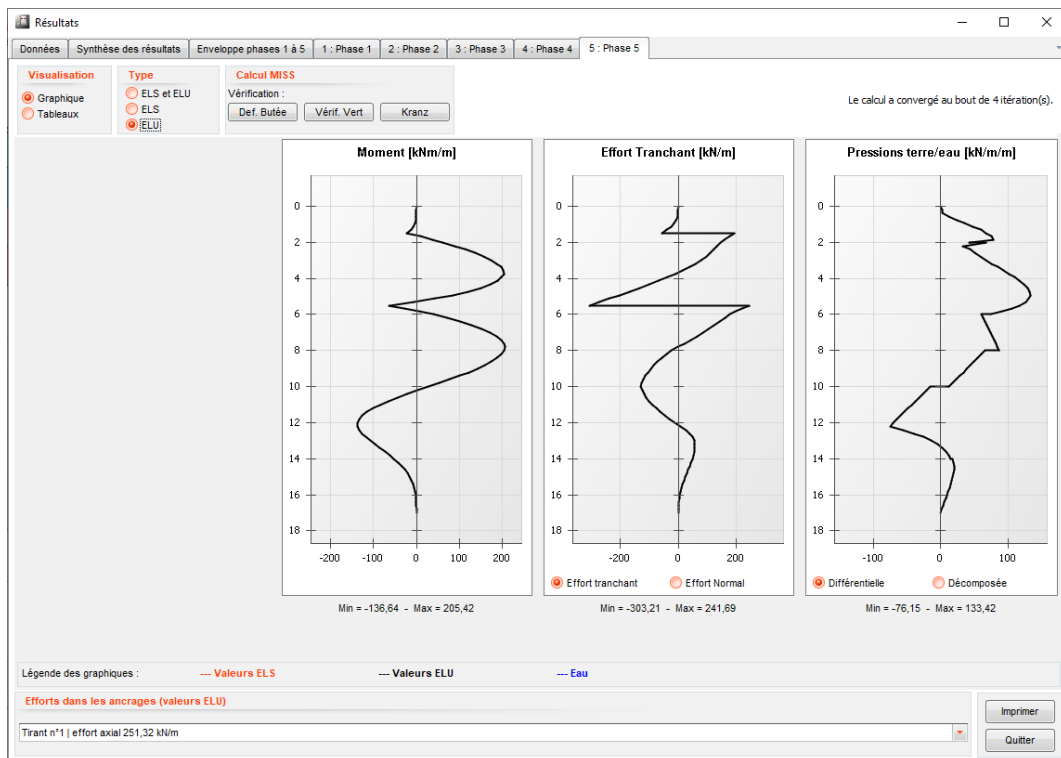
- La vérification du défaut de butée est satisfaite pour toutes les phases (MEL et MISS) : la fiche du rideau est suffisante.
- La résultante des efforts verticaux est positive pour toutes les phases, ce qui est aussi satisfaisant.
- La vérification de la stabilité du massif d'ancrage (Kranz) est satisfaite pour les phases 2 à 5.

Examinons maintenant les résultats plus détaillés.

## Courbes ELS (phase 5)



## Courbes ELU (phase 5)



### Résultats ELS :

- Le déplacement maximum est 30 mm. Il est atteint lors de la dernière phase, et en ventre du rideau.
- Le moment maximum est 204 kNm/m. Il est atteint en phase 3.
- L'effort tranchant maximum est 224 kN/m. Il est atteint en dernière phase.

### Résultats ELU :

- Le moment maximum est de 276 kNm/m. Il est atteint en phase 3.
- L'effort tranchant maximum est de 303 kN/m. Il est atteint en dernière phase.

Nous pouvons vérifier que dans notre exemple, les résultats caractéristiques ELU (k) sont égaux (pour toutes les phases) aux résultats ELS, car le projet n'inclut pas de surcharge variable (seules les surcharges variables sont pondérées pour un calcul MISS ELU et peuvent conduire à des résultats différents des résultats ELS).

Les efforts dans les tirants peuvent aussi être vérifiés à partir de la fenêtre des résultats détaillés pour chaque phase :

Efforts dans les ancrages (valeurs ELS)	
Tirant n°1   effort axial 186,16 kN/m	
Tirant n°1   effort axial 186,16 kN/m	
Tirant n°2   effort axial 409,86 kN/m	

La capture d'écran ci-dessus présente les efforts dans les tirants en phase 5 :

- L'effort dans le tirant n° 1 est maximum lors de sa phase d'installation (valeur de précontrainte de 200 kN/m). Ensuite, il diminue un peu et sa valeur finale est de 186 kN/m.
- L'effort dans le tirant n° 2 est maximum en dernière phase (augmentation à partir de la valeur de précontrainte de 400 kN/m jusqu'à 410 kN/m dans la dernière phase).

Les résultats sont relativement proches de ceux du calcul utilisant une palplanche « standard Z ». Les différences (par exemple le déplacement maximum est de 25 mm avec une palplanche en Z et de 30 mm avec une palplanche en U) sont dues à la différence de valeur EI du rideau entre les deux calculs :

- Palplanche Standard Z (AZ 13-770): la valeur de EI est de 46956 kNm<sup>2</sup>/m pour l'ensemble du projet.
- Palplanche Standard U (AU 14): la valeur de EI est de 30114 kNm<sup>2</sup>/m pour la phase 1 (Beta.D = 0,5), de 36137 kNm<sup>2</sup>/m pour les phases 2 et 3 (Beta.D = 0,6), et de 48182 kNm<sup>2</sup>/m pour les phases 4 et 5 (Beta.D = 0,8).

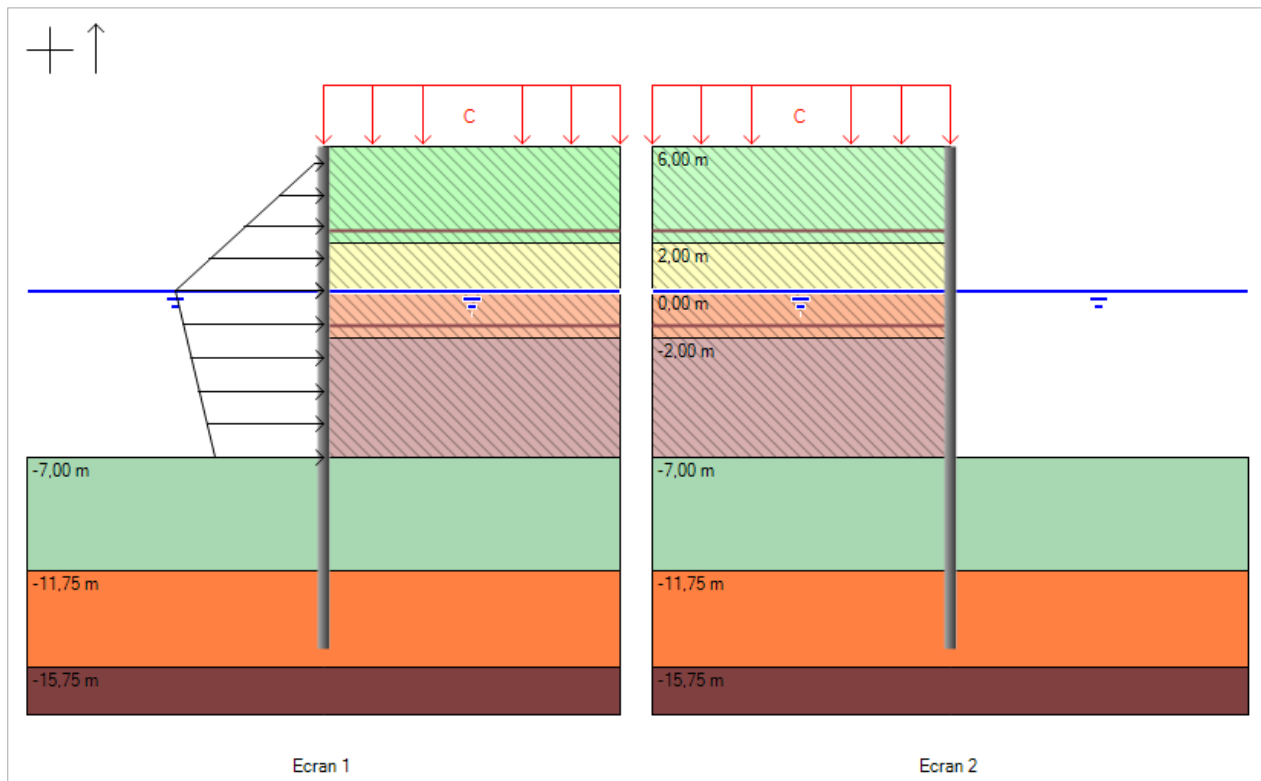
Les valeurs de EI pour des palplanches AU 14 sont plus faibles que celles de palplanches AZ 13-770 pour les phases 1 à 3, et sont quasiment les mêmes pour les phases 4 et 5, ce qui mène à des déplacements plus importants pour la solution faisant intervenir des palplanches AU 14.

Il convient de vérifier également les détails des résultats des vérifications ELU, comme précédemment. Ces détails ne sont pas donnés ici.

## D.4. TUTORIEL 4 : CAS TYPE D'UN PROJET DOUBLE RIDEAU (BATARDEAU)

Ce cas est un exemple de double rideau (batardeau) avec deux nappes d'ancrages de liaison (tirants) horizontales. Ces tirants sont supposés travailler en traction uniquement.

Le rideau de gauche est constitué de palplanches de type AZ 26, de 21 m de long.  
Le rideau de droite est constitué de palplanches de type AZ 24-700, également de 21 m de long.



Les étapes de construction sont quasiment toutes symétriques : la plupart des actions sont réalisées simultanément du côté droit du rideau gauche (rideau 1) et du côté gauche du rideau droit (rideau 2) (changement de niveaux phréatiques, installation d'ancrages de liaison, niveaux de remblai, etc).

Dans les deux dernières étapes, il y a certaines actions qui ne sont appliquées que du côté gauche du rideau de gauche (changement de niveau d'eau et simulation de l'effet des vagues).

Remarque : ce projet n'inclut pas de vérifications ELU.

## D.4.1. ETAPE 1 : SAISIE DES DONNEES

### D.4.1.1. TITRE ET OPTIONS

La capture d'écran suivante illustre les données.

- Dans le cadre **Type de projet**, choisir **Double Rideau**.
- Dans le cadre **Options Double Rideau**, la distance entre les deux écrans est de **10 m**.
- Dans le cadre **Titre / N° d'affaire du projet**, entrer le titre et le numéro d'affaire de votre choix.
- Conserver le système d'unités par défaut (**système métrique**).
- Conserver la **Définition du projet en cotes**.
- Dans le cadre **Options du calcul**, conserver la valeur par défaut de **100** itérations par phase de calcul et un pas de découpage de **0,20 m** pour le rideau.
- Laisser le défaut pour les **conditions hydrauliques**, poids volumique de l'eau à  $10 \text{ kN/m}^3$  et laisser « Potentiels » coché pour le mode de définition du gradient.
- Enfin, cliquer sur .
- Enregistrer le nouveau projet dans le répertoire souhaité.
- La boîte de dialogue **Définition des couches de sol** s'ouvre, un onglet pour chaque écran.

### D.4.1.2. DEFINITION DES COUCHES DE SOL

L'onglet « Écran 1 » de la **Définition des couches de sol** doit être complété comme illustré ci-dessous :

Cette boîte de dialogue permet de définir les caractéristiques des couches de sol pour le **Rideau 1**.

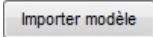
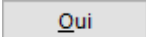
- Dans le cadre de saisie, entrer les caractéristiques de la première couche de sol. Les caractéristiques des couches sont récapitulées dans le tableau ci-dessous (les mêmes assistants que ceux des précédents tutoriels peuvent être utilisés) :

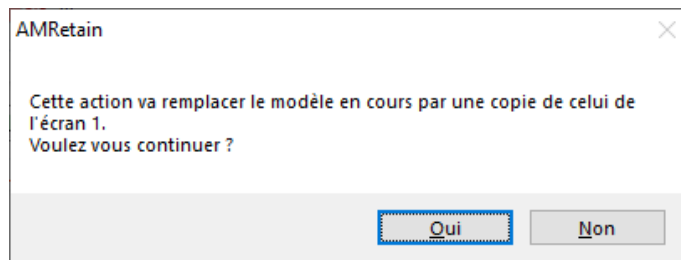
	z (m)	Z <sub>w</sub> (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	φ (°)	C (kN/m <sup>2</sup> )	δ <sub>a</sub> /φ	δ <sub>p</sub> /φ
Couche 1	-7	0	19	9	27.5	0	0	0
Couche 2	-11.75	0	19	11	35.0	0	0.66	-0.5
Couche 3	-15.75	0	18	10	37.5	0	0.66	-0.5

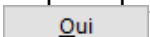
	k <sub>0</sub>	k <sub>ay</sub>	k <sub>py</sub>	k <sub>ac</sub>	k <sub>pc</sub>	k <sub>h</sub> (kN/m <sup>2</sup> /m)
Couche 1	0.538	0.370	2.725	0	0	30000
Couche 2	0.426	0.227	6.199	0	0	60000
Couche 3	0.391	0.204	7.623	0	0	100000

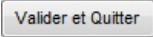
- Cliquer sur  puis sur  puis entrer les caractéristiques des couches 2 et 3.
- Cliquer sur .

- L'onglet de l'écran 2 se présente vide. AMRetain permet d'importer les couches de sol de l'écran 1 pour l'écran 2. Dans le cas de ce projet, les caractéristiques des couches de sol pour le rideau 2 sont identiques.

Pour effectuer cette opération, cliquer sur le bouton . Répondre  à la question posée sur la fenêtre suivante :

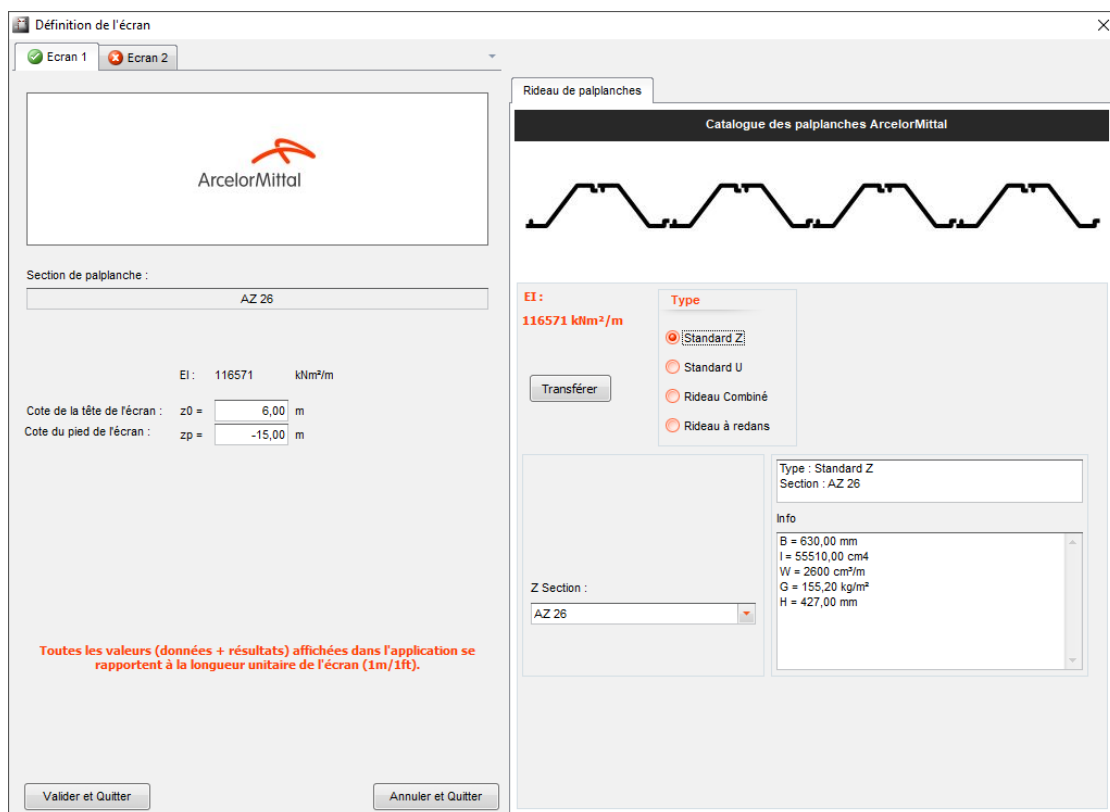


**Remarque :** dans le cas d'un projet où les caractéristiques des sols sont identiques pour les deux rideaux, cette option permet de copier les données des sols du rideau 1 pour le rideau 2 (en cliquant sur ).

- Les mêmes propriétés s'affichent ensuite pour le **Rideau 2**, au cas où vous souhaiteriez effectuer quelques modifications. Dans notre cas, les propriétés sont rigoureusement les mêmes que celles du rideau 1. Donc cliquer directement sur .

#### D.4.1.3. DEFINITION DES RIDEAUX

La boîte de dialogue **Définition du rideau** s'ouvre. Un onglet pour chaque écran doit être complété comme indiqué ci-dessous :



Cette boîte de dialogue permet de définir les caractéristiques du **Rideau 1**.

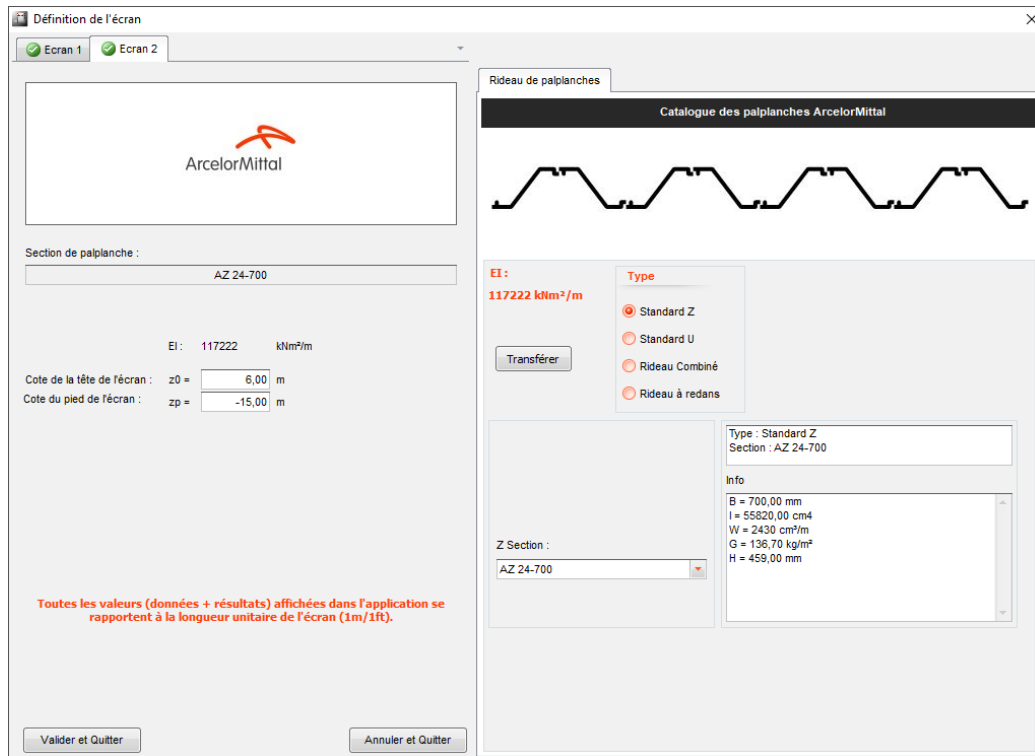
- Dans le cadre **Catalogue des palplanches ArcelorMittal**, cocher le type **Standard Z**. Dans le menu déroulant **Z Section**, sélectionner **AZ 26**.

- Cliquer sur le bouton **Transférer** pour transférer les caractéristiques de cette palplanche (nom et produit d'inertie) dans le cadre de gauche.
- Dans le cadre de gauche, saisir le niveau de tête Z0 et le niveau de pied Zp de la palplanche, comme récapitulé dans le tableau ci-dessous.

	Type	EI (kNm <sup>2</sup> /m)	Z <sub>0</sub> (m)	Z <sub>p</sub> (m)
Rideau 1	AZ 26	116571	6	-15

- Cliquer sur **Valider et Quitter**.

L'onglet de l'écran 2 s'ouvre



Cette boîte de dialogue permet de définir les caractéristiques du rideau 2.

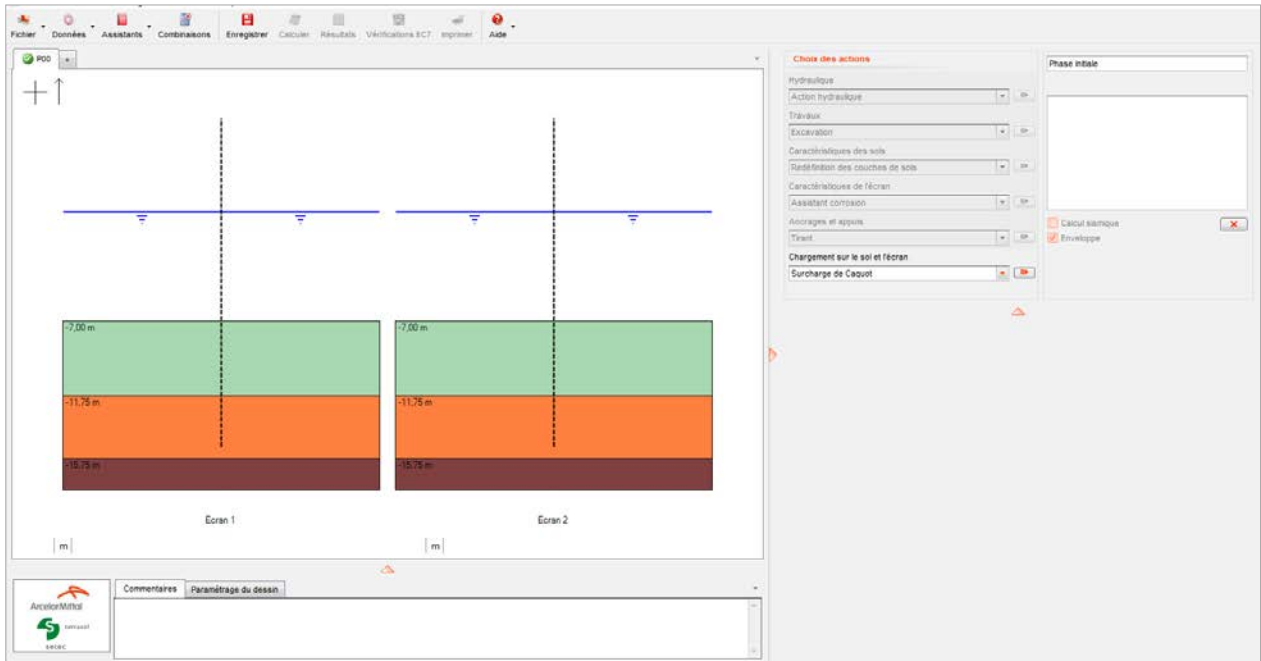
- Dans le cadre **Catalogue des palplanches ArcelorMittal**, sélectionner **Standard Z**. Dans le menu déroulant **Z Section**, sélectionner **AZ 24-700**.
- Cliquer sur le bouton **Transférer** pour transférer les caractéristiques de cette palplanche (nom et produit d'inertie) dans le cadre de gauche.
- Dans le cadre de gauche, saisir le niveau de tête Z0 et le niveau de pied Zp de la palplanche, comme récapitulé dans le tableau ci-dessous.

	Type	EI (kNm <sup>2</sup> /m)	Z <sub>0</sub> (m)	Z <sub>p</sub> (m)
Rideau 2	AZ 24-700	117222	6	-15

- Cliquer sur **Valider et Quitter**.
- Le dessin des couches de sol et des deux rideaux s'affiche sur l'écran principal (cf. copie d'écran suivante).

### D.4.2. ETAPE 2 : DEFINITION DES PHASES ET DES ACTIONS

Une fois les étapes précédentes terminées, la fenêtre principale apparaît comme ci-dessous :

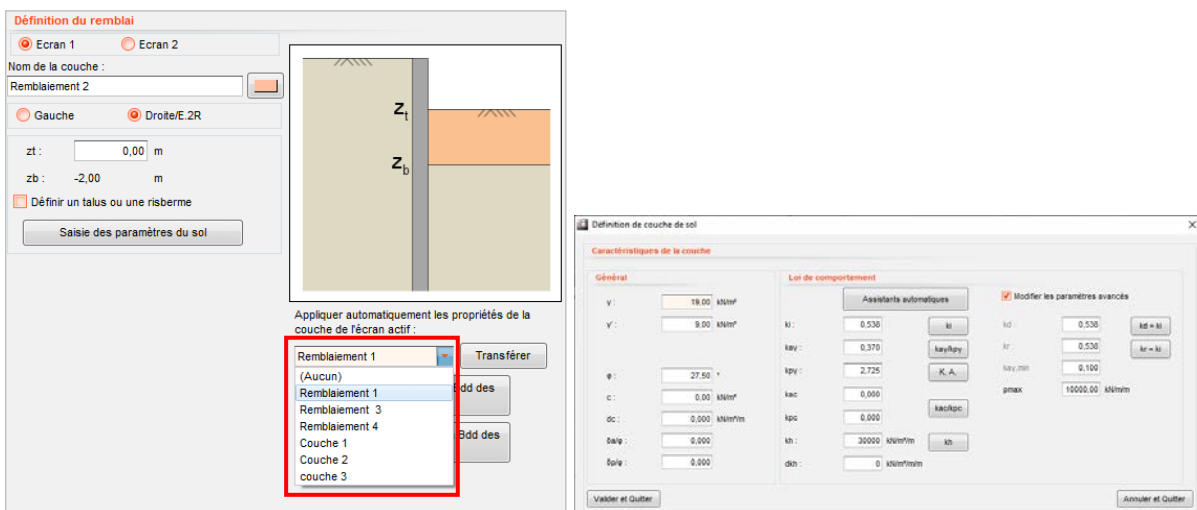


Il n'y aucune action à définir dans la phase initiale dans ce projet.

Nous allons donc directement créer une première phase de calcul comme indiqué dans le paragraphe suivant. Le phasage complet des actions à réaliser dans l'exemple est donné dans les tableaux suivants.


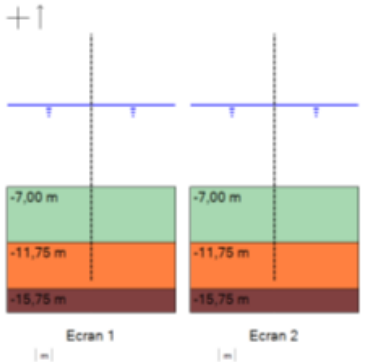
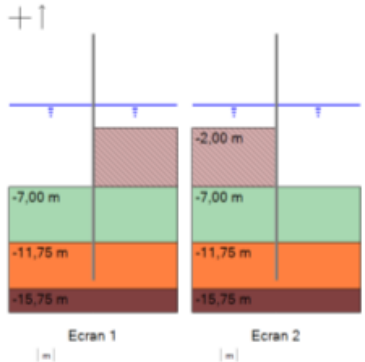
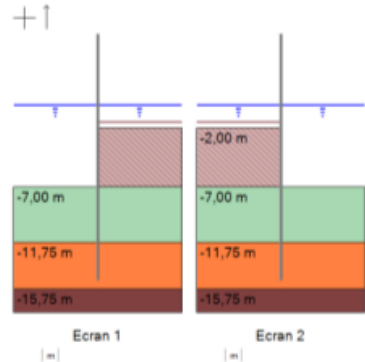
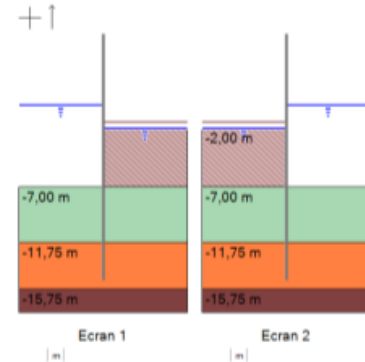


Lorsque l'on définit successivement des actions de remblaiement pour le **Rideau 1** : les propriétés du remblai doivent être renseignées pour la première action remblaiement.

Pour les actions de remblaiement suivantes, et si tous les niveaux de remblai ont les mêmes propriétés (ce qui est le cas pour cet exemple), il est possible de copier les propriétés du premier niveau de remblai (cf ci-dessous).


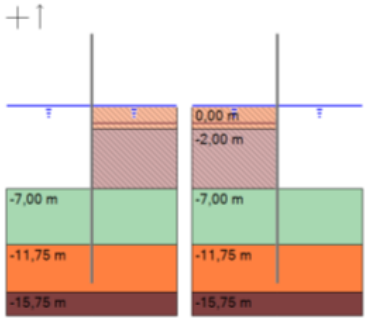
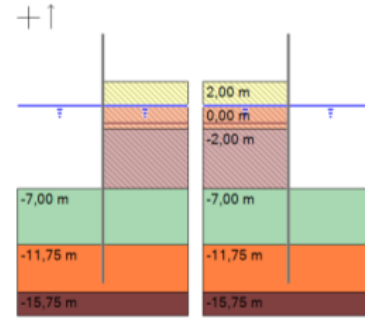




Lorsque l'on définit des actions de remblaiement successives pour le **Rideau 2** : les propriétés du remblai peuvent être copiées depuis l'action de remblaiement du Rideau 1.

Phase	Actions pour le rideau 1 (rideau gauche)	Phase propriétés	Actions for wall 2 (rideau de droite)	Phase properties
Phase initiale		-		-
Phase 1	Remblaiement 1	Remblaiement côté droit: $z_t=-2m$ , $z_b=-7m$ , Propriétés du remblai : $\gamma=19kN/m^3$ , $\gamma_d=9 kN/m^3$ , $\phi=27.5^\circ$ , $c=0kN/m^2$ , $k_i=0.538$ , $k_{a\gamma}=0.37$ , $k_{p\gamma}=2.725$ , $k_{ac}=0$ , $k_{pc}=0$ , $\delta_a/\phi=0$ , $\delta_p/\phi=0$ , $k_h=30000 kN/m/m$	Remblaiement 1	Remblaiement côté gauche : $z_t=-2m$ , $z_b=-7m$ , Propriétés du remblai : $\gamma=19kN/m^3$ , $\gamma_d=9 kN/m^3$ , $\phi=27.5^\circ$ , $c=0kN/m^2$ , $k_i=0.538$ , $k_{a\gamma}=0.37$ , $k_{p\gamma}=2.725$ , $k_{ac}=0$ , $k_{pc}=0$ , $\delta_a/\phi=0$ , $\delta_p/\phi=0$ , $k_h=30000 kN/m^2/m$
Phase 2	Liaison linéique	Liaison linéique : tirant, $z_{aa}=-1.5m$ , $z_{ab}=-1.5m$ , $K=65000kN/m/m$ , $\alpha=0^\circ$	Liaison linéique	Ancrage de liaison: tirant, $z_{aa}=-1.5m$ , $z_{ab}=-1.5m$ , $K=65000kN/m/m$ , $\alpha=0^\circ$
Phase 3	Action hydraulique	Action hydraulique côté droit: $z_w=-2m$	Action hydraulique	Action hydraulique côté gauche: $z_w=-2m$
Phase 4	Remblaiement 2 Action hydraulique	Remblaiement côté droit: mêmes propriétés que le remblai 1 avec $z_t=0m$ , $z_b=-2m$ , Action hydraulique droit $z_w=0$	Remblaiement 2 Action hydraulique	Remblaiement côté gauche : mêmes propriétés que le remblai 1 avec $z_t=0m$ , $z_b=-2m$ Action hydraulique gauche $z_w=0$
Phase 5	Remblaiement 3	Remblaiement côté droit: mêmes propriétés que le remblai 1 avec $z_t=2m$ , $z_b=0m$	Remblaiement 3	Remblaiement côté gauche : mêmes propriétés que le remblai 1 avec $z_t=2m$ , $z_b=0m$
Phase 6	Liaison linéique	Liaison linéique : tirant, $z_{aa}=2.5m$ , $z_{ab}=2.5m$ , $K=15000kN/m/m$ , $\alpha=0^\circ$	Liaison linéique	Liaison linéique : tirant, $z_{aa}=2.5m$ , $z_{ab}=2.5m$ , $K=15000kN/m/m$ , $\alpha=0^\circ$
Phase 7	Remblaiement 4	Remblaiement côté droit: mêmes propriétés que le remblai 1 avec $z_t=6m$ , $z_b=2m$	Remblaiement 4	Remblaiement côté gauche : mêmes propriétés que le remblai 1 avec $z_t=6m$ , $z_b=2m$
Phase 8	Surcharge de Caquot Hydraulique	Surcharge de Caquot côté droit : $z=6m$ , $q=20kN/m/m$ (changement de la valeur de la surcharge) Hydraulique côté gauche: $z_w=-2.3m$	Surcharge de Caquot	Excavation-water on the left side: $z=6m$ , $q=20kN/m/m$
Phase 9	Hydraulique Charge trapézoïdale Charge trapézoïdale	Hydraulique côté gauche : $z_w=0m$ Charge trapézoïdale : $z_t=5.32m$ , $z_b=0m$ , $\alpha=0^\circ$ , $q_{hb}=44.1kN/m/m$ Charge trapézoïdale : $z_t=0m$ , $z_b=-7m$ , $\alpha=0^\circ$ , $q_{ht}=44.1 kN/m/m$ , $q_{hb}=32.2 kN/m/m$ (ces chargements représentent l'effet des vagues)		

	<b>AFFAIRE T4 02/2019</b> <b>T4 02/2019</b>		
<b>SYNTHESE PHASAGE</b>			
<p>Phase Initiale</p> 	<p>Phase 1</p> 	<p>Phase 2</p> 	<p>Phase 3</p> 
	<p>Ecran 1 - Remblai (droite) Remblaiement 1  <math>z_i</math> [m] = -2,00      <math>\phi</math> [°] = 27,50  <math>c</math> [kN/m<sup>2</sup>] = 0,00      <math>d_c</math> [kN/m<sup>2</sup>/m] = 0,000  <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>] = 9,00      <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>] = 19,00  <math>k_{ay}</math> = 0,370      <math>k_{ac}</math> = 0,000  <math>k_{py}</math> = 2,725      <math>k_{pc}</math> = 0,000  <math>k_i</math> = 0,538      <math>k_d</math> = 0,538  <math>k_r</math> = 0,538      <math>k_n</math> [kN/m<sup>2</sup>/m] = 30000  <math>d_{kh}</math> [kN/m<sup>2</sup>/m/m] = 0      <math>p_{max}</math> [kN/m/m] = 10000,00  <math>k_{a,min}</math> = 0,100</p> <p>Ecran 2 - Remblai (gauche) Remblaiement 1  <math>z_i</math> [m] = -2,00      <math>\phi</math> [°] = 27,50  <math>c</math> [kN/m<sup>2</sup>] = 0,00      <math>d_c</math> [kN/m<sup>2</sup>/m] = 0,000  <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>] = 9,00      <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>] = 19,00  <math>k_{ay}</math> = 0,370      <math>k_{ac}</math> = 0,000  <math>k_{py}</math> = 2,725      <math>k_{pc}</math> = 0,000  <math>k_i</math> = 0,538      <math>k_d</math> = 0,538  <math>k_r</math> = 0,538      <math>k_n</math> [kN/m<sup>2</sup>/m] = 30000  <math>d_{kh}</math> [kN/m<sup>2</sup>/m/m] = 0      <math>p_{max}</math> [kN/m/m] = 10000,00  <math>k_{a,min}</math> = 0,100</p>	<p>Ecran 1 - Mise en place de la liaison linéique : n°1  <math>z_{aa}</math> [m] = -1,50  <math>z_{ab}</math> [m] = -1,50  <math>K</math> [kN/m/m] = 65000  <math>\sigma</math> [°] = 0,00  <math>P</math> [kN/m] = 0,00</p>	<p>Ecran 1 - Action hydraulique : (droite)  <math>z_w</math> [m] = -2,00</p> <p>Ecran 2 - Action hydraulique : (gauche)  <math>z_w</math> [m] = -2,00</p>
	<b>Calcul réalisé par : Terrasol</b>		


Fichier de sauvegarde : Z:\Logiciel TS\Amretain\T4\_02\_2019.AM2 Imprimé le 08/02/2019 11:04 calculé le 01/01/0001 à 00:00

 v.2.1.2	<b>AFFAIRE T4 02/2019</b>	
<b>T4 02/2019</b>		
<b>SYNTHESE PHASAGE</b>		
<p>Phase 4</p>  <p>Ecran 1      Ecran 2</p>		<p>Phase 5</p>  <p>Ecran 1      Ecran 2</p>
<p>Ecran 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remblai (droite) Remblaiement 2</li> <li>zt [m] = 0,00      φ [°] = 27,50</li> <li>c [kN/m<sup>2</sup>] = 0,00      dc [kN/m<sup>2</sup>/m] = 0,000</li> <li>γ [kN/m<sup>3</sup>] = 9,00      γ [kN/m<sup>3</sup>] = 19,00</li> <li>kay = 0,370      kac = 0,000</li> <li>kpy = 2,725      kpc = 0,000</li> <li>ki = 0,538      kd = 0,538</li> <li>kr = 0,538      kh [kN/m<sup>2</sup>/m] = 30000</li> <li>dkh [kN/m<sup>2</sup>/m/m] = 0      pmax [kN/m/m] = 10000,00</li> <li>ka,min = 0,100</li> </ul> <p>- Action hydraulique : (droite) zw [m] = 0,00</p> <p>Ecran 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remblai (gauche) Remblaiement 2</li> <li>zt [m] = 0,00      φ [°] = 27,50</li> <li>c [kN/m<sup>2</sup>] = 0,00      dc [kN/m<sup>2</sup>/m] = 0,000</li> <li>γ [kN/m<sup>3</sup>] = 9,00      γ [kN/m<sup>3</sup>] = 19,00</li> <li>kay = 0,370      kac = 0,000</li> <li>kpy = 2,725      kpc = 0,000</li> <li>ki = 0,538      kd = 0,538</li> <li>kr = 0,538      kh [kN/m<sup>2</sup>/m] = 30000</li> <li>dkh [kN/m<sup>2</sup>/m/m] = 0      pmax [kN/m/m] = 10000,00</li> <li>ka,min = 0,100</li> </ul>	<p>- Action hydraulique : (gauche) zw [m] = 0,00</p>	<p>Ecran 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remblai (droite) Remblaiement 3</li> <li>zt [m] = 2,00      φ [°] = 27,50</li> <li>c [kN/m<sup>2</sup>] = 0,00      dc [kN/m<sup>2</sup>/m] = 0,000</li> <li>γ [kN/m<sup>3</sup>] = 9,00      γ [kN/m<sup>3</sup>] = 19,00</li> <li>kay = 0,370      kac = 0,000</li> <li>kpy = 2,725      kpc = 0,000</li> <li>ki = 0,538      kd = 0,538</li> <li>kr = 0,538      kh [kN/m<sup>2</sup>/m] = 30000</li> <li>dkh [kN/m<sup>2</sup>/m/m] = 0      pmax [kN/m/m] = 10000,00</li> <li>ka,min = 0,100</li> </ul> <p>Ecran 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remblai (gauche) Remblaiement 3</li> <li>zt [m] = 2,00      φ [°] = 27,50</li> <li>c [kN/m<sup>2</sup>] = 0,00      dc [kN/m<sup>2</sup>/m] = 0,000</li> <li>γ [kN/m<sup>3</sup>] = 9,00      γ [kN/m<sup>3</sup>] = 19,00</li> <li>kay = 0,370      kac = 0,000</li> <li>kpy = 2,725      kpc = 0,000</li> <li>ki = 0,538      kd = 0,538</li> <li>kr = 0,538      kh [kN/m<sup>2</sup>/m] = 30000</li> <li>dkh [kN/m<sup>2</sup>/m/m] = 0      pmax [kN/m/m] = 10000,00</li> <li>ka,min = 0,100</li> </ul>
	<p align="center"><b>Calcul réalisé par : Terrasol</b></p>	
 terrasol setec		

AMRetain v.2.1.2		AFFAIRE T4 02/2019	
SYNTHESE PHASAGE		T4 02/2019	
<p>Phase 7</p> <p>Ecran 1      Ecran 2</p>	<p>Phase 8</p> <p>Ecran 1      Ecran 2</p>	<p>Phase 9</p> <p>Ecran 1      Ecran 2</p>	
<p>Ecran 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remblai (droite) Remblaiement 4</li> <li>z1 [m] = 6,00      φ [°] = 27,50</li> <li>c [kN/m²] = 0,00      dc [kN/m²/m] = 0,000</li> <li>y [kN/m³] = 9,00      γ [kN/m³] = 19,00</li> <li>kay = 0,370      kac = 0,000</li> <li>kpy = 2,725      kpc = 0,000</li> <li>ki = 0,538      kd = 0,538</li> <li>kr = 0,538      kh [kN/m²/m] = 30000</li> <li>dkh [kN/m²/m/m] = 0      pmax [kN/m/m] = 10000,00</li> <li>ka,min = 0,100</li> </ul> <p>Ecran 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Remblai (gauche) Remblaiement 4</li> <li>z1 [m] = 6,00      φ [°] = 27,50</li> <li>c [kN/m²] = 0,00      dc [kN/m²/m] = 0,000</li> <li>y [kN/m³] = 9,00      γ [kN/m³] = 19,00</li> <li>kay = 0,370      kac = 0,000</li> <li>kpy = 2,725      kpc = 0,000</li> <li>ki = 0,538      kd = 0,538</li> <li>kr = 0,538      kh [kN/m²/m] = 30000</li> <li>dkh [kN/m²/m/m] = 0      pmax [kN/m/m] = 10000,00</li> <li>ka,min = 0,100</li> </ul>	<p>Ecran 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surcharge de Caquot : (côté droit) :</li> <li>q [kN/m/m] = 20,00</li> <li>- Action hydraulique : (gauche)</li> <li>zw [m] = -2,30</li> </ul> <p>Ecran 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surcharge de Caquot : (côté gauche) :</li> <li>q [kN/m/m] = 20,00</li> </ul>	<p>Ecran 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Action hydraulique : (gauche)</li> <li>zw [m] = 0,00</li> <li>- Charge trapézoïdale 1</li> <li>z1 [m] = 5,32</li> <li>z2 [m] = 0,00</li> <li>α [°] = 0,00</li> <li>qht [kN/m/m] = 0,00</li> <li>qhb [kN/m/m] = 44,10</li> <li>- Charge trapézoïdale 2</li> <li>z1 [m] = 0,00</li> <li>z2 [m] = -7,00</li> <li>α [°] = 0,00</li> <li>qht [kN/m/m] = 44,10</li> <li>qhb [kN/m/m] = 32,20</li> </ul>	
	<p>Calcul réalisé par : Terrasol</p>		

Fichier de sauvegarde : Z:\Logiciel\TSA\Amretain\T4\_02\_2019.AM2      imprimé le 08/02/2019 11:04 calculé le 01/01/0001 à 00:00


### D.4.3. ETAPE 3 : CALCUL ET RESULTATS

Cliquer sur le bouton  .

Dans la fenêtre principale, on peut observer les principaux résultats (déplacements, moments et efforts tranchants) pour chaque phase et chaque rideau (exactement comme pour un rideau simple).

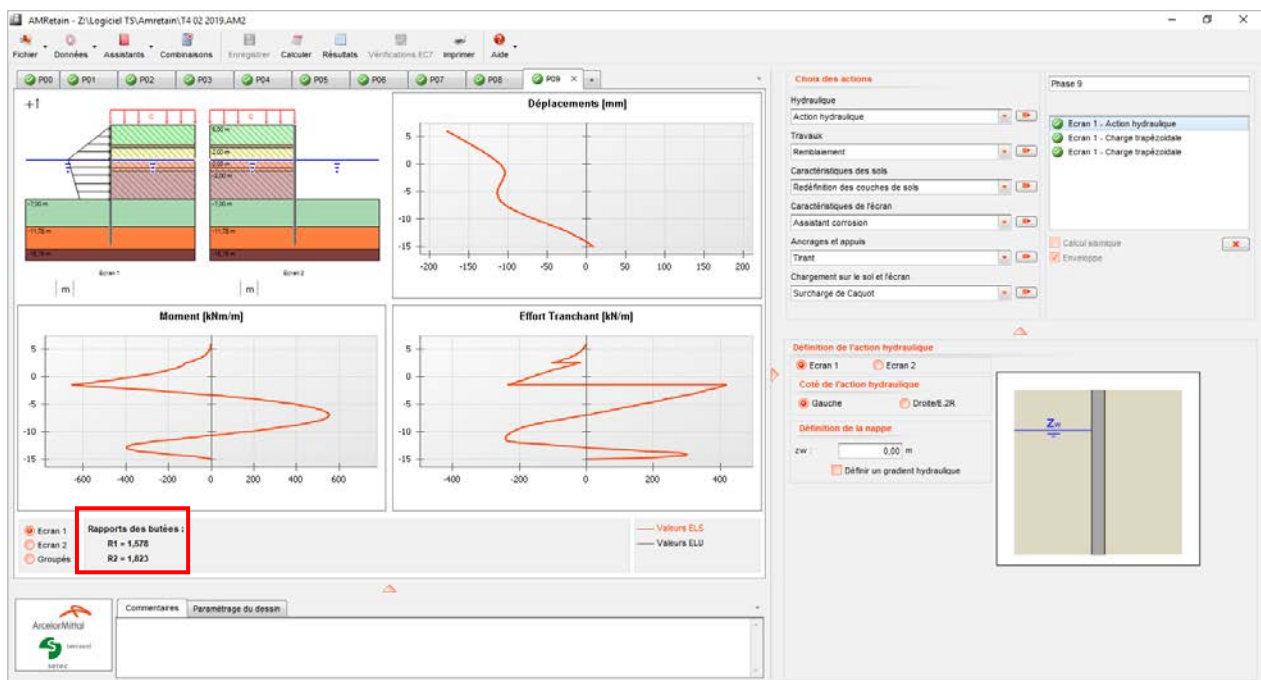
Il est aussi possible, grâce à l'option **Groupés**, de superposer les résultats des deux rideaux sur des mêmes graphiques avec les mêmes échelles (cf. page suivante).

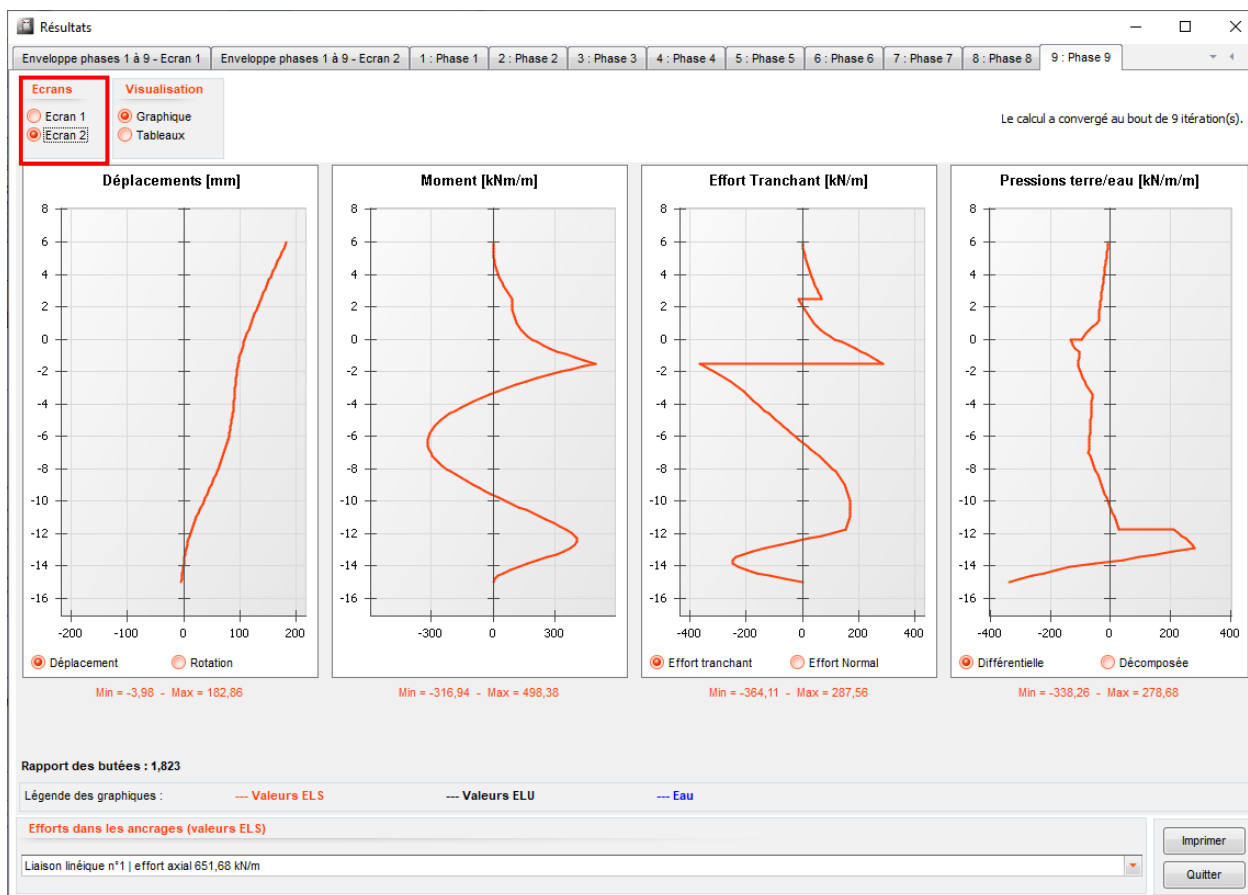
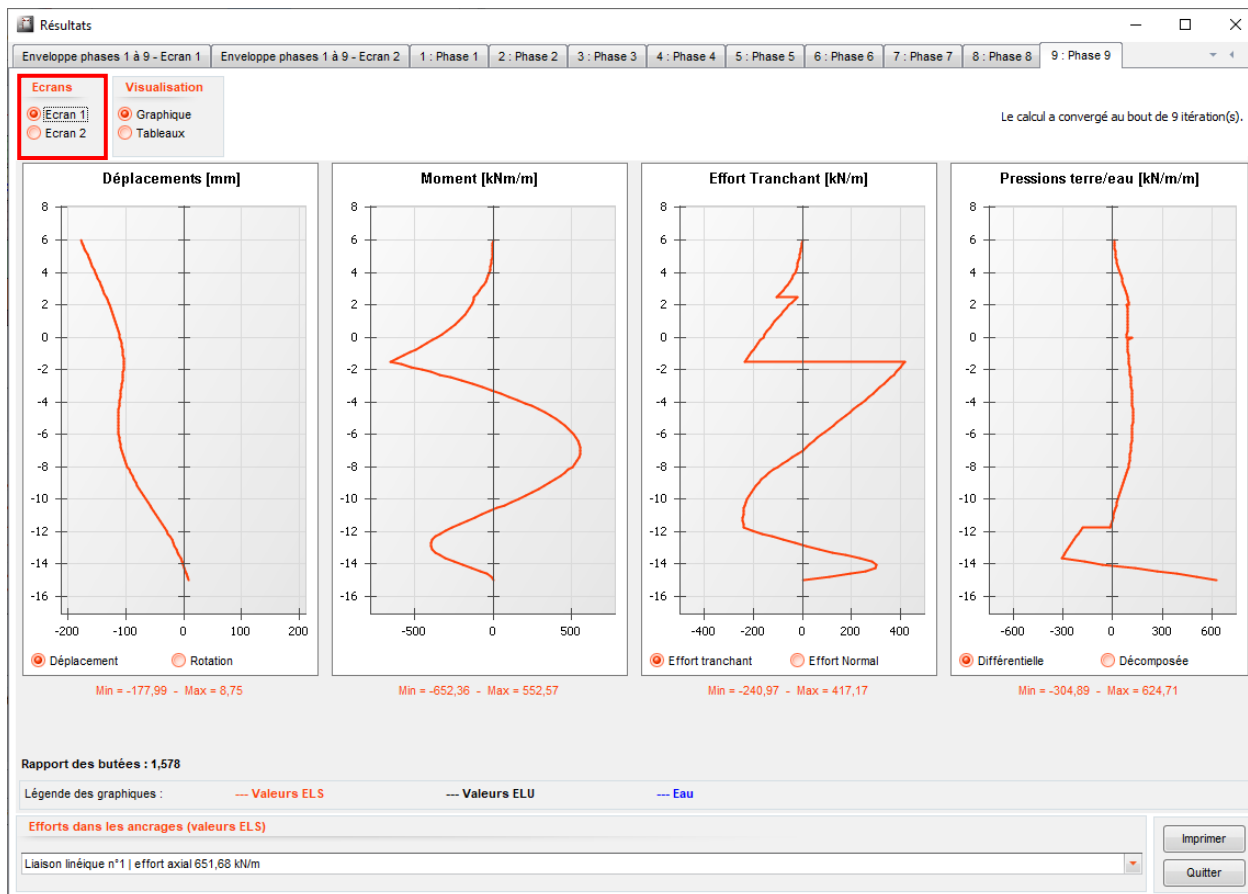
Dans ce cas, la courbe épaisse est celle relative au rideau 1, et la courbe fine est celle relative au rideau 2.

Le bouton  permet d'accéder aux résultats détaillés (graphiques et tableaux).

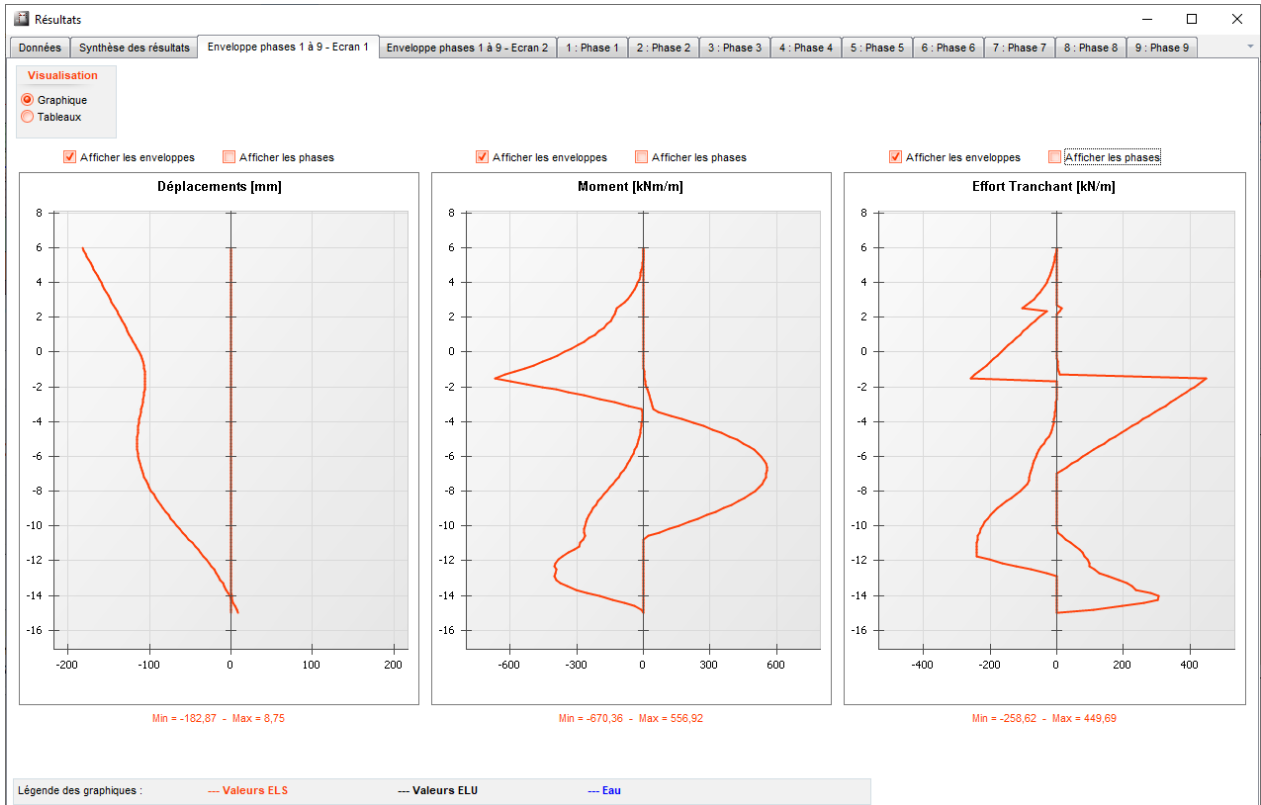
Les copies d'écran suivantes illustrent les résultats obtenus pour la phase 9 (la dernière phase du projet), ainsi que la synthèse des résultats et les courbes enveloppes du projet.

Dans la fenêtre des résultats, il est possible pour chaque phase, à chaque instant, de passer des résultats du **Rideau 1** (Rideau gauche) à ceux du **Rideau 2** (Rideau droit).





D – AMRetain v2 Tutoriels



Résultats

Données Synthèse des résultats Enveloppe phases 1 à 9 - Ecran 1 Enveloppe phases 1 à 9 - Ecran 2 1 : Phase 1 2 : Phase 2 3 : Phase 3 4 : Phase 4 5 : Phase 5 6 : Phase 6 7 : Phase 7 8 : Phase 8 9 : Phase 9

**Ecran 1**

N° PHASE	Déplacement en tête [mm]	Déplacement maximal [mm]	M,k max écran [kNm/m]	N,k max écran [kN/m]	V,k max écran [kN/m]	Rapport butées	F,k liaison linéique n°1 [kN/m]	F,k liaison linéique n°2 [kN/m]
1	-182,87	-182,87	-264,21	33,64	99,94	4,429	-	-
2	-182,87	-182,87	-264,21	33,64	99,94	4,429	0,00	-
3	-154,46	-154,46	-266,88	27,51	99,44	5,229	0,00	-
4	-175,18	-175,18	-264,32	27,51	104,83	3,766	25,73	-
5	-166,17	-166,17	-301,96	27,51	143,84	2,899	162,19	-
6	-166,17	-166,17	-301,96	27,51	143,84	2,899	162,19	0,00
7	-176,53	-176,53	-399,22	-100,35	256,43	1,958	431,62	76,28
8	-177,86	-177,86	-670,36	-207,44	449,69	1,443	708,31	88,39
9	-177,99	-177,99	-652,36	-216,27	417,17	1,578	651,68	82,93
Extrema	-182,87	-182,87	-670,36	-216,27	449,69	1,443	708,31	88,39

**Rideau 1**

**Ecran 2**

N° PHASE	Déplacement en tête [mm]	Déplacement maximal [mm]	M,k max écran [kNm/m]	N,k max écran [kN/m]	V,k max écran [kN/m]	Rapport butées	F,k liaison linéique n°1 [kN/m]	F,k liaison linéique n°2 [kN/m]
1	181,92	181,92	264,21	29,89	-99,87	4,429	-	-
2	181,92	181,92	264,21	29,89	-99,87	4,429	0,00	-
3	153,65	153,65	266,87	24,32	-99,37	5,231	0,00	-
4	174,30	174,30	264,32	24,32	-104,78	3,767	25,73	-
5	165,31	165,31	301,86	24,32	-143,77	2,899	162,19	-
6	165,31	165,31	301,86	24,32	-143,77	2,899	162,19	0,00
7	175,60	175,60	398,95	-103,99	-256,45	1,958	431,62	76,28
8	182,41	182,41	521,48	-122,32	-391,04	1,823	708,31	88,39
9	182,86	182,86	490,36	-122,35	-364,11	1,823	651,68	82,93
Extrema	182,86	182,86	521,48	-122,35	-391,04	1,823	708,31	88,39

**Rideau 2**

Quelques commentaires sur les résultats :

- Le comportement global du système est symétrique. Il n'est pas parfaitement symétrique car les deux rideaux n'ont pas la même raideur, et parce que les actions des dernières phases ne sont pas non plus symétriques.
- Les efforts obtenus dans le tirant de liaison n°1 pour les rideaux 1 et 2 sont opposés et ont la même valeur absolue (action/réaction), sauf si la tolérance de convergence est inférieure à 0.1 kN. Il en est de même pour le tirant n°2.
- Les efforts de traction dans les tirants d'ancrage sont opposés pour les 2 rideaux : positifs pour le rideau 1 (rideau de gauche), et négatifs pour le rideau 2 (rideau de droite).
- Dans la phase 2, le tirant étant passif, il n'est pas pris en compte (phase d'installation). Il « agit » à partir de la phase suivante (phase 3).
- Pour le tirant de liaison n°1, les efforts sont nuls lorsqu'il est soumis à de la compression (phase 3) : en effet, les tirants d'ancrage sont définis comme travaillant uniquement en traction dans cet exemple, c'est-à-dire qu'ils ne reprendront aucun effort de compression : lorsqu'ils sont soumis à de la compression (critère de vérification indépendant pour chaque tirant), leur raideur n'est pas prise en compte et « tout ce passe comme si » les tirants étaient désactivés.

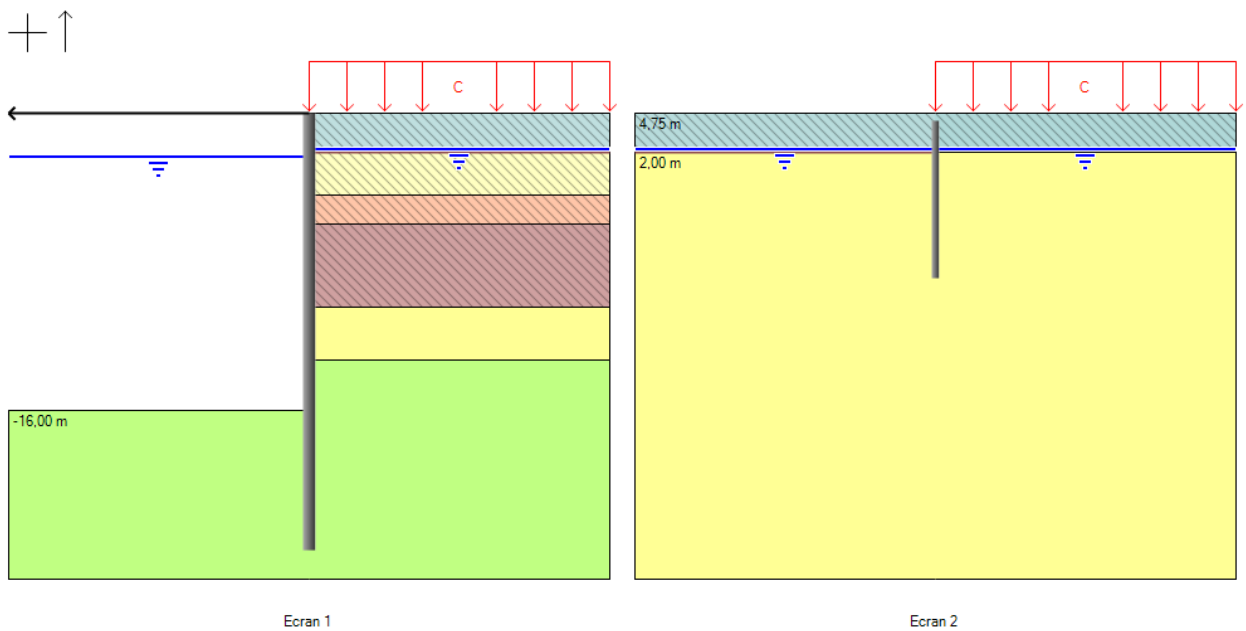
## D.5. TUTORIEL 5 : RIDEAU PRINCIPAL ANCRE SUR UN CONTRE-RIDEAU

Ce projet correspond à un double rideau dans le cadre de la construction d'un quai.

Le rideau principal (rideau gauche) est constitué de palplanches de type HZM 880 A-12 / AZ 13-770-D, de longueur 30,5 m. Il est ancré sur un contre-rideau (plus court) constitué de palplanches AZ 38-700 de longueur 11 m, par l'intermédiaire d'une nappe d'ancrages de liaison horizontale.

La mise en place se fait par remblaiements successifs entre les deux rideaux.

Le sol est ensuite terrassé à l'avant du rideau principal (rideau gauche) et une force ponctuelle est appliquée en tête du rideau principal (effort d'amarrage).



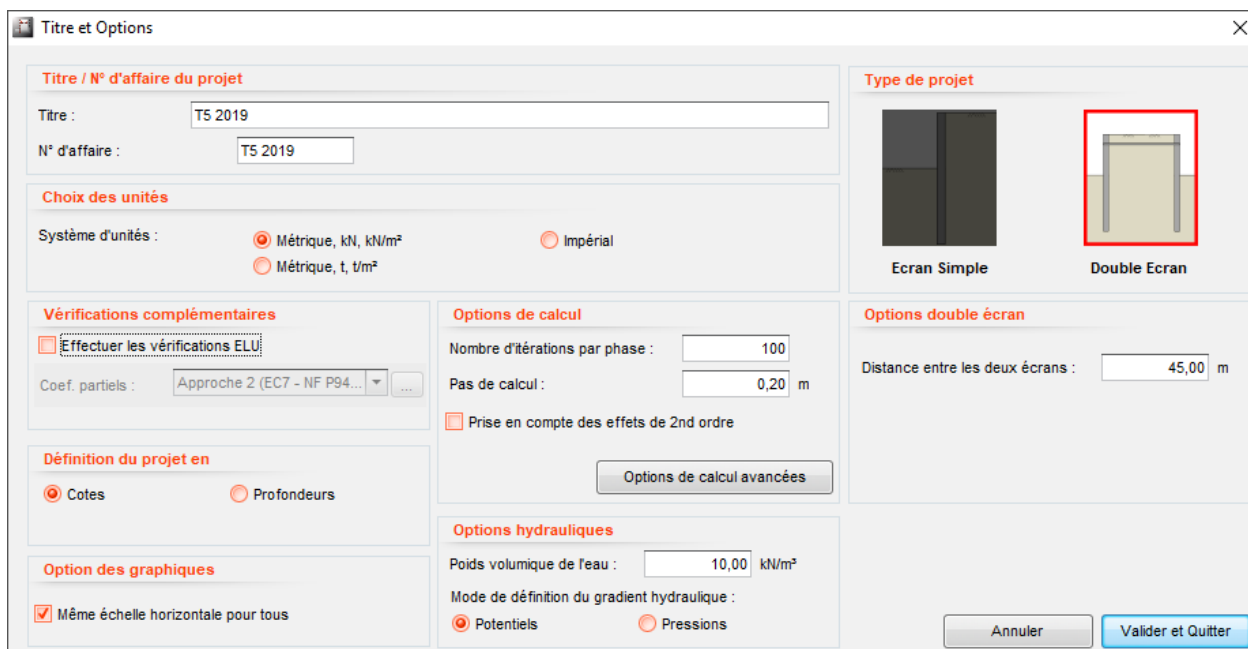
## D.5.1. ETAPE 1 : SAISIE DES DONNEES

Pour démarrer AMRetain :

- Lancer AMRetain en cliquant sur **Démarrer, Programmes, AMRetain**.
- Conserver la langue par défaut (**Français**), et cliquer sur **Lancer le logiciel AMRetain**.
- Cliquer sur **J'accepte les clauses juridiques**.
- Choisir **Nouveau projet**.
- La boîte de dialogue **Titre et Options** s'ouvre.

### D.5.1.1. TITRE ET OPTIONS

La boîte de dialogue **Titre et Options** permet de définir les options globales du projet. Elle s'affiche comme illustrée ci-dessous :

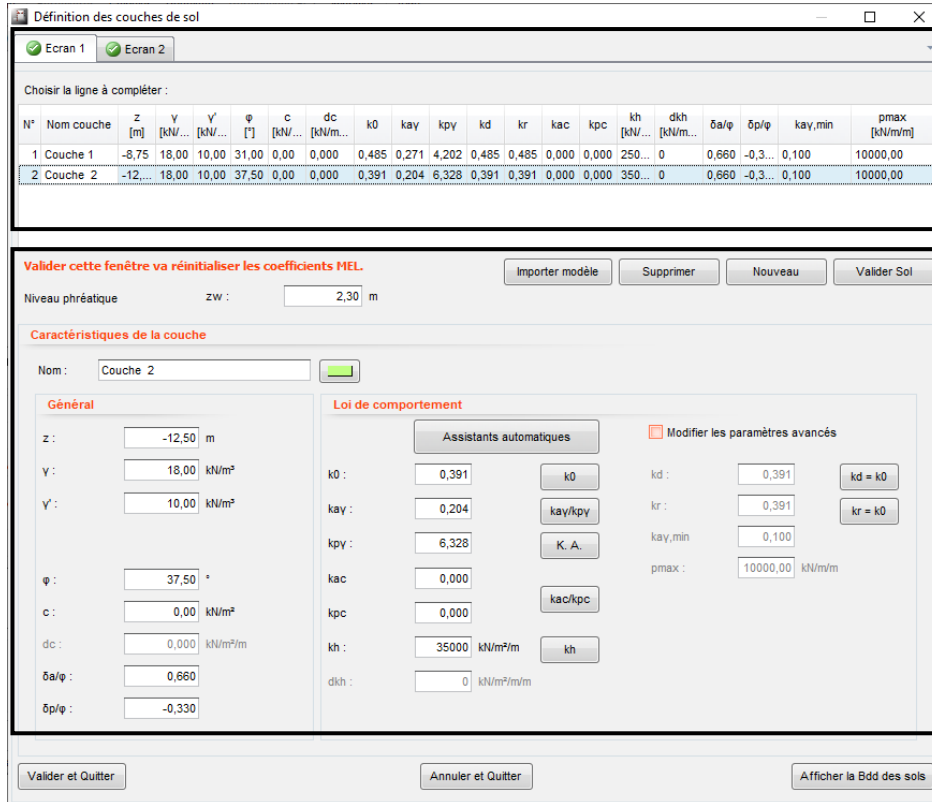


- Dans le cadre **Type de projet**, choisir **Double Rideau**.
- Dans le cadre **Options Double Rideau**, la **distance entre les deux écrans** est de 45 m.
- Dans le cadre **Titre / N° d'affaire du projet**, saisir le titre de votre choix puis le numéro d'affaire.
- Conserver le système d'unités par défaut (**système métrique**).
- Conserver le poids volumique de l'eau par défaut **10 kN/m<sup>3</sup>**.
- Conserver la **Définition du projet en cotes**.
- Dans le cadre **Options du calcul**, garder les valeurs par défaut, à savoir le nombre de **100** itérations par phase de calcul et un pas de découpage de **0,20** m pour le rideau, et laisser décochée la case **Prise en compte du flambement**.

- Dans le cadre **Affichage des résultats**, cocher la case **Même échelle horizontale pour tous**.
- Enfin, cliquer sur .
- Enregistrer le nouveau projet dans le répertoire souhaité en cliquant sur le Menu **Fichier** puis en sélectionnant **Enregistrer**.

**D.5.1.2. DEFINITION DES COUCHES DE SOL**

- La boîte de dialogue **Définition des couches de sol** s'affiche et doit être complétée comme présenté ci-dessous :



Couches de sol relatives au rideau 1

Zone de saisie (ici avec les données de la Couche 2)

Cette boîte de dialogue affiche l'onglet « Ecran 1 » et permet de définir les caractéristiques des couches de sol pour le **rideau 1**.

- Dans le cadre de saisie, saisir les caractéristiques de la première couche de sol (Couche 1). Les caractéristiques des couches sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

	Z (m)	Z <sub>w</sub> (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	φ (°)	c (kN/m <sup>2</sup> )	δ <sub>a</sub> /φ	δ <sub>p</sub> /φ
Couche 1	-8.75	2.3	18	10	31	0	0.66	-0.33
Couche 2	-12.5	2.3	18	10	37.5	0	0.66	-0.33

	k <sub>0</sub>	k <sub>ay</sub>	k <sub>py</sub>	k <sub>ac</sub>	k <sub>pc</sub>	k <sub>h</sub>
Couche 1	0.485	0.271	4.202	0	0	25000
Couche 2	0.391	0.204	6.328	0	0	35000

Afin de renseigner le cadre « Loi de comportement », cliquer sur le bouton . Les assistants suivants peuvent aussi être utilisés :

- $k_0$  : conserver les valeurs par défaut (ci-dessous pour la première couche):

- $k_{ay} / k_{py}$  : utiliser les Tables de KERISEL et ABSI. Sélectionner « Poussée » (respectivement « Butée ») et cliquer sur **Transférer** pour copier chaque valeur dans la boîte de dialogue principale des sols.

Lambda/Phi	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
50°								
45°							1,100	1,300
40°					1,120	1,300	1,600	1,800
35°		1,000	1,120	1,270	1,470	1,700	2,050	2,400
30°	1,040	1,180	1,340	1,550	1,820	2,100	2,550	3,200
25°	1,160	1,330	1,540	1,810	2,150	2,600	3,200	4,000
20°	1,250	1,460	1,720	2,050	2,500	3,000	3,800	4,900
15°	1,330	1,580	1,880	2,300	2,800	3,500	4,600	6,000
10°	1,400	1,680	2,050	2,550	3,200	4,100	5,400	7,400
5°	1,460	1,790	2,200	2,800	3,600	4,700	6,400	9,000
0°	1,510	1,880	2,400	3,100	4,000	5,400	7,600	11,000
-5°	1,560	1,980	2,550	3,300	4,500	6,200	9,000	13,700
-10°	1,600	2,050	2,700	3,600	5,000	7,100	10,500	17,000
-15°	1,630	2,150	2,900	4,000	5,600	8,200	12,400	21,000
-20°	1,650	2,200	3,000	4,300	6,200	9,400	15,000	26,000
-25°	1,660	2,300	3,200	4,600	6,900	10,800	18,000	32,000
-30°	1,650	2,250	3,400	5,000	7,600	12,400	21,000	40,000
-35°	1,640	2,400	3,500	5,400	8,500	14,200	25,000	50,000
-40°	1,620	2,400	3,600	5,700	9,400	16,000	30,000	62,000
-45°	1,590	2,400	3,800	6,100	10,400	18,700	36,000	78,000
-50°	1,540	2,400	3,900	6,600	11,400	21,000	43,000	96,000
-55°	1,480	2,400	4,000	7,000	12,600	24,500	52,000	120,000
-60°	1,410	2,400	4,100	7,400	14,100	28,000	62,000	150,000
-65°	1,320	2,350	4,200	7,900	15,500	32,000	74,000	190,000
-70°	1,220	2,300	4,300	8,400	17,200	38,000	89,000	240,000
-75°	1,110	2,200	4,400	8,900	19,200	44,000	108,000	300,000
-80°		2,100	4,400	9,500	21,000	50,000	130,000	380,000
-85°		1,980	4,500	10,100	23,500	58,000	156,000	480,000

- $k_d = k_0$  et  $k_r = k_0$

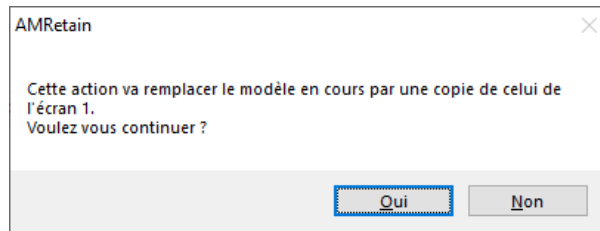
Pour valider la couche de sol, cliquer sur **Valider Sol**.

Dans cet exemple, les autres paramètres des sols sont fournis dans les données du projet et les autres assistants ne seront pas utilisés.

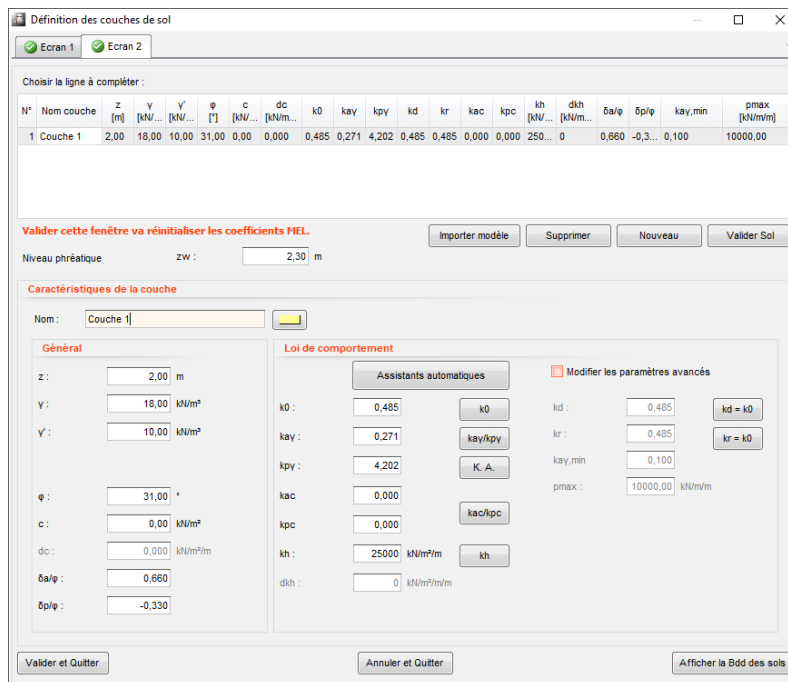
- Cliquer sur  , saisir les caractéristiques de la seconde couche de sol (Couche 2).
- Cliquer sur  puis sur .
- L'onglet « Ecran 2 » s'ouvre.

Remarque : dans le cas d'un projet où les caractéristiques des sols sont identiques pour les deux rideaux, le bouton  permet de copier les données des sols du rideau 1 directement pour le rideau 2.

Le message ci-dessous s'affiche : répondre .



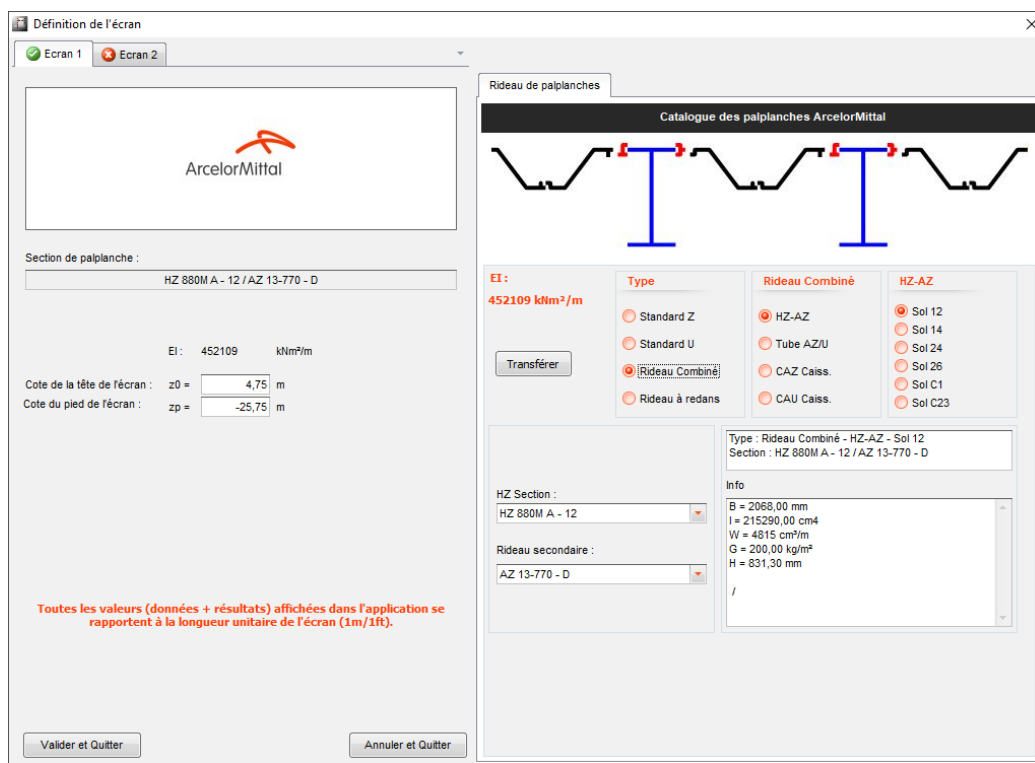
- Dans le cas de ce projet, les caractéristiques des couches de sol pour le **Rideau 2** sont partiellement communes avec celles du **Rideau 1** : cliquer sur . Les mêmes propriétés sont affectées pour le rideau 2 (copie d'écran suivante).
- Ici, il faut  la couche 2 et changer le niveau du toit de la couche 1 = 2 m.
- Modifier ensuite le niveau z du toit de la Couche 1, pour que ce niveau soit à 2 m pour le **Rideau 2**. La boîte de dialogue du **Rideau 2** doit donc au final se présenter comme suit :



- Cliquer sur  puis sur .

### D.5.1.3. DEFINITION DES RIDEAUX

La boîte de dialogue **Définition du rideau** s'affiche et doit être complétée comme illustré ci-dessous :



Cette boîte de dialogue affiche l'onglet « Ecran1 » qui permet de définir les caractéristiques du **rideau 1**.

- Dans le cadre **Catalogue des palplanches ArcelorMittal**, cocher le type **Rideau Combiné, HZ-AZ, Sol 12**. Dans le menu déroulant **HZ Section**, sélectionner **HZ 880M A - 12**, et dans le menu **Rideau secondaire**, sélectionner **AZ 13-770 - D**.

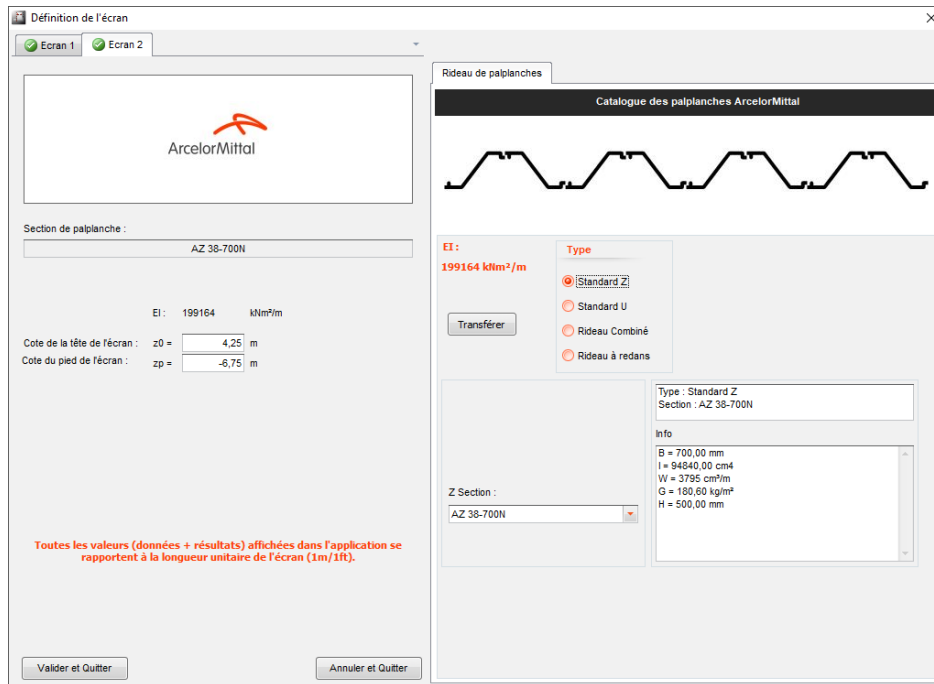
Cliquer sur le bouton **Transférer** pour transférer les caractéristiques de cette palplanche (référence et valeur de EI) dans le cadre de gauche.

- Dans le cadre de gauche, saisir le niveau de tête Z0 et le niveau de pied Zf de la palplanche, comme récapitulé dans le tableau ci-dessous.

	Type	EI (kNm <sup>2</sup> /m)	Z <sub>0</sub> (m)	Z <sub>p</sub> (m)
Rideau 1	HZM 880 A-12 / AZ 13-770-D	452109	4.75	-25.75

- Cliquer sur **Valider et Quitter** : l'onglet de l'écran 2 s'ouvre

La boîte de dialogue **Définition du rideau** reste à l'écran et ouvre l'onglet « Ecran 2 » et doit être complétée comme illustré ci-dessous :



- Dans le cadre **Catalogue des palplanches ArcelorMittal**, laisser le type **Standard Z** coché par défaut. Dans le menu déroulant **Z Section**, sélectionner **AZ 38-700**. Cliquer sur l'onglet **Transférer** pour transférer les caractéristiques de cette palplanche (nom et produit d'inertie) dans le cadre de gauche.
- Dans le cadre de gauche, saisir le niveau de tête Z0 et le niveau de pied Zp de la palplanche, comme récapitulé dans le tableau ci-dessous.

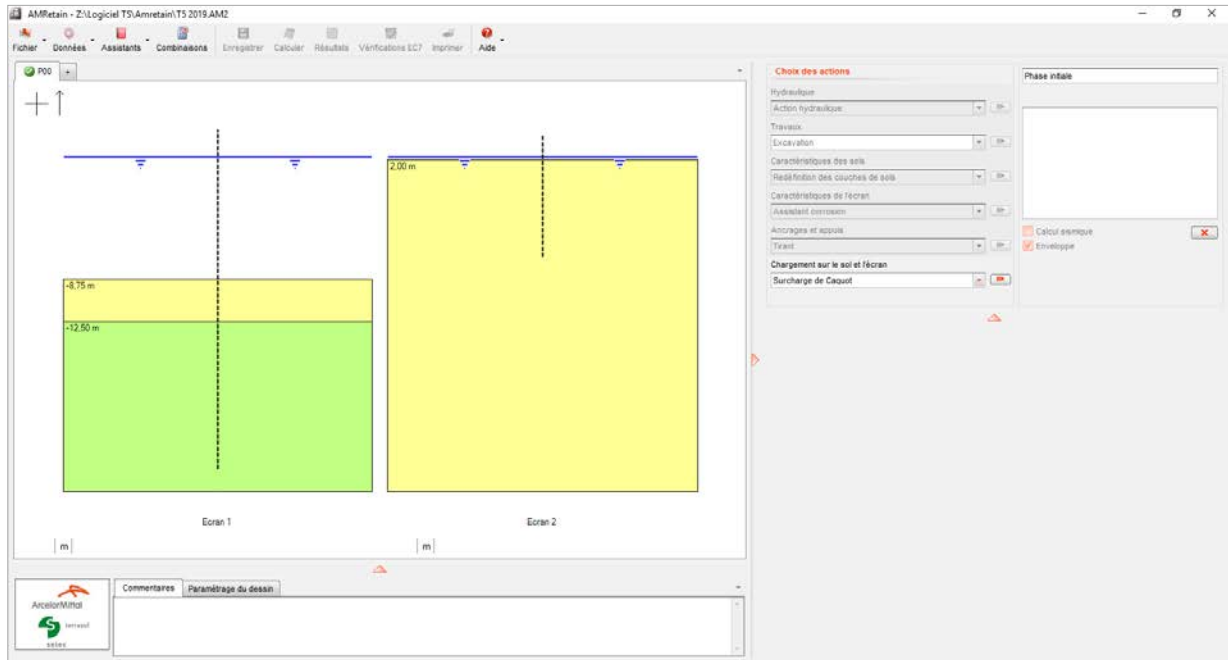
	Type	EI (kNm <sup>2</sup> /m)	Z <sub>0</sub> (m)	Z <sub>p</sub> (m)
Rideau 2	AZ 38 - 700	199164	4.25	-6.75

- Cliquer sur **Valider et Quitter**.

Le dessin des deux rideaux et des couches de sol est ensuite affiché sur la fenêtre principale (copie d'écran suivante).

## D.5.2. ETAPE 2 : DEFINITION DES PHASES ET DES ACTIONS

Une fois les étapes précédentes terminées, l'écran apparaît comme ci-dessous :



Il n'y a pas d'action dans la phase initiale, on va donc directement créer une première phase de calcul comme indiqué dans le paragraphe suivant.

Le phasage Ecran 2 complet des actions à réaliser dans l'exemple est donné dans les tableaux suivants.

Lorsque l'on définit successivement des actions de remblaiement pour le **Rideau 1** : les propriétés du remblai doivent être renseignées pour la première action remblaiement.

Pour les actions de remblaiement suivantes, et si tous les niveaux de remblai ont les mêmes propriétés (ce qui est le cas pour cet exemple), il est possible de récupérer les propriétés du premier niveau de remblai (cf. ci-dessous).


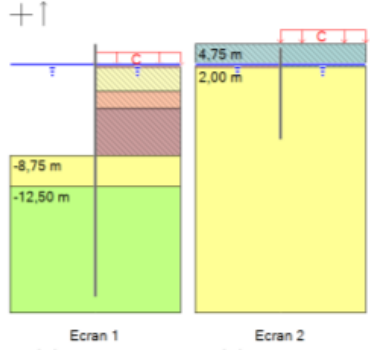
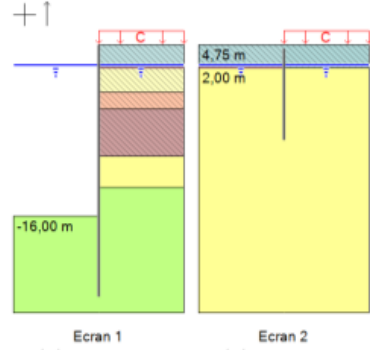




Pour l'action remblaiement, AMRetain demande de renseigner les propriétés du 1<sup>er</sup> remblai. Pour les remblaiements suivants, il est possible d'importer les propriétés du remblai 1. Ceci sera le cas pour cet exemple et pour les deux rideaux.


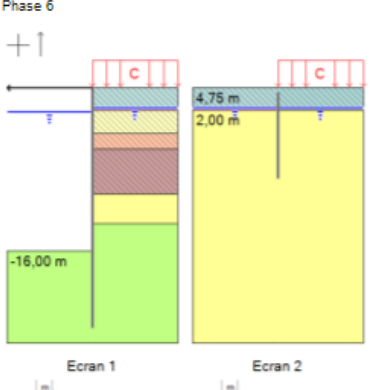


Phase	Actions Pour le rideau 1 (rideau gauche)	Phase propriétés	Actions Pour le rideau 2 (rideau droit)	Phase propriétés
Phase initiale				
Phase 1 Remblaiement côté droit du rideau gauche + Surcharge de Caquot	1. Remblaiement 1 2. Surcharge de Caquot	1 Remblaiement côté droit : $z_t = -3\text{m}$ , $z_b = -8.75\text{m}$ propriétés du remblai : $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma_d = 10 \text{ kN/m}^3$ , $\varphi = 30^\circ$ , $c = 0 \text{ kN/m}^2$ , $k_i = 0.500$ , $k_{a\gamma} = 0.333$ , $k_{p\gamma} = 3.000$ , $\delta_a/\varphi = 0$ , $k_{ac} = 0$ , $k_{pc} = 0$ , $\delta_p/\varphi = 0$ , $k_h = 20000 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ 2 Surcharge de Caquot côté droit : $z = -3$ , $q = 15 \text{ kN/m/m}$		
Phase 2 Remblaiement pour chaque rideau + Liaison linéique + Surcharge de Caquot rideau 1	1. Remblaiement 2 2. Surcharge de Caquot 3. Liaison linéique	1. Remblaiement côté droit : même propriétés que le remblai 1 avec $z_t = -1\text{m}$ , $z_b = -3\text{m}$ , 2. Surcharge de Caquot côté droit : $z = -1$ , $q = 15 \text{ kN/m/m}$ 3. Liaison linéique : tirant, $z_{aa} = 2\text{m}$ , $z_{ab} = 2\text{m}$ , $K = 16146 \text{ kN/m}$ , $\alpha = 0^\circ$	1. Remblaiement 1 2. Liaison linéique	1. Remblaiement côté gauche : $z_t = 4.75\text{m}$ , $z_b = 2.0\text{m}$ propriétés du remblai : $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ , $\gamma_d = 10 \text{ kN/m}^3$ , $\varphi = 30^\circ$ , $c = 0 \text{ kN/m}^2$ , $k_i = 0.500$ , $k_{a\gamma} = 0.333$ , $k_{p\gamma} = 3.000$ , $\delta_a/\varphi = 0$ , $k_{ac} = 0$ , $k_{pc} = 0$ , $\delta_p/\varphi = 0$ , $k_h = 20000 \text{ kN/m}^3$ 2. Liaison linéique : tirant, $z_{aa} = 2\text{m}$ , $z_{ab} = 2\text{m}$ , $K = 16146 \text{ kN/m}$ , $\alpha = 0^\circ$
Phase 3 Remblaiement + Surcharge de Caquot pour chaque rideau	1. Remblaiement 3 2. Surcharge de Caquot	1. Remblaiement côté droit: même propriétés que le remblai 1 avec $z_t = 2\text{m}$ , $z_b = -1\text{m}$ , 2. Surcharge de Caquot côté droit : $z = 2\text{m}$ , $q = 15 \text{ kN/m/m}$	1. Remblaiement 2 2. Surcharge de Caquot	1. Remblaiement côté droit: même propriétés que le remblai avec $z_t = 4.75\text{m}$ , $z_b = 2\text{m}$ , 2. Surcharge de Caquot : $z = 4.75\text{m}$ , $q = 15 \text{ kN/m/m}$
Phase 4 remblaiement et excavation + Surcharge de Caquot pour le rideau 1	1. Remblaiement 4 2. Surcharge de Caquot 3. Excavation	1. Remblaiement côté droit : même propriétés que le remblai 1 avec $z_t = 4.75\text{m}$ , $z_b = 2\text{m}$ , 2. Surcharge de Caquot côté droit: $z = 4.75\text{m}$ , $q = 15 \text{ kN/m/m}$ 3. Excavation côté gauche: $z_h = -16\text{m}$		
Phase 5 Surcharge de Caquot pour les deux rideaux	1. Surcharge de Caquot 2. Hydraulique	1. Surcharge de Caquot côté droit : $z = 4.75$ , $q = 35 \text{ kN/m/m}$ (Modification) 2. Hydraulique côté gauche : $z_w = 1.75\text{m}$	1. Surcharge de Caquot	1. Surcharge de Caquot côté droit : $q = 35 \text{ kN/m/m}$ (Modification).
Phase 6 Force linéique sur le rideau	1. Force linéique	1. Force linéique : $z = 4.75\text{m}$ , $F = -50 \text{ kN/m}$ , $\alpha = 0^\circ$		

<p><b>AMRetain</b> v.2.1.2</p>	<p><b>AFFAIRE T5 2019</b> <b>T5 2019</b></p>		
<p><b>SYNTHESE PHASAGE</b></p>			
<p>Phase initiale</p> <p>Ecran 1      Ecran 2</p>	<p>Phase 1</p> <p>Ecran 1      Ecran 2</p>	<p>Phase 2</p> <p>Ecran 1      Ecran 2</p>	
	<p>Ecran 1 - Remblai (droite) Remblaiement 1  <math>z_t</math> [m] = -3,00      <math>\phi</math> [°] = 30,00  <math>c</math> [kN/m<sup>2</sup>] = 0,00      <math>d_c</math> [kN/m<sup>2</sup>/m] = 0,000  <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>] = 10,00      <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>] = 18,00  <math>k_{ay}</math> = 0,333      <math>k_{ac}</math> = 0,000  <math>k_{py}</math> = 3,000      <math>k_{pc}</math> = 0,000  <math>k_i</math> = 0,500      <math>k_d</math> = 0,500  <math>k_r</math> = 0,500      <math>k_h</math> [kN/m<sup>2</sup>/m] = 20000  <math>d_{kh}</math> [kN/m<sup>2</sup>/m/m] = 0      <math>p_{max}</math> [kN/m/m] = 10000,00  <math>k_{a,min}</math> = 0,100</p> <p>- Surcharge de Caquot : (côté droit) :  <math>q</math> [kN/m/m] = 15,00</p>	<p>Ecran 1 - Surcharge de Caquot : (côté droit) :  <math>q</math> [kN/m/m] = 15,00</p> <p>- Mise en place de la liaison linéique : n°1  <math>z_{aa}</math> [m] = 2,00  <math>z_{ab}</math> [m] = 2,00  <math>K</math> [kN/m/m] = 16146  <math>q</math> [°] = 0,00  <math>P</math> [kN/m] = 0,00</p> <p>- Remblai (droite) Remblaiement 2  <math>z_t</math> [m] = -1,00      <math>\phi</math> [°] = 30,00  <math>c</math> [kN/m<sup>2</sup>] = 0,00      <math>d_c</math> [kN/m<sup>2</sup>/m] = 0,000  <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>] = 10,00      <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>] = 18,00  <math>k_{ay}</math> = 0,333      <math>k_{ac}</math> = 0,000  <math>k_{py}</math> = 3,000      <math>k_{pc}</math> = 0,000  <math>k_i</math> = 0,500      <math>k_d</math> = 0,500  <math>k_r</math> = 0,500      <math>k_h</math> [kN/m<sup>2</sup>/m] = 20000  <math>d_{kh}</math> [kN/m<sup>2</sup>/m/m] = 0      <math>p_{max}</math> [kN/m/m] = 10000,00  <math>k_{a,min}</math> = 0,100</p> <p>Ecran 2 - Remblai (gauche) Remblaiement 1  <math>z_t</math> [m] = 4,75      <math>\phi</math> [°] = 30,00  <math>c</math> [kN/m<sup>2</sup>] = 0,00      <math>d_c</math> [kN/m<sup>2</sup>/m] = 0,000  <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>] = 10,00      <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>] = 18,00</p>	<p><math>k_{py}</math> = 3,000      <math>k_{ac}</math> = 0,000  <math>k_i</math> = 0,500      <math>k_{pc}</math> = 0,000  <math>k_r</math> = 0,500      <math>k_d</math> = 0,500  <math>d_{kh}</math> [kN/m<sup>2</sup>/m/m] = 0      <math>k_h</math> [kN/m<sup>2</sup>/m] = 20000  <math>k_{a,min}</math> = 0,100      <math>p_{max}</math> [kN/m/m] = 10000,00</p>
	<p>Calcul réalisé par : Terrasol</p>		

Fichier de sauvegarde : Z:\Logiciel\T5\Amretain\T5 2019.AM2 imprimé le 08/02/2019 16:53 calculé le 08/02/2019 à 16:47 calculé le 08/02/2019 16:47


 v.2.1.2	<b>AFFAIRE T5 2019</b> <b>T5 2019</b>		
<b>SYNTHESE PHASAGE</b>			
<p>Phase 3</p>  <p>Ecran 1                      Ecran 2</p>		<p>Phase 4</p>  <p>Ecran 1                      Ecran 2</p>	
<p><b>Ecran 1</b> - Remblai (droite) Remblaiement</p> <p>z1 [m] = 2,00                      φ [°] = 30,00        c [kN/m²] = 0,00                      dc [kN/m²/m] = 0,000        γ' [kN/m³] = 10,00                      y [kN/m³] = 18,00        kay = 0,333                      kac = 0,000        kpy = 3,000                      kpc = 0,000        ki = 0,500                      kd = 0,500        kr = 0,500                      kh [kN/m²/m] = 20000        dkh [kN/m²/m/m] = 0                      pmax [kN/m/m] = 10000,00        ka,min = 0,100</p> <p>- Surcharge de Caquot : (côté droit) :        q [kN/m/m] = 15,00</p> <p><b>Ecran 2</b> - Remblai (droite) Remblaiement 2</p> <p>z1 [m] = 4,75                      φ [°] = 30,00        c [kN/m²] = 0,00                      dc [kN/m²/m] = 0,000        γ' [kN/m³] = 10,00                      y [kN/m³] = 18,00        kay = 0,333                      kac = 0,000        kpy = 3,000                      kpc = 0,000        ki = 0,500                      kd = 0,500        kr = 0,500                      kh [kN/m²/m] = 20000        dkh [kN/m²/m/m] = 0                      pmax [kN/m/m] = 10000,00        ka,min = 0,100</p>	<p>- Surcharge de Caquot : (côté droit) :        q [kN/m/m] = 15,00</p>	<p><b>Ecran 1</b> - Remblai (droite) Remblaiement</p> <p>z1 [m] = 4,75                      φ [°] = 30,00        c [kN/m²] = 0,00                      dc [kN/m²/m] = 0,000        γ' [kN/m³] = 10,00                      y [kN/m³] = 18,00        kay = 0,333                      kac = 0,000        kpy = 3,000                      kpc = 0,000        ki = 0,500                      kd = 0,500        kr = 0,500                      kh [kN/m²/m] = 20000        dkh [kN/m²/m/m] = 0                      pmax [kN/m/m] = 10000,00        ka,min = 0,100</p> <p>- Surcharge de Caquot : (côté droit) :        q [kN/m/m] = 15,00</p> <p>- Excavation (côté gauche) :        zh [m] = -16,00</p>	
	<p align="center">Calcul réalisé par : Terrasol</p>		

Fichier de sauvegarde : Z:\Logiciel\T5\AMretain\T5 2019.AM2 imprimé le 08/02/2019 16:53 calculé le 08/02/2019 à 16:47      calculé le 08/02/2019 16:47

 v.2.1.2	<b>AFFAIRE T5 2019</b>		
<b>SYNTHESE PHASAGE</b>			
<p>Phase 6</p>  <p>Ecran 1      Ecran 2</p>			
<p>Ecran 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Application de la force linéique n°1</li> <li><math>z</math> (m) = 4,75</li> <li><math>F</math> [kN/m] = -50,00</li> <li><math>\alpha</math> [°] = 0,00</li> </ul>			
	<b>Calcul réalisé par : Terrasol</b>		

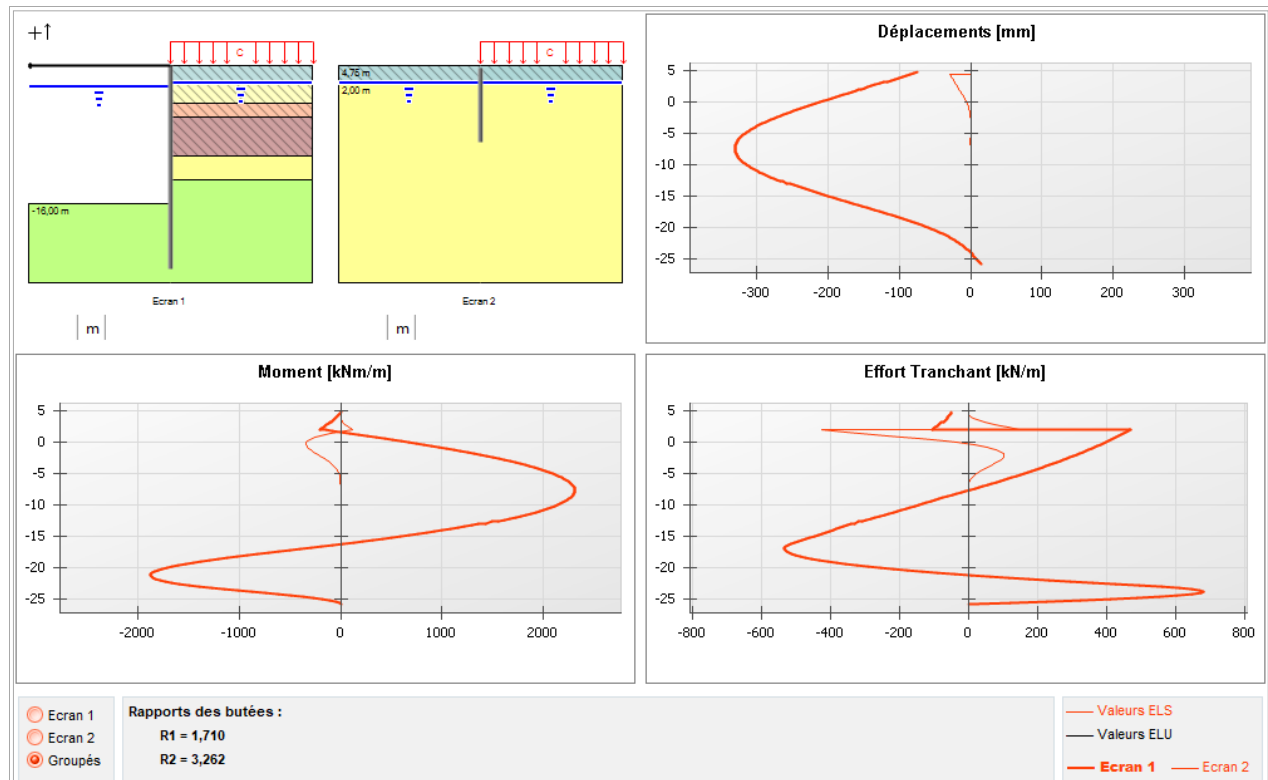
Fichiers de sauvegarde : Z:\Logiciel\T5\Amretain\T5 2019\AM2 imprimé le 08/02/2019 16:53 calculé le 08/02/2019 à 16:47 calculé le 08/02/2019 16:47


### D.5.3. ETAPE 3 : PRESENTATION DES RESULTATS

Cliquer sur  .

Dans la fenêtre principale, on peut observer les principaux résultats (déplacements, moments et efforts tranchants) pour chaque phase et chaque rideau (exactement comme pour un rideau simple).

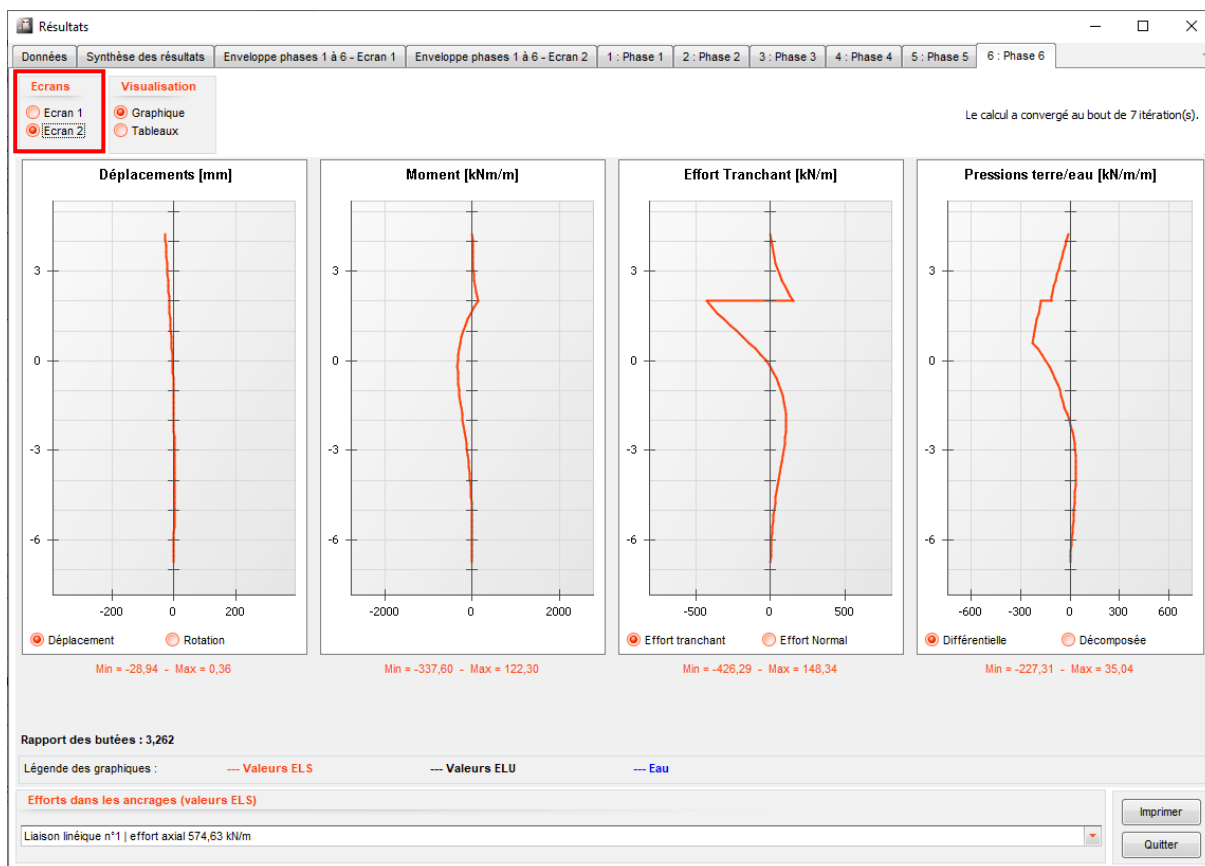
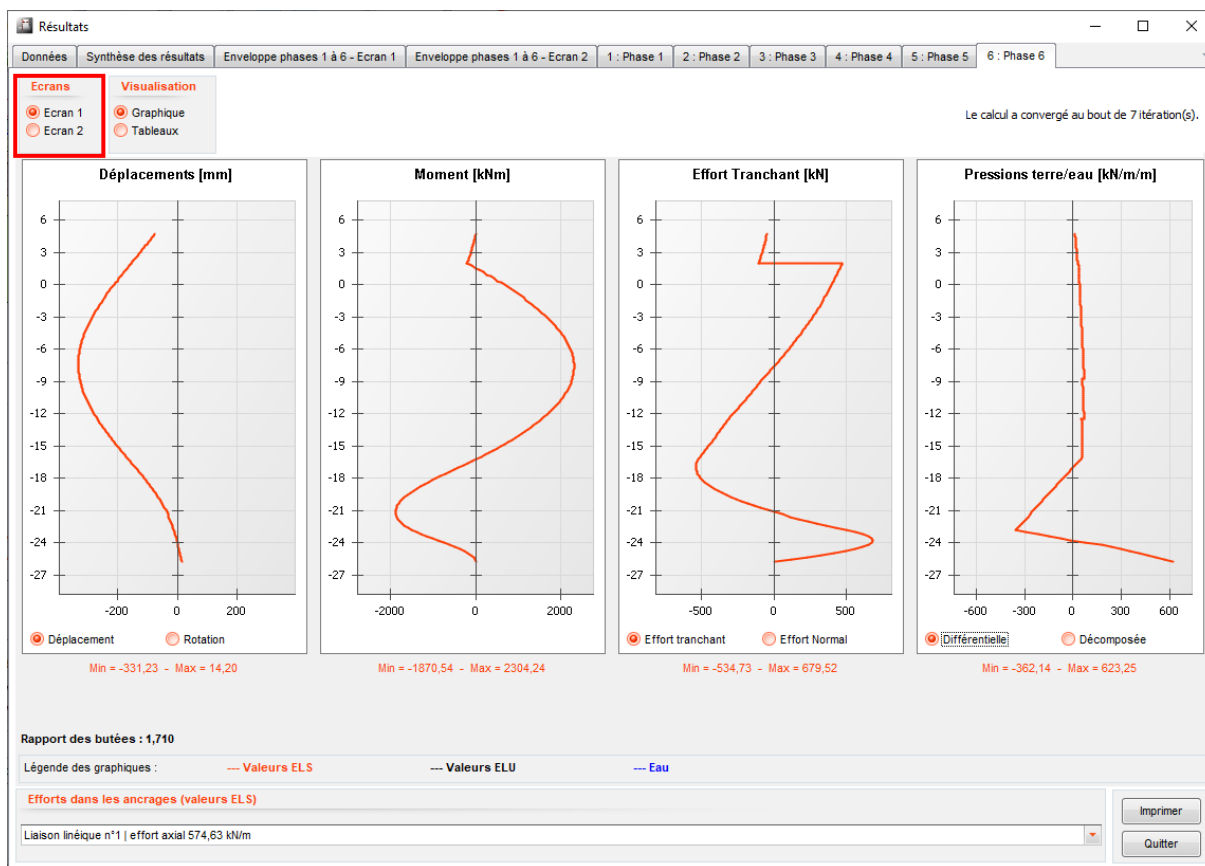
Il est aussi possible, grâce à l'option **Groupés**, de superposer les résultats des deux rideaux sur des mêmes graphiques avec les mêmes échelles (impression d'écran suivante pour la phase 6). Dans ce cas, la courbe épaisse est celle relative au rideau 1, et la courbe fine est celle relative au rideau 2.



Le bouton  permet d'accéder aux résultats détaillés (graphiques et tableaux).

Les copies d'écran suivantes illustrent les résultats obtenus pour la phase 6 (la dernière phase du projet), ainsi que la synthèse des résultats et les courbes enveloppes du projet.

Dans la fenêtre des résultats, il est possible pour chaque phase, à chaque instant, de passer des résultats du **Rideau 1** (Rideau gauche) à ceux du **Rideau 2** (Rideau droit).



**Résultats**

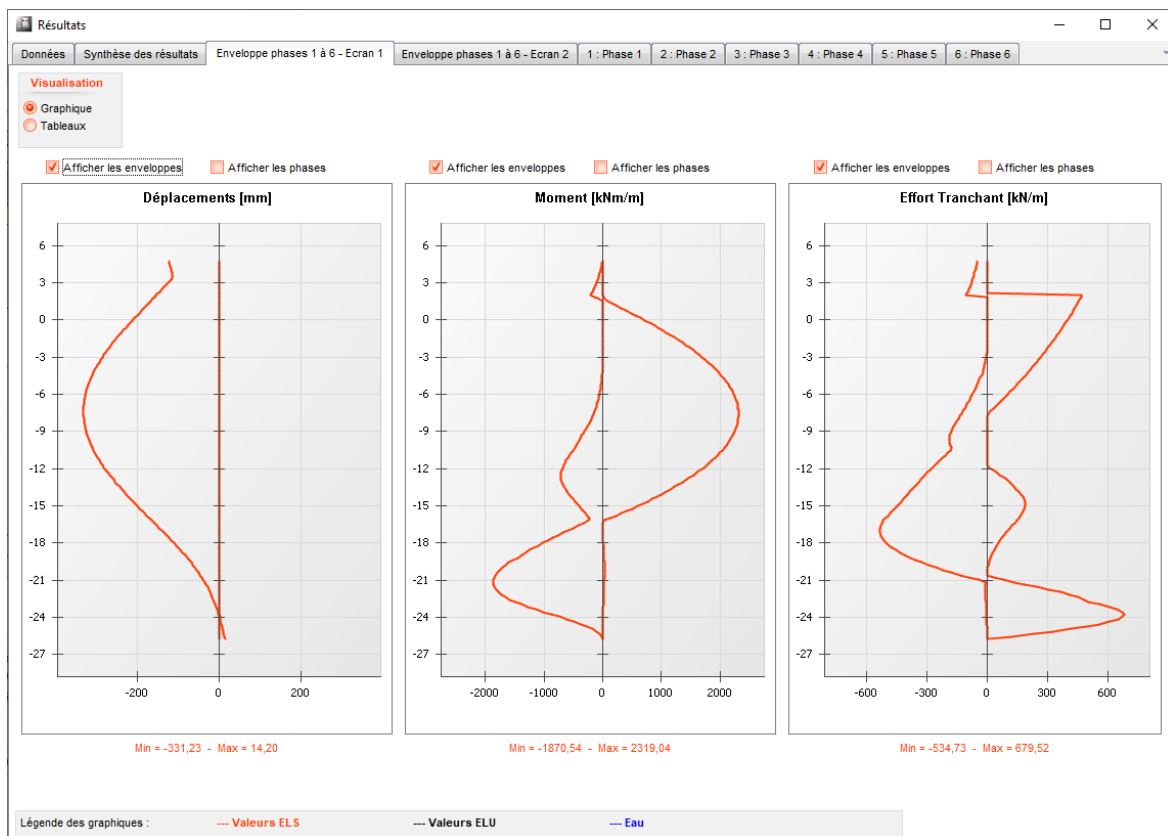
Données Synthèse des résultats Enveloppe phases 1 à 6 - Ecran 1 Enveloppe phases 1 à 6 - Ecran 2 1 : Phase 1 2 : Phase 2 3 : Phase 3 4 : Phase 4 5 : Phase 5 6 : Phase 6

Ecran 1							
N° PHASE	Déplacement en tête [mm]	Déplacement maximal [mm]	M,k max écran [kNm/m]	N,k max écran [kN/m]	V,k max écran [kN/m]	Rapport butées	F,k liaison linéique n°1 [kN/m]
1	-122,66	-122,66	-571,26	71,91	149,14	8,945	-
2	-119,84	-119,84	-588,52	83,04	154,40	8,315	18,59
3	-120,43	-120,43	-720,62	86,56	189,63	7,199	86,92
4	-73,71	-247,46	1743,71	210,50	526,28	2,114	392,53
5	-68,89	-331,20	2319,04	228,41	679,51	1,710	552,24
6	-74,66	-331,23	2304,24	226,30	679,52	1,710	574,63
Extrema	-122,66	-331,23	2319,04	228,41	679,52	1,710	574,63

## Rideau 1

Ecran 2							
N° PHASE	Déplacement en tête [mm]	Déplacement maximal [mm]	M,k max écran [kNm/m]	N,k max écran [kN/m]	V,k max écran [kN/m]	Rapport butées	F,k liaison linéique n°1 [kN/m]
1	0,00	0,00	0,00	19,91	0,00	8,664	-
2	3,75	3,75	43,97	42,22	32,73	5,324	18,59
3	2,08	2,08	59,11	25,53	51,57	6,453	86,92
4	-6,32	-6,32	139,15	-15,96	-229,21	4,356	392,53
5	-25,23	-25,23	-298,62	-54,22	-403,90	3,346	552,24
6	-28,94	-28,94	-337,60	-59,76	-426,29	3,262	574,63
Extrema	-28,94	-28,94	-337,60	-59,76	-426,29	3,262	574,63

## Rideau 2



Quelques commentaires sur les résultats :

Le comportement global du système n'est pas du tout symétrique.

Le déplacement maximum du rideau 1 est de 331 mm (dernière phase), alors que le déplacement maximum du rideau 2 est de 29 mm (en dernière phase également).

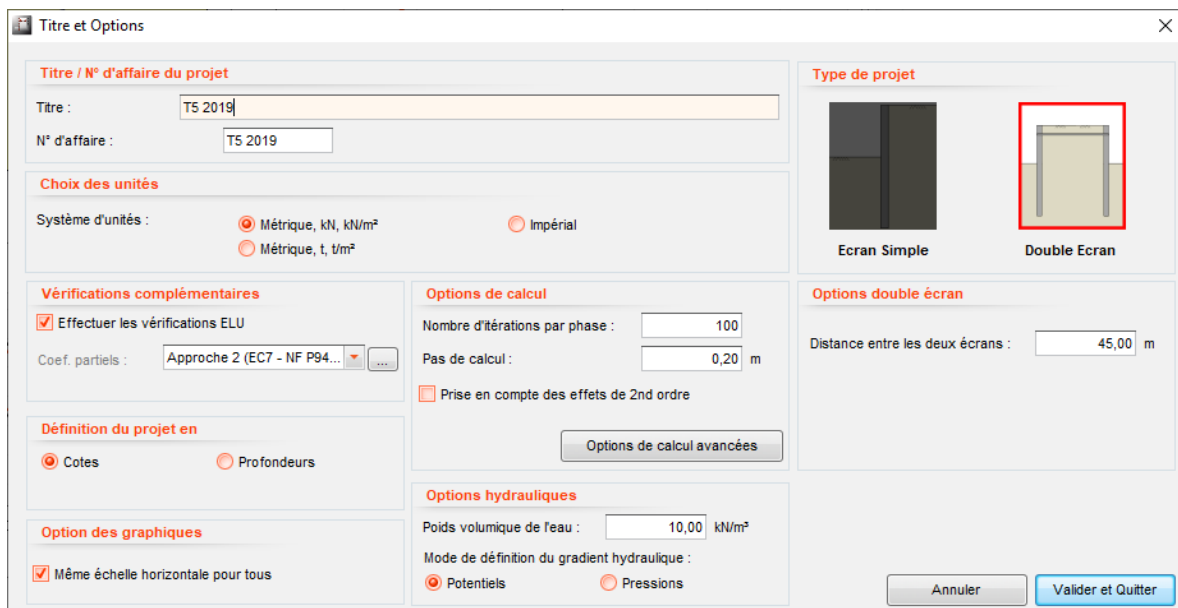
Le déplacement maximum de la tête du rideau est atteint lors de la première phase (avant l'activation du tirant de liaison).

**D.5.4. ETAPE 4 : VERIFICATION ELU**

Les vérifications ELU sont directement accessibles depuis un projet double rideau.

Activer les vérifications ELU :

- Ouvrir le menu **Données, Titre et Options**, et cocher la case « Effectuer les vérifications ELU » puis



Vérifier la nature de chacune des phases :

<b>Phase 1</b>	(construction)	Provisoire (autostable, MEL)
<b>Phase 2</b>	(construction)	Provisoire (ancrée, MISS)
<b>Phase 3</b>	(construction)	Provisoire (ancrée, MISS)
<b>Phase 4</b>	(fin de la construction)	Durable (ancrée, MISS)
<b>Phase 5</b>	(surcharge sur le sol + changement de niveau d'eau)	Provisoire (ancrée, MISS)
<b>Phase 6</b>	(force d'amarrage provisoire)	Provisoire (ancrée, MISS)

- o Vérifier pour chaque action si elle est permanente/variable et favorable/défavorable, au vu des données suivantes :

<b>Phase 1</b>	Coefficients MEL (action automatiquement créée lorsque le mode console est sélectionné)	Conserver les valeurs par défaut
<b>Phase 2</b>	Surcharge de Caquot	Action permanente
<b>Phase 3</b>	Surcharge de Caquot	Action permanente
<b>Phase 4</b>	Surcharge de Caquot	Action permanente
<b>Phase 5</b>	Surcharge de Caquot	Action permanente droite et gauche
<b>Phase 6</b>	Force linéaire (représentant une force d'amarrage)	Action permanente et défavorable

Remarque 1 : la nature de chaque phase et action doit être définie en cohérence avec chaque projet.

Remarque 2 : si l'on définit des actions défavorables comme variables, elles seront pondérées par un facteur de 1,11 dans le calcul MISS (cf parties B et C du manuel), ce qui implique que ce calcul MISS en rideau simple n'est plus tout-à-fait compatible avec le calcul double rideau précédent. Dans ce cas, le calcul du double rideau pourrait être réalisé avec une « pondération manuelle » des chargements par l'utilisateur (i.e. l'utilisateur pourrait multiplier les charges variables par 1.11 pour le calcul double rideau afin d'obtenir des efforts dans les ancrages de liaison qui soient compatibles avec le calcul MISS ELU réalisé pour le rideau gauche comme rideau simple).

- On peut ensuite relancer le calcul et vérifier les résultats.

Vérifions d'abord que les résultats ELS sont les mêmes que les résultats avant activation des vérifications ELU. C'est en effet le cas :

Résultats

Données Synthèse des résultats Enveloppe phases 1 à 6 - Ecran 1 Enveloppe phases 1 à 6 - Ecran 2 1 : Phase 1 2 : Phase 2 3 : Phase 3 4 : Phase 4 5 : Phase 5 6 : Phase 6

Type

ELS et ELU

ELS

ELU

**Ecran 1**

N° PHASE	Déplacement en tête [mm]	Déplacement maximal [mm]	M,k max écran [kNm/m]	N,k max écran [kN/m]	V,k max écran [kN/m]	Rapport butées	F,k liaison linéique n°1 [kN/m]
1	-122,66	-122,66	-571,26	71,91	149,14	8,945	-
2	-119,84	-119,84	-588,52	83,04	154,40	8,315	18,59
3	-120,43	-120,43	-720,62	86,56	189,63	7,199	86,92
4	-73,71	-247,46	1743,71	210,50	526,28	2,114	392,53
5	-68,69	-331,20	2319,04	228,41	679,51	1,710	552,24
6	-74,66	-331,23	2304,24	226,30	679,52	1,710	574,63
Extrema	-122,66	-331,23	2319,04	228,41	679,52	1,710	574,63

**Ecran 2**

N° PHASE	Déplacement en tête [mm]	Déplacement maximal [mm]	M,k max écran [kNm/m]	N,k max écran [kN/m]	V,k max écran [kN/m]	Rapport butées	F,k liaison linéique n°1 [kN/m]
1	0,00	0,00	0,00	19,91	0,00	8,664	-
2	3,75	3,75	43,97	42,22	32,73	5,324	18,59
3	2,08	2,08	59,11	25,53	51,57	6,453	86,92
4	-6,32	-6,32	139,15	-15,96	-229,21	4,356	392,53
5	-25,23	-25,23	-298,62	-54,22	-403,90	3,346	552,24
6	-28,94	-28,94	-337,60	-59,76	-426,29	3,262	574,63
Extrema	-28,94	-28,94	-337,60	-59,76	-426,29	3,262	574,63

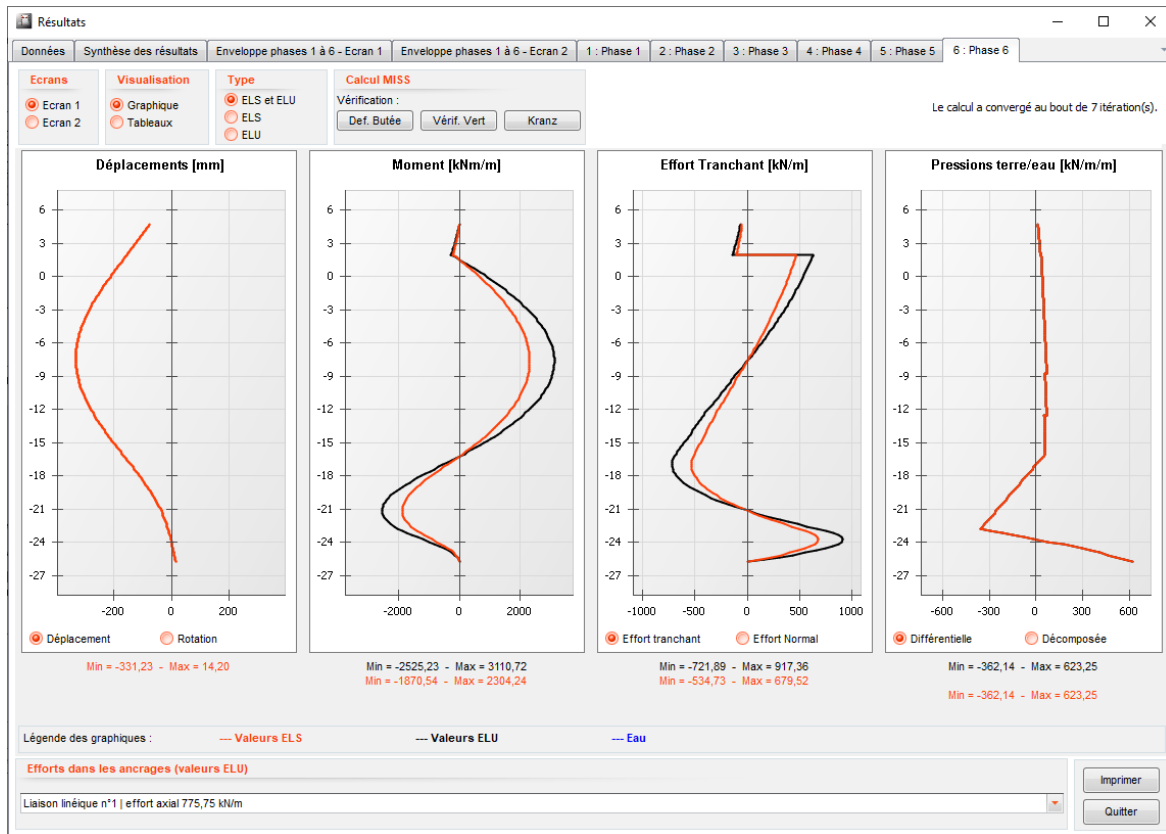
Passons ensuite aux résultats ELU :

Résultats													
Données		Synthèse des résultats		Enveloppe phases 1 à 6 - Ecran 1		Enveloppe phases 1 à 6 - Ecran 2		1 : Phase 1	2 : Phase 2	3 : Phase 3	4 : Phase 4	5 : Phase 5	6 : Phase 6
<b>Type</b> <input type="radio"/> ELS et ELU <input type="radio"/> ELS <input checked="" type="radio"/> ELU													
Ecran 1													
N° PHASE	Type	M,d max écran [kNm/m]	N,d max écran [kN/m]	V,d maxi écran [kN/m]	F,d liaison linéique n°1 [kN/m]	Vérif. Def. Butée	Bilan Vert	Vérif. Kranz					
1	MEL	-902,49	105,06	-179,99	-	OK	105,06	OK					
2	MISS	-794,50	112,11	208,44	25,09	OK	112,11	OK					
3	MISS	-972,84	116,86	256,00	117,35	OK	116,86	OK					
4	MISS	2354,00	284,18	710,48	529,92	OK	76,36	OK					
5	MISS	3130,71	308,36	917,34	745,53	OK	-33,05	OK					
6	MISS	3110,72	305,51	917,36	775,75	OK	-35,85	OK					
Extrema		3130,71	308,36	917,36	775,75								
Ecran 2													
N° PHASE	Type	M,d max écran [kNm/m]	N,d max écran [kN/m]	V,d maxi écran [kN/m]	F,d liaison linéique n°1 [kN/m]	Vérif. Def. Butée	Bilan Vert	Vérif. Kranz					
1	MEL	0,00	53,86	0,00	-	OK	53,86	OK					
2	MISS	59,36	57,00	44,18	25,09	OK	57,00	OK					
3	MISS	79,80	34,47	69,61	117,35	OK	34,47	OK					
4	MISS	187,86	-21,55	-309,43	529,92	OK	4,84	OK					
5	MISS	-403,14	-73,20	-545,27	745,53	OK	-44,87	OK					
6	MISS	-455,76	-80,68	-575,49	775,75	OK	-51,85	OK					
Extrema		-455,76	-80,68	-575,49	775,75								

On peut noter que :

- La vérification du défaut de butée est satisfaisante pour toutes les phases (MEL et MISS) : la fiche du rideau est suffisante.
- La résultante verticale des efforts est positive pour les phases 1 à 4, ce qui est aussi satisfaisant, mais négative pour les phases 5 et 6 (ce qui signifie que la résultante verticale des efforts est dirigée vers le haut pour ces phases).
  - Il a été indiqué dans le tutoriel 2 que dans le cas d'une résultante verticale dirigée vers le haut pour une phase en console, l'inclinaison de la contre-butée peut être modifiée afin d'obtenir une résultante verticale finale dirigée vers le bas.
  - Mais dans le cas d'un rideau ancré, lorsque l'on obtient une résultante verticale dirigée vers le haut, il est d'usage d'ajuster (d'abord) les inclinaisons des butées (dans l'intervalle  $[-0.66 ; 0]$ ). Si cet ajustement ne permet pas d'obtenir une résultante verticale dirigée vers le bas, on peut alors ajuster les inclinaisons des poussées (dans l'intervalle  $[0 ; 0.66]$ ).
- Il n'y a pas eu de vérification de Kranz car l'ancrage de liaison n'est pas modélisé par un tirant, mais par une force linéaire).

Examinons à présent les résultats plus détaillés.



- Le moment maximum à l'ELS est de 2319 kNm/m. Il est atteint en phase 5. Le moment maximum à l'ELU est de 3131 kNm/m. Il est atteint en phase 5.
- L'effort tranchant maximum à l'ELS est de 680 kN/m. Il est atteint à la dernière phase (phase 6). L'effort tranchant maximum à l'ELU est de 917 kN/m. Il est atteint à la dernière phase.

On peut vérifier que dans cet exemple, les résultats ELU caractéristiques (k) sont identiques (pour toutes les phases) aux résultats ELS, car le projet n'inclut pas de surcharges variables (seules les surcharges variables sont pondérées dans un calcul MISS ELU et peuvent mener à des résultats différents des résultats ELS).

Vérifions les détails des vérifications Kranz pour la phase 6 :

The screenshot shows the 'Vérifications EC7' window with 'Phase 6' selected. The 'Kranz' verification is active. Below the main parameter table, there is a diagram of the retaining wall cross-section with forces  $P_{1H}$ ,  $P_{1V}$ ,  $P_{2H}$ ,  $P_{2V}$ ,  $T_{ref}$ ,  $R_{1H}$ ,  $R_{1V}$ ,  $R_{2H}$ ,  $R_{2V}$ , and  $W_{tot} (+F_e)$ . The diagram also shows points A, B, C1, C2, D and dimensions  $x_B$ ,  $z_B$ ,  $z_{C1}$ ,  $z_{C2}$ ,  $z_0$ .

Situation	Nb de tirants	Nb Blocs	z(D) [m]	x(B) [m]	z(B) [m]	z(C) [m]	Aref [°]	Wtot [kN/m]	P1H [kN/m]	P1V [kN/m]	P2H [kN/m]	P2V [kN/m]	RH [kN/m]	RV [kN/m]	T dsb,k [kN/m]
1	1	6	-21,14	45,00	4,75	-0,24	0,00	9404,61	1233,52	296,58	111,18	0,00	1475,41	9108,03	2597,75
2	1	4	-21,14	45,00	4,75	-6,75	0,00	10869,...	1233,52	296,58	515,84	0,00	3338,22	10573,...	4055,90

Situation	T dsb,k [kN/m]	T ref,k [kN/m]	T dsb,d [kN/m]	T ref,d [kN/m]	Résultat
1	2597,75	574,63	2361,59	775,75	✓
2	4055,90	574,63	3687,18	775,75	✓

Le massif étudié est celui situé à droite de l'écran

✓ La stabilité du massif d'ancrage est justifiée pour cette phase.

Deux situations ont été considérées et calculées (l'une pour le point C1, l'autre pour le point C2).

Considérons la situation 1, ce calcul mène à un effort déstabilisant  $T_{dsb}$  de 2598 kN en valeur caractéristique, et 2362 kN en valeur de calcul. Les valeurs de  $T_{ref}$  sont de 575 kN en valeur caractéristique, et 776 kN en valeur de calcul. Nous avons donc  $T_{ref,d} \leq T_{dsb,d}$  pour cette situation.

Considérons la situation 2, ce calcul mène à un effort déstabilisant  $T_{dsb}$  de 4056 kN en valeur caractéristique, et 3687 kN en valeur de calcul. Les valeurs de  $T_{ref}$  sont de 575 kN en valeur caractéristique, et 776 kN en valeur de calcul. Nous avons donc  $T_{ref,d} \leq T_{dsb,d}$  pour cette situation également.

Nous avons donc  $T_{ref,d} \leq T_{dsb,d}$  pour les deux situations et l'on peut conclure que la vérification Kranz du contre-rideau est satisfaisante.