



cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Recommandations du CFMS pour la conception, le
dimensionnement, l'exécution et le contrôle des Voiles Par Passes

SOLSCOPE 2023

AGUADO, PASCAL
DUCA, VALENTIN

15 JUIN 2023





cfms

COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE
DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

Recommandations sur les Voiles Par Passes

par Pascal AGUADO (Geotec)
Valentin DUCA (SFB)

GT du CFMS : Voiles par Passes-Historique

Historique : Un petit retour en arrière

En 2019, nous établissons le constat qu'il s'agit d'une technique

- ▶ Fortement développée en Région Parisienne et de plus en plus en Régions Métropolitaines
- ▶ Qui ne dispose pas de référentiel tant du point de vue de la **conception**, du **dimensionnement** (simplement évoquée dans la NF P94-282) que de la **mise en œuvre** et des **contrôles**
- ▶ Potentiellement à risques en cours de chantier (**déplacements excessifs**, **effondrements**)
- ▶ Potentiellement à risques lors de l'exploitation de l'ouvrage géotechnique (**infiltrations**)

A l'été 2019, le Conseil du CFMS nous autorise à former un groupe de travail afin d'engager la rédaction de recommandations pour la conception, le dimensionnement, l'exécution et le contrôle de la technique des Voiles Par Passes

Nous imaginons un document d'une cinquantaine de pages (hors annexes) adressé aux bureaux d'études géotechniques, maîtres d'œuvre, entreprises générales, entreprises de VPP, contrôleurs techniques, maîtres d'ouvrage,...

GT du CFMS : Voiles par Passes-Historique

Organisation du Groupe de Travail

- La **présidence** du GT est assurée par Pascal AGUADO (GEOTEC)
- L'**animation** du GT est assurée par Nicolas NAYRAND (BUREAU VERITAS CONSTRUCTION)

- Nous formons 5 sous-groupes afin de jalonner l'organisation des futures recommandations

- **Etat des lieux de la technique** Vivien DARRAS (CPA EXPERTS)
- **Domaine et limites d'utilisation** (conception G2) Jean GEISLER (STRGEO)
- **Dimensionnement** (phase Etude G3 et G4) Benoit CAYZAC (BOUYGUES)
- **Mode opératoire et dispositions constructives** (phase Etude G3 et G4) Patrick DA ROSA (DEMOTERRE) puis Nicolas NAYRAND
- **Contrôles et réception** (phase Suivi G3 et G4) Nicolas NAYRAND (BUREAU VERITAS CONSTRUCTION)

Au total, ce sont près de 60 professionnels qui participent aux échanges et assurent une très forte représentativité (Maîtrise d'œuvre géotechnique, Contrôle technique construction, Assurance, Expertise, Entreprises générales, Entreprises de fondations spéciales, Entreprises de voiles par passes et de terrassement, Santé au travail/Prévention des risques)

GT du CFMS : Voiles par Passes-Historique

Avancement au 15 juin 2023

- A partir de l'été 2021, les recommandations prennent forme avec la rédaction d'une version martyre, à la charge de l'encadrement du groupe de travail
- Cette **version martyre a été adressée à l'ensemble des membres du GT** à la suite de la troisième réunion plénière du 3 décembre 2021
- Relecture et formulation de **commentaires** : **728** commentaires reçus
- Réunions de dépouillement (12 réunions tenues à ce jour)
Dépouillement exhaustif, réalisé au cours de séances plénières, en respectant le principe du consensus
- **Texte relu par 3 membres de la CST du CFMS** (2 réunions de discussions des commentaires)

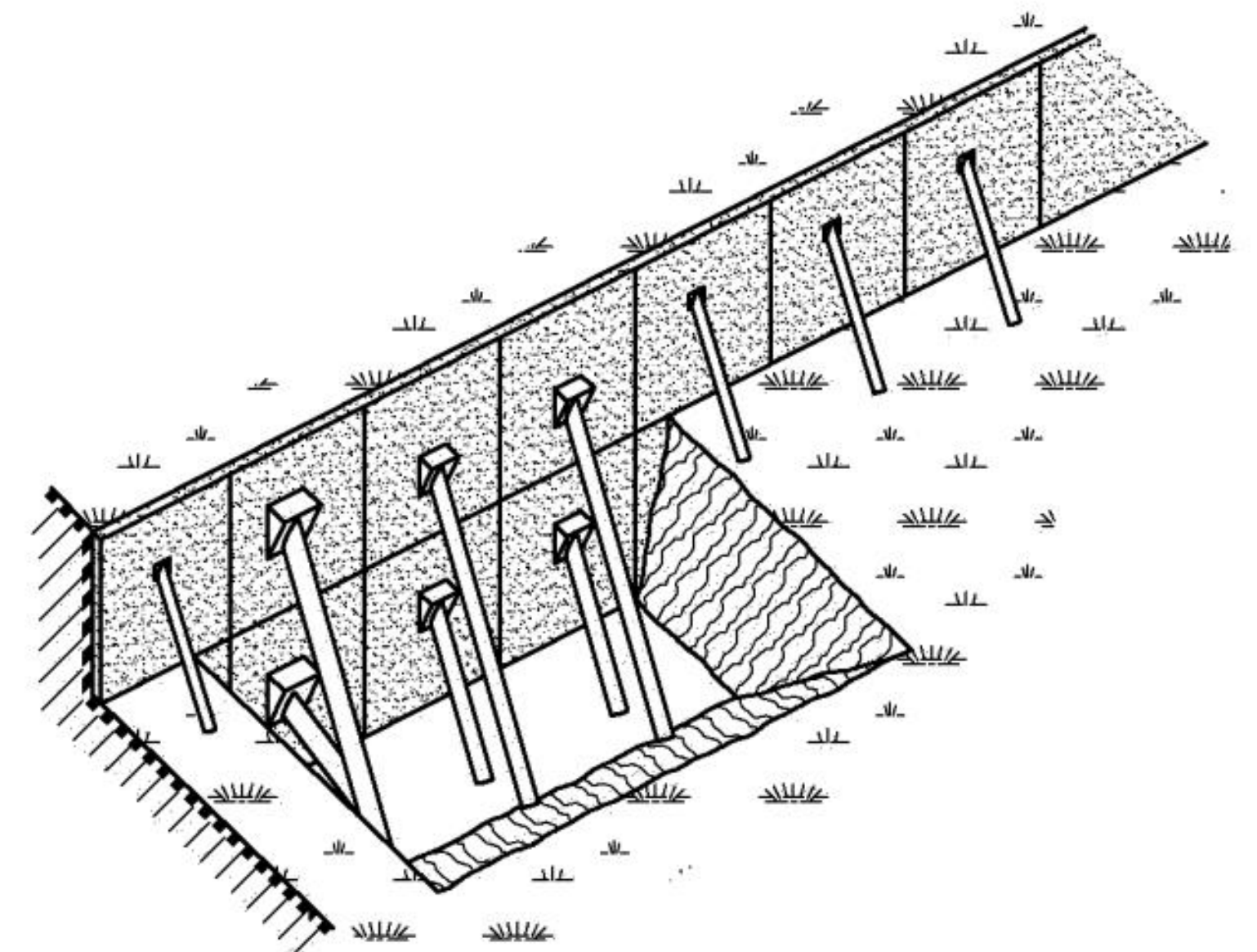
GT du CFMS : Voiles par Passes-Définitions

Définition du « Voile par passes alternées »

Selon le §3,1,31 de la NF P94-282

3.1.31 voile par passes alternées

Ouvrage de soutènement sans ou avec très peu de **fiche** exécuté par passes **hors nappe** par plots de faible surface. La stabilité de chacun des plots en chacune des phases provisoires est assurée par l'un des mécanismes ou systèmes suivants : par l'**effet de voûte** du terrain qui doit permettre de reporter les efforts de poussée sur les plots adjacents (qui doivent prendre en compte les poussées complémentaires correspondantes) ou sur le fond de fouille, par des **appuis**, par des risbermes, par des banquettes, etc. Pendant chacune de ces phases, il convient de vérifier que les efforts induits par les effets de voûte sont équilibrés en termes de résistance et de déformation (Sections B.2.6 et B.3.6) par les éléments (butons et leur massif d'appui, risbermes, etc.) assurant la stabilité du **voile**. La stabilité en phase finale est justifiée par des appuis répartis sur plusieurs niveaux. Les actions qui s'appliquent sur ces ouvrages doivent être calculées selon les principes du présent document.

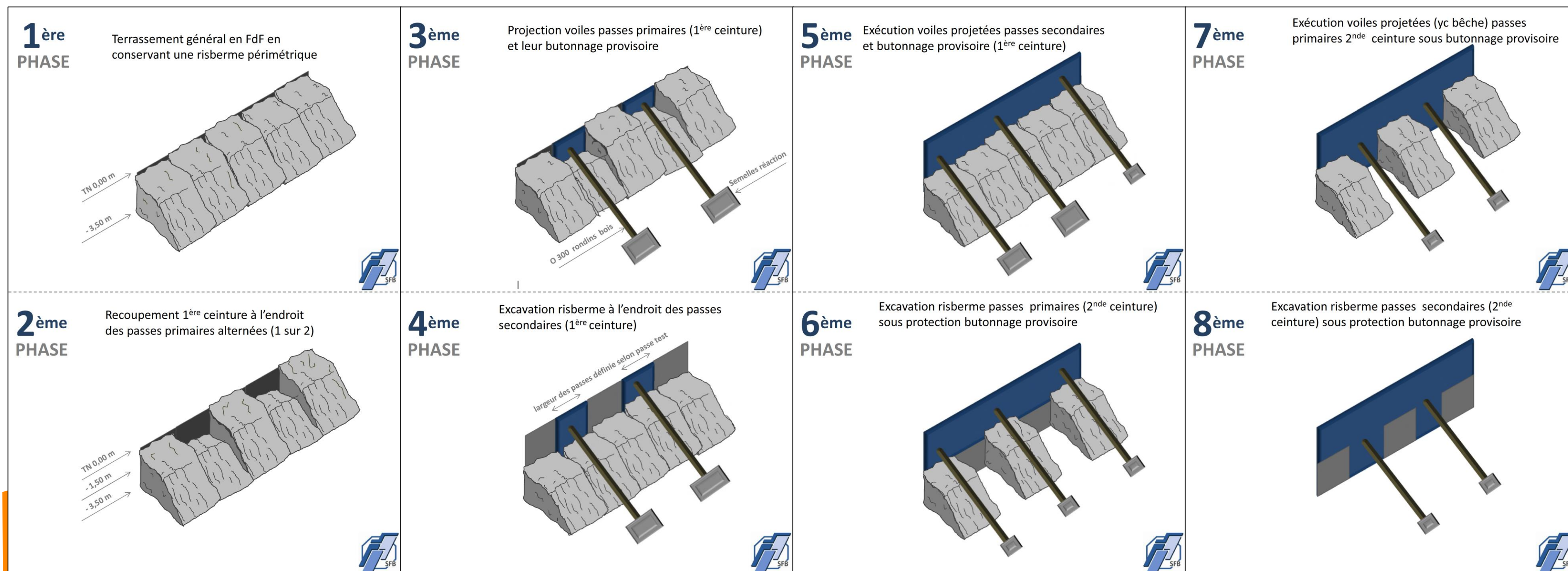


GT du CFMS : Voiles par Passes-Définitions

Définition du « Voile par passes alternées »

Le groupe de travail a complété/précisé cette définition

- Par « **voile** », on entend un ouvrage en béton armé, réalisé en descendant par ceintures horizontales successives, mis en œuvre le plus souvent par la technique du béton projeté. Les présentes recommandations ne traitent notamment pas les cas des parois en puits ou tranchées blindés ;



GT du CFMS : Voiles par Passes-Définitions

Définition du « Voile par passes alternées »

Le groupe de travail a complété/précisé cette définition

- Par « **fiche** », on entend la bêche. Mécaniquement, la bêche peut permettre le développement d'un terme de butée ;
- Par « **hors nappe** », on entend l'absence de nappe naturelle ou le recours en phase exécution à un dispositif de rabattement provisoire ;
- Par « **appuis** », on entend les boutons inclinés et/ou horizontaux. En tant qu'appuis, les présentes recommandations ne traitent pas le cas des tirants d'ancrage et des clous ;
- Par « **effet de voûte** », on entend un report des charges entre ceintures (reports verticaux) voire entre passes adjacentes (reports horizontaux). Ces effets voûte se développent sur de courtes périodes (dans la journée) ;

GT du CFMS : Voiles par Passes-Définitions

Définition du « Voile par passes alternées »

Le groupe de travail a complété/précisé cette définition

- **Les passes sont réputées alternées par recoupement de talus et/ou banquettes inversées.** Cependant, elles pourront être successives. Dans ce cas, les présentes recommandations s'appliquent, dès lors que le phasage est suffisamment décrit pour identifier les mécanismes de report des charges.

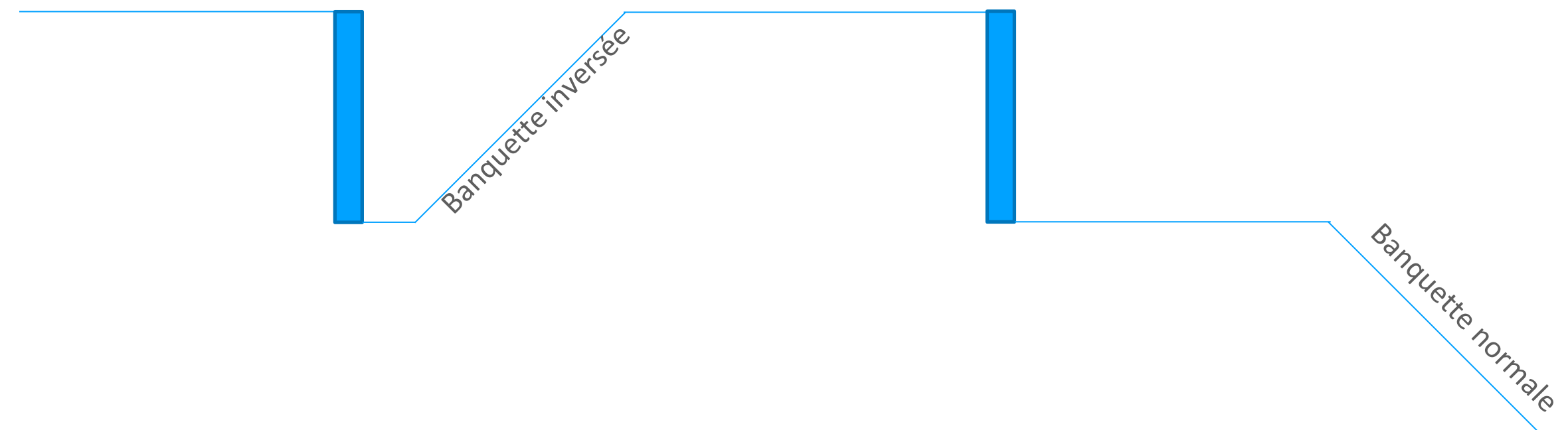


Illustration d'une banquette inversée et d'une banquette normale

GT du CFMS : Voiles par Passes-Définitions

Définitions spécifiques à ta techniques des Voiles Par Passes

- **Butonnage « provisoire »** :Butonnage avec semelle de fondation, mis en place par l'entreprise de voiles par passes dans les phases intermédiaires
- **Butonnage « définitif »** :Butonnage laissé en place par l'entreprise de voiles par passes à la fin de ses travaux. C'est le cas du butonnage d'angle, du butonnage traversant et du butonnage fondé sous le niveau du fond de fouille
- **Ceinture**: Partie du voile réalisée par une succession de passes horizontales exécutées à un même niveau.

GT du CFMS : Voiles par Passes-Définitions

Définition du « Caractère transitoire de la cohésion apparente »

Selon la note 3 du §J2,1,2 de la NF P94-282

NOTE 3 Pour des sols soumis à des sollicitations monotones croissantes ou décroissantes, et pour des déformations limitées, en général, les paramètres de cisaillement drainé retenus sont ceux du domaine normalement consolidé. Dans ce cas, lorsqu'on considère une cohésion non nulle il est prudent de borner sa valeur à 5 kPa ou 10 kPa. Il est toutefois admis, pour les situations de projet transitoires, de considérer la cohésion « mesurée » dans les terrains où une cohésion en place élevée existe (due par exemple à une cimentation entre grains).

La cohésion disponible pour le dimensionnement d'un voile par passes, après justification, pourra être tout ou partie de:

- La cohésion drainée C' et l'angle ϕ' d'un sol surconsolidé mis en évidence par des essais triaxiaux CU + U ou CD ;
- La cohésion C_{u0} à $\sigma'_c = 0$ et $\phi_u = \text{atan}(\lambda C_{u0})$ mis en évidence par des essais triaxiaux UU ou CU + U dans les diagrammes en contraintes totales ou non drainées ;
- La cohésion apparente déduite par rétro analyse d'un **essai de tenue de terrains** (couple C et ϕ) ou dans le cadre d'une expérience comparable.

Pour recouvrir toutes ces acceptations, il a été retenu les dénominations de C_{trav} et ϕ_{trav} pour les paramètres de calcul en phases transitoires.

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 1 – Etat des lieux de la technique des voiles par passes

- **Près de 50 ans de pratique sans référentiel**
- Technique initialement francilienne avec un niveau de sous sol hors nappe, aujourd'hui employée sur un large éventail de terrains et à des profondeurs plus importantes
- Technique utilisée dans plusieurs villes et régions de province: Reims, Rennes, Lille, Marseille Montpellier,..
- Une vingtaine d'entreprise sur le marché francilien: une cinquantaine de chantier/an en moyenne et environ 30 000 à 100 000m² de paroi/an
- **Chantier moyen en région parisienne: 1000m² de paroi sur 2 niveaux de sous sols**, budget moyen 200 000 à 250 000 € (période 2012-2020)
- Un quart des projets est réalisé sous nappe rabattue
- **Présence d'avoisinants** (bâtiments, réseaux voiries) **est une constante**

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 1 – Etat des lieux de la technique des voiles par passes

- **Analyse de près de 50 sinistres pour comprendre leur origine** et rédiger des recommandations les plus pertinentes possibles
- **Coût moyen d'un sinistre en VPP: 500 000€ (1 000 000 € pour les projets avec 3 niveaux de sous sol)**
- **Deux catégories de sinistres:**

Désordres en cours de construction

25% sont la conséquence d'un effondrement
55% ont affecté un avoisinant

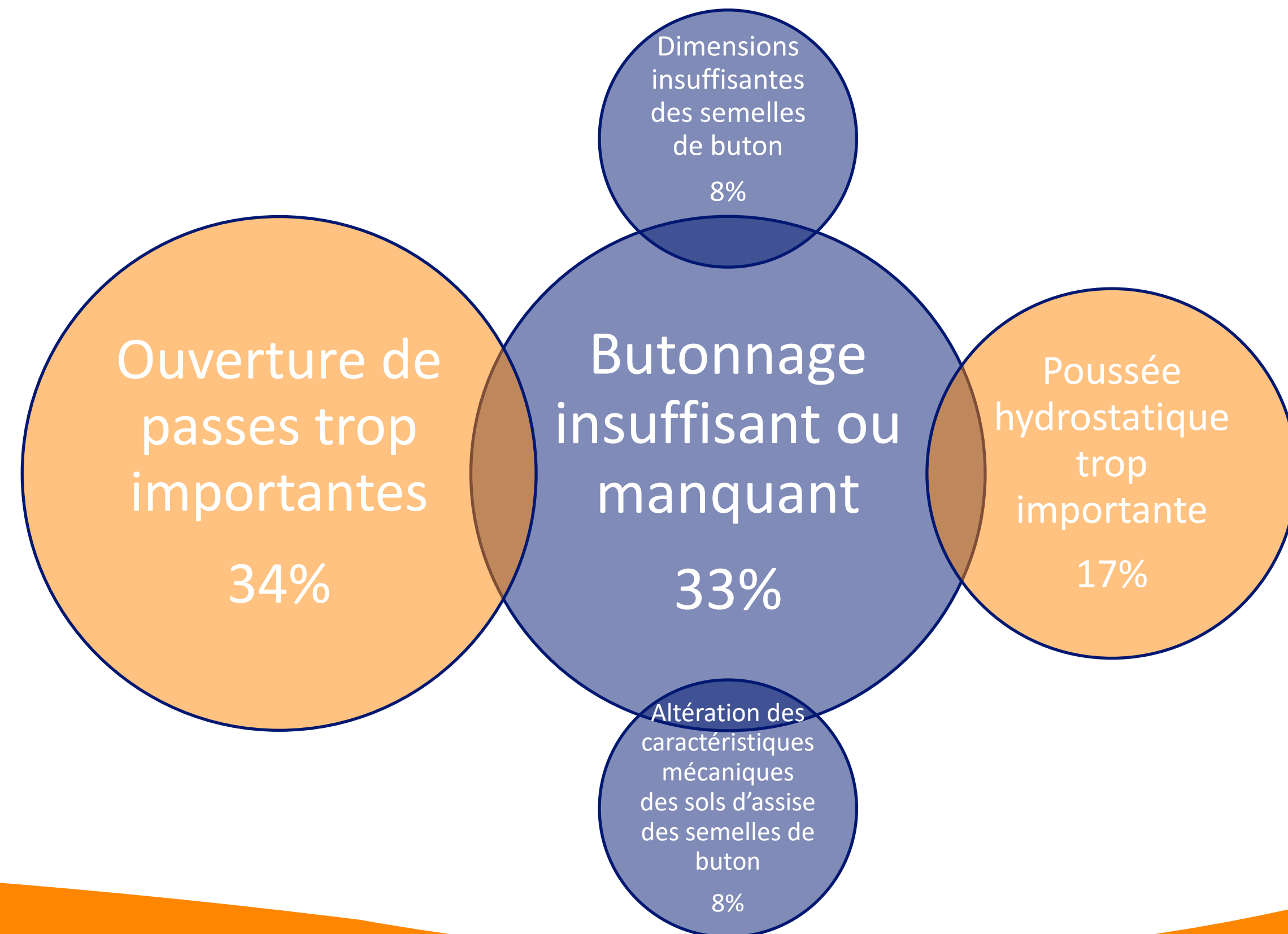
Désordres après réception des ouvrages

22% des sinistres liés à la présence d'infiltrations d'eau dans les niveaux de sous sol

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 1 – Etat des lieux de la technique des voiles par passes

➡ Origines des déformations excessives et effondrements en cours de chantier (combinaisons de plusieurs éléments)



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 1 – Etat des lieux de la technique des voiles par passes

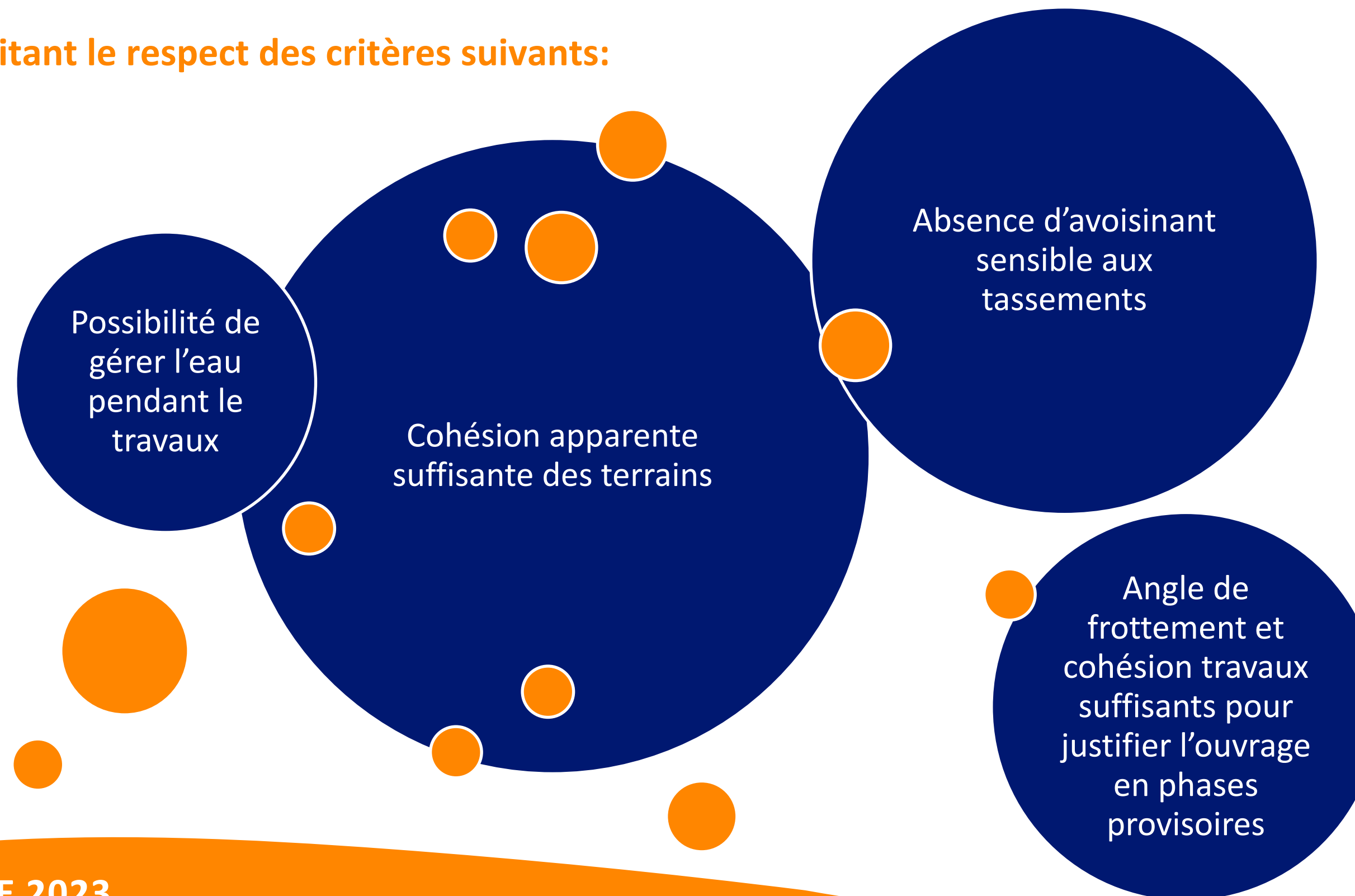
➡ Origines des déformations excessives et effondrements en cours de chantier (combinaisons de plusieurs éléments)



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 2 – Domaine et limites d'utilisation de la technique des voiles par passes (démarche de conception)

Une technique nécessitant le respect des critères suivants:



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 2 – Domaine et limites d'utilisation de la technique des voiles par passes (démarche de conception)

Une démarche conceptuelle permettant de préciser le domaine et la limite d'utilisation de la technique des VPP

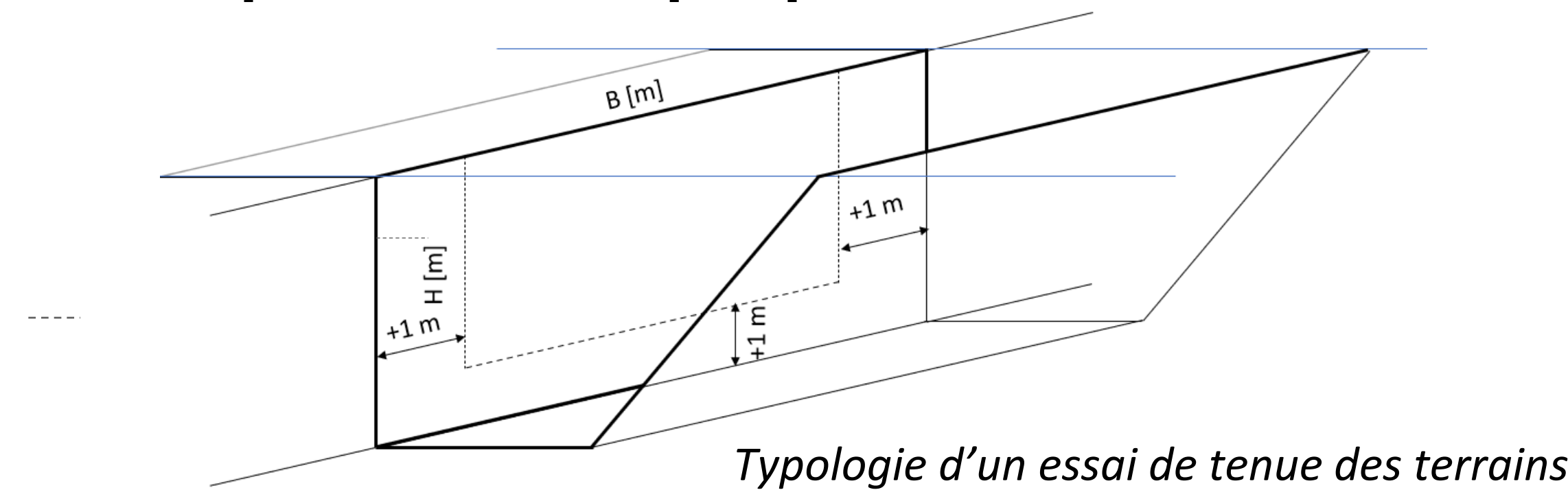


GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 2 – Domaine et limites d'utilisation de la technique des voiles par passes (démarche de conception)

Des investigations spécifiques pour caractériser les sols

- Introduction de paramètres non normalisés notés C_{trav} et ϕ_{trav} déduits d'essais de laboratoire et/ou d'essai de tenue des terrains
- La réalisation d'**essais de tenue des terrains** destinés à
 - Apprécier la tenue à court terme d'un front de taille
 - Définir les dimensions des passes de largeur $B(m)$ et de hauteur $H(m)$ pour l'ensemble des ceintures
 - Définir les paramètres de cisaillement « travaux »
- L'annexe 2-A précise comment obtenir C_{trav} et ϕ_{trav} et à partir d'**essais de tenue des terrains**.



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 2 – Domaine et limites d'utilisation de la technique des voiles par passes (démarche de conception)

Des investigations spécifiques pour caractériser les avoisinants de la ZIG

Il est recommandé que le Maître d'ouvrage (ou son mandataire) missionne un **bureau d'études spécialisé** qui **caractérisera les ouvrages de la ZIG** et **définira** notamment les **seuils admissibles de déformation** (absolues et différentielles) qui préservent des désordres structuraux ou fonctionnels,

L'annexe 2-B traite de la **sensibilité des avoisinants**.

Recenser et examiner les ouvrages avoisinants de la paroi

bâtiments (infrastructure et superstructure), réseaux, voiries, ouvrages de génie civil, ouvrages naturels (talus par ex)

Reconnaitre les fondations des ouvrages avoisinants

cote d'assise, géométrie, nature, matériaux de fondations, nature du sol d'assise

Reconnaitre les réseaux existants

cote nivelée de l'assise, géométrie, type, nature des matériaux, nature des matériaux de remblais, état de vétusté

Apprécier la sensibilité des avoisinants de la ZIG au projet et caractériser les ouvrages de la ZIG

géométrie, contraintes d'utilisation, date de construction, fonctions, état de vétusté, mode constructif,..

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 2 – Domaine et limites d'utilisation de la technique des voiles par passes (démarche de conception)

Une analyse des risques spécifiques permettant de conclure à la faisabilité ou non, par tronçon, d'un VPP

- **Présence d'eau impactant le soutènement ou ses appuis:** difficultés à rabattre en arrière de terrassement, développement de surfaces de suintement, défaut de portance des semelles de buton et du voile, difficultés d'adhérence du béton projeté,..
- **Présence de sables:** risque déboulement instantané des sables lâches, risque de déconfinement des sables denses, hors profil ..
- **Présence d'argiles avec un IP élevé (>20) sous les fonds de fouille:** risque d'instabilité générale important, instabilité des semelles de butons, ..
- **Ouvrages avoisinants :** mode de fondation, sensibilité aux déplacements, capacité à mettre en place des actions correctives pour maîtriser les déplacements



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 2 – Domaine et limites d'utilisation de la technique des voiles par passes (démarche de conception)

Une analyse des risques spécifiques permettant de conclure à la faisabilité ou non, par tronçon, d'un VPP

- **Charges liées aux travaux** : Charges statiques et appliquées pour une durée significative (talus, aires de stockages,..) et mobiles et/ou appliquées de façon temporaire (circulation, grue mobile de manutention,..)
- **Faisabilité du butonnage provisoire** : butons fondés à des niveaux différents à l'avancement, nécessité de fonder sous le fond de fouille en cas d'horizon insuffisamment porteur, butonnage horizontal,..
- **Le voile, les poussées sur le voile & la faisabilité des semelles de butons**: intensité maximale (à ne pas dépasser pour justifier la portance des semelles de buton) de la poussée résultante horizontale de l'ordre de 200 kN/ml d'écran, **semelles de 1,80m de côté** pour des raisons de levage



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 2 – Domaine et limites d'utilisation de la technique des voiles par passes (démarche de conception)

Une définition des hypothèses géotechniques appropriées à la justification

Modèle géotechnique

- Poids volumiques non saturés et saturés le cas échéant
- Caractéristiques de cisaillement du sol en phase transitoire (c_{trav} , ϕ_{trav}), donnés pour une durée limitée
- Caractéristiques de cisaillement du sol drainées (c' , ϕ')
- Coefficients de poussée et de butée limites et au repos
- Inclinaison des résultantes de poussée et de butée

Conditions hydrogéologiques

- Définition des niveaux caractéristiques
- Définitions des moyens de mise hors d'eau et impact sur les avoisinants
- Définitions de nécessité ou non d'un drainage vertical (max 50%)
- Rappel de la nécessité de barbacanes en phase provisoire

Hypothèses de justification des butons

- Pression limite équivalente P_{le}^* et/ou résistance de pointe équivalente q_{ce} , à chaque niveau de fond de fouille transitoire ou définitif
- Caractéristiques de déformabilité associées, soit module pressiométrique Ménard E_M et coefficient rhéologique α , soit le module d'Young E_Y

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 2 – Domaine et limites d'utilisation de la technique des voiles par passes (démarche de conception)

Un dimensionnement en phase projet

Evaluation du niveau de sollicitations en phase transitoire et définitive

Diagramme de poussée (terre, surcharges) jusqu'à la base de bêche (avec c_{trav} , ϕ_{trav} et c' , ϕ')
Nombre de lits de butons « définitifs »,
Valeur de la résultante de la poussée limite ELS_{Car} et son niveau d'application
Réaction normale à l'écran aux ELS_{Car} au niveau des appuis

Justification de la stabilité GEO

Dimensionnement des semelles de butons situées sous le fond de fouille
Vérification de la stabilité générale du voile avec les paramètres drainés (c' , ϕ')

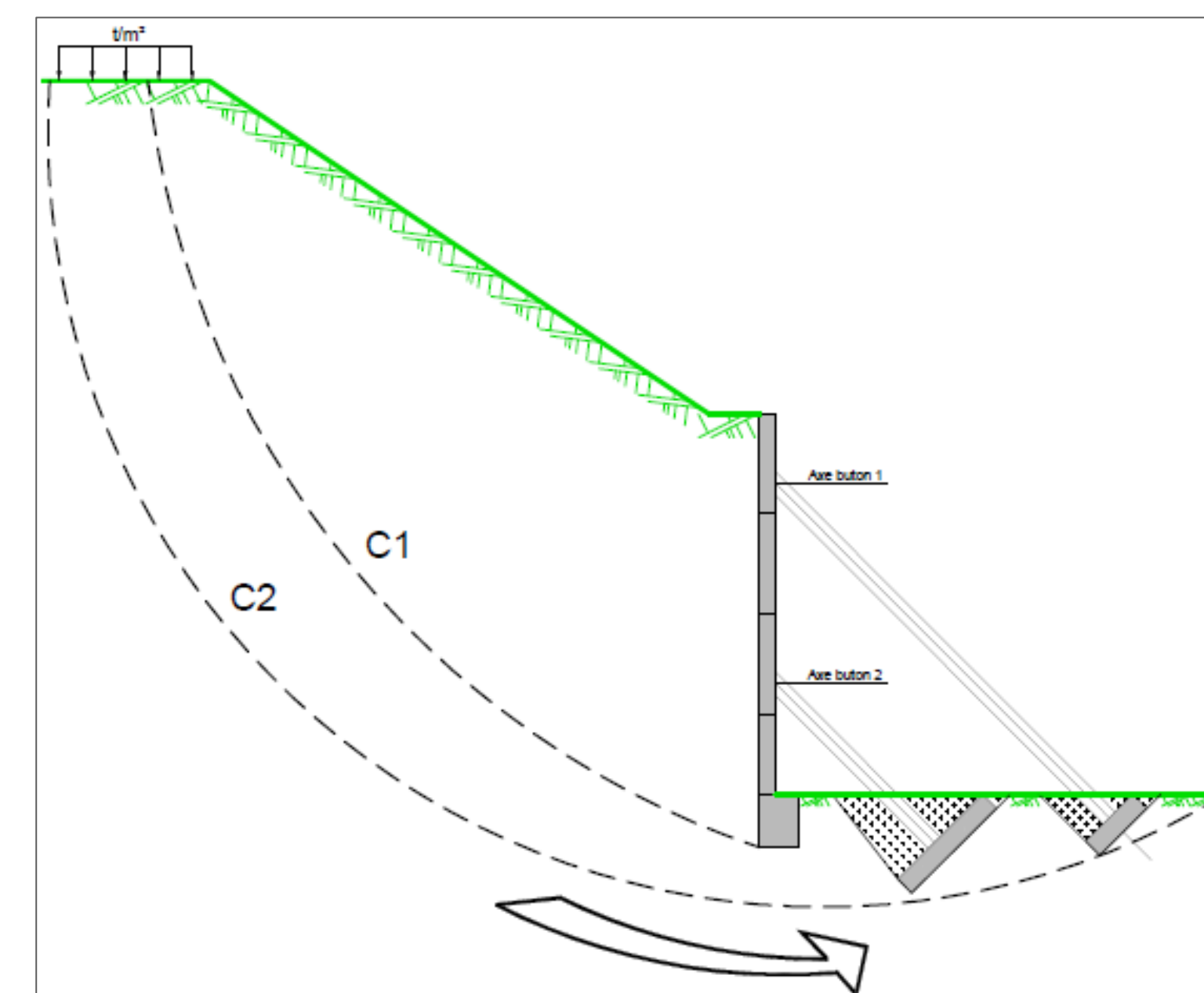


Illustration de mécanismes de rupture monobloc pouvant provoquer une instabilité d'ensemble

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 2 – Domaine et limites d'utilisation de la technique des voiles par passes (démarche de conception)

Un dimensionnement en phase projet

Dimensions limites des passes

A définir par géotechnicien mais $H_{\max}=1,5\text{m}$ et $B_{\max}=4\text{m}$

A confirmer après la réalisation des essais de tenue de paroi

Déplacements

Difficiles à évaluer par le calcul mais de l'ordre de 2 à 4 cm

Déplacements admissibles définis par l'étude de sensibilité des avoisinants (**à contractualiser**)

Définition de seuils au niveau des voiles et des avoisinants (seuil d'alerte et seuil d'arrêt des travaux de VPP et de mise en sécurité)

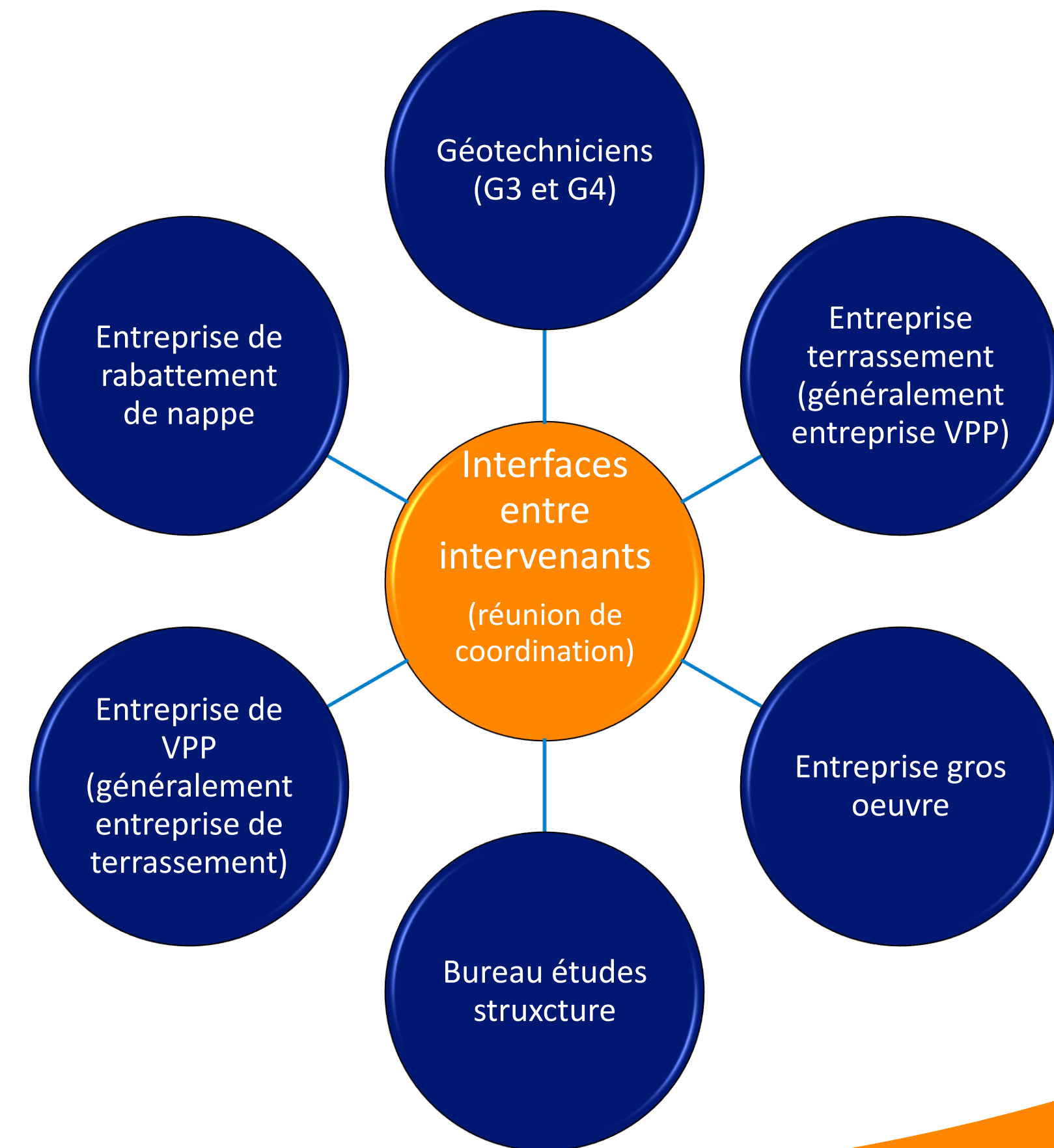


GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 3 – Etudes d'exécution des voiles par passes

Des études devant permettre, par tronçon, de:

Définir la méthodologie de suivi des déplacements	En fonction de l'analyse de risque du site. Cette analyse donne lieu à un suivi de déplacements sur site, et à la définition d'une procédure en cas de dépassements des seuils
Vérifier la stabilité générale	Vis à vis du grand glissement
Vérifier l'équilibre horizontal des voiles	Evaluer les efforts dans les appuis (butons puis planchers définitifs) pour toutes les phases Dimensionner les semelles de butons, la bêche (si nécessaire pour l'équilibre horizontal), les butons horizontaux et/ou inclinés
Vérifier l'équilibre vertical des voiles	Y compris la bêche
Dimensionner les corbeaux et les voiles en béton armé	
Etablir les plans d'exécution	Elévation développée ou ensemble de coupes repérées sur une vue en plan

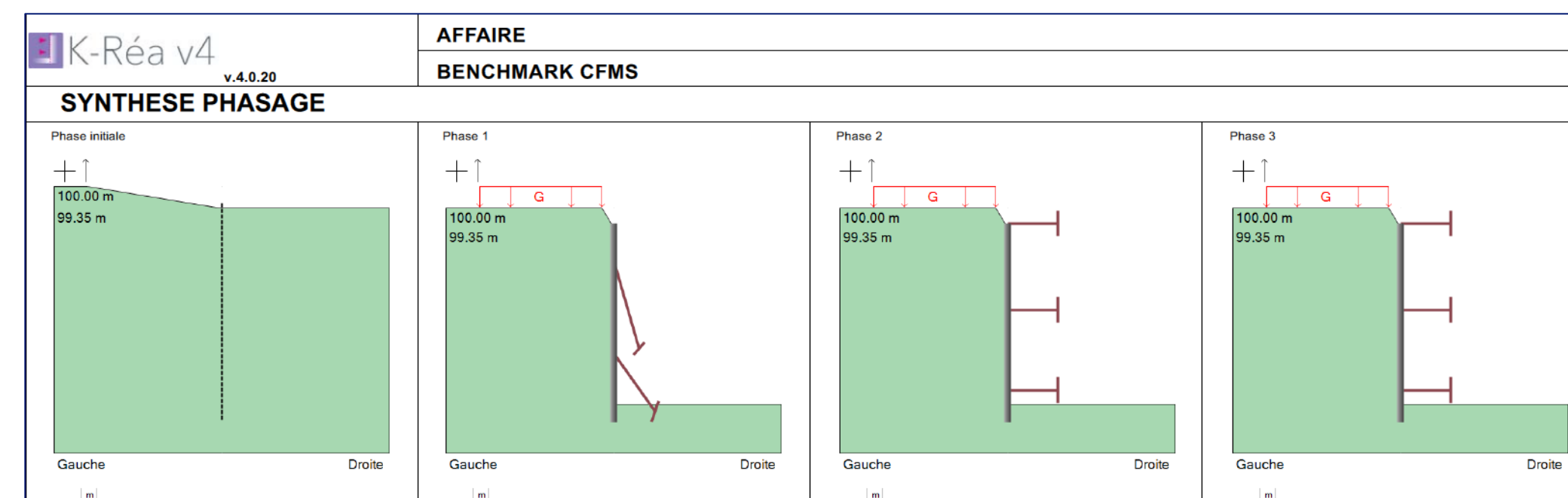
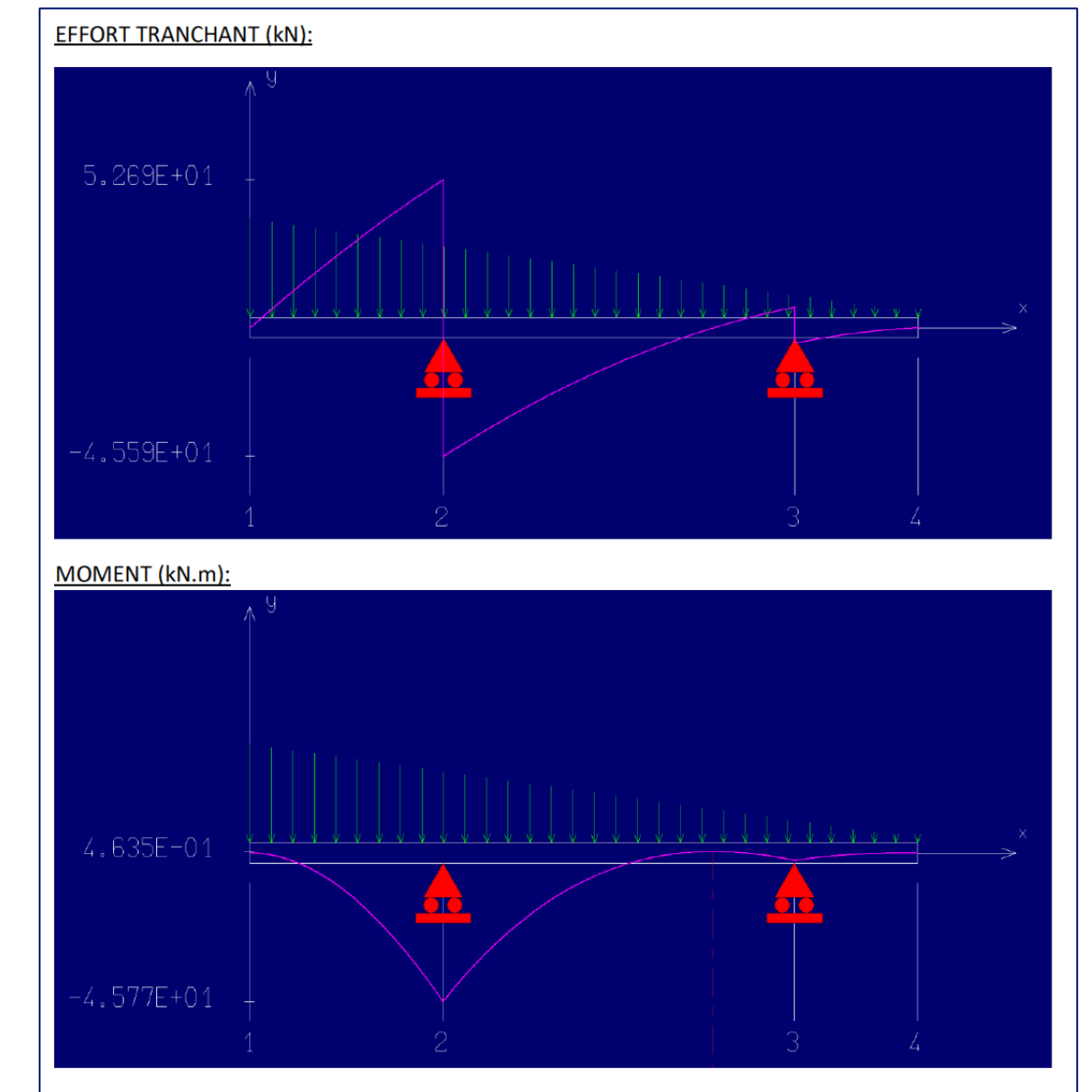


GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 3 – Etudes d'exécution des voiles par passes

Méthodes de calcul:

- Calcul à établir pour chaque ceinture horizontale
- Prise en compte d'une **poussée active avec $\delta/\phi=0$**
- Plusieurs méthodes utilisables
 - Modèles « simples » d'équilibre statique et de résistance des matériaux
 - Modèles géotechniques plus complexes tenant compte du phasage et de ses effets (MISS ou MEF)



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 3 – Etudes d'exécution des voiles par passes

Méthodes de calcul: « modèles simples »

- Modèles « simples » ont tendance à **sous évaluer les efforts dans les butons supérieurs** -> proposition de retenir un **diagramme de poussée active spécifique** pour les calcul, des butons et des semelles

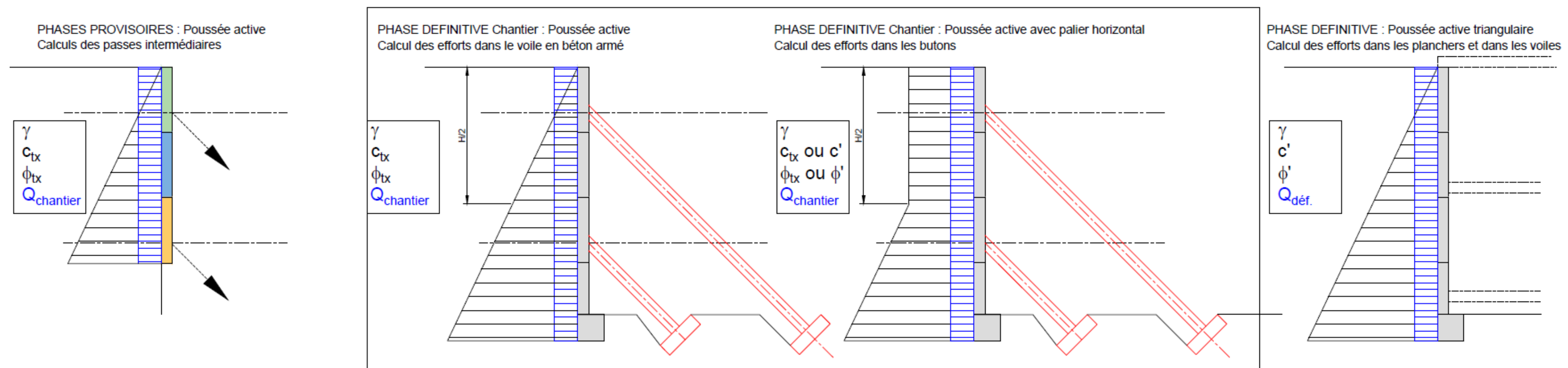


Illustration des diagrammes de poussée active à prendre en compte (phases provisoires et définitive) en cas d'utilisation de modèles « simples » – Exemple sans avoisinant avec un monocouche

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 3 – Etudes d'exécution des voiles par passes

Vérifications:

Poussée des terres

poussée active k_a avec $\delta/\phi=0$ sur toute la hauteur du voile y_c bêche, possibilité de justifier les butons et semelles de butons avec C_{trav} et ϕ_{trav} (passage aux paramètres drainés à apprécier en fonction de la durée des travaux)

Stabilité externe générale (ou d'ensemble)

A mettre à jour si nécessaire (modification des hypothèses géotechniques, modifications du projet, adaptations de la méthodologie de terrassement, modification des hypothèses au niveau du système de butonnage)

Soulèvement des voiles

Vérification du mécanisme non indispensable si l'inclinaison de la résultante ($\alpha_{résultante}$) des efforts dans les butons définitifs (P_d) est supérieure à 40° / à la verticale. Si la vérification est nécessaire, il est possible de considérer $\delta/\phi=2/3$; C_{trav} , ϕ_{trav} , diagramme de poussée active non corrigé entre 0 et $H/2$

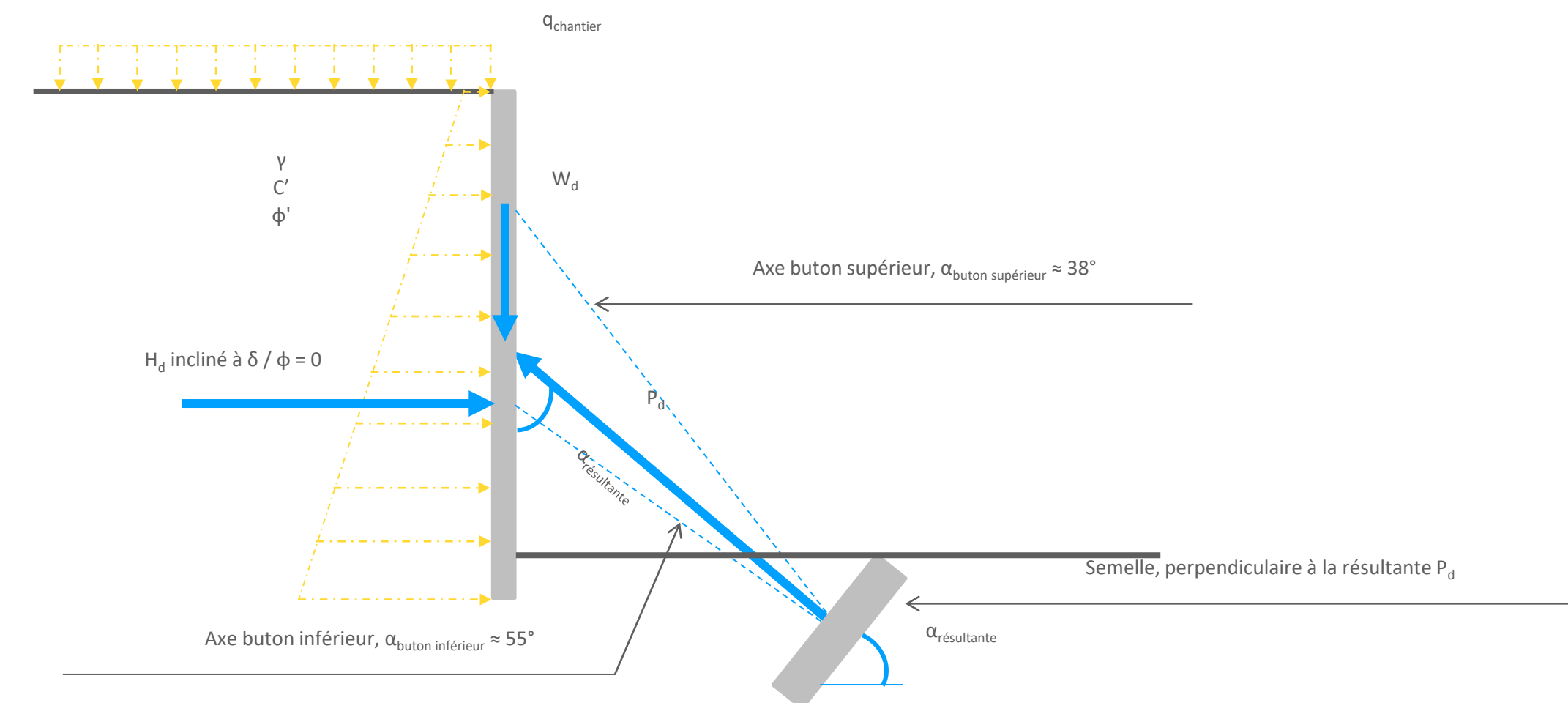


Illustration avec $\alpha_{résultante} \approx 49^\circ > 40$

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 3 – Etudes d'exécution des voiles par passes

Vérifications:

- **Déplacements des voiles:** difficiles à évaluer avec les logiciels disponibles. Déplacements limites définis contractuellement. Suivi du comportement des voiles indispensable
- **Prise en compte de la bêche:** 2 types de bêches
 - La bêche avec butée
 - La bêche sans butée

	Avantages	Inconvénients
Bêche avec butée	Réduction des efforts dans le buton inférieur Réduction des dimensions des semelles de butons Risque de rotation en pied de voile maîtrisé	Réalisation stricte soumise à un plan de contrôle (voir Annexe 5-A)
Bêche sans butée	Réalisation simple après projection de la dernière passe	Efforts dans les butons importants Ferrailage adapté au fonctionnement en console sous le dernier niveau de butons 2 niveaux de butons a minima pour assurer l'équilibre en rotation du voile

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 3 – Etudes d'exécution des voiles par passes

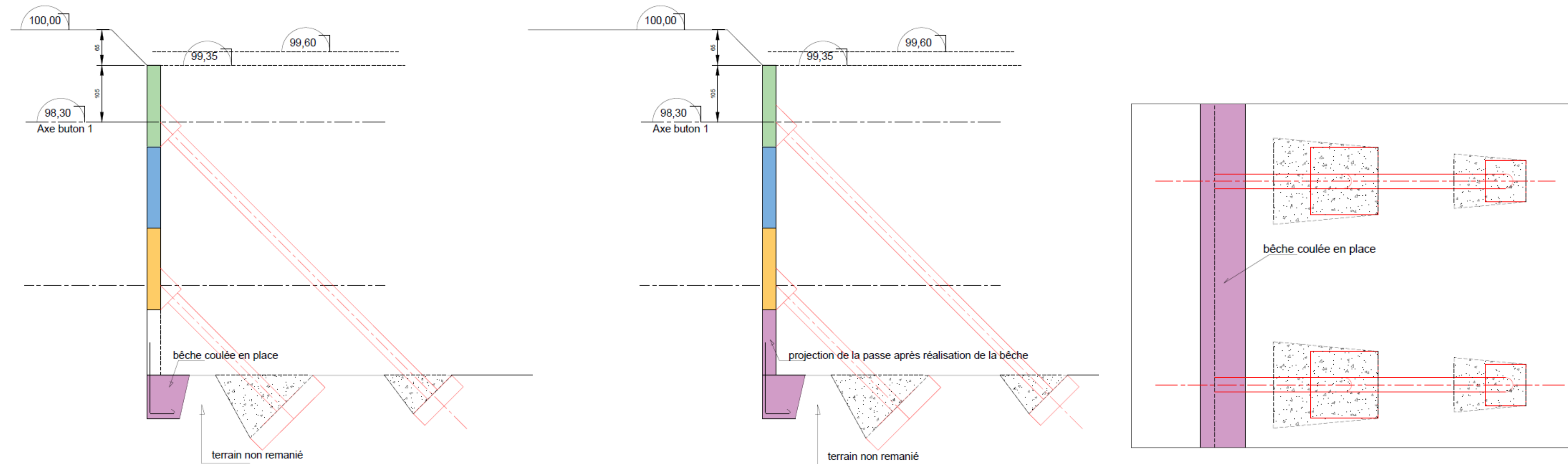


Illustration du phasage à respecter pour prendre en compte la butée dans le calcul

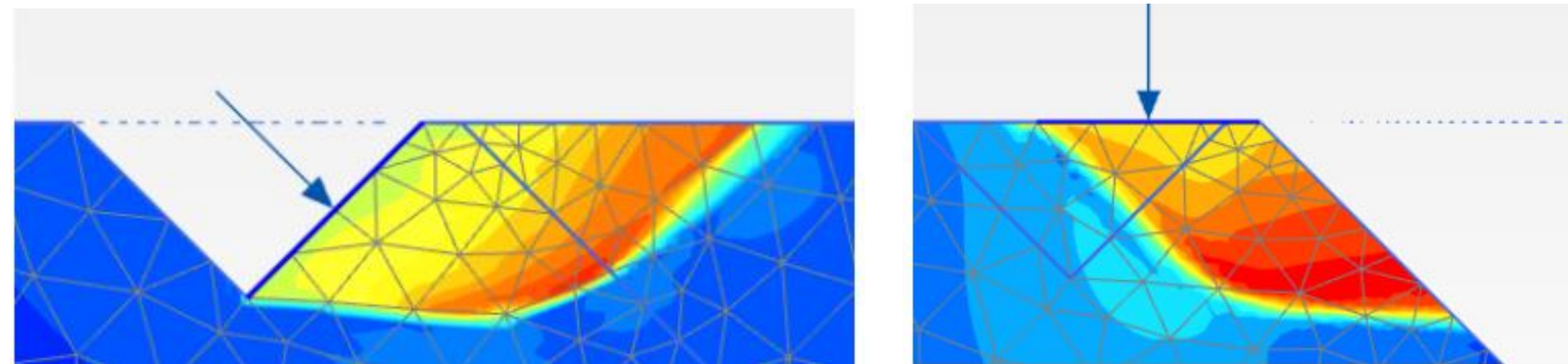
GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 3 – Etudes d'exécution des voiles par passes

Vérifications:

➤ Calcul des semelles des boutons

- Recommandé que la surface d'assise soit perpendiculaire à résultante des efforts ($i\delta=1$)
- Recommandé que l'inclinaison de la surface d'assise des semelles soit au plus près de 45°
- Calcul de portance mené à l'ELU fondamental
- $i\beta=0,5$ retenu forfaitairement si inclinaison proche de 45° , dans les autres configurations calcul nécessaire (annexe 3-A)



- Maitrise des déformations par suivi des déplacements et recalage et recharge des boutons au niveau des corbeaux

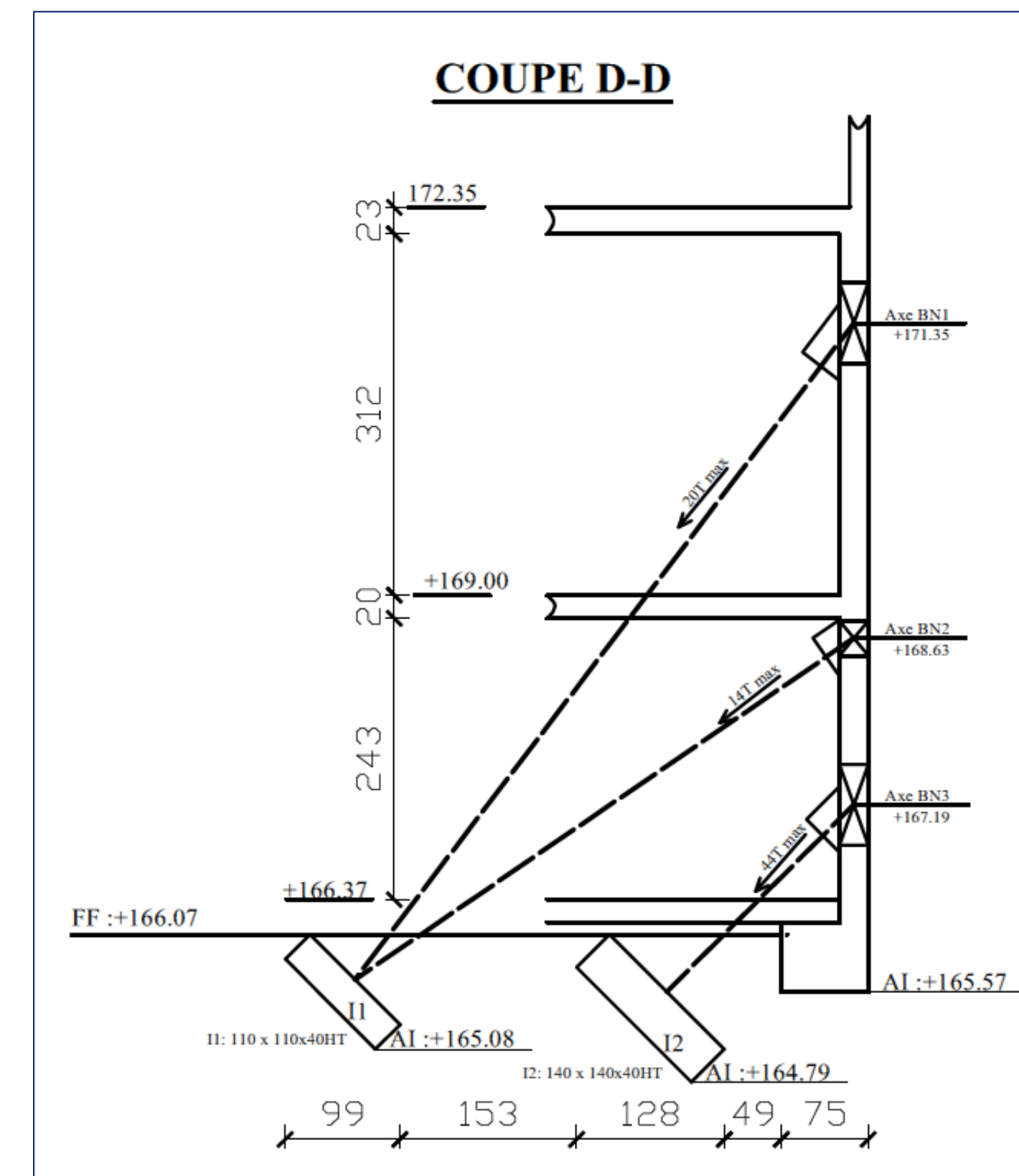
GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 3 – Etudes d'exécution des voiles par passes

Vérifications:

➤ Calcul des butons horizontaux et/ou inclinés

- Charges des butons à préciser sur les plans
- Dimensionnement à la charge de l'entreprise de VPP
- Butons à justifier au flambement
- Nécessité de s'assurer que la section des butons est homogène sur la longueur car les butons sont réutilisés de chantiers en chantiers



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 3 – Etudes d'exécution des voiles par passes

Vérifications:

➤ Dispositions pour les corbeaux

- Corbeaux en béton armé et corbeaux métalliques recommandés
- Système des « cigares » proscrit

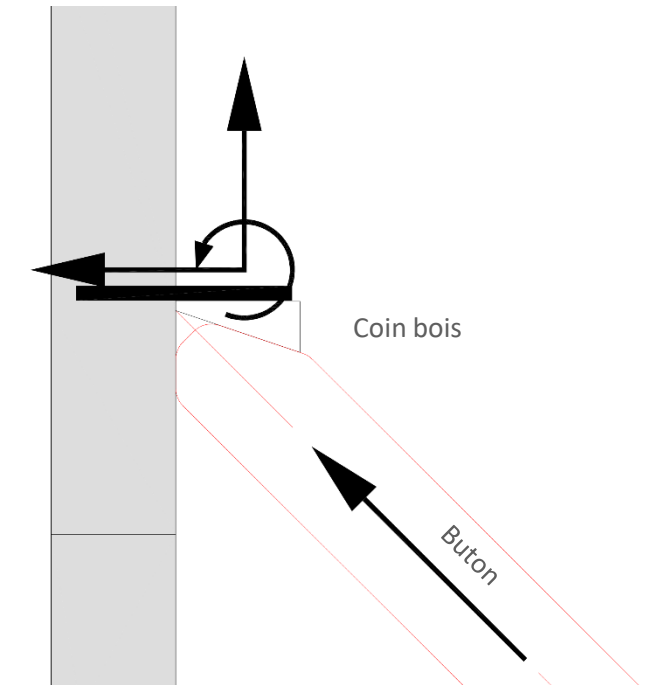


Illustration d'un « cigare »: solution proscrite

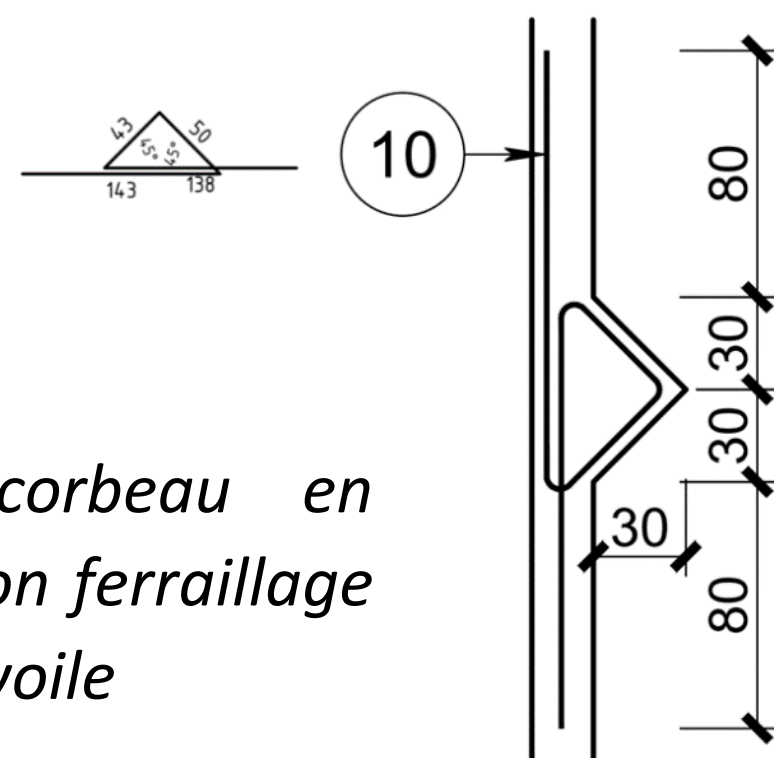


Illustration d'un corbeau en béton armé et de son ferrailage liaisonné à celui du voile

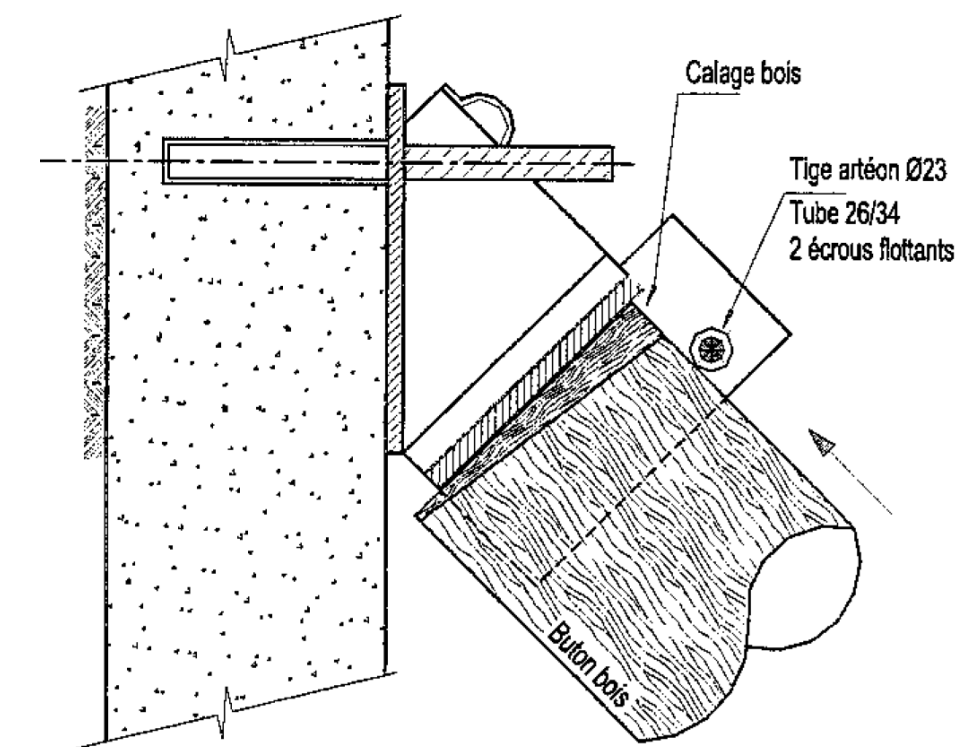
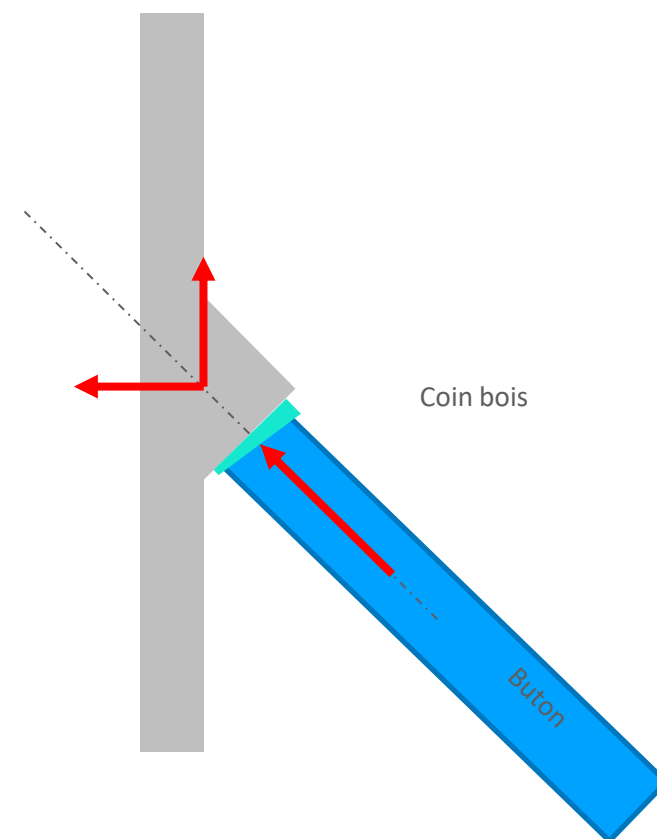


Illustration d'un exemple de corbeau métallique et de son ancrage dans le voile

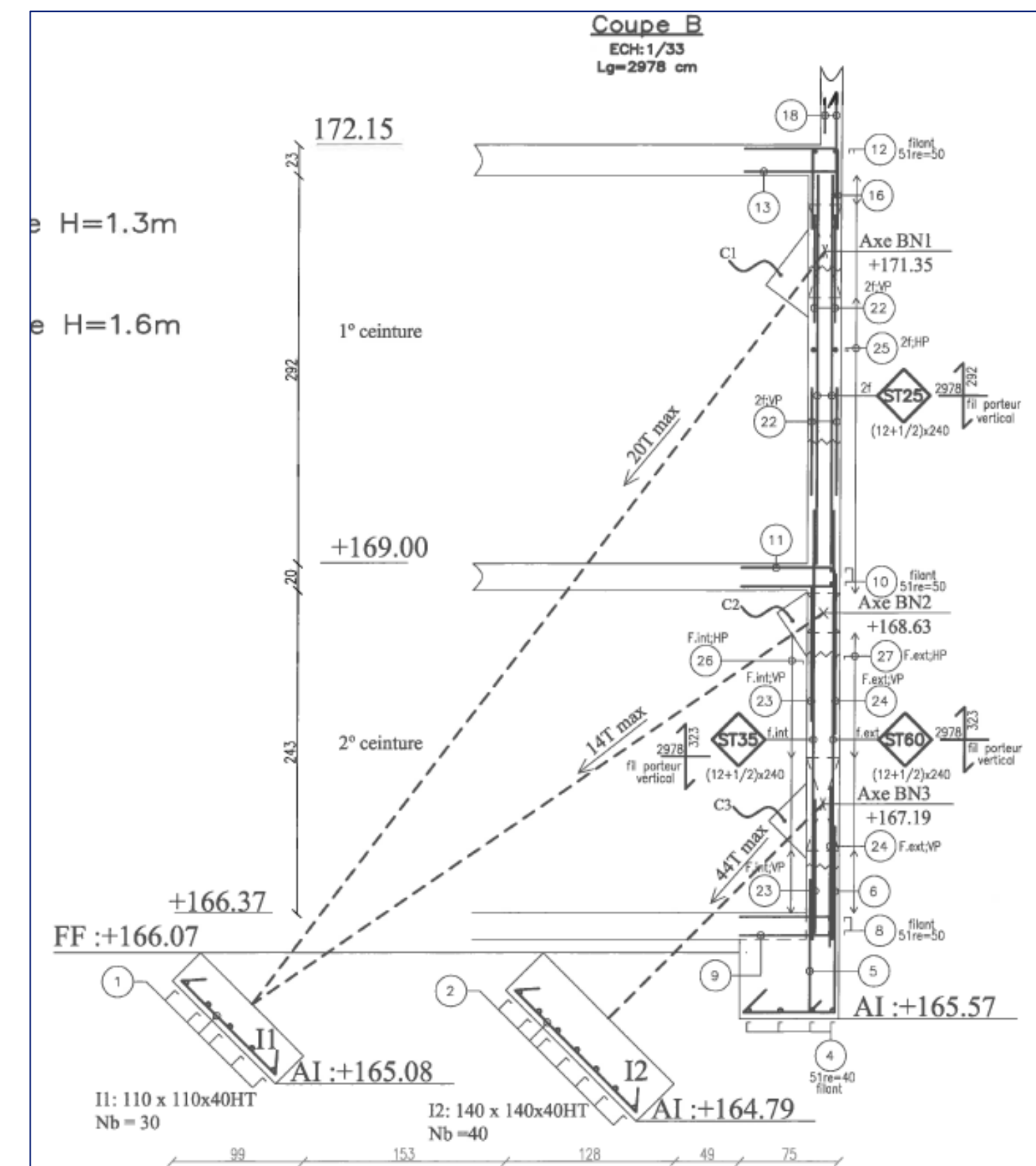
GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 3 – Etudes d'exécution des voiles par passes

Vérifications:

➤ Calcul du voile

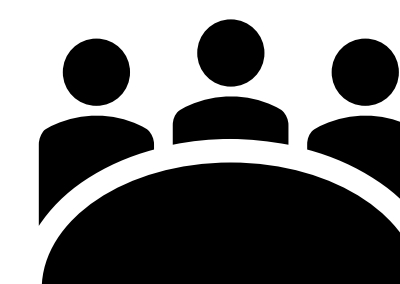
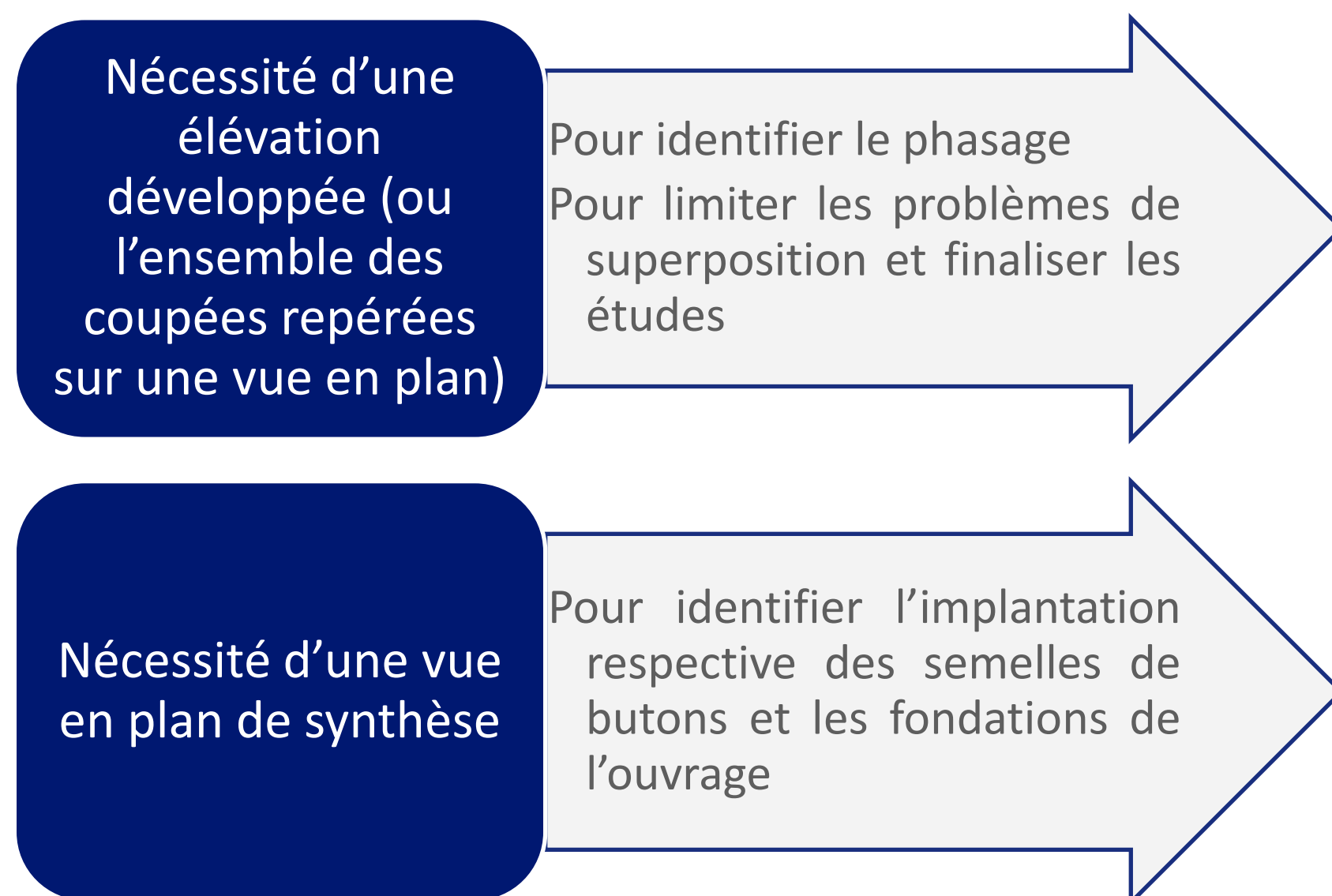
- Calcul selon EC2
- Calculs BA du parement, des corbeaux et bandes noyées menés avec c_{trav} , ϕ_{trav}
- Aciers façonnés (pliés/dépliés) sur site: diamètres limités à HA14
- Armatures de reprise de passe et longueurs de recouvrement à indiquer sur les plans d'armatures



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 4 – Mode opératoire et dispositions constructives pour les voiles par passes

Finalisation des études d'exécution et attendus en terme de plans d'exécution



Tenue d'une **réunion de coordination avant le démarrage des travaux** pour gérer les problèmes de phasage et de superposition de plans (fondations, voiles, planchers, poutres)

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 4 – Mode opératoire et dispositions constructives pour les voiles par passes

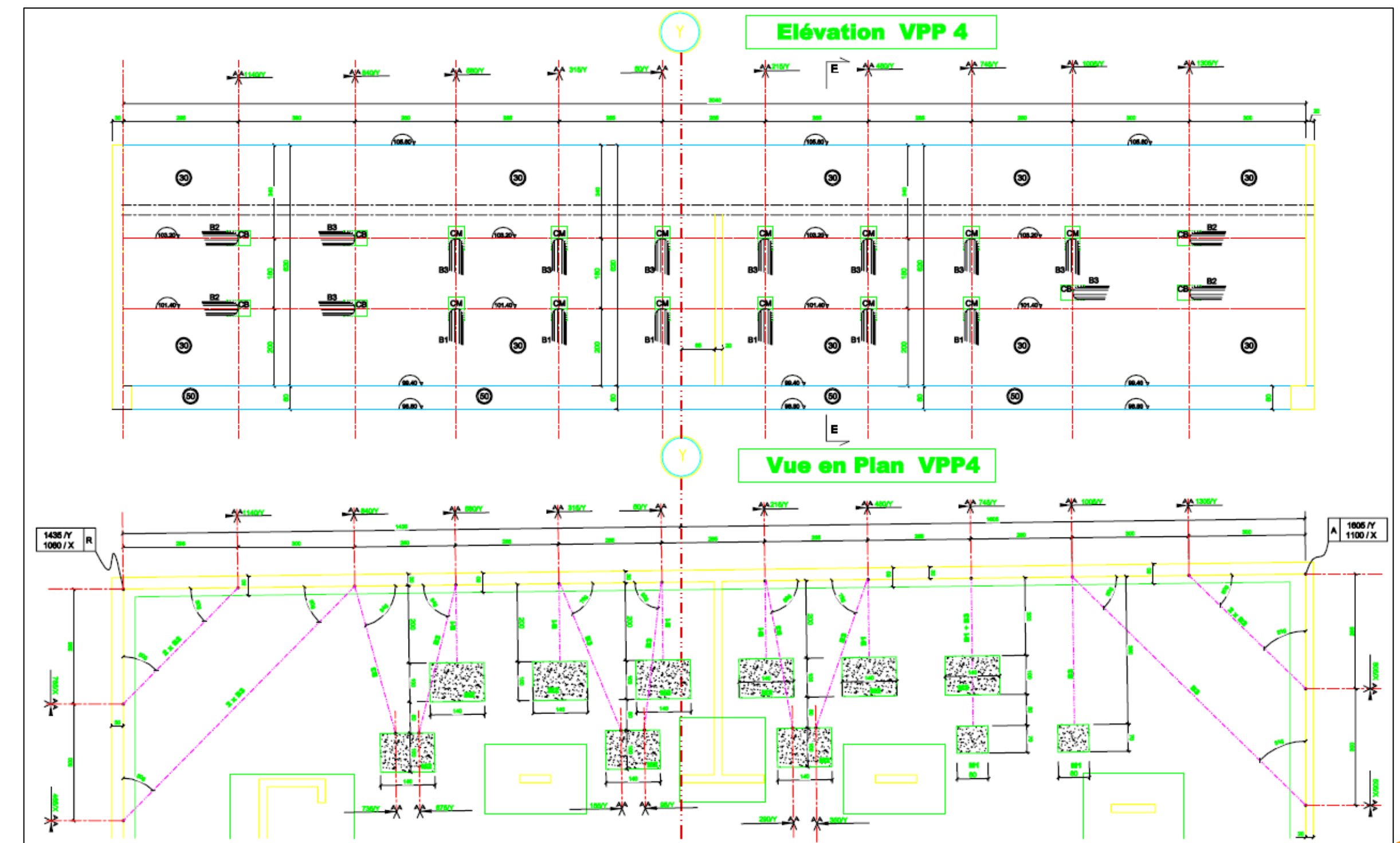
Finalisation des études d'exécution et attendus en terme de plans d'exécution

Nécessité d'une élévation développée (ou l'ensemble des coupées repérées sur une vue en plan)

Pour identifier le phasage
Pour limiter les problèmes de superposition et finaliser les études

Nécessité d'une vue en plan de synthèse

Pour identifier l'implantation respective des semelles de butons et les fondations de l'ouvrage



Exemple d'une vue en plan (avec superposition des fondations de l'ouvrage et des semelles des butons) associée à une élévation développée

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 4 – Mode opératoire et dispositions constructives pour les voiles par passes

Mode opératoire au niveau d'une passe:

➤ Description d'un mode opératoire générique par passe

- Ouverture d'une passe avec profilage soigné
- Piochage en limite de passes adjacentes/sus jacentes déjà projetées et dégagement des armatures de recouvrement
- Mise en place d'un système de drainage
- Mise en place de l'ensemble des armatures
- Projection du béton jusqu'à ce qu'il recouvre superficiellement les armatures côté intrados
- Mise en place du butonnage dit « provisoire »

➤ Enchaînement à réaliser impérativement dans la journée

➤ Épaisseur courante des VPP:20 à 30cm

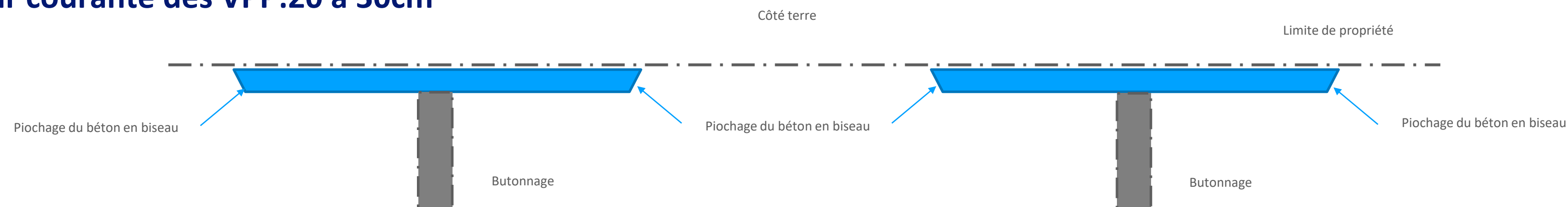


Illustration du principe de piochage du béton en limite des passes adjacentes – Schéma en plan

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 4 – Mode opératoire et dispositions constructives pour les voiles par passes

Mode opératoire au niveau d'une ceinture:

- **Plusieurs passes réalisées en alternance** pour réaliser une ceinture
- **Nécessité de montée en résistance du béton projeté (48h)** pour réaliser des passes adjacentes
- **Ceinture terminée lorsque**
 - L'épaisseur du voile a atteint l'épaisseur nominale
 - Les corbeaux prévus sont réalisés
 - Le système de butonnage dit « provisoire » ou « définitif » est en place
 - Le fonctionnement du système de drainage a été vérifié
 - L'instrumentation sur le voile a été mise en place

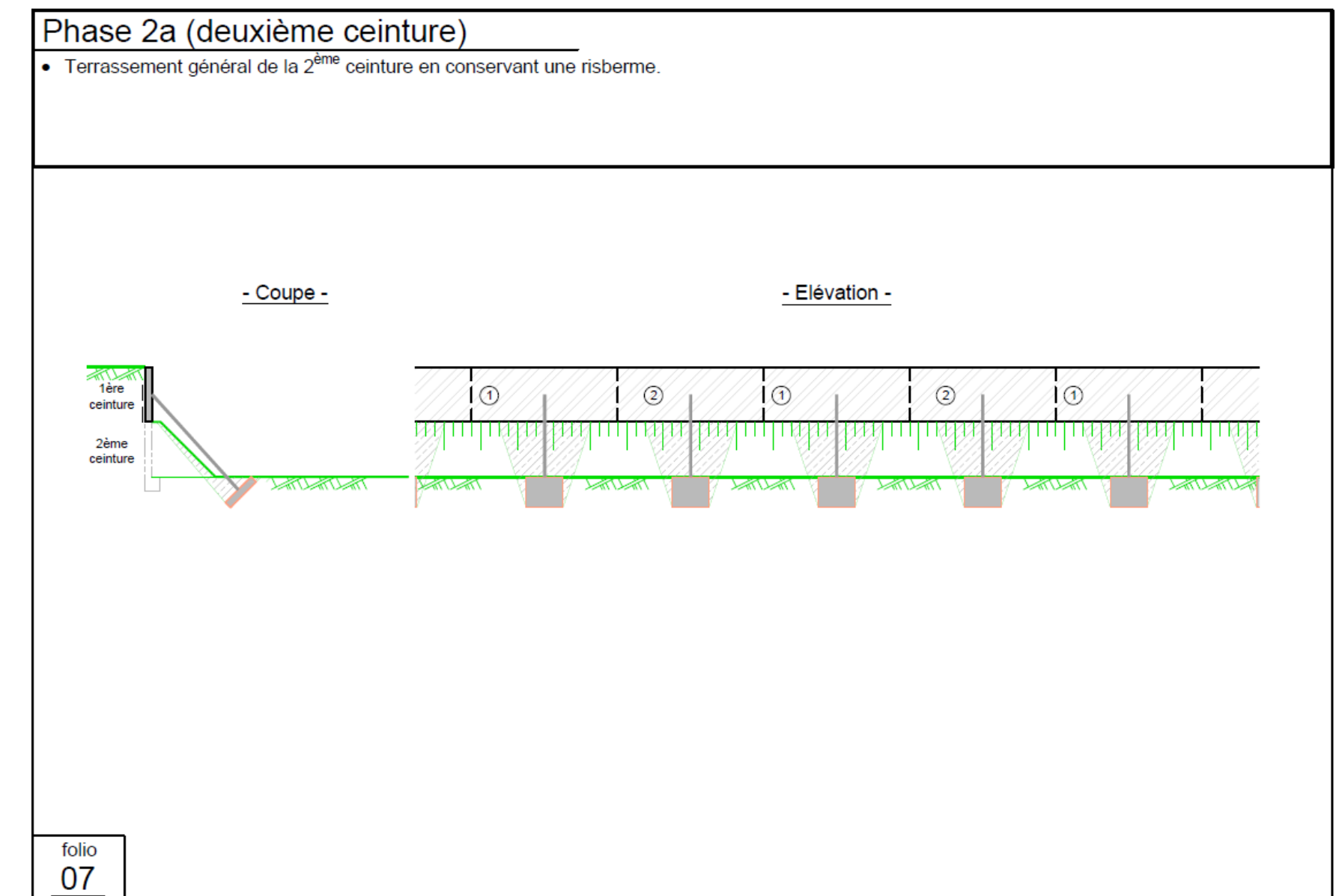
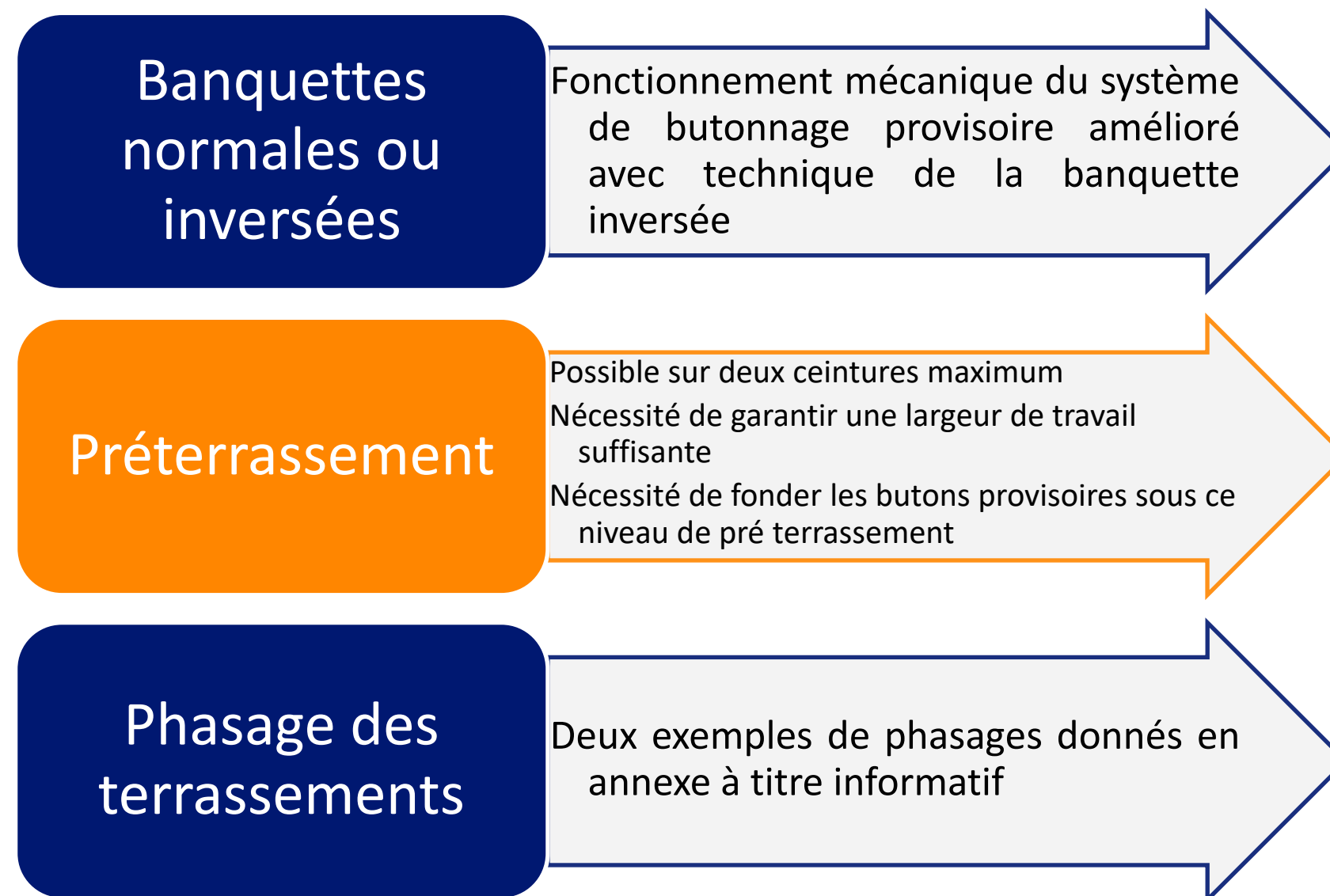


Illustration d'un calage du ferrailage pendant la projection du béton, d'un buton « provisoire » et d'un buton « définitif »

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 4 – Mode opératoire et dispositions constructives pour les voiles par passes

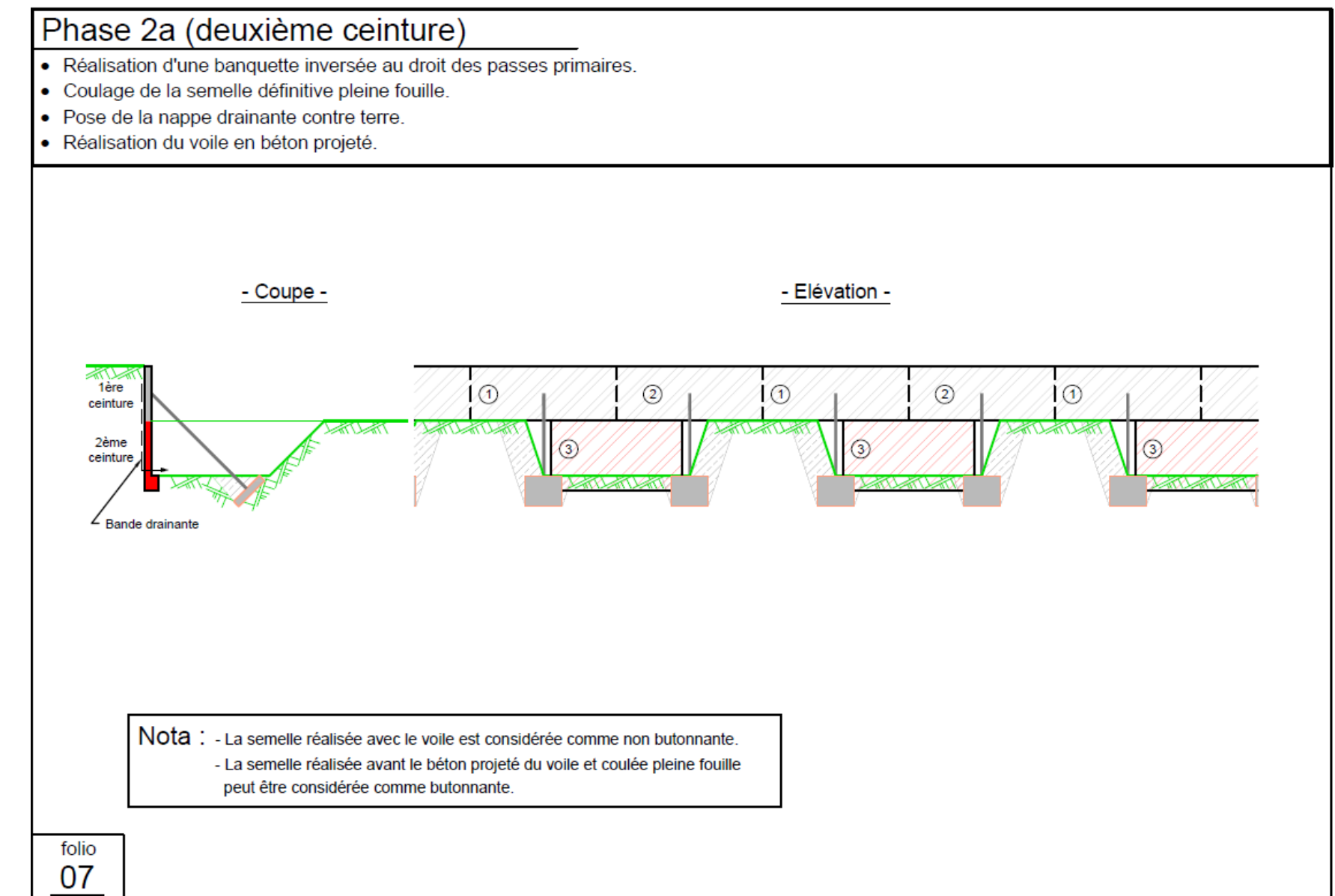
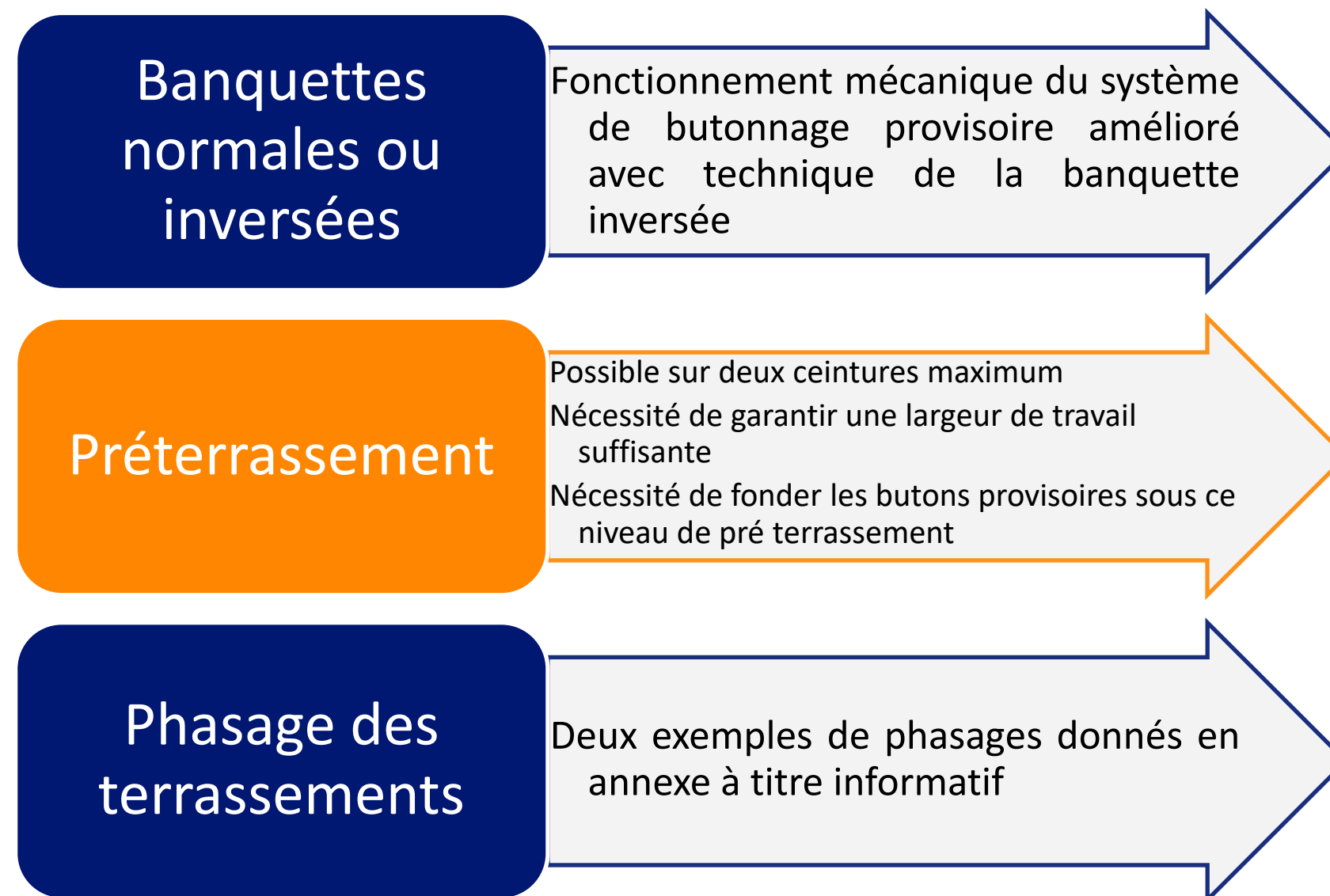
Mode opératoire du terrassement associé aux voiles par passes



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 4 – Mode opératoire et dispositions constructives pour les voiles par passes

Mode opératoire du terrassement associé aux voiles par passes



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 4 – Mode opératoire et dispositions constructives pour les voiles par passes

Dispositions constructives pour les voiles par passes

➤ Système de butonnage (buton + semelle)

- Doit être terminé avant de réaliser la passe suivante
- Buton mis en place au niveau de son corbeau puis au niveau de la semelle de pied
- Semelle préfabriquée ou bétonnée pleine fouille
- Serrage du buton par coins au niveau du corbeau (ou mise en pression au niveau de la semelle via une pelle hydraulique)

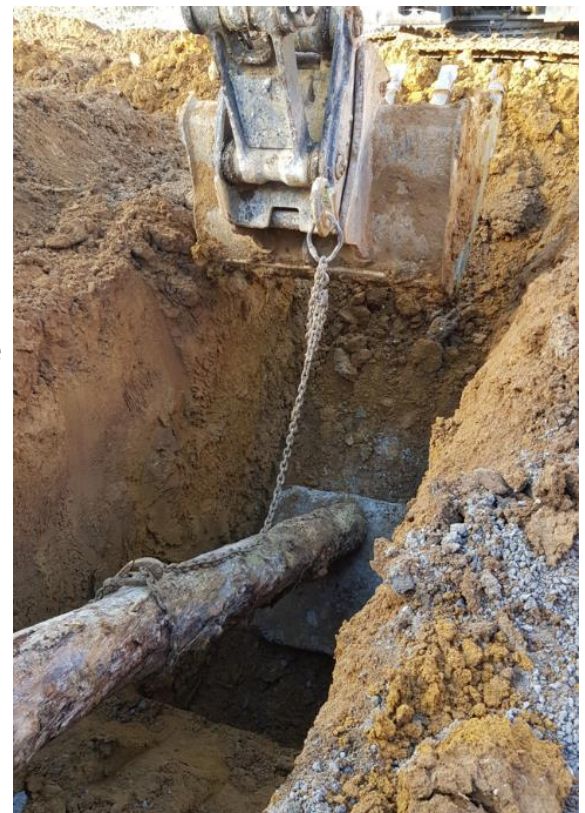
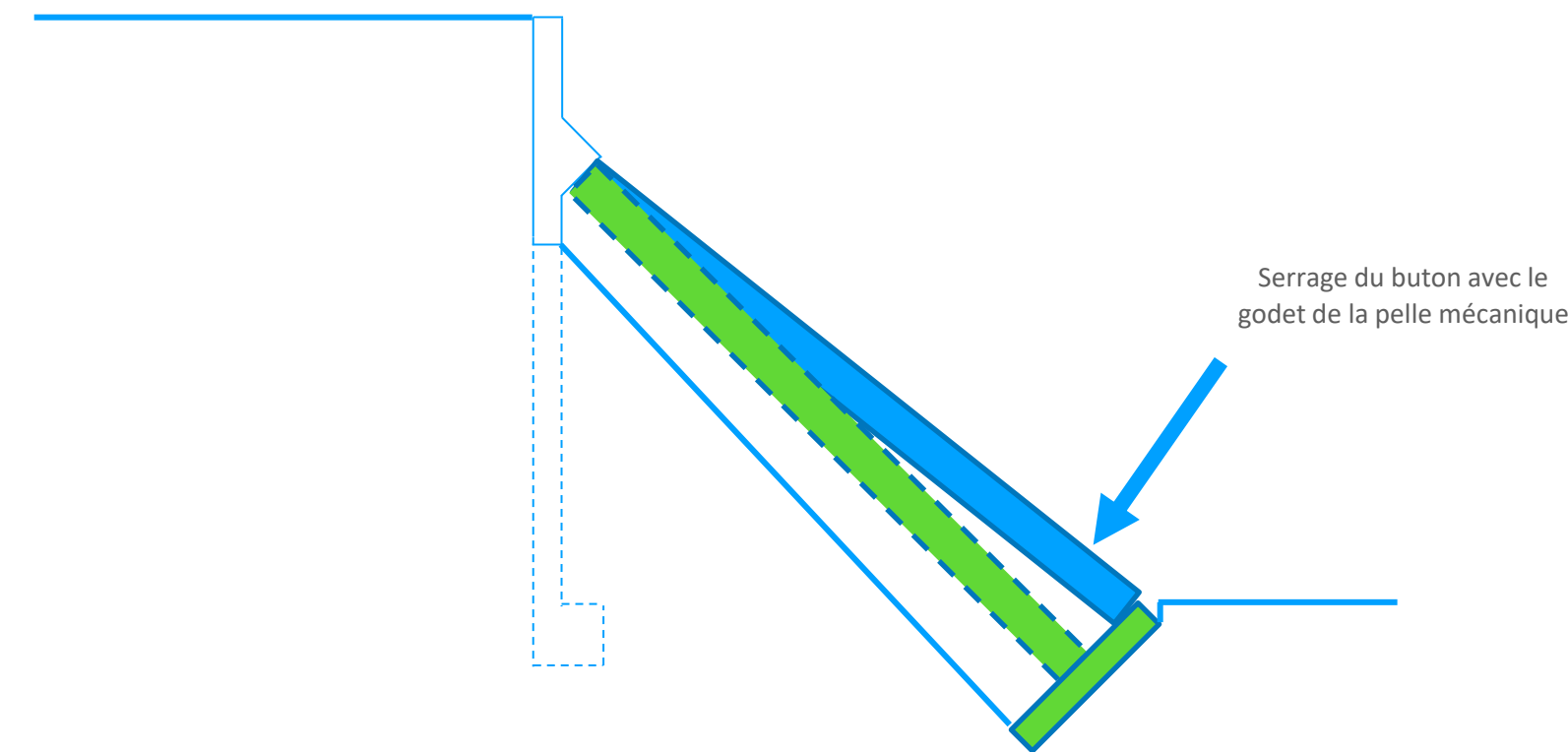


Illustration du serrage d'un buton au niveau de la semelle



Buton serré par des coins au niveau du corbeau

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 4 – Mode opératoire et dispositions constructives pour les voiles par passes

Dispositions constructives pour les voiles par passes

➤ Système de drainage

- Toujours nécessaire en phase provisoire
- A minima une barbacane, d'un diamètre de 6cm, tous les 10m² de voile projeté
- En cas d'emploi de bandes drainantes, taux de couverture limité à 50% et installation à partir de 50cm sous le niveau du terrain naturel
- Evacuation des eaux drainées par barbacanes
- Exutoire de type cunette en pied de voile, collecteur sous dallage, tapis drainant,..

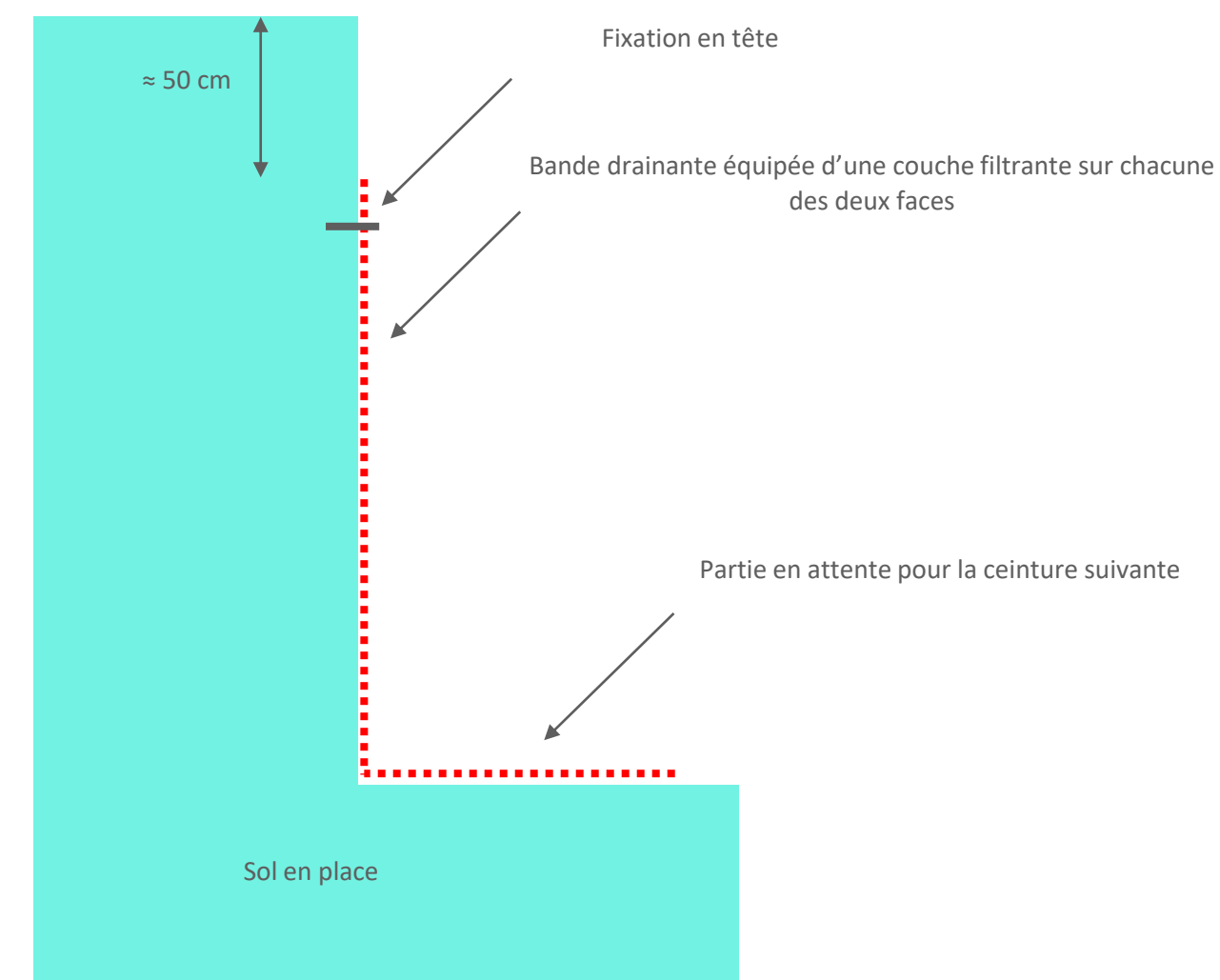


Illustration de la pose du drainage vertical dans la réalisation de voiles par passes

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 4 – Mode opératoire et dispositions constructives pour les voiles par passes

Dispositions constructives pour les voiles par passes

➤ Système de drainage

- Toujours nécessaire en phase provisoire
- A minima une barbacane, d'un diamètre de 6cm, tous les 10m² de voile projeté
- En cas d'emploi de bandes drainantes, taux de couverture limité à 50% et installation à partir de 50cm sous le niveau du terrain naturel
- Evacuation des eaux drainées par barbacanes
- Exutoire de type cunette en pied de voile, collecteur sous dallage tapis drainant,..

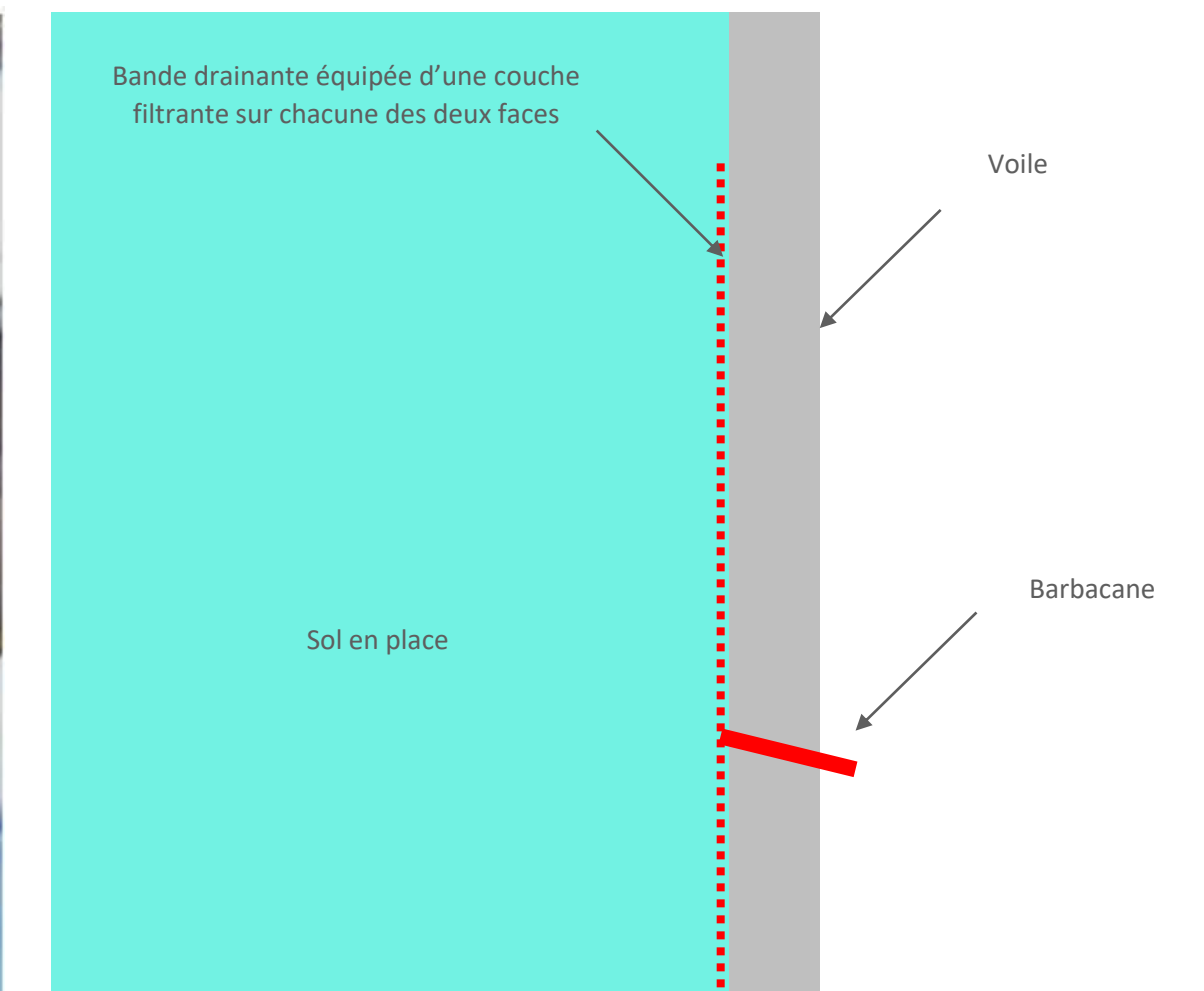


Illustration de la pose d'une barbacane et de la connexion avec le drainage vertical

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 4 – Mode opératoire et dispositions constructives pour les voiles par passes

Dispositions constructives pour les voiles par passes

➡ Formulation du béton projeté

- Projection par voie sèche impliquant l'ajout d'eau à la lance
- Application stricte de NF EN 206/CN pas possible
- Formulation proposée par l'entreprise de VPP devant prendre en compte
 - Nature, dosage et classe de résistance du ciment utilisé
 - Diamètre maximal et fuseau granulométrique des granulats utilisés
 - Maitrise de l'apport de l'eau en lance



GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 5 – Suivi, contrôle et réception des voiles par passes

Principes fondamentaux d'une procédure de suivi

- **Principe de suivi du comportement de l'ouvrage et de ses avoisinants explicité:** ce qui est suivi, moyens mis en œuvre, état 0, durée, traitement et interprétation des données, définition des actions correctives selon seuil d'alerte et d'arrêt
- **Fiche d'autocontrôle permettant d'assurer et de vérifier de façon synthétique le suivi**

CHANTIER :											
CLIENT :											
PLAN DE COFFRAGE N°						Indice :			Date :		
PLAN DE FERRAILLAGE N°						Indice :			Date :		
VOILE N°						CEINTURE N°			PASSE N°		
Points de contrôle						SO	Conf	NC	Remarques & Actions		Levé si NC
<u>Préparation</u>											
Sécurité du poste de travail (dans la fouille)											
Appoint des gardes corps à fixer sur la ceinture supérieure											
Appoint des butons & des semelles (préfabriquées)											
Section d'ouverture des passes											
Séquence d'ouverture des passes											
Curage (piochage) du béton de la passe supérieure (sauf si 1ère ceinture) et latérales											
Système de drainage avec son exutoire (surface drainée & nombre de barbacanes, provisoires si cuvelage)											
Implantation & épaisseur du voile											
Implantation des cibles topo											
<u>Ferraillage</u>											
Bandes noyées											
Equerres de couture / recouvrements											
Treillis en section courante											
<u>Projection</u>											
Planimétrie du voile											
Propreté de l'arase (si 1ère ceinture)											
Espacement et longueur des équerrres											
Réservations											
Eprouvettes béton											
<u>Système de butonnage</u>											
Position et entre-axe des butons (& des corbeaux si système de butonnage définitif)											
Position & dimensionnement des semelles (provisoires & définitives)											
Serrage au refus (à la pelle ou au coin)											
Pied/Bêche du voile par passes (fondation, butée)											
Coulé pleine fouille (sans remaniement du terrain devant la bêche)											
Commentaires divers :											
Nom (entreprise) :						Signature (entreprise)					
Date :											

Exemple de fiche d'autocontrôle de l'entreprise de voiles par passes

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 5 – Suivi, contrôle et réception des voiles par passes

Périmètre de la surveillance des VPP et de leur environnement (ZIG)

➤ Surveillance anticipée de façon exhaustive au moyen de la réunion de coordination

- Anticipée au plus tard lors des études d'exécution
- Implique tous les intervenants
- Aborde les points techniques listés dans le tableau 5,1

Items
Connaissances du niveau de fondation des avoisinants (dont réseaux et bassins)
Connaissances des niveaux d'eau
Connaissances des niveaux du terrain avant, pendant et après travaux (de voirie en particulier)
Dimensions des passes et phasage de réalisation des voiles
Fonds de plans de coffrage avec impacts des rampes d'accès aux différents niveaux d'infrastructures, des voiles de refend et des poutres d'infrastructure
Fond de plan d'implantation des fondations du bâtiment
Fond de plan d'implantation du système de butonnage (en plan et en coupe)
Stratégie de dépose du système de butonnage et traitement des corbeaux au niveau du voile
Rebouchage des barbacanes provisoires
Identification des reprises de bétonnage (liaisons entre passes et corbeaux) et des barbacanes provisoires nécessitant un traitement particulier (LMTP selon NF DTU 14.1)
Procédure de surveillance du comportement des voiles par passes et des avoisinants (mise en place de l'instrumentation, recueil des données, actions prévues en cas d'atteinte du seuil d'alerte et actions prévues en cas d'atteinte du seuil d'arrêt)

Tableau 5-1 : Points à l'ordre du jour de la réunion de coordination avant le démarrage des travaux

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 5 – Suivi, contrôle et réception des voiles par passes

Périmètre de la surveillance des VPP et de leur environnement (ZIG)

- Début et s'achève a minima lorsque la structure de l'ouvrage assure le butonnage définitif de la paroi
- Liste des points à contrôler sous forme de tableaux (outils de mesure et fréquence)
 - Vérification des hypothèses (tableau 5,2)
 - Suivi du comportement (tableau 5,3)

Vérification des hypothèses	Dispositions adaptées	Fréquences min.	Commentaires et/ou conséquences
Type, géométrie, état et niveau des fondations des mitoyens	Contrôle visuel*	A l'avancement des travaux	Avis G4/MOe nécessaire en cas de constat d'écart.
Nature et compacité des terrains excavés	Contrôle visuel*	En continu à l'avancement des terrassements	Avis G4/MOe nécessaire en cas de constat d'écart. Attention aux effets de la pluviométrie sur la compacité des matériaux.
Arrivées d'eau	Contrôle visuel*	En continu à l'avancement des terrassements	Attention aux effets de la pluviométrie et aux réseaux fuyards qu'ils soient sous pression ou non.
Niveau de nappe	Piézomètre	Une fois par semaine	Prévoir des piézomètres (idéalement hors emprise terrassement). Attention primordial en cas de rabattement de nappe.
Vérification de la <u>nature</u> du support des semelles des butons	Contrôle visuel*	A chaque lit de butons	Pour éviter la dégradation du support, il est impératif que les semelles soient mises en place juste après la phase de terrassement.
Vérification des dimensions et de la stabilité des banquettes/risbermes prévues	Contrôle visuel* + mesure	En continu à l'avancement des terrassements	

Tableau 5-2 : Vérification des hypothèses

Suivi du comportement	Dispositions adaptées	Fréquences min.	Commentaires et/ou conséquences
Vérification des déplacements horizontaux et verticaux des <u>ouvrages avoisinants</u> prévus	Cibles topographiques Fils à plomb Fissuromètre (notamment par fibre optique) Clinomètre	Toutes les semaines	Attention le nombre de relevés sur les avoisinants peut augmenter selon leur comportement et celui du voile par passes (voir seuils et procédure de suivi). Attention aux effets du sous-cavage, en particulier sur les tassements des ouvrages avoisinants. En phase de construction de l'infrastructure définitive, il est possible d'espacer les relevés.
Vérification des déplacements horizontaux et verticaux des <u>voiles</u> par passes prévus	Cibles topographiques Fils à plomb	Toutes les semaines	Le nombre de cibles évolue en fonction de l'avancement des ceintures (état 0 spécifique). Il convient qu'il y ait un niveau de cibles <u>en partie basse</u> de chaque niveau d'infrastructure. En phase de construction de l'infrastructure définitive, il est possible d'espacer les relevés.

Tableau 5-3 : Suivi du comportement

GT du CFMS : les points forts des Recommandations

Chapitre 5 – Suivi, contrôle et réception des voiles par passes

Périmètre de la surveillance des VPP et de leur environnement (ZIG)

Surveillance concernant

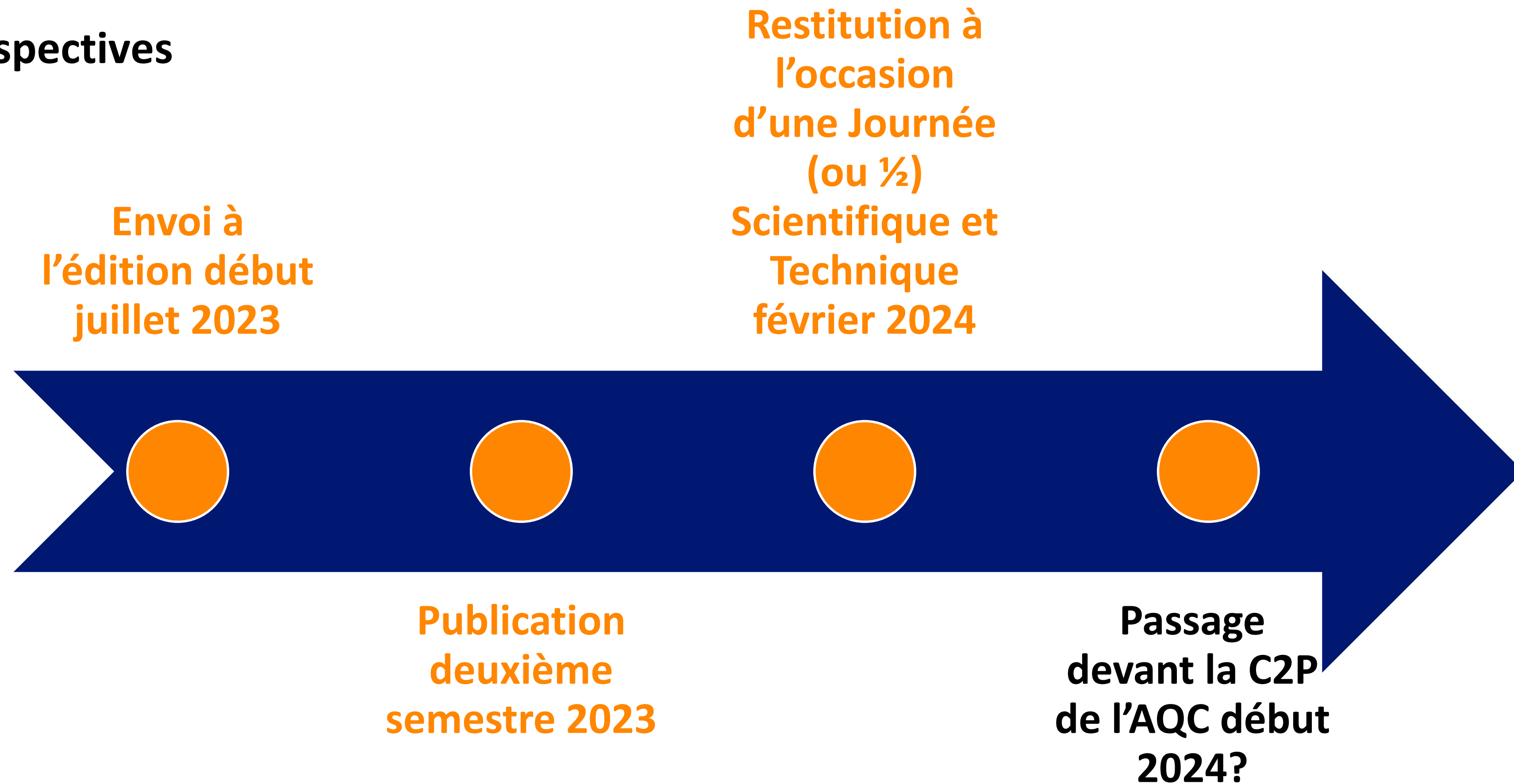
- Le plan de contrôle mis en place par l'entreprise en charge de VPP
- Les fiches de contrôle renseignées par l'entreprise en charge des VPP

Points de contrôle	Tolérances	Fréquences	Moyens de contrôle
Préparation			
Sécurité du poste de travail	Selon PPSPS	Selon PPSPS	Selon PPSPS
Appoint des semelles de butons	0	Journalier et avant ouverture des passes	Inventaire du stock
Appoint des butons	0	Journalier et avant ouverture des passes	Inventaire du stock
Section d'ouverture de passe	20 cm par côté	A chaque passe ouverte, avant curage et ferrailage	Mètre ruban
Curage du béton de la passe supérieure (sauf si 1ère ceinture)	Jusqu'à retrouver l'épaisseur de la passe supérieure et un béton sans terre	A chaque passe inférieure ouverte et avant ferrailage de celle-ci	Homogénéité du béton: visuel épaisseur du voile : mètre ruban
Coffrage derrière voile (si présent)	3 cm sur règle de 1 m	A chaque face coffrée avant ferrailage	Niveau + mètre ruban
Système de drainage avec son exutoire	0	En continu, à l'avancement des travaux	Visuel
Implantation du voile	1,5 cm	A chaque face coffrée avant ferrailage	Mètre ruban
Epaisseur du voile	1 cm	A chaque face coffrée avant ferrailage	Mètre ruban
Ferrailage			
Bande noyée	Nature des aciers : 0 Position : 3 cm Recouvrements : 50 D minimum	A chaque passe ferrillée, avant projection	Visuel + mètre ruban
Équerres de couture	Nature des aciers : 0 Ecartement : 1 cm Recouvrements : 50 D minimum	A chaque passe ferrillée, avant projection	Visuel + mètre ruban
Treillis	Nature des aciers : 0 Recouvrements : 2 mailles	A chaque passe ferrillée, avant projection	Visuel
Projection			
Planimétrie du voile	P1: 1,5 cm sur règle de 2 m et 8 mm sur règle de 60 cm	A chaque couche de finition fraîchement projetée	Niveau + mètre ruban
Propreté de l'arase (si 1ère ceinture)	Coups de marteau sur aciers en attente + balayette	Après chaque nettoyage, après projection de finition, avant excavation de la ceinture inférieure	Visuel
Espacement et longueur des équerres	Espacement : 3 cm Recouvrements : 50 D minimum	A chaque passe inférieure ouverte et avant ferrailage de celle-ci	Mètre ruban
Réservations	Implantation et section : 3 cm	Pour chaque boîte posée	Mètre ruban
Vérification des performances mécaniques du béton projeté prévues		Ecrasement de 6 éprouvettes à partir de 2 caisses de béton (40 cm * 40 cm * 15 cm) 2 caisses au démarrage du chantier + 2 caisses tous les 100 m³ ou toutes les 2 semaines	5 jours après projection du béton, il est possible de carotter le voile projeté sur 15 cm.
Bêche	0 remaniement du terrain devant la bêche (si bêche avec butée)	Pour chaque bêche, si prise en compte de la butée	Visuel
Butonnage			
Position et écartement des butons	20 cm	Entre chaque buton posé	Mètre ruban
Serrage au refus (à la pelle ou au coin)	Refus à la masse	A chaque coin posé sauf si serrage à la pelle	Visuel

Exemple de plan de contrôle de l'entreprise de voiles par passes

GT du CFMS : Voiles par Passes

Perspectives



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

