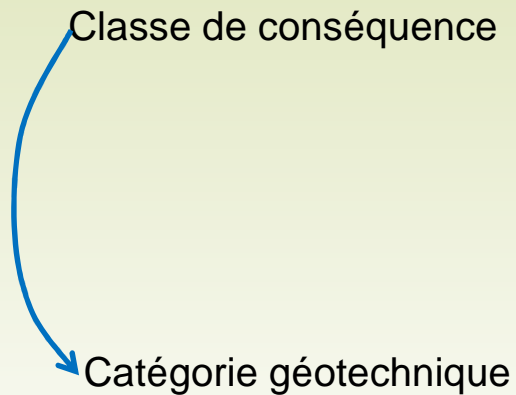


Justification des ouvrages géotechniques  
Normes d'application nationale de l'Eurocode 7  
NF P 94-270 - Les ouvrages en remblai renforcé

Fabien BORSELLINO

## Principes de base pour la conception d'un ouvrage en sol renforcé

- Connaissance et maîtrise des conditions de terrain.
- Connaissance des mécanismes de ruine de l'ouvrage
- A défaut de modèle de calcul fiable pour un EL particulier, possibilité de :
  - Mesures prescriptives;
  - Essais de chargement, ou essais sur des modèles ;
  - Méthode observationnelle

1<sup>ère</sup> étape: définir la classification de l'ouvrage

Classe de conséquences	Conséquences en termes sociaux, économiques ou d'environnement	
	... sur les personnes	... sur les ouvrages à construire ou les construction avoisinantes
CC1 (conséquences faibles)	faibles ou négligeables	faibles ou négligeables
CC2 (conséquences moyennes)	modérées	importantes
CC3 (conséquences élevées)	importantes	très importantes

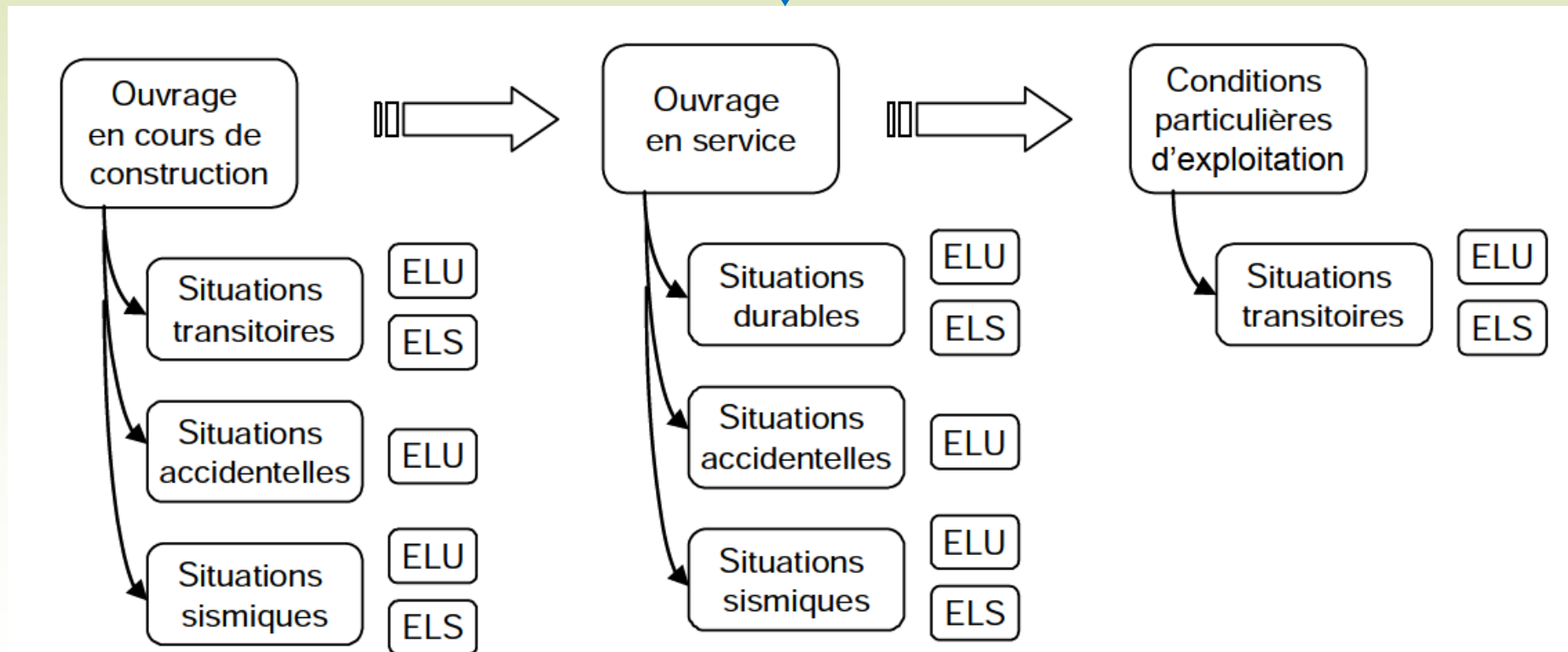
Classe de conséquence	Conditions de site	Catégorie technique	Bases des justifications
CC1	Simple et connues	1	Expérience et reconnaissance géotechnique qualitative admises
CC1	Complexes	2	Reconnaissance géotechnique et calculs nécessaires
CC2	Simple ou complexes		
CC3	Simple ou complexes	3	Reconnaissance géotechnique et calculs approfondis

## 2<sup>de</sup> étape: choix de la durée de vie de l'ouvrage

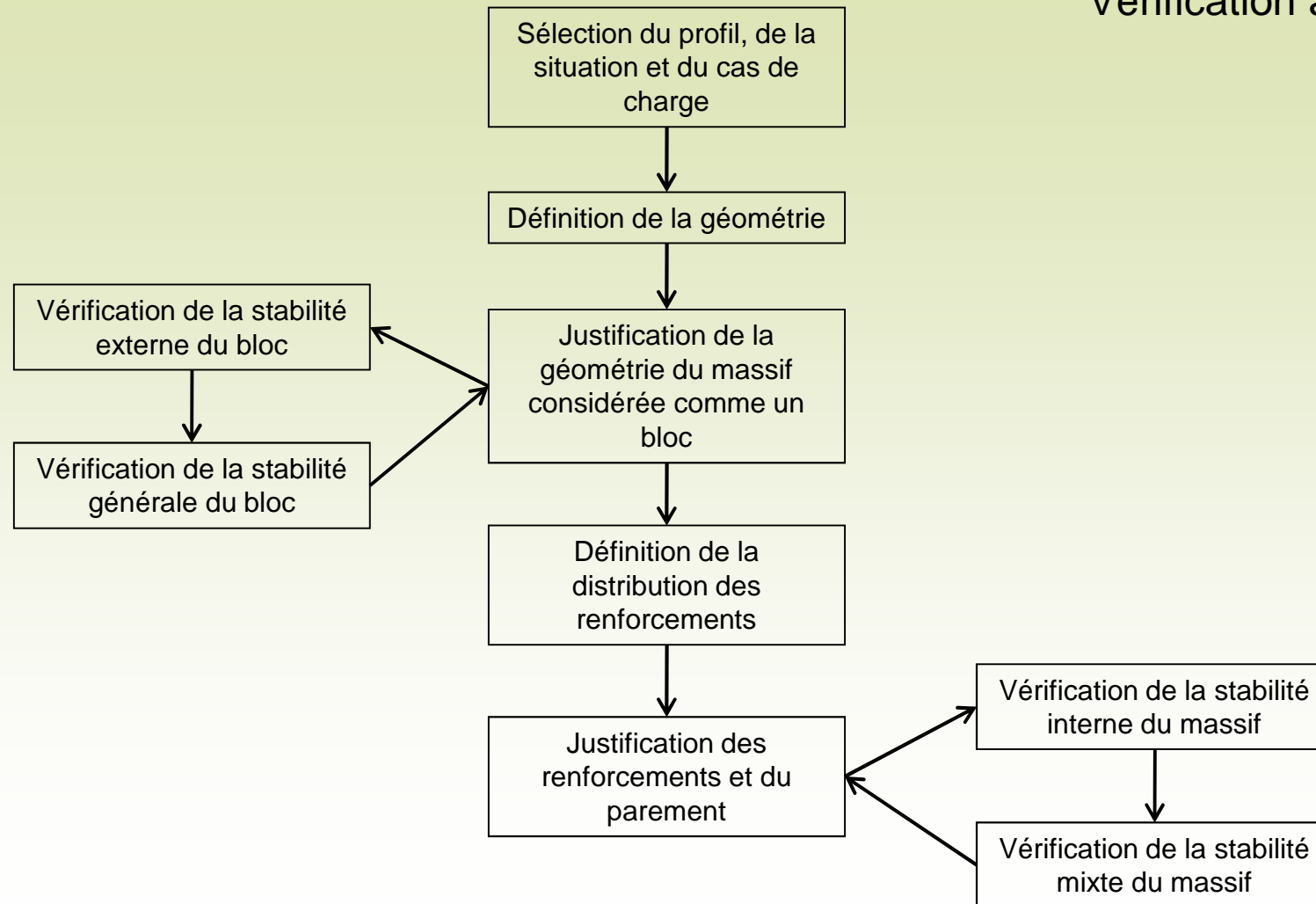
Catégorie de durée d'utilisation de projet	Durée indicative d'utilisation de projet	Exemples de projets de bâtiment et de génie civil	Exemples de projets de sol renforcé
1	10 ans	Structures provisoires	Ouvrages provisoires
2	25 ans	Éléments structuraux remplaçables (poutres de roulement, appareils d'appui)	
3	25 ans	Structures agricoles et similaires	Structures industrielles
4	50 ans	Structures courantes de génie civil et de bâtiments	Structures portuaires (murs de quai)
4/5	75 ans		Murs de soutènement routiers ordinaires
5	100 ans	Autres structures de génie civil, ponts et structures monumentales de bâtiments	Culées de pont

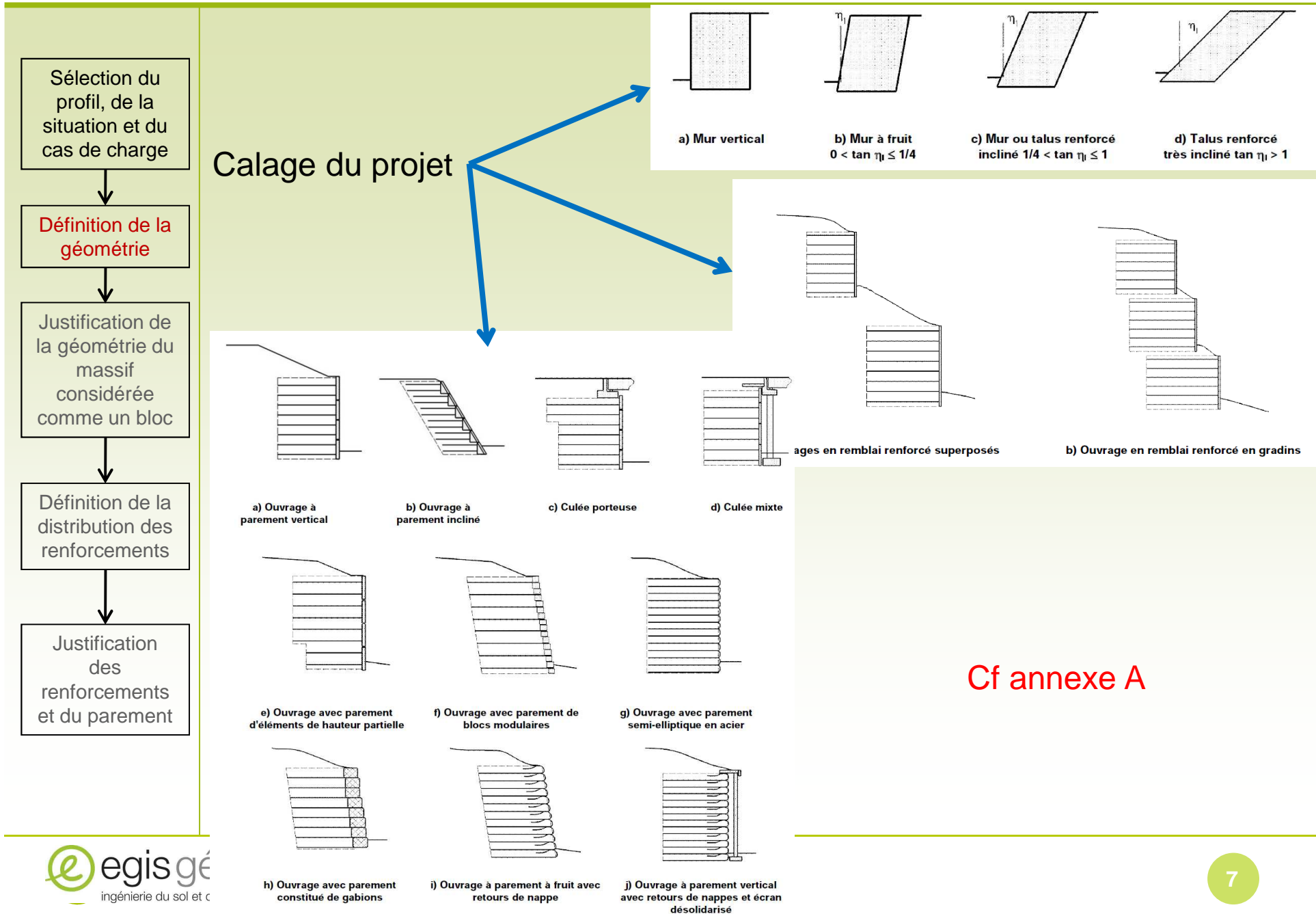
## Vérifications à mener

NF EN 1997-1



## Principe de justification de l'ouvrage Vérification à l'ELU





## Vérification de la stabilité externe

### glissement sur la base

Approche 2  
A1+M1+R2

Sélection du profil, de la situation et du cas de charge

Définition de la géométrie

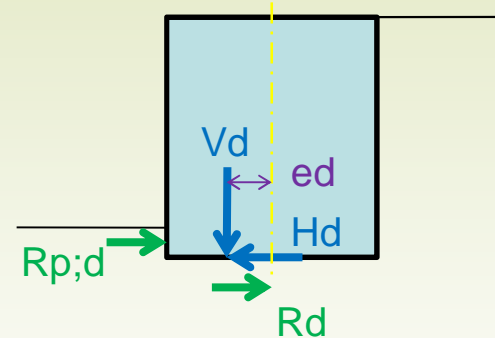
Justification de la géométrie du massif considérée comme un bloc

Vérification de la stabilité externe du bloc

Définition de la distribution des renforcements

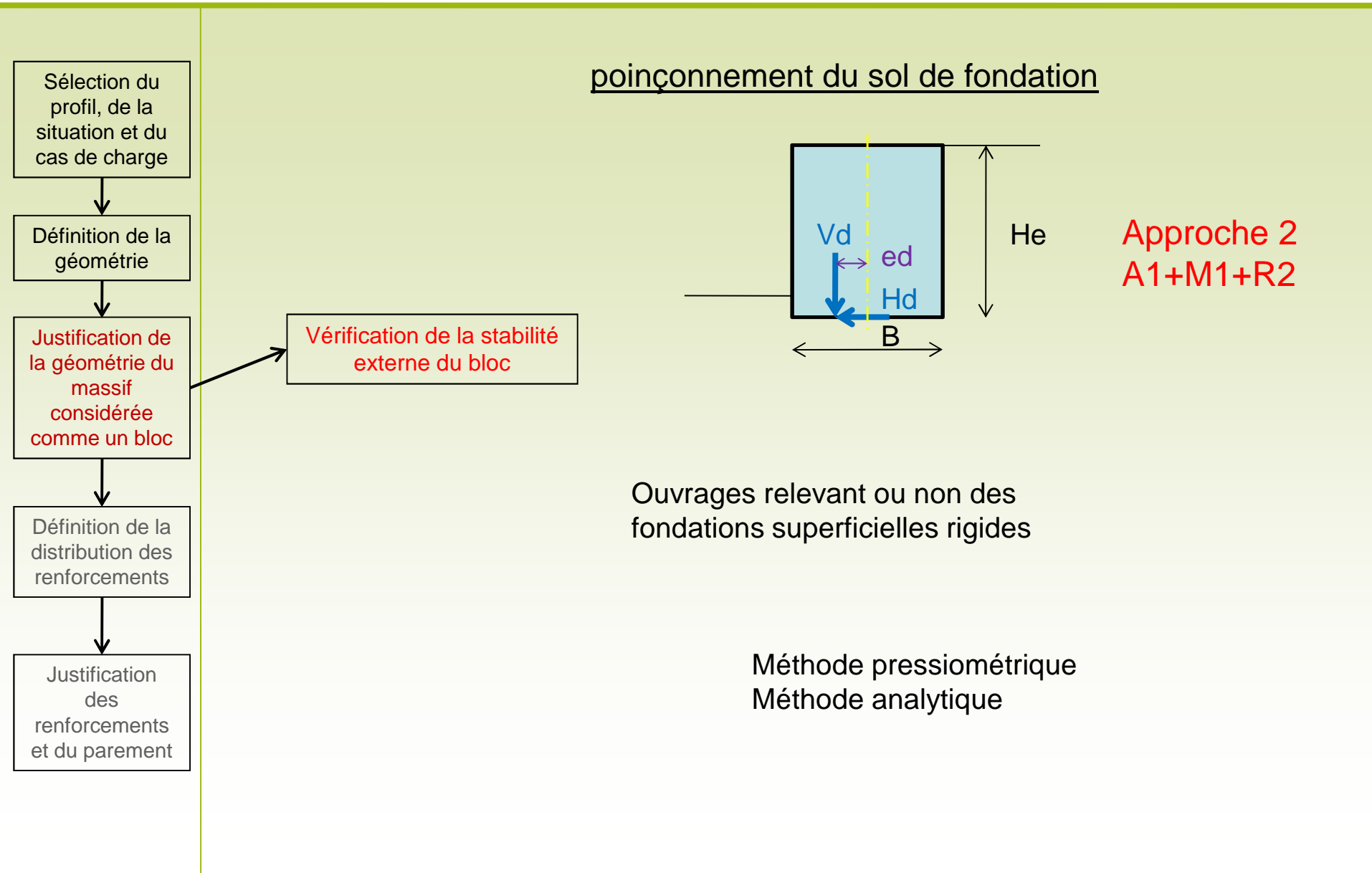
Justification des renforcements et du parement

$$H_d \leq R_d + R_{p;d}$$



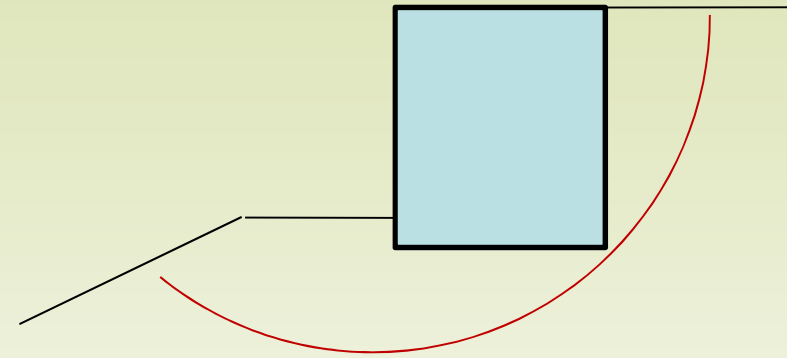
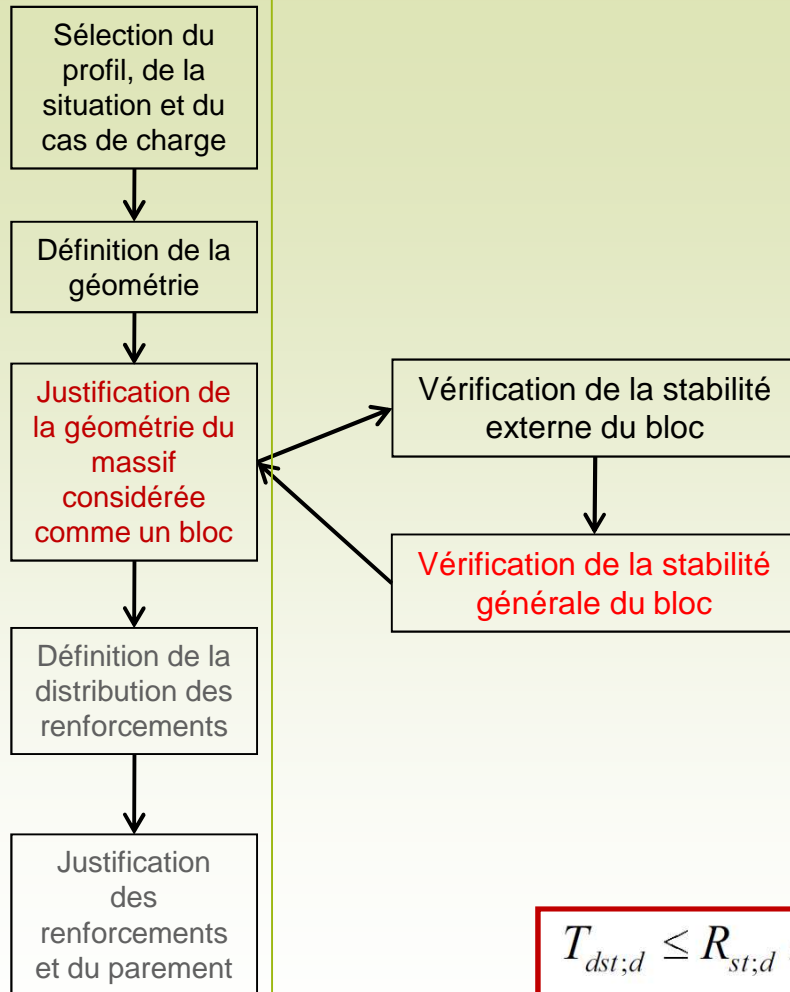
Cf annexe D





## Vérification de la stabilité générale

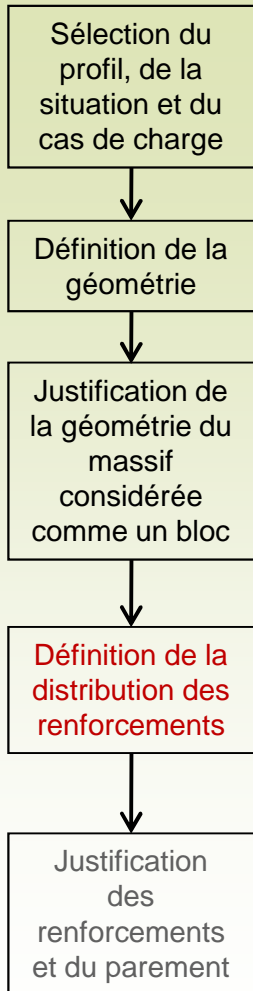
Approche 3  
A2+M2+R3



$$T_{dst;d} \leq R_{st;d} / \gamma_{R;d}$$

$\gamma_{R;d}$ : facteur partiel de modèle  
=mobilisation de la résistance au cisaillement du sol

## Choix du remblai



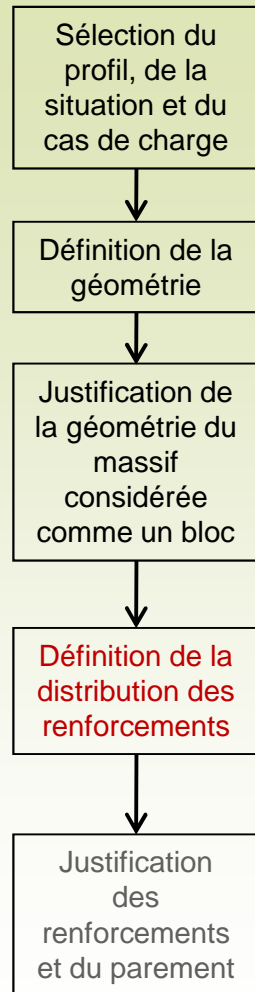
Classe	Classe 1	Classe 2
Type de remblai	Matériau drainant	Matériau granulaire
Ouvrage hors d'eau	36°	36°
Partie d'ouvrage au moins temporairement immergée	36°	30°

CLASSES DE MATÉRIAU DE REMBLAI		Classe 1	Classe 2		Classe 3		Classe 4	
		Matériau drainant	Matériau granulaire		Matériau intermédiaire		Sol fin	
	Caractéristiques géomécaniques	% pondéral inférieur à 80 µm	< 5 %	< 12 %	12 à 35 %	12 à 35 %	> 35 %	Autres
		% pondéral inférieur à 20 µm	n.a.	n.a.	< 10 %	> 10 %	< 40 %	
		Indice de plasticité IP	n.a.	n.a.	n.a.	< 25	< 25	
APPLICATIONS								
	Parties d'ouvrage exposées à des inondations et/ou à des décrues rapides	A	B	B	D	D	D	
	Structures supportant des culées de pont, des voies ferrées ou des bâtiments	A	A	B	C (a)	D	D	
	Murs en remblai renforcé de grande hauteur	A	A	B	B	D	D	
	Talus renforcés de grande hauteur	A	A	B	B	C (b)	C (b)	
	Murs et talus renforcés courants	A	A	A	B	C (c)	C (c)	

### NF EN 14475 (annexe A, informative)

Légende :  
 A : souvent utilisé  
 B : parfois utilisé  
 C : sujet à une étude particulière  
 D : non recommandé

## Choix des renforcements



- ⇒ Armatures de type métallique
- ⇒ Armatures de type polymère

- ⇒ Bandes
- ⇒ Barres
- ⇒ Armatures échelles
- ⇒ Treillis
- ⇒ Grillages
- ⇒ Grilles,
- ⇒ Nappes

## NF EN 14475 (annexe A, informative)

Sélection du profil, de la situation et du cas de charge



Définition de la géométrie



Justification de la géométrie du massif considérée comme un bloc



Définition de la distribution des renforcements

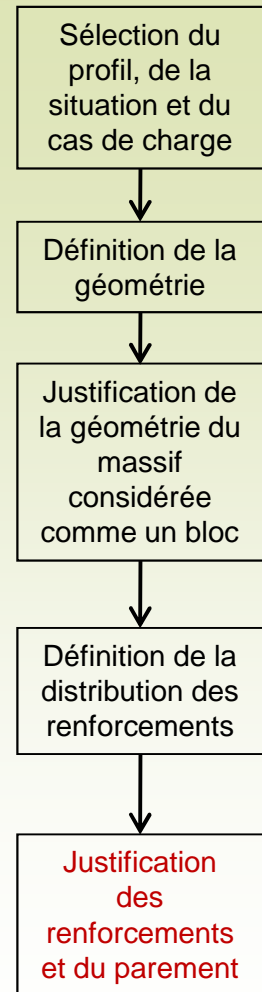


Justification des renforcements et du parement

CLASSES DE MATÉRIAU DE REMBLAI		Classe 1	Classe 2		Classe 3		Classe 4	
		Matériau drainant	Matériau granulaire		Matériau intermédiaire		Sol fin	
	Caractéristiques géomécaniques	% pondéral inférieur à 80 µm	< 5 %	< 12 %	12 à 35 %	12 à 35 %	> 35 %	Autres
		% pondéral inférieur à 20 µm	n.a.	n.a.	< 10 %	> 10 %	< 40 %	
		Indice de plasticité IP	n.a.	n.a.	n.a.	< 25	< 25	
RENFORCEMENT								
	Bandes ou barres rondes lisses (métalliques ou de polymère)	A	A	C (d)		D		
	Bandes ou barres rondes à haute adhérence, armatures-échelles (métalliques ou de polymère)	A	A	B	C (d)	D		
	Treillis, grillages, grilles, nappes (métalliques ou de polymère)	A	A	B	C (d)	D		
	Géotextiles drainants (à perméabilité horizontale)	B	A	A		C (b)		

Légende :  
 A : souvent utilisé  
 B : parfois utilisé  
 C : sujet à une étude particulière  
 D : non recommandé

## Vérification de la stabilité interne



### Résistance ultime d'interaction d'interaction sol/lit

$$R_{f;d} = \frac{\tau_{\max;k} P_s L_s}{\gamma_{M:f}}$$

- Cas des bandes de renforcement

$$\tau_{\max} = \mu_{(z)}^* \sigma_v$$

Classe Matériau	Type de remblai (suivant NF EN 14475, Annexe A)		
	1	2	3
	drainant	granulaire	intermédiaire

- Cas des treillis soudés (et échelles)

Remblai de type 1 (drainant) ou 2 (granulaire) hors d'eau, avec  $C_u > 2$  (suivant NF EN 14475, Annexe A)

- Cas des grillages de fil tressé

$$\tau_{\max} = \sigma_v C_{g_{i\varphi}} \tan \varphi'_{1;k}$$

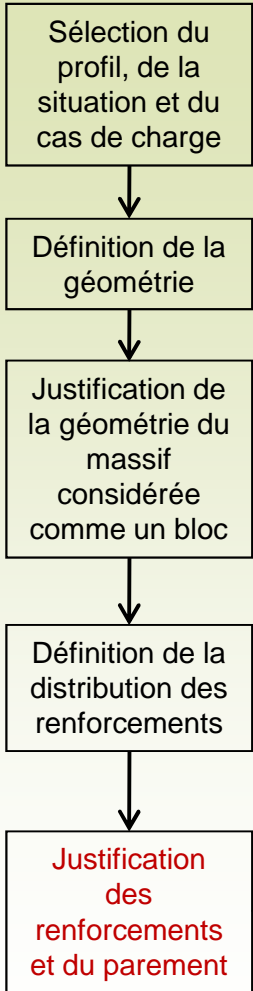
- Cas des nappes géosynthétiques

$$\tau_{\max} = \sigma_v C_{i\varphi} \tan \varphi'_{1;k}$$

Vérification de la stabilité interne du massif

**Résistance ultimes de traction**

$$R_{t;d} = \rho_{end} \rho_{flu} \rho_{deg} \frac{R_{t;k}}{\gamma_{M;t}}$$



•Cas des renforcements en acier linéaires



$$R_{t;dy} = \rho_{deg;y} \frac{S_0 f_y}{\gamma_{M0}}$$



$$R_{t;dr} = \rho_{deg;r} \frac{S_0 f_r}{\gamma_{M2}}$$

•Cas des renforcements en grillage de fil tressé

$$R_{t;d} = \rho_{end} \rho_{deg} \frac{R_{t;k}}{\gamma_{M;t}}$$

•Cas des renforcements en géosynthétiques (bandes et nappes)

$$R_{t;d} = \rho_{end} \rho_{flu} \rho_{deg} \frac{R_{t;k}}{\gamma_{M;t}}$$

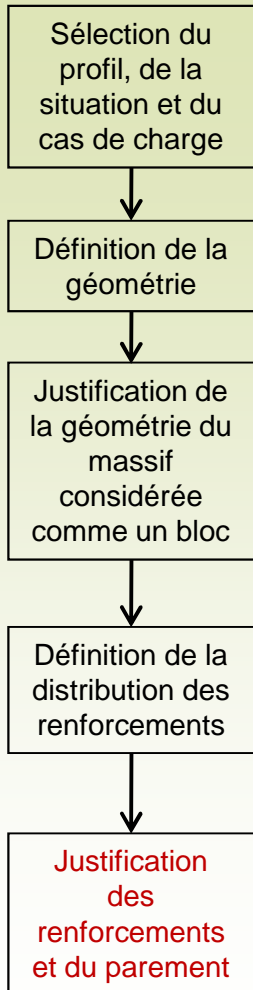
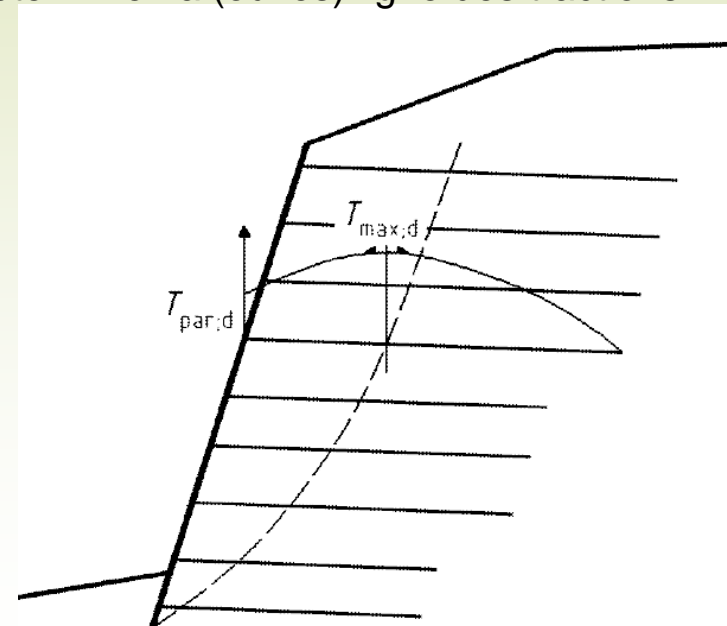
Vérification de la stabilité interne du massif

### Vérification de la stabilité interne

- Résistance structurelle des renforcements ;
- Résistance d'interaction sol / renforcement ;
- Résistance des dispositifs de liaison au parement ;
- Résistance structurelle du parement

Approche 2  
A1+M1+R2

Difficulté: déterminer la (ou les) ligne des tractions maximales

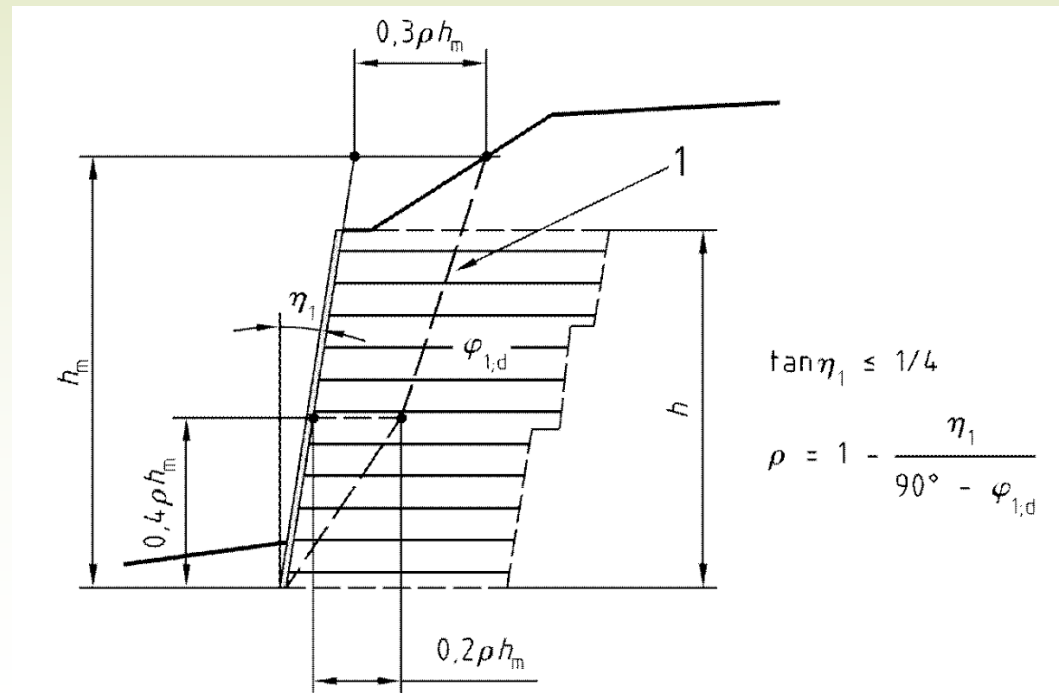
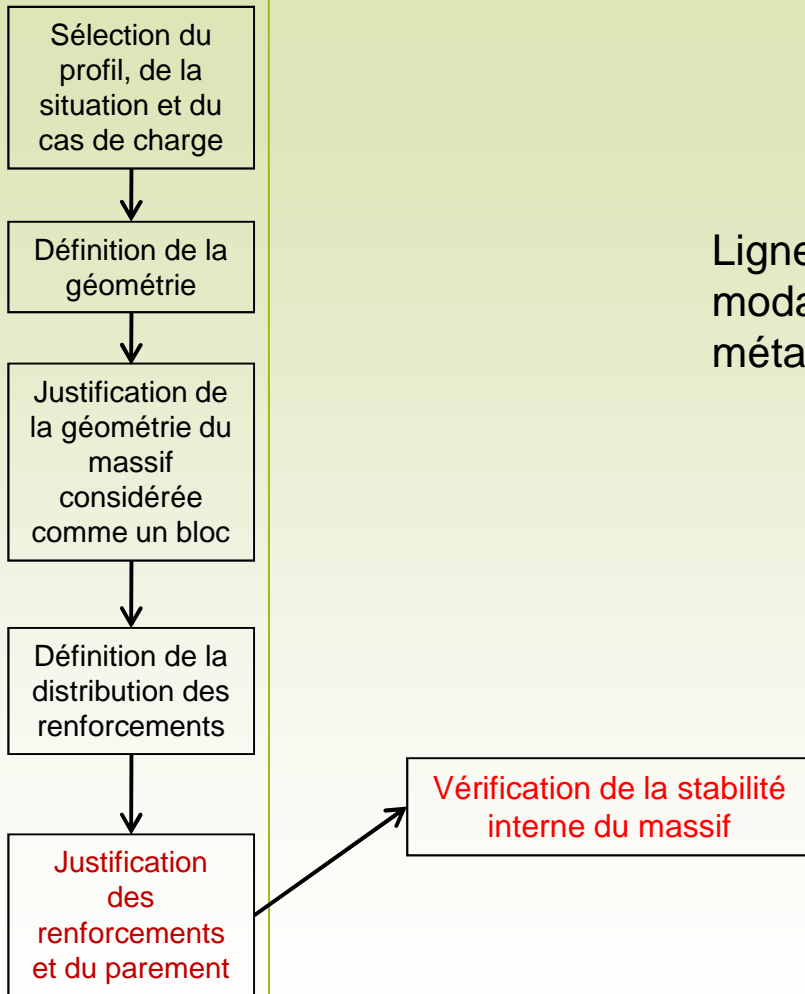


Vérification de la stabilité interne du massif



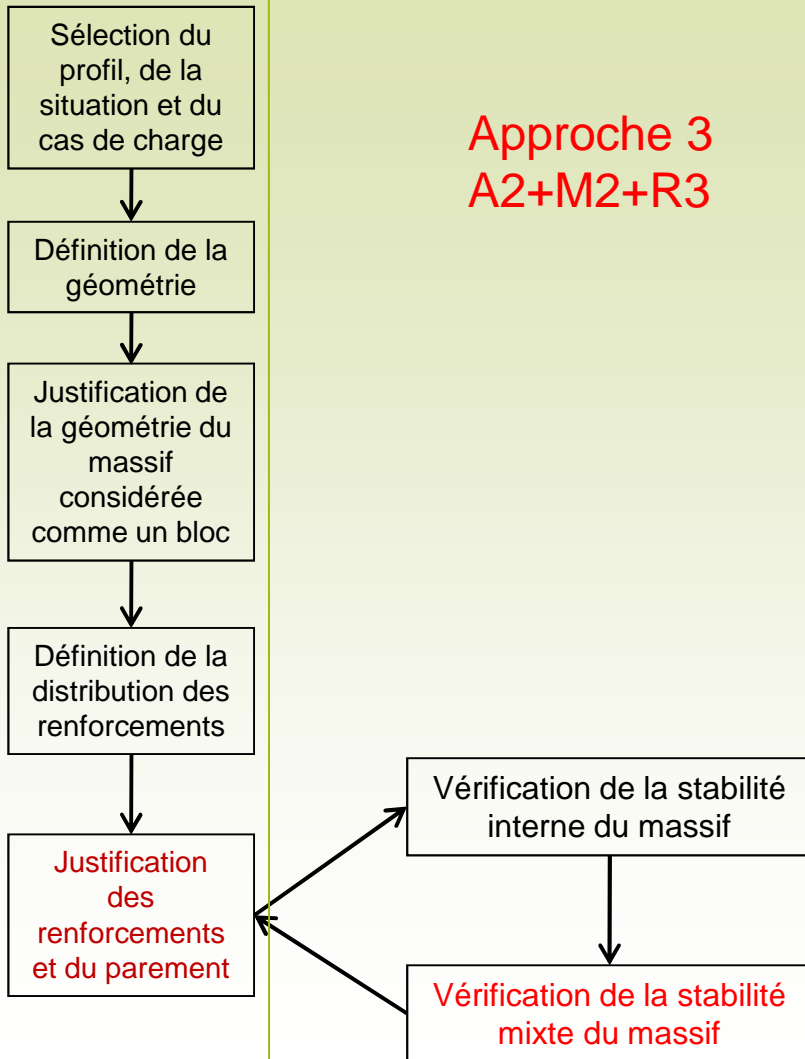
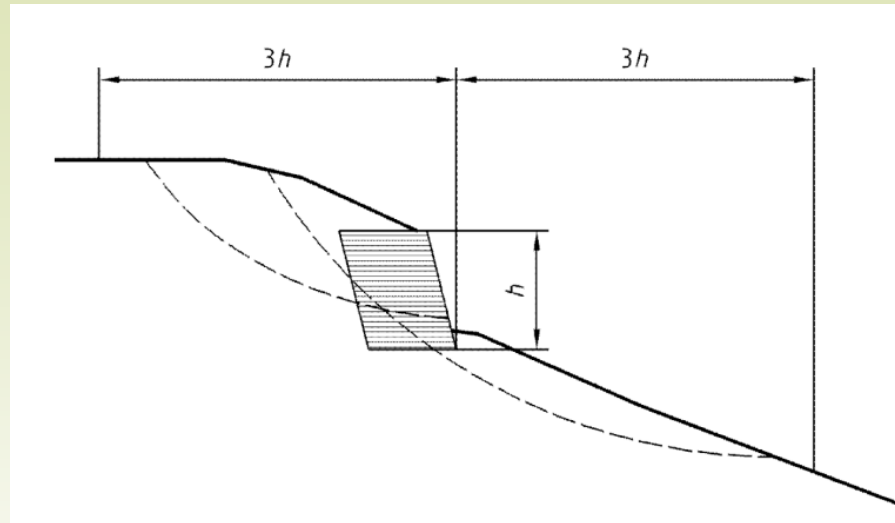
annexe E

Ligne des tractions maximales - Retour d'expérience et des modalisation des ouvrages renforcés par des armatures métalliques



## Vérification de la stabilité mixte

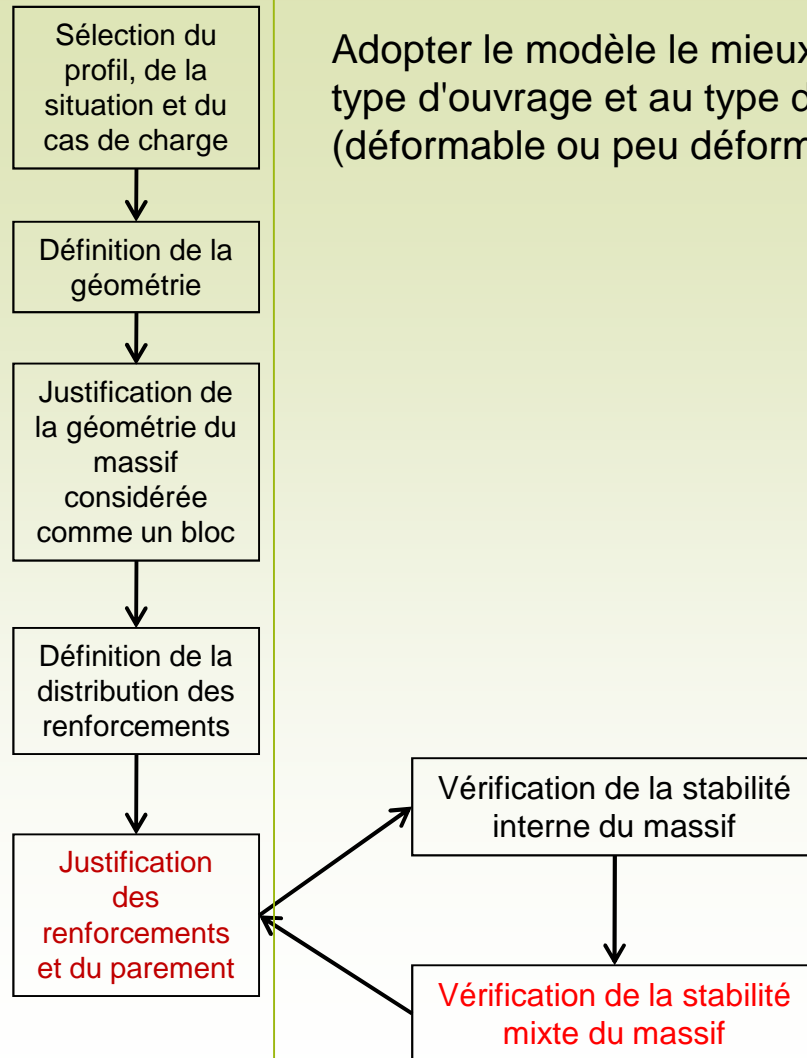
Approche 3  
A2+M2+R3



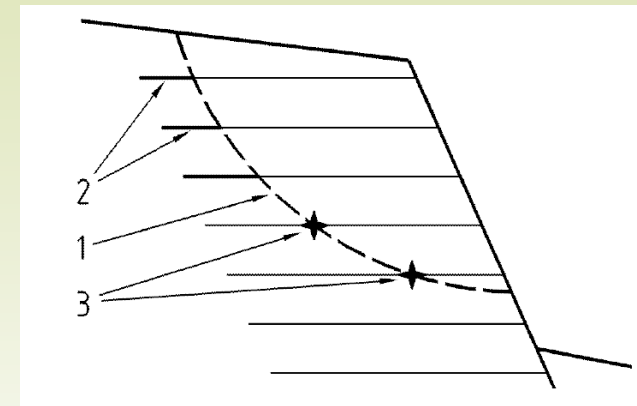
$$T_{dst;d} \leq R_{st;d} / \gamma_{R;d}$$

$\gamma_{R;d}$ : facteur partiel de modèle  
=mobilisation de la résistance au cisaillement du sol

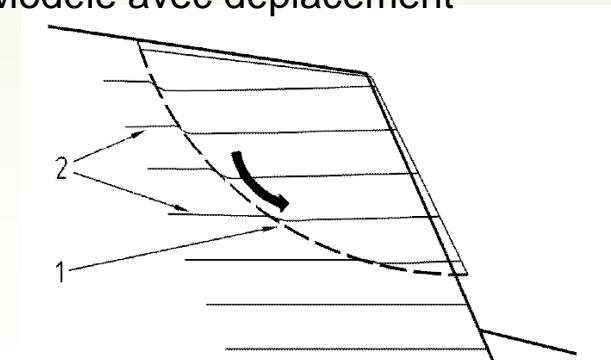
Adopter le modèle le mieux adapté au problème, au type d'ouvrage et au type de renforcement (déformable ou peu déformable).



•Modèle sans déplacement

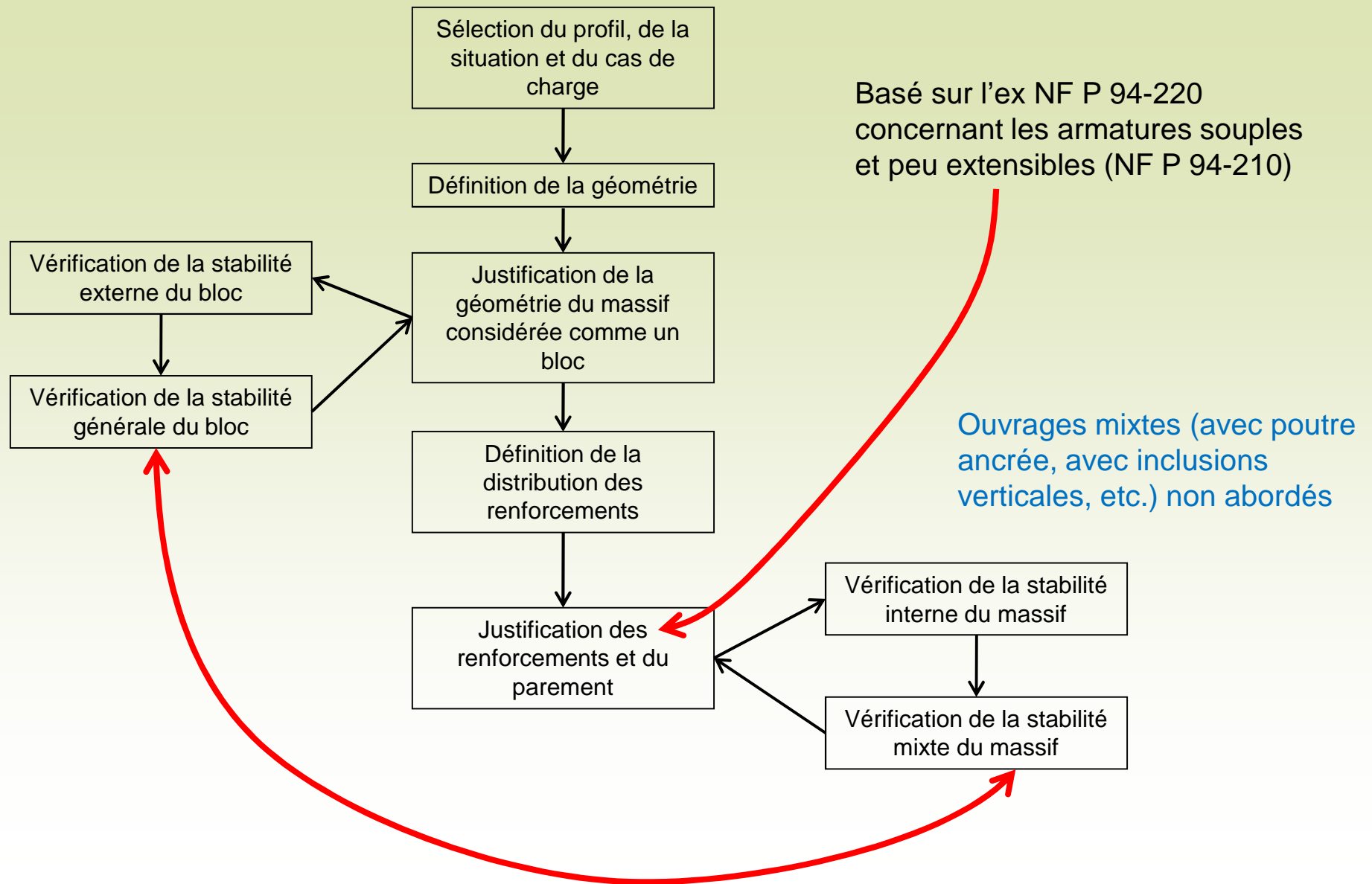


•Modèle avec déplacement



Légende

- 1 Mobilisation du cisaillement du sol
- 2 Mobilisation de l'interaction sol-renforcement
- 3 Mobilisation de la résistance de traction



## Principe de justification de l'ouvrage Vérification à l'ELS

Analyse des tassement, déplacement, distorsion angulaire

Analyse des déplacements de l'ouvrage en sol renforcé et ceux du terrain adjacent

## Recours à des modèles numériques

- Estimer les déplacements aux ELS (critères de déplacement sévères, géométrie inhabituelle)
- Analyser le comportement aux ELU des ouvrages (géométrie complexe, chargement inusités)
- Identifier et examiner des mécanismes particuliers de rupture
- Estimer l'effet de phases de construction spécifiques