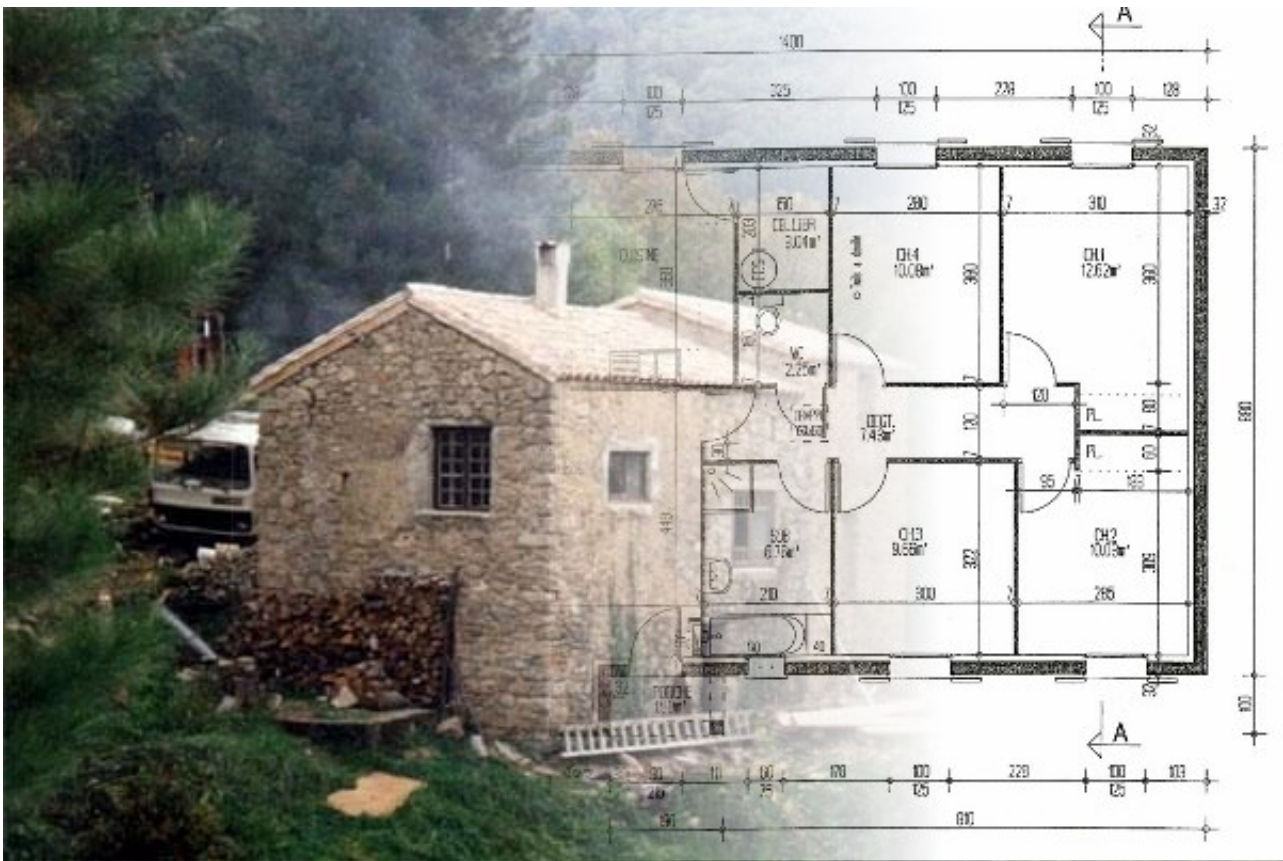


# Guide d'utilisation

## DIMAPIERRE-6



*Version 2*

**Avril 2016**

## SOMMAIRE

---

2	AVANT - PROPOS
3	RÈGLES DE CALCUL : EUROCODE 6 ET DTU 20.1
3	PRINCIPES DU CALCUL AUX ÉTATS LIMITES
4	SYMBOLES
6	CONDITIONS D'UTILISATION DE L'OUTIL
6	INSTALLATION
7	DOMAINE D'APPLICATION
8	LA PAGE « ACCUEIL »
11	ORGANISATION D'UNE FEUILLE DE CALCUL
13	LES MÉTHODES DE VÉRIFICATION
14	EXEMPLE N° 1 : MUR SOUMIS AU CHARGEMENT VERTICAL
19	EXEMPLE N° 2 : MUR SOUMIS AU CHARGEMENT LATÉRAL
22	EXEMPLE N° 3 : MUR SOUMIS AUX CHARGES COMBINÉES
27	EXEMPLE N° 4 : MUR SOUMIS À DES CHARGES CONCENTRÉES
31	EXEMPLE N° 5 : MUR SOUMIS AU CISAILLEMENT
34	EXEMPLE N° 6 : ÉTUDE D'UN LINTEAU
37	ANNEXES
40	FORMATION PROPOSÉE PAR LE CTMNC

## AVANT - PROPOS

---

L'outil d'aide DIMAPIERRE-6 vise à encourager la construction en pierre naturelle de maisons individuelles ou de petits collectifs en facilitant leur opération de dimensionnement. Il permet à quiconque disposant d'un minimum de connaissances de vérifier en peu de manipulations la résistance d'un mur en pierre vis-à-vis d'une sollicitation extérieure.

Il a été développé au sein du département Roches Ornamentales et de Construction (ROC) du **Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction (CTMNC)** et est librement mise à disposition des bureaux d'études, entreprises ou maîtrises d'œuvre désireux de se familiariser avec les deux textes de calcul des maçonneries en pierre applicables en France : le DTU 20.1 et l'Eurocode 6.

À noter que le DTU 20.1 est en cours de révision à la date de rédaction de ce document pour être rendu compatible avec l'EC6.

L'outil DIMAPIERRE-6 est régulièrement mis à jour. Le fichier disponible en téléchargement est toujours la dernière version disponible. La version utilisée est indiquée à l'ouverture du fichier et dans le nom du fichier lui-même.

## RÈGLES DE CALCUL : EUROCODE 6 ET DTU 20.1

---

La méthode de calcul donnée dans le DTU 20.1 est de type calcul aux contraintes admissibles, basé sur l'application d'un coefficient de sécurité global tenant compte à la fois des incertitudes sur des actions et de la résistance de matériaux. Au regard de la grande diversité des éléments de maçonneries, l'Eurocode 6 établit un classement en quatre groupes distincts qui se base sur la géométrie de leurs éventuels évidements.

**La pierre, en tant qu'élément plein fait partie de la catégorie II du groupe n° 1.**

La première catégorie regroupe les éléments dont la résistance à la compression est déclarée avec une probabilité de 5% de ne pas atteindre cette valeur avec un séchage des éprouvettes à l'air ambiant, (niveau de confiance de 95%). Le niveau d'exigence étant plus faible pour des éléments de catégorie II, il sera compensé par une valeur de confiance  $\gamma_m$  plus élevée.

## PRINCIPES DU CALCUL AUX ÉTATS LIMITES

---

On distingue :

- État Limite Ultime (ELU) qui consiste à vérifier que les ouvrages ne subissent pas de déformation irréversible sous les charges, et qu'elles ne présentent pas de dégradation. Les calculs sont basés sur des différentes combinaisons des actions ;

- État Limite de Service (ELS) qui consiste à vérifier que leur déformation élastique reste compatible avec les conditions de fonctionnement. Les calculs sont définis sur la bases de valeurs de performances de l'ouvrage attendues.

Dans le cadre de l'EC6, les vérifications sont faites selon l'ELU.

## SYMBOLES

$A_b$  = aire d'appui

$A_{ef}$  = aire d'appui utile

$d$  = hauteur effective d'une poutre

excentricité = rapport entre le moment dû aux charges et l'effort normal dans le plan moyen du mur

$e_a$  = centre de gravité

$e_{init}$  = excentricité initiale

$e_{he}$  = excentricité au sommet où à la base d'un mur, sous l'effet des charges horizontales

$e_{hm}$  = excentricité à mi-hauteur d'un mur, sous l'effet des charges horizontales

$e_m$  = excentricité due aux charges

$e_{mk}$  = excentricité au mi-hauteur du mur

$f_b$  = résistance moyenne normalisée à la compression d'un élément de maçonnerie

$f_d$  = résistance à la compression dans la maçonnerie dans la direction prise en considération

$f_m$  = résistance à la compression du mortier de montage

$f_k$  = résistance caractéristique à la compression de la maçonnerie

$f_{vk}$  = résistance caractéristique au cisaillement de la maçonnerie

$f_{vd}$  = résistance au cisaillement de la maçonnerie

$f_{vk0}$  = résistance caractéristique initiale au cisaillement de la maçonnerie, en absence de contrainte de compression

$f_{xd1}$  = résistance à la flexion de la maçonnerie dont le plan de rupture est parallèle au lit de pose

$f_{xd2}$  = résistance à la flexion de la maçonnerie dont le plan de rupture est perpendiculaire au lit de pose

$f_{xd1,app}$  = résistance à la flexion apparente de la maçonnerie dont le plan de rupture est parallèle au lit de pose

$f_{xk1}$  = résistance caractéristique à la flexion de la maçonnerie dont le plan de rupture est parallèle au lit de pose

$f_{xk2}$  = résistance caractéristique à la flexion de la maçonnerie dont le plan de rupture est perpendiculaire au lit de pose

$f_{vlt}$  = valeur limite de  $f_{vk}$

$h$  = hauteur libre du mur

$h_{ef}$  = hauteur effective du mur

$k$  = rapport entre la résistance latérale d'un mur portant dans le sens vertical et la résistance latérale d'un mur de surface réelle, tenant compte du maintien éventuel des bords

$L$  = longueur du mur

$l_{ef}$  = portée effective d'une poutre de maçonnerie

$l_c$  = longueur de la partie du mur soumise à la compression

$l_{efm}$  = longueur effective d'un appui à mi-hauteur d'un mur

$M_{id}$  = valeur du moment fléchissant au sommet ou en pied du mur

$M_{md}$  = valeur du plus grand des moments à mi-hauteur du mur

$M_{Rd}$  = valeur du moment résistant

$M_{Ed}$  = valeur du moment appliqué au mur de maçonnerie

$M_{Ed1}$  = valeur du moment appliqué lorsque le plan de rupture est parallèle au lit de pose, dans la direction  $f_{xk1}$

$M_{Ed2}$  = valeur du moment appliqué lorsque le plan de rupture est perpendiculaire au lit de pose, dans la direction  $f_{xk2}$

$N_{Ed}$  = valeur de la charge verticale

$N_{Ed,h}$  = effort vertical normal descendant du mur supérieur (appliqué à mi-longueur)

$N_{Ed,m}$  = effort vertical normal descendant du mur supérieur (par rapport au centre de gravité  $e_a$ )

$N_{Edu}$  = charge appliquée par le mur supérieur

$N_{Edc}$  = valeur d'une charge verticale concentrée

$N_{Edf}$  = valeur de la charge appliquée par un plancher

$N_{Rdc}$  = valeur de la résistance de la maçonnerie aux charges verticales concentrées d'un mur

$N_{id}$  = valeur de la charge verticale au sommet ou en pied de mur ou d'un poteau

$N_{md}$  = valeur de la charge verticale à mi-hauteur d'un mur ou d'un poteau

## SYMBOLES

---

$t$  = épaisseur d'un mur

$t_{ef}$  = épaisseur effective d'un mur

$W_{Ed}$  = charge latérale par unité de surface

$V_{Ed}$  = valeur d'un effort tranchant

$V_{Rd}$  = valeur de la résistance au cisaillement

$Z$  = module d'inertie de la section d'une unité de hauteur ou de longueur de mur

### LETTRES GRECQUES

$\alpha_{1,2}$  = coefficient du moment fléchissant

$\delta_p$  = coefficient de conditionnement pour la conversion de la résistance à la compression en résistance à la compression normalisée

$\delta$  = facteur de forme multiplicateur, utilisé pour convertir une résistance à la compression des éléments de maçonnerie séchés à l'air en résistance à la compression normalisée

$\beta$  = facteur de majoration pour les charges concentrées

$\lambda_c$  = élancement du mur pour lequel les excentricités dues au fluage peuvent être négligées

$\gamma_f$  = coefficient partiel de sécurité pour les actions variables

$\gamma_m$  = coefficient partiel lié à la propriété du matériau

$\gamma_G$  = coefficient partiel de sécurité pour les actions permanentes

$\gamma_Q$  = coefficient partiel de sécurité pour les actions d'exploitation

$\phi_i$  = coefficient de réduction au sommet ou à la base (pied) du mur

$\phi_m$  = coefficient de réduction à mi-hauteur du mur

$\mu$  = rapport entre les résistances, orthogonales entre elles, à la flexion de la maçonnerie

$\sigma_d$  = contrainte de compression



## DIMAPIERRE-6 Version 2

### Outil d'aide au dimensionnement des maçonneries en pierre naturelle selon l'EUROCODE 6

#### CONDITIONS D'UTILISATION DE L'OUTIL

---

L'outil de calcul DIMAPIERRE-6 est fourni gratuitement sans aucune responsabilité du CTMNC. L'utilisateur n'est pas autorisé à développer ou modifier cet outil de calcul.

Tous les droits de cet outil sont réservés.

Il n'a pas non plus le droit de le commercialiser.

Le CTMNC ne donne aucune garantie, explicite ou implicite, à l'utilisateur des résultats donnés par cet outil de calcul, et n'accepte aucune responsabilité pour son exploitation.

L'utilisateur assume l'entière responsabilité dans la détermination de l'utilisation appropriée dans chaque cas de vérification et pour toutes conclusions tirées des résultats de son exploitation. Dimapierre-6 ne fournit qu'une note de pré-dimensionnement qui donne un ordre de grandeur de résultats de vérification obtenues ; tous les résultats devront être évalués par un utilisateur compétent et habilité.

#### INSTALLATION

---

L'outil de calcul DIMAPIERRE-6 se présente sous la forme d'un fichier Excel (version 2010) utilisant des macros programmées en langage VBA. Vous devez donc autoriser l'exécution des macros dans votre logiciel Excel pour utiliser DIMAPIERRE-6.

Si aucun message ne s'est affiché à l'ouverture du fichier, ou que vous n'êtes pas sûr que l'exécution des macros ait été autorisée sur votre ordinateur, veuillez taper les mots-clés suivants « activer les macros » sans les guillemets dans l'outil d'Aide disponible sur votre logiciel et suivre les instructions.

Une fois téléchargé, enregistrez le fichier dans n'importe quel répertoire de votre ordinateur. Il est prêt à être utilisé.

## DOMAINE D'APPLICATION

---

L'outil DIMAPIERRE-6 est destiné à simplifier le dimensionnement selon l'EC6 des maçonneries en pierre naturelle aux états limites ultimes (ELU).

Utilisable au stade du pré-dimensionnement ou de l'exécution, il permet en quelques opérations simples d'éditer une note de calcul complète de vérification de la résistance d'un mur de maçonnerie en pierre vis-à-vis d'une sollicitation extérieure. Il ne dispense pas l'utilisateur de la vérification de la stabilité globale du bâtiment qui doit faire l'objet d'une étude non prise en charge ici.

Seules les maçonneries non armées peuvent être étudiées par DIMAPIERRE-6.

Les maçonneries armées et les maçonneries confinées ne sont pas prises en charge par l'outil. Le présent document ne traite pas des prescriptions particulières du calcul au séisme. Les dispositions à prendre vis-à-vis de telles prescriptions sont données par l'Eurocode 8, qui est cohérent avec l'Eurocode 6 et le complète.

Les cas de chargement suivants sont utilisables :

- Mur soumis principalement au chargement vertical ;
- Mur soumis principalement au chargement latéral ;
- Mur soumis aux charges combinées ;
- Mur soumis aux charges concentrées ;
- Mur soumis au cisaillement ;
- Étude d'un linteau.

Le référentiel normatif comprend l'EN 1996 Partie 1 et ses annexes nationales françaises (EC6), ainsi que les normes européennes NF EN 772-1 et NF EN 771-6.

#### LA PAGE « ACCUEIL »

La page « Accueil » est peut-être la page dont la spécificité au matériau pierre naturelle est la plus forte. C'est ici que vous paramétrez les éléments du mur dont vous voulez vérifier la résistance, à savoir les caractéristiques de la pierre utilisée pour le projet et du mortier. Elle constitue le point de départ obligé vers les feuilles de calcul : veillez à la remplir correctement avant de procéder à une vérification de résistance.

C'est la feuille apparaissant systématiquement à l'ouverture du fichier. Elle s'organise en 4 sections.

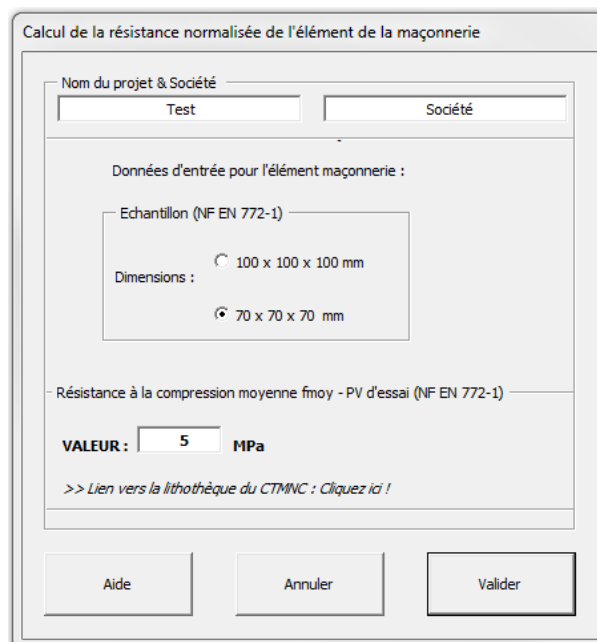
À gauche de chacune de ces sections sont récapitulées les données d'entrée à renseigner en cliquant sur le bouton correspondant, à droite sont affichées les données de sortie qui constituent le résultat d'un traitement et qui servent pour la suite.

L'objectif de la feuille « Accueil » est d'aboutir dans un premier temps à la résistance caractéristique de la maçonnerie définie, puis une fois celle-ci connue de choisir la méthode de vérification avec laquelle on veut travailler (par exemple un mur soumis au cisaillement). La liaison vers la feuille de calcul correspondante se fait de manière automatique.

Pour vous aider dans les étapes à franchir, un code couleur a été mis en place sur cette feuille : si les différents encarts colorés sont tous verts, les paramètres ont été correctement définis et vous pouvez passer à l'étape suivante (choix de la méthode de vérification). Si un des encarts est rouge, il vous faut définir les paramètres en cliquant sur le bouton de la section correspondante.


#### 1<sup>ère</sup> PARTIE : CARACTÉRISTIQUES DE LA PIERRE

Une bonne connaissance des normes NF EN 772-1 et NF EN 771-6 est requise pour cette section. Cliquez sur le bouton « Définition de l'élément de maçonnerie en pierre naturelle » : une fenêtre apparaît, vous demandant tout d'abord de renseigner le nom du projet dans l'encart « Nom du projet » et le nom de la société dans l'encart « Société ». Vous devez ensuite saisir dans l'encart suivant « Données d'entrée pour l'élément maçonnerie » les dimensions des éprouvettes testées : 100 x 100 x 100 mm ou 70 x 70 x 70 mm. Dans l'encart suivant nommé « Résistance à la compression moyenne  $f_{moy}$  », la valeur de cette résistance est demandée. Un lien vers la base de données du CTMNC (lithoscope) vous aidera pour définir cette dernière à partir du nom de la pierre.






### LA PAGE « ACCUEIL »



**APPLICATION DIMAPIERRE-6**  
 Outil d'aide au dimensionnement des maçonneries en pierre naturelle selon l'Eurocode 6  
Version 2 (18.04.2016)



PROJET : Test

SOCIÉTÉ : Société

DATE : 25/04/2016

*Résistance normalisée moyenne de la maçonnerie*

**$f_b = 3,76$  MPa**

**1/ CARACTÉRISTIQUES DE LA PIERRE**

Définition de l'élément maçonnerie en pierre naturelle

**2/ CARACTÉRISTIQUES DU MORTIER ET DES JOINTS**

Caractéristiques du mortier et des joints

*Résistance à la compression du mortier de montage*

**$f_m = 5$  MPa**

**3/ RÉSISTANCE CARACTÉRISTIQUE DE LA MAÇONNERIE**

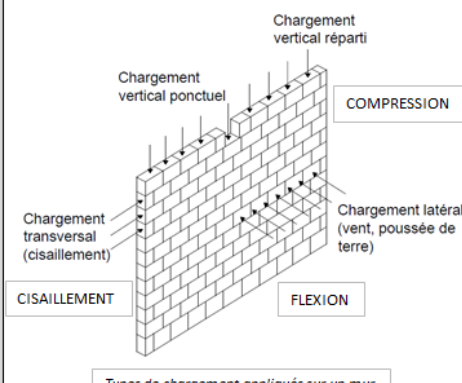
Calcul de la résistance caractéristique de la maçonnerie

**$f_k = 1,84$  MPa**

**4/ CHOIX DU CALCUL**

- >> Mur soumis principalement au chargement vertical
- >> Mur soumis principalement au chargement latéral
- >> Mur soumis aux charges combinées
- >> Mur soumis aux charges concentrées
- >> Mur soumis au cisaillement
- >> Etude d'un linteau

Note EC6



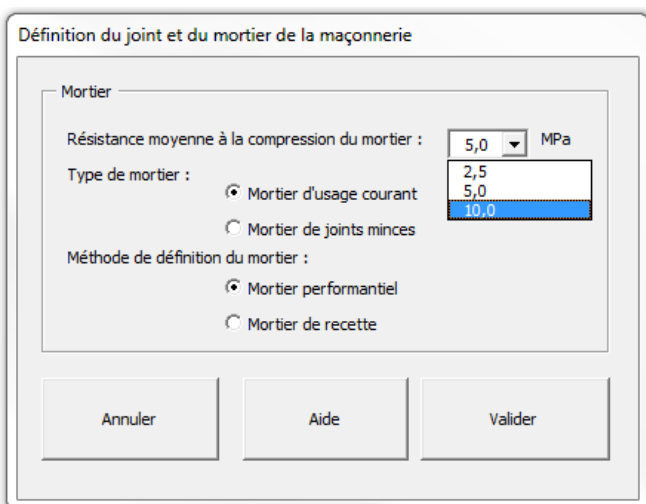
*Types de chargement appliqués sur un mur*

## LA PAGE « ACCUEIL »

Une fois les informations rentrées, cliquez sur le bouton « Valider » : elles seront enregistrées et récapitulées dans la section correspondante de la feuille « Accueil ». Autrement, cliquez sur « Annuler » pour ne rien modifier.

### 2<sup>ème</sup> PARTIE : CARACTÉRISTIQUES DU MORTIER ET DES JOINTS

Cliquez sur le bouton « Caractéristiques du mortier et des joints ». Une fenêtre apparaît vous demandant de renseigner les caractéristiques du mortier et des joints. Une fois vos données rentrées, cliquez sur « Valider » pour enregistrer ou « Annuler » pour annuler. Vous pouvez également cliquer sur le bouton Aide (ça vous aidera à spécifier le type de mortier en cohérence avec le DTU 20.1).



### 3<sup>ème</sup> PARTIE : RÉSISTANCE CARACTÉRISTIQUE DE LA MAÇONNERIE

Cette section vous permet de calculer la résistance caractéristique de la maçonnerie à partir des données renseignées dans les sections précédentes.

L'encart où est affichée la résistance caractéristique à la compression  $f_k$  se colorie en vert et le résultat du calcul apparaît.

### 4<sup>ème</sup> PARTIE : CHOIX DU CALCUL

Dans cette section, vous pouvez choisir le type de mur à vérifier en cliquant sur différents boutons, soit pour un cas général soit pour un cas complexe de charges combinées de flexion et de compression.

Une fois choisi votre mur à vérifier, la feuille « Accueil » sera automatiquement remplacée par la feuille de calcul correspondante.

Un bouton « Note EC6 » situé juste à côté est également disponible et pourra vous fournir quelques explications complémentaires sur le déroulement des opérations.

Les feuilles de calcul sont toutes verrouillées à la modification : cela signifie que vous ne pouvez pas changer le contenu des cellules. Les seules interactions possibles avec l'outil DIMAPIERRE-6 sont rendues possibles par l'intermédiaire de boutons cliquables. Ces boutons cliquables vous permettent d'afficher des fenêtres et d'y renseigner différentes informations (des dimensions, des valeurs d'effort, etc.), qui sont ensuite enregistrées et retranscrites automatiquement vers la feuille de calcul correspondante.

### ORGANISATION D'UNE FEUILLE DE CALCUL

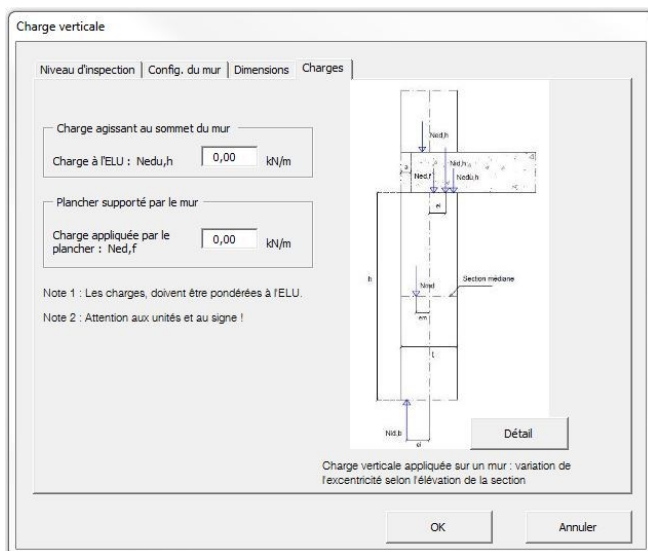
Dans cette nouvelle fenêtre, ils apparaissent dans des sous-ensemble les hypothèses de calcul à choisir selon le type de mur choisi.

Le premier bouton intitulé « Paramètres » fait apparaître une fenêtre avec des cases à remplir ou des options à définir. Il est important de vérifier que toutes les cases et toutes les options de tous les onglets sont remplies conformément aux hypothèses de votre étude. Quand vous avez terminé de renseigner toutes les informations nécessaires, cliquez sur OK : les hypothèses seront enregistrées et seront récapitulées dans l'encart correspondant de la feuille de calcul, vous autorisant une dernière vérification. S'il y a un erreur, recommencez en re cliquant sur le bouton « Paramètres », sinon vous pouvez cliquer sur le bouton « Accueil » et revenir à votre point de départ.


Le sous-ensemble suivant est l'endroit où les résultats du calcul sont affichés. Le calcul ne peut se lancer qu'une fois les paramètres du calcul bien définis en cliquant sur le bouton « Lancer la vérification ». Si un élément n'a pas été correctement défini, un message d'erreur apparaîtra vous demandant de cliquer sur le bouton « Paramètres » et de corriger.

Pour certaines hypothèses choisies, des fenêtres informatives selon certaines valeurs de l'Eurocode 6 vont s'afficher automatiquement. Des valeurs données par des essais (à la flexion et au cisaillement) ne sont pas prises en compte par Dimapierre-6.


Le calcul se lancera donc et les résultats apparaîtront de façon quasi-immédiate. Un bandeau de couleur conclut la vérification en bas de la feuille : il sera de couleur verte si la résistance du mur est suffisante, rouge sinon. Le bouton suivant « Éditer la note de calcul » vous permettra de lancer en un clic une note de pré-dimensionnement avec tous les données précédemment renseignés concernant le mur que vous venez de vérifier. Vous pouvez toujours revenir en arrière en cliquant sur le bouton « Accueil » et recalculer votre mur selon différents hypothèses.

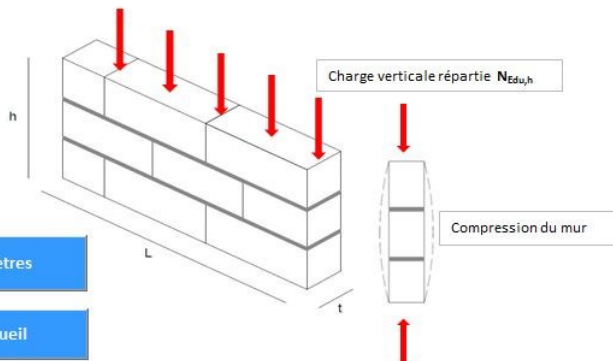


### ORGANISATION D'UNE FEUILLE DE CALCUL



**MUR SOUMIS PRINCIPALEMENT AU CHARGEMENT VERTICAL**  
 Méthode générale de l'EN 1996 -1-1  
*Feuille de calcul*





Paramètres
<< Accueil

**HYPOTHÈSES DE CALCUL**

Mur en tête / en pied	-	$N_{Ed,u,h}$ (kN/m)	-
Plancher	-	$N_{Ed,M}$ (kN/m)	-
Liste de liaisons <sup>(1)</sup>	-	$N_{Ed,f}$ (kN/m)	-
$t_{ef}$ (m)	-	(1) Par exemple : {0,1,2,0} signifie que le côté N°1 est encastré (0), le N°2 est appuyé simplement (1), le N°3 est libre (2), et le N°4 est encastré (0). (2) $p$ = coefficient de réduction (3) $h_{ef} = p \times h$	
$\rho$ <sup>(2)</sup>	-		
$h_{ef}$ <sup>(3)</sup> (m)	-		

**VÉRIFICATION DE LA RÉSISTANCE À LA COMPRESSION DU MUR**

On doit vérifier :  $N_{Ed} \leq N_{Rd}$

		PARAMÈTRES DE CALCUL		
$h_{ef}/t_{ef}$		-		
		DESCENTES DE CHARGES		
		EN TÊTE DE MUR	À MI-HAUTEUR	EN PIED DU MUR
$N_{Ed,m}$ (kN/m)		-	-	-
$N_{Ed,u}$ (kN/m)		-	-	-
$N_{Ed,f}$ (kN/m)		-	-	-
$N_{Ed}$ (kN/m)		-	-	-
		MOMENTS CORRÉSPONDANTS		
$M_{Ed,u}$ (kN.m/m)		-	-	-
$M_{Ed}$ (kN.m/m)		-	-	-
		EXCENTRICITÉS ASSOCIÉES		
$e_{mit}$ (m)		-	-	-
$M_{Ed}/N_{Ed}$ (m)		-	-	-
$e_x$ (m)		-	-	-
$e_{min}$ (m)		-	-	-
$e_i$ (m)		-	-	-

Lancer la vérification  
  
Editer la note de calcul

		COEFFICIENTS DE RÉDUCTION		
$\phi_i$		-	-	-
$\phi_m$		-	-	-
		EFFORTS RÉSISTANTS		
$N_{Rd}$ (kN/m)		-	-	-

Cliquer sur 'Paramètres puis sur 'Lancer la vérification'

## LES MÉTHODES DE VÉRIFICATION

---

### MUR DE MAÇONNERIE SOUMIS PRINCIPALEMENT AU CHARGEMENT VERTICAL

La méthode de vérification implémentée pour la vérification de la résistance d'un mur soumis à un chargement vertical est celle de l'Eurocode 6 Partie 1. Cette méthode s'applique à tous les murs de maçonnerie (pourvu que l'élancement soit inférieur à 27) et est basée sur l'estimation d'un coefficient de réduction calculé à partir des excentricités en pied, en tête et en milieu de mur. Les moments fléchissant sur les murs dus au chargement vertical sont obtenus à partir de la méthode simplifiée de l'annexe C de l'EC6-1.

### MUR DE MAÇONNERIE SOUMIS PRINCIPALEMENT AU CHARGEMENT LATÉRAL

La méthode de vérification d'un mur soumis à un chargement latéral est tirée du § 6.3 de l'EC6-1. Elle s'applique aux murs soumis aux charges dues au vent. Sont prises en compte dans le calcul des moments fléchissant appliqués, les résistances caractéristiques à la flexion du mur, le degré de liaison des bords du panneau, son élancement, et bien sûr le chargement latéral (pour plus de précisions voir le § 6.5 de l'EC6-1).

### MUR DE MAÇONNERIE SOUMIS AUX CHARGES COMBINÉES

Les murs de maçonnerie soumis à la fois à des charges verticales et latérales peuvent faire l'objet d'une vérification en utilisant la méthode fournie par l'Eurocode 6 Partie 1. Des moments fléchissant équivalents peuvent être obtenus à partir d'une combinaison de la méthode utilisant le coefficient  $\phi$  et de la méthode utilisant la résistance apparente à la flexion, afin de permettre le calcul combiné de charges. L'Annexe I de l'EC6 fournit une méthode de modification du coefficient de moment fléchissant,  $\alpha$ , permettant l'application à la fois de charges verticales et horizontales.

### MUR DE MAÇONNERIE SOUMIS AUX CHARGES CONCENTRÉES

La méthode de vérification d'un mur soumis à des charges concentrées consiste, selon le § 6.1.3 de l'EC6-1, d'une part à vérifier l'excentrement de la charge concentrée qui ne peut être supérieure au quart de l'épaisseur du mur, d'autre part à vérifier que la résistance à la charge verticale concentrée n'est pas dépassée (elle dépend des dimensions d'appui de la charge et de la distance aux bords du mur essentiellement). Il convient de vérifier le mur à mi-hauteur sous les appuis en y superposant les effets de toute autre charge verticale, dans le cas où les charges concentrées sont suffisamment rapprochées.

### MUR DE MAÇONNERIE SOUMIS AU CISAILLEMENT

La méthode de vérification d'un mur soumis au cisaillement est tirée du § 6.2 de l'EC6-1. Elle a pour objet de justifier le non-écrasement de la zone comprimée en pied de longueur  $l_c$ , l'absence de rupture au cisaillement dans un joint horizontal de longueur  $l_c$ , enfin le non-basculement du mur. Les efforts sont simplement déterminés par les relations d'équilibre statique du mur soumis à un effort normal (au moins égal au poids propre du mur) et à une sollicitation horizontale.

### ÉTUDE D'UN LINTEAU

Cette feuille de calcul propose un cas pratique de la méthode de vérification précédente « Murs de maçonnerie soumis à des charges concentrées » à travers l'étude des appuis d'un linteau de fenêtre.

### EXEMPLE N°1 : MUR SOUMIS AU CHARGEMENT VERTICAL

#### ÉNONCÉ

On cherche dans cet exemple à déterminer la résistance à la compression caractéristique d'un mur en maçonnerie porteuse en pierre naturelle.

On vérifie à l'ELU (État Limite Ultime, voir pag. 3) que la valeur de la charge appliquée  $N_{Ed}$  est inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales  $N_{Rd}$  avec  $N_{Ed} < N_{Rd}$ . Cela doit être vérifié en pied, en tête et au milieu du mur.

#### Références normatives :

§ 3.6.1.2 - § 3.7.2 - § 3.7.4 - § 5.5.1.1 - § 5.5.1.4 - § 6.1.2 - § 6.1.2.1 - § 6.1.2.2 de l'EC6 ; Annexe C-D-G de l'EC6 ; Annexe A Norme NF EN 772-1.

#### Données d'étude :

Les essais de compression ont été réalisés sur des éprouvettes de dimensions 7 x 7 x 7 cm séchées en étuve.

Seul un contrôle interne est prévu sur chantier (niveau d'inspection IL1). Pour ce niveau de contrôle de type IL1 avec des éléments de catégorie II, le coefficient partiel du matériau est  $\gamma_m = 3,3$ .

Épaisseur du mur :  $t = 22,5$  cm

Charge verticale appliquée (ELU):  $N_{Ed} = 180$  kN/m

Hauteur du mur :  $h = 3,00$  m

Résistance à la compression du mortier :  $f_m = 5$  MPa

Résistance moyenne à la compression :  $f_{moy} = 26$  MPa

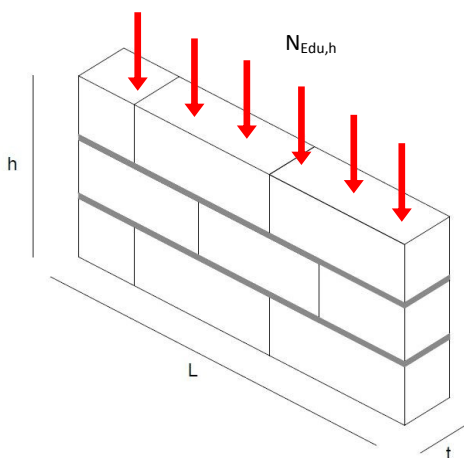


Fig.1 Mur porteur soumis à une charge verticale

#### JUSTIFICATION PAR CALCUL MANUEL

Les coefficients de forme  $\delta$  et de conditionnement  $\delta_c$  fournis par la norme NF EN 772-1, permettent de faire la conversion de  $f_{moy}$  vers  $f_b$ .

Ainsi :

$$f_b = \delta \times \delta_c \times f_{moy}$$

$$f_b = 0,94 \times 0,8 \times 26$$

$$f_b = 19,5 \text{ MPa}$$

Connaissant  $f_b$  et  $f_m$ , il est maintenant possible de calculer la résistance caractéristique à la compression  $f_k$  de la maçonnerie :

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta$$

avec

$\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes du matériau pierre

$K$  est une constante selon le tableau 3.3 § 3.6.1.2 de l'EC6.

Donc :

$$f_k = K \times f_b^{0,7} \times f_m^{0,3}$$

$$f_k = 0,45 \times 19,5^{0,7} \times 5^{0,3}$$

$$f_k = 5,83 \text{ MPa}$$

On travaille par mètre linéaire de mur. Déterminons la capacité portante du mur. Elle est donnée par l'expression suivante (§ 6.1.2.1 de l'EC6)

$$N_{Rd} = \phi \times t \times f_d$$

avec

$\phi$  coefficient de réduction donné permettant de prendre en compte l'élançement géométrique, nommé  $\phi_i$  au sommet ou en pied du mur et  $\phi_m$  au milieu du mur

$t$  épaisseur du mur

$f_d$  résistance à la compression de la maçonnerie dans la direction prise en considération

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

$$f_d = 1,77 \text{ MPa}$$

Nous avons besoin dans un premier temps de calculer la hauteur effective du mur  $h_{ef}$  (fonction des conditions d'appui) et l'épaisseur effective  $t_{ef}$  (égale à l'épaisseur pour les matériaux pleins), afin d'en déduire l'élançement du mur  $\lambda_c$ .

$$\lambda_c = h_{ef} / t_{ef}.$$

### EXEMPLE N°1 : MUR SOUMIS AU CHARGEMENT VERTICAL

Il convient de limiter l'élançement du mur de maçonnerie à 27 lorsqu'il est soumis principalement à un chargement vertical (§ 5.5.1.4 de l'EC6).

$$h_{ef} = \rho \times h$$

avec

$\rho$  coefficient de réduction (§ 5.5.1.2 de l'EC6)

$h$  hauteur libre du mur

Le coefficient  $\rho$  vaut 0,75, le mur étant maintenu sur deux bords.

Donc

$$h_{ef} = 0,75 \times 3,00 \text{ m}$$

$$h_{ef} = 2,25 \text{ m}$$

$$h_{ef}/t_{ef} = 2,25/0,225$$

$$h_{ef}/t_{ef} = 10$$

Donc il est vérifié que  $h_{ef}/t_{ef} < 27$ .

L'excentricité initiale peut être calculée de manière forfaitaire (§ 5.5.1.1 de l'EC6) :

$$e_{init} = h_{ef} / 450$$

$$e_{init} = 0,005 \text{ m}$$

$$e_{min} = 0,05 \times t$$

#### Calcul en tête et en pied de mur.

À l'ELU, la valeur de la charge verticale appliquée  $N_{Ed}$ , doit être inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales du mur,  $N_{Rd}$  (§ 6.1.2 de l'EC6).

$$N_{Rd} = \phi_i \times t \times f_d$$

avec

$\phi_i$  coefficient de réduction au niveau de la partie supérieure ou inférieure du mur, permettant de prendre en compte les effets de l'élançement et de l'excentricité des charges

$t$  épaisseur du mur

$f_d$  résistance à la compression de la maçonnerie dans la direction prise en considération

$$\phi_i = 1 - 2 \times (e_i/t)$$

avec

$e_i$  excentricité en tête et en pied de mur (fig. 1a), calculée selon l'équation

$$e_i = (M_{id}/N_{id}) + e_{he} \pm e_{init} \geq 0,05 \times t$$

L'excentricité  $e_i$  en tête et en pied de mur est la somme de l'excentricité résultant des charges verticales  $M_{id}/N_{id}$  ( $M_{id}$  est nul dans notre exemple) et de l'excentricité due aux charges horizontales (nulles également ici), enfin de l'excentricité initiale.

Par suite :

$e_{init}$  excentricité initiale

$M_{id}$  valeur du moment fléchissant au sommet ou en pied du mur

$N_{id}$  valeur de la charge verticale au sommet ou en pied de mur

$e_{he}$  excentricité au sommet ou à la base d'un mur, sous l'effet des charges horizontales

$$e_i = 0 + 0 + 0,005 \text{ m}$$

$$e_i = 0,005 \text{ m}$$

Par suite :

$$e_i \geq e_{min}$$

$$e_i \geq 0,05 \times t$$

Donc on prend  $e_i = 1,125 \text{ cm}$

avec le coefficient de réduction  $\phi_i$  :

$$\phi_i = 1 - 2 \times (e_i/t)$$

$$\phi_i = 1 - 2 \times (1,125/22,5)$$

$$\phi_i = 0,9$$

$$N_{Rd} = 0,9 \times 225 \times 1,77 = 358,425 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} = 180 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd}$$

Donc il est vérifié (en tête et en pied du mur) que la valeur de la charge  $N_{Ed}$  est inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales  $N_{Rd}$  du mur.

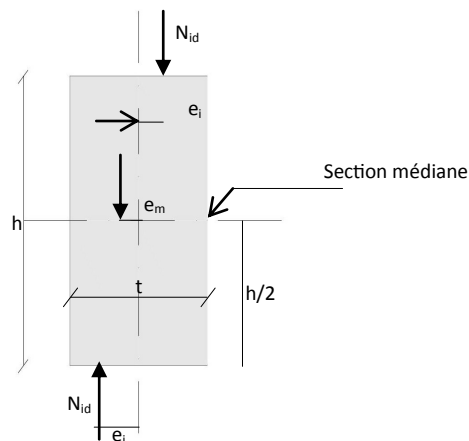


Fig. 1a Charge verticale appliquée sur un mur : variation de l'excentricité selon l'élévation de la section du mur



#### EXEMPLE N°1 : MUR SOUMIS AU CHARGEMENT VERTICAL

##### Calcul en milieu du mur.

Enfin, comme précédemment, on vérifie que :  
la capacité portante  $N_{Rd}$  au milieu du mur est inférieure à la charge verticale appliquée  $N_{Ed}$ .

$$N_{Rd} = \phi_m \times t \times f_d$$

avec

$\phi_m$  coefficient de réduction au niveau du centre du mur, permettant de prendre en compte les effets de l'élançement et de l'excentricité des charges  
 $t$  épaisseur du mur

$f_d$  résistance à la compression de la maçonnerie dans la direction prise en considération

En utilisant une simplification, le coefficient de réduction au milieu du mur peut être déterminé à partir de l'Annexe G de l'EC6, en utilisant  $e_{mk}$

$$e_{mk} = (e_m + e_k) \geq 0,05 \times t$$

avec

$e_{mk}$  excentricité au milieu du mur

$e_m$  excentricité dues aux charges

$e_k$  excentricité due au fluage

Donc

$$e_m = (M_{md} / N_{md}) + e_{hm} \pm e_{init}$$

avec

$M_{md}$  valeur du plus grand des moments à mi-hauteur d'un mur

$N_{md}$  valeur de la charge verticale au milieu du mur

$e_{hm}$  excentricité au milieu du mur

$e_{init}$  excentricité initiale

Donc

$$e_m = 0 + 0 + 0,005 \text{ m}$$

$$e_m = 0,005 \text{ m}$$

À cette excentricité  $e_m$  il convient d'ajouter celle résultant du fluage  $e_k$  (§ 6.1.2.2 de l'EC6), afin d'obtenir l'excentricité totale en milieu de mur  $e_{mk}$ .

$$e_k = 0,02 \times \phi_\infty \times h_{ef} / t_{ef} \times \nu (t \times e_m)$$

avec

$\phi_\infty$  coefficient de fluage ultime. Pour les pierres naturelles, il est généralement très faible, donc négligeable.

Finalement :

$$e_{mk} = e_m + e_k$$

$$e_{mk} = e_m$$

De la même façon,  $e_{mk}$  ne peut être inférieur à  $e_{min}$  :

$$e_{min} = 0,05 \times t$$

$$e_{mk} \geq 0,05 \times t$$

donc on prend  $e_{mk} = 1,125 \text{ cm}$

L'abaque de l'annexe G donne la valeur du coefficient de réduction  $\phi_m$ .

Ensuite selon le § 3.7.2 et le § 3.7.4 on prend le module d'élasticité  $E = 1000 f_k$  (valable pour les pierres naturelles)

Donc

$$\phi_m = 0,84$$

Ainsi, la plus petite capacité portante située au milieu du mur vaut :

$$N_{Rd} = \phi_m \times t \times f_d$$

$$N_{Rd} = 0,84 \times 225 \times 1,77$$

$$N_{Rd} = 334,53 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} = 180 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd}$$

Donc, il est vérifié (au milieu du mur), que la valeur de la charge  $N_{Ed}$  est inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales  $N_{Rd}$ .

##### Conclusion :

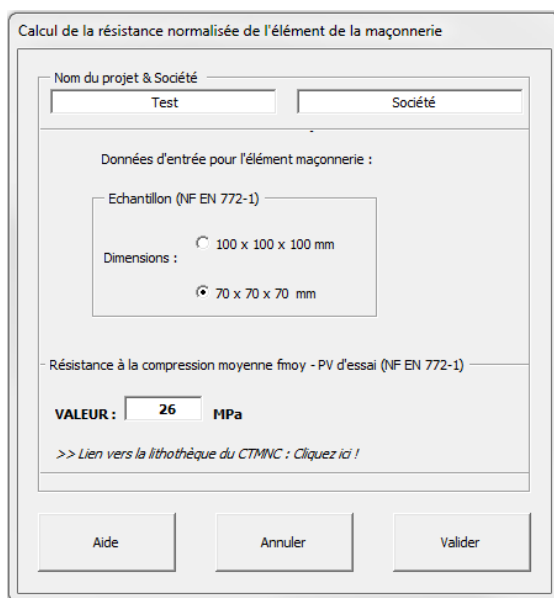
L'épaisseur du mur (22,5 cm) est suffisante pour résister à ce chargement vertical.



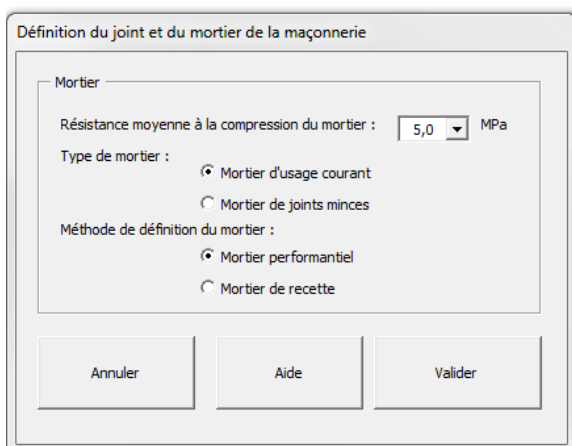
### EXEMPLE N°1 : MUR SOUMIS AU CHARGEMENT VERTICAL

#### JUSTIFICATION AVEC DIMAPIERRE-6

Sur la feuille « Accueil », cliquez sur le bouton « Définition de l'élément de maçonnerie en pierre naturelle » et rentrez les informations comme ci-dessous. Une fois fait, terminez par le bouton « Valider ».



Rentrez ensuite la résistance du mortier en cliquant sur le bouton « Caractéristiques du mortier et des joints ».

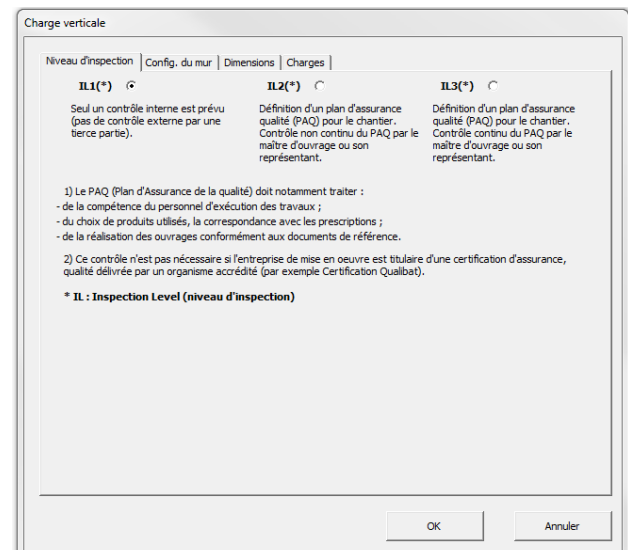
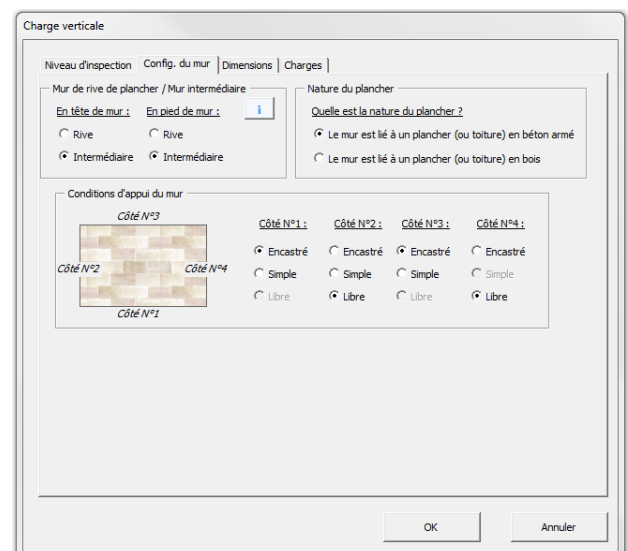


Cliquez ensuite sur le bouton « Calcul de la résistance caractéristique de la maçonnerie ».

La valeur de  $f_k$  apparaît dans l'encart à droite qui se colorie en vert.

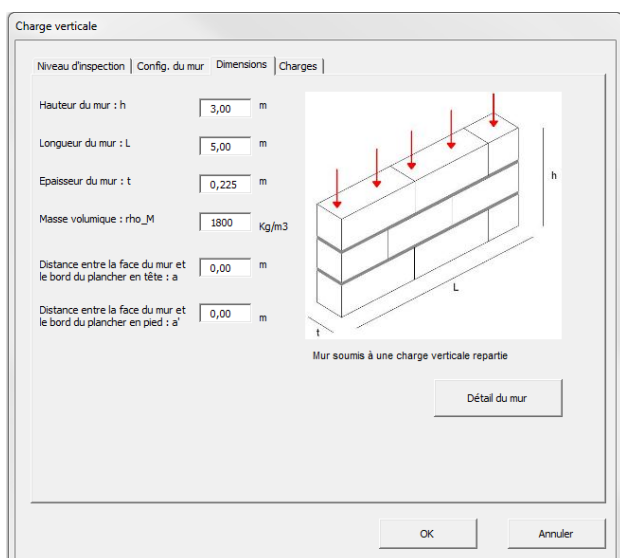
Vous pouvez maintenant taper sur le bouton « Mur soumis principalement au chargement vertical ».

La feuille de calcul d'intérêt s'affiche donc automatiquement. Cliquez sur « Paramètres », puis remplissez les informations, cliquez sur le bouton « OK ».

### EXEMPLE N°1 : MUR SOUMIS AU CHARGEMENT VERTICAL

Vous pouvez vérifier les hypothèses rentrées et consignées sur la feuille de calcul avant de lancer la vérification en cliquant sur le bouton en bas de la feuille



« Lancer la vérification ». Comparons maintenant les résultats obtenus :

$$h_{ef} = 2,25 \text{ m}$$

$$h_{ef}/t_{ef} = 10$$

$$e_{init} = 0,5 \text{ cm}$$

$$e_{mk} = 1,125 \text{ cm}$$

$$\phi_i = 0,9 \text{ (en tête et en pied du mur)}$$

$$\phi_m = 0,84 \text{ (au milieu du mur)}$$

Finalement, la valeur de la capacité portante est celle donnée, en tête et en pied du mur :

$$N_{Rd} = 358,6 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} = 180 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd}$$

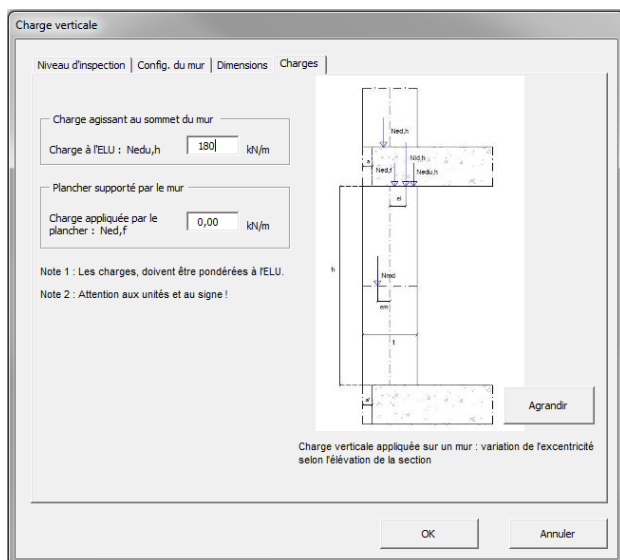
Au milieu du mur :

$$N_{Rd} = 334 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} = 180 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd}$$

Il est vérifié en tête et en pied du mur, et au milieu, que la valeur de la charge  $N_{Ed}$  est inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales  $N_{Rd}$ .



### COMPARAISON CALCUL MANUEL ET DIMAPIERRE-6

Les valeurs de  $N_{Ed}$  et  $N_{Rd}$  obtenues avec Dimapierre-6 sont identiques, à l'approximation près, à celles du calcul manuel.

### ÉDITION D'UNE NOTE DE CALCUL

Une fois le mur vérifié, vous pouvez éditer une note de calcul qui contient tous les données renseignées précédemment. Une Annexe à la note vous donne plus d'informations concernant notamment les règles de calcul appliquées selon l'Eurocode 6 et son NA. Vous pouvez imprimer la note de pré-dimensionnement en format Word et/ou PDF.

### EXEMPLE N°2 : MUR SOUMIS AU CHARGEMENT LATÉRAL

#### ÉNONCÉ

On cherche à déterminer l'épaisseur minimale d'une paroi en maçonnerie de pierre naturelle représentée par la figure ci - dessous .

Cette vérification concerne un mur non porteur soumis à une pression au plan du mur (vent, etc.).

On vérifie à l'ELU (État Limite Ultime, voir pag. 3) que la valeur du moment appliqué  $M_{Ed}$  est inférieure à la valeur du moment résistant du mur  $M_{Rd}$ , avec  $M_{Ed} < M_{Rd}$ .

#### Références normatives :

§ 3.6.3 - § 5.5.5 - § 6.3.1 de l'EC6 ; Annexe E de l'EC6 ; Annexe NA de l'EC6 ; EC1 Partie 1-4.

#### Données d'étude :

Pression du vent :  $q_{ew} = 0,45 \text{ kN/m}^2$

Coefficient partiel de sécurité pour les actions variables :  $\gamma_f = 1,5$

Hauteur du mur :  $h = 4,15 \text{ m}$

Longueur du mur :  $L = 4,15 \text{ m}$

Épaisseur du mur :  $t = 20 \text{ cm}$

Résistance moyenne à la compression :

$f_{moy} = 14,9 \text{ MPa}$

Résistance à la compression du mortier de montage :

$f_m = 10 \text{ MPa}$

Des valeurs de la résistance à la flexion forfaitaires (mortier d'usage courant) :

Résistance à la flexion dont le plan de rupture est parallèle au lit de pose :  $f_{xd1} = 0,10 \text{ MPa}$

Résistance à la flexion dont le plan de rupture est perpendiculaire au lit de pose :  $f_{xd2} = 0,40 \text{ MPa}$ .

Un Plan d'Assurance Qualité a été prévu (niveau d'inspection IL2).

#### JUSTIFICATIONS PAR CALCUL MANUEL

Le calcul du moment appliqué,  $M_{Ed}$ , lorsque le plan est parallèle au lit de pose, c'est-à-dire dans la direction  $f_{xd1}$  (§ 5.5.5 de l'EC6) :

$$M_{Ed1} = \alpha_1 \times W_{Ed} \times L^2$$

où

$W_{Ed}$  est la charge latérale par unité de surface

$L$  est la longueur du mur entre supports verticaux

$\alpha_1$  est le coefficient de moment fléchissant :

$$\alpha_1 = \mu \times \alpha_2$$

$\alpha_1$  et  $\alpha_2$  sont les coefficients du moment fléchissant qui tiennent compte du degré de liaison des bords de panneaux .

$\mu$  est le rapport entre les résistances, orthogonales entre elles, à la flexion de la maçonnerie :

$$\mu = f_{xd1}/f_{xd2} = 0,10/0,40 = 0,25$$

selon l'Annexe E de l'EC6, pour :

$$h/L = 1 \text{ et}$$

$$\mu = 0,25$$

on est dans le cas suivant :

$$\alpha_2 = 0,094$$

$$\alpha_1 = \mu \times \alpha_2$$

$$\text{Donc } \alpha_1 = 0,0235$$

La valeur calculée du moment appliqué au mur de maçonnerie  $M_{Ed1}$  :

$$M_{Ed1} = \mu \times \alpha_2 \times \gamma_f \times q_{ew} \times L^2$$

avec

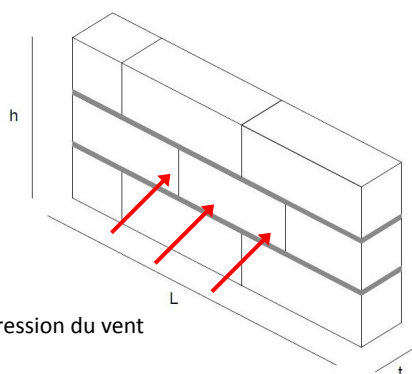
$$\mu = 0,25$$

$$\alpha_2 = 0,094$$

$$\gamma_f = 1,5$$

$$q_{ew} = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

$$L = 4,15 \text{ m}$$



$q_{ew}$  = Pression du vent

Fig.2 Mur soumis à la pression du vent

#### EXEMPLE N°2 : MUR SOUMIS AU CHARGEMENT LATÉRAL

$$M_{Ed1} = 0,25 \times 0,094 \times (1,5 \times 0,45) \times (4,15)^2$$

$$M_{Ed1} = 0,273 \text{ kN.m/ml}$$

On cherche maintenant la valeur du moment latéral de résistance pour un mur de maçonnerie non armé  $M_{Rd1}$ , donné par l'équation (§ 6.3.1 de l'EC6)

$$M_{Rd1} = f_{xd1} \times Z / \gamma_m$$

avec

$f_{xd1}$  résistance à la flexion de la maçonnerie dont le plan de rupture est parallèle au lit de pose

Z module d'inertie de la section d'une unité de hauteur ou de longueur du mur

$\gamma_m$  coefficient partiel du matériau = 2,8

Donc :

$$Z = t^2 / 6$$

avec

$$t = 0,20 \text{ m}$$

$$f_{xd1} = 0,10 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd1} = 0,10 \times [(200)^2 / 6] / 2,8 = 0,238 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{Ed1} > M_{Rd1}$$

Il n'est pas vérifié que la valeur du moment appliqué  $M_{Ed1}$  est inférieure à la valeur du moment résistant du mur,  $M_{Rd1}$ .

#### Conclusion :

L'épaisseur du mur (20 cm) n'est pas suffisante pour résister à ce chargement latéral.

#### JUSTIFICATION AVEC DIMAPIERRE-6

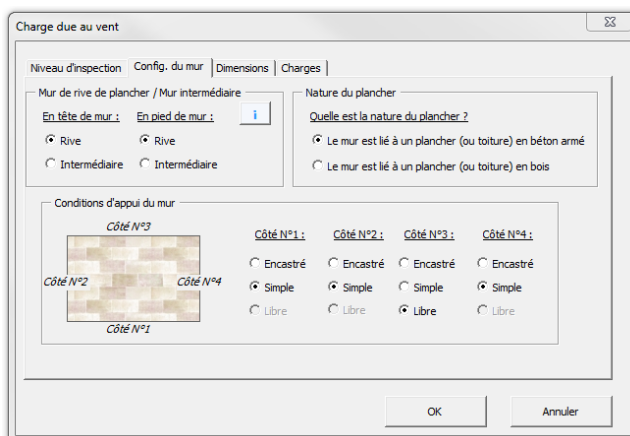
Les essais en laboratoire ne sont pas pris en compte par le logiciel Dimapierre-6. Seules les valeurs tabulées de l'Eurocode 6 sont prises en compte, d'où :

Résistance à la flexion dont le plan de rupture est parallèle au lit de pose :  $f_{xd1} = 0,10 \text{ MPa}$

Résistance à la flexion dont le plan de rupture est perpendiculaire au lit de pose :  $f_{xd2} = 0,40 \text{ MPa}$ .

Sur la feuille « Accueil », cliquez sur le bouton « Définition de l'élément de maçonnerie en pierre naturelle » et rentrez les informations comme ci-dessous. Une fois fait, terminez par le bouton « Valider ».

Rentrez ensuite la résistance du mortier en cliquant sur le bouton « Caractéristiques du mortier et des



jointes ». Cliquez ensuite sur le bouton « Calcul de la résistance caractéristique de la maçonnerie ».

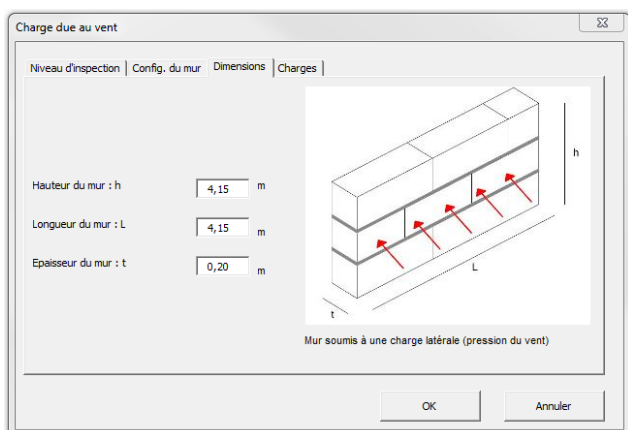
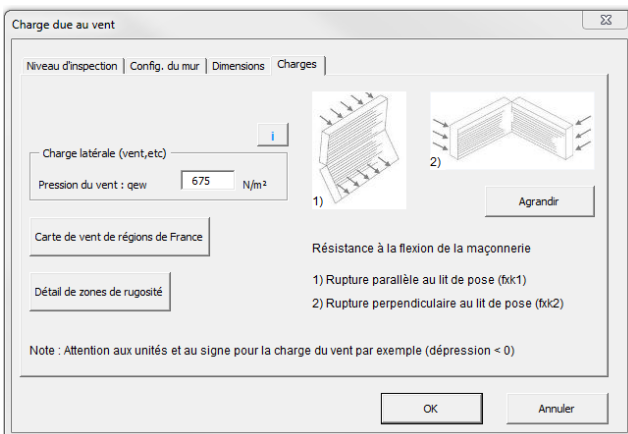
La valeur de  $f_k$  apparaît dans l'encart à droite qui se colorie en vert.

Vous pouvez maintenant taper sur le bouton « Mur soumis principalement au chargement latéral ».

Une fois la feuille sélectionnée affichée, cliquez sur Paramètres, puis renseignez les informations comme indiqué ci-dessous. Choisissez IL2 pour le niveau d'inspection. Renseignez les conditions d'appui et la nature du plancher.

## EXEMPLE N°2 : MUR SOUMIS AU CHARGEMENT LATÉRAL

Finissez par rentrer les dimensions du mur puis les valeurs des charges (la valeur à renseigner pour la pression du vent doit être multipliée par le coefficient partiel de sécurité de l'énoncé). Cliquez sur OK pour revenir vers la feuille de vérification.

Cliquez sur le bouton « Lancer la vérification » et comparez les valeurs calculées par l'outil avec celles du calcul manuel.

On trouve ici :

$$\alpha_2 = 0,094$$

$$\alpha_1 = 0,024$$

$$M_{Ed1} = 273,2 \text{ N.m/ml, soit } 0,273 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{Rd1} = 238,1 \text{ N.m/ml, soit } 0,238 \text{ kN.m/ml}$$

$$M_{Ed1} > M_{Rd1}$$

Donc, avec de valeurs de la résistance à la flexion forfaitaires de l'Eurocode 6, il n'est pas vérifié que la valeur du moment appliqué  $M_{Ed1}$  est inférieure à la valeur du moment résistant du mur,  $M_{Rd1}$ .

### COMPARAISON CALCUL MANUEL ET DIMAPIERRE-6

Les valeurs des moments  $M_{Ed1}$  et  $M_{Rd1}$  obtenues avec Dimapierre-6 sont identiques, à l'approximation près, à celles du calcul manuel.

### ÉDITION D'UNE NOTE DE CALCUL

Une fois le mur vérifié, vous pouvez éditer une note de calcul qui contient tous les données renseignées précédemment. Une Annexe à la note vous donne plus d'informations concernant notamment les règles de calcul appliquées selon l'Eurocode 6 et son NA. Vous pouvez imprimer la note de pré-dimensionnement en format Word et/ou PDF.

## EXEMPLE N°3 : MUR SOUMIS AUX CHARGES COMBINÉES

### ÉNONCÉ

On cherche à déterminer la résistance à la compression caractéristique d'un mur en maçonnerie porteuse en pierre naturelle soumis à la charge due au vent et aux charges verticales réparties. On vérifie à l'ELU (État Limite Ultime, voir pag. 3) que la valeur du moment appliqué  $N_{Ed}$  est inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales  $N_{Rd}$  avec  $N_{Ed} < N_{Rd}$ .

#### Références normatives :

§ 3.6.3 - § 5.5.5 - § 6.3.1 de l'EC6 ; Annexe E de l'EC6 ; Annexe NA de l'EC6 ; EC1 Partie 1-4 ; Annexe I de l'EC6.

#### Données d'étude :

Pression du vent :  $q_{ew} = 0,45 \text{ kN/m}^2$

Coefficient partiel de sécurité pour les actions variables :  $\gamma_f = 1,5$

Hauteur du mur :  $h = 3,00 \text{ m}$

Longueur du mur :  $L = 1,00 \text{ m}$

Épaisseur du mur :  $t = 0,225 \text{ cm}$

Résistance moyenne à la compression :

$f_{moy} = 14,9 \text{ MPa}$

Résistance à la compression du mortier de montage :

$f_m = 5 \text{ MPa}$

Charge verticale appliquée (ELU):  $N_{Ed} = 180 \text{ kN/m}$

Résistance à la flexion dont le plan de rupture est parallèle au lit de pose :  $f_{xd1} = 0,10 \text{ MPa}$

Résistance à la flexion dont le plan de rupture est perpendiculaire au lit de pose :  $f_{xd2} = 0,40 \text{ MPa}$

Un Plan d'Assurance Qualité a été prévu (niveau d'inspection IL1).

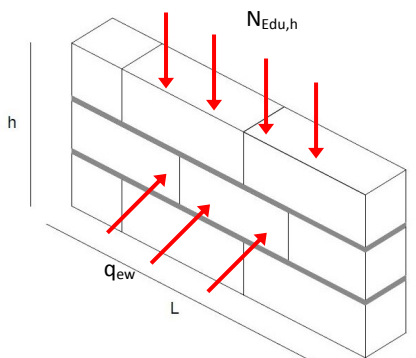


Fig.3 Mur soumis à une combinaison de charges

### JUSTIFICATIONS PAR CALCUL MANUEL

Les coefficients de forme  $\delta$  et de conditionnement  $\delta_c$  fournis par la norme NF EN 772-1, permettent de faire la conversion de  $f_{moy}$  vers  $f_b$ .

Ainsi :

$$f_b = \delta \times \delta_c \times f_{moy}$$

$$f_b = 0,94 \times 0,8 \times 14,9$$

$$f_b = 11,20 \text{ MPa}$$

Connaissant  $f_b$  et  $f_m$ , il est maintenant possible de calculer la résistance caractéristique à la compression  $f_k$  de la maçonnerie :

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta$$

avec

$\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes du matériau pierre

$K$  est une constante selon le tableau 3.3 § 3.6.1.2 de l'EC6.

Donc :

$$f_k = K \times f_b^{0,7} \times f_m^{0,3}$$

$$f_k = 0,45 \times 11,2^{0,7} \times 5^{0,3}$$

$$f_k = 3,956 \text{ MPa}$$

On travaille par mètre linéaire de mur. Déterminons la capacité portante du mur. Elle est donnée par l'expression suivante (§ 6.1.2.1 de l'EC6)

$$N_{Rd} = \phi \times t \times f_d$$

avec

$\phi$  coefficient de réduction donné permettant de prendre en compte l'élançement géométrique, nommé  $\phi_i$  au sommet ou en pied du mur et  $\phi_m$  au milieu du mur

$t$  épaisseur du mur

$f_d$  résistance à la compression de la maçonnerie dans la direction prise en considération

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

$$f_d = 1,19 \text{ MPa}$$

Nous avons besoin dans un premier temps de calculer la hauteur effective du mur  $h_{ef}$  (fonction des conditions d'appui) et l'épaisseur effective  $t_{ef}$  (égale à l'épaisseur pour les matériaux pleins), afin d'en déduire l'élançement du mur  $\lambda_c$ .

$$\lambda_c = h_{ef} / t_{ef}$$

## EXEMPLE N°3 : MUR SOUMIS AUX CHARGES COMBINÉES

Il convient de limiter l'élançement du mur de maçonnerie à 27 lorsqu'il est soumis principalement à un chargement vertical (§ 5.5.1.4 de l'EC6).

$$h_{ef} = \rho \times h$$

avec

$\rho$  coefficient de réduction (§ 5.5.1.2 de l'EC6)

$h$  hauteur libre du mur

Le coefficient  $\rho$  vaut 0,75, le mur étant maintenu sur deux bords.

Donc

$$h_{ef} = 0,75 \times 3,00 \text{ m}$$

$$h_{ef} = 2,25 \text{ m}$$

$$h_{ef}/t_{ef} = 2,25/0,225$$

$$h_{ef}/t_{ef} = 10$$

Donc il est vérifié que  $h_{ef}/t_{ef} < 27$ .

L'excentricité initiale peut être calculée de manière forfaitaire (§ 5.5.1.1 de l'EC6) :

$$e_{init} = h_{ef} / 450$$

$$e_{init} = 0,005 \text{ m}$$

$$e_{min} = 0,05 \times t$$

### Calcul en tête et en pied du mur.

À l'ELU, la valeur de la charge verticale appliquée  $N_{Ed}$ , doit être inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales du mur,  $N_{Rd}$  (§ 6.1.2 de l'EC6).

$$N_{Rd} = \phi_i \times t \times f_d$$

avec

$\phi_i$  coefficient de réduction au niveau de la partie supérieure ou inférieure du mur, permettant de prendre en compte les effets de l'élançement et de l'excentricité des charges

$t$  épaisseur du mur

$f_d$  résistance à la compression de la maçonnerie dans la direction prise en considération

$$\phi_i = 1 - 2 \times (e_i/t)$$

avec

$e_i$  excentricité en tête et en pied de mur (fig. 2a), calculée selon l'équation

$$e_i = (M_{id}/N_{id}) + e_{he} \pm e_{init} \geq 0,05 \times t$$

L'excentricité  $e_i$  en tête et en pied de mur est la somme de l'excentricité résultant des charges verticales  $M_{id}/N_{id}$  ( $M_{id}$  est nul dans notre exemple) et de l'excentricité due aux charges horizontales (nulle également ici), enfin de l'excentricité initiale.

Par suite :

$e_{init}$  excentricité initiale

$M_{id}$  valeur du moment fléchissant au sommet ou en pied du mur

$N_{id}$  valeur de la charge verticale au sommet ou en pied de mur

$e_{he}$  excentricité au sommet ou à la base d'un mur, sous l'effet des charges horizontales

$$e_i = 0 + 0 + 0,005 \text{ m}$$

$$e_i = 0,005 \text{ m}$$

Par suite :

$$e_i \geq e_{min}$$

$$e_i \geq 0,05 \times t$$

Donc on prend  $e_i = 1,125 \text{ cm}$

avec le coefficient de réduction  $\phi_i$  :

$$\phi_i = 1 - 2 \times (e_i/t)$$

$$\phi_i = 1 - 2 \times (1,125/22,5)$$

$$\phi_i = 0,9$$

$$N_{Rd} = 0,9 \times 225 \times 1,19 = 240,97 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} = 180 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd}$$

Donc il est vérifié (en tête et en pied du mur) que la valeur de la charge  $N_{Ed}$  est inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales  $N_{Rd}$  du mur.



#### EXEMPLE N°3 : MUR SOUMIS AUX CHARGES COMBINÉES

##### Calcul en milieu du mur.

Dans le cas du calcul au milieu du mur, on doit calculer le moment dû aux efforts horizontaux.

$$M_{edw} = q_{ew} \times h_{ef}^2 / 8$$

$$M_{edw} = - 0,427 \text{ kN.m/m}$$

Enfin l'excentricité horizontale  $e_{hm}$  pour le mur à mi-hauteur est égale :

$$e_{hm} = k \times M_{edw} \times h_{ef}^2 / 10 \times E \times I$$

Avec  $k = 8 \times \mu \times \alpha \times I^2 / h^2$  (Annexe I de l'EC6) et

$$I = t^3 / 12$$

Donc

$$e_{hm} = - 0,006 \text{ m}$$

Enfin, comme précédemment, on vérifie que :

la capacité portante  $N_{Rd}$  au milieu du mur est inférieure à la charge verticale appliquée  $N_{Ed}$ .

$$N_{Rd} = \phi_m \times t \times f_d$$

avec

$\phi_m$  coefficient de réduction au niveau du centre du mur, permettant de prendre en compte les effets de l'élançement et de l'excentricité des charges  
 $t$  épaisseur du mur

$f_d$  résistance à la compression de la maçonnerie dans la direction prise en considération

En utilisant une simplification, le coefficient de réduction au milieu du mur peut être déterminé à partir de l'Annexe G de l'EC6, en utilisant  $e_{mk}$

$$e_{mk} = (e_m + e_k) \geq 0,05 \times t$$

avec

$e_{mk}$  excentricité au milieu du mur

$e_m$  excentricité dues aux charges

$e_k$  excentricité due au fluage

Donc

$$e_m = (M_{md} / N_{md}) + e_{hm} \pm e_{init}$$

avec

$M_{md}$  valeur du plus grand des moments à mi-hauteur d'un mur

$N_{md}$  valeur de la charge verticale au milieu du mur

$e_{hm}$  excentricité au milieu du mur

$e_{init}$  excentricité initiale

Donc

$$e_m = 0 + 0 + 0,005 \text{ m}$$

$$e_m = 0,005 \text{ m}$$

À cette excentricité  $e_m$  il convient d'ajouter celle résultant du fluage  $e_k$  (§ 6.1.2.2 de l'EC6), afin d'obtenir l'excentricité totale en milieu de mur  $e_{mk}$ .

$$e_k = 0,02 \times \phi_\infty \times h_{ef} / t_{ef} \times v(t \times e_m)$$

avec

$\phi_\infty$  coefficient de fluage ultime. Pour les pierres naturelles, il est généralement très faible, donc négligeable.

Finalement :

$$e_{mk} = e_m + e_k$$

$$e_{mk} = e_m$$

De la même façon,  $e_{mk}$  ne peut être inférieur à  $e_{min}$  :

$$e_{min} = 0,05 \times t$$

$$e_{mk} \geq 0,05 \times t$$

donc on prend  $e_{mk} = 1,125 \text{ cm}$

L'abaque de l'annexe G donne la valeur du coefficient de réduction  $\phi_m$ .

Ensuite selon le § 3.7.2 et le § 3.7.4 on prend le module d'élasticité  $E = 1000 f_k$  (valable pour les pierres naturelles)

Donc

$$\phi_m = 0,84$$

Ainsi, la plus petite capacité portante située au milieu du mur vaut :

$$N_{Rd} = \phi_m \times t \times f_d$$

$$N_{Rd} = 0,84 \times 225 \times 1,19$$

$$N_{Rd} = 224,91 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} = 180 \text{ kN.m/ml}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd}$$

Donc, il est vérifié (au milieu du mur), que la valeur de la charge  $N_{Ed}$  est inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales  $N_{Rd}$ .

##### Conclusion :

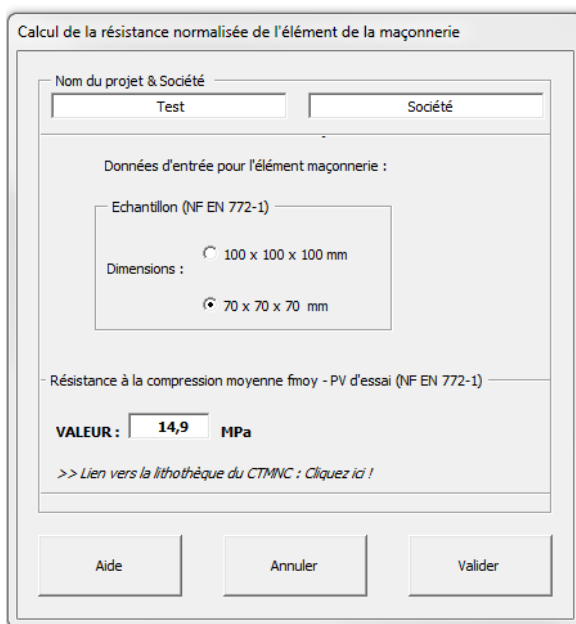
L'épaisseur du mur (22,5 cm) est suffisante pour résister à ce combinaison de charges.



### EXEMPLE N°3 : MUR SOUMIS AUX CHARGES COMBINÉES

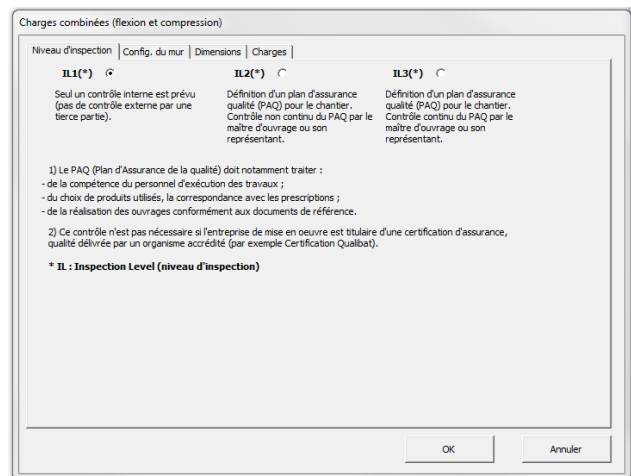
#### JUSTIFICATION AVEC DIMAPIERRE-6

Sur la feuille « Accueil », cliquez sur le bouton « Définition de l'élément de maçonnerie en pierre naturelle » et rentrez les informations comme ci-dessous. Une fois fait, terminez par le bouton « Valider ».

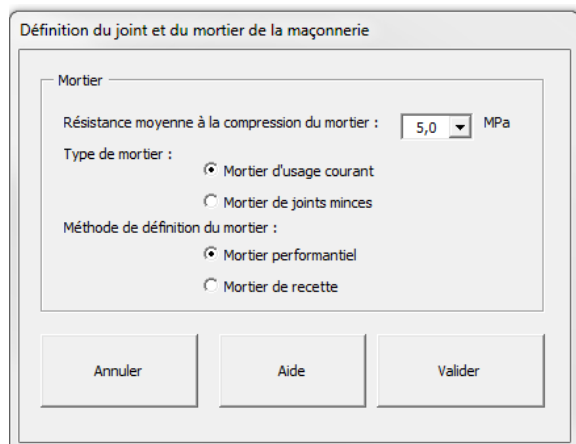
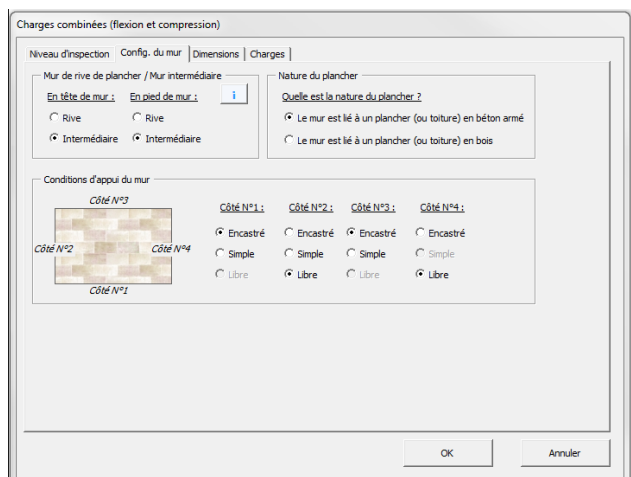


Cliquez ensuite sur le bouton « Calcul de la résistance caractéristique de la maçonnerie ». La valeur de  $f_k$  apparaît dans l'encart à droite qui se colorie en vert.

Vous pouvez maintenant taper sur le bouton « Mur soumis principalement aux charges combinées ». La feuille de calcul d'intérêt il s'affiche donc automatiquement. Cliquez sur « Paramètres », puis remplissez les informations, cliquez sur le bouton « OK ».

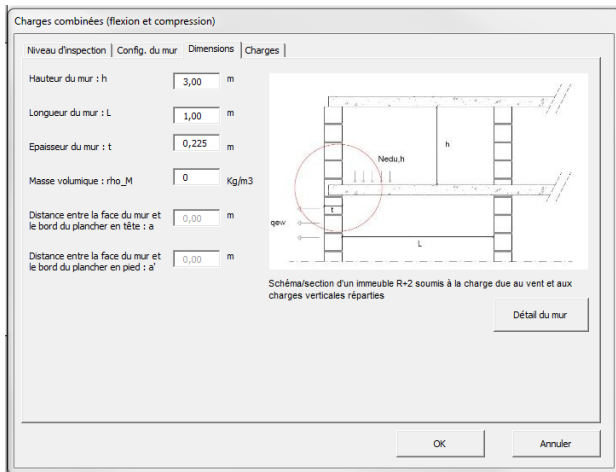
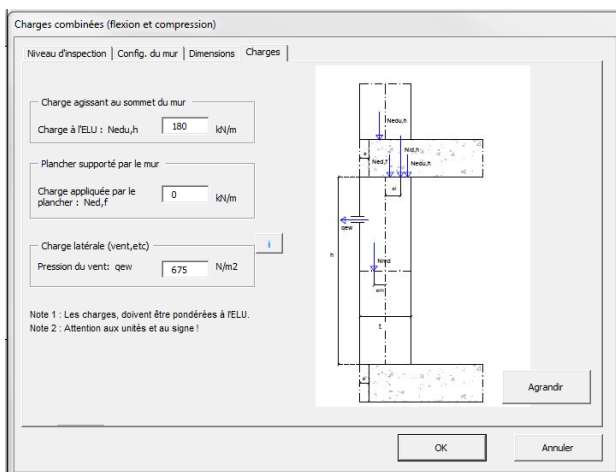


Rentrez ensuite la résistance du mortier en cliquant sur le bouton « Caractéristiques du mortier et des joints ».

### EXEMPLE N°3 : MUR SOUMIS AUX CHARGES COMBINÉES

Vous pouvez vérifier les hypothèses rentrées et consignées sur la feuille de calcul avant de lancer la vérification en cliquant sur le bouton en bas de la feuille

« Lancer la vérification ». Comparons maintenant les résultats obtenus :

$h_{ef} = 2,25 \text{ m}$   
 $h_{ef}/t_{ef} = 10$   
 $e_{init} = 0,5 \text{ cm}$   
 $e_{mk} = 1,125 \text{ cm}$   
 $\phi_i = 0,9$  (en tête et en pied du mur)  
 $\phi_m = 0,84$  (au milieu du mur)  
 Finalement, la valeur de la capacité portante est celle donnée, en tête et en pied du mur :  
 $N_{Rd} = 243 \text{ kN.m/ml}$   
 $N_{Ed} = 180 \text{ kN.m/ml}$   
 $N_{Ed} < N_{Rd}$   
 Au milieu du mur :  
 $N_{Rd} = 225,7 \text{ kN.m/ml}$   
 $N_{Ed} = 180 \text{ kN.m/ml}$   
 $N_{Ed} < N_{Rd}$   
 Il est vérifié en tête et en pied du mur, et au milieu, que la valeur de la charge  $N_{Ed}$  est inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales  $N_{Rd}$ .  
 Il est donc vérifié que le mur résiste à une combinaison de charges de flexion et de compression.

#### COMPARAISON CALCUL MANUEL ET DIMAPIERRE-6

Les valeurs de  $N_{Ed}$  et  $N_{Rd}$  obtenues avec Dimapierre-6 sont identiques, à l'approximation près, à celles du calcul manuel.

#### ÉDITION D'UNE NOTE DE CALCUL

Une fois le mur vérifié, vous pouvez éditer une note de calcul qui contient tous les données renseignées précédemment. Une Annexe à la note vous donne plus d'informations concernant notamment les règles de calcul appliquées selon l'Eurocode 6 et son NA. Vous pouvez imprimer la note de pré-dimensionnement en format Word et/ou PDF.

### EXEMPLE N°4 : MUR SOUMIS À DES CHARGES CONCENTRÉES

#### ÉNONCÉ

Des poutrelles d'un plancher en béton préfabriqué sont espacées de 75 cm et sont supportées par une cloison en pierre d'épaisseur de 14 cm. La première poutrelle est située à une distance de 15 cm du bord vertical de la cloison.

On cherche à vérifier que la cloison est apte à supporter la descente de charge verticale de chacune des poutrelles. La valeur de la charge verticale concentrée  $N_{Edc}$  appliquée sur un mur de maçonnerie, doit être inférieure à la valeur de la résistance aux charges verticales du mur  $N_{Rdc}$ , donc  $N_{Edc} < N_{Rdc}$ .

#### Références normatives :

§ 6.1.3 de l'EC6 ; Annexe H de l'EC6 ; Annexe A1 de l'ECO

#### Données d'étude :

La pierre choisie a comme résistance moyenne à la compression  $f_{moy} = 5,7$  MPa. Les essais de compression ont été réalisés sur des éprouvettes de dimensions 10 x 10 x 10 cm séchées à l'air ambiant.

Un Plan d'Assurance Qualité a été prévu sur chantier (niveau d'inspection IL2).

Résistance à la compression du mortier de montage :  $f_m = 4$  MPa

Épaisseur du mur :  $t = 14,0$  cm

Charge permanente :  $G = 6,0$  kN (poutrelle)

Charges d'exploitation :  $Q = 4,0$  kN (poutrelle)

Hauteur du mur :  $h = 2,90$  m

Longueur d'appui de la charge :  $l_c = 12,5$  cm

Hauteur de la surface d'appui :  $h_c = 10$  cm

Coefficient partiel du matériau :  $\gamma_m = 2,8$

Coefficient partiel de sécurité pour les actions permanentes :  $\gamma_G = 1,35$

Coefficient partiel de sécurité pour les actions d'exploitation :  $\gamma_Q = 1,5$

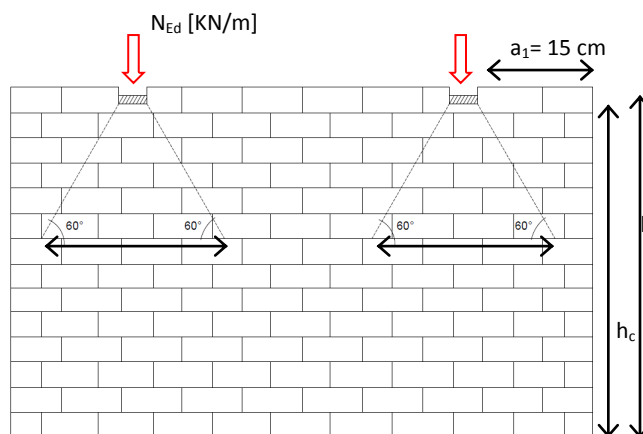


Fig.4 Mur soumis à des charges concentrées

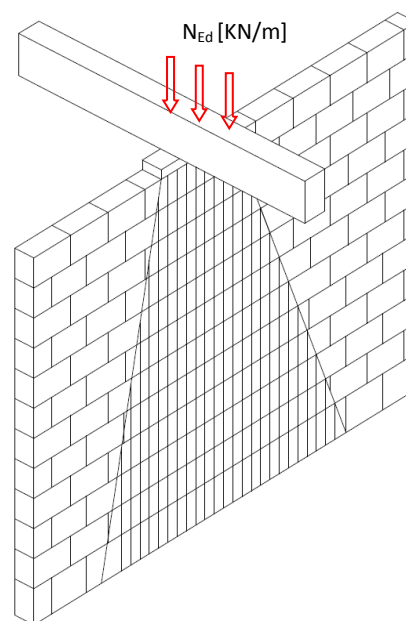


Fig.5 Plan en axonométrie du mur soumis à des charges concentrées

#### EXEMPLE N°4 : MUR SOUMIS À DES CHARGES CONCENTRÉES

##### JUSTIFICATION PAR CALCUL MANUEL

On commence par calculer la valeur de la charge apportée par chaque poutrelle sur le mur  $N_{Edc}$ .

$$N_{Edc} = \gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q$$

$$N_{Edc} = 1,35 \times 6,0 + 1,5 \times 4$$

$$N_{Edc} = 14,1 \text{ kN}$$

L'excentricité  $e_m$  par rapport à la charge ne doit pas être supérieure à  $t/4$  (§ 6.1.3 de l'EC6)

$$e_m \leq t/4$$

$e_m$  excentricité due aux charges

$$e_m = (14/2) - (10/2) = 2 \text{ cm}$$

Par suite

$$t/4 = 14/4 = 3,5 \text{ cm}$$

$$2 \leq 3,5 \text{ cm}$$

On a bien  $e_m \leq t/4$   
La valeur de la résistance du mur à des charges concentrées est donnée par l'expression suivante:

$$N_{Rdc} = \beta \times A_b \times f_k / \gamma_m$$

$\beta$  facteur de majoration pour les charges concentrées

$A_b$  aire d'appui soumise à la charge  
 $f_k$  résistance caractéristique de la maçonnerie  
 $\gamma_m$  coefficient partiel d'une propriété de matériau

$$A_b = 12,5 \times 10,0 = 125 \text{ cm}^2$$

donc

$$\beta = (1 + 0,3 \times a_1 / h_c) \times (1,5 - 1,1 \times A_b / A_{ef})$$

qui n'est généralement pas inférieur à 1, ni supérieur à  $1,25 + a_1 / (2 \times h_c)$

avec

$a_1$  distance de l'extrémité du mur au bord le plus proche de la surface soumise à la charge  
 $h_c$  hauteur du mur par rapport au niveau de la charge

$$A_{ef} = l_{efm} \times t$$

avec

$A_{ef}$  surface d'appui effective  
 $l_{efm}$  longueur effective d'un appui à mi-hauteur d'un mur

Les conditions sur les valeurs de  $\beta$  et  $A_{ef}$  sont les suivantes (selon § 6.1.3) :

$$1,0 \leq \beta \leq \text{Min}(1,25 + a_1 / (2 \times h_c) ; 1,5)$$

$$A_b / A_{ef} \leq 0,45$$

Par suite :

$$h_c = 2,90 \text{ m}$$

$$a_1 = 15,0 \text{ cm}$$

##### Poutrelles intermédiaires.

On calcule la longueur  $l_{efm}$  :

$$l_{efm} = l_c + 2 \times h_c / 2 \times \tan(30^\circ)$$

$$l_{efm} = 12,5 + 2 \times h_c / 2 \times \tan(30^\circ)$$

$$l_{efm} = 12,5 + 2 \times 290 / 2 \times \tan(30^\circ)$$

$$l_{efm} = 179,9 \text{ cm}$$

On vérifie :

$$A_b / A_{ef} \leq 0,45$$

$$A_b / A_{ef} = (10,0 \times 12,5) / (179,9 \times 14,0)$$

$$A_b / A_{ef} = 0,05 \leq 0,45$$

La distance  $a_1$  de l'extrémité du mur au bord le plus proche de la surface d'appui  $A_b$  vaut dans le cas des poutrelles intermédiaires :

$$a_1 = 75,0 + 15,0 = 90,0 \text{ cm}$$

Donc :

$$\beta = (1 + 0,3 \times 90,0 / 290) \times (1,5 - 1,1 \times 0,05)$$

$$\beta = 1,58$$

$$1,0 \leq \beta \leq \text{Min}(1,25 + 90,0 / (2 \times 290) ; 1,5)$$

$$1,0 \leq \beta \leq \text{Min}(1,41 ; 1,5)$$

$$1,0 \leq \beta \leq 1,41$$

$$\beta = 1,41 \text{ vérifie la condition } 1,0 \leq \beta \leq 1,41$$

On trouve la résistance caractéristique à la compression  $f_k$  de la maçonnerie :

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta$$

avec

$$f_b = \delta \times \delta_c \times f_{moy}$$

avec

$\delta$  coefficient de forme  
 $\delta_c$  coefficient de conditionnement

$$f_b = 1 \times 1 \times 5,7$$

$$f_b = 5,7 \text{ MPa}$$

$$f_k = 0,45 \times (5,7)^{0,7} \times (4)^{0,3}$$

$$f_k = 2,3 \text{ MPa}$$

$$N_{Rdc} = \beta \times A_b \times f_k / \gamma_m$$

$$N_{Rdc} = 1,41 \times (100 \times 125) \times 2,3 / 2,8$$

$$N_{Rdc} = 14,46 \text{ kN}$$

$$N_{Edc} = 14,1 \text{ kN}$$

$N_{Edc} < N_{Rdc}$   
La cloison en pierre est suffisamment résistante pour reprendre les descentes de charges apportées par les poutrelles intermédiaires.

#### EXEMPLE N°4 : MUR SOUMIS À DES CHARGES CONCENTRÉES

##### Poutrelles d'extrémités :

$$l_{efm} = l_c + a_1 + h_c / 2 \times \tan(30^\circ)$$

La distance  $a_1$  de l'extrémité du mur au bord le plus proche de la surface d'appui  $A_b$  vaut dans le cas des poutrelles d'extrémités :

$$a_1 = 15,0 \text{ cm}$$

$$l_{efm} = 12,5 + 15 + h_c / 2 \times \tan(30^\circ)$$

$$l_{efm} = 12,5 + 15 + 290/2 \times \tan(30^\circ)$$

$$l_{efm} = 111,2 \text{ cm}$$

On vérifie :

$$A_b / A_{ef} = (10,0 \times 12,5) / (111,2 \times 14,0)$$

$$A_b / A_{ef} = 0,08 \leq 0,45$$

Par suite :

$$\beta = (1 + 0,3 \times a_1 / h_c) \times (1,5 - 1,1 \times A_b / A_{ef})$$

$$\beta = (1 + 0,3 \times 15/290) \times (1,5 - 1,1 \times 0,08)$$

$$\beta = 1,43$$

Mais :

$$1,0 \leq \beta \leq \text{Min}(1,25 + 15/(2 \times 290) ; 1,5)$$

$$1,0 \leq \beta \leq \text{Min}(1,28 ; 1,5)$$

$$1,0 \leq \beta \leq 1,28$$

$$\beta = 1,28 \text{ vérifie la condition } 1,0 \leq \beta \leq 1,28$$

Par suite :

$$N_{Rdc} = \beta \times A_b \times f_k / \gamma_m$$

$$N_{Rdc} = 1,28 \times (100 \times 125) \times 2,3/2,8$$

$$N_{Rdc} = 13,14 \text{ kN}$$

$$N_{Edc} = 14,1 \text{ kN}$$

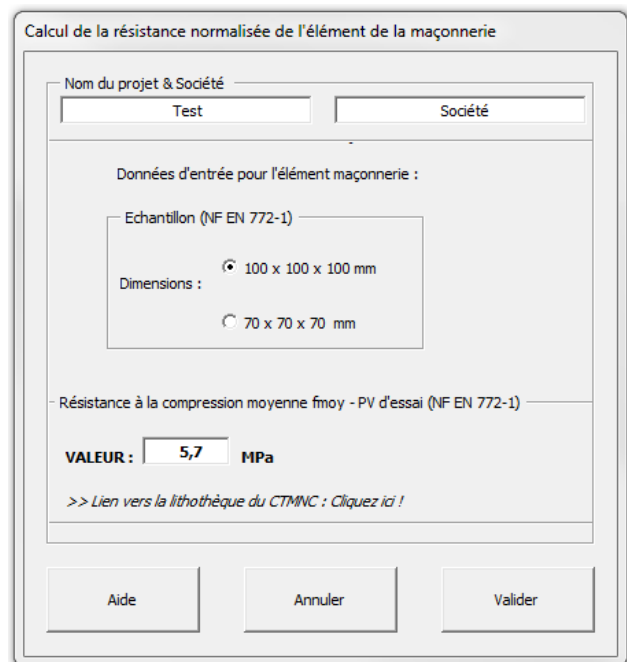
$$N_{Edc} > N_{Rdc}$$

La cloison n'est pas suffisamment résistante pour reprendre les descentes de charges transmises par les poutrelles d'extrémités. Une solution consisterait à légèrement augmenter l'épaisseur de la cloison.

##### JUSTIFICATION AVEC DIMAPIERRE-6

On vérifie le cas des poutrelles d'extrémités. Pour vérifier le cas des poutrelles intermédiaires, la méthode est exactement la même, si ce n'est qu'il faudra rentrer la valeur de 90,0 cm (au lieu de 15,0 cm) dans la case  $a_1$  de la fenêtre « Paramètres ».

Sur la feuille « Accueil », cliquez sur le bouton « Définition de l'élément de maçonnerie en pierre naturelle » et rentrez les informations comme ci-dessous. Une fois fait, terminez par le bouton « Valider ».





### EXEMPLE N°5 : MUR SOUMIS AU CISAILEMENT

#### ÉNONCÉ

On vérifie un mur soumis à un effort de cisaillement, dans ce cas un mur de refend.

L'effort de cisaillement  $V_{Ed}$  doit être inférieur à la résistance au cisaillement du mur  $V_{Rd}$ , soit  $V_{Ed} < V_{Rd}$ .

On devra aussi vérifier le non écrasement et le non-basculement du mur.

Les efforts sont simplement déterminés par des relations d'équilibre statique du mur soumis à un effort normal.

#### Références normatives :

§ 3.6.2 - § 6.2 - § 6.8.2 de l'EC6 ; EN 1052-3 ; EN 1052- 4.

#### Données d'étude:

Effort horizontal tranchant :  $V_{Ed} = 16000$  N

Hauteur du centre d'application :  $z_v = 2,75$  m

Coefficient partiel du matériau :  $\gamma_m = 2,8$

Effort vertical normal descendant du mur supérieur (appliqué à mi-longueur du mur) :  $N_{Ed,h} = 60000$  N

Effort vertical normal descendant du mur supérieur (par rapport au centre de gravité  $e_a$ ) :

$N_{Ed,m} = 29100$  N

Épaisseur du mur :  $t = 20$  cm

Longueur du mur :  $L = 3$  m

Résistance à la compression du mortier :  $f_m = 5$  MPa

Résistance caractéristique initiale au cisaillement de la maçonnerie :  $f_{vk0} = 0,15$  MPa

Résistance moyenne à la compression :

$f_{moy} = 14,9$  MPa

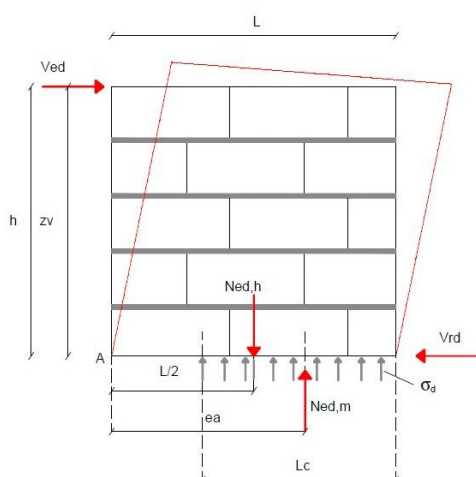


Fig.6 Mur soumis au cisaillement

#### JUSTIFICATION PAR CALCUL MANUEL

$$f_b = \delta \times \delta_c \times f_{moy}$$

avec

$f_b$  est la résistance moyenne normalisée à la compression du matériau

$\delta$  coefficient de forme

$\delta_c$  coefficient de conditionnement

$f_{moy}$  est la résistance moyenne à la compression du matériau

$$f_b = 0,94 \times 0,8 \times 14,9$$

$$f_b = 11,2 \text{ MPa}$$

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta$$

Avec

$f_k$  résistance caractéristique à la compression de la maçonnerie

$f_m$  résistance à la compression du mortier

$\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes du matériau pierre

$K$  est une constante (tableau 3.3 du § 3.6.1.2 EC6)

donc

$$f_k = 0,45 \times 11,2^{0,7} \times 5^{0,3} = 3,95 \text{ MPa}$$

On calcule le moment  $M_a$  à l'extrémité A

$$M_a = N_{Ed,h} \times L/2 + (V_{Ed} \times z_v)$$

avec

$N_{Ed,h}$  effort vertical

$V_{Ed}$  effort horizontal

$z_v$  hauteur du centre d'application de l'effort horizontal

$L$  longueur du mur

Donc :

$$M_a = 134 \text{ KN.m}$$

On calcule la position du centre de gravité  $e_a$  de l'effort normal N (point de moment nul)

$$e_a = M_a / (N_{Ed,h} + N_{Ed,m}) = 1,5 \text{ m}$$

$$l_c = 2 \times [L - (2 \times e_a)]$$

où  $l_c$  est la longueur comprimée du mur

$$l_c = 2 \times [3 - (2 \times 1,5)] = 2,99 \text{ m}$$

On calcule (§ 6.2 de l'EC6)

$$V_{Rd} = f_{vd} \times t \times l_c$$

avec

$f_{vd}$  résistance au cisaillement de la maçonnerie

$\sigma_d$  contrainte de compression perpendiculaire au cisaillement



#### EXEMPLE N°5 : MUR SOUMIS AU CISAILLEMENT

$$\sigma_d = (N_{Ed,h} + N_{Ed,m}) / (l_c \times t)$$

$$\sigma_d = 0,149 \text{ MPa}$$

On calcule (§ 3.6.2 de l'EC6)

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \times \sigma_d$$

avec

$f_{vk0}$  résistance caractéristique initiale au cisaillement

$$f_{vk} = 0,209 \text{ MPa}$$

sans être supérieure à  $0,065 \times f_b$  ou  $f_{vlt}$

avec

$f_{vlt}$  valeur limite de  $f_{vk}$

donc

$$f_{vk} = 0,209 \text{ MPa}$$

$$f_{vk} < 0,065 \times f_b$$

$$0,2596 < 0,728 \text{ MPa}$$

$$f_{vlt} = \text{Min} (f_{vk} ; f_{vk \text{ max}}) / \gamma_m$$

$$f_{vlt} = 0,075 \text{ MPa}$$

Donc (§ 6.2 de l'EC6)

$$V_{Rd} = f_{vd} \times t \times l_c$$

$$V_{Rd} = 41860 \text{ N}$$

$$V_{Ed} = 16000 \text{ N}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

Il est vérifié que l'effort de cisaillement est inférieur à la résistance de cisaillement du mur.

On vérifie aussi, pour le non écrasement que la contrainte de compression  $\sigma_d$ , est inférieure à la résistance à la compression de la maçonnerie dans la direction prise en considération  $f_d$  :

$$\sigma_d < f_d$$

avec

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

$$f_d = 3,95 / 2,8 = 1,41$$

$$\text{donc } 0,149 < 1,41 \text{ MPa}$$

Il est vérifié que la contrainte  $\sigma_d$  est inférieure à la résistance  $f_d$ .

Si l'effort horizontal appliqué sur le mur est trop important, il y a un risque de basculement, lorsque l'inégalité suivante n'est pas vérifiée :

$$(z_v \times V_{ed}) / (N_{Edh} + N_{Edm}) < (L - e_a)$$

$$(2,75 \times 16000) / (60000 + 29100) < (1,5)$$

Donc

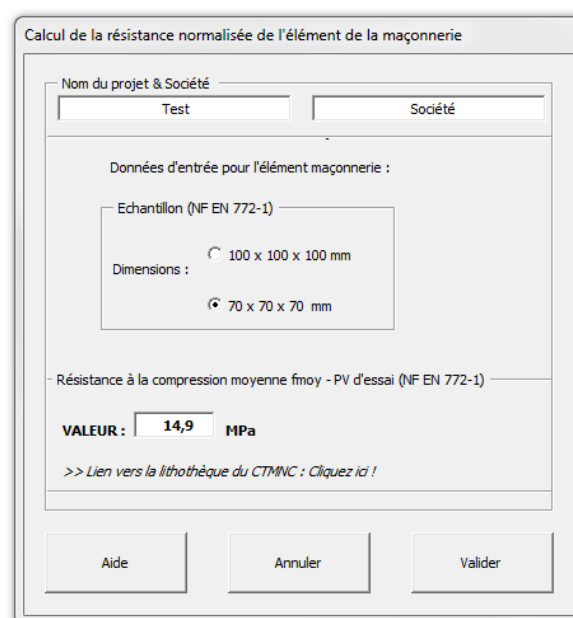
$$0,493 < 1,5 \text{ m}$$

Le non - basculement est vérifié.

#### JUSTIFICATION AVEC DIMAPIERRE-6

On vérifie le cas d'un mur soumis au cisaillement, avec le logiciel DIMAPIERRE-6.

Sur la feuille « Accueil », cliquez sur le bouton « Définition de l'élément de maçonnerie en pierre naturelle » et rentrez les informations comme ci-dessous. Terminez par le bouton « Valider ».



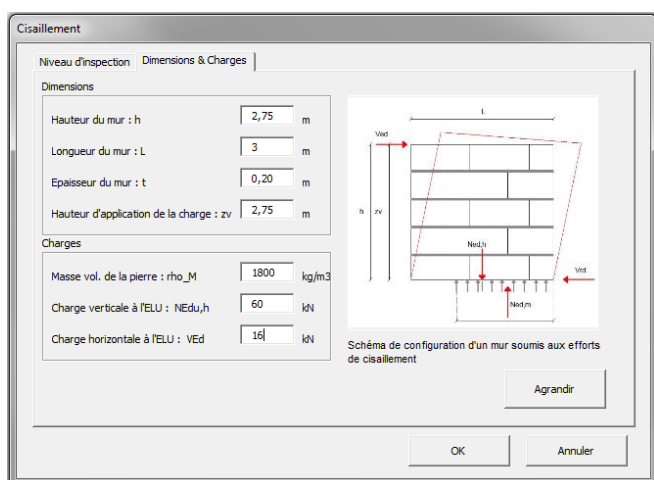
Rentrez ensuite la résistance du mortier en cliquant sur le bouton « Caractéristiques du mortier et des joints ».



#### EXEMPLE N°5 : MUR SOUMIS AU CISAILEMENT

Cliquez ensuite sur le bouton « Calcul des résistances » : la valeur de  $f_k$  apparaît dans l'encart à droite qui se colorie en vert.

Vous pouvez maintenant choisir le type de mur à vérifier, un mur soumis au cisaillement, puis lancez le calcul. Vous êtes redirigé vers la feuille de calcul de la méthode désirée. Cliquez sur « Paramètres », puis remplissez les informations telle qu'indiquée ci-dessous. Une fois fait, cliquez sur le bouton « OK » de la fenêtre « Paramètres ».



Comparons maintenant les résultats obtenus.

L'outil nous donne les valeurs suivantes :

$$\sigma_d = (N_{Ed,h} + N_{Ed,m}) / (l_c \times t) = 0,149 \text{ MPa}$$

$$f_{vk} = 0,21 \text{ MPa}$$

$$f_{vk} < 0,065 \times f_b$$

$$0,21 < 0,728 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd} = 41860 \text{ N}$$

$$V_{Ed} = 16000 \text{ N}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

Il est vérifié que l'effort de cisaillement donné est inférieur à la résistance de cisaillement calculé.

Ensuite :

$$\sigma_d < f_d$$

$$\sigma_d = 0,149 \text{ MPa}$$

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

$$f_d = 3,95 / 2,8 = 1,41$$

$$\text{donc } 0,149 < 1,41 \text{ MPa}$$

Il est vérifié que la contrainte  $\sigma_d$  est inférieure à la résistance à la compression  $f_d$ .

Enfin :

$$(z_v \times V_{Ed}) / (N_{Ed,h} + N_{Ed,m}) < (L - e_a)$$

$$(2,75 \times 16000) / (60000 + 29100) < (1,5)$$

$$0,493 < 1,5$$

Le non-basculement est vérifié.

#### COMPARAISON CALCUL MANUEL ET DIMAPIERRE-6

Les valeurs de  $V_{Rd}$  et  $\sigma_d$  obtenues avec Dimapierre-6 sont identiques, à l'approximation près, à celles du calcul manuel.

#### ÉDITION D'UNE NOTE DE CALCUL

Une fois le mur vérifié, vous pouvez éditer une note de calcul qui contient tous les données renseignées précédemment. Une Annexe à la note vous donne plus d'informations concernant notamment les règles de calcul appliquées selon l'Eurocode 6 et son NA. Vous pouvez imprimer la note de prédimensionnement en format Word et/ou PDF.

#### EXEMPLE N°6 : ÉTUDE D'UN LINTEAU

##### ÉNONCÉ

On considère un linteau en pierre supporté par deux parties de mur selon la disposition présentée ci-dessous. On vérifie la résistance de la maçonnerie sous les appuis d'un linteau.

##### Références normatives :

§ 6.1.3 de l'EC6

##### Données d'étude :

Résistance moyenne à la compression :  $f_{moy} = 14,9$  MPa

Résistance à la compression du mortier de montage :

$f_m = 5$  MPa

Coefficient partiel de sécurité pour les actions permanentes :  $\gamma_G = 1,35$

Coefficient partiel de sécurité pour les actions d'exploitation :  $\gamma_Q = 1,5$

Première partie du mur qui supporte le linteau :

$l_1 = 3$  m

Deuxième partie du mur qui supporte le linteau :

$l_2 = 0,75$  m

Distance entre les deux parties du mur :  $l_0 = 2,20$  m

Portée du plancher :  $l_p = 6$  m

Charge d'exploitation sur le plancher :

$q_p = 1,5$  KN/m<sup>2</sup>

Masse volumique de la pierre :  $\rho_m = 1800$  Kg/m<sup>3</sup>

Hauteur utile du linteau :  $d = 0,40$  m

Hauteur libre du mur :  $h = 2,70$  m

Hauteur du mur par rapport au niveau de la charge :

$h_c = 2,30$  m

Épaisseur du mur :  $t = 0,20$  m

Charge au-dessus du plancher :  $N_{Edu} = 3,7$  KN/m

Charge sous le plancher :  $N_{Edf} = 26,19$  KN/m

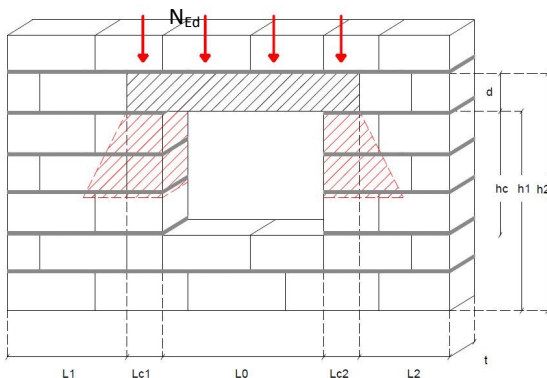


Fig.7 Configuration du mur avec ouverture : chargement mur et linteau

##### JUSTIFICATION PAR CALCUL MANUEL

$$f_b = \delta \times \delta_c \times f_{moy}$$

avec

$\delta$  coefficient de forme

$\delta_c$  coefficient de conditionnement

$f_b$  est la résistance moyenne normalisée à la compression du matériau

$f_{moy}$  est la résistance moyenne à la compression du matériau

$$f_b = 11,2$$
 MPa

donc

$$f_k = K \times f_b^\alpha \times f_m^\beta$$

où :

$\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes du matériau pierre ;

$K$  est une constante selon le tableau 3.3 du § 3.6.1.2 de l'EC6.

$$f_k = K \times f_b^{0,7} \times f_m^{0,3} = 3,95$$
 MPa

$$f_d = f_k / \gamma_m$$

avec

$f_d$  = résistance à la compression dans la maçonnerie dans la direction prise en considération

$\gamma_m = 2,8$  coefficient partiel du matériau (niveau IL2)

$$f_d = 1,41$$
 MPa

La charge appliquée sur le linteau correspond à la descente de la charge relative aux chargements supérieurs (planchers et murs) plus le poids pondéré du linteau.

On détermine la charge effective du linteau :

$$l_{ef} = l_0 + l_{c1} + l_{c2}$$

avec

$l_{ef}$  portée effective du linteau

$l_{c1}$  longueur de la partie du mur soumise à la compression, côté N°1 (partie gauche)

$l_{c2}$  longueur de la partie du mur soumise à la compression, côté N°2 (partie droite)

avec

$$l_{c1} = \text{Min} (d/2 ; l_1/2) = 0,20$$
 m

$$l_{c2} = \text{Min} (d/2 ; l_2/2) = 0,20$$
 m

$$l_{ef} = l_0 + l_{c1} + l_{c2} = 2,60$$
 m

$$N_{Edm} = \gamma_G \times l_{ef} \times t \times d \times \rho_m$$

avec

$N_{Edm}$  charge reprise par le linteau

$$N_{Edm} = 1,35 \times 2,6 \times 0,20 \times 0,40 \times \rho_m = 4,96$$
 KN

#### EXEMPLE N°6 : ÉTUDE D'UN LINTEAU

Connaissant  $l_{ef}$  il est donc possible de déterminer l'aire  $A_1$  (triangle isocèle).

On considère une transmission des efforts à  $60^\circ$  dans la maçonnerie

$$A_1 \text{ (triangle isocèle)} = l_{ef}^2 \times \text{tg } 60^\circ / 4$$

$$A_1 = 2,92 \text{ m}^2$$

$$A_2 \text{ (trapèze)} = h \times (l_{ef} + (l_{ef} - 2 \times h / \text{tg } 60^\circ))$$

$$A_2 = 2,81 \text{ m}^2$$

On prend la valeur de  $A_1$ .

On calcule les descentes de charge :

$$N_{Edc} = 1/2 \times (A_1 \times N_{Edu} + l_{ef} \times N_{Edf} + N_{Edm})$$

donc

$$N_{Edc} = 41,94 \text{ kN}$$

On calcule les descentes de charges  $N_{Edc}$  de chaque côté du linteau.

On vérifie que l'effort résistant de la maçonnerie  $N_{Rdc}$  est supérieur à  $N_{Edc}$  pour chacun des appuis.

**Côté N°1 à gauche** (réf. fig. 7)

$$A_b = l_{c1} \times t = 0,04 \text{ m}^2$$

$$l_{efm} = 0,84 \text{ m}$$

On calcule

$$A_{ef} = l_{efm} \times t$$

avec

$A_{ef}$  surface d'appui effective

$$A_{ef} = 0,17 \text{ m}^2$$

$$\beta = (1 + 0,3 \times a_1 / h_c) \times (1,5 - 1,1 \times A_b / A_{ef})$$

avec

$a_1 = 0$  distance de l'extrémité du mur au bord le plus proche de la surface soumise à la charge

$h_c$  hauteur du mur par rapport au niveau de la charge

Donc

$$\beta = (1 + 0) \times (1,5 - 1,1 \times 0,04 / 0,17)$$

$$\beta = 1,24$$

$\beta$  n'est généralement pas inférieur à 1, ni supérieur à  $1,25 + a_1 / (2 \times h_c)$  (§ 6.1.3 de l'EC6)

$$1,0 \leq \beta \leq \text{Min}(1,25 + a_1 / (2 \times h_c) ; 1,5)$$

$$1,0 \leq \beta \leq \text{Min}(1,25 ; 1,5)$$

$$1,0 \leq \beta \leq 1,25$$

$$\beta = 1,24 \text{ vérifie la condition } 1,0 \leq \beta \leq 1,25$$

$$N_{Edc} = 41,94 \text{ kN}$$

$$N_{Rdc} = \beta \times A_b \times f_k / \gamma_m$$

$$N_{Rdc} = 70,08 \text{ kN}$$

donc  $N_{Edc} < N_{Rdc}$

La résistance de la maçonnerie sous les appuis du linteau, est vérifiée.

**Côté N°2 à droite** (réf. fig. 7)

$$A_b = l_{c2} \times t = 0,04 \text{ m}^2$$

$$l_{efm} = 0,75 \text{ m}$$

$$A_{ef} = l_{efm} \times t$$

avec

$A_{ef}$  surface d'appui effective

$$A_{ef} = 0,15 \text{ m}^2$$

$$\beta = (1 + 0,3 \times a_1 / h_c) \times (1,5 - 1,1 \times A_b / A_{ef})$$

avec

$a_1 = 0$  distance de l'extrémité du mur au bord le plus proche de la surface soumise à la charge

$h_c$  hauteur du mur par rapport au niveau de la charge

Donc

$$\beta = (1 + 0) \times (1,5 - 1,1 \times 0,04 / 0,15)$$

$$\beta = 1,21$$

$\beta$  n'est généralement pas inférieur à 1, ni supérieur à  $1,25 + a_1 / (2 \times h_c)$  (§ 6.1.3 de l'EC6)

$$1,0 \leq \beta \leq \text{Min}(1,25 + a_1 / (2 \times h_c) ; 1,5)$$

$$1,0 \leq \beta \leq \text{Min}(1,25 ; 1,5)$$

$$1,0 \leq \beta \leq 1,25$$

$$\beta = 1,21 \text{ vérifie la condition } 1,0 \leq \beta \leq 1,25$$

$$N_{Edc} = 41,94 \text{ kN}$$

$$N_{Rdc} = \beta \times A_b \times f_k / \gamma_m$$

$$N_{Rdc} = 68,24 \text{ kN}$$

donc  $N_{Edc} < N_{Rdc}$

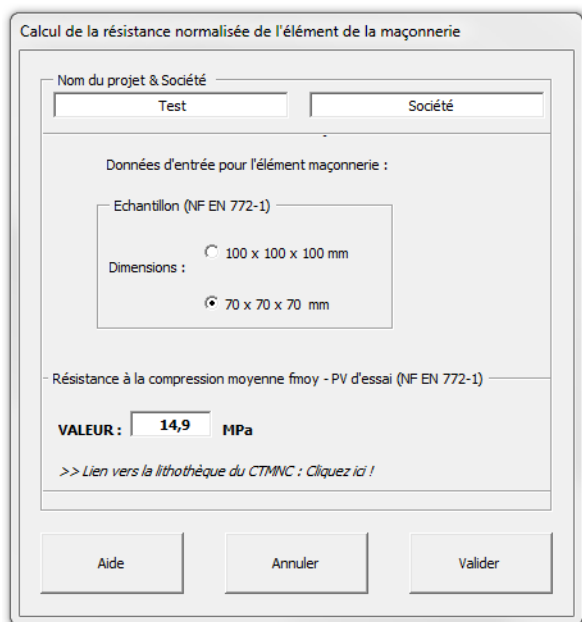
La résistance de la maçonnerie sous les appuis du linteau est vérifiée.

### EXEMPLE N°6 : ÉTUDE D'UN LINTEAU

#### JUSTIFICATION PAR DIMAPIERRE-6

Pour étudier le linteau, la méthode est la même que pour un mur soumis aux charges concentrées avec le logiciel DIMAPIERRE-6.

Sur la feuille « Accueil », cliquez sur le bouton « Définition de l'élément de maçonnerie en pierre naturelle » et rentrez les informations comme ci-dessous. Une fois fait, terminez par le bouton « Valider ».



Calcul de la résistance normalisée de l'élément de la maçonnerie

Nom du projet & Société  
 Test Société

Données d'entrée pour l'élément maçonnerie :

Echantillon (NF EN 772-1)  
 Dimensions :   
 100 x 100 x 100 mm  
 70 x 70 x 70 mm

Résistance à la compression moyenne  $f_{moy}$  - PV d'essai (NF EN 772-1)  
**VALEUR : 14,9 MPa**

>> Lien vers la lithothèque du CTMNC : Cliquez ici !

Aide Annuler Valider

Rentrez ensuite la résistance du mortier en cliquant sur le bouton « Caractéristiques du mortier et des joints ».

Cliquez ensuite sur le bouton « Calcul de la résistance caractéristique de la maçonnerie » : la valeur de  $f_k$  apparaît dans l'encart à droite qui se colorie en vert.

Vous êtes redirigé vers la feuille de calcul de la méthode désirée.

Cliquez sur « Paramètres », puis remplissez les informations telle qu'indiquée ci-dessous. Une fois fait, cliquez sur le bouton « OK » de la fenêtre « Paramètres ».

Comparons maintenant les résultats obtenus.

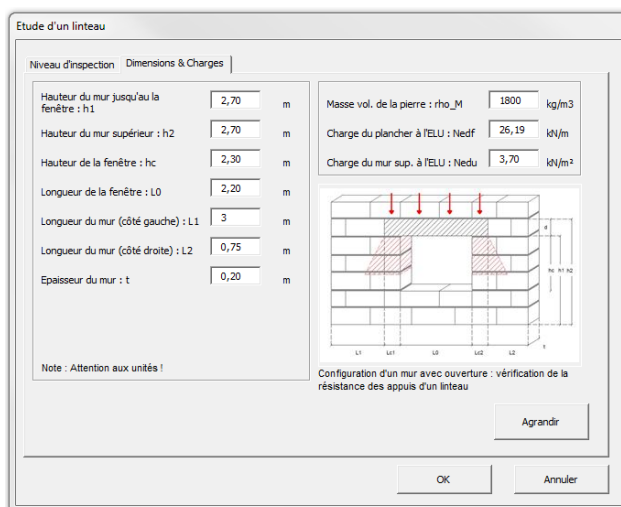
L'outil nous donne les valeurs suivantes :

Pour le côté à gauche :

$$N_{Edc} = 41,94 \text{ KN}$$

$$N_{Rdc} = 70,08 \text{ KN}$$

$$\text{Donc } N_{Edc} < N_{Rdc}$$



Etude d'un linteau

Niveau d'inspection Dimensions & Charges

Hauteur du mur jusqu'à la fenêtre : h1 2,70 m  
 Hauteur du mur supérieur : h2 2,70 m  
 Hauteur de la fenêtre : hc 2,30 m  
 Longueur de la fenêtre : L0 2,20 m  
 Longueur du mur (côté gauche) : L1 3 m  
 Longueur du mur (côté droite) : L2 0,75 m  
 Epaisseur du mur : t 0,20 m

Masse vol. de la pierre : rho\_M 1800 kg/m3  
 Charge du plancher à l'ELU : Nedf 26,19 kN/m  
 Charge du mur sup. à l'ELU : Nedu 3,70 kN/m2

Note : Attention aux unités !  
 Configuration d'un mur avec ouverture : vérification de la résistance des appuis d'un linteau

Agrandir

OK Annuler

Pour le côté à droite :

$$N_{Edc} = 41,94 \text{ KN}$$

$$N_{Rdc} = 68,2 \text{ KN}$$

$$\text{Donc } N_{Edc} < N_{Rdc}$$

Il est vérifié que l'effort résistant de la maçonnerie  $N_{Rdc}$  est supérieur à  $N_{Edc}$  pour chacun des appuis.

#### COMPARAISON CALCUL MANUEL ET DIMAPIERRE-6

Les valeurs de  $N_{Edc}$  et  $N_{Rdc}$  obtenues avec Dimapierre-6 sont identiques, à l'approximation près, à celles du calcul manuel.

#### ÉDITION D'UNE NOTE DE CALCUL

Une fois le mur vérifié, vous pouvez éditer une note de calcul qui contient tous les données renseignées précédemment. Une Annexe à la note vous donne plus d'informations concernant notamment les règles de calcul appliquées selon l'Eurocode 6 et son NA. Vous pouvez imprimer la note de pré-dimensionnement en format Word et/ou PDF.

### ANNEXES

Tableau 3.4 — Valeurs de résistance initiale au cisaillement de la maçonnerie  $f_{vk0}$

Éléments de maçonnerie	$f_{vk0}$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	Mortier d'usage courant de la classe de résistance donnée		Mortier de joints minces (joint d'assise $\geq 0,5$ mm $\leq 3$ mm)
Terre cuite	M10 — M20	0,30	0,30
	M2,5 — M9	0,20	
	M1 — M2	0,10	
Silico-calcaire	M10 — M20	0,20	0,40
	M2,5 — M9	0,15	
	M1 — M2	0,10	
Béton de granulats	M10 — M20	0,20	0,30
Béton cellulaire autoclavé	M2,5 — M9	0,15	
Pierre reconstituée et pierre naturelle prétaillée	M1 — M2	0,10	

Fig. 8 Extrait NF EN 1996-1-1/NA Décembre 2009

Matériau	$\gamma_M$			
	Niveaux de contrôle			
	IL3	IL2	IL1	
Maçonnerie constituée de :				
A	Éléments de Catégorie I, mortier performantiel <sup>a) f)</sup>	1,5	2,0	2,5
B	Éléments de Catégorie I, mortier de recette <sup>b) f)</sup>	1,7	2,2	2,7
C	Éléments de Catégorie II, tout mortier <sup>a) b) e) f)</sup>	2,3	2,8	3,3
D	Ancrage d'acier d'armature	1,7	2,2	2,7
E	Acier d'armature et de précontrainte	1,15		
F	Composants accessoires <sup>c) d)</sup>	1,7	2,2	2,7
G	Linteaux conformes à la NF EN 845-2	1,5	2,0	2,5

a) Les prescriptions relatives aux mortiers performantiels sont données dans l'EN 998-2 et l'EN 1996-2.  
 b) Les prescriptions relatives aux mortiers de recette sont données dans l'EN 998-2 et l'EN 1996-2.  
 c) Les valeurs déclarées sont des valeurs moyennes.  
 d) Les éléments de coupure de capillarité sont supposés être couverts par les  $\gamma_M$  des éléments de maçonnerie.  
 e) Lorsque le coefficient de variation applicable aux éléments de Catégorie II n'est pas supérieur à 25 %.  
 f) Les éléments de catégorie I ont une résistance à la compression déclarée avec une probabilité de 95 % d'atteindre cette valeur. Les éléments de catégorie II ne présentent pas ce niveau de confiance. La correction résultant de cette dispersion est introduite par la valeur de  $\gamma_M$  (ligne C).

Fig. 9 Extrait NF EN 1996-1-1/NA Décembre 2009

### ANNEXES

Valeurs de  $f_{xk1}$ , pour plan de rupture parallèle aux lits de pose

Éléments de maçonnerie en	$f_{xk1}$ (MPa)		
	Mortier d'usage courant <sup>a)</sup>	Mortier de joints minces <sup>a)</sup>	Mortier allégé <sup>a)</sup>
	$f_m \geq 5$ MPa ou $\geq 10$ MPa <sup>a)</sup>		
Terre cuite	0,10	0,15	0,10
Silico-calcaire	0,10	0,20	non disponible
Béton de granulats courants	0,10	0,20	non disponible
Béton cellulaire autoclavé	0,10	0,15	0,10
Pierre reconstituée	0,10	non disponible	non disponible
Pierre naturelle dimensionnée	0,10	0,15	non disponible

*a) Les garde-fous ci-dessus sur les classes de mortier de montage permettent d'éviter un poinçonnement prématuré de celui-ci, notamment dans le cas des produits multi-alvéolés à parois minces largement utilisés en France. Des indications utiles à ce sujet sont données dans la norme NF DTU 20.1 (P 10-202). Pour les pierres dimensionnées, afin d'assurer la prise en compte de la cohérence avec le DTU 20.1 : > M2,5 pour les pierres tendres, > M5 pour les pierres fermes, > M10 pour les pierres dures.*

Valeurs de  $f_{xk2}$ , pour plan de rupture perpendiculaire aux lits de pose

Éléments de maçonnerie en	$f_{xk2}$ (MPa)		
	Mortier d'usage courant <sup>a)</sup>	Mortier de joints minces <sup>a)</sup>	Mortier allégé <sup>a)</sup>
	$f_m \geq 5$ MPa ou $\geq 10$ MPa <sup>a)</sup>		
Terre cuite	0,40	0,15	0,10
Silico-calcaire	0,40	0,30	non disponible
Béton de granulats courants	0,40	0,30	non disponible
Béton cellulaire autoclavé	$\rho < 400$ kg/m <sup>3</sup>	0,20	0,20
	$\rho \geq 400$ kg/m <sup>3</sup>	0,40	0,30
Pierre reconstituée	0,40	non disponible	non disponible
Pierre naturelle dimensionnée	0,40	0,15	non disponible

*a) Les garde-fous ci-dessus sur les classes de mortier de montage permettent d'éviter un poinçonnement prématuré de celui-ci, notamment dans le cas des produits multi-alvéolés à parois minces largement utilisés en France. Des indications utiles à ce sujet sont données dans la norme NF DTU 20.1 (P 10-202). Pour les pierres dimensionnées, afin d'assurer la prise en compte de la cohérence avec le DTU 20.1 : > M2,5 pour les pierres tendres, > M5 pour les pierres fermes, > M10 pour les pierres dures.*

Fig. 10-11 Extrait NF EN 1996-1-1/NA Décembre 2009

## ANNEXES

**Tableau A.1 — Facteur de forme  $d$  permettant de tenir compte des dimensions des éprouvettes soumises à l'essai après préparation de leur surface**

Largeur mm Hauteur <sup>a)</sup> mm	50	100	150	200	≥ 250
40	0,80	0,70	—	—	—
50	0,85	0,75	0,70	—	—
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥ 250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

NOTE Une interpolation linéaire est permise entre des valeurs adjacentes du facteur de forme.  
a) Hauteur après préparation de la surface.

Fig. 12 Extrait NF EN 772-1 + A1 Décembre 2015



### FORMATION PROPOSÉE PAR LE CTMNC



FORMATIONS 2016

## La construction en pierre massive selon l'Eurocode 6

Découvrez les règles techniques harmonisées des maçonneries en pierre massive



Crédit photo  
ROCAMAT

#### Durée

1 journée

#### Date

Nous consulter

#### Lieu

CTMNC—Paris 15ème

#### Objectifs

- ✓ Connaître le contexte normatif et réglementaire de la maçonnerie en pierre
- ✓ Appliquer les règles EC6 aux maçonneries en pierre naturelle
- ✓ Évaluer leur impact vis - à vis des règles du DTU 20.1 existant (octobre 2008)

#### Animation

**Mme Carla PANI**  
Experte Technique du  
CTMNC (Centre Technique de  
Matériaux Naturels de  
Construction)

#### Contenu pédagogique

- ✓ Normes associées : DTU 20.1 - NF EN 1996 (EC6)
- ✓ Utilisation de Lithoscope du CTMNC pour la détermination des propriétés normalisées des pierres naturelles
- ✓ Étude d'exemples avec l'utilisation de l'outil DIMAPIERRE - 6 développé par le CTMNC

#### Public

- ✓ Chefs d'entreprise
- ✓ Bureaux d'études
- ✓ Technico-commerciaux
- ✓ Maître d'oeuvre/maître d'ouvrage

#### Coût

- ✓ **Inter-Entreprise : 450 €**  
*Le nombre minimum de participants doit être de 4 personnes*
- ✓ **Intra-Entreprise : (nous consulter)**  
*Le CTMNC peut proposer une formation dans votre entreprise (ou groupement d'entreprises) Avec un programme sur mesure sur ce thème*

CTMNC (Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction) – Tel. 01 44 37 50 00 – Fax 01 44 37 08 02

17, rue Letellier – 75015 Paris – [www.ctmnc.fr](http://www.ctmnc.fr)





DIMAPIERRE-6 *Version 2* (18.04.2016)  
Guide d'utilisation  
(Paris, avril 2016)  
<http://www.ctmnc.fr>

C.T.M.N.C. - Roches Ornementales et de Construction  
17, rue Letellier - 75015 Paris, France  
Pour toute information vous pouvez contacter :  
Carla Pani  
Email : [pani.c@ctmnc.fr](mailto:pani.c@ctmnc.fr)  
Tél : +33(0)1 44 37 50 04