

SOLUTIONS POUR LA REPARATION ET LE RENFORCEMENT DES CONSTRUCTIONS EN MACONNERIES EXISTANTES

1- INTRODUCTION :

Les causes d'affaiblissement et de détérioration des structures en maçonnerie peuvent être attribuées à plusieurs facteurs :

- imperfection dans la conception initiale ;
- intervention de facteurs nouveaux ou inconnus : ajout à la construction , changements environnementaux , séismicité.... ;
- détérioration des matériaux : disparition du mortier des joints , apparition de vides dans les murs....

Les solutions généralement apportées aux problèmes repris ci-dessus vont du simple rejointoiement à la reconstruction d'éléments complets de structure. MTech Patrimonium présente des produits dont le but , en cas de nécessité , est :

- la consolidation des éléments composant la structure par l'injection de coulis minéral;
- le remplacement ou le renforcement des fonctions structurelles de la maçonnerie par des ancrages en acier .

L'usage de coulis minéral de stabilisation est prescrit après investigation de l'état général de la maçonnerie : présence de vides , détérioration du remplissage du mur.

La gamme d'ancrages développée par MTech (voir tableau 1 – index ancrages) répond aux types de problèmes rencontrés .

Le principe de ces ancrages consiste à armer la maçonnerie par des ancrages gainés en acier qui sont ensuite injectés au moyen d'un coulis minéral (tableau 2 – fiche technique coulis CA MTECH) spécial exploitant les qualités rétentrices de la gaine . Ces ancrages se distinguent par leur armature et le mode d'injection du coulis. Il peuvent être post-contraints .

L'Eurocode 6 (EN 1996) contient des recommandations sur le calcul des structures en maçonnerie mais ne traite pas réellement des maçonneries armées et précontraintes . MTech Patrimonium préconise l'utilisation de la norme anglaise BS 5628 Part 2 qui sera d'application lors de la prescription des ancrages nécessaires pour le renforcement des structures traitées .

Les produits de MTech Patrimonium sont conformes à la Charte de Venise (restauration du patrimoine).

2 – INVESTIGATIONS PRELIMINAIRES : (voir liste des documents tableau 3)

Il est clair que la restauration de bâtiments existants passe par le rassemblement d'un maximum de données sur la construction : plans , visites et essais ...

MTech Patrimonium propose dans un premier stade une investigation complète des données : analyse des documents , visites , essais..... dont les phases sont reprises ci-dessous en référence à l'EC8 et qui donnera lieu à un rapport complet .

GENERAL :

Les aspects suivants doivent être soigneusement analysés :

- 1- le type de construction en maçonnerie (argile , blocs béton évidés , briques , moellons...);
- 2- les conditions physiques des éléments de maçonnerie et la présence de désordres ;
- 3- la configuration des éléments en maçonnerie et leur liasonnement , de même que la continuité du transfert des charges entre éléments résistant latéralement ;
- 4- les propriétés des matériaux constituant les maçonneries et leurs joints et connections ;
- 5- la présence et la qualité des revêtements , la présence d'éléments non structurels , la distance entre les cloisons ;
- 6- la mitoyenneté avec d'autres bâtiments interagissant avec le bâtiment considéré.

GEOMETRIE :

Les données recueillies doivent inclure :

- 1- les dimensions des murs de contreventement , y compris leurs hauteurs , longueurs et épaisseurs ;
- 2- les dimensions des maçonneries ;
- 3- l'emplacement et les dimensions des ouvertures (portes et fenêtres) ;
- 4- la descente de charges sur les murs porteurs et leur transfert aux fondations .

DETAILS :

Les données recueillies doivent inclure :

- 1- la classification des murs en non armés , confinés ou armés ;
- 2- la présence et la qualité du mortier , la qualité des joints : résistance ,érosion et dureté , l'identification des fissures (horizontales ou verticales dans les joints ou obliques au

voisinage des ouvertures) , vides , éléments plus fragiles et de l'état éventuel de dégradation du mortier ;

3- pour les murs renforcés la quantité et l'emplacement de l'acier ;

4- l'état des connections entre murs verticaux et entre murs et planchers ou toitures ;

5- pour les murs ventilés le nombre de murs et de liaisons entre eux ainsi que la distance les séparant ; pour les mur à « fouilles » (blocaille) , l'état des parements , des remplissages , leurs épaisseurs et les

MATERIAUX :

Des tests non destructifs peuvent être faits pour quantifier et confirmer l'uniformité de la qualité de la construction ou son degré de détérioration au cas où les relevés révéleraient que ceux-ci sont douteux :

1- vitesse des pulsations mécaniques ou ultrasoniques pour détecter les variations de densité et de modules des matériaux et afin de détecter fissures ou discontinuités ;

2- échographie d'impact pour confirmer l'injection des murs armés ;

3- radiographie si nécessaire pour confirmer l'emplacement des armatures ;

D'autres tests peuvent être réalisés pour confirmer les propriétés des matériaux et l'état des maçonneries .

2- ANALYSE :

L'Eurocode 6 définit la méthode sur laquelle est basée le calcul des ancrages .

Ces calculs seront faits par des bureaux d'études et donneront lieu à une liste d'interventions éventuelles de réparations et de renforcement sur la structure du bâtiment.

3- PRINCIPE GENERAUX DE CALCUL DES ANCRAGES :

Le calcul sera basé sur l'EC6 qui en définit les principes généraux tant pour les combinaisons de charges que pour les résistances des matériaux :

- 1/- La maçonnerie armée est calculée pour répondre aux divers états limites ultimes (résistance) tout en supposant qu'elle satisfait aux états limites de service (flèche et fissuration).
- 2/- Dans les états limites ultimes , les coefficients de sécurité sont tels que définis dans le Tableau 4 – Coefficients de sécurité .
- 3/- La résistance du substrat est calculée grâce aux méthodes définies dans l'EC6 #3 qui sont fonction de la résistance mécanique des unités de maçonnerie (brique , bloc béton, pierre naturelle) et du mortier .
- 4/- L'effort tranchant doit être contrôlé mais est rarement déterminant
- 5/- La contrainte admise pour l'adhérence en circonférence du trou de forage est **250 kN/m²** basé sur des essais de laboratoire et en appliquant un coefficient de sécurité de 2,5 (Eurocode 6) . Une réduction de cette contrainte doit être considérée pour des substrats denses et lisses (granites.): **100 kN/m²** .
- 6/- L'acier utilisé est spécifié pour chaque type d'ancrage dans le tableau 4 avec un limite élastique de 500 MN/m².

Le tableau 5 donne les caractéristiques usuelles des armatures en acier des ancrages figurant dans la gamme de MTech Patrimonium.

Le tableau 6 donne les résistances usuelles en compression et en cisaillement des différents types de substrats .

Les ancrages sont placés de manière à travailler en cisaillement ou en traction .

En cisaillement seule la résistance de la section d'acier est considérée dans les calculs.

En traction , l'adhérence du coulis à l'acier d'une part et à la maçonnerie d'autre part entraîne la création de biellettes de compression le long de l'ancrage injecté , sollicitant la maçonnerie à la manière d'une charge concentrée (EC6 # 4.4.6) . Lors d'essais , il a été démontré que la rupture n'est dans la plupart des cas ni due à un défaut de l'armature en acier , ni au dépassement des contraintes de compression ou d'adhérence admissibles entre coulis et armature ou maçonnerie mais le plus souvent aux mauvaises performances du substrat auquel il faudra apporter une attention particulière .

La méthode de calcul des ancrages envisage le contrôle des cas limites suivants :

- formation d'un cône d'arrachement : les essais ont prouvé que sous l'effet d'efforts de traction sur l'ancrage se forme un cône de rupture dans le support ; vérification que cet état ne soit pas atteint ;
- résistance en traction de l'armature de l'ancrage : vérification que l'état de rupture en traction ne soit pas atteint dans l'acier ;
- résistance au cisaillement de l'armature : vérification que l'état de rupture en cisaillement ne soit pas atteint dans l'acier ;
- adhérence maximale du coulis : vérification que la contrainte d'adhérence admissible entre le coulis et le substrat ne soit pas atteinte , dans le cas de blocs de maçonnerie creux cette adhérence ne dépend que de la résistance en cisaillement des parois du bloc ;
- résistance des joints en mortier : vérification que le mortier peut effectivement transmettre les efforts depuis l'ancrage au substrat ;
- résistance en compression du substrat : vérification que le substrat au voisinage de l'ancrage ne subisse pas de rupture du fait du dépassement de sa résistance en compression ;
- résistance au cisaillement du substrat au voisinage d'une extrémité libre : vérification que le substrat ne se rompt par cisaillement suite aux efforts transmis par l'ancrage perpendiculairement à un extrémité libre.

Exemple de calcul :

Ancrage AAT
Diamètre

TABLEAU 1 – LISTE DES ANCRAGES MTECH PATRIMONIUM

	<h1>Ancrages acier</h1>
<p>M.TECH patrimonium SA Rue de Livourne 13-15 - B - 1060 Brussels Belgium - Tel : + 32 2 543 14 80 Fax : + 32 2 539 29 39 - info@mtech-pat.com - www.mtech-pat.com</p>	
<p>La gamme d'ancrages que propose M.Tech Patrimonium est le résultat de la recherche de solutions à nombre de problèmes de stabilisation , renforcement et fixation de structures existantes ou nouvelles .</p> <p>Les différentes familles d'ancrages diffèrent de part :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le type d'armatures : tubes ronds ou carrés , courtes ou boutables , - le système d'alimentation par pipettes : unique ou multiple , - la possibilité de précontrainte . 	
<p>Ancrages butées ou tirants</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - ces ancres plus ou moins courts sont composés de tubes fermés à leurs extrémités auxquelles sont fixées des barres HR , qui peuvent être mises en précontraintes par des écrous ; - la gaine recouvre partiellement ou entièrement l'armature ; - les pipettes sont placées de manière à injecter l'ancrage gainé aussi bien que la partie de l'armature non recouverte de gaine au cas où celle-ci est placée dans la maçonnerie; - la partie gainée de l'ancrage joue le rôle de butée (AM 2000) ou de tirant (AMC) en cas de précontrainte . 	
 <p>■ AM 2000</p>	
 <p>■ AMC</p>	
<p>Ancrages acier 1/3 Index M.TECH</p>	

Renforcement de structures

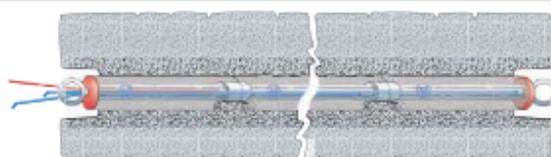
- ces ancrages généralement d'une longueur supérieure à 1 m sont composés de tubes de section carrée, ils servent de renforcement, de répartition de charges et de stabilisation de type lourd dans des constructions anciennes ou nouvelles endommagées ;
- la gaine recouvre entièrement l'armature ;
- pas de pipette dans l' ARL et AGL, le tube servant à injecter l'ancrage gainé ; multiples pipettes dans l'AP, le nombre dépendant de la longueur de l'ancrage ;
- les éléments de l'ancrage peuvent être boutables en cas de longueurs supérieures à 6 m ;



■ ARL



■ AGL



■ AP

Ancrages de fixations

- ces ancrages généralement courts sont composés de tubes de section carrée (30/30/3) ou ronde (d=27mm) et servent à l'accrochage d'éléments préfabriqués plus ou moins lourds en pierre ou en béton sur des façades anciennes ou nouvelles en béton ou en maçonnerie ;
- la gaine recouvre entièrement l'armature ;
- pas de pipette dans l'ADP, le tube servant à injecter l'ancrage gainé pipette centrale dans l'ADC ;
- certains éléments de l'ancrage ADP doivent être insérés au préalable dans l'élément préfabriqué ;



■ ARP



■ ADC

Ancrages composés de barres

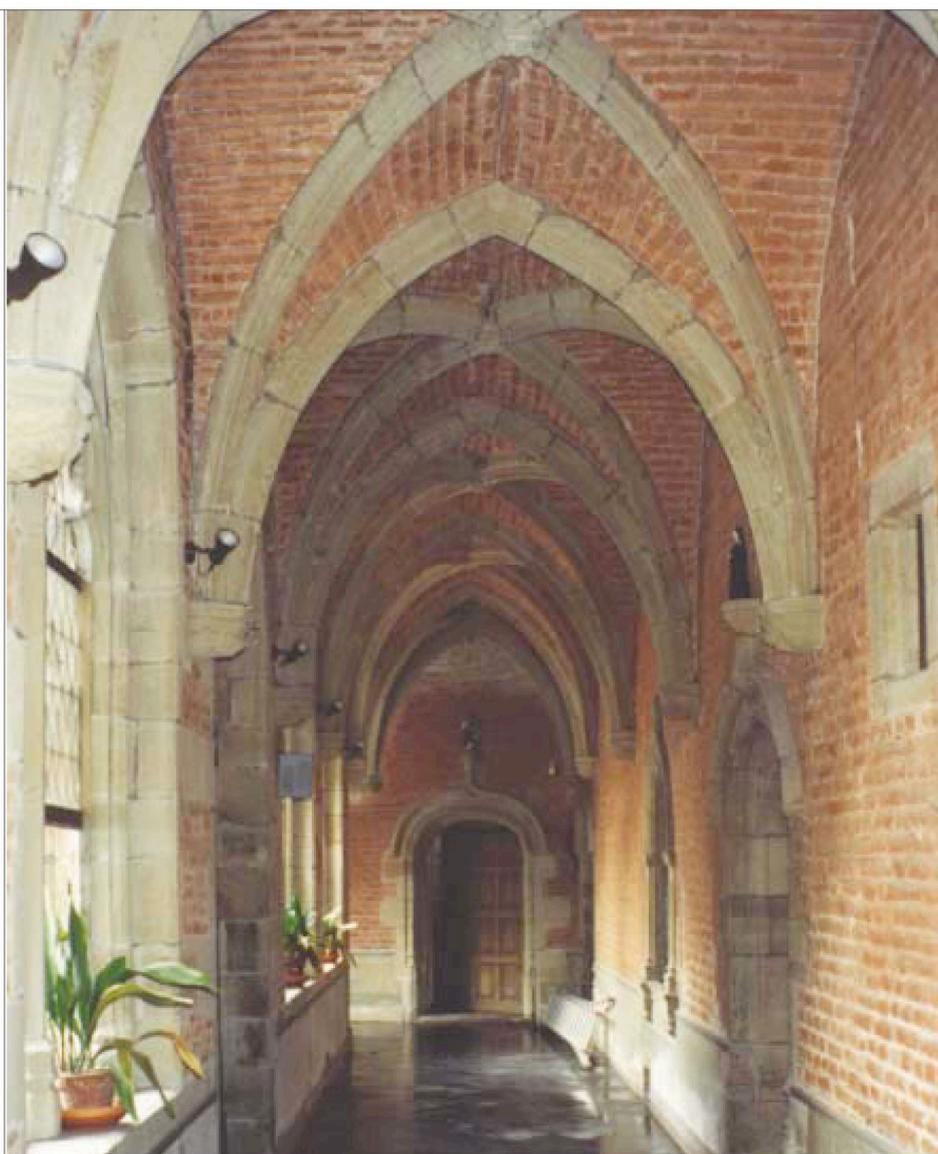
- ces ancrages sont composés de barres HR , qui servent d'armatures d'attente lorsque la longueur d'ancrage disponible est insuffisante pour créer de poutres armées dans des constructions anciennes;
- la gaine recouvre partiellement ou entièrement l'armature ;
- la pipette est placée de manière à injecter l'ancrage gainé ;
- l'emploi de barres en lieu et place des tubes permet une manipulation plus aisée du fait du poids et de la flexibilité de ces ancrages ;
- il est possible d'appliquer une précontrainte à l'ancrage .

■ **ABA**■ **APL****Ancrages d'armatures et d'épingle**

- ces ancrages courts (jusqu'à 3 m) sont composés de tubes de section ronde ou carrée jusqu'à 20 mm , ils servent d'armatures de renforcement de répartition et de stabilisation dans des constructions anciennes endommagées ou d'épingle d'éléments légers ;
- la gaine recouvre entièrement l'armature ;
- pas de pipette, le tube servant à injecter l'ancrage gainé ;

■ **AAT**■ **AER**

Coulis spécialement développé pour l'injection et le calage des pieux et des ancrages M-tech Patrimonium: Acier inox / Acier H.R. / Acier Standard / Produit Eurocret / Carbonne / Fibre de verre



Composition coulis CA Mtech:

- Ciment CEM I 52.5 1000kg
- Charge Quartz 0,100 - 0,150 mm 150kg
- Divers adjuvants influençant fluidité, adhérence, retrait et viscosité

MTech : Résumé des résultats:

1. Viscosité au cône d'écoulement (temps nécessaire à l'écoulement d'1 litre de coulis - exprimé en secondes - (EN445))

		Quantité d'eau (litres) pour 20 kg de produit						
		6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
viscosité	5 minutes	28,75	21,94	15,44	11,62	9,57	8,44	7,82
	15 minutes	37	26,18	17,62	12,03	9,78	8,59	7,84
	30 minutes	43,44	29,25	19,31	12,75	10,09	8,78	8,03
	45 minutes	47,84	32,58	19,91	12,9	10,38	9,25	8,15
	1 heure	56,75	34,78	21,44	14,22	10,53	9,32	8,41
	1 heure 30	72,94	40,06	24,03	14,87	11,03	9,62	8,28
	2 heures	85,5	46,73	25,53	15,84	11,32	9,53	8,65
	2 heures 30	103,31	52,9	28,97	17,59	11,44	9,88	8,69
	3 heures	122,28	67,19	32,9	17,97	11,91	10,08	8,91
	3 heures 30	142,44	90,12	40,25	19,97	12,34	10,84	9,22
	4 heures	279,25	179,31	57,84	21,5	13,37	11,84	9,93
	4 heures 30			171,32	24,47	14,15	15,29	11,25
5 heures				35,28	19,55	37,47	14,94	
5 heures 30				92,16	31,41	132,5	251,32	
6 heures						200,75		

2. Exsiccation (pourcentage du volume libéré par l'eau par rapport au volume total - (M45))

	Quantité d'eau (litres) pour 20 kg de produit						
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
exsiccation 3h (%)	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,06	0,04
exsiccation 24h (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,85	4,61
variation de volume (%)	1,00	-0,33	0,67	-5,67	-1,99	-7,95	-12,50

3. Résistances mécaniques (sur barrettes 4 x 4 x 16 cm - (EN196-1))

		Quantité d'eau (litres) pour 20 kg de produit						
		6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
Résistance en flexion (Mpa)	24 heures	7,15	6,78	8,01	6,07	5,12	4,60	3,65
	7 jours	11,24	11,31	11,36	9,95	9,41	7,14	7,00
	28 jours	9,26	9,78	8,35	9,22	6,49	5,67	4,35
Résistance en compression (Mpa)	24 heures	44,57	38,48	29,43	28,25	23,45	21,45	15,75
	7 jours	68,80	64,01	56,83	54,03	47,19	47,83	46,71
	28 jours	80,37	76,90	67,85	64,45	60,50	52,63	53,14

4. Montée en température

dans un cube de 15 cm de côté

	Quantité d'eau (litres) pour 20 kg de produit						
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
Température max (°C)	105,9	105,7	101,6	99,1	99,2	92,9	96,7
après	8h30	9h00	9h20	10h00	10h10	10h30	11h00

dans un cylindre de 5 cm de diamètre et 20 cm de hauteur

	Quantité d'eau (litres) pour 20 kg de produit						
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
Température max (°C)	45,9	43,9	42,0	40,1	38,9	40,3	40,2
après	9h30	11h00	11h30	11h45	11h45	11h45	13h00

5. Prise (EN480-3)

	Quantité d'eau (litres) pour 20 kg de produit						
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
Début de prise	6h20	6h50	inf à 6h48	7h30	7h45	7h50	8h20
Fin de prise	6h40	7h10	7h00	inf à 7h40	8h00	7h53	8h23

6. Retrait (variation de volume sur des barrettes 4x4x16 cm - (EN12617-4))

	Quantité d'eau (litres) pour 20 kg de produit						
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
Retrait moyen à 7 jours (mm/hr)	1,85	1,77	1,77	1,61	1,74	1,87	2,00
Retrait moyen à 28 jours (mm/hr)	3,43	3,73	3,86	3,77	4,19	4,10	4,82
perte de masse à 7 jours (%)	2,32	2,93	3,41	4,10	5,16	6,04	7,44
perte de masse à 28 jours (%)	3,82	4,54	5,53	6,45	7,63	8,76	9,87

7. Absorption d'eau par immersion (NBN 815-215)

	Quantité d'eau (litres) pour 20 kg de produit						
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
Absorption totale (%)	17,37	19,39	21,24	23,19	25,41	26,79	25,81

- Ne contient pas d'additifs métalliques qui s'oxydent et rouillent lorsqu'ils sont exposés à l'humidité et, par là, affaiblissent les performances. Ne contient pas de sulfures et de chlorures.
 - A une volumétrie contrôlée et dosée avec précision, en 24 heures, il se stabilise complètement et ne présente ni retrait, ni gonflement, permettant l'utilisation des installations après 1 jour.
 - Ne se brise pas à l'épreuve des chocs et des vibrations, grâce à sa haute résistance à la compression et à la flexion. Réduction de 60 à 80 % des dommages aux roulements.
 - Adhésivité et contrainte d'adhérence de + de 150 kg/cm
 - Très bon comportement aux variations des tensions provoquées par l'humidité, la chaleur et le froid.
 - Est hydrophobe et n'absorbe pas l'huile.
 - Granulométrie : 0<->0,1
 - Grâce à sa viscosité il permet une injection aisée à l'aide d'un pot à pression ou une pompe à débit continu.
- De nombreux essais officiels sont disponibles sur simple demande.



- Sa composition est un mélange surveillé en permanence, dont nous garantissons la qualité.
- La mise en œuvre se fait par simple ajout d'eau claire suivant la longueur des ancrages et les conditions climatiques. On ajoute 4 à 5,9 litres d'eau pour 25 kg de poudre sèche.
- Le mélange se fait au malaxeur en 2 temps :
 - 1) verser les 2/3 de l'eau claire dans la cuvette propre, verser lentement la poudre en malaxant pendant 4 à 5 minutes
 - 2) verser le reste de l'eau en malaxant 3 à 4 minutes de manière à obtenir un mélange sans grumeaux.
- Il est souhaitable d'éviter pendant les 24 heures après l'injection les vibrations, chocs et la vérification de la prise.
- Il doit être injecté entre + 3° à + 30° C (pour d'autres conditions, veuillez nous consulter).
- Il se conserve en sac de 25 kg pendant 6 mois dans un local sec et en seau pendant 12 mois



Ce type de coulis nécessite le port de lunettes de protection, de gants étanches et de vêtements en polyamide ou fibre synthétique. Le cas échéant, il faut rincer abondamment à l'eau claire.

TABLEAU 3 - LISTE DES DOCUMENTS FOURNIS LORS DE L'INVESTIGATION*- PLANS DE L'EDIFICE :*

- 1- plans des fondations
- plans des dalles
- plans des éléments de structure verticale
- élévations des façades
- plans architecture
- plans des toitures

- 2- ferrailage éventuel

- 3- description des interventions précédentes.

- ETATS DE L'EDIFICE :

- 1- photos générales
- photos des désordres avec localisation sur plans

- 2- le relevé de l'état de la structure

- 3- l'état et les causes des désordres exposés dans un rapport circonstancié

- 4- l'état des liaisons entre les façades, les planchers, dalles, la toiture, etc.. ainsi que la nature des composants.

- ESSAIS DE SOLS (pressiométrie de préférence) :

- 1- la nature du sol et sa résistance (résultats essais)

- 2- le niveau de la nappe phréatique

- 3- les possibilités de fluage du sol

- 4- les niveaux du sol extérieur

- ANALYSES DES MATERIAUX :

- 1- les résultats des prélèvements et analyses sur les caractéristiques des matériaux des éléments à traiter

2- la présence de vides nécessitant une injection de stabilisation préalable (CIS Mtech) ○

3- la présence d'armatures ○

- **- INSTALLATION DE CHANTIER :**

-

1- les accès de forages, l'utilisation du refroidissement par eau ou non ○

2- l'échafaudage à prévoir ou non ○

3- les démontages, les impétrants, les canalisations, ainsi que leur prise en charge. ○

4- les hauteurs disponibles pour le passage des machines et la définition des longueurs des éléments d'ancrages ou de pieux ○

5- les possibilités d'entreposage du matériel et des palettes (+/- de 5 à 10 palettes) sur chantier ○

6- la disponibilité ou non de sources d'énergie et d'alimentation en eau sur le chantier ○

7- l'intendance : le logement des hommes, les sanitaires, la signalisation, les protections, les clôtures, l'éclairage..... ○

Cette liste n'est pas exhaustive. L'entrepreneur ne devra pas Oublier :

- de faire faire un état des lieux avant travaux
- et après l'intervention
-

de prévoir un bureau de contrôle
de prévoir un service de sécurité
de chiffrer déplacements / livraisons ...
de prévoir plans et croquis de principe

Consulter notre site INTERNET ET NOS DOCUMENTATIONS
www.mtech-pat.com ameyer@ mtech-pat.co

TABLEAU 4 – COEFFICIENTS DE SECURITE (EUROCODE 6)

Coefficients de sécurité partiels pour les combinaisons de charges				
	Actions permanentes (γ_G)	Actions Variables (γ_Q)		Précontrainte (γ_Φ)
		Une action seulement	Plusieurs actions	
Effet favorable	1	0	0	0,9
Effet défavorable	1,35	1,5	1,35	1,2
Accidentel	1	1	1	
Coefficients de sécurité partiel pour les propriétés mécaniques des matériaux				
γ_M				
Résistance en compression ou flexion de la maçonnerie renforcée	Catégorie de contrôle de fabrication des briques	I	2	
		II	2,3	
Résistance au cisaillement de la maçonnerie			2,0	
Adhérence de l'acier d'armature (γ_{mb})			1,5	
Acier (γ_{ms})			1,15	
Catégorie I	. Résistance moyenne à la compression spécifiée			
	. Probabilité d'échec moins de 5%			
	. Testé en accord avec EN 771 et EN 772-1			
Catégorie II	. Résistance moyenne à la compression correspond à la déclaration en accord avec EN 771			
	. Autres conditions reprises en catégorie I non remplies			
	. Pierres Naturelles			

TABLEAU 5 – TYPES D'ARMATURES DES ANCRAGES/PIEUX

Références				
Référence ancrages	Armature			
	Type d'acier	Dimensions		Longueur standard (mm)
	-	Section (mm)	Epaisseur (mm)	
AAT	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 8	1	2000 (1)
	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 10	1	2000 (1)
	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 12	1	2000 (1)
	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 16,5	1,5	6000
	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 21,3	2,5	6000
	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 26,9	2,5	6000
ABA	Inox 304/304L/316 - Barre	diam 16	-	6000
	Inox 304/304L/316 - Barre	diam 20	-	6000
	Inox 304/304L/316 - Barre	diam 26,5	-	6000
ADC	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 26,9	2,5 - 5	2x150
AER	Inox 304/304L/316 - Tube Carré	15x15	1,5	6000
	Inox 304/304L/316 - Tube Carré	20x20	2	6000
AGL	Acier d'ébauche	suivant diam forage max	suivant diam	6000
AM2000	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 35	3	1800
	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 42,4	5	1800
AMC	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 35	3	500
	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 42,4	5	500
AP	Acier d'ébauche	suivant diam forage max	suivant diam	

APL	Inox 304/304L/316	diam 5 - 5 barres - étrier diam 45@1000mm	-	6000
	Inox 304/304L/316	diam 5 - 8 barres étrier diam 45@1000mm	-	6000
	Inox 304/304L/316	diam 8 - 5 barres étrier diam 45@1000mm	-	6000
	Inox 304/304L/316	diam 10 - 5 barres étrier diam 45@1000mm	-	6000
ARL	Inox 304/304L/316 - Tube Carré	30x30	3	6000
	Inox 304/304L/316 - Tube Carré	40x40	3	6000
ARP	Inox 304/304L/316 - Tube Carré	30x30	3	400
Calle	Inox 304/304L/316 - Tube Rond	diam 26,9	2,5	100
Boulons	Inox ou standard	M16		
	Inox ou standard	M20		

TABLEAU 6 – CARACTERISTIQUES MECANQUES DES SUBSTRATS

Propriétés physiques des pierres naturelles:				
Source: Restauro e recupero degli edifici a struttura muraria - R. Antonucci				
Type de pierre	Masse Volumétrique (g/cm³)	Résistance à la rupture par compression (kg/mm²)	Résistance à la rupture par flexion (kg/mm²)	Module d'élasticité (kg/mm²)
<u>Volcaniques</u>				
Granite	2,60-2,80	16-24	1,00-2,00	5000-6000
Basalte	2,95-3,00	25-40	1,50-2,50	9000-12000
Porphyre de quartz	2,55-2,80	18-30	1,50-2,00	5000-7000
<u>Sédimentaires</u>				
Calcaire tendre	1,70-2,60	2-9	0,50-1,10	3000-6000
Calcaire compact	2,65-2,85	8-18	0,60-1,50	4000-7000
Travertin	2,40-2,50	2-6	0,40-1,00	2500-6000
<u>Métamorphiques</u>				
Gneiss	2,65-3,00	16-28		5000-7000
Schiste	2,70-2,80	3-10		2000-6000
Marbre	2,70-2,80	10-18	0,60-1,50	4000-7000
Quartzite	2,60-2,65	15-30		5000-7000
1/- pour obtenir les valeurs en Mpa ou N/mm² diviser par 0,102				
2/- résistance en traction 1/10 à 1/50 de la résistance en compression suivant dépendant de la texture et de la structure				

Résistance en compression de la maçonnerie
Source : BS 5628-2
a) - Maçonnerie de briques standard d'argile ou de silicate de calcium comprenant moins de 23% de vides

 Résistance en compression de l'unité (N/mm²)

Résistance du mortier Classe / Désignation	7 10	15	20	30	40	50	75	100	120	150	
M12	3, 2	4	5, 3	6, 4	8, 3	10	11 ,6	15 ,2	18 ,3	21 ,2	23 ,9
M6	3, 1	3, 8	4, 8	5, 6	7, 1	8,4	9, 5	12	14 ,2	16 ,1	17 ,9

b) - Maçonnerie de blocs béton creux autoclaves dont le rapport hauteur à dimension horizontale minimale est de 0,6

 Résistance en compression de l'unité (N/mm²)

Résistance du mortier Classe / Désignation	7, 3	10 ,4									
M12	3, 4	4, 4									
M6	3, 2	4, 2									

c) - Maçonnerie de blocs béton en agrégat dont le rapport hauteur à dimension horizontale minimale est de 0,6

 Résistance en compression de l'unité (N/mm²)

Résistance du mortier Classe / Désignation	7, 3	10 ,4	17 ,5	22 ,5	30	40 ou plus
M12	3, 4	4, 4	6, 3	7, 5	9, 5	11,2
M6	3, 2	4, 2	5, 5	6, 5	7, 9	9,3

d) - Maçonnerie de blocs béton en agrégat comprenant moins de 25% de vides et dont le rapport hauteur à dimension horizontale minimale varie entre 2,0 et 4,5

 Résistance en compression de l'unité (N/mm²)

Résistance du mortier Classe / Désignation	7, 3	10 ,4	17 ,5	22 ,5	30	40 ou plus
M12	6, 8	8, 8	12 ,5	15	18 ,7	22,1

M6	6, 8, 4 4	11 ,1	13	15 ,9	18,7
e) - Maçonnerie de blocs béton autoclave creux dont le rapport hauteur à dimension horizontale minimale varie entre 2,0 et 4,5					
Résistance en compression de l'unité (N/mm ²)					
Résistance du mortier Classe / Désignation	7, 10 3 ,4				
M12	6, 8, 8 8				
M6	6, 8, 4 4				
f) - Maçonnerie de blocs béton en agrégat comprenant plus de 25% mais moins de 60% de vides et dont le rapport hauteur à dimension horizontale minimale varie entre 2,0 et 4,5					
Résistance en compression de l'unité (N/mm ²)					
Résistance du mortier Classe / Désignation	7, 10 3 ,4	17 ,5	22 ,5	30	40 ou plus
M12	6, 8, 6 1	11 ,2	13 ,1	16	19,4
M6	6, 7, 4 5	9, 9	11 ,6	14	16,7
g) - Maçonnerie de blocs béton en agrégat posés à plat dont la rapport hauteur posée / épaisseur parois du bloc varie entre 1 et 1,2					
Résistance en compression de l'unité (N/mm ²)					
Résistance du mortier Classe / Désignation	7, 10 3 ,4	17 ,5	22 ,5	30	40 ou plus
M12	5, 7 5 7	9, 7	11 ,6	14 ,2	16,5
M6	4, 5, 5 7	7, 9	9, 4	11 ,6	13,5
h) - Maçonnerie de blocs béton en agrégat posés à plat dont la rapport hauteur posée / épaisseur parois du bloc varie entre 0,4 et moins de 0,6					
Résistance en compression de l'unité (N/mm ²)					
Résistance du mortier Classe / Désignation	7, 10 3 ,4	17 ,5	22 ,5	30	40 ou plus
M12	5, 7, 6 2	9, 7	11 ,3	13 ,5	15,4
M6	4, 5, 6 9	7, 9	9, 1	10 ,8	12,3