



Ministère de l'Éducation
Et de la Formation Professionnelle

Direction du Génie Scolaire

Modèle Maçonnerie Chaînée

Cahier d'exécution pour la construction de bâtiments scolaires
à un niveau en maçonnerie chaînée et toiture plate



Cahier 4 DOCUMENTATION TECHNIQUE

Port-au-Prince, décembre 2012

Mise-à-jour mars 2013

Contenu

Le présent document propose une description des éléments structurels nécessaires pour construire un ou des bâtiments en maçonnerie chaînée destinés à accueillir une école nationale du cycle fondamental en Haïti. Il porte sur la conception et la réalisation des éléments structurels, dans le but d'assurer la bonne tenue de ces éléments aux contraintes sismiques et cycloniques, dans le cadre du développement de projets d'architecture spécifiques.

Ce rapport est complémentaire des dossiers d'exécution des "plans types".

Les deux premiers chapitres de ce document présentent les hypothèses de calcul et les limites d'application des structures. Le chapitre suivant présente le concept structurel et les détails constructifs les plus importants. Le dernier chapitre donne des recommandations pour le contrôle de qualité durant l'exécution.

Préface

Les trois piliers d'une bonne construction

Les trois piliers d'une bonne construction antisismique « Milan ZACEK »

<p>I. Conception Architecturale</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Implantation judicieuse sur terrain ❖ Architecture favorisant un bon comportement sous séisme 	<p>II. Conception Structurale</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Dispositions constructives parasismiques ❖ Dimensionnement « au séisme » 	<p>III. Exécution de Qualité</p> <ul style="list-style-type: none"> ❖ Matériaux de bonne qualité ❖ Travaux exécutés dans les règles de l'art
---	--	---

Ces 3 piliers sont obligatoires et complémentaires. Le non-respect d'une seule des recommandations ci-dessus peut conduire à l'effondrement du bâtiment lors d'un tremblement de terre.

Avec les **plans types d'exécution** et le présent document, le deuxième pilier et une partie du premier sont respectés. Les maîtres d'ouvrage utilisant ces plans types d'exécution ont l'obligation de faire respecter les deux autres piliers pour assurer un bon comportement des structures en cas de tremblements de terre et des tempêtes.

Supervision

La mise en œuvre d'un chantier d'école basé sur le présent prototype exige un contrôle systématique de travaux sur le chantier (troisième pilier). Dans ce sens il est indispensable qu'un responsable de la qualité assume ce contrôle du côté de l'entreprise ainsi que du côté du maître d'ouvrage. Si le maître d'ouvrage n'a pas la capacité de garantir cette supervision, les coûts d'engagement d'une compétence externe spécialisée doivent être pris en compte.

Rapport d'exécution

Pour des raisons d'amélioration du prototype, l'auteur suggère de rendre un rapport d'exécution des travaux au MENFP (DGS) mentionnant les problèmes et les solutions expérimentés, la qualité obtenue et autres commentaires pertinents.

Table des Matières

1.	Hypothèses	1
2.	Limites d'application	3
3.	Le concept structurel	4
4.	Contrôle et essais	8
5.	Données de base	10
6.	Signatures	11
7.	Appendix	12

Hypothèses

1. Hypothèses

Les hypothèses ci-dessous sont fondées sur un ensemble de normes et de codes, entre autres suisses [SIA] et Eurocode [EC]. Même si certaines de ces normes ne font pas partie de celles "en vigueur" selon MTPTC, les valeurs prises en compte correspondent à des actions équivalentes ou supérieures à celles exigibles en Haïti.

Matériaux

1.1 Matériaux

Ci-dessous, les valeurs caractéristiques à respecter sont données pour la construction des murs en maçonnerie chaînée, les poutres et poteaux en béton armé et les fermes en bois de la toiture.

1.1.a Armature

Grade 60 selon le standard ASTM A 615/A 615 M – 03a [ASTM]

limite min. d'élasticité	$f_{y,min}$	=	420 N/mm ²
limite min. de rupture	$f_{u,min}$	=	620 N/mm ²
élongation de rupture (dépendant du Ø)	$\epsilon_{u,min}$	=	7-9 %
limite d'élasticité, valeur de calcul	f_{sd}	=	365 N/mm ²
module d'élasticité	E_s	=	205 kN/mm ²

1.1.b Béton

Béton **C16/20** selon la norme SIA 262 [SIA 262]

résistance min. à la compression cylindr.	$f_{c,cylindre,k}$	=	16 N/mm ²
résistance min. à la compression cube	$f_{c,cube,k}$	=	20 N/mm ²
résistance à la compression	f_{cd}	=	10.5 N/mm ²
résistance au cisaillement (valeurs de calcul)	τ_{cd}	=	0.8 N/mm ²
module d'élasticité	E_c	=	25 kN/mm ²

1.1.c Maçonnerie selon le code [SIA 265]

poids propre	γ_k	=	1500 kg/m ³
--------------	------------	---	------------------------

Bloc ciment (valeurs calculés avec les grandes dimensions du bloc)

épaisseur	t	=	20 cm
résistance min. à la compression, perpendiculaire à l'assise	f_{xk}	=	5.0 N/mm ²
valeur de calcul de la résistance à la compression, perpendiculaire à l'assise	f_{xd}	=	2.5 N/mm ²
valeur de calcul de la résistance à la compression, perpendiculaire aux joints verticaux	f_{yd}	=	1.5 N/mm ²

Mortier ciment

résistance min. à la compression	f_k	=	5.0 N/mm ²
valeur de calcul	f_d	=	2.5 N/mm ²

1.1.d Bois

Qualité C24 selon le code SIA 265 [SIA 265] ou
« Southern Yellow Pine » grade No.2

poids propre	γ_k	=	500 kg/m ³
valeur de calcul de la résistance à la flexion	$f_{m,d}$	=	7.6 N/mm ²
valeur de calcul de la résistance à la traction parallèlement aux fibres	$f_{t,0,d}$	=	4.3 N/mm ²

1.1.e Tôles Ondulées

Epaisseur minimale des tôles ondulées 24 gauge

Actions

1.2 Actions

1.2.a Vent

La structure est dimensionnée pour une vitesse de référence du vent de 42 m/s en correspondance avec la zone IV des règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti [MTPTC]. Les efforts sont calculés pour l'exposition de la catégorie II conformément avec l'Eurocode [EC 1].

1.2.b Séisme

La forme du spectre de réponse est calculée selon les suppositions de la norme Suisse SIA 261 [SIA 261]. L'accélération maximale du sol PGA prise en considération est de 4.0 m/s², conforme avec le rapport « Documentation for Initial Seismic Hazard Maps for Haiti » [USGS] pour une période de retour de 500 ans (analogue Eurocode / SIA). Les efforts sont calculés pour un sol de qualité E (couche alluviale superficielle, S = 1.4) et un facteur d'importance $\gamma_f = 1.2$. Le facteur de ductilité des structures en maçonnerie chainée est de $q = 2.5$ [EN 1998-1].

Limites d'application

2. Limites d'application

Matériaux

2.1 Matériaux

Si les spécifications des barres d'armature varient de l'acier Grade 60 selon [ASTM], il faut adapter la disposition du renforcement longitudinal et transversal des chainages, poutres et poteaux selon les besoins statiques.

Si la qualité du béton est plus élevée que le béton C16/20 ($f_{ck,cube} = 16 \text{ N/mm}^2$) [SIA 262], il faut adapter le taux d'armature minimal en prévention d'une rupture fragile selon les calculs d'un ingénieur qualifié.

Les blocs ciment pour la maçonnerie doivent respecter la résistance minimale de 5 N/mm^2 en compression, calculée avec la force de rupture en compression et les grandes dimensions du bloc. Dans la mesure du possible les blocs devraient avoir au moins 3 "parois" dans chaque sens (soit 4 alvéoles). A défaut il faut utiliser des blocs avec 4 parois transversales (soit 3 alvéoles).

Fondation

2.2 Fondation

Les fondations minimales pour ancrer les chainages verticaux des murs en maçonnerie chaînée sont constituées d'une semelle filante en béton armé de $0.60 \text{ m} \times 0.20 \text{ m}$ et un mur en roche et mortier d'hauteur 0.50 m . La profondeur est à adapter pour assurer une contrainte admissible minimale du sol supérieure à 75 kN/m^2 .

Séisme

2.3 Séisme

La limite des structures est donnée par l'accélération maximale du sol $a_{gd} = 4.0 \text{ m/s}^2$ en combinaison d'un sol de qualité E [SIA 261], voir 1.2.b Séisme de cette documentation.

Toiture

2.4 Toiture

La toiture est dimensionnée pour résister à des forces d'arrachement de 300 kg/m^2 et des forces de pression de 125 kg/m^2 selon les critères données en 1.2.a Vent. L'épaisseur minimale pour les tôles est de 26 gauges. Si des tôles inférieures à 24 gauges sont utilisées, il faut réduire la distance entre les lattes en fonction de l'épaisseur des tôles.

3. Le concept structurel

Le bâtiment à un seul étage est présenté dans les Figures 1 et 2 montrant la possibilité de construire 2, respectivement 3 salles de classe. Le bâtiment mesure 7.00 m x 18.00 m pour deux salles de classe, respectivement 7.00 m x 26.00 m pour 3 salles de classe. Au faite du toit la hauteur est de 4.60 m. En dimensions intérieures (cotes brutes) chaque salle de classe mesure 7.60 m x 6.60 m.

La structure est caractérisée par des murs en maçonnerie chaînée disposés en Γ (vue en plan) supportant une toiture légère: Dans le sens longitudinal, la structure est stabilisée par des murs en maçonnerie chaînée (épaisseur = 20 cm) mesurant 2.50 m x 3.00 m (LxH, en bleu dans la Figure 1). Le chaînage supérieur (20 cm x 20 cm) est continu et traverse les ouvertures de fenêtres et portes. La portée d'ouverture est divisée par deux avec un poteau en béton armé. Dans le sens transversal, des murs continus de 6.20 m avec pignons (en rouge) séparent les salles de classes et stabilisent le bâtiment en cas de sollicitations horizontales.

Les murs sont assis sur des fondations en roche et mortier de ciment. Une semelle filante en béton armé évite les tassements différentiels. Les chaînages verticaux sont ancrés dans les semelles filantes, ancrage renforcé par le poids propre des murs au-dessus.

Les murs longitudinaux sont stabilisés "hors plan" par les murs transversaux. Les murs transversaux sont eux-mêmes stabilisés "hors plan" par un chaînage horizontal élargi (40 cm x 20 cm). Le chaînage vertical au milieu du mur transversal et les chaînages diagonaux sur le dessus du pignon assurent le bon comportement global de la structure.

La toiture est constituée par des fermes en bois supportant une couverture de tôles ondulées posées sur un lattage régulier. Les fermes sont boulonnées à des tiges filetées ancrées dans les chaînages horizontaux. Des bandes de contreventement clouées sur les chevrons stabilisent la toiture dans le sens longitudinal.

Les fenêtres et portes sont construites en acier et bois non portant et léger, et sont vissés aux chaînages et poteaux en béton armé.

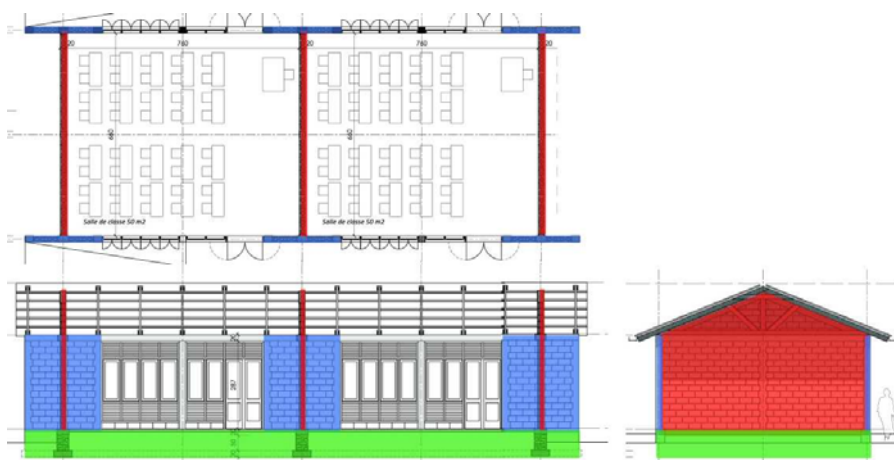


Figure 1 Concept structurel 2 salles de classe

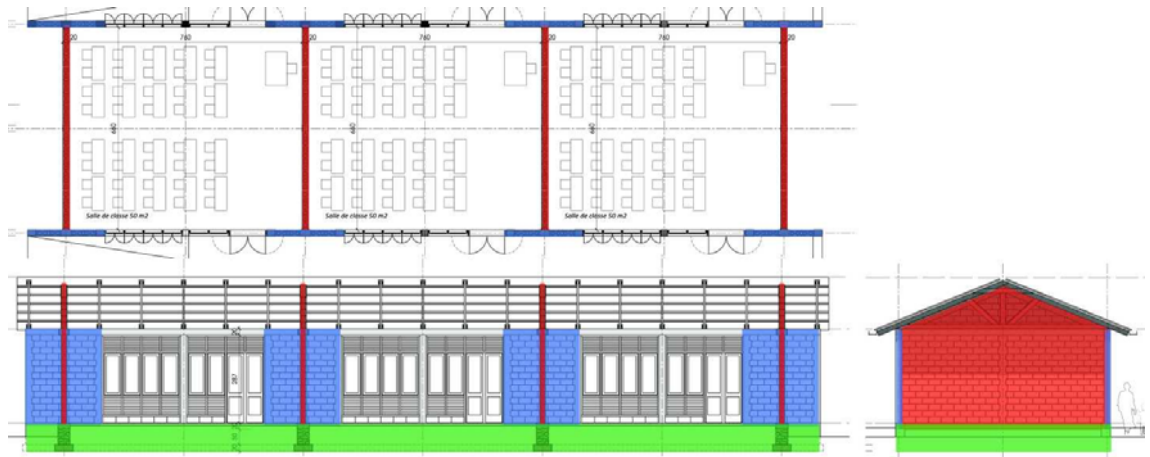


Figure 2 Concept structural 3 salles de classe

Plans

3.1 Plans d'exécution et liste de fers

Un dossier des plans types d'exécution est élaboré pour le bâtiment [CCR]. Les plans d'ingénieur sont à utiliser en complément des plans d'architecture.

Fondations

3.2 Fondations

Les fondations distribuent les charges verticales et horizontales des murs en maçonnerie chaînée. Elles sont constituées des semelles filantes en béton armé de 0.60 m par 0.20 m et des murs en roche et mortier ciment d'une hauteur minimale de 0.50 m pour assurer l'ancrage des chaînages verticaux. Leur profondeur est à déterminer en fonction de la qualité du sol.

Une étude géotechnique par un spécialiste est à envisager pour obtenir les valeurs caractéristiques du sol (c , ϕ , γ). L'influence du niveau phréatique et l'influence hydraulique à la résistance du sol sont aussi à considérer et à étudier.

Un relevé topographique donne les informations pour la bonne implantation des bâtiments sur le terrain. Si le terrain est en pente, les bâtiments sont à implanter préférentiellement parallèlement aux courbes de niveau pour limiter les mouvements de terre.

Les deux informations susmentionnées donnent les indications pour finaliser les fondations du projet. S'il est nécessaire de planifier des fondations de hauteur variable, le projet est à étudier par un ingénieur qualifié selon les besoins statiques de la structure.

Les points importants pour l'exécution des travaux sont les suivants :

Sol et préparation du terrain

- Placer les fondations sur une couche de sol porteuse ($q_{adm} \geq 75 \text{ kN/m}^2$)
- Sous les semelles de fondations il faut placer une couche de 30 cm de gravier compacté et 5 cm de béton de propreté.

Armature de la semelle filante

- Ancrage de l'armature longitudinale des chainages verticaux sur la première nappe de l'armature de la semelle filante
- Respecter les longueurs de recouvrement des armatures de la semelle

Béton des semelles

- Joints de bétonnage verticaux
- Enrobage d'armature 5 cm minimum

Cure

- Arroser tous les coffrages au moins 3 fois par jour pendant 1 semaine
- Couvrir les parties de béton non coffré avec du plastique
- Décoffrer après au moins 7 jours

Mur en roche et mortier de ciment

- Bien tailler les roches pour obtenir des assises planes
- Placer des clefs (roches qui traversant le mur) pour assurer la cohésion du mur
- Veiller à la qualité du mortier

Maçonnerie chaînée

3.3 Murs en maçonnerie chaînée

Les murs de maçonnerie chaînée supportent la toiture verticalement et stabilisent la structure horizontalement.

Le croisement de l'armature des chainages verticaux, horizontaux et diagonaux et les longueurs de recouvrement sont à respecter rigoureusement selon les plans types d'exécution.

Les points importants pour l'exécution des travaux sont les suivants :

Maçonnerie**Blocs**

- Blocs selon la qualité demandée (voir 1.1 et 2.1 Matériaux)
- La résistance des blocs doit être supérieure à celle du mortier (effet "fusible" : en cas de sollicitation latérale importante c'est le mortier qui cède et non le bloc porteur)
- Lits de mortier horizontaux et verticaux de max 1 cm

Mortier de ciment

- Résistance inférieure à celle des blocs (voir ci-dessus)
- Sable bien lavé
- Proportions volumétriques du mélange :
 - o 0.5/1/5 (eau/ciment/sable)

Coffrage des chainages

- Etanche et bien mouillé avant le bétonnage

Armatures principales

- Ancrage des armatures longitudinales avec crochets dans la semelle filante de la fondation selon les plans types
- Longueur de recouvrement = 60 fois le diamètre : à respecter impérativement

Etriers et cadre

- Forme et longueur des crochets (plié de 135°)
- Espacement 5 cm dans les extrémités et sur une longueur de 45 cm
- Espacement 15 cm ailleurs

Béton

- Rapport eau ciment < 0.60 (0.6 volumes d'eau pour 1 volume de ciment)
- Calibre maximal des granulats gravier 20 mm
- Vibration et mise en place conformes aux "règles de l'art"
- Enrobage minimal de 3 cm des armatures

Cure

- Arroser les coffrages au moins 3 fois par jour pendant une semaine
- Décoffrage après au moins 7 jours

Toiture

3.4 Toiture

Les fermes en bois sont des poutres triangulées constituées de sections clouées entre-elles. Ces fermes sont fixées par boulonnage (boulons M12 4.6) sur des tiges filetées elles-mêmes ancrées dans les chainages horizontaux.

L'entrait horizontal est à stabiliser contre le flambage avec des sections en bois 2"x 2" ou des cornières acier 2"x2"x3/16" comme indiqué dans les plans types (ces éléments de stabilisation peuvent être également utilisés pour l'installation des lampes). Les fermes sont contreventées par des bandes métalliques clouées entre les arbalétriers et les lattes (soit sur la face supérieure des arbalétriers), et les reliant toutes entre-elles.

Les points importants pour l'exécution des travaux sont les suivants :

Bois

- Sélectionner les sections regardant les trous de nœuds :
 - o Pas de trous de nœuds de bois au droit des connexions et assemblages
- Respecter les distances minimale entre les clous et aux extrémités des sections

Clous

- Profondeur de pénétration de 12 fois le diamètre du clou dans la dernière section du bois
- Respecter les distances minimales entre les clous et aux extrémités des sections

Ancrages

- Qualité de la tige et longueur du filetage à respecter
- Bien fixer la tige avant de couler le béton
- Verticalité et alignement des éléments d'ancrage à contrôler avant coulage du béton

Tôles

- Qualité et épaisseur des tôles
- Recouvrement suffisant entre les tôles
- Bien poser les vis pour fixer les tôles
 - o Les tôles seront fixées à chaque ondulation, au sommet, au pied et au niveau du recouvrement.
 - o Globalement, les vis sont à répartir sur une base minimale de 4 vis/m²
- Utiliser des cavaliers pour assurer l'étanchéité de la toiture ou des rondelles de diamètre 16 mm avec bague d'étanchéité
- Longueur de vis dans les lattes 2.5" ou 60 mm au moins

Contrôle et essais

4. Contrôle et essais

Pour le contrôle des travaux en béton armé la feuille « Rapport de l'inspection bétonnage » en Annexe de ce document peut être utilisée ou adaptée au besoin. Après chaque étape de construction, un rapport est à envoyer à toutes les personnes responsables du projet.

Voici un compte rendu des points à contrôler :

Coffrage

4.1 Coffrage

- Assurer la stabilité, l'indéformabilité et l'intégrité
- Géométrie de l'ensemble (dimensions intérieures, position en plan et en hauteur, verticalité ou angle prévu, horizontalité ou pente des sous-faces y compris contre-flèche prévue)
- Etanchéité
- Propreté des peaux coffrantes (poussière, rouille, attache) avant bétonnage
- Vérification du traitement des joints destinés à assurer l'étanchéité entre les coffrages adjacents
- Vérification de la mise en place des armatures dans le coffrage y compris l'enrobage (dimension et position des écarteurs)

Ferrailage

4.2 Ferrailage

Contrôle des barres d'armature

- Diamètre selon plan d'exécution
- Qualité (Grade 60 selon le standard ASTM A 615/A 615M – 03a) [ASTM]
- Contrôle de la marque de laminage
- Utilisation de fers crénelés

Contrôle de la mise en place

- Conformité aux plans d'exécutions
- Espacements
- Recouvrements
- Crochets
- Enrobages

Béton

4.3 Béton

Matériaux

Matériaux de base

Granulats (sable et gravier)

- Calibre du gravier ($D_{\max} < 20\text{mm}$)
- Propreté (sable et gravier lavé)
- Granulométrie de l'ensemble (courbe de Fuller)
- Protéger avec des bâches des intempéries et des salissures

Ciment

- Stocké à l'abri
- Dosage pour bétons structuraux : $> 350 \text{ kg/m}^3$

Eau

- Eau propre
- Pas de sel
- Rapport eau / ciment < 0.6

Mélange

Mélange

- Le même béton pour tous les éléments de la construction
- Proportion d'eau adaptée à la teneur en eau du sable et du gravier

Test béton frais

Test du béton frais

- Rapport des volumes mélangé (gravier, sable, ciment, eau, adjuvant)
- Essai de tassement avec cône d'Abrams
 - o Selon la norme EN-12350-2
 - o Le béton sans additifs doit satisfaire aux critères de la classe S2

Contrôle

Contrôle de la mise en œuvre avant, pendant et après bétonnage

Précautions lors du coulage

- Respecter la météo et prendre les précautions nécessaires en cas de pluie, ou de forte chaleur
- Limiter la hauteur de chute du béton
- Coulage en couches horizontales successives ne dépassant pas 80 cm, vibrage à l'aiguille simultané
- Maintenir une vitesse de bétonnage constante
- Veiller au bon enrobage des armatures
- Vérifier la disponibilité des équipements nécessaires à la cure du béton

Contrôles relatifs à la préparation de la reprise de bétonnage

- Contrôle de la rugosité du parement
- Vérification de l'absence de laitance et de granulats déchaussés
- Contrôle de la propreté
- Vérification des armatures en attente

Cure

Cure du béton

- Protection contre la dessiccation en arrosant le béton sur toutes ses surfaces apparentes (non coffrées) et les couvrant d'une membrane étanche (plastique)
- La durée de la cure est d'une (1) semaine au minimum selon les conditions climatiques. Elle est appliquée immédiatement après le coulage du béton sur toutes les surfaces non coffrées.
- Les coffrages en bois doivent aussi être arrosés régulièrement sur toute la surface
- Les coffrages en acier sont à protéger du soleil (ombre)

Test béton durci

Test du béton durci

- Par étape de bétonnage ou selon détermination de la direction des travaux, 6 cubes de 150 x 150 x 150 mm, soit :
 - o 3 cubes pour tester après 7 jours
 - o 3 cubes pour tester après 28 jours

Bois et tôles

4.4 Bois et tôles**Bois**

- Sélectionner les sections pour minimiser les trous de nœuds de bois
- Eviter des trous de nœuds de bois dans les intersections des éléments

Clous

- Profondeur de pénétration de 12 fois le diamètre
- Schéma de disposition des clous à respecter conformément aux plans
 - o Distances minimales entre les clous selon [SIA 265]
 - o Distances minimales aux extrémités des sections [SIA 265]

Tôles

- Qualité et épaisseur des tôles
- Recouvrement entre les tôles
- Nombre et géométrie des vis pour fixer les tôles

Données de base

5. Données de base

- [ASTM] – A 615/A 615M – 03a ; Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement
<http://xa.yimg.com/kq/groups/23711357/561765320/name/ASTM+A615.pdf> (15.6.2012)
- [CCR] Dossier de plans d'exécution « Modèle Maçonnerie Chainée, 3 salles de classe », Décembre 2012
- [EC 1] – Eurocode 1 : actions sur les structures ; Partie 5 : Action du vent, 2005
- [EN 1998-1] Calcul des structures pour leur résistance aux séismes
Partie 1: Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments
Chapitre 9 : Règles particulières aux bâtiments en maçonnerie
- [MTPTC] – Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti, 2011
- Norme Suisse (conforme avec Eurocode)
- [SIA 260] – Base pour l'élaboration des projets de structures porteuses, 2003
- [SIA 261] – Actions sur les structures porteuses, 2003
- [SIA 262] – Structure en béton, 2003
- [SIA 265] – Structure en bois, 2003
- [SIA 266] – Maçonnerie, 2003
- [SIA 267] – Géotechnique, 2003
- [USGS] – Documentation for Initial Seismic Hazard Maps for Haiti, Open File Report 2010-1067, 2010

Signatures

6. Signatures

Les personnes ci-dessous confirment par leur signature d'avoir lu et compris le contenu de ce document. Ils confirment que tous les précautions seront prises afin d'imposer les mesures nécessaires à une exécution des constructions conforme aux règles de l'art, ainsi qu'aux plans d'exécution et aux prescriptions énumérées dans la documentation technique.

Pour le **Ministère de l'Éducation Nationale et de la Formation Professionnelle**

Nom/Prénom

Lieu/Date

Signature

Pour le **maître d'ouvrage**

Nom/Prénom

Lieu/Date

Signature

Pour l'**entreprise**

Nom/Prénom

Lieu/Date

Signature

7. Annexes

Rapport de l'inspection bétonnage