

SESSION 2014

AGRÉGATION CONCOURS EXTERNE

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR
ET INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE D'UN SYSTÈME,
D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE ORGANISATION

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

Textes réglementaires :

NF en 1990 Eurocode 0 : Bases de calcul des structures ;

NF en 1991 Eurocode 1 : Actions sur les structures ;

NF en 1992 Eurocode 2 : Calcul des structures en béton ;

NF en 1993 Eurocode 3 : Calcul des structures en acier ;

NF en 1994 Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier-béton ;

Règles TH-Bât.

L'usage de tout autre ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

Documents constituant le dossier :

Sujet :

A	– Présentation générale de l'opération	3 pages
B	– Etudes demandées	4 pages
	B1 – Etude d'une structure porteuse	
	B2 – Etude des réalisations	
	B3 – Equipements techniques	

Documents annexes :

25 pages

C1	– Plan d'architecte niveau + 14,5 m de la zone UVE	
C2	– Plan d'architecte de la zone administration du niveau $\pm 0,00$ au niveau +13,5 m	
C3	– Plan d'architecte salle de conférence VALTOM	
C4	– Coupes verticales de l'ouvrage	
C5	– Plan de coffrage du plancher haut rez-de-chaussée de la zone stabilisation	
C6	– Poutres préfabriquées précontraintes C4 – vue longitudinale	
C7	– Poutres préfabriquées précontraintes C4 – sections transversales	
C8	– Poutres préfabriquées précontraintes C4 – nomenclature	
C9	– Tableau des sections d'armatures HA et masses linéiques	
C10	– Caractéristiques des torons utilisés pour la précontrainte	
C11	– Grues mobiles	
C12	– Extrait du CCTP lot CVC	
C13	– Extrait de la documentation technique des unités terminales	
C14	– Extrait de l'étude thermique de la zone administration	
C15	– Diagramme de l'air humide	

Documents réponses :

2 pages

DR1	– Position de la résultante des efforts amenés par la précontrainte dans la poutre C4	
DR2	– Schéma de principe « ventilation et traitement de l'air de la zone administration »	

A – Présentation générale de l'opération

Contexte socio-économique

La problématique de la gestion des déchets domestiques est désormais devenue dans l'esprit collectif un enjeu écologique et économique. Les problématiques dégagées trouvent, de nos jours, leurs solutions dans une gestion collective à l'échelle intercommunale.

La ville de Clermont-Ferrand a entrepris, depuis plusieurs années, la construction d'un incinérateur moderne. Un syndicat mixte départemental existe pour la valorisation et le traitement des déchets ménagers et assimilés. Il est en charge :

- de la conception, la réalisation et de l'exploitation des installations ;
- du transport des déchets, de leurs traitements et de leurs valorisations ;
- du stockage des déchets ultimes.

Il collecte chaque année 370 000 tonnes de déchets ménagers produits en Puy de Dôme et en Haute Loire par plus de 660 000 habitants répartis sur 544 communes. Dans le cadre de sa politique, le syndicat s'équipe d'un nouveau pôle de valorisation nommé VERNEA.



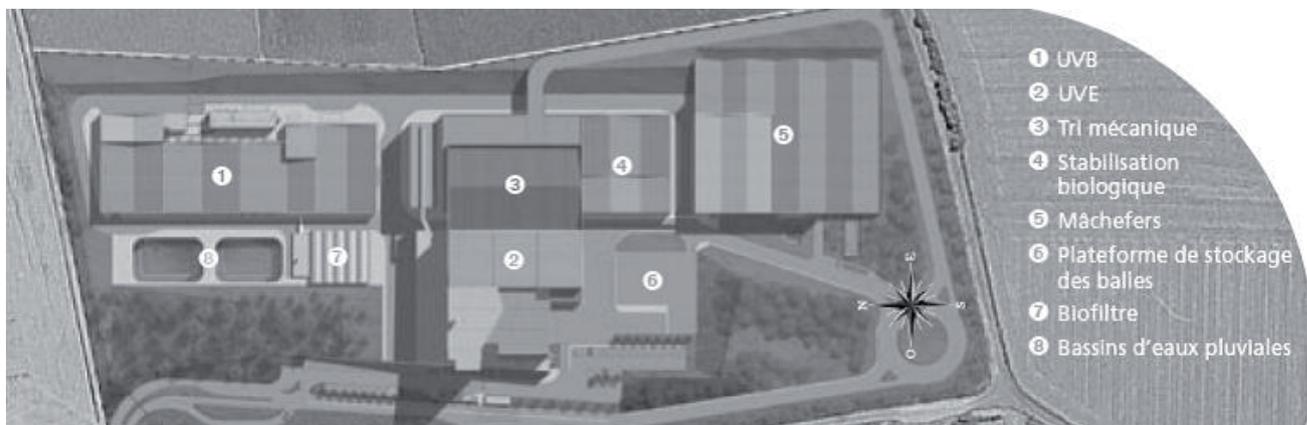
Vues 3D du projet

Ce pôle multi-filiales répond aux objectifs du Grenelle de l'environnement en cherchant à valoriser chaque type de déchets au maximum de son potentiel. Les objectifs fixés par le Grenelle sont les suivants :

- 2012 : 35% des déchets valorisés ;
- 2015 : 45% des déchets valorisés.

VERNEA a pour ambition le traitement de plus de 200 000 tonnes de déchets par an. Il se compose :

- d'une **unité de tri mécanique** (composée d'un crible rotatif séparant les déchets dits secs des déchets dits humides afin de les valoriser dans des filiales distinctes) ;
- d'une **unité de valorisation biologique UVB**. (Un broyeur et un crible servent à la préparation des déchets verts et bio-déchets. Les déchets verts passent alors au composteur, tandis que les bio-déchets alimentent un méthaniseur) ;
- d'une **unité de valorisation énergétique UVE** des déchets dits secs par production d'électricité (composée d'un four faisant chauffer de la vapeur actionnant un turboalternateur. Cette filière permet de couvrir les besoins en électricité (hors chauffage) de près de 70 000 habitants. Les fumées ainsi produites sont naturellement traitées) ;
- d'une **unité de stabilisation biologique** des déchets humides (servant à réduire de 35% les quantités de déchets à enfouir en centre par dégradation et évaporation) ;
- d'une **plateforme de traitement des mâchefers** (valorisable en sous-couche routière).



Organisation de l'usine de valorisation

Les travaux ont débuté en juin 2011 pour une durée prévisionnelle de réalisation de 28 mois. Le chantier mobilisera près de 260 personnes pour un budget global d'environ 300 millions d'euros.

Quelques ordres de grandeurs concernant le chantier lui-même :

Les structures porteuses des différents bâtiments sont en béton armé, béton précontraint, acier, mixtes acier-béton, lamellé collé...

Environ 1300 tonnes d'acier de charpente métallique, 2400 tonnes d'aciers pour béton armé, 27 000 m³ de béton, environ 600 m³ de bois lamellé collé.

Crédits photo : Vernéa 2013

Rappel :

Les grandeurs numériques fournies dans les documents qui suivent ne peuvent être corrélées aux valeurs exactes du projet, qu'elles soient techniques et/ou financières. Par souci de confidentialité, seules des valeurs réalistes sont fournies dans le cadre de cette épreuve.

Conception générale de l'ouvrage étudié

1. Structure et enveloppe

1.1. Structure

La structure porteuse des différents bâtiments allie béton armé, béton précontraint et charpente métallique. Cette partie d'épreuve concerne le bâtiment stabilisation, en particulier une zone de porteurs horizontaux. Le porteur horizontal étudié est constitué d'un réseau d'environ 120 poutres précontraintes qui supportent une dalle porteuse. Les données ci-dessous concernent une poutre précontrainte désignée par « C4 » et dont le coffrage et le ferrailage sont définis en annexes C5 à C8.

1.1.1. Matériaux de la poutre C4

Le ferrailage est composé :

- d'armatures passives :
 - en acier HA B 500 B ;
 - de module d'élasticité égal à 200 GPa ;
 - ayant un enrobage $C_{nom} = 30$ mm.
- d'armatures actives :
 - constituées de torons T15 S dont les caractéristiques détaillées sont données en annexe C10.

Le béton utilisé est de classe C60/75, réalisé à base de ciment CEM I 52.5N CE PM-ES-CP2- NF XA3.

1.1.2. Choix constructif de la poutre C4

La réalisation des poutres précontraintes amène la mise en place d'un cycle thermique spécifique.

1.1.3. Sollicitation maximale agissante de calcul à prendre en compte sur la variante béton armé de la poutre C4

$M_{Ed, ELU} = 1,9730$ MN.m

1.1.4. Impact environnemental

Hypothèses :

- 1 tonne de béton émet lors de son cycle de vie 370 kg eq CO₂ ;
- 1 tonne acier émet lors de son cycle de vie 3670 kg eq CO₂.

(D'autres valeurs peuvent être trouvées *sur* www.ademe.fr/)

Il existe plusieurs gaz à effet de serre. Le gaz carbonique (CO₂) est le plus connu et le plus courant. Mais d'autres gaz naturels ou artificiels ont le même effet, avec cependant une action plus ou moins marquée. Par exemple 1 kg de méthane, gaz issu des fermentations organiques, agit comme l'équivalent de 21 kg de CO₂, et 1 kg de dioxyde d'azote comme 310 kg de CO₂. L'ensemble des gaz issus d'un processus de fabrication est ainsi transformé et exprimé en une unité unique dite équivalente.

Cette méthode dite des équivalences est utilisée pour exprimer d'autres impacts consécutifs à l'action combinée de plusieurs gaz distincts, comme l'acidification atmosphérique, en kg équivalent dioxyde de soufre (SO₂), ou l'épuisement des ressources naturelles,...

1.1.5. Plancher de la partie administration

Le plancher haut rez-de-chaussée de la partie administration est une dalle en béton armé de 20 cm d'épaisseur au mode constructif courant.

1.2. Enveloppe

c.f. annexes C12 à C15.

B – Etudes demandées

Partie B1 - Etude d'une structure porteuse

Cette partie d'étude portera sur le plancher haut du rez-de-chaussée de la zone de stabilisation, et plus particulièrement la poutre C4.

La zone stabilisation du bâtiment permet un stockage provisoire de grandes quantités de matières pré triées, qui seront ensuite valorisées dans une autre partie du site. Dans cette zone, le déplacement des matières nécessite des gabarits de passage très importants pour permettre les manœuvres des engins (chargeurs à pneus et camions).

Le plancher haut du rez-de-chaussée correspondant est présenté en annexe C5. Il permet la circulation de ces camions et de moyens de chargement venant amener les produits de la collecte des ordures ménagères. Les actions de calcul sont donc statiques et dynamiques.

La zone d'étude de ce plancher haut est une série de poutres parallèles, de portée 12,40 m. Le choix constructif retenu est une trame de poutres en béton armé précontraintes. Les poutres ont été préfabriquées en usine, puis transportées sur site par convois exceptionnels.

1.1 Etude de la solution béton précontraint pour la poutre C4.

La solution constructive retenue est la réalisation, en usine, de poutres précontraintes préfabriquées. Ces poutres sont complètement définies géométriquement en annexes C6 et C7. La géométrie de la section droite montre une table de compression qui sert de fond de coffrage à la dalle de complément de 200 mm d'épaisseur qui sera coulée en place. La poutre est, en outre, rendue auto-stable sur sa zone d'appui avant clavetage et pendant le coulage de la dalle, par la forme du talon.

1.1.1 Actions permanentes de poids propre :

- Désigner puis déterminer le **poids propre linéique** de la poutre précontrainte.
- Indiquer le poids **propre** linéique généré par la **dalle coulée en place**.

1.1.2 Principe technologique de la précontrainte :

La précontrainte est réalisée en usine de telle manière que seuls les aciers Haute Adhérence d'extrémité soient visibles. La section transversale des poutres C4, montre que certains des 11 torons mis en œuvre ne sont pas gainés.

- Décrire le **mode opératoire** de la réalisation de ces poutres en usine.
- Expliquer l'**intérêt du gainage des torons** lorsqu'il est mis en œuvre.

Les plans de ferrailage des sections transversales montrent que les aciers repérés 7, 8 et 9 (annexe C7) sont apparents et en attente avant le coulage en place de la dalle.

- Quelle est la **fonction de ces aciers « en attente »** ?
- Indiquer le **ratio d'armatures passives** et le ratio d'armatures **actives** de la poutre précontrainte.

1.1.3 Tension à l'origine, pertes de précontrainte :

La force appliquée à l'armature active lors de sa mise en tension est limitée réglementairement.

- Calculer la **force de précontrainte** maximale pour les torons utilisés.
- Sur la base de l'hypothèse d'une mise en tension simultanée des 11 torons, indiquer la **position** sur la section droite **de la résultante des efforts amenés par la précontrainte** une fois les torons relâchés (document réponse DR1).
- Rappeler les **principales pertes de précontrainte** sur ce type de structure et leur nature.

1.1.4 État limite de service :

- Rappeler quelles sont les **combinaisons d'action habituelles** pour les calculs à l'ELS de ce type de structure porteuse.
- Indiquer quels **états limites de services courants** concernent cette structure.
- Déterminer les **caractéristiques géométriques** nécessaires pour le calcul des contraintes normales dans la section droite. Détailler les caractéristiques géométriques de la poutre seule, puis de la poutre et de sa dalle qui a fait prise.
- Indiquer les valeurs des contraintes limites, justifier.

Tournez la page S.V.P.

D

1.2 Etude de la variante béton armé de la poutre C4.

La possibilité de réaliser en place les poutres en béton armé a fait l'objet d'une étude d'exécution pour estimer finement les coûts réels.

Le principe constructif envisagé est classique : une retombée de poutre préfabriquée puis une reprise de bétonnage lors du coulage de la dalle d'épaisseur totale 200 mm.

La section droite de calcul retenue pour l'étude de cette variante a :

- la même largeur que le talon de la poutre précontrainte ;
- une hauteur de retombée permettant la réalisation de la même épaisseur de dalle, définie sur les plans de la poutre précontrainte.

La portée utile de calcul retenue pour cette solution variante est 12,40 m.

Le « modèle mécanique » simplifié retenu pour l'épreuve est une solution type « poutre isostatique sur deux appuis », chaque appui étant lui-même une poutre porteuse.

1.2.1 Caractéristiques géométriques, résistances de calcul des matériaux, durabilité :

- o Proposer un **schéma de section droite** présentant la retombée, les reprises de bétonnage, les cotes nécessaires au calcul de l'aire de la section d'acier.
- o Préciser les **résistances de calcul** des matériaux.
Pour chacun des deux points précédents, indiquer la justification réglementaire.

1.2.2 Actions permanentes de poids propre :

- o Déterminer le **poids propre** de la poutre béton armé.

1.2.3 Calcul de la section d'acier requise à mi travée à l'ELU :

- o **Déterminer la section d'acier** requise sous la seule sollicitation agissante de flexion à l'ELU donnée en présentation. Les sollicitations agissantes de calcul ont été déterminées par étude des combinaisons d'action habituelles pour ce type d'ouvrage.
- o Préciser si le **ratio d'acier** obtenu, au niveau de la section droite la plus sollicitée, est « courant ».
- o Indiquer quels **calculs complémentaires** doivent être menés sur ce type de poutre béton armé.

1.2.4 Choix constructif :

- o Proposer un **choix constructif** pour cette section à mi travée.
- o **Représenter** ce choix constructif sur un **schéma de ferrailage** de principe de cette section droite. Vous figurerez les armatures longitudinales de flexion, les armatures transversales (cours composés de HA 10), même s'ils ne font pas partie de l'étude.
- o **Justifier l'hypothèse retenue sur la hauteur utile** de flexion ci-avant, pour obtenir la section d'acier requise. Conclure.

1.2.5 Etat limite de service :

- o Compte tenu de la portée utile de calcul, et sans entrer dans un calcul exhaustif qui nécessiterait un outil informatique, indiquer si la géométrie retenue permet de justifier une dispense de calcul de flèche.
- o Sans aucun calcul, indiquer les **préconisations réglementaires** concernant cet état limite de service.

1.3 Comparatif solution variante et solution retenue.

- o Comparez les deux systèmes constructifs sur les points suivants :
 - poids propre béton ;
 - quantité d'armatures longitudinales de flexion ;
 - impact environnemental pour conclure sur les avantages et inconvénients de chaque système constructif.

Partie B2 - Etude des réalisations

On se propose, dans cette partie, d'étudier la réalisation :

- du plancher de la zone stabilisation étudiée en partie B1 ;
- de la partie administration (files N à N1 – c.f. annexe C2).

2.1 Plancher béton de la zone stabilisation.

2.1.1 L'entreprise a choisi de mettre en œuvre les poutres précontraintes C4. **Etablir le mode opératoire détaillé** de la réalisation du plancher préfabriqué précontraint pour la maille comprise entre les files C2 et E1 – 22 et 34. Vous débuterez par la réception, sur chantier, des éléments préfabriqués en usine, pour terminer par les finitions.

Ce mode opératoire prendra en compte les contraintes liées à :

- la qualité ;
- la sécurité ;
- la protection de l'environnement.

Quantifier dès que possible le risque.

La présentation suivante sera respectée :

N°	Description détaillée des tâches et croquis	Matériels et matériaux nécessaires	Risques	Mesures de prévention
			Q	
			S	
			E	

2.1.2 Choix du matériel de levage :

- o En vous basant sur les données de l'annexe C11, **choisir la grue mobile** permettant d'effectuer la pose et le bétonnage du plancher. Vous supposerez que la grue est stationnée à l'altitude du plancher bas rez-de-chaussée.
- o Définir les **caractéristiques techniques des élingues** nécessaires.
Dans ces deux questions, vos hypothèses seront particulièrement bien argumentées.

2.1.3 A l'aide de schémas, **expliquer les autres solutions constructives possibles** pour réaliser ce plancher nervuré béton.

2.1.4 Afin de comparer vos solutions, plusieurs critères peuvent être mis en avant pour justifier ce qui peut paraître aux yeux de tel ou tel intervenant dans l'acte de construire comme un avantage ou bien au contraire, un inconvénient.

- o **Indiquer**, selon vous, et dans un tableau synthétique, **les avantages et les inconvénients de chacune des solutions étudiées.**
- o **Mettre en évidence les critères** de choix.

2.2 Zone administration.

2.2.1 Plancher haut du premier étage :

- o Enumérer les **différents types de planchers** pouvant être mis en œuvre pour la réalisation de la dalle du niveau 6,40 m.
- o Choisir la **solution la plus optimale** à vos yeux et justifier votre choix.

2.2.2 Voiles :

- o Expliquer la **méthodologie de réalisation des voiles** au droit des joints de dilatation.

Tournez la page S.V.P.

Partie B3 - Equipements techniques

L'objectif de cette partie est double :

- valider les choix de matériels de chauffage et de rafraîchissement proposés dans le CCTP lot CVC ;
- proposer des logiques de fonctionnement pour la gestion automatique de ces matériels.

3.1 Analyse de la solution proposée par le cahier des charges.

- o En vous appuyant sur le descriptif du site VERNEA, **justifier de l'usage de l'énergie électrique** pour assurer la couverture des besoins en chauffage et en climatisation du site.
- o En vous appuyant sur l'extrait de CCTP lot CVC (annexe C12), **proposer le schéma de principe** présentant de manière synthétique la solution retenue pour le chauffage et la climatisation de la zone administration. **Compléter** le document réponse DR2. Ce schéma fera apparaître les différents réseaux aérauliques et hydrauliques, ainsi que les organes principaux nécessaires au bon fonctionnement de l'ensemble.

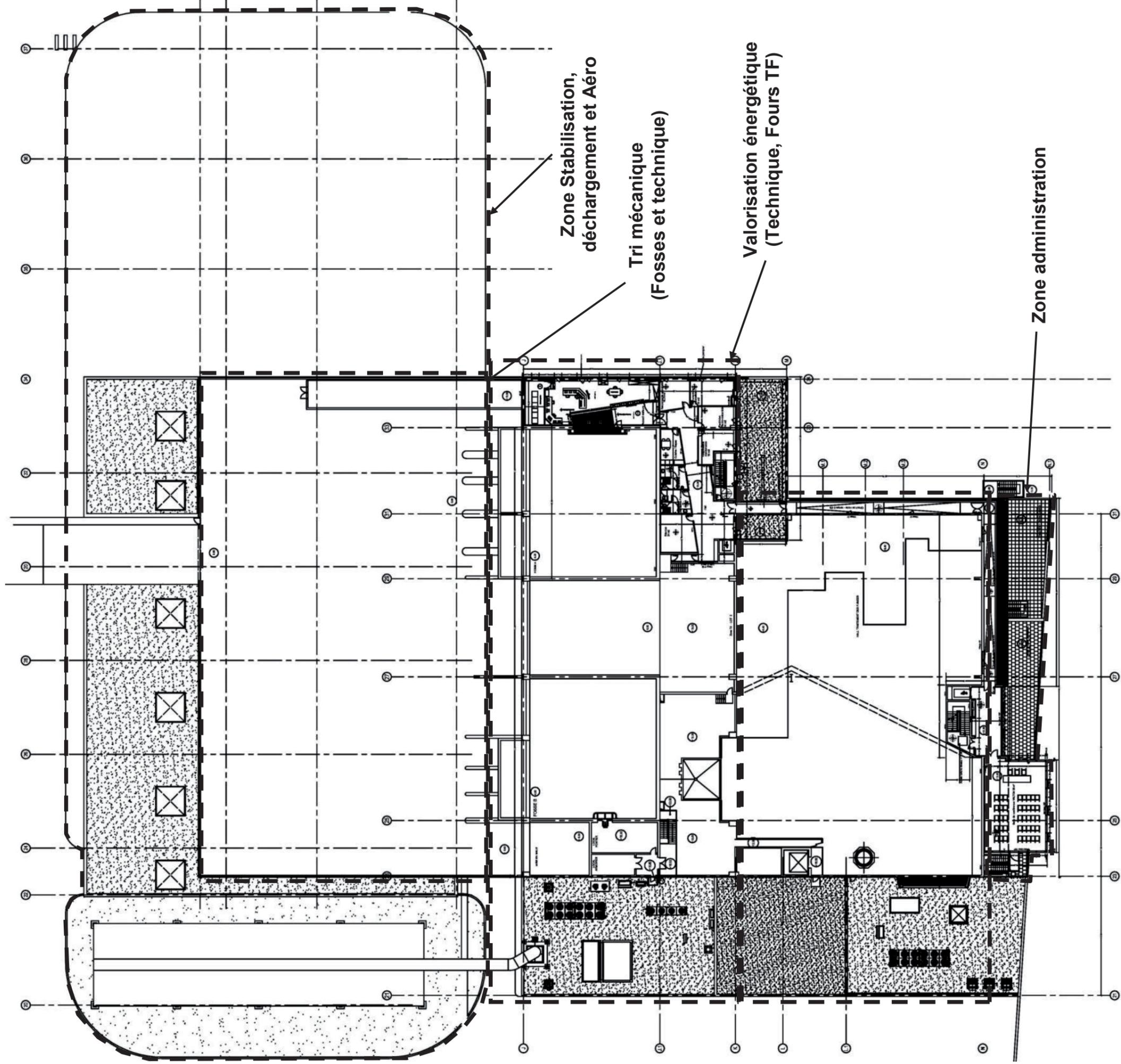
3.2 Vérification des dimensions des matériels de chauffage et rafraîchissement de la zone administration.

- o En vous appuyant sur les extraits de l'étude thermique (annexe C14) et du CCTP lot C.V.C. (annexe C12), **déterminer, en justifiant vos démarches, les charges** à prendre en compte pour dimensionner le système de chauffage et de rafraîchissement de la salle de conférence.
- o En vous appuyant sur vos résultats, et sur les annexes C12 et C14, **montrer** que les unités terminales de traitement d'air sélectionnées dans le CCTP **ne permettent pas de couvrir seules les besoins en rafraîchissement** de la salle de conférence.
- o En vous appuyant sur vos résultats, et sur les annexes C12 et C14, **montrer que la puissance de rafraîchissement de la CTA sélectionnée** dans le CCTP, pour traiter la zone dans laquelle est incluse la salle de conférence, délivre une puissance bien supérieure aux besoins strictement liés au renouvellement d'air.
- o **Proposer alors une solution permettant d'assurer la couverture des besoins en rafraîchissement** sans modifier la structure matérielle proposée par le CCTP pour le lot CVC. **Justifier** vos démarches en vous appuyant sur l'étude de la salle de conférence.

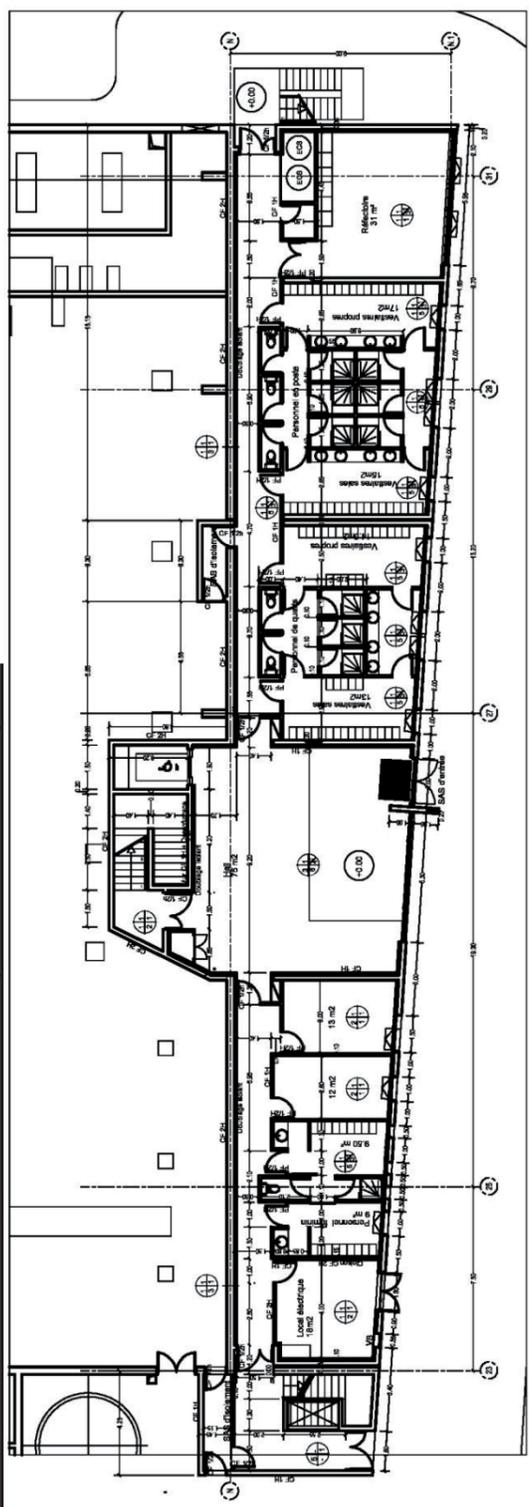
3.3 Logiques de fonctionnement des systèmes de chauffage et rafraîchissement de la zone administration.

- o **Définir**, sous forme de logiques de fonctionnement, **les solutions techniques permettant la gestion automatique des unités terminales** de la salle de conférence et leurs adaptations aux besoins réels de la salle de conférence.
- o **Définir**, sous forme de logiques de fonctionnement, **les solutions techniques permettant la gestion automatique de la CTA** dédiée aux bureaux de la zone administration.
- o **Conclure** quant à la validité de la solution technique décrite dans le CCTP, pour assurer le chauffage et le rafraîchissement de la zone administration.

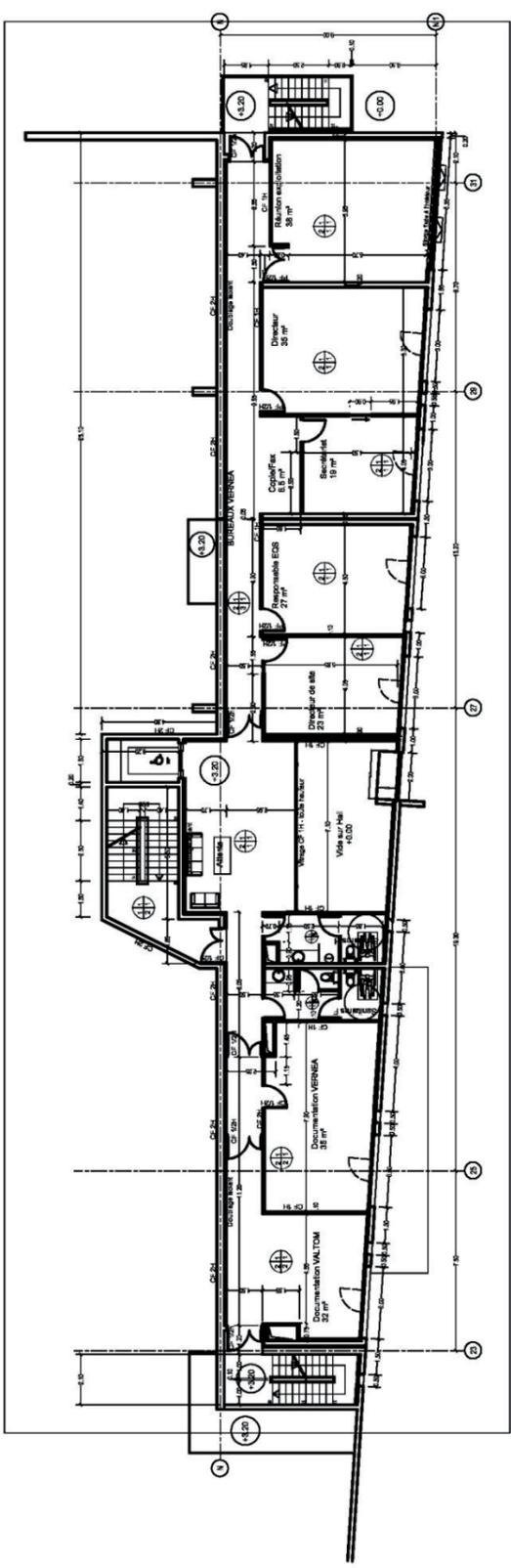
C1 – Plan d'architecte niveau + 14,5 m de la zone UVE.



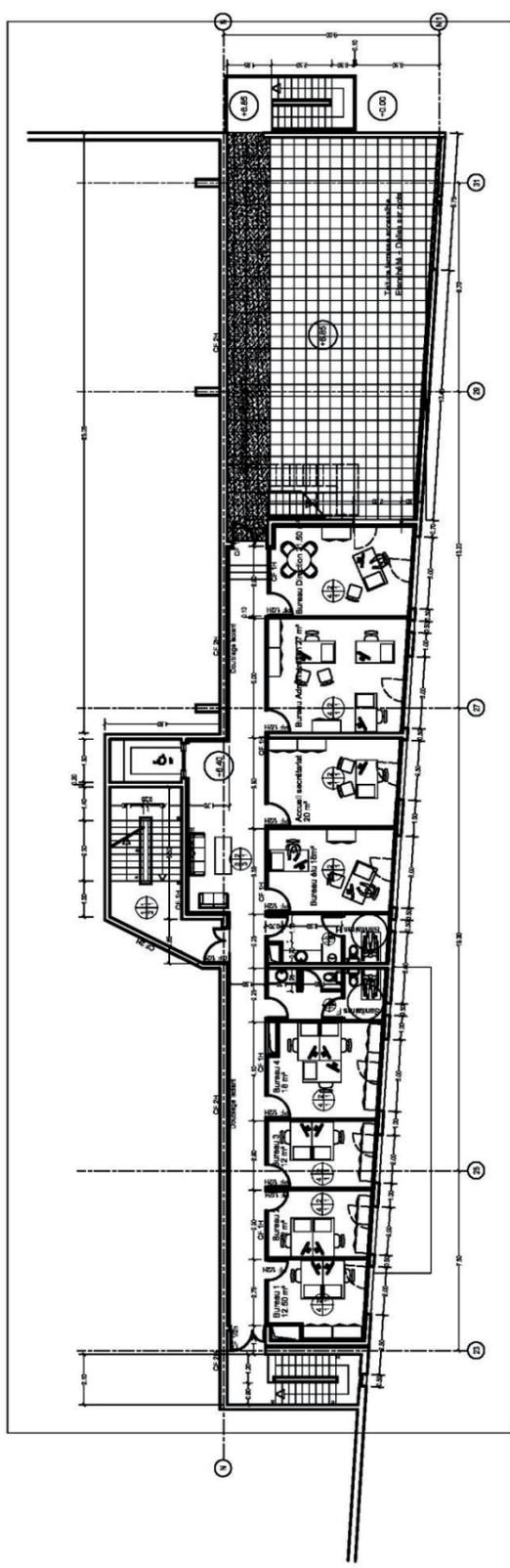
C2 – Plan d'architecte de la zone administration du niveau ±0,00 au niveau +13,5 m.



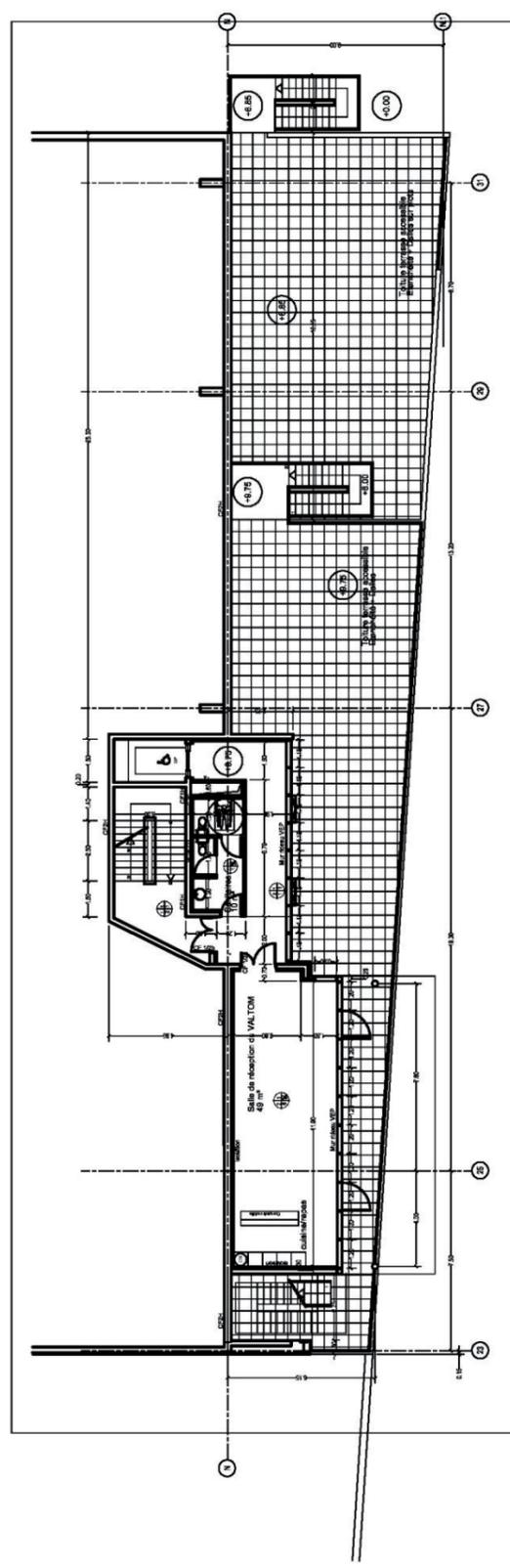
± 0,00



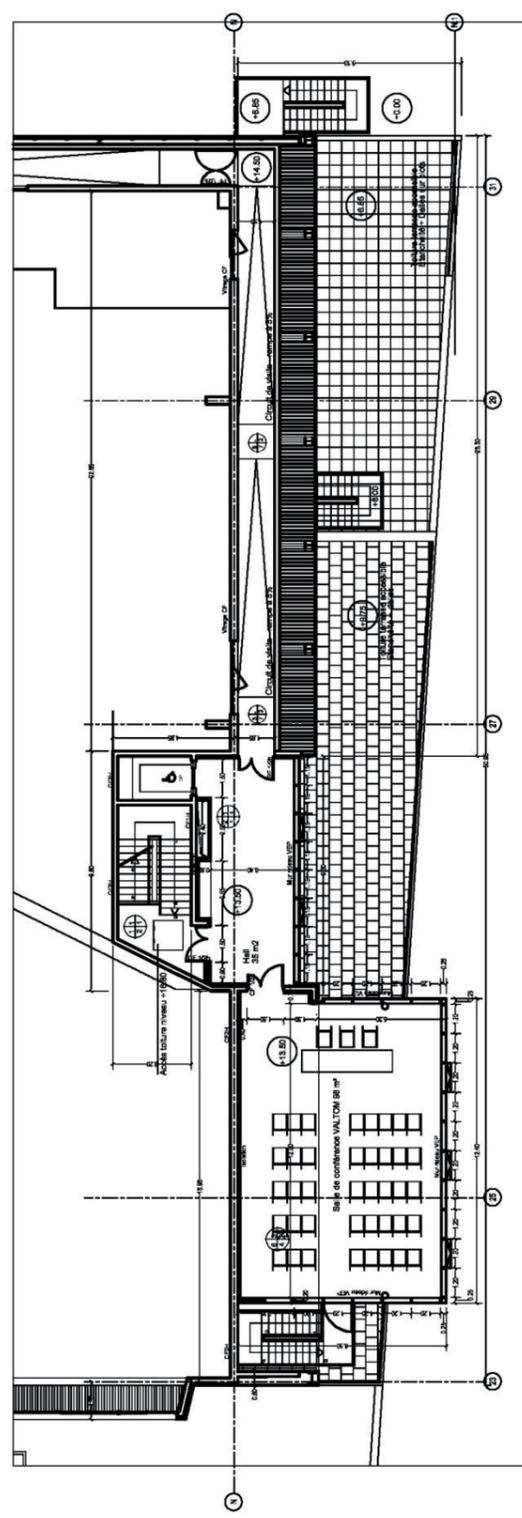
+3,20



+6,40



+9,75



+13,50