

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2024

SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INDUSTRIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ingénierie, innovation et développement durable

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

Durée de l'épreuve : **4 heures**

CORRECTION

PARTIE commune (2,5h) 12 points

Parc photovoltaïque flottant



Travail demandé

Partie 1 : Le parc photovoltaïque flottant permet-il de réduire l'impact environnemental ?

Question 1.1

DT1

Charbon Fioul Gaz

Question 1.2

DT1,

DR1

Voir DR1

Masse = 572,2 Tonnes de CO₂

Document réponses DR1 Émissions annuelles de CO₂

P : Production électrique annuelle du parc en MWh	Filière qui produit du CO ₂	Proportion de production d'électricité de la filière en %	W : Energie électrique produite par la filière en MWh/an	M : Émission annuelle de CO ₂ par filière en tonnes de CO ₂ eq
15 450 MWh	Gaz	6,3 %	W = 0,063 x P W = 973,35 MWh/an	M = 0,429 x 973,35 ME = 417,56 Tonnes de CO ₂ eq / MWh
	Charbon	0,7%	0,007x15 450 = 108,15	M = 0,986 x 108,15 = 106,64
	Fioul	0,4%	0,004x15 450 = 61,80	M = 0,777 x 61,80 = 48,00
Masse totale de CO ₂ engendrée par les filières carbonées en tonnes de CO ₂ eq :				417,56 + 106,64 + 48,00 = 572,20

Question 1.3

DT3

Surface station = 12 ha

Surface plan d'eau = 27,6 ha

12/27,6 = 0,43 soit 43% de la surface est recouverte

Occupe moins de 50% de la surface donc l'exigence est respectée.

Question 1.4

DT2,

DR2

Voir DR2

Surface épargnée = 16,56 ha

Document réponses DR2 Impact sur les surfaces cultivables

	Parc photovoltaïque au sol de Cintegabelle	Parc photovoltaïque flottant de Saint-Elix
Surface occupée par le parc (ha)	7,19 ha	12 ha
Production annuelle du parc (MWh)	6 700	15 450

Surface de terres cultivables utilisées pour produire de 15450 MWh (ha)	7,19 x 15 450/6 700 = 16,58 ha	0 ha
---	-----------------------------------	------

Question 1.5

DR3

Sur DR3, **noter** pour chaque critère dans cases grisées (favorable +, nuisible – ou neutre 0) et **écrire** le commentaire pour le critère « occupation des surfaces cultivables » en fonction des résultats de la question 1.4.

Voir DR3

Déterminer le parc le moins impactant. **Justifier**

Le parc le moins impactant est le parc flottant car

- L'eau rafraîchit les panneaux et augmente la production d'électricité
- Moins d'impact sur les terres cultivables
- Moins d'impact visuel

Document réponses DR3 Critères d'évaluation

Critères	Parc photovoltaïque flottant	Parc au sol	Commentaires
Influence de la température ambiante sur la production	+	-	L'eau permet une diminution des températures de fonctionnement, ceci permet un gain de production pour les parcs installés sur l'eau.
Occupation des surfaces cultivables	+	-	Un parc photovoltaïque installé sur un plan d'eau utilise très peu de surfaces cultivables contrairement au parc au sol.
Impact sur la faune et la flore	0	0	Quelle que soit le parc, flottant ou au sol, les nuisances apportées à la faune et à la flore sont limitées. Des mesures compensatoires aux quelques impacts générés sont imposés aux abords des installations (mise en place de nichoirs, plantation de haies).
Impact visuel	+	-	Le parc flottant ne doit pas dépasser la surface de l'eau de plus de 44 cm, ceci lui permet d'être discret et peu visible. Le parc au sol est visible car les panneaux sont inclinés à 30° et plus grands que ceux utilisés pour les parcs flottants. L'impact visuel est important.
Maintenance de l'installation	-	+	La maintenance d'un parc au sol est facile à réaliser car l'accès au parc est peu contraint. Pour les parcs flottants, l'accès au système se fait sur des passerelles flottantes et en milieu humide, ceci complique les opérations de maintenance.

Question 1.6

Réduit les impacts car :

- évite la production de CO2 par rapport aux moyens de production du mix électrique français ;
- épargne des terres cultivables par rapport à une centrale au sol.

Partie 2 : Comment optimiser la production d'énergie électrique dans l'espace disponible du plan d'eau ?

Question 2.1

DT5

La puissance crête d'un panneau est de 425 W et il y a 34 000 panneaux donc $34\,000 \times 425 = 14,45$ MWc posé

Question 2.2

DT3, DT4, DT5

Le constructeur des panneaux assure une puissance de 92% de la puissance installée au bout de 25 ans donc P_{C25} [MWc] = $0,92 \times 14,45 = 13,294$ MWc.

Vérifier la conformité au cahier des charges.

Le cahier des charges donne la contrainte d'avoir « au moins 13 MWc après 25 ans de fonctionnement », $P_{C25} = 13,294$ MWc est bien supérieure donc l'exigence est respectée.

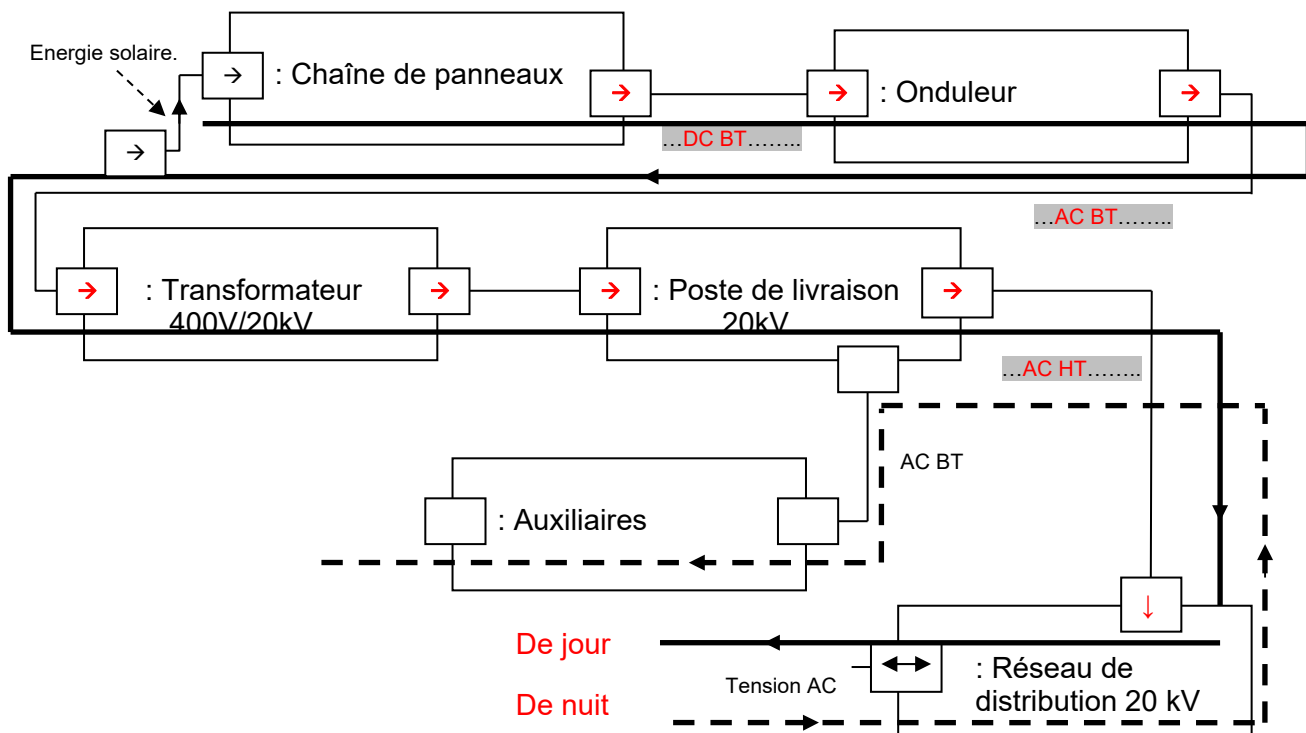
Question 2.3

DT6

DR4

Voir DR4

DR4 : Diagramme de bloc interne partiel



Question 2.4 | Voir DR4

DR4 | L'onduleur permet d'adapter la tension DC au réseau AC.

Question 2.5 | Voir DR5

DR5 : Paramétrage du logiciel PVGIS

Technologie d'un panneau	Silicium monocristallin ? ☒ Ou CIS (Cuivre Indium et Sélénium) ? ☐ Ou Cdte (Tellurure de Cadmium) ? ☐
Position de montage	A l'air libre ? ☒ Ou Intégré au bâtiment ? ☐
Puissance crête (kWc)	8,5.....
Inclinaison (°)	11.....
Azimut (°)	15.....

Question 2.6 | Voir DR6

DT8,
DR6

DR6 : Production électrique d'une rangée de 20 panneaux

Angle d'inclinaison d'un panneau α (°)	11	22	35
Distance Dp (m) entre deux panneaux.	158	205	251
Energie électrique produite E_{an} (kWh) par une rangée de 20 panneaux	...10002,5.....Q2.6	12673	13053
Ratio RA (kWh·m ⁻¹) = Eh/Dp	...6330,7.....Q2.7	...6182,0.....Q2.7	...5200,0.....Q2.7

Question 2.7 | Voir DR6

DR6

Question 2.8 | Pour optimiser la surface d'étendue d'eau il faut rapprocher le plus possible les panneaux entre eux et réduire l'inclinaison pour éviter l'ombre portée d'un panneau sur l'autre. La production électrique est alors impactée par la faible inclinaison mais le ratio de production par mètre reste important en comparaison à une installation terrestre classique.

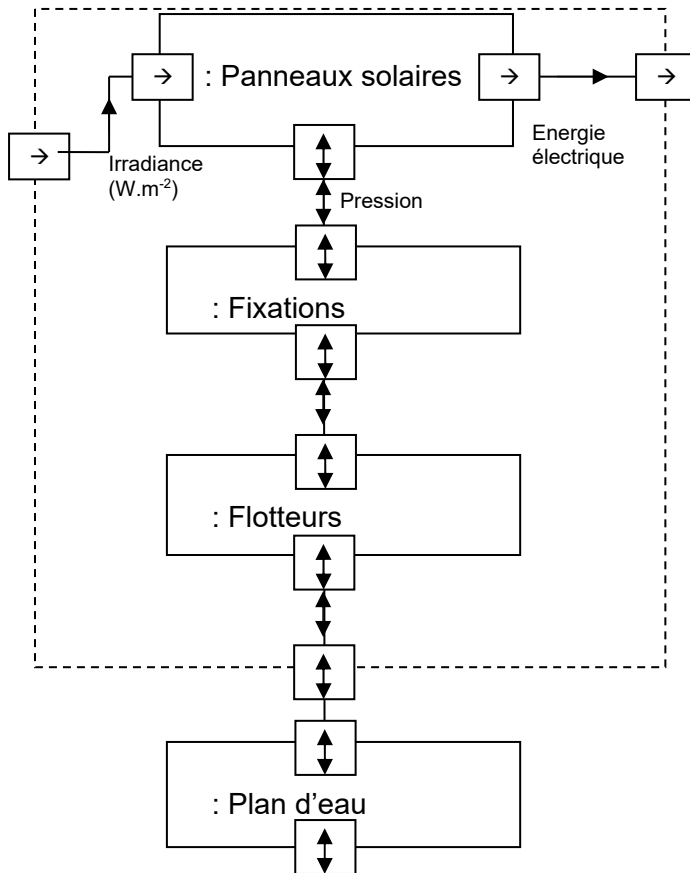
Partie 3 : Comment maintenir des modules photovoltaïques en surface d'un plan d'eau en toute sécurité et en minimisant les impacts environnementaux?

Question 3.1 | Voir DR7

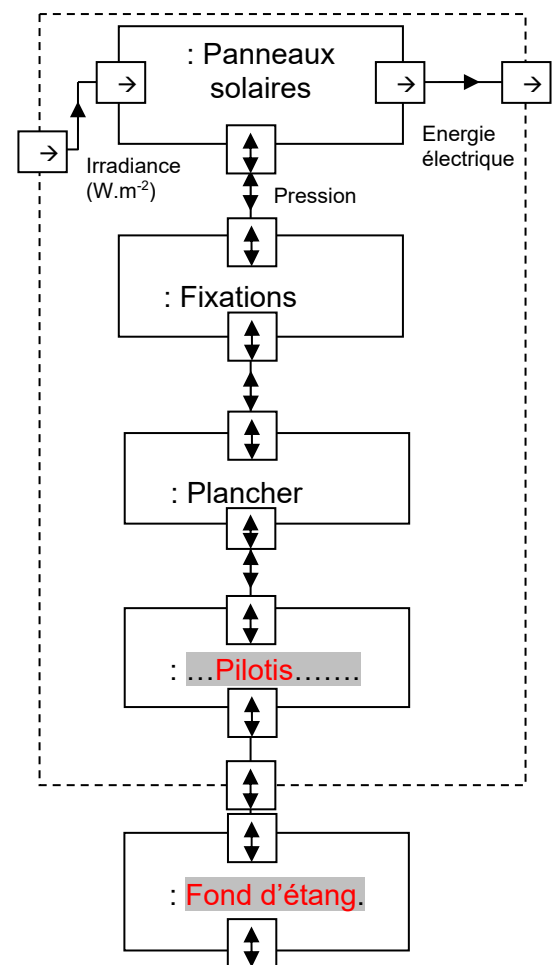
DT9,
DR7

DR7 : Diagramme de bloc interne partiel des différentes solutions de maintien de panneaux en surface

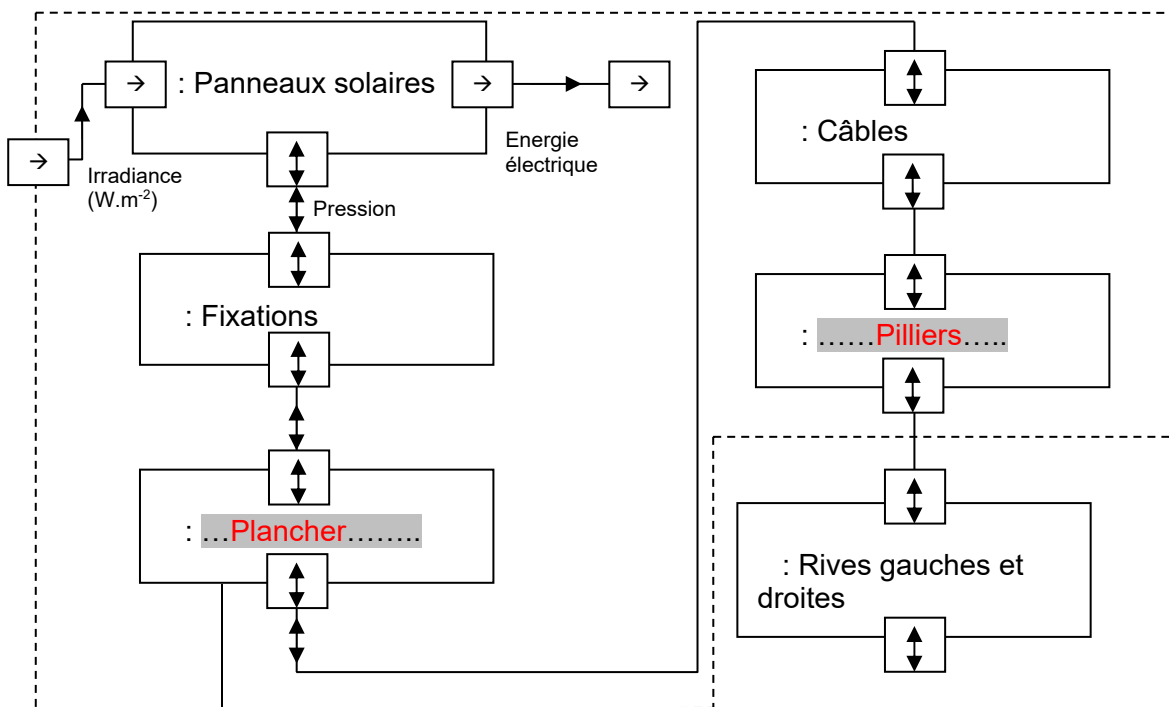
Solution n°1 : Centrale sur flotteurs



Solution n°2 : Centrale sur pilotis



Solution n°3 : Centrale suspendue



Question 3.2 DT11	$S = (1\,046 + 758) \times 1\,812 = 3,27 \times 10^6 \text{ mm}^2 \text{ soit } 3,27 \text{ m}^2$ $S_m = S - (2 \times S_1) - (4 \times S_2) = 3,27 - (2 \times 0,063248) - (4 \times 0,035140) = 3 \text{ m}^2$ $S_{mt} = 3 \times 34\,000 = 102\,000 \text{ m}^2$
Question 3.3	L'évaporation est limitée car la centrale masque les rayons incidents du soleil, limite l'effet du vent, permet de maintenir une humidité relative. La couleur blanche des flotteurs réfléchisse aussi les rayons solaires.
Question 3.4	$S_a = (1\,890 \times 980) - (631 \times 315) - (3,14159 \times 315^2 / 4)$ $S_a = 1\,852\,200 - 198\,765 - 77\,931 = 1\,575\,504 \text{ mm}^2 = 1,57 \text{ m}^2$
Question 3.5	$h_i = \text{Poids} / (\rho \times S_a \times g) = 34,4 \times 9,81 / (1\,000 \times 1,60 \times 9,81) = 21,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ soit 21,5 mm
Question 3.6	Les panneaux sur flotteurs restent bien en flottaison car leurs immersions ne dépassent pas 21,5 mm sur une hauteur de 150mm. Les panneaux connectés entre eux forment une centrale flottante suffisamment ramassée pour ne pas occuper tout le plan d'eau.

Partie 4 : Comment stabiliser la position de la centrale sur le lac, éviter sa dérive ?

Question 4.1 DT12	$V_{\max} = 33,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Question 4.2	$F_v = 214 \text{ kN}$ (compris entre 200 et 225 kN)
Question 4.3 DT14	Pour une valeur en compression de 94,5 kN le tableau propose un couple de 6404 N.m
Question 4.4 DT13	$T_{A\,L5K} = 47,3 \text{ kN}$
Question 4.5	$T_{H\,L5K} = T_{A\,L5K} \times \cos 12^\circ = 47,3 \text{ kN} \times \cos 12^\circ = 46,3 \text{ kN}$ $N_{\text{pieux}} = F_v / T_{H\,L5K} = 214 / 46,3 = 4,62$ Il faudra donc 5 pieux pour reprendre les efforts horizontaux liés au vent.

Partie 5 : Comment structurer le réseau de communication ?

Question 5.1 DT7	Informations numériques
Question 5.2	Exemple : 172.16.64.5/27
Question 5.3	Nombre de clients sur le LAN (figure 8) -> 3 si on ne considère que les caméras et station météo de la figure et 4 si on rajoute le serveur DNS Il y a le réseau LAN (réseau local) et le réseau WAN (réseau étendu, réseau couvrant une zone géographique de grande envergure donc ici coté internet). On a ces 2 types de réseaux étant donné que l'on doit pouvoir obtenir, consulter des informations de l'installation (station météo, caméras...) depuis l'extérieure du site (WAN) et à partir du site (LAN).

PARTIE enseignement spécifique (1,5 h).....8 points

ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION

CORRECTION



Travail demandé

Question A.1 | **DRS1**

Question A.2 | L'abaque donne une capacité de levage de 3,7 tonnes (26 m en abscisse,
DTS3 14 m en ordonnée)

Question A.3 |

La grue choisie ne permettra pas de lever les 5 tonnes du module pour l'emplacement de la grue fixé.

Il faudra :

- soit prévoir une grue plus puissante,
- soit aménager le terrain pour approcher la grue au minimum à 22 m du module,
- soit alléger le module.

Question B.1 | **DRS3**

La surface d'influence $S_{\text{infl}} = 3,680/2 \times 2,480/2 = 2,282 \text{ m}^2$

Question B.2 | **DRS2**

DTS4,

Poids de neige :

$$S = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_r \cdot S_k = 0,8 \times 1,00 \times 1 \times ((0,45 + 0,03)) = 0,384 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Question B.3 | **DRS2**

DTS5

Question B.4 | $\text{Poids}_{\text{ELS}} = 7\,279 + 26\,923 + 0,7 \times 1\,050 = 34\,937 \text{ N} = 34,937 \text{ kN}$

Question B.5 | Contrainte : $\sigma_{\text{ELS}} = \frac{S}{s} = \frac{\text{Poids}_{\text{ELS}}}{S_{\text{fond}}} = \frac{34937}{0,4 \times 0,4} = 218 \text{ kPa}$

Question B.6

DTS3

$$q_{ult} = \frac{K_p \cdot P_t}{\gamma_{Rintv} \cdot \gamma_{Rw}} = \frac{1 \times 0,26}{1,2 \times 2,3} = 0,094 \text{ MPa} = 94 \text{ kPa}$$

Cette valeur est nettement inférieure à la contrainte transmise, donc la fondation est largement sous-dimensionnée.

Il serait possible d'envisager :

- soit un élargissement de la fondation (tel que $q_{ult} = 94 \text{ kPa} = \sigma_{ELS} = \frac{F_{ext,ELS}}{S_{fond}} = \frac{84,987}{a \times a}$
donc $a = \sqrt{\frac{84,987}{94}} = 0,61 \text{ m}$)
- soit un approfondissement de la fondation (plot ancré au sein des sables gris observé à partir de 2,80 m qui sont 4 fois plus résistants)
- soit de s'orienter vers des fondations profondes (de type pieux : la solution Techno Pieux semble ici totalement appropriée)

Partie C : Comment optimiser les pannes de la toiture ?

Question C.1

DTS7

$$M_f = \frac{q \cdot L^2}{8} = \frac{(7,8 \cdot 10^3) \times 2,48^2}{8} = 5\,997 \text{ N.m} = 5,997 \text{ kN.m}$$

Question C.2

$$\sigma = \frac{M_f}{I} \cdot y = \frac{5\,997}{9,9 \cdot 10^{-7}} \times 0,04 = 2,42 \cdot 10^8 \text{ Pa} = 242 \text{ MPa}$$

La contrainte calculée est légèrement inférieure à la résistance élastique de l'acier (275 MPa). La barre de 80 x 50 x 5 convient pour la panne selon le dimensionnement en contrainte aux ELU.

Cependant, le coefficient de sécurité est $C = \frac{R_E}{\sigma} = \frac{275}{242} \approx 1,14$ est très faible, inférieure aux valeurs couramment admises.

Question C.3

DTS7

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \times 7,8 \cdot 10^3 \times 2,48^4}{384 \times 210 \cdot 10^9 \times 9,9 \cdot 10^{-7}} = 0,0128 \text{ m} = 12,8 \text{ mm}$$

Question C.4

$$0,5\% \times 2,48 \text{ m} = 0,0124 \text{ m} = 12,4 \text{ mm}$$

La flèche calculée est supérieure à 5%, donc la barre de 80 x 50 x 5 ne convient pas pour la panne selon le dimensionnement en flexion aux ELS.

Question D.1 | $\lambda_{\text{viroc}} = 0,22 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

DTS1

$$R_{\text{viroc}} = e / \lambda_{\text{viroc}} = 0,022 / 0,22 = 0,1 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$$

Question D.2 | $R_D = 4,55 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$

DTS2

$$R_{\text{si}} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$$

$$R_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$$

$$R_{\text{global}} = R_{\text{si}} + R_{\text{se}} + R_{\text{viroc}} + R_{\text{isolant}} + R_{\text{carrelage}} = 0,17 + 0,04 + 0,1 + 4,55 + 0,01 = 4,87 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$$

Question D.3 | $R_{\text{global}} = 4,87 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ ce qui est supérieur aux souhaits du client ($R = 4 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$), la structure proposée est donc satisfaisante.

Document réponses DRS1 : descente de charge (question A.1)

Remarque : pour le calcul des poids, l'accélération de la pesanteur retenue sera : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ (ou $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$)

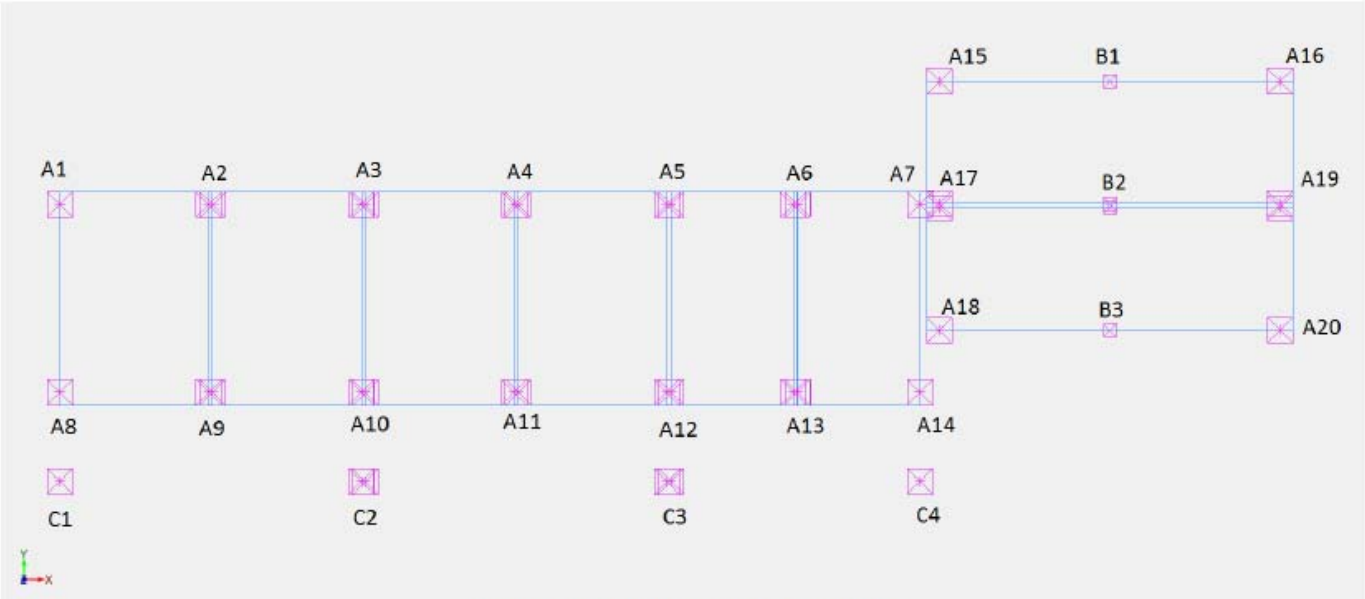
Niveau	Désignation des ouvrages	Charges permanentes : G				
		Longueur L	Largeur : l	Hauteur : H	Masse unitaire	Masse totale
		[m]	[m]	[m]	[kg.m ⁻³]	[kg]
N1 (toiture)	Complexe : bac acier, isolant thermique et acoustique					464
N2 (parois verticales)	Panneau sandwich et bardage					2 332
N3 (plancher Viroc carrelée)	Viroc - épaisseur 22 mm	7,36	2,48	0,022	1 350	542
	Reste du complexe du plancher					1 578
Total :						4 916

La masse totale de la structure du module de type C est de 4,916 tonnes.

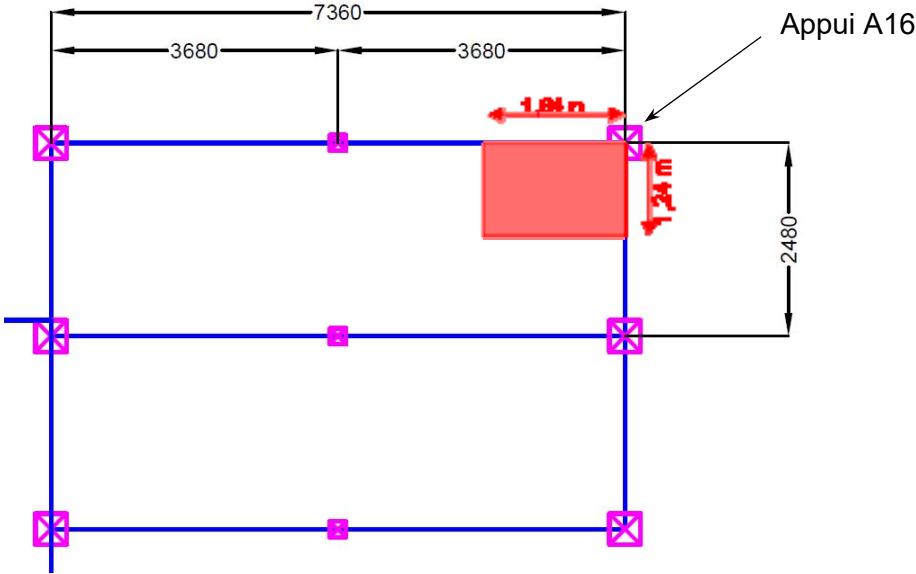
Document réponses DRS2 : descente de charge au droit de l'appuis A16 (question B.2)

Niveau	Désignation des ouvrages	Charges permanentes : G	Charges d'exploitation : Q				Charges climatiques S			
		Total	Longueur L	Largeur : l	Poids unitaire	Total	Longueur L	Largeur : l	Poids unitaire	Total
		[N]	[m]	[m]	[N.m ²]	[N]	[m]	[m]	[N.m ²]	[N]
N1 (toiture)	Bac acier + isolants	160				13 233	1,84	1,24	384	876
N2 (parois v.)	Panneaux sandwich	4 097								
N3 (plancher)	Complexe du plancher	2 613	1,84	1,24	6 000	13 690				
Total :		7 279			Total :	26 923			Total :	876

Document réponses DRS3 : Schéma des appuis de fondation des bungalows (question B.1)



Numérotation des appuis



Détail des bungalows de type C
pour dessin de la surface