Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + SI, veuillez visiter :
bac-maths-si.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

JOUR 1

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

Partie sciences de l'ingénieur : durée indicative de **2 h30** - Coefficient : **8**

Partie sciences physiques : durée indicative de **1 h** - Coefficient : **4**

L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.

L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Chacune des parties est traitée sur des copies séparées.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 22 pages numérotées de 1/22 à 22/22

Le candidat traite les 2 parties en suivant les consignes contenues dans le sujet.

Partie 1 - Sciences de l'ingénieur	20 points
Partie 2 - Sciences Physiques	20 points

Partie 1 : les documents réponses DR1 à DR3 (pages 17 à 19) sont à rendre avec la copie

Le centre hospitalier universitaire de Guadeloupe (CHUG)

Constitution du sujet

- Sujet ..... pages 2 à 16
- Documents réponses..... pages 17 à 19

Le sujet comporte des sous-parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Partie 1- sciences de l'ingénieur

Mise en situation

Le nouveau centre hospitalier universitaire de la Guadeloupe (CHUG) est l'un des premiers établissements de santé français de nouvelle génération en termes de conception architecturale et le plus important bâtiment jamais construit sur l'archipel guadeloupéen.
Du fait de sa situation sur l'arc antillais, il se situe dans une zone à risques majeurs : sismique (tremblements de terre), cyclonique (ouragans), et sanitaire (bactéries).

Le CHUG est situé à 5 km de la mer, et à une quinzaine de mètres au-dessus du niveau de la mer, ce qui le place en zone non inondable. Le plateau technique (figure 1) regroupe les services du CHUG particulièrement vitaux comme les urgences, l'imagerie, le bloc opératoire, la réanimation, la radiologie, la médecine nucléaire et les laboratoires.



figure 1 : vue générale du CHUG

Tous les services accueillis dans le plateau technique utilisent des équipements lourds et sensibles aux accélérations sismiques. La sécurité bactériologique y est primordiale. Après un cyclone ou un séisme majeur, le CHUG doit rester fonctionnel pendant 72 heures. Le diagramme de contexte est donné en figure 2.

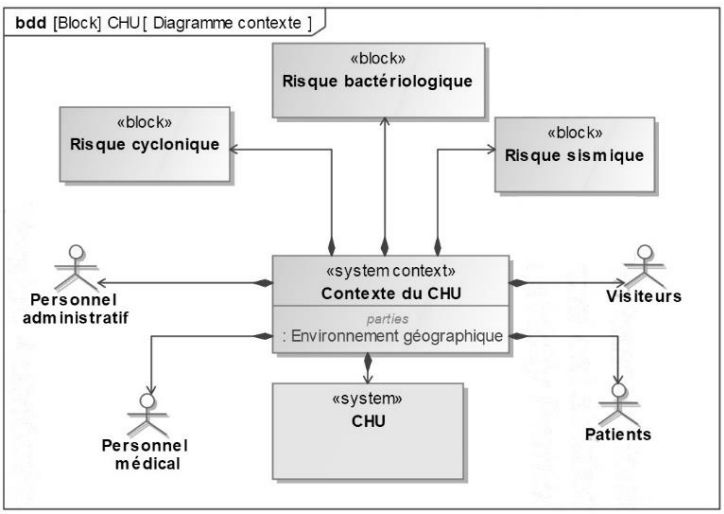


figure 2 : diagramme de contexte du CHUG

La problématique étudiée est la suivante :

comment assurer la continuité des services du CHUG face aux risques majeurs ?

Sous-partie 1 : garantir la sécurité en cas de cyclone

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que le système d'alimentation électrique du CHUG lui permet de fonctionner en cas de cyclone et/ou de situation sinistrée.

L'île de la Guadeloupe se situe sur l'arc antillais en zone tropicale. Les cyclones y sont présents de mai à octobre. Classés par catégories, ils peuvent atteindre les niveaux les plus élevés en Guadeloupe (figure 3).

classe	vents maximum	dommages possibles
1	118 et 153 km·h^{-1}	Dommages sur les toits possibles et de grosses branches d'arbres peuvent se casser. Les lignes et poteaux électriques peuvent être endommagés et les coupures électriques durent quelques jours.
2	154 et 177 km·h^{-1}	Beaucoup d'arbres cassés encombrent les routes ; les coupures électriques sont fréquentes et peuvent durer des semaines.
3	178 et 209 km·h^{-1}	Les toits des maisons peuvent être détruits et les fenêtres non protégées sont cassées.
4	210 et 249 km·h^{-1}	Les murs extérieurs des maisons peuvent être endommagés, la plupart des poteaux électriques sont à terre, les coupures électriques peuvent durer des mois, la zone peut être inhabitable pendant des semaines voire des mois.
5	supérieurs à 249 km·h^{-1} (catégorie des super-cyclones)	Beaucoup de maisons sont détruites, les toits et les murs n'ayant pas résisté. Les cyclones Andrew, en 1992, et Irma, en 2017, ont atteint la catégorie 5.

figure 3 : classes de cyclones

Afin d'assurer la pérennité du CHUG et la continuité du service de santé, des tests exceptionnels ont été réalisés par le CSTB (centre scientifique et technique du bâtiment), lors de la conception des bâtiments. Ils assurent la résistance du projet pour des vents allant jusqu'à de 250 km·h^{-1}. La figure 4 représente le diagramme partiel des exigences liées au risque cyclonique.

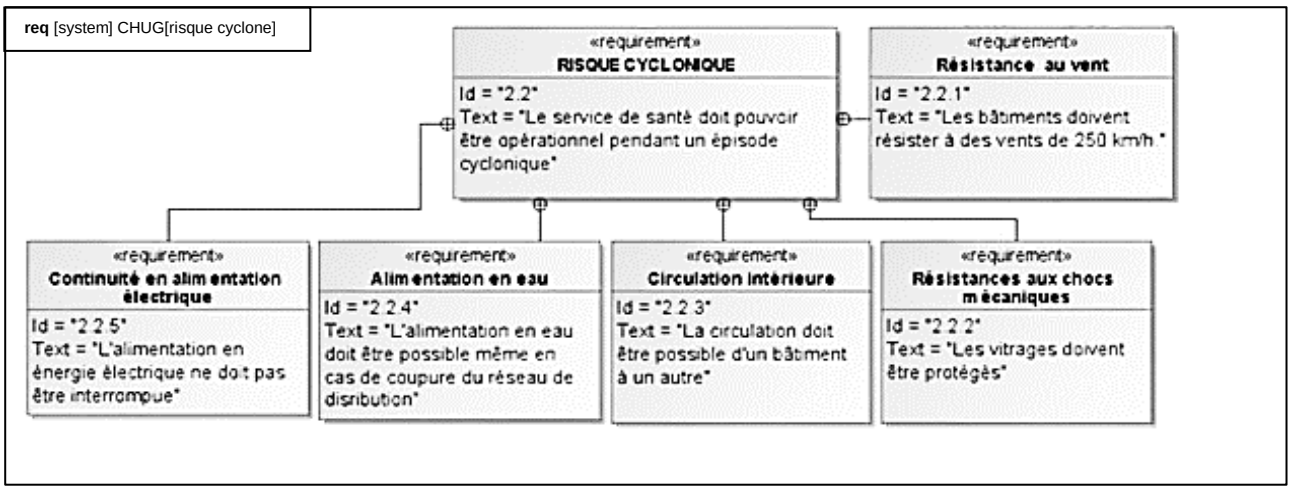


figure 4 : diagramme partiel des exigences du CHUG – risque cyclonique

Question 1.	Citer les exigences liées au risque cyclonique. À partir de quelle classe de cyclone, l'exigence « 2.2.5 » doit-elle être respectée ?
figure 4	

La continuité de l'alimentation électrique est un enjeu capital pour le CHUG, notamment lors de la survenue d'un cyclone. Pour satisfaire cette exigence, le CHUG possède une alimentation électrique multi sources, capable de s'autogérer en cas de défaillance partielle (figure 5).

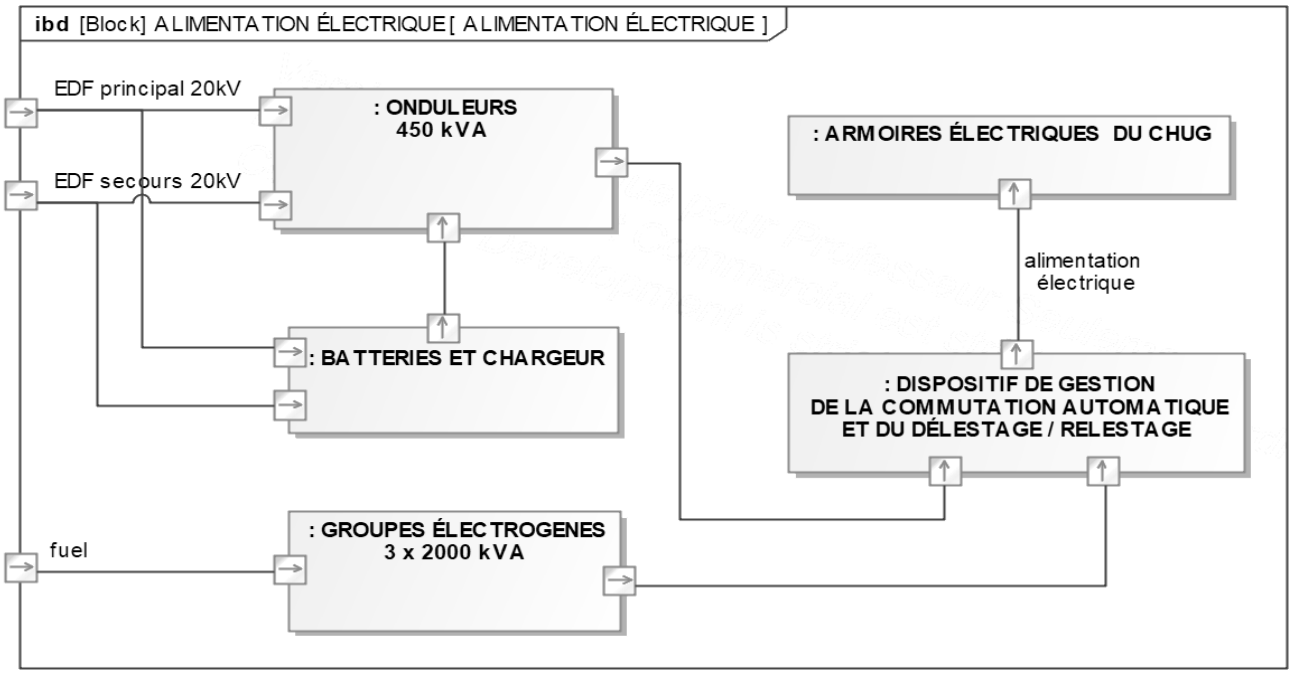


figure 5 : diagramme de blocs internes de l'alimentation électrique du CHUG

Les modes de fonctionnement de l'alimentation électrique sont basés sur deux situations possibles :

- situation 1, alimentation des installations à partir du réseau « EDF principal ». En cas d'absence du réseau « EDF principal », l'alimentation s'effectue par le réseau « EDF secours ». Les groupes électrogènes sont à l'arrêt ;
- situation 2, absence du réseau « EDF principal » et « EDF secours ». L'alimentation s'effectue donc par les groupes électrogènes.

Dans ce système, les onduleurs jouent un rôle essentiel car ils évitent les coupures d'alimentation électrique lors des temps de commutation et de démarrage des différentes sources d'alimentation. Ils garantissent également la qualité du signal et protègent les équipements fragiles. Les batteries des onduleurs sont rechargées sur le réseau EDF.

La gestion de l'alimentation électrique du CHUG est décrite par le diagramme d'état incomplet de la figure 6.

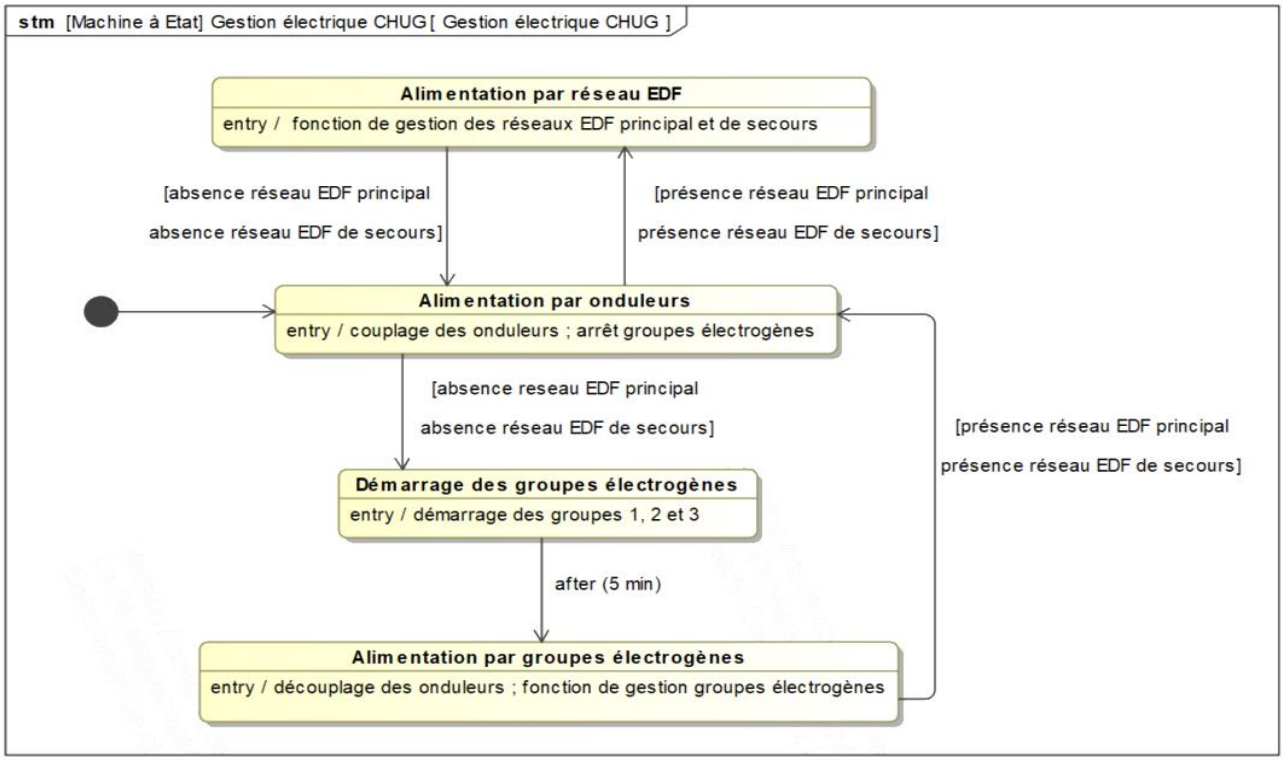


figure 6 : diagramme d'état incomplet de la gestion de l'alimentation électrique

Question 2. figure 6, DR1	Compléter le diagramme d'état du DR1 en ajoutant, dans les zones grisées, les opérateurs logiques ET ou OU liant les évènements dans chaque transition.

Question 3. figure 6, DR1	Pour chacune des deux situations décrites plus haut, tracer sur le document DR1 le parcours du flux d'énergie, allant des entrées « EDF » et « fuel » jusqu'aux armoires électriques du CHUG (voir légende sur DR1).

La gestion de l'alimentation électrique sans interruption du CHUG est réalisée avec un programme en langage Python obtenu à partir du diagramme d'état de la figure 6.

Le programme principal est donné sur le DR2. Les fonctions de gestion de l'alimentation EDF et de la gestion des groupes électrogènes ne sont pas étudiées.

Question 4. figure 6, DR2	Compléter dans les zones grisées sur le document-réponse DR2, les lignes de codes et les commentaires qui permettent d'obtenir le programme de gestion de l'alimentation électrique sans interruption.

Question 5.	À l'issue de cette première partie, conclure sur la capacité du CHUG à satisfaire l'exigence 2.2.5 (figure 4). Justifier votre réponse en énonçant les solutions techniques adoptées pour respecter cette exigence.

Sous-partie 2 : garantir la sécurité du plateau technique en cas de séisme

L'objectif de cette sous-partie est de vérifier que le dimensionnement des fondations est adapté aux conditions du sol et que le système parasismique mis en place répond aux normes en vigueur pour sécuriser la structure et assurer la sécurité des usagers.

Le CHUG se trouve dans une zone géographique dont la sismicité est forte (figure 7).

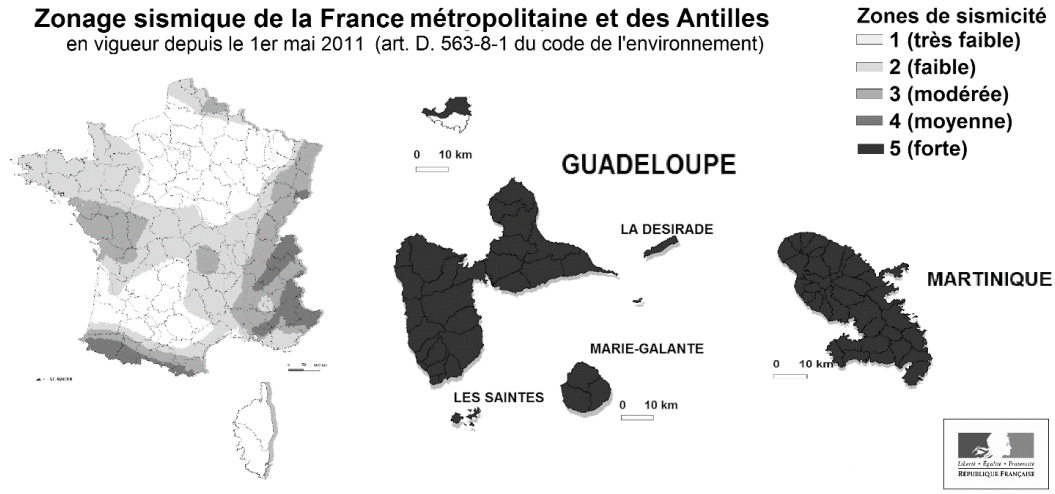


figure 7 : zonage sismique de la France métropolitaine et des Antilles

Les équipements installés dans le plateau technique supportent mal les accélérations sismiques causées par les tremblements de terre. Afin de protéger le matériel et garantir la sécurité des usagers, le bâtiment est posé sur 216 « isolateurs » de type appuis pendulaires (figure 8).

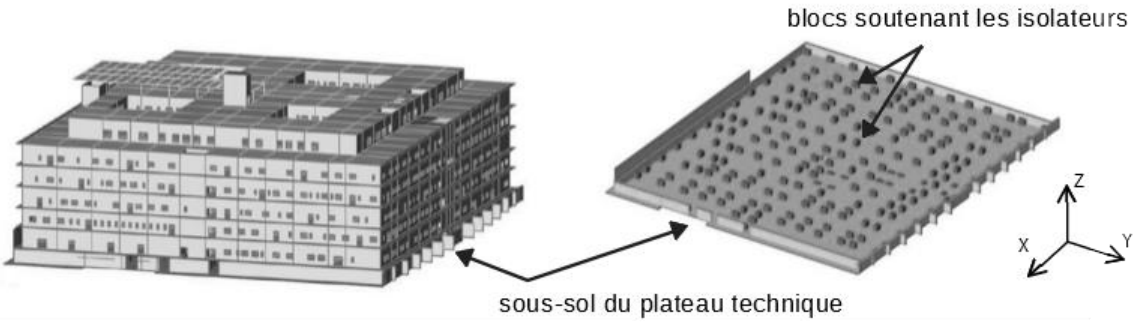


figure 8 : le plateau technique modélisé (SCIA Engineer) et les 216 blocs soutenant les isolateurs

Ces appuis sont mobiles, de sorte que le bâtiment reste quasiment fixe lorsque la terre tremble. Ces isolateurs sont posés sur des blocs supports en béton au deuxième sous-sol du bâtiment (figure 8). Ces 216 isolateurs sismiques permettent au bâtiment principal un déplacement horizontal de 40 cm en cas de séisme extrême.
Les isolateurs de type Isosism PS® sont des appuis mécaniques mobiles composés d'un flasque supérieur fixé au bâtiment et d'un flasque inférieur fixé au bloc support. Le contact de l'un à l'autre se fait par l'intermédiaire d'une lentille très rigide avec des propriétés de

glissement importantes. Les figures 9, 10, 11 et 12 détaillent les caractéristiques techniques d'un isolateur parasismique.

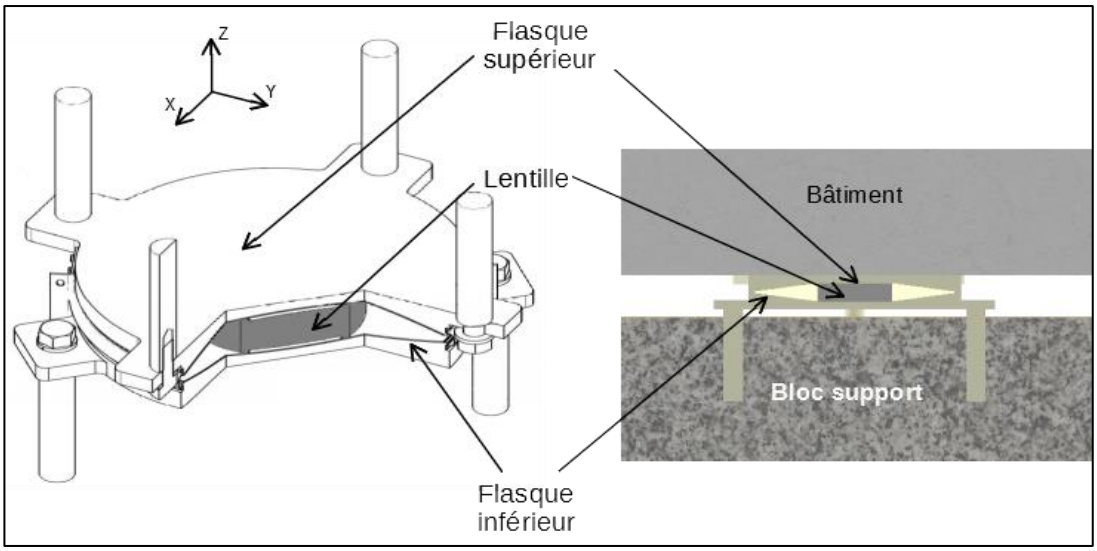


figure 9 : isolateur parasismique

Item	Notation	Valeur
Coefficient de frottement	μ	0,06
Glissement maximal	d	+/-400 mm
Charge maximale statique	N_{max}	6400 kN

figure 10: données constructeur Isosism PS®

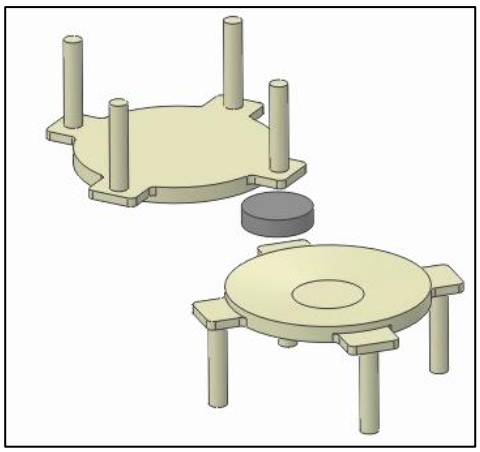


figure 11 : vue éclatée de l'isolateur

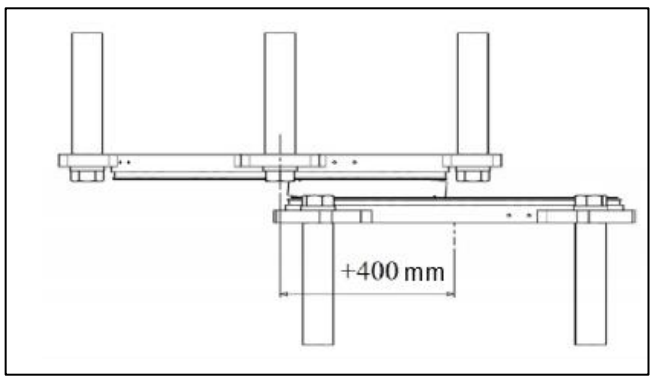


figure 12 : glissement horizontal maximal

Remarque :
La forme concave des flasques permet à la lentille de revenir en position initiale par gravité, en cas de glissement horizontal (figure 12).

Données et hypothèses :

- le plateau technique est un bâtiment de 6 niveaux de dimensions 77 m × 95 m × 32 m (largeur × longueur × hauteur) et qui pèse plus de 85 000 tonnes ;

- les blocs supports en béton positionnés sous chaque isolateur sont de dimensions 2 m × 1 m × 2 m (largeur × longueur × hauteur) ;
- la charge est répartie uniformément sur tous les blocs supports ;
- le calcul de la charge totale verticale du bâtiment s'effectue en utilisant la relation

$$F=1{,}35\times G+1{,}5\times Q$$

avec G (kN) la charge permanente due à la masse de la structure et Q (kN) la charge d'exploitation du bâtiment ;

- la charge d'exploitation Q (kN) est de 87 780 kN ;
- l'accélération de la pesanteur est de g = 10 $m \cdot s^{-2}$;
- le poids des blocs supports est négligé.

Question 6.	Déterminer les valeurs numériques de la charge totale verticale F en kN puis la charge verticale F_{isol} supportée par chaque isolateur parasismique. En déduire la pression P_{bloc} que chaque bloc support exerce sur le sol.

Le sol sur lequel est construit le CHUG est constitué de tuf calcaire, assimilable à un sol en craie de classe C.

Le tableau de la figure 13 précise les valeurs de la pression maximale admissible P_{adm} pour différents types de sols.

Classe de sol			P_{adm} (MPa)
Argiles, limons	*A*	Argiles et limons mous	0,7
	B	Argiles et limons fermes	2,0
	C	Argiles très fermes à dures	2,5
Sables, graves	*A*	Lâches	0,5
	B	Moyennement compacts	2,0
	C	Compacts	2,5
Craies	*A*	Molles	0,7
	B	Altérées	2,5
	C	Compactes	3,0
Marnes – Marno-calcaire	*A*	Tendres	4,0
	B	Compacts	4,5
Roches	*A*	Altérées	4,0
	B	Fragmentées	4,5

figure 13 : pression maximale admissible P_{adm} selon les classes de sol

On considère que P_{bloc} = 2,95 MPa.

Question 7.	Comparer la pression P_{bloc} avec les données correspondant au type de sol de la figure 13. Conclure sur la compatibilité du dimensionnement des fondations avec le type de sol.
figure 13	

Les mouvements du sol lors d'un séisme sont principalement des mouvements horizontaux. En effet, les secousses verticales sont plus rares et moins fortes.
Les isolateurs parasismiques admettent principalement des déplacements horizontaux.
L'ensemble des 216 isolateurs soutenant le bâtiment peut être modélisé par une liaison unique, représentée sur la figure 14. Le coefficient de frottement μ de cette liaison, supposé égal au coefficient d'adhérence, est indiqué dans le tableau de la figure 10.

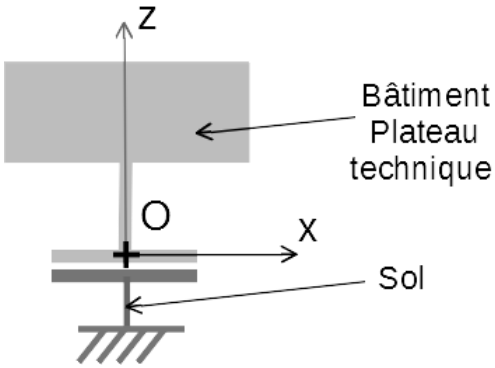


Figure 14 : schéma cinématique simplifié

Question 8.	À partir des données constructeur de l'isolateur et du résultat de la question 6, montrer que chaque isolateur est capable de supporter la charge verticale F_{isol}.
figures 9 et 14	

La figure 15 propose une modélisation cinématique pour trois situations sismiques possibles. Pour simplifier l'étude, on suppose que lors d'un séisme, le sol, qui est soumis à une accélération sismique, devient une zone terrestre mobile (1) en liaison glissière avec le repère de référence fixe (0).

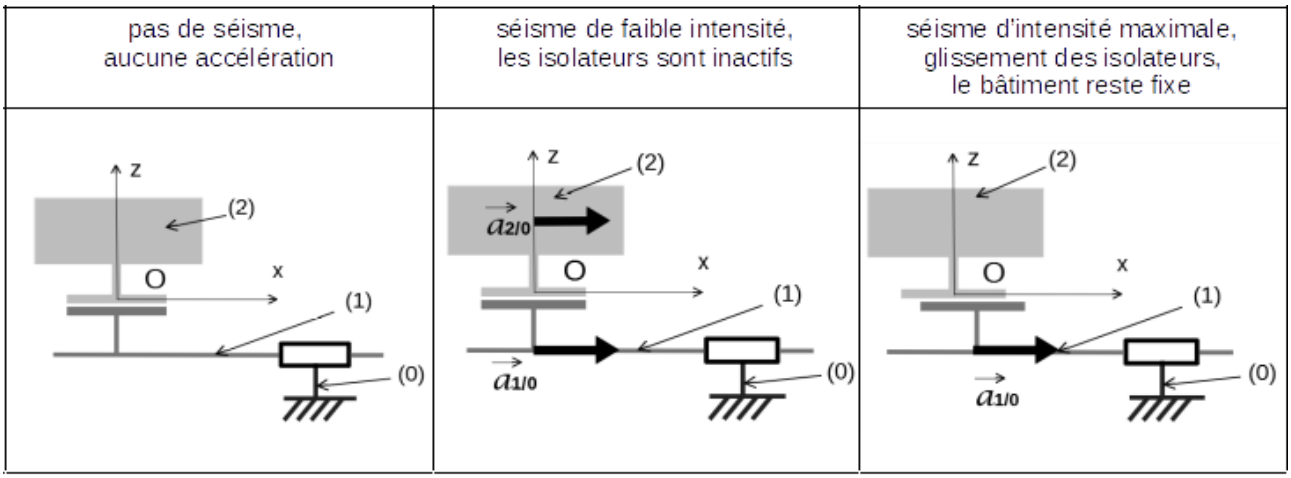


figure 15 : schéma cinématique simplifié et comportement pour trois situations sismiques

Le bâtiment (2) isolé est représenté sur le DR2.

Lors d'un séisme de faible intensité, le bâtiment (2) est solidaire de la zone terrestre mobile (1) grâce au phénomène d'adhérence dans les isolateurs. L'accélération du bâtiment (2), égale à celle de la zone terrestre mobile (1), est notée : $\overrightarrow{\mathbf{a_{2/0}}} = \overrightarrow{\mathbf{a_{1/0}}}$.
Lors d'un séisme de faible intensité et lorsque l'isolateur est à la limite du glissement, le bilan des actions mécaniques exercées sur le bâtiment est le suivant :

- poids du bâtiment *P* appliqué au centre de gravité *G* (on prendra g = 10 m·s^{-2}) ;
- réaction de l'appui avec frottement appliqué au point O et tel que

$$\overrightarrow{\mathbf{R_{1/2}}} = \mathbf{T}\vec{\mathbf{x}} + \mathbf{N}\vec{\mathbf{z}}$$

avec $\boldsymbol{T}$ composante tangentielle et $\boldsymbol{N}$ composante normale au contact.

Question 9.	Sur le DR2, représenter sans échelle les actions mécaniques exercées sur le bâtiment (2).
DR2	

μ étant le coefficient de frottement, selon la loi de Coulomb, T = N.μ.

Question 10.	En appliquant le théorème de la résultante dynamique montrer que : $a_{2/0} = \mu \cdot g$. Calculer numériquement l'accélération $a_{2/0}$.
figures 10 et 15	

L'accélération calculée est celle pour laquelle les appuis parasismiques vont commencer à glisser. L'accélération sismique maximale que devrait subir le bâtiment dépend de

l'accélération maximale du sol, de la nature du sol et de sa capacité à amplifier le mouvement sismique. Pour un hôpital construit sur un sol en tuf, elle est : a_{max} = 4,83 m·s^{-2}.

Lors de la conception du bâtiment, la structure a été modélisée sur le logiciel ANSYS. Ce logiciel a permis de réaliser une simulation du comportement de la structure lors d'un séisme. L'accélération utilisée pour cette simulation est donnée sur la figure 16.

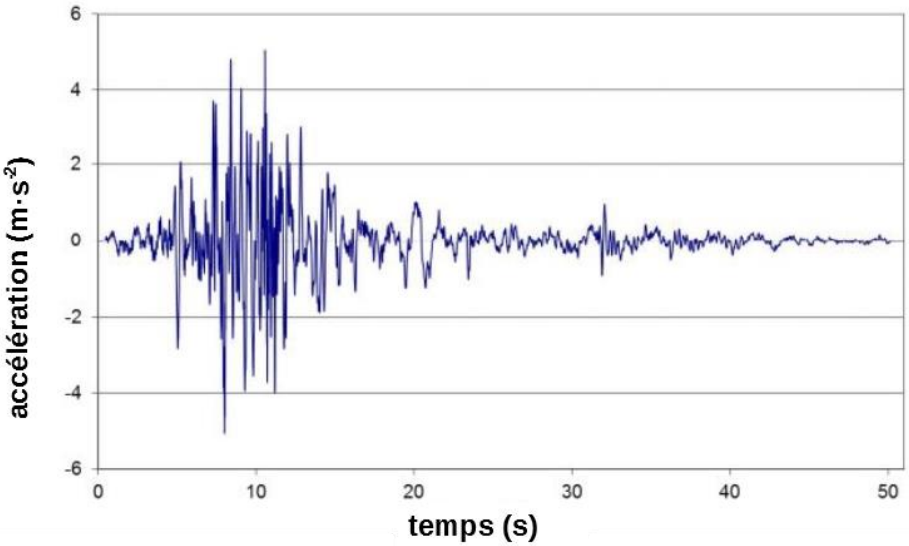


figure 16 : accélération sismique soumise au modèle

La réponse simulée du bâtiment à cette secousse se traduit par un déplacement horizontal maximal représenté sur la courbe figure 17.

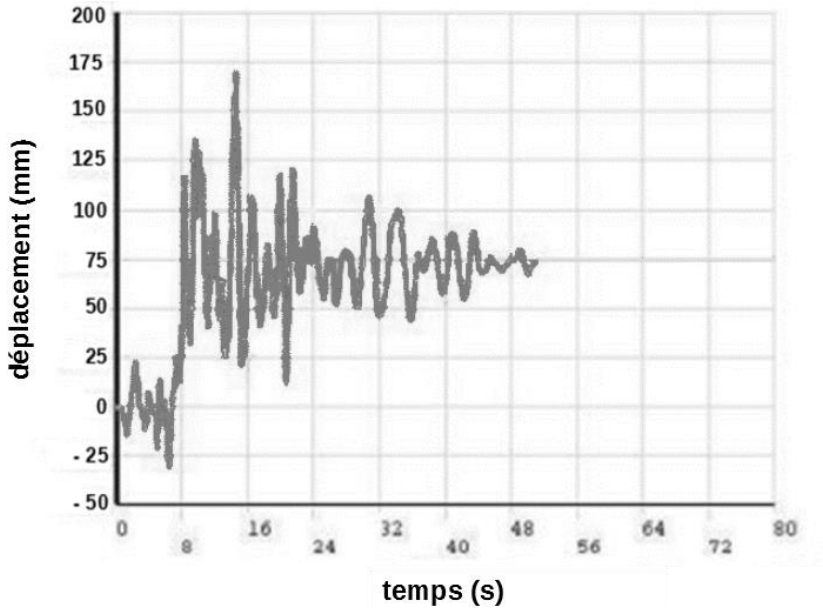


figure 17 : déplacement horizontal du bâtiment

Question 11. figures 12,16 et 17	Relever la valeur maximale de l'accélération ainsi que la valeur maximale du déplacement horizontal du bâtiment. Conclure sur la compatibilité du déplacement maximal relevé par simulation avec le glissement maximal de l'isolateur donné figure 12 dans le cas d'un séisme d'intensité maximale.

Sous-partie 3 : garantir la qualité de l'air

L'objectif de cette sous-partie est d'analyser et de valider les solutions retenues pour la gestion de la température et du renouvellement de l'air intérieur d'une salle d'opération, afin d'empêcher la prolifération des bactéries.

Les espaces intérieurs du plateau technique du CHUG, comprenant 14 salles d'opérations, sont totalement climatisés et déshumidifiés. Le rafraichissement et le renouvellement de l'air de ces salles doivent être garantis ainsi que le taux d'hygrométrie, afin d'empêcher la prolifération des bactéries. De plus, pour prévenir toute intrusion d'air par les ouvertures, le bâtiment est en surpression.

Pour une salle d'opération, la classe de risque est de niveau 4. Un flux d'air unidirectionnel est soufflé par des grilles au plafond comme indiqué sur la figure 18.

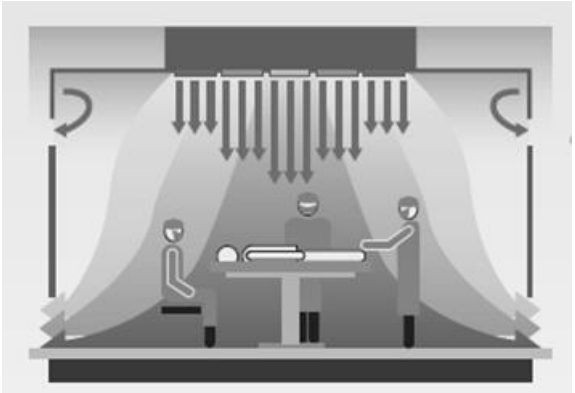


figure 18 : plafond filtrant

Pour garantir la qualité de l'air de la salle d'opération, il faut assurer :

- le respect de la température intérieure de la salle d'opération par climatisation ;
- le renouvellement et le brassage de l'air (non étudié) ;
- le respect du taux d'hygrométrie par déshumidification de l'air (non étudié).

La figure 19 présente les valeurs de performances imposées par la norme pour les établissements de santé.

classe de risque	*hygrométrie*	*plage de températures (°C)*	*vitesse d'air ($m \cdot s^{-1}$)*	*taux de renouvellement d'air neuf (volumes par heure)*
4	45 % à 65 %	19°C à 26°C	0,25 $m \cdot s^{-1}$ à 0,35 $m \cdot s^{-1}$	supérieur ou égal à 6 volumes de la pièce par heure

figure 19 : valeurs guides de performance (extrait de la normes NF S 90-351, 2013)

Les centrales de traitement d'air (CTA) assurent le rafraichissement et le renouvellement de l'air des salles d'opération.
Afin de maintenir la température intérieure de la salle d'opération dans la plage de valeurs assurant la sécurité sanitaire, la CTA possède un système de régulation de température.
Une simulation de cette régulation par commande tout ou rien (TOR) de la batterie de refroidissement a été réalisée. Le schéma-bloc du système est donné figure 20.

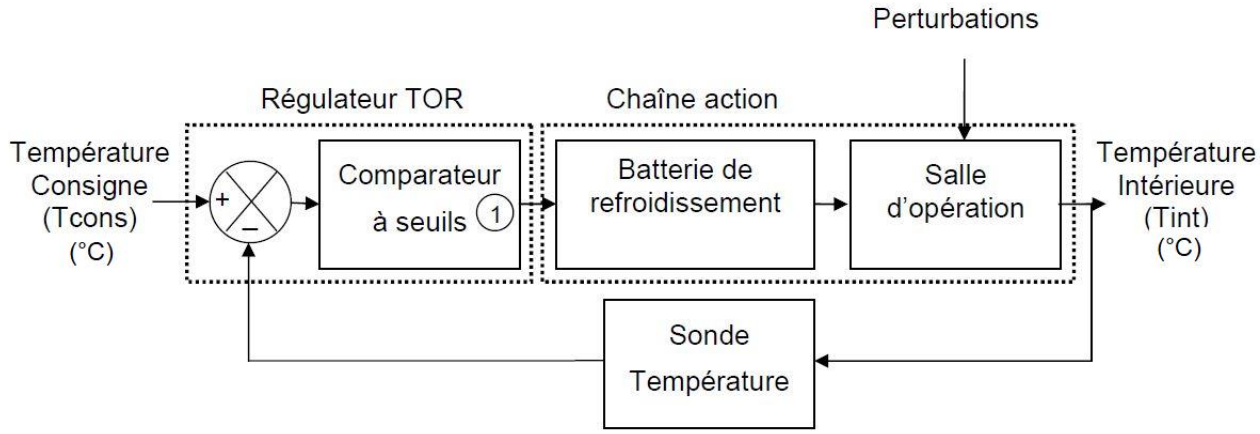


figure 20 : schéma-bloc de principe de la régulation de la température intérieure

Pour simplifier la simulation, le comportement de la température intérieure de la salle d'opération est étudié en fonction :

- de la température de consigne fixée par l'utilisateur de la salle d'opération (dans la plage de valeurs correspondant à la norme) ;
- des apports externes de chaleur dépendant de la température extérieure fixée à 28°C et de la transmission thermique ($W \cdot K^{-1}$) des matériaux de construction pour l'ensemble de la salle d'opération ;
- des apports internes de chaleur liés à l'activité humaine (chaleur du corps des occupants) et à la chaleur dégagée par les équipements médicaux et informatiques. L'ensemble est équivalent à l'apport de chaleur d'une source de puissance de 3000 W.

Le modèle de simulation multi-physique utilisé est donné sur le document réponse DR3.

Question 12. figure 20 DR3	À partir du schéma-bloc de principe de la régulation de température, entourer sur le modèle de simulation multi-physique du document réponses DR3, les éléments du modèle correspondants aux blocs suivants : • « sonde température » (déjà donné pour exemple) ; • « régulateur TOR » ; • « batterie de refroidissement » ; • « salle d'opération » ; • « perturbations ». Noter le nom de chaque bloc.

Le principe de la régulation « tout ou rien » (TOR) utilisée est détaillé ci-dessous :

- les seuils du comparateur du régulateur sont fixés à - 1°C et + 1°C ;
- la batterie de refroidissement refroidit à plein régime jusqu'à ce que la température intérieure atteigne T_{cons} -1, puis s'arrête (figure 21) ;
- la batterie de refroidissement se met en marche lorsque la température intérieure augmente naturellement à cause des perturbations jusqu'à la température T_{cons}+1.

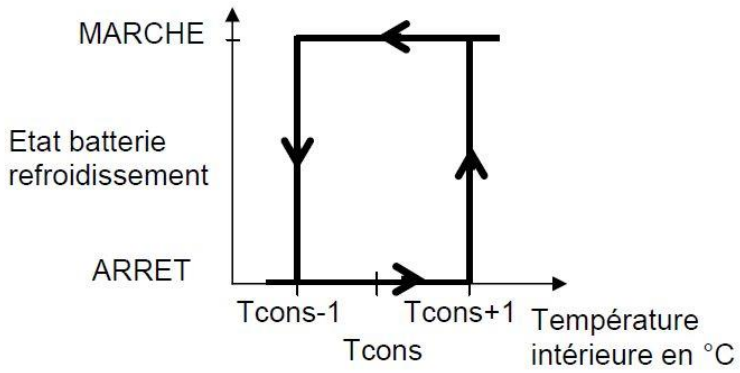


figure 21 : cycle de régulation

Question 13. figure 21 DR3	Noter sur le DR3 les deux valeurs de températures extrêmes sur l'axe des ordonnées. Tracer sur DR3 le signal de commande de la batterie de refroidissement pour une consigne de température de 22°C.

La figure 22 montre le résultat de la simulation réalisée sur une durée de 8 heures (28 800s).

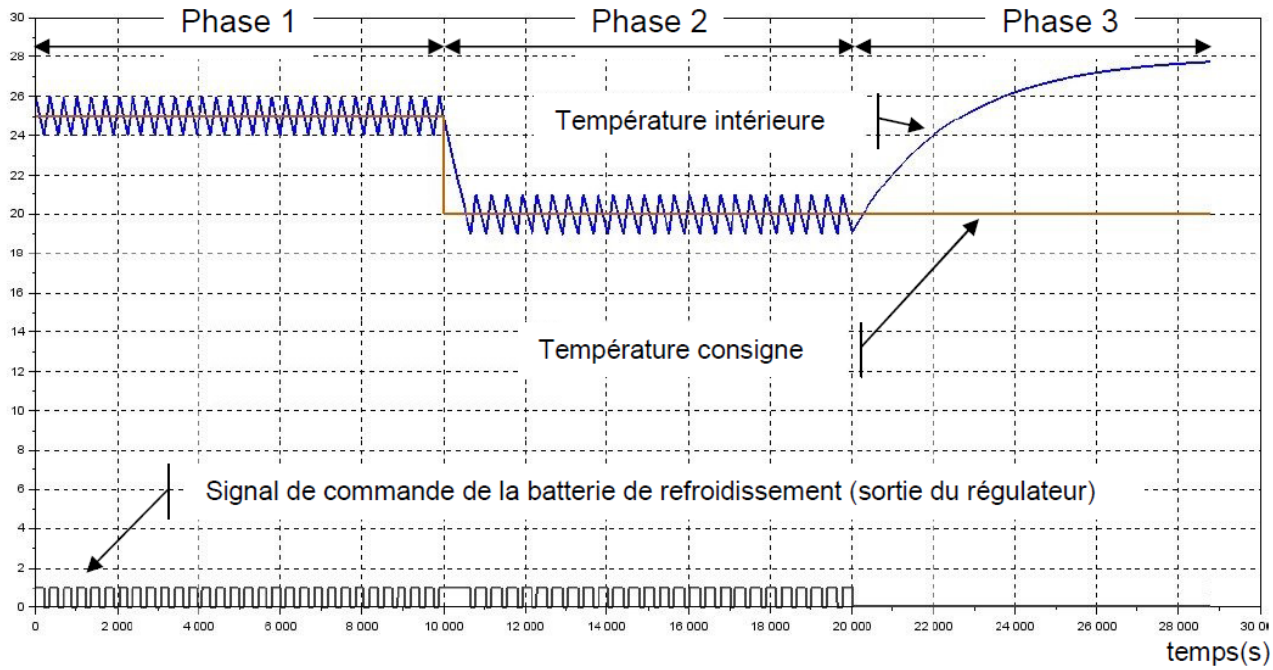


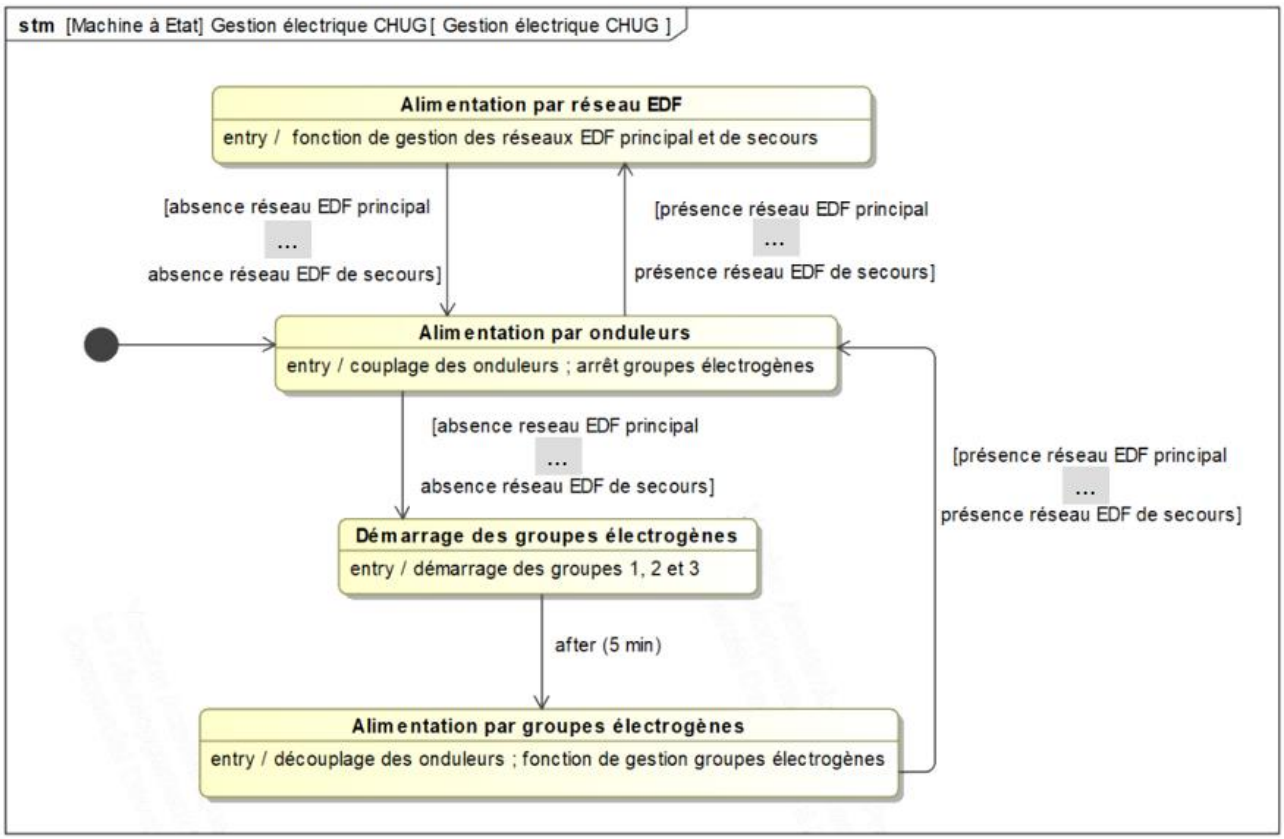
figure 22 : simulation de la température en fonction du temps

Question 14. figure 22 DR3	En analysant chaque phase de la simulation, compléter le tableau du DR3 qui récapitule, pour chaque phase, l'état de la régulation (en service ou hors service) et les valeurs remarquables des températures (consigne, mini, maxi).

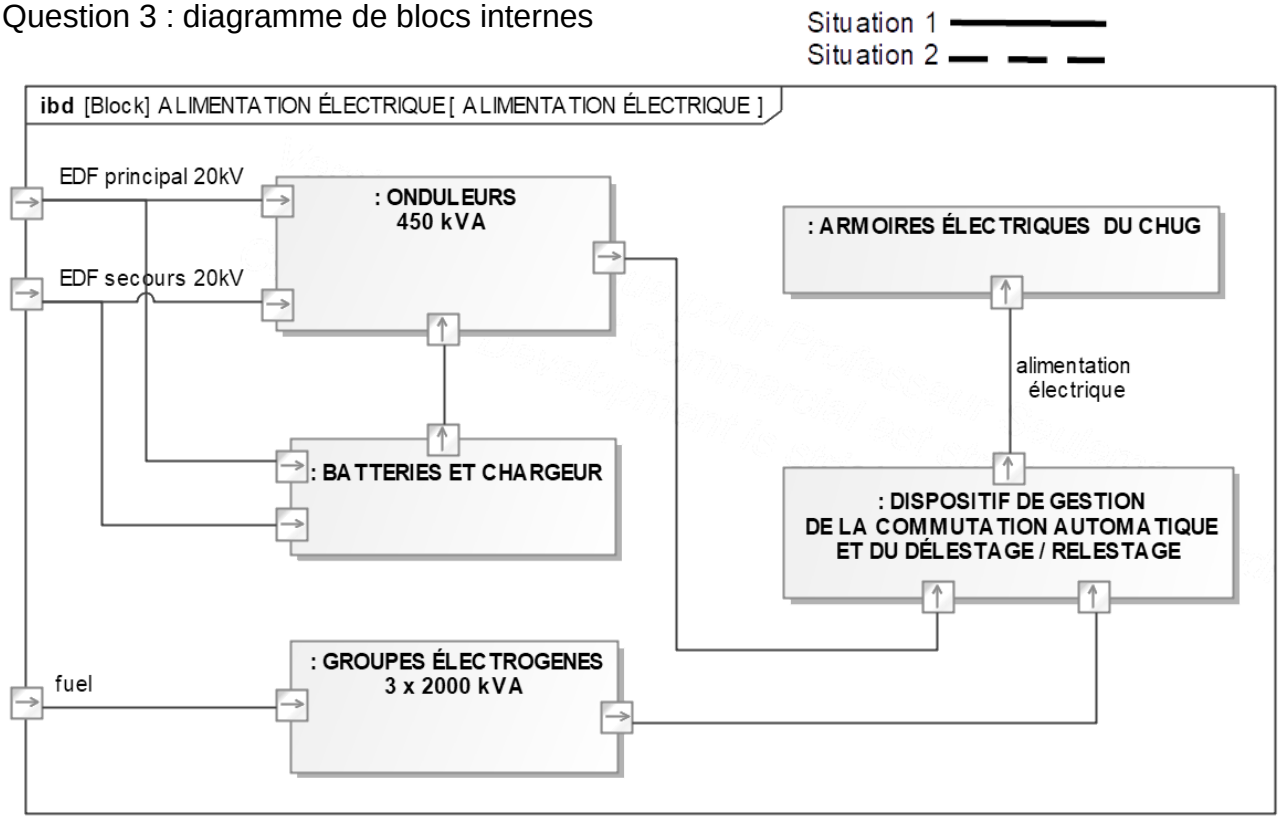
Question 15. figures 19 et 22	Conclure sur la plage de températures de consigne qui permettra d'obtenir des températures intérieures de la salle d'opération dans le respect de la norme. Valider cette simulation au regard des performances attendues pour la température de la salle d'opération.

Document réponse DR1

Question 2 : diagramme d'état



Question 3 : diagramme de blocs internes



Document réponse DR2

Question 4 : programme de gestion de l'alimentation sans interruption

```
# Programme de gestion de l'alimentation sans interruption

      # Signaux capteurs de type booléen:
      # True = présence, en fonctionnement
      # False = absence, à l'arrêt

            # RP = True : Présence réseau principal
            # RS = True : Présence réseau de secours

      # Commandes des actions déclenchées, de type booléen:
      # 1 = démarrage/couplage
      # 0 = arrêt/découplage

            # GE1 = 0 : Arrêt du groupe électrogène 1
            # GE2 = 0 : Arrêt du groupe électrogène 2
            # GE3 = 0 : Arrêt du groupe électrogène 3
            # OND = 1 : Couplage des onduleurs

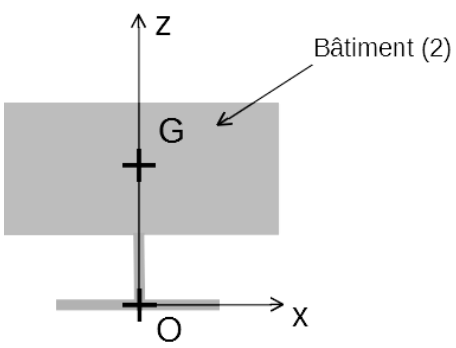
import time
def gestionEDF():                    # fonction de gestion de l'alimentation EDF
    pass                             # fonction non développée
def gestionGroupes():                # fonction de gestion des groupes électrogènes
    pass                             # fonction non développée

while True:                                  # boucle continue
    GE1 = 0; GE2 = 0; GE3 = 0                # .....
    .....                                    # couplage des onduleurs
    if RP == True or RS == True              # SI .....
                                               .....

        while RP == True or RS == True
            gestionEDF()                     # activation de la fonction de gestion de
                                             # l'alimentation EDF
    elif RP == False and RS == False         # SI absence réseau EDF principal ET
                                             # absence réseau EDF de secours

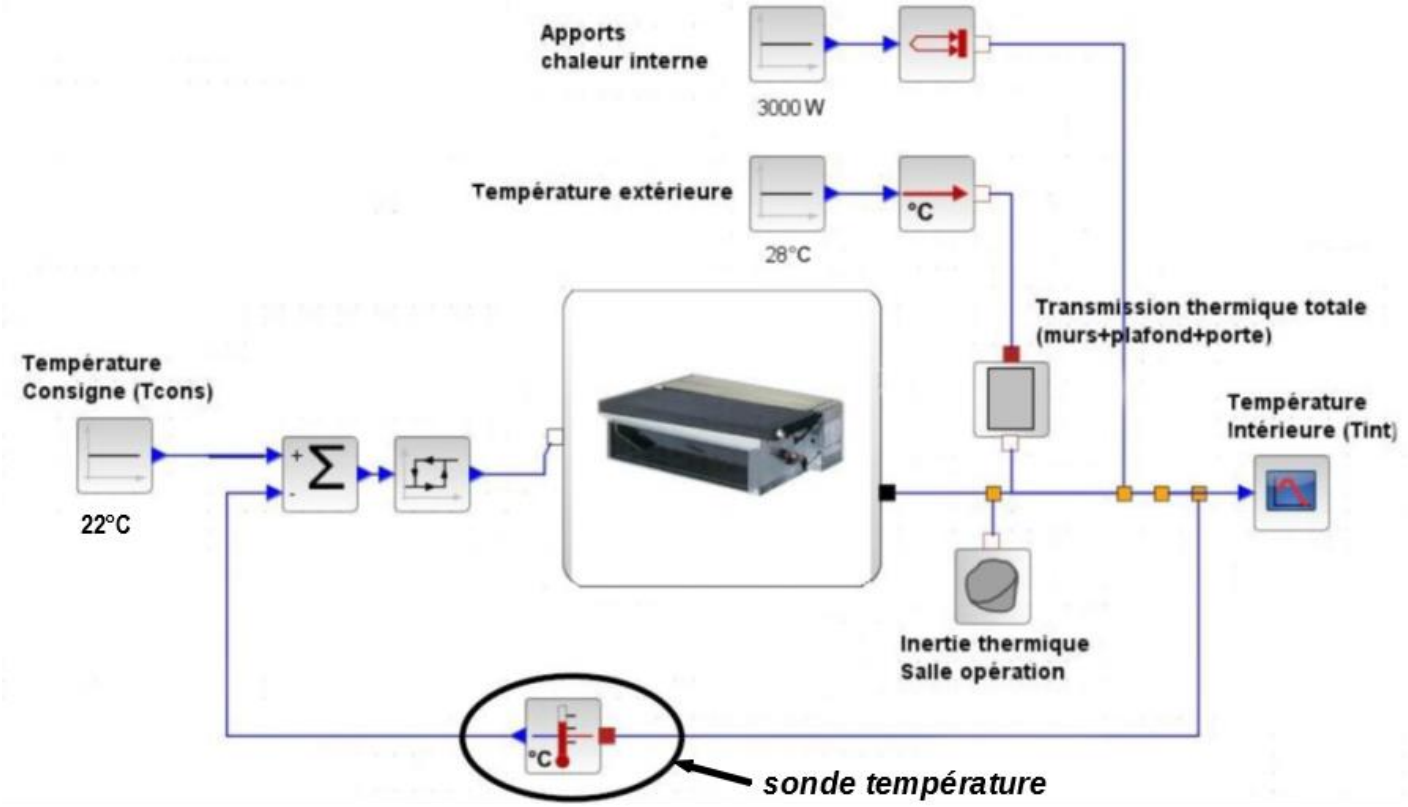
        while RP == False and RS == False
            .....                            # Démarrage des groupes électrogènes
            time.sleep (300)                 # .....
            .....                            # Découplage des onduleurs
            gestionGroupes()                 # .....
                                               .....
```

Question 9 : isolement du bâtiment

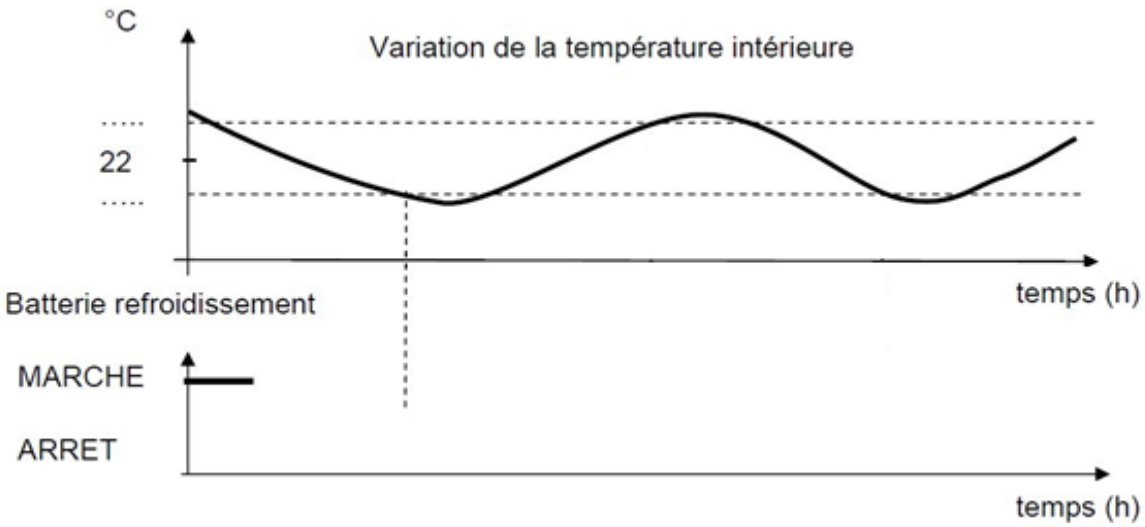


Document réponse DR3

Question 12 : modélisation multi physique



Question 13: signal de commande de la batterie de refroidissement



Question 14 : analyse du résultat de la simulation

	Phase 1	*Phase 2*	*Phase 3*
Etat de la régulation	*en service*		
Température de consigne (°C)			
Température maxi (°C)			
Température mini (°C)			

Partie 2 : Sciences physiques

Exercice A – Neptune et Triton

Neptune est la huitième et dernière planète par ordre d'éloignement au Soleil. C'est la plus dense des quatre planètes gazeuses malgré le fait qu'elle ne soit que la plus petite en termes de taille.

Neptune possède de nombreux satellites naturels dont Triton, le plus gros de ses satellites naturels (**figure 1**).



Figure 1 – Image composite de Neptune et Triton à partir de données de la mission Voyager 2 en 1989.

Source : NASA/JPL/Voyager-ISS/AndreaLuck

Données

- Période de révolution de Triton autour de Neptune : T_T = 5,88 jours terrestres.
- Distance entre les centres de Triton et de Neptune : $R = 3{,}54 \times 10^8$ m.
- Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ $m^3 \cdot s^{-2} \cdot kg^{-1}$.

On se place dans le référentiel neptunocentrique pour étudier le mouvement du centre de masse T de Triton autour de Neptune. Ce référentiel, supposé galiléen, a pour origine N, le centre de masse de Neptune.

Un repère de Frenet centré sur Triton est utilisé. On note $\vec{u}_n$ le vecteur normal unitaire et $\vec{u}_t$ le vecteur tangent unitaire.

Le mouvement de Triton (point T) est supposé circulaire et uniforme.

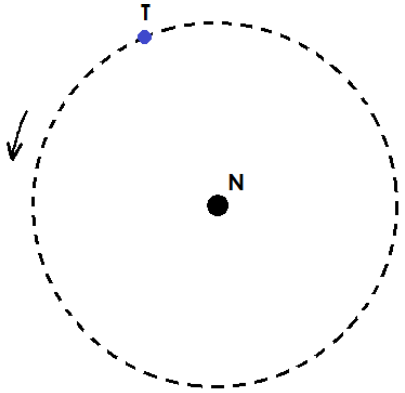


Figure 2 – Schématisation de la trajectoire circulaire de Triton autour de Neptune.

1. Recopier, sans souci d'échelle, la **figure 2** en y faisant figurer le repère de Frenet et la force $\vec{F}_{N/T}$ modélisant l'action gravitationnelle de Neptune sur Triton.

2. En appliquant la deuxième loi de Newton au système {Triton}, établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ de son centre de masse T dans le repère de Frenet en fonction de G, de R et de la masse M_N de Neptune.

3. Montrer que la vitesse v de Triton est donnée par l'expression $v = \sqrt{\frac{G\,M_N}{R}}$.

La période de révolution de Triton est donnée par la relation $T_T^2 = \frac{4\pi^2}{G\,M_N} R^3$.

4. Rappeler le nom de la loi correspondant à cette relation.

5. Exprimer la masse M_N de Neptune, puis calculer sa valeur.

Exercice B – L'effet Doppler au service des bateaux

Le principe de l'effet Doppler est utilisable dans de très nombreux domaines, que ce soit en astronomie, médecine, mécanique, acoustique ou en navigation. Dans ce dernier domaine, une des applications concerne l'accostage des gros navires à leur arrivée au niveau d'un port. En effet, pour les plus grands bateaux, il y a nécessité de mesurer avec précision leur vitesse d'approche avant leur contact avec le quai afin d'éviter une énergie cinétique excessive qui risquerait d'induire des dommages aux installations portuaires. Un des systèmes de mesure de la vitesse porte le nom de « Loch Doppler » ou simplement loch.

On admet, en première approximation, que le décalage Doppler en fréquence Δf_D pour le signal reçu par un observateur fixe vérifie la relation

$$\Delta f_D = \frac{2\, f_E\, v_0}{c_s}$$

avec f_E : fréquence d'émission du signal ;
v_0 : vitesse de déplacement de l'objet ;
c_s : célérité du signal.

La célérité des ondes acoustiques dans l'eau est $c_s = 1{,}5 \times 10^3$ m·s^{-1}.

1. Définir l'effet Doppler.

Le bateau s'approche du quai à vitesse constante. La **figure 1** modélise, de manière simplifiée, l'allure des surfaces d'ondes ultrasonores émises dans l'eau par le navire N lors de son approche du quai.

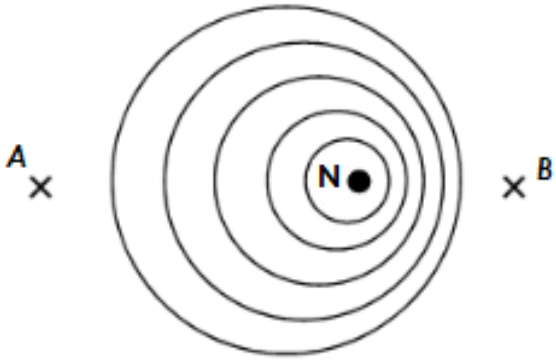


Figure 1 – Schématisation dans un plan de coupe horizontal des surfaces d'ondes ultrasonores émises périodiquement.

2. Déterminer, en expliquant votre raisonnement, si le quai peut être situé au point A ou au point B.

3. Sachant que la fréquence d'émission est de 40 kHz et que la valeur mesurée pour le décalage Doppler en fréquence est de 14 Hz, en déduire la vitesse d'approche v_{app} du bateau.

4. Vérifier la valeur de cette vitesse d'approche v_{app} à l'aide de la **figure 2** ; expliciter les calculs. Commenter le résultat.

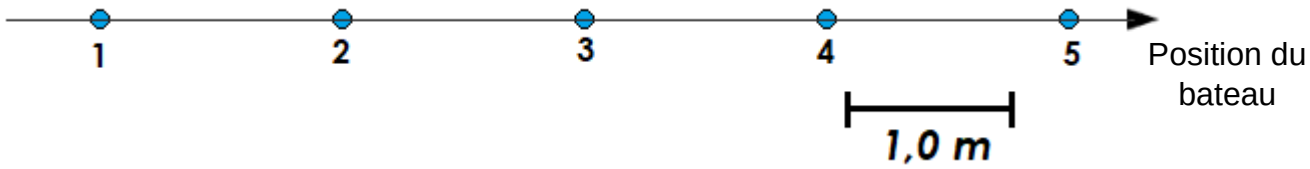


Figure 2 – Positions successives du bateau. L'intervalle de temps entre deux positions successives du bateau est de 6,0 s.

La vitesse d'approche n'est pas une grandeur suffisamment pertinente pour déterminer si un navire risque de provoquer des dégâts sur les infrastructures portuaires ou sur lui-même. Comme indiqué dans l'introduction, l'énergie cinétique est la grandeur utile pour répondre à cette question.

5. Rappeler l'expression de l'énergie cinétique E_c en fonction de la masse m du système considéré et de sa vitesse v (on se limite à un mouvement de translation).

6. Sachant que pour un bateau, de masse $5{,}0 \times 10^4$ kg, l'énergie cinétique maximale pour éviter des dégâts est d'environ 6×10^6 J, déterminer la vitesse maximale d'approche autorisée pour le navire. Comparer à la valeur v_{app} déterminée auparavant. Conclure.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.