

**BANQUE D'ÉPREUVES DUT-BTS
-SESSION 2013-**

**ÉPREUVE DE GÉNIE CIVIL
ET
PHYSIQUE DU BÂTIMENT**

CODE ÉPREUVE : 971

L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé, une seule étant admise sur la table ou le poste de travail.

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 2H30

Rappel préliminaire :

Vous ne devez pas répondre au hasard. Pour chaque item les points obtenus peuvent être négatifs quand la réponse est mauvaise. En cas d'abstention le nombre de points est nul. Un ensemble de bonnes réponses à une question permet d'obtenir des points supplémentaires sous forme de « bonus ».

Attention : certains items peuvent comporter des affirmations multiples, la réponse ne doit être jugée vraie (V) que si toutes les affirmations vous paraissent correctes.

Nota :

Certaines questions peuvent porter sur un même thème, elles sont cependant indépendantes. Il est toutefois nécessaire de lire les informations dans l'ordre de la numérotation.

QUESTION 1

Téléphérique – 1^{ère} partie

Le téléphérique est un moyen de transport par câble aérien employé pour gravir un relief pentu ou franchir une dépression géographique (vallée, voie d'eau). C'est un moyen de transport apprécié pour sa faculté à se soustraire aux contraintes topographiques du terrain, ses coûts d'installation et de fonctionnement contenus et sa consommation mesurée.

Les câbles d'un téléphérique sont tendus entre les deux gares et peuvent être soutenus en ligne par des pylônes, généralement en treillis métalliques ou poteaux tubulaires (photo ci-contre). Il arrive également, pour le franchissement de courtes distances, que la portée soit franchie sans appuis intermédiaires - les seuls points d'appuis sont alors les deux extrémités du câble.



Nous nous intéressons aux effets des sièges, et de leurs passagers, sur la tension du câble porteur. Les deux modélisations proposées permettent de réaliser divers calculs pour un tronçon de câble. On note F l'effort vertical transmis par les sièges (Figures ci-dessous).

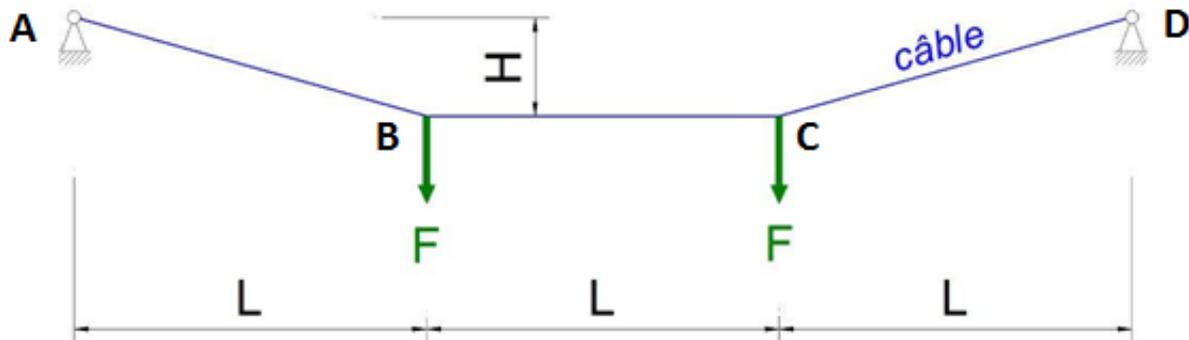


Figure 1 : Tronçon sans dénivellation d'appui

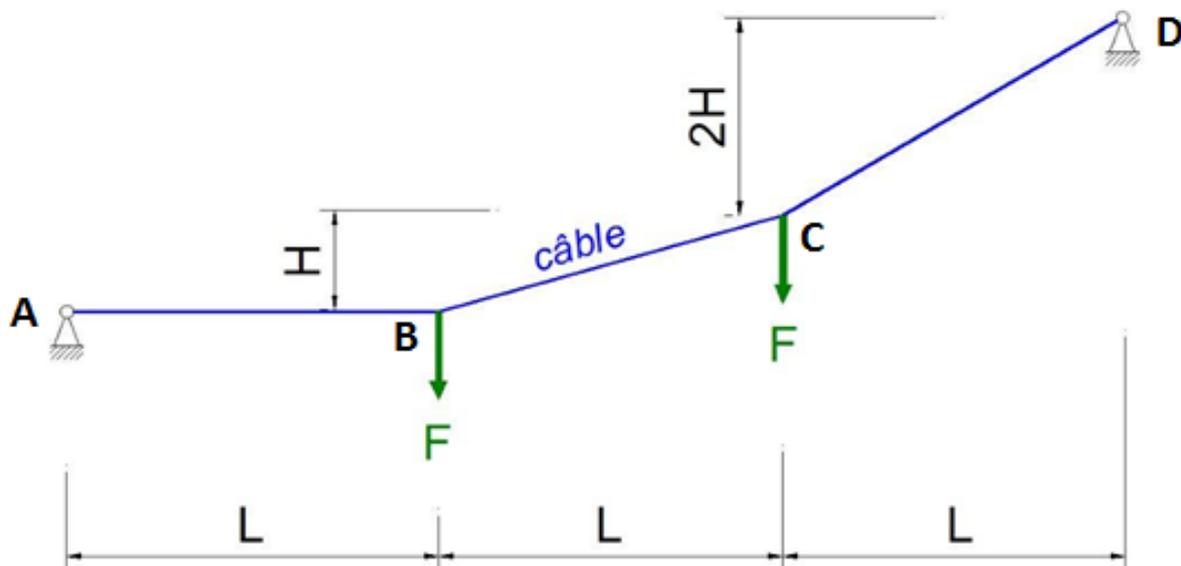


Figure 2 : Tronçon avec dénivellation d'appui



Hypothèses :

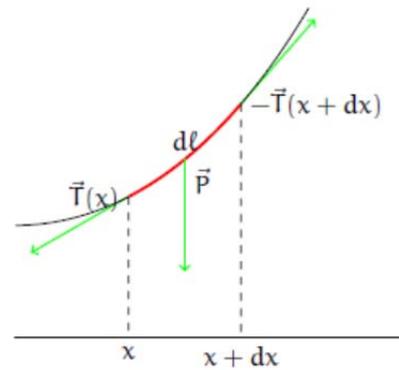
- câble continu, sans rigidité flexionnelle, de poids propre négligeable ;
- calculs à réaliser sur la « position initiale », telle que représentée sur les figures.

Données :

- $L = 12 \text{ m}$; $F = 10 \text{ kN}$
- Câble de diamètre $D = 20 \text{ mm}$, en acier dont la contrainte de traction sera limitée à 900 MPa .

- (A) Sans dénivellation d'appui (Figure 1), la tension reste constante le long du câble.
- (B) Sans dénivellation d'appui (Figure 1), pour une hauteur $H = 1 \text{ m}$, la tension dans le câble à l'origine est supérieure à 120 kN .
- (C) Avec dénivellation d'appui (Figure 2), pour une hauteur $H = 1 \text{ m}$, la tension dans le câble à l'origine est plus faible que dans la situation de l'item B.
- (D) Avec dénivellation d'appui (Figure 2), la hauteur H minimale, telle que la contrainte de traction dans le câble n'atteigne pas la valeur limite prescrite, est inférieure à $0,40 \text{ m}$.
- (E) En phase de construction, le câble n'étant soumis qu'à son poids propre, la géométrie déformée est celle d'une chaînette.

En coordonnées cartésiennes, la chaînette est une fonction *sinus hyperbolique* ($y(x) = a.sh(x/a)$) ; a étant un paramètre proportionnel à la tension dans le câble et inversement proportionnel à son poids par unité de longueur).



QUESTION 2

Téléphérique – 2^{ème} partie

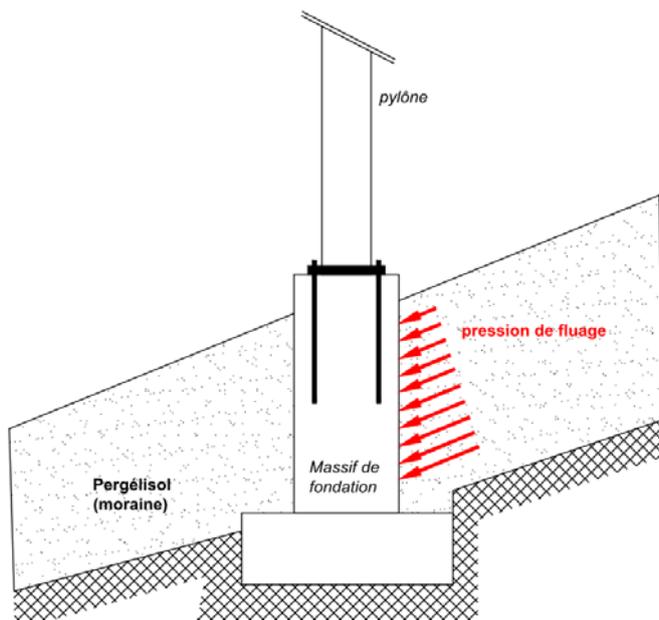
Les fondations de téléphériques sont souvent ancrées dans du *pergélisol*, sol gelé en permanence pendant une durée d'au moins deux ans.

Les *pergélisols* que l'on rencontre en haute montagne (constitués en particulier de moraines et d'éboulis) sont en général moins gélifs que ceux des plaines et des reliefs moins accentués du Grand Nord. Les solutions adoptées pour ces régions ne sont souvent pas valables pour la haute montagne.

On peut cependant rencontrer, notamment dans les moraines, de très fortes teneurs en glace (50% à 80% massiques).

La situation est encore plus complexe pour les pylônes de téléphérique, car les efforts horizontaux qu'ils transmettent à leurs fondations sont importants.

Les fondations de ces pylônes doivent donc le plus souvent atteindre la roche en place, quitte à réaliser une excavation importante ou à modifier l'implantation en cas d'emplacement défavorable.



Si le *pergélisol* est en pente, il faut que les fondations du pylône puissent résister à la pression de fluage.

Une relation simplifiée permettant de déterminer cette pression est la suivante :

$$p_f = 9.D.c_u$$

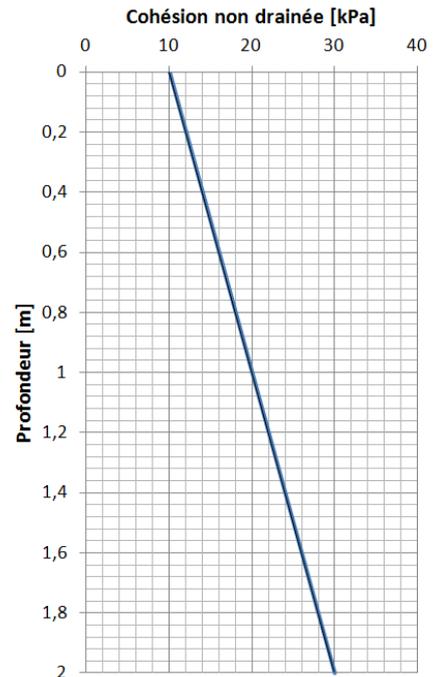
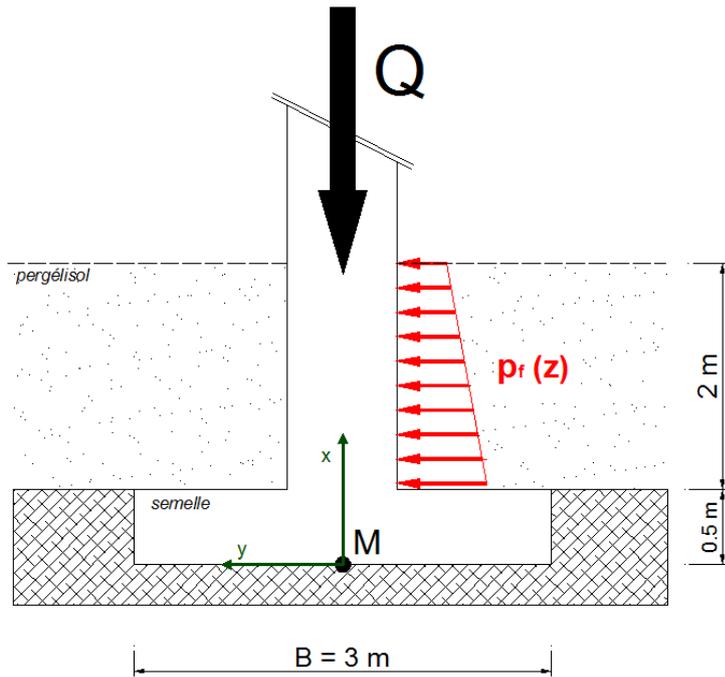
avec :

- p_f = pression de fluage par mètre de pieu [kN.m^{-1}]
- D = diamètre du pieu [m]
- c_u = cohésion non drainée du terrain [kPa]

L'évaluation des contraintes apportées au sol de fondation par l'ensemble pylône-pergélisol fait l'objet de cette partie.

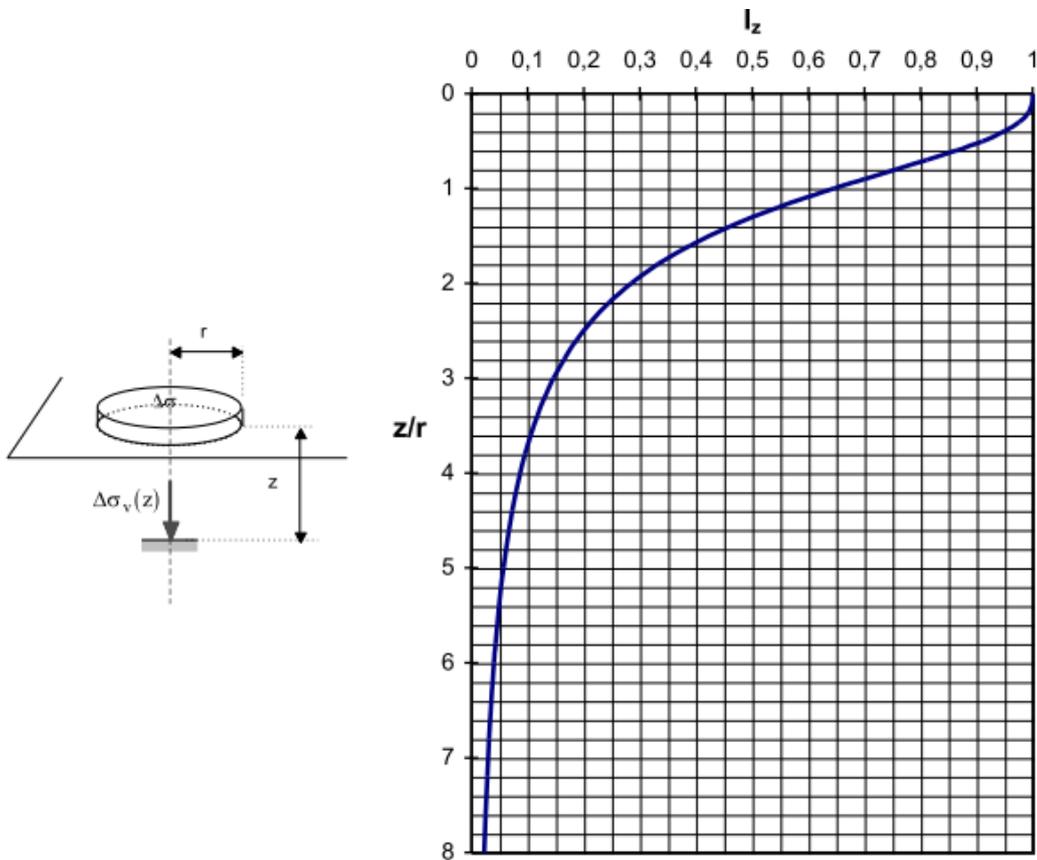
Hypothèses :

- La pression de fluage s'applique horizontalement sur la pile (cf. le schéma page suivante).
- La butée du *pergélisol* et son poids sur la semelle ne seront pas pris en compte ici.
- La semelle est cylindrique, centrée sous le pieux, et son épaisseur est suffisante pour satisfaire la bonne répartition des efforts sur le sol de fondation.



Données :

- Charge centrée $Q = 200\text{ kN}$
- Diamètre du pieu $D = 0,30\text{ m}$
- Diamètre de la semelle noté B ; rayon de la semelle noté r .



(A) Le fluage est un phénomène physique qui provoque la déformation d'un matériau soumis à une contrainte croissante au cours du temps.

(B) Sans prendre en compte la poussée du *pergélisol*, l'effort centré apporte, à 4 m de profondeur sous la semelle, une contrainte supérieure à 4,5 kPa.

(C) Le moment généré au point M par la pression de fluage est supérieur à 115 kN.m, ce qui revient à excentrer la charge **Q** d'une valeur supérieure à 0,55 m.

On note *e* l'excentricité de la charge **Q** qui génère un moment égal à $Q.e$

(D) En considérant l'ensemble des charges extérieures (**Q** et **p_f**), la répartition des contraintes normales à la base de la semelle s'exprime par :

$$\sigma(y) = \frac{Q}{\pi.r^2} \left(1 + \frac{4.e.y}{r^2} \right)$$

(E) Le sol est ici susceptible de se décompresser.

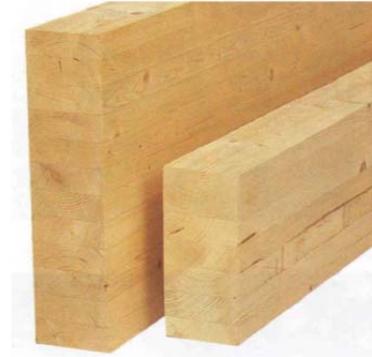
QUESTION 3

Bois lamellé collé

Le bois lamellé collé est une recombinaison de bois massif à destination d'éléments structuraux de grande longueur.

Le terme « lamellé » correspond à un mode de fabrication industriel consistant à assembler par collage sous pression des lamelles de bois prétraitées (séchage artificiel, purge des défauts, rabotage), dans le sens du fil du bois.

Le serrage des lamelles sur des gabarits aux formes des poutres désirées se fait par l'intermédiaire de systèmes hydrauliques.



- (A) Les essences les plus couramment utilisées en France pour la fabrication du bois lamellé sont le sapin, l'épicéa, le pin-sylvestre ; ces bois ont une masse volumique, à 15 % d'humidité, de l'ordre de 700 kg/m^3 .
- (B) Le coefficient de conductivité thermique (λ) des essences citées est inférieur à $0,20 \text{ W/m.K}$.
- (C) L'utilisation de bois lamellé collé contribue à la lutte contre le changement climatique, transformé, transporté, mis en œuvre et revalorisé en fin de vie, 1 m^3 de bois lamellé émet moins de CO_2 qu'il n'en stocke.
- (D) Le classement européen de résistance du bois lamellé collé distingue trois classes principales : C 24 – C 30 – C 40 ; le bois C 24 possède une résistance caractéristique à la flexion de 240 MPa .
- (E) Un bois dont le taux d'humidité est de à 20% a un module d'élasticité E plus important qu'avec un taux de 15 %.

QUESTION 4

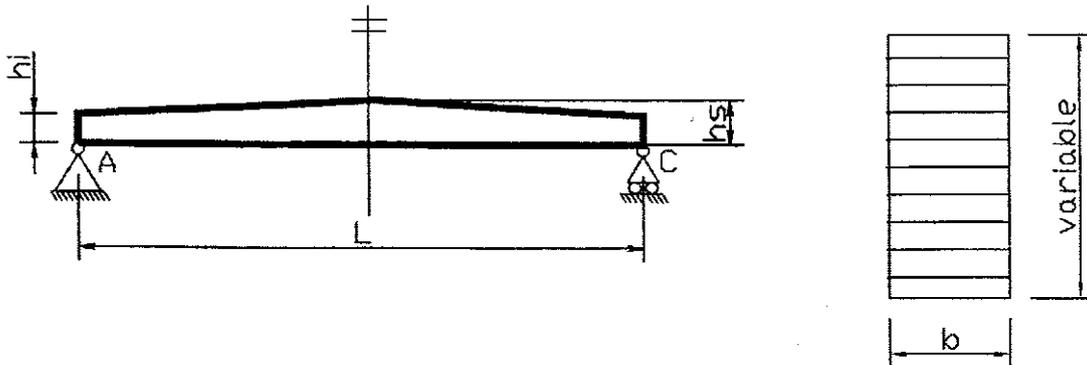
Poutre à inertie variable

La technique du bois lamellé collé permet de réaliser des poutres rectilignes ainsi que des poutres cintrées, de hauteur constante ou variable.

Nous allons nous intéresser au comportement mécanique d'une poutre droite, ayant une section rectangulaire de largeur constante (b) et de hauteur variant linéairement de h_i à h_s (hauteur maximale à mi-longueur).



Cette poutre sert de support de toiture, nous allons la considérer comme étant sur deux appuis simples (schéma ci-dessous) ; elle est soumise à une charge linéique p que l'on considérera comme étant uniformément répartie.



Données d'étude :

$$h_i = 600 \text{ mm} ; h_s = 1000 \text{ mm} ; b = 200 \text{ mm} ; L = 12 \text{ m}$$
$$\text{taux de charge } p = 9,6 \text{ kN/m}$$

On considère que le matériau a un comportement élastique linéaire et que la théorie des poutres est applicable (hypothèses de Navier, Saint Venant...) ; module d'élasticité axiale $E = 11600 \text{ MPa}$.

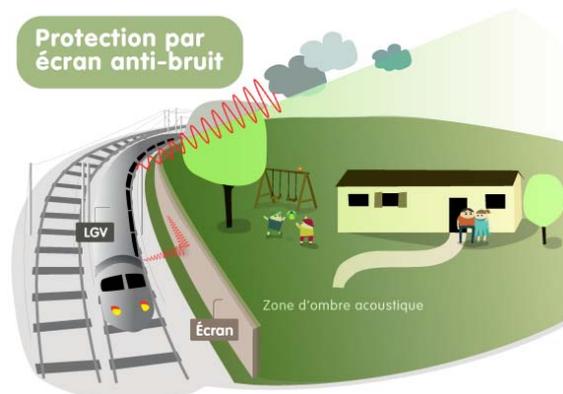
- (A) La pente de l'extrados (support de la couverture) est supérieure à 5%.
- (B) Sur appui, la contrainte maximum de cisaillement transversal dépasse 1 MPa.
- (C) À mi-portée, la contrainte normale de flexion est supérieure à 5,5 MPa.
- (D) À 3,65 m des appuis, la contrainte normale de flexion dépasse 6 MPa.
- (E) Si l'on considère une inertie constante (calculée à partir de la hauteur moyenne), pour le chargement considéré, on obtient une flèche inférieure à $L/300$.

QUESTION 5

Écran antibruit

Le coût et l'efficacité d'un mur antibruit est la résultante de plusieurs paramètres parmi lesquels on distingue :

- Les dimensions (hauteur, longueur, ...).
- La diversité des matériaux (bois, métal, béton, céramique, verre, etc.), et de leurs caractéristiques (acoustiques, mécaniques, esthétiques, etc.) conduit à une fourchette de prix relativement étendue.
- Les moyens de mise en œuvre ; le coût de la mise en œuvre résultant d'un arbitrage entre les dépenses liées à l'importance du matériel nécessaire à la construction (tarière, grue, camion, ...), et le temps mis pour construire l'ouvrage.

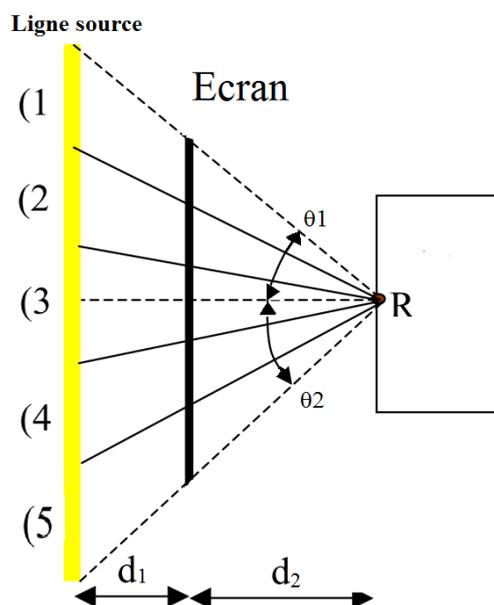


Afin de réduire le niveau de bruit en façade d'un bâtiment, on dispose un écran parallèlement à la ligne source (cf. schéma).

On assimile la « Ligne source » à cinq sources élémentaires vues du point **R** sous un même angle $\Delta\theta = 20^\circ$. Chaque calcul élémentaire se fera sur la ligne centrale de chacun des cinq tronçons.

Données

Nombre de sources	N = 5
Fréquence	f = 600 Hz
Célérité des ondes	c = 340 m/s
Puissance unitaire de la source	$P_u = 0,1 \text{ W/m}$
Angle ouverture 1	$\theta_1 = 50^\circ$
Angle ouverture 2	$\theta_2 = 50^\circ$
Distance Source-Écran	$d_1 = 10\text{m}$
Distance Écran-Récepteur	$d_2 = 40\text{m}$
Hauteur d'écran	h = 4m
Hauteur du récepteur	h = 4m



Le niveau sonore de la source linéique, sans atténuation, s'exprime par :

$$L_{Wu} = 10 \text{Log} \left(\frac{P_u}{10^{-12}} \right)$$

L'atténuation du niveau sonore dépend du nombre de sources, de la distance source/récepteur, de l'angularité, et de la présence de l'écran.

Sans écran, le niveau sonore s'exprime par :

$$L_R = L_{Wu} + 10 \text{Log} \left(\frac{1}{d_1 + d_2} \right) + 10 \text{Log} \left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{360} \right) - 3$$

En plaçant un écran antibruit, l'atténuation supplémentaire sera égale à :

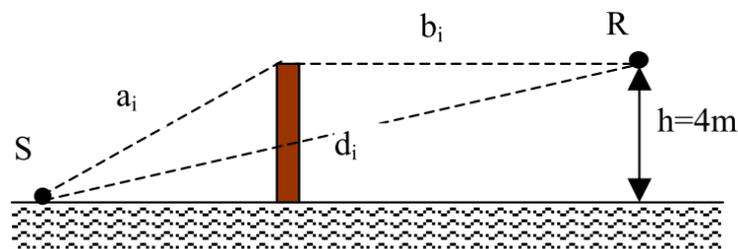
$$\Delta L = -10\text{Log}(N) + 10\text{Log}(\Delta L_e) ; \text{ avec } \Delta L_e = \sum_{i=1}^N 10^{\Delta L_e(i)/10}$$

$\Delta L_e(i)$ étant l'atténuation élémentaire du tronçon i

- soit λ la longueur d'onde du son considéré,
- soit δ la différence de trajet Source/Récepteur entre le chemin d'une onde avec et sans écran (variable d'un tronçon à l'autre : $\delta_i = (a_i + b_i) - d_i$ selon le schéma ci-après),
- soit N_f , le nombre de Fresnel, défini par $N_f = \frac{2\delta}{\lambda}$

Sous certaines conditions restrictives, l'atténuation peut être calculée par l'approche simplifiée suivante :

- Pour $N_f > 1$ $\Delta L_e = 13 + 10\text{Log}N_f$
- Pour $0,1 < N_f < 1$ $\Delta L_e = 13 + 5\text{Log}N_f$



- (A) Le principe de calcul de l'atténuation due aux écrans repose sur la théorie de la diffraction de l'onde acoustique.
- (B) Le nombre de Fresnel pour le tronçon 4 est supérieur à 2.
- (C) Sans écran, l'atténuation entre la source et le récepteur est inférieure à 25 dB.
- (D) Avec écran et au niveau du récepteur, le niveau sonore est supérieur à 70 dB.
- (E) La hauteur de l'écran a toujours plus d'importance que sa largeur.

QUESTION 6

Réglementation Thermique 2012, 2020...

Issue du protocole de Kyoto visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre en provenance des bâtiments, la Réglementation Thermique 2005 (RT 2005) avait pour but de fixer une limite maximale à la consommation énergétique des bâtiments neufs pour le chauffage, la ventilation, la climatisation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage.

La RT 2012 a rendu obligatoire la construction de Bâtiments Basse Consommation (BBC).

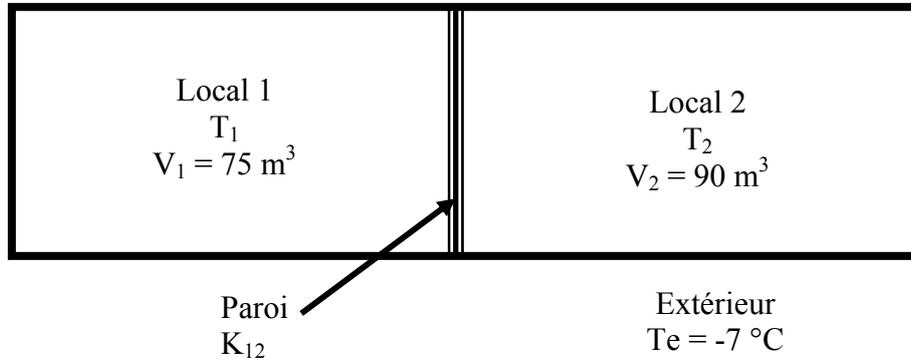


- (A) Parmi les exigences de la réglementation thermique française actuelle figure la consommation maximale ($C_{ep,max}$), recouvrant les besoins en énergie primaire ($kWh_{ep}/m^2ShonRT/an$) pour le bâtiment durant son exploitation.
- (B) Ce calcul de consommation prend aussi en compte les consommations électrodomestiques (dues par exemple aux appareils ménagers).
- (C) L'énergie dite *grise* est l'énergie nécessaire à la fabrication des matériaux, à la mise en œuvre, ainsi qu'à la déconstruction des bâtiments.
- (D) L'énergie *grise* est incluse dans le calcul de $C_{ep,max}$.
- (E) La RT 2020 portera sur les bâtiments à énergie positive (BEPOS), produisant davantage d'énergie qu'ils n'en consommeront.

QUESTION 7

Transferts thermiques

On considère deux locaux adjacents (notés 1 et 2 sur le schéma ci-dessous).



La conductance globale du local 1 (respectivement du local 2) par rapport à l'extérieur est $(K.S)_1 = (K.S)_2 = 100 \text{ W/K}$. La paroi séparant le local 1 du local 2 a une aire de 15 m^2 et un coefficient de transmission thermique (prenant en compte l'ensemble des transferts de chaleur) $K_{12} = 8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$.

Masse volumique de l'air : $1,2 \text{ kg/m}^3$; Capacité calorifique de l'air : $1006 \text{ J}/(\text{kg.K})$

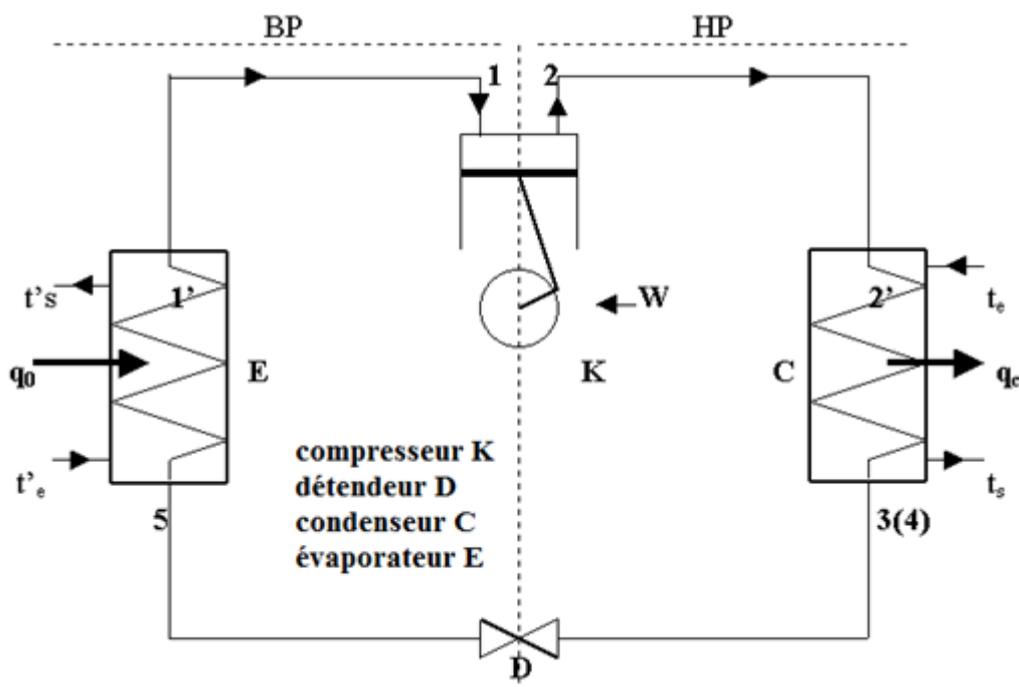
- (A) On souhaite maintenir les températures intérieures des deux locaux à 18 °C ($T_1 = T_2 = 18 \text{ °C}$). Pour cela on doit introduire dans chacun d'eux une même puissance de chauffage $P = 2500 \text{ W}$.
- (B) Le système de chauffage présent dans le local 2 tombe en panne ($P_2 = 0 \text{ W}$) ; celui du local 1 fonctionne toujours ($P_1 = 2500 \text{ W}$). Dans ces conditions, en régime permanent, la température du local 2 devient inférieure à 5 °C .
- (C) Pour des raisons de stockage dans le local 2, on souhaite maintenir $T_2 = 10 \text{ °C}$, bien que le système de chauffage dans ce local soit en panne. Afin d'obtenir cette valeur de température, on est amené à porter la puissance de chauffage présente dans le local 1 à plus de 5000 W .
- (D) La température ainsi obtenue dans le local 1 est considérée comme étant trop importante, on décide donc de modifier la composition de la paroi séparant le local 1 du local 2. Le coefficient de transmission thermique devient alors $K_{12} = 16 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. La puissance de chauffage présente dans le local 1 est fixée à $P_1 = 4200 \text{ W}$. La température atteinte dans le local 1 est maintenant inférieure à 20 °C .
- (E) Le système de chauffage du local 2 est réparé. On souhaite maintenir une température de 18 °C dans les deux locaux, mais le local 2 est ventilé à raison de 1 volume/heure, toujours pour des raisons de stockage. Le coefficient de transmission thermique garde sa valeur de $K_{12} = 16 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Pour assurer $T_1 = T_2 = 18 \text{ °C}$, on doit introduire une puissance de chauffage $P_1 = 2500 \text{ W}$ dans le local 1, et $P_2 = 3500 \text{ W}$ dans le local 2.

QUESTION 8

Changement de phase

Les machines frigorifiques, tout comme les pompes à chaleur, utilisent le changement de phase d'un fluide réfrigérant afin de réaliser un transfert de chaleur.

Soit une *machine frigo* fonctionnant au tétrafluoroéthane R134a (de mêmes caractéristiques thermodynamiques que le Fréon 22). Le fluide injecté dans l'évaporateur provient du condenseur, d'où il sort à 25°C sous la pression de 12,5 bars absolus (1 bar = 10⁵ Pa). Dans l'évaporateur le fluide se stabilise à la température de -20°C.

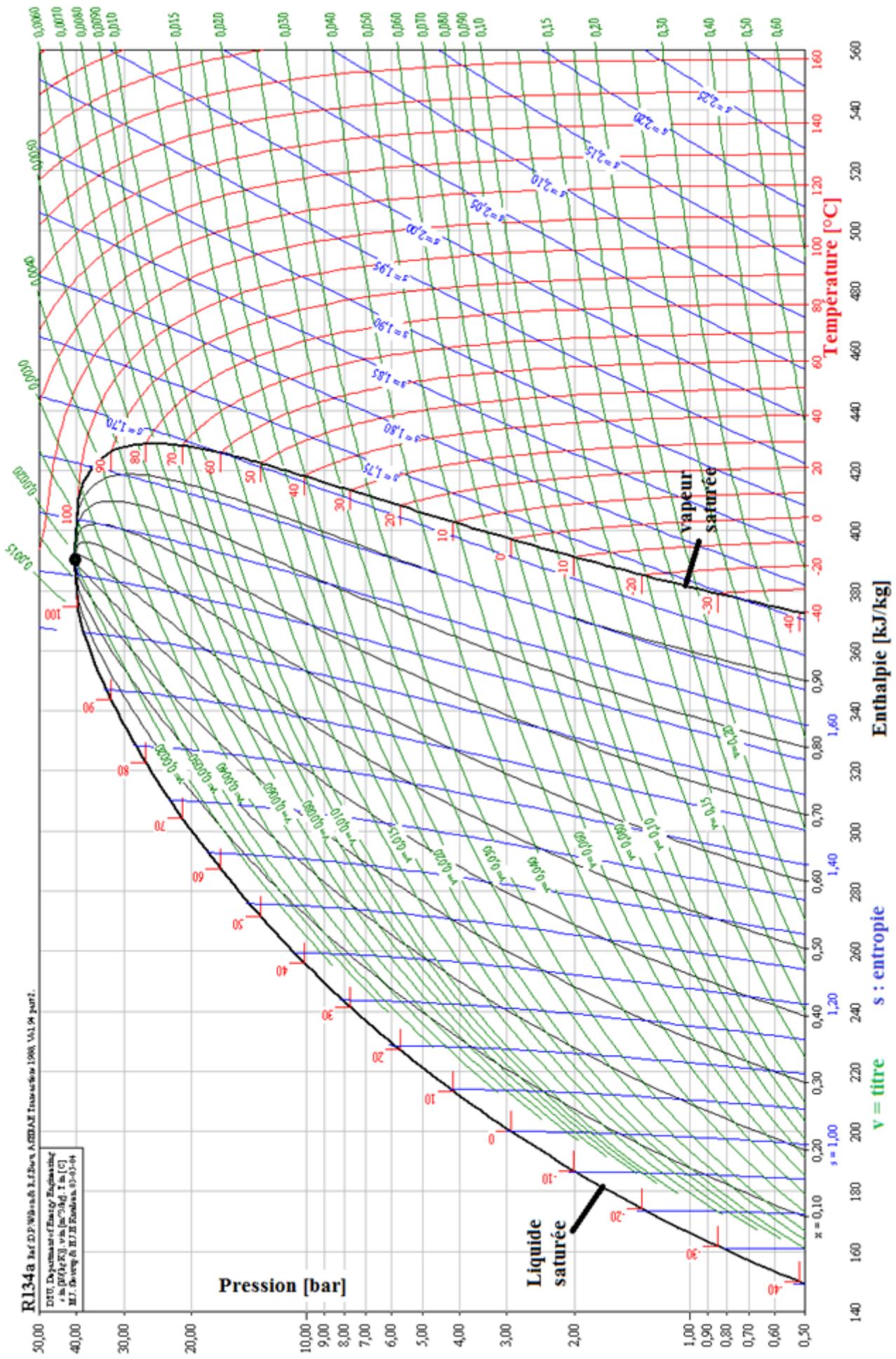


Hypothèses :

- La compression du fluide 1-2 est isentropique (pas de perte de chaleur).
- Il n'y a pas de perte de charge dans la tuyauterie et les échangeurs (les paliers de condensation et d'évaporation sont à pression constante). Le condenseur est dimensionné pour avoir une condensation totale à sa sortie.
- La détente 4-5 est isenthalpe ($H = \text{cte}$) avec $H = m \cdot h$ (h enthalpie massique en kJ/kg).

Le coefficient de performance de la machine est défini comme étant le rapport du froid produit sur le travail fourni.

Caractéristiques thermodynamiques - Fréon 22								
Température	Pression absolue	Volume spécifique		Enthalpie		Chaleur de vaporisation	Entropie	
		liquide	vapeur	liquide	vapeur		liquide	vapeur
°C	Bar	dm ³ /kg	m ³ /kg	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg.°K	kcal/kg.°K
-50	0,65	0,6950	0,3230	86,70	143,90	57,90	0,9485	1,2022
-40	1,06	0,7086	0,2050	89,27	145,12	55,85	0,9579	1,1974
-30	1,65	0,7235	0,1350	91,90	146,25	54,35	0,9690	1,1925
-20	2,46	0,7405	0,0929	94,58	147,12	53,08	0,9775	1,1880
-10	3,55	0,7582	0,0654	97,25	148,45	51,20	0,9898	1,1844
0	5,00	0,7785	0,0471	100,00	149,43	49,43	1,0000	1,1810
10	6,85	0,8004	0,0346	103,00	150,36	47,36	1,0107	1,1780
20	9,16	0,8244	0,0258	106,13	151,13	45,00	1,0214	1,1749
30	12,02	0,8501	0,0194	109,44	151,78	42,34	1,0323	1,1720



- (A) La chaleur latente de vaporisation de ce fluide réfrigérant est supérieure à 220 kJ/kg.
(Rappel : 1 calorie = 4,184 Joules)
- (B) Sachant que l'aspiration au compresseur se fait en vapeur saturée, la production frigorifique massique fournie par 1 kg de fréon est inférieure à 150 kJ/kg d'après le diagramme thermodynamique du R134a.
- (C) Le titre v de la vapeur humide à l'entrée de l'évaporateur est inférieur à 0,3.
- (D) Sachant que le débit massique du fréon est de 300 kg/h, la puissance frigorifique de la machine est supérieure à 49,8 MJ/kg.
- (E) Le coefficient de performance de la machine est supérieur à 4.
-

- FIN -