

3. EXERCICE : échanges de chaleur dans un condenseur (15 points)

Le condenseur de la PAC utilisée en TP est un cylindre en verre de 2 mm d'épaisseur, de 15 cm de diamètre externe et de 20 cm de hauteur ; il contient un serpentín en cuivre 8/10 où l'eau circule avec un débit de 42 L (voir schéma de la planche 5). L'eau rentre à la température de 15 °C et en sort à la température de 24 °C. Le serpentín a une longueur L de 3,09 m et possède 13 spires.

Cette PAC utilise du fréon 12 qui se condense à la température de 30 °C.

Les coefficients de conductivité thermique sont donnés dans la planche 1.

31. Questions préliminaires :

Retrouver la longueur L du serpentín sachant que la surface moyenne logarithmique est de 8,7 dm². **Calculer** le diamètre Δ des spires.

Calculer la quantité de chaleur reçue par l'eau en 1 heure (en KWh) ; **en déduire** le flux thermique reçu par l'eau en W.

32. **Calculer** le coefficient h_{cint} du transfert de chaleur convectif à l'intérieur du serpentín où circule l'eau. On tiendra compte de la formule concernant le serpentín pour la convection forcée : $Nu' = Nu (1 + 3,5 D/\Delta)$.

Calculer le coefficient k du transfert de chaleur par conduction à travers la paroi en cuivre du serpentín. **Remarque.**

Calculer le coefficient h_{cext} du transfert de chaleur par condensation du fréon à l'extérieur du serpentín. **Remarque.**

On rappelle la formule :
$$Nu = 1,13 \left(\frac{X^3 \rho g \Delta H}{\lambda \nu \Delta \theta} \right)^{0,25} \quad \text{avec} \quad Nu = \frac{h_c X}{\lambda}$$

X = diamètre intérieur du serpentín

$\lambda(\text{fréon liquide à } 30^\circ\text{C}) = 0,4 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\mu(\text{fréon liquide à } 30^\circ\text{C}) = 231 \cdot 10^{-3} \text{ centiPoise}$

$\rho(\text{fréon liquide à } 30^\circ\text{C}) = 1294 \text{ Kg.m}^{-3}$; $c_p(\text{fréon liquide à } 30^\circ\text{C}) = 836 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

$\Delta H = L_v(\text{fréon à } 30^\circ\text{C}) = 136 \text{ KJ/kg}$; on prendra $\Delta \theta = 15^\circ\text{C}$.

En déduire le facteur limitant de ce transfert de chaleur.

Calculer alors le coefficient global de transfert de chaleur K ainsi le flux thermique Φ à travers le serpentín entre le fréon qui se condense à l'extérieur et l'eau qui y circule à l'intérieur, sachant que $\Phi = K \Delta T_{\text{ml}}$.

Remarque : comparer au flux thermique reçu par l'eau.

33. **Calculer** le coefficient h'_{cext} de transfert de chaleur convectif à l'extérieur du condenseur entre l'air et la paroi externe. On supposera que la température de l'air au voisinage de la paroi externe est de 29 °C.

En déduire la température de la paroi externe du condenseur. **Remarque.**

On donne : $\mu(\text{air à } 20^\circ\text{C}) = 18,5 \cdot 10^{-3} \text{ centiPoise}$.

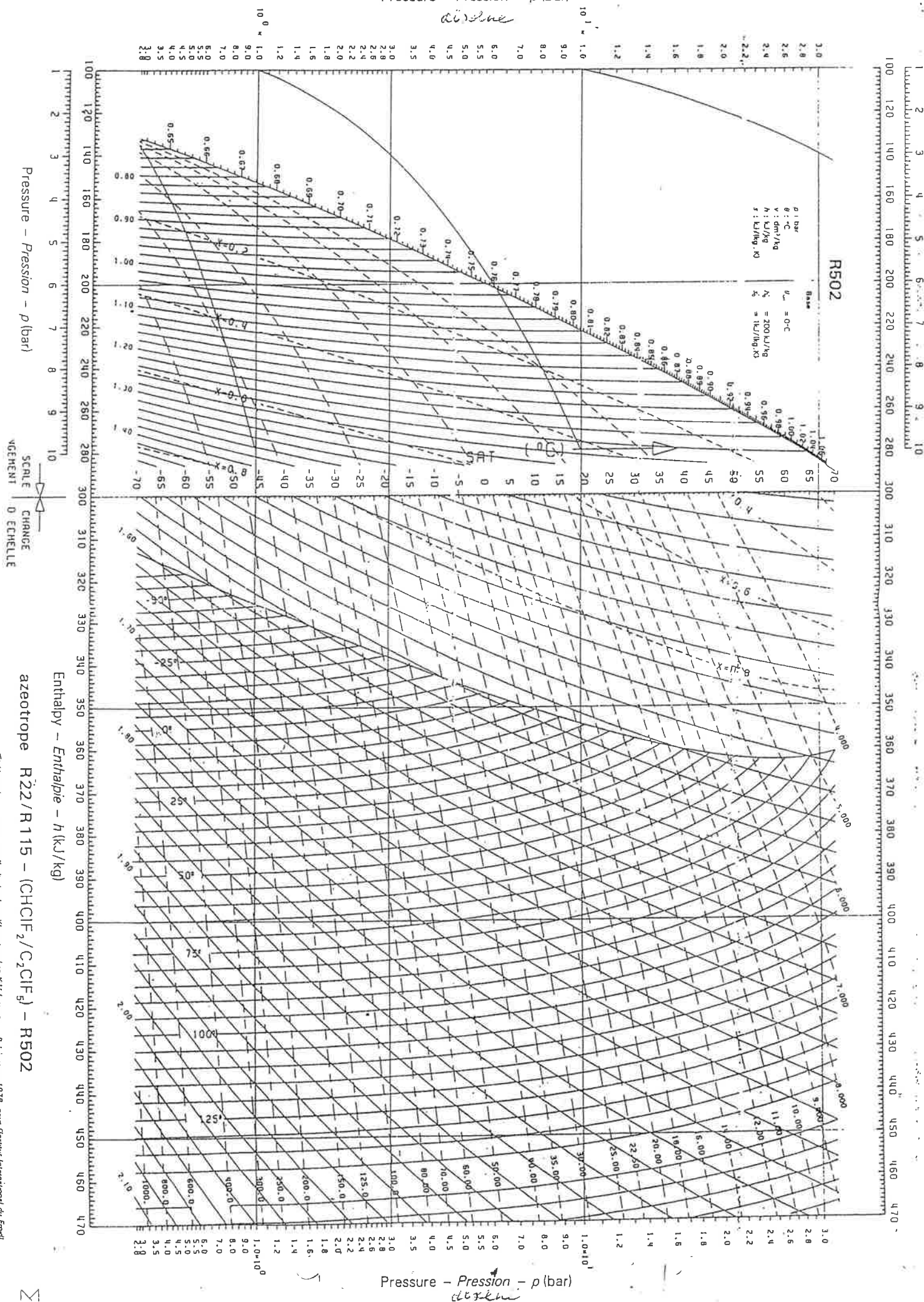
Calculer le coefficient k' de transfert de chaleur par conduction à travers la paroi en verre du condenseur.

On donne : $\lambda(\text{verre}) = 0,75 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

En déduire le coefficient h'_{cint} du transfert de chaleur convectif à l'intérieur du condenseur entre le fréon et la paroi interne, sachant que les pertes thermiques entre le condenseur et le milieu extérieur sont égales à 0,3 W par degré de différence entre la température de l'air extérieur (20 °C) et celle du fréon à l'intérieur (30 °C).

Pressure – *P*ression – p (bar)

سید محمد (ع)

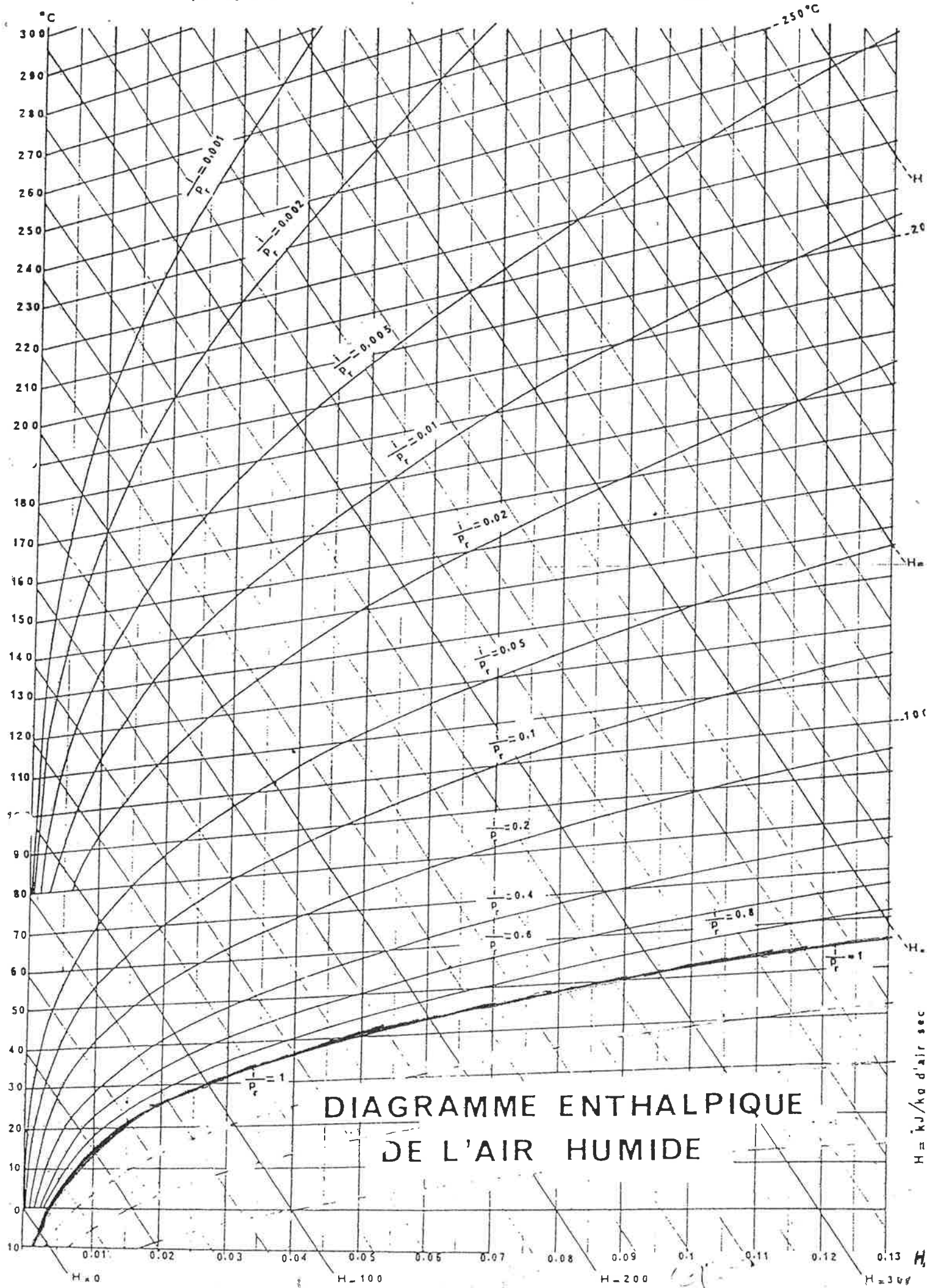


Pressure - *Pression* - p (bar)

At Fuku

NOM :

ANNEXE 9



DEVOIR SURVEILLE n° 2 DE PHYSIQUE

- Monsieur GIGON -

(avec documents)

Il sera tenu compte de la présentation, de l'expression et des fautes d'orthographe. Détailler le raisonnement et les calculs : bien mettre en évidence les applications numériques de manière à comprendre d'où viennent les bons résultats ou les erreurs. Encadrer uniquement les résultats demandés, sans oublier les unités. Tout résultat non encadré ne sera pas pris en compte. Ne pas oublier d'inscrire votre nom sur les annexe 2 et 3 et de les rendre avec la copie d'examen.

Le problème consiste à étudier le séchage du foin en grange dans une ferme de Haute Savoie qui se trouve à une altitude de 1500 m. On raisonnera globalement sur environ 15 tonnes de foin à 35 % (de type graminées) correspondant à la première journée de fenaïson.

1. Questions préliminaires.

11. Cette ferme possède 90 vaches laitières qui ont besoin chacune de 14 Kg de MS par jour pendant 6 mois (fin automne-hiver) et 4,5 Kg de MS par jour pendant 3 mois (fin hiver-début printemps).

Calculer la quantité de foin séché en m^3 nécessaire à stocker en supposant que la teneur en eau moyenne du foin séché $H = 15\%$ et que la densité de ce foin séché est de 0,129. ($H = \text{masse d'eau/masse totale}$)

Calculer la quantité d'eau qu'il faut enlever à la totalité du foin ramassé avec une teneur en eau de 35 % ramené à 15 % en fin de séchage. **Remarque !**

12. La courbe de *désorption* (équilibre hygroscopique air-fourrage) donné à 20 °C en annexe 1 comprend deux courbes correspondant à deux types de fourrage : graminées et luzerne. **Comparer** rapidement le séchage de ces deux types de fourrage. On supposera qu'ils ont la même teneur en eau initiale de 35 % et la même teneur en eau finale de 15% en fin de séchage.

Où se trouvent les courbes de *sorption* en supposant qu'il y a un phénomène d'hystérésis ? **Justifier**.

2. Séchage du foin.

21. Pour connaître l'hygrométrie de l'air ambiant, on a installé un psychromètre qui permet de mesurer la température sèche et la température humide de l'air ambiant. On y lit les valeurs suivantes : 20 °C et 15 °C.

En déduire l'humidité relative et le volume massique de cet air ambiant (à 1500 m d'altitude) à partir du diagramme de l'air humide à 0 m d'altitude donné en annexe 2. **Justifier** rapidement. **Positionner** ce point (A) sur ce diagramme ainsi que le point représentatif (B) de l'air au voisinage du foin.

22. **En déduire** la quantité d'eau enlevée au foin en g/Kg d'air sec et en g/m^3 d'air humide. On supposera que l'air sortant du tas de foin a une différence de 2 % d'humidité relative avec l' a_w du foin.

On détaillera le raisonnement et les calculs en faisant apparaître sur le diagramme les valeurs utilisées.

3. Puissance du ventilateur.

31. A la sortie du ventilateur, on installe une gaine en forme de divergent qui permet d'amener l'air jusqu'au tas de foin. **Expliquer** l'intérêt du divergent.

Calculer le débit que doit avoir le ventilateur en m^3/h (la quantité d'eau enlevée au foin est environ de $2g/m^3$ d'air humide). On suppose qu'il faut au moins 3 jours avec une moyenne de 14 h par jour pour sécher 15 tonnes de foin. **En déduire** la vitesse apparente de l'air à travers le tas de foin en supposant que la surface du tas de foin est de $80 m^2$.

32. La formule empirique qui permet de calculer les pertes de charge de l'air avec une vitesse apparente u à travers le tas de foin d'épaisseur Δz est la suivante : $\Delta P = K u^{1,7} \Delta z$. **Donner** la dimension de la constante K (qui n'est pas ordinaire !) et **calculer** sa valeur en SI à partir du diagramme des pertes de charge donné en annexe 1 pour une vitesse de 10 cm/s. Les graminées sont considérées comme du foin B.

En déduire les pertes de charge de l'air à travers le tas de foin d'une hauteur de 2 m.

33. Calculer la puissance consommée par le ventilateur en supposant que les pertes de charge dans les gaines sont égales à 10% des pertes de charge dans le tas de foin. Le rendement du ventilateur est égal à 85 %.
En déduire les pertes en KWh pendant toute la durée du séchage (42 h).

4. Traitement de l'air ambiant avec une pompe à chaleur.

Pour améliorer le séchage, on installe une pompe à chaleur qui permet dans un premier temps de déshumidifier l'air ambiant en le faisant passer sur l'évaporateur et dans un deuxième temps de le réchauffer en le faisant passer sur le condenseur. **Expliquer** l'intérêt d'un tel traitement.

41. On déshumidifie cet air ambiant en abaissant sa teneur en eau (HA) de 2 g/Kg air sec et on le réchauffe ensuite jusqu'à 30°C. **Représenter** ces étapes sur le diagramme de l'air humide. **En déduire** la température de l'air à la sortie de l'évaporateur, ainsi que son humidité relative à la sortie du condenseur. **Remarque.**
En déduire la quantité d'eau enlevée au foin en g/Kg d'air sec (on suppose la même différence de 2 % entre l'air et le foin). **Remarque.**

En déduire également le différentiel de pression partielle en KPa entre l'HR de l'air à la sortie du condenseur et l' a_w du foin. **Remarque.**

En déduire la consommation énergétique totale théorique en KJ/Kg d'air sec et en KJ/m³ d'air humide ainsi que l'énergie théoriquement consommée pendant 42 h en KWh. (débit du ventilateur = 56 000 m³/h environ)
étailler le raisonnement et les calculs en faisant apparaître sur ce diagramme toutes les valeurs calculées.

42. Donner les températures que doit avoir le R 12 à l'évaporateur et au condenseur, sachant qu'il faut un écart de 10 °C entre la température du R 12 et celle de l'air pour que les échanges de chaleur fonctionnent bien au niveau de l'évaporateur et du condenseur. **Tracer** avec précision le diagramme de Mollier donné en annexe 3 représentant le cycle du R 12 sachant qu'il y a une surchauffe de 5 °C, que la compression est isentrope et qu'il n'y a pas de sous-refroidissement (ne pas oublier d'y inscrire votre nom).
Indiquer les enthalpies massiques des différents points caractéristiques sur le diagramme.

43. En supposant que les échanges sont parfaits entre l'air et le R 12, **calculer** le débit massique horaire en Kg/h du R 12 (débit du ventilateur = 56 000 m³/h environ). **Calculer** alors l'énergie consommée par le compresseur pendant 42 h avec un rendement de 0,90. **Comparer** avec l'énergie théoriquement consommée calculée à partir du diagramme de l'air humide. **Remarque !**

4. Chauffage solaire de l'air ambiant.

Une méthode encore plus économique est de réchauffer l'air ambiant à partir de l'énergie solaire gratuite en installant, soit une toiture en fibrociment mat ou en acier ondulé, soit une toiture avec des capteurs à effet de corps noir (annexe 1).

41. La toiture en fibrociment de coefficient de réflexion de 0,35 et de coefficient d'émissivité de 0,2 reçoit un rayonnement moyen de 6 KWh/m² sur une durée de 14 h par jour par temps ensoleillé entre mai et août. La température externe moyenne de la toiture étant de 35 °C, **calculer** les pertes en W/m² par rayonnement et par convection libre (on prendra le modèle "plaque chauffant vers le haut" avec une largeur de 1 m).
En déduire la puissance en W/m² transmise par la toiture à l'air interne.

42. Calculer alors la température de cet air interne ainsi réchauffé en considérant que cette puissance est transmise par conduction et par convection forcée. On suppose que cet air interne circule à une vitesse de 0,5 m/s dans un conduit de 25 cm de largeur. **Remarque.**

Expliquer pourquoi le rayonnement interne est négligeable.

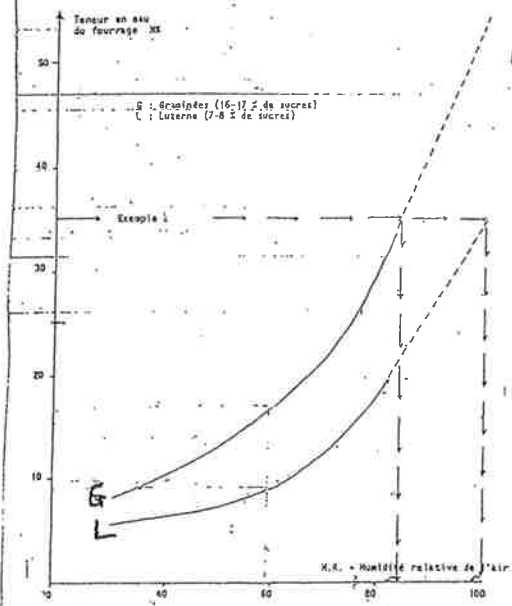
On donne : λ (fibrociment) = 0,5 Kcal m⁻¹ h⁻¹ °C⁻¹ ; e (fibrociment) = 1,5 cm

On prendra pour l'air des valeurs moyennes : $\lambda = 0,0207$ Kcal m⁻¹ h⁻¹ °C⁻¹, $\mu = 18,5 \cdot 10^{-6}$ Pa s

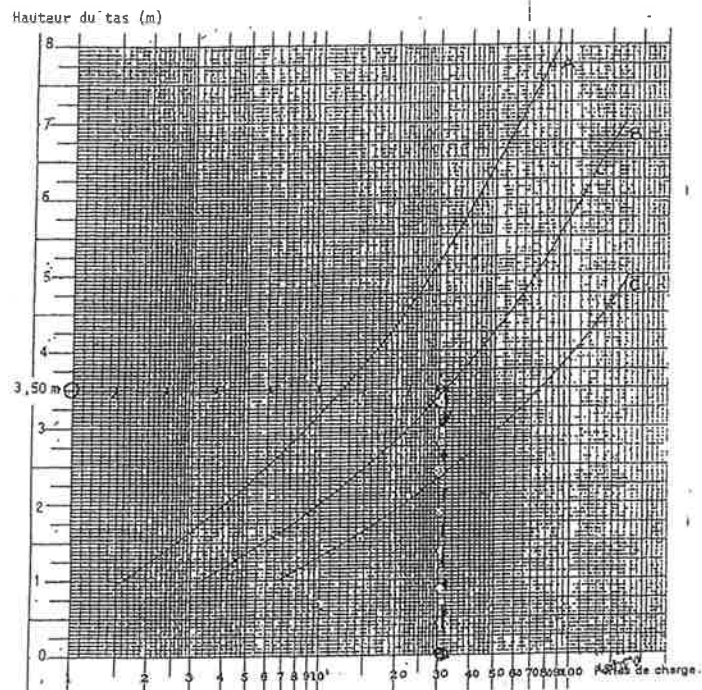
Tous les schémas et données utilisés dans ce devoir sont extraits du fascicule "Le foin séché par ventilation" corédigé par J. Bovagne (EDE Hte Savoie), G. Cabon (ITCF) et M. Grillot (IGER-BCMEA). Mai 1985.

ANNEXE 1

Figure n°9: Equilibre hygroscopique Air-Fourrage à 20°C



Pertes de charge en mm de colonne d'eau sur la hauteur totale du tas pour une vitesse de l'air de 10 cm/s ; en fonction du type de fourrage (A, B et C) et de la hauteur du tas.



Exemple : hauteur de 3,50 m, fourrage de classe B → pertes de charge : 31 mm C.E.

Figure n° 26 : Schéma du divergent.

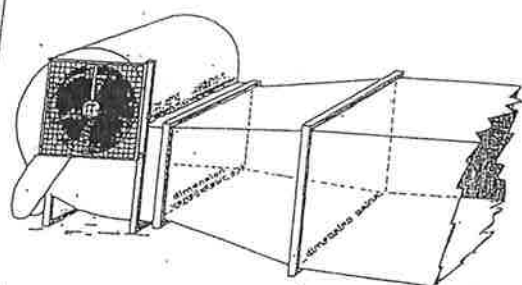


Figure n° 27 : Installation avec faux fond.

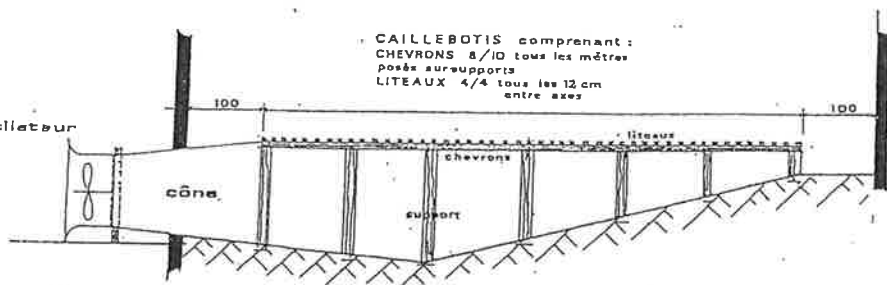


Figure n° 36 : Schéma d'une installation : capteur type "corps noir" ou "simple effet".

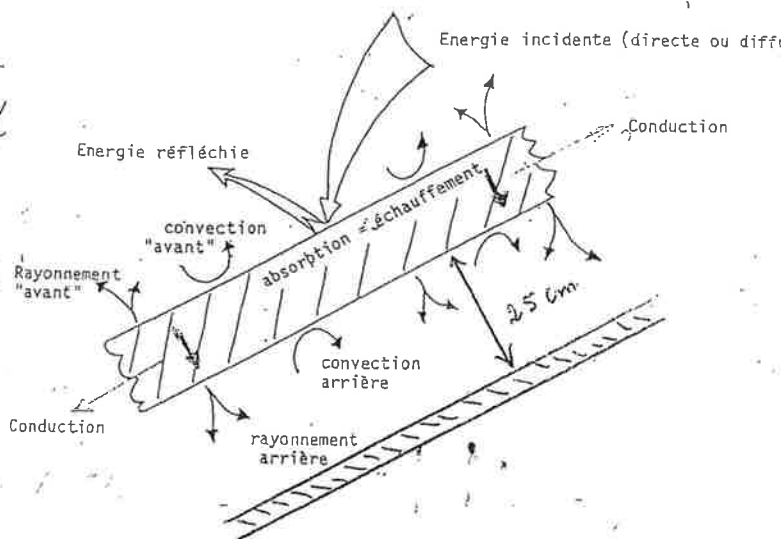
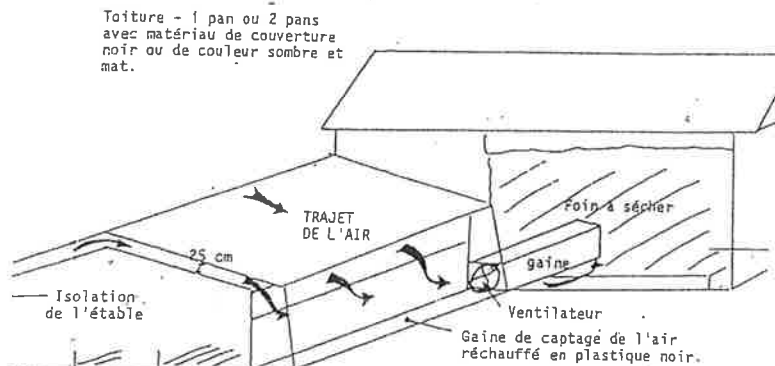
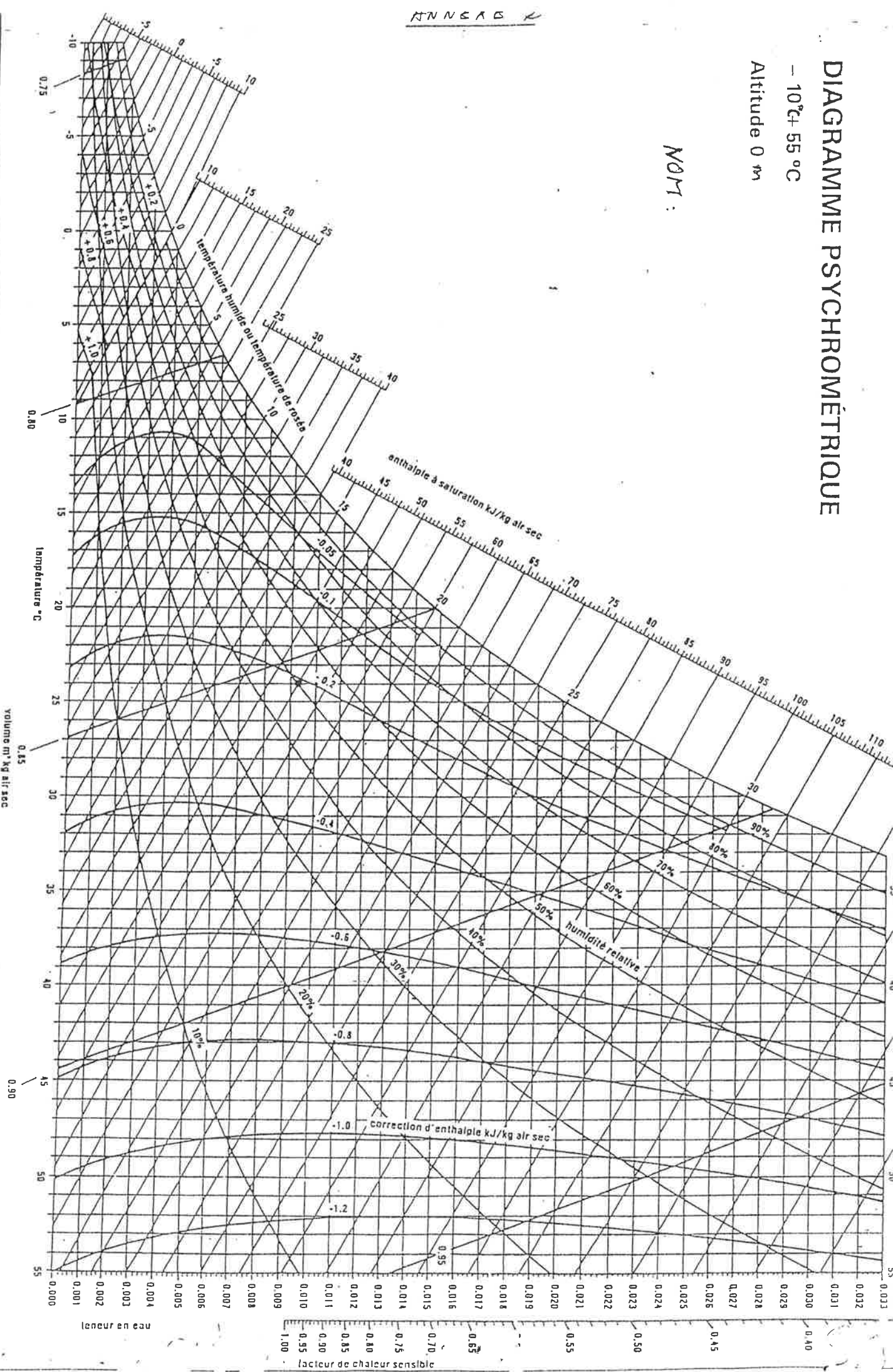


DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE

- 10°C + 55 °C

Altitude 0 m

NOT :



R12

β bar
 β °C
 β °F
 β K
 β °R
 β °N

β °C
 β °F
 β K
 β °R
 β °N

β °C
 β °F
 β K
 β °R
 β °N

β °C
 β °F
 β K
 β °R
 β °N

β °C
 β °F
 β K
 β °R
 β °N

β °C
 β °F
 β K
 β °R
 β °N

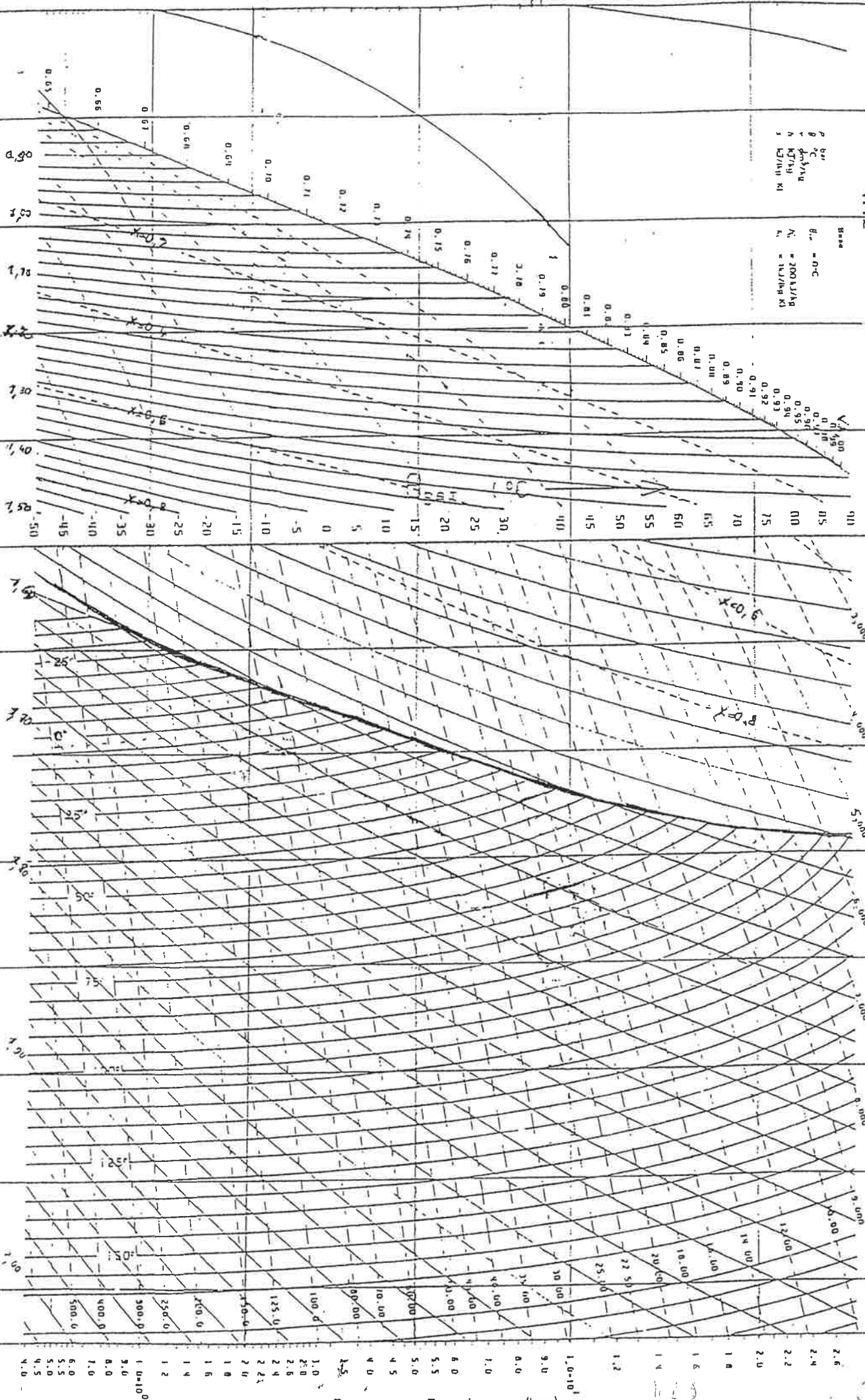
β °C
 β °F
 β K
 β °R
 β °N

β °C
 β °F
 β K
 β °R
 β °N

Pressure - Presson - p (bar)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 470

Enthalpy - Enthalpie - h (J/kg)



**CHIMIE ANALYTIQUE
EXAMEN
A. HALLIER**

Conditions d'examens

Documents

Autorisés

Calculatrice

X
X

Non autorisés
Uniquement Scientifique
4 opérations autorisée
tout type autorisée

Remarques particulières

La concision et la précision de vos réponses seront prises en compte de manière importante dans la notation.

A) Partie cours (6 points – 40 minutes)

- 1) Décrire le mode d'injection par seringue dans le cas d'une analyse par chromatographie en phase gazeuse (2 points).
- 2) Donner le principe de la chromatographie sur couche mince. En fonction de quel(s) critère(s) les différents composés sont-ils séparés (1.5 points) ?
- 3) Quels sont les deux modes de pompage qui peuvent-être utilisés dans le cadre d'une analyse par chromatographie liquide haute pression ? Décrire ces deux modes (1 point).
- 4) Quelle est la différence, en termes de fragmentation, entre une ionisation par impact électronique et une ionisation chimique (1 point) ?
- 5) Quel est le rôle de l'analyseur de masse (0.5 point) ?

B) Partie exercice (14 points – 1h20)

Exercice 1 (15 minutes) :

La séparation suivante a été obtenue en chromatographie liquide haute performance. Les conditions opératoires sont les suivantes :

phase stationnaire en polystyrène et divinylbenzène	taille de particule : 9µm
longueur de colonne : 30cm	température : 65°C
débit : 0.6mL/min	éluant : H ₂ SO ₄
pression en tête de colonne : 49.105Pa	temps mort : 30s

Les résultats sont les suivants :

Nom du soluté	Temps de rétention tr (min)	Largeur ω (min)
Acide citrique	4.85	0,16
Glucose	7.52	0,18
Fructose	7.98	0,20