

Le Diagramme de l'air humide

Constitution de l'air atmosphérique

- De quoi est constitué l'air qui nous entoure ?

Essentiellement de
Gaz (oxygène, azote,...)

Mais aussi:

D'humidité

Egalement de

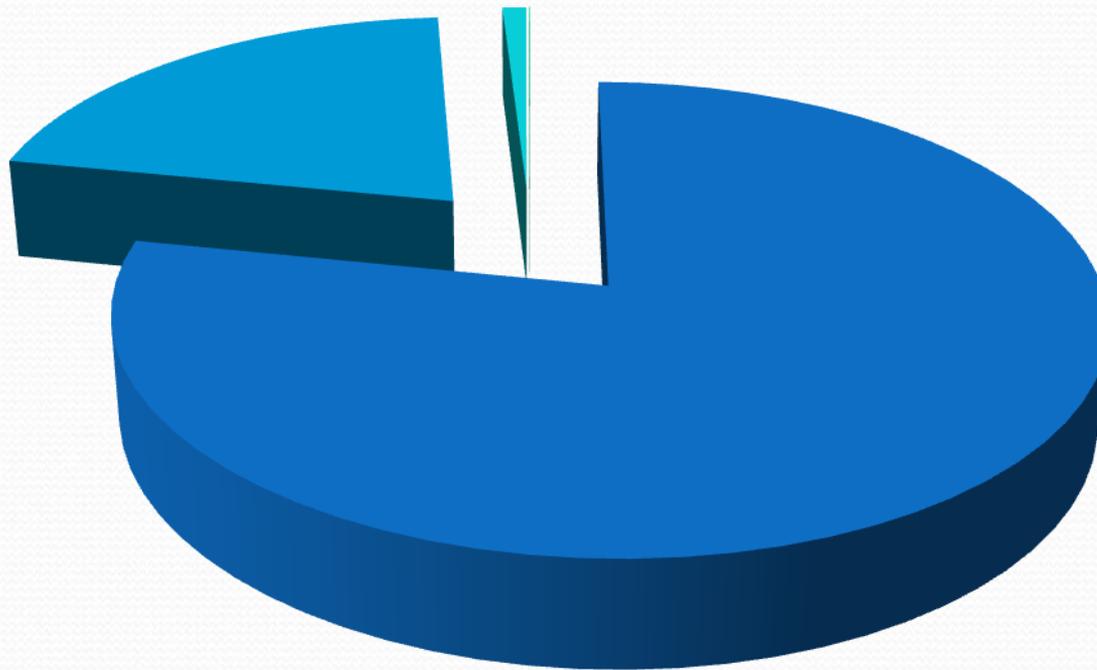
Poussières

Et de

Bactéries

L'air sec :

Constitution



- Azote 78,09%
- Oxygène 20,84%
- Gaz rare 0,93%
- Impuretés 0,03%

Nous appellerons :

- **Air sec** : air pur ne contenant aucune poussière ou bactérie et totalement dépourvu d'humidité .
- **Air humide** : air pur ne contenant aucune poussière ou bactérie mais ayant une certaine teneur en humidité. C'est un mélange d'air sec et d'humidité .

- L'humidité de l'air se présente sous forme :
- De vapeur d'eau,
- De gouttelettes d'eau en suspension dans l'air (brume, brouillard, pluie : air humide saturé),
- De particules de glaces (givre ou neige).
- Cet air est caractérisé par deux notions le plus souvent citées ensemble dans le traitement d'air :
- La température de l'air,
- L'humidité de l'air.
- D'autres notions interviennent aussi. Elles sont liées d'une façon complexe par les lois de la physique. Mais la traduction graphique par le diagramme de l'air humide rend aisée et précise la visualisation des phénomènes de traitement de climatisation.

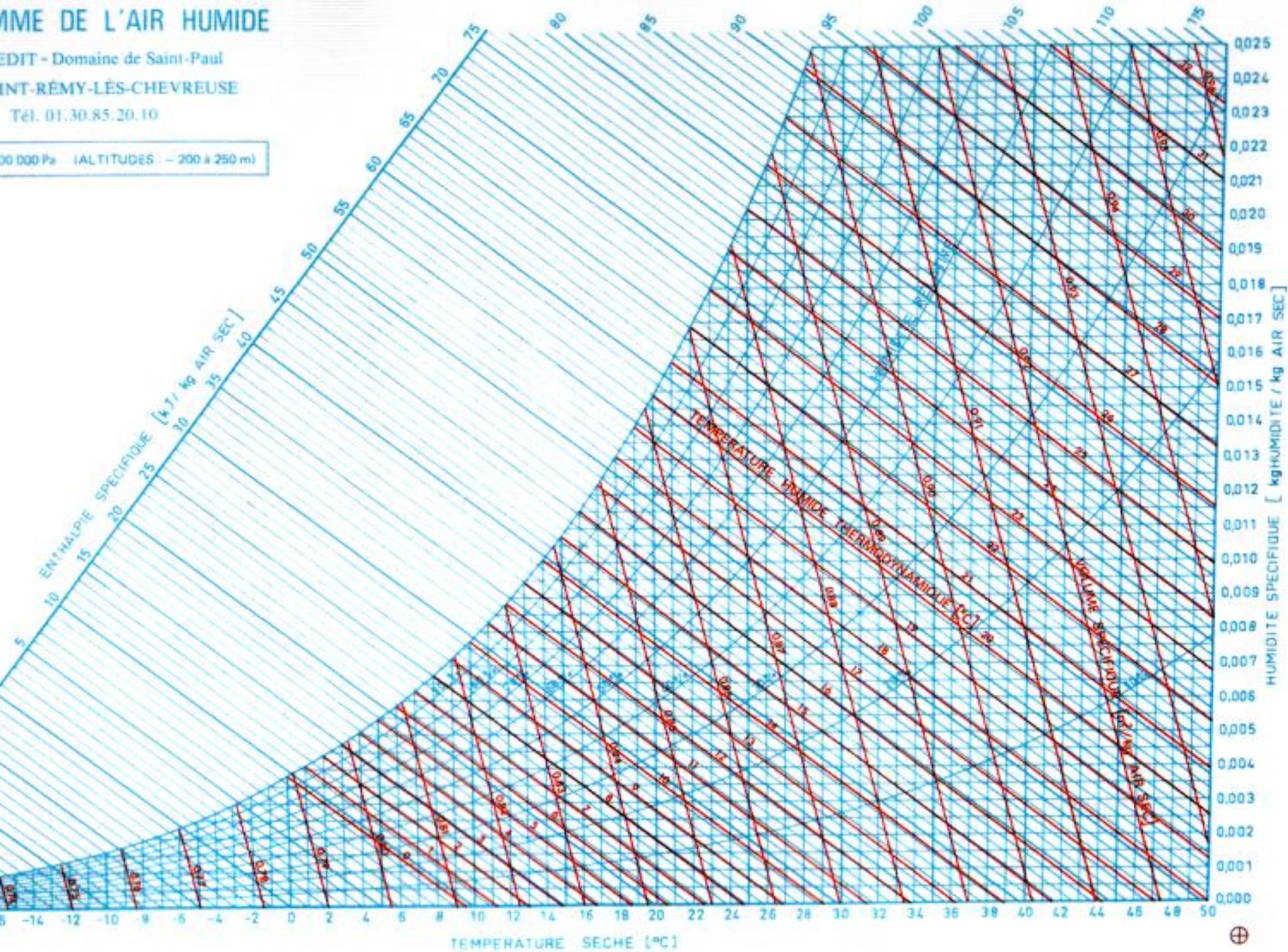
DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

EDIT - Domaine de Saint-Paul

SANT-RÉMY-LÈS-CHEVREUSE

Tél. 01.30.85.20.10

100 000 Pa (ALTITUDES : - 200 à 250 m)



2. Le diagramme de l'air humide :

Le diagramme de l'air humide, aussi appelé diagramme psychrométrique, est l'outil de base du technicien qui travaille sur des installations de conditionnement d'air.

Il dispense de fastidieux calculs des caractéristiques de l'air aux différentes étapes du traitement. A partir de ces résultats on pourra déterminer les grandeurs fondamentales des installations tels que puissances, débit,...

On dénombre 7 notions caractérisant l'air humide et que l'on retrouve sur le diagramme psychrométrique.

a. La température sèche

La température sèche est la température mesurée à l'aide d'un simple thermomètre à alcool.

L'échelle des températures sèche (θ_s) est reportée en abscisse sur le diagramme, les valeurs augmentant de la gauche vers la droite (voir fig 1).

Son unité est le °C.



b. L'humidité spécifique

L'humidité spécifique est la quantité d'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur ou éventuellement d'eau. Pour la caractériser on l'associe à l'unité de masse d'air sec.

On l'exprime en kilogrammes (ou en grammes) d'humidité par kilogramme d'air sec (kg/kg_{gas}). Elle est notée r et est portée en ordonnées (voir fig 1).

Fig. 1

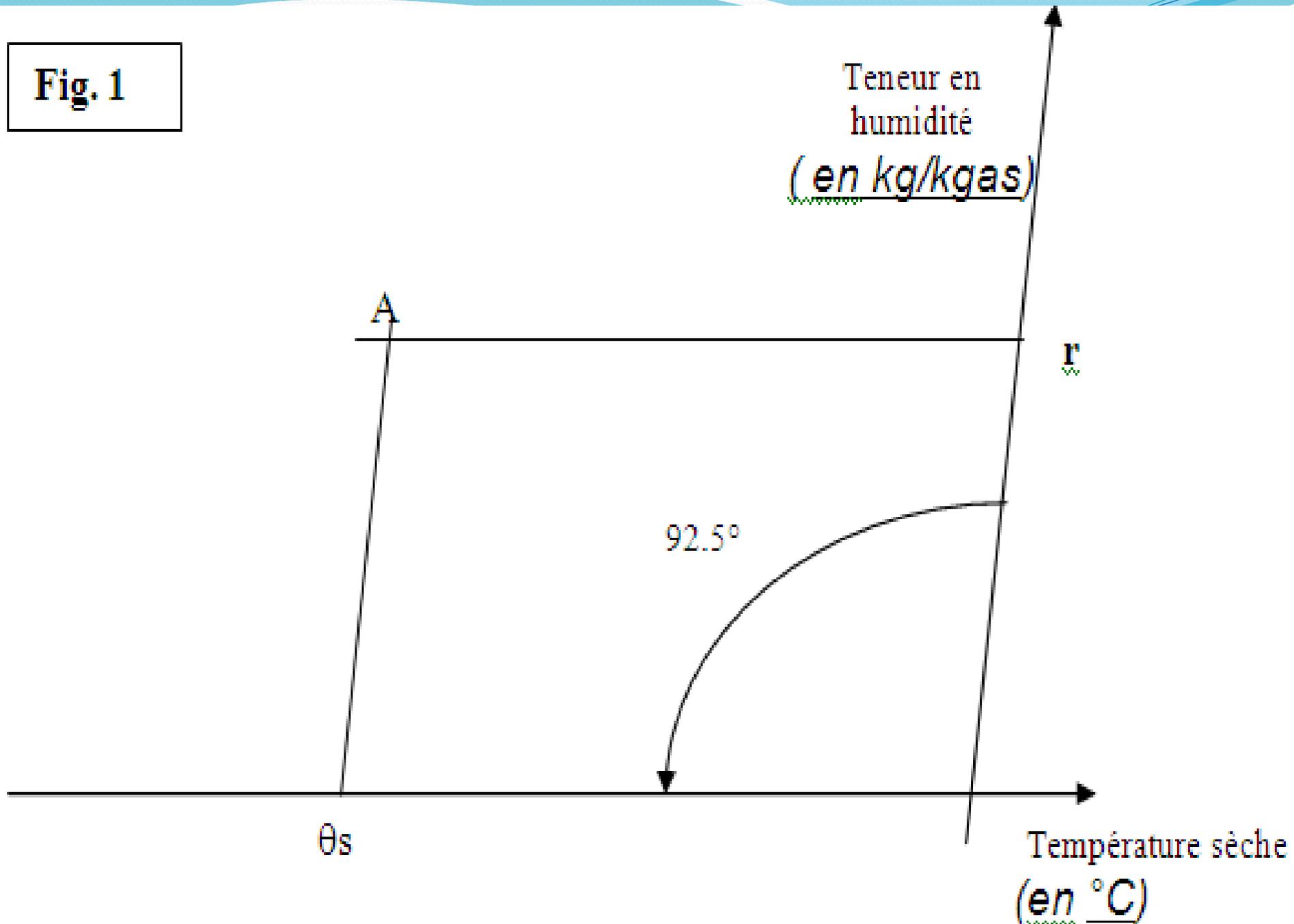


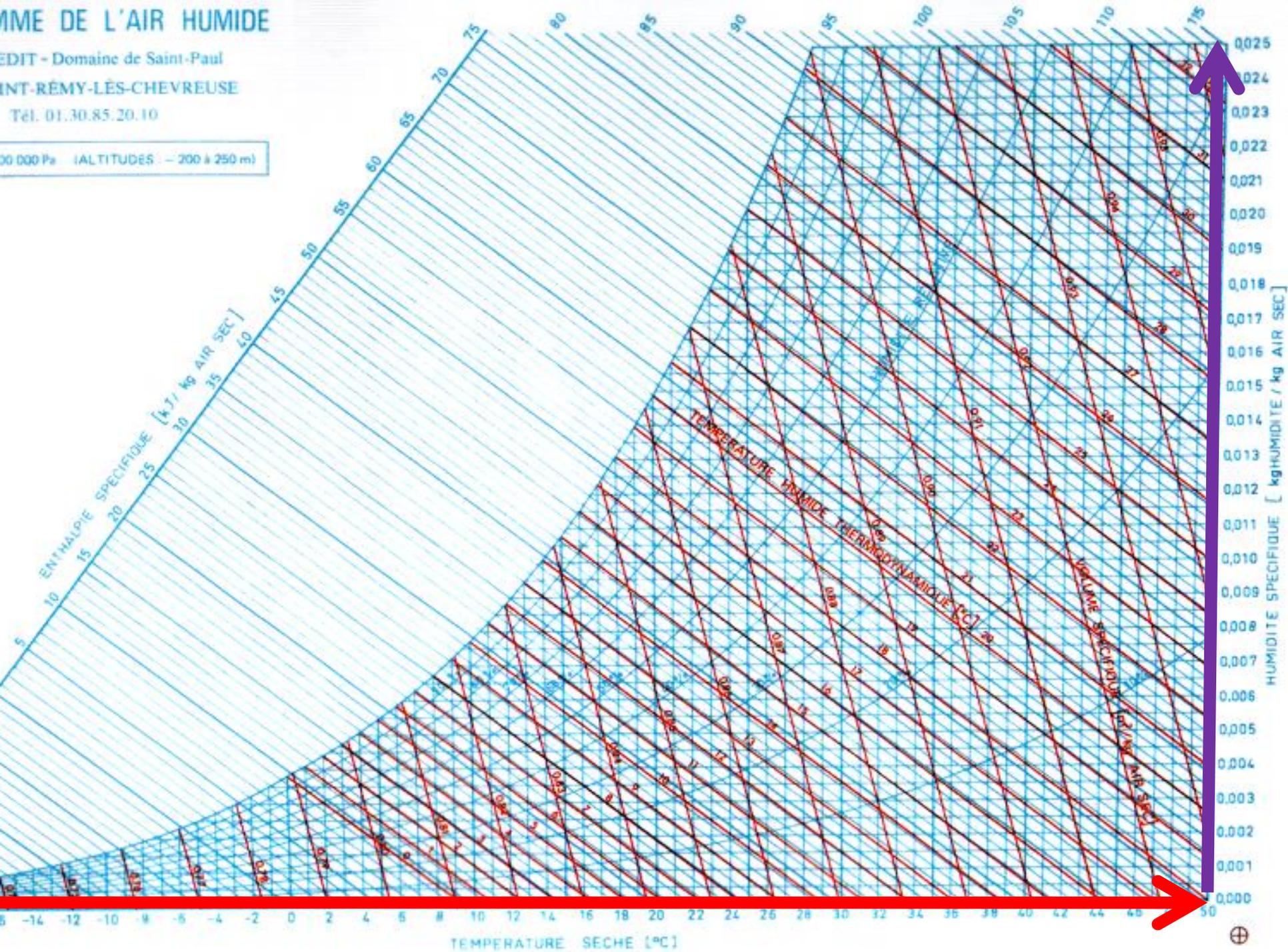
DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

EDIT - Domaine de Saint-Paul

SANT-RÉMY-LÈS-CHEVREUSE

Tél. 01.30.85.20.10

100 000 Pa (ALTITUDES : - 200 à 250 m)



c. L'humidité relative et courbe de saturation

- La teneur en humidité de l'air r ne peut pas être mesurée d'une façon simple. Elle se calcule ou se détermine à l'aide d'un diagramme psychrométrique.
- On a donc été amené à définir une autre grandeur caractéristique de l'air humide qui puisse faire l'objet d'une mesure simple et directe. C'est le degré hygrométrique ou humidité relative appelé φ et mesuré en %. C'est le rapport de la masse de vapeur contenue dans 1 kg d'air sec sur la masse maximale de vapeur pouvant être contenue dans cet air.

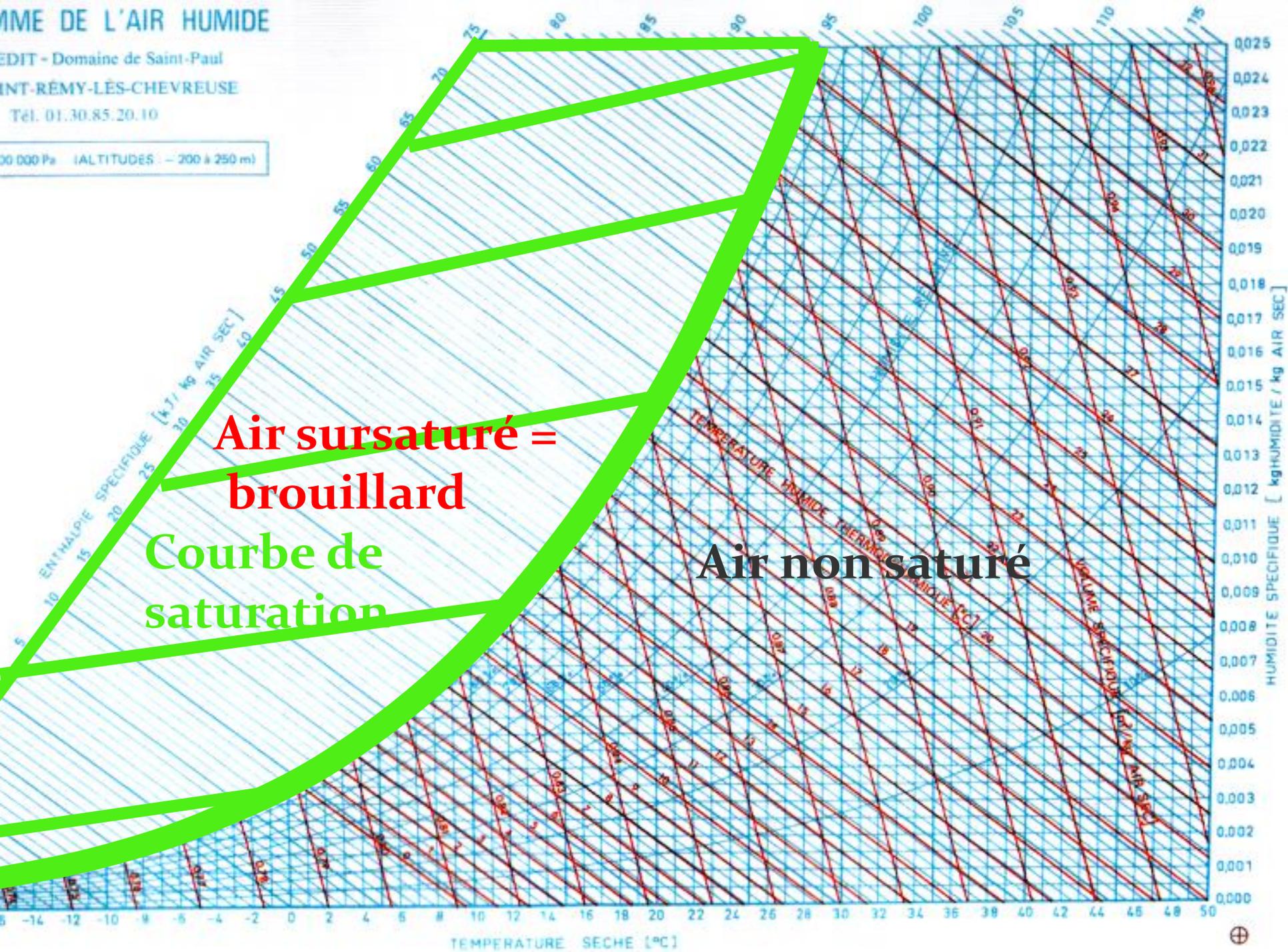
DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

EDIT - Domaine de Saint-Paul

SANT-RÉMY-LÈS-CHEVREUSE

Tél. 01.30.85.20.10

100 000 Pa (ALTITUDES : - 200 à 250 m)

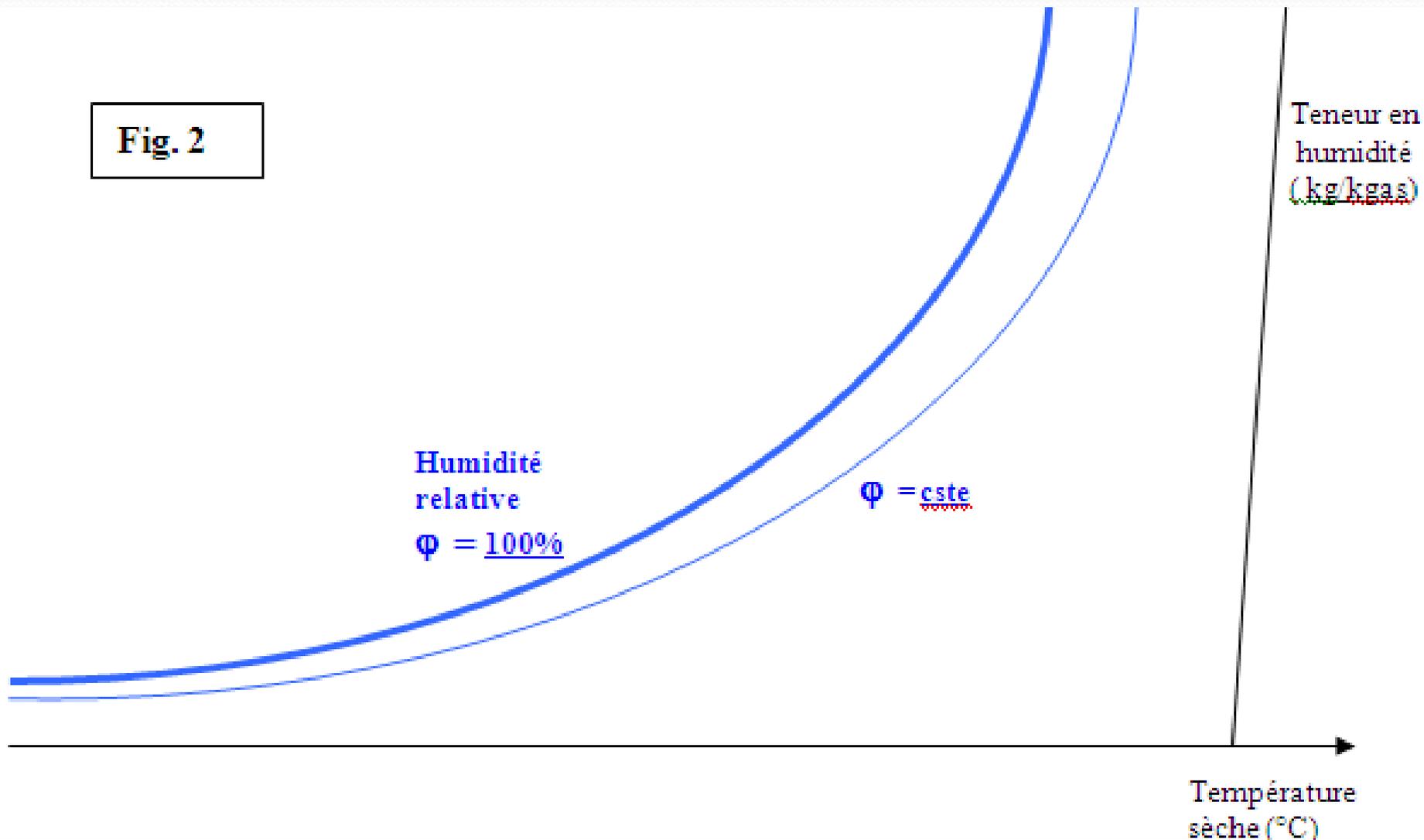


c. L'humidité relative et courbe de saturation

- Remarque : ϕ est compris entre 0 et 100 %. Si $\phi = 0$, l'air est absolument sec ; si $\phi = 100$, l'air est saturé représenté par la courbe de saturation sur le diagramme de l'air humide. Cette courbe de saturation partage le diagramme en deux régions. Au-dessus de cette courbe, l'air humide est dit sursaturé (brouillard), au-dessous l'air humide est non saturé

c. L'humidité relative et courbe de saturation

Fig. 2



Application 1:

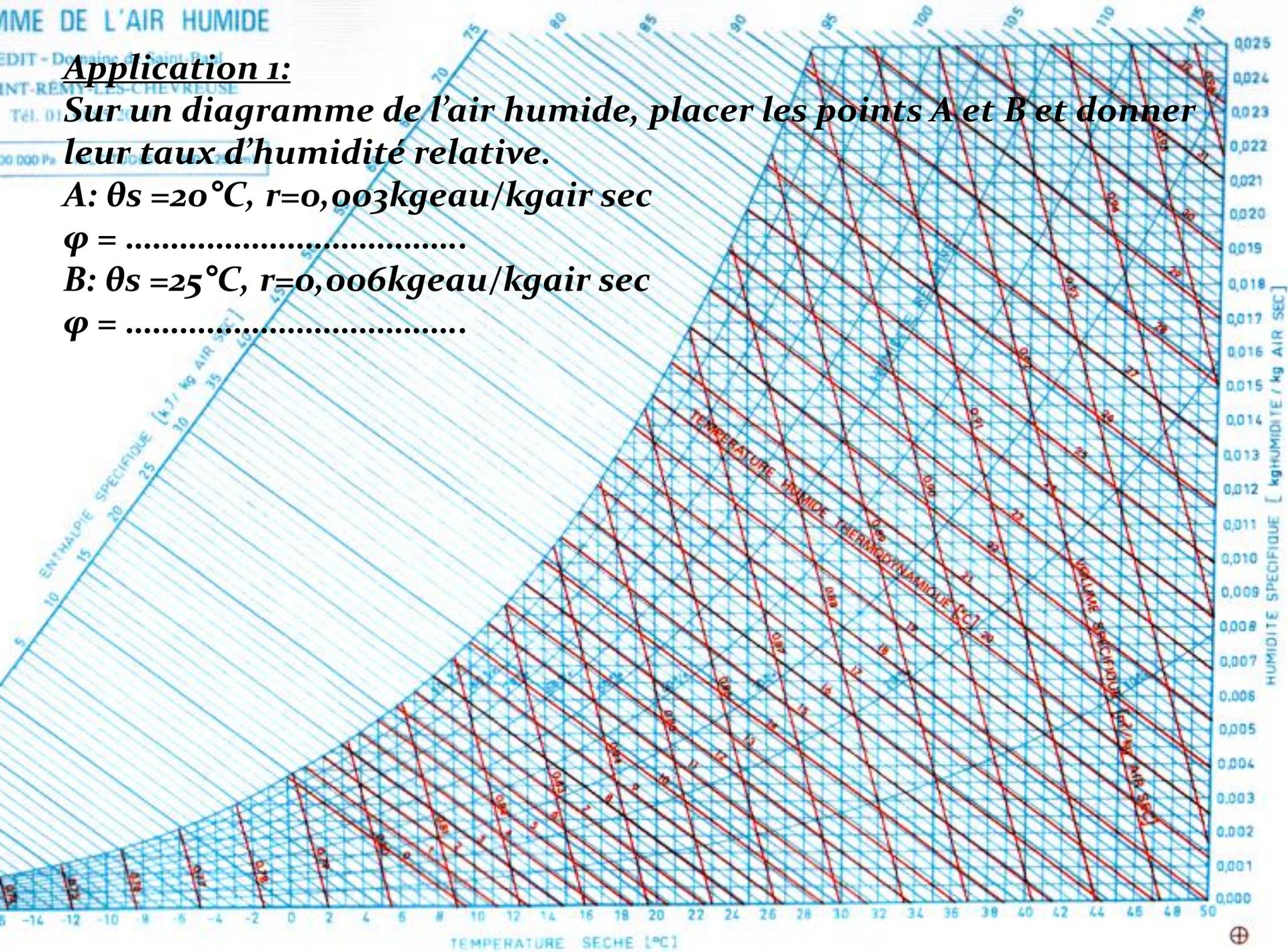
Sur un diagramme de l'air humide, placer les points A et B et donner leur taux d'humidité relative.

A: $\theta_s = 20^\circ\text{C}$, $r = 0,003 \text{ kg eau/kg air sec}$

$\varphi = \dots\dots\dots$

B: $\theta_s = 25^\circ\text{C}$, $r = 0,006 \text{ kg eau/kg air sec}$

$\varphi = \dots\dots\dots$



Application 1:

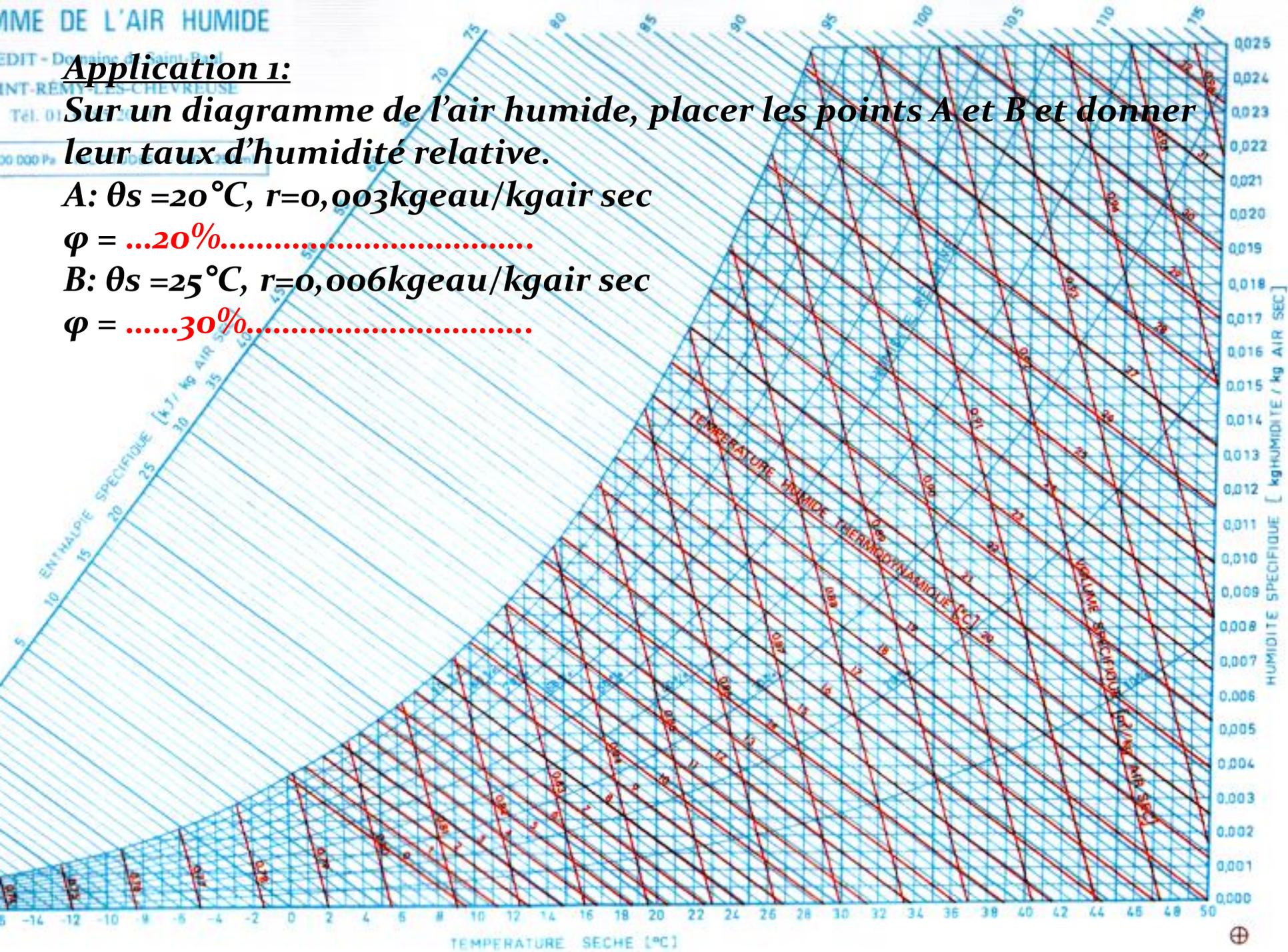
Sur un diagramme de l'air humide, placer les points A et B et donner leur taux d'humidité relative.

A: $\theta_s = 20^\circ\text{C}$, $r = 0,003 \text{ kg eau/kg air sec}$

$\phi = \dots 20\% \dots$

B: $\theta_s = 25^\circ\text{C}$, $r = 0,006 \text{ kg eau/kg air sec}$

$\phi = \dots 30\% \dots$



Application 1:

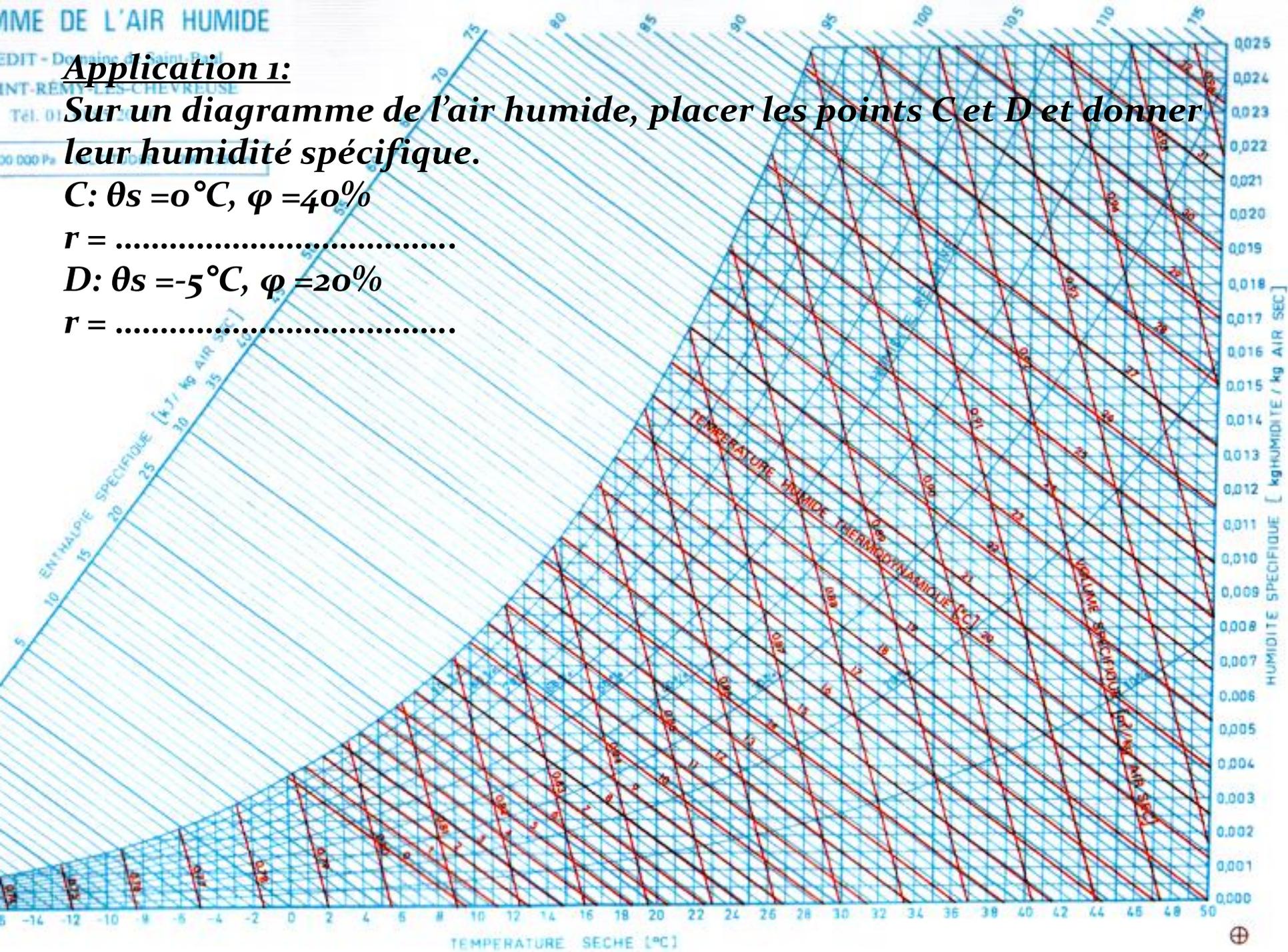
Sur un diagramme de l'air humide, placer les points C et D et donner leur humidité spécifique.

C: $\theta_s = 0^\circ\text{C}$, $\varphi = 40\%$

r =

D: $\theta_s = -5^\circ\text{C}$, $\varphi = 20\%$

r =



Application 1:

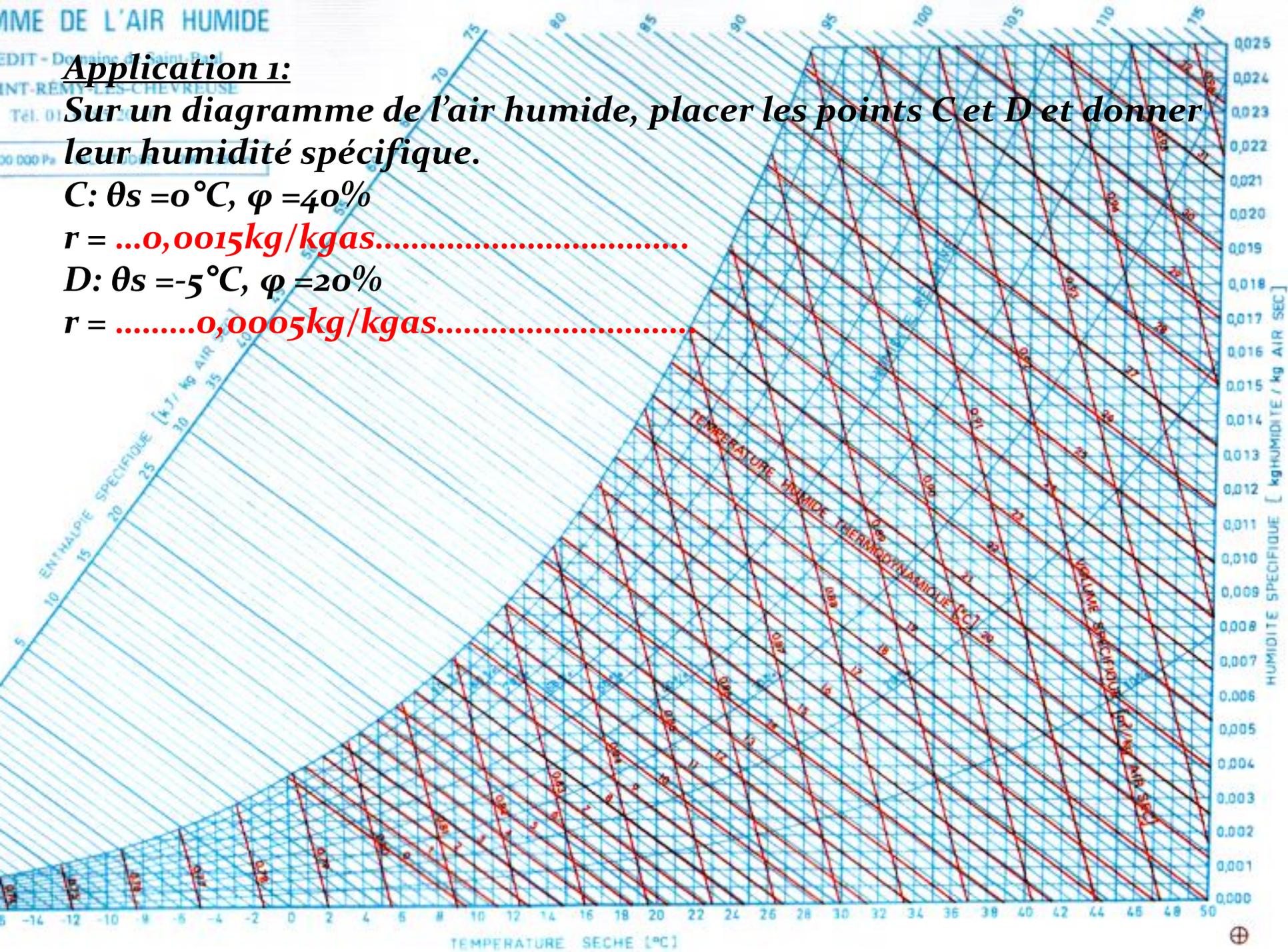
Sur un diagramme de l'air humide, placer les points C et D et donner leur humidité spécifique.

C: $\theta_s = 0^\circ\text{C}$, $\varphi = 40\%$

$r = \dots 0,0015 \text{ kg/kgas} \dots$

D: $\theta_s = -5^\circ\text{C}$, $\varphi = 20\%$

$r = \dots 0,0005 \text{ kg/kgas} \dots$



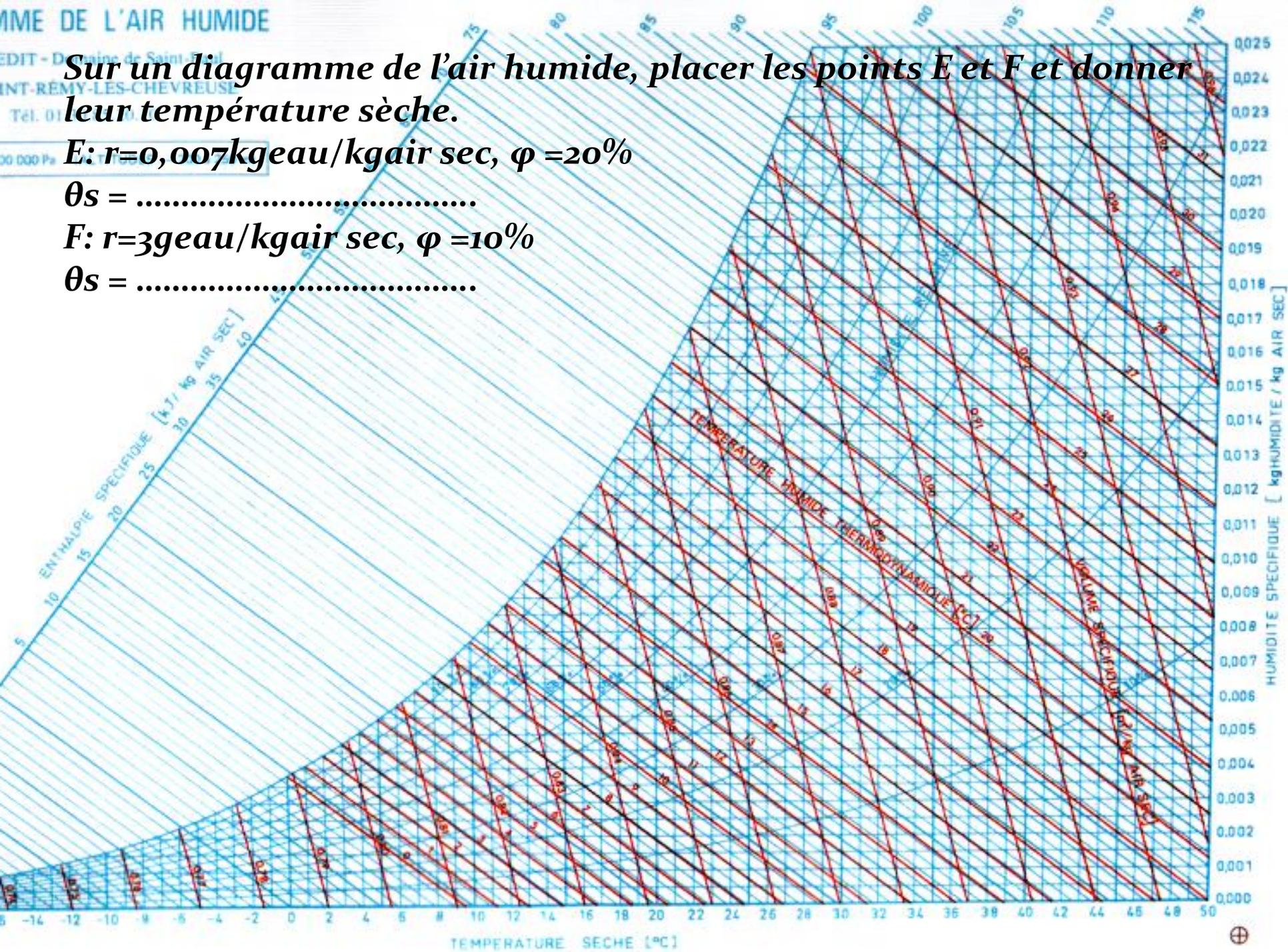
Sur un diagramme de l'air humide, placer les points E et F et donner leur température sèche.

E: $r=0,007 \text{ kg eau/kg air sec}$, $\varphi = 20\%$

$\theta_s = \dots\dots\dots$

F: $r=3 \text{ g eau/kg air sec}$, $\varphi = 10\%$

$\theta_s = \dots\dots\dots$



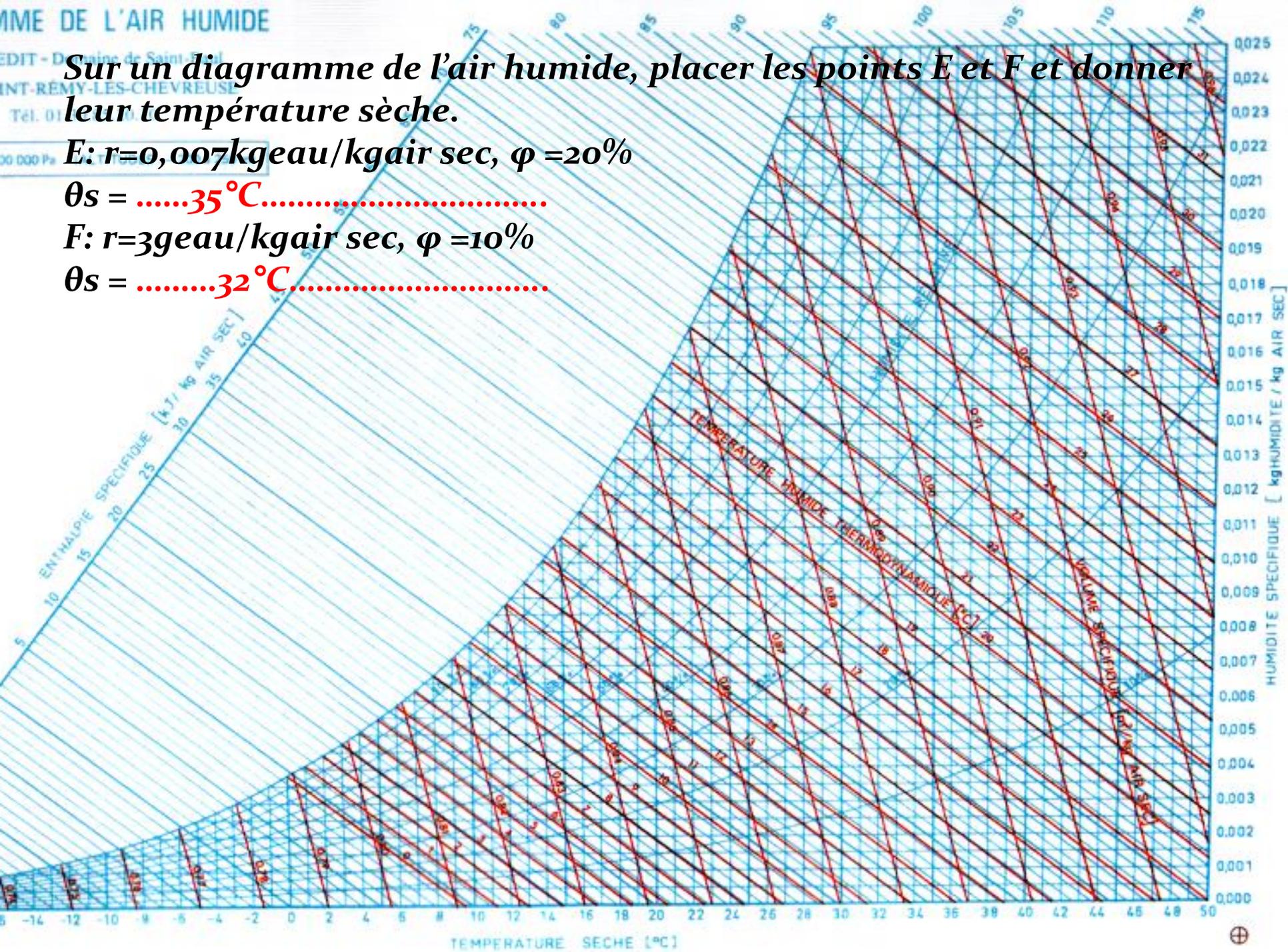
Sur un diagramme de l'air humide, placer les points E et F et donner leur température sèche.

E: $r=0,007 \text{ kg eau/kg air sec}$, $\varphi = 20\%$

$\theta_s = \dots\dots 35^\circ\text{C} \dots\dots$

F: $r=3 \text{ g eau/kg air sec}$, $\varphi = 10\%$

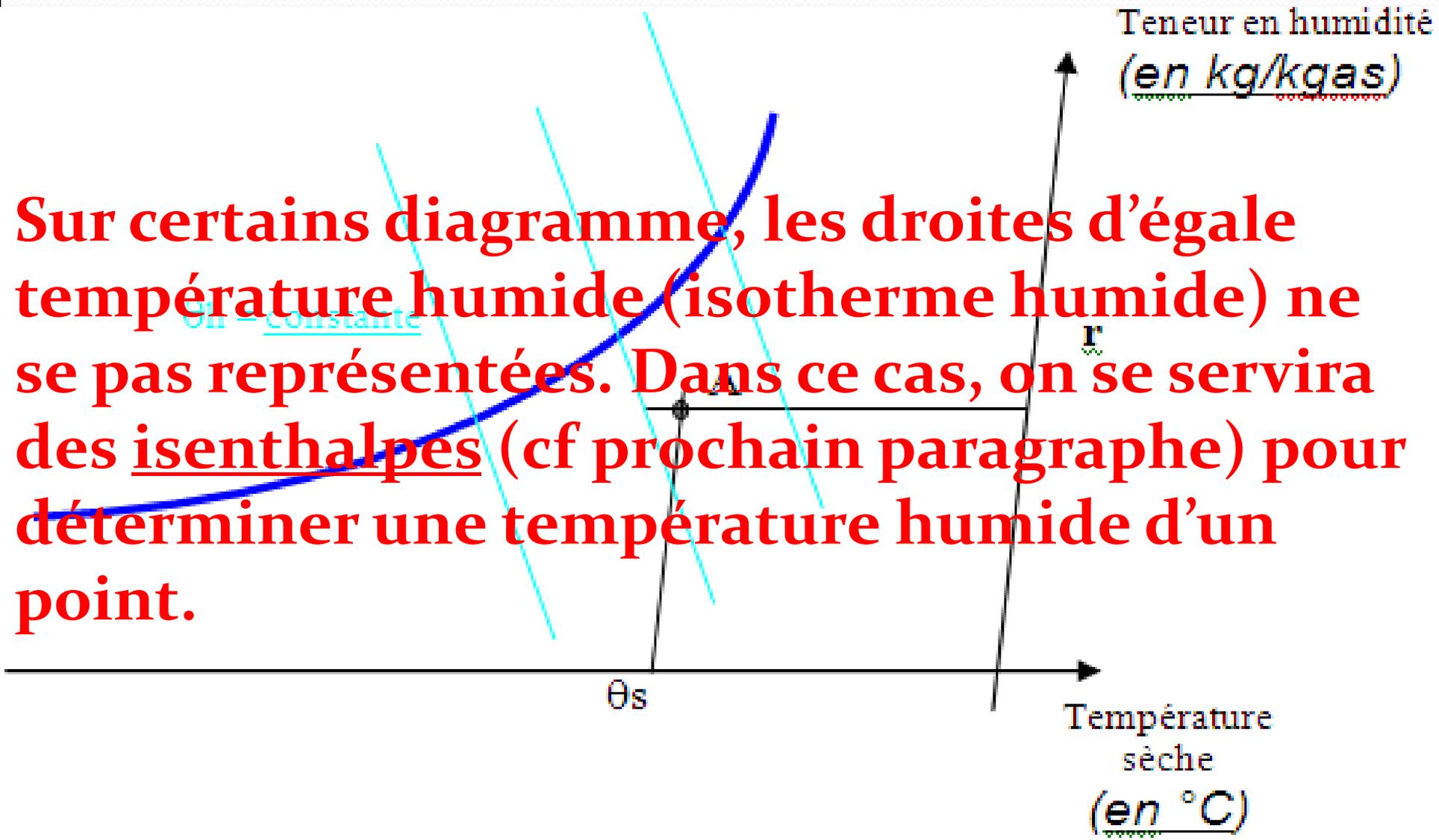
$\theta_s = \dots\dots 32^\circ\text{C} \dots\dots$



d. Température humide

- La température humide de l'air θ_h est la température indiquée par un thermomètre dont le bulbe est entouré d'un coton mouillé agité à une vitesse de 2 m/s environ et à l'abri de tout rayonnement. Un tel thermomètre est appelé thermomètre « humide ».
- Le passage d'air non saturé sur le coton mouillé du thermomètre provoque une évaporation partielle de l'eau et par conséquent, un refroidissement du bulbe du thermomètre humide.
- Remarque : Plus l'air est sec, plus l'évaporation est importante et plus l'écart entre la température sèche et la température humide de l'air est grande.

d. Température humide



t/caracté
stiques

200 à 250 m)

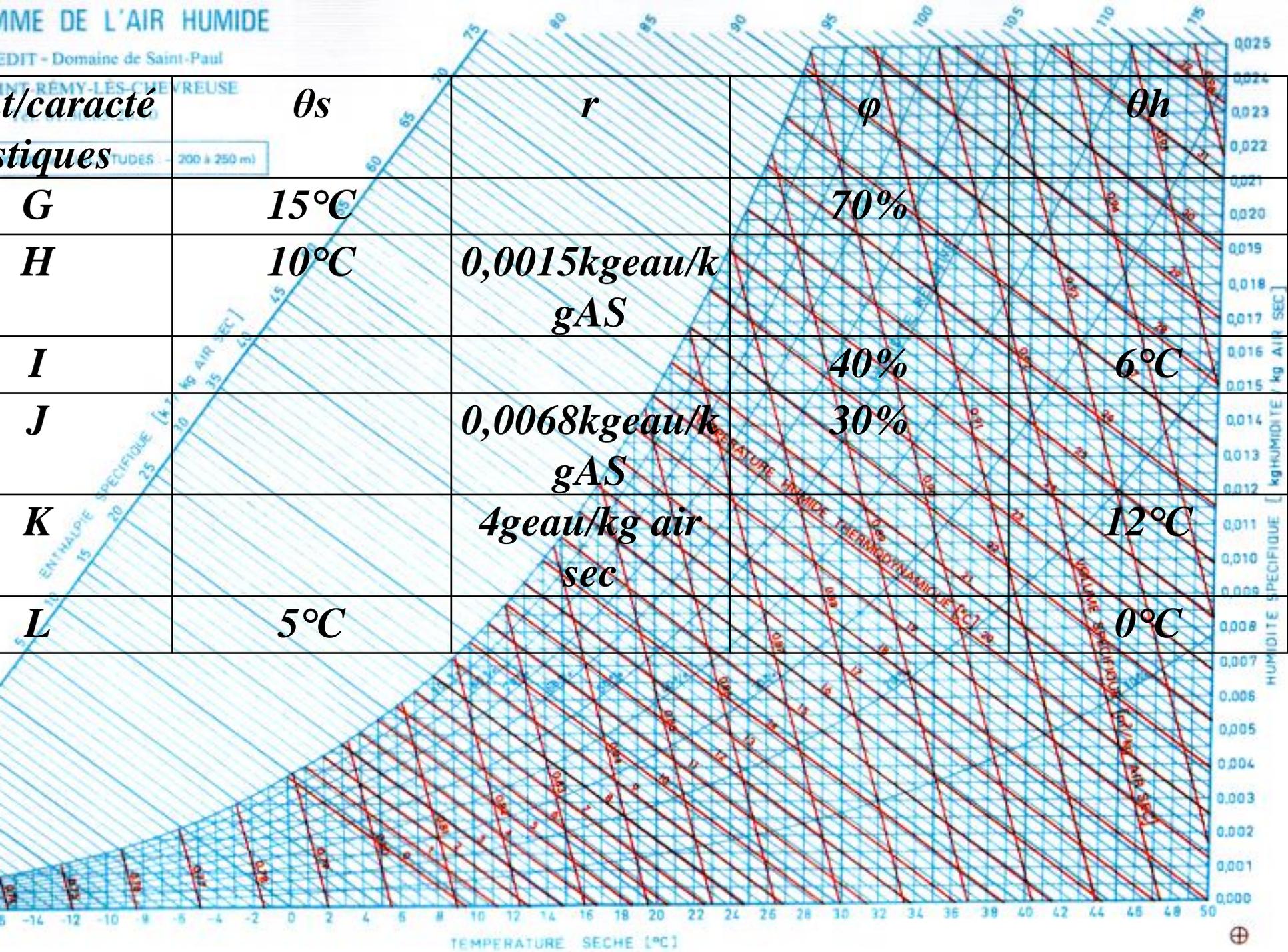
G
H
I
J
K
L

θ_s
15°C
10°C
5°C

r
0,0015kgeau/k
gAS
0,0068kgeau/k
gAS
4geau/kg air
sec

ϕ
70%
40%
30%

θ_h
6°C
12°C
0°C



<i>t/caractéristiques</i>	θ_s	r	φ	θ_h
<i>G</i>	15°C	$0,0075$	70%	12
<i>H</i>	10°C	$0,0015\text{kgeau/k}$ gAS	20%	$2,5$
<i>I</i>	12	$0,0035$	40%	6°C
<i>J</i>	$27,5$	$0,0068\text{kgeau/k}$ gAS	30%	16
<i>K</i>	24	4geau/kg air sec	22%	12°C
<i>L</i>	5°C	$0,0018$	33%	0°C

e. Température de rosée

- La température de rosée (θ_r), aussi appelé point de rosée, est la température à laquelle l'air humide que l'on refroidit lentement arrive à saturation ($\varphi = 100\%$). C'est la température à partir de laquelle on voit les premières gouttes de condensation se former.
- La connaissance de la température de rosée est très importante, car elle permet de prévoir les risques de condensation au cours de l'évolution de l'air humide.

e. Température de rosée

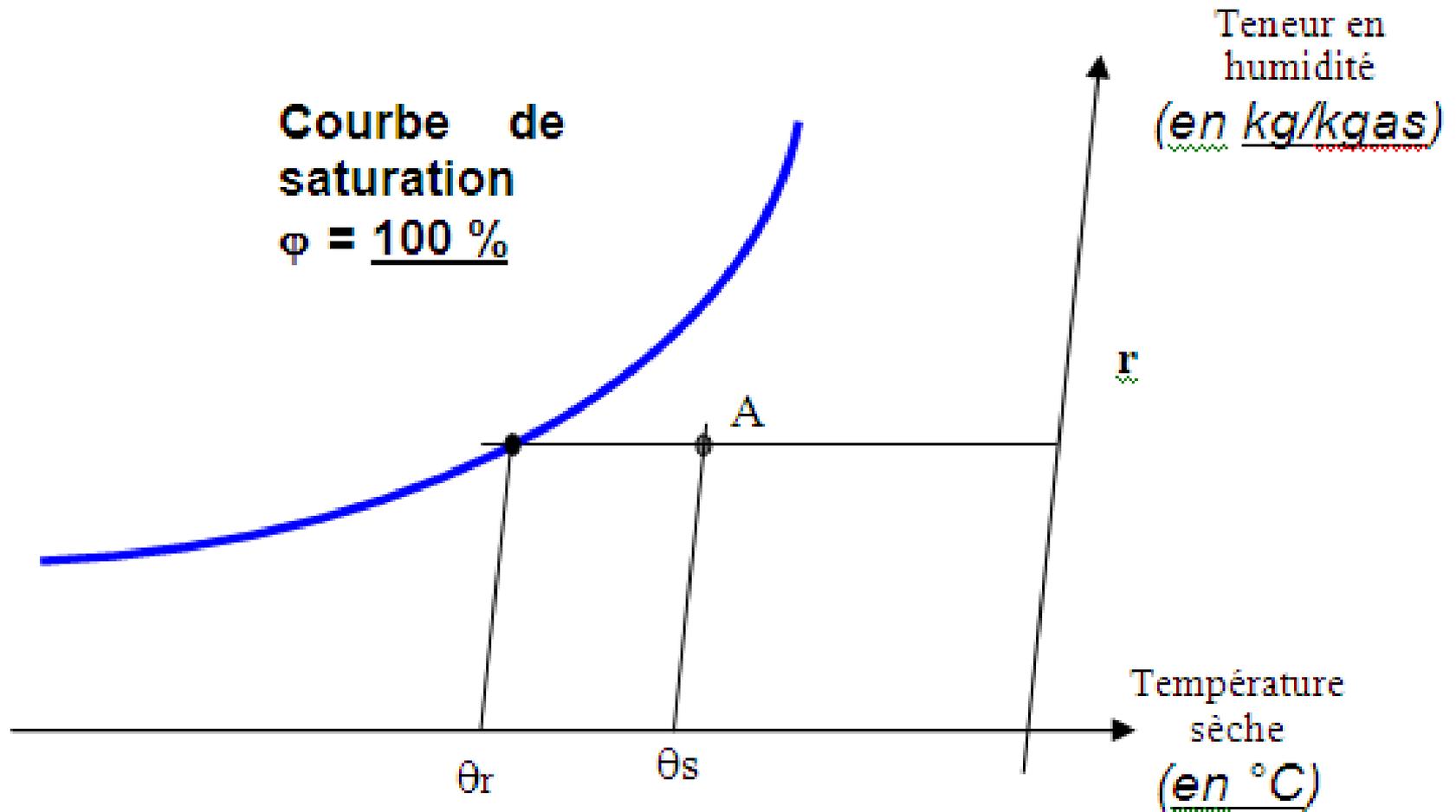


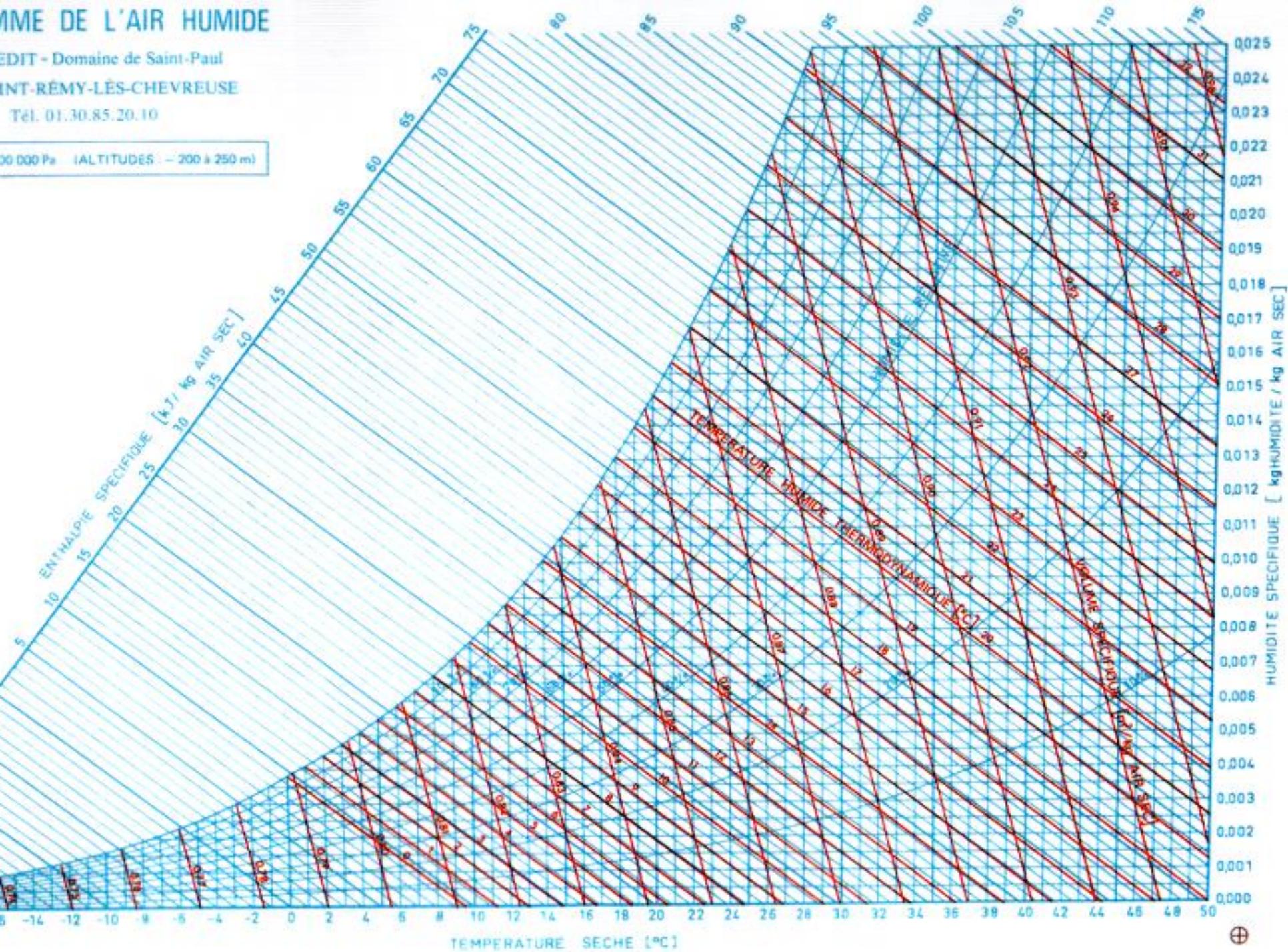
DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

EDIT - Domaine de Saint-Paul

SANT-RÉMY-LÈS-CHEVREUSE

Tél. 01.30.85.20.10

100 000 Pa (ALTITUDES : - 200 à 250 m)

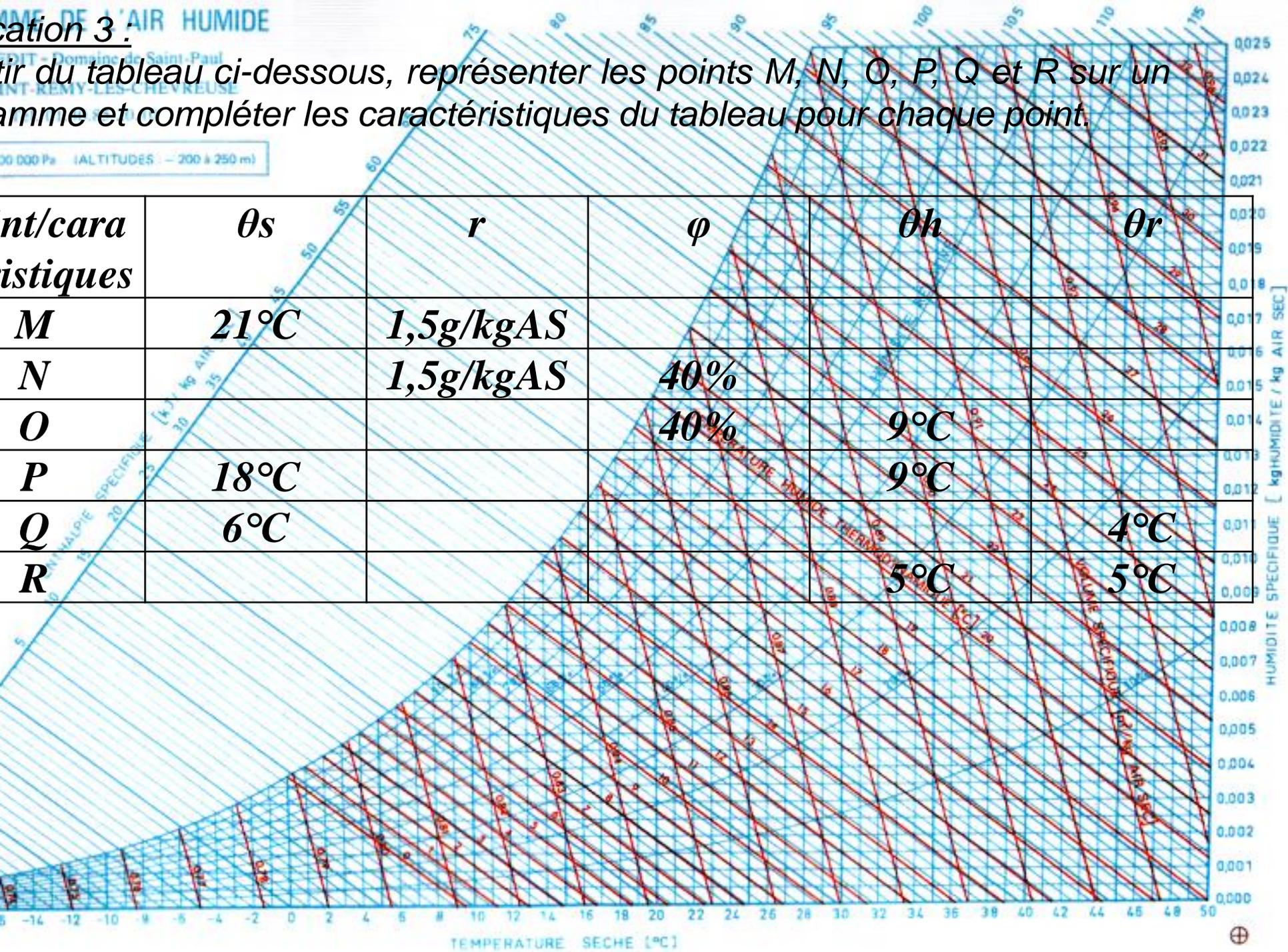


Exercice 3 :

À partir du tableau ci-dessous, représenter les points M, N, O, P, Q et R sur un diagramme et compléter les caractéristiques du tableau pour chaque point.

100 000 Pa (ALTITUDES - 200 à 250 m)

Point/caractéristiques	θ_s	r	ϕ	θ_h	θ_r
M	21°C	1,5g/kgAS			
N		1,5g/kgAS	40%		
O			40%	9°C	
P	18°C			9°C	
Q	6°C				4°C
R				5°C	5°C



Application 3 :

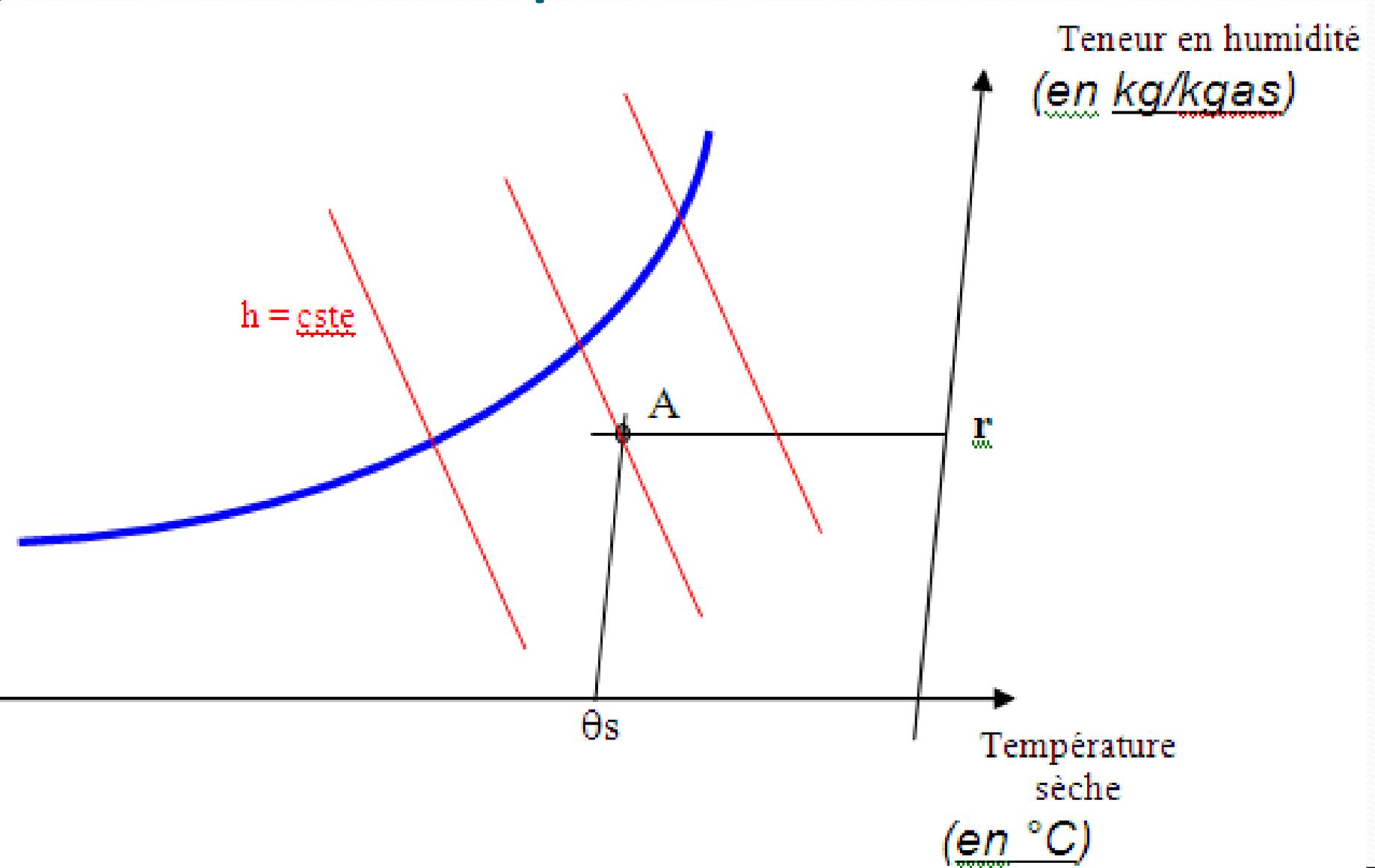
A partir du tableau ci-dessous, représenter les points M, N, O, P, Q et R sur un diagramme et compléter les caractéristiques du tableau pour chaque point.

	θ_s	r	φ	θ_h	θ_r
<i>M</i>	<i>21°C</i>	<i>1,5g/kgAS</i>	<i>10%</i>	<i>8°C</i>	<i>-11°C</i>
<i>N</i>	<i>0°C</i>	<i>1,5g/kgAS</i>	<i>40%</i>	<i>-3,5°C</i>	<i>-11°C</i>
<i>O</i>	<i>15,5°C</i>	<i>0,0045</i>	<i>40%</i>	<i>9°C</i>	<i>2,5°C</i>
<i>P</i>	<i>18°C</i>	<i>0,0035</i>	<i>28%</i>	<i>9°C</i>	<i>-1°C</i>
<i>Q</i>	<i>6°C</i>	<i>0,005</i>	<i>85%</i>	<i>5°C</i>	<i>4°C</i>
<i>R</i>	<i>5°C</i>	<i>0,0055</i>	<i>100%</i>	<i>5°C</i>	<i>5°C</i>

f. L'enthalpie

- Tout corps contient une certaine quantité de chaleur si sa température est supérieure au zéro absolue ($-273,15^{\circ}\text{C}$). On appelle cette quantité de chaleur totale enthalpie : h
- Définition : l'enthalpie désigne la quantité de chaleur totale que contient une certaine masse de matière se trouvant dans un état physique bien défini.
- Unité : La chaleur étant une forme d'énergie, l'unité d'enthalpie est donc le joule. J . On ramène cette valeur au kilogramme d'air sec. Donc kJ / kg .
- On représente alors sur le diagramme des droites de même enthalpie : les isenthalpes.

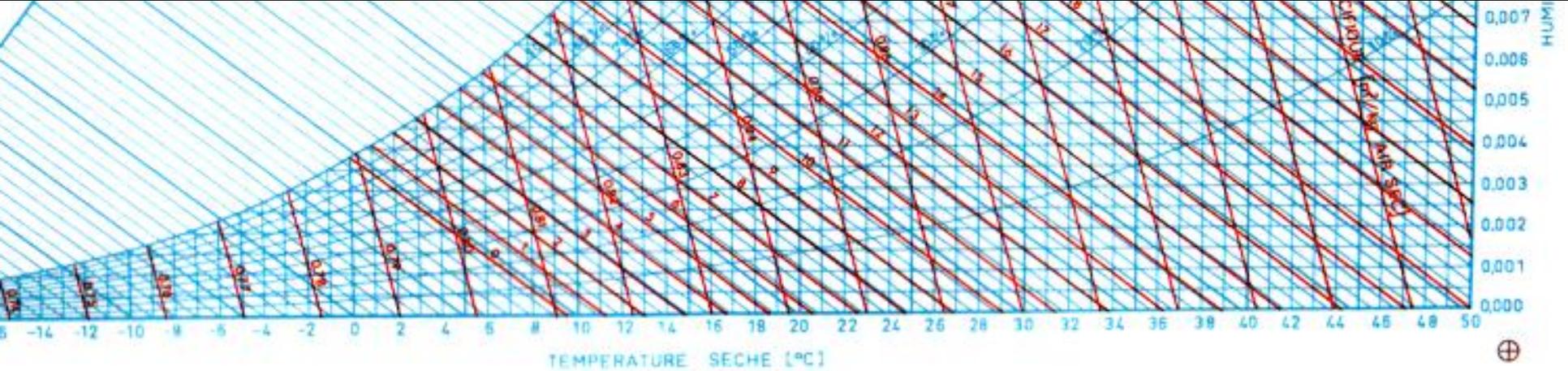
f. L'enthalpie



Question 4 :

Partir du tableau ci-dessous, représenter les points S, T, U, V, W, X et Y sur un diagramme et compléter les caractéristiques du tableau pour chaque point.

Point	θ_s	r	ϕ	θ_h	θ_r	h
S	18°C	1,5g/kgas				
T		5g/kgas		13°C		
U			40%		5°C	
V	3,5°C				1°C	
W			70%	8°C		
X					5°C	25kJ/kgas
Y		10,5g/kgas				56kJ/kgas



Application 4 :

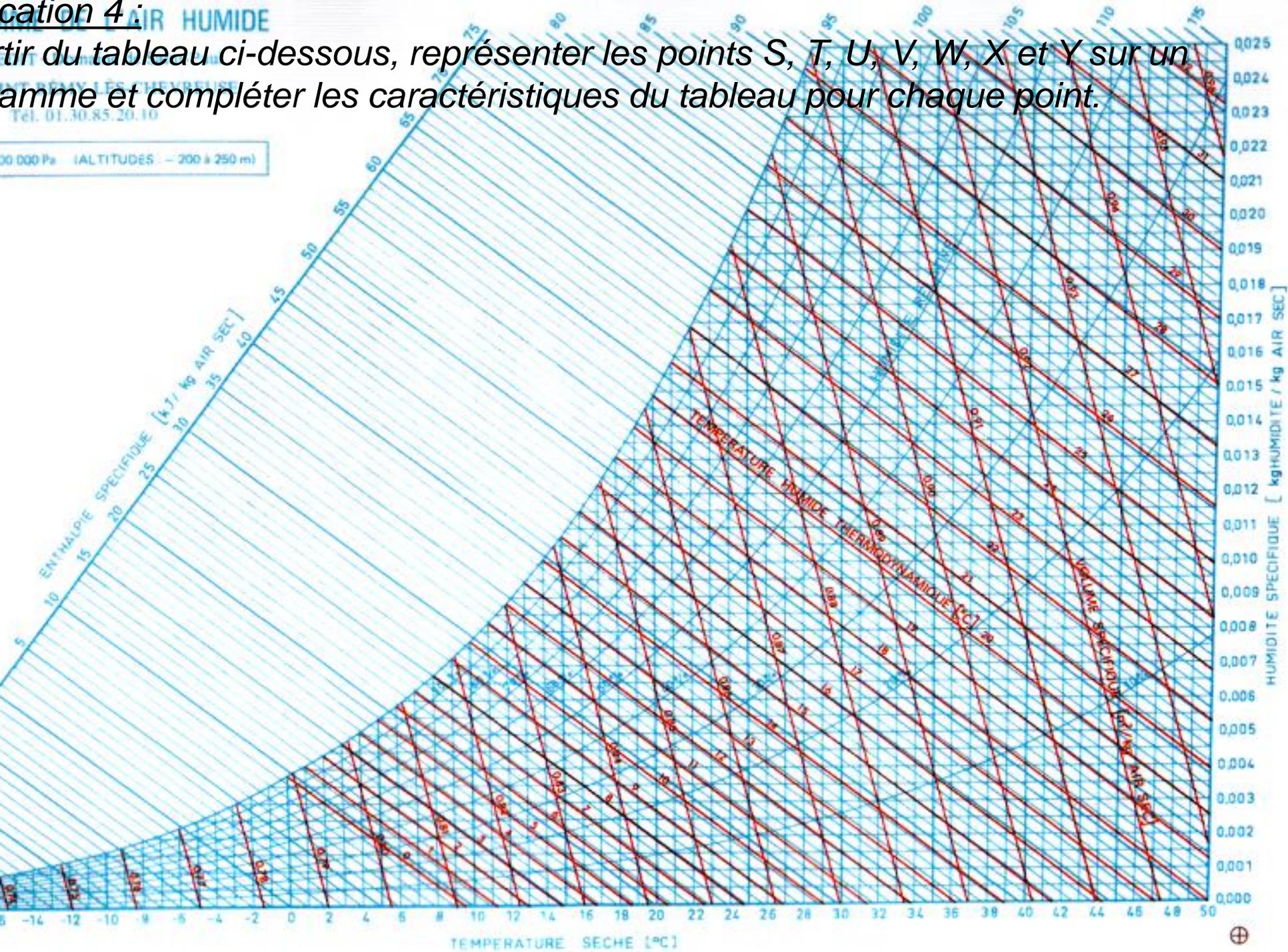
A partir du tableau ci-dessous, représenter les points S, T, U, V, W, X et Y sur un diagramme et compléter les caractéristiques du tableau pour chaque point.

Point/caractéristiques	θ_s	r	φ	θ_h	θ_r	h
S	18°C	1,5g/kgas				
T		5g/kgas		13°C		
U			40%		5°C	
V	3,5°C				1°C	
W			70%	8°C		
X					5°C	25kJ/kgas
Y		10,5g/kgas				56kJ/kgas

Question 4 : AIR HUMIDE

À partir du tableau ci-dessous, représenter les points S, T, U, V, W, X et Y sur un diagramme et compléter les caractéristiques du tableau pour chaque point.

100 000 Pa (ALTITUDES : - 200 à 250 m)



Question 4 :

Partir du tableau ci-dessous, représenter les points S, T, U, V, W, X et Y sur un diagramme et compléter les caractéristiques du tableau pour chaque point.

Point/caractéristiques	θ_s	r	φ	θ_h	θ_r	h
S	18°C	1,5g/kgas	12%	6,5°C	-11°C	22kJ/kgas
T	24°C	5g/kgas	27%	13°C	4°C	37kJ/kgas
U	19°C	0,0055	40%	11,5°C	5°C	33kJ/kgas
V	3,5°C	0,004	82%	2,5°C	1°C	14kJ/kgas
W	10,5°C	0,0056	70%	8°C	5,5°C	25kJ/kgas
X	11°C	0,0055	66%	8°C	5°C	25kJ/kgas
Y	29°C	10,5g/kgas	42%	19,5°C	14,5°C	56kJ/kgas

g. Le volume spécifique

- C'est le volume qu'occupe un kilogramme d'air en fonction de la température. Son symbole est V_s , exprimé en mètre cube par kilogramme d'air sec : m^3 / kg_{as} .
- Ce volume varie et va être important pour nous car il nous permettra de connaître la masse transportée par les ventilateurs
- Remarque : Le volume spécifique est l'inverse de la masse volumique _____. Pour retrouver la masse volumique (ρ) à partir de V_s , il faudra prendre son inverse, autrement dit : $\rho = \underline{1/V_s}$ et inversement $V_s = \underline{1/\rho}$

g. Le volume spécifique

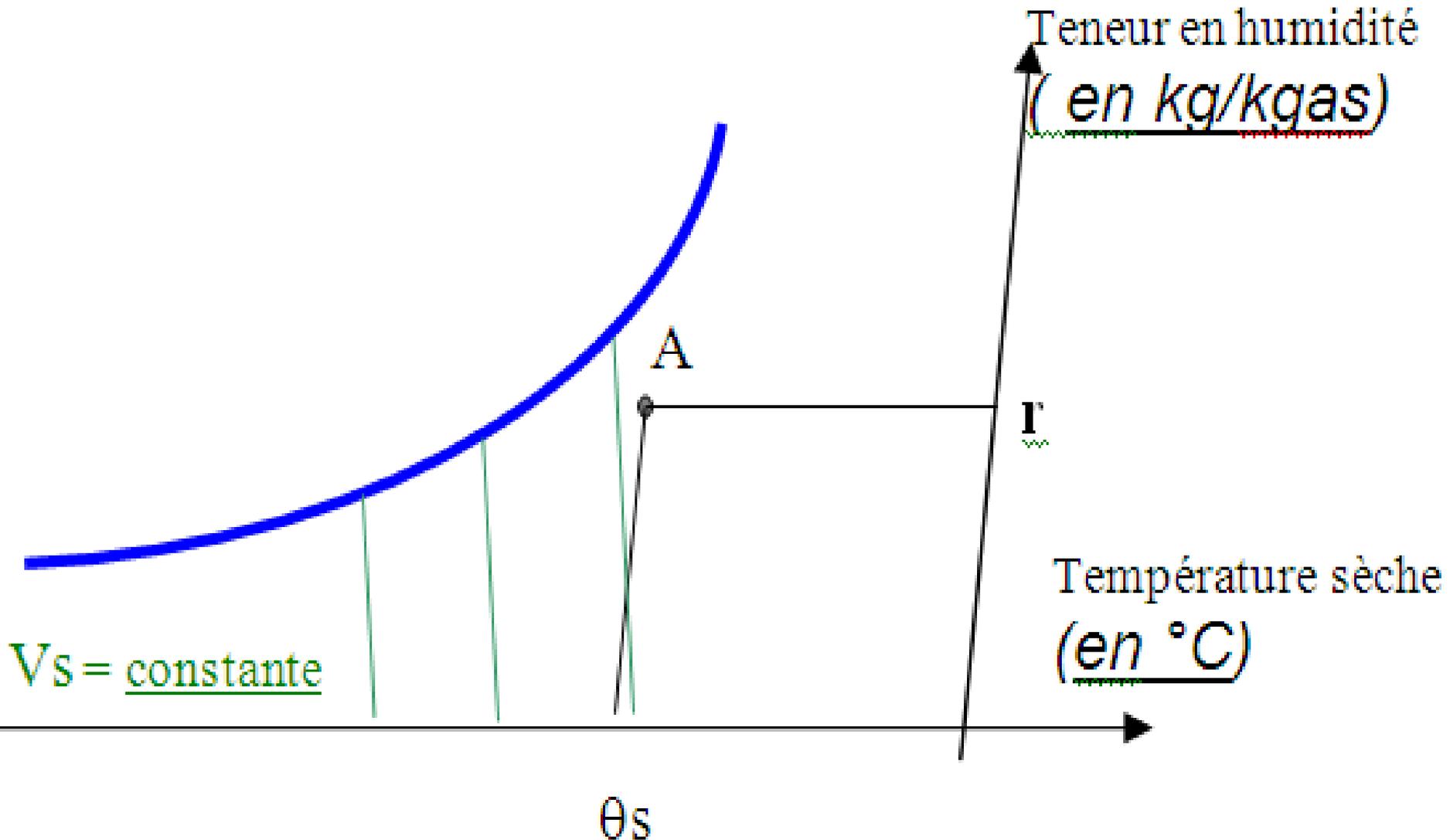


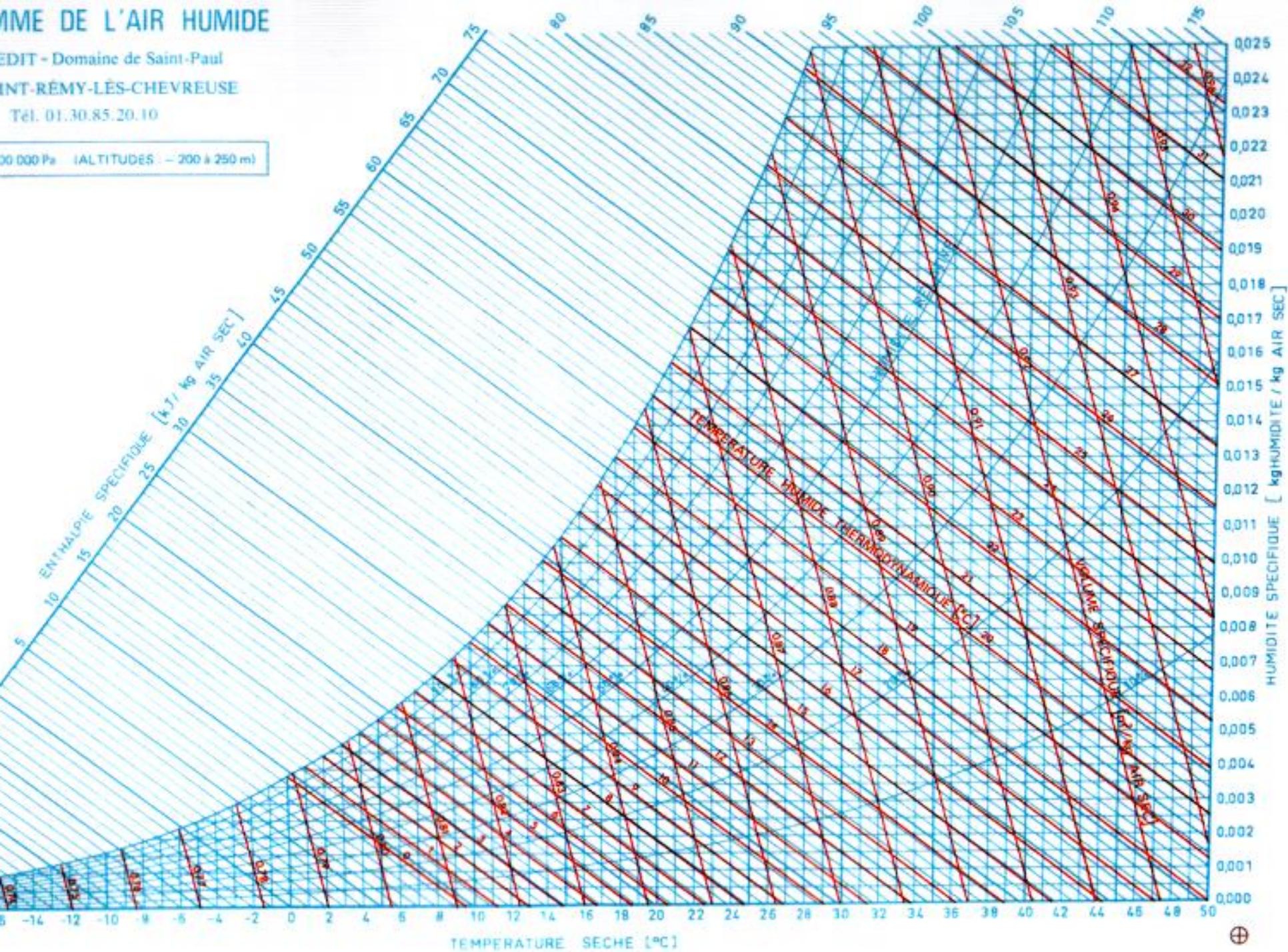
DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

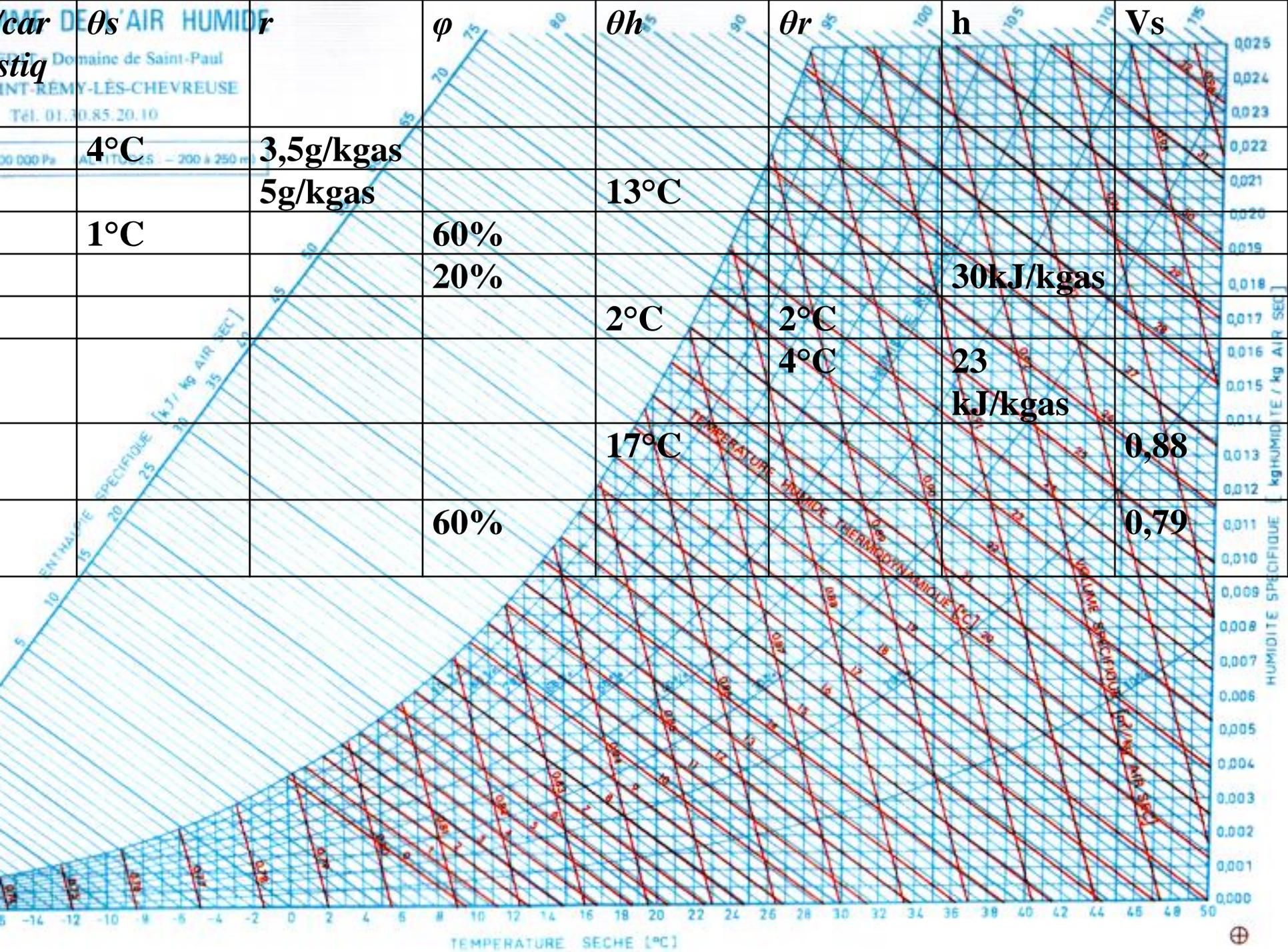
EDIT - Domaine de Saint-Paul

SANT-RÉMY-LÈS-CHEVREUSE

Tél. 01.30.85.20.10

100 000 Pa (ALTITUDES : - 200 à 250 m)





<i>Point/caractéristiques</i>	θ_s	r	φ	θ_h	θ_r	h	V_s
1	4°C	3,5g/kgas					
2		5g/kgas		13°C			
3	1°C		60%				
4			20%			30kJ/kgas	
5				2°C	2°C		
6					4°C	23 kJ/kgas	
7				17°C			0,88
8			60%				0,79

<i>Point/caractéristiques</i>	θ_s	r	φ	θ_h	θ_r	h	V_s
1	4°C	3,5g/kgas	70%	2°C	-1°C	13	0,8
2	24°C	5g/kgas	27%	13°C	4°C	37	0,86
3	1°C	0,0025	60%	-1°C	-5°C	7	0,79
4	21,5°C	0,0032	20%	10,5°C	-2°C	30kJ/kgas	0,851
5	2°C	0,0045	100%	2°C	2°C	13	0,796
6	10°C	0,005	63%	7°C	4°C	23 kJ/kgas	0,82
7	30°C	0,0068	26%	17°C	8,5°C	48	0,88
8	1°C	0,0025	60%	-1°C	-5°C	7	0,79



Application

	θ_s en °C	r kgeau/kgas	φ en %	θ_h en °C	θ_r en °C	h en kJ/kgas	V_s en m ³ /kg
A	<u>2</u>	0,004	<u>90</u>	1,5	0,5	12	0,795
B	<u>10</u>	0,0015	20	2,5	<u>-11</u>	14	0,815
C	20	<u>0,012</u>	82	17,8	16,5	<u>51</u>	0,858
D	30	0,008	<u>30</u>	<u>18</u>	10,5	51	0,882
E	34	<u>0,01</u>	30	20,7	14	<u>60</u>	0,896
F	14	0,004	<u>40</u>	7,5	0,5	24	<u>0,83</u>
G	21	0,0078	<u>50</u>	14,5	10,3	<u>41</u>	0,855
H	<u>25</u>	<u>0,012</u>	60	19,5	16,5	56	0,873
I	16,8	0,006	50	<u>11</u>	6,2	32	<u>0,84</u>
J	<u>28</u>	<u>0,006</u>	25	15,5	6,2	43,5	0,873
K	38	0,017	<u>40</u>	26,2	22	<u>82</u>	0,918
L	-5	0,0025	100	-5	<u>-5</u>	<u>1</u>	0,773
M	22	0,002	13	<u>9</u>	-7,5	27	<u>0,85</u>