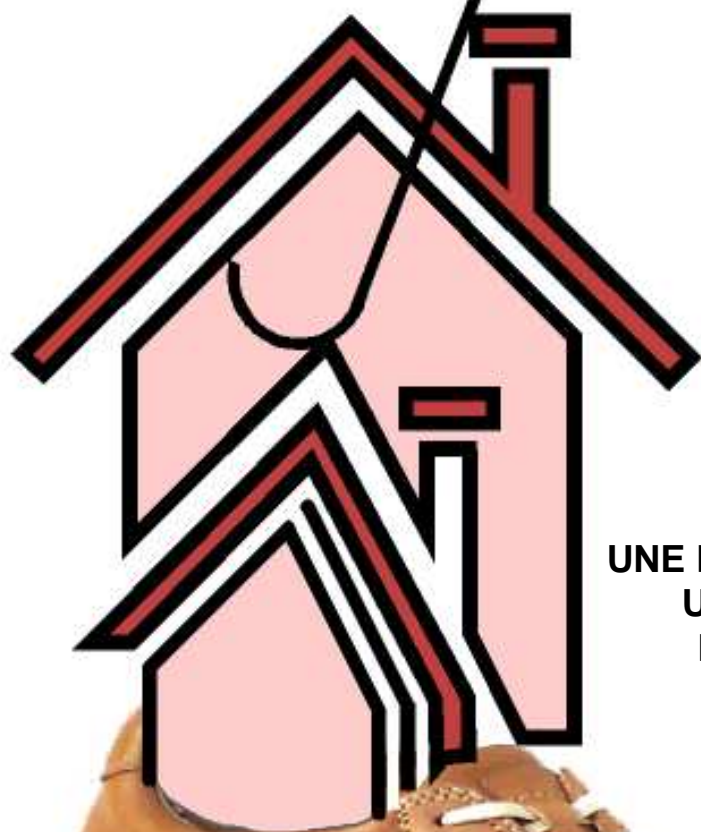


L'AIR HUMIDE

par
PALHEIRE JEAN - YVES



**UNE BONNE MAISON DOIT AVOIR
UN BON CHAPEAU ET DE
BONNES CHAUSSURES
(bon sens populaire)**



SOMMAIRE

1. DESORDRES CAUSES PAR L'HUMIDITE	3
1.1 - EFFLORESCENCES	3
1.2 - CRYPTO-EFFLORESCENCES	3
1.3 - SALPETRE (NITRATE DE CALCIUM) OU SEL DE PIERRE	3
1.4 - CLOQUAGE DES ENDUITS ET PEINTURES	4
1.5 - CORROSION DES ARMATURES DU BETON ARME ET ECLATEMENT	5
1.6 - ATTEINTE SUR LE PLAN DU CONFORT	5
1.7 - DIMINUTION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES DES MATERIAUX	6
2. ORIGINE DE L'HUMIDITE	6
2.1 - EAU VENANT DU CIEL (PLUIE, GRELE, NEIGE)	6
2.1.1 RUISSELLEMENT ET COLONNE D'EAU	6
2.1.2 - RUISSELLEMENT ET VENT	7
2.1.2.1 - En couverture	7
2.1.2.2 - En partie verticale	7
2.2 - EAU VENANT DU SOL	8
2.2.1 - MODES DE PROGRESSION DE L'EAU DU SOL DANS LES PAROIS	8
a - par gravité	8
b - par capillarité	9
CAPILLARITE ET EVAPORATION	11
LES MATERIAUX CAPILLAIRES	12
LES MATERIAUX NON CAPILLAIRES	12
2.3 EAU VENANT DES CANALISATIONS	13
2.3.1 RESEAUX SOUS PRESSION	13
2.3.2 RESEAUX GRAVITAIRES	13
3. LUTTE CONTRE L'EAU VENANT DU CIEL ET L'EAU VENANT DU SOL	14
3.1 - CAS DE L'EAU VENANT DU CIEL	14
3.2 - CAS DE L'EAU VENANT DU SOL	14
3.2.1 - LE DRAINAGE	15
3.2.2 - LA COUPURE DE CAPILLARITE	18
4. EAU VENANT DE L'AIR (CONDENSATION)	20
4.1 - PARTICULARITES DE L'AIR HUMIDE	20
4.1.1 - LA MASSE DE VAPEUR D'EAU CONTENU DANS L'AIR	20

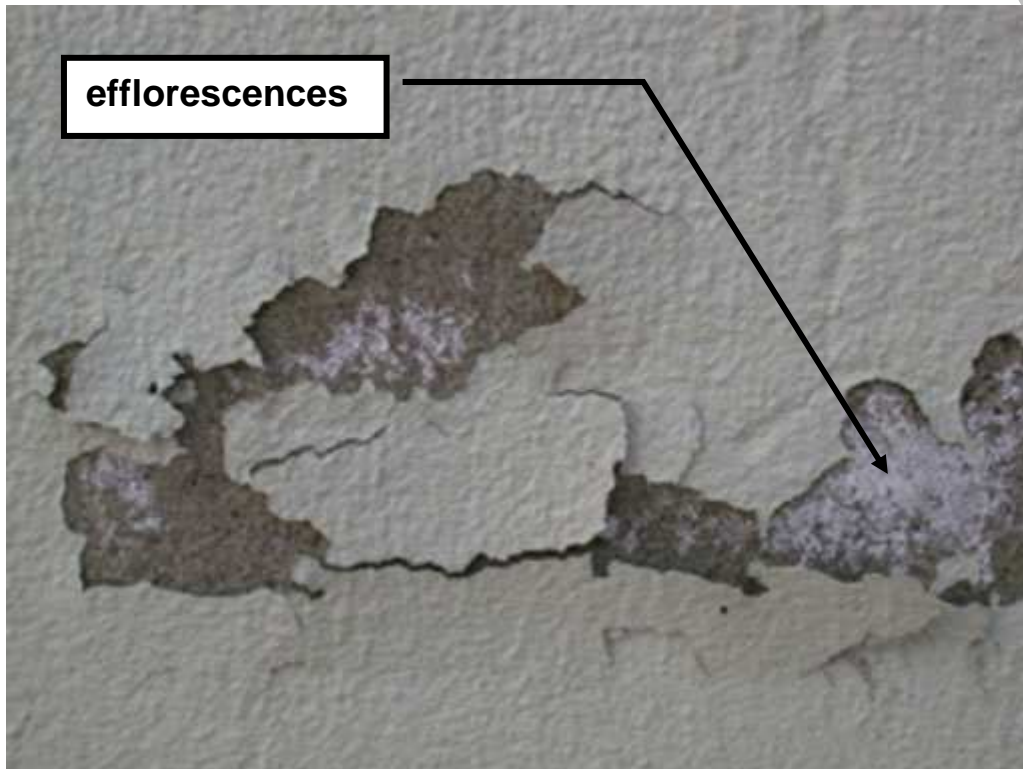
a - Humidité absolue (W) comme Water	20
b - Humidité relative (HR)	20
4.1.2 - LA PRESSION DE VAPEUR D'EAU (Pv)	21
4.2 - TABLEAU : TEMPERATURE / PRESSION DE SATURATION / TENEUR MAXI EN VAPEUR D'EAU	22
4.3 - DIAGRAMME DE MOLLIER	23
CAS N° 1	23
CAS N° 2 - CONDITIONS " HIVER "	25
CAS N° 3 - CONDITIONS " PRINTEMPS – AIR DOUX ET HUMIDE "	27
4.4 - SOURCES DE VAPEUR D'EAU DANS LES BATIMENTS	29
4.5 - MIGRATION DE LA VAPEUR D'EAU	30
4.5.1- CAS D'UNE PAROI EN MATERIAU HOMOGENE EN RESISTANCE A LA DIFFUSION DE LA VAPEUR	30
4.5.2- CAS D'UNE PAROI EN MATERIAU HETEROGENE EN RESISTANCE A LA DIFFUSION DE LA VAPEUR	30
4.5.3- LE PARE-VAPEUR	35
4.5.4- ISOLATION PAR L'EXTERIEUR	37
5. SYNTHESE	38

JY PALHEIRE AMIENS

1. Désordres causés par l'humidité

1.1 - Efflorescences

Dépôts de sel par cristallisation (carbonates ou sulfates) en surface du parement (la zone d'évaporation se situe en surface) Pas de détérioration du matériau à proprement dit mais les peintures et enduits plastiques peuvent s'écailler, le problème n'est qu'esthétique. les efflorescences disparaissent au fur et à mesure de l'élimination des sels minéraux contenus dans le matériau



(Peinture écaillée à la fois par l'humidité véhiculant les efflorescences et les efflorescences elles-mêmes)

1.2 - Crypto-efflorescences

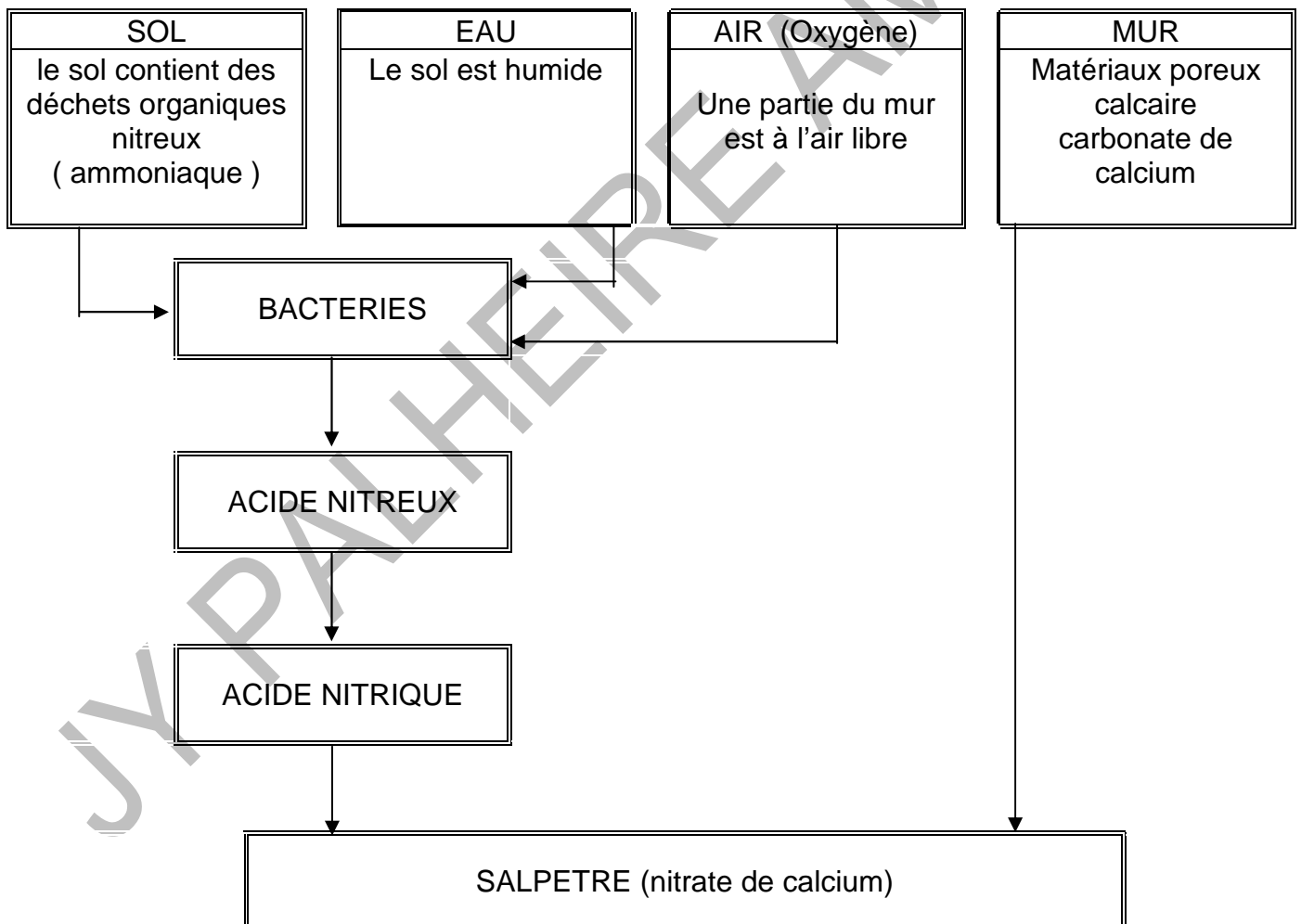
La cristallisation se produit dans le parement en augmentant de volume entraînant gonflements et destruction des matériaux (la zone d'évaporation se situe dans l'épaisseur du matériau)

1.3 - Salpêtre (NITRATE DE CALCIUM) ou sel de pierre

Il est le résidu du développement de bactéries nitrifiantes qui utilisent pour se nourrir l'ammoniaque provenant d'un sol contaminé par des déchets organiques (anciens sols d'étables imprégnés de purin par exemple) et le carbonate de calcium contenu dans le parement, l'humidité servant de véhicule. Il se présente sous forme de petites aiguilles laineuses et blanchâtres Une température comprise entre 10°C et 15°C favorisera le processus de salpêtrisation.



(aspect cotonneux du salpêtre)



1.4 - Cloquage des enduits et peintures



Formation de cloques creuses par perte d'adhérence et soulèvement du film de peinture suite à l'augmentation de la pression de vapeur d'eau derrière le film insuffisamment poreux.

1.5 - Corrosion des armatures du béton armé et éclatement



La rouille est 5 fois plus volumineuse que l'acier, l'expansion de celle-ci provoque l'éclatement du béton après que l'humidité ait provoqué la corrosion des armatures

1.6 - Atteinte sur le plan du confort

- chute du pouvoir isolant des matériaux (voir « CONFORT THERMIQUE »)
- odeurs de moisissure



- insalubrité des locaux

1.7 - Diminution des caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux

- dilatation des matériaux en terre cuite
- ramollissement des produits à base de plâtre
- corrosion des aciers d'armature
- pourrissement des bois
- gel des matériaux imprégnés d'humidité

2. ORIGINE DE L'HUMIDITE

2.1 - Eau venant du ciel (pluie, grêle, neige)

Elle entre dans les bâtiments par :

- la porosité ouverte des matériaux (perméabilité)
- les fissures
- les remontées capillaires

2.1.1 Ruissellement et colonne d'eau

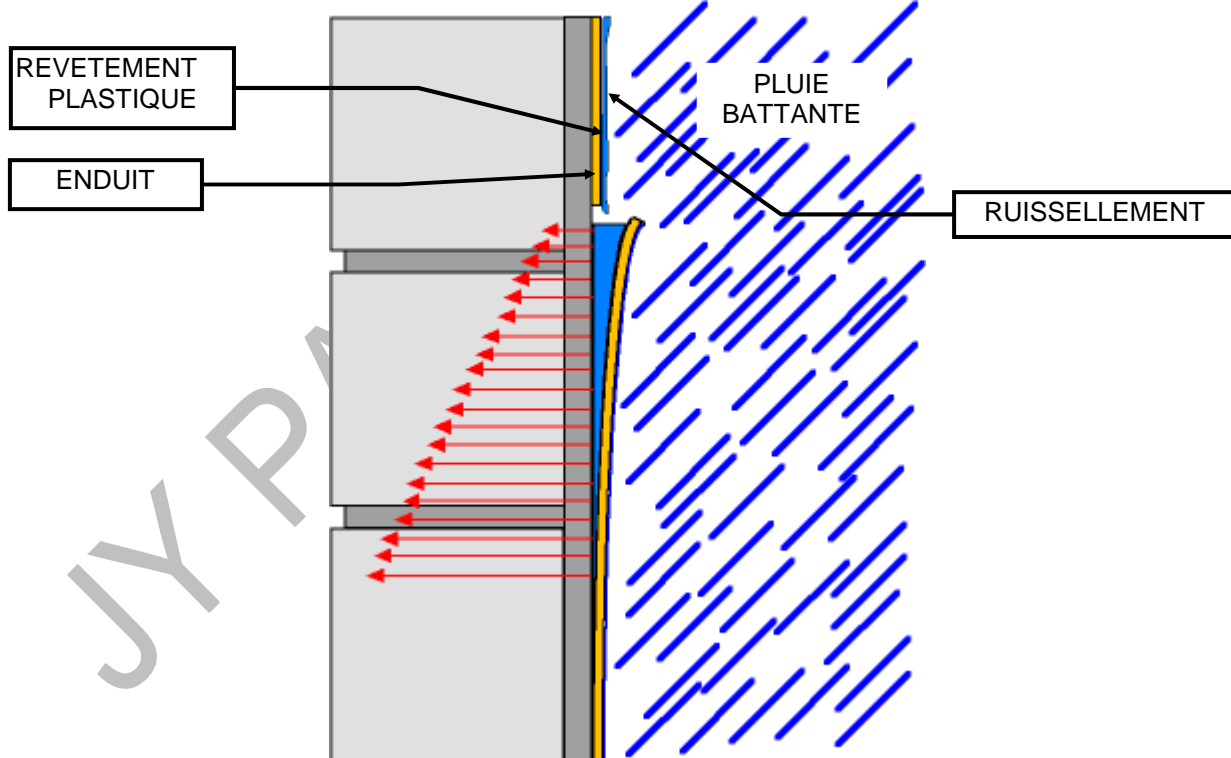
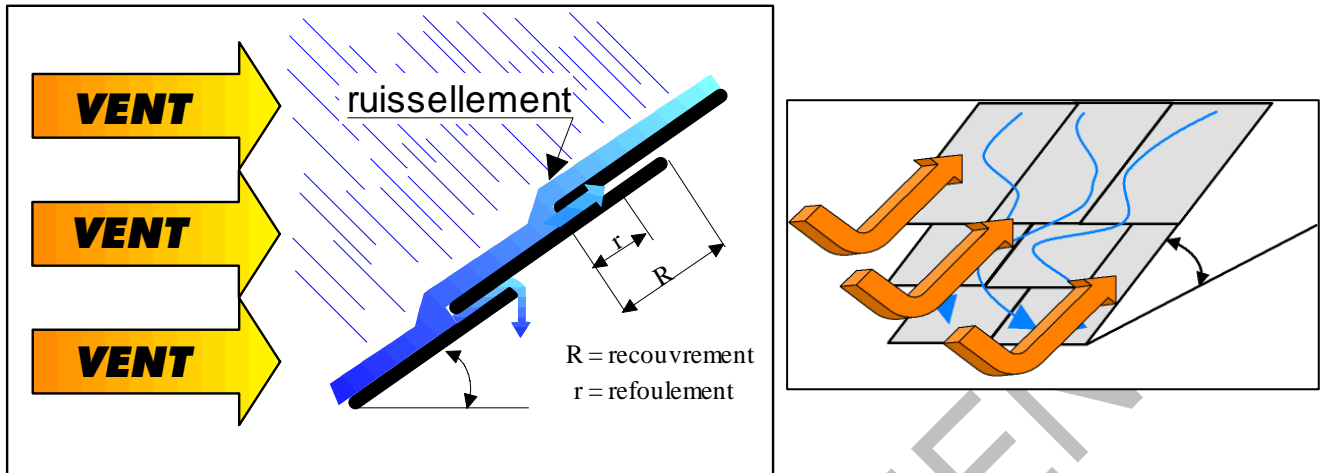


diagramme des pressions de la colonne d'eau

Là où le simple ruissellement n'aurait eu aucun effet, la poussée de la colonne d'eau engendre des infiltrations

2.1.2 - Ruissellement et vent

2.1.2.1 - En couverture



Le refoulement est fonction de la force du vent et de la pente de la couverture

Recouvrement > Refoulement

Le recouvrement est fonction de la région et de la pente de la couverture

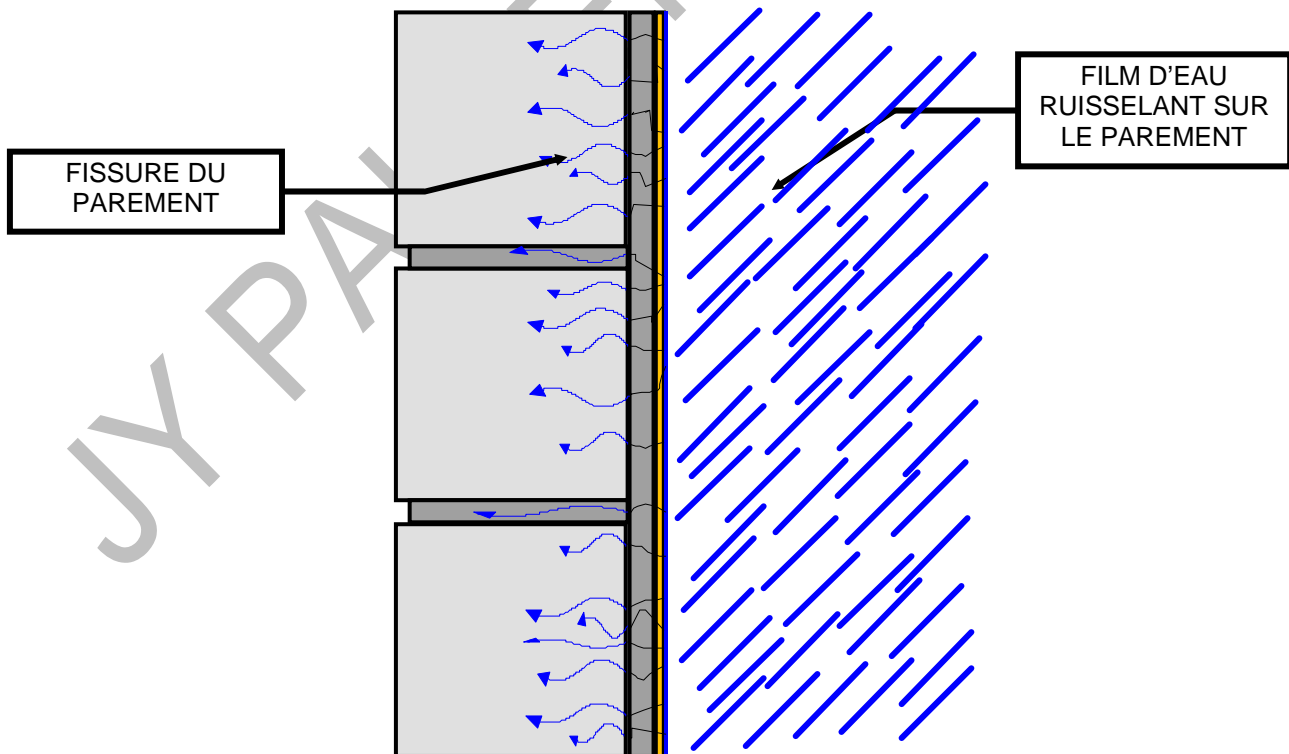
Voir NF P 32-301

NF P 33-303

AFNOR DTU P 32-201

(DTU N°40-11)

2.1.2.2 - En partie verticale

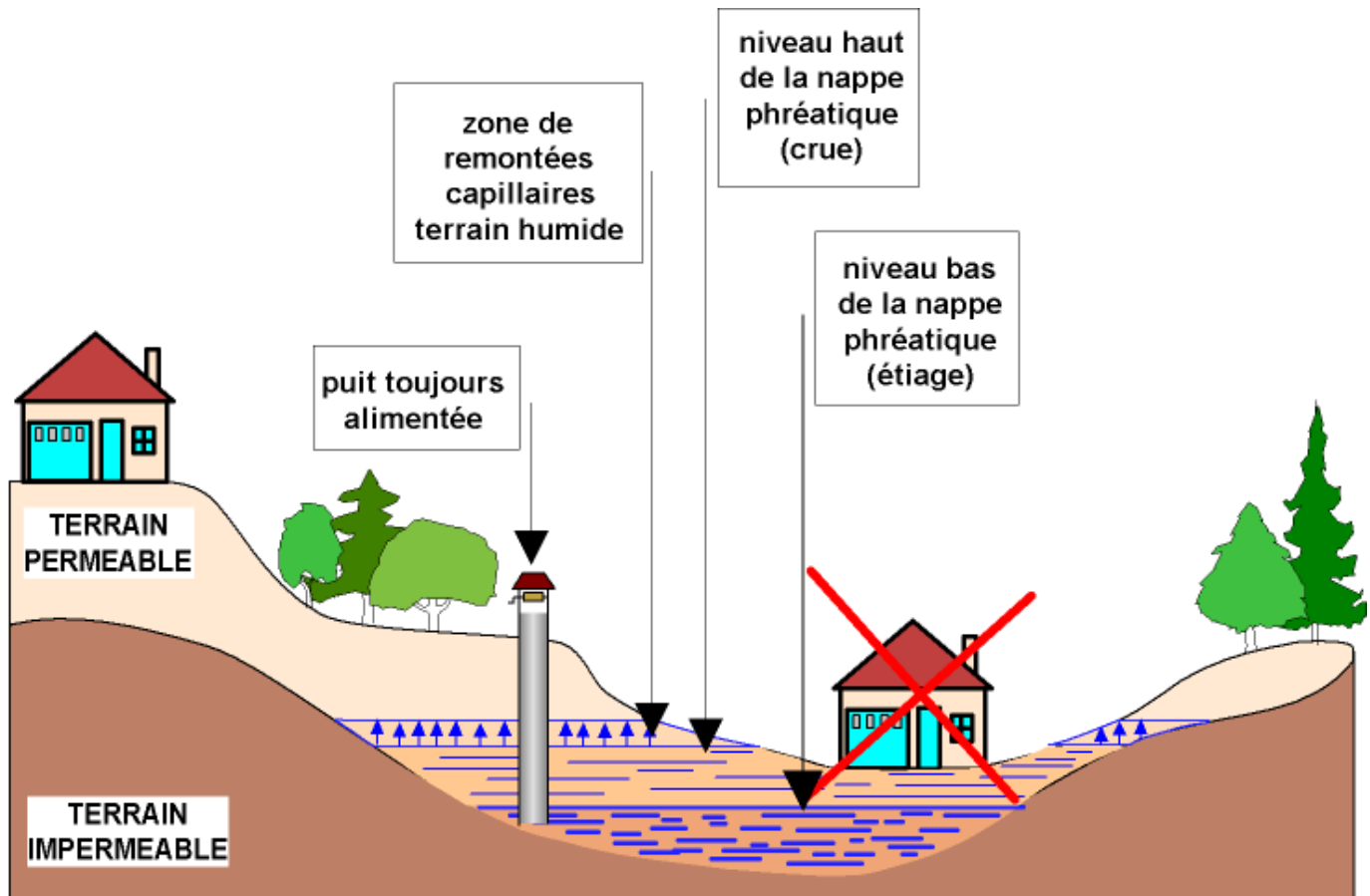


le vent exerce une poussée sur le film d'eau qui ruisselle et l'aide à pénétrer dans des fissures dont l'écartement est supérieur à 1/10 mm

2.2 - Eau venant du sol

Elle provient :

- des infiltrations des eaux de pluie, grêle, neige ; elles descendent à travers le sol pour rejoindre la nappe phréatique
- de la nappe phréatique

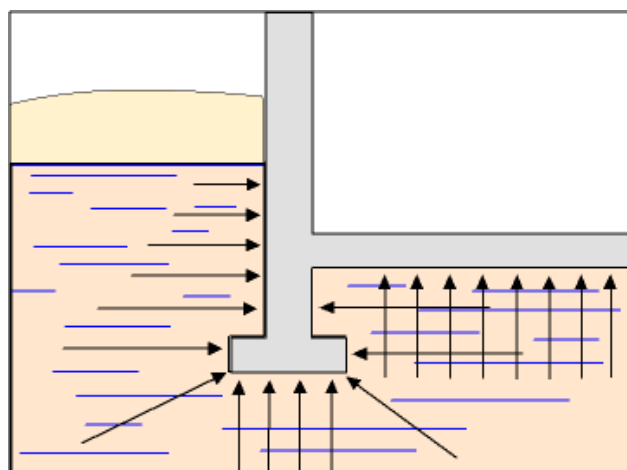


2.2.1 - Modes de progression de l'eau du sol dans les parois

a - par gravité

Qui peut être aggravée par la pression de l'eau si on est dans la nappe phréatique ou si une poche d'eau s'est formée contre le mur.

NAPPE
PHREATIQUE

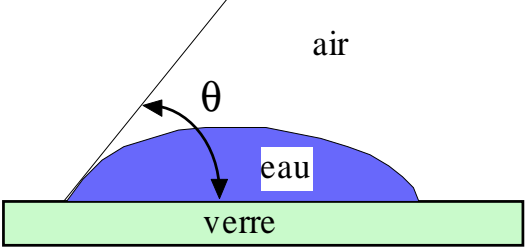
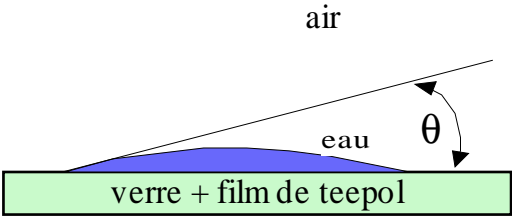
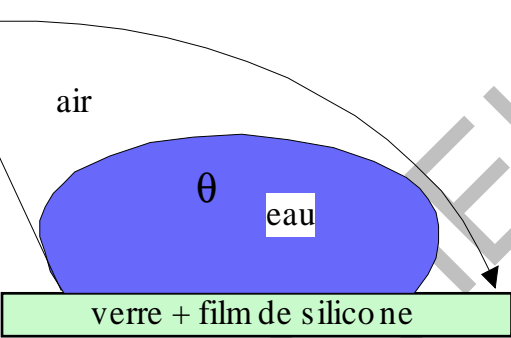
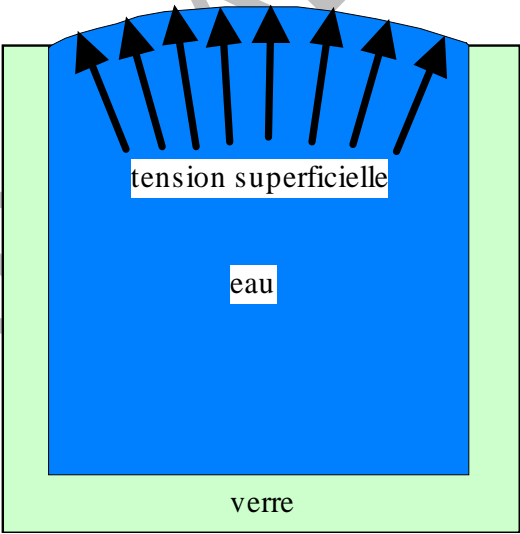


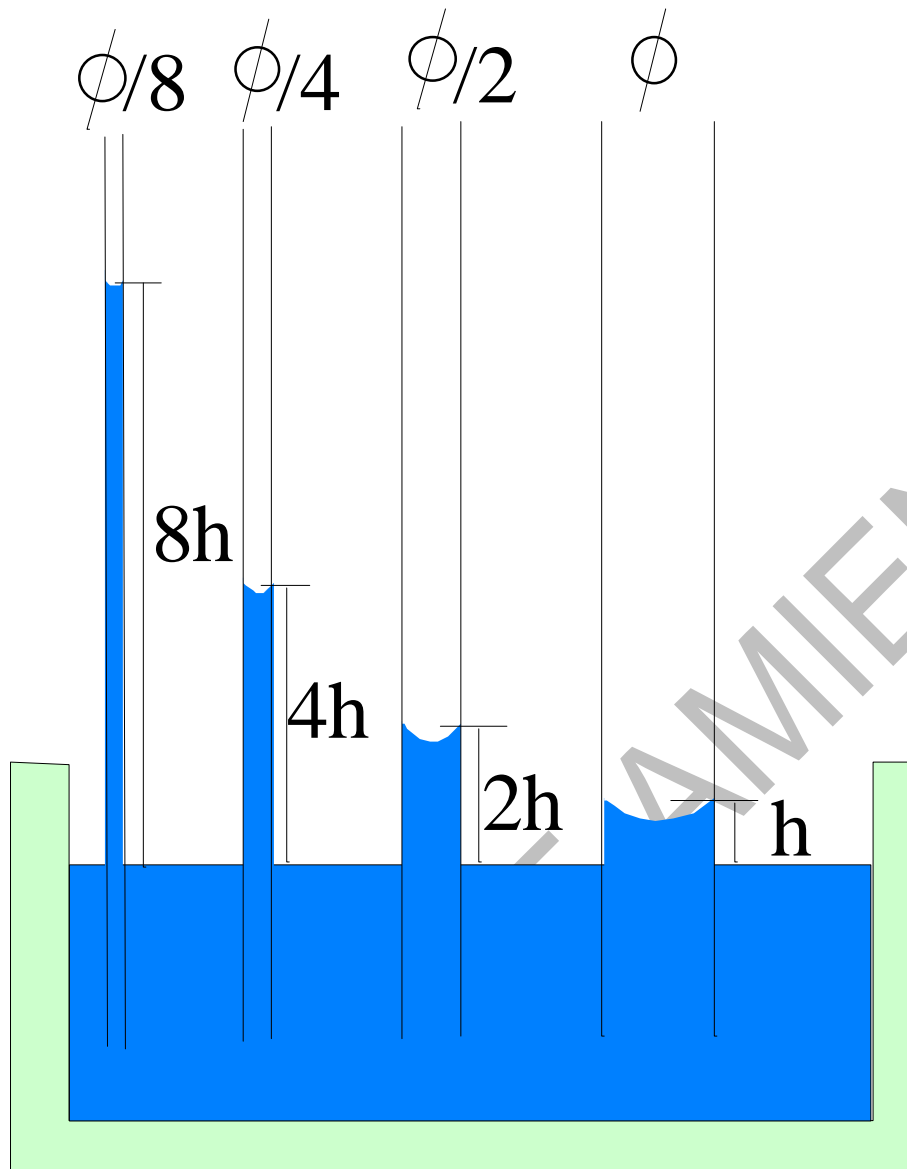
b - par capillarité

L'eau remonte dans les matériaux par " effet de mèche " comme dans une lampe à pétrole

Pour qu'il y ait CAPILLARITE il faut que 3 conditions soient réunies :

- 1 - qu'il y ait **contact liquide - solide**
- 2 - que le **liquide mouille le solide**
- 3 - que le matériau soit capillaire (irrigué par un réseau continu de canaux très fins)

	<p>Le contact liquide - solide est caractérisé par un angle dont la valeur varie avec les matériaux en présence.</p>
	<p>Si $\theta < 90^\circ$ le liquide mouille la surface (eau - verre)</p>
	<p>Si $\theta > 90^\circ$ le liquide ne mouille pas la surface (eau - verre)</p>
	<p>La surface du liquide est comparable à une peau élastique tendue. Cette tension superficielle permet de dépasser la limite de remplissage du récipient</p>



LOI DE JURIN

Hauteur d'ascension dans un tube de diamètre uniforme

$$H \text{ en m} = \frac{4 \cdot A \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot d}$$

<p>A : coefficient de tension superficielle en N/m</p> <p>eau : 0.076 N / m</p> <p>mercure : 0.480 N / m</p> <p>éthanol : 0.022 N / m</p>	<p>θ : angle de mouillage</p> <p>pour l'eau et le verre propre $\theta = 0^\circ$</p>
<p>ρ : masse volumique du liquide en kg / m³</p> <p>Eau : 1000 kg / m³</p> <p>mercure : 13555 kg / m³</p> <p>ethanol : 790 kg / m³</p>	<p>g : accélération de la pesanteur</p> <p>9.81 m / s²</p>
<p>d : diamètre du tube en m</p>	

Applications:

La hauteur d'ascension capillaire de l'eau dans un tube de verre de 1/10 mm de diamètre sera de :

$$H \text{ en m} = \frac{4.A \cos \theta}{\rho.g.d} = \frac{4 \times 0.076 \times 1}{1000 \times 9.81 \times 0.0001} = 0.31 \text{ m}$$

La hauteur d'ascension capillaire de l'eau dans un tube de verre de 2/10 mm de diamètre sera de :

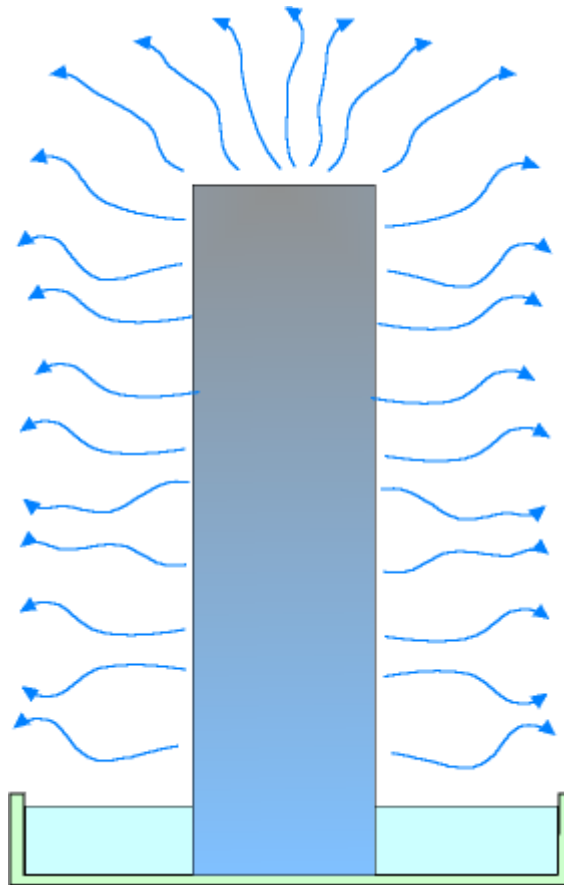
$$H \text{ en m} = \frac{4.A \cos \theta}{\rho.g.d} = \frac{4 \times 0.076 \times 1}{1000 \times 9.81 \times 0.0002} = 0.15 \text{ m}$$

La hauteur d'ascension capillaire de l'éthanol dans un tube de verre de 2/10 mm de diamètre sera de :

$$H \text{ en m} = \frac{4.A \cos \theta}{\rho.g.d} = \frac{4 \times 0.022 \times 1}{790 \times 9.81 \times 0.0002} = 0.06 \text{ m}$$

La hauteur d'ascension capillaire de mercure dans un tube de verre de 2/10 mm de diamètre sera de :

$$H \text{ en m} = \frac{4.A \cos \theta}{\rho.g.d} = \frac{4 \times 0.480 \times 1}{13555 \times 9.81 \times 0.0002} = 0.07 \text{ m}$$



Le phénomène d'évaporation va venir contrarier celui de la capillarité et le front humide va alors cesser de progresser, faut-il que les parois ne soient pas recouvertes d'un revêtement étanche comme le papier de plomb ???

Si l'évaporation est annihilée par des revêtements étanches, les remontées capillaires sont capables d'aller très haut (théoriquement 15 m, en réalité 4 à 5 m)

LES MATERIAUX CAPILLAIRES

La plupart des matériaux de construction sont capillaires et sont mouillables par l'eau la pierre, le béton, le plâtre, la brique, la terre, le mortier, et naturellement le bois (surtout dans le sens de montée de la sève)

Sauf dans le cas du bois, cette structure n'a rien de régulier et se présente plutôt comme un désordre de cavités. **Leur porosité est dite « ouverte »**

Des essais de laboratoire permettent de quantifier la capillarité des matériaux de construction, le résultat se traduit par un coefficient, plus il est grand plus le matériau est capillaire.

Quelques valeurs (origine : CEBTP)

béton vibré	1	calcaire ½ ferme	20
brique	5	calcaire tendre	30
grés	10	plâtre	50
mortier	15	calcaire très tendre	80

LES MATERIAUX NON CAPILLAIRES

↻ matériaux à structure poreuse mais non capillaire

- Les uns parce que leurs pores sont trop gros, ce qui interrompt la capillarité
Par exemple : les parpaings de gros béton
- Les autres parce que leurs **pores sont fermés**
Par exemple : polystyrène expansé, mousse de verre, roche volcanique

↻ matériaux à structure compacte sans pores ni capillaires

C'est le cas des métaux, les bitumes, des plastiques non expansé, du verre. Ils sont anti-capillaires

↻ l'air

Dans l'air plus de capillarité à cause de la pesanteur
Une lame d'air ventilée est donc la plus sûre des coupures de capillarité à condition qu'elle ne soit pas obstruée par des matériaux capillaires provoquant des ponts de capillarité comme des gravois insérés dans les doublages

- Lame d'air horizontale : vide sanitaire
- Lame d'air verticale : doublage

2.3 Eau venant des canalisations

2.3.1 Réseaux sous pression

- Eau sanitaire chaude ou froide (pression de service : de 0.5 à 10 daN/cm²)

2.3.2 Réseaux gravitaires

- Evacuations pluviales et évacuations sanitaires

L'eau venant des canalisations se manifeste soit par :

- des fuites de canalisation
- des refoulements et débordements pour les évacuations pluviales bouchées ou d'un diamètre trop petit
- des condensations sur les canalisations d'eau froide

3. LUTTE CONTRE L'EAU VENANT DU CIEL ET L'EAU VENANT DU SOL

3.1 - Cas de l'eau venant du ciel

Un ensemble de dispositions constructives sera la meilleure des luttes contre l'eau, il convient de combiner deux actions :

- barrer la route à l'eau
- faciliter son évacuation

Conception des murs en fonction de la pluie
Voir DTU 20.1 et 23.1 (annexe 1)

3.2 - Cas de l'eau venant du sol

- Deux moyens d'action :
 - éviter que l'eau n'arrive au contact de la paroi de façon permanente

C'EST LE DRAINAGE

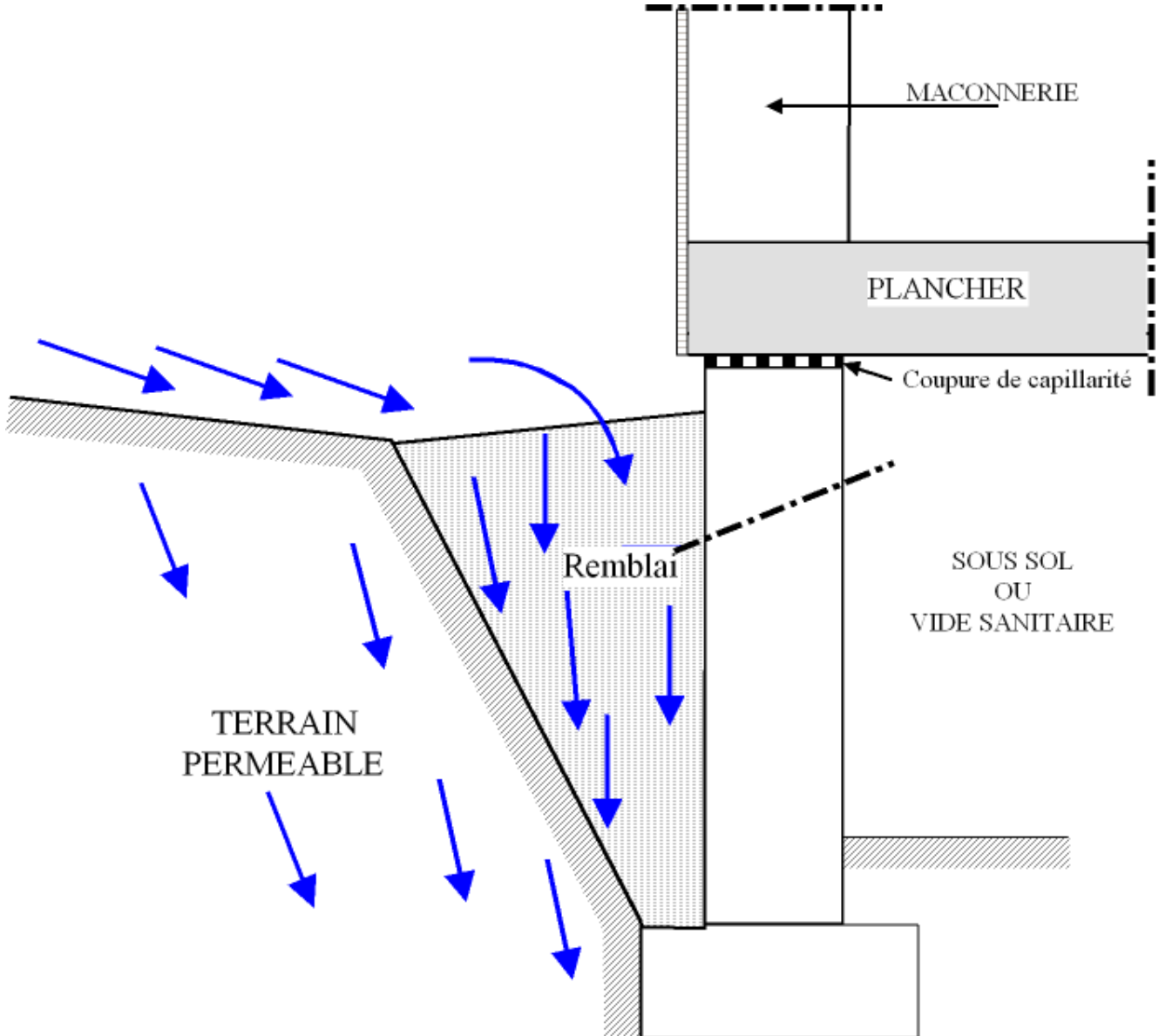
- Empêcher l'eau qui à réussi à passer de progresser dans la paroi

C'EST LA COUPURE DE CAPILLARITE

3.2.1 - LE DRAINAGE

☛ Il est efficace à condition que la construction soit située au-dessus du niveau haut de la nappe phréatique

- A Dans un terrain perméable l'eau s'écoule et ne stagne pas le long de l'ouvrage.



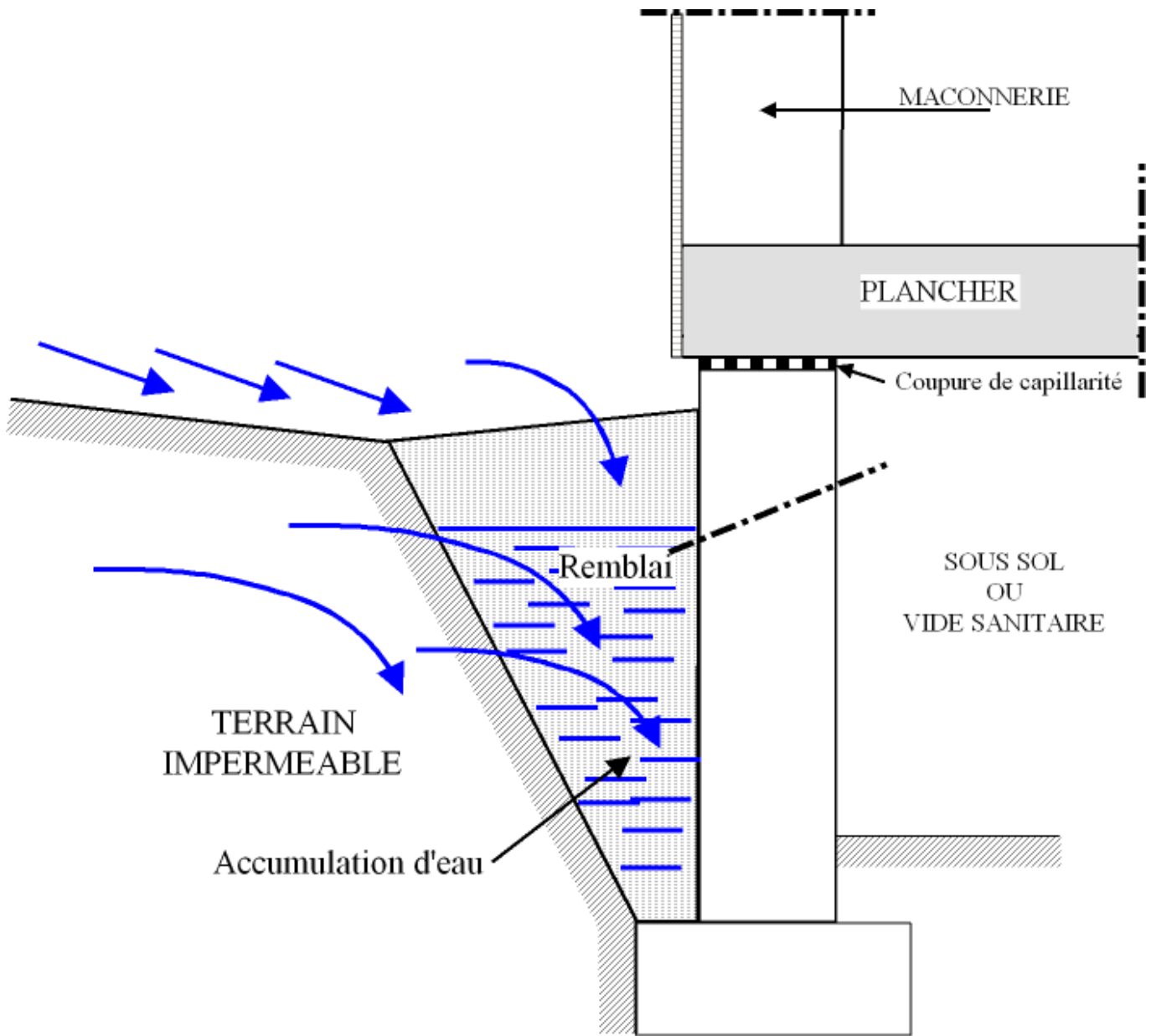
Coupure de capillarité :

La coupure de capillarité est une séparation étanche ayant pour but d'empêcher la remontée de l'eau du sol dans les parois. Cette séparation est généralement située entre l'infrastructure (partie du bâtiment en dessous du niveau 0 c'est à dire au niveau du sol du rez-de-chaussée) et la superstructure (partie du bâtiment en dessus du niveau 0). Elle est réalisée sur la largeur du mur ou sur toute ou partie de la surface du sol selon le type du plancher. Elle est généralement située sous le plancher.

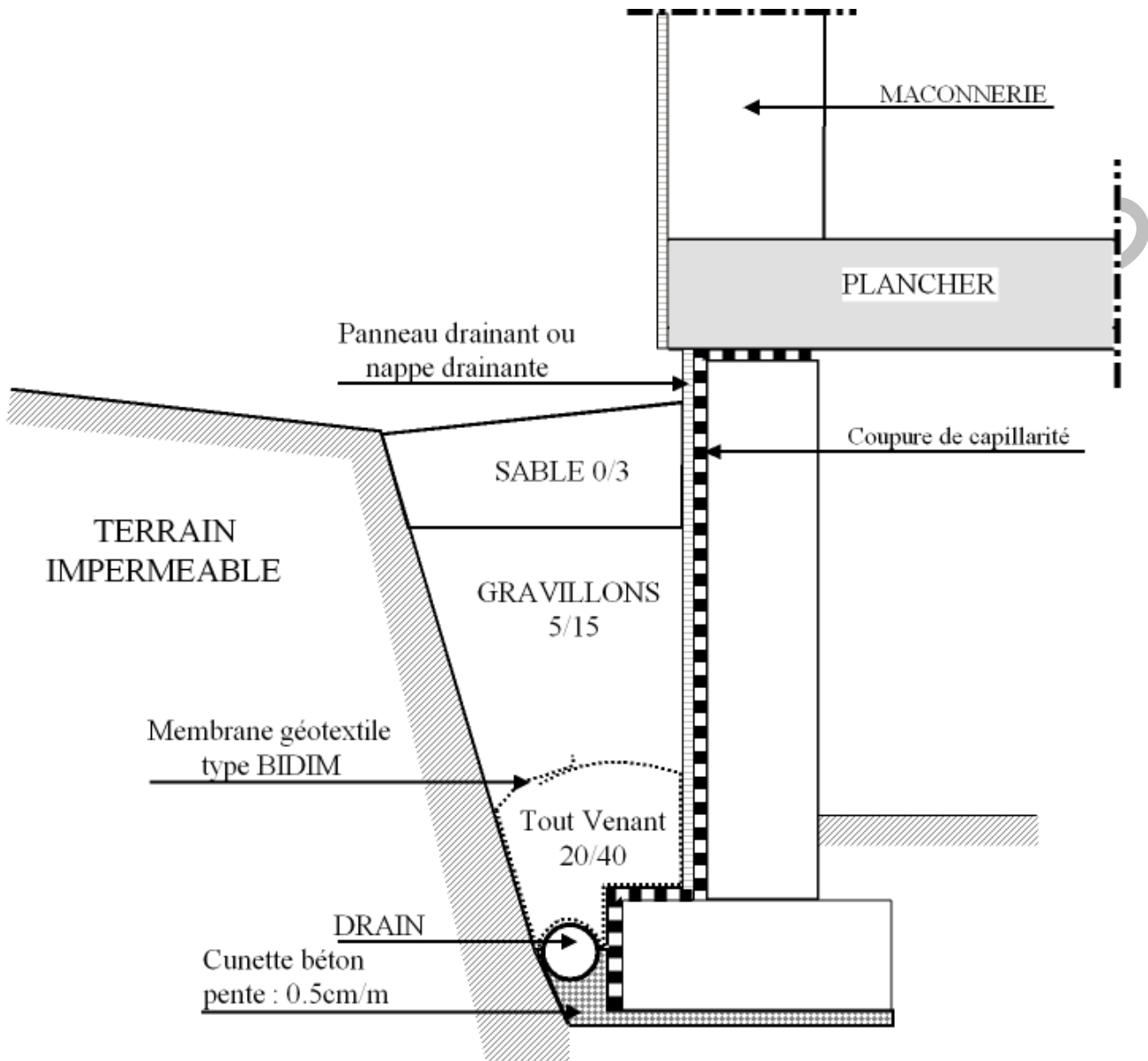
La coupure de capillarité est constituée soit :

- D'un film de polyéthylène de 200 microns minimum
- D'un feutre asphalté
- D'un papier bitumé
- D'une arase de mortier fortement hydrofugé (adjuvant hydrofuge) de 2 cm d'épaisseur
- D'une bande de bitume armé noyée dans une arase de mortier

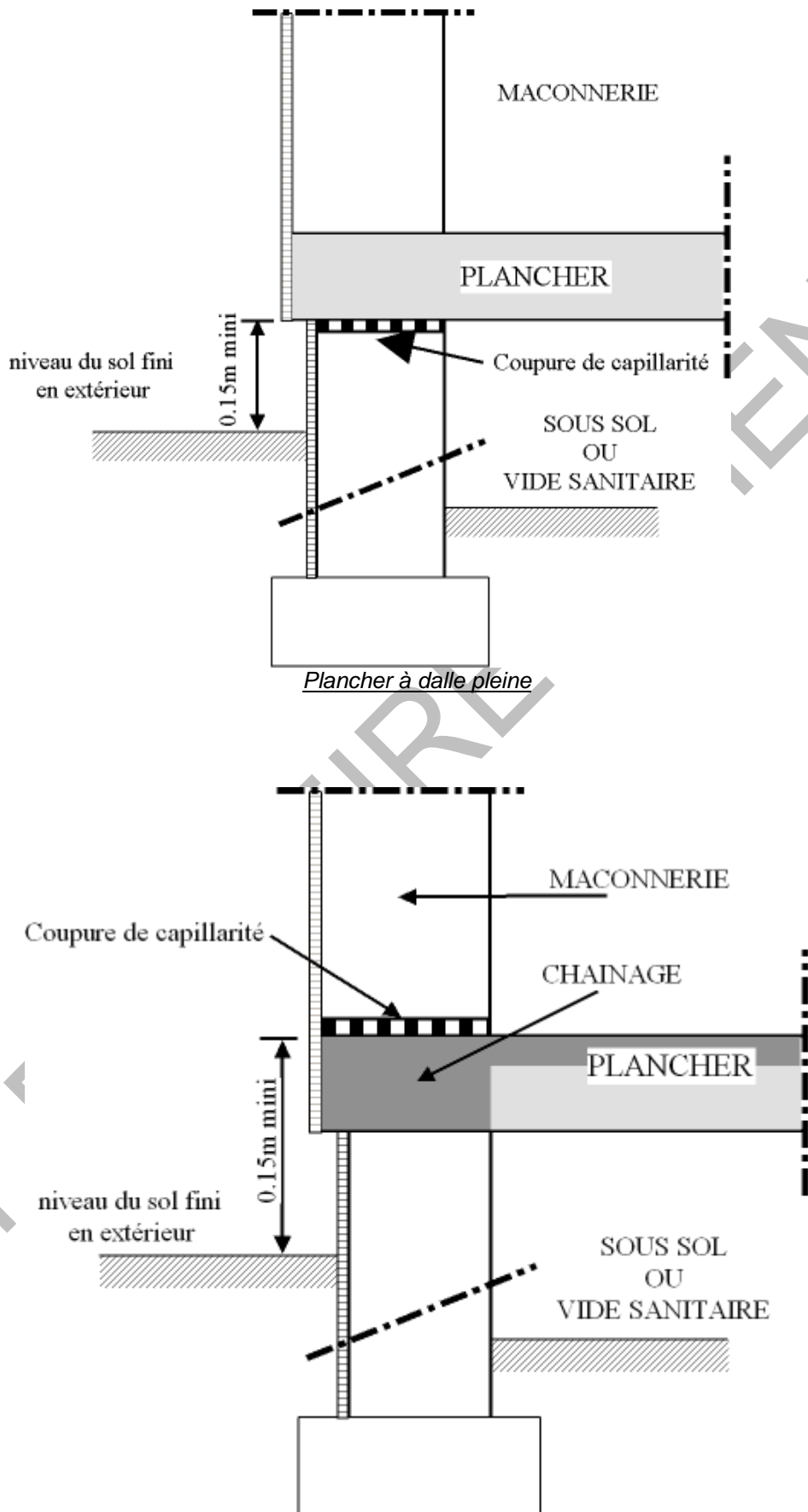
- B Dans un terrain imperméable l'eau s'accumule le long de l'ouvrage, la pression de cette eau sera d'autant plus importante que la colonne d'eau sera haute.



- C – drainage le long des murs enterrés (d'après NF P 10 – 202 / DTU 20.1)

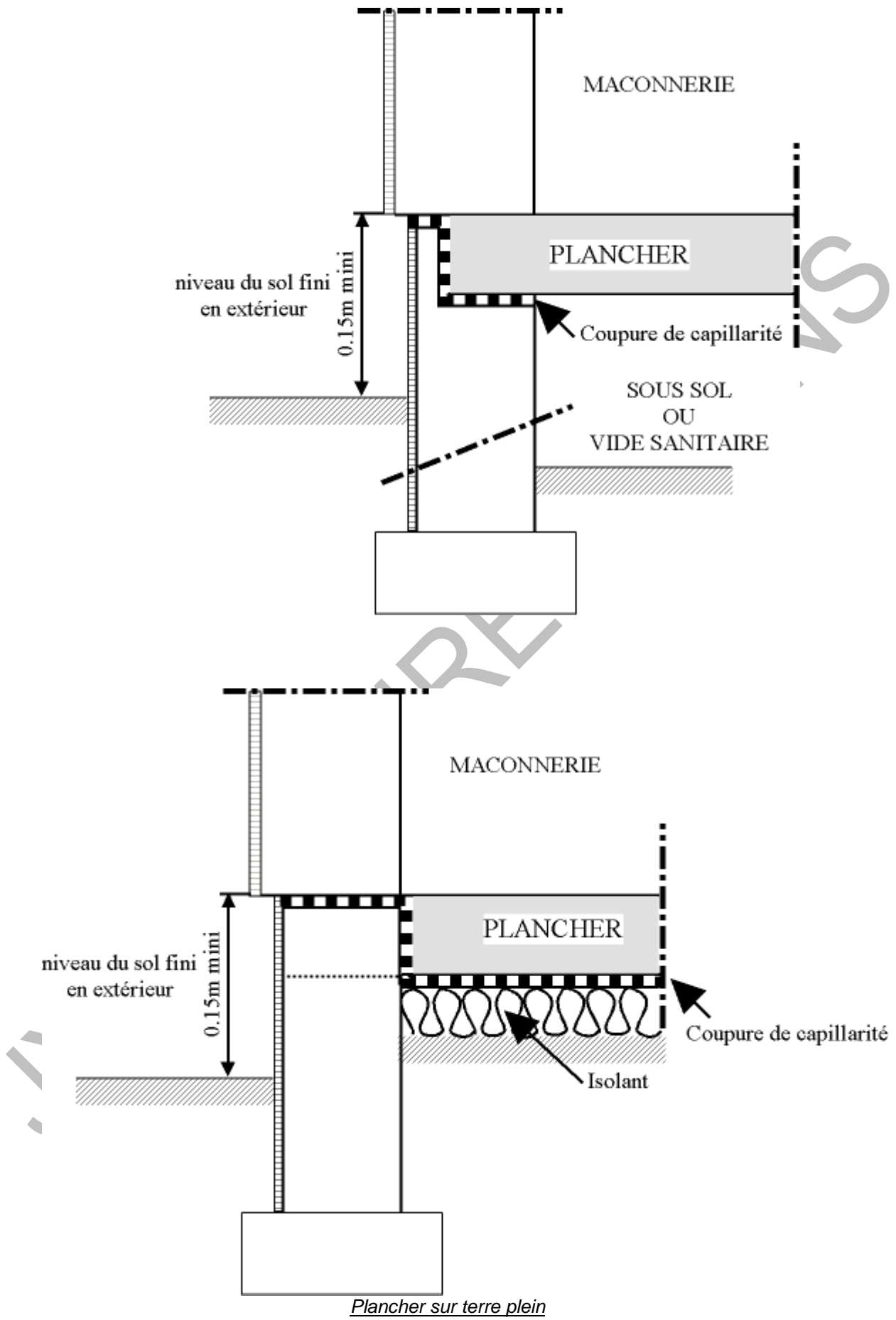


3.2.2 - LA COUPURE DE CAPILLARITE



Coupure de capillarité située au dessus d'un plancher à poutrelles et hourdis.*

*Cette méthode, bien que très utilisée est moins efficace que la méthode avec coupure de capillarité au dessous du plancher



4. EAU VENANT DE L'AIR (CONDENSATION)

L'air est un mélange gazeux dont un des composants est la vapeur d'eau

$$\text{AIR} = \text{AIR SEC} + \text{VAPEUR D'EAU}$$

4.1 - Particularités de l'air humide

Deux paramètres caractérisent l'air humide

4.1.1 - La masse de vapeur d'eau contenu dans l'air

en gramme de vapeur d'eau / kg d'air sec (g / kg)
ou en gramme de vapeur d'eau / m³ d'air sec (g / m³)

a - Humidité absolue (W) comme Water

La masse d'eau contenue dans un volume d'air s'appelle :

L'HUMIDITE ABSOLUE DE L'AIR (W)

W est limité à une valeur maximum, c'est :

L'HUMIDITE ABSOLUE DE SATURATION (W_s)

La quantité de vapeur d'eau supérieure à W_s va se transformer en eau de condensation

b - Humidité relative (HR)

C'est le rapport entre la masse réelle de vapeur d'eau contenue dans un m³ ou un kg d'air et la masse de vapeur pouvant être contenue dans ce m³ ou ce kg d'air

$$\text{HR} = 100 \times \frac{W}{W_s}$$

. W est fonction de W_s et de HR

$$W = \text{HR} \times W_s$$

Calculons W pour une température de 19° et une HR de 80 % (utilisons le tableau ci-après)

A 19°: W_s = 13.80 g / kg d'air sec

W = 0.80 x 13.80 = 11.04 g / kg d'air sec

4.1.2 - La pression de vapeur d'eau (P_v)

C'est la quantité de vapeur contenue dans l'air qui est cause de sa pression, donc P_v est fonction de W

- Si P_v est élevé, c'est qu'il y a beaucoup de vapeur d'eau dans l'air
- A W_s correspond P_s (ou P_{vs}), la pression de vapeur à saturation
 $P_s = P_v$ pour HR 100%

Pression atmosphérique = Pression partielle de l'air sec + Pression de la vapeur d'eau

.A une T° donnée P_v est fonction de P_s et de HR

$$P_v = HR \times P_s$$

Exemples :

1-Calculons la pression de vapeur d'eau (P_v) pour un air à 10°C et une humidité relative de 60 %.

A 10° : $P_s = 9.21 \text{ mm Hg}$

$P_v = 0.60 \times 9.21 = 5.53 \text{ mm Hg}$
 En Pascal : $5.53 \times 133.4 = 737.7 \text{ Pa}$

2-Calculons la pression de vapeur d'eau (P_v) pour un air à -5°C et une humidité relative de 98 %.

A -5° : $P_s = 3.01 \text{ mm Hg}$

$P_v = 0.98 \times 3.01 = 2.95 \text{ mm Hg}$
 En Pascal : $2.95 \times 133.4 = 393.5 \text{ Pa}$

4.2 - TABLEAU : température / pression de saturation / teneur maxi en vapeur d'eau

Pression de saturation de la vapeur d'eau (Ps) , en mm Hg et teneur maximale en vapeur d'eau (Ws) en g / kg d'air sec

T°C	Ws	Ps	T°C	Ws	Ps	T°C	Ws	Ps	T°C	Ws	Ps
- 10	1.60	1.95	0	3.78	4.58	10	7.63	9.21	20	14.70	17.54
- 9	1.75	2.13	1	4.07	4.93	11	8.15	9.84	21	15.60	18.65
- 8	1.91	2.32	2	4.37	5.29	12	8.75	10.52	22	16.60	19.83
- 7	2.08	2.53	3	4.70	5.68	13	9.35	11.23	23	17.70	21.07
- 6	2.27	2.76	4	5.03	6.10	14	9.97	11.99	24	18.80	22.38
- 5	2.47	3.01	5	5.40	6.54	15	10.60	12.79	25	20.00	23.76
- 4	2.69	3.28	6	5.79	7.01	16	11.40	13.63	26	21.40	25.21
- 3	2.94	3.57	7	6.21	7.51	17	12.10	14.53	27	22.60	26.74
- 2	3.19	3.88	8	6.65	8.05	18	12.90	15.48	28	24.00	28.35
- 1	3.47	4.22	9	7.13	8.61	19	13.80	16.48	29	25.60	30.04

(1 mm Hg = 133.4 Pascal)

Comment calculer la masse volumique d'un air humide quand on connaît la pression atmosphérique Pa (Pa ≈ 760 mm Hg), la pression de la vapeur d'eau qu'il contient Pv (en mm Hg) et la température t (en °C)

$$r \text{ (en kg / m}^3 \text{)} = 0.465 \times \frac{\text{Pa}}{273.15 + t} - 0.179 \frac{\text{Pv}}{273.15 + t}$$

exemple : Pa = 760 mm Hg
t = 18 °C
HR = 50 %

$$\text{Pv} = \text{Ps} \times \text{HR} = 15.48 \times 0.50 = 7.74 \text{ mm Hg}$$

$$r = 0.465 \times \frac{760}{273.15 + 18} - 0.179 \frac{7.74}{273.15 + 18} = 1.21 \text{ kg / m}^3$$

4.3 - Diagramme de MOLLIER

Il permet de lire directement les quantités de vapeur et les pressions pour des conditions de T°C et de HR données

Le diagramme permet de suivre concrètement problèmes de l'air humide, pour cela nous allons exploiter trois cas.

CAS N° 1

En suivant sur le MOLLIER :

Partons d'un air à 20 °C et 80 % HR,

- il contient donc $(14.70 \times 0.80 = 11.76)$
- sa pression de vapeur d'eau est de 14.03 mm Hg ($17.54 \times 0.80 = 14.03$)

Refroidissons le jusqu'à 18 °C,

- $W = 11.76$ g de vapeur d'eau / kg - la quantité de vapeur d'eau reste la même
- $P_v = 14.03$ mm Hg

Mais comme la température a changé, W_s et P_s ont changé

$W_s = 12.90$ g de vapeur d'eau / kg

$P_s = 15.48$ mm Hg

- donc HR a changé : $(11.76 / 12.90) \times 100 = 91.16 \%$

Constat :

Quand un air contenant une quantité de vapeur d'eau, baisse en température, son taux d'humidité relative augmente.

Continuons à le refroidir jusqu'à 10 °C,

- $W = 11.76$ g de vapeur d'eau / kg - la quantité réelle de vapeur d'eau reste inchangée
- $P_v = 14.03$ mm Hg

Mais comme la température a changé, W_s et P_s ont à nouveau changé

$W_s = 7.63$ g de vapeur d'eau / kg

$P_s = 9.21$ mm Hg

- HR a encore changé $(11.76 / 7.63) \times 100 = 154 \%$: CE QUI EST IMPOSSIBLE !!

Constat :

Quand un air contenant une quantité de vapeur d'eau, baisse en température, son taux d'humidité relative augmente jusqu'à HR 100%, cette limite sera atteinte vers 16.5°, et ensuite, si la température continue encore de baisser, interviendra la condensation

La quantité de vapeur d'eau condensée sera :

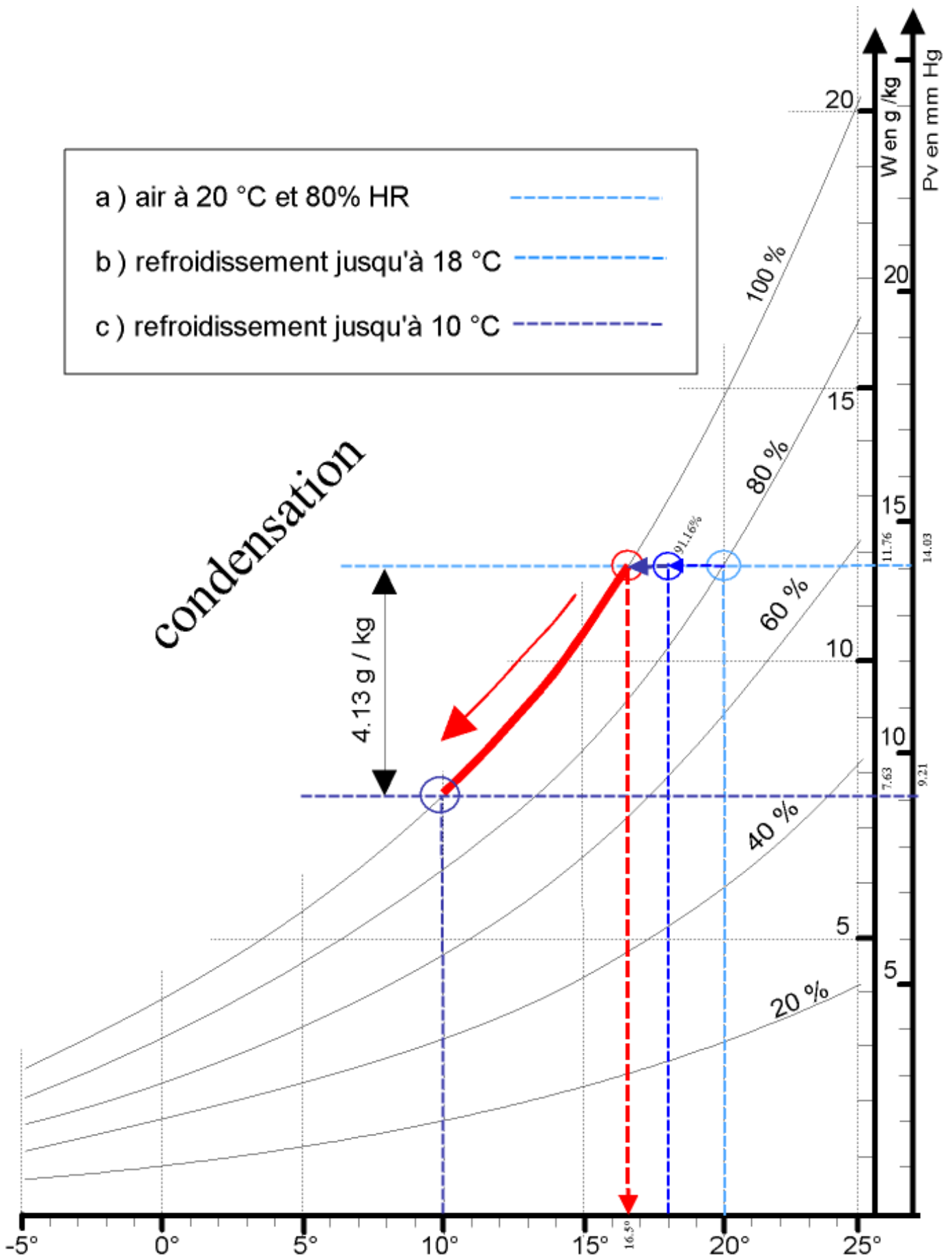
Quantité initiale de vapeur d'eau = 11.76 g de vapeur d'eau / kg

Quantité de vapeur d'eau à saturation à 10 °C = 7.63 g de vapeur d'eau / kg

Quantité de vapeur d'eau condensée : $11.76 - 7.63 = 4.13$ g de vapeur d'eau / kg

Conclusion :

Il est dangereux de refroidir un air chaud ayant une HR importante, les risques de condensation sont élevés



CAS N° 2 - Conditions " hiver "

Extérieur : température de l'air 0 °C

HR : 100%

- W = 3.78 g de vapeur / kg
- Ws = 3.78 g de vapeur / kg
- Pv = Ps = 4.58 mm Hg

Faisons entrer cet air dans une maison où la température est de 20 °C

- W = 3.78 g de vapeur / kg (la quantité réelle de vapeur d'eau n'a pas changé)
- Ws = 14.70 g de vapeur / kg (la quantité à saturation devient plus importante puisque la température a augmenté)
- HR = $3.78 / 14.70 \times 100 = 25.7 \%$

Avant d'atteindre HR 80 %, on pourra lui rajouter :

La quantité de vapeur d'eau pour un air à 20° et HR 80% sera :

$$14.70 \times 0.80 = 11.76 \text{ g de vapeur / kg}$$

La quantité réelle contenu dans l'air entrant dans la maison est de 3.78 g de vapeur / kg

Avant d'atteindre HR 80% l'air pourra évaporer :

$$11.76 - 3.78 = 7.98 \text{ g de vapeur / kg}$$

Si la ventilation de la maison permet un renouvellement de l'air d'un volume par heure (250 m³ / h pour une maison de 100m² soit environ 300 kg/h) l'évaporation pourra évacuer :

$$300 \times 7.98 = 2394 \text{ g d'eau / heure soit } 2.4 \text{ litres / heure}$$

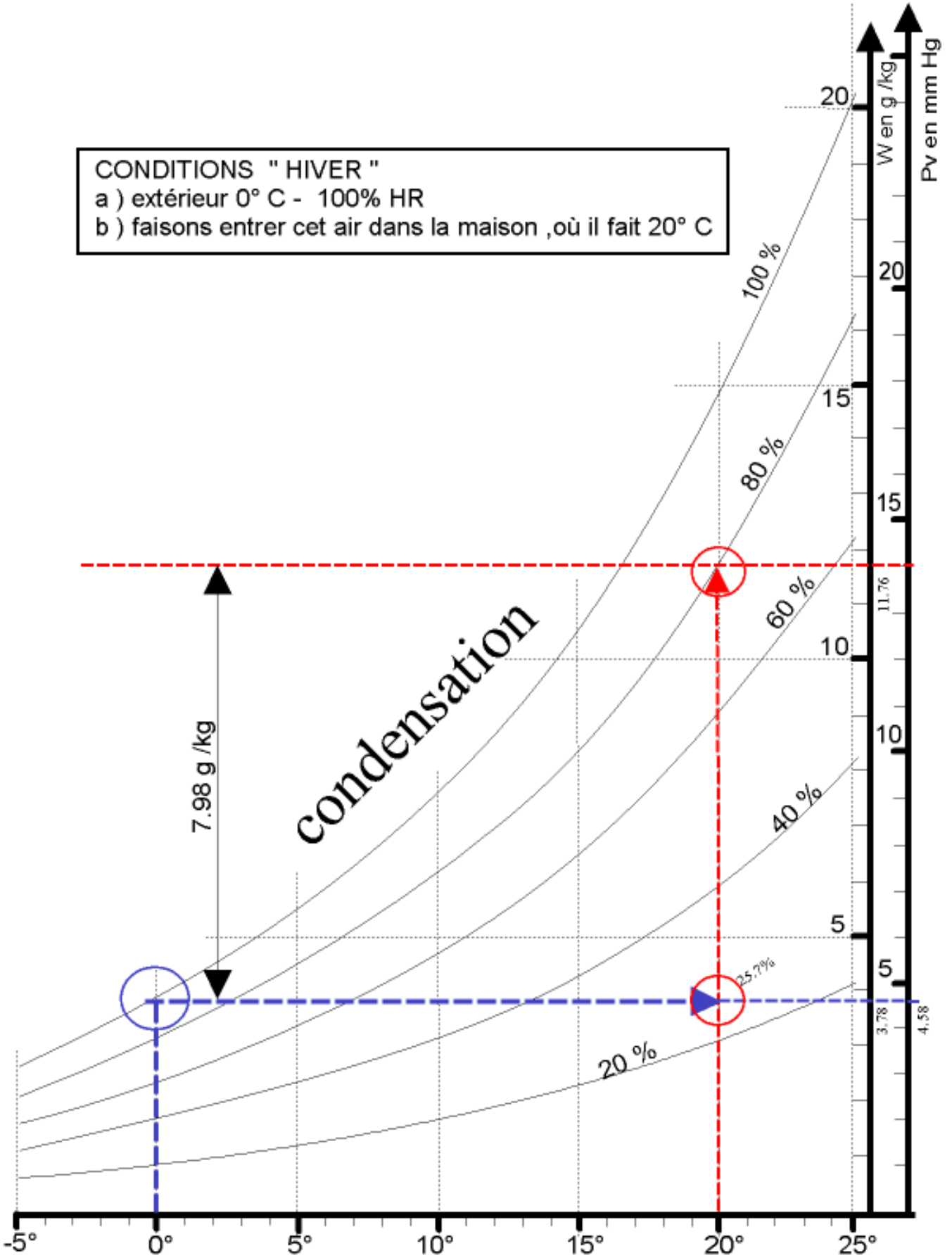
- *L'apport global d'humidité d'une famille de quatre personnes et de leurs activités, le séchage du linge à l'intérieur, le lavage des planchers, la cuisson, l'arrosage et la respiration des plantes, etc., produisent entre 10 et 20 litres de vapeur d'eau par jour.*

Pour une production de 20 litres de vapeur d'eau par jour, c'est à dire, 0.83 litres/heure, l'évaporation de 2.4 litres/heure est largement suffisante. Le taux de HR restera en dessous de 80 %.

Constat :

L'air froid, même très humide est pauvre en vapeur d'eau en le faisant entrer dans une maison chauffée, il pourra évaporer beaucoup d'eau.

CONDITIONS " HIVER "
a) extérieur 0° C - 100% HR
b) faisons entrer cet air dans la maison ,où il fait 20° C



CAS N° 3 - Conditions " printemps – air doux et humide "

Extérieur : température de l'air 15 °C

HR : 100% (brouillard)

- W = 10.60 g de vapeur / kg

- Ws = 10.60 g de vapeur / kg

- Pv = Ps = 12.79 mm Hg

Faisons entrer cet air dans une maison où la température est de 20 °C

- W = 10.60 g de vapeur / kg (la quantité réelle de vapeur d'eau n'a pas changé)

- Ws = 14.70 g de vapeur / kg (la quantité à saturation devient plus importante puisque la température a augmenté)

- HR = $10.60 / 14.70 \times 100 = 72.11 \%$

Avant d'atteindre HR 80 %, on pourra lui rajouter :

La quantité de vapeur d'eau pour un air à 20° et HR 80% sera :

$14.70 \times 0.80 = 11.76$ g de vapeur / kg

La quantité réelle contenu dans l'air entrant dans la maison est de 10.60 g de vapeur / kg

Avant d'atteindre HR 80% l'air pourra évaporer :

$11.76 - 10.60 = 1.16$ g de vapeur / kg

Si la ventilation de la maison permet un renouvellement de l'air d'un volume par heure (250 m³ / h pour une maison de 100m² soit environ 300 kg/h) l'évaporation pourra évacuer :

$300 \times 1.16 = 348$ g d'eau / heure soit **0.35 litres / heure**

- *L'apport global d'humidité d'une famille de quatre personnes et de leurs activités, le séchage du linge à l'intérieur, le lavage des planchers, la cuisson, l'arrosage et la respiration des plantes, etc., produisent entre 10 et 20 litres de vapeur d'eau par jour.*

Pour une production de 20 litres de vapeur d'eau par jour, c'est à dire, 0.83 litres/heure, l'évaporation de 0.35 litres/heure est insuffisante. Si la ventilation n'est pas augmentée la condensation interviendra sur les plus parois froides

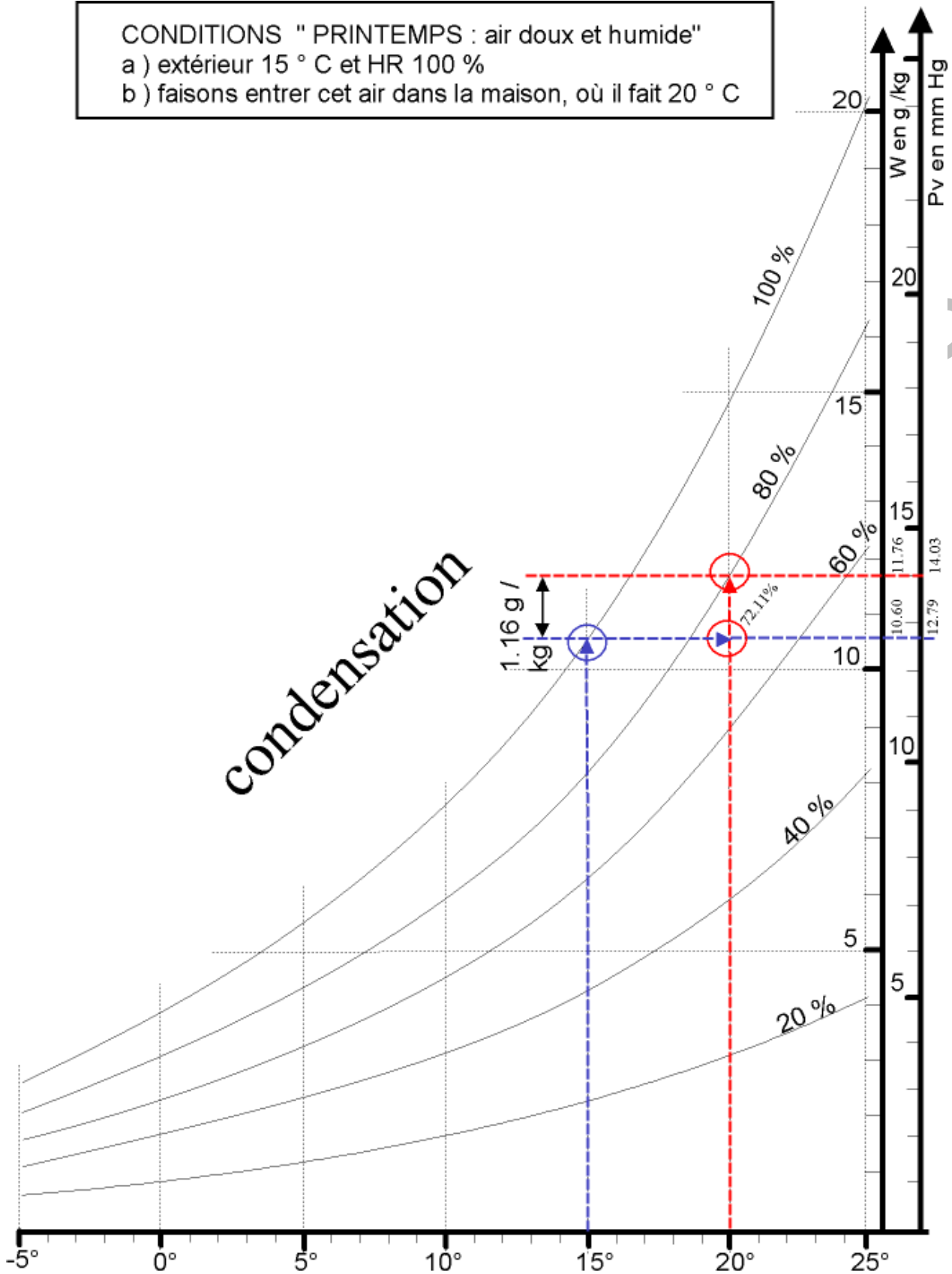
Constat :

L'air doux surtout s'il est très humide est riche en vapeur d'eau en le faisant entrer dans une maison chauffée, il aura du mal à évaporer la vapeur d'eau.

CONDITIONS " PRINTEMPS : air doux et humide"

a) extérieur 15 ° C et HR 100 %

b) faisons entrer cet air dans la maison, où il fait 20 ° C



4.4 - Sources de vapeur d'eau dans les bâtiments

- vapeur d'eau déjà contenue dans l'air extérieur
- les occupants
 - 50 g de vapeur d'eau / h au repos
 - 80 g de vapeur d'eau / h en activité légère
 - 400 g de vapeur d'eau / h en activité intense
- cuisine
 - 100 g de vapeur d'eau / h pour une cuisinière à gaz petit feu
 - 400 g de vapeur d'eau / h pour une cuisinière à gaz grand feu
- toilette
 - 2000 g de vapeur d'eau / h pour une douche chaude
- Séchage du linge avec un sèche linge non raccordé
 - 2000g de vapeur d'eau / h
- Lessive, lavage du sol
- Aquarium, plantes, etc.

4.5 - Migration de la vapeur d'eau

La plupart des parois sont plus ou moins perméables à la vapeur d'eau.

En hiver, l'air des locaux chauffés et habités contient plus de vapeur d'eau que l'air froid extérieur. Sa pression est donc plus forte à l'intérieur qu'à l'extérieur. Cette différence de pression explique la migration et le sens de cette migration de la vapeur qui ira donc de l'intérieur vers l'extérieur.

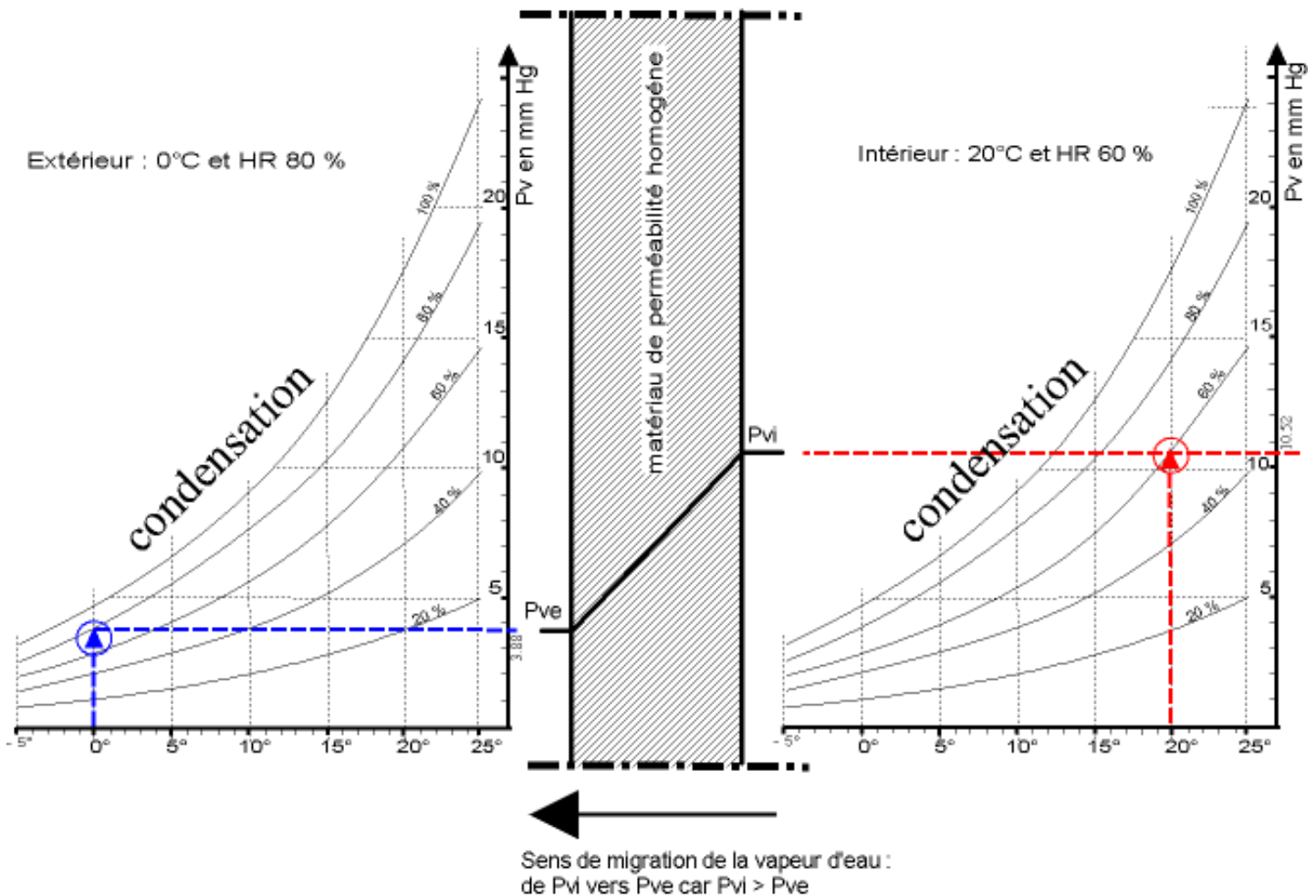
4.5.1- Cas d'une paroi en matériau homogène en résistance à la diffusion de la vapeur

Extérieur 0°C
Intérieur 20°C

HR 80%
HR 60%

$P_v = 3.88 \text{ mm Hg (} P_s \times \text{HR)}$
 $P_v = 10.52 \text{ mm Hg (} P_s \times \text{HR)}$

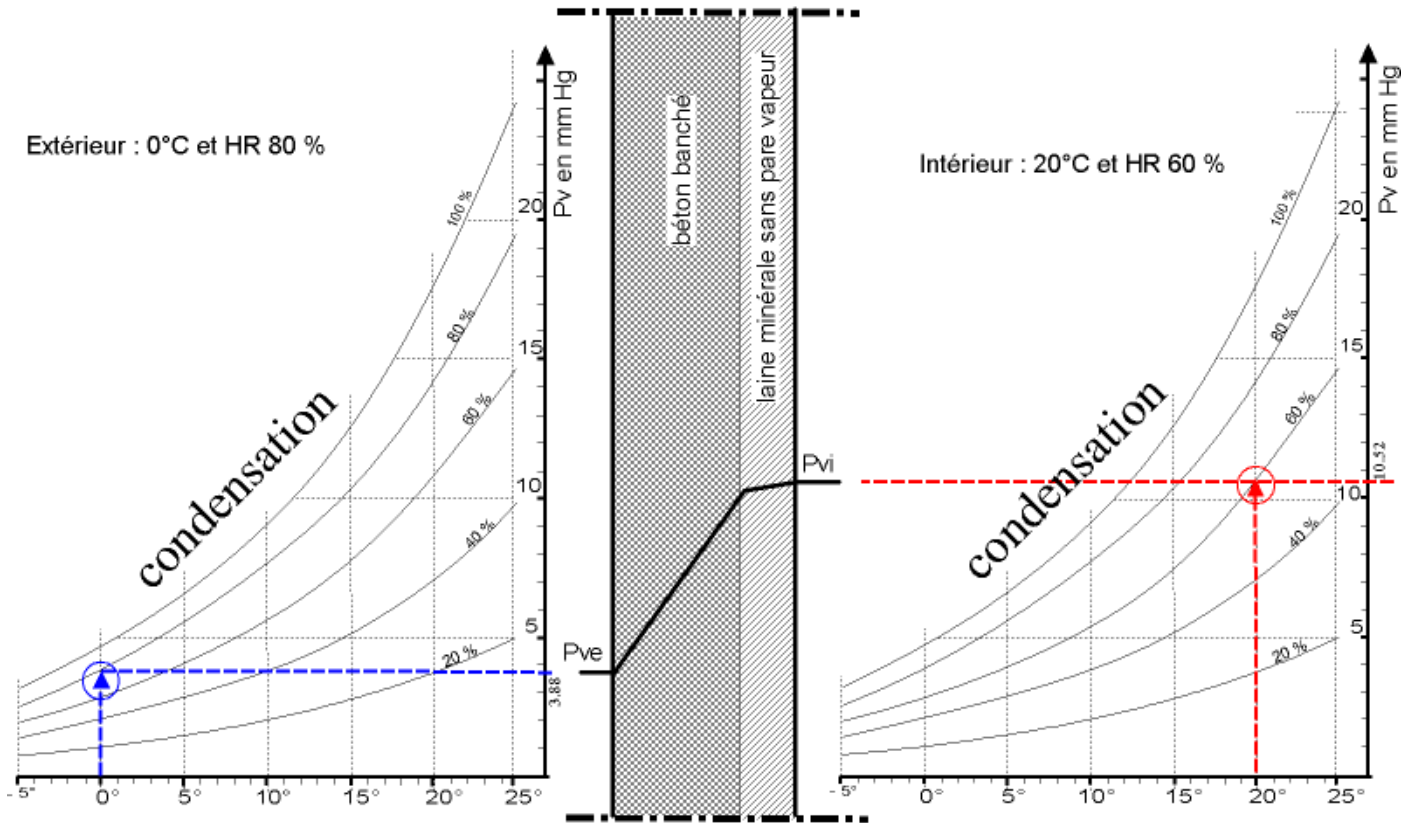
Diagramme des pressions de vapeur d'eau dans les parois



4.5.2- Cas d'une paroi en matériau hétérogène en résistance à la diffusion de la vapeur

Extérieur 0°C	HR 80%	$P_v = 3.88 \text{ mm Hg (Ps X HR)}$
Intérieur 20°C	HR 60%	$P_v = 10.52 \text{ mm Hg (Ps X HR)}$

Diagramme des pressions de vapeur d'eau dans une paroi constituée de 2 matériaux de perméabilité différente



Ici, la pression de vapeur d'eau à l'intérieur du local est de 10.52 mm Hg, alors que celle de l'extérieur est de 3.88 mm Hg.

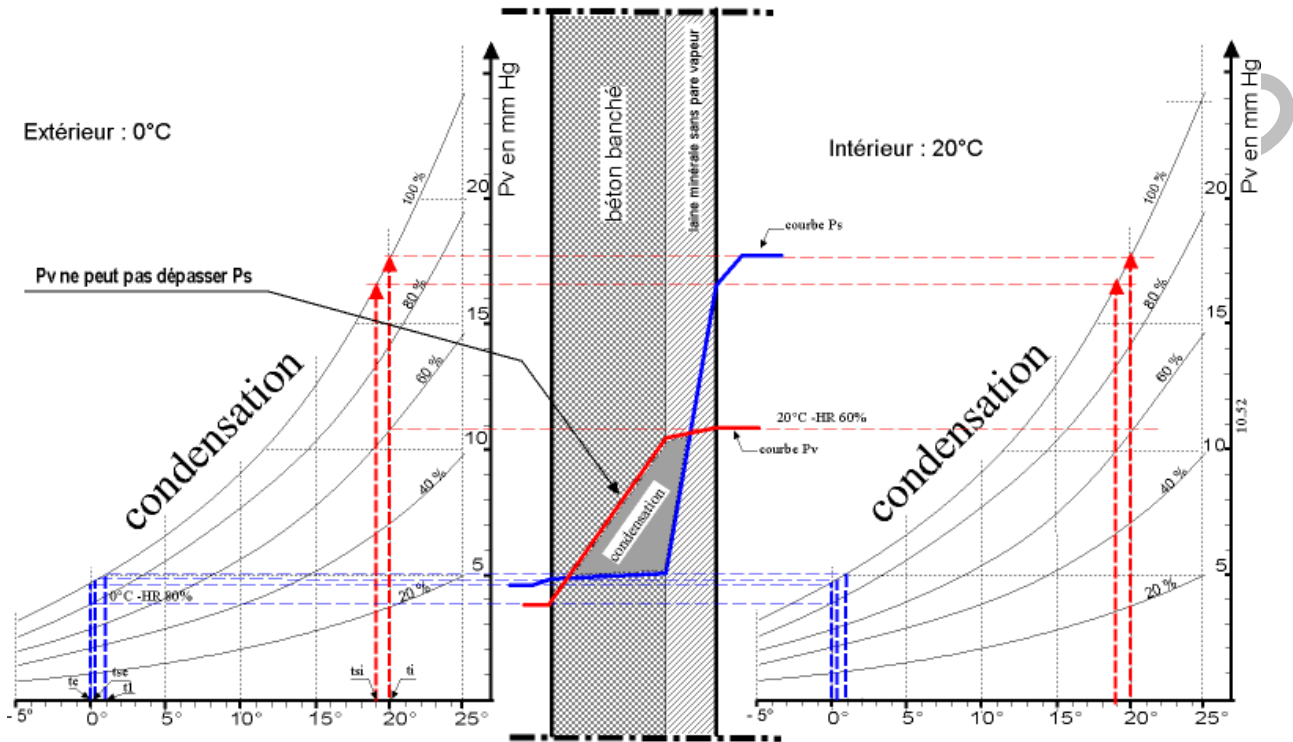
La chute de pression de vapeur d'eau est conditionnée par la perméabilité des matériaux. Dans notre cas, la pression ne chutera guère en traversant la laine minérale sans pare-vapeur car ce matériau est très poreux. Par contre la chute sera plus importante en traversant le béton car celui-ci est plus résistant à la diffusion de la vapeur d'eau.

Etudions cette même paroi aux valeurs de saturation
Extérieur 0°C

Celle des pressions à saturation et celle de la pression de la vapeur d'eau pour les valeurs suivantes :

Extérieur 0°C	HR 80%
Intérieur 20°C	HR 60%

Superposition des courbes de pression (Pv) et de pression à saturation (Ps)

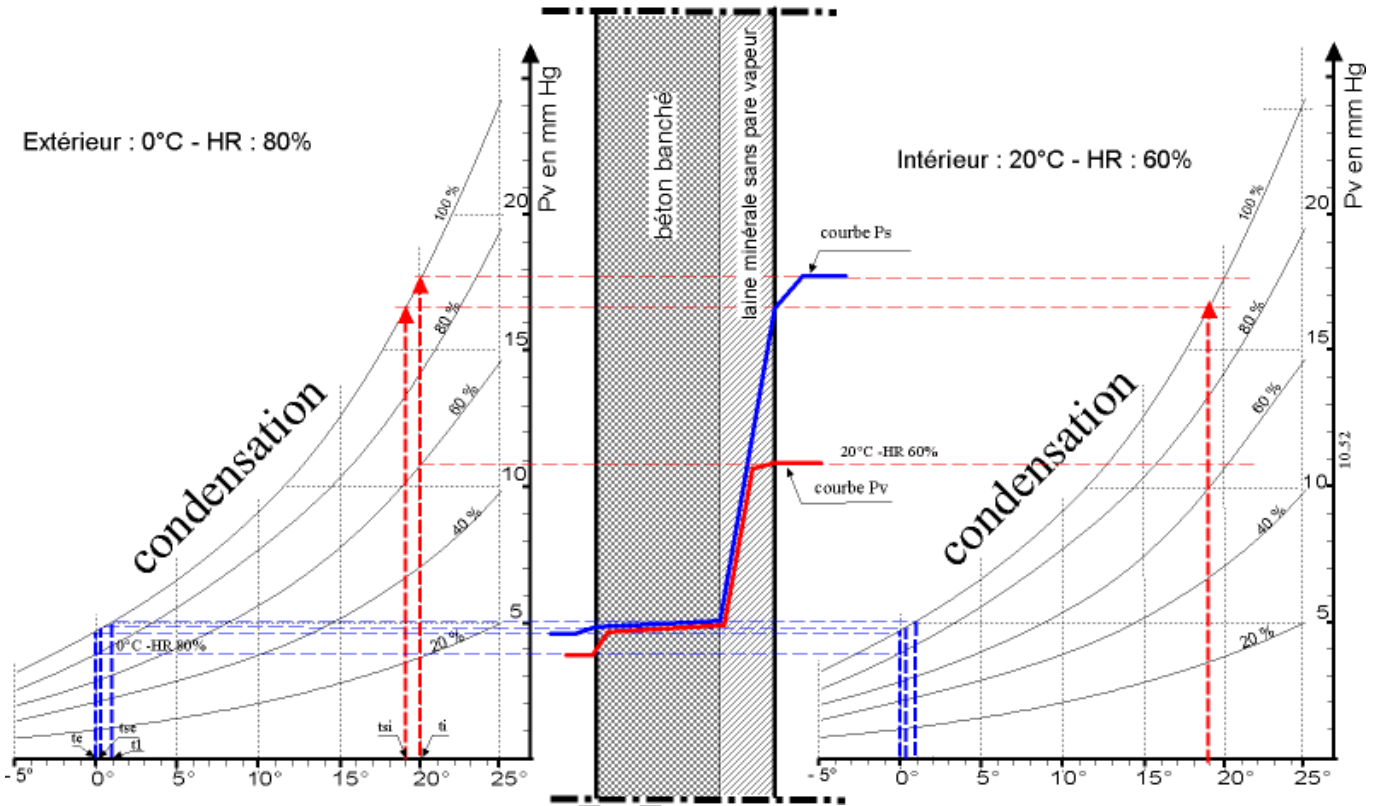


Constat :

La courbes de pression de vapeur d'eau (Pv) passe au-delà le la courbe de pression à saturation (Ps). Cette configuration est impossible, la condensation va intervenir pour que la pression (Pv) ne dépasse pas la pression à saturation(Ps)..

Intervention de la condensation :

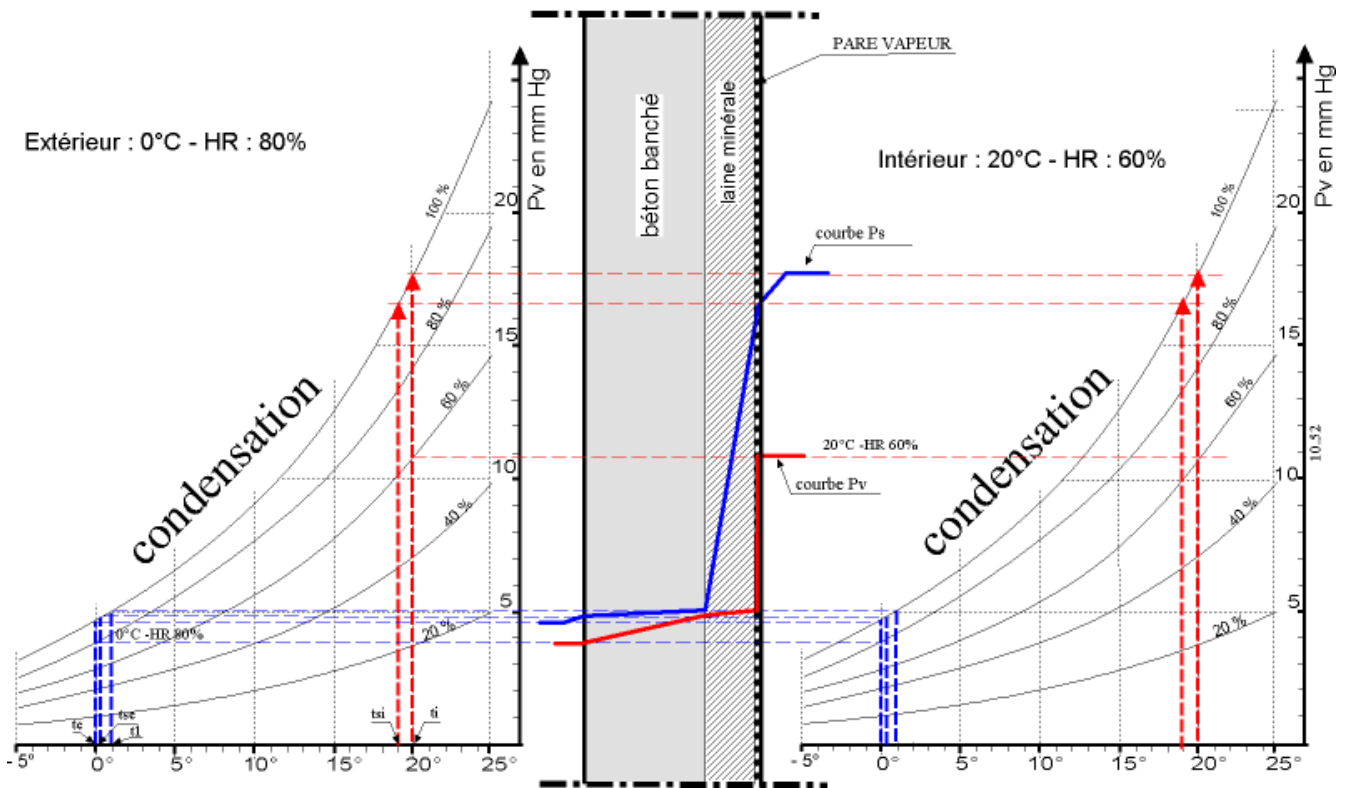
Intervention de la condensation afin que "Pv" ne dépasse pas "Ps"



JY PALHEI

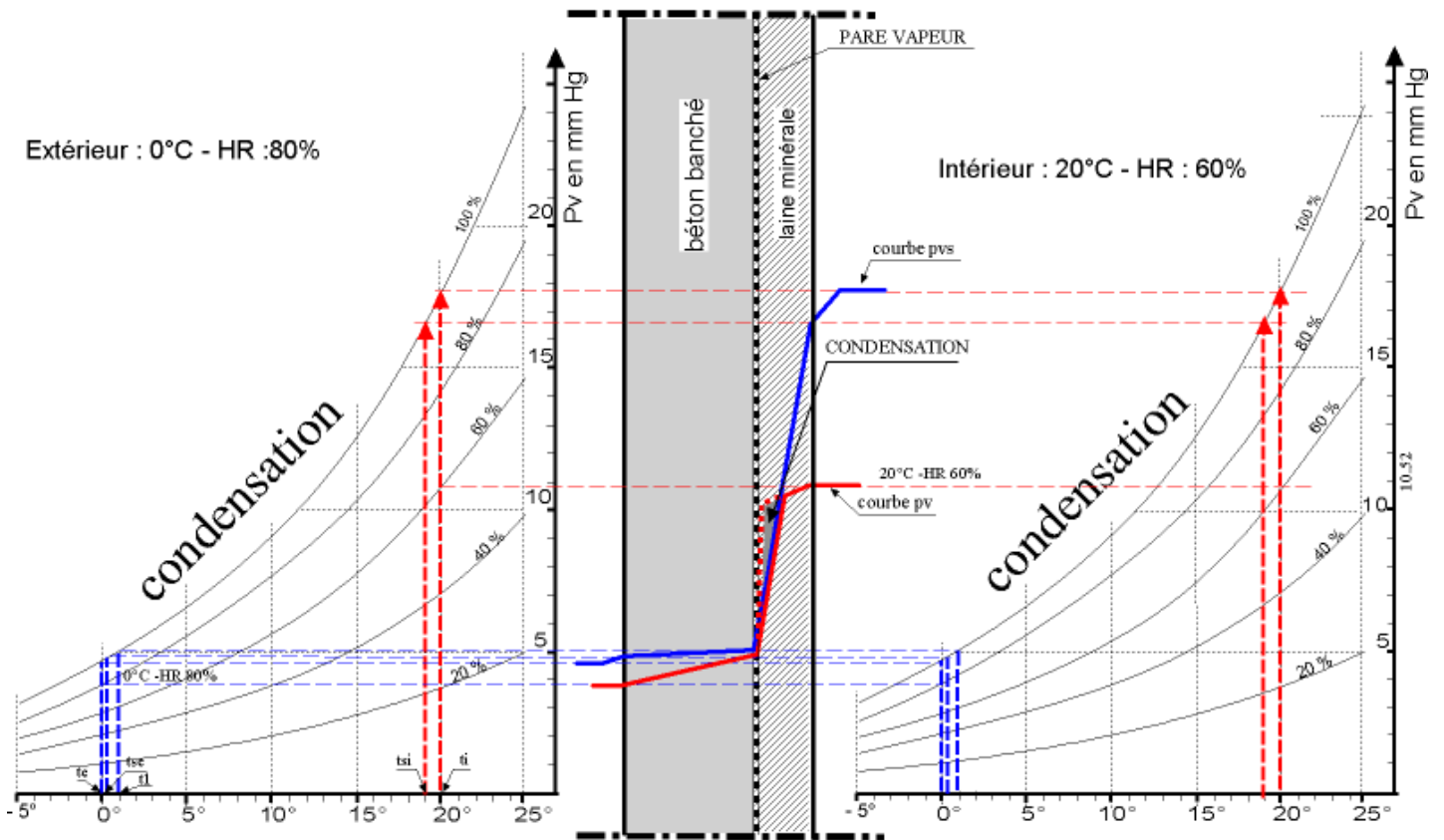
4.5.3- LE PARE-VAPEUR

ACTION DU PARE VAPEUR



Le principe de fonctionnement du pare-vapeur est simple, il suffit d'interposer coté chaud de la paroi, une membrane très peu perméable, comme une feuille de polyéthylène ou d'aluminium ou encore un papier « kraft » spécialement apprêté, pour faire chuter la pression de vapeur avant même que ne chute la température

Et si le pare vapeur était placé du mauvais coté de l'isolant !



Quand le pare vapeur est placé coté froid de l'isolant, une catastrophe hydrique est possible. En effet, la pression de vapeur d'eau ne chutera qu'après la chute des pressions à saturation. Il y aura condensation dans l'isolant et les conséquences de ce phénomène sont graves : la diminution de la résistance thermique de l'isolant humide va amplifier le processus de condensation.

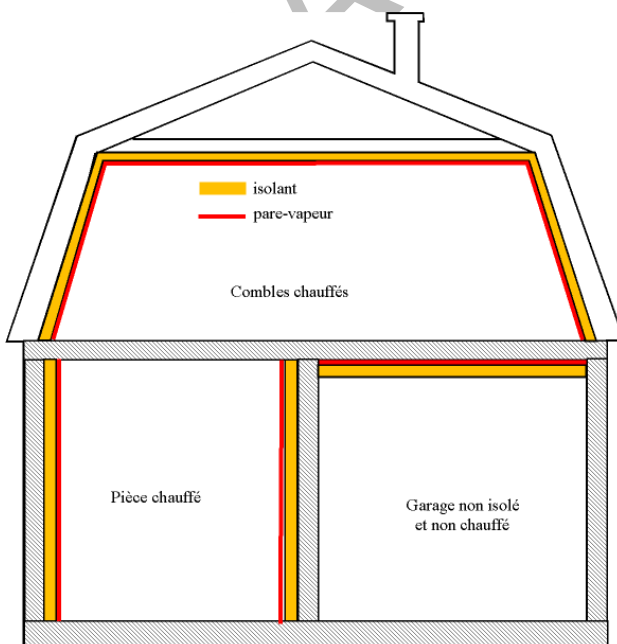
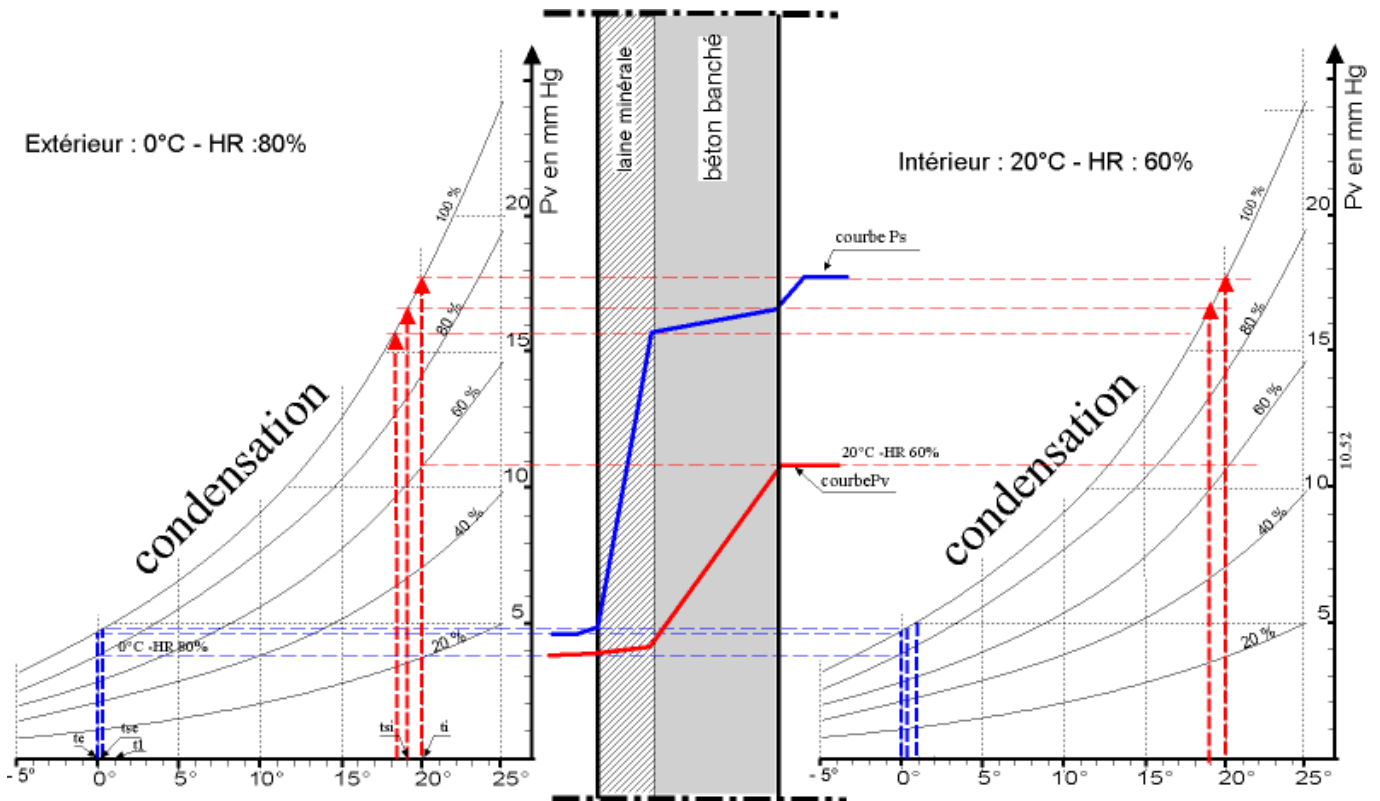


Schéma de principe du positionnement du pare-vapeur

4.5.4- ISOLATION PAR L'EXTERIEUR



Dans le cas d'une isolation par l'extérieur, la courbe de pression chute rapidement grâce à la résistance de diffusion de la vapeur d'eau du béton, la courbe de pression à saturation quant à elle chutera plus tard, en même temps que la chute de la température. Non seulement il n'y a pas de risque de condensation mais de plus il n'y pas besoin de pare-vapeur.

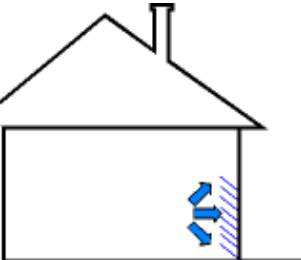
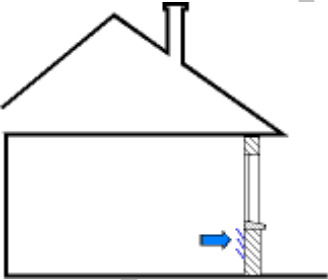
5. SYNTHÈSE

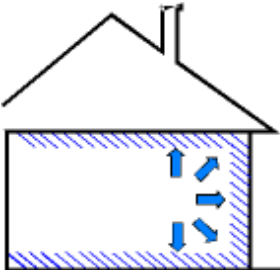
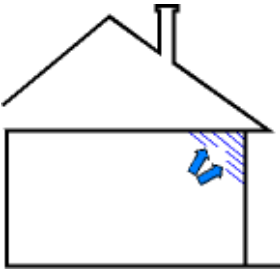
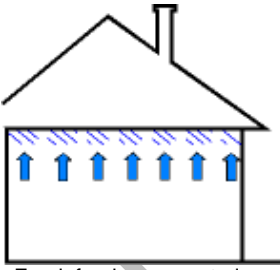
LUTTE CONTRE LA PENETRATION DE L'EAU DE PLUIE EN FACADE			
MESURES PREVENTIVES	MESURES CURATIVES		
<ul style="list-style-type: none"> - béton de qualité - joints traités avec soin - mur suffisamment épais - matériaux peu perméables - double paroi - enduit d'épaisseur suffisante - enduit de qualité - rejet de l'eau par une modénature adaptée : <ul style="list-style-type: none"> . bandeaux . larmiers . corniches . appuis 	<ul style="list-style-type: none"> - Hydrofuges de surface <ul style="list-style-type: none"> . silicones . bitumineux 	<ul style="list-style-type: none"> - Peintures semi-épaisse <ul style="list-style-type: none"> . produit d'imperméabilité de I1 à I4 	<ul style="list-style-type: none"> - Bardages et vêtements

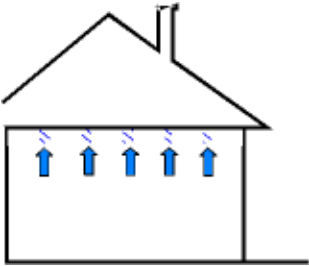
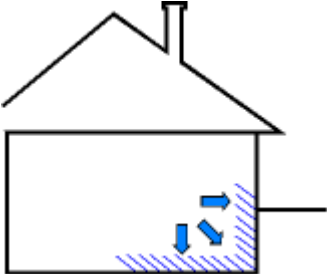
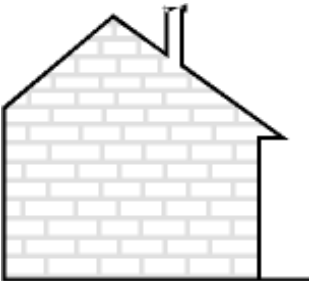
LUTTE CONTRE L'EAU DU SOL	
MESURES PREVENTIVES	MESURES CURATIVES POSSIBLES
<ul style="list-style-type: none"> - DRAINAGE pour : <ul style="list-style-type: none"> . abaisser le niveau de l'eau . accroître les effets de la pesanteur . réduire la pression hydrostatique - MATERIAUX PEU CAPILLAIRES ET PEU PERMEABLES - BARRIERE ETANCHE (coupure de capillarité) - HYDROFUGE DE MASSE - ENDUIT ETANCHE + COUCHE BITUMINEUSE (murs enterrés) - CUVELAGE pour le cas de construction dans la nappe phréatique 	<ul style="list-style-type: none"> - Drainage périphérique - Drainage + enduit hydrofuge (murs enterrés) - Injection de produits imperméabilisants - Evacuation de l'eau par des drains d'aération posés dans les murs (type KNAPEN) - Electro-osmose destinée à faire redescendre l'eau du mur par inversion des polarités électriques - Tronçonnage de la paroi et interposition d'une coupure de capillarité (plaque inox par exemple)

LUTTE CONTRE LES EAUX DE CONDENSATION	
MESURES PREVENTIVES	MESURES CURATIVES POSSIBLES
<ul style="list-style-type: none"> - Isolation thermique réglementaire suivant les zones, le site, l'exposition et le mode d'habitation - Ventilation suffisante des locaux par VMC (ventilation mécanique contrôlée) - Présence de pare-vapeur situé au bon endroit - Chauffage adapté 	<ul style="list-style-type: none"> - isolation thermique complémentaire par l'intérieur ou l'extérieur - éloigner le point de rosée de la surface de la paroi par la pose d'un isolant mince type « GRANOMURAL - DEPRON - SEMPATAP etc. » sous les finitions peintures ou revêtements (peu de gain du point de vue thermique) - supprimer les ponts thermiques par une isolation - améliorer la ventilation VMC - chauffer davantage

JY PALHEIRE AMIENS

CONSTATS		CAUSES POSSIBLES	REMEDES POSSIBLES
Nature des dommages	Localisation des dommages		
<p>ENDUITS CLOQUES</p> <p>TACHES DE MOISSISSURES</p> <p>SALPETRE</p> <p>EFFLORESCENCES</p> <p>PAPIERS DECOLLES</p> <p>PEINTURES EFFRITEES</p>	 <p>- Toujours au rez de chaussée sur une hauteur régulière variant de 0.40 à 2.00 m à partir du sol.</p>	<p>REMONTÉES CAPILLAIRES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence de coupure étanche - Coupure étanche trop basse - Fondation en contact avec la nappe phréatique 	<ul style="list-style-type: none"> - Doublage intérieur indépendant et ventilé de la paroi après piochage de l'enduit (meilleure évaporation) - Pose de siphons atmosphériques coté extérieur dans la maçonnerie (KNAPEN) - Injection de résines hydrofuges dans la base du mur par gravité - Injection de résines hydrofuges dans la base du mur sous pression - Tronçonnage du mur et insertion d'une barrière étanche - Pose d'un procédé ELECTRO - OSMOTIQUE
<p>PEINTURES CLOQUEES</p> <p>PEINTURES ECAILLEES</p>	 <p>- Sous les fenêtres et les ouvertures</p>	<p>JETS D'EAU BOUCHES</p> <p>ETANCHEITE menuiserie / maçonnerie défectueuse</p> <p>ABSENCE DE LARMIER sous l'appui de fenêtre</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Déboucher les jets d'eau afin qu'ils évacuent correctement l'eau de condensation se produisant sur les vitrages - Réfection des joints - Nettoyage du larmier ou - Pose d'un sur-appui métallique

CONSTATS		CAUSES POSSIBLES	REMEDES POSSIBLES
Nature des dommages	Localisation des dommages		
PEINTURES CLOQUEES PAPIERS PEINTS DECOLLES	 <p>Supports neufs plâtre, bois, mortier, béton</p>	EAU DE CONSTITUTION des matériaux du bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> - Attendre séchage avant travaux de finition jusqu'au taux maximum toléré - Le séchage peut être accéléré par le chauffage des locaux <p>TAUX D'HUMIDITE MAXI AVANT TRAVAUX DE PEINTURE (% en poids)</p> <ul style="list-style-type: none"> - PLATRE 5 % - BETON / MORTIER 5 % - BOIS en intérieur chauffé 10 % - BOIS en extérieur 18 % - BOIS en intérieur non chauffé 10 à 12 % <p>TAUX D'HUMIDITE MAXI AVANT TRAVAUX DE REVETEMENTS DE SOL (% en poids)</p> <ul style="list-style-type: none"> - BETON 3 %
TACHES NOIRATRES DE COLORATION IRREGULIERE ET PIQUETEE	 <p>- A l'angle des murs et du plafond - Sur un mur exposé au Nord</p>	CONDENSATIONS dues <ul style="list-style-type: none"> - à des ponts thermiques (mauvaise isolation) - à une production de vapeur d'eau trop importante - à une ventilation insuffisante - à une insuffisance de chauffage 	<ul style="list-style-type: none"> - Traiter les ponts thermiques (isolant mince type SEMPATAP - Eliminer les facteurs produisant de la vapeur d'eau <ul style="list-style-type: none"> . sur occupation des locaux . aquarium, plantes vertes . lave-linge, séchage du linge - Libérer, nettoyer les grilles de ventilation - Installer un système de ventilation mécanique (VMC) - Amener la température du local au niveau réglementaire (19 °C)
TACHES GRISATRES EN BANDES LARGES	 <p>- En plafond sous poutraison en bois entre les poutres ou solives</p>	CONDENSATIONS (adhérence des poussières sur les zones humides) <ul style="list-style-type: none"> - Bonne isolation au niveau des poutres bois - Mauvaise isolation au niveau du plafond <p>DONC ABSENCE D'ISOLANT EN COMBLES</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pose d'un isolant
CONSTATS		CAUSES	REMEDES

Nature des dommages	Localisation des dommages	POSSIBLES	POSSIBLES
<p>TACHES GRISATRES EN BANDES ETROITES</p>	 <p>- En plafond sous poutraison métallique ou en béton au niveau des poutres</p>	<p>CONDENSATIONS (adhérence des poussières sur les zones humides) -Bonne isolation au niveau du plafond (entrevous) -Mauvaise isolation au niveau des poutres béton ou métalliques</p> <p>DONC ABSENCE D'ISOLANT EN COMBLES</p>	<p>- Pose d'un isolant</p>
<p>TACHES DE MOISSURES SALPETRE EFFLORESCENCES ENDUITS CLOQUES PAPIERS DECOLLES PEINTURES EFFRITEES PEINTURES CLOQUEES PEINTURES ECAILLEES</p>	 <p>Sur les murs dont la face extérieure est enterrée</p>	<p>POROSITE DE LA PAROI ET / OU REMONTEES CAPILLAIRES</p>	<p>COTE EXTERIEUR</p> <ul style="list-style-type: none"> - Réaliser un drainage périphérique <ul style="list-style-type: none"> . enduit hydrofuge . application d'un produit d'étanchéité . pose d'une nappe drainante . pose d'un drain en fond de fouille . remblayage avec cailloux, graviers et sable
<p>TRACES SOMBRES DESSINANT LES JOINTS DE LA MACONNERIE SOUS-JACENTE (spectres, fantômes)</p>	 <p>- Permanentes, coté intérieur des murs extérieurs - Après une averse sur les murs exposés, coté extérieur</p>	<p>INTERIEUR CONDENSATIONS sur les joints de maçonnerie Les joints mortier se comportent en ponts thermiques</p> <p>EXTERIEUR INFILTRATIONS par des micro fissures dans l'enduit au droit des joints (malfaçon du maçon)</p>	<p>- Isolation thermique par doublage intérieur - Isolation thermique par l'extérieur</p> <p>- Application d'un revêtement d'imperméabilité résistant à la micro fissuration</p>